

附件

山西省建筑业 10 项新技术

(2024 版)

山西省住房和城乡建设厅
2024 年 10 月

前 言

为引领行业发展和建造技术革命，加快促进建筑业工业化、数字化、绿色化转型升级，推动我省建筑工程品质提升和建筑业高质量发展，山西省住房和城乡建设厅组织行业专家组成新技术编制组，经广泛研究和系统调研，深入分析近年建筑业新技术发展成果，认真总结工程实践经验，在住建部《建筑业 10 项新技术（2017 版）》基础上，结合我省建筑工程特点，编制了本文件。包含 10 大项 125 小项建筑业新技术。

本文件的主要特点：

一是贯彻高质量发展理念，落实高品质建筑需求，将新技术与建筑业深度融合，助力建筑业转型升级。

二是突出强化建筑业重点、热点领域的技术应用，尤其是突出了绿色建造、围护结构、装饰装修、信息化等热点领域和前沿技术。

三是优化基础性技术，充分结合我省应用实际，在住建部新技术基础上对混凝土、钢结构、机电安装、模板脚手架等技术进行了更新和补充。

本文件由山西省住房和城乡建设厅批准。

本文件主要起草人：

地基基础和地下空间工程技术部分：

梁 进、何 鑫、宁国英、王 兴、申 壮

钢筋与混凝土技术部分：

李晓峰、赵子珏、郝丽斌、王俊峰、李 琳、李志军、张 宇、张国刚、李战军
马 雷、王道春、王 乐、杜鹏程

模板脚手架技术部分：

盖 宏、刘 洋、赵子珏、李小丽、闫 江、吕修峰、白旭军

装配式混凝土结构技术部分：

刘 晖、姚建芳、岳广宇、秦 端、孙春苗、亓 伟、郭玉峰

钢结构技术部分：

李海旺、庄利军、杨秀刁、闫月勤、郑礼刚、杜晓莲

机电安装工程技术部分：

常 虹、成金牛、陈 亮、王 镨、杨登峰、李永胜、卢秋生、段孟凯、赵 强
祁小军

围护结构节能与绿色施工技术部分：

刘 晖、姚建芳、王 瑾、李 鑫、郭瑞瑞、李兆波、刘 敏

防水技术与建筑装饰工程技术部分：

刘 刚、邱晓丽、王瑞琦、郭振华、戴 燕、董传艳

抗震、加固与监测技术部分：

石 勇、王 兴、杨小兵、吴志杰、荣 帆

智慧建造技术部分：

李庆鹤、刘剑锋、郭 帅、王戌峰、薛慧君、王 鹏、崔婧瑞、张 旭、王晓波

晋 浩、张力元、刘向东、冯 亮、李欣洋、车 峰、彭 刚

审核：

董晓强、王宏业、杜艳哲、王敏泽、雷宏刚、梁 波、裴向东

校对：

王宏业、王宇清、卫 芷、尤香莲、李妙平、杨琳琳、籍跃奎

参编单位（按章节顺序）：

山西省勘察设计研究院有限公司

山西华建建筑工程检测有限公司

山西华夏建设工程咨询有限公司

阳泉融盛路桥建设有限责任公司

中建七局第一建设工程有限公司

太原市建设工程质量安全站（太原市工程建设标准定额站）

中国建筑第五工程局有限公司

中铁十二局集团有限公司

中铁十七局集团有限公司

山西五建集团有限公司

山西一建集团有限公司

太原理工大学

山西四建集团有限公司

山西建筑工程集团有限公司

山西潇河建筑产业有限公司

中铁十七局集团建筑工程有限公司

中建二局安装工程有限公司

太原市第一建筑工程集团有限公司
山西建投集团装饰有限公司
太原理工大学建筑设计研究院有限公司
中国建筑一局（集团）有限公司
山西建投云数智科技有限公司
山西八建集团有限公司
山西省安装集团股份有限公司

目 录

1 地基基础和地下空间工程技术	15
1.1 灌注桩后注浆技术.....	15
1.2 长螺旋钻孔压灌桩技术.....	15
1.3 水泥土复合桩技术.....	16
1.4 混凝土桩复合地基技术.....	17
1.5 真空预压法组合加固软基技术.....	18
1.6 装配式支护结构施工技术.....	19
1.7 复合水泥土搅拌桩支护结构技术.....	20
1.8 地下连续墙施工技术.....	21
1.9 逆作法施工技术.....	23
1.10 超浅埋暗挖施工技术.....	24
1.11 复杂盾构法施工技术.....	25
1.12 非开挖埋管施工技术.....	25
1.13 综合管廊施工技术.....	28
1.14 强夯施工技术.....	29
1.15 新型锚杆（索）施工技术.....	31
1.16 咬合式排桩支护技术.....	32
2 钢筋与混凝土技术	34
2.1 高耐久性混凝土技术.....	34
2.2 高强高性能混凝土技术.....	36
2.3 自密实混凝土技术.....	38
2.4 再生骨料及轻骨料混凝土技术.....	41
2.5 混凝土裂缝控制技术.....	44
2.6 超高泵送混凝土技术.....	48
2.7 高延性混凝土技术.....	50
2.8 高强钢筋应用技术.....	52
2.9 高强钢筋直螺纹连接技术.....	55
2.10 钢筋焊接网应用技术.....	57

2.11 预应力技术·····	58
2.12 建筑用成型钢筋制品加工与配送技术·····	59
2.13 钢筋机械锚固技术·····	61
3 模板脚手架技术·····	63
3.1 销键型脚手架及支撑架技术·····	63
3.2 集成附着式升降脚手架技术·····	66
3.3 电动桥式脚手架技术·····	67
3.4 液压爬升模板技术·····	69
3.5 整体爬升钢平台技术·····	70
3.6 组合铝合金模板施工技术·····	72
3.7 组合式带肋塑料模板技术·····	74
3.8 清水混凝土模板技术·····	76
3.9 预制节段箱梁模板技术·····	79
3.10 管廊模板技术·····	80
3.11 3D 打印装饰造型模板技术·····	82
3.12 工程涉及的其它模板技术·····	83
4 装配式混凝土结构技术·····	89
4.1 装配式混凝土剪力墙结构技术·····	89
4.2 装配式混凝土框架结构技术·····	91
4.3 混凝土叠合楼板技术·····	93
4.4 预制混凝土外墙挂板技术·····	94
4.5 夹心保温墙板技术·····	96
4.6 预制预应力混凝土构件技术·····	97
4.7 钢筋套筒灌浆连接技术·····	98
4.8 预制构件工厂化生产加工技术·····	100
4.9 装配式混凝土结构建筑信息模型应用技术·····	101
5 钢结构技术·····	103
5.1 高性能钢材应用技术·····	103
5.2 钢结构深化设计技术·····	104
5.3 钢结构智能建造技术·····	105
5.4 钢结构数字化测量技术·····	109

5.5	钢结构数字化预拼装技术	110
5.6	钢结构高效焊接技术	112
5.7	钢结构防火及长效防腐技术	114
5.8	钢结构滑移、顶（提）升施工技术	117
5.9	钢与混凝土组合结构施工技术	120
5.10	索结构施工技术	122
5.11	钢结构住宅施工技术	124
5.12	钢结构模块化建筑技术	126
5.13	金属屋面施工技术	130
5.14	钢结构桥梁施工技术	132
6	机电安装工程技术	135
6.1	基于 BIM 的管线综合技术	135
6.2	机电管线及设备工厂化预制技术	137
6.3	导线连接器应用技术	138
6.4	可弯曲金属导管安装技术	140
6.5	工业化成品支吊架技术	141
6.6	薄壁金属管道新型连接安装施工技术	143
6.7	夹芯彩钢板复合风管施工技术	144
6.8	PVC 立管穿楼板止水节直埋技术	147
6.9	履带式电缆输送机输送电缆技术	148
6.10	光导管照明系统应用技术	150
6.11	机电消声减振综合施工技术	151
6.12	建筑机电系统全过程调试技术	152
7	围护结构节能与绿色建造技术	156
7.1	高性能外墙保温技术	156
7.2	高性能门窗和建筑外遮阳技术	158
7.3	封闭降水及水收集综合利用技术	162
7.4	建筑垃圾减量化与资源化利用技术	164
7.5	施工现场太阳能、空气能等新能源利用技术	167
7.6	施工扬尘控制技术	173
7.7	施工噪声控制技术	173

7.8	绿色施工在线监测评价技术	174
7.9	工具式定型化临时设施技术	175
7.10	垃圾管道垂直运输技术	179
7.11	透水混凝土与植生混凝土应用技术	180
7.12	混凝土楼地面一次成型技术	181
7.13	建筑物墙体免抹灰技术	182
7.14	电梯井内置施工电梯应用技术	183
7.15	永临结合技术	184
8	防水技术与建筑装饰工程技术	187
8.1	防水卷材机械固定施工技术	187
8.2	地下工程预铺反粘防水技术	190
8.3	种植屋面防水施工技术	191
8.4	装配式建筑密封防水应用技术	192
8.5	装配式装修施工技术	194
8.6	复杂装饰造型施工技术	196
8.7	装饰混凝土施工技术	197
8.8	新型板材幕墙施工技术	199
8.9	新型幕墙连接技术	204
9	抗震、加固与监测技术	212
9.1	消能减震技术	212
9.2	建筑隔震技术	213
9.3	结构构件加固技术	214
9.4	建筑移位技术	216
9.5	结构无损性拆除技术	216
9.6	深基坑施工监测技术	218
9.7	大型复杂结构施工安全性监测技术	218
9.8	爆破工程监测技术	219
9.9	受周边施工影响的建（构）筑物检测、监测技术	220
9.10	隧道安全监测技术	220
9.11	地基干涉合成孔径雷达变形监测	221
10	智慧建造技术	223

10.1 基于 BIM 的现场施工信息管理技术·····	223
10.2 基于 BIM 的装配式机房数字化建造技术·····	224
10.3 基于 BIM 的轻量化数字平台应用技术·····	225
10.4 基于 BIM+全景图的实模一致验收技术·····	227
10.5 基于 AR 技术的质量验收技术·····	228
10.6 基于大数据的项目成本分析与控制信息技术·····	229
10.7 基于云计算的电子商务采购技术·····	230
10.8 基于物联网的工程总承包项目物资全过程监管技术·····	231
10.9 三维激光扫描应用技术·····	232
10.10 倾斜摄影技术·····	233
10.11 放样机器人应用技术·····	235
10.12 高精度地坪激光整平一体化施工技术·····	236
10.13 沥青混凝土路面数字化智能摊铺技术·····	237
10.14 机械喷涂与抹灰应用技术·····	238

1 地基基础和地下空间工程技术

1.1 灌注桩后注浆技术

1.1.1 技术内容

灌注桩后注浆是指在灌注桩成桩后一定时间，通过预设在桩身内的注浆导管及与之相连的桩端、桩侧处的注浆阀以压力注入水泥浆的一种施工工艺。注浆目的一是通过桩底和桩侧后注浆加固桩底沉渣（虚土）和桩身泥皮，二是对桩底及桩侧一定范围的土体通过渗入（粗颗粒土）、劈裂（细粒土）和压密（非饱和松散土）注浆起到加固作用，从而增大桩侧阻力和桩端阻力，提高单桩承载力，减少桩基沉降。

在优化注浆工艺参数的前提下，可使单桩竖向承载力提高 40%以上，通常情况下粗粒土增幅高于细粒土、桩侧桩底复式注浆高于桩底注浆；桩基沉降减小 30%左右；预埋于桩身的后注浆钢导管可以与桩身完整性超声检测管合二为一。

桩底复合式后压浆技术，利用中空式钢板胶囊，在桩端闭式压浆前后分别进行桩底开式压浆，能有效可靠地满足后压浆技术“定区域、定压力、定压浆量”的要求，彻底消除桩底残余部位的“淤泥沉渣”、“虚尖”和“空隙”等不良现象，同时对桩底周围土体进行渗透或劈裂压浆，浆液在上述地层中发生胶结固化或形成水泥结石浆脉，进一步大幅度提高地层强度和桩端阻力。

1.1.2 技术指标

(1) 主要技术指标

- 1) 浆液水灰比：0.45~0.9。
- 2) 注浆压力：1.2MPa~10MPa。
- 3) 注浆流量不宜超过 75L/min。
- 4) 以上参数应根据土的种类、饱和度及桩的尺寸、承载力增幅等因素适当调整，并通过现场试注浆和试桩试验最终确定。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《建筑桩基技术规范》JGJ 94
- 2) 《建筑与市政地基基础通用规范》GB55003

1.1.3 适用范围

灌注桩后注浆技术适用于除沉管灌注桩外的各类泥浆护壁和干作业的钻、挖、冲孔灌注桩。当桩端及桩侧有较厚的粗粒土时，后注浆提高单桩承载力的效果更为明显。

1.1.4 工程案例

目前该技术在我省高层、超高层建筑桩基工程中应用广泛，经济效益显著，典型工程如高平市人民医院医技楼综合楼项目，山西昆明烟草“十二五”易地技术改造综合楼项目，城东片区云中南路、东环路南延、南环街东延工程项目等。

1.2 长螺旋钻孔压灌桩技术

1.2.1 技术内容

长螺旋钻孔压灌桩技术是采用长螺旋钻机钻孔至设计标高，利用混凝土泵将超流态细石混凝土从钻头底压出，边压灌混凝土边提升钻头直至成桩，混凝土灌注至设计标高后，再借助钢筋笼自重或利用专门振动装置将钢筋笼一次插入混凝土桩体至设计标高，形成钢筋混凝土灌注桩。后插入钢筋笼的工序应在压灌混凝土工序后连续进行。与普通水下灌注桩施工工艺相比，长螺旋钻孔压灌桩施工，不需要泥浆护壁，无泥皮，无沉渣，无泥浆污染，施工速度快，造价较低。

该工艺还可根据需要在钢筋笼上绑设桩端后注浆管进行桩端后注浆，以提高桩的承载力。

1.2.2 技术指标

(1) 主要技术指标

- 1) 混凝土的粗骨料最大粒径不宜大于 20mm。
- 2) 混凝土塌落度宜为 180~220mm。
- 3) 桩顶混凝土超灌高度不宜小于 0.3m~0.5m。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《建筑桩基技术规范》JGJ 94
- 2) 《建筑与市政地基基础通用规范》GB55003

1.2.3 适用范围

适用于地下水位较高，易塌孔，且长螺旋钻孔机可以钻进的地层。适用的桩径、桩长可根据长螺旋设备的性能来确定，一般桩长可达到 30m，少量大型设备的施工桩长可达 40m。

1.2.4 工程案例

在省内多项工程中应用，经济效益显著，具有良好的推广应用前景，典型工程如农业科技信息与会议中心（A1）项目等。

1.3 水泥土复合桩技术

1.3.1 技术内容

水泥土复合桩是适用于软土地基的一种新型复合桩，由 PHC 管桩、钢管桩等在水泥土初凝前压入水泥土桩中复合而成的桩基础，也可将其用作复合地基。水泥土复合桩由芯桩和水泥土组成，芯桩与桩周土之间为水泥土。水泥搅拌桩的施工及芯桩的压入改善了桩周和桩端土体的物理力学性质及应力场分布，有效地改善了桩的荷载传递途径；桩顶荷载由芯桩传递到水泥土桩再传递到侧壁和桩端的水泥土体，有效地提高了桩的侧阻力和端阻力，从而有效地提高了复合桩的承载力，减小桩的沉降。目前常用的施工工艺有植桩法等。

1.3.2 技术指标

(1) 主要技术指标

- 1) 水泥土桩直径宜为 500~700mm。
- 2) 水泥掺量宜为 12%~20%。

- 3) 管桩直径宜为 300~600mm。
- 4) 桩间距宜取水泥土桩直径的 3~5 倍。
- 5) 桩端应选择承载力较高的土层。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《水泥土复合管桩基础技术规程》JGJ/T330
- 2) 《建筑与市政地基基础通用规范》GB55003

1.3.3 适用范围

适用于软弱粘土地基。含水率较高、强度低、压缩性较高、垂直渗透系数较低、层厚变化较大的软粘土，地表下浅层存在有承载力较高的土层，采用传统的单一的地基处理方式或常规钻孔灌注桩，往往很难取得理想的技术经济效益，水泥土复合桩是适用于这种地层的有效方法之一。

1.3.4 工程案例

在我省靠近湿地、浅水位水系周边环境环绕的住宅小区、公共建筑中应用，经济效益显著。典型工程如山西北方功能食品产业园项目等。

1.4 混凝土桩复合地基技术

1.4.1 技术内容

混凝土桩复合地基是以水泥粉煤灰碎石桩复合地基为代表的高粘结强度桩复合地基，近年来混凝土灌注桩、预制桩作为复合地基增强体的工程越来越多，其工作性状与水泥粉煤灰碎石桩复合地基接近，可统称为混凝土桩复合地基。

混凝土桩复合地基通过在基底和桩顶之间设置一定厚度的褥垫层，以保证桩、土共同承担荷载，使桩、桩间土和褥垫层一起构成复合地基。桩端持力层应选择承载力相对较高的土层。混凝土桩复合地基具有承载力提高幅度大，地基变形小、适用范围广等特点。

根据工程实际情况，混凝土桩可选用水泥粉煤灰碎石桩，常用的施工工艺包括长螺旋钻孔、管内泵压混合料成桩，振动沉管灌注成桩及钻孔灌注成桩三种施工工艺。

对于市政、公路、高速公路、铁路等地基处理工程，当基础刚度较弱时，宜在桩顶增加桩帽或在桩顶采用碎石+土工格栅、碎石+钢板网等方式调整桩土荷载分担比例，以提高桩的承载能力。

1.4.2 技术指标

(1) 主要技术指标

- 1) 桩端持力层应选择承载力相对较高的地层。
- 2) 桩间距宜取 3~5 倍桩径。
- 3) 桩身混凝土强度满足设计要求，一般情况下要求混凝土强度大于等于 C25。
- 4) 褥垫层宜用中砂、粗砂、碎石或级配砂石等，不宜选用卵石，最大粒径不宜大于 30mm，厚度 150~300mm，夯填度 ≤ 0.9 。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《建筑地基处理技术规范》JGJ 79
- 2) 《建筑与市政地基基础通用规范》GB55003

1.4.3 适用范围

适用于处理粘性土、粉土、砂土和已自重固结的素填土等地基。对淤泥质土应按当地经验或通过现场试验确定其适用性。就基础形式而言，既可用于条形基础、独立基础，又可用于箱形基础、筏形基础。采取适当技术措施后亦可应用于刚度较弱的基础以及柔性基础。

1.4.4 工程案例

在省内多层、高层建筑、工业厂房、铁路地基处理工程中广泛应用，经济效益显著，具有良好的应用前景，典型工程如河曲影剧院项目、太原理工大学西矿街 53 号棚户区改造新建安置房 A 座、B 座项目等。

1.5 真空预压法组合加固软基技术

1.5.1 技术内容

(1) 真空预压法是在需要加固的软粘土地基内设置砂井或塑料排水板，然后在地面铺设砂垫层，其上覆盖不透气的密封膜使软土与大气隔绝，然后通过埋设于砂垫层中的滤水管，用真空装置进行抽气，将膜内空气排出，因而在膜内外产生一个气压差，这部分气压差即变成作用于地基上的荷载，地基随着等向应力的增加而固结。

(2) 真空堆载联合预压法是在真空预压的基础上，在膜下真空度达到设计要求并稳定后，进行分级堆载，并根据地基变形和孔隙水压力的变化控制堆载速率。堆载预压施工前，必须在密封膜上覆盖无纺布土工布以及粘土（粉煤灰）等保护层进行保护，然后分层回填并碾压密实。与单纯的堆载预压相比，加载的速率相对较快。在堆载结束后，进入联合预压阶段，直到地基变形的速率满足设计要求，然后停止抽真空，结束真空联合堆载预压。

1.5.2 技术指标

(1) 主要技术指标

- 1) 加固区表面铺设的砂垫层，厚约 0.5m。
- 2) 滤水管上覆排水砂垫层厚度 100mm~200mm。
- 3) 密封膜的焊接或粘接的粘缝强度不能低于膜本身抗拉强度的 60%。
- 4) 抽气设备宜采用射流真空泵，空抽时应达到 95kPa 以上的真空吸力。
- 5) 抽真空期间真空管内真空度应大于 90kPa，膜下真空度宜大于 80kPa。
- 6) 堆载高度不应小于设计总荷载的折算高度。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《建筑地基基础工程施工规范》GB 51004
- 2) 《建筑地基处理技术规范》JGJ 79
- 3) 《建筑与市政地基基础通用规范》GB55003

1.5.3 适用范围

该软土地基加固方法适用于软弱粘土地基的加固。软弱粘土层的特点是含水量大、压缩性高、强度低、透水性差。该类地基在建筑物荷载作用下会产生相当大的变形或变形差。对于该类地基，尤其需大面积处理时，真空预压法以及真空堆载联合预压法是处理这类软弱粘土地基的较有效方法之一。

1.5.4 工程案例

目前，省内暂无应用此项技术的项目案例，但在太原市小店区、清徐县，以及阳泉市等地区存在软弱黏土层的区域应用，该技术在我省具有推广应用价值。

1.6 装配式支护结构施工技术

1.6.1 技术内容

装配式支护结构是以成型的预制构件为主体，通过各种技术手段在现场装配成为支护结构。与常规支护手段相比，该支护技术具有造价低、工期短、质量易于控制等特点，从而大大降低了能耗、减少了建筑垃圾，有较高的社会、经济效益与环保作用。

目前，市场上较为成熟的装配式支护结构有：预制桩、预制地下连续墙结构、预应力鱼腹梁支撑结构、工具式组合内支撑等。

(1) 预制桩作为基坑支护结构使用时，主要是采用常规的预制桩施工方法，如静压或者锤击法施工。预应力预制桩用于支护结构时，应注意防止预应力预制桩发生脆性破坏并确保接头的施工质量。

(2) 预制地下连续墙技术即按照常规的施工方法成槽后，在泥浆中先插入预制墙段、预制桩、型钢或钢管等预制构件，然后以自凝泥浆置换成槽用的护壁泥浆，或直接以自凝泥浆护壁成槽插入预制构件，以自凝泥浆的凝固体填满墙后空隙和防止构件间接缝渗水，形成地下连续墙。采用预制的地下连续墙技术施工的地下墙面光洁、墙体质量好、强度高，并可避免在现场制作钢筋笼和浇筑混凝土及处理废浆。近年来，在常规预制地下连续墙技术的基础上，又出现一种新型预制连续墙，即不采用昂贵的自凝泥浆而仍用常规的泥浆护壁成槽，成槽后插入预制构件并在构件间采用现浇混凝土将其连成一个完整的墙体。该工艺是一种相对经济又兼具现浇地下墙和预制地下墙优点的新技术。

(3) 预应力鱼腹梁支撑技术，由鱼腹梁（高强度低松弛的钢绞线作为上弦构件，H型钢作为受力梁，与长短不一的H型钢撑梁等组成）、对撑、角撑、立柱、横梁、拉杆、三角形节点、预压顶紧装置等标准部件组合并施加预应力，形成平面预应力支撑系统与立体结构体系，支撑体系的整体刚度、稳定性强。本技术能够提供开阔的施工空间，使挖土、运土及地下结构施工便捷，不仅显著改善地下工程的施工作业条件，而且大幅减少支护结构的安装、拆除、土方开挖及主体结构施工的工期和造价。

(4) 工具式组合内支撑技术是在混凝土内支撑技术的基础上发展起来的一种内支撑结构体系，主要利用组合式钢结构构件其截面灵活可变、加工方便、适用性广的特点，可在各种地质情况和复杂周边环境上使用。该技术具有施工速度快，支撑形式多样，计算理论成熟，可拆卸重复利用，节省投资等优点。

1.6.2 技术指标

(1) 主要技术指标

- 1) 预制地下连续墙墙段常用墙厚有 580mm、780mm。
- 2) 预应力鱼腹梁: 支撑型钢立柱的垂直度控制在 1/200 以内; 围檩牛腿平整度误差要控制在 2mm 以内; 支撑梁必须保证水平。
- 3) 工具式组合内支撑: 标准组合支撑构件跨度为 8m、9m、12m 等; 竖向构件高度为 3m、4m、5m 等; 围檩构件为 1.5m、3m、6m、9m、12m; 受压杆件的长细比不应大于 150, 受拉杆件的长细比不应大于 200。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《钢结构设计规范》GB 50017
- 2) 《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120
- 3) 《装配式基坑支护技术标准》T/CECS 937
- 4) 《建筑与市政地基基础通用规范》GB55003

1.6.3 适用范围

(1) 预制地下连续墙一般仅适用于 9m 以内的基坑, 适用于地铁车站、周边环境较为复杂的基坑工程等。

(2) 预应力鱼腹梁支撑适用于市政工程中地铁车站、地下管沟基坑工程以及各类建筑工程基坑, 预应力鱼腹梁支撑适用于温差较小地区的基坑, 当温差较大时应考虑温度应力的影响。

(3) 工具式组合内支撑适用于周围建筑物密集, 施工场地狭小, 岩土工程条件复杂或软弱地基等类型的深大基坑。

1.6.4 工程案例

(1) 预制桩支护: 山西转型综改区供水工程净水厂项目。

(2) 工具式组合内支撑: 太原鹏程佳园项目 (TRD+组合型钢)、中铁十七局一公司职工住宅综合楼项目 (SMW 工法+组合型钢)、山西省人民医院项目 (钢管内支撑)、山西省汾阳医院外科住院楼建设项目 (止水帷幕+钢筋混凝土灌注桩+钢支撑) 等。

1.7 复合水泥土搅拌桩支护结构技术

1.7.1 技术内容

复合水泥土搅拌桩是指通过特制的多轴深层搅拌机自上而下将施工场地原位土体切碎, 同时从搅拌头处将水泥浆等固化剂注入土体并与土体搅拌均匀, 通过连续的重叠搭接施工, 形成水泥土地下连续墙; 在水泥土初凝之前, 将型钢或预制混凝土桩等构件插入墙中, 形成型钢或预制混凝土桩等构件与水泥土的复合墙体。复合水泥土搅拌桩支护结构同时具有抵抗侧向土水压力和阻止地下水渗漏的功能。

近几年水泥土搅拌桩施工工艺在传统的工法基础上有了很大的发展, 三轴水泥土搅拌桩、五轴

水泥土搅拌桩、TRD 工法、双轮铣深层搅拌工法（CSM 工法）等施工工艺的出现使复合水泥土搅拌桩支护结构的使用范围更加广泛，施工效率也大大增加。

1.7.2 技术指标

(1) 主要技术指标

- 1) 水泥土搅拌桩的直径宜采用 650mm、850mm、1000mm。
- 2) 水泥土搅拌桩 28d 无侧限抗压强度标准值不宜小于 0.5MPa。
- 3) 水泥土搅拌桩的入土深度宜比型钢或预制混凝土桩的插入深度深 0.5~1.0m。
- 4) 搅拌桩体与内插构件的垂直度偏差不应大于 1/200。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《型钢水泥土搅拌墙技术规程》JGJ/T 199
- 2) 《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120
- 3) 《建筑与市政地基基础通用规范》GB55003

1.7.3 适用范围

该技术主要用于深基坑支护，可在粘性土、粉土、砂砾土。

1.7.4 工程案例

化章街综合管廊项目、中海寰宇时代三期项目（搅拌墙内插预制桩）、太原鹏程佳园项目（TRD）、太原市妇幼保健院项目、太原市图书馆改扩建项目、中铁十七局一公司职工住宅综合楼项目（SMW 工法）、潇河智能制造企业加速器项目等。

1.8 地下连续墙施工技术

1.8.1 技术内容

地下连续墙，就是在地面上先构筑导墙，采用专门的成槽设备，沿着支护或深开挖工程的周边，在特制泥浆护壁条件下，每次开挖一定长度的沟槽至指定深度，清槽后，向槽内吊放钢筋笼，然后用导管法浇注水下混凝土，混凝土自下而上充满槽内并把泥浆从槽内置换出来，筑成一个单元槽段，并依此逐段进行，这些相互邻接的槽段在地下筑成的一道连续的钢筋混凝土墙体。地下连续墙主要作承重、挡土或截水防渗结构之用。

地下连续墙具有如下优点：（1）施工低噪声、低震动，对环境的影响小；（2）连续墙刚度大、整体性好，基坑开挖过程中安全性高，支护结构变形较小；（3）墙身具有良好的抗渗能力，坑内降水时对坑外的影响较小；（4）可作为地下室结构的外墙，可配合逆作法施工，缩短工期、降低造价。

随着城市土地资源日趋紧张，高层和超高层建筑的日益崛起，基坑深度也突破初期的十几米朝更深的几十米发展，随之带来的是地下连续墙向着超深、超厚发展。目前建筑领域地下连续墙已经超越了 110m，随着技术的进步和城市发展的需求地下连续墙将会向更深的深度发展。例如软土地区的超深地下连续墙施工，利用成槽机、铣槽机在粘土和砂土环境下各自的优点，以抓铣结合的方法进行成槽，并合理选用泥浆配比，控制槽壁变形，优势明显。

由于地下连续墙是由若干个单元槽段分别施工后再通过接头连成整体，各槽段之间的接头有多种形式，目前最常用的接头形式有圆弧形接头、橡胶带接头、工字型钢接头、十字钢板接头、套铣接头等。其中橡胶带接头是一种相对较新的地下连续墙接头工艺，通过横向连续转折曲线和纵向橡胶防水带延长了可能出现的地下水渗流路线，接头的止水效果较以前的各种接头工艺有大幅改观。目前超深的地下连续墙多采用套铣接头，利用铣槽机可直接切削硬岩的能力直接切削已成槽段的混凝土，在不采用锁口管、接头箱的情况下形成止水良好、致密的地下连续墙接头。套铣接头具有施工设备简单、接头水密性良好等优点。

地下连续墙根据施工工艺，可分为导墙制作、泥浆制备、成槽施工、混凝土水下浇筑、接头施工等。

1.8.2 技术指标

(1) 主要技术指标

1) 新拌制泥浆指标：比重 1.03~1.10，粘度 22s~35s，胶体率大于 98%，失水量小于 30ml/30min，泥皮厚度小于 1mm，pH 值 8~9。

2) 循环泥浆指标：比重 1.05~1.25，粘度 22s~40s，胶体率大于 98%，失水量小于 30ml/30min，泥皮厚度小于 3mm，pH 值 8~11，含砂率小于 7%。

3) 清基后泥浆指标：密度不大于 1.20，粘度 20s~30s，含砂率小于 7%，pH 值 8~10。

4) 混凝土：坍落度 200mm±20mm，抗压强度和抗渗压力符合设计要求。

实际工程中，以上参数应根据土的种类、地下连续墙的结构用途、成槽形式等因素适当调整，并通过现场试成槽试验最终确定。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120
- 2) 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 3) 《地下连续墙技术规程》T/CECS 1287
- 4) 《地下连续墙技术标准》DBJ04/T377
- 5) 《建筑与市政地基基础通用规范》GB55003

1.8.3 适用范围

一般情况下地下连续墙适用于如下条件的基坑工程：

- (1) 深度较大的基坑工程，一般开挖深度大于 10m 才有较好的经济性。
- (2) 邻近存在保护要求较高的建（构）筑物，对基坑本身的变形和防水要求较高的工程。
- (3) 基坑内空间有限，地下室外墙与红线距离极近，采用其他围护形式无法满足留设施工操作空间要求的工程。
- (4) 围护结构亦作为主体结构的一部分，且对防水、抗渗有较严格要求的工程。
- (5) 采用逆作法施工，地上和地下同步施工时，一般采用地下连续墙作为围护墙。

1.8.4 工程案例

太原市轨道交通 2 号线（车站）项目、南内环街雨水泵站项目、信达国际金融中心项目等。

1.9 逆作法施工技术

1.9.1 技术内容

逆作法一般是先沿建筑物地下室外墙轴线施工地下连续墙，或沿基坑的周围施工其他临时围护墙，同时在建筑物内部的有关位置浇筑或打下中间支承桩和柱，作为施工期间于底板封底之前承受上部结构自重和施工荷载的支承；然后施工逆作层的梁板结构，作为地下连续墙或其他围护墙的水平支撑，随后逐层向下开挖土方和浇筑各层地下结构，直至底板封底；同时，由于逆作层的楼面结构先施工完成，为上部结构的施工创造了条件，因此可以同时向上逐层进行地上结构的施工；如此地面上、下同时进行施工，直至工程结束。

目前逆作法的新技术有：

(1) 框架逆作法。利用地下各层钢筋混凝土肋形楼板中先期浇筑的交叉格形肋梁，对围护结构形成框格式水平支撑，待土方开挖完成后再二次浇筑肋形楼板。

(2) 跃层逆作法。是在适当的地质环境条件下，根据设计计算结果，通过局部楼板加强以及适当的施工措施，在确保安全的前提下实现跃层超挖，即跳过地下一层或两层结构梁板的施工，实现土方施工的大空间化，提高施工效率。

(3) 踏步式逆作法。该法是将周边若干跨楼板采用逆作法踏步式从上至下施工，余下的中心区域待地下室底板施工完成后逐层向上顺作，并与周边逆作结构衔接完成整个地下室结构。

(4) 一柱一桩调垂技术。在逆作施工中，竖向支承桩柱的垂直精度要求是确保逆作工程质量、安全的核心要素，决定着逆作技术的深度和高度。目前，钢立柱的调垂方法主要有气囊法、校正架法、调垂盘法、液压调垂盘法、孔下调垂机构法、孔下液压调垂法、HDC 高精度液压调垂系统等。

1.9.2 技术指标

(1) 主要技术指标

1) 竖向支承结构宜采用一柱一桩的形式，立柱长细比不应大于 25。立柱采用格构柱时，其边长不宜小于 420mm，采用钢管混凝土柱时，钢管直径不宜小于 500mm。立柱及立柱桩的平面位置允许偏差为 10mm，立柱的垂直度允许偏差为 1/300，立柱桩的垂直度允许偏差为 1/200。

2) 主体结构底板施工前，立柱桩之间及立柱桩与地下连续墙之间的差异沉降不宜大于 20mm，且不宜大于柱距的 1/400。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
- 2) 《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120
- 3) 《地下建筑工程逆作法技术规程》JGJ 165
- 4) 《建筑工程逆作法技术标准》JGJ432
- 5) 《建筑与市政地基基础通用规范》GB55003

1.9.3 适用范围

逆作法适用于如下基坑：

(1) 大面积的地下工程；(2) 大深度的地下工程，一般地下室层数大于或等于 2 层的项目更为合理；(3) 基坑形状复杂的地下工程；(4) 周边状况苛刻，对环境要求很高的地下工程；(5) 上部结构工期要求紧迫和地下作业空间较小的地下工程。

目前逆作法已广泛用于高层建筑地下室、地铁车站、地下车库、市政、人防工程等领域。

1.9.4 工程案例

红星美凯龙家居生活广场项目等。

1.10 超浅埋暗挖施工技术

1.10.1 技术内容

在下穿城市道路的地下通道施工时，地下通道的覆盖土厚度与通道跨度之比通常较小，属于超浅埋通道。为了保障城市道路、地下管线及周边建（构）筑物正常运用，需采用严格控制土体变形的超浅埋暗挖施工技术。一般采用长大管棚超前支护加固地下通道周围土体，将整个地下通道断面分为若干个小断面进行顺序错位短距开挖，及时强力支护并封闭成环，形成平顶直墙交替支护结构条件，进行地下通道或空间主体施工的支护技术方法。施工过程中应加强对施工影响范围内的城市道路、管线及建（构）筑物的变形监测，及时反馈信息，及时调整支护参数。该技术主要利用钢管刚度强度大，水平钻定位精准，型钢拱架连接加工方便、撑架及时和适用性广等特点，可以在不阻断交通、不损伤路面、不改移管线和不影响居民等城市复杂环境下使用，因此具有安全、可靠、快速、环保、节资等优点。

1.10.2 技术指标

(1) 主要技术指标

- 1) 地下通道顶部覆盖土厚度 H 与其暗挖断面跨度 A （矩形底边宽度）之比 $H/A \leq 0.4$ 。
- 2) 管棚：钢管管径 90~1000mm，管壁厚度 8、12、14、16mm，长度为 24~150m；浆液水灰比宜为 0.8~1，当采用双液注浆时，水泥浆液与水玻璃的比例宜为 1:1。
- 3) 注浆加固渗透系数应不大于 $1.0 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 。
- 4) 型钢拱架间距 500~750mm。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《钢结构设计标准》GB 50017
- 2) 《城市超浅埋暗挖大断面地下通道支护技术规程》T/CECS 1383

1.10.3 适用范围

一般填土、粘土、粉土、砂土、卵石等第四纪地层中修建的地下通道或地下空间。

1.10.4 工程案例

在西北二环等山岭隧道工程中有应用广泛，经济效益显著。

1.11 复杂盾构法施工技术

1.11.1 技术内容

盾构法是一种全机械化的隧道施工方法，通过盾构外壳和管片支承四周围岩防止发生坍塌。同时在开挖面前方用切削装置进行土体开挖，通过出土机械外运出洞，靠千斤顶在后部加压顶进，并拼装预制混凝土管片，形成隧道结构的一种机械化施工方法。由于盾构施工技术对环境影响很小而被广泛地采用，得到了迅速的发展。

复杂盾构法施工技术为复杂地层、复杂地面环境条件下的盾构法施工技术，或大断面圆形（洞径大于 10m）、矩形或双圆等异形断面形式的盾构法施工技术。

选择盾构形式时，除考虑施工区段的围岩条件、地面情况、断面尺寸、隧道长度、隧道线路、工期等各种条件外，还应考虑开挖和衬砌等施工问题，必须选择安全且经济的盾构形式。盾构施工在遇到复杂地层、复杂环境或者盾构截面异形或者盾构截面大时，可以通过分析地层和环境等情况合理配置刀盘、采用合适的掘进模式和掘进技术参数、盾构姿态控制及纠偏技术、采用合适的注浆方式等各种技术要求来解决以上的复杂问题。盾构法施工是一个系统性很强的工程，其设计和施工技术方案的确定，要从各个方面综合权衡与比选，最终确定合理可行的实施方案。

盾构机主要是用来开挖土、砂、围岩的隧道机械，由切口环、支撑环及盾尾三部分组成。就断面形状可分为单圆形、复圆形及非圆形盾构。矩形盾构是横断面为矩形的盾构机，相比圆形盾构，其作业面小，主要用于距地面较近的工程作业。矩形盾构机的研制难度超过圆形盾构机。目前，我国使用的矩形盾构机主要有 2 个、4 个或 6 个刀盘联合工作。

1.11.2 技术指标

- (1) 《盾构隧道工程设计标准》GB/T 51438
- (2) 《盾构法隧道施工及验收规范》GB 50446

1.11.3 适用范围

- (1) 适用于各种复杂的工程地质和水文地质条件，从淤泥质土层到中风化和微风化岩层。
- (2) 盾构法施工隧道应有足够的埋深，覆土深度不宜小于 6m。隧道覆土太浅，盾构法施工难度较大；在水下修建隧道时，覆土太浅盾构施工安全风险较大。
- (3) 地面上必须有修建用于盾构进出洞和出土进料的工作井位置。
- (4) 隧道之间或隧道与其他建（构）筑物之间所夹土（岩）体加固处理的最小厚度为水平方向 1.0m，竖直方向 1.5m。
- (5) 从经济角度讲，盾构连续施工长度不宜小于 300m。

1.11.4 工程案例

太原市轨道交通 2 号线（车站）项目、引黄工程项目等。

1.12 非开挖埋管施工技术

非开挖埋管施工技术应用较多的主要有顶管法、定向钻进穿越技术以及大断面矩形通道掘进技术。

1.12.1 顶管法

1.12.1.1 技术内容

顶管法是在松软土层或富水松软地层中敷设管道的一种施工方法。随着顶管技术的不断发展与成熟，已经涌现了一大批超大口径、超长距离的顶管工程。混凝土顶管管径最大达到 4000mm，一次顶进最长距离也达到 2080m。随着大量超长距离、超大口径顶管工程的出现，也产生了相应的顶管施工新技术。

(1) 为维持超长距离顶进时的土压平衡，采用恒定顶进速度及多级顶进条件下螺旋机智能出土调速施工技术；该新技术结合分析确定的土压合理波动范围参数，使顶管机智能的适应土压变化，避免大的振动。

(2) 针对超大口径、超长距离顶进过程中顶力过大问题开发研制了全自动压浆系统，智能分配注浆量，有效进行局部减阻。

(3) 超长距离、多曲线顶管自动测量及偏离预报技术是迄今为止最为适合超长距离、曲线顶管的测量系统，该测量系统利用多台测量机器人联机跟踪测量技术，结合历史数据，对工具管导引的方向及幅度作出预报，极大地提高了顶进效率和顶管管道的质量。

(4) 预应力钢筒混凝土管顶管（简称 JPCCP）拼接技术，利用副轨、副顶、主顶全方位三维立体式进行管节接口姿态调整，能有效解决该种新型复合管材高精度接口的拼接难题。

1.12.1.2 技术指标

- (1) 《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268
- (2) 《给水排水工程顶管技术规程》CECS246
- (3) 《矩形顶管工程技术规程》T/CECS716
- (4) 《给水排水工程微型顶管技术规程》T/CECS 1113
- (5) 《热力机械顶管技术标准》CJJ/T 284

1.12.1.3 适用范围

(1) 特别适用于在具有粘性土、粉性土和砂土的土层中施工，也适用于在具有卵石、碎石和风化残积土的土层中施工。

(2) 适用于城区水污染治理的截污管施工，适用于液化气与天然气输送管、油管的施工以及动力电缆、宽频网、光纤网等电缆工程的管道施工。

(3) 适用于城市市政地下工程中穿越公路、铁路、建筑物下的综合通道及地铁人行通道施工。

1.12.1.4 工程案例

晋城龙湾公园地下雨污水管道项目、介休小水网项目（32 处过路顶管，共 1480m）等多项管线敷设或下穿项目采用此项技术。

1.12.2 定向钻进穿越技术

1.12.2.1 技术内容

根据入土点和出土点设计出穿越曲线，然后根据穿越曲线利用穿越钻机先钻出导向孔、再进行扩孔处理，回拖管线之后利用泥浆的护壁及润滑作用将已预制试压合格的管段进行回拖，完成管线的敷设施工。其新技术包括：

(1) 测量钻头位置的随钻测量系统，随钻测量系统的关键技术是在保证钻杆强度的前提下钻杆本体的密封以及钻杆内永久电缆连接处的密封。

(2) 具有孔底马达的全新旋转导向钻进系统，该系统有效解决了定子和轴承的寿命问题以及可以按照设定导向进行旋转钻进。

1.12.2.2 技术指标

(1) 《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268

(2) 《城市电力电缆定向钻进拖管工程设计规程》DBJ04/T321

(3) 《城市电力电缆定向钻进拖管工程施工及验收规程》DBJ04/T322-2016

1.12.2.3 适用范围

(1) 定向钻进穿越法适合的地层条件为砂土、粉土、粘性土、卵石等地况。

(2) 在不开挖地表面条件下，可广泛应用于供水、煤气、电力、电讯、天然气、石油等管线铺设施工。

1.12.2.4 工程案例

山西农谷园区乌马河大桥（穿越乌马河的污水管道）、介休小水网定向钻穿越（PE管 DN300~DN400 共 2251m，钢管 DN800 共 1096m）等工程施工采用了定向钻进穿越技术。

1.12.3 大断面矩形地下通道掘进施工技术

1.12.3.1 技术内容

利用矩形隧道掘进机在前方掘进，而后将分节预制好的混凝土结构件在土层中顶进、拼装形成地下通道结构的非开挖法施工技术。

矩形隧道掘进机在顶进过程中，通过调节后顶主油缸的推进速度或调节螺旋输送机的转速，以控制搅拌舱的压力，使之与掘进机所处地层的土压力保持平衡，保证掘进机的顺利顶进，并实现上覆土体的低扰动；在刀盘不断转动下，开挖面切削下来的泥土进入搅拌舱，被搅拌成软塑状态的扰动土；对不能软化的天然土，则通过加入水、粘土或其他物质使其塑化，搅拌成具有一定塑性和流动性的混合土，由螺旋输送机排出搅拌舱，再由专用输送设备排出；隧道掘进机掘进至规定行程，缩回主推油缸，将分节预制好的混凝土管节吊入并拼装，然后继续顶进，直至形成整个地下通道结构。

大断面矩形地下通道掘进施工技术施工机械化程度高，掘进速度快，矩形断面利用率高，非开挖施工地下通道结构对地面运营设施影响小，能满足多种截面尺寸的地下通道施工需求。

1.12.3.2 技术指标

地下通道最大宽度 6.9m；地下通道最大高度 4.3m。

1.12.3.3 适用范围

能适应 N 值在 10 以下的各类粘性土、砂性土、粉质土及流砂地层；具有较好的防水性能，最大覆土层深度为 15m；通过隧道掘进机的截面模数组合，可满足多种截面大小的地下通道施工需求。

1.12.3.4 工程案例

太原市城市轨道交通 1 号线一期工程（SGTJ-103 标段）项目等。

1.13 综合管廊施工技术

综合管廊，也可称之“共同沟”，是指城市地下管道综合走廊，它是为实施统一规划、设计、施工和维护，建于城市地下用于敷设市政公用管线的市政公用设施。采取综合管廊可实现各种管线以集约化方式敷设，可以使城市的地下空间资源得以综合利用。

综合管廊的施工方法主要分为明挖施工和暗挖施工。

1.13.1 明挖法

1.13.1.1 技术内容

明挖施工法主要有：放坡开挖施工；水泥土搅拌桩围护结构；板桩墙围护结构以及 SMW 工法等。明挖管廊的施工可采用现浇施工法与预制拼装施工法。现浇施工法可以大面积作业，将整个工程分割为多个施工标段，加快施工进度。预制拼装施工法要求有较大规模的预制厂和大吨位的运输及起吊设备，施工技术要求高，对接缝处施工处理有严格要求。

1.13.1.2 技术指标

- (1) 《城市综合管廊工程技术规范》GB50838-2015
- (2) 《城市综合管廊工程技术标准》DBJ04/T389
- (3) 《预制装配整体式混凝土城市综合管廊结构技术标准》DBJ04T444
- (4) 《城市综合管廊防水工程技术规程》T/CECS562
- (5) 《波纹钢综合管廊结构技术标准》T/CECS 883
- (6) 《城市综合管廊施工及验收规程》T/CECS 895
- (7) 《装配式钢结构地下综合管廊工程技术规程》T/CECS 977-2021
- (8) 《建筑地基基础工程施工规范》GB 51004
- (9) 《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202
- (10) 《混凝土结构工程施工规范》GB 50666
- (11) 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
- (12) 《钢结构工程施工规范》GB 50755
- (13) 《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205

1.13.1.3 适用范围

综合管廊主要用于城市统一规划、设计、施工及维护的市政公用设施工程，建于城市地下，用于敷设市政公用管线。

1.13.1.4 工程案例

山西科技创新城核心区管廊工程、运城市学苑路北延管廊工程、山西省昔阳地下综合管廊工程项目（预制安装）、长子县丹朱大街地下综合管廊工程等、晋中市晋中园区综合服务区地下综合管廊工程项目（预制安装）。

1.13.2 暗挖法

1.13.2.1 技术内容

暗挖施工法主要有盾构法、顶管法等。盾构法和顶管法都是采用专用机械构筑隧道的暗挖施工方法，在隧道的某段的一端建造竖井或基坑，以供机械安装就位。机械从竖井或基坑壁开孔处出发，沿设计轴线，向另一竖井或基坑的设计孔洞推进、构筑隧道，并有效地控制地面沉降。盾构法、顶管法施工具有自动化程度高，对环境影响小，施工安全，质量可靠，施工进度快等特点。

1.13.2.2 技术指标

- (1) 《盾构法隧道施工与验收规范》GB 50446
- (2) 《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268
- (3) 《热力机械顶管技术标准》CJJ/T 284

1.13.2.3 适用范围

综合管廊主要用于城市统一规划、设计、施工及维护的市政公用设施工程，建于城市地下，用于敷设市政公用管线。

1.13.2.4 工程案例

省内典型工程如太原武宿国际机场空港配套工程（晋中区域）PPP项目（机场配套市政道路工程）、山西转型综改示范区晋中开发区嘉源谷国际贸易港（谷瑞达）电力迁改工程等；省外典型工程如中铁十七局承建的南京市江北新区综合管廊二期工程、石家庄市塔北路综合管廊工程等。

1.14 强夯施工技术

1.14.1 超高能级强夯施工技术

1.14.1.1 技术内容

强夯法自上世纪70年代引入我国后，得以广泛应用，实践证明是一种效果明显、经济性好的处理方式，已成为我国最常用的地基处理方法之一。初期，强夯能级多限于 $1000\text{kN}\cdot\text{m}\sim 8000\text{kN}\cdot\text{m}$ ，后逐步扩展到 $15000\text{kN}\cdot\text{m}$ 。随着起重机械工业的发展和工程实践的需求，我省强夯领域着手研发超高能级强夯技术， $20000\text{kN}\cdot\text{m}\sim 25000\text{kN}\cdot\text{m}$ 单击能强夯施工技术已逐步应用到工程实践中，并取得显著的经济效益和社会效益，最大 $50000\text{kN}\cdot\text{m}$ 单击能强夯技术也已进入试验阶段。

超高能级强夯施工技术，处理后地基承载力显著提高，质量稳定、可靠，处理土层厚度可达20m以上。可以一次性解决高回填土的地基处理问题，缩短工期，降低工程造价。

超高能级强夯技术的广泛应用有利于节约能源和环境保护，是一种绿色地基处理技术，其进一步应用必然使强夯这一经济、高效的地基处理技术为我国工程建设事业做出更大的贡献。

1.14.1.2 技术指标

(1) 主要技术指标

强夯能级：20000kN·m~50000kN·m。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《建筑地基处理技术规范》JGJ 79
- 2) 《强夯地基处理技术规程》CECS 279

1.14.1.3 适用范围

适用于碎石土、砂土、非饱和细粒土、湿陷性黄土、素填土和杂填土等地基的处理，对含有良好透水性夹层的饱和细粒土地基应通过试验确定。

1.14.1.4 工程案例

弘盛通阳市郊区东埗 500MW/1000MWh 独立储能电站项目、晋中职业技术学院晋中新校区项目、呼北国家高速公路山西离石至隰县段工程 LJ1 标一分部填埋场处理、河津科创园项目、山西闽光新能源科技股份有限公司 156 万吨/年焦化升级改造项目、太原市卫生学校新校建设项目、重庆湘渝盐化股份有限公司煤气化节能技术升级改造项目、榆林洪宇环保再生资源有限公司 15 万吨年混醇综合利用项目强夯工程、宝武碳业兰州 10 万吨负极材料项目地基处理及桩基工程。

1.14.2 孔内深层超强夯法

1.14.2.1 技术内容

孔内深层超强夯法（SDDC）通过机具成孔（钻孔或冲孔），然后通过孔道在地基处理的深层部位进行填料，采用特殊形状（如锥形、橄榄形）的钢制重锤，利用重锤自由落体产生的动能，进行冲、砸、挤压的高压强、强挤密的夯击作业，可以破碎、压实，实现回填土颗粒的重新排列、固结，形成密实度较高的桩体，与被强夯挤密的桩间土一起，共同组成复合地基。

经孔内深层强夯法处理后的加固地基，地基承载力显著提高、桩基负摩阻力减小、整体均匀性好、质量稳定、可靠，处理深度可达 50 米以上。

孔内深层强夯施工机械化、自动化程度高，施工速度快、效率高；填料可就地取材，节约土地、保护生态环境；施工影响范围小，对周边环境要求低，具有广泛的实践性。

1.14.2.2 技术指标

(1) 主要技术指标

- 1) 夯锤一般重量 10t~15t，落距一般不小于 8m（根据现场施工效果调整）。
- 2) 形成的桩体直径 1.0m~3.0m，可根据不同的设计要求，采用不同的能级、桩径、间距，达到不同的挤密系数、挤密范围，从而调整复合地基承载力、整体刚度、工后沉降等。
- 3) 素土、砂土、建筑垃圾、工业废料等无污染性的材料均可作为填料使用，填料粒径不应超过 300mm，每次填料量与夯击次数通过现场试验确定。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《建筑地基处理技术规范》JGJ 79

2) 《孔内深层强夯法技术规程》CECS 197

1.14.2.3 适用范围

适用于深度较大的地基处理场地；适用于素填土、砂土、粉土、粘性土、湿陷性黄土、淤泥质土等地层的地基处理，特别是杂填土地基有较好的适用性。

1.14.2.4 工程案例

太原官山源著住宅小区项目（二期）北区、阳泉恒大帝景三期、阳泉市中心医院建设项目、阳泉荫营工业园苇泊基础设施提升项目等。

1.15 新型锚杆（索）施工技术

1.15.1 高压喷射扩大头锚杆技术

1.15.1.1 技术内容

采用高压流体在锚孔底部按设计长度对土体进行喷射切割扩孔并灌注水泥浆或水泥砂浆，形成直径较大的圆柱状注浆体的锚杆。高压喷射扩大头锚杆作为一种新型的锚固结构，施工工艺简单先进，一次成型，抗拔力大，位移小，可靠性高，安全性好，可以降低工程造价，符合我国节能降耗的产业政策方向。

高压喷射扩大头锚杆施工采用专用设备，钻机具备自动监测记录的功能，可较好地确保施工监测记录客观、真实、可靠，确保施工质量符合设计要求。

1.15.1.2 技术指标

(1) 主要技术指标

- 1) 扩大头长度宜为 2m~6m，应按计算确定；扩大头最小埋深不应小于 7m。
- 2) 锚杆水平间距不应小于 1.8m，竖向间距不应小于 3m，扩大头的水平净距不应小于扩大头直径的 1 倍，且不应小于 1.0m，竖向净距不应小于扩大头直径的 2 倍。
- 3) 扩大头直径 0.4m~1.6m，根据地层条件的确定，施工前应通过现场试验或试验性施工验证。
- 4) 扩孔的喷射压力不应小于 20MPa，喷嘴给进或提升速度可取（10~25）cm/min 喷嘴转速可取（5~15）r/min。连接高压注浆泵和钻机的输送高压喷射液体的高压管的长度不宜大于 50m。
- 5) 水泥浆液的水灰比应按工艺和设备要求确定，可取 1.0~1.5。
- 6) 锚固段注浆体的抗压强度不应小于 20MPa。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《高压喷射扩大头锚杆技术规程》JGJ/T 282
- 2) 《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB50086
- 3) 《岩土锚杆（索）技术规程》CECS22
- 4) 《预应力锚杆柔性支护技术规程》T/CECS 843
- 5) 《囊式扩体锚杆技术规程》T/CECS 1259
- 6) 《锚杆锚固质量无损检测技术规程》JGJ/T182
- 7) 《锚杆检测与监测技术规程》JGJ/T401-2017

8) 《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120

1.15.1.3 适用范围

高压喷射扩大头锚杆适用于工业与民用建筑、水利水电、市政工程、城市地铁轨道交通、地下空间资源开发等建设工程的基础抗浮、基坑支护和边坡支护工程。

锚杆扩大头一般设置于具有一定埋深的稍密或稍密以上的碎石土、砂土、粉土以及可塑或可塑状态以上的黏性土中，不应设置在有机质土、淤泥或淤泥质土、未经压实或改良的填土等地层。

1.15.1.4 工程案例

太原万马商务中心项目、引黄入晋工程联接段清徐原水直供工程（晋阳湖加压泵站）项目等。

1.15.2 可回收锚杆技术

1.15.2.1 技术内容

可回收锚杆可在锚使用功能完成后，通过预先安置在杆体上的特定装置和解锁行为使筋体脱离后拆除与回收其筋体的锚杆。根据解锁方式的不同可分为：机械锁型、熔解型、锚筋回转型等类型。

机械锁型可回收锚杆通过楔块、螺纹、插销等机械连接方式锁定，回收时筋体通过拉拔辅索、顶进旋转等一种或多种行为与解锁锚具脱开，可分为辅索拉拔解锁、顶进解锁、旋转解锁等类型；熔解型可回收锚杆通过通电加热熔解解锁锚具内夹片，从而实现筋体与解锁锚具脱开；锚筋回转型可回收锚杆，采用无粘结钢绞线成对布置，绕锚固端承载体弯曲成U形，回收时通过对筋体一端施加拉力，将筋体从锚杆内回收。

1.15.2.2 技术指标

(1) 主要技术指标

1) 基坑侧壁与地下结构外墙之间预留净空间应满足锚杆拆除所需的作业空间：基坑深度不超过12m时，预留净空间不宜小于1.2m；基坑深度超过12m时，预留净空间不宜小于1.4m。采用免千斤顶拆筋工艺时可适当减少。

2) 热熔解锁装置通电电压不应高于36V，热熔时间不宜少于45min。

(2) 技术规范/标准

1) 《可回收锚杆应用技术规程》TCECS 999

2) 《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120

1.15.2.3 适用范围

适用于对周边地下空间开发有严格要求的基坑、临时性边坡等项目，如邻近地铁规划线路上的拟建基坑项目。

1.15.2.4 工程案例

山投商务中心项目等。

1.16 咬合式排桩支护技术

1.16.1 技术内容

混凝土灌注桩相互咬合搭接形成的具有挡土和止水作用的连续桩墙，是一种新型的排桩结构；先行间隔施工的被咬合的混凝土灌注桩，称为Ⅰ序桩；后续施工并与相邻工序桩咬合的混凝土灌注桩，称为Ⅱ序桩。

Ⅰ序桩主要起截水作用，Ⅱ序桩主要起支挡作用，也起截水作用；因此，Ⅰ序桩一般为素混凝土桩，Ⅱ序桩为钢筋混凝土桩；部分情况下，Ⅰ序桩也可配置矩形钢筋笼。

咬合桩通过液压套管全长护壁，机械冲抓成孔工艺和超缓凝混凝土技术进行施工，先施工Ⅰ序桩，再施工Ⅱ序桩；Ⅱ序桩有软切割与硬切割两种施工方法，在相邻Ⅰ序桩混凝土初凝前对其切制成孔的施工方法为软切割，在相邻Ⅰ序桩混凝土终凝后对其切制成孔的施工方法为硬切割。采用软切割时，Ⅰ序桩要使用超缓凝混凝土技术，以便Ⅱ序桩可以顺利成孔施工。

咬合桩机械设备噪音低、无震动、无泥浆污染近似于干法取土，对周围环境影响小；对沉降及变形控制较好，由于钢套管的保护，可靠近建筑物、地下管线施工。全套管的跟管钻进，能顺利穿越饱和含水地层，有效的防止了孔内流沙、涌泥，并可进行嵌岩，施工较为安全、快捷，能够保证成桩质量。

随着施工设备技术的进步，近年来出现了咬合桩施工工艺与旋挖机械相结合的做法，可在一定程度上降低施工造价，同时缩短施工工期。

1.16.2 技术指标

(1) 主要技术指标

1) 导墙应采用现浇钢筋混凝土结构，混凝土强度不应低于 C20；导墙顶面宜高出地面 100mm，厚度宜为 300mm~500mm，宽度应大于 1m。

2) 咬合式排桩的桩径宜采用 800mm、1000mm、1200mm 三种规格，Ⅰ序桩、Ⅱ序桩桩径一般相同。设计咬合宽度不宜小于 200mm，考虑施工偏差后的桩底最小咬合宽度不应小于 50mm。

3) 采用软切割方式时，超缓凝混凝土缓凝时间不应小于 60h；混凝土的 3d 强度值不应大于 3MPa，最终强度应满足设计要求；干孔灌注时的坍落度宜为 120mm±20mm，水下灌注时宜为 180mm±20mm。

4) 咬合式排桩硬切割施工的钢套管宜采用双壁钢套管，外侧钢板厚度不应小于 15mm，内侧钢板厚度不应小于 12mm。套管接头材料宜采用高强度材料。

5) 咬合式排桩垂直度的允许偏差应为 1/300。

(2) 技术规范/标准

1) 《咬合式排桩技术标准》JGJ/T 396

2) 《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120

1.16.3 适用范围

主要用于基坑与边坡支护，适用于各类地层、地下水位高的场地。

支护结构与止水帷幕合二为一，占地空间小，同时，施工作业空间小，适用于周边环境复杂、场地狭窄或用地紧张的项目使用。

1.16.4 工程案例

太原东山国有工矿棚户区改造项目、太原市滨河体育中心项目、山西转型综合改革示范区 051-2 地块停车场项目等。

2 钢筋与混凝土技术

2.1 高耐久性混凝土技术

2.1.1 技术内容

高耐久性混凝土是通过对原材料的质量控制、优选及施工工艺的优化控制，合理掺加优质矿物掺合料或复合掺合料，采用高效（高性能）减水剂制成的具有良好工作性、满足结构所要求的各项力学性能、且耐久性优异的混凝土。

(1) 原材料要求

1) 水泥宜采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，且应符合 GB 175 的规定；盐冻融环境下不宜采用含石灰石粉的水泥；有预防混凝土碱-骨料反应的宜采用碱含量低于 0.6% 的水泥；化学腐蚀环境下的宜采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥同时复合使用优质的矿物掺合料，其中低温硫酸盐腐蚀环境下不宜采用含石灰石粉的水泥或掺合料。强度等级不宜低于 42.5 级；不得选用立窑水泥；水泥比表面积宜小于 350m²/kg，不应大于 380m²/kg；水泥熟料中的铝酸三钙含量宜低于 5%；水泥中的氯离子含量不宜大于 0.025%。

2) 骨料应满足《高性能混凝土用骨料》JG/T 568 中相关规定：粗骨料的压碎值≤10%，坚固性指标≤8%，含泥量和泥块含量分别不宜大于 1.0% 和 0.2%，宜采用分级供料的连续级配，吸水率≤1.0%，松堆空隙率不应大于 43%，氯化物（以氯离子质量计）≤0.02%，且无潜在碱骨料反应危害；细骨料细度模数应为 2.3-3.2，坚固性指标≤8%，吸水率≤2.0%，氯化物（以氯离子质量计）≤0.02%，松堆空隙率不应大于 44%，且无潜在碱骨料反应危害。

3) 采用优质矿物掺合料或复合掺合料是配制高耐久性混凝土的特点之一。优质矿物掺合料主要包括硅灰、粉煤灰、磨细矿渣粉及天然沸石粉等，所用的矿物掺合料应符合国家现行有关标准，且硅灰不低于 SF85 级、粉煤灰不低于 II 级、磨细矿渣粉不低于 S95 级，对于沿海港口、滨海盐田、盐渍土地区，可添加防腐阻锈剂、防腐流变剂等。矿物掺合料等量取代水泥的最大量宜为：硅粉≤10%，粉煤灰≤30%，矿渣粉≤50%，天然沸石粉≤10%，复合掺合料≤50%。

4) 外加剂的品种和掺量应根据混凝土结构设计、施工、结构特点和工程所处环境条件等要求确定，性能应符合 GB 8076 和 GB 50119 的规定，且 28d 收缩率比不宜大于 110%；外加剂应与水泥、掺合料、砂石等材料具有良好的相容性。

5) 混凝土拌合水应符合 JGJ 63 的规定，宜为饮用水。

(2) 配合比要求

1) 水胶比 (W/B) ≤0.38。

2) 混凝土配制强度可按以下公式计算：

$$f_{cu,0} \geq f_{cu,k} + 1.645\sigma$$

式中： $f_{cu,0}$ ——混凝土配制强度 (MPa)；

$f_{cu,k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值 (MPa)；

σ ——强度标准差，无统计数据时，预拌混凝土可按《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 的规定取值。

(3) 工作性要求

根据工程特点和施工条件，确定合适的坍落度或扩展度指标、和易性良好、坍落度经时损失满足施工要求，具有良好的充填模板和通过钢筋间隙的性能。

(4) 力学及变形性能要求

混凝土强度等级宜 \geq C40；体积稳定性好，弹性模量与同强度等级的普通混凝土基本相同。

(5) 耐久性要求

可根据具体工程情况，按照《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476、《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193 及上述技术内容中的耐久性技术指标进行控制；对于极端严酷环境和重大工程，宜针对性地开展耐久性专题研究。

耐久性试验方法宜采用《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 和《预防混凝土碱骨料反应技术规范》GB/T 50733 规定的方法。

混凝土结构的耐久性，应根据工程所处环境条件，按《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 进行耐久性设计，考虑的环境劣化因素及采取措施有：

1) 抗冻害耐久性要求：

- (a) 根据不同冻害地区确定最大水胶比。
- (b) 不同冻害地区的抗冻耐久性指数 DF 或抗冻等级。
- (c) 受除冰盐冻融循环作用时，应满足单位面积剥蚀量的要求。
- (d) 处于有冻害环境的，应掺入引气剂，引气量应达到 3%~5%。

2) 抗盐害耐久性要求：

- (a) 根据不同盐害环境确定最大水胶比。
- (b) 抗氯离子的渗透性、扩散性，宜以 56d 龄期电通量或 84d 氯离子迁移系数来确定。一般情况下，56d 电通量宜 \leq 800C，84d 氯离子迁移系数宜 \leq $2.5 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ 。
- (c) 混凝土表面裂缝宽度符合规范要求。

3) 抗硫酸盐腐蚀耐久性要求：

(a) 用于硫酸盐侵蚀较为严重的环境，水泥熟料中的 C_3A 不宜超过 5%，宜掺加优质的掺合料并降低单位用水量，中抗硫酸盐水泥 14d 线性膨胀率不大于 0.060%，高抗硫酸盐水泥 14d 线性膨胀率不大于 0.040%。

(b) 根据不同硫酸盐腐蚀环境，确定最大水胶比、混凝土抗硫酸盐侵蚀等级。

(c) 混凝土抗硫酸盐等级宜不低于 KS120。

4) 对于腐蚀环境中的水下灌注桩，为解决其耐久性和施工问题，宜掺入具有防腐和流变性能的矿物外加剂，且完成验证性试验，合格后方可使用。如防腐流变剂、防腐阻锈剂等。

5) 抑制碱—骨料反应有害膨胀的要求：

- (a) 混凝土中碱含量 $<3.0\text{kg}/\text{m}^3$ 。
- (b) 在含碱环境或高湿度条件下，应采用非碱活性骨料。
- (c) 对于重要工程，应采取抑制碱骨料反应的技术措施。
- (6) 结构混凝土中水溶性氯离子最大含量不应超过《混凝土结构通用规范》GB 55008 表 3.1.8 的规定值。

2.1.2 技术指标

- (1) 《高性能混凝土用骨料》JG/T 568
- (2) 《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T50476
- (3) 《混凝土耐久性混凝土结构耐久性评定标准》CECS220
- (4) 《严酷环境混凝土结构耐久性设计标准》T/CECS 1203
- (5) 《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T50082
- (6) 《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T193
- (7) 《混凝土结构通用规范》GB 55008

2.1.3 适用范围

高耐久性混凝土适用于对耐久性要求高的各类混凝土结构工程，如高寒冷地区工程、地铁与车站、运城及雁北地区盐渍土环境工程等，市政桥梁及设计使用年限 100 年的混凝土结构，以及其他严酷环境中的工程。

2.1.4 工程案例

太原轨道交通 2 号线一期工程项目、太原武宿国际机场三期综合交通中心工程项目、太原市博物馆项目、呼延水库项目等。

2.2 高强高性能混凝土技术

2.2.1 技术内容

高强高性能混凝土（简称 HS-HPC）是具有较高的强度（一般强度等级不低于 C60）且具有高工作性、高体积稳定性和高耐久性的混凝土（“四高”混凝土），属于高性能混凝土（HPC）的一个类别。其特点是不仅具有更高的强度且具有良好的耐久性，多用于超高层建筑底层柱、墙和大跨度梁，可以减小构件截面尺寸增大使用面积和空间，并达到更高的耐久性。

超高性能混凝土（UHPC）是一种超高强（抗压强度可达 150MPa 以上）、高韧性（抗折强度可达 16MPa 以上）、耐久性优异的新型超高强高性能混凝土，是一种组成材料颗粒的级配达到最佳的水泥基复合材料。用其制作的结构构件不仅截面尺寸小，而且单位强度消耗的水泥、砂、石等资源少，具有良好的环境效应。

(1) 原材料要求

1) 胶凝材料

HS-HPC 混凝土及 UHPC 混凝土因其内部结构密实，孔结构更加合理，通常具有更好的耐久性，

为满足抗硫酸盐腐蚀性，宜掺加优质的掺合料，或选择低 C_3A 含量（ $<8\%$ ）的水泥。

HS-HPC 混凝土及 UHPC 混凝土不宜采用低于 II 级的粉煤灰。

2) 细骨料

HS-HPC 混凝土及 UHPC 混凝土用砂的含泥量和泥块含量分别不应大于 2.0% 和 0.5%。

3) 粗骨料

HS-HPC 混凝土及 UHPC 混凝土用粗骨料的含泥量和泥块含量分别不应大于 0.5% 和 0.2%。

4) 外加剂

HS-HPC 混凝土及 UHPC 混凝土中外加剂应与水泥、掺合料、砂石等材料具有良好的相容性。

其技术指标应满足《混凝土外加剂》GB 8076、《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 及《混凝土结构通用规范》GB 55008 的规定。（《高性能混凝土技术条件》GB/T 41054）

(2) 配合比要求

HS-HPC 的水胶比一般不大于 0.34，胶凝材料用量一般为 $480\sim 600\text{kg/m}^3$ ，硅灰掺量不宜大于 10%，其他优质矿物掺合料掺量宜为 25%~40%，砂率宜为 35%~42%，宜采用聚羧酸系高性能减水剂。UHPC 的水胶比一般不大于 0.22，胶凝材料用量一般为 $700\sim 1000\text{kg/m}^3$ 。超高性能混凝土宜掺加高强微细钢纤维，钢纤维的抗拉强度不宜小于 2000MPa，体积掺量不宜小于 1.0%，宜采用聚羧酸系高性能减水剂。

HS-HPC 的配制强度可按公式 $f_{cu,0} \geq 1.15f_{cu,k}$ 计算。

UHPC 的配制强度可按公式 $f_{cu,0} \geq 1.1f_{cu,k}$ 计算。

(3) 放射性要求

HS-HPC 混凝土及 UHPC 混凝土用原材料应检测其放射性，其放射性应满足《建筑材料放射性核素限量》GB 6566 的有关规定。

(4) 氯离子要求

HS-HPC 混凝土及 UHPC 混凝土中水溶性氯离子最大含量不应超过《混凝土结构通用规范》GB 55008 表 3.1.8 的规定值。

(5) 工作性要求

新拌 HS-HPC 最主要的特点是粘度大，为降低混凝土的粘性，宜掺入能够降低混凝土粘性且对混凝土强度无负面影响的外加剂，如降粘型外加剂、降粘增强剂等。UHPC 的水胶比更低，粘性更大，宜掺入能降低混凝土粘性的功能型外加剂，如降粘增强剂等。

混凝土拌合物的技术指标主要是坍落度、扩展度和倒置坍落度筒排空时间等。对于 HS-HPC，混凝土坍落度不宜小于 220mm，扩展度不宜小于 500mm，倒置坍落度筒排空时间宜为 5~20s，混凝土经时损失不宜大于 30mm/h。

(6) 自收缩及其控制要求

1) 自收缩与对策

当 HS-HPC 浇筑成型并处于绝湿条件下，由于水泥继续水化，消耗毛细管中的水分，使毛细管

失水，产生毛细管张力（负压），引起混凝土收缩，称之自收缩。通常水胶比越低，胶凝材料用量越大，自收缩会越严重。

对于 HS-HPC 一般应控制粗细骨料的总量不宜过低，胶凝材料的总量不宜过高；通过掺加钢纤维可以补偿其韧性损失，但在氯盐环境中，钢纤维不太适用；采用外掺 5% 饱水超细沸石粉的方法，或者内掺吸水树脂类养护剂、外覆盖养护膜以及其他充分的养护措施等，可以有效的控制 HS-HPC 的自收缩。

UHPC 一般通过掺加钢纤维等控制收缩，提高韧性；胶凝材料的总量不宜过高。

2) 收缩的测定方法

参考标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 进行。

(7) 当标准差大于 15%，应采用钻取混凝土芯样。

2.2.2 技术指标

- (1) 《高强混凝土应用技术规程》JGJ/T281
- (2) 《高强混凝土强度检测技术规程》JGJ/T294
- (3) 《高强混凝土结构技术规程》CECS104
- (4) 《高性能混凝土应用技术规程》CECS207
- (5) 《高性能混凝土应用技术规程》DBJ04/T303
- (6) 《高性能混凝土配合比设计规程》DBJ04/T338
- (7) 《高性能混凝土技术条件》GB/T 41054
- (8) 《超高性能混凝土试验方法标准》T/CECS 864
- (9) 《高性能混凝土评价标准》JGJ/T385
- (10) 《建筑工程超高性能混凝土应用技术规程》T/CECS 1216
- (11) 《超高性能混凝土（UHPC）技术要求》T/CECS10107
- (12) 《公路机制砂高性能混凝土技术规程》T/CECS G:K50
- (13) 《高强高性能混凝土用矿物外加剂》GB/T 18736

2.2.3 适用范围

HS-HPC 适用于高层与超高层建筑的竖向构件、预应力结构、桥梁结构等混凝土强度要求较高的结构工程。

UHPC 由于高强高韧性的特点，可用于装饰预制构件、人防工程、军事防爆工程、桥梁工程等。

2.2.4 工程案例

目前该技术在我省高层、超高层建筑中应用广泛。如太原中海商务广场项目、信达国际金融中心项目、华润昆仑御项目、融创殷家堡项目、丽华天钻项目、中铁花语堂项目、华润万象城项目。在汾石高速（隔离栅立柱）、太原市动物园国宝馆（UHPC 屋面）等项目中也有应用。

2.3 自密实混凝土技术

2.3.1 技术内容

自密实混凝土（Self-Compacting Concrete，简称 SCC）具有高流动性、均匀性和稳定性，浇筑时无需或仅需轻微外力振捣，能够在自重作用下流动并能充满模板空间的混凝土，属于高性能混凝土的一种。自密实混凝土技术主要包括：自密实混凝土的流动性、填充性、保塑性控制技术；自密实混凝土配合比设计。

自密实混凝土拌合物应具有良好的工作性，包括流动性、填充性和保水性等。通过骨料的级配控制、优选掺合料以及高效（高性能）减水剂来实现混凝土的高流动性、高填充性。其测试方法主要有坍落扩展度和扩展时间试验方法、J 环扩展度试验方法、离析率筛析试验方法、粗骨料振动离析率跳桌试验方法等。

（1）原材料要求

1) 胶凝材料

水泥选用较稳定的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥并应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 的规定；掺合料是自密实混凝土不可缺少的组分之一。一般常用的掺合料有粉煤灰、磨细矿渣、硅灰、粒化高炉矿渣粉、石灰石粉等，也可掺入复合掺合料，复合掺合料宜满足《混凝土用复合掺合料》JG/T 486 中易流型或普通型 I 级的要求；矿渣粉应符合国家现行标准《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046 的规定；硅灰应符合现行国家标准《高强高性能混凝土用矿物外加剂》GB/T 18736 的规定。当采用其他掺合料时，应通过充分试验进行验证。胶凝材料总量宜控制在 $400 \text{ kg/m}^3 \sim 550 \text{ kg/m}^3$ 。

2) 细骨料

细骨料宜采用级配 II 区的中砂，其含泥量、泥块含量应符合《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283 中的规定；细骨料其他性能及试验方法应符合《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 以及《混凝土质量控制标准》GB 50164 的要求。

