陕建 向善力建

大跨度连续钢桁架桥梁性能与建造关键技术

——陕西省建设工程科技创新大会

汇报单位 陕西建工集团股份有限公司

汇报人 赵炳震

目录

1 • 研究背景

2 • 创新点

3 • 具体研究内容

4 • 研究成果及效益

1

研究背景

1 研究背景

随着中国式现代化进程的发展，摆脱传统经济增长方式，基础设施在建设中逐渐具有高科技、高效能、高质量等特征，各类跨江、跨河、跨海大桥、特大桥建设更逐步具备新类型、新结构、高技术特点。钢桁架桥梁作为现代桥梁工程的重要结构形式，具有自重轻、跨越能力强、功能实现便捷、装配程度高等多方面的显著优势。



伴随交通建设规模的扩大和道路等级的提高，迫切需要**桥梁向跨径不断增大、桥型不断多元化、结构轻型化的方向发展**。

大跨度连续钢桁架桥梁建设过程中，**跨度与自身刚度的平衡、施工技术复杂、抗震设防要求高、施工监测与损伤识别**等问题突出。

传统的桥梁结构形式、施工技术及监测方法在大多情况下已经不能满足建造的要求。

2

创新点及技术路线图

陕西建工集团股份有限公司

项目创新点

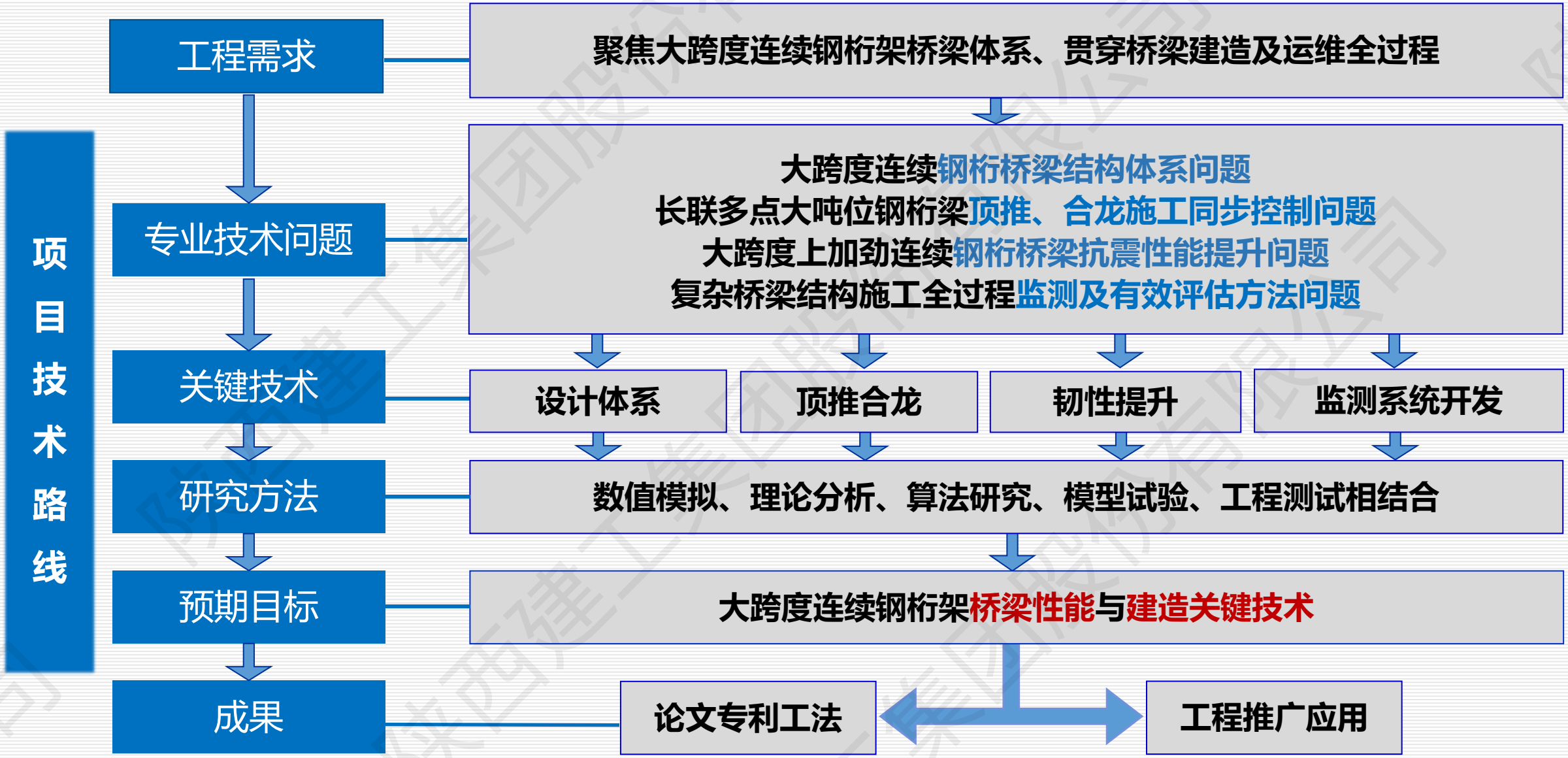
1.创新提出飘带形提篮式空间曲线上加劲桥梁结构体系，该结构体系解决了传统桥型随跨度增加导致结构性能降低的难题，具有跨越能力强、承载力高、施工性能好的优势；并通过实验明确了该结构体系的力学性能，揭示了受力机理和规律。

2.研发了大跨度连续钢桁梁桥“步履+滑块”顶推系统，该系统具有多点、大跨度、大吨位、智能、同步顶推的特点。开发了大跨度钢桁梁桥顶推施工全流程精细化仿真分析算法，进而揭示了相应结构温度效益、顶推偏心等的影响机制。

3.开展新型自适应屈曲减隔震支座抗震性能研究，基于屈曲敏感型柔性杆件的本构模型，揭示“受压杆由外向内逐次屈曲、抗侧刚度自适应退化”工作机理，并将自适应屈曲装置与叠层橡胶支座结合，开展新型减隔震支座的研发与应用。

4.提出了成套大跨度连续钢桁架桥梁施工监测技术；创新提出了基于神经网络模型的结构损伤三步识别方法，首创建立了B/S模式的大跨度桥梁安全智能监测大数据平台，实现了结构状态的智能监测与损伤评定。

2 技术路线图


项目技术路线
工程需求
聚焦大跨度连续钢桁架桥梁体系、贯穿桥梁建造及运维全过程
专业技术问题
大跨度连续钢桁桥梁结构体系问题
长联多点大吨位钢桁梁顶推、合龙施工同步控制问题
大跨度上加劲连续钢桁桥梁抗震性能提升问题
复杂桥梁结构施工全过程监测及有效评估方法问题
关键技术
设计体系
顶推合龙
韧性提升
监测系统开发
研究方法
数值模拟、理论分析、算法研究、模型试验、工程测试相结合
预期目标
大跨度连续钢桁架桥梁性能与建造关键技术
成果
论文专利工法
工程推广应用

3

项目详细研究内容

陕西建工集团股份有限公司

3.1 大跨度连续钢桁架桥梁结构体系设计及静力性能试验研究

- 大跨度连续钢桁架桥梁结构体系设计及静力性能试验研究
  - 大跨度连续钢桁架桥梁结构体系设计研究
  - 大跨度钢桁架桥梁结构体系力学性能研究
    - 大跨度钢桁架桥梁上加劲桥梁结构静力特性分析
    - 大跨度钢桁架桥梁上加劲桥梁结构动力特性分析
    - 大跨度钢桁架桥梁风-车-桥系统空间耦合振动仿真计算与分析

3.1.1 桥型设计创新

➢设计思路：以节约桥位资源、保护生态环境为主旨，打造集轨道交通、高架快速路、城市辅路、慢行系统、电力通道**五位一体的综合交通走廊。**

➢设计目标：**实现区域交通一体化，空间景观一体化，站点开发一体化。**

➢设计原则：优化桥梁结构断面布置，统筹交通层次布局，满足综合区域便捷交通功能，融合打造区域空间景观。

➢设计创新：**首创了飘带形提篮式空间曲线上加劲桥梁的桥型建筑方案**（公轨两用），刷新主跨及联长记录（全长1412米：九跨一联，其中主跨为300m），“联长、跨度、体量”均为国内同类钢桁梁桥梁第一









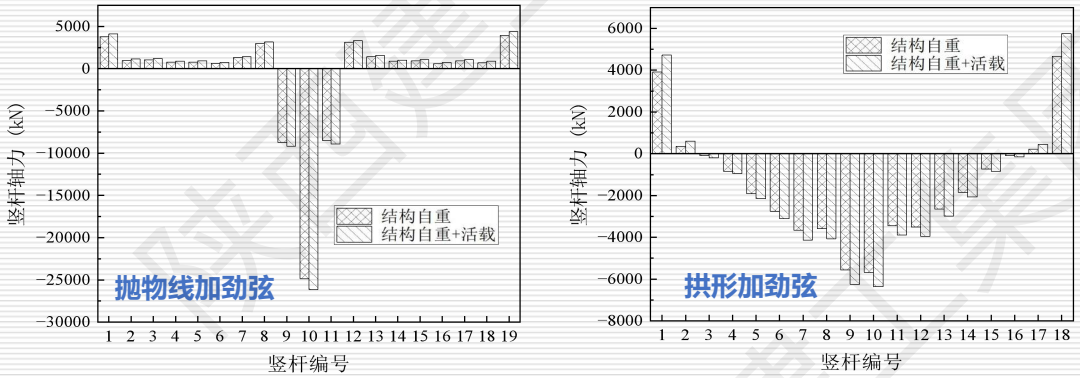
丝路蝶舞 文化传承 泾渭分明 通古传今

3.1.2 结构体系性能研究

凹形的上弦杆效率系数最低，拱形的上弦杆效率系数最高；其主桁上弦杆力的传递更优。

凹形加劲弦的变异系数最低、拱形加劲弦的上弦杆最高，可见凹形加劲弦的主桁部分上弦杆力的分布更均匀。

加劲弦线形		效率系数最大值		效率系数变异系数	
		上弦杆	加劲曲杆	上弦杆	加劲曲杆
凹形	悬链线	0.49	0.42	0.27	0.19
	抛物线	0.49	0.48	0.27	0.27
	圆弧线	0.50	0.43	0.27	0.20
直线		0.57	0.31	0.27	0.14
拱形		0.60	0.29	0.34	0.11



抛物线和拱形加劲弦线形下竖杆内力分布

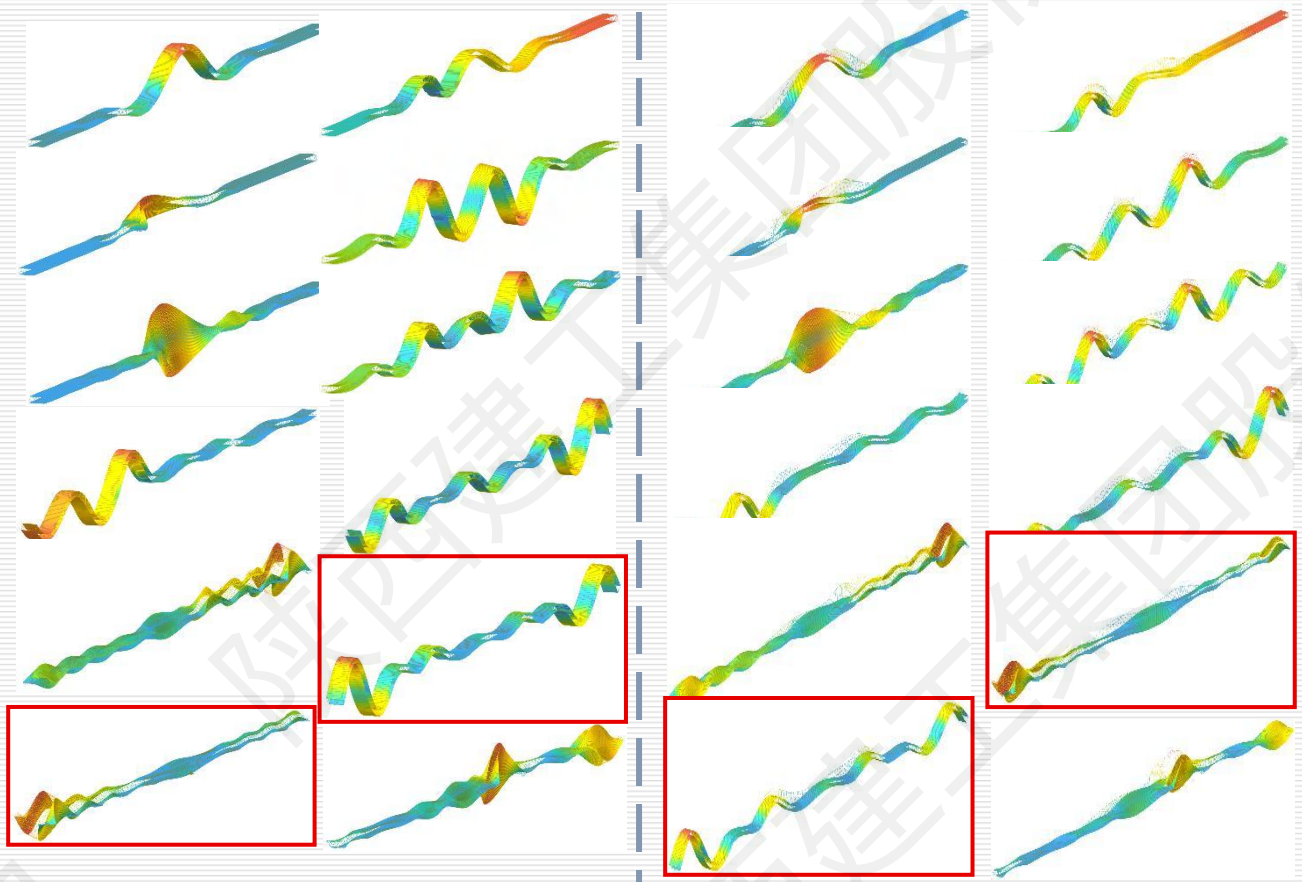
加劲竖杆内力分布进行对比分析：

凸形加劲弦负弯矩区竖杆受力较均匀，共同分担压力，数值均较小。

抛物线加劲弦竖杆内力分布表现为支座处加劲竖杆受压，其余加劲竖杆受拉。

通过**分析多种线型加劲弦结构的受力机理**，可知拱形加劲弦可平衡了加劲效率高与大竖杆受力不利的问题，另外综合考虑美观性与其它桥型设计要求，**创新性提出空间曲线加劲大跨度连续钢桁架桥结构体系**。

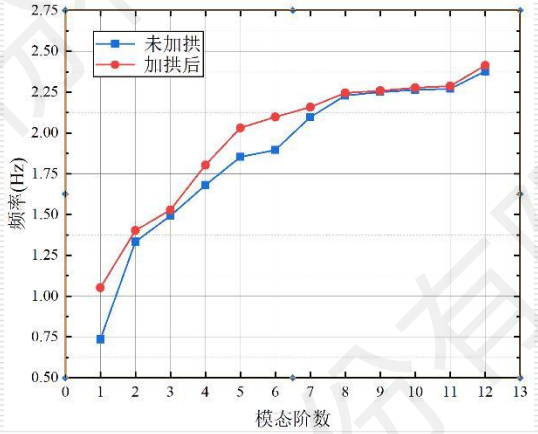
3.1.3 结构体系动力性能分析---拱对自振特性的影响

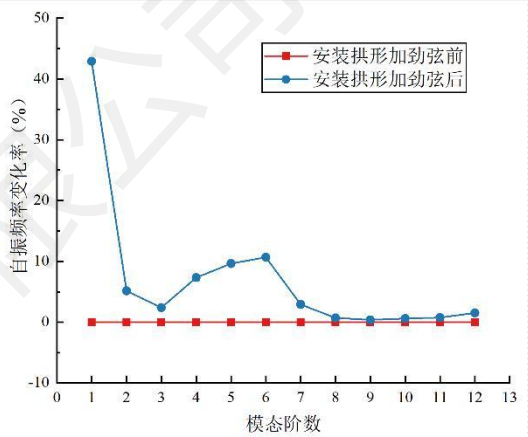


安装拱形加劲弦前　　安装拱形加劲弦后

前9阶变形模式基本一致，第10阶及第11阶模态变形互换。

第一阶频率
- 安装拱前0.736398Hz
- 安装拱后1.052347Hz





相较于未安装加劲弦，安装加劲弦后各阶频率均有所提升，且在1阶、4阶、5阶、6阶明显增加分别提高42.90%、7.32%、9.63%、10.66%，整体结构刚度得到了提升。

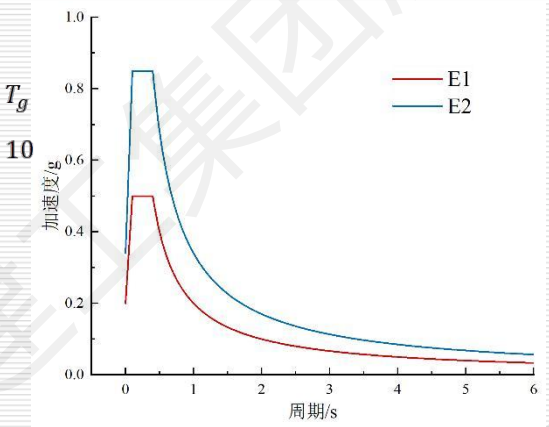
3.1.3 结构体系动力性能分析---拱对地震响应的影响

参考《铁路工程抗震设计规范》（GB50111-2006）和《公路桥梁抗震设计规范》（JTG/T 2231-01-2020）

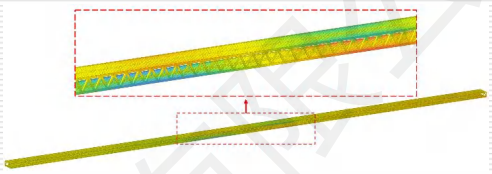
$$S(T)=\begin{cases} S_{max}\left(\dfrac{0.6T}{T_0}+0.4\right) & T\le T_0 \\ S_{max} & T_0<T\le T_g \\ S_{max}\left(\dfrac{T_g}{T}\right) & T_0<T\le 10 \end{cases}$$