3) 粗骨料

粗骨料宜采用连续级配或 2 个及以上单粒级配搭配使用，粗骨料的粒径一般以小于 20mm 为宜，尽可能选用圆形且不含或少含针、片状颗粒的骨料；对于配筋密集的竖向构件、复杂形状的结构以及有特殊要求的工程，粗骨料的公称粒径不宜大于 16mm；粗骨料的针片状颗粒含量、含泥量及泥块含量应符合《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283 中的规定，其他性能及试验方法应符合《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 以及《混凝土质量控制标准》GB 50164 的要求。

4) 外加剂

自密实混凝土具备的高流动性、抗离析性、间隙通过性和填充性这四个方面都需要以外加剂为主的手段来实现。减水剂宜优先采用高性能减水剂。技术指标满足《混凝土外加剂》GB 8076、《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 等，对减水剂的主要要求为：与水泥的相容性好，减水率大，并具有缓凝、保塑的特性。

（2）配合比要求

自密实混凝土配合比设计与普通混凝土有所不同，有全算法、固定砂石法等。配合比设计时，应注意以下几点要求：

- 1) 单方混凝土用水量宜为 160kg~180kg。
- 2) 水胶比根据粉体的种类和掺量有所不同，不宜大于 0.45。
- 3) 根据单位体积用水量和水胶比计算得到单位体积粉体量，单位体积粉体量宜为 0.16~0.23。
- 4) 自密实混凝土单位体积浆体量宜为 0.32~0.40。

(3) 氯离子要求

自密实混凝土用于结构中水溶性氯离子最大含量不应超过《混凝土结构通用规范》GB 55008 表 3.1.8 的规定值。

结构混凝土中采用的骨料具有碱活性或潜在碱活性时，应采取措施抑制碱骨料反应，并应验证抑制措施的有效性。

(4) 自密实混凝土早期收缩控制技术要求

由于自密实混凝土水胶比较低、胶凝材料用量较高，导致混凝土自收缩较大，应采取优化配合比，加强养护等措施，预防或减少自收缩引起的裂缝。

(5) 自密实混凝土施工要求

1) 对于泵送浇筑施工的工程，应根据构件形状与尺寸、构件的配筋等情况，确定混凝土坍落扩展度。

2) 对于从顶部浇筑的无配筋或配筋较少的混凝土结构物（如平板）以及无需水平长距离流动的竖向结构物（如承台和一些深基础），混凝土坍落扩展度应满足 550~655mm。

3) 对于一般的普通钢筋混凝土结构以及混凝土结构坍落扩展度应满足 660~755mm。

4) 对于配筋密集、结构截面较小的竖向构件、形状复杂、或有特殊要求的工程，混凝土坍落扩展度应满足 760~850mm。

5) 对于配筋密集的结构或有较高混凝土外观性能要求的结构，扩展时间 T_{500} (s) 应不大于 2s。其他技术指标应满足《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283 的要求。

2.3.2 技术指标

- (1) 《高流态自密实混凝土应用技术规程》DBJ04-254
- (2) 《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T283
- (3) 《自密实混凝土应用技术规程》T/CECS 203
- (4) 《水工自密实混凝土技术规程》DL/T 5720
- (5) 《混凝土结构通用规范》GB 55008

2.3.3 适用范围

(1) 自密实混凝土适用于浇筑量大，浇筑深度和高度大的工程结构；配筋密集、结构复杂、薄壁、钢管混凝土等施工空间受限制的工程结构。

(2) 工程进度紧、环境噪声受限制或普通混凝土不能实现的工程结构。

2.3.4 工程案例

太原中海国际中心项目、山钢名著项目、和信摩尔购物中心项目、太原轨道交通 2 号线一期工程等。

2.4 再生骨料及轻骨料混凝土技术

2.4.1 再生骨料混凝土技术

2.4.1.1 技术内容

掺用再生骨料配制而成的混凝土称为再生骨料混凝土，简称再生混凝土。它使用建筑废弃物回收生产的再生骨料作为主要的配制材料。这些再生骨料经过合理的配比和混合，可以制备出与普通混凝土性能相当，但更环保、经济的再生骨料混凝土。随着我国环境压力严峻、建材资源面临日益紧张的局势，如何寻求可用的非常规骨料作为工程建设混凝土用骨料的有效补充已迫在眉睫，再生骨料成为可行选择之一。

(1) 再生骨料质量控制技术

再生骨料质量应符合国家标准《混凝土用再生粗骨料》GB/T 25177 或《混凝土和砂浆用再生细骨料》GB/T 25176 的规定。再生骨料混凝土的拌合物性能、力学性能、长期性能和耐久性能、强度检验评定及耐久性评定等，应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 的规定。

(2) 再生骨料普通混凝土配制技术

设计配制再生骨料普通混凝土时，可参照行业标准《再生骨料应用技术规程》JGJ/T 240 相关规定进行，且经过试配验证后，可用于配制垫层等非结构混凝土或强度等级较低的结构混凝土。

(3) 配置再生骨料混凝土需要注意的事项

- 1) 确保再生骨料混凝土的质量符合相关规定，以保证混凝土的性能和工程的安全性。
- 2) 在设计配制再生骨料混凝土时，要考虑到再生骨料的特性，选择适当的配比和施工工艺，以确保混凝土的性能和施工效率。
- 3) 在使用再生骨料混凝土进行工程建设时，要注意再生骨料的级配和颗粒形状，以确保混凝土的力学性能和耐久性能。

2.4.1.2 技术指标

(1) 主要技术指标

1) 仅掺用 I 类再生粗骨料配制的混凝土，其受压和受拉弹性模量可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定取值；其他类别再生骨料配制的再生骨料混凝土，其弹性模量宜通过试验确定，在缺乏试验条件或技术资料时，可按表 2.4.1 的规定取值。

表 2.4.1 再生骨料普通混凝土弹性模量

强度等级	C15	C20	C25	C30	C35	C40
弹性模量 ($\times 10^4$ N/mm ²)	1.83	2.08	2.27	2.42	2.53	2.63

2) 再生骨料混凝土的温度线膨胀系数、比热容和导热系数宜通过试验确定。当缺乏试验条件或

技术资料时，可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《民用建筑热工设计规范》GB 50176 的规定取值。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《再生骨料混凝土应用技术标准》DBJ04/T 426
- 2) 《再生骨料透水混凝土应用技术规程》CJJ/T253
- 3) 《再生骨料应用技术规程》JGJ/T240
- 4) 《混凝土质量控制标准》GB 50164
- 5) 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 6) 《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476
- 7) 《混凝土结构通用规范》GB 55008

2.4.1.3 适用范围

我省目前实际生产应用的再生骨料大部分为 II 类及以下再生骨料，宜用于配制 C40 及以下强度等级的非预应力普通混凝土。再生骨料混凝土的应用范围广泛，包括各种工程建设，如住宅、桥梁、水利工程、道路等。特别是在当前环境压力严峻、建材资源面临日益紧张的局势下，再生骨料混凝土的应用具有巨大的社会效益和经济效益。

2.4.1.4 工程案例

山西潇河产业园区潇河北路建设工程等。

2.4.2 轻骨料混凝土技术

2.4.2.1 技术内容

轻骨料混凝土指用轻骨料、轻砂或普通砂、胶凝材料、外加剂和水配制而成的干表观密度不大于 1950Kg/m³ 的混凝土。具有轻质、保温、耐火、变形性能良好、弹性模量较低、抗震性能好的优点。预拌轻骨料混凝土应符合国家现行标准《预拌混凝土》GB/T 14902 和《轻骨料混凝土应用技术标准》JGJ/T 12 等的规定；轻骨料混凝土的结构设计应与现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 配套执行。

(1) 原材料要求

1) 在轻骨料混凝土中加入外加剂和矿物掺合料时应符合现行国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 和《矿物掺合料应用技术规范》GB/T 51003。

2) 外加剂的品种和掺量应通过试验确定，与水泥等胶凝材料的适应性应满足设计与施工对混凝土性能的要求。

3) 矿物掺合料的品种和掺量应通过试验确定。考虑对混凝土的和易性、强度、耐久性等方面的影响并符合现行国家标准的有关规定。

4) 选择轻骨料时应考虑耐久性、稳定性和有害杂质含量等因素。

(2) 配合比要求

1) 轻骨料混凝土的强度等级按照混凝土立方体抗压标准强度应划分为：LC5.0、LC7.5、LC10、

LC15、LC20、LC25、LC30、LC35、LC40、LC45、LC50、LC55、LC60。

2) 轻骨料吸水率大, 严格控制水胶比。

3) 轻骨料混凝土结构设计应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和行业标准《轻骨料混凝土应用技术标准》JGJ/T 12。

4) 轻骨料混凝土配合比设计应符合配制强度、密度、拌合物性能、耐久性能的规定, 并应满足设计对轻骨料混凝土的其他性能要求。

5) 轻骨料混凝土配合比中的轻粗骨料应考虑种类、技术性质、吸水率等因素, 宜采用同一品种的轻骨料; 当掺用另一品种轻粗骨料时, 其掺用比例应通过试验确定。

6) 轻骨料混凝土配制强度应按下列式计算:

$$f_{cu,o} \geq f_{cu,k} + 1.645\sigma$$

式中: $f_{cu,o}$ ——轻骨料混凝土配制强度 (N/mm²);

$f_{cu,k}$ ——轻骨料混凝土立方体抗压强度标准值 (N/mm²), 取混凝土的设计强度等级值;

σ ——轻骨料混凝土强度标准差 (N/mm²)。

(3) 轻骨料预湿要求

1) 对泵送施工, 应充分预湿; 对非泵送施工, 可根据工程情况确定预湿程度;

2) 对吸水率不大于 5% 的轻骨料, 当有可靠经验时, 可不进行预湿;

3) 当气温低于 5℃ 时, 不宜进行预湿;

4) 拌制轻骨料混凝土前, 预湿的轻骨料宜充分沥水, 并且采取表面覆盖措施。

(4) 耐久性要求

轻骨料混凝土耐久性应按照《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476、《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193 技术内容中的耐久性技术指标进行控制。

(5) 轻骨料混凝土不宜冬期施工。

(6) 轻骨料混凝土结构的抗震设计应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 和《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。

2.4.2.2 技术指标

(1) 《轻骨料混凝土应用技术标准》JGJ/T 12

(2) 《混凝土结构设计规范》GB 50010

(3) 《混凝土质量控制标准》GB 50164

(4) 《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476

(5) 《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193

(6) 《混凝土结构通用规范》GB 55008

2.4.2.3 适用范围

轻骨料混凝土应用于工业与民用建筑及其他工程, 可减轻结构自重、节约材料用量、提高构件运输和吊装效率, 减少地基荷载及改善建筑物功能, 特别适用于高层及大跨度建筑。在住宅建筑中

用于墙体、地板、屋顶等部位的建造，可以有效地提高建筑物的保温隔热性能，降低能耗。用于道路、桥梁、隧道交通工程建设中可以有效地提高结构的抗震性和耐久性。总的来说，轻骨料混凝土由于其轻质、高强、保温、耐火、抗震等性能，在各类建筑结构中都有广泛的应用。

2.4.2.4 工程案例

新建阳煤集团设计研发中心、山西基因诊断及药物研发项目等。

2.5 混凝土裂缝控制技术

2.5.1 技术内容

混凝土裂缝控制与结构设计、材料选择和施工工艺等多个环节相关。结构设计主要涉及结构形式、配筋、构造措施及超长混凝土结构的裂缝控制技术等，对于结构荷载分布、地基岩土分布、基础形式变化较大处设置沉降缝，可作为控制手段；材料方面主要涉及混凝土原材料控制和优选、配合比设计优化，影响混凝土收缩变形主要因素有：水灰比、水泥及胶材用量、振捣、构件表面系数、环境条件等；施工方面主要涉及施工缝与后浇带、混凝土浇筑、水化热温升控制、综合养护技术等。

(1) 结构设计对超长结构混凝土的裂缝控制要求

超长混凝土结构如不在结构与工程施工阶段采取有效措施，将会引起不可控制的非结构性裂缝，严重影响结构外观、使用功能和结构的耐久性。超长结构产生非结构性裂缝的主要原因是混凝土收缩、环境温度变化在结构上引起的温差变形与下部竖向结构的水平约束刚度的影响。

为控制超长结构的裂缝，应在结构设计阶段采取有效的技术措施。主要应考虑以下几点：

1) 对超长结构宜进行温度应力验算，温度应力验算时应考虑下部结构水平刚度对变形的约束作用、结构合拢后的最大温升与温降及混凝土收缩带来的不利影响，并应考虑混凝土结构徐变对减少结构裂缝的有利因素与混凝土开裂对结构截面刚度的折减影响。

2) 为有效减少超长结构的裂缝，对大柱网公共建筑可考虑在楼盖结构与楼板中采用预应力技术，楼盖结构的框架梁应采用有粘接预应力技术，也可在楼板内配置构造无粘接预应力钢筋，建立预压力，以减小由于温度降温引起的拉应力，对裂缝进行有效控制。除了施加预应力以外，还可适当加强构造配筋、采用纤维混凝土等用于减小超长结构裂缝的技术措施。

3) 设计时应应对混凝土结构施工提出要求，如对大面积底板混凝土浇筑时采用分仓法施工、对超长结构采用设置后浇带与加强带，以减少混凝土收缩对超长结构裂缝的影响。当大体积混凝土置于岩石地基上时，宜在混凝土垫层上设置滑动层，以达到减少岩石地基对大体积混凝土的约束作用。

(2) 原材料要求

1) 水泥宜采用符合现行国家标准规定的普通硅酸盐水泥或硅酸盐水泥；大体积混凝土宜采用低热矿渣硅酸盐水泥或中、低热硅酸盐水泥，应满足《中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥》GB/T 200 的要求，也可使用硅酸盐水泥同时复合大掺量的矿物掺合料，其中水泥应满足《通用硅酸盐水泥》GB 175 的要求。水泥比表面积宜小于 $350\text{m}^2/\text{kg}$ ，水泥碱含量应小于 0.6%；不应使用温度高于 60°C 的水泥拌制混凝土。

2) 应采用中粗砂, 应满足《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ/T 52 的要求, 细度模数宜在 2.6-3.0, 砂的坚固性指标不应大于 10%; 机制砂应按石粉的亚甲蓝指标和石粉的流动比指标控制石粉含量; 混凝土结构用海砂必须经过净化处理, 氯离子含量应满足《混凝土结构通用规范》GB 55008 要求。

3) 应采用连续级配粗骨料, 应满足《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ/T 52 的要求, 粗骨料的堆积密度宜大于 $1500\text{kg}/\text{m}^3$, 紧密堆积密度的空隙率宜小于 40%。骨料不宜直接露天堆放、暴晒, 宜分级堆放, 堆场上方宜设罩棚。高温季节, 骨料使用温度不宜高于 28°C 。

4) 根据需要, 可掺加短钢纤维或合成纤维的混凝土裂缝控制技术措施。合成纤维应满足《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221 的要求, 主要是抑制混凝土早期塑性裂缝的发展, 钢纤维应满足《钢纤维混凝土》JG/T 472 的要求, 钢纤维的掺入能显著提高混凝土的抗拉强度、抗弯强度、抗疲劳特性及耐久性; 纤维的长度、长径比、表面性状、截面性能和力学性能等应符合国家有关标准的规定, 并根据工程特点和制备混凝土的性能选择不同的纤维。

5) 宜采用高性能减水剂, 当采用聚羧酸系高性能减水剂时, 应满足《聚羧酸系高性能减水剂》JG/T 223、《混凝土外加剂》GB 8076 的要求, 减水率 $\geq 25\%$, 坍落度经时损失充分考虑现场施工, 并根据不同季节和不同施工工艺分别选用标准型、缓凝型或防冻型产品。高性能减水剂引入混凝土中的碱含量(以 $\text{Na}_2\text{O}+0.658\text{K}_2\text{O}$ 计)应小于 $0.3\text{kg}/\text{m}^3$; 引入混凝土中的氯离子含量应小于 $0.02\text{kg}/\text{m}^3$; 引入混凝土中的硫酸盐含量(以 Na_2SO_4 计)应小于 $0.2\text{kg}/\text{m}^3$ 。

6) 采用的粉煤灰矿物掺合料, 应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596 的规定。粉煤灰的级别不宜低于 II 级, 且粉煤灰的需水量比不宜大于 100%, 烧失量宜小于 5%。

7) 采用的矿渣粉矿物掺合料, 应符合《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046 的规定。矿渣粉的比表面积宜小于 $450\text{m}^2/\text{kg}$, 流动度比应大于 95%, 28d 活性指数不宜小于 95%。

(3) 配合比要求

1) 混凝土配合比根据原材料品质、混凝土强度等级、混凝土耐久性以及施工工艺对工作性的要求, 通过计算、试配、调整等步骤选定。

2) 配合比设计应符合现行国家标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55、《高强混凝土应用技术规程》JGJ/T 281, 应控制胶凝材料用量, C60 以下混凝土最大胶凝材料用量不宜大于 $550\text{kg}/\text{m}^3$, C60、C65 混凝土胶凝材料用量不宜大于 $560\text{kg}/\text{m}^3$, C70、C75、C80 混凝土胶凝材料用量不宜大于 $580\text{kg}/\text{m}^3$, 自密实混凝土胶凝材料用量不宜大于 $600\text{kg}/\text{m}^3$; 混凝土最大水胶比不宜大于 0.45。结构混凝土中水溶性氯离子最大含量不应超过《混凝土结构通用规范》GB 55008 表 3.1.8 的规定值。

3) 对于大体积混凝土, 应采用大掺量矿物掺合料技术, 矿渣粉和粉煤灰宜复合使用。

4) 纤维混凝土的配合比设计应满足《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221 的要求。

5) 配制的混凝土除满足抗压强度、抗渗等级等常规设计指标外, 还应考虑满足抗裂性指标要求。

(4) 大体积混凝土设计龄期要求

大体积混凝土应符合现行国家标准《大体积混凝土施工标准》GB 50496, 宜采用长龄期强度作

为配合比设计、强度评定和验收的依据。基础大体积混凝土强度龄期可取为 60d（56d）或 90d；柱、墙大体积混凝土强度等级不低于 C80 时，强度龄期可取为 60d（56d）。

（5）施工要求

1) 大体积混凝土施工前，宜对施工阶段混凝土浇筑体的温度、温度应力和收缩应力进行计算，确定施工阶段混凝土浇筑体的温升峰值、里表温差及降温速率的控制指标，制定相应的温控技术措施。

一般情况下，温控指标宜符合下列要求：夏（热）期施工时，混凝土入模前模板和钢筋的温度以及附近的局部气温不宜高于 40℃，混凝土入模温度不宜高于 30℃，混凝土浇筑体最大温升值不宜大于 50℃；在覆盖养护期间，混凝土浇筑体的表面以内（40~100mm）位置处温度与浇筑体表面的温度差值不应大于 25℃；结束覆盖养护后，混凝土浇筑体表面以内（40-100mm）位置处温度与环境温度差值不应大于 25℃；浇筑体养护期间内部相邻二点的温度差值不应大于 25℃；混凝土浇筑体的降温速率不宜大于 2.0℃/d。

基础大体积混凝土测温点设置和柱、墙、梁大体积混凝土测温点设置及测温要求应符合《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的要求。

2) 超长混凝土结构施工前，应按设计要求采取减少混凝土收缩的技术措施，当设计无规定时，宜采用下列方法：

分仓法施工：对大面积、大厚度的底板可采用留设施工缝分仓浇筑，分仓区段长度不宜大于 40m，地下室侧墙分段长度不宜大于 16m；分仓浇筑间隔时间不应少于 7d，跳仓接缝处按施工缝的要求设置和处理。

后浇带施工：对超长结构一般应每隔 40~60m 设一宽度为 700~1000mm 的后浇带，缝内钢筋可采用直通或搭接连接；后浇带的封闭时间不宜少于 45d；后浇带封闭施工时应清除缝内杂物，采用强度提高一个等级的无收缩或微膨胀混凝土进行浇筑。

3) 在高温季节浇筑混凝土时，混凝土入模温度应低于 30℃，应避免模板和新浇筑的混凝土直接受阳光照射；混凝土入模前模板和钢筋的温度以及附近的局部气温均不应超过 40℃；混凝土成型后应及时覆盖，并应尽可能避开炎热的白天浇筑混凝土。

4) 在相对湿度较小、风速较大的环境下浇筑混凝土时，应采取适当挡风措施，防止混凝土表面失水过快，此时应避免浇筑有较大暴露面积的构件；雨期施工时，必须有防雨措施。

5) 混凝土的拆模时间除考虑拆模时的混凝土强度外，还应考虑拆模时的混凝土温度不能过高，以免混凝土表面接触空气时降温过快而开裂，更不能在此时浇凉水养护；混凝土内部开始降温以前以及混凝土内部温度最高时不得拆模。

一般情况下，结构或构件混凝土的里表温差大于 25℃、混凝土表面与大气温差大于 20℃时不宜拆模；大风或气温急剧变化时不宜拆模；在炎热和大风干燥季节，应采取逐段拆模、边拆边盖的拆模工艺。

6) 混凝土综合养护技术措施。对于高强混凝土，由于水胶比较低，可采用混凝土内掺养护剂的技术措施；对于竖向等结构，为避免间断浇水导致混凝土表面干湿交替对混凝土的不利影响，可采取外包节水养护膜的技术措施，保证混凝土表面的持续湿润。

7) 用于提高抗裂、耐磨性能的纤维混凝土的施工应满足《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221

的规定。

8) 地下室-1、-2层及构筑物首层混凝土施工应按照《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 规定要求进行,避免产生竖向裂缝。

(6) 混凝土抗裂性能的检测评价方法

- 1) 圆环抗裂试验,见《混凝土结构耐久性设计与施工指南》CCES 01 附录 A1。
- 2) 平板诱导试验,见《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082。
- 3) 混凝土收缩试验,见《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082。
- 4) 混凝土限制膨胀率试验,见《补偿收缩混凝土应用技术规程》JGJ/T 178。
- 5) 混凝土自生体积变形试验,见《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082。
- 6) 混凝土绝热温升试验,见《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080。
- 7) 抗裂剂限制膨胀率、抗压强度试验,见《混凝土膨胀剂》GB 23439。
- 8) 抗裂剂水化热降低率试验,见《水泥水化热测定方法》GB/T 12959。
- 9) 纤维混凝土轴心抗压强度和弹性模量试验,见《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081。
- 10) 抗疲劳性能试验,见《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082。
- 11) 抗冲击性能试验,见《水泥混凝土和砂浆用合成纤维》GB/T 21120。
- 12) 纤维混凝土的收缩和徐变性能试验,见《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082。

2.5.2 技术指标

- (1) 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- (2) 《混凝土质量控制标准》GB 50164
- (3) 《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476
- (4) 《混凝土结构工程施工规范》GB 50666
- (5) 《大体积混凝土施工标准》GB50496
- (6) 《建筑工程裂缝防治技术规程》JGJ/T317
- (7) 《防裂抗渗复合材料在混凝土中应用技术规程》T/CECS474
- (8) 《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T221-2010
- (9) 《补偿收缩混凝土应用技术规程》JGJ/T 178
- (10) 《钢纤维混凝土》JG/T472
- (11) 《纤维混凝土结构技术规程》CECS38
- (12) 《混凝土抑温抗裂防水剂应用技术规程》T/CECS 1239
- (13) 《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193
- (14) 《混凝土结构通用规范》GB 55008

2.5.3 适用范围

适用于各种混凝土结构工程，特别是工业与民用建筑、隧道、码头、桥梁及高层、超高层等超长混凝土结构、各类地下抗裂混凝土结构、地下超大、超厚体积构件以及有抗裂抗渗要求的水池等。

2.5.4 工程案例

太原轨道交通 1 号线一期工程、太原轨道交通 2 号线一期工程、山西博物院项目、山西大剧院项目、山西图书馆项目、汾河隧道工程、汾河景区河道治理工程、乡宁县新医院建设工程项目、长治县大医院医疗综合大楼及配套工程建设项目、太原工人文化宫新（扩）建工程、山西齿科医院门诊研究综合楼项目、阳泉职业技术学院新校区教学服务中心项目、潇河智能制造企业加速器项目（1#研发办公服务平台基础）等。

2.6 超高泵送混凝土技术

2.6.1 技术内容

超高泵送混凝土技术一般是指泵送高度超过 120m 的现代混凝土泵送技术。近年来，随着经济和社会发展，泵送高度超过 150m 的建筑工程越来越多。超高泵送混凝土技术已成为超高层建筑施工中的关键技术之一。超高泵送混凝土技术是一项综合技术，包含混凝土制备技术、泵送参数计算、泵送设备选定与调试、泵管布设和泵送过程控制等内容。

（1）原材料要求

- 1) 水泥：高 C_2S 含量的水泥，以提高混凝土的流动性和减少塌落度损失。
- 2) 粗骨料：宜选用连续级配，应控制针片状含量，而且要考虑最大粒径与泵送管径之比，对于高强混凝土，应控制最大粒径范围。
- 3) 细骨料：宜选用中砂，因为细砂会使混凝土变得粘稠，而粗砂容易使混凝土离析。
- 4) 矿物掺合料：采用性能优良的矿物掺合料，如矿粉、I 级粉煤灰、I 级复合掺合料或易流型复合掺合料、硅灰等。
- 5) 外加剂：高强泵送混凝土宜优先选用能降低混凝土粘性的矿物外加剂和化学外加剂，矿物外加剂可选用降粘增强剂等，化学外加剂可选用降粘型减水剂，可使混凝土获得良好的工作性；减水剂应优先选用减水率高、保塑时间长的聚羧酸系减水剂，必要时掺加引气剂，减水剂应与水泥和掺合料有良好的相容性。

（2）混凝土的制备技术要求

合理调整混凝土的配合比，确保其具有较好的可泵性。通过原材料优选、配合比优化设计和工艺措施，使制备的混凝土具有较好的和易性，流动性高，虽粘度较小，但无离析泌水现象，因而有较小的流动阻力，易于泵送。

（3）泵送参数及设备的选择和泵管的布设要求

根据建筑物的结构、高度和施工条件，计算泵送过程中的压力、流量等参数，为泵送机械选定和泵管布设提供依据。泵送设备的选定应参照《混凝土泵送施工技术规程》JGJ/T 10 中规定的技术要求，首先要进行泵送参数的验算，包括混凝土输送泵的型号和泵送能力，水平管压力损失、垂直

管压力损失、特殊管的压力损失和泵送效率等。对泵送设备与泵管的要求为：

- 1) 宜选用大功率、超高压的 S 阀结构混凝土泵，其混凝土出口压力满足超高层混凝土泵送阻力要求。
- 2) 应选配耐高压、高耐磨的混凝土输送管道。
- 3) 应选配耐高压管卡及其密封件。
- 4) 应采用高耐磨的 S 管阀与眼镜板等配件。
- 5) 混凝土泵基础必须浇筑坚固并固定牢固，以承受巨大的反作用力，混凝土出口布管应有利于减轻泵头承载。
- 6) 输送泵管的地面水平管折算长度不宜小于垂直管长度的 1/5，且不宜小于 15m。
- 7) 输送泵管应采用承托支架固定，承托支架必须与结构牢固连接，下部高压区应设置专门支架或混凝土结构以承受管道重量及泵送时的冲击力。
- 8) 在泵机出口附近设置耐高压的液压或电动截止阀。
- 9) 泵管布设，合理规划泵管布设路线，尽量减少泵送过程中的压力损失，确保混凝土能够顺利泵送到指定位置。

(4) 泵送机械调试及泵送施工的过程控制要求

选择合适的混凝土泵车和泵送设备，对其进行调试，确保其在超高泵送过程中能够稳定、高效地工作。应对到场的混凝土进行坍落度、扩展度和含气量的检测，根据需要对混凝土入泵温度和环境温度进行监测，如出现不正常情况，及时采取应对措施；泵送过程中，要实时检查泵车的压力变化、泵管有无渗水、漏浆情况以及各连接件的状况等，发现问题及时处理。泵送施工控制要求为：

- 1) 合理组织，连续施工，避免中断。
- 2) 严格控制混凝土流动性及其经时变化值。
- 3) 根据泵送高度适当延长初凝时间。
- 4) 严格控制高压条件下的混凝土泌水率。
- 5) 采取保温或冷却措施控制管道温度，防止混凝土摩擦、日照等因素引起管道过热。
- 6) 弯道等易磨损部位应设置加强安全措施。
- 7) 泵管清洗时应妥善回收管内混凝土，避免污染或材料浪费。泵送和清洗过程中产生的废弃混凝土，应按预先确定的处理方法和场所，及时进行妥善处理，并不得将其用于浇筑结构构件。

(5) 工作性要求

1) 混凝土拌合物的工作性良好，无离析泌水，坍落度宜大于 180mm，混凝土坍落度损失不应影响混凝土的正常施工，经时损失不宜大于 30mm/h，混凝土倒置坍落筒排空时间宜小于 10s。泵送高度超过 300m 的，扩展度宜大于 550mm；泵送高度超过 400m 的，扩展度宜大于 600mm；泵送高度超过 500m 的，扩展度宜大于 650mm；泵送高度超过 600m 的，扩展度宜大于 700mm。

2) 混凝土的输送排量、输送压力和泵管的布设要依据准确的计算，并制定详细的实施方案，进行模拟高程泵送试验。

(6) 硬化混凝土物理力学性能符合设计要求。

(7) 其他技术指标应符合和的规定。

2.6.2 技术指标

- (1) 《混凝土泵送施工技术规程》JGJ/T 10
- (2) 《混凝土防冻泵送剂》JG/T377
- (3) 《混凝土泵送剂》JC473
- (4) 《混凝土结构工程施工规范》GB 50666
- (5) 《混凝土结构通用规范》GB 55008

2.6.3 适用范围

超高泵送混凝土技术适用于泵送高度大于 120m 的各种超高层建筑混凝土泵送作业，长距离混凝土泵送作业参照超高泵送混凝土技术。超高泵送混凝土技术在超高层建筑中的应用具有重要意义，可以降低施工成本、提高施工效率，并有助于实现绿色施工。随着超高泵送混凝土技术的不断发展和完善，其在超高层建筑领域的应用将更加广泛。

2.6.4 工程案例

太原华润大厦项目、山西国际会议中心项目、信达国际金融中心项目、太原中海寰宇项目等。

2.7 高延性混凝土技术

2.7.1 技术内容

高延性混凝土由胶凝材料、骨料、外加剂和合成纤维等原材料组成，按一定比例加水搅拌、成型以后，具有高延性、高韧性、高抗裂性能和高耐损伤能力、高耐久性的特种混凝土。高延性混凝土在限制结构裂缝，提高结构耐久性、抗震性能、抗剪性能和耐损伤性能等方面具有明显的优越性，在建设工程领域具有广泛的应用前景。配制高延性混凝土，可采用大量的矿物掺合料取代水泥，经纤维与活性掺合料有效复合，不仅强化了混凝土材料的各项关键性能，还大幅度地提高了材料与结构的耐久性，对节约资源和能源，保护生态环境具有重要意义。

(1) 原材料要求

1) 高延性混凝土可采用合成纤维作为增韧材料。合成纤维应为单丝纤维或粗纤维等。合成纤维应为无毒纤维。合成纤维主要性能的试验方法应符合现行国家标准《水泥混凝土和砂浆用合成纤维》GB/T 21120 的规定。

2) 水泥应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175、《道路硅酸盐水泥》GB 13693 或《抗硫酸盐硅酸盐水泥》GB 748 的相关规定。

3) 骨料应符合现行《建设用砂》GB/T 14684 的规定，并宜采用中砂和细砂，骨料最大粒径不宜大于 3mm。

4) 外加剂应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076 和《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 的规定，并不得使用含氯盐的外加剂。

5) 粉煤灰和粒化高炉矿渣粉等矿物掺合料应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》

GB/T 1596 和《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046 的规定。

6) 拌合用水应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的规定。

7) 高延性混凝土拌合物应具有良好的和易性，不得离析、泌水，纤维不得聚团，并应满足设计和施工要求。

(2) 配合比要求

1) 高延性混凝土的水胶比不宜大于 0.50，砂胶比不宜大于 0.8。

2) 高延性混凝土的胶凝材料用量可按下表选取，并应经试配确定。

表 2.7.1 高延性混凝土的最小胶凝材料用量

最大水胶比	0.50	0.45	0.40	≤0.35
最小胶凝材料用量 (kg/m ³)	300	320	340	360

3) 外加剂和矿物掺合料的品种、掺量应经过试配确定、矿物掺合料掺量宜为 20%~40%。

4) 水泥用量不宜大于 450kg/m³。

5) I 类高延性混凝土中纤维的体积率不宜小于 1.0%，II 类高延性混凝土中纤维的体积率不宜小于 0.5%。

6) 高延性混凝土的配合比设计以抗压强度作为计算指标，配制抗压强度应符合下列规定：

$$f_{cu, o}^d \geq f_{cu, k}^d + 1.645\sigma$$

式中： $f_{cu, o}^d$ ——高延性混凝土的配制抗压强度 (N/mm²)；

$f_{cu, k}^d$ ——高延性混凝土立方体抗压强度标准值 (N/mm²)；

σ ——高延性混凝土抗压强度的标准差，宜通过试验确定；靠试验依据时，可取 $0.08f_{cu, k}^d$ (N/mm²)。

(3) 氯离子要求

高延性混凝土拌合物中水溶性氯离子最大含量不应超过《混凝土结构通用规范》GB 55008 表 3.1.8 的规定值。

结构混凝土中采用的骨料具有碱活性或潜在碱活性时，应采取措施抑制碱骨料反应，并应验证抑制措施的有效性。

(4) 耐久性要求

高延性混凝土的耐久性能应符合《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476、《混凝土耐久性试验评定标准》JGJ/T 193 技术内容中的耐久性技术指标要求。

(5) 高延性混凝土施工要求

1) 当无可搅拌好的高延性混凝土在现场施工过程中不应离析和泌水。

2) 高延性混凝土搅拌完成后宜在 40min 内用完，当施工现场温度大于 30℃ 时，应适当缩短使用时间。不应使用超过初凝时间的高延性混凝土。现场浇筑高延性混凝土构件时，高延性混凝土拌合物的倾落自由高度不应超过 1.5m。当倾落高度大于 1.5m 时，应加串筒、斜槽、溜管等辅助工具。

高延性混凝土工程验收应符合国家现行标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204、《屋面工程质量验收规范》GB 50207、《建筑地面工程施工质量验收规范》GB 50209、《地下工程防水技术规范》GB 50108 和《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/TF 30 的规定。

2.7.2 技术指标

- (1) 《高延性混凝土加固技术规程》DBJ04/T397
- (2) 《农村房屋高延性混凝土加固技术标准 DBJ04/T438
- (3) 《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476
- (4) 《混凝土耐久性试验评定标准》JGJ/T 193
- (5) 《混凝土结构通用规范》GB 55008

2.7.3 适用范围

(1) 高延性混凝土适用于对混凝土材料的韧性、抗裂性能和耐损伤能力等有较高要求的工程，对不同力学性能需求的混凝土工程，考虑到高温下可能导致高延性混凝土的延性降低，高延性混凝土适用的环境温度不应超过 80℃。

(2) 高延性混凝土可应用于砌体结构及混凝土结构加固、结构关键节点、耗能构件等诸多领域，且目前在既有建筑加固领域已经有较成熟的研究和应用。

2.7.4 工程案例

左云县公共建筑节能改造工程、汾阳市贾家庄农房抗震加固工程等。

2.8 高强钢筋应用技术

2.8.1 热轧高强钢筋应用技术

2.8.1.1 技术内容

热轧高强钢筋是指国家标准《钢筋混凝土用钢第 2 部分：热轧带肋钢筋》GB 1499.2 的规定：按屈服强度特征值分为 400MPa、500MPa、600MPa 级的普通热轧带肋钢筋（HRB）以及细晶粒热轧带肋钢筋（HRBF400、HRBF500）。

通过加钒（V）、铌（Nb）等合金元素微合金化的其牌号为 HRB；通过控轧和控冷工艺，使钢筋金相组织的晶粒细化，其牌号为 HRBF；还有通过高温余热淬水、处理，其牌号为 RRB。这三种高强钢筋，在材料力学性能、施工适应性以及可焊性方面，以微合金化钢筋（HRB）为最可靠；细晶粒钢筋（HRBF）其强度指标与延性性能都能满足要求，可焊性一般；而余热处理钢筋其延性、可焊性、机械连接性能、施工适应性、加工适应性均较差。

在大型公共建筑中，普遍采用大柱网与大跨度框架梁，若对这些大跨度梁采用 400MPa、500MPa、600MPa 级高强钢筋，在满足最小配筋率的前提下，可有效减少配筋数量，并方便施工。

在梁柱构件设计中，有时由于受配置钢筋数量的影响，为保证钢筋间的合适间距，不得不加大构件的截面宽度，导致梁柱截面混凝土用量增加。若采用高强钢筋，可显著减少配筋根数，使梁柱截面尺寸得到合理优化。

400MPa、500MPa、600MPa 级高强钢筋的技术指标应符合国家标准《钢筋混凝土用钢第 2 部分：热轧带肋钢筋》GB 1499.2 的规定，钢筋设计强度及施工应用指标应符合《混凝土结构设计规范》GB 50010、《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204、《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 及其他相关标准。

按《混凝土结构设计规范》GB 50010 规定，400MPa、500MPa 级高强钢筋的直径为 6~50mm；400MPa 级钢筋的屈服强度标准值为 400N/mm²，抗拉强度标准值为 540 N/mm²，抗拉与抗压强度设计值为 360N/mm²；500MPa 级钢筋的屈服强度标准值为 500N/mm²，抗拉强度标准值为 630N/mm²；抗拉与抗压强度设计值为 435N/mm²。

按《600MPa 热轧带肋高强钢筋应用技术规程》T/CCIAT 0016 规定，600MPa 级高强钢筋的直径为 6~50mm；600MPa 级钢筋的屈服强度标准值为 600N/mm²，抗拉强度标准值为 730N/mm²；抗拉强度设计值为 520N/mm²，抗压强度设计值为 490N/mm²；对抽芯受压构件，HRB600、HRBF600E 钢筋的抗压强度设计值应取 400N/mm²；当用作受剪、受扭、受冲切承载力计算时，横向钢筋的抗拉强度设计值应取 360N/mm²。

对有抗震设防要求结构，并用于按一、二、三级抗震等级设计的框架和斜撑构件，其纵向受力普通钢筋对强屈比、屈服强度超强比与钢筋的延性有更进一步的要求，规范规定应满足下列要求：

钢筋的抗拉强度实测值与屈服强度实测值的比值不应小于 1.25。

钢筋的屈服强度实测值与屈服强度标准值的比值不应大于 1.30。

钢筋的最大力下总伸长率不应小于 9%。（而 HRB600 规定为 7.5%）。

有抗震要求的，钢筋应采用后缀带“E”热轧带肋钢筋。

2.8.1.2 技术指标

(1) 《钢筋混凝土用钢 第 2 部分：热轧带肋钢筋》GB/T1499.2

(2) 《600MPa 热轧带肋高强钢筋应用技术规程》T/CCIAT 0016

2.8.1.3 适用范围

应优先使用 400MPa 级高强钢筋，将其作为混凝土结构的主力配筋，并主要应用于梁与柱的纵向受力钢筋、高层剪力墙或大开间楼板的配筋。充分发挥 400MPa 级钢筋高强度、延性好的特性，在保证与提高结构安全性能的同时比 335MPa 级钢筋明显减少配筋量。

对于 500MPa、600MPa 级高强钢筋应积极推广，并主要应用于高层建筑柱、大柱网或重荷载梁的纵向钢筋，也可用于超高层建筑的结构转换层与大型基础筏板等构件，以取得更好的减少钢筋用量效果。

《钢筋混凝土用钢第 1 部分：热轧光圆钢筋》GB/T 1499.1 中用 HPB300 钢筋取代 HPB235 钢筋，并以 300MPa 级钢筋作为辅助配筋。就是要在构件的构造配筋、一般梁柱的箍筋、普通跨度楼板的配筋、墙分布钢筋等采用 300MPa 级钢筋。其中 HPB300 光圆钢筋适宜用于小构件梁柱的箍筋及楼板与墙的焊接网片。

对于生产工艺简单、价格便宜的余热处理工艺的高强钢筋，如 RRB400 钢筋，因其延性、可焊性、机械连接的加工性能都较差，《混凝土结构设计规范》GB 50010 建议用于对于钢筋延性较低的

结构构件与部位，如大体积混凝土的基础底板、楼板及次要的结构构件中，做到物尽其用。

2.8.1.4 工程案例

目前 HRB400E 钢筋已广泛应用于超高层建筑、市政工程等各种工程中。如山西潇河新城 3 号酒店项目、太原武宿国际机场 3 号航站楼项目、山西国际会议中心项目、乡宁县新医院项目、长治县人民医院医疗综合大楼及配套工程建设项目、太原工人文化宫新（扩）建工程项目、钢筋在中北大学仪器科学大楼项目、新能源化工研究院项目等。

2.8.2 高延性高强冷轧带肋钢筋应用技术

2.8.2.1 技术内容

CRB600H 高延性高强冷轧带肋钢筋（简称“CRB600H 高强钢筋”）是国内近年来开发的新型冷轧带肋钢筋。CRB600H 高延性高强钢筋是在传统 CRB550 冷轧带肋钢筋的基础上，经过多项技术改进，从产品性能、产品质量、生产效率、经济效益等多方面均有显著提升。CRB600H 高延性高强钢筋的最大优势是以普通 Q235 盘条为原材，在不添加任何微合金元素的情况下，通过冷轧、在线热处理、在线性能控制等工艺生产，生产线实现了自动化、连续化、高速化作业。

CRB600H 高延性高强钢筋与 HRB400 钢筋售价相差很大，但其强度更高，应用后可节约钢材达 10%；吨钢应用可节约合金 19kg，节约 9.7kg 标准煤。目前 CRB600H 高强钢筋在河南、河北、湖北、湖南、安徽、山东、重庆等十几个省市建筑工程中广泛应用，节材及综合经济效果十分显著。

2.8.2.2 技术指标

（1）主要技术指标

- 1) CRB600H 高延性高强钢筋的直径范围为 5~12mm。
- 2) 抗压强度设计值为 380N/mm²，屈服强度标准值为 540N/mm²，极限强度标准值 600N/mm²，断后伸长率 14%，最大力均匀伸长率 5%，抗拉强度设计值为 430N/mm²（比 HRB400 钢筋的 360N/mm² 提高 19%）。

（2）技术规范/标准

- 1) 《CRB600H 高延性钢筋应用技术规程》CECS 458
- 2) 《CRB600H 高延性高强钢筋应用技术标准》DBJ04/T374
- 3) 《高延性冷轧带肋钢筋》YB/T 4260
- 4) 《冷轧带肋钢筋》GB 13788
- 5) 《冷轧带肋钢筋混凝土结构技术规程》JGJ 95

2.8.2.3 适用范围

CRB600H 高延性高强钢筋适用于工业与民用房屋和一般构筑物中，具体范围为：板类构件中的受力钢筋（强度设计值取 430N/mm²）；剪力墙竖向、横向分布钢筋及边缘构件中的箍筋，不包括边缘构件的纵向钢筋；梁柱箍筋。由于 CRB600H 钢筋的直径范围为 5~12mm，且强度设计值较高，其在各类板、墙类构件中应用具有较好的经济效益。

2.8.2.4 工程案例

主要应用于各类公共建筑、住宅及高铁项目中。如裕和嘉园项目、东润喜悦城项目、太钢红楼地块建设项目、国投晋湖雅澜项目、太忻一体化经济区（太原区）配套基础设施建设项目（二期）、太原市真武路西项目等。

2.9 高强钢筋直螺纹连接技术

2.9.1 技术内容

直螺纹机械连接是高强钢筋连接采用的主要方式，按照钢筋直螺纹加工成型方式分为剥肋滚轧直螺纹、直接滚轧直螺纹和镦粗直螺纹，其中剥肋滚轧直螺纹、直接滚轧直螺纹属于无切削螺纹加工，镦粗直螺纹属于切削螺纹加工。钢筋直螺纹加工设备按照直螺纹成型工艺主要分为剥肋滚轧直螺纹成型机、直接滚轧直螺纹成型机、钢筋端头镦粗机和钢筋直螺纹加工机，并已研发了钢筋直螺纹自动化加工生产线；按照连接套筒型式主要分为标准型套筒、加长丝扣型套筒、变径型套筒、正反丝扣型套筒；按照连接接头型式主要分为标准型直螺纹接头、变径型直螺纹接头、正反丝扣型直螺纹接头、加长丝扣型直螺纹接头、可焊直螺纹套筒接头和分体直螺纹套筒接头。高强钢筋直螺纹连接应执行行业标准《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 的有关规定，钢筋连接套筒应执行行业标准《钢筋机械连接用套筒》JG/T 163 的有关规定。

(1) 钢筋直螺纹丝头加工。钢筋螺纹加工工艺流程是首先将钢筋端部用砂轮锯、专用圆弧切断机或锯切机平切，使钢筋端头平面与钢筋中心线基本垂直；其次用钢筋直螺纹成型机直接加工钢筋端头直螺纹，第三使用镦粗机对钢筋端部镦粗后用直螺纹加工机加工镦粗直螺纹；直螺纹加工完成后用通端螺纹塞规、止端螺纹塞规、光面卡规或游标卡尺检验丝头直径是否符合要求；最后用钢筋螺纹保护帽对检验合格的直螺纹丝头进行保护。

(2) 直螺纹连接套筒设计、加工和检验验收应符合行业标准《钢筋机械连接用套筒》JG/T 163 的有关规定。

(3) 钢筋直螺纹连接。高强钢筋直螺纹连接工艺流程是用连接套筒先将带有直螺纹丝头的两根待连接钢筋使用管钳或安装扳手施加一定拧紧力矩旋拧在一起，然后用专用扭矩扳手校核拧紧力矩，使其达到行业标准《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 规定的各规格接头最小拧紧力矩值的要求，并且使钢筋丝头在套筒中央位置相互顶紧，标准型、正反丝型、异径型接头安装后的单侧外露螺纹不宜超过 2p，对无法对顶的其他直螺纹接头，应附加锁紧螺母、顶紧凸台等措施紧固。

(4) 钢筋直螺纹加工设备应符合行业标准《钢筋直螺纹成型机》JG/T 146 的有关规定。

(5) 钢筋直螺纹接头应用、接头性能、试验方法、型式检验和施工检验验收，应符合行业标准《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 的有关规定。并符合下列要求：

1) 接头设计应满足强度及变形性能的要求。

2) 接头性能应包括单向拉伸、高应力反复拉压、大变形反复拉压和疲劳性能；应根据接头的性能等级和应用场合选择相应的检验项目。

3) 接头应根据极限抗拉强度、残余变形、最大力下总伸长率以及高应力和大变形条件下反复拉伸性能,分为 I 级、II 级、III 级三个等级,其性能应分别符合行业标准《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 的规定。

4) 对直接承受重复荷载的结构构件,设计应根据钢筋应力幅限值提出接头的抗疲劳性能要求。当设计无专门要求时,剥肋滚轧直螺纹钢筋接头、镦粗直螺纹钢筋接头和带肋钢筋套筒挤压接头的疲劳应力幅限值不应小于现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 中普通钢筋疲劳应力幅限值的 80%。

5) 套筒实测受拉承载力不应小于被连接钢筋受拉承载力标准值的 1.1 倍。套筒用于有疲劳性能要求的钢筋接头时,其抗疲劳性能应符合 JGJ 107 的规定。

6) 套筒原材料宜采用牌号为 45 号或用牌号为 40Cr 的圆钢、结构用无缝钢管。外观及力学性能应符合现行国家标准《优质碳素结构钢》GB/T 699、《结构用无缝钢管》GB/T 8162、《无缝钢管尺寸、外形、重量及允许偏差》GB/T 17395 或《合金结构钢》GB 3077 的规定。

7) 套筒原材料采用 45 号钢冷拔或冷轧精密无缝钢管时,应进行退火处理,并应符合现行国家标准《冷拔或冷轧精密无缝钢管》GB/T 3639 的相关规定,其抗拉强度不应大于 800MPa,断后伸长率 A 不宜小于 14%。冷拔或冷轧精密无缝钢管的原材料应采用牌号为 45 号管坯钢,并符合行业标准《优质碳素结构钢热轧和锻制圆管坯》YB/T5222 的规定。

8) 采用各类冷加工工艺成型的套筒,宜进行退火处理,且套筒设计时不应利用冷加工提高的强度减少套筒横截面面积。需要与型钢等钢材焊接的套筒,其原材料应满足可焊性的要求。

9) 套筒原材料可选用经接头型式检验证明符合现行行业标准《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 中接头性能规定的其他钢材。

10) 机械连接施工前应进行工艺检验,机械连接应检查有效的型式检验报告。

高强钢筋直螺纹连接接头的技术性能指标应符合行业标准《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 和《钢筋机械连接用套筒》JG/T 163 的规定。

2.9.2 技术指标

- (1) 《钢筋机械连接件》GB/T 42796
- (2) 《钢筋机械连接用套筒》JG/T 163
- (3) 《钢筋连接用直螺纹套筒》T/CECS 10287
- (4) 《钢筋机械连接件试验方法》GB/T 42901
- (5) 《钢筋机械连接技术规程》JGJ107
- (6) 《钢筋连接用直螺纹套筒》T/CECS 10287

2.9.3 适用范围

高强钢筋直螺纹连接可广泛适用于直径 12~50mm HRB400、HRB500、HRB600 级钢筋各种方位的同异径连接,如粗直径、不同直径钢筋水平、竖向、环向连接,弯折钢筋、超长水平钢筋的连接,两根或多根固定钢筋之间的对接,钢结构型钢柱与混凝土梁主筋的连接等。

2.9.4 工程案例

钢筋直螺纹连接已应用于超高层建筑、市政工程等各种工程中。如山西潇河新城3号酒店项目、太原武宿国际机场项目、山西国际会议中心项目、太原工人文化宫新（扩）建工程、山西齿科医院门诊研究综合楼项目等。

2.10 钢筋焊接网应用技术

2.10.1 技术内容

《钢筋混凝土用钢第3部分：钢筋焊接网》GB/T 1499.3-3.1：钢筋焊接网是将具有相同或不同直径的纵向钢筋和横向钢筋分别以一定间距排列且互成直角、全部交叉点均用电阻点焊方法焊接在一起的网片。

《钢筋混凝土用钢第3部分：钢筋焊接网》GB/T 1499.3中4.1：焊接网按钢筋的牌号、公称直径、长度和间距分为定型焊接网和定制焊接网两种。

钢筋焊接网生产主要采用钢筋焊接网生产线，采用计算机自动控制的多头焊网机焊接成型，焊接前后钢筋的力学性能几乎没有变化，其优点是钢筋网成型速度快、网片质量稳定、横向钢筋与纵向钢筋间距均匀、交叉点处连接牢固。

应用钢筋焊接网可显著提高钢筋工程质量和施工速度，增强混凝土抗裂能力，具有很好综合经济效益。广泛应用于建筑工程中楼板、屋盖、墙体与PC构件的配筋，也广泛应用于道桥工程的混凝土路面与桥面配筋，及水工结构、高铁无砟轨道板、机场跑道等。

钢筋焊接网生产线是将盘条或直条钢筋通过电阻焊方式自动焊接成型为钢筋焊接网的设备，按上料方式主要分为盘条上料、直条上料、混合上料（纵筋盘条上料、横筋直条上料）三种生产线；按横筋落料方式分为人工落料和自动化落料；按焊接网片制品分类，主要分为标准网焊接生产线和柔性网焊接生产线，柔性网焊接生产线不仅可以生产标准网，还可以生产带门窗孔洞的定制网片。钢筋焊接网生产线可用于建筑、公路、防护、隔离等网片生产，还可以用于PC构件厂内墙、外墙、叠合板等网片的生产。

目前主要采用CRB550冷轧带肋钢筋、CRB600H高延性冷轧带肋钢筋和符合GB/T 1499.1规定的热轧光圆钢筋、GB/T 1499.2规定的热轧带肋钢筋。采用热轧带肋钢筋时，宜采用无纵肋的钢筋。主要包括钢筋调直切断技术、钢筋网制作配送技术、布网设计及施工安装技术等。

采用焊接网可显著提高钢筋工程质量，大量降低现场钢筋安装工时，缩短工期，适当节省钢材，具有较好的综合经济效益，特别适用于PC构件和叠合板混凝土工程。

2.10.2 技术指标

（1）主要技术指标

1) 冷轧带肋钢筋的直径宜采用5~12mm；CRB550、CRB600H的强度标准值分别为500N/mm²、540N/mm²，强度设计值分别为400N/mm²、430N/mm²。

2) 热轧钢筋的直径宜为6~18mm，HRB400、HRB500屈服强度标准值分别为400N/mm²、

500N/mm²，强度设计值分别为 360N/mm²、435N/mm²。

- 3) 焊接网纵向钢筋间距宜为 50mm 的整数倍，即 100mm、150mm、200mm。
- 4) 横向构件间距宜为 25mm 的整数倍，即 100mm、150mm。
- 5) 最小间距宜为 100mm，间距的允许偏差取±10mm 和规定间距的±5%中的较大值。
- 6) 焊接网的最大长度不宜超过 12m，最大宽度不宜超过 3.3m。
- 7) 焊接网焊点抗剪力不应小于试件受拉钢筋规定屈服力值的 0.3 倍。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《钢筋混凝土用钢第 3 部分：钢筋焊接网》GB/T 1499.3
- 2) 《钢筋焊接网混凝土结构技术规程》JGJ 114
- 3) 装配整体式钢筋焊接网叠合混凝土结构技术规程 T/CECS579

2.10.3 适用范围

钢筋焊接网广泛适用于现浇钢筋混凝土结构和预制构件的配筋，特别适用于房屋的楼板、屋面板、地坪、墙体、梁柱箍筋笼以及桥梁的桥面铺装和桥墩防裂网。高速铁路中的无砟轨道底座配筋、轨道板底座及箱梁顶面铺装层配筋。此外可用于隧洞衬砌、输水管道、海港码头、桩等的配筋。

HRB400 级钢筋焊接网由于钢筋延性较好，除用于一般钢筋混凝土板类结构外，更适于抗震设防要求较高的构件（如剪力墙底部加强区）配筋。

2.10.4 工程案例

焊接网在 PC 构件、叠合板生产企业应用较为广泛。如建投远大、山西建投晋中园区等叠合板的生产企业。

2.11 预应力技术

2.11.1 技术内容

预应力技术分为先张法预应力和后张法预应力，先张法预应力技术是指通过台座或模板的支撑张拉预应力筋，然后绑扎钢筋浇筑混凝土，待混凝土达到强度后放张预应力筋，从而给构件混凝土施加预应力的方法，该技术目前在构件厂中用于生产预制预应力混凝土构件；后张法预应力技术是先先在构件截面内采用预埋预应力管道或配置无粘接、缓粘接预应力筋，再浇筑混凝土，在构件或结构混凝土达到强度后，在结构上直接张拉预应力筋从而对混凝土施加预应力的方法，后张法可以通过有粘结、无粘结、缓粘结等工艺技术实现，也可采用体外束预应力技术。为发挥预应力技术高效的特点，可采用强度为 1860MPa 级以上的预应力筋，通过张拉建立初始应力，预应力筋设计强度可发挥到 1000~1320MPa，该技术可显著节约材料、提高结构性能、减少结构挠度、控制结构裂缝并延长结构寿命。先张法预应力混凝土构件，也常用 1570MPa 的预应力钢丝。预应力技术内容主要包括材料、预应力计算与设计技术、安装及张拉技术、预应力筋及锚头保护技术等。

预应力技术用于混凝土结构楼盖，可实现较小的结构高度跨越较大跨度。对平板及夹心板，其结构适用跨度为 7~15m，高跨比为 1/40~1/50；对密肋楼盖或扁梁楼盖，其适用跨度为 8~18m，

高跨比为 1/20~1/30；对框架梁、连续梁结构，其适用跨度为 12~40m，高跨比为 1/18~1/25。在高层或超高层建筑的楼盖结构中采用该技术可有效降低楼盖结构高度，实现大跨度，并在保证净高的条件下，降低建筑层高，降低总建筑高度；或在建筑总限高不变条件下，可有效增加建筑层数，具有节省材料和造价，提供灵活空间等优点。在多层大跨度楼盖中采用该技术可提高结构性能、节省钢筋和混凝土材料、简化梁板施工工艺、加快施工速度、降低建筑造价。目前常用预应力筋强度为 1860MPa 级钢绞线，施工张拉应力不超过预应力筋公称强度的 0.75。

2.11.2 技术指标

- (1) 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- (2) 《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ 92
- (3) 《预应力混凝土结构抗震设计标准》JGJ/T140
- (4) 《建筑结构体外预应力加固技术规程》JGJ/T279
- (5) 《预应力高强钢丝绳加固混凝土结构技术规程》JGJ/T325
- (6) 《预应力混凝土结构设计规范》JGJ369
- (7) 《缓粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ387
- (8) 《预应力钢结构技术标准》JGJ/T497
- (9) 《无粘结预应力钢绞线》JG/T161
- (10) 《预应力混凝土用金属波纹管》JG/T225
- (11) 《缓粘接预应力钢绞线》JG/T369
- (12) 《缓粘结预应力钢绞线专用粘合剂》JG/T370
- (13) 《环氧涂层预应力钢绞线》JG/T387
- (14) 《无粘结预应力筋用防腐润滑脂》JG/T430

2.11.3 适用范围

该技术可用于多、高层房屋建筑的楼面梁板、转换层、基础底板、地下室墙板等，以抵抗大跨度、重荷载或超长混凝土结构在荷载、温度或收缩等效应力下产生的裂缝，提高结构与构件的性能，降低造价；也可用于筒仓、电视塔、核电站安全壳、水池等特种工程结构；还广泛用于各类大跨度混凝土桥梁结构。

2.11.4 工程案例

太原武宿国际机场 3 号航站楼项目、南中环桥桥梁工程、临汾贾德标准厂房项目等。

2.12 建筑用成型钢筋制品加工与配送技术

2.12.1 技术内容

建筑用成型钢筋制品加工与配送技术（简称“成型钢筋加工配送技术”）是指由具有信息化生产管理系统专业化钢筋加工机构，在严格执行国家钢筋加工规范前提下，进行钢筋大规模工厂化与专业化生产、商品化配送具有现代建筑工业化特点的一种钢筋加工方式。主要采用成套自动化钢

筋加工设备，经过合理的工艺流程，在固定的加工场所，按照设计图纸的要求，集中将钢筋加工成为工程所需成型钢筋制品，按照客户要求将其进行包装或组配，运送到指定地点的钢筋加工组织方式。

信息化管理系统、专业化钢筋加工机构和成套自动化钢筋加工设备三要素的有机结合，缺一不可，是成型钢筋加工配送区别于传统场内钢筋加工模式的重要标志。成型钢筋加工配送技术应严格执行《混凝土结构成型钢筋应用技术规程》JGJ 366 标准的有关规定。

(1) 信息化生产管理技术：从钢筋原材料采购、钢筋成品设计规格与参数生成、加工任务分解、钢筋下料优化套裁、钢筋与成品加工、产品质量检验、产品捆扎包装，到成型钢筋配送、成型钢筋进场检验验收等全过程的计算机信息化管理。

(2) 钢筋专业化加工技术：采用成套自动化钢筋加工设备，经过合理的工艺流程，在固定的加工场所集中将钢筋加工成为工程所需的各种成型钢筋制品，主要分为线材钢筋加工、棒材钢筋加工和组合成型钢筋制品加工。线材钢筋加工是指钢筋强化加工、钢筋矫直切断、箍筋加工成型等；棒材钢筋加工是指直条钢筋定尺切断、钢筋弯曲成型、钢筋直螺纹加工成型等；组合成型钢筋制品加工是指钢筋焊接网、钢筋笼、钢筋桁架、梁柱钢筋成型加工等。

(3) 自动化钢筋加工设备技术：自动化钢筋加工设备是建筑用成型钢筋制品加工的硬件支撑，是指具备强化钢筋、自动调直、定尺切断、弯曲、焊接、螺纹加工等单一或组合功能的钢筋加工机械，包括钢筋强化机械、自动调直切断机械、数控弯箍机械、自动切断机械、自动弯曲机械、自动弯曲切断机械、自动焊网机械、柔性自动焊网机械、自动弯网机械、自动焊笼机械、三角桁架自动焊接机械、梁柱钢筋骨架自动焊接机械、封闭箍筋自动焊接机械、箍筋笼自动成型机械、螺纹自动加工机械等。

(4) 成型钢筋配送技术：按照客户要求与客户的施工计划将已加工的成型钢筋以梁、柱、板构件序号进行包装或组配，运送到指定地点。

(5) 成型钢筋进场时，应抽取试件作屈服强度、抗拉强度、伸长率和重量偏差检验，检验结果应符合国家现行相关标准的规定；对由热轧钢筋制成的成型钢筋，应有施工单位和监理单位的代表驻厂监督生产过程，并提供原材钢筋力学性能第三方检验报告时，可仅进行重量偏差检验。

2.12.2 技术指标

(1) 主要技术指标

盘卷钢筋调直应采用无延伸功能的钢筋调直切断机进行，钢筋调直过程中，对于平行辊式调直切断机调直前后钢筋的质量损耗不应大于 0.5%，对于转毂式和复合式调直切断机调直前后钢筋的质量损耗不应大于 1.2%。调直后的钢筋直线度每米不应大于 4mm，总直线度不应大于钢筋总长度的 0.4%，且不应有局部弯折。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《混凝土结构成型钢筋应用技术规程》JGJ 366
- 2) 《混凝土结构用成型钢筋制品》GB/T 29733
- 3) 《混凝土结构用成型钢筋》JG/T226

2.12.3 适用范围

该项技术可广泛适用于各种现浇混凝土结构的钢筋加工、PC 预制构件钢筋加工，特别适用于施工场地过于狭窄，大型工程钢筋量大集中加工，是绿色施工、建筑工业化和施工装配化的重要组成部分。该项技术是伴随着钢筋机械、钢筋加工工艺的技术进步而发展的，其主要技术特点是：加工效率高、质量好；降低加工和管理综合成本；加快施工进度，提高钢筋工程施工质量；节材节地、绿色环保；有利于高新技术推广应用和安全文明工地创建。

2.12.4 工程案例

晋中东南外环龙湖立交桥项目（墩柱施工）等。

2.13 钢筋机械锚固技术

2.13.1 技术内容

钢筋机械锚固技术是将螺帽与垫板合二为一的锚固板通过螺纹与钢筋端部相连形成的锚固装置。其作用机理为：钢筋的锚固力全部由锚固板承担或由锚固板和钢筋的粘结力共同承担（原理见图 2.13.1），从而减少钢筋的锚固长度，节省钢筋用量。在复杂节点采用钢筋机械锚固技术还可简化钢筋工程施工，减少钢筋密集拥堵绑扎困难，改善节点受力性能，提高混凝土浇筑质量。该项技术的主要内容包括：部分锚固板钢筋的设计应用技术、全锚固板钢筋的设计应用技术、锚固板钢筋现场加工及安装技术等。详细技术内容见行标《钢筋锚固板应用技术规程》JGJ 256。

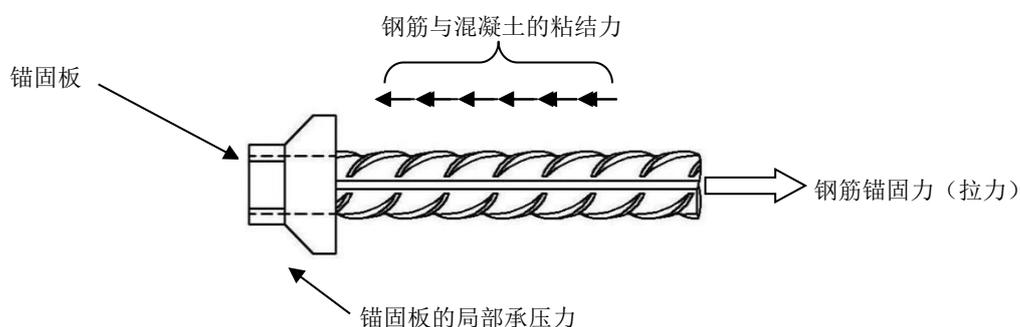


图 2.13.1 带锚固板钢筋的受力机理示意图

2.13.2 技术指标

(1) 主要技术指标

1) 部分锚固板钢筋由钢筋的粘结段和锚固板共同承担钢筋的锚固力，此时锚固板承压面积不应小于钢筋公称面积的 4.5 倍。

2) 钢筋粘结段长度不宜小于 $0.4l_{ab}$ 。

3) 全锚固板钢筋由锚固板承担全部钢筋的锚固力，此时锚固板承压面积不应小于钢筋公称面积的 9 倍。

(2) 技术规范/标准

1) 《钢筋锚固板应用技术规程》JGJ 256

2) 《钢筋混凝土用锚固板钢筋 第1部分：技术条件》GB/T 42355.1

3) 《钢筋混凝土用锚固板钢筋 第2部分：试验方法》GB/T 42355.2

2.13.3 适用范围

该技术适用于混凝土结构中钢筋的机械锚固，主要适用范围有：用锚固板钢筋代替传统弯筋，用于框架结构梁柱节点；代替传统弯筋和直钢筋锚固，用于简支梁支座、梁或板的抗剪钢筋；可广泛应用于建筑工程以及桥梁、水工结构、地铁、隧道、核电站等各类混凝土结构工程，钢筋锚固还可用作钢筋锚杆（或拉杆）的紧固件等。

2.13.4 工程案例

该项钢筋机械锚固技术已在房屋建筑等工程领域得到应用。典型的房屋建筑如：太原博物馆项目。

3 模板脚手架技术

3.1 销键型脚手架及支撑架技术

销键型钢管脚手架及支撑架是我国目前推广应用最多、效果最好的新型脚手架及支撑架。其中包括：盘销式钢管脚手架、键槽式钢管支架、插接式钢管脚手架等。销键型钢管脚手架分为 $\phi 60$ 系列重型支撑架和 $\phi 48$ 系列轻型脚手架两大类。销键型钢管脚手架安全可靠、稳定性好、承载力高；全部杆件系列化、标准化、搭拆快、易管理、适应性强；除搭设常规脚手架及支撑架外，由于有斜拉杆的连接，销键型脚手架还可搭设悬挑结构、跨空结构架体，可整体移动、整体吊装和拆卸。

3.1.1 技术内容

(1)销键型钢管脚手架支撑架的立杆上每隔一定距离都焊有连接盘、键槽连接座或其他连接件，横杆、斜拉杆两端焊有连接接头，通过敲击楔形插销或键槽接头，将横杆、斜拉杆的接头与立杆上的连接盘、键槽连接座或连接件锁紧，见图 3.1.1。

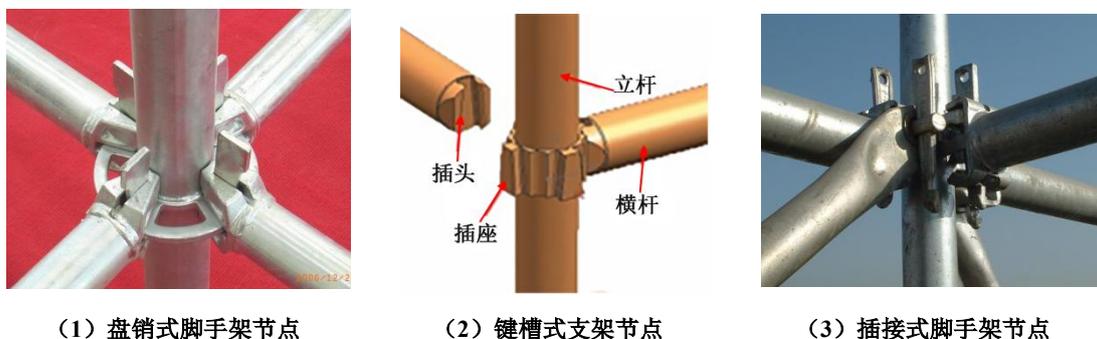


图 3.1.1 销键型钢管脚手架及支撑架

(2)销键型钢管脚手架支撑架分为 $\phi 60$ 系列重型支撑架和 $\phi 48$ 系列轻型脚手架两大类：

1) $\phi 60$ 系列重型支撑架的立杆为 $\phi 60 \times 3.2$ 焊管制成（材质为 Q345）；立杆规格有：0.5m、1m、1.5m、2m、2.5m、3m，每隔 0.5m 焊有一个连接盘或键槽连接座；横杆及斜拉杆均采用 $\phi 48 \times 2.5$ 焊管制成，两端焊有插头并配有楔形插销，搭设时每隔 1.5 m 搭设一步横杆。

2) $\phi 48$ 系列轻型脚手架的立杆为 $\phi 48 \times 3.2$ 焊管制成（材质为 Q345）；立杆规格有：0.5m、1m、1.5m、2m、2.5m、3m，每隔 0.5m 焊有一个连接盘或键槽连接座；横杆采用 $\phi 48 \times 2.5$ ，斜杆采用 $\phi 42 \times 2.5$ 、 $\phi 33 \times 2.3$ 焊管制成，两端焊有插头并配有楔形插销（键槽式钢管支架采用楔形槽插头），搭设时每隔 1.5~2m 设一步横杆（根据搭设形式确定）。

3)销键型钢管脚手架支撑架一般与可调底座、可调托座以及连墙撑等多种辅助件配套使用。

4)销键型钢管脚手架支撑架施工前应进行相关计算，编制安全专项施工方案，确保架体稳定和安全。

(3)销键型钢管脚手架支撑架的主要特点：

1)安全可靠。立杆上的连接盘或键槽连接座与焊接在横杆或斜拉杆上的插头锁紧，接头传力可靠；立杆与立杆的连接为同轴心承插；各杆件轴心交于一点。架体受力以轴心受压为主，由于有斜拉杆的连接，使得架体的每个单元形成格构柱，因而承载力高，不易发生失稳。

2) 搭拆快、易管理, 横杆、斜拉杆与立杆连接, 用一把铁锤敲击楔型销即可完成搭设与拆除, 速度快, 功效高。全部杆件系列化、标准化, 便于仓储、运输和堆放。

3) 适应性强, 除搭设一些常规架体外, 由于有斜拉杆的连接, 盘销式脚手架还可搭设悬挑结构、跨空结构、整体移动、整体吊装、拆卸的架体。

4) 节省材料、绿色环保, 由于采用低合金结构钢为主要材料, 在表面热浸镀锌处理后, 与钢管扣件脚手架、碗扣式钢管脚手架相比, 在同等荷载情况下, 材料可以节省约 1/3 左右, 节省材料费和相应的运输费、搭拆人工费、管理费、材料损耗等费用, 产品寿命长, 绿色环保, 技术经济效益明显。

(4) 销键型脚手架及支撑架目前常用的施工技术

1) 承插型盘扣式钢管支撑架早拆支撑体系施工技术

该早拆支撑体系主要采用承插型盘扣式钢管架体材料进行搭设, 搭配单独设计的早拆头, 可实现模板和加固体系的早拆, 具有布置灵活、安全可靠、施工方便、快捷的特点。充分利用了盘扣架体立杆强度高的特点, 立杆间距可增大至 2m, 内部施工空间大, 便于模板拆除后材料运输周转, 水平支撑模板拆除率可达到 93%, 主次梁可全部拆除, 重复周转使用。

2) 承插型盘扣式钢管脚手架和钢板防护网施工技术

该脚手架体系具备装拆方便、搭建灵活、外观美观、节能环保等特点, 弥补了传统脚手架的短板。钢板防护立网材料规格应满足: 钢板厚度应不小于 0.5mm, 不大于 0.8mm; 网孔不低于 6mm, 不应大于 10mm; 材料为 20mm×20mm×1.2mm 镀锌矩形管, 合理配色, 主要为蓝色、绿色或灰色, 应具有防炫、亮化功能并与周围环境协调。

该技术适用于落地式和悬挑式外架, 提高了施工效率, 降低了人工成本, 特别适用于临街或人员密集的通道和道路两侧, 对安全防护要求高的建筑。

3) 承插型盘扣式双槽钢龙骨二次支撑架体施工技术

随着城市化的进程中, 高层高, 面积大, 密肋楼板建筑大量使用现浇混凝土结构。这类建筑的模板支撑体系工程量大, 施工难度高。而盘扣式模板支撑的横杆受到横杆模数限制, 只能调整立杆间距, 不能根据所支撑结构灵活调整立杆位置, 在工程的使用中常受到所支撑结构位置的制约。双槽钢龙骨二次架体的盘扣式模板支架构造鉴于传统承插型盘扣式架体在梁、板交界处出现立杆一杆到顶, 造成侧模工作面小, 以及额外使用托梁、局部架体立杆过密等缺点, 基于双槽钢龙骨的使用, 将架体一次搭设到梁底, 再在双槽钢龙骨上搭设次梁和板的二次架体, 可以有效解决侧模安装困难, 立杆局部过密的问题, 避免造成材料和人工的浪费。

构造形式: 主体架体是指从基础上开始搭设, 由立杆、横杆、斜杆组成的单元桁架按照一定的间距排列, 单元桁架之间以横杆连接, 搭设至梁底和部分板底的支撑结构, 主体架体的特点是, 支撑梁的两侧立杆只搭设至梁底, 板及次梁下的架体每一跨都和主梁下的架体通过横杆可靠连接。承插型盘扣式钢管模板支架结合双槽钢龙骨使用, 主、次梁和板交界处, 在主梁支撑架体上搭设次梁及板的二次支撑。并与周围架子体通过盘扣式横杆或者扣件、钢管相连, 保证二次架体安全。这不

仅解决了架体立杆一杆到顶时梁侧模板安装困难的问题，更使得下部立杆架体的安装时减小受上部所支撑结构构件位置的制约。

适用范围：适用于现浇钢筋混凝土梁板施工，尤其适用于跨度较大，层高较高，结构复杂的工程。

4) 装配式结构支撑体系施工技术

装配式结构支撑体系施工技术采用承插盘扣式钢管架体系搭配铝合金模板组成的模架体系，应用于装配整体式框架或剪力墙结构，从支撑架、节点模板选型设计及施工两方面入手，结合 BIM 技术，解决了各类装配式结构现浇连接部位支撑及模板问题，安装准确性高，稳定性好。承插式脚手架搭设自由端应小于 650mm，架体连成整体，其他构造设置应符合规范要求。

在叠合板安装时，在梁/墙两侧设置 600mm 宽的水平模板并加设支撑，增大侧向刚度，有利于保证墙体的垂直度和梁侧模的稳定，保证作业安全。采用满堂式脚手架时，叠合板后浇带两侧应设置立杆，跨度过大时在后浇带底板加设一道独立支撑。叠合板下支撑采用工具式支撑系统，由铝合金工字梁、专用托座、独立钢支撑和稳定三角架组成，专用支撑系统的组成及节点见下图 3.1.2。