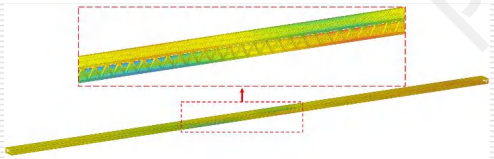
$$S_{max}=2.5C_iC_sC_dA$$

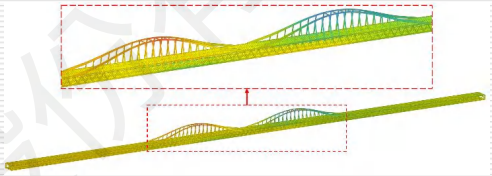
$$C_d=1+\frac{0.05-\xi}{0.08+1.6\xi}$$

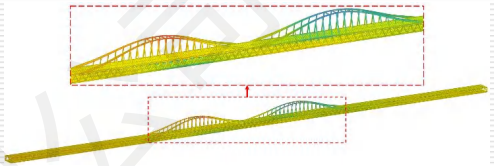


地震标准	荷载组合
E1地震	恒载+纵向地震作用+竖向地震作用
	恒载+横向地震作用+竖向地震作用
E2地震	恒载+纵向地震作用+竖向地震作用
	恒载+横向地震作用+竖向地震作用

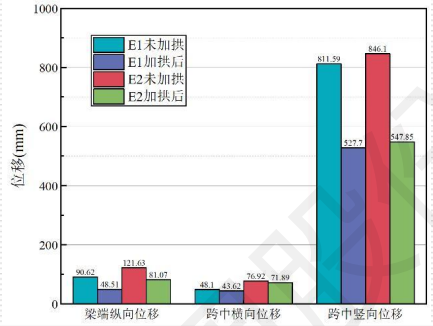




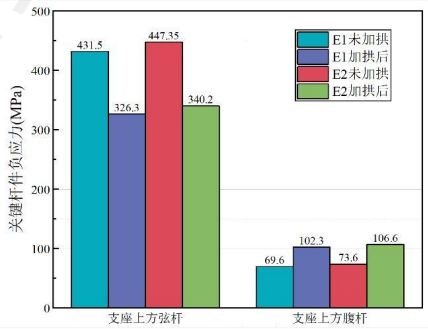




E1纵向位移



E2纵向位移



安装拱形加劲弦后主梁在地震作用下各位移响应均降低，E1作用下梁端纵向位移降低46.47%，加劲弦有效提高了结构刚度。

支座上方弦杆应力也明显降低而腹杆应力增加，E1地震作用下支座上方弦杆应力降低24.38%，腹杆应力增长31.96%，与静力变化趋势一致。

3.1.4 结构体系静力特性试验研究

跨渭河共轨合建桥为钢桁梁+拱结构，为保证跨河大桥施工过程的安全性，截取中间三跨（168m+300m+168m）总长636m进行缩尺试验（1：30）。**研究大跨度连续钢桁梁结构承载性能、力学机制及结构破坏形式，探讨拱形加劲弦对整体桁架结构的影响机理。**主要测点如下：



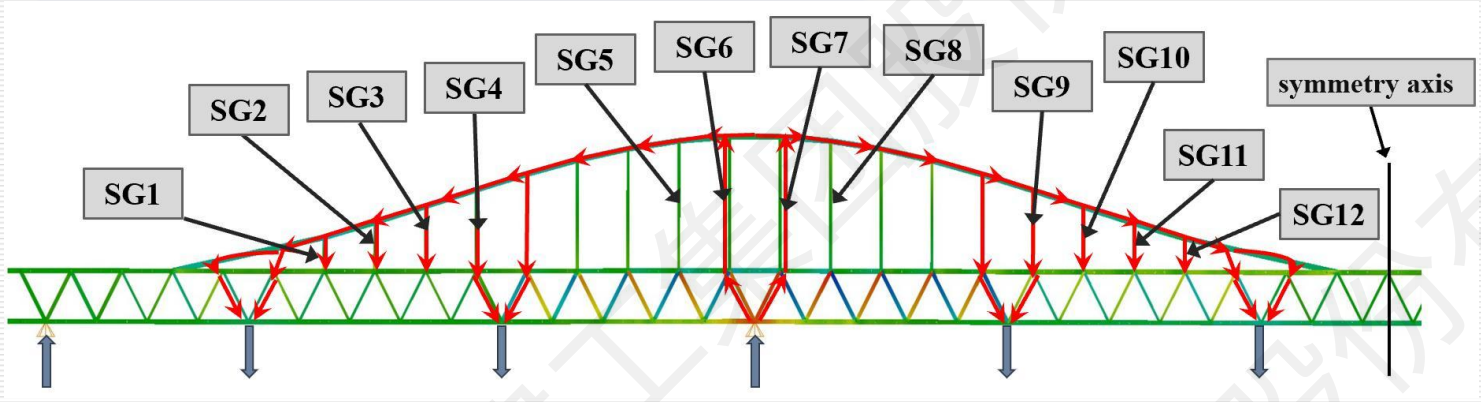
加拱前结构弹性加载实验（分析桁架力学性能）

加拱后结构弹性加载实验（探究拱结构力学机制）

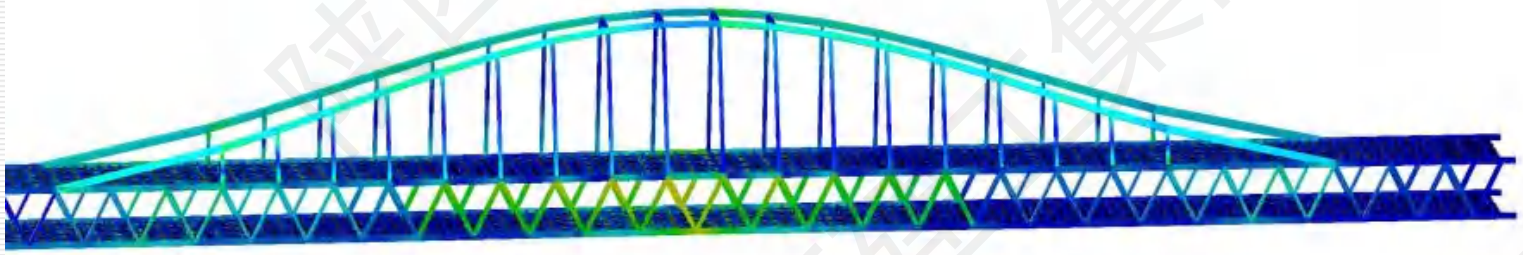
拱结构安装及顶落梁监测实验（研究关键杆件力学机制）

整体结构竖向荷载破坏实验（探究整体结构力学性能）

3.1.4 结构体系试验研究结果



竖杆	SG-1	SG-2	SG-3	SG-4	SG-5	SG-6	SG-7	SG-8	SG-9	SG-10	SG-11	SG-12
受力	受压	受弯	受弯	受弯	受压	受压	受压	受压	受弯	受弯	受弯	受压

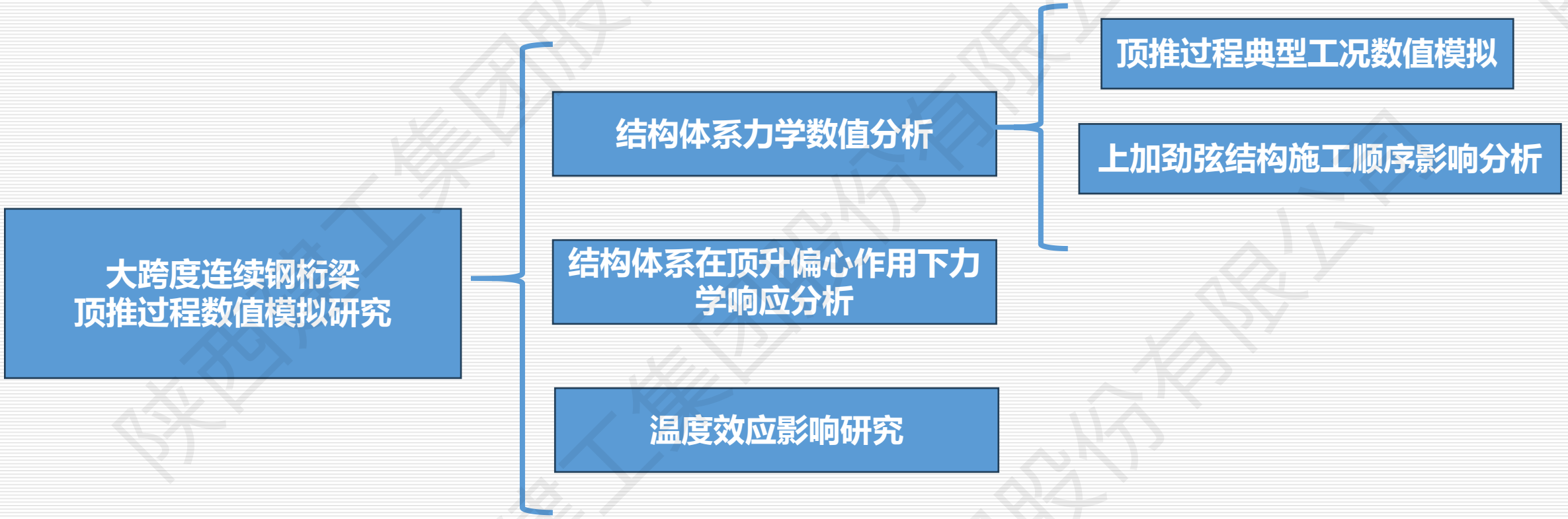


研究结果系统揭示了拱形加劲弦结构的受力机理

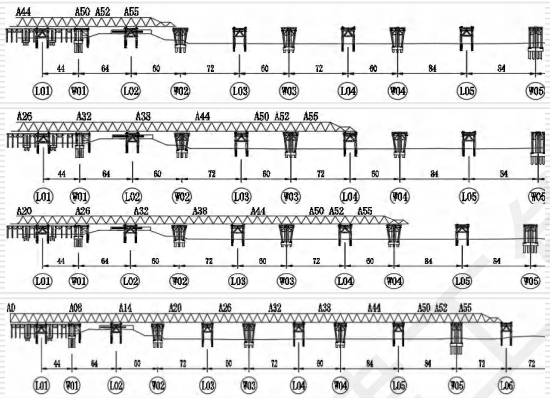
1. 荷载通过节点传递给下弦杆和腹杆，腹杆将荷载进一步传递至上弦杆。上弦杆的部分受力通过竖杆和拱脚传递至拱形弦杆，拱形弦杆上的受力则通过中间两根竖杆再次传递回支座处上层，最后通过腹杆施加于支座。
2. 最外侧竖杆及中间竖杆受压，其余竖杆由于跟随跨中挠曲作用表现为受弯。上部拱形弦杆始终承受拉力。

- **结构破坏时，拱始终处于弹性阶段，强度储备充足；**
- **拱结构能较大幅度地降低了中间跨跨中位移，对下部桁架结构挠度控制起有利作用。**

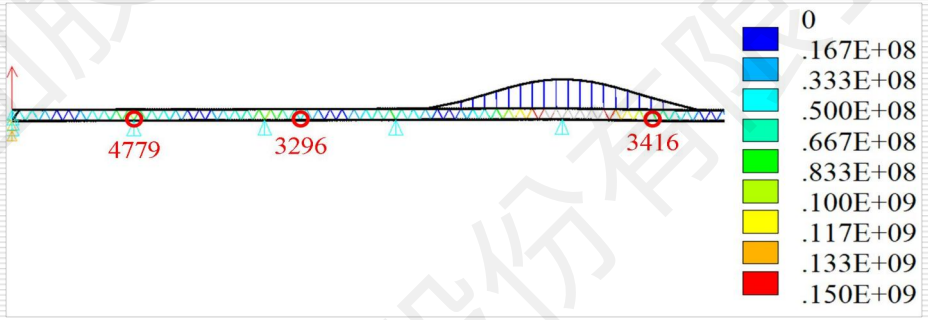
3.2 大跨度连续钢桁梁顶推过程数值模拟研究



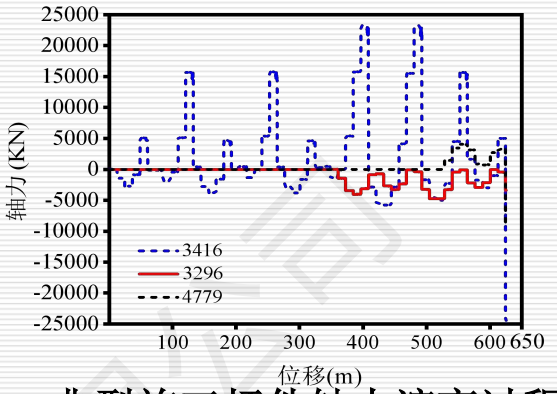
3.2.1 顶推过程中典型工况仿真计算



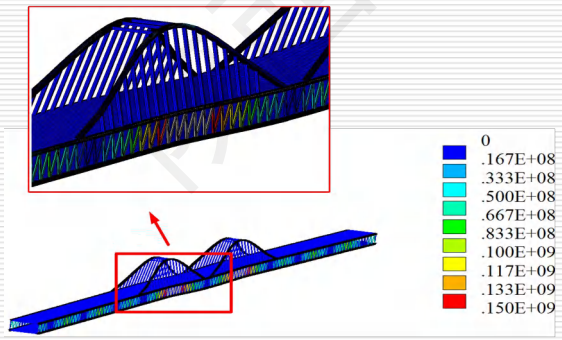
顶推过程典型工况



半跨钢桁梁桥应力云图



典型施工杆件轴力演变过程



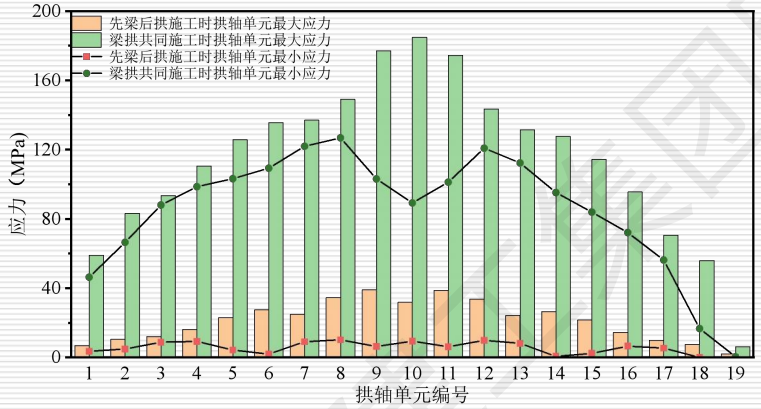
钢桁梁桥应力云图

- **提出了基于三弯矩方程和结构力学等基本方法，适用于钢桁梁桥顶推施工的全流程精细化数值分析算法。**
- **模拟了关键顶推距离的5种工况，分析了各工况桁架构件的变形及应力状况，揭示了整个施工过程典型杆件内力的演变历程。**

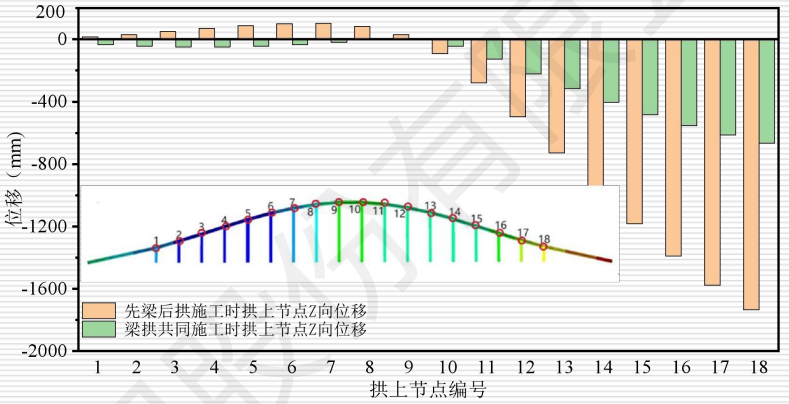
结果表明：顶推施工60m、252m、324m、420m、534m距离时桁架所受最大应力为50MPa，最大变形为27.9mm，均满足设计强度和变形要求，表明施工过程和施工方案安全可行。