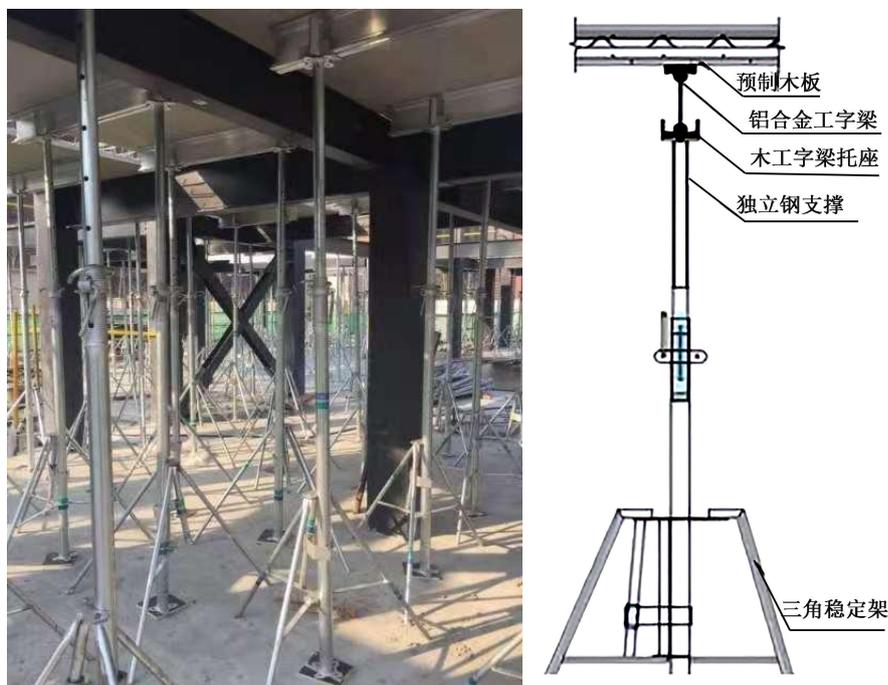


图 3.1.2 专用支撑系统的组成及节点

3.1.2 技术指标

(1) 主要技术指标

- 1) 销键型钢管脚手架支撑架按验算立杆允许荷载确定搭设尺寸。
- 2) 脚手架支撑架安装后的垂直偏差应控制在 1/500 以内。
- 3) 底座丝杠外露尺寸不得大于相关标准规定要求。
- 4) 应对节点承载力进行校核，确保节点满足承载力要求，保证结构安全。
- 5) 表面处理：热镀锌。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《建筑施工承插型盘扣式钢管脚手架安全技术标准》JGJ/T231
- 2) 《承插型盘扣式钢管支架构件》JG/T503

3.1.3 适用范围

(1) $\phi 60$ 系列重型支撑架可广泛应用于公路、铁路的跨河桥、跨线桥、高架桥中的现浇盖梁及箱梁的施工，用作水平模板的承重支撑架。

(2) $\phi 48$ 系列轻型脚手架适用于直接搭设各类房屋建筑的外墙脚手架，梁板模板支撑架，船舶维修、大坝、核电站施工用的脚手架，各类钢结构施工现场拼装的承重架，各类演出用的舞台架、灯光架、临时看台、临时过街天桥等。

3.1.4 工程案例

长治市书苑名家酒店及配套公寓住宅工程项目、山西农业大学新建综合实验楼建设项目、平顺国科大太原能源材料学院项目、襄垣县仙堂山旅游公路滨河东路南延高架桥项目等。

3.2 集成附着式升降脚手架技术

集成附着式升降脚手架是指搭设一定高度并附着于工程结构上，依靠自身的升降设备和装置，可随工程结构逐层爬升或下降，具有防倾覆、防坠落装置的外脚手架；附着升降脚手架主要由集成化的附着升降脚手架架体结构、附着支座、防倾装置、防坠落装置、升降机构及控制装置等构成。

3.2.1 技术内容

(1) 集成附着式升降脚手架设计

- 1) 集成附着式升降脚手架主要由架体系统、附墙系统、爬升系统三部分组成（见图 3.2.1）。



图 3.2.1 全钢集成附着升降脚手架

- 2) 架体系统由竖向主框架、水平承力桁架、架体构架、护栏网等组成。

- 3) 附墙系统由预埋螺栓、连墙装置、导向装置等组成。

- 4) 爬升系统由控制系统、爬升动力设备、附墙承力装置，架体承力装置等组成。控制系统采用三种控制方式：计算机控制、手动控制和遥控器控制，并可以通过计算机作为人机交互界面，全中文菜单，简单直观，控制状态一目了然，更适合建筑工地的操作环境。控制系统具有超载、失载自动报警与停机功能。

- 5) 爬升动力设备可以采用电动葫芦或液压千斤顶。
- 6) 集成附着式升降脚手架有可靠的防坠落装置，能够在提升动力失效时迅速将架体系统锁定在导轨或其他附墙点上。
- 7) 集成附着式升降脚手架有可靠的防倾导向装置。
- 8) 集成附着式升降脚手架有可靠的荷载控制系统或同步控制系统，并采用无线控制技术。

(2) 集成附着式升降脚手架施工

- 1) 应根据工程结构设计图、塔吊附壁位置、施工流水段等确定附着升降脚手架的平面布置，编制施工组织设计及施工图。
- 2) 根据提升点处的具体结构形式确定附墙方式。
- 3) 制定确保质量和安全施工等有关措施。
- 4) 制定集成附着式升降脚手架施工工艺流程和工艺要点。
- 5) 根据专项施工方案计算所需材料。

3.2.2 技术指标

(1) 主要技术指标

- 1) 架体高度不应大于 5 倍楼层高，架体宽度不应大于 1.2m。
- 2) 两提升点直线跨度不应大于 7m，曲线或折线不应大于 5.4m。
- 3) 架体全高与支承跨度的乘积不应大于 110m²。
- 4) 架体悬臂高度不应大于 6m 和 2/5 架体高度。
- 5) 每点的额定提升荷载为 100kN。

(2) 技术规范/标准

《附着式升降脚手架升降及同步控制系统应用技术规程》CECS 373

3.2.3 适用范围

集成附着式升降脚手架适用于高层或超高层建筑的结构施工和装修作业；对于 16 层以上，结构平面外檐变化较小的高层或超高层建筑施工推广应用附着升降脚手架；附着升降脚手架也适用桥梁高墩、特种结构高耸构筑物施工的外脚手架。

3.2.4 工程案例

临汾市太行御景水城御卓苑住宅楼项目、晋中市文旅·云溪里（T42 地块）项目、山西财经大学坞城路 696 号棚户区改造项目 A 座 B 座、山西省长治市和平里一期工程、翔建·御景华府项目等。

3.3 电动桥式脚手架技术

电动桥式脚手架是一种导架爬升式工作平台，沿附着在建筑物上的三角立柱支架通过齿轮齿条传动方式实现平台升降。电动桥式脚手架可替代普通脚手架及电动吊篮，平台运行平稳，使用安全可靠，且可节省大量材料。用于建筑工程施工，特别适合装修作业（详见图 3.3.1）。



图 3.3.1 电动桥式脚手架

3.3.1 技术内容

(1) 电动桥式脚手架设计技术

- 1) 电动桥式脚手架由驱动系统、附着立柱系统、作业平台系统三部分组成。
- 2) 驱动系统由电动机、防坠器、齿轮驱动组、导轮组、智能控制器等组成。
- 3) 附着立柱系统由带齿条的立柱标准节、限位立柱节和附墙件等组成。
- 4) 作业平台由三角格构式横梁节、脚手板、防护栏、加宽挑梁等组成。
- 5) 在每根立柱的驱动器上安装两台驱动电机，负责电动施工平台上升和下降。
- 6) 在每一个驱动单元上都安装了独立的防坠装置，当平台下降速度超过额定值时，能阻止施工平台继续下坠，同时启动防坠限位开关切断电源。
- 7) 当平台沿两个立柱同时升降时，附着式电动施工平台配有智能水平同步控制系统，控制平台同步升降。
- 8) 电动桥式脚手架还有最高自动限位、最低自动限位、超越应急限位等智能控制。

(2) 电动桥式脚手架施工技术

- 1) 采用电动桥式脚手架应根据工程结构图进行配置设计，绘制工程施工图，合理确定电动桥式脚手架的平面布置和立柱附墙方法，编制施工组织设计并计算出所需的立柱、平台等部件的规格与数量。
- 2) 根据现场基础情况确定合理的基础加固措施。
- 3) 制定确保质量和安全施工等有关措施。
- 4) 在整个机械使用期间严格按维修使用手册要求执行，如果出售、租赁机器，必须将维修使用手册转交给新的用户。
- 5) 电动桥式脚手架维修人员需获得专业认证资格。

3.3.2 技术指标

- (1) 平台最大长度：双柱型为 30.1m，单柱型为 9.8m。
- (2) 最大高度为 260m，当超过 120m 时需采取卸荷措施。
- (3) 额定荷载：双柱型为 36kN，单柱型为 15kN。
- (4) 平台工作面宽度为 1.35m，可伸长加宽 0.9m。

(5) 立柱附墙间距为 6m。

(6) 升降速度为 6m/min。

3.3.3 适用范围

电动桥式脚手架主要用于各种建筑结构外立面装修作业，已建工程的外饰面翻新，为工人提供稳定舒适的施工作业面。

二次结构施工中围护结构砌体砌筑、饰面石材和预制构件安装，施工安全防护。

玻璃幕墙施工、清洁、维护等。

电动桥式脚手架也适用桥梁高墩、特种结构高耸构筑物施工的外脚手架。

3.3.4 工程案例

太原信达国际金融中心项目。

3.4 液压爬升模板技术

爬模装置通过承载体附着或支承在混凝土结构上，当新浇筑的混凝土脱模后，以液压油缸为动力，以导轨为爬升轨道，将爬模装置向上爬升一层，反复循环作业的施工工艺，简称爬模。目前我国的爬模技术在工程质量、安全生产、施工进度、降低成本、提高工效和经济效益等方面均有良好的效果。

3.4.1 技术内容

(1) 爬模设计

1) 采用液压爬升模板施工的工程，必须编制爬模安全专项施工方案，进行爬模装置设计与工作荷载计算。

2) 爬模装置由模板系统、架体与操作平台系统、液压爬升系统、智能控制系统四部分组成（详见图 3.4.1、图 3.4.2）。



图 3.4.1 液压爬升模板外立面图



图 3.4.2 爬模模板及架体

3) 根据工程具体情况，爬模技术可以实现墙体外爬、外爬内吊、内爬外吊、内爬内吊、外爬内支等爬升施工。

4) 模板可采用组拼式全钢大模板及成套模板配件，也可根据工程具体情况，采用铝合金模板、组合式带肋塑料模板、重型铝框塑料板模板、木工字梁胶合板模板等；模板的高度为标准层层高。

5) 模板采用水平油缸合模、脱模，也可采用吊杆滑轮合模、脱模，操作方便安全；钢模板上还可带有脱模器，确保模板顺利脱模。

- 6) 爬模装置全部金属化, 确保防火安全。
- 7) 爬模机位同步控制、操作平台荷载控制、风荷载控制等均采用智能控制, 做到超过升差、超载、失载的声光报警。

(2) 爬模施工

- 1) 爬模组装一般需从已施工 2 层以上的结构开始, 楼板需要滞后 4~5 层施工。
- 2) 液压系统安装完成后应进行系统调试和加压试验, 确保施工过程中所有接头和密封处无渗漏。
- 3) 混凝土浇筑宜采用布料机均匀布料, 分层浇筑、分层振捣; 在混凝土养护期间绑扎上层钢筋; 当混凝土脱模后, 将爬模装置向上爬升一层。
- 4) 一项工程完成后, 模板、爬模装置及液压设备可继续在其他工程通用, 周转使用次数多。
- 5) 爬模可节省模板堆放场地, 对于在城市中心施工场地狭窄的项目有明显的优越性。爬模的施工现场文明, 在工程质量、安全生产、施工进度和经济效益等方面均有良好的保证。

3.4.2 技术指标

(1) 主要技术指标

- 1) 液压油缸额定荷载 50kN、100kN、150kN, 工作行程 150~600mm。
- 2) 油缸机位间距不宜超过 5m, 当机位间距内采用梁模板时, 间距不宜超过 6m。
- 3) 油缸布置数量需根据爬模装置自重及施工荷载计算确定, 根据《液压爬升模板工程技术标准》JGJ 195 规定, 油缸的工作荷载应不大于额定荷载的 1/2。
- 4) 爬模装置爬升时, 承载体受力处的混凝土强度必须大于 10MPa, 并应满足爬模设计要求。

(2) 技术规范/标准

《液压爬升模板工程技术标准》JGJ/T195

3.4.3 适用范围

适用于高层、超高层建筑剪力墙结构、框架结构核心筒、桥墩、桥塔、高耸构筑物等现浇钢筋混凝土结构工程的液压爬升模板施工。

3.4.4 工程案例

山西汾酒文化商务中心项目东/西塔楼、国道 G342 晋城市过境段改线工程 TJ01 标段丹河特大桥项目、晋城市青山街斜拉桥(主塔 80.4m)等。

3.5 整体爬升钢平台技术

整体爬升钢平台技术是采用由整体爬升的全封闭式钢平台和脚手架组成一体化的模板脚手架体系进行建筑高空钢筋模板工程施工的技术。该技术通过支撑系统或爬升系统将所承受的荷载传递给混凝土结构, 由动力设备驱动, 运用支撑系统与爬升系统交替支撑进行模板脚手架体系爬升, 实现模板工程高效安全作业, 保证结构施工质量, 满足复杂多变混凝土结构工程施工的要求。

3.5.1 技术内容

整体爬升钢平台系统主要由钢平台系统、脚手架系统、支撑系统、爬升系统、模板系统构成。

(1) 钢平台系统位于顶部，可由钢框架、钢桁架、盖板、围挡板等部件通过组合连接形成整体结构，具有大承载力的特点，满足施工材料和施工机具的停放以及承受脚手架和支撑系统等部件同步作业荷载传递的需要，钢平台系统是地面运往高空物料机具的中转堆放场所。

(2) 脚手架系统为混凝土结构施工提供高空立体作业空间，通常连接在钢平台系统下方，侧向及底部采用全封闭状态防止高空坠物，满足高空安全施工需要。

(3) 支撑系统为整体爬升钢平台提供支承作用，并将承受的荷载传递至混凝土结构；支撑系统可与脚手架系统一体化设计，协同实现脚手架功能；支撑系统与混凝土结构可通过接触支承、螺栓连接、焊接连接等方式传递荷载。

(4) 爬升系统由动力设备和爬升结构部件组合而成，动力设备采用液压控制驱动的双作用液压缸或电动机控制驱动的蜗轮蜗杆提升机等；柱式爬升结构部件由钢格构柱或钢格构柱与爬升靴等组成，墙式爬升部件由钢梁等构件组成；爬升系统的支撑通过接触支承、螺栓连接、焊接连接等方式将荷载传递到混凝土结构。

(5) 模板系统用于现浇混凝土结构成型，随整体爬升钢平台系统提升，模板采用大钢模、钢框木模、铝合金框木模等。整体爬升钢平台系统各工作面均设置有人员上下的安全楼梯通道以及临边安全作业防护设施等。

整体爬升钢平台根据现浇混凝土结构体型特征以及混凝土结构劲性柱、伸臂桁架、剪力钢板的布置等进行设计，采用单层或双层施工作业模式，选择适用的爬升系统和支撑系统，分别验算平台爬升作业工况和平台非爬升施工作业工况荷载承受能力；可根据工程需要在钢平台系统上设置布料机、塔机、人货电梯等施工设备，实现整体爬升钢平台与施工机械一体化协同施工；整体爬升钢平台采用标准模块化设计方法，通过信息化自动控制技术实现智能化控制施工。

3.5.2 技术指标

(1) 主要技术标准

1) 双作用液压缸可采用短行程、中行程、长行程方式，液压油缸工作行程范围通常为 350~6000mm，额定荷载通常为 400~4000kN，速度 80~100mm/min。

2) 蜗轮蜗杆提升机螺杆行程范围通常为 3500~4500mm，螺杆直径通常为 40mm，额定荷载通常为 100~200kN，速度通常为 30~80mm/min。

3) 双作用液压缸通过液控与电控协同工作，各油缸同步运行误差通常控制不大于 5mm。

4) 蜗轮蜗杆提升机通过电控工作，各提升机同步运行误差通常控制不大于 15mm。

5) 钢平台系统施工活荷载通常取值为 3.0~6.0kN/m²，脚手架和支撑系统通道活荷载通常取值为 1.0~3.0kN/m²。

6) 爬升时按对应 8 级风速的风荷载取值计算，非爬升施工作业时按对应 12 级风速的风荷载取值计算，非爬升施工作业超过 12 级风速时采取构造措施与混凝土结构连接牢固。

7) 整体爬升钢平台支撑于混凝土结构时，混凝土实体强度等级应满足混凝土结构设计要求，且不应小于 10MPa。

8) 整体爬升钢平台防雷接地电阻不应大于 4Ω 。

(2) 技术规范/标准

《整体爬升钢平台模架技术标准》JGJ459

3.5.3 适用范围

主要应用于高层和超高层建筑钢筋混凝土结构核心筒工程施工，也可应用于类似结构工程。

3.5.4 工程案例

太原信达国际金融中心项目、太原湖滨国际大酒店项目等。

3.6 组合铝合金模板施工技术

铝合金模板是一种具有自重轻、强度高、加工精度高、单块幅面大、拼缝少、施工方便的特点；同时模板周转使用次数多、摊销费用低、回收价值高，有较好的综合经济效益；并具有应用范围广、可墙顶同时浇筑、成型混凝土表面质量高、建筑垃圾少的技术优势。铝合金模板符合建筑工业化、环保节能要求。

3.6.1 技术内容

(1) 组合铝合金模板设计

1) 组合铝合金模板的总体说明

(a) 组合铝合金模板由铝合金带肋面板、端板、主次肋焊接而成，是用于现浇混凝土结构施工的一种组合模板。

(b) 组合铝合金模板分为平面模板、平模调节模板、阴角模板、阴角转角模板、阳角模板、阳角调节模板、铝梁、支撑头和专用模板。

(c) 铝合金水平模板采用独立支撑，独立支撑的支撑头分为板底支撑头、梁底支撑头，板底支撑头与单斜铝梁和双斜铝梁连接。铝合金水平模板与独立支撑形成的支撑系统可实现模板早拆，模板和支撑系统一次投入量大大减少，节省了装拆用工和垂直运输用工，降低了工程成本，施工现场文明整洁（见图 3.6.1）。



图 3.6.1 铝合金模板

(d) 每项工程采用铝合金模板应进行配模设计，实现模数化、标准化，优先使用标准模板和标准角模，剩余部分配置一定的镶嵌模板。对于异形模板，宜采用角铝胶合板模板、木方胶合板或塑

料板模板补缺，力求减少非标准模板比例。

(e) 每项工程出厂前，进行预拼装，以检查设计和加工质量，确保工地施工时一次安装成功。

(f) 采用铝合金模板施工，可配备一层模板和三层支撑，对构件截面变化采用调节板局部调整。

2) 组合铝合金模板设计的关键点

铝合金模板生产前应以工程建筑、结构施工图为主要依据，综合考虑给排水、电气、精装、门窗、电梯等相关专业进行深化设计，以提高铝合金模板的经济效能、细部构造与建筑结构的适应性，降低施工难度，提高混凝土的最终成型质量。

(a) 减少施工工序缩短工期，构造柱、门洞过梁可采用与主体结构一次现浇完成，避免二支模筑。为满足设计要求，构造柱底部可垫 PVC 拉缝板或泡沫板，加强建筑物的稳定性。

(b) 外窗及门洞侧边采用内凸型企口，达到坡水效果同时可减少收塞缝工量。外墙非承载砌筑墙体可改为现浇砼墙体结构，并在剪力墙内设置 PVC 拉缝板，满足抗震性能，降低地震作用引起的墙体结构破坏。

(c) 砌体（预制板）与混凝土墙间交接部位设置企口或免抹灰压槽以便挂网实现墙体免抹灰。

(d) 外围护所有大于结构面 250mm 以上反梁或现浇矮墙，铝模施工时与板底、墙错层浇筑施工（如飘窗、混凝土栏板等）。

(e) 无保温设计的外墙位置滴水线，铝模深化应在对应的位置设计安装滴水线成品型材，与主体结构一次浇筑成型，避免后期二次施工。

(f) 阳台推拉门制作内凸型企口，达到坡水效果同时可减少收口及塞缝工作量。

(g) 楼梯踏步防滑条、滴水线等随结构一次成型。

(h) 在铝合金模板板给水管部位深化设计留设槽道，管槽随主体一次现浇成型，槽道尺寸视水管预留尺寸而定。

(i) 消火栓箱、强/弱电箱在剪力墙中预埋，避免在砌筑墙体中安装，减少过梁、压顶施工工作量，减少后期墙面开裂隐患；并列设置开关、插座采用连体底盒预埋，避免预留间距过大及高低差明显。

(j) 烟道、卫生间等层间部位经深化设计反坎随结构一次成型，降低渗漏、窜烟风险。

(2) 组合铝合金模板施工

1) 编制组合铝合金模板专项施工方案，确定施工流水段的划分，绘制配模平面图，计算所需的模板规格与数量。

2) 模板安装前需要进行测量放线和楼面抄平，必要时在模板底边范围内做好找平层抹灰带，局部不平可临时加垫片，进行砂浆勾缝处理。

3) 绑扎墙体钢筋时，对偏离墙体边线的下层插筋进行校正处理；在墙角、墙中及墙高度上、中、下位置设置控制墙面截面尺寸的混凝土撑。

4) 安装门窗洞口模板，预埋木盒、铁件、电器管线、接线盒、开关盒等，合模前必须通过隐蔽工程验收。

5) 铝模板就位安装按照配模图对号入座，模板之间采用插销及销片连接；模板经靠尺检查并调

整垂直后，紧固对拉螺栓或对拉片。外墙宜采用拉片式铝模，外墙无螺杆眼，避免传统常见渗漏点，利于结构防水。

6) 独立支撑及斜撑的布置需严格按相关规范和模板施工方案进行。

7) 可采取墙柱梁板一起支模、一起浇筑混凝土的施工方法，要求混凝土施工时分层浇筑、分层振捣。在混凝土达到拆模设计强度后，按规范要求有序进行模板拆除。

8) 拆除后的模板由下层到上层的运输采取在楼板上预留洞口，由人工倒运，拆除后的模板应及时清理和涂刷隔离剂。

3.6.2 技术指标

(1) 主要技术指标

1) 铝合金带肋面板、各类型材及板材应选用 6061-T6、6082-T6 或不低于上述牌号的力学性能。

2) 平面模板规格：宽度 100~600mm，长度 600~3000mm，厚度 65mm。

3) 阴角模板规格：100×100mm、100×125mm、100×150mm、110×150mm、120×150mm、130×150mm、140×150mm、150×150mm，长度 600~3000mm。

4) 阳角模板规格：65×65mm。

5) 独立支撑常用可调长度：1900~3500mm。

6) 墙体模板支点间距为 800mm，在模板上加垂直均布荷载为 30kN/m² 时，最大挠度不应超过 2mm；在模板上加垂直均布荷载到 45kN/m²，保荷时间大于 2h 时，应不发生局部破坏或折曲，卸荷后残余变形不超过 0.2mm，所有焊点无裂纹或撕裂；楼板模板支点间距 1200mm，支点设在模板两端，最大挠度不应超过 1/400，且不应超过 2mm。

(2) 技术规范/标准

1) 《组合铝合金模板工程技术规程》JGJ386

2) 《铝合金模板》JG/T522

3.6.3 适用范围

铝合金模板适用于墙、柱、梁、板等混凝土结构支模施工、竖向结构外墙爬模与内墙及梁板支模同步施工，目前在住宅标准层得到广泛推广和应用。

3.6.4 工程案例

太原西府国际住宅项目、恒大悦府（北地块）11~19 号楼、S2、P2、地库项目、太原恒大书院首、二期主体及配套建设工程、太铁南站地产置业项目、临汾市尧都区翟庄棚户区改造项目 1 号、3 号安置房项目、临汾市洪洞县恒东国际住宅小区二期工程 1 标段、晋中市文旅·云溪里（T42 地块）项目、闻喜盛邦聚德苑项目、清徐多弗南湖城项目、祥灏国际东、西塔楼工程项目等。

3.7 组合式带肋塑料模板技术

塑料模板具有表面光滑、易于脱模、重量轻、耐腐蚀性好、模板周转次数多、可回收利用的特点，有利于环境保护，符合国家节能环保要求。塑料模板分为夹芯塑料模板、空腹塑料模板和带肋

塑料模板，其中带肋塑料模板在静曲强度、弹性模量等指标方面最好。

3.7.1 技术内容

(1) 组合式带肋塑料模板的边肋分为实腹型边肋和空腹型边肋两种，模板之间连接分别采用回形销或塑料销连接（见图 3.7.1）。



(1) 实腹型边肋

(2) 空腹型边肋

图 3.7.1 组合式带肋塑料模板

(2) 组合式带肋塑料模板分为平面模板、阴角模板、阳角模板，其中平面模板适用于支设墙、柱、梁、板、门窗洞口、楼梯顶模，阴角模板适用于墙体阴角、墙板阴角、墙梁阴角，阳角模板适用于外墙阳角、柱阳角、门窗洞口阳角。

(3) 组合式带肋塑料模板的墙柱模采用钢背楞，水平模板采用独立支撑、早拆头或钢梁组成的支撑系统，能实现模板早拆，施工方便、安全可靠。

(4) 组合式带肋塑料模板宜采取墙柱梁板一起支模、一起浇筑混凝土，要求混凝土施工时分层浇筑、分层振捣。在梁板混凝土达到拆模设计强度后，保留部分独立支撑和钢梁，按规定要求有序进行模板拆除。

(5) 组合式带肋塑料模板表面光洁、不粘混凝土，易于清理，不用涂刷或很少涂刷脱模剂，不污染环境，符合环保要求。

(6) 组合式带肋塑料模板施工技术

1) 根据工程结构设计图，分别对墙、柱、梁、板进行配模设计，计算所需的塑料模板和配件的规格与数量。

2) 编制模板工程专项施工方案，制定模板安装、拆除方案及施工工艺流程。

3) 对模板和支撑系统的刚度、强度和稳定性进行验算；确定保留养护支撑的位置及数量。

4) 制定确保组合式带肋塑料模板工程质量、施工安全和模板管理等有关措施。

3.7.2 技术指标

(1) 主要技术指标

1) 组合式带肋塑料模板宽度为 100~600mm，长度为 100mm、300 mm、600 mm、900 mm、1200 mm、1500mm，厚度 50mm。

2) 组拼式阴角模宽度为 100mm、150mm、200mm，长度为 200 mm、250 mm、300 mm、600 mm、1200 mm、1500mm。

3) 矩形钢管采用 2 根 30mm×60mm×2.5mm 或 2 根 40mm×60mm×2.5mm。

- 4) 组合式带肋塑料模板可以周转使用 60~80 次。
- 5) 组合式带肋塑料模板物理力学性能指标见下表：

表 3.7.1 组合式带肋塑料模板物理力学性能指标

项目	单位	指标
吸水率	%	≤0.5
表面硬度（邵氏硬度）	H _D	≥58
简支梁无缺口冲击强度	kJ/m ²	≥25
弯曲强度	MPa	≥70
弯曲弹性模量	MPa	≥4500
维卡软化点	℃	≥90
加热后尺寸变化率	%	±0.1
燃烧性能等级	级	≥E
模板跨中最大挠度	mm	1.5

(2) 技术规范/标准

《塑料模板》JG/T418

3.7.3 适用范围

组合式带肋塑料模板被广泛应用在多层及高层建筑的墙、柱、梁、板结构、桥墩、桥塔、现浇箱形梁、管廊、电缆沟及各类构筑物等现浇钢筋混凝土结构工程上。

3.7.4 工程案例

太原市轨道交通 2 号线一期工程（控制中心土建施工 SGTJ—217 标段）、临汾市浮山双新产业园区公共服务设施建设项目二期工程纬四路（经一街-经二街）、山水庭院二期 5#楼、A1#楼、太原市华夏文明产业园区配套路网综合管廊工程、晋中市铁西路拓宽改造工程综合管廊工程、襄垣县仙堂山旅游公路滨河东路南延高架桥项目等。

3.8 清水混凝土模板技术

清水混凝土是直接利用混凝土成型后的自然质感作为饰面效果的混凝土（详见图 3.8.1），清水混凝土模板是按照清水混凝土要求进行设计加工的模板技术。根据结构外形尺寸要求及外观质量要求，清水混凝土模板可采用大钢模板、钢木模板、组合式带肋塑料模板、铝合金模板及聚氨酯内衬模板技术等。



图 3.8.1 清水混凝土的外观效果

3.8.1 技术内容

(1) 清水混凝土特点

清水混凝土可分为普通清水混凝土、饰面清水混凝土和装饰清水混凝土。清水混凝土在配合比设计、制备与运输、浇筑、养护、表面处理、成品保护、质量验收方面都应按《清水混凝土应用技术规程》JGJ 169 的相关规定处理。

(2) 清水混凝土模板特点

1) 清水混凝土是直接利用混凝土成型后的自然质感作为饰面效果的混凝土工程，清水混凝土表面质量的最终效果主要取决于清水混凝土模板的设计、加工、安装和节点细部处理。

2) 由于对模板应有平整度、光洁度、拼缝、孔眼、线条与装饰图案的要求，根据清水混凝土的饰面要求和质量要求，清水混凝土模板更应重视模板选型、模板分块、面板分割、对拉螺栓的排列和模板表面平整度等技术指标。

(3) 清水混凝土模板设计

1) 模板设计前应对清水混凝土工程进行全面深化设计，妥善解决好对饰面效果产生影响的关键问题，如：明缝、蝉缝、对拉螺栓孔眼、施工缝的处理、后浇带的处理等。

2) 模板体系选择：选取能够满足清水混凝土外观质量要求的模板体系，具有足够的强度、刚度和稳定性；模板体系要求拼缝严密、规格尺寸准确、便于组装和拆除，能确保周转使用次数要求，清水混凝土模板实例见图 3.8.2。



图 3.8.2 清水混凝土模板实例

3) 模板分块原则：在起重荷载允许的范围内，根据蝉缝、明缝分布设计分块，同时兼顾分块的定型化、整体化、模数化和通用化。

4) 面板分割原则：应按照模板蝉缝和明缝位置分割，必须保证蝉缝和明缝水平交圈、竖向垂直。装饰清水混凝土的内衬模板，其面板的分割应保证装饰图案的连续性及其施工的可操作性。

5) 对拉螺栓孔眼排布：应达到规律性和对称性的装饰效果，同时还应满足模板受力要求。

6) 节点处理：根据工程设计要求和工程特点合理设计模板节点。

(4) 清水混凝土模板施工特点

模板安装时遵循先内侧、后外侧，先横墙、后纵墙，先角模、后墙模的原则；吊装时注意对面

板保护，保证明缝、蝉缝的垂直度及交圈；模板配件紧固要用力均匀，保证相邻模板配件受力大小一致，避免模板产生不均匀变形；施工中注意不撞击模板，施工后及时清理模板，涂刷隔离剂，并保护好清水混凝土成品。

(5) 清水混凝土模板加工、安装质量控制要求

1) 钢框加工：

龙骨间距误差应在 5mm 以内；角钢数量符合图纸深化设计；形状误差符合标准圆度要求和设计形状要求；方正对角线误差宜控制在 1mm 至 2mm；宽度误差应负误差，控制在-1mm 至-2mm；侧边顺直度误差应控制在 1mm 至 2mm，且不得影响面板安装；大面顺直/平整度宜控制在 1mm，不应超过 2mm。

2) 面板加工：

面板切割下料尺寸偏差控制在 0.5mm 以内，并应正负偏差均匀分布；面板切割方正，对角线偏差控制在 1mm 以内，侧边顺直度控制在 0.5mm 以内，相邻两块面板的侧边顺直度偏差应能相互弥补，不能扩大分割处偏差；当使用透水布时，在模板上开排气孔，正负偏差不大于 2mm；弧形模板背面切槽，槽宽 2mm，深 14mm，每个槽间距为 20-30mm。

3) 模板安装：

模板拼装前，模板侧边加设海绵条（内收 3mm，避免挤压出板面），防止浇注混凝土过程中模板连接处有漏浆情况；相邻模板拼装水平拼缝标高差宜为 0，最大不应超过 0.5mm；相邻模板拼装前后错台高差宜为 0，最大不应超过 0.5mm；模板安装垂直度偏差宜为 0，最大不宜超过 1mm；安装过程中注意检查侧边垂直度，侧边垂直度宜为 0，最大不宜超过 1mm；安装过程中注意复核模板顶标高偏差，顶标高两端偏差最大不宜超过 1mm；螺杆力矩应以面板贴合为宜。

3.8.2 技术指标

(1) 主要技术指标

- 1) 饰面清水混凝土模板表面平整度 2mm。
- 2) 普通清水混凝土模板表面平整度 3mm。
- 3) 饰面清水混凝土模板相邻面板拼缝高低差 $\leq 0.5\text{mm}$ 。
- 4) 相邻面板拼缝间隙 $\leq 0.8\text{mm}$ 。
- 5) 饰面清水混凝土模板安装截面尺寸 $\pm 3\text{mm}$ 。
- 6) 饰面清水混凝土模板安装垂直度（层高不大于 5m）3mm。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《清水混凝土技术规程》T/CECS 1486
- 2) 《清水混凝土应用技术规程》JGJ169
- 3) 《后浇清水混凝土技术规程》T/CECS 814

3.8.3 适用范围

体育场馆、候机楼、车站、码头、剧场、展览馆、写字楼、住宅楼、科研楼、学校等，桥梁、

筒仓、高耸构筑物等。

3.8.4 工程案例

潇河国际会议中心项目、山西农业大学新建综合实验楼建设项目、平顺县彩凤大道新建与拓宽工程（西河大桥、彩凤大桥、彩烟中桥建设、云碧峰大桥）建设项目、山西吕梁市离石区呈祥路南延（碧水路—交口商业街）工程、晋能保德电厂项目、国道 G342 昆仑大桥项目、山西职业技术学院图文信息中心项目等。

3.9 预制节段箱梁模板技术

预制节段箱梁是指整跨梁分为不同的节段，在预制厂预制好后，运至架梁现场，由专用节段拼装架桥机逐段拼装成孔，逐孔施工完成。目前生产节段梁的方式有长线法和短线法两种。预制节段箱梁模板包括长线预制节段箱梁模板和短线预制节段箱梁模板两种。

长线法：将全部节段在一个按设计提供的架梁线形修建的长台座上—块接—块地匹配预制，使前后两块间形成自然匹配面。

短线法：每个节段的浇注均在同一特殊的模板内进行，其一端为一个固定的端模，另一端为已浇梁段（匹配梁），待浇节段的位置不变，通过调整已浇筑匹配梁的几何位置获得任意规定的平、纵曲线的一种施工方法，台座仅需 4~6 个梁段长。

3.9.1 技术内容

（1）长线预制节段箱梁模板设计技术

长线预制节段箱梁模板由外模、内模、底模、端模等组成，根据梁体结构对模板进行整体设计，模板整体受力分析（图 3.9.1）。

外模需具有足够的强度，可整体脱模，易于支撑，与底模的连接简易可靠，并可实现外模整体纵移。

内模需考虑不同节段内模截面变化导致的模板变换，并可满足液压脱模，内模需实现整体纵移行走。



图 3.9.1 长线预制节段箱梁模板



图 3.9.2 短线预制节段箱梁模板

（2）短线预制节段箱梁模板设计技术

短线预制节段箱梁模板需根据梁体节段长度、种类、数量对模板配置进行分析，合理配置模板。短线预制节段箱梁模板由外模、内模、底模、底模小车、固定端模、固定端模支撑架等组成（详见

图 3.9.2)。

固定端模作为整个模板的测量基准，需保证模板具有足够的强度和精度。

底模需实现平移及旋转功能，并可带动匹配节段整体纵移。

外模需具有足够的强度，可整体脱模，易于支撑，为便于与已浇筑节段匹配，外模需满足横向与高度方向的微调，并可实现外模整体纵移一定的距离。

内模需考虑不同节段内模截面变化导致的模板变换，并可满足液压脱模，内模需实现整体纵移行走。

3.9.2 技术指标

(1) 主要技术指标

- 1) 模板面弧度一致，错台、间隙误差 $\leq 0.5\text{mm}$ 。
- 2) 模板制造长度及宽度误差 $\pm 1\text{mm}$ 。
- 3) 平面度误差 $\leq 2\text{mm}/2\text{m}$ 。
- 4) 模板安装完后腹板厚误差为 $(0, +5)\text{mm}$ 。
- 5) 模板安装完后底板厚误差为 $(0, +5)\text{mm}$ 。
- 6) 模板安装完后顶板厚误差为 $(0, +5)\text{mm}$ 。
- 7) 模板周转次数 200 次以上。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《节段预制混凝土桥梁技术标准》CJJ/T 111
- 2) 《预制混凝土箱涵》JC/T 2456

3.9.3 适用范围

预制节段箱梁主要应用于公路、轻轨、铁路等桥梁中。

3.9.4 工程案例

晋中市龙城大街东延工程、沁县松村至迎春公路（太焦高铁连接线）新建工程、沁樊公路杨河桥—里必段工程（连接线）、晋中市城区东、南外环快速化改造工程、太原市龙城大街东延黑河桥项目、太原市华夏文明产业园区配套路网迎宾桥、锦绣东桥、锦绣西桥项目等。

3.10 管廊模板技术

管廊的施工方法主要分为明挖施工和暗挖施工。明挖施工可采用明挖现浇施工法与明挖预制拼装施工法。当前，明挖现浇施工管廊工程量很大，工程质量要求高，对管廊模板的需求量大，本管廊模板技术主要包括支模和隧道模两类，适用于明挖现浇混凝土管廊的模板工程。

3.10.1 技术内容

(1) 管廊模板设计依据

管廊混凝土浇筑施工可采用两种方法：一是管廊混凝土分底板、墙板、顶板三次浇筑施工；二是管廊混凝土分底板、墙板和顶板两次浇筑施工。按管廊混凝土浇筑两种不同方法应进行相对应的模板设计与制定施工技术。

(2) 混凝土分两次浇筑的模板施工技术

- 1) 底板模板现场自备。
- 2) 墙模板与顶板采取组合式带肋塑料模板、铝合金模板、隧道模板施工方案等（详见图 3.10.1）。

(3) 混凝土分三次浇筑的模板施工技术

- 1) 底板模板现场自备。
- 2) 墙板模板采用组合式带肋塑料模板、铝合金模板、全钢大模板等。
- 3) 顶板模板采用组合式带肋塑料模板、铝合金模板、钢框胶合板台模等。



(1) 混凝土分两次浇筑的模板



(2) 混凝土分三次浇筑的模板

图 3.10.1 组合式带肋塑料模板在管廊工程中的应用

(4) 管廊模板设计基本要求

- 1) 管廊模板设计应按混凝土浇筑方法和模板施工技术进行。
- 2) 管廊模板的构件设计，应做到标准化、通用化。
- 3) 管廊模板设计应满足强度、刚度要求，并应满足支撑系统稳定。
- 4) 管廊外墙模板采用支模工艺施工应优先采用不设对拉螺栓作法，也可采用止水对拉螺栓作法，内墙模板不限。
- 5) 当管廊采用隧道模施工工艺时，管廊模板设计应根据工程情况的不同，可以按全隧道模、半隧道模和半隧道模+台模的不同工艺设计。

6) 当管廊顶板采用台模施工工艺时，台模应将模板与支撑系统设计成整体，保证整装、整拆、整体移动，并应根据顶板拆模强度条件考虑养护支撑的设计。

(5) 管廊模板施工

- 1) 采用组合式带肋塑料模板、铝合金模板、隧道模板施工应符合各类模板的行业标准规定要求及《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 规定要求。
- 2) 隧道模是墙板与顶板混凝土同时浇筑、模板同时拆除的一种特殊施工工艺，采用隧道模施工的工程，应重视隧道模拆模时的混凝土强度，并应采取隧道模早拆技术措施。

3.10.2 技术指标

(1) 主要技术指标

- 1) 组合式带肋塑料模板：模板厚度 50mm，背楞矩形钢管 2 根 60mm×30mm×2mm 或 2 根 60mm×40mm×2.5mm。

2) 铝合金模板: 模板厚度 65mm, 背楞矩形钢管 2 根 80mm×40mm×3mm 或 2 根 60mm×40mm×2.5mm。

3) 全钢大模板: 模板厚度 85mm/86mm, 背楞槽钢 100mm。

4) 隧道模: 模板台车整体轮廓表面纵向直线度误差≤1mm/2m, 模板台车前后端轮廓误差≤2mm, 模板台车行走速度 3~8m/min。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《组合钢模板技术规范》GB/T50214
- 2) 《建筑施工模板安全技术规范》JGJ162
- 3) 《建筑塑料复合模板工程技术规程》JGJ/T352
- 4) 《组合铝合金模板工程技术规程》JGJ386
- 5) 《铝合金模板》JG/T522
- 6) 《预制混凝土构件钢模板》JG/T3032
- 7) 《组合钢模板》JG/T 3060

3.10.3 适用范围

采用现浇混凝土施工的各类管廊工程。

3.10.4 工程案例

汾酒 2030 技改原酒产储能扩建一期工程管廊项目、龙城大街区域路网建设项目、忻原大道定襄县境内工程(中段)项目、山西转型综改示范区潇河产业园区太原起步区紫林路道路及综合管廊工程、蒲县昌平大街综合管廊及配套设施建设工程、长治市长治高新区起步区威远门北路(北环街-高新大道)综合管廊工程、太原华夏文明产业园区配套路网综合管廊工程等。

3.11 3D 打印装饰造型模板技术

3D 打印装饰造型模板采用聚氨酯橡胶、硅胶等有机材料, 打印或浇筑而成, 有较好的抗拉强度、抗撕裂强度和粘结强度, 且耐碱、耐油, 可重复使用 50~100 次。通过有装饰造型的模板给混凝土表面作出不同的纹理和肌理, 可形成多种多样的装饰图案和线条, 利用不同的肌理显示颜色的深浅不同, 实现材料的真实质感, 具有很好的仿真效果。

3.11.1 技术内容

(1) 3D 打印装饰造型模板是一个质量有保证而且非常经济的技术, 它使设计师、建筑师、业主做出各种混凝土装饰效果。

(2) 3D 打印装饰造型模板通常采用聚氨酯橡胶、硅胶等有机材料, 有较好的耐磨性能和延伸率, 且耐碱、耐油, 易于脱模而不损坏混凝土装饰面, 可以准确复制不同造型, 肌理, 凹槽等。

(3) 通过装饰造型模板给混凝土表面作出不同的纹理和肌理, 利用不同的肌理显示颜色的深浅不同, 实现材料的真实质感, 具有很好的仿真效果(如图 3.11.1、图 3.11.2); 如针对的是高端混凝土市场的一些定制的影像刻板技术造型模板, 通过侧面照射过来的阳光, 通过图片刻板模板完成的

混凝土表面的条纹宽度不一样，可以呈现不同的阴影，使混凝土表面效果非常生动（如图 3.11.3）。

(4) 3D 打印装饰造型模板特点：

- 1) 应用装饰造型模板成型混凝土，可实现结构装饰一体化，为工业化建筑省去二次装饰。
- 2) 产品安全耐久，避免了瓷砖脱落等造成的公共安全隐患。
- 3) 节约成本，因为装饰造型模板可以重复使用，可以大量节约生产成本。
- 4) 装饰效果逼真，不管仿石、仿木等任意的造型均可达到与原物一致的效果，从而减少了资源的浪费。

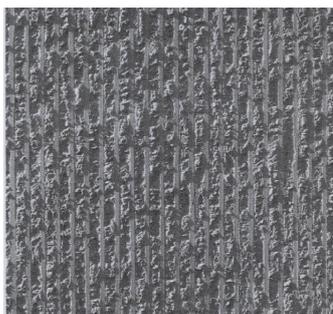


图 3.11.1 仿石材纹理

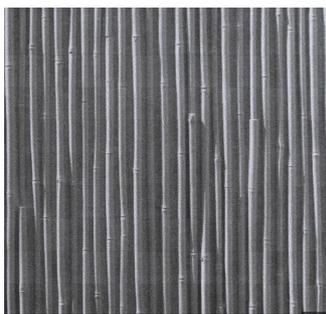


图 3.11.2 仿竹材纹理



图 3.11.3 影像纹理

3.11.2 技术指标

表 3.11.1 主要技术指标参数

主要指标	1 类模板	2 类模板
模板适用温度	+65℃ 内	+65℃ 内
肌理深度	> 25mm	1~25mm
最大尺寸	约 1m×5m	约 4m×10m
弹性体类型	轻型 $\gamma=0.9$	普通型 $\gamma=1.4$
反复使用次数	50 次	100 次
包装方式	平放	卷拢

3.11.3 适用范围

通过 3D 打印装饰造型模板技术，可以设计出各种各样独特的装饰造型，为建筑设计师立体造型的选择提供更大的空间，混凝土材料集结构装饰性能为一体，预制建筑构件、现浇构件均可，可广泛应用于住宅、围墙、隧道、地铁站、大型商场等工业与民用建筑，使装饰和结构同寿命，实现建筑装饰与环境的协调。

3.11.4 工程案例

太原县城城隍庙街东、西片区修缮保护工程项目，太原市竞杰常青藤二期项目，潞城区紫丹幼儿园项目等。

3.12 工程涉及的其它模板技术

3.12.1 装配式免支模钢筋桁架楼承板

3.12.1.1 技术内容

钢筋桁架楼承板是将楼板中的钢筋在工厂加工成钢筋桁架，并将钢筋桁架与镀锌钢板在工厂焊接成一体组合的楼承板。实现了机械化生产，有利于钢筋排列间距均匀、混凝土保护层厚度一致，提高了楼板的施工质量。可显著减少现场钢筋绑扎工程量，加快施工进度，增加施工安全保证，实现文明施工。如图 3.12.1，图 3.12.2。

3.12.1.2 技术指标

(1) 主要技术指标

1) 材料：镀锌冷轧钢板，双面镀锌量不低于 $120\text{g}/\text{m}^2$ ，厚度不低于 0.5mm ，屈服强度不低于 260Pa 。

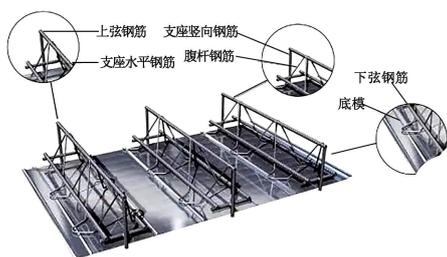


图 3.12.1 钢筋桁架楼承板

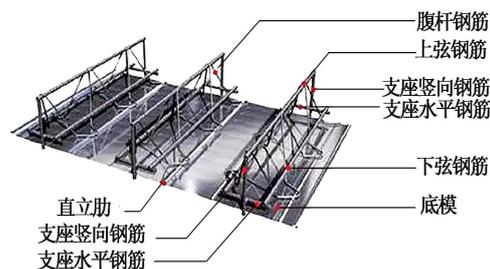


图 3.12.2 钢筋桁架楼承板

2) 桁架节点与底模接触点均应点焊，且点焊实测承载力不应小于规定要求。
3) 钢筋桁架杆件钢筋直径应按计算确定，但弦杆直径不应小于 6mm ，腹杆直径不应小于 4mm 。
4) 支座水平钢筋和竖向钢筋直径，当钢筋桁架高度不大于 100mm 时，直径不应小于 10mm 和 12mm ；当钢筋桁架高度大于 100mm 时，直径不应小于 12mm 和 14mm 。当考虑竖向支座钢筋承受施工阶段的支座反力时，应按计算确定其直径。

5) 两个钢筋桁架相邻上弦杆间距为 188mm ，两个钢筋桁架相邻下弦杆间距及一榀桁架的两个下弦杆之间的间距均不应大于 200mm 。

6) 钢筋桁架腹杆钢筋在支座起焊处，应焊在上弦钢筋的端部两侧（与支座竖筋相交处）。

7) 钢筋桁架下弦钢筋混凝土保护层厚度为 20mm 。

8) 确定板长时，桁架下弦钢筋伸入梁边的锚固长度不应小于 5 倍的下弦钢筋直径，且不应小于 50mm 。

(2) 技术规范/标准

1) 《钢筋桁架楼承板》JG/T368

2) 《钢筋桁架楼承板应用技术规程》T/CECS 1069

3.12.1.3 适用范围

钢筋桁架楼承板适用于现浇混凝土结构建筑、钢结构建筑、混凝土预制墙板构件等多种领域之中，在厂房钢结构、多高层钢结构、空间钢结构、住宅钢结构等项目中应用广泛。

3.12.1.4 工程案例

太原敦化南路智慧停车楼项目、山西建筑产业现代化（晋中）园区一期项目4号办公楼、下元公园时代城项目、山西基因诊断及药物研发基地、太潇河新城2#酒店、潇河新城智慧运营总部、潇河国际会展中心中间组团等。

3.12.2 定型纤维水泥压力板施工技术

3.12.2.1 技术内容

在基础施工中，采用水泥板代替砖胎模施工，具有较高的强度、刚度、不透水性及抗冻性能，取代砖胎模，方便、快捷、省时、省工，既节约成本，又能保证质量和安全。胎模表面光滑，无需抹灰处理，可直接做防水基层，即节省时间，也节约劳动力。

(1) 设计技术

构造如图3.12.3。

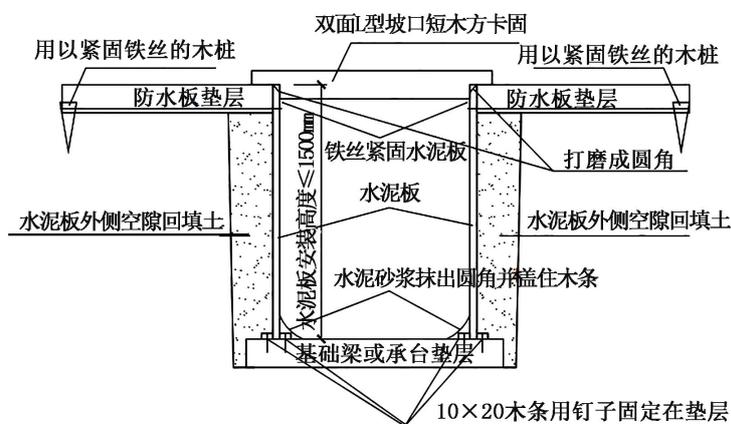


图 3.12.3 水泥压力板构造图

(2) 施工技术

板材测量和切割：使用直尺和锯等工具，精确测量所需的纤维水泥板尺寸，并进行切割。确保切割边缘平整，以便于安装时的对接。利用水泥板具有良好的可加工性，通过以木方作为临时固定支撑，用钉子连接固定，用铁丝与土内木桩拉紧水泥板上端进行固定。板材四周的边缘需要做好密封处理。

3.12.2.2 技术指标

(1) 龙骨安装时需要根据设计要求进行定位，并进行水平、垂直检查。龙骨应由优质金属材料制作，固定牢固，并保证不会产生变形。

(2) 常见的水泥纤维板密度为 $1.2-1.8\text{g}/\text{m}^3$ 。板材安装后，应进行适当调整和整平。

3.12.2.3 适用范围

适用于高度不大于 1500mm 的桩基础的承台、地梁、基础梁的侧模。

3.12.2.4 工程案例

山西省档案馆新馆建设项目、天津津武（挂）2020-082 号地块居住项目二期（EPC 总承包）、天津宝坻京津中关村科技城配套基础设施项目—科技研发配套设施及医疗器械配套设施项目等。

3.12.3 三角桁架支撑式单侧钢大模板技术

3.12.3.1 技术内容

地下室外墙采用单侧支模技术，可以有效地解决空间狭小问题，采用单侧支架作为外墙受力系统，质量容易控制，混凝土浇筑平整度好。肥槽回填量减小，省去防水穿墙螺栓（地下室外墙采用双侧支模，穿墙螺栓均为一次性，不可周转），具有良好的经济效益。一般侧墙采用 86 钢模板+单侧支架组成联合支撑体系。

(1) 86 钢模结构设计技术

1) 86 钢模结构构造

钢模面板为 6mm 厚 Q235A 钢板，竖边框为 10mm 厚 Q235A 钢板，横边框为 10mm 厚 Q235A 钢板，竖肋（次龙骨）采用[8 普通型热轧槽钢，最大间距 260mm，竖向布置。横肋（主龙骨）采用双[10 普通型热轧槽钢，间距最大 1200mm，横向布置。钢模板构造见图 3.12.4。

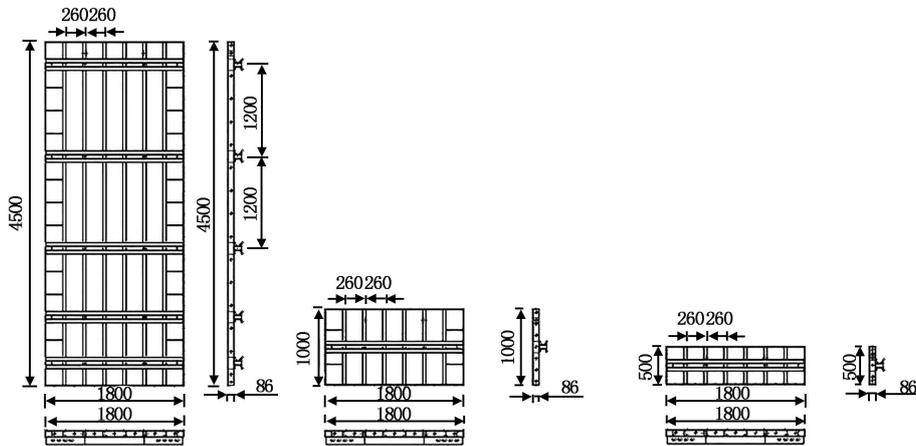


图 3.12.4 钢模板构造图

2) 单侧支架

单侧支架由埋件系统和架体两部分组成，其中埋件系统部分包括：地脚螺栓、连接螺母、外连杆、碟形螺母、垫片和压梁。见图 3.12.5。

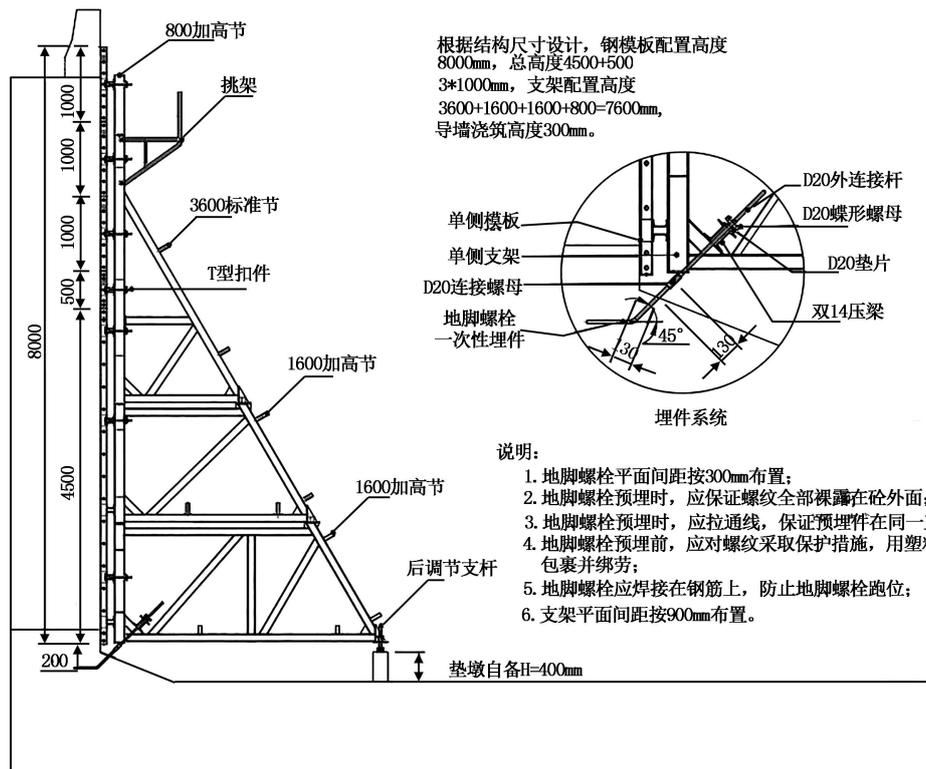


图 3.12.5 单侧支架埋件系统和架体

(2) 模板及支架安装技术

- 1) 每个支架之间的间距为 900mm。
- 2) 模板及支架安装流程: 钢筋绑扎并验收→弹出外墙边线→拼装好单元模板吊装到位→模板到位后用 M20*50 连接好各单元模板→吊装架体到位, 并用钢管连接好相邻架体, 利用架体尾部的调节螺栓使模板上口向墙体侧倾斜不小于 5mm→紧固好一次性埋件系统→验收合格后进行混凝土浇筑。
- 3) 合墙体模板时, 模板下口与预先弹好的墙边线对齐, 然后安装钢管背楞, 临时用钢管将墙体模板撑住。
- 4) 单侧支架在吊装时, 应轻放轻起, 多榀支架堆放在一起时, 应在平整场地上相互叠放整齐, 以免支架变形。
- 5) 需由标准节和加高节组装的单侧支架, 应预先在材料堆放场地进行拼装。
- 6) 在直面墙体段, 每安装 3 至 4 榀单侧支架后, 穿插埋件系统的压梁槽钢。
- 7) 支架安装完后, 安装埋件系统。
- 8) 用主背楞连接件将模板背楞与单侧支架部分连成一个整体。
- 9) 因单侧支架浇筑混凝土时, 模板挤压受力将向外倾。通过调节单侧支架后支座, 控制模板面板上口向墙内侧预倾斜约 5mm。

3.12.3.2 技术指标

(1)钢模面板为6mm厚Q235A钢板,竖边框为10mm厚Q235A钢板,横边框为10mm厚Q235A钢板,竖向布置。(主龙骨)双[10普通型热轧槽钢。

(2)横肋(主龙骨)采用双[10槽钢,间距最大1200mm。

(3)竖肋(次龙骨)采用[8普通型热轧槽钢,最大间距260mm。

(4)单侧支架采用10槽钢及 $\phi 48 \times 3.25$ 钢管构成。

3.12.3.3 适用范围

深基坑的地下室外墙紧贴着围护桩或地下连续墙,地铁地下车站等。

3.12.3.4 工程案例

晋城文化艺术中心、晋城市丹河新城金村新区起步区教育园区共享项目(职院范围)及教育园区酒店项目设计施工总承包-大礼堂、国有工矿太原东山煤矿有限责任公司棚户区改造项目一期地下车库工程等。

4 装配式混凝土结构技术

4.1 装配式混凝土剪力墙结构技术

4.1.1 装配式混凝土剪力墙结构技术

4.1.1.1 技术内容

装配式混凝土剪力墙结构是指全部或部分采用预制墙板构件，通过可靠的连接方式后浇混凝土、水泥基灌浆料形成整体的混凝土剪力墙结构。这是近年来在我国应用最多、发展最快的装配式混凝土结构技术。该体系中，部分或全部剪力墙采用预制构件，预制剪力墙之间的竖向接缝一般位于结构边缘构件部位，该部位采用现浇方式与预制墙板形成整体，预制墙板的水平钢筋在后浇部位实现可靠连接或锚固；预制剪力墙水平接缝位于楼面标高处，水平接缝处钢筋可采用套筒灌浆连接、浆锚搭接连接或在底部预留后浇区内搭接连接的形式。在每层楼面处设置水平后浇带并配置连续纵向钢筋，在屋面处应设置封闭后浇圈梁。采用叠合楼板及预制楼梯，预制或叠合阳台板。该结构体系整体受力性能与现浇剪力墙结构相当，按“等同现浇”设计原则进行设计。

针对装配式混凝土剪力墙结构的特点，结构设计中还应该注意以下基本概念：

1) 应采取有效措施加强结构的整体性。装配整体式剪力墙结构是在选用可靠的预制构件受力钢筋连接技术的基础上，采用预制构件与后浇混凝土相结合的方法，通过连接节点的合理构造措施，将预制构件连接成一个整体，保证其具有与现浇混凝土结构基本等同的承载能力和变形能力，达到与现浇混凝土结构等同的设计目标。其整体性主要体现在预制构件之间、预制构件与后浇混凝土之间的连接节点上，包括接缝混凝土粗糙面及键槽的处理、钢筋连接锚固技术、各类附加钢筋、构造钢筋等。

2) 装配式混凝土结构的材料宜采用高强钢筋与适宜的高强混凝土。预制构件在工厂生产，混凝土构件可实现蒸汽养护，对于混凝土的强度、抗冻性及耐久性有显著提升，方便高强混凝土技术的采用，且可以提早脱模提高生产效率；采用高强混凝土可以减小构件截面尺寸，便于运输吊装。采用高强钢筋，可以减少钢筋数量，简化连接节点，便于施工，降低成本。

3) 装配式结构的节点和接缝应受力明确、构造可靠，一般采用经过充分的力学性能试验研究、施工工艺试验和实际工程检验的节点做法。节点和接缝的承载力、延性和耐久性等一般通过对构造、施工工艺等的严格要求来满足，必要时单独对节点和接缝的承载力进行验算。若采用相关标准、图集集中均未涉及的新型节点连接构造，应进行必要的技术与试验验证。

4) 装配式混凝土剪力墙结构中，预制构件合理的接缝位置、尺寸及形状的设计是十分重要的，应以模数化、标准化为设计工作基本原则。接缝对建筑功能、建筑平立面、结构受力状况、预制构件承载能力、制作安装、工程造价等都会产生一定的影响。设计时应满足建筑模数协调、建筑物理性能、结构和预制构件的承载能力、便于施工和进行质量控制等多项要求。

5) 《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 和《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231 中的规定。《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1、《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231 中将装配式

混凝土剪力墙结构的最大适用高度比现浇结构适当降低。装配式混凝土剪力墙结构的高宽比限值，与现浇结构基本一致。

6) 作为混凝土结构的一种类型，装配式混凝土剪力墙结构在设计和施工中应符合国家现行标准《混凝土结构通用规范》GB 55008、《混凝土结构设计规范》GB 50010、《混凝土结构工程施工规范》GB 50666、《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的要求；若房屋层数为 10 层及 10 层以上或者高度大于 28m，还应该参照《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 中关于剪力墙结构的一般性规定。

4.1.1.2 技术指标

- (1) 《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231
- (2) 《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1
- (3) 《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231
- (4) 《混凝土结构通用规范》GB 55008
- (5) 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- (6) 《混凝土结构工程施工规范》GB 50666
- (7) 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
- (8) 《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3
- (9) 《装配式混凝土结构钢筋错位连接技术规程》T/CECS 1222
- (10) 《带暗框架的装配式混凝土剪力墙结构技术规程》T/CECS 1305
- (11) 《装配式混凝土建筑技术标准》DBJ04/T358
- (12) 《装配式混凝土建筑施工及验收标准》DBJ04/T361
- (13) 《钢筋机械连接装配式混凝土结构技术规程》CECS444

4.1.1.3 适用范围

适用于抗震设防烈度为 6~8 度区的居住建筑。

4.1.1.4 工程案例

太原泰瑞城住宅项目、山西建筑产业现代化（晋中）园区一期项目（办公楼）等。

4.1.2 叠合剪力墙结构技术

4.1.2.1 技术内容

叠合剪力墙结构是指采用两层带格构钢筋（桁架钢筋）的预制墙板，现场安装就位后，在两层板中间浇筑混凝土，辅以必要的现浇混凝土剪力墙、边缘构件、楼板，共同形成的叠合剪力墙结构。在工厂生产预制构件时，设置桁架钢筋，既可作为吊点，又增加平面外刚度，防止起吊时开裂。在使用阶段，桁架钢筋作为连接墙板的两层预制片与二次浇筑夹心混凝土之间的拉接筋，可提高结构整体性能和抗剪性能。同时，这种连接方式区别于其他装配式结构体系，板与板之间无拼缝，无需做拼缝处理，防水性好。

利用信息技术，将叠合式墙板和叠合式楼板的生图转化为数据格式文件，直接传输到工厂主控系统读取相关数据，并通过全自动流水线，辅以机械支模手进行构件生产，所需人工少，生产效率高，构件精度达毫米级。同时，构件形状可自由变化，在一定程度上解决了“模数化限制”的问题，突破了个性化设计与工业化生产的矛盾。

叠合剪力墙结构采用与现浇剪力墙结构相同的方法进行结构分析与设计，其主要力学技术指标与现浇混凝土结构相同，但当同一层内既有预制又有现浇抗侧力构件时，地震设计状况下宜对现浇水平抗侧力构件在地震作用下的弯矩和剪力乘以不小于 1.1 的增大系数。高层叠合剪力墙结构其建筑高度、规则性、结构类型应满足现行国家标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231 等规范要求。

4.1.2.2 技术指标

- (1) 《混凝土结构通用规范》GB 55008
- (2) 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- (3) 《混凝土结构工程施工规范》GB 50666
- (4) 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
- (5) 《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231
- (6) 《装配整体式叠合混凝土结构施工及质量验收规程》T/CECS 1180

4.1.2.3 适用范围

适用于抗震设防烈度为 6~8 度的多层、高层建筑，包含工业与民用建筑。除了地上，本技术结构体系具有良好的整体性和防水性能，还适用于地下工程，包含地下室、地下车库、地下综合管廊等。

4.1.2.4 工程案例

山西建筑产业现代化（晋中）园区一期项目（办公楼）等。

4.2 装配式混凝土框架结构技术

4.2.1 技术内容

装配式混凝土框架结构包括装配整体式混凝土框架结构及其他装配式混凝土框架结构。装配式整体式框架结构是指全部或部分框架梁、柱采用预制构件通过可靠的连接方式装配而成，连接节点处采用现场后浇混凝土、水泥基灌浆料等将构件连成整体的混凝土结构。其他装配式框架主要指各类干式连接的框架结构，主要与剪力墙、抗震支撑等配合使用。

装配整体式框架结构可采用与现浇混凝土框架结构相同的方法进行结构分析，其承载力极限状态及正常使用极限状态的作用效应可采用弹性分析方法。在结构内力与位移计算时，对现浇楼盖和叠合楼盖，均可假定楼盖在其平面为无限刚性。装配整体式框架结构构件和节点的设计均可按与现浇混凝土框架结构相同的方法进行，此外，尚应对叠合梁端竖向接缝、预制柱柱底水平接缝部位进行受剪承载力验算，并进行预制构件在短暂设计状况下的验算。装配整体式框架结构中，应通过合理的结构布置，避免预制柱的水平接缝出现拉力。

装配整体式框架主要包括框架节点后浇和框架节点预制两大类：前者的预制构件在梁柱节点处通过后浇混凝土连接，预制构件为一字形；而后的连接节点位于框架柱、框架梁中部，预制构件有十字形、T形、一字形等并包含节点，由于预制框架节点制作、运输、现场安装难度较大，现阶段工程较少采用。

装配整体式框架结构连接节点设计时，应合理确定梁和柱的截面尺寸以及钢筋的数量、间距及位置等，钢筋的锚固与连接应符合国家现行标准相关规定，并应考虑构件钢筋的碰撞问题以及构件的安装顺序，确保装配式结构的易施工性。装配整体式框架结构中，预制柱的纵向钢筋可采用套筒灌浆、机械冷挤压等连接方式。当梁柱节点现浇时，叠合框架梁纵向受力钢筋应伸入后浇节点区锚固或连接，其下部的纵向受力钢筋也可伸至节点区外的后浇段内进行连接。当叠合框架梁采用对接连接时，梁下部纵向钢筋在后浇段内宜采用机械连接、套筒灌浆连接或焊接等连接形式连接。叠合框架梁的箍筋可采用整体封闭箍筋及组合封闭箍筋形式。

4.2.2 技术指标

(1) 主要技术指标

- 1) 最大适用高度与现浇混凝土框架结构基本相同。
- 2) 宜采用高强混凝土和高强钢筋。
- 3) 框架梁和框架柱的纵向钢筋尽量选用大直径钢筋，以减少钢筋数量，拉大钢筋间距。
- 4) 当房屋高度大于 12m 或层数超过 3 层时，预制柱宜采用套筒灌浆连接，包括全灌浆套筒和半灌浆套筒。矩形预制柱截面宽度或圆形预制柱直径不宜小于 400mm，且不宜小于同方向梁宽的 1.5 倍；预制柱的纵向钢筋在柱底采用套筒灌浆连接时，柱箍筋加密区长度不应小于纵向受力钢筋连接区域长度与 500mm 之和。
- 5) 当纵向钢筋的混凝土保护层厚度大于 50mm 时，宜采取增设钢筋网片等措施，控制裂缝宽度以及在受力过程中的混凝土保护层剥离脱落。
- 6) 当采用叠合框架梁时，后浇混凝土叠合层厚度不宜小于 150mm，抗震等级为一、二级叠合框架梁的梁端箍筋加密区宜采用整体封闭箍筋。
- 7) 采用预制柱及叠合梁的装配整体式框架中，柱底接缝宜设置在楼面标高处，且后浇节点区混凝土上表面应设置粗糙面。柱纵向受力钢筋应贯穿后浇节点区，柱底接缝厚度为 20mm，并应用灌浆料填实。装配式框架节点中，包括中间层中节点、中间层端节点、顶层中节点和顶层端节点，框架梁和框架柱的纵向钢筋的锚固和连接可采用与现浇框架结构节点的方式，对于顶层端节点还可采用柱伸出屋面并将柱纵向受力钢筋锚固在伸出段内的方式。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《混凝土结构通用规范》GB 55008
- 2) 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 3) 《混凝土结构工程施工规范》GB 50666
- 4) 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204

- 5) 《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231
- 6) 《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1
- 7) 《预制预应力混凝土装配整体式框架结构技术规程》JGJ 224
- 8) 《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107
- 9) 《钢筋套筒灌浆连接应用技术规程》JGJ 355
- 10) 《钢筋锚固板应用技术规程》JGJ 256

4.2.3 适用范围

装配整体式混凝土框架结构可用于 6~8 度抗震设防地区的公共建筑、居住建筑以及工业建筑。除 8 度 (0.3g) 外, 装配整体式混凝土结构房屋的最大适用高度与现浇混凝土结构相同。其他装配式混凝土框架结构, 主要适用于各类低多层居住、公共与工业建筑。

4.2.4 工程案例

山西建筑产业现代化(晋中)园区一期项目办公楼。

4.3 混凝土叠合楼板技术

4.3.1 技术内容

混凝土叠合楼板技术是指将楼板沿厚度方向分成两部分, 底部是预制底板, 上部后浇混凝土叠合层。配置底部钢筋的预制底板作为楼板的一部分, 在施工阶段作为后浇混凝土叠合层的模板承受荷载, 与后浇混凝土层形成整体的叠合混凝土构件。

混凝土叠合楼板按具体受力状态, 分为单向受力和双向受力叠合板; 预制底板按有无外伸钢筋可分为“有胡子筋”和“无胡子筋”; 拼缝按照连接方式可分为分离式接缝(即底板间不拉开的“密拼”)和整体式接缝(底板间有后浇混凝土带)。

预制底板按照受力钢筋种类可以分为预制混凝土底板和预制预应力混凝土底板: 预制混凝土底板采用非预应力钢筋时, 为增强刚度目前多采用桁架钢筋混凝土底板; 预制预应力混凝土底板可为预应力混凝土平板和预应力混凝土带肋板、预应力混凝土空心板。

跨度大于 3m 时预制底板宜采用桁架钢筋混凝土底板或预应力混凝土平板, 跨度大于 6m 时预制底板宜采用预应力混凝土带肋底板、预应力混凝土空心板, 叠合楼板厚度大于 180mm 时宜采用预应力混凝土空心叠合板。

保证叠合面上下两侧混凝土共同承载、协调受力是预制混凝土叠合楼板设计的关键, 一般通过叠合面的粗糙度以及界面抗剪构造钢筋实现。

施工阶段是否设置可靠支撑决定了叠合板的设计计算方法。设置可靠支撑的叠合板, 预制构件在后浇混凝土重量及施工荷载下, 不至于发生影响内力的变形, 按整体受弯构件设计计算; 无支撑的叠合板, 二次成形浇筑混凝土的重量及施工荷载影响了构件的内力和变形, 应按二阶段受力的叠合构件进行设计计算。

4.3.2 技术指标

(1) 主要技术指标

1) 预制混凝土底板的混凝土强度等级不宜低于 C30；预制预应力混凝土底板的混凝土强度等级不宜低于 C40，且不应低于 C30；后浇混凝土叠合层的混凝土强度等级不宜低于 C25。

2) 预制底板厚度不宜小于 60mm，后浇混凝土叠合层厚度不应小于 60mm。

3) 预制底板和后浇混凝土叠合层之间的结合面应设置粗糙面，其面积不宜小于结合面的 80%，凹凸深度不应小于 4mm；设置桁架钢筋的预制底板，设置自然粗糙面即可。

4) 预制底板跨度大于 4m，或用于悬挑板及相邻悬挑板上部纵向钢筋在悬挑层内锚固时，应设置桁架钢筋或设置其他形式的抗剪构造钢筋。

5) 预制底板采用预制预应力底板时，应采取控制反拱的可靠措施。

(2) 技术规范/标准

1) 《混凝土结构通用规范》GB 55008

2) 《混凝土结构设计规范》GB 50010

3) 《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1

4) 《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231

5) 《混凝土结构工程施工规范》GB 50066

6) 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204

7) 《预制带肋底板混凝土叠合楼板技术规程》JGJ/T258

8) 《轻质芯模混凝土叠合密肋楼板技术规程》CECS 318

9) 《装配整体式叠合混凝土结构施工及质量验收规程》T/CECS 1180

10) 《钢肋预应力混凝土叠合板技术规程》T/CECS 1289

11) 《桁架钢筋混凝土叠合板（60mm 厚底板）》15G366-1

12) 《预制带肋底板混凝土叠合板》14G443

13) 《预应力混凝土叠合板（50mm、60mm 实心底板）》06SG439-1

4.3.3 适用范围

各类建筑中的楼盖结构，尤其适用于住宅及各类公共建筑。

4.3.4 工程案例

太原坞城村城中村改造项目、太原泰瑞城住宅项目、太原金茂府项目、太原北寒村城改项目、太原西华苑三期小学项目、中北大学仪器科学大楼项目等。

4.4 预制混凝土外墙挂板技术

4.4.1 技术内容

预制混凝土外墙挂板是安装在主体结构上，起围护、装饰作用的非承重预制混凝土外墙板，简称外墙挂板。外墙挂板按构件构造可分为钢筋混凝土外墙挂板、预应力混凝土外墙挂板两种形式；按与主体结构连接节点构造可分为点支承连接、线支承连接两种形式；按保温形式可分为无保温、

外保温、夹心保温等三种形式；按建筑外墙功能定位可分为围护墙板和装饰墙板。各类外墙挂板可根据工程需要与外装饰、保温、门窗结合形成一体化预制墙板系统。

预制混凝土外墙挂板可采用面砖饰面、石材饰面、彩色混凝土饰面、清水混凝土饰面、露骨料混凝土饰面及表面带装饰图案的混凝土饰面等类型外墙挂板，可使建筑外墙具有独特的表现力。

预制混凝土外墙挂板在工厂采用工业化方式生产，具有施工速度快、质量好、维修费用低的优点，主要包括预制混凝土外墙挂板（建筑和结构）设计技术、预制混凝土外墙挂板加工制作技术和预制混凝土外墙挂板安装施工技术。

4.4.2 技术指标

（1）主要技术指标

1) 支承预制混凝土外墙挂板的结构构件应具有足够的承载力和刚度，民用外墙挂板仅限跨越一个层高和一个开间，厚度不宜小于 100mm，混凝土强度等级不低于 C25。

2) 与主体结构采用柔性节点连接，地震时适应结构层间变位性能好，抗震性能满足抗震设防烈度为 8 度的地区应用要求。

3) 作为建筑围护结构产品定位应与主体结构的耐久性要求一致，即不应低于 50 年设计使用年限，饰面装饰（涂料除外）及预埋件、连接件等配套材料耐久性设计使用年限不低于 50 年，其他如防水材料、涂料等应采用 10 年质保期以上的材料，定期进行维护更换。