3.2.2 上加劲弦结构施工顺序对结构影响的对比研究

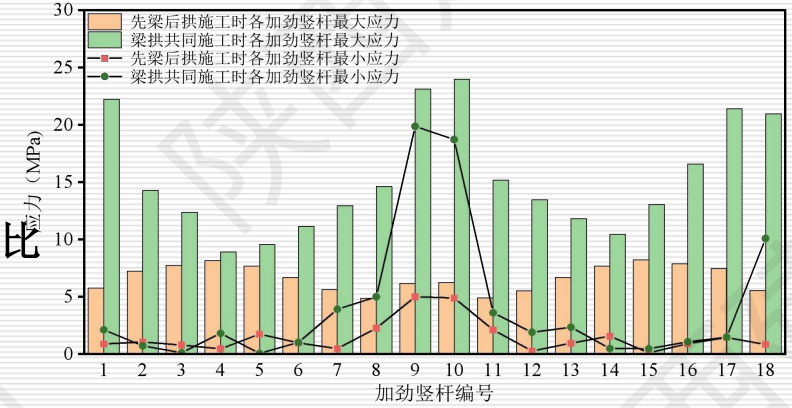
拱轴应力对比



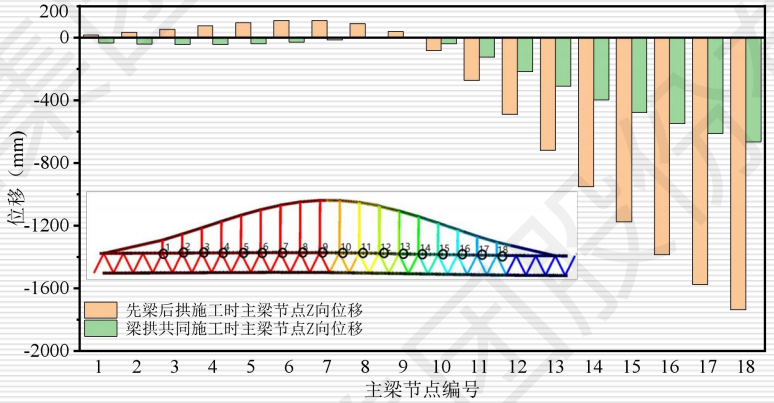
加劲竖杆应力对比



拱轴变形对比



主梁变形对比

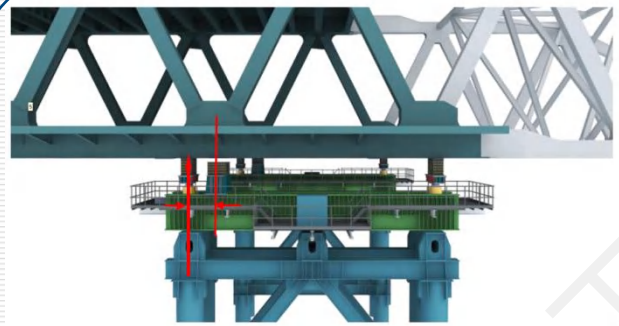


①主梁合龙，加劲弦结构安装；
②主梁带加劲弦结构，顶推施工。

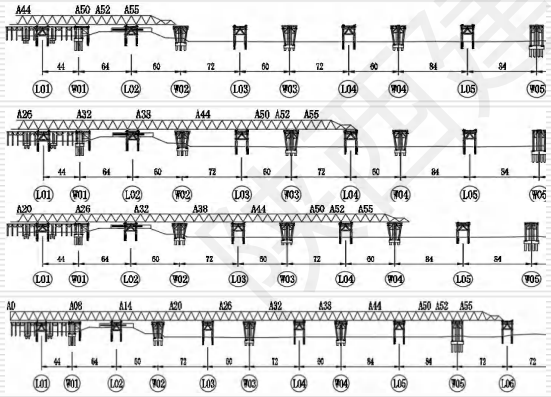
- 当拱的施工顺序采取先梁后拱施工时，结构的应力较小，更有利于施工过程的稳定。
- 当拱的施工采取梁拱共同施工时，拱及主梁结构的位移较小。

通过分析上加劲弦的施工顺序对桥梁结构合龙状态时应力及位移的影响程度，形成了大跨度连续钢桁架桥梁合龙施工技术，更便于提出最优顶推合龙施工顺序方案，为现场施工提供科学的技术指导。

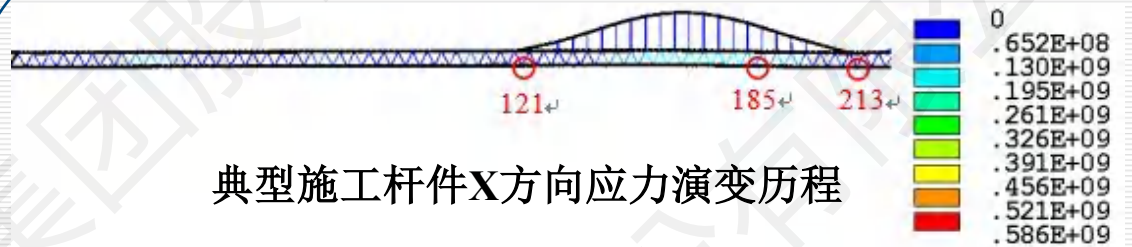
3.2.3 结构体系在顶升偏心作用下力学响应分析



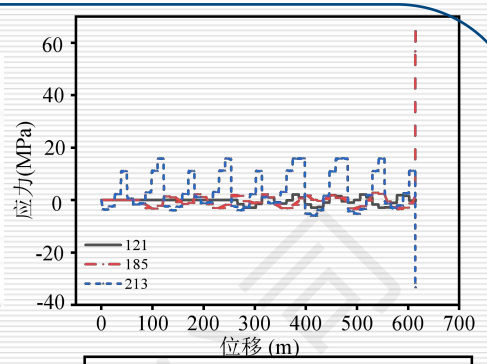
顶升偏心示意图

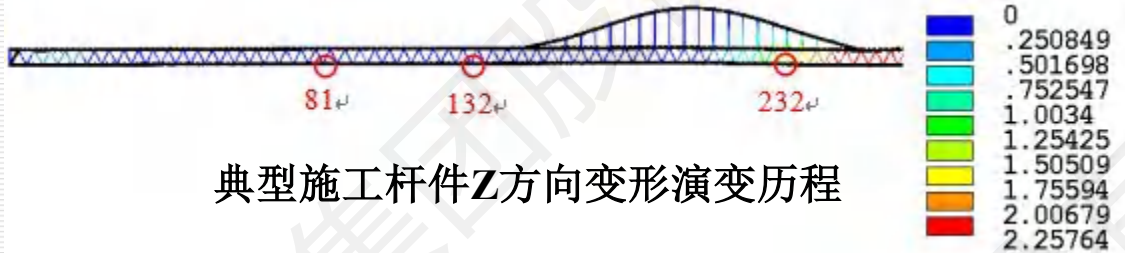


顶推过程典型工况

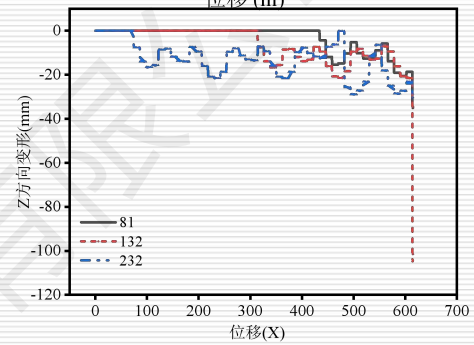


典型施工杆件X方向应力演变历程





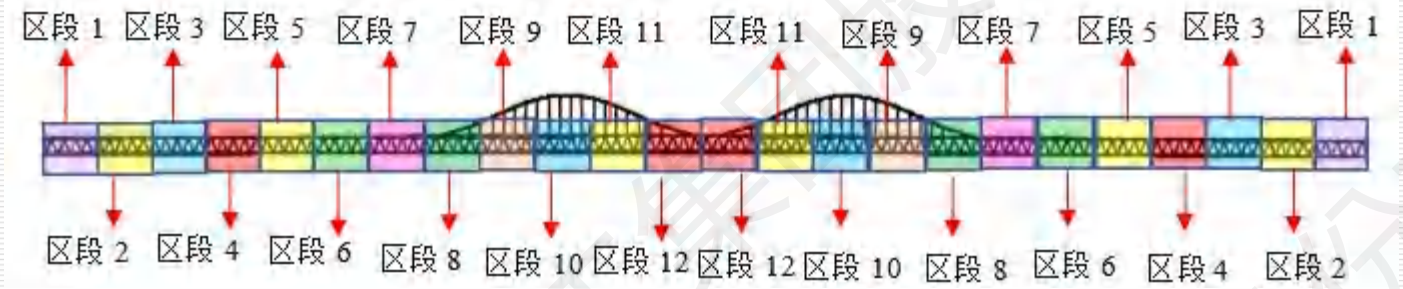
典型施工杆件Z方向变形演变历程



将顶升偏心施工与顶推施工情况下，结构受力与变形演变历程进行对比：

- 顶升偏心施工各距离工况下，**结构的受力与变形显著大于顶推施工各阶段结构的受力与变形**；
- 当步履机竖向偏心顶升钢桁梁，桁架下弦杆承受的压力最大。

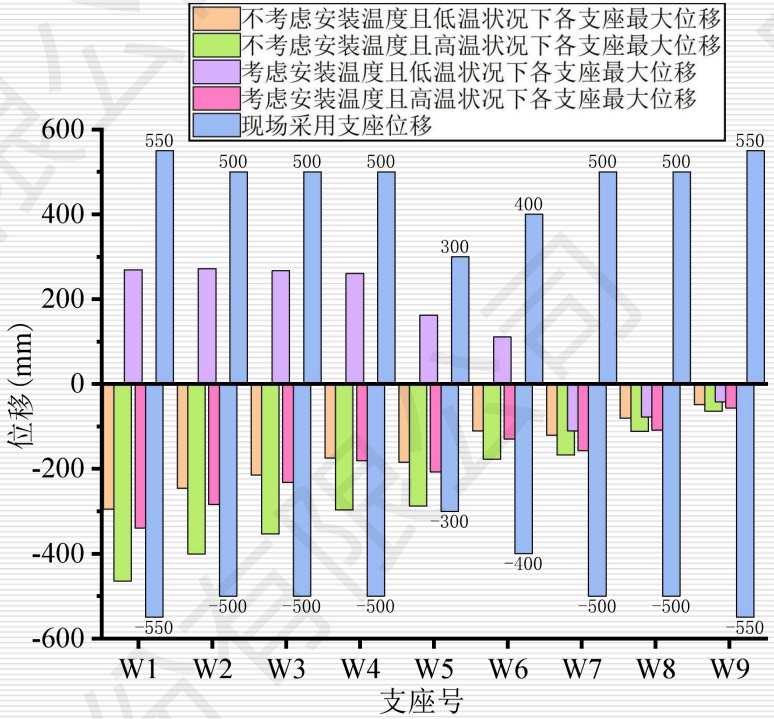
3.2.4 结构体系在温度效应作用下的影响研究



桥梁温度区域划分图



各支座节点分布图



选取桥梁的主桁结构与拱结构，探究季节温度变化对成桥状态结构内力的影响：

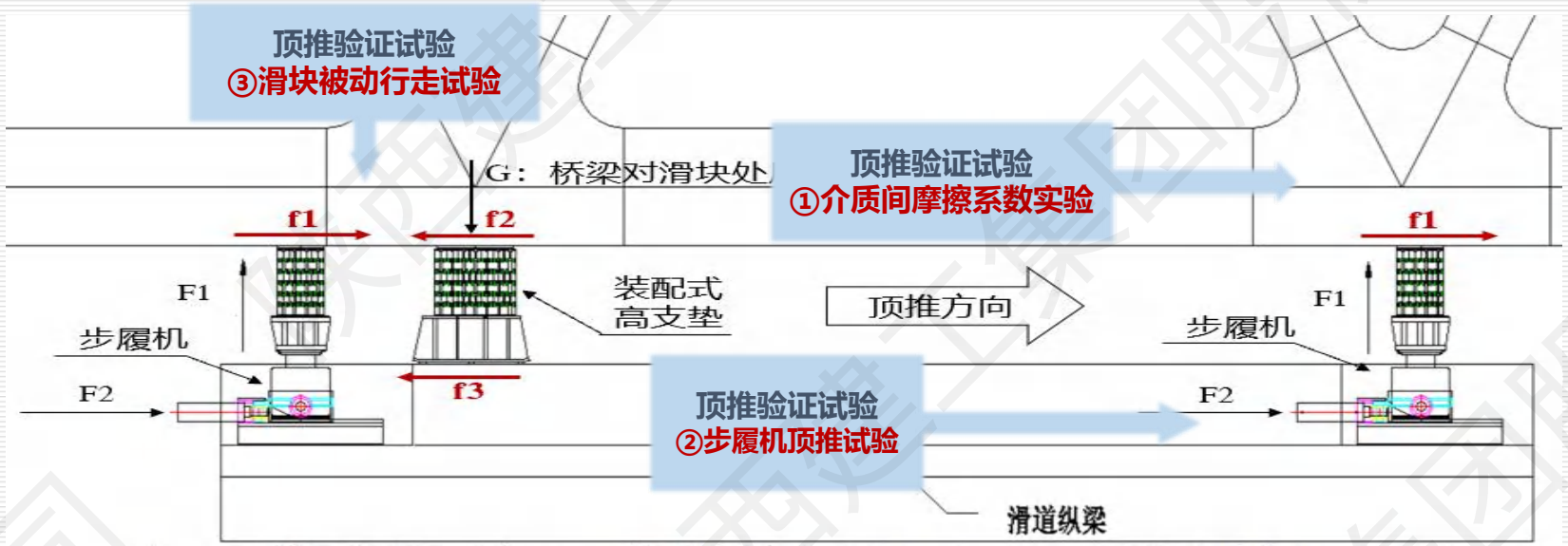
- 不考虑安装温度时的支座位移较考虑安装温度时要大，表明**在桥梁设计与施工中考虑构件的安装温度可有效减轻温度变化对支座位移的影响，减少因温度波动导致的结构损伤风险**；
- 温度作用对桁架上、下弦杆的截面轴力影响较大，对腹杆的截面轴力影响较小。

3.3 大跨度连续钢桁梁顶推及合龙施工关键技术研究

- 大跨度连续钢桁梁顶推及合龙施工关键技术研究
  - 大跨度连续钢桁梁“步履+滑块”顶推系统试验研究
    - 介质间摩擦系数测试实验
    - 步履机顶推试验
    - 滑块被动行走试验
  - 大跨度连续钢桁梁结构顶推施工过程有限元分析
  - 大跨度连续钢桁梁结构合龙过程有限元分析
  - 大跨度连续钢桁梁桥顶推施工关键技术创新

3.3.1 步履顶推系统试验

“步履+滑块”智能同步顶推技术，有效利用钢桁梁桥下弦杆的受力性能，在桁架节点及杆件底面分别设置支垫墩，采用固定式步履机，通过支垫墩上下接触面不同摩擦介质的摩擦力，实现钢桁梁桥结构的顶推滑移。



注：G：桥梁对滑块处压力；F1：步履机顶升力（≤300t）；F2：步履机水平推力（≤150t）；
f1：步履机顶部与钢桁梁下弦杆接触面摩擦力；f2：滑块顶部与钢桁梁下弦杆接触面摩擦力；
f3：滑块底部与滑道之间的摩擦力。

通过实验验证结构体系步履机+滑块顶推施工技术的可行性

①介质间摩擦系数实验

②步履机顶推试验

③滑块被动行走试验

介质摩擦试验



表明

- 非刚体介质相对滑移时摩擦系数随竖向荷载增大而减小；多层介质受水平力滑移时摩擦系数相近者也会有不同程度相对滑移。
- 通过本次试验，结合实际顶推过程，备选介质中抹油MGE+橡胶板符合“步履+滑块”顶推工况，**优选了抄垫工装上下不同接触面的摩擦介质**。

抄垫稳定试验



表明

- 不同竖向荷载工况下，相同介质间的摩擦系数不同，竖向荷载越大，发生滑动的两介质间摩擦系数越小。
- 在不同抄垫高度情况下，抄垫层间的滑动位移较小，使用**优选介质滑块系统稳定性较好，满足工程要求**。

步履机稳定试验



表明

- 不同介质组合的试件在相同竖向力下，发生滑动所需的最小水平力各不相同；相同竖向力下相同介质的试件该最小水平力大致相同。
- 在多级竖向力作用下，优选步履机+滑块系统不同抄垫高度的试件都只是在施加水平力后发生小角度倾斜，**步履机系统具有良好的稳定性，满足工程要求。**

3.3.2 上加劲弦钢桁梁结构合龙过程关键技术研究

钢桁梁主梁合龙



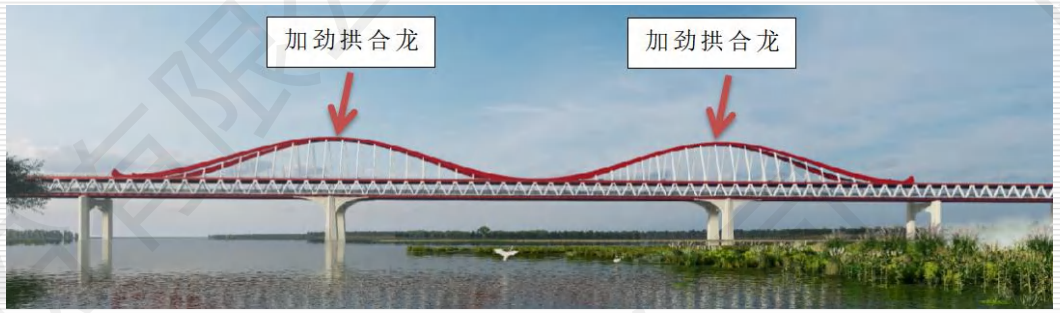


- 安装吨位大（最大杆件重141.926t）；
- 安装高度大（最大距渭河桥上弦杆系统线 32m）；
- 跨宽差异显著（拱弦跨中宽 15m，拱脚宽 30.5m）；
- 吊装作业空间受限，精度控制难度高。