4) 外墙挂板防水性能与有关构造应符合国家现行有关标准的规定，并符合《山西省 10 项新技术》第 8.4 节有关规定。

（2）技术规范/标准

- 1) 《混凝土外墙挂板》JC/T 2356
- 2) 《发泡陶瓷外墙挂板应用技术规程》T/CECS 877
- 3) 《混凝土结构通用规范》GB 55008
- 4) 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 5) 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
- 6) 《建筑装饰装修工程质量验收标准》GB 50210
- 7) 《建筑节能与可再生能源利用通用规范》GB 55015
- 8) 《公共建筑节能设计标准》GB50189
- 9) 《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》
- 10) 《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1
- 11) 《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231
- 12) 《建筑防火通用规范》GB 55037
- 13) 《建筑设计防火规范》GB 50016

4.4.3 适用范围

预制混凝土外墙挂板适用于工业与民用建筑的外墙工程，可广泛应用于混凝土框架结构、钢结

构的公共建筑、住宅建筑和工业建筑中。

4.4.4 工程案例

上兰村棚户区改造项目等。

4.5 夹心保温墙板技术

4.5.1 技术内容

三明治夹心保温墙板（简称“夹心保温墙板”）是指把保温材料夹在两层混凝土墙板（内叶墙、外叶墙）之间形成的复合墙板，可达到增强外墙保温节能性能，减小外墙火灾危险，提高墙板保温寿命从而减少外墙维护费用的目的。夹心保温墙板一般由内叶墙、保温板和拉接件和外叶墙组成，形成类似于三明治的构造形式，内叶墙和外叶墙一般为钢筋混凝土材料，保温板宜采用燃烧性能为A级材料，严禁采用B2、B3级材料，拉接件一般为FRP高强复合材料或不锈钢材质。夹心保温墙板可广泛应用于预制墙板或现浇墙体中，但预制混凝土外墙更便于采用夹心保温墙板技术。

根据夹心保温外墙的受力特点，可分为非组合夹心保温外墙、组合夹心保温外墙和部分组合夹心保温外墙。其中非组合夹心保温外墙内外叶混凝土受力相互独立，易于计算和设计，可适用于各种高层建筑的剪力墙和围护墙；组合夹心保温外墙的内外叶混凝土需要共同受力，一般只适用于单层建筑的承重外墙或作为围护墙；部分组合夹心保温外墙的受力介于组合和非组合之间，受力非常复杂，计算和设计难度较大，其应用方法及范围有待进一步研究。

非组合夹心墙板一般由内叶墙承受所有的荷载作用，外叶墙起到保温材料的保护层作用，两层混凝土之间可以产生微小的相互滑移，保温拉接件对外叶墙的平面内变形约束较小，可以释放外叶墙在温差作用下的产生的温度应力，从而避免外叶墙在温度作用下产生开裂，使得外叶墙、保温板与内叶墙和结构同寿命。装配混凝土结构预制外墙主要采用非组合夹心墙板。

夹心保温墙板中的保温拉接件布置应综合考虑墙板生产、施工和正常使用工况下的受力安全和变形影响。

4.5.2 技术指标

（1）主要技术指标

- 1) 夹心保温墙板的设计应该与建筑结构同寿命。
- 2) 墙板中的保温拉接件应具有足够的承载力和变形性能。
- 3) 非组合夹心墙板应遵循“外叶墙混凝土在温差变化作用下能够释放温度应力，与内叶墙之间能够形成微小的自由滑移”的设计原则。
- 4) 非组合夹心保温外墙的拉接件在与混凝土共同工作时，承载力安全系数应满足以下要求：对于抗震设防烈度为7度、8度地区，考虑地震组合时安全系数不小于3.0，不考虑地震组合时安全系数不小于4.0。
- 5) 非组合夹心保温墙板的外叶墙在自重作用下垂直位移应控制在一定范围内，内、外叶墙之间不得有穿过保温层的混凝土连通桥。

- 6) 夹心保温墙板的热工性能应满足节能计算要求。
- 7) 拉结件本身应满足力学、锚固及耐久等性能要求。
- 8) 拉结件的产品与设计应用应符合国家现行有关标准的规定。

(2) 技术规范/标准

《装配式建筑 预制混凝土夹心保温墙板》JC/T 2504

4.5.3 适用范围

适用于高层及多层装配式剪力墙结构外墙、高层及多层装配式框架结构非承重外墙挂板、高层及多层钢结构非承重外墙挂板等外墙形式，可用于各类居住与公共建筑。

4.5.4 工程案例

山煤上德苑项目、太原泰瑞城住宅项目等。

4.6 预制预应力混凝土构件技术

4.6.1 技术内容

预制预应力混凝土构件是指通过工厂生产并采用先张预应力技术的各类水平和竖向构件，其主要包括：预制预应力混凝土空心板、预制预应力混凝土双 T 板、预制预应力梁以及预制预应力墙板等。各类预制预应力水平构件可形成装配式或装配整体式楼盖，空心板、双 T 板可不设后浇混凝土层，也可根据使用要求与结构受力要求设置后浇混凝土层。预制预应力梁可为叠合梁，也可为非叠合梁。预制预应力墙板可应用与各类公共建筑与工业建筑中。

预制预应力混凝土构件的优势在于采用高强预应力钢丝、钢绞线，可以节约钢筋和混凝土用量，并降低楼盖结构高度，施工阶段普遍不设支撑而节约支模费用，综合经济效益显著。预制预应力混凝土构件组成的楼盖具有承载能力大，整体性好，抗裂度高等优点，符合“四节一环保”的绿色施工标准，以及建筑工业化的发展要求。预制预应力技术可增加墙板的长度，有利于实现多层一墙板。

4.6.2 技术指标

(1) 主要技术指标

1) 预应力混凝土空心板的标志宽度为 1.2m，也有 0.6m、0.9m 等其他宽度；标准板高 100mm、120mm、150mm、180mm、200mm、250mm、300mm、380mm 等；不同截面高度能够满足的板轴跨度为 3~18m。

2) 预应力混凝土双 T 板包括双 T 坡板和双 T 平板，坡板的标志宽度 2.4m、3.0m 等，坡板的标志跨度 9m、12m、15m、18m、21m、24m 等；平板的标志跨度 2.0m、2.4m、3.0m 等，平板的标志跨度 9m、12m、15m、18m、21m、24m 等。

3) 预应力混凝土梁跨度根据工程实际确定，在工业建筑中多为 6m、7.5m、9m 跨度。

4) 预应力混凝土墙板多为固定宽度（1.5m、2.0m、3.0m 等），长度根据柱距或层高确定。

(2) 技术规范/标准

1) 《混凝土结构通用规范》GB 55008

- 2) 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 3) 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
- 4) 《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1
- 5) 《装配式建筑 预制混凝土楼板》JC/T 2505
- 6) 《绿色设计产品评价技术规范 装配式建筑用预制混凝土构件》JC/T 2738
- 7) 《预制混凝土构件质量检验标准》T/CECS631
- 8) 《工厂预制混凝土构件质量管理标准》JG/T565
- 9) 《预应力混凝土空心板》GB14040
- 10) 《预应力混凝土实心方桩》JC/T 2723
- 11) 《预应力混凝土空心板应用技术规程》T/CECS 1367
- 12) 《预应力混凝土管》GB/T5696
- 13) 《先张法预应力混凝土管桩》GB/T 13476
- 14) 《预制预应力混凝土装配整体式框架结构技术规程》JGJ224
- 15) 《预应力混凝土异型预制桩技术规程》JGJ/T405
- 16) 《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T406
- 17) 《预应力混凝土用钢丝》GB/T 5223
- 18) 《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224
- 19) 《预应力混凝土圆孔板》03SG435-1~2
- 20) 《SP 预应力空心板》05SG408
- 21) 《大跨度预应力空心板（跨度 4.2m~18.0m）》13G440

4.6.3 适用范围

广泛适用于各类工业与民用建筑中。预应力混凝土空心板可用于混凝土结构、钢结构建筑中的楼盖与外墙挂板，预应力混凝土双 T 板多用于公共建筑、工业建筑的楼盖、屋盖，其中双 T 坡板仅用于屋盖，9m 以内跨度楼盖，可采用预应力空心板（SP 板）+后浇叠合层的叠合楼盖，9m 以内的超重载及 9m 以上的楼盖，采用预应力混凝土双 T 板+后浇叠合层的叠合楼盖。预制预应力梁截面可为矩形、花篮梁或 L 形、倒 T 形，便于与预应力混凝土双 T 板和空心板连接。

4.6.4 工程案例

汾酒 2030 技改项目、山西建筑产业现代化（晋中）园区一期项目等。

4.7 钢筋套筒灌浆连接技术

4.7.1 技术内容

钢筋套筒灌浆连接技术是指带肋钢筋插入内腔为凹凸表面的灌浆套筒，通过向套筒与钢筋的间隙灌注专用高强水泥基灌浆料，灌浆料凝固后将钢筋锚固在套筒内实现针对预制构件的一种钢筋连接技术。该技术将灌浆套筒预埋在混凝土构件内，在安装现场从预制构件外通过注浆管将灌浆料注

入套筒，来完成预制构件钢筋的连接，是预制构件中受力钢筋连接的主要形式，主要用于各种装配整体式混凝土结构的受力钢筋连接。灌浆套筒按加工方式分为铸造灌浆套筒和机械加工灌浆套筒。铸造灌浆套筒宜选用球墨铸铁，机械加工套筒宜选用优质碳素结构钢、低合金高强度结构钢、合金结构钢或其它经过接头型式检验确定符合要求的钢材。

钢筋套筒灌浆连接接头由钢筋、灌浆套筒、灌浆料三种材料组成，其中灌浆套筒分为半灌浆套筒和全灌浆套筒，半灌浆套筒连接的接头一端为灌浆连接，另一端为机械连接。

钢筋套筒灌浆连接施工流程主要包括：预制构件在工厂完成套筒与钢筋的连接、套筒在模板上的安装固定和进出浆管道与套筒的连接，在建筑施工现场完成构件安装、灌浆腔密封、灌浆料加水拌合及套筒灌浆。

竖向预制构件的受力钢筋连接可采用半灌浆套筒或全灌浆套筒。构件宜采用联通腔灌浆方式，并应合理划分连通腔区域。构件也可采用单个套筒独立灌浆，构件就位前水平缝处应设置坐浆层。套筒灌浆连接应采用由经接头型式检验确认的与套筒相匹配的灌浆料，使用与材料工艺配套的灌浆设备，以压力灌浆方式将灌浆料从套筒下方的进浆孔灌入，从套筒上方出浆孔流出，及时封堵进出浆孔，确保套筒内有效连接部位的灌浆料填充密实。

水平预制构件纵向受力钢筋在现浇带处连接可采用全灌浆套筒连接。套筒安装到位后，套筒注浆孔和出浆孔应位于套筒上方，使用单套筒灌浆专用工具或设备进行压力灌浆，灌浆料从套筒一端进浆孔注入，从另一端出浆口流出后，进浆、出浆孔接头内灌浆料浆面均应高于套筒外表面最高点。

套筒灌浆施工后，灌浆料同条件养护试件的抗压强度达到 35MPa 后，方可进行对接头有扰动的后续施工。

4.7.2 技术指标

(1) 主要技术指标

1) 套筒材料主要性能指标：球墨铸铁灌浆套筒的抗拉强度不小于 550 MPa，断后伸长率不小于 5%，球化率不小于 85%；各类钢制灌浆套筒的抗拉强度不小于 600 MPa，屈服强度不小于 355 MPa，断后伸长率不小于 16%；其他材料套筒符合有关产品标准要求。

2) 灌浆料主要性能指标：初始流动度不小于 300mm，30min 流动度不小于 260mm，1d 抗压强度不小于 35MPa，28d 抗压强度不小于 85MPa。

3) 套筒材料在满足断后伸长率等指标要求的情况下，可采用抗拉强度超过 600MPa（如 900MPa、1000MPa）的材料，以减小套筒壁厚和外径尺寸，也可根据生产工艺采用其他强度的钢材。

4) 灌浆料在满足流动度等指标要求的情况下，可采用抗压强度超过 85MPa（如 110MPa、130MPa）的材料，以便于连接大直径钢筋、高强钢筋和缩短灌浆套筒长度。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《装配式混凝土技术规程》JGJ 1
- 2) 《钢筋套筒灌浆连接应用技术规程》JGJ 355
- 3) 《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231

- 4) 《钢筋连接用灌浆套筒》JG/T 398
- 5) 《钢筋连接用套筒灌浆料》JG/T 408
- 6) 《装配式混凝土结构套筒灌浆质量检测技术规程》T/CECS683
- 7) 《钢管滚压成型灌浆套筒钢筋连接技术规程》T/CECS687
- 8) 《钢筋套筒灌浆连接微压充浆施工标准》T/CECS 1419

4.7.3 适用范围

本技术适用于装配整体式混凝土结构中直径 12~40mm 的 HRB400、HRB500 钢筋的连接,包括预制框架柱和预制梁的纵向受力钢筋、预制剪力墙竖向钢筋等的连接,也可用于既有结构改造现浇结构竖向及水平钢筋的连接。

4.7.4 工程案例

太原泰瑞城住宅项目、山西建筑产业现代化(晋中)园区一期项目等。

4.8 预制构件工厂化生产加工技术

4.8.1 技术内容

预制构件工厂化生产加工技术,指采用自动化流水线、机组流水线、长线台座生产线生产标准定型预制构件并兼顾异型预制构件,采用固定台模线生产房屋建筑预制构件,满足预制构件的批量生产加工和集中供应要求的技术。

工厂化生产加工技术包括预制构件工厂规划设计、各类预制构件生产工艺设计、预制构件模具方案设计及其加工技术、钢筋制品机械化加工和成型技术、预制构件机械化成型技术、预制构件节能养护技术以及预制构件生产质量控制技术。

非预应力混凝土预制构件生产技术涵盖混凝土技术、钢筋技术、模具技术、预留预埋技术、浇筑成型技术、构件养护技术,以及吊运、存储和运输技术等,代表构件有桁架钢筋预制板、梁柱构件、剪力墙板构件等。预应力混凝土预制构件生产技术还涵盖先张法和后张有粘结预制构件的生产技术,除了建筑工程中使用的预应力圆孔板、双 T 板、屋面梁、屋架、屋面板等,还包括市政和公路领域的预制桥梁构件等,重点研究预应力生产工艺和质量控制技术。

4.8.2 技术指标

(1) 主要技术指标

- 1) 工厂化科学管理、自动化智能生产带来质量品质得到保证和提高。
- 2) 构件外观尺寸加工精度可达 $\pm 2\text{mm}$,混凝土强度标准差不大于 4.0MPa,预留预埋尺寸精度可达 $\pm 1\text{mm}$,保护层厚度控制偏差 $\pm 3\text{mm}$ 。
- 3) 通过预应力和伸长值偏差控制保证预应力构件起拱满足设计要求并处于同一水平,构件承载力满足设计和规范要求。
- 4) 预制构件的几何加工精度控制、混凝土强度控制、预埋件的精度、构件承载力性能、保护层厚度控制、预应力构件的预应力要求等尚应符合设计(包括标准图集)及有关标准的规定。

5) 预制构件生产的效率指标、成本指标、能耗指标、环境指标和安全指标, 应满足有关要求。

(2) 技术规范/标准

《绿色建材评价-预制构件》T/CECS 10025

4.8.3 适用范围

适用于建筑工程中各类钢筋混凝土和预应力混凝土预制构件。

4.8.4 工程案例

太原泰瑞城住宅项目、太原金茂府项目、太原北寒村城改项目、太原西华苑三期小学项目、中北大学仪器科学大楼项目、山西省昔阳地下综合管廊工程项目、晋中市晋中园区综合服务地下综合管廊工程项目等。

4.9 装配式混凝土结构建筑信息模型应用技术

4.9.1 技术内容

利用建筑信息模型(BIM)技术, 实现装配式混凝土结构的设计、生产、运输、装配、运维的信息交互和共享, 实现装配式建筑全过程一体化协同工作。应用BIM技术, 装配式建筑、结构、机电、装饰装修全专业协同设计, 实现建筑、结构、机电、装修一体化; 设计BIM模型直接对接生产、施工, 实现设计、生产、施工一体化。

4.9.2 技术指标

(1) 主要技术指标

1) 搭建模型时, 应采用统一标准格式的各类型构件文件, 且各类型构件文件应按照固定、规范的插入方式, 放置在模型的合理位置。

2) 预制构件出图排版阶段, 应结合构件类型和尺寸, 按照相关图集要求进项图纸排版, 尺寸标注、辅助线段和文字说明, 采用统一标准格式, 并满足现行国家标准《建筑制图标准》GB/T 50104和《建筑结构制图标准》GB/T 50105。

3) 预制构件生产, 应接力设计BIM模型, 采用“BIM+MES+CAM”技术, 实现工厂自动化钢筋生产、构件加工; 应用二维码技术、RFID芯片等可靠识别与管理技术, 结构工厂生产管理系统, 实现可追溯的全过程质量管控。

4) 应用“BIM+物联网+GPS”技术, 进行装配式预制构件运输过程追溯管理、施工现场可视化指导堆放、吊装等, 实现装配式建筑可视化施工现场信息管理平台。

5) 建筑信息模型(BIM)技术指标主要有支撑全过程BIM平台技术、设计阶段模型精度、各类型部品部件参数化程度、构件标准化程度、设计直接对接工厂生产系统CAM技术、以及基于BIM与物联网技术的装配式施工现场信息管理平台技术。

(2) 技术规范/标准

1) 《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231

2) 《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1

- 3) 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 4) 《预制混凝土剪力墙外墙板》15G365-1
- 5) 《预制钢筋混凝土阳台板、空调板及女儿墙》15G368-1
- 6) 《建筑信息模型施工应用标准》GB/T51235
- 7) 《建筑信息模型应用统一标准》DBJ04/T380
- 8) 《建筑信息模型施工应用标准》DBJ04/T422

4.9.3 适用范围

装配式剪力墙结构：预制混凝土剪力墙外墙板，预制混凝土剪力墙叠合板，预制钢筋混凝土阳台板、空调板及女儿墙等构件的深化设计、生产、运输与吊装。

装配式框架结构：预制框架柱、预制框架梁、预制叠合板、预制外挂板等构件的深化设计、生产、运输与吊装。

异形构件的深化设计、生产、运输与吊装。异形构件分为结构形式异形构件和非结构形式异形构件，结构形式异形构件包括有坡屋面、阳台等；非结构形式异形构件有排水檐沟、建筑造型等。

4.9.4 工程案例

太原泰瑞城住宅项目、太原金茂府项目、太原北寒村城改项目、太原西华苑三期小学项目、中北大学仪器科学大楼项目、山西省昔阳地下综合管廊工程项目、晋中市晋中园区综合服务区地下综合管廊工程项目等。

5 钢结构技术

5.1 高性能钢材应用技术

5.1.1 技术内容

高性能钢材主要从高强、高韧性、耐候、耐火等方面考虑，主要以高强度减少用钢量、以高韧性提高地震与复杂条件下抵抗倒塌破坏的能力、以耐候性延长维护周期、以耐火性提高火灾时承载力与降低防火成本等，并同时保证或改善钢材的切割、焊接等工艺性能。

钢厂供货品种及规格：轧制钢板的厚度为 6mm~400mm，宽度为 1500mm~4800 mm，长度为 6000mm~25000mm。有多种交货方式，包括：普通轧制态 AR、控制轧制态 CR、正火轧制态 NR、控轧控冷态 TMCP、正火态 N、正火加回火态 N+T、调质态 QT 等。

耐候钢：通过添加少量合金元素 Cu、P、Cr、Ni 等，使其在金属基体表面形成保护层，以提高耐大气腐蚀性能的钢称为耐候钢。耐候结构钢分为高耐候钢和焊接耐候钢两类，高耐候钢具有较好的耐大气腐蚀性能，而焊接耐候钢具有较好的焊接性能。耐候结构钢的耐大气腐蚀性能为普通钢的 2 倍~8 倍。高耐候钢分为热轧 Q295GNH、热轧 Q355GNH、冷轧 Q265GNH、冷轧 Q310GNH 四个牌号。焊接耐候钢（热轧）分为 Q235NH、Q295NH、Q355NH、Q415NH、Q460NH、Q500NH、Q550NH 七个牌号。

高强钢：建筑结构用高强钢一般具有低碳、微合金、纯净化、细晶粒四个特点。使用高强度钢材时必须注意新钢种焊接性试验、焊接工艺评定、确定匹配的焊接材料和焊接工艺，编制焊接工艺规程。高强钢常指屈服强度下限 $ReL \geq 390\text{MPa}$ ，抗拉强度 $Rm = 500 \sim 1200\text{MPa}$ ，并考虑焊接性而生产制造的钢材； $Rm \geq 1200\text{MPa}$ 的钢材一般称为超高强度钢。国家标准《低合金高强度结构钢》GB/T 1591-2008 中规定八个牌号，其中 Q390、Q420、Q460、Q500、Q550、Q620、Q690 属高强钢范围；《桥梁用结构钢》GB/T 714-2015 有八个牌号，其中 Q420q、Q460q、Q500q、Q550q、Q620q、Q690q 属高强钢范围；《建筑结构用钢板》GB/T 19879-2015 有九个牌号，其中 Q390GJ、Q420GJ、Q460GJ、Q500GJ、Q550GJ、Q620GJ、Q690GJ 属高强钢范围；《耐候结构钢》GB/T 4171-2008，有 Q415NH、Q460NH、Q500NH、Q550NH 属于高强钢范围。高强钢可减少钢材用量及加工量，节约资源，降低成本。

耐火耐候钢：通过添加适量的合金元素如钼、铜、铬等，以提高耐火性能和耐大气腐蚀性能的钢。分为 Q235FRW、Q355FRW、Q390FRW、Q420FRW、Q460FRW、Q500FRW、Q550FRW、Q620FRW、Q690FRW 九个牌号。

高建钢：全称高性能建筑结构用钢，具有易焊接、抗震、抗低温冲击等性能。通常情况下都是用中厚板轧机生产的。高建板主要是部分特厚板、厚板、中厚板、中板等。一般来说，高层建筑用结构钢板的厚度为 10~100mm，宽度为 1600~3500mm，长度为 6000~18000mm。《建筑结构用钢板》GB/T 19879-2015 中涉及厚度 6 mm~200 mm 的 Q345GJ、厚度 6 mm~150 mm 的 Q235GJ、Q390GJ、Q420GJ、Q460GJ 及厚度 12 mm~40 mm 的 Q500GJ、Q550GJ、Q620GJ、Q690GJ 钢。

5.1.2 技术指标

- (1) 《桥梁用结构钢》GB/T 714
- (2) 《建筑结构用钢板》GB/T 19879
- (3) 《耐候结构钢》GB/T 4171
- (4) 《低合金高强度结构钢》GB/T 1591
- (5) 《高强钢结构设计标准》JGJ/T 483
- (6) 《耐火耐候结构钢》GB/T 41324
- (7) 《建筑结构用高强度钢绞线》GB/T 33026

5.1.3 适用范围

耐候钢适用于桥梁、结构、塔架和其他结构用具有耐大气腐蚀性能的热轧和冷轧的钢板、钢带和型钢。

高强钢适用于高层建筑、桥梁、隧道等领域。

耐火耐候钢适用于制造一般结构和建筑结构的具有耐火性能、耐大气腐蚀性能的热轧钢板和钢带、热轧型钢。

高建钢主要应用于高层建筑、超高层建筑、大跨度体育场馆、机场、会展中心以及钢结构厂房等大型建筑工程。

5.1.4 工程案例

山西建投文化商务中心、信达国际金融中心项目等超高层建筑工程，山西潇河新城国际会议中心、会展中心项目等大跨度钢结构工程，太原迎宾桥及立交工程项目、运宝黄河大桥项目等桥梁钢结构工程。

5.2 钢结构深化设计技术

5.2.1 技术内容

钢结构深化设计是以设计院的施工图、计算书及其它相关资料为依据，依托专业深化设计软件平台，建立三维实体模型，计算节点坐标定位调整值，并生成结构安装布置图、零构件图、报表清单等的过程。钢结构深化设计与 BIM 结合，实现了模型信息化共享，由传统的“放样出图”延伸到施工全过程。主要包括以下内容：



图 5.2.1 钢结构三维深化模型



图 5.2.2 施工完成效果

深化设计阶段，需根据同类型构件拆分优化建立统一的产品（零件、构件等）编码体系，规范

图纸深度，保证产品信息的唯一性和可追溯性。建模时，软件应用和模型数据包含以下内容：

(1) 统一软件平台：同一工程的钢结构深化设计应采用统一的软件及版本号，设计过程中不得更改。同一工程在同一设计模型中完成，并根据模型体量进行合理拆分。

(2) 人员协同管理：钢结构深化设计多人协同作业时，明确职责分工，注意避免模型碰撞冲突，并需设置好稳定的软件联机网络环境，保证每个深化人员的深化设计软件运行顺畅。

(3) 软件基础数据配置：软件应用前需配置好基础数据，如：设定软件自动保存时间；使用统一的软件系统字体；设定统一的系统符号文件；设定统一的报表、图纸模板等。

(4) 模型构件唯一性：钢结构深化设计模型，要求一个零、构件号只能对应一种零、构件，当零、构件的尺寸、重量、材质、切割类型等发生变化时，需赋予零、构件新的编号，以避免零、构件的模型信息冲突报错。

(5) 零件的截面类型匹配：深化设计模型中每种截面的材料指定唯一的截面类型，保证材料在软件内名称的唯一性。

(6) 模型材质匹配：深化设计模型中每个零件都有对应的材质，根据相关国家钢材标准指定统一的材质命名规则，深化设计人员在建模过程中需保证使用的钢材牌号与国家标准中的钢材牌号相同。

5.2.2 技术指标

(1) 《钢结构工程深化设计标准》T/CECS606

(2) 《钢结构深化设计制图标准》CSCS 015

5.2.3 适用范围

钢结构深化设计、钢结构工程制作、运输与安装。

5.2.4 工程案例

太原市水上运动中心项目、新源智慧建设运行总部项目、山西潇河新城2号酒店项目、长治市光伏小镇1#厂区项目、山西建筑产业现代化（晋中）园区一期项目（4#办公楼）、山阴县博物馆项目、山阴县会展中心项目、长治市文化场馆（档案馆、图书馆）项目、山西建筑工程集团有限公司承建的北疆明珠观光塔项目等。

5.3 钢结构智能建造技术

5.3.1 技术内容

钢结构智能建造技术通过应用物联网技术，使用射频识别（RFID）、红外感应器等信息传感设备，按约定的协议，将物品与互联网相连接，进行信息交换和通讯，以实现智能化识别、定位、追踪、监控和管理的一种网络技术。在钢结构施工过程中应用物联网技术，改善了施工数据的采集、传递、存储、分析、使用等各个环节，将人员、材料、机器、产品等与施工管理、决策建立更为密切的关系，并可进一步将信息与BIM模型进行关联，提高施工效率、产品质量和企业创新能力，提升产品制造和企业管理的信息化管理水平。

(1) 钢结构工厂智能制造

钢结构制造企业结合信息化系统的模块管理需求，制定相应的编码规则，并进行资源编码。钢结构数字化制造的过程信息转变为计算机可识别的信息，主要包括：钢结构数字化设计技术、钢结构智能制造生产线、钢结构智能装配技术、钢结构智能焊接技术、智能物流与仓储等。

1) 钢结构数字化设计技术

(a) 三维建模：应用数字化设计平台，如 BIM（建筑信息模型）和 CAD 建立钢结构的三维模型，便于设计师对钢结构进行设计和优化，提高设计效率和精度。

(b) 应用有限元分析（FEA）和计算流体动力学（CFD），对钢结构进行虚拟仿真。

(c) 参数化设计：通过改变参数来控制钢结构的设计，方便设计师对钢结构进行修改和优化，提高设计灵活性。

(d) 虚拟现实技术：通过虚拟现实设备，设计师可以模拟钢结构的安装和施工过程，提高设计质量和效率。

2) 钢结构智能制造生产线

(a) 自动化生产：钢结构智能制造生产线采用自动化生产技术，通过计算机控制和机器人操作，实现钢铁制品的自动切割、焊接、组装等工艺，提高生产效率。

(b) 信息化管理：智能制造生产线采用信息化管理系统，对生产过程中的数据进行收集、分析和处理，实现生产过程的实时监控和管理，提高生产过程的透明度和可追溯性。

(c) 智能决策：智能制造生产线采用智能决策系统，对生产过程中的各种数据进行分析 and 处理，为生产决策提供支持，提高生产决策的准确性和效率。

3) 钢结构智能装配技术

(a) 模块化设计：将钢结构件设计成标准化的模块，便于生产和装配，提高装配效率。

(b) 机器人装配：通过计算机控制和机器人操作，实现钢结构件的自动装配提高装配精度和效率。

(c) 智能检测：对钢结构件的装配质量进行自动检测，提高检测效率和精度，确保钢结构的质量。

4) 钢结构智能焊接技术

(a) 激光焊接：采用激光焊接技术，通过激光束的高能量和高精度，实现钢结构件的快速焊接，提高焊接质量和效率。

(b) 电强焊：采用电弧焊技术，通过电的高温和强力，实现钢结构件的焊接，提高焊接质量和效率。

(c) 智能监控：采用智能监控技术，对焊接过程中的各种数据进行实时监控，及时发现并解决焊接问题，提高焊接质量。

5) 智能物流与仓储

(a) 应用智能物流系统，实现钢结构工程材料和构件的智能存储、配送和运输。

(b) 使用智能仓储系统，实现钢结构工程材料和构件的智能管理和库存控制。

(c) 应用人工智能技术，对钢结构工程的物流和仓储进行智能优化和决策。

(2) 钢结构施工智能技术

施工过程阶段，需建立统一的施工要素（人、机、料、法、环等）编码体系，规范作业过程，保证施工要素信息的唯一性和可追溯性。

1) 智能施工技术

(a) 通过智能化设备和技术，实现钢结构的自动施工，提高施工效率和质量。

(b) 智能吊装：通过智能化吊装设备和技术，实现钢结构件的自动吊装，提高吊装效率和安全性。

(c) 智能检测：钢结构智能施工技术采用智能检测技术，对钢结构的施工质量进行自动检测，提高检测效率和精度，确保钢结构的质量。

2) 钢结构智慧运维技术

(a) 钢结构智慧运维技术采用智慧运维技术，通过智能化设备和技术，实现钢结构的自动运维，提高运维效率和质量。

(b) 智能巡检：钢结构智慧运维技术采用智能巡检技术，通过智能化巡检设备和技术，实现钢结构的自动巡检，提高巡检效率和准确性。

(c) 智能预警：钢结构智慧运维技术采用智能预警技术，通过智能化预警设备和技术，对钢结构的潜在问题进行预警，提高钢结构的安全性。

(3) 智能建造过程控制

1) 设备管理

(a) 加工制作单位结合构件形式、标准化程度、加工精度要求、焊缝质量要求、工艺适应性、加工流程特点，选用数控设备/数控加工生产线。不同的数控加工生产线或工作站可采用机器人系统。

(b) 数控设备具有数控加工程序的上传和下载功能，并可存储多个加工程序，满足控制程序管理和调用需求，对构件信息进行数字化处理，形成可与数控设备通信的信息程序文件，数控程序文件应包含数控程序编号、数控程序名称、构件编号、创建日期、程序版本号等信息。

(c) 钢结构数控设备/数控加工生产线的工件数控运输单元，根据工件重量进行高、中、低速切换。

(d) 设备运行数据采集由设备控制系统与数据采集系统实现。数据采集系统配置通信接口，采集关键设备的数据等工作状态等信息，并传递给上层级信息管理系统，统计分析设备运行情况。

(e) 根据设备及数控加工生产线布置情况构建数字化模型，采用可视化看板形式，实时监控设备的运行状态。

2) 物料管理

(a) 钢结构数字化制造过程中的物料管理，通过建立物料管理系统，对车间物料数量、状态变化进行记录、追溯与分析。

(b) 所有物料应进行编码，并通过物料管理系统进行信息传输、保存和利用。

3) 工艺、生产管理

(a) 钢结构工艺数字化管理包括工艺权限管理功能、工艺流程管理功能、工艺数据管理功能、工艺优化管理功能。

(b) 根据项目交货期、深化设计、物料采购、车间实时生产进度、设备运行状态等信息，在钢结构制造协同管理平台中，进行生产计划与调度的数字化管理。

(c) 根据钢结构制造协同管理平台的车间数字化信息，进行详细排产、派工，形成批次计划。

(d) 对生产实施不间断监控和生产数据交互，及时准确反馈生产进度、数量。

4) 构件标识管理

(a) 加工制作单位采用构件数字化标识，并通过钢结构制造协同管理平台对构件进行全过程跟踪，采集构件当前所在工序的信息。

(b) 数字化标识与构件图纸、构件材质、操作工、质检、发运状态等信息进行关联。

5) 质量与检测管理

(a) 在钢结构制造协同管理平台上进行材料检验、切割、制孔、矫正、组装、焊接、表面处理、预拼装、涂装、包装等制作过程的质检数据采集，检验部品部件质量。

(b) 制成品通过数字、文字、照片等二维码数字化标识形式，追溯生产过程中的关键信息。

(c) 钢结构制造企业通过钢结构制造协同管理平台，对过程质检情况数据进行汇总，并分析质量异常原因。

6) 施工现场智能建造

(a) 采用三维计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助工艺规划(CAPP)、计算机辅助制造(CAM)、工艺路线仿真等工具和手段，提高数字化施工水平。

(b) 建立企业资源计划管理系统(ERP)、制造执行系统(MES)、供应链管理系统(SCM)、客户管理系统(CRM)、仓储管理系统(WMS)等信息化管理系统或相应功能模块，进行产品全生命周期管理。

(c) 基于物联网技术的应用，进一步建立信息与BIM模型有效整合的施工管理模式和协同工作机制，明确施工阶段各参与方的协同工作流程和成果提交内容，明确人员职责，制定管理制度。

5.3.2 技术指标

(1) 《钢结构工程施工质量验收标准》GB50205

(2) 《钢结构现场检测技术标准》GB/T50621

(3) 《钢结构焊接规范》GB50661

(4) 《钢结构工程施工规范》GB50755

(5) 《装配式钢结构建筑技术标准》GB/T51232

(6) 《钢结构通用规范》GB 55006

(7) 《建筑钢结构防腐蚀技术规程》JGJ/T251

5.3.3 适用范围

钢结构加工制造和钢结构现场施工。

5.3.4 工程案例

山西潇河新城会议、会展中心及配套酒店项目，建投商务中心项目，晋建迎曦园1#楼项目，山

西潇河建筑产业有限公司承建的陕西乾县文化体育中心。

5.4 钢结构数字化测量技术

5.4.1 技术内容

钢结构数字化测量技术是指在钢结构施工的不同阶段，采用基于数字化设备（全站仪、电子水准仪、三维激光扫描仪、数字摄影测量）、智能系统（GPS 全球定位系统、北斗卫星定位系统、物联网）及数字处理技术（无线数据传输、多源信息融合）等多种智能测量技术，解决复杂情况钢结构工程中传统测量方法难以解决的精确测量难题，实现对钢结构安装精度、质量与安全、工程进度的有效控制。主要涉及以下测量技术：

（1）高精度三维测量控制网布设技术

采用 GPS 空间定位技术或北斗空间定位技术，利用同时智能型全站仪（具有双轴自动补偿、伺服马达、自动目标识别（ATR）功能和机载多测回测角程序）和高精度电子水准仪以及条码因瓦水准尺，按照现行《工程测量标准》，建立多层次、高精度的三维测量控制网。

（2）钢结构地面拼装智能测量技术

使用智能型全站仪及配套测量设备，利用具有无线传输功能的自动测量系统，结合工业三坐标测量软件，实现空间复杂钢构件的实时、同步、快速地面拼装定位。

（3）钢结构精准空中智能化快速定位技术

采用带无线传输功能的自动测量机器人对空中钢结构安装进行实时跟踪定位，利用工业三坐标测量软件计算出相应控制点的空间坐标，并同对应的设计坐标相比较，及时纠偏、校正，实现钢结构快速精准安装。

（4）基于三维激光扫描的高精度钢结构质量检测及变形监测技术

采用三维激光扫描仪，获取安装后的钢结构空间点云，通过比较特征点、线、面的实测三维坐标与设计三维坐标的偏差值，从而实现钢结构安装质量的检测。该技术的优点是通过对扫描数据点云可实现对构件的特征线、特征面进行分析比较，比传统检测技术更能全面反映构件的空间状态和拼装质量。

（5）基于数字近景摄影测量的高精度钢结构性能检测及变形监测技术

利用数字近景摄影测量技术对钢结构桥梁、大型钢结构进行精确测量，建立钢结构的真实三维模型，并同设计模型进行比较、验证，确保钢结构安装的空间位置准确。

（6）基于物联网和无线传输的变形监测技术

通过基于智能全站仪的自动化监测系统及无线传输技术，融合现场钢结构拼装施工过程中不同部位的温度、湿度、应力应变、GPS 数据等传感器信息，采用多源信息融合技术，及时汇总、分析、计算，全方位反映钢结构的施工状态和空间位置等信息，确保钢结构施工的精准性和安全性。

5.4.2 技术指标

（1）主要技术指标

1) 高精度三维控制网技术指标

相邻点平面相对点位中误差不超过 3mm，高程上相对高差中误差不超过 2mm；单点平面点位中误差不超过 5mm，高程中误差不超过 2mm。

2) 钢结构安装空间定位技术指标

拼装完成的单体构件即吊装单元，主控轴线长度偏差不超过 3mm，各特征点监测值与设计值(X、Y、Z 坐标值) 偏差不超过 10mm。具有球结点的钢构件，检测球心坐标值 (X、Y、Z 坐标值) 偏差不超过 3mm。构件就位后各端口坐标 (X、Y、Z 坐标值) 偏差均不超过 10mm，且接口 (共面、共线) 错台不超过 2mm。

3) 钢结构变形监测技术指标

所测量的三维坐标 (X、Y、Z 坐标值) 观测精度应达到允许变形值的 1/20~1/10。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《工程测量标准》GB50026
- 2) 《工程测量通用规范》GB 55018
- 3) 《建筑变形测量规范》JGJ8
- 4) 《建筑施工测量标准》JGJ/T408

5.4.3 适用范围

大型复杂或特殊复杂、超高层、大跨度等钢结构施工过程中的构件验收、施工测量及变形观测等。

5.4.4 工程案例

山西潇河新城会议、会展中心及配套酒店项目、建投商务中心等项目。

5.5 钢结构数字化预拼装技术

5.5.1 技术内容

采用三维设计软件，将钢结构分段构件控制点的实测三维坐标，在计算机中模拟拼装形成分段构件的轮廓模型，与深化设计的理论模型拟合比对，检查分析加工拼装精度，得到所需修改的调整信息。经过必要校正、修改与模拟拼装，直至满足精度要求。主要包括以下内容：



图 5.5.1 单元构件虚拟预拼装拟合比对



图 5.5.2 现场实施效果

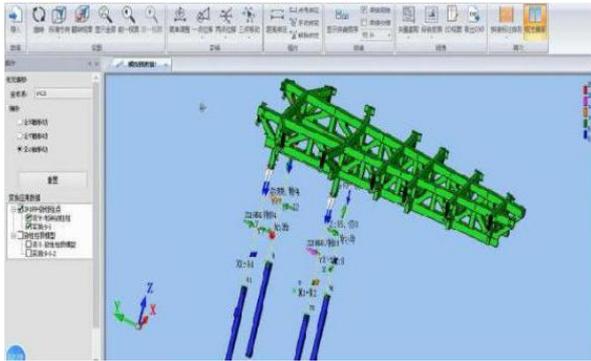


图 5.5.3 单元构件虚拟预拼装拟合比对



图 5.5.4 现场实施效果

(1) 根据设计图文资料和加工安装方案等技术文件，在构件分段与胎架设置等安装措施，可保证自重受力变形不致影响安装精度的前提下，建立设计、制造、安装全部信息的拼装工艺三维几何模型，完全整合形成一致的输入文件，通过模型导出分段构件和相关零件的加工制作详图。

(2) 构件制作验收后，利用全站仪实测外轮廓控制点三维坐标。

1) 设置仪器高和棱镜高，获得目标点的坐标值。

2) 设置已知点的方向角，照准棱镜测量，记录确认坐标数据。

(3) 计算机模拟拼装，形成实体构件的轮廓模型。

1) 将全站仪与计算机连接，导出测得的控制点坐标数据，导入到 EXCEL 表格，换成 (x, y, z) 格式。收集构件的各控制点三维利用全站仪实测外轮廓控制点三维坐标。

2) 设置相对于坐标原点的全站仪测站点坐标，仪器自动转换和显示位置点（棱镜点）在坐标系中的坐标。坐标数据、整理汇总。

3) 选择复制全部数据，输入三维图形软件。以整体模型为基准，根据分段构件的特点，建立各自的坐标系，绘出分段构件的实测三维模型。

4) 根据制作安装工艺图的需要，模拟设置胎架及其标高和各控制点坐标。

5) 将分段构件的自身坐标转换为总体坐标后，模拟吊上胎架定位，检测各控制点的坐标值。

(4) 将理论模型导入三维图形软件，合理地插入实测整体预拼装坐标系。

(5) 采用拟合方法，将构件实测模拟拼装模型与拼装工艺图的理论模型比对，得到分段构件和端口的加工误差以及构件间的连接误差。

(6) 统计分析相关数据记录，对于不符规范允许公差和现场安装精度的分段构件或零件，修改校正后重新测量、拼装、比对，直至符合精度要求。

(7) 虚拟预拼装的实体测量技术

1) 无法一次性完成所有控制点测量时，可根据需要，设置多次转换测站点。转换测站点应保证所有测站点坐标在同一坐标系内。

2) 现场测量地面难以保证绝对水平，每次转换测站点后，仪器高度可能会不一致，故设置仪器高度时应以周边某固定点高程作为参照。

3) 同一构件上的控制点坐标值的测量应保证在同一人同一时段完成，保证测量准确和精度。

4) 所有控制点均取构件外轮廓控制点, 如遇到端部有坡口的构件, 控制点取坡口的下端, 且测量时用的反光片中心位置应对准构件控制点。

5.5.2 技术指标

(1) 主要技术指标

结构构件预拼装主要允许偏差:

预拼装单元总长		±5.0 mm
各楼层柱距		±4.0 mm
相邻楼层梁与梁之间距离		±3.0 mm
拱度 (设计要求起拱)		±1/5000
各层间框架两对角线之差	H/2000, 且不应大于 5.0mm	
任意两对角线之差	∑H/2000, 且不应大于 8.0mm	
接口错边		2.0mm
节点处杆件轴线错位		4.0mm

(2) 技术规范/标准

- 1) 《钢结构工程施工质量验收标准》GB50205
- 2) 《钢结构工程施工规范》GB50755
- 3) 《装配式钢结构建筑技术标准》GB/T51232
- 4) 《钢结构通用规范》GB 55006

5.5.3 适用范围

各类建筑钢结构、桥梁工程, 特别适用于复杂钢结构工程、桥梁工程的预拼装验收。

5.5.4 工程案例

太原市水上运动中心项目、山西建投文化商务中心项目、山西潇河新城 2 号酒店项目、国道 G342 晋城市过境段改线工程 TJ01 标段丹河特大桥项目等。

5.6 钢结构高效焊接技术

5.6.1 技术内容

当前钢结构制作安装施工中能有效提高焊接效率的技术有:

- (1) 焊接机器人技术。
- (2) 双 (多) 丝埋弧焊技术。
- (3) 免清根焊接技术。
- (4) 免开坡口熔透焊技术。
- (5) 窄间隙焊接技术。

焊接机器人技术克服手工焊接受劳动强度、焊接速度等因素的制约, 可结合双 (多) 丝、免清根、免开坡口等技术, 实现大电流、高速、低热输入的连续焊接, 大幅提高焊接效率; 双 (多) 丝

埋弧焊技术熔敷量大，热输入小，速度快，焊接效率及质量提升明显；免清根焊接技术通过采用陶瓷衬垫和优化坡口形式（如 U 型坡口），省略掉碳弧气刨工序，缩短焊接时长，减少焊缝熔敷量，同时可避免渗碳对板材力学性能的影响；免开坡口熔透焊技术采用单丝可实现 $t \leq 12\text{mm}$ 板厚熔透焊接，采用双（多）丝可实现 $t \leq 20\text{mm}$ 板厚熔透焊接，免除坡口加工工序；窄间隙焊接技术剖口窄小，焊丝熔敷填充量小，相比常规坡口角度焊缝可减少 $1/2 \sim 2/3$ 的焊丝熔敷量，焊接效率提高明显，焊材成本降低明显，效率提高和能源节省的效益明显。



图 5.6.1 焊接机器人技术



图 5.6.2 部件焊接机器人技术

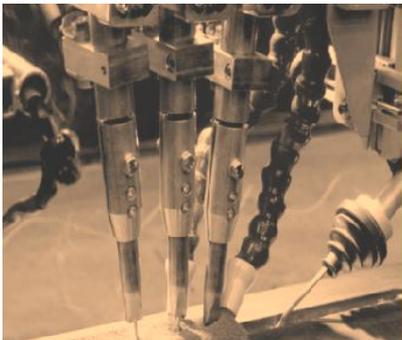


图 5.6.3 多丝埋弧焊技术



图 5.6.4 免清根焊接技术

5.6.2 技术指标

(1) 主要技术指标

- 1) 焊接工艺参数须按《钢结构焊接规范》GB 50661 要求，满足焊接工艺评定试验要求。
- 2) 承载静荷载结构焊缝和需疲劳验算结构的焊缝，须按《钢结构焊接规范》GB 50661 分别进行焊缝外观质量检验和内部质量无损检测。
- 3) 焊缝超声波检测等级不低于 B 级，母材厚度超过 100mm 应进行双面双侧检验。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《钢结构焊接规范》GB 50661
- 2) 《焊接操作工 技能评定》GB/T 19805
- 3) 《焊接工艺规程及评定的一般原则》GB/T19866
- 4) 《电弧焊焊接工艺规程》GB/T19867.1
- 5) 《气焊焊接工艺规程》GB/T 19867.2
- 6) 《焊接材料焊接工艺性能评定方法》GB/T 25776

- 7) 《型钢自动化焊接装备》GB/T 28771
- 8) 《焊焊接与切割用保护气体》GB/T 39255
- 9) 《焊接 H 型钢》GB/T 33814
- 10) 《现场设备、工业管道焊接工程施工质量验收规范》GB50683
- 11) 《现场设备、工业管道焊接工程施工规范》GB50236
- 12) 《钢结构通用规范》GB 55006

5.6.3 适用范围

所有钢结构工厂制作、现场安装焊接。

5.6.4 工程案例

太原汾东新区通达桥项目、山西建投文化商务中心项目、山西潇河新城 2 号酒店项目、新源智慧建设运行总部项目、山西基因诊断及药物研发基地项目、山西建筑产业现代化潇河园区（二期）联合厂房项目等。

5.7 钢结构防火及长效防腐技术

5.7.1 技术内容

(1) 钢结构防火技术

防火涂料分为薄涂型和厚涂型两种，薄涂型防火涂料通过遇火灾后涂料受热材料膨胀延缓钢材升温，厚涂型防火涂料通过防火材料吸热延缓钢材升温，根据工程情况选取使用。

薄涂型防火涂料的底涂层（或主涂层）宜采用重力式喷枪喷涂，其压力约为 0.4MPa。局部修补和小面积施工，可用手工涂抹。面涂层装饰涂料可刷涂、喷涂或滚涂。双组分装薄涂型涂料，现场应按说明书规定调配；单组分薄涂型涂料应充分搅拌。喷涂后，不应发生流淌和下坠。

厚涂型防火涂料宜采用水基型或石膏基型。厚涂型防火涂料宜采用压送式喷涂机喷涂，喷枪喷嘴的口径为 6mm-10mm，气泵工作压力 0.4Mpa-0.8Mpa，喷枪与待喷基材表面的垂直距离为 300mm-500mm。配料时应严格按配合比加料和稀释剂，并使稠度适宜，当班使用的涂料应当班配制。喷涂遍数与涂层厚度应根据耐火时间对应产品型式检验报告及施工方案确定。操作者应用测厚仪随时检测涂层厚度，80%及以上面积的涂层总厚度应符合有关耐火极限的设计要求，且最薄处厚度不应低于设计要求的 85%。完成的防火涂料层保证湿度和温度进行养护，满足强度和使用的要求。



图 5.7.1 面层施工

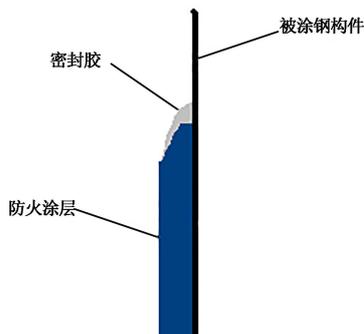


图 5.7.2 收口处理



图 5.7.3 激光检查

(2) 钢结构长效防腐技术

在建筑物使用期限内，为了使建筑钢结构不发生腐蚀或把腐蚀控制在一定范围内，就需要选择长效防腐体系，即在钢结构使用期限内，所采用的防腐体系能够起到良好的防腐效果，并且最少次数地进行维护或不维护。建筑钢结构采用长效防腐体系，主要包括富锌涂料体系、热喷锌（铝）体系、热浸镀锌体系三种。富锌涂料体系的应用可分两个类型：无机富锌涂料，以硅酸盐作为粘结剂结合锌粉；有机富锌涂料，基于各种有机物载体（包括丙烯酸、氯化橡胶、乙烯基和环氧树脂、氨基甲酯），其中以环氧树脂应用最广。热喷锌（铝）体系为多层次复合涂层，即复合涂层加上涂料，第一层为锌层打底，第二层为铝中间层，第三层为锌涂层，通过喷射对铝层封孔。再加上涂料封闭，组成多层次复合涂层，防腐抗蚀能力强。热浸镀锌体系是通过酸洗和电镀等工艺在钢结构表面形成一层锌与铁的合金层。

近年来，水性防腐涂料凭借优良的防腐性能，外加耐光耐热好、使用寿命长等特点，常用于对环境和条件要求苛刻的钢结构领域。

在涂装前，必须对钢构件表面进行除锈。除锈方法应符合设计要求或根据所用涂层类型的需要确定，并达到设计规定的除锈等级。常用的除锈方法有喷射除锈、抛射除锈、手工和动力工具除锈等。涂料的配置应按涂料使用说明书的规定执行，当天使用的涂料应当天配置，不得随意添加稀释剂。涂装施工可采用刷涂、滚涂、空气喷涂和高压无气喷涂等方法。宜在温度、湿度合适的封闭环境下，根据被涂物体的大小、涂料品种及设计要求，选择合适的涂装方法。构件在工厂加工涂装完毕，现场安装后，针对节点区域及损伤区域需进行二次涂装。



图 5.7.4 热浸镀锌防腐施工



图 5.7.5 水性无机防腐涂料施工

表 5.7.1 防腐涂料年限划分

腐蚀级别	底涂层				后道涂层	涂料体系		耐久性							
	底漆类型	基料	涂层数	涂层厚度	基料	总涂层数	涂层厚度	7年	7~15年	15~25年	>25年				
C2 (腐蚀级别较低)	富锌底漆	环氧、聚氨酯、硅酸乙酯	1	60	—	1	60	√	√	√					
				60-80	环氧、聚氨酯、丙烯酸	2	160	√	√	√	√				
	其他类型底漆	醇酸、丙烯酸	1	40-80	醇酸、丙烯酸	1-2	80	√							
				40-100		1-2	100	√	√						
				60-160		1-2	160	√	√	√					
				60-80		2-3	200	√	√	√	√	√			
				环氧、聚氨酯、硅酸乙酯		1	60-120	环氧、聚氨酯、丙烯酸	1-2	120	√	√	√		
							80-100		2	180	√	√	√	√	

腐蚀级别	底涂层				后道涂层	涂料体系		耐久性				
	底漆类型	基料	涂层数	涂层厚度	基料	总涂层数	涂层厚度	7年	7~15年	15~25年	>25年	
C3 (中等 腐蚀 级别)	富锌 底漆	环氧、聚氨酯、硅酸乙酯	1	60	—	1	60	√	√			
		环氧、聚氨酯、硅酸乙酯		60-80	环氧、聚氨酯、丙烯酸	2	160	√	√	√		
		环氧、聚氨酯、硅酸乙酯		60-80	环氧、聚氨酯、丙烯酸	2-3	200	√	√	√	√	
	其他 类型 底漆	醇酸、丙烯酸	1	80-100	醇酸、丙烯酸	1-2	100	√				
				60-160		1-2	160	√	√			
				60-80		2-3	200	√	√	√		
				60-80		2-4	260	√	√	√	√	
		环氧、聚氨酯、硅酸乙酯	1	80-120	环氧、聚氨酯、丙烯酸	1-2	120	√	√			
				80-160		2	180	√	√	√		
				80-160		2-3	240	√	√	√	√	
	C4 (高 腐蚀 级别)	富锌 底漆	环氧、聚氨酯、硅酸乙酯	1	60	—	1	60	√			
					60-80	环氧、聚氨酯、丙烯酸	2	160	√	√		
60-80					环氧、聚氨酯、丙烯酸	2-3	200	√	√	√		
60-80					环氧、聚氨酯、丙烯酸	3-4	260	√	√	√	√	
其他 类型 底漆		醇酸、丙烯酸	1	80-160	醇酸、丙烯酸	1-2	100	√				
				60-80		2-3	160	√	√			
				60-80		2-4	260	√	√	√		
		环氧、聚氨酯、硅酸乙酯	1	80-120	环氧、聚氨酯、丙烯酸	1-2	120	√				
				80-160		2	180	√	√			
				80-160		2-3	240	√	√	√		
				80-240		2-4	300	√	√	√	√	

5.7.2 技术指标

(1) 钢结构防火技术

- 1) 《建筑钢结构防火技术规范》GB51249
- 2) 《建筑防火通用规范》GB 55037
- 3) 《钢结构防火涂料应用技术规程》T/CECS 24
- 4) 《建筑钢结构防火技术规范》CECS200
- 5) 《钢结构防火涂料》GB 14907-2018
- 6) 《民用建筑工程室内环境污染控制规范》GB 50325
- 7) 《涂装作业安全规程 涂漆工艺安全及其通风净化》(GB 6514-2008)

(2) 钢结构防腐技术

- 1) 《建筑钢结构防腐蚀技术规程》JGJ/T251
- 2) 《建筑用钢结构防腐涂料》JG/T224

- 3) 《钢结构防腐涂装技术规程》CECS 343
- 4) 《钢结构水性防腐涂料应用技术规程》T/CECS667
- 5) 《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》JT/T 722-2023
- 6) 《民用建筑工程室内环境污染控制标准》GB 50325
- 7) 《涂覆涂料前钢材表面处理表面清洁度的目视评定第 1 部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级》GB/T 8923.1
- 8) 《涂装作业安全规程 涂漆工艺安全及其通风净化》GB 6514-2008
- 9) 《漆膜划圈试验》GB 1720
- 10) 《色漆和清漆划格试验》GB/T 286

5.7.3 适用范围

钢结构防腐涂装技术适用于各类建筑钢结构。

薄涂型防火涂料涂装技术适用于工业、民用建筑楼盖与屋盖钢结构；厚涂型防火涂料涂装技术适用于有装饰面层的民用建筑钢结构柱、梁。

5.7.4 工程案例

山西基因诊断及药物研发基地项目、新源智慧建设运行总部项目、潇河新城 2 号酒店项目、太忻一体化经济区（一期）标准化厂房项目等。

5.8 钢结构滑移、顶（提）升施工技术

5.8.1 拔杆群整体提升技术

5.8.1.1 技术内容

拔杆群整体提升技术操作简便，对场地、空间要求较低，不同于传统工艺，可实现结构地面拼装作业后整体提升，具有施工成本低、效率高、焊接质量易于保证、无需高空拼装等优点，在焊接球网架施工领域得到广泛应用。

该项技术可实现网架在空中的平移和转动，改变了网架的拼装位置，使得网架能够完全在地面错位拼装，支座节点及附近杆件在地面一次拼装完成而无需高空作业，焊接质量和操作安全有保证，方便调整网架空中姿态和就位误差；该技术利用稳定理论、变形协调及同步控制使钢网架与拔杆群形成稳定可控的体系，实现网架地面拼装、整体提升、高空平移就位的目的。

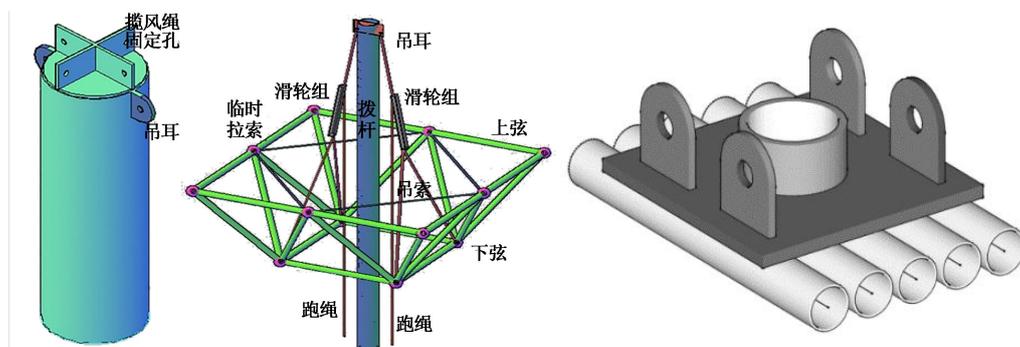


图 5.8.1 拔杆提升连接节点

5.8.1.2 技术指标

(1) 主要技术指标

- 1) 实施方案要作施工状态下结构整体受力性能验算,所有杆件需满足强度应力、稳定应力要求。
- 2) 拔杆数量、规格及位置需根据模拟分析确定。
- 3) 实施过程需实时监测各提升点的同步性能。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《钢结构工程施工规范》GB50755
- 2) 《钢结构工程施工质量验收标准》GB50205
- 3) 《钢结构通用规范》GB55006
- 4) 《空间网格结构技术规程》JGJ7-2010

5.8.1.3 适用范围

适用于焊接球网架、网壳现场安装。

5.8.1.4 工程案例

太原武宿国际机场航站楼项目,以及山西建筑工程集团有限公司承建的北京奥运老山自行车馆项目、北京科技大学体育馆项目、烟台火车站项目、长春一汽大众组装(焊装)车间项目、北京大兴国际机场航站楼项目等。

5.8.2 滑移施工技术

5.8.2.1 技术内容

滑移技术主要由钢平台底座、滑移梁、滑移轨道、滚轮、滑移支座、侧向限位梁等形成安全、稳定的滑移、卸载体系。

将网格结构划分为多个施工段,并明确基准跨拼装位置及各施工段拼装顺序,第一段网壳在基准跨拼装完成后滑移出拼装位置,再在基准跨位置拼装第二段网壳并与第一段网壳形成整体后,再进行第二次滑移,依次类推按照网壳拼装顺序逐段拼装累积滑移。

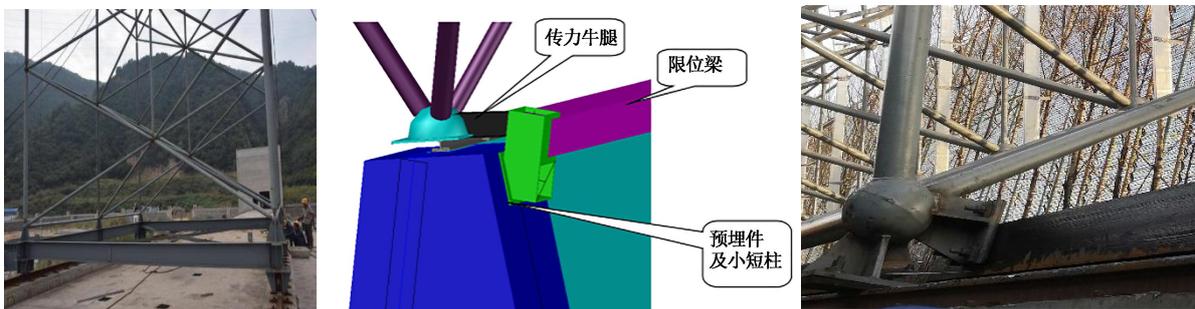


图 5.8.2 滑移节点

5.8.2.2 技术指标

(1) 主要技术指标

- 1) 滑移牵引力计算,当钢与钢面滑动摩擦时,摩擦系数取 0.12~0.15。

- 2) 当滚动摩擦时，滚动轴处摩擦系数取 0.1。
- 3) 当不锈钢与四氟聚乙烯板之间的滑靴摩擦时，摩擦系数取 0.08。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《钢结构工程施工规范》GB50755
- 2) 《钢结构工程施工质量验收标准》GB50205
- 3) 《钢结构通用规范》GB55006
- 4) 《空间网格结构技术规程》JGJ7
- 5) 《钢结构滑移施工技术标准》T/CSCS009
- 6) 《钢结构滑移施工技术规程》YB/T6054

5.8.2.3 适用范围

滑移施工技术适用于大跨度空间网格结构、立体桁架的安装施工。

5.8.2.4 工程案例

华能山西左权煤电有限责任公司煤场封闭改造项目、山西大唐神头输煤系统煤场封闭工程项目、山西漳电同华发电公司煤场封闭工程。

5.8.3 整体顶（提）升施工技术

5.8.3.1 技术内容

整体顶（提）升施工技术是钢结构与大型设备安装技术，它集机械、液压、计算机控制、传感器监测等技术于一体，解决了传统吊装工艺和大型起重机械在起重高度、起重重量、结构面积、作业场地等方面无法克服的难题。顶（提）升方案的确定，必须同时考虑承载结构（永久的或临时的）和被顶（提）升钢结构或设备本身的强度、刚度和稳定性。要进行施工状态下结构整体受力性能验算，并计算各项（提）点的作用力，配备顶升或提升千斤顶。对于施工支架或下部结构及地基基础应验算承载能力与整体稳定性，保证在最不利工况下足够的安全性。施工时各作用点的不同步值应通过计算合理选取。

顶（提）升方式选择的原则，一是力求降低承载结构的高度，保证其稳定性，二是确保被顶（提）升钢结构或设备在顶（提）升中的稳定性和就位安全性。确定顶（提）升点的数量与位置的基本原则是：首先保证被顶（提）升钢结构或设备在顶（提）升过程中的稳定性；在确保安全和质量的前提下，尽量减少顶（提）升点数量；顶（提）升设备本身承载能力符合设计要求。

顶（提）升设备选择的原则是：能满足顶（提）升中的受力要求，结构紧凑、坚固耐用、维修方便、满足功能需要（如行程、顶（提）升速度、安全保护等）。



图 5.8.3 液压提升技术应用

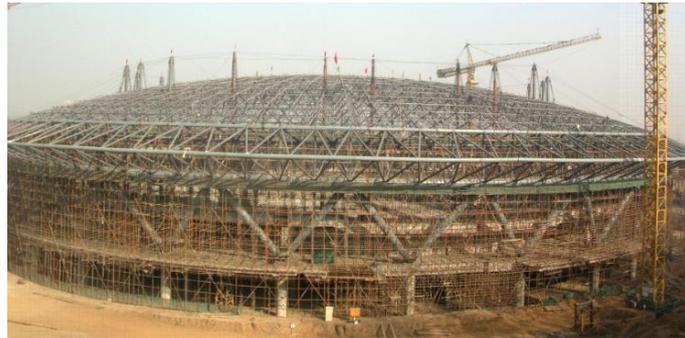


图 5.8.4 钢网架整体顶升技术应用

5.8.3.2 技术指标

(1) 主要技术指标

- 1) 整体顶（提）升方案要作施工状态下结构整体受力性能验算，依据计算所得各项（提）点的作用力配备千斤顶。
- 2) 提升用钢绞线安全系数：上拔式提升时，应大于 3.5；爬升式提升时，应大于 5.5。
- 3) 正式提升前的试提升需悬停静置 12 小时以上并测量结构变形情况。
- 4) 相邻两提升点位移高差不超过 2cm。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《钢结构工程施工规范》GB50755
- 2) 《钢结构工程施工质量验收标准》GB50205
- 3) 《钢结构通用规范》GB55006
- 4) 《空间网格结构技术规程》JGJ7

5.8.3.3 适用范围

适用于体育场馆、剧院、飞机库、钢连桥（廊）等具有地面拼装条件，又有较好的周边支承条件的大跨度屋盖钢结构。

5.8.3.4 工程案例

定襄县六馆一院项目、漯河国际会展中心中间组团项目、朔州东方长宏储煤棚项目，以及山西建筑工程集团有限公司承建的北京新机场南航基地 1#机库屋盖钢结构工程项目等。

5.9 钢与混凝土组合结构施工技术

5.9.1 技术内容

钢与混凝土组合结构包括钢管混凝土柱，十字型、H型、箱型、组合型钢混凝土柱，钢管混凝土叠合柱，小管径薄壁（ $<16\text{mm}$ ）钢管混凝土柱，组合钢板剪力墙，型钢混凝土剪力墙，箱型、H型钢骨梁，型钢组合梁等。钢管混凝土可显著减小柱的截面尺寸，提高承载力；型钢混凝土柱承载能力高，刚度大且抗震性能好；钢管混凝土叠合柱具有承载力高，抗震性能好同时也有较好的耐火性能和防腐性能；小管径薄壁（ $<16\text{mm}$ ）钢管混凝土柱具有钢管混凝土柱的特点，同时还具有断面尺寸小、重量轻等特点；组合梁承载能力高且高跨比小。

钢管混凝土组合结构施工简便，梁柱节点采用内环板或外环板式，施工与普通钢结构一致，钢管内的混凝土可采用高抛免振捣混凝土，或顶升法施工钢管混凝土。关键技术是设计合理的梁柱节点与确保钢管内浇筑混凝土的密实性。

型钢混凝土组合结构除了钢结构优点外还具备混凝土结构的优点，同时结构具有良好的防火性能。关键技术是如何合理解决梁柱节点区钢筋的穿筋问题，以确保节点良好的受力性能与加快施工进度。

钢管混凝土叠合柱是钢管混凝土和型钢混凝土的组合形式，具备了钢管混凝土结构的优点，又具备了型钢混凝土结构的优点。关键技术是如何合理选择叠合柱与钢筋混凝土梁连接节点，保证传力简单、施工方便。

小管径薄壁（ $<16\text{mm}$ ）钢管混凝土柱具有钢管混凝土柱的优点，又具有断面小、自重轻等特点，适合于钢结构住宅的使用。关键技术是在处理梁柱节点时采用横隔板贯通构造，保证传力同时又方便施工。

组合钢板剪力墙、型钢混凝土剪力墙具有更好的抗震承载力和抗剪能力，提高了剪力墙的抗拉能力，可以较好地解决剪力墙墙肢在风与地震作用组合下出现受拉的问题。

钢混组合梁是在钢梁上部浇筑混凝土，形成混凝土受压、钢结构受拉的截面合理受力形式，充分发挥钢与混凝土各自的受力性能。组合梁施工时，钢梁可作为模板的支撑。组合梁设计时要确保钢梁与混凝土结合面的抗剪性能，又要充分考虑钢梁各工况下从施工到正常使用各阶段的受力性能。

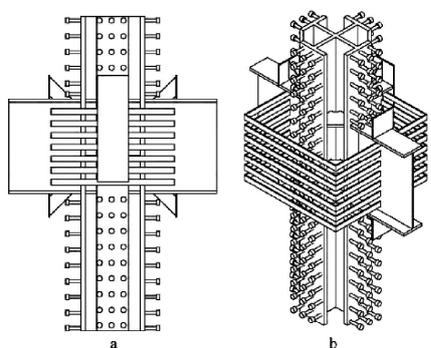


图 5.9.1 型钢与混凝土组合结构柱构件

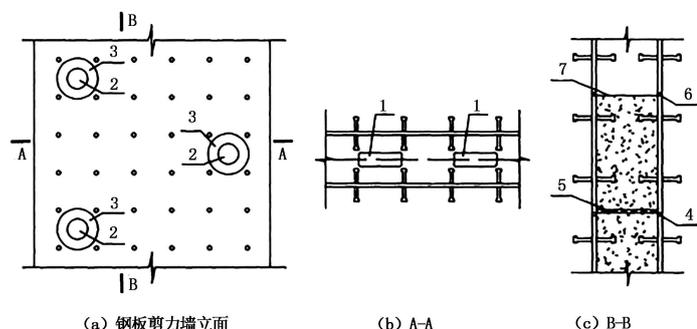


图 5.9.2 型钢与混凝土组合结构剪力墙

5.9.2 技术指标

(1) 主要技术指标

- 1) 钢管混凝土构件的径厚比 D/t 宜为 20~135、套箍系数 θ 宜为 0.5~2.0、长径比不宜大于 20。
- 2) 矩形钢管混凝土受压构件的混凝土工作承担系数 α_c 应控制在 0.1~0.7。
- 3) 型钢混凝土框架柱的受力型钢的含钢率宜为 4%~10%。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《型钢混凝土组合结构技术规程》JGJ 138
- 2) 《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936
- 3) 《组合结构通用规范》GB55004
- 4) 《组合结构设计规范》JGJ138
- 5) 《钢-混凝土组合管结构技术规程》T/CECS 1059
- 6) 《钢-混凝土组合结构施工规范》GB 50901
- 7) 《钢管混凝土工程施工质量验收规范》GB 50628
- 8) 《外包钢管混凝土梁-钢管混凝土柱组合结构技术规程》T/CECS 1123
- 9) 《钢管混凝土结构技术规程》CECS28:2012
- 10) 《钢管混凝土混合结构技术标准》GB/T51446
- 11) 《矩形钢管混凝土结构技术规程》CECS159
- 12) 《钢管混凝土束结构技术标准》T/CECS546
- 13) 《钢管混凝土加劲混合结构技术规程》T/CECS663
- 14) 《钢管混凝土拱桥技术规范》GB50923

5.9.3 适用范围

钢管混凝土特别适用于高层、超高层建筑的柱及其它有重载承载力设计要求的柱；型钢混凝土适合于高层建筑外框柱及公共建筑的大柱网框架与大跨度梁设计；钢混组合梁适用于结构跨度较大而高跨比又有较高要求的楼盖结构；钢管混凝土叠合柱主要适用于高层、超高层建筑的柱及其它有承载力要求较高的柱；小管径薄壁钢管混凝土柱适用于多高层住宅。

5.9.4 工程案例

山西科技创新城科技综合服务平台（一期）项目，定襄县六馆一院项目，晋中市博物馆、档案馆、图书馆（科技馆）工程项目，山西潇河新城 2 号酒店项目，新源智慧建设运行总部项目，山西建投文化商务中心塔楼项目，山西基因诊断及药物研发基地项目，晋建迎曦园 1#楼项目。

5.10 索结构施工技术

5.10.1 技术内容

(1) 索结构的设计

进行索结构设计时，需要首先确定索结构体系，包括结构的形状、布索方式、传力路径和支承位置等；其次采用非线性分析法进行找形分析，确定设计初始态，并通过施加预应力建立结构的强度与刚度，进行索结构在各种荷载工况下的极限承载能力设计与变形验算；然后进行索具节点、锚

固节点设计；最后对支承位置及下部结构设计。

(2) 索结构的施工和防护

索结构的预应力施工技术可分为分批张拉法和分级张拉法。分批张拉法是指将不同的拉索进行分批，执行合适的分批张拉顺序，以有效的改善张拉施工过程中结构中的索力分布，保证张拉过程的安全性和经济性。分级张拉法是指对于索力较大的结构，分多次张拉将拉索中的预应力施加到位，可以有效的调节张拉过程中结构内力的峰值。实际工程中通常将这两种张拉技术结合使用。

目前索结构多采用定尺定长的制作工艺，一方面要求拉索具有较高的制作精度，另一方面对拉索施工过程中的夹持和锚固也提出了较高的要求。索结构的夹持构件和索头节点应具有高强度/抗变形的材料属性，并在安装过程中具有抗滑移和精确定位的能力。

索结构还需要采取可靠的防水、防腐蚀和防老化措施，同时钢索上应涂敷防火涂料以满足防火要求，应定期检查拉索在使用过程中是否松弛，并采用恰当的措施予以张紧。



图 5.10.1 索结构应用

5.10.2 技术指标

(1) 主要技术指标

1) 拉索技术指标

拉索采用高强度材料制作，作为主要受力构件，其索体的静载破断荷载一般不小于索体标准破断荷载的 95%，破断延伸率不小于 2%，拉索的设计强度一般为 0.4~0.5 倍标准强度。当有疲劳要求时，拉索应按规定进行疲劳试验。此外不同用途的拉索还应分别满足《建筑工程用索》和《桥梁缆索用热镀锌或锌铝合金钢丝》GB/T 17101、《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224、《重要用途钢丝绳》GB 8918 等相关标准。拉索采用的锚固装置应满足《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370 及相关钢材料标准。

2) 设计技术指标

索结构的选型应根据使用要求和预应力分布特点，采用找形方法确定。不同的索结构具有不同的造型设计技术指标。一般情况下柔性索网结构的拉索垂度和跨度比值为 1/10~1/20，受拉内环和受压外环的直径比值约为 1/5~1/20，杂交索系结构的矢高和跨度比值约为 1/8~1/12。

3) 施工技术指标

索结构的张拉过程应满足《索结构技术规程》JGJ 257 要求。拉索的锚固端允许偏差为锚固长度的 1/3000 和 20mm 的较小值。张拉过程应通过有限元法进行施工过程全过程模拟，并根据模拟结果

确定拉索的预应力损失量。各阶段张拉时应检查索力与结构的变形值。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《索结构技术规程》JGJ 257
- 2) 《低张拉控制应力拉索技术规程》JGJ/T226
- 3) 《建筑工程用索》JG/T330
- 4) 《景区人行悬索桥工程技术规程》T/CECS 1140
- 5) 《拱桥缆索吊运系统应用技术规程》T/CECS 1262
- 6) 《建筑索结构工程施工质量验收标准》T/CECS 1301
- 7) 《自锚式悬索桥技术规程》T/CECS 1312
- 8) 《建筑索结构工程施工标准》T/CECS 1341
- 9) 《无粘结钢绞线斜拉索技术条件》JT/T 771
- 10) 《大跨度斜拉桥平行钢丝拉索》JT/T 775
- 11) 《填充型环氧涂层钢绞线预应力锚索》JT/T 803

5.10.3 适用范围

可用于大跨度建筑工程的屋面结构、楼面结构等，可以单独用索形成结构，也可以与网架结构、桁架结构、钢结构或混凝土结构组合形成杂交结构，以实现大跨度，并提高结构、构件的性能，降低造价。

5.10.4 工程案例

国道 G342 晋城市过境段改线工程（TJ01 标段丹河特大桥）项目、太原汾东新区通达桥项目、煤炭交易中心宴会厅项目、山西省体育中心体育馆项目、武乡太行桥建设工程项目、太原市北中环桥项目等。

5.11 钢结构住宅施工技术

5.11.1 技术内容

钢结构住宅建筑设计应以集成化住宅建筑为目标，应按模数协调的原则实现构配件标准化、设备产品定型化。采用钢结构作为住宅的主要承重结构体系，对于低密度住宅宜采用冷弯薄壁型钢结构体系为主，墙体为墙柱加石膏板，楼盖为 C 型格栅加轻板；对于多、高层住宅结构体系可选用钢框架、框架支撑（墙板）、筒体结构、钢框架—钢混组合等体系，楼盖结构宜采用钢筋桁架楼承板、现浇钢筋混凝土结构以及装配整体式楼板，墙体为预制轻质板或轻质砌块。目前钢结构住宅的主要发展方向有可适用于多层的采用带钢板剪力墙或与普钢混合的轻钢结构；可适用于低、多层的基于方钢管混凝土组合异形柱和外肋环板节点为主的钢框架体系；可适用于高层以钢框架与混凝土筒体组合构成的混合结构或以带钢支撑的框架结构；以及适用于高层的基于方钢管混凝土组合异形柱和外肋环板节点为主的框架-支撑和框架-核心筒体系以及钢管束组合剪力墙结构体系。

轻型钢结构住宅的钢构件宜选用热轧 H 型钢、高频焊接或普通焊接的 H 型钢、冷轧或热轧成型

的钢管、钢异形柱等；多高层钢结构住宅结构柱材料可采用纯钢柱或钢管混凝土柱等，柱截面形状可采用矩形、圆形、L形等；外墙体可为砂加气板、灌浆料墙板或蒸压加气混凝土砌块，内墙体可选用轻钢龙骨石膏板等板材，楼板可为钢筋桁架楼承板、叠合板或现浇板。

除常见的装配化钢结构住宅结构体系之外，模块钢结构建筑开始发展。模块建筑是将传统房屋以单个房间或一定的三维建筑空间进行模块单元划分，每个单元都在工厂预制且精装修，单元运输到工地整体连接而成的一种新型建筑形式。根据结构形式的不同可分为：全模块建筑结构体系以及复合模块建筑结构体系，复合模块建筑结构体系又可分为：模块单元与传统框架结构复合体系、模块单元与板体结构复合体系、外骨架（巨型框架）模块建筑结构体系、模块单元与剪力墙或核心筒复合结构体系；模块外围护墙板可选用加气混凝土板、薄板钢骨复合轻质外墙、轻集料混凝土与岩棉板复合墙板；模块底板可采用钢筋混凝土结构底板、轻型结构底板；顶板可为双面钢板夹芯板。

钢结构住宅建设要以产业化为目标做好墙板的配套工作，以试点工程为基础做好钢结构住宅的推广工作。



图 5.11.1 钢框架-支撑体系

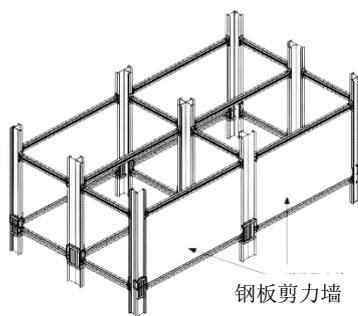


图 5.11.2 钢框架-剪力墙结构体系



图 5.11.3 框架-核心筒体系



图 5.11.4 隐式框架体系



图 5.11.5 钢管束组合剪力墙体系



图 5.11.6 冷弯薄壁型钢结构体系

5.11.2 技术指标

(1) 主要技术指标

- 1) 钢结构住宅结构设计应符合工厂生产、现场装配的工业化生产要求，构件及节点设计宜标准化、通用化、系列化，在结构设计中应合理确定建筑结构体的装配率。
- 2) 钢材性能优先选用高性能钢材。
- 3) 结构高度大于 80m 的建筑宜验算风荷载的舒适性。
- 4) 防火材料宜优先选用防火板，板厚应根据耐火时限和防火板产品标准确定，承重的钢构件耐火时

限应满足相关要求。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《钢结构设计规范》GB 50017
- 2) 《建筑抗震设计规范》GB 50009
- 3) 《装配式钢结构建筑技术标准》GB/T 51232
- 4) 《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223
- 5) 《建筑抗震设计规范》GB 50011
- 6) 《建筑设计防火规范》GB 50016

5.11.3 适用范围

冷弯薄壁型钢以及轻型钢框架为结构的轻型钢结构可适用于低、多层（6层，24m以下）住宅的建设。多高层装配式钢结构住宅体系最大适用高度应符合《装配式钢结构建筑技术标准》GB/T 51232的规定，主要参照值如下：

表 5.11.1 多高层装配式钢结构适用的最大高度（m）

结构体系	6度	7度		8度		9度
	(0.05g)	(0.10g)	(0.15g)	(0.20g)	(0.30g)	(0.40g)
钢框架结构	110	110	90	90	70	50
钢框架-偏心支撑结构	220	220	200	180	150	120
钢框架-偏心支撑结构 钢框架-屈曲约束支撑结构 钢框架-延性墙板结构	240	240	220	200	180	160
筒体（框筒、筒中筒、桁架筒、束筒） 结构巨型结构	300	300	280	260	240	180
交错桁架结构	90	60	60	40	40	-

对于钢结构模块建筑，1~3层模块建筑宜采用全模块结构体系，模块单元可采用集装箱模块，连接节点可选用集装箱角件连接；3~6层可采用全模块结构体系，单元连接可采用梁梁连接技术；6~9层的模块建筑单元间可采用预应力模块连接技术，9层以上需要采用模块单元与剪力墙或核心筒相结合的结构体系。

钢结构住宅建设要以产业化为目标做好墙板的配套工作，以试点工程为基础做好钢结构住宅的推广工作。

5.11.4 工程案例

晋建迎曦园1#楼项目、大同泰瑞云山府住宅项目、山钢铭著项目、山西建筑产业现代化潇河园区（一期）装配式钢结构办公生活区职工宿舍楼项目等。

5.12 钢结构模块化建筑技术

5.12.1 技术内容

装配式钢结构模块化建筑技术是主要采用钢结构集成模块单元在施工现场组合而成的装配式建筑。其中，钢结构集成模块单元是由工厂预制完成的钢结构主体结构、围护墙体、底板、顶板、内装部品、设备管线等组合而成的具有建筑使用功能的三维空间体。

钢结构模块建筑在设计阶段将建筑空间模块化，并进行建筑一体化和集成化设计，既保证了功能空间的可拓展性，又保证了构件重复率最大化；在生产制作阶段，模块单元能实现工厂标准化流水线批量化生产，建筑质量的均好性得到较好地保证；在施工安装阶段采用整体模块单元装配安装方式，安装精度更高，装配速度更快，且在设计、生产与建造全流程中有利于实现数字化信息协同、追踪与管理。据测算，模块建筑的建筑主体装配率可达 90%以上，现场用工量可比传统模式减少 70%，综合建设工期可比传统建造方式工期缩短 1/3 以上。在绿色与低碳方面，与传统建造方式相比，模块建筑可减少现场建筑垃圾 75%以上，减少 90%以上的现场施工噪音污染，在实现标准化生产、快速集成装配的同时保证了工程项目的高品质和工程建设绿色低碳发展。

模块建筑中的模块单元组合布置应形成稳定的几何不变体系，结构体系可选用纯模块结构体系、模块-钢框架结构体系、模块-钢框架-支撑结构体系或模块-混凝土核心筒混合结构体系等类型（图 5.12.1）。

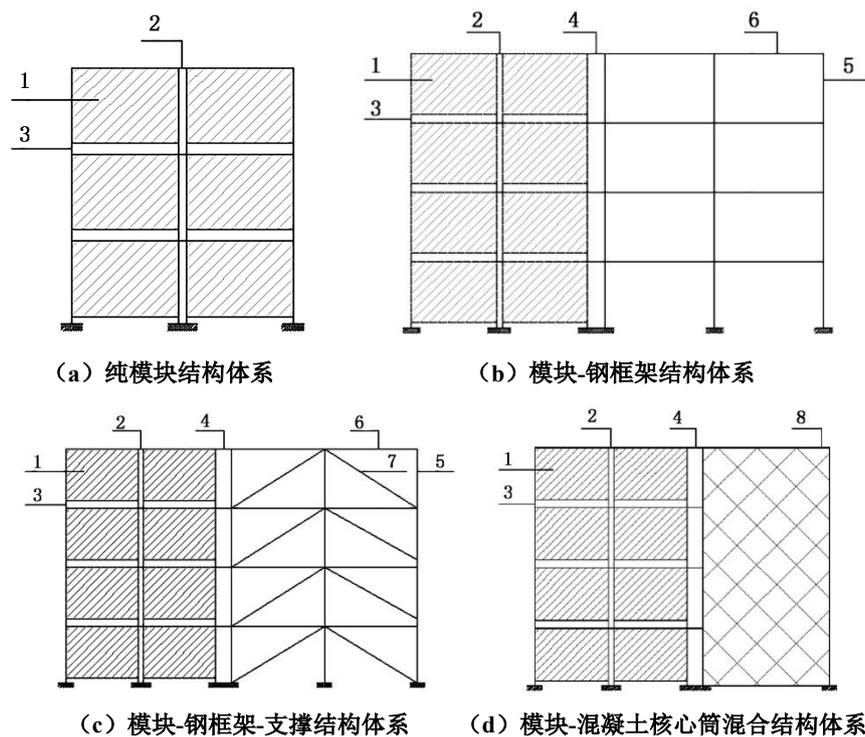


图 5.12.1 模块建筑结构体系示意图

1—模块单元；2—模块单元水平连接；3—模块单元层间竖向连接；4—模块单元与非模块单元结构连接；
5—框架柱；6—框架梁；7—支撑；8—混凝土核心筒抗侧力结构

模块化钢结构建筑应采用标准化设计、标准化拆分设计，在模数协调的基础上，应遵循少规格、多组合的原则；模块单元与部品部件应采用标准化、通用化的接口技术，接口应具备调整公差、容错的功能。

- 1) 模块建筑标准化尺寸表达应符合《装配式钢结构模块建筑技术指南》规定。
- 2) 模块单元基本平面尺寸中长度不宜大于 15m，宽度不宜大于 4.5m，竖向模块单元高度不宜大于 3.6m。
- 3) 模块建筑中水平方向相邻模块单元结构外皮间隙以及模块单元结构与非模块单元结构外皮间隙最小部位不宜小于 10mm，垂直方向相邻上下模块单元边梁的结构外皮间隙不宜小于 20mm。
- 4) 应急类临时模块建筑用模块单元结构外轮廓标准化尺寸可按表 5.12.1 的规定采用。

表 5.12.1 应急类临时模块建筑用模块单元结构外轮廓标准化尺寸

规格	分类	结构外轮廓宽度 (mm)	结构外轮廓高度 (mm)	结构外轮廓长度 (mm)
Y30-29-60	标准	2990	2896	6055
Y30-34-60	加高	2990	3396	6055
Y30-29-78	加长	2990	2896	7865
Y30-34-78	加高加长	2990	3396	7865
Y24-26-60	标准	2435	2591	6055
Y24-29-60	加高	2435	2896	6055

- 5) 酒店类模块建筑用模块单元结构外轮廓标准化尺寸可按表 5.12.2 的规定采用。

表 5.12.2 酒店类模块建筑用模块单元结构外轮廓标准化尺寸

规格	结构外轮廓宽度 (mm)	结构外轮廓高度 (mm)
J36-33	3600	3300
J36-36		3600
J40-33	4000	3300
J40-36		3600

- 6) 学校类模块建筑用模块单元结构外轮廓标准化尺寸可按表 5.12.3 的规定采用。

表 5.12.3 学校类模块建筑用模块单元结构外轮廓标准化尺寸

规格	结构外轮廓宽度 (mm)	结构外轮廓高度 (mm)
X30-36	3000	3600
X30-38		3800
X40-36	4000	3600
X40-38		3800

- 7) 办公类模块建筑用模块单元结构外轮廓标准化尺寸可按表 5.12.4 的规定采用。

表 5.12.4 办公类模块建筑用模块单元结构外轮廓标准化尺寸

规格	结构外轮廓宽度 (mm)	结构外轮廓高度 (mm)
B36-36	3600	3600
B36-40		4000
B40-36	4000	3600
B40-40		4000

5.12.2 技术指标

(1) 主要技术指标

- 1) 采用纯模块结构体系时，最大适用高度应符合表 5.12.5 的规定。

表 5.12.5 纯模块结构体系的最大适用高度 (m)

结构体系		抗震设防烈度				
		6 度	7 度 (0.1g)	7 度 (0.15g)	8 度 (0.2g)	8 度 (0.3g)
纯模块 结构	模块单元不设置支撑	12	9	9	9	9
	部分模块单元设置支撑	27	24	24	21	18

注：1.房屋高度指室外地面至主要屋面板板顶的高度（不包括局部突出屋顶部分）；

2.当底部设置转换层时，模块单元不设置支撑的纯模块结构体系最大适用高度不应超过 13m，部分模块单元设置支撑的纯模块结构体系最大适用高度可参照表中数值执行。

2) 采用模块-钢框架结构体系、模块-钢框架-支撑结构体系以及模块-混凝土核心筒混合结构体系时，最大适用高度可参考国家现行标准《箱式钢结构集成模块建筑技术规程》T/CECS 641、《钢结构模块建筑技术规程》T/CECS 507、《轻型模块化钢结构组合房屋技术标准》JGJ/T 466-2019 以及《钢骨架集成模块建筑技术规程》T/CECS 535 的有关规定确定。

3) 应急类临时模块建筑建设层数应为 3 层及以下，最大适用高度不宜超过 10m。

4) 模块化建筑应进行防水设计，做好接缝、外墙节点防水设计，预留洞口单个模块单元应采取防水措施并满足运输、安装期间防水要求，屋面防水工程应按 I 级防水等级设计。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《钢骨架集成模块建筑技术规程》T/CECS535-2018
- 2) 《装配式钢结构模块建筑技术指南》建办标函〔2022〕209 号
- 3) 《箱式钢结构集成模块建筑技术规程》T/CECS 641
- 4) 《钢结构模块建筑技术规程》T/CECS 507
- 5) 《轻型模块化钢结构组合房屋技术标准》JGJ/T 466
- 6) 《建筑设计防火规范》GB 50016
- 7) 《民用建筑隔声设计规范》GB 50118
- 8) 《建筑环境通用规范》GB 55016
- 9) 《民用建筑热工设计规范》GB 50176
- 10) 《公共建筑节能设计标准》GB 50189
- 11) 《建筑节能与可再生能源利用通用规范》GB 55015

5.12.3 适用范围

模块建筑工厂完成度与集成度较高，具有建得快、造得好、功能全等优势，适用于公寓、酒店、学校、宿舍、住宅、医疗、办公等民用建筑，也适用于部分工业建筑。

5.12.4 工程案例

山西省内尚无相关案例，但模块化钢结构建筑是钢结构行业发展趋势，在临时设施中已广泛使用，省外应用工程案例有北京经济技术开发区 N20 项目、昆山福园工业邻里中心项目、武汉火神山医院项目、武汉雷神山医院项目、河北邢台南宫抗疫隔离治疗医院项目、香港青衣方舱医院项目等。

5.13 金属屋面施工技术

5.13.1 铝镁锰、镀铝锌直立锁边合金金属屋面技术

5.13.1.1 技术内容

直立锁边合金金属屋面系统的核心构成，是基于直立锁边咬合设计的特殊板形的金属板块，在屋面上看不见任何穿孔，因为支承的方式是隐藏在面板之下的。屋面板块的连接方式是采用其特有的铝合金固定支座，板块与板块的直立锁边咬合形成密合的连接，而咬合边与支座形成的连接方式可解决因热胀冷缩所产生的板块应力，该可制作纵向超长尺寸的板块而不因应力影响变形。铝镁锰金属屋面与彩钢屋面相比：耐久性好、重量轻、强度高、表观处理效果好、熔点低、防雷性能好。能够满足各种建筑形式的要求。

直立锁边金属屋面由合金板（面板）+防水层+保温层+吸音层+T形支座+防潮隔汽层+衬檩+结构檩条+底板组成。另根据不同功能要求设置防风系统、防雷系统、挡雪系统、防坠落系统等。铝合金面板常用规格为 YX65-300、YX65-330、YX65-400、YX65-430、YX65-500，镀铝锌金属面板常用规格为 YX65-300、YX65-400、YX65-500。

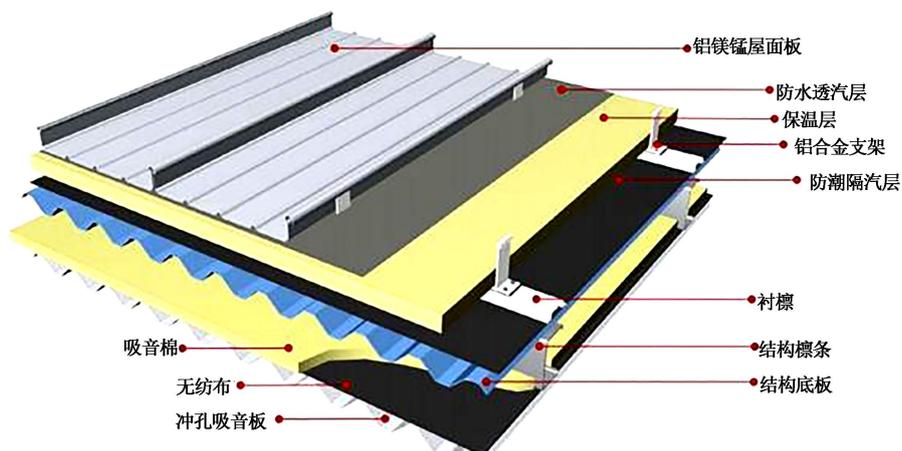


图 5.13.1 铝镁锰直立锁边合金金属屋面构造

5.13.1.2 技术指标

(1) 主要技术指标

- 1) 铝镁锰板最小使用厚度为 $\geq 0.9\text{mm}$ ，镀铝锌板最小使用厚度为 $\geq 0.7\text{mm}$ 。
- 2) 金属屋面防水要求：屋面工程防水设计工作年限不应低于 20 年，一级防水构造要求为金属板+防水层（厚度不应小于 1.5mm）；二级防水构造要求为金属板+防水层；三级防水采用金属板自防水。当在屋面金属板基层上采用聚氯乙烯防水卷材（PVC）、热塑性聚烯烃防水卷材（TPO）、三元乙丙防水卷材（EPDM）等外露型防水卷材单层使用时，防水卷材的厚度，一级防水不应小于 1.8mm，二级防水不应小于 1.5mm，三级防水不应小于 1.2mm，同时应符合现行国家标准《建筑与市政工程防水通用规范》GB 55030-2022。
- 3) 保温隔热材料燃烧性能应为 A 级，玻璃棉毡应符合现行国家标准《建筑绝热用玻璃棉制品》

GB/T 17795 及《绝热用玻璃棉及其制品》GB/T 13350 的相关规定。岩棉制品应符合现行国家标准《建筑用岩棉绝热制品》GB/T 19686 的相关规定。当岩棉设置于屋面防水卷材下时，岩棉板密度不宜小于 180Kg/m³。

4) 直立锁边合金金属屋面需满足抗风揭设计要求。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《压型金属板工程应用技术规范》GB 50896
- 2) 《屋面工程质量验收规范》GB50207
- 3) 《屋面工程技术规范》GB50345
- 4) 《压型金属板建筑构造》17J925-1
- 5) 《建筑金属围护系统工程技术标准》JGJ/T 473
- 6) 《建筑与市政工程防水通用规范》GB 55030
- 7) 《采光顶与金属屋面技术规程》JGJ255
- 8) 《热反射金属屋面板》JG/T402

5.13.1.3 适用范围

直立锁边合金金属屋面适用于各种造型的金属屋面项目，如体育场馆、机场航站楼、高铁站房、会议会展展厅等各类大型重点建筑的金属屋面工程。

5.13.1.4 工程案例

山西潇河新城国际会展中心项目、定襄县六馆一院项目、晋中职教港体育馆项目、晋城文化艺术中心项目、山阴县博物馆项目、城市综合应急管理指挥中心、会展中心建设项目等。

5.13.2 连续焊接不锈钢金属屋面技术

5.13.2.1 技术内容

连续焊接不锈钢金属屋面系统是一种新型金属屋面围护体系，因其易于加工、轻质高强的特点，近年来被广泛应用于体育馆、航站楼、车站等各类大型公共建筑中。不锈钢连续焊接屋面系统是通过专用的全自动焊接设备将已经成型并扣合的不锈钢屋面板进行焊接，焊缝位于屋面板的立边部位。由于不锈钢屋面材料具有可焊性、强度高、耐腐蚀性强、抗风能力强、防水性能好等特点，解决了现阶段其他金属屋面抗风能力不足、防漏性能不佳、屋面面板材料及涂层耐久性差、维护成本低等问题。金属屋面板采用 316L 不锈钢，相比传统 304 不锈钢材料耐久性，耐腐蚀性强，同时为提高金属屋面板及节点适应温度变化的能力，采用可滑移高强隔热支架，用不锈钢板组合而成，确保屋面的整体效果，提高了屋面节能性。全焊接金属板屋面应视为一级防水等级的防水做法。

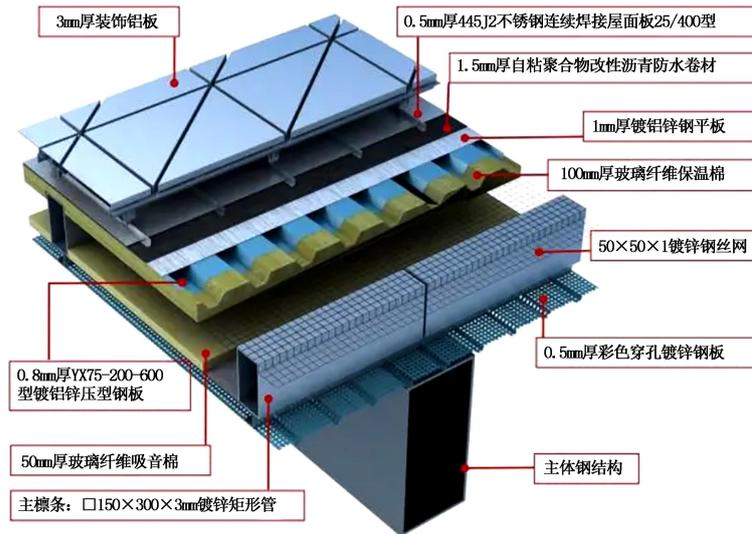


图 5.13.2 不锈钢连接焊接金属屋面构造

5.13.2.2 技术指标

(1) 主要技术指标

1) 不锈钢屋面板表面处理方式应符合设计及现行国家标准《建筑屋面和幕墙用冷轧不锈钢钢板和钢带》GB/T 34200 及其他相关规范的规定。

2) 不锈钢板最小使用厚度为 $\geq 0.5\text{mm}$ 。

3) 不锈钢金属屋面需满足抗风揭设计要求及屋面防水要求。

(2) 技术规范/标准

1) 《屋面工程质量验收规范》GB50207

2) 《屋面工程技术规范》GB50345

3) 《建筑与市政工程防水通用规范》GB 55030

4) 《建筑屋面和幕墙用冷轧不锈钢钢板和钢带》GB/T 34200

5) 《焊接不锈钢屋面工程技术标准》T/CECS 959

5.13.2.3 适用范围

连续焊接不锈钢金属屋面系统适用于各种造型的金属屋面项目，如体育场馆、机场航站楼、高铁站房、会议会展展厅等各类大型重点建筑的金属屋面及墙面维护系统工程。

5.13.2.4 工程案例

太重集团高端装备产业园区项目、青岛胶东国际机场 T1 航站楼项目、广东省肇庆新区体育中心项目、福建省福州市平潭海洋国际会展中心项目等。

5.14 钢结构桥梁施工技术

5.14.1 技术内容

(1) 支架法施工

支架法是考虑桥梁线形，采用不同规格尺寸的型钢支架作为分段构件现场拼接的临时支撑点，

上部设置分配梁及调节装置，采用履带吊（汽车吊）将厂内预拼装好梁段直接吊装至支架上，无需现场拼装。根据地基承载力必要时需进行地基处理。支架法安装简单、场地条件要求低、施工速度快、周期短、现场安装成本低，被普遍的使用于各类钢结构桥梁吊装工程中。

(2) 顶推法（滑移法）施工

顶推法施工是在沿桥梁纵轴方向的桥台后设置拼装场地，通常集中设置在梁段预制场附近的桥台或桥墩上设置顶推装置，而在前方各墩上及临时墩上设置滑移支承。通过水平千斤顶施力，将梁体向前顶推出，循环施工直至完成。顶推施力的方法分为单点顶推和多点顶推。顶推施工中采用的主要设备是千斤顶和滑道。顶推施工占用场地小，特别适用于场地较小的桥梁施工。受顶推悬臂弯矩的限制，顶推跨径不大于 70m~80m。

(3) 转体法施工

转体法分为水平转体法、竖向转体法。水平转体法一般球铰下转盘锚固于下承台顶面，上转盘锚固于上承台底面。球铰上下盘可以绕中心钢轴相对转动，并通过设置四氟滑片、加硅脂等措施降低转动摩阻力。桥梁施工完成后，上下盘相对转动，桥梁整体水平旋转到设计桥位。竖转体是在支座处设置竖转铰，桥梁沿着竖向或一定的角度拼装至设置位置后，竖向旋转合龙。

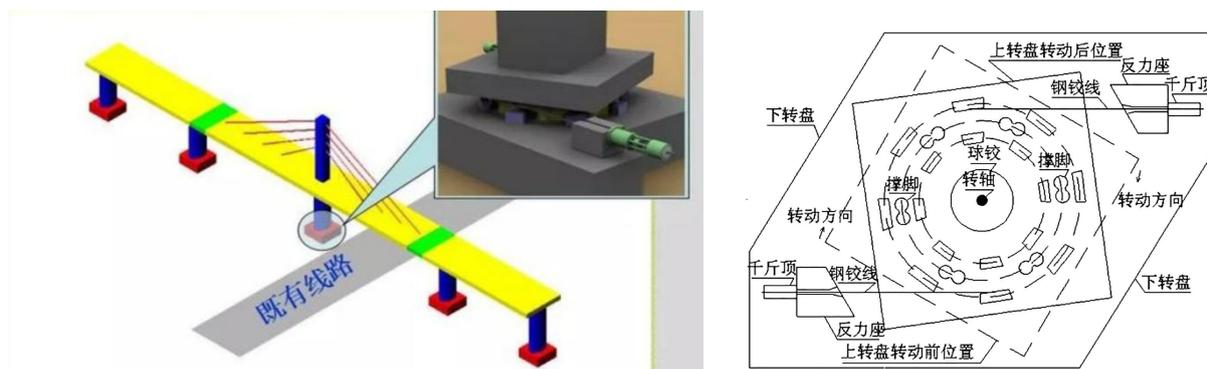


图 5.14.1 水平转体原理图

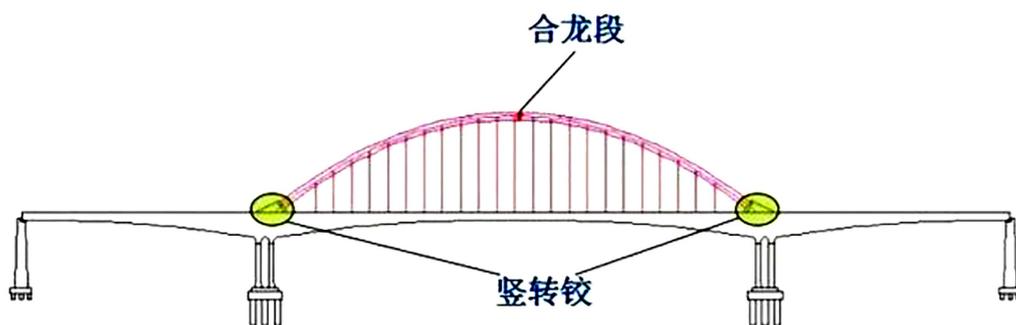


图 5.14.2 竖向转体原理图

(4) 悬臂拼装法

将梁部结构化整为块，分块制作，利用移动式吊机起吊节段，从墩顶开始，对称逐段拼装，直到合龙成桥。跨间无支架、便桥，由已建墩、梁承重，对桥下通行无影响；能有效减少施工设备，简化施工工序；施工内力与成桥内力相协调、结构经济，跨越能力大；适用性广；在超静定结构中

使用，存在体系换问题，注意施工阶段验算。

5.14.2 技术指标

- (1) 《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB50982
- (2) 《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64
- (3) 《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》JTG/T 3651
- (4) 《波形钢腹板预应力混凝土组合结构桥梁悬臂施工与验收规范》DB14/T1334
- (5) 《桥梁顶升移位改造技术规范》GB/T51256
- (6) 《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ2
- (7) 《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》JT/T 722

5.14.3 适用范围

支架法对场地要求相对较高，需要有搭设场地，适用于所有结构的桥梁工程。悬臂拼装法不受结构限制，适用于跨越河流或路线的桥梁施工、吊装作业受限、支架布设难度大的项目。顶推法适用于连续梁、简支梁、拱桥、桥面纵梁，斜拉桥（主梁）等结构，不适用于多跨变高梁，曲率变化的曲线和竖向曲率大的桥梁。转体法尤其适用于跨越深谷、水深流急和公铁立交、风景胜地、自然保护区等施工受限的现场。

5.14.4 工程案例

太原市迎宾桥及立交桥项目、太原市汾东新区通达桥项目、忻原大道跨朔黄铁路钢箱梁立交桥项目、运宝黄河大桥项目等。

6 机电安装工程技术

6.1 基于 BIM 的管线综合技术

6.1.1 技术内容

(1) 技术特点

随着 BIM 技术的普及，其在机电管线综合技术应用方面的优势比较突出。丰富的模型信息库、与多种软件方便的数据交换接口，成熟、便捷的可视化应用软件等，比传统的管线综合技术有了较大的提升。

(2) 深化设计及设计优化

机电工程施工中，许多工程的设计图纸由于诸多原因，设计深度往往满足不了施工的需要，施工前尚需进行深化设计。机电系统各种管线错综复杂，管路走向密集交错，若在施工中发生碰撞情况，则会出现拆除返工现象，甚至会导致设计方案的重新修改，不仅浪费材料、延误工期，还会增加项目成本。基于 BIM 技术的管线综合技术可将建筑、结构、机电等专业模型整合，可很方便地进行深化设计，再根据建筑专业要求及净高要求将综合模型导入相关软件进行机电专业和建筑、结构专业的碰撞检查，根据碰撞报告结果对管线进行调整、避让建筑结构。机电本专业的碰撞检测，是在根据“机电管线排布方案”建模的基础上对设备和管线进行综合布置并调整，从而在工程开始施工前发现问题，通过深化设计及设计优化，使问题在施工前得以解决。

(3) 多专业施工工序协调

暖通、给排水、消防、强弱电等各专业由于受施工现场、专业协调、技术差异等因素的影响，不可避免地存在很多局部的、隐性的专业交叉问题，各专业在建筑某些平面、立面位置上产生交叉、重叠，无法按施工图作业或施工顺序倒置，造成返工，这些问题有些是无法通过经验判断来及时发现并解决的。通过 BIM 技术的可视化、参数化、智能化特性，进行多专业碰撞检查、空间控制检查和精确预留预埋，或者利用基于 BIM 技术的 4D 施工管理，对施工工序过程进行模拟，对各专业进行事先协调，可以很容易的发现和解决碰撞点，减少因不同专业沟通不畅而产生技术错误，大大减少返工，节约施工成本。

(4) 施工模拟

利用 BIM 施工模拟技术，使得复杂的机电施工过程，变得简单、可视、易懂。

BIM4D 虚拟建造形象直观、动态模拟施工阶段过程和重要环节施工工艺，将多种施工及工艺方案的可实施性进行比较，为最终方案优选决策提供支持。采用动态跟踪可视化施工组织设计（4D 虚拟建造）的实施情况，对于设备、材料到货情况进行预警，同时通过进度管理，将现场实际进度完成情况反馈回“BIM 信息模型管理系统”中，与计划进行对比、分析及纠偏，实现施工进度控制管理。

形象直观、动态模拟施工阶段过程和重要环节施工工艺，将多种施工及工艺方案的可实施性进行比较，为最终方案优选决策提供支持。基于 BIM 技术对施工进度可实现精确计划、跟踪和控制，

动态地分配各种施工资源和场地，实时跟踪工程项目的实际进度，并通过计划进度与实际进度进行比较，及时分析偏差对工期的影响程度以及产生的原因，采取有效措施，实现对项目进度的控制。

(5) BIM 综合管线的实施流程

设计交底及图纸会审→了解合同技术要求、征询业主意见→确定 BIM 深化设计内容及深度→制定 BIM 出图细则和出图标准、各专业管线优化原则→制定 BIM 详细的深化设计图纸送审及出图计划→机电初步 BIM 深化设计图提交→机电初步 BIM 深化设计图总包审核、协调、修改→图纸送监理、业主审核→机电综合管线平剖面图、机电预留预埋图、设备基础图、吊顶综合平面图绘制→图纸送监理、业主审核→BIM 深化设计交底→现场施工→竣工图制作。

6.1.2 技术指标

- (1) 《综合布线系统工程设计规范》GB50311
- (2) 《综合布线系统工程验收规范》GB50312
- (3) 《城市住宅建筑综合布线系统工程设计规范》CECS119
- (4) 《建筑给水排水设计标准》GB50015
- (5) 《采暖通风与空气调节设计规范》GB 50019
- (6) 《民用建筑电气设计规范》JGJ 16
- (7) 《建筑通风和排烟系统用防火阀门》GB 15930
- (8) 《自动喷水灭火系统设计规范》GB 50084
- (9) 《建筑给水及采暖工程施工质量验收规范》GB 50242
- (10) 《通风与空调工程施工质量验收规范》GB 50243
- (11) 《电气装置安装工程低压电器施工及验收规范》GB 50254
- (12) 《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268
- (13) 《智能建筑工程施工规范》GB 50606
- (14) 《消防给水及消火栓系统技术规范》GB 50974
- (15) 《城市给水工程项目规范》GB 55026
- (16) 《城乡排水工程项目规范》GB 55027
- (17) 《建筑电气与智能化通用规范》GB 55024
- (18) 《建筑与市政工程施工质量控制通用规范》GB 55032
- (19) 《消防设施通用规范》GB 55036
- (20) 《建筑防火通用规范》GB 55037
- (21) 《建筑给水排水与节水通用规范》GB 55020

6.1.3 适用范围

适用于工业与民用建筑工程、城市轨道交通工程、电站等所有在建及扩建项目。

6.1.4 工程案例

中国知网数字图书馆项目、山西大学电力学院教学楼项目、山西潇河国际会展中心能源岛项目等。

6.2 机电管线及设备工厂化预制技术

6.2.1 技术内容

工厂模块化预制技术是将建筑给排水、采暖、电气、智能化、通风与空调工程等领域的建筑机电产品按照模块化、集成化的思想，从设计、生产到安装和调试深度结合集成，通过这种模块化及集成技术对机电产品进行规模化的预加工，工厂化流水线制作生产，从而实现建筑机电安装标准化、产品模块化及集成化。利用这种技术，不仅能提高生产效率和质量水平，降低建筑机电工程建造成本，还能减少现场施工工程量、缩短工期、减少污染、实现建筑机电安装工程装配化施工和全过程绿色建造。如：

(1) 管道工厂化预制施工技术：采用软件硬件一体化技术，详图设计采用“管道预制设计系统”软件，实现管道单线图和管段图的快速绘制；预制管道采用“管道预制安装管理系统”软件，实现预制全过程、全方位的信息管理。采用机械坡口、自动焊接，并使用厂内物流系统，使整个预制过程形成流水线作业，提高了生产效率。可采用移动工作站预制技术，运用自动切割、坡口、滚槽、焊接机械和辅助工装，快速组装形成预制工作站，在施工现场建立作业流水线，进行管道加工和焊接预制，大幅缩短施工周期。

(2) 对于机房机电设施采用标准的模块化设计，使泵组、冷水机组等设备形成自成支撑体系的、便于运输安装的单元模块。采用模块化制作技术和施工方法，改变了传统施工现场放样、加工和安装作业的方法。

(3) 将大型机电设备拆分成若干单元模块制作，在工厂车间进行预拼装、现场分段组装。

(4) 对厨房、卫生间排水管道进行同层模块化设计，形成一套排水节水装置，以便于实现建筑排水系统工厂化加工、批量性生产以及快速安装；同时有效解决厨房、卫生间排水管道漏水、出现异味等问题。

(5) 主要工艺流程：研究图纸→BIM 建模→模型分解优化→放样、下料、预制→预拼装→防腐→现场分段组对→安装就位。

6.2.2 技术指标

(1) 主要技术指标

- 1) 模块适用尺寸：公路运输控制在 3100mm×3800mm×18000mm 以内。
- 2) 船运控制在尺寸 6000mm×5000mm×50000mm 以内；若模块在港口附近安装，无运输障碍，模块尺寸可根据具体实际情况进一步加大。
- 3) 模块重量要求：公路运输一般控制在 40t 以内，模块重量也应根据施工现场起重设备的具体情况有所调整。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《管道工厂化预制技术规范》HG/T 21641
- 2) 《预制组合立管技术规范》GB50682

- 3) 《模块化雨水储水设施技术标准》CJJ/T311
- 4) 《模块式空调机房设备》JG/T447
- 5) 《模块化雨水利用系统应用技术规程》T/CECS543

6.2.3 适用范围

适用于大、中型民用建筑工程、工业工程、石油化工工程的设备、管道、电气安装，尤其适用于高层的办公楼、酒店、住宅。

6.2.4 工程案例

山西工程科技职业大学实训中心项目，太原市城市学院实训楼项目，新源智慧建设运行总部能源岛项目等。

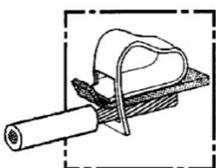
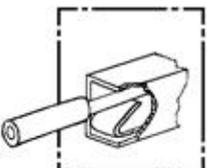
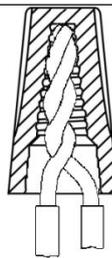
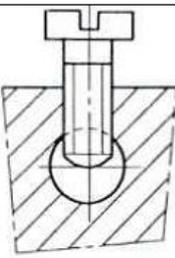
6.3 导线连接器应用技术

6.3.1 技术内容

(1) 技术特点

通过螺纹、弹簧片以及螺旋钢丝等机械方式，对导线施加稳定可靠的接触力。按结构分为：螺纹型连接器、无螺纹型连接器（包括：通用型和推线式两种结构）和扭接式连接器，其工艺特点见表 6.3.1，能确保导线连接所必须的电气连续、机械强度、保护措施以及检测维护 4 项基本要求。

表 6.3.1 符合 GB 13140 系列标准的导线连接器产品特点说明

比较项目	无螺纹型		扭接式	螺纹型
	通用型	推线式		
连接原理图例				
制造标准代号	GB 13140.3		GB 13140.5	GB 13140.2
连接硬导线 (实心或绞合)	适用		适用	适用
连接未经处理的 软导线	适用	不适用	适用	适用
连接焊锡处理的 软导线	适用	适用	适用	不适用
连接器是否参与导电	参与		不参与	参与/不参与
IP 防护等级	IP20		IP20 或 IP55	IP20
安装工具	徒手或使用辅助工具		徒手或使用 辅助工具	普通螺丝刀
是否重复使用	是		是	是

(2) 施工工艺

- 1) 安全可靠：应该是很成熟的，长期实践已证明此工艺的安全性与可靠性。
- 2) 高效：由于不借助特殊工具、可完全徒手操作，使安装过程快捷，平均每个电气连接耗时仅10s，为传统焊锡工艺的1/30，节省人工和安装费用。

3) 可完全代替传统锡焊工艺，不再使用焊锡、焊料、加热设备，消除了虚焊与假焊，导线绝缘层不再受焊接高温影响，避免了高举熔融焊锡操作的危险，接点质量一致性好，没有焊接烟气造成的工作场所环境污染。

(3) 主要施工方法

- 1) 根据被连接导线的截面积、导线根数、软硬程度，选择正确的导线连接器型号。
- 2) 根据连接器型号所要求的剥线长度，剥除导线绝缘层。
- 3) 按图 6.3.1、图 6.3.2 所示，安装或拆卸无螺纹型导线连接器。



图 6.3.1 推线式连接器的导线安装或拆卸示意图 图 6.3.2 通用型连接器的导线安装或拆卸示意图

- 4) 按图 6.3.3 所示，安装或拆卸扭接式导线连接器。

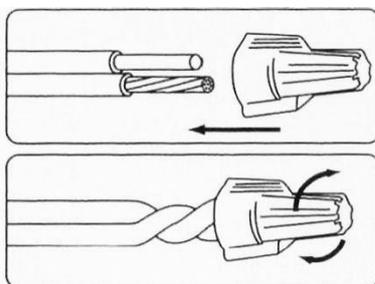


图 6.3.3 扭接式连接器的安装示意图

6.3.2 技术指标

- (1) 《建筑电气工程施工质量验收规范》GB 50303
- (2) 《建筑电气细导线连接器应用技术规程》CECS 421
- (3) 《低压电气装置》（第 5 部分：电气设备的选择和安装第 52 章布线系统）GB 16895.6
- (4) 《家用及类似用途低压电路用的连接器件》GB 13140
- (5) 《建筑电气与智能化通用规范》GB 55024

6.3.3 适用范围

适用于额定电压交流 1kV 及以下和直流 1.5kV 及以下建筑电气细导线（6mm² 及以下的铜导线）的连接。

6.3.4 工程案例

山西工程科技职业大学学生公寓项目、太原市生鲜农副产品加工开发及配送建设综合楼项目等。

6.4 可弯曲金属导管安装技术

6.4.1 技术内容

可弯曲金属导管内层为热固性粉末涂料，粉末通过静电喷涂，均匀吸附在钢带上，经 200℃ 高温加热液化再固化，形成质密又稳定的涂层，涂层自身具有绝缘、防腐、阻燃、耐磨损等特性，厚度为 0.03mm。可弯曲金属导管是我国建筑材料行业新一代电线电缆外保护材料，已被编入设计、施工与验收规范，大量应用于建筑电气工程的强电、弱电、消防系统，明敷和吊顶内暗敷场所，逐步成为一种较理想的电线电缆外保护材料。

(1) 技术特点

- 1) 可弯曲度好：优质钢带绕制而成，用手即可弯曲定型，减少机械操作工艺。
- 2) 耐腐蚀性强：材质为热镀锌钢带，内壁喷附树脂层，双重防腐。
- 3) 使用方便：裁剪、敷设快捷高效，可任意连接，管口及管材内壁平整光滑，无毛刺。
- 4) 内层绝缘：采用热固性粉末涂料，与钢带结合牢固且内壁绝缘。
- 5) 搬运方便：圆盘状包装，质量为同米数传统管材的 1/3，搬运方便。
- 6) 机械性能：双扣螺旋结构，异形截面，抗压、抗拉伸性能达到《电缆管理用导管系统第 1 部分：通用要求》GB/T 2004 1.1 的分类代码 4 重型标准。

(2) 施工工艺

可弯曲金属导管基本型采用双扣螺旋结构、内层静电喷涂技术，防水型和阻燃型在基本型的基础上包覆防水、阻燃护套。使用时徒手施以适当的力即可将可弯曲金属导管弯曲到需要的程度，连接附件使用简单工具即可将导管等连接可靠。

- 1) 明配的可弯曲金属导管固定点间距应均匀，管卡于设备、器具、弯头中点、管端等边缘的距离应小于 0.3m。
- 2) 暗配的可弯曲金属导管，应敷设在两层钢筋之间，并与钢筋绑扎牢固。管子绑扎点间距不宜大于 0.5m，绑扎点距盒（箱）不应大于 0.3m。
- 3) 可弯曲导管的长度在动力配电工程中不大于 0.8m，且应留有滴水弯，在照明工程中不大于 1.2m。
- 4) 可弯曲导管在进出配电箱、柜、桥架、接线盒，以及接末端设备时均要采用配套的专用接头，并不得有导管与接头脱落、接口不严出现导线外露等情况。

6.4.2 技术指标

(1) 主要技术指标

- 1) 电气性能：导管两点间过渡电阻小于 0.05Ω 标准值。
- 2) 抗压性能：1250N 压力下扁平率小于 25%，可达到《电缆管理用导管系统第 1 部分：通用要

求》GB/T 2004 1.1 分类代码 4 重型标准要求。

3) 拉伸性能: 1000N 拉伸荷重下, 重叠处不开口(或保护层无破损), 可达到《电缆管理用导管系统第 1 部分: 通用要求》GB/T 2004 1.1 分类代码 4 重型标准要求。

4) 耐腐蚀性: 浸设在 1.186kg/L 的硫酸铜溶液, 可达到《电缆管理用导管系统第 1 部分: 通用要求》GB/T 2004 1.1 的分类代码 4 内外均高标准要求。

5) 绝缘性能: 导管内壁绝缘电阻值, 不低于 50MΩ。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《建筑电气用可弯曲金属导管》JG/T526
- 2) 《电缆管理用导管系统第 1 部分: 通用要求》GB/T 20041.1
- 3) 《电缆管理用导管系统第 22 部分: 可弯曲导管系统的特殊要求》GB 20041.22
- 4) 《民用建筑电气设计规范》JGJ 16
- 5) 《1KV 及以下配线工程施工与验收规范》GB 50575
- 6) 《低压配电设计规范》GB 50054
- 7) 《火灾自动报警系统施工及验收标准》GB50166
- 8) 《建筑电气工程施工质量验收规范》GB 50303
- 9) 《建筑电气与智能化通用规范》GB 55024

6.4.3 适用范围

适用于建筑物室内外电气工程的强电、弱电、消防等系统的明敷和暗敷场所的电气配管及作为导线、电缆末端与电气设备、槽盒、托盘、梯架、器具等连接的电气配管。

6.4.4 工程案例

虎悦通岚县大蛇头 50 兆瓦风电工程项目、新建忻州市残疾人康复中心项目、残疾人托养中心建设项目等。

6.5 工业化成品支吊架技术

6.5.1 技术内容

装配式成品支吊架由管道连接的管夹构件、建筑结构连接的锚固件以及将这两种结构件连接起来的承载构件、减震(振)构件、绝热构件以及辅助安装件构成。该技术满足不同规格的风管、桥架、管道的应用, 特别是在错综复杂的管路定位和狭小管井、吊顶施工, 更可发挥灵活组合技术的优越性。近年来, 在机场、大型工业厂房等领域已开始应用复合式支吊架技术, 可以相对有效地化解管线集中安装与空间紧张的矛盾。复合式管线支吊架系统具有吊杆不重复、与结构连接点少、空间节约、后期管线维护简单、扩容方便、整体质量及观感好等特点。特别是《建筑机电工程抗震设计规范》GB 50981 的实施, 采用成品的抗震支吊架系统成为必选。

(1) 技术特点

根据 BIM 模型确认的机电管线排布, 通过数据库快速导出支吊架型式, 从供应商的产品手册中

选择相应的成品支吊架组件，或经过强度计算，根据结果进行支吊架型材选型，设计，工厂制作装配式组合支吊架，在施工现场仅需简单机械化拼装即可成型，减少现场测量、制作工序，降低材料损耗率和安全隐患，实现施工现场高效、节能。

主要技术先进性在于：

1) 标准化：产品由一系列标准化构件组成，所有构件均采用成品，或由工厂采用标准化生产工艺，在全程、严格的质量管理体系下批量生产，产品质量稳定，且具有通用性和互换性。

2) 安装简捷：一般只需 2 人即可进行安装，技术要求不高，安装操作简易、高效，明显降低劳动强度。

3) 施工安全：施工现场无电焊作业产生的火花，从而消灭了施工过程中的火灾事故隐患。

4) 节约材料：由于主材选用的是符合国际标准的轻型 C 型钢，在确保其承载能力的前提下，所用的 C 型钢质量相对于传统支吊架所用的槽钢、角钢等材料可减轻 15%~20%，明显减少了钢材用量，从而节约了钢材消耗。

5) 节约成本：由于采用标准件装配，可减少安装施工人员；现场无需电焊机、钻床、氧气乙炔装置等施工设备投入，能有效节约施工成本。

6) 保护环境：无需现场焊接、无需现场刷油漆等作业，因而不会产生弧光、烟雾、异味等多重污染。

7) 坚固耐用：经专业的技术选型和机械力学计算，且考虑足够的安全系数，确保其承载能力的安全可靠。

8) 安装效果美观：安装过程中，由专业公司提供全程、优质的服务，确保精致、简约的外观效果。

(2) 施工工艺

1) 吊架和支架安装应保持垂直，整齐牢固，无歪斜现象。

2) 支吊架安装要根据管子位置，找平、找正、找标高，生根要牢固，与管子接合要稳固。

3) 吊架要按施工图锚固于主体结构，要求拉杆无弯曲变形，螺纹完整且与螺母配合良好牢固。

4) 在混凝土基础上，用膨胀螺栓固定支吊架时，膨胀螺栓的打入必须达到规定的深度，特殊情况需做拉拔试验。

5) 管道的固定支架应严格按照设计图纸安装。

6) 导向支架和滑动支架的滑动面应洁净、平整，滚珠、滚轴、托滚等活动零件与其支撑件应接触良好，以保证管道能自由膨胀。

7) 所有活动支架的活动部件均应裸露，不应被保温层覆盖。

8) 有热位移的管道，在受热膨胀时，应及时对支吊架进行检查与调整。

9) 恒作用力支吊架应按设计要求进行安装调整。

10) 支架装配时应先整型后，再上锁紧螺栓。

11) 支吊架调整后，各连接件的螺杆丝扣必须带满，锁紧螺母应锁紧，防止松动。

12) 支架间距应按设计要求和规范规定。

- 13) 支吊架安装应与管道的安装同步进行。
- 14) 支吊架安装施工完毕后应将支架擦拭干净，所有暴露的槽钢端均需装设封盖。
- 15) 单芯矿物电缆固定件不得形成电气回路。

6.5.2 技术指标

- (1) 《管道支吊架》GB/T 17116
- (2) 《建筑机电工程抗震设计规范》GB 50981
- (3) 《自动喷水灭火系统 第 18 部分：消防管道支吊架》GB/T 5135.18
- (4) 《室内管道支架和吊架》03S402
- (5) 《金属、非金属风管支吊架》19K112
- (6) 《电缆桥架安装》22D701-3
- (7) 《装配式室内管道支吊架的选用与安装》16CK 208

6.5.3 适用范围

适用于工业与民用建筑工程中多种管线在狭小空间场所布置的支吊架安装，特别适用于建筑工程的走道、地下室及走廊等管线集中的部位、综合管廊建设的管道、电气桥架管线、风管等支吊架的安装。

6.5.4 工程案例

山西省儿童医院新院医疗综合楼-住院楼 1 区项目、新源智慧建设运行总部项目、山西潇河会议中心项目等。

6.6 薄壁金属管道新型连接安装施工技术

6.6.1 技术内容

(1) 铜管机械密封式连接

1) 卡套式连接：是一种较为简便的施工方式，操作简单，掌握方便，是施工中常见的连接方式，连接时只要管子切口的端面能与管子轴线保持垂直，并将切口处毛刺清理干净，管件装配时卡环的位置正确，并将螺母旋紧，就能实现铜管的严密连接，主要适用于管径 50mm 以下的半硬铜管的连接。

2) 插接式连接：一种最简便的施工方法，只要将切口的端面能与管子轴线保持垂直并去除毛刺的管子，用力插入管件到底即可，此种连接方法是靠专用管件中的不锈钢夹固圈将钢壁禁锢在管件内，利用管件内与铜管外壁紧密配合的O形橡胶圈来实施密封的，主要适用于管径 25mm 以下的铜管的连接。

3) 压接式连接：一种较为先进的施工方式，操作也较简单，但需配备专用的且规格齐全的压接机械。连接时管子的切口端面与管子轴线保持垂直，并去除管子的毛刺，然后将管子插入管件到底，再用压接机械将铜管与管件压接成一体。此种连接方法是利用管件凸缘内的橡胶圈来实施密封的，主要适用于管径 50mm 以下的铜管的连接。

(2) 薄壁不锈钢管机械密封式连接

1) 卡压式连接：配管插入管件承口（承口 U 形槽内带有橡胶密封圈）后，用专用卡压工具压紧管口形成六角形而起密封和紧固作用的连接方式。

2) 卡凸式螺母型连接: 以专用扩管工具在薄壁不锈钢管端的适当位置, 由内壁向外(径向)辊压使管子形成一道凸缘环, 然后将带锥台形三元乙丙密封圈的管插进带有承插口的管件中, 拧紧锁紧螺母时, 靠凸缘环推进压缩三元乙丙密封圈而起密封作用。

3) 环压式连接: 环压连接是一种永久性机械连接, 首先将套好密封圈的管材插入管件内, 然后使用专用工具对管件与管材的连接部位施加足够大的径向压力使管件、管材发生形变, 并使管件密封部位形成一个封闭的密封腔, 然后再进一步压缩密封腔的容积, 使密封材料充分填充整个密封腔, 从而实现密封, 同时将管件嵌入管材使管材与管件牢固连接。

6.6.2 技术指标

- (1) 《不锈钢卡压式管件组件 第2部分: 连接用薄壁不锈钢管》GB/T 19228.2
- (2) 《薄壁不锈钢管道技术规范》GB/T 29038
- (3) 《薄壁不锈钢管》CJ/T151
- (4) 《薄壁不锈钢卡压式和沟槽式管件》CJ/T152
- (5) 《薄壁不锈钢内插卡压式管材及管件》CJ/T232
- (6) 《薄壁不锈钢承插压合式管件》CJ/T463
- (7) 《齿环卡压式薄壁不锈钢管件》CJ/T520
- (8) 《建筑给水薄壁不锈钢管管道工程技术规程》T/CECS 153
- (9) 《自动水灭火系统薄壁不锈钢管管道工程技术规程》T/CECS 229
- (10) 《建筑给水排水薄壁不锈钢管连接技术规程》T/CECS 277
- (11) 《卡粘式连接薄壁不锈钢管道工程技术规程》CECS 423
- (12) 《空调水系统用承插压合式薄壁不锈钢管道工程技术规程》T/CECS 1142
- (13) 《消防给水用承插压合式连接薄壁不锈钢管道工程技术规程》T/CECS 1146
- (14) 《建筑给水排水及采暖工程施工质量验收规范》GB 50242
- (15) 《建筑铜管管道工程连接技术规程》CECS 228
- (16) 《建筑给水排水与节水通用规范》GB 55020

6.6.3 适用范围

适用于给水、热水、饮用水、燃气等管道的安装。

6.6.4 工程案例

高平市人民医院医技综合楼项目、介休市人民医院迁址新建项目、晋煤集团总医院改扩建项目(门诊急诊大楼工程)等。

6.7 夹芯彩钢板复合风管施工技术

6.7.1 技术内容

- (1) 技术特点

夹芯彩钢板复合风管采用内外薄钢板, 中间为玻璃棉隔热层的复合风管, 一体保温, 工厂化集

中生产，无需现场二次保温，有效地节约吊顶空间，产生固废少。当该风管用作排烟风管时，较传统排烟镀锌钢板风管，免去外包硅酸盐板，与现场玻璃棉隔热层施工相比，降低造价，缩短施工周期。该技术的运用，有效提高现场风管安装效率，且风管采用全自动生产流水线加工，产品质量可控，具有较好的经济效益。

(2) 施工工艺

1) 将符合要求的彩钢板用 U 型超级五线机加工，根据设计要求和实际尺寸，对彩钢板进行切割、折弯和冲孔等加工，制作出复合管的内部彩钢层，咬口接合。

2) 复合工艺：对制作好的内部彩钢层外面涂万能胶，隔 2—3 分钟，将离心玻璃棉板（48 kg/m³）粘合在复合风管内板外，形成复合风管的隔热层。

3) 制作出复合管的外层彩钢板，咬口接合，套在上隔热层外，为复合风管的外板。

4) 在复合风管两端内外彩钢板外插上铝合金法兰，将其铆接，连成一体。

5) 平面加固（横向内支撑加固）：对较大风管（风管长边尺寸超过 1250mm）采用直径为 8mm 的热镀锌通丝进行内支撑加固，进而有效减小风管的横向变形。同时考虑到空调系统防止发生风管内外侧由于温差较大产生结露的现象，现场采取在热镀锌通丝外侧加 PVC 线管且风管内外侧均采用直径为 80mm 的 PVC 材质顶盘；经现场反复验证，最终风管横向内支撑加固数量要求如表 6.7.1 所示。

表 6.7.1 矩形风管横向内支撑（平面加固）加固点数

风管大边长 a (m)	1250≤A<1600	1600≤A<2000	2000≤A<3000	A≥3000
加固数量	1	2	4	6

要求所有相同尺寸风管的平面加固点必须在同一条直线上，平面加固点之间的间距依风管加固数量按每节风管长度进行等分布置。

6) 四角加固（竖向加固）：为增强风管内侧相邻两边板材的强度，进而有效减小因风管的竖向变形而对风管对角线的偏差影响。经现场反复验证，现场风管四角加固的施工工艺采用如下两种：

(a) 法兰内暗装四角加固：边长≥250mm 的矩形双面彩钢板复合风管安装铝合金断桥法兰时，需在风管四角粘贴厚度 0.75mm 以上的镀锌直角垫片，直角垫片的宽度与风管板材厚度相等，边长不小于 55mm，然后再进行铝合金断桥法兰连接。

(b) 法兰外明装四角加固：对于边长≥1600mm 的矩形风管，需在铝合金断桥法兰外（风管内侧）进行明装四角加固，四角加固材料为镀锌拉角，镀锌拉角两端与法兰的每个连接处均采取不少于 4 个铆钉进行铆接固定。经现场反复验证，最终风管四角加固数量要求如表 6.7.2 所示。

表 6.7.2 矩形双面彩钢板复合风管法兰外明装四角加固表

风管大边长 a (m)	1600≤A<2000	A≥2000
加固数量	风管单面进行法兰外明装四角加固 (共 4 根镀锌拉条，至少 6 个铆钉铆接)	风管双面法兰外明装四角加固 (共 8 根镀锌拉条，至少 32 个铆钉铆接)



图 6.7.1 内角支撑图

7) 风管与风管间连接：对施工完成的复合风管进行质量验收和性能调试，断桥铝法兰为“C”型插条连接（附图 6.7.2）。

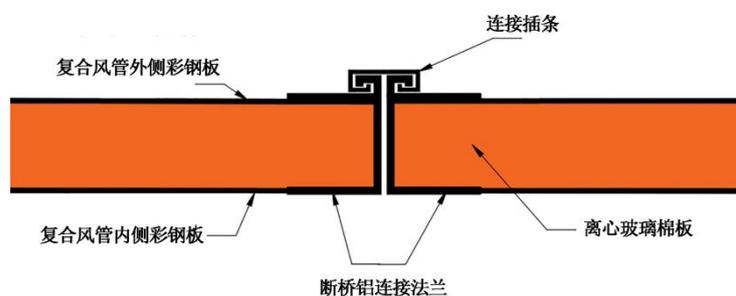


图 6.7.2 风管法兰连接图

8) 风管与风阀间连接：断桥铝法兰有“F”型法兰螺栓连接、“斤”型法兰螺栓连接（附图 6.7.3）。

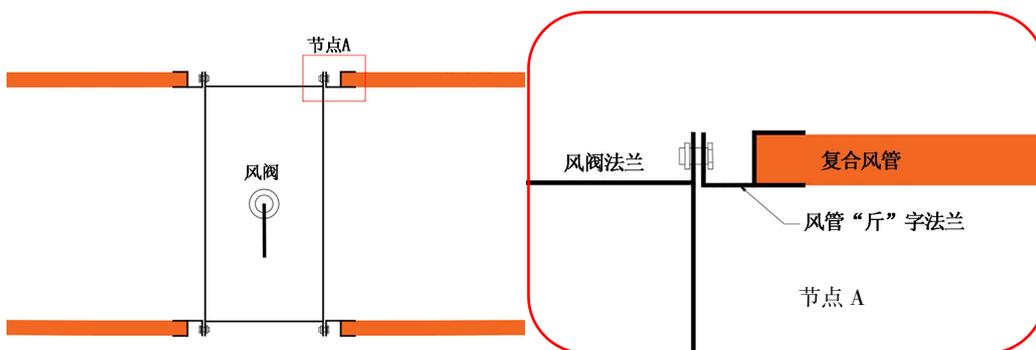


图 6.7.3 风管与风阀斤字法兰连接图

(3) 复合式彩钢板风管特点：

1) 风管强度高具有抗压、抗弯、不变形、不扭曲、结构稳定牢固，当风管内静压 1500Pa 时风管变形量低于标准值。

2) 整洁美观风管内壁平整光滑，不产尘、无污染、易清洗。风管连接采用无冷桥法兰、铝合金复合法兰插条，连接风道误差小、使用空间大、施工安装快捷方便。

3) 防火性能好复合式彩钢板玻璃棉板，燃烧性能为 A 级，满足各种通风管道的设计需求。

4) 气密性能极佳整体折弯，只有一个接口（咬口连接）。风管配备专用的 PVC、铝塑复合法兰，

经国家空调设备检测中心检测表明，当风管内静压为 1500Pa 时漏风量低于 $4.08\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m})$ 。

5) 导热系数小保温材料在平均温度 70°C 时，导热系数不大于 $0.0400\text{W}/\text{m}\cdot\text{k}$ ，风管法兰、卡条采用速装、铝合金型材，其风管无“冷桥”不结露。

6.7.2 技术指标

- (1) 《双面彩钢复合风管施工技术规范》DBJ04/T370
- (2) 《通风管道技术规范》JGJ/T 141
- (3) 《通风与空调工程施工质量验收规范》GB 50243
- (4) 《消防设施通用规范》GB 55036
- (5) 《建筑防火通用规范》GB 55037

6.7.3 适用范围

本产品适用于民用建筑高、中、低压空调系统风管制作安装，防排烟系统。

6.7.4 工程案例

太原市轨道交通 2 号线一期工程、太原轨道交通 1 号线工程等。

6.8 PVC 立管穿楼板止水节直埋技术

6.8.1 技术内容

(1) 技术特点

止水节是由承插口、止水翼环、固定点位组成的一体化 PVC 管件。通过采用 PVC 立管穿楼板止水节直埋技术，可以有效地防止管道穿越楼板时的渗漏水问题，提高建筑工程的质量和可靠性。在实际施工中，应根据具体情况，结合混凝土楼板的浇筑厚度，选择合适的止水节规格和长度，并严格按照相关规范和标准进行操作。

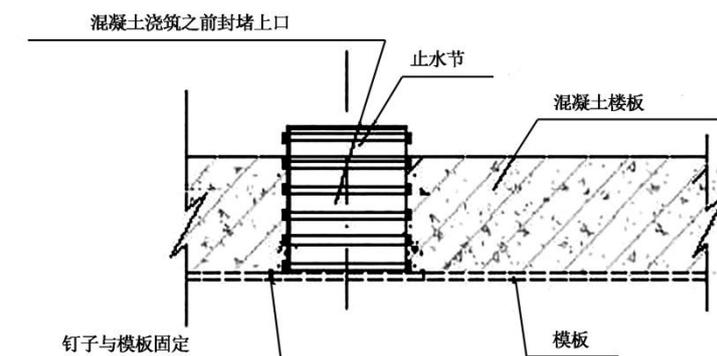


图 6.8.1 止水节预埋图

(2) 施工工艺

PVC 立管穿楼板止水节直埋技术是一种在建筑工程中常用的管道穿越楼板的防水处理方法，具体步骤如下：

- 1) 预处理：在立管穿越楼板的位置，将固定止水节的模板表面清理干净，并确保表面平整、

干燥。

- 2) 测量点位：用卷尺测量准确需要固定的位置，并且用铅锤线复核点位，做好标记。
- 3) 安装止水节：将止水节放置于模板上，四角用钉子固定牢固。
- 4) 封口保护：将止水节的上口用胶带封堵，防止混凝土掉入。
- 5) 浇筑混凝土：止水节周边浇筑混凝土，确保混凝土充实、致密。
- 6) 安装立管：将止水节的上部封口以及杂物清理之后，立管刷好胶水对准止水节安装即可。

6.8.2 技术指标

- (1) 《建筑给水排水及采暖工程施工质量验收规范》GB 50242
- (2) 《建筑给水排水与节水通用规范》GB 55020

6.8.3 适用范围

适用于 PVC 管材质的污水系统，废水系统，冷凝水系统中的立管。

6.8.4 工程案例

太原万科蓝山项目、太原万科紫院项目、太原融创长风壹号项目、晋城万达广场项目等。

6.9 履带式电缆输送机输送电缆技术

6.9.1 技术内容

(1) 技术特点

履带式电缆输送机是一种输送电力电缆（或控制电缆）的电动机械，采用双轴驱动，使输送力和重力分别作用在电缆的两个方向，有利于保护电缆的绝缘层；输送力通用复合履带采用高强度耐磨橡胶使电缆受力均匀，经久耐用。履带式输送机适用于任何形式的电缆桥架、沟道及电缆排管内，输送各种电力电缆和控制电缆，使用该设备从根本上改变了人工输送电缆的现象，可节约大量劳动力，改善劳动条件，降低劳动强度，提高工作效率和确保安全。



图 6.9.1 履带式电缆输送机应用

(2) 施工工艺

1) 履带式电缆输送机推进电缆，配合绞盘、托轮等机具的电缆敷设方法。水平段每隔 2m 设置一组滚轮，根据所输送的电缆大小，调整电缆输送机前后托轮的高度，以便托住电缆，调整时需松开手旋螺钉，上下移动拖轮高度，然后拧紧手旋螺钉。

2) 根据所输送的电缆大小,用手摇把向逆时针方向松动松紧丝杆,使橡胶履带松开到位,以便放入所需输送的电缆。

3) 输送机使用前需全面检查各部件的连接螺栓螺母是否松动,若松动需紧固,并检查开式齿轮上的润滑油脂是否润滑到位,并及时补涂油脂,查看托轮升降情况,并且将电缆输送机调整好固定整机,然后空载运转电缆输送机五分钟,以便检查整机工作情况。

4) 单机使用电缆输送机需要固定于地面,调整好托轮高度,然后松开橡胶履带,将电缆放入橡胶履带之内,用扳手顺时针转动松紧丝杆夹住电缆,启动电机,电缆输送机便可以输送作业。

5) 串联使用多台电缆输送机串联使用,串联使用则要确定各输送机之间的距离和传输机总台数,串联使用电缆输送装置之前,一定要调整单机变速箱的位置统一,因为不同推进速度的电缆输送机串联使用会损伤电缆。

电缆在牵引机牵引下进入第一台电缆输送机时停止牵引,将电缆夹紧在橡胶履带之间,然后同时开动牵引机和电缆输送机,直至电缆进入最后一台电缆输送机,此时便可以进行整条线路电缆的拖放施工作业。为保证各机同步运转,用户需根据具体施工方案配置相应的同步电源控制柜,同步电源控制柜分为总控箱和分控箱,一个分控箱控制一台电缆输送机,总控箱上设置群控各分箱的停止开关,实现各台输送机同步启停。

6) 穿电缆检查电缆敷设通道是否通畅,管线交叉处是否有阻碍,转角、翻弯的地方提前做好辅助措施,确保电缆在输送的过程中顺畅,外皮不受损伤。

7) 电缆敷设施工阶段

从电缆盘的上端引出,人员牵引电缆方向,防止电缆在支架上及地面摩擦,中间或转角处应加滑轮过渡,电缆上不得有铠装压扁、电缆绞拧、护层折裂等未消除的机械损伤。将拉线网套固定于电缆的端部将拉线网套与电缆的牵引绳相结合,施工人员将电缆沿着敷设路径联系所有的电缆输送机中的锥形轮,并通过调节滚轮彼此间的距离使锥形轮与电缆预牵引绳紧密作用,从而保证电缆可以稳定的穿过传输机。通过电缆输送装置各个滚轮间距的调节,确保电缆输送机在工作过程中,电缆与滚轮相互贴紧作用,避免发生滑轮现象。

6.9.2 技术指标

(1) 主要技术指标

- 1) 电缆型号、电压及规格应符合设计要求。
- 2) 核实电缆生产编号、订货长度、电缆位号,做到敷设准确无误。
- 3) 电缆外观无损伤,电缆密封应严密。
- 4) 电缆应做耐压和泄漏试验,试验标准应符合国家标准和规范的要求,电缆敷设前还应用 2.5kV 摇表测量绝缘电阻是否合格。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《电气装置安装工程电缆线路施工及验收规范》GB 50168
- 2) 《建筑电气工程施工质量验收规范》GB 50303

- 3) 《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》GB 50150
- 4) 《建筑机械使用安全技术规程》JGJ 33
- 5) 《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ 46
- 6) 《安全防范工程通用规范》GB 55029
- 7) 《建筑电气与智能化通用规范》GB 55024

6.9.3 适用范围

适用于房建、厂房、市政电缆敷设，电缆输送机主要运用在大截面以及长距离的电缆敷设作业中。

6.9.4 工程案例

太原市妇幼保健院项目、运城机场航站区改扩建工程新建航站楼及连廊工程项目等。

6.10 光导管照明系统应用技术

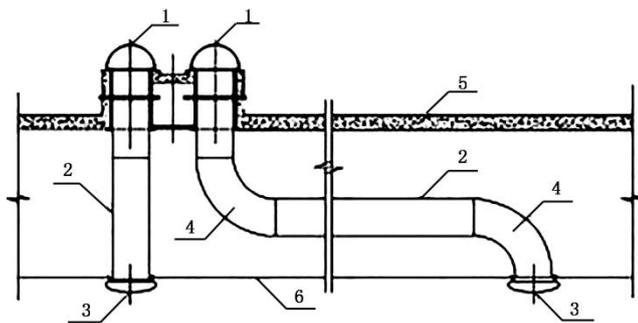
6.10.1 技术内容

光导管照明是通过采光系统采集光源，通过光导管折射、反射将自然光引导到无法接受自然光的房间，再通过漫射器散射到室内用作照明。光导照明主要由采光器、光导管、漫射器组成。光导管将自然光线导入室内一次安装长期使用，无能耗、无污染、免维修。

光导管安装前，宜采用全站仪定位，确定纵横轴线，确定光导管的准确位置；安装（洞口）防雨板时，洞口周围应加强防水处理，使防雨板与该部位的建筑防水形成一体；组装光导管应在洁净环境下进行。

光导管安装时，宜用激光铅垂仪测定光导管垂直度，光导管上口用螺钉固定在防雨板上，用硅酮胶密封结合处；光导管与混凝土预留孔之间的安装间隙，采用不燃保温材料填充密实。

填充完成后，固定光导管下口，光导管下口伸出天花板面 10mm，将固定环套入光导管，用螺钉将固定环固定在天花板上。



1-采光罩；2-直光导管；3-漫射器；4-90°弯光导；
5-屋面结构；6-吊顶天花板

图 6.10.1 直、弯光导管安装示意图

再用铆钉连接固定环与光导管，用结构密封胶或铝箔胶带密封连接缝。用螺钉将采光罩与防雨板的套圈连接到一起，将漫射器扣在固定装饰环上，用硅酮胶密封接缝，形成完整的采光系统。如图 6.10.1 所示。

6.10.2 技术指标

(1) 主要技术指标

- 1) 光导管可弯曲，弯曲角度为 $0\sim 90^\circ$ 。
- 2) 光导管直径为 $\phi 250$ 、 $\phi 330$ 、 $\phi 450$ 、 $\phi 530$ 、 $\phi 750\text{mm}$ （有圆、方管两种）。
- 3) 光线传输距离为 $10\sim 20\text{m}$ （小直径~大直径）。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《工业金属管道工程施工及验收规范》GB 50235
- 2) 《通风与空调工程施工质量验收规范》GB 50243
- 3) 《建筑照明设计标准》GB 50034

6.10.3 适用范围

适用于有效传输距离内的各类建筑物的室内采光照明。

6.10.4 工程案例

山西昆明烟草“十二五”易地改造综合楼项目、山西潇河新城酒店等。

6.11 机电消声减振综合施工技术

6.11.1 技术内容

(1) 技术特点

机电消声减振综合施工技术是实现机电系统设计功能的保障。随着建筑工程机电系统功能需求的不断增加，越来越多的机电系统设备（设施）被应用到建筑工程中。这些机电设备（设施）在丰富建筑功能、改善人文环境、提升使用价值的同时，也带来一系列的负面影响，如机电设备在运行过程中产生及传播的噪声和振动给使用者带来难以接受的困扰，甚至直接影响到身心健康等。

(2) 施工工艺

噪声及振动的频率低，空气、障碍物以及建筑结构等对噪声及振动的衰减作用非常有限（一般建筑构筑物噪声衰减量仅为 $0.02\sim 0.2\text{dB/m}$ ），因此必须在机电系统设计与施工前，通过对机电系统噪声及振动产生的源头、传播方式与传播途径、受影响因素及产生的后果等进行细致分析，制定消声减振措施方案，对其中的关键环节加以控制，实现对机电系统噪声和振动的有效防控。具体施工工艺包括：对机电系统进行消声减振设计，选用低噪、低振设备（设施），改变或阻断噪声与振动的传播路径以及引入主动式消声减振工艺等。

主要施工方法：

1) 优化机电系统设计方案，对机电系统进行消声减振设计。机电系统设计时，在结构及建筑分区的基础上充分考虑满足建筑功能的合理机电系统分区，为需要进行严格消声减振控制的功能区设计独立的机电系统，根据系统消声、减振需要，确定设备（设施）技术参数及控制流体流速，同时避免其他机电设施穿越。

2) 在机电系统设备（设施）选型时，优先选用低噪、低振的机电设备（设施），如箱式设备、变频设备、缓闭式设备、静音设备，以及高效率、低转速设备等。

3) 机电系统安装施工过程中, 在进行深化设计时要充分考虑系统消声、减振功能需要, 通过隔声、吸声、消声、隔振、阻尼等处理方法, 在机电系统中设置消声减振设备(设施), 改变或阻断噪声与振动的传播路径。如设备采用浮筑基础、减振浮台及减振器等的隔声隔振构造, 管道与结构、管道与设备、管道与支吊架及支吊架与结构(包括钢结构)之间采用消声减振的隔离隔断措施, 如套管、避振器、隔离衬垫、柔性软接、避振喉等。

4) 引入主动式消声抗振工艺。在机电系统深化设计中, 针对系统消声减振需要引入主动式消声抗振工艺, 扰动或改变机电系统固有噪声、振动频率及传播方向, 达到消声抗振的目的。

6.11.2 技术指标

- 1) 《环境保护产品技术要求 通风消声器》HJ 2523
- 2) 《漩流降噪特殊单立管排水系统技术规程》CECS287
- 3) 《声环境质量标准》GB3096
- 4) 《建筑排水管道系统噪声测试方法》CJ/T312
- 5) 《静音管网叠压给水设备》CJ/T444
- 6) 《聚丙烯静音排水管材及管件》CJ/T273
- 7) 《建筑排水聚丙烯静音管道工程技术规程》CECS 404
- 8) 《环境保护产品技术要求 橡胶隔振器》HJ/T 380
- 9) 《环境保护产品技术要求 阻尼弹簧隔振器》HJ/T 381
- 10) 《城市区域环境振动标准》GB 10070
- 11) 《民用建筑隔声设计规范》GB 50118
- 12) 《隔振设计规范》GB 50463
- 13) 《建筑工程容许振动标准》GB 50868
- 14) 《环境噪声与振动控制工程技术导则》HJ2034
- 15) 《剧场、电影院和多用途厅堂建筑声学设计规范》GB/T 50356