钢桁梁主梁合龙构件复杂

- 主梁合龙线形智能监测研究；
- 合龙口弦杆错台调整技术。

上加劲拱结构合龙



- 拱结构的飘带形提篮式空间曲线特性导致三维定位精度控制难度大；
- 拱脚至拱顶安装顺序下的累积误差对合龙精度影响显著。

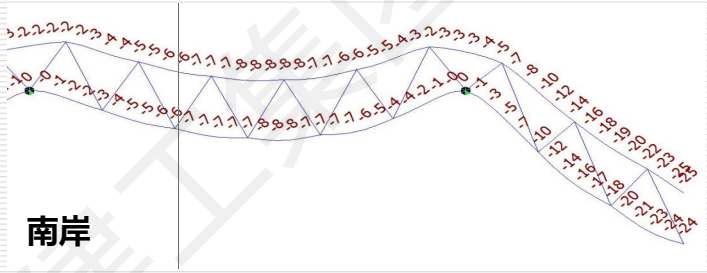
上加劲弦结构线型空间形态复杂

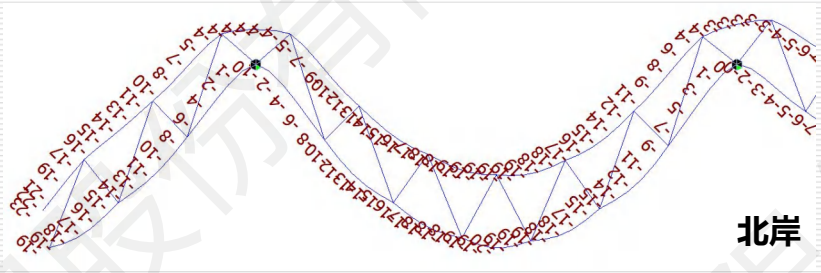
- 节点板焊接方案研究；
- 钢桁梁与临时支撑结构的变形及承载力研究。

3.3.2 钢桁梁主梁合龙---主梁合龙线形智能监测技术研究

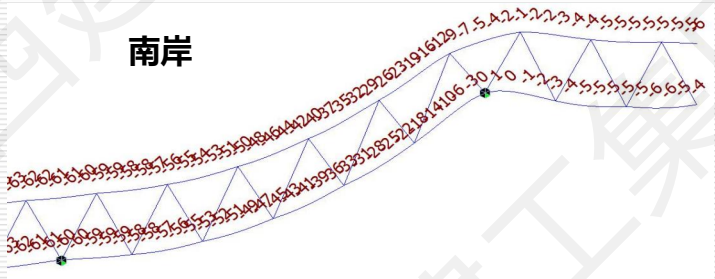
钢梁顶推到达合龙口之前，提前3~4个节段进行合龙口两端钢梁姿态智能监测，辅以数值分析，同时进行钢梁平面位置、高程等的调整。合龙对位时，采用步履机三向顶推装置进行钢梁纵横移及顶落梁措施。

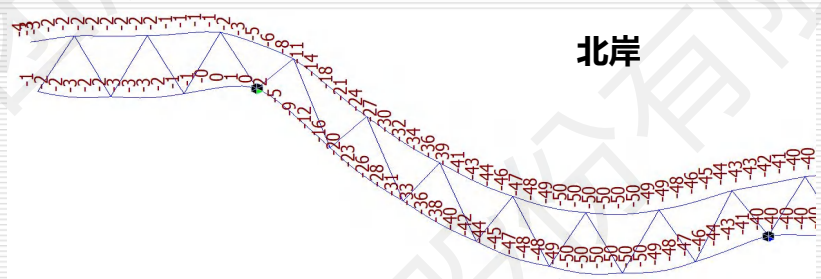
①线形调整前



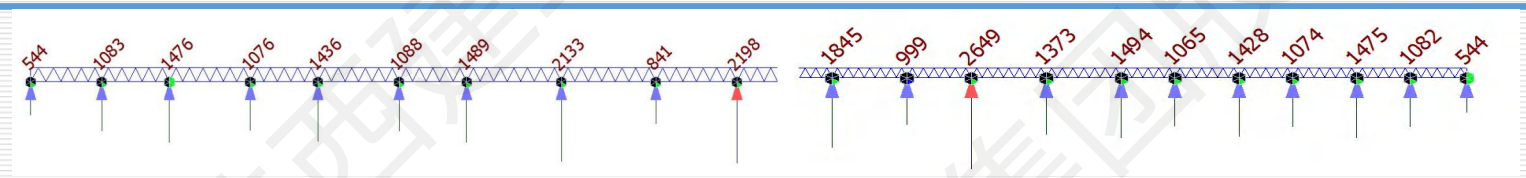


②线形调整后





③合龙时



各主墩、临时墩支点反力及线形均满足成桥要求

3.3.2 加劲弦结构合龙---节点板焊接方案研究

①方案背景与问题

结构特点与焊接难点：

- 节点板为超厚板，焊缝最长达 3.5m；
- 厚板多层多道焊，热输入大，残余应力分布复杂。

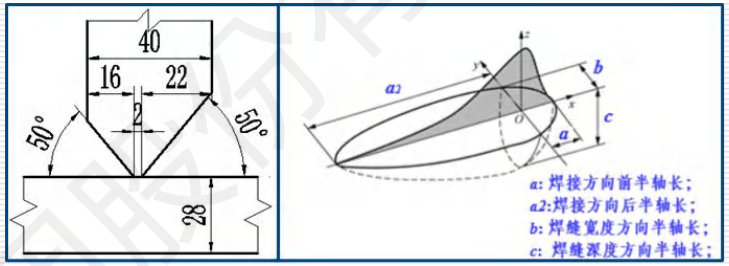
现场焊接问题：

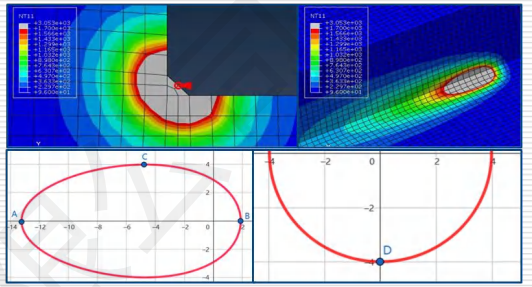
- 焊接热量导致主梁中跨在自重作用下下挠；
- 焊缝及热影响区非均匀冷却使上弦杆内部产生较大焊接应力和残余变形。

②研究内容

- 研究焊接熔池及热影响区范围。
- **依据焊接方案进行数值仿真分析，确定节点板焊接顺序及工艺。**

③节点板焊接数值模拟与方案优选





有限元模拟及理论计算得出的熔池尺寸

方案对比与结论：

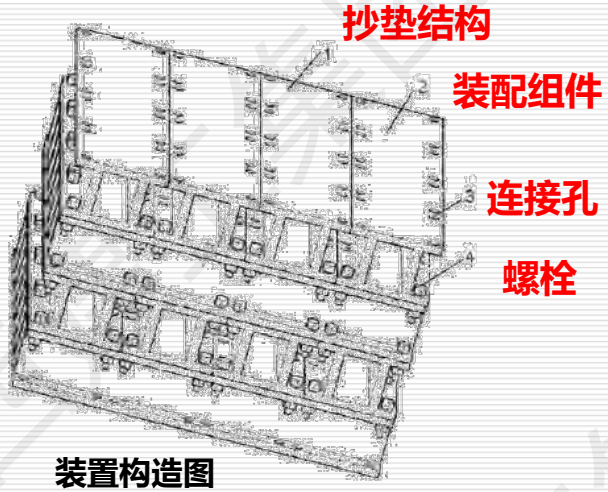
依托Midas杆系模型进行计算，采用焊接施工方案四，其在焊接后带来的**竖向位移最小**。

方案四：以主墩W05（W06）及临时墩（L07、L08）墩顶节点为基准，沿纵桥向同时从三处墩顶节点开始向两侧焊接。

3.3.3 钢桁梁桥顶推及合龙施工关键技术开发

一种用于桥梁顶推的组合式抄垫装置

一种用于桥梁顶推的组合式抄垫装置



装置构造图

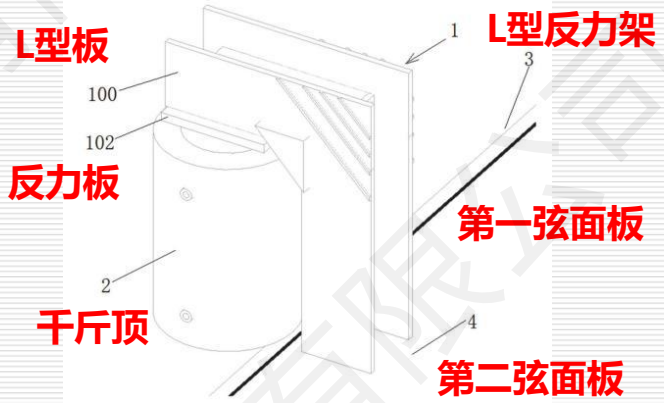
核心结构：

- 由多层抄垫层正交叠落组成，每层含若干组装配组件。
- 装配组件：两块平行连接板 + 竖直腹板（图示 1-4 为关键部件）。

连接方式：通过连接孔与螺栓固定，实现组合装配式安装。

钢桁桥合龙口弦杆错台调整结构

一种钢桁桥合龙口弦杆错台调整结构



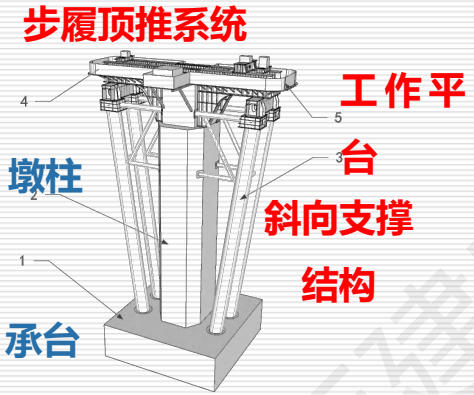
装置构造图

工作原理：

通过千斤顶向 L 型反力架水平段施加顶推力，使竖直段产生向上的力，带动错台偏低弦杆的第二弦杆面板上移；同时，错台偏高弦杆的第一弦杆面板受向下压力下移，直至两弦杆面板平齐，随后焊接固定。