6.11.3 适用范围

适用于大、中型公共建筑工程机电系统消声减振施工, 特别适用于广播电视、音乐厅、大剧院、会议中心、高端酒店等安装工程。

6.11.4 工程案例

山西省儿童医院新院医疗综合楼-住院楼 1 区项目、吕梁国投财经中心(一期)建设项目、阳泉市城乡规划展览馆项目、太原市第二十一中学校教学实验楼(西段)项目等。

6.12 建筑机电系统全过程调试技术

6.12.1 技术内容

(1) 技术特点

建筑机电系统全过程调试技术覆盖建筑机电系统的方案设计阶段、设计阶段、施工阶段和运行

维护阶段，其执行者可以由独立的第三方、业主、设计方、总承包商或机电分包商等承担。目前最常见的是业主聘请独立第三方顾问，即调试顾问作为调试管理方。

（2）调试内容

1) 方案设计阶段：为项目初始时的筹备阶段，其调试工作主要目标是明确和建立业主的项目要求。业主项目要求是机电系统设计、施工和运行的基础，同时也决定着调试计划和进程安排。该阶段调试团队由业主代表、调试顾问、前期设计和规划方面专业人员、设计人员组成。该阶段主要工作为：组建调试团队，明确各方职责；建立例会制度及过程文件体系；明确业主项目要求；确定调试工作范围和预算；建立初步调试计划；建立问题日志程序；筹备调试过程进度报告；对设计方案进行复核，确保满足业主项目要求。

2) 设计阶段：该阶段调试工作主要目标是尽量确保设计文件满足和体现业主项目要求。该阶段调试团队由业主代表、调试顾问、设计人员和机电总包项目经理组成。该阶段主要工作为：建立并维持项目团队的团结协作；确定调试过程各部分的工作范围和预算；指定负责完成特定设备及部件调试工作的专业人员；召开调试团队会议并做好记录；收集调试团队成员关于业主项目要求的修改意见；制定调试过程工作时间表；在问题日志中追踪记录问题或背离业主项目要求的情况及处理办法；确保设计文件的记录和更新；建立施工清单；建立施工、交付及运行阶段测试要求；建立培训计划要求；记录调试过程要求并汇总进承包文件；更新调试计划；复查设计文件是否符合业主项目要求；更新业主项目要求；记录并复查调试过程进度报告。

3) 施工阶段：该阶段调试工作主要目标是确保机电系统及部件的安装满足业主项目要求。该阶段调试团队包括业主代表、调试顾问、设计人员、机电总包项目经理、专业承包商和设备供应商。该阶段主要工作为：协调业主代表参与调试工作并制定相应时间表；更新业主项目要求；根据现场情况，更新调试计划；组织施工前调试过程会议；确定测试方案，包括机电设备测试、风系统/水系统平衡调试、系统运行测试等，并明确测试范围，明确测试方法、试运行介质、目标参数值允许偏差、调试工作绩效评定标准；建立测试记录；定期召开调试过程会议；定期实施现场检查；监督施工方的现场调试、测试工作；核查运维人员培训情况；编制调试过程进度报告；更新机电系统管理手册。

4) 交付和运行阶段：当项目基本竣工后进入交付和运行阶段的调试工作，直到保修合同结束时间为止。该阶段工作目标是确保机电系统及部件的持续运行、维护和调节及相关文件更新均能满足最新业主项目要求。该阶段调试团队包括业主代表、调试顾问、设计人员、机电总包项目经理、专业承包商。该阶段主要工作为：协调机电总包的质量复查工作，充分利用调试顾问的知识和项目经验使得机电总包返工数量和次数最小化；进行机电系统及部件的季度测试；进行机电系统运行维护人员培训；完成机电系统管理手册并持续更新；进行机电系统及部件的定期运行状况评估；召开经验总结研讨会；完成项目最终调试过程报告。

（3）调试文件

1) 调试计划：为调试工作前瞻性整体规划文件，由调试顾问根据项目具体情况起草，在调试项目首次会议，由调试团队各成员参与讨论，会后调试顾问再进行修改完善。调试计划必须随着项目

的进行而持续修改、更新。一般每月都要对调试计划进行适当调整。调试顾问可以根据调试项目工作量大小，建立一份贯穿项目全过程的调试计划，也可以建立一份分阶段（方案设计阶段、设计阶段、施工阶段和运行维护阶段）实施的调试计划。

2) 业主项目要求：确定业主的项目要求对整个调试工作很重要，调试顾问组织召开业主项目要求研讨会，准确把握业主项目要求，并建立业主项目要求文件。

3) 施工清单：机电承包商详细记录机电设备及部件的运输、安装情况，以确保各设备及系统正确安装、运行的文件。主要包括设备清单、安装前检查表、安装过程检查表、安装过程问题汇总、设备施工清单、系统问题汇总。

4) 问题日志：记录调试过程发现的问题及其解决办法的正式文件，由调试团队在调试过程中建立，并定期更新。调试顾问在进行安装质量检查和监督施工单位调试时，可根据项目大小和合同内容来确定抽样检查比例或复测比例，一般不低于 20%。抽查或抽测时发现问题应记入问题日志。

5) 调试过程进度报告：详细记录调试过程中各部分完成情况以及各项工作和成果的文件，各阶段调试过程进度报告最终汇总成为机电系统管理手册的一部分。它通常包括：项目进展概况；本阶段各方职责、工作范围；本阶段工作完成情况；本阶段出现的问题及跟踪情况；本阶段未解决的问题汇总及影响分析；下阶段工作计划。

6) 机电系统管理手册：是以系统为重点的复合文档，包括使用和运行阶段、运行和维护指南以及业主使用中的附加信息，主要包括业主最终项目要求文件、设计文件、最终调试计划、调试报告、厂商提供的设备安装手册和运行维护手册、机电系统图表、已审核确认的竣工图纸、系统或设备/部件测试报告、备用设备部件清单、维修手册等。

7) 培训记录。调试顾问应在调试工作结束后，对机电系统的实际运行维护人员进行系统培训，并做好相应的培训记录。

6.12.2 技术指标

- 1) 《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736
- 2) 《公共建筑节能设计标准》GB 50189
- 3) 《民用建筑电气设计规范》JGJ 16
- 4) 《通风与空调工程施工质量验收规范》GB 50243
- 5) 《建筑节能工程施工质量验收规范》GB 50411
- 6) 《建筑电气工程施工质量验收规范》GB 50303
- 7) 《建筑给水排水及采暖工程施工质量验收规范》GB 50242
- 8) 《智能建筑工程质量验收规范》GB 50339
- 9) 《通风与空调工程施工规范》GB 50738
- 10) 《公共建筑节能检测标准》JGJ/T 177
- 11) 《采暖通风与空气调节工程检测技术规程》JGJ/T 260
- 12) 《变风量空调系统工程技术规程》JGJ 343

- 13) 《城市给水工程项目规范》 GB 55026
- 14) 《城乡排水工程项目规范》 GB 55027
- 15) 《建筑电气与智能化通用规范》 GB 55024
- 16) 《建筑与市政工程施工质量控制通用规范》 GB 55032
- 17) 《建筑给水排水与节水通用规范》 GB 55020

6.12.3 适用范围

适用新建建筑的机电系统全过程调试，特别适用于实施总承包的机电系统全过程调试。

6.12.4 工程案例

在长治市益东国际酒店贵宾楼工程项目、定襄县“六馆一院”项目、晋城市文化艺术中心项目、芮城县人民医院门诊医技综合楼建设项目等机电系统调试工程中均有应用。

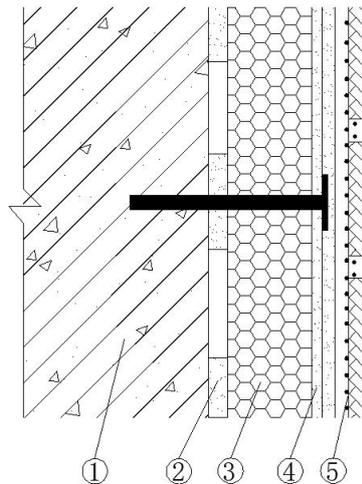
7 围护结构节能与绿色建造技术

7.1 高性能外墙保温技术

7.1.1 石墨聚苯乙烯板外保温技术

7.1.1.1 技术内容

石墨聚苯乙烯板是在传统的聚苯乙烯板的基础上，通过化学工艺改进而成的产品。与传统聚苯乙烯相比具有导热系数更低、防火性能高的特点。石墨聚苯乙烯外墙保温系统（图 7.1.1）常用于建筑物外墙外侧，由胶粘剂、石墨聚苯乙烯板、锚栓、抹面胶浆、耐碱玻纤网格布、饰面层等组成。



1—基层墙体；2—黏结层；3—石墨聚苯乙烯/硬泡聚氨酯板；4—抹面层；5—饰面层

图 7.1.1 石墨聚苯乙烯/硬泡聚氨酯板外墙保温系统构造示意图

7.1.1.2 技术指标

(1) 主要技术指标

表 7.1.1 石墨聚苯乙烯板基本性能指标

性能指标	
密度/ (kg/m ³)	≥18
压缩强度 (10%变形) /kPa	≥100
导热系数/ (W/ (m·K))	≤0.033
燃烧性能等级	B1 级

(2) 技术规范/标准

- 1) 《建筑绝热用石墨改性模塑聚苯乙烯泡沫塑料板》JC/T 2441
- 2) 《外墙外保温工程技术标准》JGJ 144
- 3) 《模塑聚苯板薄抹灰外墙外保温系统材料》GB/T 29906

7.1.1.3 适用范围

适用于新建建筑和既有建筑节能改造中各种主体结构的外墙外保温，适宜在严寒和寒冷地区使用。

7.1.1.4 工程案例

广泛应用于既有建筑节能改造的外墙外保温，例如太原市老旧小区外墙节能改造项目。

7.1.2 保温装饰一体板

7.1.2.1 技术内容

保温装饰一体板是在工厂预制成型的板状制品，由保温材料、装饰面板以及胶粘剂、连接件复合而成，具有保温和装饰功能。保温材料主要有泡沫塑料保温板、无机保温板等，装饰面板由无机非金属材料衬板及装饰材料组成也可为单一无机非金属材料。

按保温装饰一体板单位面积质量分为 I 型、II 型。I 型： $<20\text{kg/m}^2$ ；II 型： $20\text{kg/m}^2\sim 30\text{kg/m}^2$ 。

保温装饰板系统指以保温装饰板作为建筑保温及建筑装饰材料于一体的建筑保温装饰系统，系统材料包括保温装饰板、胶粘剂、锚固件、嵌缝材料和密封胶等，采用粘结和锚固或龙骨干挂的方式将保温装饰板固定在基层墙上的非承重保温装饰结构。

7.1.2.2 技术指标

(1) 主要技术指标

表 7.1.2 保温装饰板外墙外保温系统性能

项目		指标	
		I 型	II 型
耐候性	外观	无粉化、起鼓、脱落现象，无宽度大于 0.10mm 的裂缝	
	面板与保温材料拉伸粘接强度 /MPa	≥ 0.10	≥ 0.15
	拉伸粘结强度/MPa	≥ 0.10 ，破坏发生在保温材料中	≥ 0.15 ，破坏发生在保温材料中
	单点锚固力/kN	≥ 0.30	≥ 0.60
	热阻/ $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$	给出实测值	
	水蒸气透性能/ $[\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$	防护层透过量大于保温层透过量	

当采用无机保温材料或系统有透气构造时不检验水蒸气透过性能。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《保温装饰外墙外保温系统材料》JG/T287
- 2) 《石材饰面保温装饰板外墙外保温工程技术规程》T/CECS475
- 3) 《金属板饰面保温装饰板外墙外保温工程技术规程》T/CECS525
- 4) 《薄型陶瓷饰面保温装饰板应用技术规程》T/CECS555
- 5) 《装配式保温装饰一体化混凝土外墙应用技术规程》T/CECS 878
- 6) 《透气性无机保温装饰板应用技术规程》T/CECS 928
- 7) 《轻型保温装饰板外墙外保温工程技术规程》T/CECS 983
- 8) 《建筑外墙外保温装饰一体板》T/CECS 10104
- 9) 《岩棉保温装饰一体板外墙外保温系统技术规程》DBJ04/T302
- 10) 《保温装饰板外墙外保温系统材料》JG/T287
- 11) 《建筑用膨胀珍珠岩保温装饰复合板》JC/T 2421
- 12) 《泡沫混凝土保温装饰板》JC/T 2432

13) 《无机基材涂装饰面一体板外墙外保温工程技术规程》T/CECS 1313

7.1.2.3 适用范围

适用于严寒、寒冷地区的民用建筑、工业建筑的节能装饰及既有建筑的节能改造和墙面翻新（新建、扩建、改建，工业和民用建筑的承重或非承重外墙）。

适用于有节能要求的钢筋混凝土、混凝土空心砌体、烧结普通砖、烧结多孔砖和炉渣砖等材料构成的外墙或钢结构外墙保温工程。

抗震设防烈度 ≤ 8 度的地区。

7.1.2.4 工程案例

省内现有的工程应用较少，但在国内其他地区有较多的应用，北京、沈阳、天津、青岛、西安、南京、上海等地工程中均有使用，例如北京市海淀区老旧小区改造工程。

7.2 高性能门窗和建筑外遮阳技术

7.2.1 高性能保温门窗

7.2.1.1 技术内容

高性能保温门窗是指具有良好保温性能的门窗，应用最广泛的主要包括高性能断桥铝合金保温窗、高性能塑料保温门窗和复合窗。

高性能断桥铝合金保温窗是在铝合金窗基础上为提高门窗保温性能而推出的改进型门窗，通过尼龙隔热条将铝合金型材分为内外两部分，阻隔铝合金框材的热传导。同时框材再配上2腔或3腔的中空结构，腔壁垂直于热流方向分布，多道腔壁对通过的热流起到多重阻隔作用，腔内传热（对流、辐射和导热）相应被削弱，特别是辐射传热强度随腔数量增加而成倍减少，使门窗的保温效果大大提高。高性能断桥铝合金保温门窗采用的玻璃主要采用中空Low-E玻璃、三玻双中空玻璃及真空玻璃。

高性能塑料保温门窗，即采用U-PVC塑料型材制作而成的门窗。塑料型材本身具有较低的导热性能，使得塑料窗的整体保温性能大大提高。另外通过增加门窗密封层数、增加塑料异型材截面尺寸厚度、增加塑料异型材保温腔室、采用质量好的五金件等方式来提高塑料门窗的保温性能。同时为增加窗的刚性，在塑料窗窗框、窗扇、梃型材的受力杆件中，使用增强型钢增加了窗户的强度。高性能塑料保温门窗采用的玻璃主要采用中空Low-E玻璃、三玻双中空玻璃及真空玻璃。

复合窗是指型材采用两种不同材料复合而成，使用较多的复合窗主要是铝木复合窗和铝塑复合窗。铝木复合窗是以铝合金挤压型材为框、梃、扇的主料作受力杆件（承受并传递自重和荷载的杆件），另一侧覆以实木装饰制作而成的窗，由于实木的导热系数较低，因而使得铝木复合窗整体的保温性能大大提高。铝塑复合窗是用塑料型材将室内外两层铝合金既隔开又紧密连接成一个整体，由于塑料型材的导热系数较低，所以做成的这种铝塑复合窗保温性能也大大提高。复合窗采用的玻璃主要采用中空Low-E玻璃、三玻双中空及真空玻璃。

7.2.1.2 技术指标

- (1) 《建筑外门窗气密、水密、抗风压性能检测方法》GB/T 7106
- (2) 《建筑外门窗保温性能检测方法》GB/T 8484
- (3) 《建筑用节能门窗 第1部分：铝木复合门窗》GB/T 29734.1
- (4) 《建筑用节能门窗 第2部分：铝塑复合门窗》GB/T 29734.2
- (5) 《建筑用节能门窗 第3部分：钢塑复合门窗》GB/T 29734.3
- (6) 《建筑幕墙、门窗通用技术条件》GB/T 31433
- (7) 《建筑门窗玻璃幕墙热工计算规程》JGJ/T151
- (8) 《建筑节能与可再生能源利用通用规范》GB 55015
- (9) 《公共建筑节能设计标准》GB50189
- (10) 《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》JGJ 26

7.2.1.3 适用范围

适用于公共建筑、住宅建筑，广泛应用于低能耗建筑、绿色建筑、被动房等对门窗保温性能要求较高的建筑。

7.2.1.4 工程案例

在新源智慧建设运行总部项目、瑞湖·云山府住宅项目、朔州大医院、榆次区使赵村城中村改造安置区项目、晋阳湖国投晋湖雅澜项目中有应用。

7.2.2 耐火节能窗

7.2.2.1 技术内容

该技术是针对国标《建筑设计防火规范》GB 50016对高层建筑中部分外窗应具有耐火完整性要求研发而成。建筑外窗作为建筑物外围护结构的开口部位，即是阻止高层建筑火灾层间蔓延的关键因素，又是建筑物与外界进行热交换和热传导的窗口，因此高层建筑上应设置同时具备耐火和节能性能的窗。

耐火节能窗是指建筑外窗（如断桥铝合金窗、塑钢窗等），经采取一定的技术手段，能满足耐火完整性不低于0.5h的要求的窗户。耐火节能窗所用玻璃最少有一层应符合《建筑用安全玻璃第1部分：防火玻璃》GB 15763.1的规定，耐火完整性达到C类不小于0.5h的要求。

耐火节能窗型材所用的加强钢或其他增强材料应连接成封闭的框架。在玻璃镶嵌槽口内宜采取钢质构件固定玻璃，该构件应安装在增强型材料钢主骨架上，防止玻璃受火软化后脱落蹿火，失去耐火完整性。耐火节能窗所使用的防火膨胀密封条、防火密封胶、门窗密封件、五金件等材料，应是不燃或难燃材料，其燃烧性能应符合现行国家标准的要求。

耐火节能窗可以采用湿法和干法安装，与普通窗洞口安装不一样的地方就是在洞口与窗框之间的密封要采用防火阻燃密封材料（如防火密封胶）。

7.2.2.2 技术指标

- (1) 主要技术指标

1) 建筑耐火节能窗的耐火完整性按照《镶玻璃构件耐火试验方法》GB/T 12513 试验, 其耐火完整性不低于 0.5h。

2) 建筑高度大于 54m 的住宅建筑, 每户应有一间房间的外窗耐火完整性不宜低于 1.0h。

3) 按照《建筑外门窗保温性能分级及检测方法》GB/T 8484 的规定进行试验, 其传热系数可以满足工程设计要求。

(2) 技术规范/标准

1) 《建筑节能与可再生能源利用通用规范》GB 55015

2) 《建筑防火通用规范》GB 55037

3) 《建筑设计防火规范》GB50016

4) 《防火窗》GB16809

5) 《建筑幕墙防火性能分级及试验方法》GB/T 41336

6) 《防火卷帘、防火门、防火窗施工及验收规范》GB50877

7) 《建筑用安全玻璃第 1 部分: 防火玻璃》GB 15763.1

8) 《建筑外门窗保温性能分级及检测方法》GB/T 8484

7.2.2.3 适用范围

住宅和公共建筑。

7.2.2.4 工程案例

太原恒大翡翠城项目、太原坞城村城中村改造项目、晋中市科技馆项目等。

7.2.3 一体化遮阳窗

7.2.3.1 技术内容

一体化遮阳窗是把遮阳装置与建筑外窗进行一体化设计, 便于保证遮阳效果、简化施工安装、方便使用保养, 并符合国家建筑工业化产业政策导向。

活动遮阳产品与门窗一体化设计时, 其主要受力构件或传动受力装置应与门窗主体结构的材料部件一体设计、制造, 并安装。主要产品类型有: 内置百叶一体化遮阳窗、硬卷帘一体化遮阳窗、软卷帘一体化遮阳窗、遮阳篷一体化遮阳窗和金属百叶帘一体化遮阳窗等。

分类如下: 按遮阳位置分外遮阳、中间遮阳和内遮阳; 按遮阳产品类型分内置遮阳中空玻璃、硬卷帘、软卷帘、遮阳篷、百叶帘及其他; 按操作方式分电动、手动和固定。

7.2.3.2 技术指标

(1) 主要技术指标

影响一体化遮阳窗性能的指标有操作力性能、机械耐久性能、抗风压性能、水密性能、气密性能、隔声性能、遮阳系数(表 7.2.1)、传热系数(表 7.2.2)、耐雪荷载性能等详见《建筑一体化遮阳窗》JG/T 500, 施工时应符合《建筑遮阳工程技术规范》JGJ 237。

表 7.2.1 遮阳性能分级

分级	2	3	4
指标值	$0.6 < SC \leq 0.7$	$0.5 < SC \leq 0.6$	$0.4 < SC \leq 0.5$
分级	5	6	7
指标值	$0.3 < SC \leq 0.4$	$0.2 < SC \leq 0.3$	$SC \leq 0.2$

注：一体化遮阳窗遮阳性能以遮阳部件收回、伸展状态下遮阳系数 SC 表示。

表 7.2.2 传热系数分级

分级	1	2	3	4	5
分级指标值/ [W/(m ² ·K)]	$K \geq 5.0$	$5.0 > K \geq 4.0$	$4.0 > K \geq 3.5$	$3.5 > K \geq 3.0$	$3.0 > K \geq 2.5$
分级	6	7	8	9	10
分级指标值/ [W/(m ² ·K)]	$2.5 > K \geq 2.0$	$2.0 > K \geq 1.6$	$1.6 > K \geq 1.3$	$1.3 > K \geq 1.1$	$K < 1.1$

注：一体化遮阳窗保温性能以遮阳部件收回、伸展状态下窗传热系数 K 值表示。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《建筑一体化遮阳窗》JG/T500
- 2) 《建筑遮阳通用要求》JG/T 274
- 3) 《绿色建材评价-建筑遮阳产品》T/CECS 10033
- 4) 《建筑遮阳工程技术规范》JGJ237
- 5) 《建筑用遮阳金属百叶窗》JG/T251
- 6) 《建筑用遮阳天篷帘》JG/T252
- 7) 《建筑用曲臂遮阳篷》JG/T253
- 8) 《建筑用遮阳软卷帘》JG/T254
- 9) 《建筑遮阳硬卷帘》JG/T443
- 10) 《建筑用遮阳非金属百叶帘》JG/T499
- 11) 《建筑室内外用遮阳天篷帘》JC/T 2705

7.2.3.3 适用范围

适合于寒冷地区的工业与民用建筑、近零能耗建筑。

7.2.3.4 工程案例

省内现有的工程应用较少，在国内其他省份有一定的应用。省外典型案例如江苏省绿色建筑博览园项目、南京怡康街招商地产雍华府项目、南京麒麟山庄小区项目、苏州正荣国领项目、海门龙信广场项目等。

7.2.4 建筑外遮阳技术

7.2.4.1 技术内容

建筑外遮阳技术是把遮阳的面料或遮阳的金属型材放在玻璃的外面，挡住光线的同时，又反射和吸收了热量，达到良好的节能效果。研究发现建筑内遮阳 80%的热量进入了房间，而建筑外遮阳仅有 40%的热量进入室内。从节能效果上讲，建筑外遮阳是性能最突出的遮阳方法，与建筑内遮阳相比，制冷能耗可降低 83%~88%，最大制冷功率可降 17%。建筑外遮阳按遮阳板的形式分为水平遮阳、垂直遮阳、综合式遮阳、挡板式遮阳。建筑外遮阳按控制系统分为手动控制、无线电遥控和智能控制、手动和自动同时控制。其中智能控制建筑外遮阳主要采用电机连杆驱动方式，高精度同步驱动叶片调整角度，从而实现自动调节光线，根据每天不同时刻太阳光角度的不同，自动控制叶片角度，从而控制热量从室外通向室内，夏天可调节叶片角度减少通光量，减少空调负荷。冬天可增加通光量，减少采暖时间，从而实现节能目的。

7.2.4.2 技术指标

(1) 主要技术指标

- 1) 遮阳系数确定按《公共建筑节能设计标准》GB 50189 规定。
- 2) 遮阳系统材料使用钢材应符合《碳素结构钢》GB/T 700 规定。
- 3) 材料及其表面处理应符合《铝合金建筑型材》GB 5237.1~6 要求。
- 4) 外挑遮阳架按悬背梁设计风荷载应符合《建筑结构荷载规范》GB 50009 要求。
- 5) 建筑物外遮阳产品的抗风性能试验符合《建筑外遮阳产品抗风性能试验方法》JG/T 239 规定。
- 6) 外悬挑遮阳架强度和变形应符合《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ 102。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《建筑遮阳通用要求》JG/T 274
- 2) 《建筑遮阳工程技术规范》JGJ 237
- 3) 《绿色建材评价-建筑遮阳产品》T/CECS 10033

7.2.4.3 适用范围

建筑外遮阳节能效果极佳，适合于工业与民用建筑，如大型场馆、办公写字楼、酒店、高层住宅等工程。

7.2.4.4 工程案例

山西博物院项目、太原博物馆项目、新源智慧建设运行总部项目、山西省图书馆项目、山西潇河新城建设项目、平阳景苑 C 地块建设项目等。

7.3 封闭降水及水收集综合利用技术

7.3.1 基坑施工封闭降水技术

7.3.1.1 技术内容

基坑封闭降水是指在坑底和基坑侧壁采用截水措施，在基坑周边形成止水帷幕，阻截基坑侧壁及基坑底面的地下水流入基坑，在基坑降水过程中对基坑以外地下水位不产生影响的降水方法。基坑施工时应按需降水或隔离水源。

山西地区宜采用护坡桩+旋喷桩止水帷幕的地下水封闭措施；河流阶地地区宜采用双排或三排搅拌桩对基坑进行封闭，同时兼作支护的地下水封闭措施。

7.3.1.2 技术指标

(1) 主要技术指标

1) 封闭深度：宜采用悬挂式竖向截水和水平封底相结合，在没有水平封底措施的情况下要求侧壁帷幕（连续墙、搅拌桩、旋喷桩等）插入基坑下卧不透水土层一定深度。深度情况应满足下式计算：

$$L = 0.2h_w - 0.5b$$

式中： L ——帷幕插入不透水层的深度；

h_w ——作用水头；

b ——帷幕厚度。

2) 截水帷幕厚度：满足抗渗要求，渗透系数宜小于 $1.0 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 。

3) 基坑内井深度：可采用疏干井和降水井，若采用降水井，井深度不宜超过截水帷幕深度；若采用疏干井，井深应插入下层强透水层。

4) 结构安全性：截水帷幕必须在有安全的基坑支护措施下配合使用（如注浆法），或者帷幕本身经计算能同时满足基坑支护的要求（如地下连续墙）。

(2) 技术规范/标准

1) 《建筑基坑降水工程技术标准》DBJ04/T405

2) 《深基坑自防水穿底板钢管降水井封堵技术规程》T/CECS 1147

7.3.1.3 适用范围

适用于有地下水存在的非岩石地层的基坑工程。

7.3.1.4 工程案例

山西大剧院项目、中海国际中心项目、太原湖滨国际大酒店项目、光信学府嘉园项目、山西建投汾酒商务中心项目、山西国际金融中心 B、C 座及地下车库工程项目等。

7.3.2 施工现场水收集综合利用技术

7.3.2.1 技术内容

施工过程中应高度重视施工现场非传统水源的水收集与综合利用，该项技术包括基坑施工降水回收利用技术、雨水回收利用技术、现场生产和生活废水回收利用技术。

基坑施工降水回收利用技术，一般包含两种技术：一是利用自渗效果将上层滞水引渗至下层潜水层中，可使部分水资源重新回灌至地下的回收利用技术；二是将降水所抽水体集中存放施工时再利用。

雨水回收利用技术是指在施工现场将雨水收集后，经过雨水渗蓄、沉淀等处理，集中存放再利用。回收水可直接用于冲刷厕所、施工现场洗车及现场洒水控制扬尘。

现场生产和生活废水利用技术是指将施工生产和生活废水经过过滤、沉淀或净化等处理达标后

再利用。

经过处理或水质达到要求的水体可用于绿化、结构养护用水以及混凝土试块养护用水等。

7.3.2.2 技术指标

(1) 主要技术指标

- 1) 利用自渗效果将上层滞水引渗至下层潜水层中，有回灌量、集中存放量和使用量记录。
- 2) 施工现场用水至少应有 20%来源于雨水和生产废水回收利用等。
- 3) 污水排放应符合《污水综合排放标准》GB 8978。
- 4) 基坑降水回收利用率为：

$$R = K_6 \frac{Q_1 + q_1 + q_2 + q_3}{Q_0} \times 100\%$$

式中： Q_0 ——基坑涌水量（ m^3/d ），按照最不利条件下的计算最大流量；

Q_1 ——回灌至地下的水量（根据地质情况及试验确定）；

q_1 ——现场生活用水量（ m^3/d ）；

q_2 ——现场控制扬尘用水量（ m^3/d ）；

q_3 ——施工砌筑抹灰等用水量（ m^3/d ）；

K_6 ——损失系数；取 0.85~0.95。

(2) 技术规范、标准

- 1) 《建筑与小区雨水控制及利用工程技术规范》GB50400
- 2) 《雨水集蓄利用工程技术规范》GB/T50596
- 3) 《模块化雨水利用系统应用技术规程》T/CECS543

7.3.2.3 适用范围

适用于地下水埋藏较浅的地区；雨水及废水回收利用技术适用于各类施工工程。

7.3.2.4 工程案例

山西大剧院项目、中海国际中心项目、太原湖滨国际大酒店项目、光信学府嘉园项目、山西建投汾酒商务中心项目、朔州大医院项目、山西科技创新城科技创新综合服务平台项目、山西国际金融中心 B、C 座及地下车库工程项目等。

7.4 建筑垃圾减量化与资源化利用技术

7.4.1 建筑垃圾减量化与资源化利用技术

7.4.1.1 技术内容

建筑垃圾指在新建、扩建、改建和拆除加固各类建筑物、构筑物、管网以及装饰装修等过程中产生的施工废弃物。

建筑垃圾减量化是指在施工过程中采用绿色施工新技术、精细化施工和标准化施工等措施，减少建筑垃圾排放；建筑垃圾资源化利用是指建筑垃圾就近处置、回收直接利用或加工处理后再利用。

对于建筑垃圾减量化与建筑垃圾资源化利用主要措施为：实施建筑垃圾分类收集、分类堆放；碎石类、粉类的建筑垃圾进行级配后用作基坑肥槽、路基的回填材料；采用移动式快速加工机械，将废旧砖瓦、废旧混凝土就地分拣、粉碎、分级，变为可再生骨料。

可回收的建筑垃圾主要有散落的砂浆和混凝土、剔凿产生的砖石和混凝土碎块、打桩截下的钢筋混凝土桩头、砌块碎块，废旧木材、钢筋余料、塑料等。

现场垃圾减量与资源化的主要技术有：

(1) 对钢筋采用优化下料技术，提高钢筋利用率；对钢筋余料采用再利用技术，如将钢筋余料用于加工马凳筋、预埋件与安全围栏等。

(2) 对模板的使用应进行优化拼接，减少裁剪量；对木模板应通过合理的设计和加工制作提高重复使用率的技术；对短木方采用指接接长技术，提高木方利用率。

(3) 对混凝土浇筑施工中的混凝土余料做好回收利用，用于制作小过梁、混凝土砖等。

(4) 对二次结构的加气混凝土砌块隔墙施工中，做好加气块的排块设计，在加工车间进行机械切割，减少工地加气混凝土砌块的废料。

(5) 废塑料、废木材、钢筋头与废混凝土的机械分拣技术；利用废旧砖瓦、废旧混凝土为原料的再生骨料就地加工与分级技术。

(6) 现场直接利用再生骨料和微细粉料作为骨料和填充料，生产混凝土砌块、混凝土砖，透水砖等制品的技术。

(7) 利用再生细骨料制备砂浆及其使用的综合技术。

7.4.1.2 技术指标

(1) 主要技术指标

- 1) 装配式建筑施工的垃圾排放量不大于 200t/万 m²。
- 2) 非装配式建筑施工的垃圾排放量不大于 300t/万 m²。
- 3) 建筑垃圾回收利用率达到 30%以上。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《混凝土再生粗骨料》GB/T 25177
- 2) 《混凝土和砂浆用再生细骨料》GB/T 25176
- 3) 《再生骨料应用技术规程》JGJ/T 240
- 4) 《再生骨料地面砖、透水砖》CJ/T 400
- 5) 《建筑垃圾再生骨料实心砖》JG/T 505
- 6) 《道路用建筑垃圾再生骨料无机混合料》JC/T 2281
- 7) 《建筑垃圾再生集料路面基层技术规程》T/CECS 1063
- 8) 《建筑垃圾再生细骨料回填材料应用技术规程》T/CECS 1214
- 9) 《建筑与市政工程绿色施工评价标准》GB/T50640
- 10) 《施工现场建筑垃圾减量化技术标准》JGJ/T498

- 11) 《建筑垃圾处理技术标准》CJJ/T134
- 12) 《施工现场建筑垃圾减量化技术标准》JGJ/T498
- 13) 《住房和城乡建设部关于推进建筑垃圾减量化的指导意见》建质〔2020〕46号
- 14) 《住房和城乡建设部办公厅关于印发施工现场建筑垃圾减量化指导手册（试行）的通知》建办质〔2020〕20号

7.4.1.3 适用范围

适用于各类建设工程。

7.4.1.4 工程案例

山西大剧院项目、中海国际中心项目、太原湖滨国际大酒店项目、山西建投汾酒商务中心项目、太原小店区委党校建设项目、朔州大医院项目、尧都区文化艺术中心项目、山西国际金融中心 B、C 座及地下车库工程、山西大学东山校区公共教学楼工程项目等。

7.4.2 工程泥浆原位处理技术

7.4.2.1 技术内容

工程泥浆原位处理技术是指将建筑、市政、地铁等工程废弃泥浆经过净化循环利用及脱水处理后，使其达到“减量化、无害化、资源化、稳定化、绿色化”的一种处理技术。

盾构机或桩机等设备排出的工程泥浆进入预筛分器筛选后，将粒径在 3mm 以上的渣料和砂分离出来进行资源化利用；筛余的泥浆进入一级控源分离系统，经过旋流除砂分选，粒径微细的泥砂进入二级旋流筛分，干燥的细砂被分离出来，筛下浆液进入调浆系统。

调浆系统有两个出口方向，一是可循环泥浆，经调制后可重复利用，二是经过泥浆调质后进入压滤脱水系统进行深度脱水，排出中水和泥饼。工程泥浆经过处理后，部分泥浆循环利用，其他渣料经过脱水减量化处置达到资源化利用要求，从而实现了工程泥浆净化及零排放。

工程泥浆经过预筛、分离、调浆、压滤等原位处理后，最终分离为可循环利用泥浆、砂、泥饼和中水。其中砂可以作为回填材料；泥饼土为渗透性良好的硬塑土，可以直接作为地基土或其他土工材料使用；中水可用于绿化灌溉及道路清洗，既保证工程泥浆的资源化利用要求，又实现了工程泥浆的零排放标准，保护工程周边环境。

7.4.2.2 技术指标

(1) 主要技术指标

- 1) 可循环泥浆调制前指标：密度小于 1.4g/cm^3 ，黏度为 40s 以下（马氏漏斗）、30s 以下（苏氏漏斗），含砂量小于 20%。
- 2) 砂、泥饼含水率小于 30%。
- 3) 中水固体悬浮物指标 ss 小于 20mg/L。
- 4) 在技术运用中，仅后两项指标达标也可满足技术的符合性；三项指标均符合要求，并且考虑处理量占工程总量的比重两方面来确定技术运用的先进性。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《建筑与市政工程绿色施工评价标准》GB/T50640
- 2) 《施工现场建筑垃圾减量化技术标准》JGJ/T498
- 3) 《建筑垃圾处理技术标准》CJJ/T134
- 4) 《施工现场建筑垃圾减量化技术标准》JGJ/T498
- 5) 《住房和城乡建设部关于推进建筑垃圾减量化的指导意见》建质〔2020〕46号
- 6) 《住房和城乡建设部办公厅关于印发施工现场建筑垃圾减量化指导手册（试行）的通知》建办质〔2020〕20号

7.4.2.3 适用范围

适用于泥水盾构隧道工程、桩基工程、顶管工程、吹填工程等施工产生的工程废弃泥浆及河湖疏浚等泥浆净化脱水减量化处置。

7.4.2.4 工程案例

太原市轨道交通2号线工程项目、太原水西关街道路改造项目等。

7.5 施工现场太阳能、空气能等新能源利用技术

7.5.1 施工现场太阳能光伏发电照明技术

7.5.1.1 技术内容

施工现场太阳能光伏发电照明技术是利用太阳能电池组件将太阳光能直接转化为电能储存并用于施工现场照明系统的技术。发电系统主要由光伏组件、控制器、蓄电池（组）和逆变器（当照明负载为直流电时，不使用）及照明负载等组成。

施工现场太阳能光伏发电照明技术中的照明灯具负载应为直流负载，灯具选用以工作电压为12V的LED灯为主。生活区安装太阳能发电电池，保证道路照明使用率达到90%以上。

光伏组件：具有封装及内部联结的、能单独提供直流电输出、最小不可分割的太阳电池组合装置，又称太阳电池组件。太阳光充足日照好的地区，宜采用多晶硅太阳能电池；阴雨天比较多、阳光相对不是很充足的地区，宜采用单晶硅太阳能电池；其他新型太阳能电池，可根据太阳能电池发展趋势选用新型低成本太阳能电池；选用的太阳能电池输出的电压应比蓄电池的额定电压高20%~30%，以保证蓄电池正常充电。

太阳能控制器：控制整个系统的工作状态，并对蓄电池起到过充电保护、过放电保护的作用；在温差较大的地方，应具备温度补偿和路灯控制功能。

蓄电池：一般为铅酸电池，也可用镍氢电池、镍镉电池或锂电池。根据临建照明系统整体用电负荷数，选用适合容量的蓄电池，蓄电池额定工作电压通常选12V，容量为日负荷消耗量的6倍左右，可根据项目具体使用情况组成电池组。

7.5.1.2 技术指标

- (1) 《光伏与建筑一体化发电系统验收规范》GB/T 37655

- (2) 《太阳能光伏发电系统与建筑一体化技术规程》CECS 418
- (3) 《光伏组件屋面工程技术规程》T/CECS 902
- (4) 《建筑一体化智能光伏系统技术规程》T/CECS 941

7.5.1.3 适用范围

适用于施工现场临时照明，如路灯、加工棚照明、办公区廊灯、食堂照明、卫生间照明等。

7.5.1.4 工程案例

山西潇河新城建设项目、山西大剧院项目、中海国际中心项目、太原湖滨国际大酒店项目、光信学府嘉园项目、山西建投汾酒商务中心项目、山西科技创新城科技创新综合服务平台项目、山西国际金融中心 B、C 座及地下车库工程等。

7.5.2 太阳能热水应用技术

7.5.2.1 技术内容

太阳能热水技术是利用太阳光将水温加热的装置。太阳能热水器分为真空管式太阳能热水器和平板式太阳能热水器，由集热部件（真空管式为真空集热管，平板式为平板集热器）、保温水箱、连接管道、控制部件、内循环系统、支架等组成。

太阳能集热器相对储水箱的位置应使循环管路尽可能短；集热器面向正南或正南偏西 5°，条件不允许时可正南±30°；平板型、竖插式真空管太阳能集热器安装倾角需与工程所在地区纬度调整，一般情况安装角度等于当地纬度或当地纬度±10°；集热器应避免遮光物或前排集热器的遮挡，应尽量避免反射光对附近建筑物引起光污染。

宜选用合理先进的控制系统，控制主机启停、水箱补水、用户用水等；系统用水箱和管道需做好保温防冻措施。

7.5.2.2 技术指标

- (1) 主要技术指标

表 7.5.1 太阳能热水器安装技术参数

型号	水箱容积 (m ³)	集热面积 (m ²)	集热管规格 (mm)	集热管支数 (支)	适用人数
DFJN-1	1	15	φ47×1500	120	20-25
DFJN-2	2	30	φ47×1500	240	40-50
DFJN-3	3	45	φ47×1500	360	60-70
DFJN-4	4	60	φ47×1500	480	80-90
DFJN-5	5	75	φ47×1500	600	100-120
DFJN-6	6	90	φ47×1500	720	120-140
DFJN-7	7	105	φ47×1500	840	140-160
DFJN-8	8	120	φ47×1500	960	160-180
DFJN-9	9	135	φ47×1500	1080	180-200

型号	水箱容积 (m ³)	集热面积 (m ²)	集热管规格 (mm)	集热管支数 (支)	适用人数
DFJN-10	10	150	φ47×1500	1200	200-240
DFJN-15	15	225	φ47×1500	1800	300-360
DFJN-20	20	300	φ47×1500	2400	400-500
DFJN-30	30	450	φ47×1500	3600	600-700
DFJN-40	40	600	φ47×1500	4800	800-900
DFJN-50	50	750	φ47×1500	6000	1000-1100

(2) 技术规范/标准

- 1) 《真空管型太阳能集热器》GB/T 17581
- 2) 《民用建筑太阳能热水系统应用技术标准》GB50364
- 3) 《民用建筑太阳能热水系统评价标准》GB/T50604

7.5.2.3 适用范围

适用于太阳能丰富的地区，主要用于施工现场办公、生活区临时热水的供应。

7.5.2.4 工程案例

山西潇河新城建设项目、山西大剧院项目、劲松路住宅小区项目、坞城村城改项目、并州饭店改扩建项目、太原红星美凯龙家居广场项目、朔州大医院项目等。

7.5.3 空气能热水技术

7.5.3.1 技术内容

空气能热水技术是运用热泵工作原理，吸收空气中的低能热量，经过中间介质的热交换，并压缩成高温气体，通过管道循环系统对水加热的技术。空气能热水器是采用制冷原理从空气中吸收热量来加热水的“热量搬运”装置，把一种沸点为零下 10 多℃的制冷剂通到交换机中，制冷剂通过蒸发由液态变成气态从空气中吸收热量。再经过压缩机加压做工，制冷剂的温度就能骤升至 80℃~120℃。具有高效节能的特点，较常规电热水器的热效率高达 380%~600%，制造相同的热水量，比电辅助太阳能热水器利用能效高，耗电只有电热水器的 1/4。空气能热水器利用空气能，不需要阳光，因此放在室内或室外均可，温度在零摄氏度以上，就可以 24 小时全天候承压运行。

工程现场使用空气能热水器时，空气能热泵机组应尽可能布置在室外，进风和排风应通畅，避免造成气流短路。机组间的距离应保持在 2m 以上，机组与主体建筑或临建墙体（封闭遮挡类墙面或构件）间的距离应保持在 3m 以上；另外为避免排风短路，在机组上部不应设置挡雨棚之类的遮挡物；如果机组必须布置在室内，应采取提高风机静压的办法，接风管将排风排至室外。

宜选用合理先进的控制系统，控制主机启停、水箱补水、用户用水，以及其它辅助热源切入与退出；系统用水箱和管道需做好保温防冻措施。

7.5.3.2 技术指标

(1) 主要技术指标

表 7.5.2 部分空气能（源）热泵热水器参数表

机组型号	2P	3P		5P	10P
额定制热量 (KW)	6.79	8.87	8.87	14.97	30
额定输入功率 (KW)	1.96	2.88	2.83	4.67	9.34
最大输入功率 (KW)	2.5	3.6	3.8	6.4	12.8
额定电流 (A)	9.1	14.4	5.1	8.4	16.8
最大输入电流 (A)	11.4	16.2	7.1	12	20
电源电压 (V)	220		380		
最高出水温度 (°C)	60				
额定出水温度 (°C)	55				
额定使用水压 (MPa)	0.7				
热水循环水量 (m³/h)	3.6	7.8	7.8	11.4	19.2
循环泵扬程 (m)	3.5	5	5	5	7.5
水泵输出功率 (W)	40	100	100	125	250
产水量 (L/hr, 20°C-55°C)	150	300	300	400	800
COP 值	2-5.5				
水管接头规格	DN20	DN25	DN25	DN25	DN32
环境温度要求	-5~40°C				
运行噪音	≤50dB (A)	≤55dB (A)	≤55dB (A)	≤60dB (A)	≤60dB (A)
选配热水箱容积 (T)	1-1.5	2-2.5	2-2.5	3-4	5-8

(2) 技术规范/标准

《空气源多联式空调（热泵）热水机组》JB/T 11966

7.5.3.3 适用范围

适用于施工现场办公、生活区临时热水供应。

7.5.3.4 工程案例

山西潇河新城建设项目、山西大剧院项目、中海国际中心项目、光信学府嘉园项目、山西建投汾酒商务中心项目等。

7.5.4 风光互补路灯照明施工技术

7.5.4.1 技术内容

利用自然风作为动力，风轮吸收风的能量，带动风力发电机旋转，把风能转变为电能，经过控制器的整流，稳压作用，把交流电转换为直流电，向蓄电池组充电并储存电能。太阳能路灯利用光生伏特效应原理制成的太阳能电池板接收太阳辐射能并转化为电能输出，电能通过控制器向蓄电池组充电，当夜幕降临时或灯具周围的光照程度较低时，蓄电池提供电力给灯具使用。

风光互补路灯可根据不同的气候环境配置不同型号的风力发电机，在有限的条件内以达到风能利用最大化为目的。太阳能电池板采用转换率较高的单晶硅太阳能电池板，大幅提升太阳能的发电效能，有效改善当风资源不足的情况下，太阳能电池板因转换率不足，导致充电不足，无法保证灯

正常亮灯的问题。

风光互补路灯控制器，风光互补路灯系统内最主要的部件，起着对其他部件发号指令与协同工作的主要作用。风光互补控制器集光控亮灯、时控关灯、自动功率跟踪、自动泄荷、过充过放保护功能于一身，性能应稳定可靠。风光互补路灯采用高性能大容量免维护电池，为风光互补路灯提供充足的电能，保证阴雨天时灯具光源的亮灯时间。

7.5.4.2 技术指标

1) 太阳能电池板：按国际电工委员会 IEC: 1215: 1993 标准要求设计，采用 36 片或 72 片多晶硅太阳能电池进行串联以形成 12V 和 24V 各种类型的组件。该组件可用于各种户用光伏系统、独立光伏电站和并网光伏电站。

2) 风机：可选用 300W 磁悬浮风力发电机，风机输出三相交流电，经过风光智能控制器给蓄电池充电。技术参数详见下表。

表 7.5.3 风力发电机性能参数表

型号	FD1.5-0.3/10C	安全风速	50.0m/s
叶片直径	1.5m	额定直流输出	12V/24V
起动风速	1.5m/s	额定功率	300W
切入风速	2.5m/s	过风保护方式	电磁制动
额定风速	10m/s		

3) 蓄电池应具有可靠的高性能，既可循环使用，又可浮充使用。

表 7.5.4 蓄电池技术参数表

类型	储能用铅酸蓄电池	电压	12V
荷电状态	免维护蓄电池	额定容量	120AH
外形尺寸	329*172*214 (mm)	适用温度范围	-30℃~45℃

4) 灯具：优先选用 LED 灯具，提高出光效率和降低热阻，保证功率型 LED 工作的稳定性、可靠性及高效性；选用低热阻、散热良好、低应力的封装结构及高折射率、抗劣化封装材料。对环境无电磁干扰；运行时无高次谐波分量泄漏；安全性高，冷光源，低压工作，无触电危险。

表 7.5.5 LED 灯技术参数表

使用寿命	5 年以上，50000h 时，光衰小于初始值的 5%
显色指数	Ra≥80
色温 Tc	4500~6500
LED 的发光效率	≥100lm/W@350mA
灯具效率	≥80% (灯具输出光通量不小于封装器件输出光通量的 80%)
外壳耐腐蚀性能	II 类

5) 控制器：智能型风光互补路灯控制器能够有效地将风力发电机发出的交流电与太阳能板发出的直流电进行科学转换并储存于蓄电池中。根据高速微处理器提供的强大控制功能，实现太阳能最

大功率跟踪充电，使充电效率提高 30%。控制器可智能设置路灯通断时间，并根据蓄电池剩余电量自动调整其放电时间及亮灯功率。

7.5.4.3 适用范围

风光互补照明系统可应用于道路照明、现场临建供电等。

7.5.4.4 应用实例

太原和信大厦项目、万科新里程项目、恒大书城项目、竞杰·常青藤项目等。

7.5.5 土壤源热泵与水蓄能耦合技术

7.5.5.1 技术内容

土壤源热泵与水蓄能耦合技术包括岩土热物性测试与地温精准监测技术、蓄能池布管技术、专用回填泵技术、土壤源热泵自控技术、新型可移动式能源站装置技术和基于物联网的系统调控技术。

岩土热物性测试与地温精准监测技术在地热井中埋设多个传感器，通过准确确定岩土热物性参数，在设计阶段精准计算能量采集系统数量，在施工阶段对地埋管间距控制、回填材料、回填方法、回填效果进行控制与优化，在运维阶段对地温进行实时监测。

蓄能池布管技术采用上下两层布管，各布水器管路系统为同程布置，布管采用 120°圆孔钢管，圆孔直径 10~18mm，圆孔间距 100~150mm，每个出水口流速控制在 0.3~0.5m/s，以保证均匀出流。

专用回填泵技术采用从地下返浆回填的方法灌回填料，回填装置采用高压力柱塞泵，由孔底注入填料向上反填，逐步填充回填料，确保无回填空隙，保证传热效果。

土壤源热泵自控技术通过在土壤源热泵各系统装设时钟装置和温度传感器，采用开放式系统技术，根据系统运行特点和使用需求分别在系统和主机的使用侧、地源侧设置监测点。设备监控系统具备系统自我判断运行模式和故障报警功能，通过微电脑处理器，实现土壤源热泵空调系统的远程控制及网络化管理，从而达到减员增效和节能最优化的目的。

基于物联网的系统调控技术对建筑物的动态负荷和暖通空调系统的运行状态进行实时追踪，优化调控，以提升系统的整体运行效率，降低能源消耗。

7.5.5.2 技术指标

(1) 主要技术指标

临设建筑内冬季平均温度为 19.5℃，夏季平均温度为 26℃，符合人体舒适度要求。

(2) 技术规范/标准

《土壤源热泵系统工程技术标准》DBJ04/T 388

7.5.5.3 适用范围

适用于建筑工程和施工现场临设建筑的冬季采暖和夏季制冷等。

7.5.5.4 工程案例

祁县千朝生态休闲庄园项目、寿阳县平头镇采煤沉陷区移民搬迁项目、山西科技创新城科技创新综合服务平台项目等。

7.6 施工扬尘控制技术

7.6.1 技术内容

包括施工现场道路、塔吊、脚手架等部位自动喷淋降尘和雾炮降尘技术、施工现场车辆自动冲洗技术。

(1) 自动喷淋降尘系统由蓄水系统、自动控制系统、语音报警系统、变频水泵、主管、三通阀、支管、微雾喷头连接而成，主要安装在临时施工道路、脚手架上。塔吊自动喷淋降尘系统是指在塔吊旋转大臂上安装的喷水设施，用于塔臂覆盖范围内的降尘降温等。喷淋系统由加压泵、喷淋主管、万向旋转接头、喷淋头、卡扣、扬尘监测设备、视频监控设备等组成。

(2) 雾炮降尘系统主要有电机、高压风机、水平旋转装置、仰角控制装置、导流筒、雾化喷嘴、高压泵、储水箱等装置，其特点为风力强劲、射程高（远）、穿透性好，可以实现精量喷雾，雾粒细小，能快速将尘埃抑制降沉，工作效率高、速度快。

(3) 施工现场车辆自动冲洗系统由供水系统、循环用水处理系统、冲洗系统、承重系统、自动控制系统组成。采用红外、位置传感器启动自动清洗及运行指示的智能化控制技术。水池采用四级沉淀、分离，处理水质，确保水循环使用；清洗系统由冲洗槽、两侧挡板、高压喷嘴装置、控制装置和沉淀循环水池组成；喷嘴沿多个方向布置，无死角。

7.6.2 技术指标

- (1) 《建筑工程绿色施工规范》GB/T 50905
- (2) 《建筑与市政工程绿色施工评价标准》GB/T 50640
- (3) 《建设工程施工现场扬尘在线监测系统技术标准》DBJ04/T417
- (4) 《房建市政工程工地扬尘治理检查评价办法》晋建质规字（2023）147号

7.6.3 适用范围

适用于房屋建筑和市政工程施工。

7.6.4 工程案例

山西潇河新城建设项目、新源智慧建设运行总部项目、光信学府嘉园项目朔州大医院项目、山西科技创新城科技创新综合服务平台项目、尧都文化艺术中心项目、晋中市博物馆（档案馆）、晋中市图书馆、晋中市科技馆建设项目等。

7.7 施工噪声控制技术

7.7.1 技术内容

通过选用低噪声设备、先进施工工艺或采用隔声屏、隔声罩等措施有效降低施工现场及施工过程中噪声的控制技术。

(1) 隔声屏是通过遮挡和吸声减少噪声的排放。隔声屏主要由基础、立柱和隔音屏板几部分组成。基础可以单独设计也可在道路设计时一并设计在道路附属设施上；立柱可以通过预埋螺栓、植筋与焊接等方法，将立柱上的底法兰与基础连接牢靠，声屏障立板可以通过专用高强度弹簧与螺栓

及角钢等方法将其固定于立柱槽口内，形成声屏障。隔声屏可模块化生产，装配式施工，选择多种色彩和造型进行组合、搭配与周围环境协调。

(2) 隔声罩是把噪声较大的机械设备（搅拌机、混凝土输送泵、电锯等）封闭起来，有效地阻隔噪声的外传。隔声罩外壳由一层不透气的具有一定重量和刚性的金属材料制成，一般用 2 mm~3mm 厚的钢板，铺上一层阻尼层，阻尼层常用沥青阻尼胶浸透的纤维织物或纤维材料，外壳也可以用木板或塑料板制作，轻型隔声结构可用铝板制作。要求高的隔声罩可做成双层壳，内层较外层薄一些；两层的间距一般是 6mm~10mm，填以多孔吸声材料。罩的内侧附加吸声材料，以吸收声音并减弱空腔内的噪声。要减少罩内混响声和防止固体声的传递；尽可能减少在罩壁上开孔，对于必需的开孔的，开口面积应尽量小；在罩壁的构件相接处的缝隙，要采取密封措施，以减少漏声；由于罩内声源机器设备的散热，可能导致罩内温度升高，对此应采取适当的通风散热措施。要考虑声源机器设备操作、维修方便的要求。

(3) 应设置封闭的木工用房，以有效降低电锯加工时噪音对施工现场的影响。

(4) 施工现场应优先选用低噪声机械设备，优先选用能够减少或避免噪音的先进施工工艺。

7.7.2 技术指标

(1) 主要技术指标

施工场界声强限值昼间不大于 70dB (A)，夜间不大于 55dB (A)。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《建筑工程绿色施工规范》GB/T 50905
- 2) 《建筑与市政工程绿色施工评价标准》GB/T 50640
- 3) 《建筑施工现场环境与卫生标准》JGJ 146
- 4) 《建筑施工场界环境噪声排放标准》GB 12523

7.7.3 适用范围

适用于房屋建筑和市政工程施工。

7.7.4 工程案例

山西潇河新城建设项目、山西工程科技职业大学项目、山西基因诊断及药物研发基地项目、名汇广场项目、朔州大医院项目、山西科技创新城科技创新综合服务平台项目、尧都文化艺术中心项目等。

7.8 绿色施工在线监测评价技术

7.8.1 技术内容

绿色施工在线监测及量化评价技术是根据绿色施工评价标准，通过在施工现场安装智能仪表并借助 GPRS 通讯和计算机软件技术，实时以数字化的方式对施工现场能耗、水耗、施工噪声、施工扬尘、大型施工设备安全运行状况等各项绿色施工指标数据进行实时监测、记录、统计、分析、评价和预警的监测系统和评价体系。

绿色施工涉及管理、技术、材料、工艺、装备等多个方面。根据绿色施工现场的特点以及施工流程，在确保施工各项目都能得到监测的前提下，绿色施工监测内容应尽可能全面，用最小的成本获得最大限度的绿色施工数据，绿色施工在线监测对象应包括但不限于图 7.8.1 所示内容。

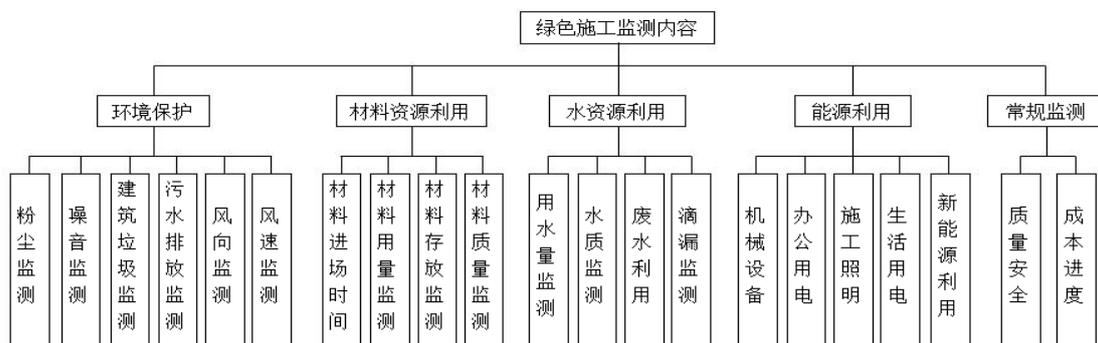


图 7.8.1 绿色施工在线监测对象内容框架

监测及量化评价系统构成以传感器为监测基础，以无线数据传输技术为通讯手段，包括现场监测子系统、数据中心和数据分析处理子系统。现场监测子系统由分布在各个监测点的智能传感器和 HCC 可编程通讯处理器组成监测节点，利用无线通信方式进行数据的转发和传输，达到实时监测施工用电、用水、施工产生的噪音和粉尘、风速风向等数据。数据中心负责接收数据和初步的处理、存储，数据分析处理子系统则将初步处理的数据进行量化评价和预警，并依据授权发布处理数据。

7.8.2 技术指标

(1) 主要技术指标

- 1) 绿色施工在线监测及评价内容包括数据记录、分析及量化评价和预警。
- 2) 受风力影响较大的施工工序场地、机械设备（如塔吊）处风向风速监测仪安装率宜达到 100%。
- 3) 现场施工照明、办公区需安装高效节能灯具（如 LED）、声光智能开关，安装覆盖率宜达到 100%。
- 4) 对于危险性较大的施工工序，远程监控安装率宜达到 100%。
- 5) 材料进场时间、用量、验收情况实时录入监测系统，保证远程实时接收监测结果。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《建筑工程绿色施工规范》GB/T 50905
- 2) 《建筑与市政工程绿色施工评价标准》GB/T 50640
- 3) 《建设工程施工现场扬尘在线监测系统技术标准》DBJ04/T417

7.8.3 适用范围

适用于规模较大及科技、质量示范类项目的施工现场。

7.8.4 工程案例

山西潇河新城建设项目、山西工程科技职业大学项目、山西基因诊断及药物研发基地项目、名汇广场项目、朔州大医院项目等。

7.9 工具式定型化临时设施技术

7.9.1 工具式定型化临时设施技术

7.9.1.1 技术内容

工具式定型化临时设施包括标准化箱式房、定型化临边洞口防护、加工棚，构件化 PVC 绿色围墙、预制装配式马道、可重复使用临时道路板等。

标准化箱式施工现场用房包括办公室用房，会议室、接待室、资料室、活动室、阅读室、卫生间。标准化箱式附属用房，包括食堂、门卫房、设备房、试验用房。

定型化、可周转的基坑、楼层临边防护、水平洞口防护，可选用网片式、格栅式或组装式。当水平洞口短边尺寸大于 1500mm 时，洞口四周应搭设不低于 1200mm 防护，下口设置踢脚线并悬挂水平安全网，防护方式可选用网片式、格栅式或组装式，防护距离洞口边不小于 200mm。

楼梯扶手栏杆采用工具式短钢管接头，立杆采用膨胀螺栓与结构固定，内插钢管栏杆，使用结束后可拆卸周转重复使用。

可周转定型化加工棚采用型钢立柱，螺栓连接桁架主梁，彩钢板围护。

构件化 PVC 绿色围墙：基础采用现浇混凝土，支架采用轻型薄壁钢型材，墙体采用工厂化生产的 PVC 扣板，现场采用装配式施工方法。

预制装配式马道采用钢管立杆法兰连接，马道楼梯梯段采用型钢龙骨，踏步、休息平台、安全通道顶棚覆盖采用花纹钢板，楼梯扶手立杆采用方钢管，梯段与休息平台固定采用螺栓连接，梯段与休息平台随主体结构完成逐步拆除。

装配式临时道路可采用预制混凝土道路板、装配式钢板等，根据临时道路的承载力和使用面积等要求进行设计。

7.9.1.2 技术指标

(1) 工具式定型化临时设施应工具化、定型化、标准化，具有装拆方便，可重复利用和安全可靠的性能；防护栏杆体系、防护棚经检测防护有效，符合设计安全要求。

(2) 标准化箱式附属用房按照标准尺寸和符合要求的材质制作和使用。

表 7.9.1 标准化箱式房几何尺寸（建议尺寸）

项目		几何尺寸（单位 mm）	
		型式一	型式二
箱体	外	L6055×W2435×H2896	L6055×W2990×H2896
	内	L5840×W2225×H2540	L5840×W2780×H2540
窗		H≥1100 W650×H1100/W1500×H1100	
门		H≥2000 W≥850	
框架梁高	顶	H≥180（钢板厚度≥4）	
	底	H≥140（钢板厚度≥4）	

(3) 定型化、可周转的基坑、楼层临边防护、水平洞口防护，可选用网片式、格栅式或组装式。当水平洞口短边尺寸大于 1500mm 时，洞口四周应搭设不低于 1200mm 防护，下口设置踢脚线并悬挂水平安全网，防护方式可选用网片式、格栅式或组装式，防护距离洞口边不小于 200mm。

(4) 预制混凝土道路板适用于建设工程临时道路地基弹性模量 $\geq 40\text{MPa}$ ，承受载重 $\leq 40\text{t}$ 施工运输车辆或单个轮压 $\leq 7\text{t}$ 的施工运输车辆路基上铺设使用；其他材质的装配式临时道路的承载力应符合设计要求。

7.9.1.3 适用范围

适用于房屋建筑和市政工程施工。

7.9.1.4 工程案例

山西潇河新城 1#酒店项目、太原坞城村改造项目、光信学府嘉园项目、山西建投商务中心项目、晋城青山街道路东延项目、朔州大医院项目、山西科技创新城科技创新综合服务平台项目、尧都文化艺术中心项目、山西综改产业园项目、保利天悦项目等。

7.9.2 成品隔油池、泥浆池、沉淀池、管沟、窨井应用技术

7.9.2.1 技术内容

成品隔油池、泥浆池、沉淀池、管沟和窨井摒弃传统砖砌、钢筋混凝土做法，采用工厂化制作，具有施工速度快、节省材料、多次周转、对周边环境无污染等诸多优点，符合“四节一环保”的绿色施工和装配式标准要求。

成品隔油池按材质可分为不锈钢隔油器、碳钢防腐隔油器、碳钢喷塑隔油器、玻璃钢隔油器。成品隔油池为“三级”无动力油水分离装置，通过内部特殊装置，当含油污水流入第一级时，杂物框将其中的固体杂物（菜叶、饭渣等杂物）彻底截流；进入第二级后，利用水流的动能，连续碰撞，由小变大，由此加速运动，使不同比重的油实现分流和分层；进入第三级后，废水沿斜管向下作紊流运动，利用密度差使油水分层；最后从溢流堰流出，再经出水管收集排出。而水中的油珠沿斜管的上表面集聚向上流动，浮在隔油池的槽内，然后用集油管汇集排除或人工排除。可将粒径为 $60\mu\text{m}$ 以上的可浮油去除 90% 以上，外排废水中动植物油的含量低于《污水综合排放标准》GB 8978 中的三级标准（ 100mg/L ）。

成品泥浆池、沉淀池一般为装配式钢制泥浆池，在四周安装可拆卸钢护栏网片进行泥浆池的维护。现场安装拆卸方便，分块尺寸也可根据现场需要定制，实现了泥浆池设备化、工厂化生产预制，节省了泥浆池施工时间，提高了施工生产效率。

成品管沟、窨井主要为预制装配式钢筋混凝土管沟、检查井，避免砖砌和现场湿作业，可以边开挖、边铺管、边装井、边回填、边修路，提高了工效，井室、井筒与接入管防水密封效果好。

7.9.2.2 技术指标

- (1) 《建筑工程绿色施工规范》GB/T 50905
- (2) 《建筑与市政工程绿色施工评价标准》GB/T 50640
- (3) 《建筑给水排水设计规范》GB 50015
- (4) 《市政排水管道工程及附属设施》06MS 201
- (5) 《建筑给水排水及采暖工程施工质量验收规范》GB 50242

(6) 《卫生设备安装》09S 304

7.9.2.3 适用范围

成品隔油池主要适用于施工现场生活区食堂或餐饮类工程油污水处理，成品泥浆池、沉淀池可用于建筑、市政、桥梁和铁路等工程钻孔灌注桩施工泥浆储存与沉淀，成品管沟、窨井适用于施工现场、建筑室外或市政雨污水工程。

7.9.2.4 工程案例

山西潇河新城建设项目、新源智慧建设运行总部项目、山西基因诊断及药物研发基地项目、名汇广场项目等。

7.9.3 集成式配电室、水泵房施工技术

7.9.3.1 技术内容

集成式配电室：根据项目用电量大小，配电房内安装配电总柜，通过计算各个用电器的参数大小，在符合临时用电规范要求前提下，选择各用电器品牌。前期对施工塔吊、施工电梯及大型用电设备考察，设计专用配电箱，形成一套完整的临时用电配电系统。根据各项目自身特点，选用的集成式配电房适用于大多数项目，适用范围广，重复利用率高。

集成式水泵房：根据项目自身特点，满足设计要求和规范要求，选择消防水泵和施工用水水泵参数，同时满足均为一用一备的设计原则。根据选用的水泵，制作相应配电柜。将配电箱和水泵送至生产厂家，按照项目绘制的水泵房平面布置图组装。集成式水泵房内，配电柜内安装变频控制器，水箱液位控制器电源也由此配电柜引出。安装完成后，每天定时巡查、定期检查。

7.9.3.2 技术指标

(1) 主要技术指标

- 1) 根据项目用水要求，选择消防水泵和施工用水水泵参数，同时满足水泵房内的消防用水水泵和施工用水水泵均为一用一备的设计原则。
- 2) 根据项目的自身特点、规模大小等，选用相同的集成式水泵房，做到重复利用。
- 3) 根据项目用电要求，通过计算各个用电器的参数大小，确定配电房内安装配电总柜。
- 4) 项目竣工后可实现重复利用。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《建筑电气与智能化通用规范》GB55024
- 2) 《建筑电气工程施工质量验收规范》GB50303
- 3) 《建筑给水排水与节水通用规范》GB55020
- 4) 《建筑给水排水与采暖工程施工质量验收规范》GB50242
- 5) 《消防给水及消火栓系统技术规范》GB50974

7.9.3.3 适用范围

适用于各种大中型建设项目临时供水和供电。

7.9.3.4 工程案例

阳光商务中心项目、保利东郡住宅项目、朔州大医院项目等。

7.10 垃圾管道垂直运输技术

7.10.1 技术内容

垃圾管道垂直运输技术是指在建筑物内部或外墙外部设置封闭的大直径管道，将楼层内的建筑垃圾沿着管道靠重力自由下落，通过减速门对垃圾进行减速，最后落入专用垃圾箱内进行处理。

垃圾运输管道主要由楼层垃圾入口、主管道、减速门、垃圾出口、专用垃圾箱、管道与结构连接件等主要构件组成，可以将该管道直接固定到施工建筑的梁、柱、墙体等主要构件上，安装灵活，可多次周转使用。

主管道采用圆筒式标准管道层，管道直径控制在 500mm~1000mm 范围内，每个标准管道层分上下两层，管道高度可在 1.8m~3.6m 之间进行调节，标准层上下两层之间用螺栓进行连接；楼层入口可根据管道距离楼层的距离设置转动的挡板；管道入口内设置一个可以自由转动的挡板，防止粉尘在各层入口处飞出。

管道与墙体连接件设置半圆轨道，能在 180°平面内自由调节，使管道上升后，连接件仍能与梁柱等构件相连；减速门采用弹簧板，上覆橡胶垫，根据自锁原理设置弹簧板的初始角度为 45°，每隔三层设置一处，来降低垃圾下落速度；管道出口处设置一个带弹簧的挡板；垃圾管道出口处设置专用集装箱式垃圾箱进行垃圾回收，并设置防尘隔离棚。垃圾运输管道楼层垃圾入口、垃圾出口及专用垃圾箱设置自动喷洒降尘系统。

建筑碎料（凿除、抹灰等产生的旧混凝土、砂浆等矿物材料及施工垃圾）单件粒径尺寸不宜超过 100mm，重量不宜超过 2kg；木材、纸质、金属和其他塑料包装废料不宜通过垃圾垂直运输通道运输。

扬尘控制，通过在管道入口内设置一个可以自由转动的挡板，垃圾运输管道楼层垃圾入口、垃圾出口及专用垃圾箱设置自动喷洒降尘系统。

7.10.2 技术指标

- (1) 《建筑工程绿色施工规范》GB/T 50905
- (2) 《建筑与市政工程绿色施工评价标准》GB/T 50640
- (3) 《建筑施工现场环境与卫生标准》JGJ 146

7.10.3 适用范围

适用于多层、高层、超高层民用建筑的建筑垃圾竖向运输，高层、超高层使用时每隔 50~60m 设置一套独立的垃圾运输管道，设置专用垃圾箱。

7.10.4 工程案例

太原红星美凯龙家居广场项目、山西潇河新城酒店项目、山西省人民医院新院区项目、中铁诺德城项目、朔州大医院项目等。

7.11 透水混凝土与植生混凝土应用技术

7.11.1 透水混凝土

7.11.1.1 技术内容

透水混凝土是由一系列相连通的孔隙和混凝土实体部分骨架构成的具有透气和透水性的多孔混凝土，透水混凝土主要由胶结材和粗骨料构成，有时会加入少量的细骨料。从内部结构来看，主要靠包裹在粗骨料表面的胶结材浆体将骨料颗粒胶结在一起，形成骨料颗粒之间为点接触的多孔结构。

透水混凝土由于不用细骨料或只用少量细骨料，其粗骨料用量比较大，制备 1m^3 透水混凝土（成型后的体积），粗骨料用量在 $0.93\text{m}^3\sim 0.97\text{m}^3$ ；胶结材在 $300\text{kg}/\text{m}^3\sim 400\text{kg}/\text{m}^3$ ，水胶比一般在 $0.25\sim 0.35$ 。透水混凝土搅拌时应先加入部分拌合水（约占拌合水总量的 50%），搅拌约 30s 后加入减水剂等，再随着搅拌加入剩余水量，至拌合物工作性满足要求为止，最后的部分水量可根据拌合物的工作性情况有所控制。透水混凝土路面的铺装施工整平使用液压振动整平辊和抹光机等，对不同的拌合物和工程铺装要求，应该选择适当的振动整平方式并且施加合适的振动能，过振会降低孔隙率，施加振动能不足，可能导致颗粒粘结不牢固而影响到耐久性。

7.11.1.2 技术指标

（1）主要技术指标

- 1) 透水混凝土拌合物的坍落度为 $10\text{mm}\sim 50\text{mm}$ 。
- 2) 透水混凝土的孔隙率一般为 $10\%\sim 25\%$ 。
- 3) 透水系数为 $1\text{mm}/\text{s}\sim 5\text{mm}/\text{s}$ ，抗压强度在 $10\text{MPa}\sim 30\text{MPa}$ 。
- 4) 应用于路面不同的层面时，孔隙率要求不同，从面层到结构层再到透水基层，孔隙率依次增大。
- 5) 冻融的环境下其抗冻性不低于 D100。

（2）技术规范/标准

- 1) 《再生骨料透水混凝土应用技术规程》CJJ/T253
- 2) 《聚合物透水混凝土》CJ/T544
- 3) 《透水混凝土》JC/T 2558

7.11.1.3 适用范围

适用于严寒以外的地区；城市广场、住宅小区、公园休闲广场和园路、景观道路以及停车场等；在“海绵城市”建设工程中，可与人工湿地、下凹式绿地、雨水收集等组成“渗、滞、蓄、净、用、排”的雨水生态管理系统。

7.11.1.4 工程案例

山西潇河新城建设项目、太原十中新校区项目、保利大都会项目、阳曲人民医院项目、太原市万星四季城项目、太原市示范性综合实践基地项目、临汾市迎宾大道项目（两侧人行道）、尧都文化艺术中心项目等。

7.11.2 植生混凝土

7.11.2.1 技术内容

植生混凝土是以水泥为胶结材，大粒径的石子为骨料制备的能使植物根系生长于其孔隙的大孔混凝土，它与透水混凝土有相同的制备原理，但由于骨料的粒径更大，胶结材用量较少，所以形成孔隙率和孔径更大，便于灌入植物种子和肥料以及植物根系的生长。

普通植生混凝土用的骨料粒径一般为 20.0mm~31.5mm，水泥用量为 200kg/m³~300kg/m³，为了降低混凝土孔隙的碱度，应掺用粉煤灰、硅灰等低碱性矿物掺合料；骨料/胶材比为 4.5~5.5，水胶比为 0.24~0.32，旧砖瓦和再生混凝土骨料均可作为植生混凝土骨料，称为再生骨料植生混凝土。轻质植生混凝土利用陶粒作为骨料，可以用于植生屋面，在夏季，植生混凝土屋面较非植生混凝土的室内温度低约 2℃。

植生混凝土的制备工艺与透水混凝土本相同，但注意的是浆体粘度要合适，保证将骨料均匀包裹，不发生流浆离析或因干硬不能充分粘结的问题。

植生地坪的植生混凝土可以在现场直接铺设浇筑施工，也可以预制成多孔砌块后到现场用铺砌方法施工。

7.11.2.2 技术指标

(1) 主要技术指标

- 1) 植生混凝土的孔隙率为 25%~35%，绝大部分为贯通孔隙。
- 2) 抗压强度要达到 10MPa 以上。
- 3) 屋面植生混凝土的抗压强度在 3.5MPa 以上，孔隙率 25%~40%。

(2) 技术规范/标准

《植生混凝土》JC/T 2557

7.11.2.3 适用范围

普通植生混凝土和再生骨料植生混凝土多用于河堤、河坝护坡、水渠护坡、道路护坡和停车场等；轻质植生混凝土多用于植生屋面、景观花卉等。

7.11.2.4 工程案例

目前该技术省内有一定的应用，省内典型工程如晋城高铁东站矿山废弃场生态恢复工程等；国内其他省份也有较广泛的应用，省外典型工程如郑州金水河综合治理工程、南水北调引江补汉工程边坡治理等。

7.12 混凝土楼地面一次成型技术

7.12.1 技术内容

地面一次成型工艺是在混凝土浇筑完成后，采用激光自动整平、机械提浆方法，在混凝土地面初凝前铺撒耐磨混合料（精钢砂、钢纤维等），利用磨光机磨平，最后进行修饰工序。地面一次成型施工工艺与传统施工工艺相比具有避免地面空鼓、起砂、开裂等质量通病，增加了楼层净空尺寸，提高地面的耐磨性和缩短工期等优势，同时省却了传统地面施工中的找平层，对节省建材、降低成

本效果显著。施工工序包括：冲筋、铺撒耐磨混合料、表面精抹、养护、切割分隔缝、面层固化等。

7.12.2 技术指标

《建筑地面工程施工质量验收规范》GB 50209

7.12.3 适用范围

适用于大面积停车库（场）、超市、物流仓库及厂房地面工程等。

7.12.4 工程案例

山西潇河新城建设项目、新源智慧建设运行总部项目、山西建投汾酒商务中心项目等。

7.13 建筑物墙体免抹灰技术

7.13.1 技术内容

建筑物墙体免抹灰技术是指通过采用新型模板体系、新型墙体材料或采用预制墙体，使墙体表面允许偏差、观感质量达到免抹灰或直接装修的质量水平。现浇混凝土墙体、砌筑墙体及装配式墙体通过现浇、新型砌筑、整体装配等方式使外观质量及平整度达到准清水混凝土墙、新型砌筑免抹灰墙、装饰墙的效果。

现浇混凝土墙体是通过材料配制、细部设计、模板选择及安拆，混凝土拌制、浇筑、养护、成品保护等诸多技术措施，使现浇混凝土墙达到准清水免抹灰效果。

对非承重的围护墙体和内隔墙可采用免抹灰的砌筑技术，采用粘接砂浆砌筑，砌块尺寸偏差控制为 1.5mm~2mm，砌筑灰缝为 2mm~3mm。对内隔墙也可采用高质量预制板材，现场装配式施工，刮腻子找平。

7.13.2 技术指标

(1) 主要技术指标

1) 清水混凝土墙技术要求参见表 7.13.1。

表 7.13.1 清水混凝土技术要求

项次	项目	允许偏差/mm	检查方法	说明	
1	轴线位移（柱、墙、梁）	5	尺量	表面平整密实、无明显裂缝，无粉化物，无起砂、蜂窝、麻面和孔洞，气泡尺寸不大于 10mm，分散均匀。	
2	截面尺寸（柱、墙、梁）	±2	尺量		
3	垂直度	层高	5		坠线
		全高	30		
4	表面平整度	3	2m 靠尺、塞尺		
5	角、线顺直	4	线坠		
6	预留洞口中心线位移	5	拉线、尺量		
7	接缝错台	2	尺量		
8	阴阳角方正	3			

2) 砌筑免抹灰墙体技术要求参见表 7.13.2。

表 7.13.2 砌筑免抹灰墙体技术要求

项次	项目	允许偏差/mm		检验方法	说明
1	砌块尺寸允许偏差	长度	±2	—	新型砌筑是采用粘接砂浆砌筑的墙体，砌块尺寸偏差为1.5~2mm，灰缝为2~3mm。
		宽（厚）度	±1.5		
		高度	±1.5		
2	砌块平面弯曲	不允许		—	
3	墙体轴线位移	5		尺量	
4	每层垂直度	3		2m托线板，吊垂线	
5	全高垂直度≤10m	10		经纬仪，吊垂线	
6	全高垂直度>10m	20		经纬仪，吊垂线	
7	表面平整度	3		2m靠尺和塞尺	

(2) 技术规范/标准

- 1) 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204
- 2) 《砌体结构工程施工质量验收规范》GB 50203
- 3) 《清水混凝土技术规程》T/CECS 1486
- 4) 《水电水利工程清水混凝土施工规范》DL/T 5306
- 5) 《清水混凝土应用技术规程》JGJ169

7.13.3 适用范围

适用于工业与民用建筑的墙体工程。

7.13.4 工程案例

太原泰瑞城住宅项目、山西潇河新城建设项目、新源智慧建设运行总部项目、山西建投汾酒商务中心项目、国科大太原能源材料学院附属中小学项目等。

7.14 电梯井内置施工电梯应用技术

7.14.1 技术内容

施工升降机在室内电梯井道内完成标准节、轿厢及附墙的安装，用于建筑施工中的载人和载货。区别于普通人货两用施工升降机，其安装于建筑物室内电梯井道内，不受室外施工场地的影响，同时施工作业时不受天气的影响。

7.14.2 技术指标

(1) 主要技术指标

- 1) 施工升降机（井道专用）呈单笼设置，是施工升降机安装于井道内的专用形式。

表 7.14.1 内置施工电梯参数表

产品型号	额定载重	额定速度	最大提升高度	主机功率	产品性质
ZHSSD 型 1.6t	1.6 吨	1-1.75m/s	350 米	11kw	人货两用
基本配置表					
名称	说明	名称	说明		
1.曳引机	变频调速，非强制性牵引	10.限速器	可防止任何情况下造成的超速保护装置		
2.控制柜	自动平层，串行通讯	11.安全钳 钢丝绳制动器	防止轿厢坠落和下行超速保护装置停层保护和上行超速保护装置		

产品型号	额定载重	额定速度	最大提升高度	主机功率	产品性质
3.操纵箱	专业操纵人员，吊笼内操纵	12.缓冲器	防止坠落破坏的最后一道防线		
4.吊笼	尺寸、空间可调，运行平稳	13.吊笼门连锁	防止吊笼门未关好轿厢运行		
5.配重	完美平衡，降低能耗	14.安全窗连锁	防止安全窗未关好轿厢运行		
6.导轨	光面导向，平稳、安静	15.减速开关	强行减速，防止冲顶、墩底		
7.天梁	结构轻便，利于安装、升层	16.上下限位开关	第二道冲顶、墩底防线		
8.楼层呼叫	新技术无线通讯，指令清晰	17.上下极限开关	第三道冲顶、墩底防线		
9.超重保护	精度高，动作灵敏可靠	18.错断相保护	防止接线相序发生错误		

(2) 技术规范/标准

- 1) 《电梯制造与安全安装规范》GB 7588
- 2) 《施工升降机电引式施工升降机》JB/T 13031
- 3) 《建筑施工升降机安装、使用、拆卸安全技术规程》JGJ 215

7.14.3 适用范围

适用于高层建筑施工中的垂直运输作业。

7.14.4 工程案例

太原泰瑞城住宅项目，太原市城区棚户区改造东兴装饰城地块项目，临汾市尧都区翟庄棚户区改造项目 1#、3#安置房小区项目、保利悦公馆项目、翔恒·湖锦江南项目、太重智能高端装备产业园区配套住宅（一期）项目（一标段）等。

7.15 永临结合技术

7.15.1 施工现场正式照明替代临时照明技术

7.15.1.1 技术内容

在结构施工过程中，已经按照设计正式照明的要求穿好供电线缆，安装灯具和开关，作为施工过程中照明使用。

7.15.1.2 技术指标

(1) 主要技术指标

1) 电线电缆选型应按照正式照明图纸设计要求进行选择，保证所选线缆为正式照明工程中所用线缆，避免二次穿线。保证设计及质量要求。

2) 管内穿线、并头、涮锡等施工工艺严格按规范及施工方案进行施工，以保证正式照明工程安装的质量要求。

3) 回路连通过程中注意不得有裸露的线缆，线缆应穿套管贴梁底或板底敷设，保证临时照明线路的安全。

4) 灯具安装过程中采用临时照明灯具，注意灯具安装高度，保证安全性、可更换性。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《建筑电气工程施工质量验收规范》GB 50303
- 2) 《建筑电气照明装置施工与验收规范》GB50617

- 3) 《建筑电气与智能化通用规范》GB 55024
- 4) 《建筑工程绿色施工规范》GB/T 50905
- 5) 《建筑与市政工程绿色施工评价标准》GB/T 50640

7.15.1.3 适用范围

适用于面积较大的地下室或者是需要照明的大面积建筑物施工现场的照明用电。环境潮湿的场所不宜使用。

7.15.1.4 工程案例

山西潇河新城建设项目、新源智慧建设运行总部项目、山西省档案馆项目、山西建投汾酒商务中心项目、尧都文化艺术中心项目等。

7.15.2 正式消防管道代替临时消防管道技术

7.15.2.1 技术内容

按照正式工程设计提前安装部分正式消防管道以替代临时消防管网使用，安装临时消火栓系统时可不考虑分区设计。

主体工程施工时，临时消火栓的环网设置在地下，利用正式消防管道按施工蓝图布置，再将整个工程的临时消防立管对接到地下的消火栓环网上。进水管连通在首层处的消火栓立管上，通过地下的环网使整个临时消火栓系统可供使用。

选择消火栓立管位置时，应尽量选择靠一次结构墙体的明装消火栓，以便消火栓管道的支架安装和过程中的维修维护，并在后期施工中对管道的污染较少。

消火栓立管上每层的开孔位置及孔朝向必须严格按照正式消火栓安装位置一次完成到位，为了保证正式消防管道的安装质量和安装过程中的人员安全，必须严格按照正式消防管道的施工方案施工，并保证施工作业的焊工已取得焊工特种作业操作证，避免因安装缺陷导致后期正式消火栓管道的重新修补和开孔，影响外观质量。

在消防管道安装过程中要兼顾套管安装，寒冷地区需要做临时消防管道保温的，在套管处需预留出电伴热带敷设时的孔隙，以便冬季施工时管道保温工作。

临时消防管道安装完毕后一定要做好成品保护工作，可以在管道上包裹一层塑料膜，也可以采取其他保护措施，避免因二次结构时的施工对管道造成污染，增加了后期的成品保护工作，且除垢后的管道不易处理，影响正式工程消防管道的美观性和使用性能。

装饰装修阶段时，只需在最高层按照正式消火栓管道安装消火栓环网，将立管与环网对接。整个临时消火栓系统全部形成环路，施工消防安全得到有效的保证。

7.15.2.2 技术指标

- (1) 《建筑给水排水与节水通用规范》GB55020
- (2) 《建筑给水排水与采暖工程施工质量验收规范》GB50242
- (3) 《消防给水及消火栓系统技术规范》GB50974
- (4) 《消防设施通用规范》GB 55036
- (5) 《建设工程施工现场消防安全技术规范》GB50720

(6) 《建筑工程绿色施工规范》GB/T 50905

(7) 《建筑与市政工程绿色施工评价标准》GB/T 50640

7.15.2.3 适用范围

适用于工业与民用建筑施工现场的临时消防水设施。

7.15.2.4 工程案例

山西潇河新城建设项目、山西省档案馆项目、新源智慧建设运行总部项目、山西基因诊断及药物研发基地项目、山西建投汾酒商务中心项目、尧都文化艺术中心项目、太原市保利天悦项目等。

7.15.3 施工道路利用正式道路基层技术

7.15.3.1 技术内容

正式路路基用作施工道路是用正式道路的路基代替临时道路提供施工现场作业时的交通条件，在后期正式室外道路施工时只要在正式路基上剔凿处理表面就可以进行下道工序施工，避免了对临时道路的破除。施工准备时对提前提供的正式道路设计图纸进行优化设计并与建设、监理、设计单位提前沟通并完善施工方案，特别是市政雨污水管道、消防管道的预埋或有效避让、过路管线提前预埋、现场路基标高控制及排水控制、施工道路路面做法等，满足工程设计中对正式道路路基的要求，满足城市道路路基设计和施工相关标准。

7.15.3.2 技术指标

(1) 《城镇道路工程施工技术规范》DBJ04-271

(2) 《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ1

(3) 《建筑工程绿色施工规范》GB/T 50905

(4) 《建筑与市政工程绿色施工评价标准》GB/T 50640

7.15.3.3 适用范围

适用于场区面积较大的施工现场，同时要求能够提前提供正式室外道路和市政管网设计图纸的工程。

7.15.3.4 工程案例

应用于山西潇河新城建设项目、尧都文化艺术中心项目、山西嘉源谷国际贸易港等项目中。

8 防水技术与建筑装饰工程技术

8.1 防水卷材机械固定施工技术

8.1.1 聚氯乙烯（PVC）、热塑性聚烯烃（TPO）防水卷材机械固定施工技术

8.1.1.1 技术内容

机械固定即采用专用固定件，如金属垫片、螺钉、金属压条等，将聚氯乙烯（PVC）或热塑性聚烯烃（TPO）防水卷材以及其他屋面层次的材料机械固定在屋面基层或结构层上。机械固定包括点式固定方式和线性固定方式。固定件的布置与承载能力应根据实验结果和相关规定严格设计。

聚氯乙烯（PVC）或热塑性聚烯烃（TPO）防水卷材的搭接是由热风焊接形成连续整体的防水层。焊接缝是因分子链互相渗透、缠绕形成新的内聚焊接链，强度高于卷材且与卷材同寿命。

点式固定即使用专用垫片或套筒对卷材进行固定，卷材搭接时覆盖住固定件。

线性固定即使用专用压条和螺钉对卷材进行固定，使用防水卷材覆盖条对压条进行覆盖。

8.1.1.2 技术指标

(1) 主要技术指标

1) 屋面为压型钢板的基板厚度不宜小于 0.75mm，且基板最小厚度不应小于 0.63mm，当基板厚度在 0.63~0.75mm 时，应做固定钉拉拔试验；钢筋混凝土板的厚度不应小于 40mm，强度等级不应小于 C20，并应通过固定钉拉拔试验。

2) 聚氯乙烯（PVC）防水卷材的物理性能应满足《聚氯乙烯（PVC）防水卷材》GB 12952 标准要求、热塑性聚烯烃（TPO）防水卷材物理性能指标应满足《热塑性聚烯烃（TPO）防水卷材》GB 27789 标准要求，主要性能指标见表 8.1.1、表 8.1.2。

表 8.1.1 聚氯乙烯（PVC）防水卷材主要性能

试验项目	性能要求	
最大拉力/（N/cm）	≥250	
最大拉力时延伸率/%	≥15	
热处理尺寸变化率/%	≤0.5	
低温弯折性	-25℃，无裂纹	
不透水性（0.3MPa，2h）	不透水	
接缝剥离强度/（N/mm）	≥3.0	
人工气候加速老化（2500h）	最大拉力保持率/%	≥85
	伸长率保持率/%	≥80
	低温弯折性（-20℃）	无裂纹

表 8.1.2 热塑性聚烯烃（TPO）防水卷材主要性能

试验项目	性能要求
最大拉力/（N/cm）	≥250
最大拉力时延伸率/%	≥15

试验项目	性能要求	
热处理尺寸变化率/%	≤0.5	
低温弯折性	-40℃，无裂纹	
不透水性（0.3MPa，2h）	不透水	
接缝剥离强度/（N/mm）	≥3.0	
人工气候加速老化（2500h）	最大拉力保持率/%	≥90
	伸长率保持率/%	≥90
	低温弯折性/（℃）	-40，无裂纹

（2）技术规范/标准

- 1) 《防水卷材屋面用机械固定件》JG/T576
- 2) 《聚氯乙烯（PVC）防水卷材》GB 12952
- 3) 《热塑性聚烯烃（TPO）防水卷材》GB 27789

8.1.1.3 适用范围

适用于厂房、仓库和体育场馆等低坡大跨度或坡屋面的新屋面及翻新屋面的建筑防水工程。

8.1.1.4 工程案例

在山西潇河国际会展中心等项目中有应用。

8.1.2 三元乙丙（EPDM）、热塑性聚烯烃（TPO）、聚氯乙烯（PVC）防水卷材无穿孔机械固定技术

8.1.2.1 技术内容

无穿孔机械固定技术与常规机械固定技术相比，固定卷材的螺钉没有穿透卷材，因此称之为无穿孔机械固定。

三元乙丙（EPDM）防水卷材无穿孔机械固定技术采用将增强型机械固定条带（RMA）用压条、垫片机械固定在轻钢结构屋面或混凝土结构屋面基面上，然后将宽幅三元乙丙橡胶防水卷材（EPDM）粘贴到增强型机械固定条带（RMA）上，相邻的卷材用自粘接缝搭接带粘结而形成连续的防水层。

热塑性聚烯烃（TPO）、聚氯乙烯（PVC）防水卷材无穿孔机械固定技术采用将无穿孔垫片机械固定在轻钢结构屋面或混凝土结构屋面基面上，无穿孔垫片上附着与TPO/PVC焊接的特殊涂层，利用电感焊接技术将TPO/PVC焊接于无穿孔垫片上，防水卷材的搭接是由热风焊接形成连续整体的防水层。

8.1.2.2 技术指标

（1）根据风速、建筑物所在区域、建筑物规格、基层类型、屋面结构层次等因素，计算机械固定密度，并在屋面不同部位，分别设计边区、角区和中区，按不同密度进行固定。抗风荷载性能是机械固定技术非常关键的指标。

（2）热塑性聚烯烃（TPO）、聚氯乙烯（PVC）防水卷材防水卷材与无穿孔垫片焊接后的拉拔

力均不小于 2500N。

表 8.1.3 增强型机械固定条带（RMA）和搭接带的技术要求及主要性能

项目	增强型三元乙丙	搭接带（两边）
基本材料	三元乙丙橡胶	合成橡胶
厚度/mm	1.52	0.63
宽度/mm	245	76
持粘性/min		≥20
耐热性（80℃，2h）		无流淌、无龟裂、无变形
低温柔性/℃		-40℃，无裂纹
剪切状态下粘合性（卷材）（N/mm）		≥2.0
剥离强度（卷材）（N/mm）		≥0.5
热处理剥离强度保持率 （卷材，80℃，168h）		≥80

表 8.1.4 三元乙丙橡胶（EPDM）防水卷材主要性能

试验项目		性能要求	
		无增强	内增强
最大拉力/（N/10mm）		—	≥200
拉伸强度（MPa）	23℃	≥7.5	—
	60℃	≥2.3	—
最大拉力时伸长率/%		—	≥15
断裂伸长率（%）	23℃	≥450	—
	-20℃	≥200	—
钉杆撕裂强度（横向）/N		≥200	≥500
撕裂强度/（KN/m）		≥25	—
低温弯折性		-40℃，无裂纹	-40℃，无裂纹
臭氧老化（500pphm，40℃，50%，168h）		无裂纹（伸长率 50%时）	无裂纹（伸长率 0 时）
热处理尺寸变化率（80℃，168h）/%		≤1	≤1
接缝剥离强度（N/mm）		≥2.0 或卷材破坏	≥2.0 或卷材破坏
浸水后接缝剥离强度保持率（常温浸水 168h）		≥7.0 或卷材破坏	≥7.0 或卷材破坏
热空气老化 （80℃，168h）	拉力（强度）保持率/%	≥80	≥80
	延伸率保持率/%	≥70	≥70
	低温弯折性/℃	-35	-35
耐碱性 （饱和 Ca（OH） ₂ ）	拉力（强度）保持率/%	≥80	≥80
	延伸率保持率/%	≥80	≥80
人工气候加速 老化（2500h）	拉力（强度）保持率/%	≥80	≥80
	延伸率保持率/%	≥70	≥70
	低温弯折性/℃	-35	-35

8.1.2.3 适用范围

轻钢屋面、混凝土屋面工程防水。

8.1.2.4 工程案例

省内现有的工程应用较少，在国内其他省份有一定的应用。省外典型工程案例如北京卡夫饼干厂项目、苏州齐梦达芯片厂项目、天津空客 A320 总装厂项目、沈阳宝马厂房项目、石家庄格力电器厂房项目、安徽巢湖储备粮库、北京奔驰涂装车间。

8.2 地下工程预铺反粘防水技术

8.2.1 技术内容

地下工程预铺反粘防水技术所采用的材料是高分子自粘胶膜防水卷材，该卷材是在一定厚度的高密度聚乙烯卷材基材上涂覆一层非沥青类高分子自粘胶层和耐候层复合制成的多层复合卷材。其特点是具有较高的断裂拉伸强度和撕裂强度，胶膜的耐水性好，一、二级的防水工程单层使用时也可达到防水要求。采用预铺反粘法施工时，在卷材表面的胶粘层上直接浇筑混凝土，混凝土固化后，与胶粘层形成完整连续的粘结。这种粘结是由混凝土浇筑时水泥浆体与防水卷材整体合成胶相互勾锁而形成。高密度聚乙烯主要提供高强度拉伸性能，自粘胶层提供良好的粘结性能，可以承受结构产生的裂纹影响。耐候层既可以使卷材在施工时可适当外露，同时提供不粘的表面供施工人员行走，使得后道工序可以顺利进行。

8.2.2 技术指标

(1) 主要技术指标

表 8.2.1 主要物理力学性能指标

项目	指标	
拉力/(N/50mm)	≥500	
膜断裂伸长率/%	≥400	
低温弯折性	-25℃，无裂纹	
不透水性	0.4MPa，120min，不透水	
冲击性能	直径(10±0.1)mm，无渗漏	
钉杆撕裂强度/N	≥400	
防窜水性	0.6MPa，不窜水	
与后浇混凝土 剥离强度/ (N/mm)	无处理	≥2.0
	水泥粉污染表面	≥1.5
	泥沙污染表面	≥1.5
	紫外线老化	≥1.5
	热老化	≥1.5
与后浇混凝土浸水后剥离强度，(N/mm)	≥1.5	
热老化 (70℃，168h)	拉力保持率/%	≥90
	伸长率保持率/%	≥80
	低温弯折性	-23℃，无裂纹

(2) 技术规范/标准

- 1) 《预铺防水卷材》GB/T 23457
- 2) 《预铺复合防水卷材应用技术规程》T/CECS 1020
- 3) 《预铺防水卷材应用技术规程》T/CECS 1179
- 4) 《预铺复合防水卷材》T/CECS 10174
- 5) 《高分子膜基预铺防水卷材》T/CECS 10197
- 6) 《丁基胶预铺高分子防水卷材》T/CECS 10374

8.2.3 适用范围

适用于地下工程底板和侧墙外防内贴法防水。

8.2.4 工程案例

河津市津樾府住宅项目、太原市康达商城项目、晋城市天誉铭都项目等。

8.3 种植屋面防水施工技术

8.3.1 技术内容

种植屋面具有改善城市生态环境、缓解热岛效应、节能减排和美化空中景观的作用。种植屋面也称屋顶绿化，分为简单式屋顶绿化和花园式屋顶绿化。简单式屋顶绿化土壤层不大于 150mm 厚，花园式屋顶绿化土壤层可以大于 600mm 厚。一般构造为：屋面结构层、找平层、保温层、普通防水层、耐根穿刺防水层、排（蓄）水层、种植介质层以及植被层。要求耐根穿刺防水层位于普通防水层之上，避免植物的根系对普通防水层的破坏。目前有阻根功能的防水材料有：聚脲防水涂料、化学阻根改性沥青防水卷材、铜胎基-复合铜胎基改性沥青防水卷材、聚乙烯高分子防水卷材、热塑性聚烯烃（TPO）防水卷材、聚氯乙烯（PVC）防水卷材等。聚脲防水涂料采用双管喷涂施工；改性沥青防水卷材采用热熔法施工；高分子防水卷材采用热风焊接法施工。

8.3.2 技术指标

(1) 主要技术指标

1) 改性沥青类防水卷材厚度不小于 4.0 mm，塑料、橡胶类防水卷材不小于 1.2 mm，其中聚乙烯丙纶类防水卷材芯层厚度不得小于 0.6 mm。

2) 种植屋面系统用耐根穿刺防水卷材基本物理力学性能，应符合表 8.3.1 相应国家标准中的全部相关要求，尺寸变化率应符合表 8.3.2 的规定。

表 8.3.1 现行国家标准及相关要求

序号	标准	要求
1	GB 18242	II 型全部相关要求
2	GB 18243	II 型全部相关要求
3	GB 12952	全部相关要求（外露卷材）
4	GB 27789	全部相关要求（外露卷材）

序号	标准	要求
5	GB 18173.1	全部相关要求
6	GB 18967	R类全部要求

种植屋面用耐根穿刺防水卷材应用性能指标应符合表 8.3.2 的要求。

表 8.3.2 应用性能

序号	项目			技术指标	
1	耐霉菌腐蚀性	防霉等级		0 级或 1 级	
2	尺寸变化率/%	匀质材料		≤2	
		纤维、织物胎基或背衬材料		≤0.5	
3	接缝剥离强度	无处理/ (N/mm)	改性沥青防水卷材	SBS	≥1.5
				APP	≥1.0
			塑料防水卷材	焊接	≥3.0 或卷材破坏
				粘接	≥1.5
		橡胶类防水卷材		≥1.5	
热老化处理后保持率/%			≥80 或卷材破坏		

(2) 技术规范/标准

- 1) 《屋面工程质量验收规范》GB50207
- 2) 《屋面工程技术规范》GB50345
- 3) 《种植屋面工程技术规程》JGJ155
- 4) 《种植屋面用耐根穿刺防水卷材》GB/T 35468

8.3.3 适用范围

建筑工程种植屋面和地下工程种植顶板。

8.3.4 工程案例

河津双创基地建设项目（裙楼屋顶种植屋面）、太原市康达商城项目、万柏林区东社赞城城中村改造建设项目、晋中市龙城大街区域 T41 地块房地产开发项目等。

8.4 装配式建筑密封防水应用技术

8.4.1 技术内容

密封防水是装配式建筑应用的关键技术环节，直接影响装配式建筑的使用功能及耐久性、安全性。装配式建筑的密封防水主要指外墙、内墙防水，密封防水方式有材料防水、构造防水两种。

防水材料主要指各种密封胶及辅助材料的应用。装配式建筑密封胶主要用于混凝土外墙板之间板缝的密封，也用于混凝土外墙板与混凝土结构、钢结构的缝隙，混凝土内墙板间缝隙，主要为混凝土与混凝土、混凝土与钢之间的粘结。装配式建筑密封胶的主要技术性能如下：

(1) 力学性能。由于外墙板接缝会因温湿度变化、混凝土板收缩、建筑物的轻微震荡等产生伸缩变形和位移移动，所以装配式建筑密封胶必须具备一定的弹性且能随着接缝的变形而自由伸缩以

保持密封，经反复循环变形后还能保持并恢复原有性能和形状，其主要的力学性能包括位移能力、弹性恢复率及拉伸模量。

(2) 耐久耐候性。我国建筑物的结构设计使用年限为 50 年，而装配式建筑密封胶用于装配式建筑外墙板，长期暴露于室外，因此对其耐久耐候性能就得格外关注，相关技术指标主要包括定伸粘结性、浸水后定伸粘结性和冷拉热压后定伸粘结性。

(3) 耐污性。传统硅酮胶中的硅油会渗透到墙体表面，在外界的水和表面张力的作用下，使得硅油在墙体载体上扩散，空气中的污染物质由于静电作用而吸附在硅油上，就会产生接缝周围的污染。对有美观要求的建筑外立面，密封胶的耐污性应满足目标要求。

(4) 相容性等其他要求。预制外墙板是混凝土材质，在其外表面还可能铺设保温材料、涂刷涂料及粘贴面砖等，装配式建筑密封胶与这几种材料的相容性是必须提前考虑的。

除防水材料外，构造防水常作为装配式建筑外墙的第二道防线，在设计应用时主要做法是在接缝的背水面，根据外墙板构造功能的不同，采用密封条形成二次密封，两道密封之间形成空腔。垂直缝部位每隔 2~3 层设计排水口。所谓两道密封，即在外墙的室内侧与室外侧均设计涂覆密封胶做防水。外侧防水主要用于防止紫外线、雨雪等气候的影响，对耐候性能要求高。而内侧二道防水主要是隔断突破外侧防水的外界水汽与内侧发生交换，同时也能阻止室内水流入接缝，造成漏水。预制构件端部的企口构造也是构造防水的一部分，可以与两道材料防水、空腔排水口组成的防水系统配合使用。

外墙产生漏水三个要素：水、空隙与压差，破坏任何一个要素，就可以阻止水的渗入。空腔与排水管使室内外的压力平衡，即使外侧防水遭到破坏，水也可以排走而不进入室内。内外温差形成的冷凝水也可以通过空腔从排水口排出。漏水被限制在两个排水口之间，易于排查与修理。排水可以由密封材料直接形成开口，也可以在开口处插入排水管。

8.4.2 技术指标

(1) 主要技术指标

1) 密封胶力学性能指标中位移能力、弹性恢复率及拉伸模量应满足指标要求，试验方法应符合国家现行标准《建筑用硅酮结构密封胶》GB16776、《混凝土建筑接缝用密封胶》JC/T 881、《硅酮和改性硅酮建筑密封胶》GB/T 14683。

2) 密封胶耐久耐候性中的定伸粘结性、浸水后定伸粘结性和冷拉热压后定伸粘结性应满足指标要求，试验方法应符合国家现行标准《建筑用硅酮结构密封胶》GB16776、《混凝土建筑接缝用密封胶》JC/T 881、《硅酮和改性硅酮建筑密封胶》GB/T 14683 的要求。

3) 密封胶耐污性应满足指标要求，试验方法可参考《石材用建筑密封胶》GB/T 23261 中的方法。

4) 密封防水的其他材料应符合有关标准的规定。

(2) 技术规范/标准

1) 《建筑构件连接处防水密封膏》JG/T501

2) 《混凝土接缝用建筑密封胶》JC/T 881

3) 《建筑接缝密封胶应用技术规程》T/CECS581

- 4) 《装配式建筑密封胶应用技术规程》T/CECS655
- 5) 《装配式建筑用密封胶》T/CECS 10185
- 6) 《硅酮和改性硅酮建筑密封胶》GB/T 14683
- 7) 《建筑用硅酮结构密封胶》GB16776
- 8) 《石材用建筑密封胶》GB/T 23261

8.4.3 适用范围

适用于装配式建筑（混凝土结构、钢结构）中混凝土与混凝土、混凝土与钢的外墙板、内墙板的缝隙等部位。

8.4.4 工程案例

在国家先进计算机产业创新中心山西产业基地等项目中有应用。

8.5 装配式装修施工技术

8.5.1 技术内容

装配式装修是遵循管线与结构分离的原则，运用集成化设计方法，统筹隔墙和墙面系统、吊顶系统、楼地面系统、厨房系统、卫生间系统、收纳系统、内门窗系统、设备和管线系统等，将工厂化生产的部品、部件以干式工法为主进行施工安装的装修建造模式。装配式装修施工技术是实现装饰装修完全无损于主体结构，提高建筑的使用价值、提高工程质量及安全水平、提升劳动生产效率、减少人工、节约资源能源、减少施工污染和建筑垃圾为根本理念，并满足标准化设计、工厂化生产、装配化施工、信息化管理和智能化应用的要求。

装配式装修具有三个技术特征，即干式工法装配、管线与结构分离、部品集成定制。

(1) 干式工法装配：所谓干式工法，即规避传统装修方式中采用的石膏腻子找平、砂浆找平、砂浆粘接等湿作业，而改为采用锚栓、支托、结构粘胶等方式实现支撑与连接构造。

(2) 管线与结构分离：即设备、管线不在房屋结构中预埋，改为填充在装配式空间的六个面与支撑结构之间的空隙中。

(3) 部品集成定制：部品集成是将多个分散的部件、材料通过特定的制造供应集成一个有机体，性能提升的同时实现了干式工法，易于交付和装配。部品定制则强调装配式装修虽为工业化生产，但仍需满足个性化定制，从而避免现场进行二次加工。

8.5.2 技术指标

(1) 主要技术指标

1) 墙面系统

墙面宜分为调平模块和饰面模块。调平模块包含龙骨调平和调平构件调平，龙骨间距 400mm，遇转角、洞口加强处理，横龙骨间距不大于 600mm。

饰面模块宜选用饰面一体板，并满足强度、隔声、防火、防潮等性能要求。考虑出材率应尽量选择整板，宽度为 1220mm，高度厚度按需求选择。饰面模块应与基层连接紧密无异响，宜实现单

块可拆装的需求，部品接缝处，应设置工艺缝或使用收边条。成品安装验收的允许偏差和检验方法应符合现行国家标准《建筑装饰装修工程质量验收标准》GB 50210 的相关规定。

2) 地面系统

地面系统宜包含支撑模块、基层模块、饰面模块。支撑模块应具备高度可调节功能和承载力要求，可调节高度为 50mm-130mm 之间，基层模块应满足功能性需求。

地面系统应独立，各模块不应与墙体发生物理连接，各模块间应连接牢固。

地面系统应满足各类管线敷设的要求。除特殊要求外，完成饰面应在同一水平面上，当饰面材料厚度不一样时，应通过支撑模块调平。设计选用模块化地暖时，宜设置在基层模块与饰面模块之间；地暖模块上不宜直接铺设瓷砖、石材等板材，确需铺设时，应加设平衡层，并满足设计要求。装配式楼地面的允许偏差和检验方法应符合现行国家标准《建筑装饰装修工程质量验收标准》GB 50210 的相关规定。

3) 集成厨卫系统

集成卫浴系统分为地面底盘结构、卫生间墙面结构、设备管线结构等。采用同层排水形式，给排水管线敷设在结构表面，应该先安装底盘，后安装卫生间隔墙；如采用同层排水马桶下排形式，集成卫生间完成面与结构毛坯面最小高差为 250mm，地面底盘厚度 70mm，底部需要留 180mm 空间走排水排污管；墙面安装预留空间 20mm 安装墙板或瓷砖；吊顶应考虑给水管、排气扇、灯具等部品高度，吊顶净高不得超过 80mm。模压底盘整体化可有效提高防水防漏性能；集成模块天花，通过拆除局部天花，可进行水电检修。通过“高强龙骨+卡扣式”的工艺在工地现场进行全干法拼装，并系统集成卫浴柜、马桶、淋浴、花洒、龙头等各种配套部品，可提供高效和平价的卫生间整体解决方案。集成式卫生间成品安装验收的允许偏差和检验方法应符合现行国家标准《整体卫浴国家标准》GB 13095 的相关规定。

集成厨房系统包括架空地面、抗污渍墙板、模块吊顶以及各种厨房设备和水电管线。

架空地面可以通过调节地脚找平，在架空层铺设水电管线，表面兼容传统饰面效果；墙面架空墙面板应使用抗污耐磨耐高温的墙板通过双侧密拼的方式将墙板连接起来；蜂窝铝板吊顶通过卡勾插槽的固定方式尺寸可达到 1200mm*3200mm，吊顶一般采用边长 5mm-6mm 蜂窝芯，密度越密，支撑点越多，板材越平整。

集成厨房性能应满足燃烧性能、防水性能、耐擦洗性、耐酸碱油性、耐湿热性、抗冲击性能等。允许偏差和检验方法应符合现行国家标准《建筑装饰装修工程质量验收标准》GB 50210 相关规定。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《装配式内装修技术标准》JGJ/T491
- 2) 《住宅卫生间建筑装修一体化技术规程》T/CECS438
- 3) 《住宅厨房建筑装修一体化技术规程》T/CECS464
- 4) 《装配式内装修工程室内环境污染控制技术规程》T/CECS 1265
- 5) 《装配式内装修技术标准》DBJ04/T 442

6) 《建筑装饰装修工程质量验收规范》GB50210

8.5.3 适用范围

主要应用在公租房、保障性租赁住房、住宅、学校、办公楼、医院、酒店、体育馆、展览馆等居住建筑或公共建筑项目的室内装修墙面、地面、顶面和厨房、卫生间等内装修的领域。

8.5.4 工程案例

新源智慧建设运行总部 A 座项目、山西潇河新城国际会展中心项目、山西晋建迎曦园项目、山西建筑产业现代化潇河园区二期项目（办公楼）等。

8.6 复杂装饰造型施工技术

8.6.1 技术内容

对于超大跨度及大规模的场馆、会展中心、车站等大空间建筑顶棚、墙面出现越来越多的复杂装饰造型，其面层常采用铝板、蜂窝板、铝格栅等金属板材。有着更富表现力的色彩展示，金属光泽度好、抗冲击性强、可造型性强等优点。

复杂装饰造型均在结构层上进行施工，一般由转换层（顶棚）、基层、面层构成，面层为曲面或异型金属或复合板材，施工时，需要 BIM 建模、三维激光逆向建模技术，进行二次深化设计、指导材料下料、安装时从模型中提取坐标，利用测量仪器在现场标示，指导工人精确安装。

8.6.2 技术指标

(1) 主要技术指标

- 1) 采用的不锈钢宜采用奥氏体不锈钢材。
- 2) 采用的铝合金型材应符合现行国家标准《铝合金建筑型材》GB/T 5237.1 中有关高精级的规定；铝合金的表面处理层厚度和材质应符合现行国家标准《铝合金建筑型材》GB/T 5237.2~5237.5 的有关规定。
- 3) 采用的铝合金板材的表面处理层厚度及材质应符合现行行业标准《建筑幕墙》GB/T 21086 的有关规定。
- 4) 铝塑复合板的上下两层铝合金板的厚度均应为 0.5mm，其性能应符合现行国家标准《铝塑复合板》GB/T 17748 规定的外墙板的技术要求；铝合金板与夹心层的剥离强度标准值应大于 7N/mm。
- 5) 选用普通型聚乙烯铝塑复合板时，必须符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GBJ 16 和《高层民用建筑设计防火规范》GB 50045 的规定。
- 6) 非标准五金件应符合设计要求，并应有出厂合格证。同时应符合现行国家标准《紧固件机械性能 不锈钢螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.6 的规定。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《铝合金建筑型材》GB/T 5237.1~5237.5
- 2) 《建筑幕墙》GB/T 21086
- 3) 《铝塑复合板》GB/T 17748

- 4) 《建筑设计防火规范》GBJ 16
- 5) 《高层民用建筑设计防火规范》GB 50045
- 6) 《紧固件机械性能不锈钢螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.6

8.6.3 适用范围

可广泛用于各类大跨度、空间高、装饰造型复杂、装饰效果新颖的室内装饰装修工程。

8.6.4 工程案例

山西潇河国际会展中心项目（中间组团室内精装修工程）、山西潇河国际会议中心项目（精装修工程四标段）、太原市轨道交通 2 号线一期工程项目（控制中心装饰装修工程）等。

8.7 装饰混凝土施工技术

8.7.1 彩色饰面混凝土施工技术

8.7.1.1 技术内容

彩色饰面混凝土是一种近年来流行并得到推广的绿色环保地（墙）面材料，它能在原本普通的新、旧混凝土表层，通过色彩、色调、质感、款式、纹理、机理和不规则线条的创意设计，图案与颜色的有机组合，创造出各种天然大理石、花岗岩、砖、瓦、木地板等天然石材铺设效果，具有图形美观自然、色彩真实持久、质地坚固耐用等特点。

彩色饰面混凝土采用的是表面处理技术，它在混凝土基层面上进行表面着色强化处理，以达到装饰混凝土的效果。同时，对着色强化处理过的地（墙）面进行渗透保护处理，以达到洁净地（墙）面与保养地（墙）面的要求。因此，彩色饰面混凝土的构造模式为基层（混凝土）、彩色面层（强化料和脱模料）、保护层（保护剂）这三个基本层面，这样的构造是良好性能与经济要求的平衡结果。

8.7.1.2 技术指标

（1）原材料的要求

彩色饰面混凝土的原材料，与普通混凝土基本相同，只不过在原材料的颜色等方面要求更加严格。

1) 水泥：水泥是彩色饰面混凝土的主要原材料。如采用混凝土本色，一个工程应选用一个工厂同一批号的产品，并一次备齐。除性能应符合国家标准外，颜色必须一致。如在混凝土表面喷刷涂料，可适当放宽对颜色的要求。

2) 粗、细集料：粗、细集料应采用同一产源的材料，要求洁净、坚硬、不含有毒杂质。制作露骨料混凝土时，集料的颜色应一致，且其吸水率不宜超过 11%。

3) 水：配制彩色饰面混凝土的用水要求与普通混凝土相同，一般饮用水即可。

4) 颜料：颜料应选用不溶于水，与水泥不发生化学反应，耐碱、耐光的矿物颜料。其掺量不应降低混凝土的强度，一般不超过水泥质量的 6%。有时也可以采用具有一定色彩的集料代替颜料。

（2）彩色饰面混凝土的着色要求

彩色饰面混凝土色彩效果的关键是着色，这与颜料性质、掺量和掺加方法有关。掺加到混凝土中的颜料，要有良好的分散性，暴露在空气中耐久不褪色。彩色混凝土的着色方法有添加无机氧化

物颜料、添加化学着色剂及添加干撒着色硬化剂等。

1) 无机氧化物颜料：直接在混凝土加入无机氧化物颜料，将砂、颜料、粗集料、水泥充分干拌均匀，然后加水搅拌。

2) 化学着色剂：化学着色剂是一种水溶性金属盐类。将它掺入混凝土中并与之发生反应，在混凝土孔隙中生成难溶且抗磨性好的颜色沉淀物。

3) 干撒着色硬化剂：干撒着色硬化剂由细颜料、表面调节剂、分散剂等拌制而成，将其均匀干撒在新浇筑的混凝土表面即可着色。

表面着色混凝土施工时，彩色现浇混凝土的施工必须在基层振捣密实初凝前完成；涂撒强化剂的时间可依照试验确定，撒布时应该分两次进行，撒布一定要均匀，且第一次撒料率宜控制在 $23.5\text{kg}/\text{m}^2$ ，第二次控制在 $0.5\text{--}1\text{kg}/\text{m}^2$ ；为使得彩色混凝土色彩均匀、质量较好，其拆模的时间不能小于 24h，其强度不可小于 15MPa。

表 8.7.1 彩色混凝土技术指标

序号	技术参数	单位	标准要求	指标	备注	
1	抗压强度	平均值	MPa	≥ 30.0	≥ 40.5	
		单块最小值		≥ 2.5	≥ 32.8	
2	抗折强度	平均值	MPa	≥ 3.50	≥ 4.5	
		单块最小值		≥ 3.0	≥ 4.0	
3	耐磨性	磨抗长度	mm	≤ 32	≤ 29.3	
4	抗冻性	外观质量	—	≤ 20.0	≤ 9.8	无表面侧落，缺棱少角， 裂纹分层
		强度损失				
5	25 次冻后抗压强度	MPa	25	≥ 28.0		
6	25 次冻后抗压强度	MPa	≥ 3.0	≥ 3.2		
7	防滑系数	—	≥ 0.6	≥ 0.7		

8.7.1.3 适用范围

彩色饰面混凝土可广泛应用于住宅、社区、商业、市政及文娱康乐等各种场合所需的人行道、公园、广场、游乐场、高尚小区道路、停车场、庭院、地铁站台、游泳池等处的景观创造和建筑物外墙，具有极高的安全性和耐用性。同时，它施工方便、无需压实机械，颜色也较为鲜艳，并可形成各种图案。更重要的是，它不受地形限制，可任意制作。装饰性、灵活性和表现力，正是彩色饰面混凝土的独特性体现。

8.7.1.4 工程案例

在山西运城五龙庙（广仁王庙）等项目中有应用。

8.7.2 外墙艺术混凝土施工技术

8.7.2.1 技术内容

外墙艺术混凝土采用角钢骨架、薄壁混凝土结构体系或其他模板体系，利用混凝土可塑性好、抗冲击性强的优点，可轻而易举地完成造型多变的外饰面，适应了房屋外立面艺术化的新潮流。

该技术通过承重轻钢骨架附着于主体结构，根据外立面造型采用角钢及方管制作骨架，通过化学锚栓后置埋件与主体结构连接固定，形成安全可靠的外墙装饰和围护结构；利用模板完成细部造型，浇筑自密实混凝土；在细石混凝土表面做涂料饰面层，最终形成设计要求的立面效果。

该技术在造型背面不需要整体浇筑混凝土，而是依靠轻钢骨架、连接件及锚固预埋件的基本强度和刚度，承受轻质结构及饰面层转载；具有取材容易、结构简单、施工简便、损坏后易于修复和维护等优点。

8.7.2.2 技术指标

(1) 可操作性：利用镀锌角钢及方管作为支撑骨架，按设计外观要求将混凝土浇筑定型，施工简便；且在使用过程和维护过程中如有损坏，损坏部位便于发现、易于修复。

(2) 隔热（声）性：因轻质结构饰面层与房屋主体结构墙体间有一定的空腔，可有效阻隔热量传递，起到保温和降噪功效。

(3) 阻燃性：采用混凝土浇筑，阻燃性优异。

(4) 抗震性：地震时，可减轻对建筑物本体的影响，并且可有效通过轻钢骨架和焊接网来防止外墙的开裂及剥落。

(5) 抗冻性：薄壁混凝土轻质结构的抗冻性能与一般混凝土结构具有相同的特点。

(6) 耐久性：骨架采用镀锌角钢或方钢制作，焊接部位表面进行防腐处理；新旧混凝土交接处进行界面处理；采用自密实混凝土浇筑；后浇混凝土顶面或与结构楼板面接触处进行密封处理；涂饰基层接缝处进行防水处理；可有效防止水气进入轻质结构及空腔，避免因冻融循环产生的破坏，有效延缓装饰结构混凝土的寿命。

(7) 可塑性：可塑性好，能适应各种外观造型。

(8) 观感质量：构造简便、多样，具有良好的视觉美感。

8.7.2.3 适用范围

(1) 适用于冬寒夏暖，四季分明地区。因其薄壁结构的特点，应限制在严寒地区的室外使用。

(2) 适用于各种风格造型的外墙装饰，特别适用于商业、会所、商务办公楼等建筑的外墙装饰，可增加建筑物端庄、气派、典雅、新颖、古朴的时代艺术气息。

8.7.2.4 工程案例

省内现有的工程应用较少，在国内其他省份有一定的应用。省外典型案例如常州市菱溪名居 A、B、C 组团项目，常州月星家居城项目，无锡月星家居城项目，上海文化艺术馆项目等。

8.8 新型板材幕墙施工技术

8.8.1 玻璃纤维增强水泥（GRC）板幕墙施工技术

8.8.1.1 技术内容

玻璃纤维增强水泥（简称 GRC 或 GFRC）是一种无机复合材料，以耐碱玻璃纤维为主要增强材料，水泥为胶凝材料，砂子等为集料。玻璃纤维增强水泥材料可添加各种改变材料性能的外加剂，

也可为了实现表面效果而添加颜料和其他骨料，这种改性既可以增强材料的物理性能，又可以丰富材料的表现力。用玻璃纤维增强水泥材料制成的板幕墙具有承受并传递自重、风荷载、地震荷载等到建筑物承载体系的能力。

玻璃纤维增强水泥板幕墙的主要特征如下：

(1) 优秀的造型能力：玻璃纤维增强水泥板幕墙依靠模具成型，形态细腻逼真，成型几乎不会受到任何限制。

(2) 丰富的表现力：在造型的基础上通过表面肌理可实现各种风格。

(3) 良好的物理性能：玻璃纤维增强水泥板幕墙具有轻质、高强、抗渗、抗冻、抗裂、防火、抗冲击能力强等特点，使用年限可达 50 年。其厚度一般为 12~20mm，容重为 2.2g/cm³ 左右。

(4) 通过复合以及表面涂层，可实现建筑物更为广阔的性能诉求和多样化表面效果。目前玻璃纤维增强水泥板幕墙已广泛应用于各类个性化及地标性建筑上。玻璃纤维增强水泥板幕墙应根据建筑物所在地的气候条件，建筑物的造型、高度、周围环境，建筑物的政治因素来确定设计方案，其产品应符合《玻璃纤维增强水泥外墙板》（JC/T 1057）的规定。

8.8.1.2 技术指标

(1) 主要技术指标

1) 玻璃纤维增强水泥板幕墙的设计、制作采用数字化技术，先对建筑物造型用专用软件（如犀牛等）进行建模和板块分割，再根据分割板块的造型、肌理、大小等进行模具制作。通过地模技术，单块 GRC 板幕墙的最大面积可达 60m²，如经特殊处理还可将板块面积做得更大。

2) 玻璃纤维增强水泥板幕墙生产。根据分割板块的形状、尺寸、厚度等进行料浆配合比设计，并按配合比依序配制不同的料浆，再将料浆依序、逐层喷射在模具上。板幕墙制作时可视情况放置埋件、钢架，加肋，压实等，以确保产品质量可靠。待料浆在模具上完全固结后即可脱模。脱模后的半成品应加强养护，养护期满后根据需要进行表面处理。经上述处理后的板幕墙可包装出厂。

3) 玻璃纤维增强水泥板幕墙按照结构类型不同分为四种：单层板、有肋单板、夹层板、框架板。其中框架板与建筑物主体结构之间通过钢架连接固定，先将板幕墙通过锚固块连接在锚固爪上，再将锚固爪焊接在钢架上，最后将钢架焊接在建筑物主体结构上。板幕墙如采用干挂、套筒等其他节点连接方式，其设计、施工应满足《建筑幕墙》（GB/T 21086）、《金属与石材幕墙工程技术规范》（JGJ 133）的规定。

4) 玻璃纤维增强水泥板幕墙的板块拼接缝一般采用 GRC 专用密封结构胶嵌缝，胶的性能应满足 GRC 幕墙水密性、气密性要求。板幕墙的抗风压变形以及平面内变形通过柔性锚固件传递，可减少对面板的约束。

5) 玻璃纤维增强水泥板幕墙的主要性能指标如表 8.8.1 所示。

表 8.8.1 玻璃纤维增强水泥板幕墙主要性能指标

指标类型		直接喷射工艺要求
抗弯比例极限 强度/MPa	平均值	≥8.00
	单块最小值	≥6.00
抗弯极限强度/MPa	平均值	≥18.00
	单块最小值	≥15.00
抗压强度/MPa		≥40.00 (参照《玻璃纤维增强水泥 (GRC) 装饰制品》JC/T 940)
抗剪切强度/MPa		1
抗冲击强度/ (kJ/m ²)		≥8
体积干密度/ (g/cm ³)		≥1.8
吸水率/%		≤10
弹性模量/MPa		15000
干缩率		0.12%
抗冻性		经 25 次冻融循环, 无起层、剥落等破坏现象
耐久性		加速老化 7 天, 抗弯极限强度保留率>94%

6) 玻璃纤维增强水泥板幕墙是需要进行表面防护处理的。表面防护技术充分结合了玻璃纤维增强水泥材料的特点和光触媒效应, 具有光催化分解空气中有机物质的能力, 结合各层媒介作用, 从而实现自清洁功能。在光触媒和玻璃纤维增强水泥基材间复合了防护剂层、防静电层和隔离层, 其中防护剂层由防水剂、防冻剂、增密剂等多种防护材料复合而成, 起到改善 GRC 板幕墙表面微孔, 增强抗裂、防渗性能的作用。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《建筑装饰装修工程质量验收规范》GB 50210
- 2) 《建筑幕墙》GB/T 21086
- 3) 《玻璃纤维增强水泥 (GRC) 外墙板》JC/T 1057
- 4) 《挤出成型玻璃纤维增强水泥板幕墙工程技术规程》T/CECS561
- 5) 《玻璃纤维增强水泥 (GRC) 建筑应用技术标准》JGJ/T423
- 6) 《玻璃纤维增强水泥 (GRC) 外墙内保温板》JC/T893
- 7) 《玻璃纤维增强水泥 (GRC) 复合外墙板》JC/T 2726

8.8.1.3 适用范围

适用于各类建筑物的幕墙, 尤其适用于有特殊空间造型的幕墙。

8.8.1.4 工程案例

国科大太原能源材料学院项目、太原五一广场周边城市风貌整治工程项目、汇都购物中心项目 (外立面改造工程)、临汾党校易地搬迁项目、太原星河湾项目 (裙楼) 等。

8.8.2 陶土板幕墙施工技术

8.8.2.1 技术内容

陶土板是以天然的纯净陶土为原材料, 通过精细加工、专用设备挤压成型、烘干、高温窑烧等

工序形成的具有相当强度、硬度和表面精度的板材。陶土板幕墙属于构件式幕墙，通常由横料或横、竖料加上陶土面板组成。除具有常规玻璃、石材、铝板幕墙的基本特征外，由于其陶土的特点、先进的加工工艺和科学的控制手段，因而在外观、性能上也有独特的优点：

(1) 材料环保：由天然陶土配石英砂，经过挤压成型、高温煅烧而成，没有放射性，耐久性好。

(2) 颜色历久弥新：颜色为天然陶土本色，色泽自然、鲜亮、均匀，不褪色，经久耐用，赋予幕墙持久的生命力。

(3) 易洁功能显著：表面可分为釉面和毛面两种。釉面陶板室内外均适用，具有良好的易洁功能，比天然石材更不易被污染。毛面陶板适用于室内，板材由工厂加工，现场不切割，在联结部位按设计要求进行了截面加强，大型板块通过加劲肋等构造提高平面刚度。

用于建筑外装饰幕墙，陶土板幕墙属于非透明幕墙，与石材幕墙相似。由于陶土板具有天然环保、没有任何辐射、颜色丰富、质感自然、古典和纯朴、隔音降噪、提高建筑使用的经济性及舒适性等特点，陶土板幕墙越来越多地在商务楼、办公楼、剧院、场馆和住宅等楼宇建筑上使用。陶土板装饰效果是多样性的。陶土板和金属板幕墙一样，依靠制坯完成各种形状加工制作，因此其外墙装饰不仅仅局限于整体幕墙，还有格栅、百叶等。

用于复合式建筑幕墙，由外层幕墙（玻璃幕墙）、内层幕墙（陶土板幕墙）、空气循环装饰组成。实现节能、环保的设计理念，同时也将玻璃幕墙的透视效果与陶土板装饰效果完美体现。

用于建筑内装饰幕墙，由于陶土板具有天然环保、没有任何辐射、颜色丰富、表面质感自然、隔音降噪、施工方便等特点，也应用于建筑内装饰幕墙，比如建筑场馆、展厅、公共场所等，也多用于室内办公环境装饰。

用于外墙时，板材均有接缝槽口构造。

8.8.2.2 技术指标

(1) 主要技术指标

1) 陶土板具有优良的物理和力学性能。经国家建筑材料测试中心依据国家相关标准进行的检测试验，其性能指标如表 8.8.2 所示。

表 8.8.2 陶土板性能指标

项目	性能参数	
	30mm	18mm
吸水率	3%~10%	3%~10%
干燥重量	≤45 kg/m ²	≤35 kg/m ²
破坏强度	>5.0 kN	>4.0 kN
断裂模数	18.5Mpa	16.5Mpa
抗冻融性	经-30~30℃冻融循环 100 次后无裂纹或剥落	
防火性	A1 级	
自洁性	自洁涂层	
放射性	符合《建筑材料放射性核素限量》（GB 6566-2010）A 类装修材料指标	
耐酸碱	UA 级	

项目	性能参数	
	30mm	18mm
模拟风压	达到 10 kPa 无破坏	达到 9 kPa 无破坏
抗震性	10 级模拟地震无破坏	
导热系数	0.36 w/ (m·K)	

(2) 技术规范/标准

- 1) 《建筑装饰装修工程质量验收规范》GB 50210
- 2) 《建筑幕墙》GB/T 21086
- 3) 《建筑幕墙工程质量验收标准》DBJ04/T284
- 4) 《建筑幕墙用陶板》JG/T324

8.8.2.3 适用范围

建筑外装饰幕墙、复合式建筑幕墙、建筑内装饰幕墙。

8.8.2.4 工程案例

太原龙城红星美凯龙项目（幕墙工程）、大同中科院清洁能源研究所项目、忻州师范学院项目、山西科技创新城科技创新综合服务平台项目等。

8.8.3 金属幕墙施工技术

8.8.3.1 技术内容

金属幕墙通过承重骨架悬挂在主体结构上，其板块是金属面板。金属幕墙按面板材料可分为铝单板幕墙、铝塑板幕墙、铝瓦楞板幕墙、铜板幕墙、彩钢板幕墙、钛板幕墙、钛锌板幕墙、铝镁锰板幕墙等，按是否打胶分为封闭式金属幕墙和开放式金属幕墙。金属幕墙具有重量轻、强度高、板面平滑、富有金属光泽、质感丰富等特点，同时还具有加工工艺简单、加工质量好、生产周期短、可工厂化生产、装配精度高和防火性能优良等特点，因此被广泛地应用于各种建筑中。

8.8.3.2 技术指标

(1) 主要技术指标

1) 性能要求应根据建筑物所在地的地域、气候条件，建筑物的体型、高度、周围环境以及建筑物的重要性等因素选取，且与《建筑幕墙》（GB/T 21086）相一致。

2) 应明确建筑物所在地的地理、气候、环境和周围建筑物的状态。以文字和图样形式明确建筑物的类别、体型、高度和幕墙所在的部位、形状等。

3) 施工图根据技术参数提出幕墙的各种性能要求。

4) 钢材骨架表面应进行防腐处理。当采用热浸镀锌处理时，其膜厚应大于 45 μm ；当采用静电喷涂时，其膜厚应大于 40 μm 。

5) 不同金属材料之间应有绝缘措施，防止异质金属间的电化学腐蚀。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《建筑装饰装修工程质量验收规范》GB 50210

- 2) 《建筑幕墙》GB/T 21086
- 3) 《金属与石材幕墙工程技术规范》JGJ 133

8.8.3.3 适用范围

适用于各类形式的建筑物外幕墙。用于建筑高度不大于 150m 的民用建筑金属幕墙工程。

8.8.3.4 工程案例

山西长治万达广场项目、浑源永安中学项目、山西建筑产业现代化潇河园区二期项目（办公楼）、尧都文化艺术中心项目、山西晋城万达广场项目等。

8.9 新型幕墙连接技术

8.9.1 单元式幕墙施工技术

8.9.1.1 技术内容

按照通用化、模数化、标准化设计在工厂制成完整幕墙结构基本单元直接安装在主体结构上，或由工厂加工的面板、支承构件在主体结构上安装，具有规定的承载能力、变形能力和适应主体结构变形能力，不分担主体结构所受作用的建筑外围护结构或装饰性结构。

幕墙系统应根据不同建筑类型及结构形式进行选择一般采用外挂式，也可内嵌式、嵌挂结合等形式、并宜分层悬挂或承托。

运用雨幕原理在幕墙室外侧开口处采用适当的遮蔽或断水构造，对室内侧接缝处进行密封，使幕墙中间气压与室外气压趋于平衡，阻止雨水通过室外侧开口渗漏。

幕墙设计宜采用一体化设计思维，整体兼顾泛光照明、清洗及维护系统、装饰翼、外遮阳系统、室内窗帘等设计。

8.9.1.2 技术指标

(1) 主要技术指标

1) 幕墙设计应结合建筑的使用功能、高度、所在地的地理气候、环境等因素，合理选择幕墙的形式，并应满足抗风压、水密性、气密性、位移、保温、隔热、隔声、防火、防雷、耐撞击、光学等性能要求。

2) 幕墙与主体结构的连接构造应有足够的强度、刚度和适应相对位移的能力，应便于制作安装、维护保养及局部更换面板。连接幕墙的锚固件应设置在主体结构件上，不应设置在填充砌体中。

3) 幕墙应采用系统集成的方法统筹设计、加工制作、安装施工、使用维护，实现全过程的协调。

4) 幕墙宜采用建筑信息模型（BIM）技术，实现全过程的参数化设计、信息化管理。

5) 幕墙设计应按照通用化、模数化、标准化的要求，并应遵循少规格、多组合的原则，实现建筑及部品部件的系列化和多样化。

(2) 技术规范/标准

1) 《建筑装饰装修工程质量验收规范》GB 50210

2) 《建筑幕墙》GB/T 21086

- 3) 《金属与石材幕墙工程技术规范》JGJ 133
- 4) 《装配式幕墙工程技术规程》T/CECS 745-2020
- 5) 《单元式玻璃幕墙施工和验收技术规程》T/CBDA 48

8.9.1.3 适用范围

适用于非地震区以及抗震设防烈度不大于 8 度地震区的民用建筑。

8.9.1.4 工程案例

山西国际金融中心 B、C 座及地下车库工程项目、山西潇河国际会展中心配套酒店项目、中铁三局科研中心项目等。

8.9.2 干挂石材幕墙后切式背栓连接技术

8.9.2.1 技术内容

后切式背栓连接是通过双切面抗震型后切锚栓、连接件将石材与骨架连接的一种石材幕墙固定方法。用后切式背栓点连接花岗石幕墙进行建筑外饰面花岗石施工是建筑外饰面施工技术的重大突破，它开辟了石材幕墙施工工艺的新纪元，使石材幕墙有了广阔的使用领域，即任何建筑物、任何高度、任何部位、任何构造形式都可以采用后切式背栓点连接花岗石幕墙。后切式背栓点连接花岗石幕墙的背栓仅用作石板材与连接件的紧固件，这样连接件可按需要灵活设计，而钢销式、短槽式、通槽式的钢销（钢钩）既和横梁（立柱）连接，又和石材连接，它的使用部位和方法带有很大局限性。后切式背栓点连接方法为石材幕墙和玻璃（金属）幕墙组合成组合幕墙创造了条件，即在同一立柱上可左面安装玻璃幕墙，右边安装石材幕墙，在同一横梁上，可上面安装玻璃幕墙，下面安装石材幕墙。后切式背栓与横梁的连接见图 8.9.1。

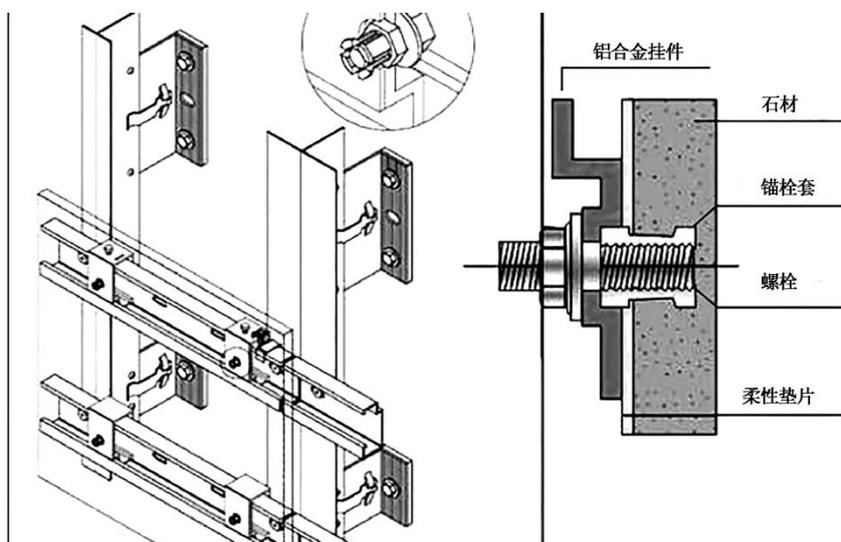


图 8.9.1 后切式背栓与横梁的连接示意图

8.9.2.2 技术指标

(1) 主要技术指标

- 1) 板材之间独立受力，独立安装，独立更换，节点做法灵活。

- 2) 连接可靠,对石板的削弱较小,减少连接部位石材局部破坏,使石材面板有较高的抗震能力。
- 3) 可准确控制石材与锥形孔底的间距,确保幕墙的表面平整度。
- 4) 工厂化施工程度高,板材上墙后调整工作量少。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《建筑装饰装修工程质量验收规范》GB 50210
- 2) 《建筑幕墙》GB/T 21086
- 3) 《金属与石材幕墙工程技术规范》JGJ 133
- 4) 《干挂石材用金属挂件》GB/T 32839

8.9.2.3 适用范围

适用于各类形式的建筑物外幕墙。用于建筑高度不大于 100m、设防烈度不大于 8 度的民用建筑石材幕墙工程。

8.9.2.4 工程案例

太原龙城红星美凯龙项目(幕墙工程)、临汾市尧都区文化艺术中心项目、晋城市文化艺术中心项目、山西壶口瀑布景区酒店项目等。

8.9.3 板幕墙槽式埋件连接技术

8.9.3.1 技术内容

本技术主要是运用板槽式埋件的技术方式,通过螺栓固定连接幕墙的钢转接件,转接件与埋件为机械方式连接,无需焊接,可快速完成安装。板槽式埋件及连接构造见图 8.9.2,板槽式埋件构造示意图见图 8.9.3。

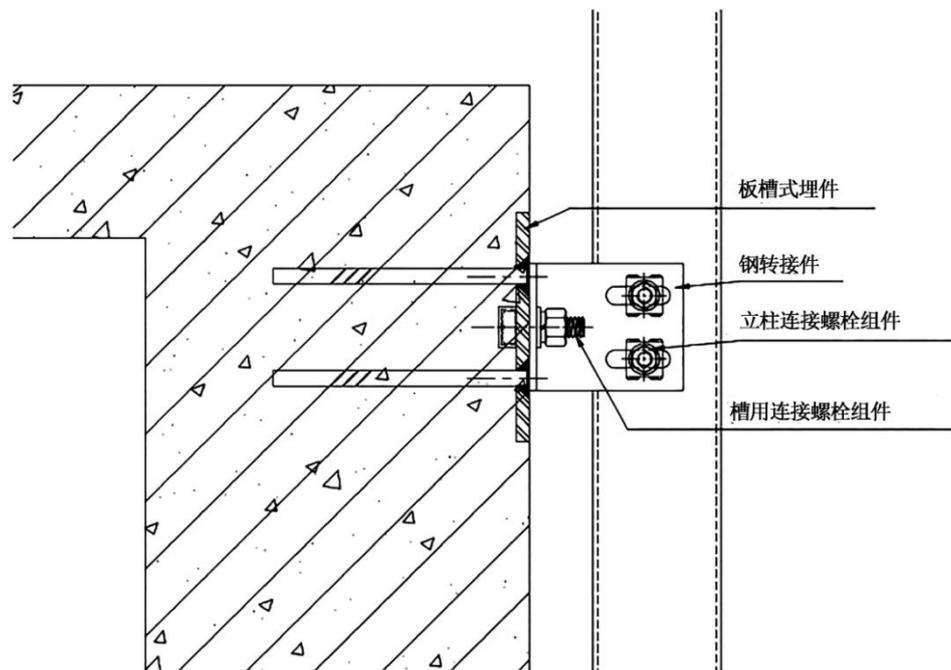


图 8.9.2 板槽式埋件及连接构造图

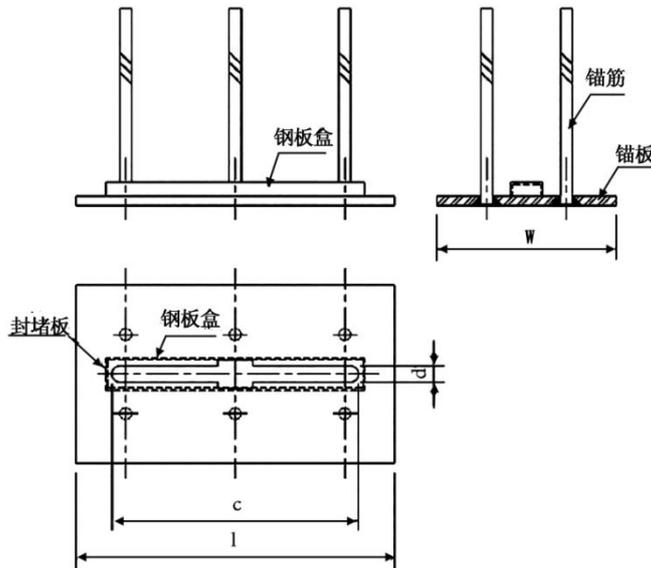


图 8.9.3 板槽式埋件构造示意图

幕墙结构连接件与主体结构的锚固承载力设计值应大于连接件本身的承载力设计值。预埋件的设计使用年限应与幕墙建筑的主体结构保持一致，宜不低于 50 年。

板槽式埋件应满足《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ 102 中附录 C 预埋件设计的要求，其槽孔设置应沿锚筋或锚板中心对称布置，槽孔的总长度 c 不宜大于锚板边长 L 的 55%，并满足水平方向的偏差调整。槽孔的宽度 d 应与槽用连接螺栓的直径配合，且螺栓与槽的间隙尺寸不宜大于 0.75mm。钢板盒宜采用厚度不小于 2.0mm 的钢板压制成型，并与锚板牢固焊接。幕墙安装调整后，其连接件应采取相应的抗滑移固定构造措施。

8.9.3.2 技术指标

(1) 主要技术指标

1) 材料：埋件的锚板宜采用 Q235B、Q345B 级钢。锚筋应采用 HRB400 或 HPB300 级钢筋，严禁采用冷加工钢筋。直锚筋与锚板应采用 T 型焊接，并采用相熔性合格的焊条。

2) 焊缝：焊接质量满足《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18 的要求，焊缝为三级焊缝；焊接后应除焊渣，不允许出现裂缝、表面夹渣、表面气孔、焊瘤等缺憾。

3) 板槽式埋件除了锚筋和不锈钢制品外，应进行表面热浸镀锌处理、无机富锌涂料处理或采取其他有效的防腐措施。采用热浸镀锌处理时，镀锌厚度应符合《金属覆盖层钢铁制品热镀锌层技术要求》GB/T 13912 的规定；采用无机富锌涂料涂装时，表面除锈等级为 St3，涂层干漆膜总厚度应大于 150 μm ，允许偏差为 -25 μm 。

4) 板槽式埋件在安装浇筑混凝土时，板槽后的钢板盒腔内不应漏浆，宜采用低密度聚乙烯 (LDPE) 泡沫材料填充密实。

(2) 技术指标规范

《槽式预埋件及系统性能试验方法》T/CECS 10183-2022

8.9.3.3 适用范围

适用于各类形式的建筑物外幕墙。

8.9.3.4 工程案例

山西省煤炭交易中心项目（幕墙工程）、中国知网数字出版与数字图书馆项目等。

8.9.4 免焊装配式幕墙埋板系统

8.9.4.1 技术内容

免焊装配式埋板采用 Q345 高强度耐蚀钢，利用液压拉升技术，将平板提升为带有槽深的板槽埋板，冲压斜八字长圆孔，与角码采用防松动高强度螺栓连接。实现免焊接、装配化，可拆可卸，所有埋板系统构件中除与混凝土连接的锚栓之外，其余构件可重复使用，因无电焊损伤，无电焊化学腐蚀，结构构件系统使用寿命可以与建筑物同寿命，实现绿色、低碳、环保、节能，安全、高效。可以做到 100 年全生命周期。

施工工艺：埋板安装测量-放线-打孔-清理孔内灰尘-安装埋板-安装竖龙骨-调平安装横龙骨-安装面板-打胶。

因为埋板带有长圆孔，左右位移可以调节 43mm，因此，安装竖龙骨时，先不用精准放线，所有龙骨安装完毕后，从上到下，放线抄平，固定竖龙骨位置。这样可以提高安装埋板、龙骨效率约 3-5 倍。同时，在埋板测量放线完毕后，即可对面板材料进行加工单下料。

材料由 SCR-T 钢+表面高温铝锌合金，具有防电偶腐蚀，解决不锈钢电化学问题。特殊带有六道散热槽的螺纹，利于螺栓安装过程中，因温度升高引起螺纹焊死状态或倒牙状态，从而热量及时排出，保证螺纹的完整性，使得所有的螺栓可拆可卸，可重复利用。

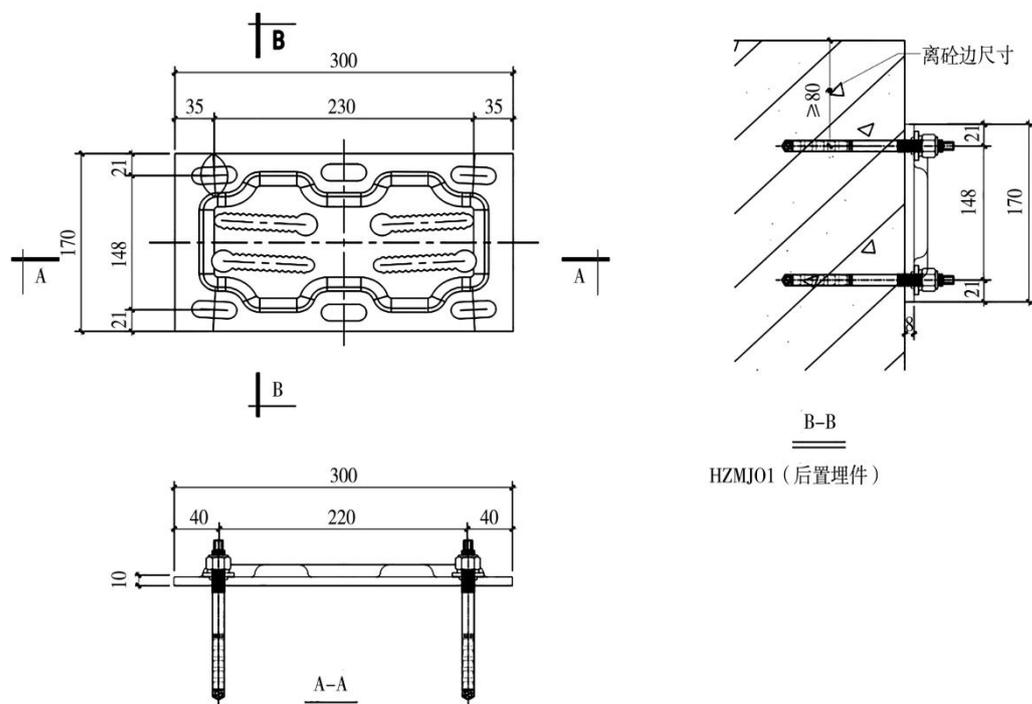


图 8.9.4 免焊装配式幕墙系统--板槽后置埋板三视图

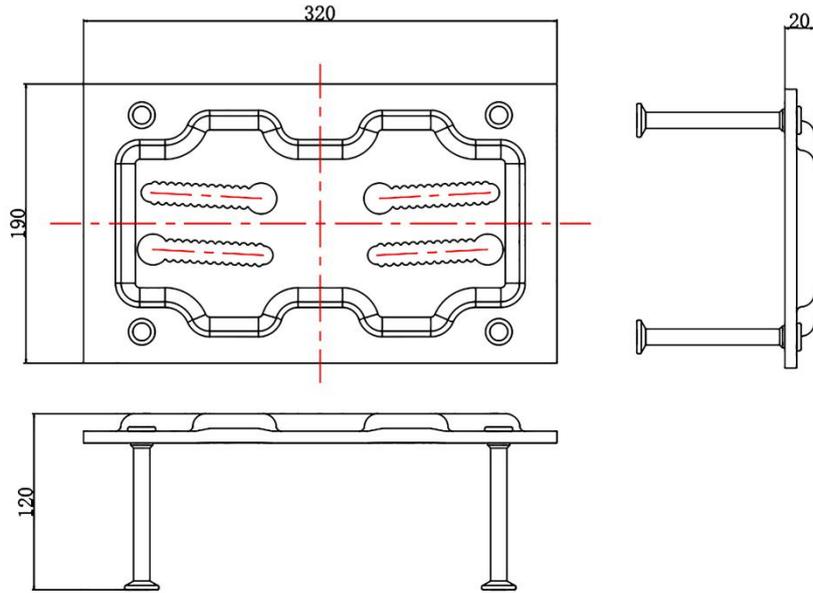


图 8.9.5 免焊装配式幕墙系统—板槽预埋板三视图

8.9.4.2 技术指标

(1) 主要技术指标

1) 埋板采用 Q345 高强度钢耐蚀钢，经过液压提升技术，形成板槽结构，埋板厚度 8mm，槽深 12mm，成型后，钢板厚度等同于 20mm 的钢板，钢板抗弯强度可以达到 450MPa-900MPa。

埋板采用斜八字孔，利用榫卯结构原理，具有松开状态可位移，三维调节；锁固状态，不产生位移。埋板采用长圆孔，左右位移可以达到 43mm，上下位移 10mm。前后位移 25mm。

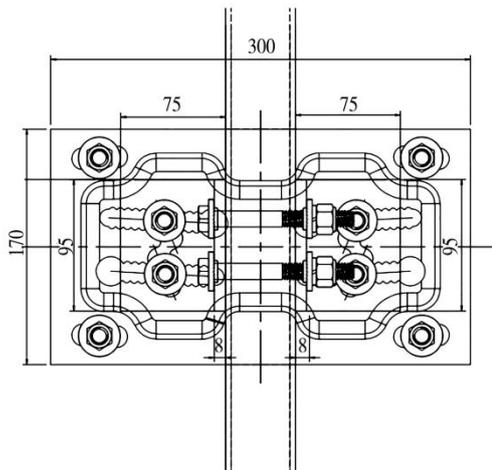


图 8.9.6 免焊装配式板槽埋板正立面图

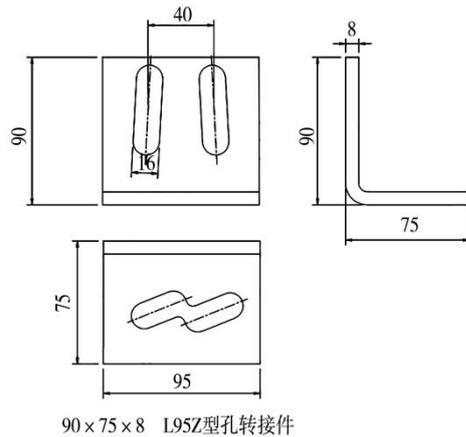


图 8.9.7 免焊装配式角码三视图

2) 螺栓构造：一般螺栓安装固定好之后，螺栓的螺母会和埋板（转接件）、垫片焊接到一起，起到防松动作用。免焊装配式幕墙系统中，螺栓采用国际先进技术：防松动高强度螺栓，10 万次/8000 秒振动不松动技术，可拆可卸，可重复利用。

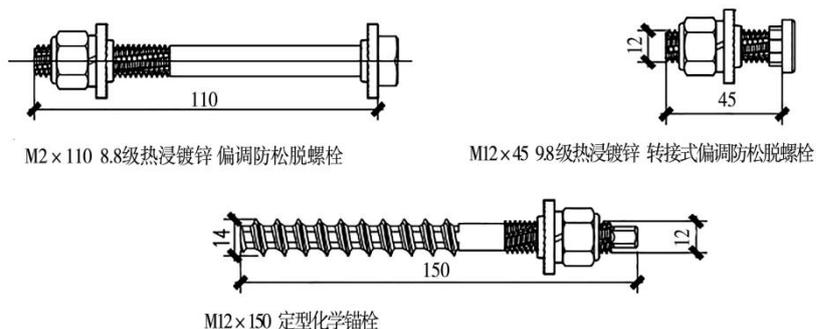


图 8.9.8 免焊装配式幕墙系统用防松动螺栓

3) 免焊装配式幕墙体系中，横竖龙骨采用连接片与防松动高强度螺栓的组合，形成横竖龙骨装配化。钢材可采用耐蚀钢，整体幕墙结构体系，可以做到与建筑物同寿命周期。同时，材料的壁厚可以减薄至 2.5mm，从而减少钢材消耗量，也减轻建筑物外部荷载，真正实现绿色、环保、低碳、节能。

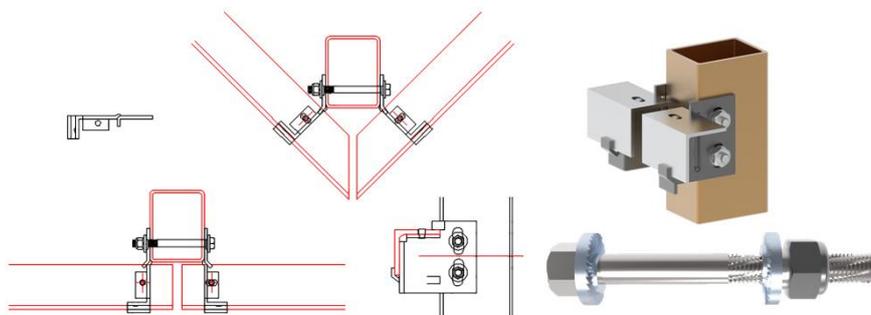


图 8.9.9 免焊装配式 SCR 插式横梁立柱连接系统（石材）

安装方法：将 5mm 角钢安装就位后，折弯连接片顶部小凸起，安装完毕。

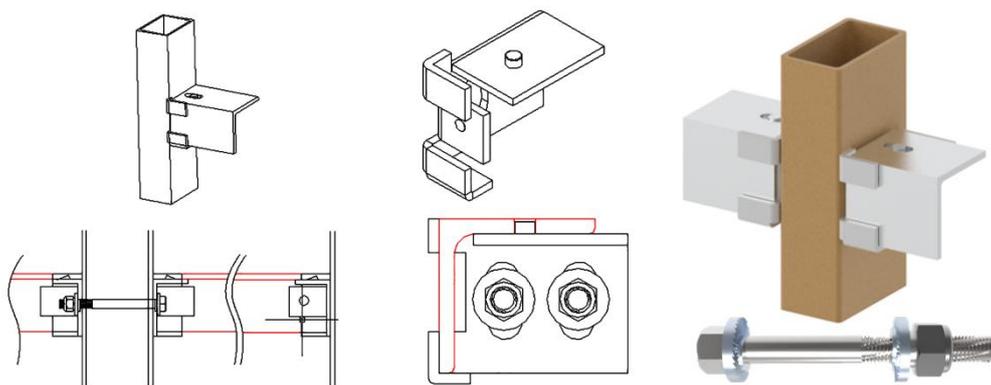
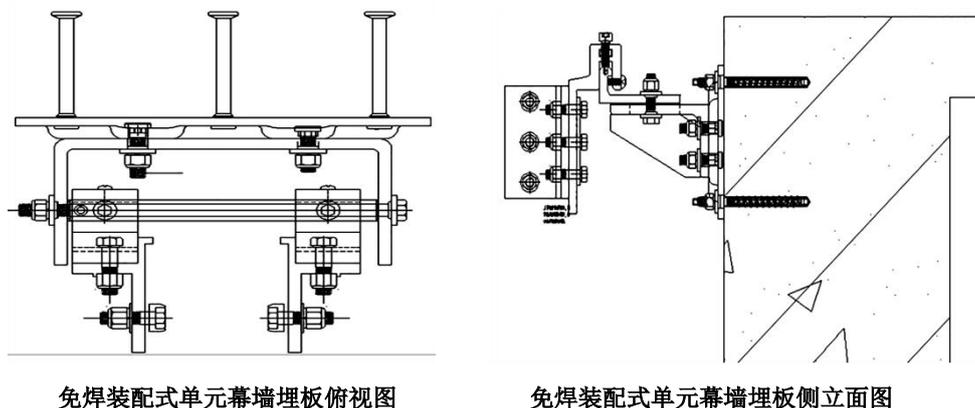


图 8.9.10 免焊装配式 SCR 插式横柱连接系统（铝板）

安装方法：将 5mm 角钢安装就位后，折弯连接片顶部小凸起，安装完毕。

4) 单元式幕墙侧埋埋件，避免了在顶埋时，边缘混凝土破裂的情况。



免焊装配式单元幕墙埋板俯视图

免焊装配式单元幕墙埋板侧立面图

图 8.9.11 免焊装配式单元幕墙埋板系统（侧埋）

（2）技术规范/标准

《装配式幕墙工程技术规程》T/CECS 45

8.9.4.3 适用范围

适用于各种工况的玻璃幕墙、铝板幕墙、石材幕墙、人造板幕墙、隧道管廊支撑、地铁项目、电力系统线路架设，耐蚀钢更加适用于各种恶劣环境。

由于免焊接不产生电焊火花，更加安全可靠，适用与既有幕墙改造、城市更新、管廊更新、电梯更新等工程。

由于免焊接不产生电磁辐射，在一些高精密仪器使用场景的项目中，对仪器设备不产生干扰。适用与医院、科研单位等。

8.9.4.4 工程案例

山西省传媒大学、山西省阳煤集团研发中心、太钢不锈钢智慧管控中心、安阳殷墟博物馆、山西省儿童医院五一路院区住院楼、医技楼、妇幼保健楼、门诊楼、妇产楼项目等。

9 抗震、加固与监测技术

9.1 消能减震技术

9.1.1 技术内容

消能减震技术是将结构的某些构件设计成消能构件，或在结构的某些部位装设消能装置，在风或小震作用时，结构具有足够的侧向刚度以满足正常使用要求；当出现大风或强地震作用时，随着结构侧向变形的增大，消能构件或消能装置率先进入非弹性状态，产生较大阻尼，大量消耗输入结构的地震或风振能量，使主体结构避免出现明显的非弹性状态，且迅速衰减结构的风振或地震反应（位移、速度、加速度等），保护主体结构及构件在大风或强地震中免遭破坏或倒塌，达到减震抗震的目的。

消能部件一般由消能器、连接支撑和其他连接构件等组成。

消能部件中的消能器（又称阻尼器）分为速度相关型如粘滞流体阻尼器、粘弹性阻尼器、粘滞阻尼墙、粘弹性阻尼墙；位移相关型如金属屈服型阻尼器、摩擦阻尼器等和其它类型，如调频质量阻尼器（TMD）、调频液体阻尼器（TLD）等。

采用消能减震技术的结构体系与传统抗震结构体系相比，具有更高的安全性、经济性和技术合理性。

9.1.2 技术指标

（1）主要技术指标

1) 建筑结构消能减震设计方案，应根据建筑抗震设防类别、抗震设防烈度、场地条件、建筑结构方案和建筑使用要求，与采用抗震设计的设计方案进行技术和经济可行性的对比分析后确定。

2) 采用消能减震技术结构体系的设计、施工、验收和维护应按现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB 50011 和《建筑消能建筑技术规程》JGJ 297 进行，设计安装做法可参考国家建筑标准设计图集《建筑结构消能减震（振）设计》09SG610-2，其产品应符合现行行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T 209 的规定。

（2）技术规范/标准

- 1) 《建筑抗震设计标准》GB/T50011
- 2) 《构筑物抗震设计规范》GB50191
- 3) 《建筑工程抗震设防分类标准》GB50223
- 4) 《建筑与市政工程抗震通用规范》GB55002
- 5) 《建筑抗震加固技术规程》JGJ116
- 6) 《预应力混凝土结构抗震设计标准》JGJ/T140
- 7) 《建筑消能减震技术规程》JGJ297
- 8) 《非结构构件抗震设计规范》JGJ339
- 9) 《建筑消能减震加固技术规程》T/CECS547

- 10) 《建筑消能阻尼器》JG/T209
- 11) 《建筑用阻尼弹簧隔振器》JG/T3024
- 12) 《桥梁用黏滞流体阻尼器》JT/T 926
- 13) 《桥梁超高阻尼隔震橡胶支座》JT/T 928
- 14) 《复合阻尼隔振器和复合阻尼器》GB/T 14527

9.1.3 适用范围

消能减震技术主要应用于多高层建筑，高耸塔架，大跨度桥梁，柔性管道、管线（生命线工程），既有建筑的抗震（或抗风）性能的改善，文物建筑及有纪念意义的建（构）筑物的保护等。

9.1.4 工程案例

太原科技大学（南社校区）公共教学楼项目、大东关小学风雨操场项目、太原市育华幼儿园项目等。

9.2 建筑隔震技术

9.2.1 技术内容

隔震系统是通过在主体竖向承重构件之间，设置一个专门的隔震支座和耗能元件（如铅阻尼器、油阻尼器、钢棒阻尼器、粘弹性阻尼器等），形成刚度很低的柔性底层，称为隔震层。通过隔震层的隔震和耗能元件，使下部和上部结构断开，将建筑物分为上部结构、隔震层和下部结构三部分，延长上部结构的基本周期，从而避开地震的主频带范围，使上部结构与水平地面运动在相当程度上解除了耦连关系，同时利用隔震层的高阻尼特性，消耗输入地震动的能量，使传递到隔震结构上的地震作用进一步减小，提高隔震建筑的安全性。

隔震技术已经系统化、实用化，它包括摩擦滑移系统、叠层橡胶支座系统、摩擦摆系统等，其中目前工程界最常用的是叠层橡胶支座隔震系统。这种隔震系统，性能稳定可靠，采用专门的叠层橡胶支座作为隔震元件，是由一层层的薄钢板和橡胶相互叠置，经过专门的硫化工艺粘合而成，其结构、配方、工艺需要特殊的设计，属于一种橡胶制品。目前常用的橡胶隔震支座有天然橡胶支座、铅芯橡胶支座、高阻尼橡胶支座等。

采用隔震技术后的上部结构地震作用一般可减小 3~6 倍，地震时建筑物上部结构的反应以第一振型为主，类似于刚体平动。其地震反应很小，结构构件和内部设备都不会发生破坏或丧失正常的使用功能，房屋无需修理或仅需一般修理，从而保证建筑物的安全甚至避免非结构构件如设备、装修破坏等次生灾害的发生。

9.2.2 技术指标

(1) 主要技术指标

1) 建筑隔震设计方案，应根据建筑抗震设防类别、抗震设防烈度、场地条件、建筑结构方案和建筑使用要求，与采用抗震设计的方案进行技术、经济可行性的对比分析后确定。

2) 采用隔震技术结构体系的计算分析应按现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB 50011 或者

《建筑隔震设计标准》GB/T 51408 进行，设计安装做法可参考国家建筑标准设计图集《建筑结构隔震构造详图》22G610-1，其产品应符合现行行业标准《建筑隔震橡胶支座》JG 118 的规定。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《建筑抗震设计标准》GB/T50011
- 2) 《建筑与市政工程抗震通用规范》GB55002
- 3) 《建筑隔震设计标准》GB/T 51408
- 4) 《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ360
- 5) 《建筑隔震橡胶支座》JG/T118
- 6) 《叠层橡胶支座隔震技术规程》CECS126
- 7) 《建筑结构隔震构造详图》22G610-1

9.2.3 适用范围

建筑隔震技术一般应用于重要的建筑，一般指甲、乙类等特别重要的建筑；也可应用于有特殊使用要求的建筑，传统抗震技术难以达到抗震要求的或有更高抗震要求的某些建筑，也可用于抗震性能不满足要求的既有建筑的加固改造，文物建筑及有纪念意义的建（构）筑物的保护等。

9.2.4 工程案例

山西大学附属小学综改示范区分校建设项目、太原市大东关小学综合教学楼项目、临汾市第三人民医院异地新建项目（消化科住院楼）、大同市云州区托儿所项目、忻州市创奇高中项目等。

9.3 结构构件加固技术

9.3.1 技术内容

结构构件加固技术常用的有钢绞线网片聚合物砂浆加固技术、外包钢加固技术和高延性混凝土加固技术。

钢绞线网片聚合物砂浆加固技术是在被加固构件进行界面处理后，将钢绞线网片敷设于被加固构件的受拉部位，再在其上涂抹聚合物砂浆。其中钢绞线是受力的主体，在加固后的结构中发挥其高于普通钢筋的抗拉强度；聚合物砂浆有良好的渗透性、对氯化物和一般化工品的阻抗性好，粘结强度和密实程度高，一方面可起保护钢绞线网片的作用，另一方面将其粘结在原结构上形成整体，使钢绞线网片与原结构构件变形协调、共同工作，以有效提高其承载能力和刚度。

外包钢加固法是在钢筋混凝土梁、柱四周包型钢的一种加固方法，可分为干式和湿式两种。湿式外包钢加固法，是在外包型钢与构件之间采用改性环氧树脂化学灌浆等方法进行粘结，以使型钢与原构件能整体共同工作。干式外包钢加固法的型钢与原构件之间无粘结（有时填以水泥砂浆），不传递结合面剪力，与湿式相比，干式外包钢法施工更方便，但承载力的提高不如湿式外包钢法有效。

高延性混凝土是由胶凝材料、骨料、外加剂和合成纤维等原材料组成，按一定比例加水搅拌、成型以后，具有高韧性、高抗裂性能和高耐损伤能力的新型特种混凝土。加固方法为在原结构构件表面增设一定厚度的高延性混凝土，提高结构整体性、构件承载力和抗震能力的加固方法。

9.3.2 技术指标

- (1) 《混凝土结构加固设计规范》GB 50367
- (2) 《砌体结构加固设计规范》GB50702
- (3) 《钢结构加固设计标准》GB51367
- (4) 《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB50550
- (5) 《既有建筑鉴定与加固通用规范》GB 55021
- (6) 《钢结构设计规范》GB 50017
- (7) 《建筑抗震加固技术规程》JGJ 116
- (8) 《高延性混凝土加固技术规程》DBJ04 / T 397
- (9) 《钢绞线网片聚合物砂浆加固技术规程》JGJ 337
- (10) 《城市桥梁结构加固技术规程》CJJ/T239
- (11) 《建筑结构体外预应力加固技术规程》JGJ/T279
- (12) 《预应力高强钢丝绳加固混凝土结构技术规程》JGJ/T325
- (13) 《钢绞线网片聚合物砂浆加固技术规程》JGJ337
- (14) 《纤维片材加固砌体结构技术规范》JGJ/T381
- (15) 《纤维片材加固修复结构用粘接树脂》JG/T166
- (16) 《结构加固修复用碳纤维片材》JG/T167
- (17) 《粘钢加固用建筑结构胶》JG/T271
- (18) 《结构加固修复用玻璃纤维布》JG/T284
- (19) 《混凝土结构加固用聚合物砂浆》JG/T289
- (20) 《结构加固用玄武岩纤维片材》JG/T365
- (21) 《碳纤维增强复合材料加固混凝土结构技术规程》T/CECS 146
- (22) 《喷射混凝土加固技术规程》CECS161
- (23) 《水泥复合砂浆钢筋网加固混凝土结构技术规程》CECS 242
- (24) 《建筑结构体外预应力加固技术规程》T/CECS 1111
- (25) 《特种加固混凝土应用技术规程》T/CECS 1192
- (26) 《外套钢管混凝土加固混凝土柱技术规程》T/CECS 1217
- (27) 《既有建筑地下空间加固技术规程》T/CECS 1423
- (28) 《外套钢管增大截面加固用灌注材料技术规程》T/CECS 1444
- (29) 《纤维增强复合材料加固修复钢结构技术规程》YB/T 4558
- (30) 《农村房屋高延性混凝土加固技术标准》DBJ04/T438
- (31) 《古建筑砖石结构维修与加固技术规范》GB/T 39056

9.3.3 适用范围

钢绞线网片聚合物砂浆加固技术适用于砌体结构砖墙、钢筋混凝土结构梁、板、柱和节点的加

固。外包钢加固技术适用于需要提高截面承载能力和抗震能力的钢筋混凝土梁、柱结构的加固。高延性混凝土加固技术多用于砌体结构的加固。

9.3.4 工程案例

山西督军府旧址项目、山西医科大学临床医学研究中心北楼项目、太原体育运动学校项目等。

9.4 建筑移位技术

9.4.1 技术内容

建筑物移位技术是指在保持房屋建筑与结构整体性和可用性不变的前提下，将其从原址移到新址的既有建筑保护技术。建筑物移位具有技术要求高、工程风险大的特点。建筑物移位包括以下技术环节：新址基础施工、移位基础与轨道布设、结构托换与安装行走机构、牵引设备与系统控制、建筑物移位施工、新址基础上就位连接。其中结构托换是指对整体结构或部分结构进行合理改造，改变荷载传力路径的工程技术，通过结构托换将上部结构与基础分离，为安装行走机构创造条件；移位轨道及牵引系统控制是指移位过程中轨道设计及牵引系统的实施，通过液压系统施加动力后驱动结构在移位轨道上行走；就位连接是指建筑物移到指定位置后原建筑与新基础连接成为整体，其中可靠的连接处理是保证建筑物在新址基础上结构安全的重要环节。

9.4.2 技术指标

- (1) 《建（构）筑物移位工程技术规程》JGJ/T239
- (2) 《建筑物移位纠倾增层改造技术标准》CECS225
- (3) 《桥梁顶升移位改造技术规范》GB/T51256
- (4) 《建筑变形测量规范》JGJ8

9.4.3 适用范围

适用于具有使用价值或保留价值或历史价值的既有建（构）物的整体移位，对于这些既有建（构）物因规划调整、小区平面布置改变等原因，需整体从原址移位到附近新址，其移位方式包括平移、旋转及局部顶升。可考虑进行移位的建（构）筑物为：一般工业与民用建筑，其层数为多层，其结构形式可包括砌体结构、钢筋混凝土结构、砖木结构、钢结构等；其他构筑物；古建筑、历史建筑与特殊建筑。

9.4.4 工程案例

太原市迎泽公园北大门项目等。

9.5 结构无损性拆除技术

9.5.1 技术内容

无损性拆除技术主要包括金刚石无损钻切技术和水力破除技术，这两种技术对结构产生的扰动小，对保留结构基本无冲击，不损坏保留结构的性能状态，同时它具有低噪声、轻污染、效率高的特点。主要用于既有建（构）物结构改造时部分结构与构件的无损性拆除。

- (1) 金刚石无损钻切技术

利用金刚石工具包括金刚石绳锯、金刚石圆盘锯、金刚石薄壁钻等，通过其对既有混凝土结构构件进行锯切、切削与钻孔形成切割面，将结构需切割拆除的部分与保留的结构分离，满足保留既有混凝土结构的受力性能和使用寿命的技术要求。

(2) 水力破除技术

水力破除技术是采用高速水射流来破除混凝土的静力铣刨技术。混凝土是多孔材料且抗拉强度相对较低，高速水射流穿透混凝土孔隙时产生内压，当内压超过混凝土的抗拉强度时，混凝土即被破除，而水流对钢筋没有影响，故钢筋可以原样保留。

9.5.2 技术指标

(1) 金刚石无损钻切技术

1) 金刚石绳锯：

绳索的变向是通过导向轮的组合安装来实现的，施工过程中导向轮的安装与主动驱动轮中的位置关系应巧妙的设计，以满足切割要求。

绳索切割线速度不低于 18m/s。

金刚石绳索的质量标准应满足切割过程中最大张拉强度的要求。

2) 金刚石圆盘锯：

切割锯片与切割深度的关系见表 9.5.1。

表 9.5.1 切割锯片与切割深度关系表

锯片直径 (mm)	400	600	700	1200
切割深度 (mm)	150	250	300	500

切割锯的轨道安装偏差控制在 3mm 以内，锯片固定完成后检查调整锯片与切割面的垂直度，平行于墙体切割楼板时，距离墙边最小切割距离为 30mm。

3) 金刚石薄壁钻：

采用十字画线法确定钻孔中心，孔位偏差不超过 3mm。

利用连续钻孔进行切割时，钻孔采用 $\phi 89\text{mm}$ 或 $\phi 108\text{mm}$ 孔径施工，1m 长度方向上布置钻孔数为 11~13 个。切割直线偏差小于 20mm。

(2) 水力破除技术

水力破除技术参数主要为压力、流量、冲程；如压力大、流量小则施工效率会大大降低，压力小、流量大则无法破除混凝土，冲程大则破除深度大，冲程小则破除深度小，三者有着密不可分，应针对不同标号强度、级配的混凝土参数的进行设定。具体参数详见表 9.5.2。

表 9.5.2 水力破除技术参数表

破除形式	压力 (MPa)	流量 (L/min)
机器人形式	180~220	180~220
手持式形式	220~260	20~26

9.5.3 适用范围

适用于各类既有钢筋混凝土结构建筑的局部结构拆改及有保留结构要求的工程施工。

9.5.4 工程案例

太原市通宝育杰学校中学公寓楼项目、山西太化医院门诊楼项目、介休市安全教育培训中心项目等。

9.6 深基坑施工监测技术

9.6.1 技术内容

基坑工程监测是指通过对基坑控制参数进行一定期间内的量值及变化进行监测，并根据监测数据评估判断或预测基坑安全状态，为安全控制措施提供技术依据。

监测内容一般包括支护结构的内力和位移、基坑底部及周边土体的位移、周边建筑物的位移、周边管线和设施的位移及地下水状况等。

监测系统一般包括传感器、数据采集传输系统、数据库、状态分析评估与预测软件等。

通过在工程支护（围护）结构上布设位移监测点，进行定期或实时监测，根据变形值判定是否需要采取相应措施，消除影响，避免进一步变形发生的危险。监测方法可分为基准线法和坐标法。

在水平位移监测点旁布设围护结构的沉降监测点，布点要求间隔 15~25m 布设一个监测点，利用高程监测的方法对围护结构顶部进行沉降监测。

基坑围护结构沿垂直方向水平位移的监测，用测斜仪由下至上测量预先埋设在墙体内测斜管的变形情况，以了解基坑开挖施工过程中基坑支护结构在各个深度上的水平位移情况，用以了解和推算围护体变形。

临近建筑物沉降监测，利用高程监测的方法来了解临近建筑物的沉降，从而了解其是否会引起不均匀沉降。

在施工现场沉降影响范围之外，布设 3 个基准点为该工程临近建筑物沉降监测的基准点。临近建筑物沉降监测的监测方法、使用仪器、监测精度同建筑物主体沉降监测。

9.6.2 技术指标

- (1) 《工程测量规范》GB 50026
- (2) 《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497

9.6.3 适用范围

用于深基坑钻、挖孔灌注桩、地连墙、重力坝等围（支）护结构的变形监测。

9.6.4 工程案例

在潇河新能源新材料产业基地项目中来新能源科技馆基坑监测、太原苏宁广场项目基坑变形监测等多数深大基坑工程中均有应用。

9.7 大型复杂结构施工安全性监测技术

9.7.1 技术内容

大型复杂结构是指大跨度钢结构、大跨度混凝土结构、索膜结构、超限复杂结构、施工质量控制要求高且有重要影响的结构、桥梁结构等，以及采用滑移、转体、顶升、提升等特殊施工过程的结构。

大型复杂结构施工安全性监测以控制结构在施工期间的安全为主要目的,重点技术是通过检测结构安全控制参数在一定期间的量值及变化,并根据监测数据评估或预判结构安全状态,必要时采取相应控制措施以保证结构安全。监测参数一般包括变形、应力应变、荷载、温度和结构动态参数等。

监测系统包括传感器、数据采集传输系统、数据库、状态分析评估与显示软件等。

9.7.2 技术指标

- (1) 《工程测量规范》GB 50026
- (2) 《建筑变形测量规范》JGJ 8
- (3) 《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB 50982
- (4) 《大跨度钢结构监测技术规程》T/CECS 1339

9.7.3 适用范围

大跨度钢结构、大跨度混凝土结构、索膜结构、超限复杂结构、施工质量控制要求高且有重要影响的建筑结构和桥梁结构等,包含有滑移、转体、顶升、提升等特殊施工过程的结构。

9.7.4 工程案例

在大同大剧院钢筋混凝土薄壳结构等大跨空间结构,大同美术馆三角锥钢结构顶推滑移工程等特殊结构中有应用。

9.8 爆破工程监测技术

9.8.1 技术内容

在爆破作业中爆破振动对基础、建筑物自身、周边环境物均会造成一定的影响,无论从工程施工的角度还是环境安全的需要,均要对爆破作业提出控制,将爆破引发的各类效应列为控制和监测爆破影响的重要项目。

爆破监测的主要项目主要包括:(1)爆破质点振动速度;(2)爆破动应变;(3)爆破孔隙动水压力;(4)爆破水击波、动水压力及涌浪;(5)爆破有害气体、空气冲击波及噪声;(6)爆破前周边建筑物的检测与评估;(7)爆破中周边建筑物振动加速度、倾斜及裂缝。

振动速度加速度传感器、应变计、渗压计、水击波传感器、脉动压力传感器、倾斜计、裂缝计等分别与各类数据采集分析装置组成监测系统;对有害气体的分析可采用有毒气体检测仪;空气冲击波及噪声监测可采用专用的爆破噪声测试系统或声级计。

9.8.2 技术指标

- (1) 《爆破安全规程》GB 6722
- (2) 《工作场所空气中粉尘测定》GBZ/T 192.6
- (3) 《水电水利工程爆破安全监测规程》DL/T 5333

9.8.3 适用范围

适用于市政工程、海港码头、铁路、公路、水利水电工程中的岩石类爆破。

9.8.4 工程案例

目前该项技术在国内其他省份水利水电工程中应用较为广泛。省外典型工程如三峡水利枢纽三期上游围堰拆除工程、小浪底水利枢纽的左右岸开挖工程、秦山核电站大型基坑开挖爆破工程、南水北调丹江口水库加高工程等。

9.9 受周边施工影响的建（构）筑物检测、监测技术

9.9.1 技术内容

周边施工指在既有建（构）筑物下部或临近区域进行深基坑开挖降水、地铁穿越、地下顶管、综合管廊等的施工，这些施工易引发周边建（构）筑物的不均匀沉降、变形及开裂等，致使结构或既有线路出现开裂、不均匀沉降、倾斜甚至坍塌等事故，因此有必要对受施工影响的周边建（构）筑物进行检测与风险评估，并对其进行施工期间的监测，严格控制其沉降、位移、应力、变形、开裂等各项指标。

各类穿越既有线路或穿越既有建（构）筑物的工程，施工前应按施工工艺及步骤进行数值模拟，分析地表及上部结构变形与内力，并结合计算结果调整和设定施工监控指标。

9.9.2 技术指标

- (1) 《工程测量规范》GB 50026
- (2) 《建筑变形测量规范》JGJ 8
- (3) 《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497

9.9.3 适用范围

周边施工包含深基坑施工、地铁穿越施工、地下顶管施工、综合管廊施工等。

9.9.4 工程案例

在太原市轨道交通2号线车站项目基坑开挖周边民楼影响监测、九院沙河道路快速化改造及综合治理工程周边建筑变形监测、并州饭店会议中心基坑及周边建筑变形监测等项目中均有应用。

9.10 隧道安全监测技术

9.10.1 技术内容

对隧道衬砌结构变形监测，根据监测数据判定隧道的安全性，实现隧道安全监测。

监测系统应包括监测断面测点棱镜、自动全站仪、通讯装置、控制计算机以及数据中心服务器，采用实时在线控制方式，可实现数据的受控采集和实时分析，同时实现监测数据和报警信息的实时发布。

系统实施具体要求如下：

- (1) 在隧道衬砌结构表面设置监测断面，监测断面应设置在变形影响区内，监测断面间距一般5~15m，特殊地质地段和重要构筑物附近的断面应适当加密。
- (2) 每个监测断面设置监测棱镜若干，一般要在拱顶、拱腰、拱脚等部位设置监测点。
- (3) 在监测区域外的稳定区布置基准断面，可以在监测区外布置2个基准断面，每断面设置棱镜2~5个，两基准断面之间棱镜组成基线，采用自动全站仪进行基于基线的变形测量。
- (4) 自动全站仪应尽量设置在两个基准断面之间，同时要避让最大变形区域，减少监测过程中

具有有限角度补偿的自动全站仪的人工纠偏工作量。

(5) 监测报警阈值根据现场实际情况计算设置，同时符合相关规范。

9.10.2 技术指标

(1) 《工程测量规范》GB 50026

(2) 《城市轨道交通工程测量规范》GB 50308

9.10.3 适用范围

施工和运营中的隧道安全监测。

9.10.4 工程案例

在太原市轨道交通 2 号线项目安全监测有应用。

9.11 地基干涉合成孔径雷达变形监测

9.11.1 技术内容

地基干涉合成孔径雷达 (InSAR, Interferometric Synthetic Aperture Radar) 是一种利用雷达技术进行成像的高分辨率遥感技术。它通过利用雷达波束的相干性,对地面目标进行高精度的成像,具有全天候、全天时、高分辨率等优点,被广泛应用于军事、民用、科研等领域。用于监测地球表面的变化,包括地壳运动、地表沉降、建筑物变形和地质灾害等。地基合成孔径雷达为近距离遥感监测边坡、开展滑坡预警预报工作提供了先进的技术手段,其能够为准确定位滑体位置、圈定滑体规模、分析判断滑坡风险及预测滑坡时间提供丰富的数据源。

(1) 工作原理

合成孔径雷达的工作原理是利用雷达波束的相干性,通过对目标反射回来的雷达信号进行处理,得到目标的高精度成像。具体来说,合成孔径雷达的工作过程可以分为以下几个步骤:

- 1) 发射雷达波束:合成孔径雷达通过发射一束高频电磁波,将其照射到地面目标上。
- 2) 接收反射信号:地面目标反射回来的雷达信号被接收器接收,并转换成电信号。
- 3) 信号处理:接收到的雷达信号经过一系列的信号处理,包括滤波、解调、去噪等,以提高信号的质量和可靠性。
- 4) 形成合成孔径:合成孔径雷达通过对多次接收到的雷达信号进行处理,形成一个虚拟的大孔径,从而提高雷达成像的分辨率。
- 5) 成像处理:利用形成的合成孔径,对目标进行成像处理,得到高精度的雷达图像。

(2) 技术优点

- 1) 高空间分辨率:InSAR 可以提供高空间分辨率的地表变化信息,使其适用于狭小区域的监测。
- 2) 遥感性能:不受天气和光照条件限制,可以进行全天候监测。
- 3) 长时间监测:可以进行长期、连续的监测,以检测潜在问题的演变趋势。
- 4) 定量测量:提供了定量的地表变化数据,有助于科学研究和决策支持。

9.11.2 技术指标

雷达主机技术指标

- (1) 监测精度：优于 0.1mm。
- (2) 分辨率：距离向分辨率优于 0.15m，方位向分辨率优于 7.5mrad。

9.11.3 适用范围

地基-InSAR 在地理信息、地质和环境监测领域有广泛的应用，包括但不限于以下方面：

- (1) 地壳变形监测：可以检测地震引发的地壳运动、火山活动、构造地质变化等，有助于预测潜在的地质灾害。
- (2) 沉降监测：用于监测城市地区的地表沉降，例如地下水抽取引起的地面下陷。
- (3) 建筑物变形：用于监测建筑物、桥梁和基础设施的变形，有助于维护和安全。
- (4) 农业和森林监测：用于检测土地利用、植被生长和土壤湿度等变化。
- (5) 地质灾害预警：可以提前警示山体滑坡、泥石流、岩崩等自然灾害。

9.11.4 工程案例

目前该项技术在省内暂无典型工程案例，国内其他省份有一定的应用，我省也具有推广应用价值。省外在国家电网四川电力输变电地质灾害、西南交通大学高陡隐蔽崩塌滑坡、银泰黄金青海大柴旦矿业有限公司露天矿山边坡、潞安新疆煤化工（集团）有限公司露天矿山边坡、包钢集团乌海矿业露天矿山边坡、马钢集团南山矿露天矿山边坡等工程的监测中均有应用。

10 智慧建造技术

10.1 基于 BIM 的现场施工信息管理技术

基于 BIM 的现场施工信息管理技术，利用 BIM 技术、移动互联网等信息技术手段，实现施工过程的可视化、虚拟化协同管理。在施工阶段，需要对设计阶段的施工图模型进行信息添加、更新和完善，形成满足施工需求的施工模型。通过基于施工模型的深化设计，以及施工场地布置、施工工艺流程模拟、可视化交底等各管理环节的动态协同，实现施工过程的模拟和优化。同时，利用移动物联网技术，可以实现施工现场的实时数据采集、存储和分析，为项目建造过程的各参与方提供准确、及时的信息支持，以支持施工决策，提高施工效率和质量。

10.1.1 技术内容

(1) 基于 BIM 技术，创建施工 BIM 模型，实现设计与施工阶段的无缝衔接。在模型中添加详细的属性信息，包括建筑结构、机电设备、材料等，确保信息的准确性和一致性。

(2) 利用 BIM 技术的可视化、可模拟、可协调能力，进行多专业综合碰撞检查、分析和模拟。通过 BIM 模型的虚拟施工，可以提前发现和解决潜在的设计和施工问题，减少返工和浪费，提高施工效率和质量。

(3) 采用具备角色管控、分级授权、流程管理、数据管理、模型展示等功能的 BIM 施工现场管理平台。平台应具备强大的协同管理能力，实现不同专业、不同部门之间的信息共享和沟通，提高决策效率和施工进度。

(4) 通过物联网技术，自动采集施工现场实际进度信息，与项目计划进度进行虚拟比对。通过实时数据采集和分析，可以更好地监控施工进度，及时调整施工计划，确保项目按时完成。

(5) 利用移动设备采集施工现场的图片、视频信息，并自动上传到 BIM 施工现场管理平台，实现质量管理任务的在线分配和及时跟踪的闭环管理。移动设备的便携性和实时性使得现场管理人员可以随时随地进行数据采集和任务分配，提高管理效率和质量。

(6) 运用 BIM 技术，对危险源进行可视标记、定位和查询分析，并在模型中标记安全围栏、标识牌、遮拦网等需要进行安全防护和警示的地方，确保安全施工。通过 BIM 技术的可视化展示，可以更加清晰地了解施工现场的危险源和安全措施，增强安全意识和管理效果。

(7) 具备与其他系统进行集成的能力，实现更高效、智能的施工现场管理。例如，与工程管理软件、材料管理系统等其他系统进行集成，实现数据的共享和交互，提高管理效率和准确性。

(8) 通过 BIM 技术的运用，提高施工效率和质量，降低成本，并保障施工人员的安全。在施工阶段进行虚拟施工，协调不同专业之间的施工活动，保障施工人员安全。运用 BIM 技术和物联网技术等手段，可以更加全面地监控施工现场的安全状况和及时采取相应的安全措施。

(9) 应具备与其他系统进行集成的能力。

10.1.2 技术指标

(1) 《智慧工地总体规范》T/CIA 014

(2) 《智慧工地建设规范》T/CIA 015

(3) 《智慧工地应用规范》T/CIA 016

10.1.3 适用范围

适用于建筑工程项目施工阶段的深化、场布、施组、进度、材料、设备、质量、安全等业务管理环节的现场协同动态管理。

10.1.4 工程案例

山西晋中矿山综合治理技术研究中心项目，太原邮件处理中心项目，杏花岭区文化活动中心，山西省人民医院新院区项目，山西省基因检测与药物研发基地项目，霍州市人民医院项目，寿阳县人民医院迁址新建项目，沁源县县委党校建设项目，黎城县智慧产业园建设项目。

10.2 基于 BIM 的装配式机房数字化建造技术

基于 BIM 的装配式机房数字化建造技术可以实现从设计到施工的全过程数字化管理和自动化生产，提高施工质量和效率，降低建筑成本和资源消耗。

10.2.1 技术内容

(1) 正向设计

通过项目前期策划、建立项目实施标准明确项目实施目标。设计、施工、BIM 及各相关参与方综合设计规范、施工规范、运维需求等因素，针对机房设计中的管线连接、管线管径、管线附件等进行优化设计，管线综合方案完成后，通过三维模型输出平面图、设备基础定位图、设备定位图、排水沟路由布置图、风管平面定位图、工艺管线平面布置图、支吊架定位尺寸图及详图、桥架路由布置图等。完成正向设计工作。

应用测量设备或三维激光扫描仪等仪器设备，完成土建空间尺寸校验，确保设计模型与现场实体保持一致。提高机电安装模型的准确性。

(2) 工厂化预制

模块拆分及构件编码：通过设置装配拆分规则，对机房中工艺管线综合模型进行拆分，形成组装装配式单元构件，并添加构件编码信息，便于施工过程中的构件追踪和后期平台化数据的提取和物料追踪。

形成订单：从 BIM 模型上提取参数化信息，数据处理完成后生成构建加工清单，加工数据批量生成二维码，附加在表单中生成加工计划清单。

模块准备及产品加工：将系统各部件组装成“模块”结构，在场外加工站预制成单元模块并整体运输，从而有效地利用土建作业时间段，大幅缩短机电工程作业周期。

成品管理：采用二维码、无线射频等技术进行物流管理，通过识别模块二维码完成劳务人员技术交接，使构件的物流信息实时更新，实现构件追踪。分类做好成品保护。

(3) 装配化施工

采用大型模块整体运输技术，在场外将单元模块组对完成，进行整体吊装运输，运至现场后直接进行

拼装，完成装配式机房数字化建造。

10.2.2 技术指标

- (1) 《建筑给水排水及采暖工程施工质量验收规范》GB 50242
- (2) 《通风与空调工程施工质量验收规范》GB 50243
- (3) 《建筑电气工程施工质量验收规范》GB 50303
- (4) 《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268
- (5) 《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300

10.2.3 适用范围

适用于工业与民用建筑工程、城市轨道交通工程、电站等在建或扩建项目。

10.2.4 工程案例

太原武宿国际机场三期改扩建工程机电安装项目、山西潇河新城能源岛项目、山西金能铜钢镓硒薄膜太阳能动力站项目、山西农谷智慧冷链物流园项目、山西建筑产业现代化（晋南）园区一期项目建筑工业化装配式构件生产基地办公楼项目、建投·祥溪国际、山西工程科技职业大学项目。

10.3 基于 BIM 的轻量化数字平台应用技术

BIM 轻量化数字平台应用技术通过集成建筑信息模型、数据可视化、协同设计、施工管理等多种功能，以 BIM 模型为基础，利用数据标准和互操作性，实现多专业协同设计和数据可视化与模拟分析，实现施工过程的数字化和精细化管理。平台可以收集、存储、处理和共享大量数据，包括设计、施工、运维等各个环节的数据，提供全面的信息支持，帮助项目团队更好地了解项目状况，及时作出决策和优化方案。平台还提供强大的数据管理功能，对收集到的数据进行深入挖掘和分析，提取有价值的信息和知识。为建筑行业提供更加全面、准确和实时的决策支持，大大提高设计效率、降低成本、减少错误和变更的风险，实现更高效、可持续和智能的建筑设计和施工。

10.3.1 技术内容

(1) 模型轻量化与优化：利用 BIM 技术建立三维施工模型，并采用轻量化处理方法，实现模型的快速加载和渲染。同时，优化模型数据结构，降低对计算资源的要求，提高模型操作流畅度。

(2) 数据采集与集成：通过物联网技术，实时采集施工现场的数据，包括进度、质量、安全等信息。实现不同数据源的整合与集成，为数据分析提供统一的数据基础。

(3) 协同设计与施工：采用 BIM 技术的可视化特性，实现不同专业之间的协同作业。设计人员和施工人员可以在同一平台上进行模型查看和操作，减少沟通成本和信息不一致的问题。

(4) 智能决策支持：利用人工智能和大数据分析技术，对施工现场数据进行挖掘和分析。为项目管理者提供预测性分析和决策支持。

(5) 安全监控与预警：利用物联网技术和 BIM 技术，实现对施工现场的安全监控。在模型中标记危险源和安全设施的位置，并实时采集安全数据，及时发现安全隐患并采取预警措施。

(6) 云端存储与共享：利用云计算的存储和共享功能，实现施工现场数据的云端存储和共享。

项目管理者可以随时随地访问和查看数据和模型，提高管理效率。同时，云端存储保障数据的安全性和可靠性。

(7) 实时动态更新：基于 BIM 轻量化数字平台技术，实现对施工现场的实时动态更新。随着施工进度的推进，不断优化和完善 BIM 模型，保持模型的准确性和可靠性。同时，动态更新确保施工现场数据的及时性和准确性。

(8) 多平台支持与兼容性：BIM 轻量化数字平台应支持多种主流操作系统和移动设备，确保项目管理者可以在不同的平台上方便地查看和操作模型。

(9) 用户权限管理与安全性：具备用户权限管理系统，对不同用户角色进行授权管理。确保只有具备相应权限的用户才能访问和操作数据和模型。同时，应采用先进的数据加密技术，保障用户数据的安全性。

(10) 自定义功能与扩展性：平台应提供可自定义的功能模块，允许用户根据项目需求调整和扩展平台的功能。这包括但不限于界面设计、数据分析方法、安全策略等。

(11) 数据可视化与交互性：模型中的数据应以直观的可视化方式呈现给用户，包括但不限于图表、图像等。此外，用户应能够在模型上进行交互操作。

(12) 实时指导与预警：平台应能根据施工现场的数据分析结果，自动生成实时的施工指导建议或预警信息。这些建议或信息应基于数据分析结果，帮助施工人员更好地理解施工情况并提高施工效率。

(13) 历史数据记录与分析：平台应能记录和分析历史施工现场数据，以便项目管理者更好地了解过去的施工情况，包括施工进度、质量、安全等信息，有助于项目管理者做出更准确的决策和预测。

(14) 施工过程回溯与审计：通过记录并分析整个施工过程的数据，平台应能实现施工过程的回溯和审计功能。这有助于项目管理者更好地了解施工过程中的问题和改进点，提高施工质量和效率。

(15) 应具备与其他平台进行数据互通的能力。

10.3.2 技术指标

- (1) 《建筑信息模型应用统一标准》GBT 51212
- (2) 《建筑信息模型存储标准》GBT 51447
- (3) 《建筑信息模型施工应用标准》GBT 51235
- (4) 《建筑信息模型施工应用标准》DBJ04/T 422
- (5) 《建筑信息模型全生命期应用标准》DBJ04/T 420
- (6) 《建筑信息模型全生命期应用标准》DBJ04/T 420
- (7) 《智慧工地总体规范》T/CIA 014
- (8) 《智慧工地建设规范》T/CIA 015
- (9) 《智慧工地应用规范》T/CIA 016

10.3.3 适用范围

可以应用于建筑、土木工程、机电工程等各个领域的设计、施工、设备管理、维护以及城市规

划等方面。

10.3.4 工程案例

太原武宿国际机场三期改扩建工程停车楼项目、山西建筑产业现代化园区（一期）项目、太原人才公寓项目、武乡县工人文化宫项目、山西医科大学迎泽校区学生公寓建设项目、太原师范学院教师教育实训中心项目、太原市卫生学校新校建设项目、大同御东移动综合楼项目。

10.4 基于 BIM+全景图的实模一致验收技术

基于 BIM+全景图的实模一致验收技术是指以 BIM 技术为载体结合全景成像技术，对项目的施工现场全过程进行全景图片记录，经过 AI 算法分析，将数字孪生理念应用于建筑科技，实现工地孪生，形成一份穿越时间的数字记录，以反映相应实体建筑的全生命周期过程，从而落地 BIM 运用价值，优化建筑管理方法，大幅提升管理效率。在现场施工过程中，依托 BIM+全景图技术，通过全景图片和 BIM 模型进行对比，发现施工现场与 BIM 模型之间的异同之处，借此协助项目管理人员进行施工现场与 BIM 模型一致性（简称“实模一致”）的检查，从而实现对项目质量、安全和进度问题的跟踪管控，以及对项目施工现场的远程监管，并保存大量的施工过程数据，最终实现竣工 BIM 模型数据成为有效的数字资产。

10.4.1 技术内容

（1）项目通过全景相机扫描，获取项目施工现场真实三维场景，将数据上传云服务器，并与设计模型、设计图纸、效果图、样板房等进行实时比对查看，实现远程巡查现场的功能，大幅减少现场工作量。

（2）使用全景相机每周及重要节点对项目进行拍摄，实现项目从最初到结束全程全景记录，反映相对应的实体建筑的全生命周期过程，最终保证工程可溯源，让施工过程数据成为竣工数字资产。

（3）将现场全景照片与 BIM 模型对比，发现施工现场与 BIM 模型之间的异同之处，对问题进行标注并指定相关责任人查看问题、并在问题处理完后提交反馈及更改状态。记录工程细节。

（4）在隐蔽工程及机电管线安装施工前进行方案交底及全景记录，隐蔽工程全面留痕，方便工程竣工后定位设备和管线，在需要工程拆改时，快速回溯找到关键问题位置，精准拆改零误差，节约人工及时间成本，减少拆改浪费。

10.4.2 技术指标

- （1）《建筑信息模型应用统一标准》GBT 51212
- （2）《建筑信息模型存储标准》GBT 51447
- （3）《建筑信息模型施工应用标准》GBT 51235
- （4）《建筑信息模型施工应用标准》DBJ04/T 422

10.4.3 适用范围

适用于建筑工程项目施工阶段的管理模式、进度、质量、安全、资料、验收等业务管理环节的现场协同动态管理。

10.4.4 工程案例

山西潇河国际会议中心项目、清徐智创科研双创产业园项目、中国知网数字出版与数字图书馆项目、国瑞企业总部龙瑞苑商务写字楼项目等。

10.5 基于 AR 技术的质量验收技术

将 BIM 模型在真实环境中进行精确定位，叠加在项目现场，清晰直观地反映方案要求，如机电安装工程排布走向，为施工提供可视化的参考和指导。施工前，对施工人员进行现场交底、指导。检查验收时对比现场与设计模型是否一致，提升现场检查验收的效率和质量，实现对工程施工质量过程中的精准控制。

10.5.1 技术内容

模型 1:1 定位：通过移动终端（iOS 设备或 Android 设备）背后的单一摄像头，进行即时建图与定位功能；将建筑 BIM 模型与设备 BIM 模型以增强现实的技术显示在即时建图与定位的特定环境的特定位置；在建筑 BIM 模型与设备 BIM 模型的特定位置通过交互方法精确还原三维结构和属性信息，支持微调功能与微调保存；服务于建筑内部精确位置的可视化需求，最大化发挥现场环境三维模型的价值；

BIM 模型查看与交互：使用 Web 端平台或 Windows 客户端安装包，进行.rvt 模型的上传；exe 端支持对 3D 模型的查看，在移动终端（iOS 设备或 Android 设备）实现模型下载与三维模型轻量化 3D、AR 展示；支持 BIM 模型轻量化加载或其他格式三维模型加载与显示；保留完整的 BIM 几何特征和 BIM 属性。支持 BIM 模型分专业控制显隐与调整透明度。

工单创建与验收：允许截图、录制视频；允许添加文字，进行标记；允许在验收过程中对模型专业进行分层查看，对验收状态进行分层查看；提供 AR 虚拟尺子进行测量；验收消息，通知或整改单生成后，可以在软件内部进行查看验收消息，通知或整改单生成之后，可发送给整改人员，以完成施工现场问题的流转解决、记录留痕。支持自定义选择不同时间、位置范围的工单生成 word 文档，进行线下存档。

10.5.2 技术指标

- (1) 《建筑信息模型应用统一标准》GBT 51212
- (2) 《建筑信息模型存储标准》GBT 51447
- (3) 《建筑信息模型施工应用标准》GBT 51235
- (4) 《建筑信息模型施工应用标准》DBJ04/T 422

10.5.3 适用范围

适用于建筑工程项目施工阶段的现场交底和验收环节，施工各专业衔接阶段的提前复核，以及竣工阶段的隐蔽工程检查验收。

10.5.4 工程案例

太原武宿机场 T3 航站楼项目、潇河国际会展中心项目、潇河国际会展中心南侧组团项目、太原

万马商务中心项目、山西工程科技职业大学项目等。

10.6 基于大数据的项目成本分析与控制信息技术

基于大数据的项目成本分析与控制信息技术，是利用项目成本管理信息化和大数据技术更科学和有效地提升工程项目成本管理水平 and 管控能力的技术。通过建立大数据分析模型，充分利用项目成本管理信息系统积累的海量业务数据，按业务板块、地区、重大工程等维度进行分类、汇总，对“工、料、机”等核心成本要素进行分析，挖掘出关键成本管控指标并利用其进行成本控制，从而实现工程项目成本管理的过程管控和风险预警。

10.6.1 技术内容

(1) 项目成本管理信息化技术是要建设包含收入管理、成本管理、资金管理和报表分析等功能模块的项目成本管理信息系统。

(2) 收入管理模块应包括业主合同、验工计价、完成产值和变更索赔管理等功能，实现业主合同收入、验工收入、实际完成产值和变更索赔收入等数据的采集。

(3) 成本管理模块应包括价格库、责任成本预算、劳务分包、专业分包、机械设备、物资管理、其他成本和现场经费管理等功能，具有按总控数量对“工、料、机”的业务发生数量进行限制，按各机构、片区和项目限价对“工、料、机”采购价格进行管控的能力，能够编制预算成本和采集劳务、物资、机械、其他、现场经费等实际成本数据。

(4) 资金管理模块应包括债务支付集中审批、支付比例变更、财务凭证管理等功能，具有对项目部资金支付的金额和对象进行管控的能力，实现应付和实付资金数据的采集。

(5) 报表分析应包括“工、料、机”等各类业务台帐和常规业务报表，并具备对劳务、物资、机械和周转料的核算功能，能够实时反映施工项目的总体经营状态。

(6) 分析项目成本控制指标：

1) 采用大数据采集技术，建立项目成本数据采集模型，收集成本管理系统中存储的海量成本业务数据。

2) 采用数据挖掘技术，建立价格指标关联分析模型，以地区、业务板块和业务发生时点为主要维度，结合政策调整、价格变化等相关社会经济指标，对劳务、物资和机械等成本价格进行挖掘，提取适合各项目的劳务分包单价、物资采购价格、机械租赁单价等数据，并输出到成本管理系统中作为项目成本的控制指标。

(7) 建立项目成本关键指标关联分析模型：

1) 采用可视化分析技术，建立项目成本分析模型，从收入与产值、预算成本与实际成本、预计利润与实际利润等多个角度对项目成本进行对比分析，对成本指标进行趋势分析和预警。

2) 实现对“工、料、机”等工程项目成本业务数据按业务板块、地理区域、组织架构和重大工程项目等分类的汇总和对比分析，找出工程项目成本管理的薄弱环节。

3) 实现工程项目成本管理价格、数量、变更索赔等关键要素的趋势分析和预警。

4) 采用数据挖掘技术形成成本管理的“量、价、费”等关键指标，通过对关键指标的控制，实

现成本的过程管控和风险预警。

(8) 采用分布式系统架构设计，降低并发量提高系统可用性和稳定性。采用 B/S 和 C/S 模式相结合的技术，Web 端实现业务单据的流转审批，使用离线客户端实现数据的便捷、快速处理。

(9) 通过系统的权限控制体系限定用户的操作权限和可访问的对象。系统应具备身份鉴别、访问控制、会话安全、数据安全、资源控制、日志与审计等功能，防止信息在传输过程中被抓包篡改。

(10) 应具备与其他系统进行集成的能力。

10.6.2 技术指标

(1) 《信息技术大数据 数据资源规划》GB/T 42450

10.6.3 适用范围

适用于加强项目成本管控的工程建设项目。

10.6.4 工程案例

山西大同大学北校区建设项目（化学与环境工程学院和生命科学学院教学实验楼），大同市柳莺路 S2 地块、S3 地块房地产项目（一期）等。

10.7 基于云计算的电子商务采购技术

基于云计算的电子商务采购技术是指通过云计算技术与电子商务模式的结合，搭建基于云服务的电子商务采购平台，针对工程项目的采购寻源业务，统一采购资源，实现企业集约化、电子化采购，创新工程采购的商业模式。构建起网络、平台、安全三大体系，实现数据的互通共享。

10.7.1 技术内容

(1) 供应链业务协同：线上采购，为采供双方提供一个线上快速交易的公正、透明、便捷的环境，针对实际情况，提供了招投标采购、询价采购、竞争性谈判采购、单一来源采购和竞价采购等采购方式；合同管理，主要包括合同编辑—合同提交送审—合同评审—合同信息共享—合同台账—补充合同等环节；订单管理，主要包括：采购商发起订单—供应商确认订单—供应商发货—采购商收货—订单结算等环节。

(2) 市场主体管理：供应商管理，包括供应商注册管理、供应商基本信息维护、供应商合作资格评审、供应商年度评审管理、供应商黑名单管理等；专家管理，包括专家基本信息管理、专家评标、评标报告编辑、专家组评标报告上传等功能。

(3) 企业运营管理：产值报量报表管理，可穿透三级管理组织，替代传统 excel 表邮箱报送、人工统计方式。

(4) 电子签章：与具备专业资质机构合作，推出线上电子签章服务，用于合同签章、结算单签章以及投标文件 CA 加密。实现了审批盖章在线化，协同高效。

(5) 完善的安全体系：基于 Internet 和移动互联网技术，充分考虑系统安全、信息安全、数据安全等方面的要求，支持多级多种安全管理，对 PC 和移动应用进行全方位的安全管控。

(6) 移动技术：移动互联网技术架构的交互模式主要由消息、浏览及丰富通话三种模式组成。

移动互联网技术架构遵循独立接入原则，在服务接入时需将应用需求从中进行提取分离，并充分考虑网络环境差异，确保服务的质量。支持移动终端设备实现供应商查询、在线跟踪查询招采详情。

(7) 大数据技术分析预测：大数据智能分析在充分理解用户业务需求的基础上，绘制专业的定制化分析报告，加强对平台数据的分析解读能力，使用户能够全面监控业务、优化业务、探寻发展。采用适合数据分析挖掘的技术支撑平台，提供数据采集、元数据管理等数据处理工具；Java 开发语言、微服务架构、MySQL 数据库等应用支撑工具，有效支持数据采集、存储、展现、分析、挖掘、应用的全过程。

10.7.2 技术指标

(1) 《信息技术 云计算 云服务级别协议基本要求》GB/T 36325

(2) 《面向大数据处理的物联网技术需求》YD/T 3517

10.7.3 适用范围

适用于建筑工程实施过程中的采购业务环节。

10.7.4 工程案例

汾酒 2030 技改原酒产储能扩建项目、山西潇河国际会展中心项目、太原武宿国际机场三期改扩建项目、长治上党职业高中项目、沁源县县委党校建设项目、运城市盐湖区粮食储备库项目、晋城海斯制药项目、太原市城区棚户区改造新建北路自来水宿舍地块项目等。

10.8 基于物联网的工程总承包项目物资全过程监管技术

基于物联网的工程总承包项目物资全过程监管技术，是指利用信息化手段建立从工厂到现场的“仓到仓”全链条一体化物资、物流、物管体系。通过手持终端设备和物联网技术，实现集装卸、运输、仓储等整个物流供应链信息的一体化管控，实现项目物资、物流、物管的高效、科学、规范的管理，解决传统模式下无法实时、准确地进行物流跟踪和动态分析的问题，从而提升工程总承包项目物资全过程监管水平。

10.8.1 技术内容

(1) 建立工程总承包项目物资全过程监管平台，实现编码管理、终端扫描、节点控制、现场信息监控等功能，同时支持单项目统计和多项目对比，为项目经理和决策者提供物资全过程监管支撑。

(2) 编码管理：以合同工程量清单为基础，采用统一编码标准，包括设备编码、部套编码、物资编码、箱件编码、工厂编号及图号编码，并自动生成可供物联网设备扫描的条形码，实现业务快速流转，减少人为差错。

(3) 终端扫描：在各个运输环节，通过手持智能终端设备，对条形码进行扫码，并上传至工程总承包项目物资全过程监管平台，通过物联网数据的自动采集，实现集装卸、运输、仓储等整个物流供应链信息共享。

(4) 节点控制：根据工程总承包计划设置物流运输时间控制节点，明确运输节点的起止时间，以便工程总承包项目物资全过程监管平台根据物联网扫码结果，动态分析偏差，进行预警。

(5) 现场信息监控：建立现场物资仓储平台，通过运输过程中物联网数据的更新，实时动态监管物资的发货、运输、到货、验收等环节，以便现场合理安排项目进度计划，实现物资全过程闭环管理。

10.8.2 技术指标

- (1) 《面向大数据处理的物联网技术需求》YD/T 3517
- (2) 《信息技术 云计算 云服务级别协议基本要求》GB/T 36325

10.8.3 适用范围

适用于工程总承包项目的物资管理环节。

10.8.4 工程案例

目前该项技术在省内省内应用工程较少，但是具有推广应用价值。省外典型工程如中建一局承建的清华大学通州金融发展和人才教育基地项目、浙江省杭州市江河汇项目、北京安贞医院通州院区项目等。

10.9 三维激光扫描应用技术

10.9.1 技术内容

三维激光扫描应用技术（3D Laser Application Technology）是利用三维激光扫描仪沿建筑物、构筑空间进行闭合路线扫描测量，通过系统软件对扫描数据进行点云拼接处理，点云拼接误差在满足精度条件下导出建筑物、构筑空间三维点云模型，通过对点云模型应用得出实际尺寸数据。三维激光扫描应用技术针对各种复杂曲面和造型的建筑物，可以达到无接触、定时和高精度的测量要求，自动和快速获取与处理各种信息，实现内外业一体化。三维激光扫描仪能够得到高精度的点云信息，结合彩色信息，可以得到尺寸精准、色彩表达逼真的立体模型，同时大量减少数据采集时间。

(1) 三维激光扫描测量工作过程，实际上就是一个不断重复的数据采集和处理过程，通过具有一定分辨率和质量的空间（x、y、z 三维立体空间）所组成的点云矩阵图来表达系统对目标物体表面的采样结果。

(2) 外业测量主要使用三维激光扫描仪对建筑物或构筑空间进行闭合路线扫描测量。三维激光扫描仪外业扫描与测量外业工作相类似，扫描仪开机前需准备标靶、规划扫描路线，根据测量要求是否需要导出点坐标，在扫描过程中将测量控制点或 1m 标高线也参照到扫描数据中，方便后期点云模型应用。

(3) 三维点云模型拼接是将三维激光扫描仪测量的各站数据通过数据处理软件按测站顺序进行拼接，最后拼接成三维点云模型。

(4) 点云模型匹配坐标系。初始点云模型中各个点数据坐标，根据初次拼接首站数据，或其中某站数据的参照点，进行坐标赋予点云模型里的其他点数据，全部由这个点换算出相对坐标。在外业扫描中如果将基准控制点或 1m 标高线导入点云数据内，在后续应用模型时可以依据控制点进行数据转换，导出点位坐标。

(5) 点云模型应用。点云模型可通过软件导出三维点云数据或是二维切片数据，包括逆向建模导出 CAD 图，供设计、施工等后续应用；点云模型与设计 BIM 模型之间误差分析；点云模型指导现场机电管线安装、钢结构及建筑幕墙安装等。

10.9.2 技术指标

(1) 主要技术指标

1) 三维激光扫描仪的技术指标主要包括扫描范围、单次测量点位精度、测距精度、测角精度、分辨率、扫描速率、扫描光斑直径、扫描间距、水平扫描角度范围、垂直扫描角度范围等，应根据工程精度的需要，并满足相应测量规范标准要求选用。利用三维激光扫描测量外业工作时，扫描仪需配合标靶（球节点、标靶纸）测一闭合路线，单站测量范围根据测量建筑物或构筑空间类型不同、测量活动空间范围不同、测量最高最远点情况，选择不同分辨率、质量值扫描建筑物或构筑空间，单站拼接精度值和整体拼接的平均精度值应满足工程误差要求，三维激光扫描测量精度应满足国家标准的要求。

2) 室内测量对于内部造型多而且复杂、工程误差值低的情况选用 4 倍或 6 倍质量，分辨率选用 1/2、1/4 或 1/5 扫描。

3) 室外小范围测量造型不规则、活动空间受限制、工程误差值低的情况选用 4 倍或 6 倍质量，分辨率选用 1/2 或 1/4，部分测站要离建筑物远一些进行扫描。

4) 室外远距离大空间扫描一般采用车载扫描仪测量，选用 2 倍或 3 倍质量，分辨率选用 1/16、1/20 或 1/32 扫描。

(2) 技术规范/标准

1) 《工程测量规范》GB 50026

2) 《地面三维激光扫描工程应用技术规程》T/CECS 790

10.9.3 适用范围

(1) 适用于室内新建工程大型复杂机房机电管线安装；装饰装修、幕墙等专业复杂点位施工；配合技术人员进行模拟施工，用于技术交底；配合 VR 技术对室内改建项目方案创建。

(2) 适用于钢结构焊接安装指导，幕墙材料下单、安装指导；既有建筑物或景观扫描逆向建模出施工图。

(3) 适用于室外远距离、大空间等测绘点云模型构建。

(4) 适用于地面景观形体测定，城市三维可视化模型的建立等。

10.9.4 工程案例

漯河国际会展中心能源岛项目、漯河国际会展中心中间组团项目、吕梁市综合展示馆暨城市广场项目、龙瑞苑商务写字楼项目、建投·祥澧国际项目等。

10.10 倾斜摄影技术

10.10.1 技术内容

大面积建筑群体工程、土方工程，利用无人机测绘技术，可快速建立三维模型，同时生成三维坐标等高线。无人机测绘具有机动性强、反应速度快、测绘信息精确度高、应用范围大、消耗资金少等优势，简化了传统人工测量的繁琐工序，大大提高现场的工作效率。无人机测绘技术能够快速生成测绘区域清晰的图像和各项数据，不仅可以提高测绘的现实性，还可以提高应急服务的能力。同时无人机在进行遥感检测作业时，还可以实施多架无人机配合工作，相关工作人员可以将测绘到的结果进行整合分析，得到大范围的监测数据。根据需要可生成实景三维模型，DOM、DTM、DEM、DSM 等高线，平面栅格图像及多种格式文件。具体实施流程如下：

(1) 选取合适的飞行器：主要根据需要测绘的范围、现场飞行环境、建模需求等因素选取，并需要考虑飞行器的相机参数、相机数量、飞行时间、成本预算等。

(2) 计划飞行路线：设定飞行区域与边界标记，并导入基础地图；设置需要的地面采样距离；设置图像覆盖率；自定义飞行路线、图像获取点、相机拍摄角度；设定安全下降区域以及返航路线。

(3) 设置地面控制点（GCP）：根据飞行高度与范围选取合适大小的对空坐标标识（一般为 X 型）；合理布置对空坐标点（至少在测绘范围的中心及四角布置）；使用 RTK-GNSS 测出对空坐标点的（X，Y，Z）数值。如飞行区域自带 RTK 地面控制站则不需要设置该参数。

(4) 飞行：一般设置为自动飞行模式，并通过控制软件和遥控器来监控飞行流程。

(5) 处理数据：导出存储图像以及飞行日志；将地理坐标信息结合在图像里面（提供每张图片中心点的三维 GPS 坐标）；将图片导出三维建模软件进行处理（可进行空中三角计算，影像照片排列，建立点云，建立网格，建立纹理等操作）；根据现场对空坐标点提取的信息对模型进行修正。

(6) 生成数据：建立分割线，数字高程模型，等高线，生成土方量的计算与分析，并可根据需求导出文件到第三方处理软件。

10.10.2 技术指标

(1) 主要技术指标

1) 外业设备关键性能技术指标：飞行设备续航时间应大于等于 15min，抗风能力不应小于 5 级，实用上升限制高度不宜小于 800m，飞行控制半径不宜小于 1km，工作温度宜在 -20~50℃，飞行器宜具备差分功能，宜配备 RTK，应支持 GPS、北斗、GNSS 等多种定位方式，并配备多轴增稳云台。对地表植物遮挡较严重的区域宜配备激光器辅助取样。正向摄影需测量应配备专业的定焦镜头焦距不宜小于 20mm，镜头的有效像素不宜小于 2400 万，以确保所获取数据效果。倾斜摄影测量相机倾斜角为 45°，相机镜头有效像素不宜小于 1500 万；采用多镜头拍摄时，镜头数量宜不少于 4 个。

2) 数据处理设备技术指标：应配置高性能的计算机用于数据的处理，该计算机应配备固态硬盘及高速机械存储盘且闲置存储空间不宜小于 2T，计算机运行内存宜大于 64G，CPU 单线程不宜低于 3.0GHz，应配备高性能的图形卡显存容量不宜小于 11G，显存位宽不宜小于 352bit，核心频率不宜小于 1600MHz。如采用局域网联网作业，局域网应当配备千兆级网络环境。数据处理设备性能应与配套处理软件需求相匹配。

3) 影像数据技术指标：在进行无人机航空摄影测量时，应对无人机航线的间隔进行准确的设置，

摄像的像片旁向重叠度应控制在 30%~40%，航向之间的重叠度在 65%~75%。

无人机航空摄影测量前应当对航线进行系统规划，无人机宜配备专用的配套航线规划软件。在需要进行测量和测绘的地区内摄影应无漏洞，且在此区域内的摄影线路数量应当合理，像片倾斜角 $\leq 2^\circ$ ，旋偏角 $< 8^\circ$ ，航线弯曲度 $< 3\%$ 。在飞行的过程中，还要确保无人机航空摄影系统保持高度的精确性，以保证摄影的像片质量符合测量的要求。

在进行像控点布设时，要求设置的像控点要能涵盖所有的摄像成图范围，确保要测量测绘的地形与其他区域的衔接没有漏洞。像控点应设在航向及旁向重叠有多张像片的区域内，具体数量以实际项目为准。

4) 其他技术指标。飞行作业应当尽量选择无风、晴天、光线良好的环境。飞行作业区域需要在 GPS 信号良好，无遮挡的环境下。作业现场应符合飞行起降条件以及无人机飞行法规操作飞行人员需要经过一定程度的技能培训。

(2) 技术规范/标准

- 1) 《工程测量规范》GB 50026
- 2) 《建筑信息模型应用统一标准》GB/T 51212
- 3) 《实景三维数据倾斜摄影测量技术规程》CH/T 3026
- 4) 《无人机航空摄影成果质量检查与验收》CH/T 1054

10.10.3 适用范围

用于设计、施工及运营过程中建立实景三维模型及 DOMDTM、DEM、DSM 模型。

10.10.4 工程案例

潞城区中华大街改造工程、山西潇河国际会议中心项目、国道 G342 晋城过境段改线工程 J01 标段、丹河新城金村新区起步区青山街东延道路工程项目等。

10.11 放样机器人应用技术

10.11.1 技术内容

放样机器人的工作原理是使用机器人对复杂区域进行快速施工放线及为各专业预留孔位；利用三维激光扫描仪对结构及外墙实时检测，获取三维模型，修正 BIM 模型更新深化设计，确保施工进度及质量控制。系统的实施具体要求如下：

(1) 从设计到现场：通过机器人将 BIM 的模型以及数据代入现场，通过机器人高效且高精度地完成管线以及设备的定位放样，快速获取大面积的空间信息，从传统单点测量跨越到面测量，实现精确设计施工。

(2) 可视化放样：放样的过程中不直接与被测目标接触，避免危险目标、不宜接触目标以及易破坏目标，规避误差，减少返工。

(3) 实时反馈：通过对现场结构完成面的复核，直接将结果反馈给设计师与现场施工人员，完成对原有设计的优化深化过程。

(4) 辅助验收：应用本项技术借助机器人精确测量管线并获取设备安装的水平度、垂直度、直线度等信息，辅助验收人员判断是否符合验收标准。

(5) 形成标准化流程：通过机器人放样测绘技术，优化现有施工流程，形成标准化施工工法，提高生产效率并保证施工质量。

10.11.2 技术指标

(1) 主要技术指标

1) 测量所选用的放样机器人应当具备自动整平功能，且整平范围不小于 3° ，宜为建筑施工放样而设计的专业版本。

2) 放样机器人的定位更新数据频率不应小于 20Hz。

3) 所选放样机器人应当具备棱镜跟踪功能，且跟踪半径不应小于 100m。

4) 设备应配备专业的配套操作软件及详细使用说明，配套软件应当支持 BIM 中三维点位信息的获取及手持移动设备的操作使用。

5) 用于获取测量参照数据的模型宜采用常用 BIM 建模软件建模，所生成的数据应当符合 IFC 国际通用标准要求。

(2) 技术规范/标准

(1) 《工程测量规范》GB 50026

(2) 《建筑信息模型应用统一标准》GB/T 51212

10.11.3 适用范围

适用于施工和运营中的土建安装，机电管道放样测量对比等。

10.11.4 工程案例

山西潇河国际会展中心南侧组团、山西潇河国际会议中心项目、太原市水上运动中心项目、丹河新城金村新区起步区青山街东延道路工程项目等。

10.12 高精度地坪激光整平一体化施工技术

10.12.1 技术内容

利用精密激光技术和高度精密的液压系统，在电脑的自动控制下实现混凝土的找平；同时依靠液力驱动的整平头，配合激光系统和电脑控制系统在自动找平的同时完成整平工作。整平头上配有一体化设计的刮板、振动器和平整板，将找平、整平、振捣压实工作集于一身并一次性完成。

(1) 混凝土浇筑前应保证抗裂钢筋网片绑扎牢固，形成稳固整体，并根据混凝土厚度确定钢筋马凳以及垫块形式，浇筑过程中配置专人进行钢筋检查调整，以保证抗裂钢筋在混凝土厚度中心偏上位置，混凝土浇筑前一天对基层进行洒水湿润，浇筑时不得有积水，扫浆应随扫随浇筑混凝土。混凝土采用泵送或小型翻斗车倒运至施工现场，现场人工摊平，使混凝土表面基本达到初平状态，必要时进行减料或补料工作，初平后比地坪标高略高 10mm。

(2) 已完成的初平混凝土采用混凝土激光整平机进行整平作业，每次整平工作宽度 3m，长度

以混凝土卸料时间在一小时之内的材料均可以一次性完成整平作业，搭接处必须重复 0.5m 左右，以提高混凝土地坪表面平整度。激光整平机施工不到的边角地方，使用插入式振动棒振动密实后，人工采用 2m 刮尺或抹板刮平处理，刮平后确保标高与大面积地坪相同。若遇意外原因造成混凝土浇筑不得不中断，接茬按施工缝处理，留置整齐。

10.12.2 技术指标

- (1) 《内装修—楼（地）面装修》13J502
- (2) 《建筑装饰装修工程质量验收标准》GB 50210

10.12.3 适用范围

适用于工业厂房及仓库大面积地坪施工，可在地下室地面、道路等地坪工程中推广应用，还可推广应用到大面积现浇楼板施工，以及整体一次性地坪施工。

10.12.4 工程案例

太原邮件处理中心项目、潇河国际会展中心北侧组团项目等。

10.13 沥青混凝土路面数字化智能摊铺技术

10.13.1 技术内容

沥青混凝土路面数字化智能摊铺施工采用沥青智能摊铺控制系统，由控制器系统、传感器系统、定位系统、数传系统以及液压系统组成。控制器系统：控制器、控制箱；传感器系统：横坡传感器、角度传感器；定位系统：全站仪、定位靶标；数传系统：数传电台。首先将沥青摊铺机进行改装，加入数传系统、靶标、传感器系统、控制器系统、液压控制系统等。全站仪架设在控制点上，实时捕获靶标坐标（即摊铺机坐标），其坐标将通过数据电台，传送至控制器，控制器根据摊铺机尺寸，将高程进行修正，再将信息传递给控制箱，由控制箱发出指令，通过液压阀驱动液压油缸使牵引大臂产生一定量的位移，左右牵引点位置改变引起熨平板相应方向的垂直运动，从而使摊铺产生坡度和高程变化，弥补路面波动，实现所要求的路面平整度，满足摊铺设计要求。

10.13.2 技术指标

- (1) 《道路施工与养护机械设备沥青混凝土路面摊铺作业机群智能化术语》GB/T 25639
- (2) 《道路施工与养护机械设备沥青混凝土路面摊铺作业机群智能化信息交换》GB/T 25640
- (3) 《沥青路面施工及验收规范》GB 50092

10.13.3 适用范围

适用于市政道路和公路的所有等级沥青混凝土路面摊铺施工，尤其适用于对沥青混凝土道路交叉口多，施工精度要求高的项目。

10.13.4 工程案例

目前该项技术在省内应用工程较少，但是具有推广应用价值。省外工程案例如中建一局承建的安徽合肥 G312 合六路项目、山东济南遥墙机场改扩建工程，以及成都天府国际机场航站区配套市政工程四标段项目、成都天府新区祥鹤西巷项目等。

10.14 机械喷涂与抹灰应用技术

10.14.1 技术内容

机械喷涂：利用泵送方法将砂浆拌合物沿管道输送到喷枪出口端，再利用压缩空气将砂浆连续均匀地喷涂于作业面上。机械抹灰：将抹灰机定位后，调整好抹灰厚度，将砂浆拌合物加入砂浆托架，通过抹灰机的自动升降运行，一次性将砂浆拌合物均匀涂抹于墙体上，完成抹灰作业。机械喷涂与抹灰应用技术在节能环保、绿色施工、工程质量等方面起到积极地推动作用，且加快了施工进度，降低了施工成本及工人劳动强度，具有以下优点：

- (1) 采用机械喷涂工艺，节约劳动力投入，施工质量标准统一，提高工效。
- (2) 预拌砂浆由电脑精确控制配合比，降低人工配合比的随意性。
- (3) 机械喷涂抹灰用预拌砂浆中添加有机械抹灰添加剂，不堵管、易施工。
- (4) 机械喷涂抹灰施工时较少产生落地灰，可节约材料用量，降低清理难度。

10.14.2 技术指标

- (1) 《机械喷涂抹灰施工规程》JGJ/T 105
- (2) 《建筑装饰装修工程质量验收标准》GB 50210

10.14.3 适用范围

可用于一般民用与工业建筑室内混凝土剪力墙面、加气混凝土砌体墙面、各类砖墙面等抹灰工程，特别适用于框剪结构工程的墙面抹灰工程，卫生间、厨房等潮湿环境须使用防水砂浆。

10.14.4 工程案例

目前该技术在全国范围内有一定的应用，省内也有个别项目有应用。省内典型工程如潇河国际会展中心中间组团项目等；省外工程案例如南太湖新区长东片区 CBD 东区项目、南京建邺区 NO.2022G71 地块项目、上海交通大学医院浦东校区一标段项目、南京名都家居广场等。