3.3.3 钢桁梁桥顶推及合龙施工关键技术开发

一种适用于竖曲线钢桁梁施工的临时组合支架



装置构造图

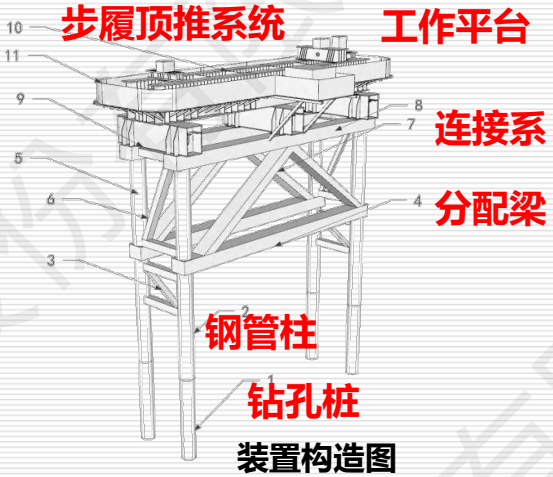


使用状态图

核心技术：

- 通过斜向支撑结构应对水平推力，预应力对拉结构抵抗横向冲击力，提升稳定性；
- 利用工作平台及步履顶推系统中的高度可变抄垫块，满足标高调整需求；
- 滑道梁涂黄油并设磨擦板，确保滑块支撑于节点处。

一种适用于竖曲线钢桁梁施工的临时支墩



装置构造图



使用状态图

核心技术：

- 通过步履顶推系统顶部的活动抄垫块调节标高，避免墩顶脱空；
- 滑道梁涂黄油并设磨擦板，确保滑块支撑于钢桁梁节点；
- 利用纵向连接系应对水平推力，横向连接系抵抗横向冲击力，提升临时支墩承载力。

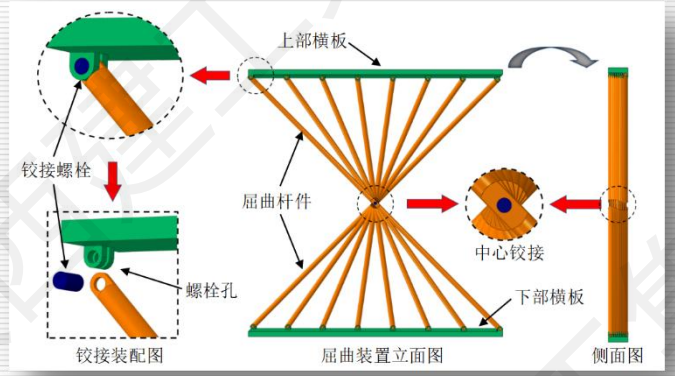
3.4 大跨度连续钢桁架桥梁结构抗震性能提升研究

大跨度连续钢桁架桥梁结构抗震性能提升研究

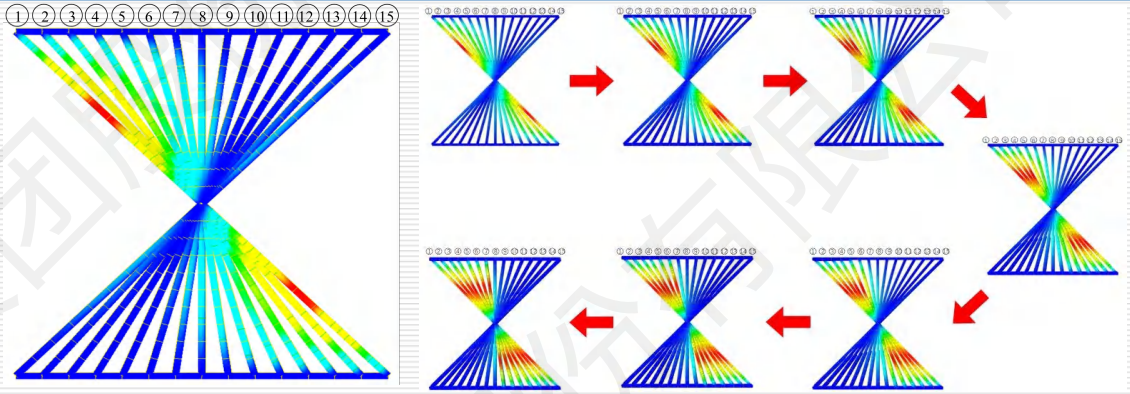
- 自适应屈曲装置力学性能分析
- 带屈曲装置的减隔震支座抗震性能分析
- 大跨度连续钢桁架桥梁抗震性能研究分析

3.3.1 大跨度连续钢桁架桥梁结构抗震性能提升研究

为了满足通过结构体系几何非线性实现耗能材料非线性的抗震韧性高质量、高性能的需求，实现桥梁减隔震支座性能水平的量化。**基于屈曲敏感型柔性杆件的非线性屈曲历程，提出一种自适应屈曲的韧性装置**，并将其与传统叠层橡胶支座组合，组成带屈曲装置的新型韧性减隔震支座。



自适应屈曲装置结构形式



装置的屈曲历程

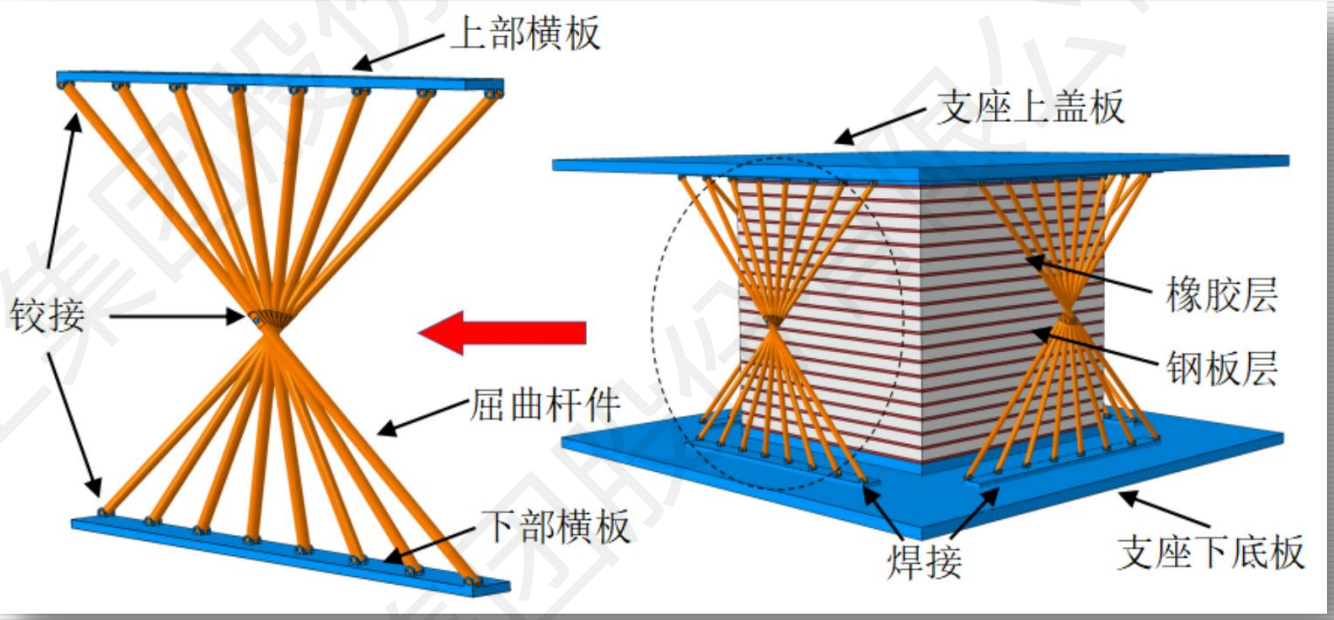
同时根据抗侧刚度退化机理，开展了装置的屈曲历程研究，结果表明：该装置具备良好的自复位能力，符合抗震韧性中的可恢复性。**屈曲装置中的受拉杆件抗拉强度大，可提供充足水平抗侧刚度**，满足桥梁正常使用阶段的刚度需求。

3.3.2带屈曲装置的减隔震支座开发

由于，传统叠层橡胶支座的内部钢板层可以对橡胶层的侧向大位移产生限制，从而具有充足的轴向刚度；但在水平荷载过大时，会造成支座水平位移失控而导致支座发生剪切破坏。

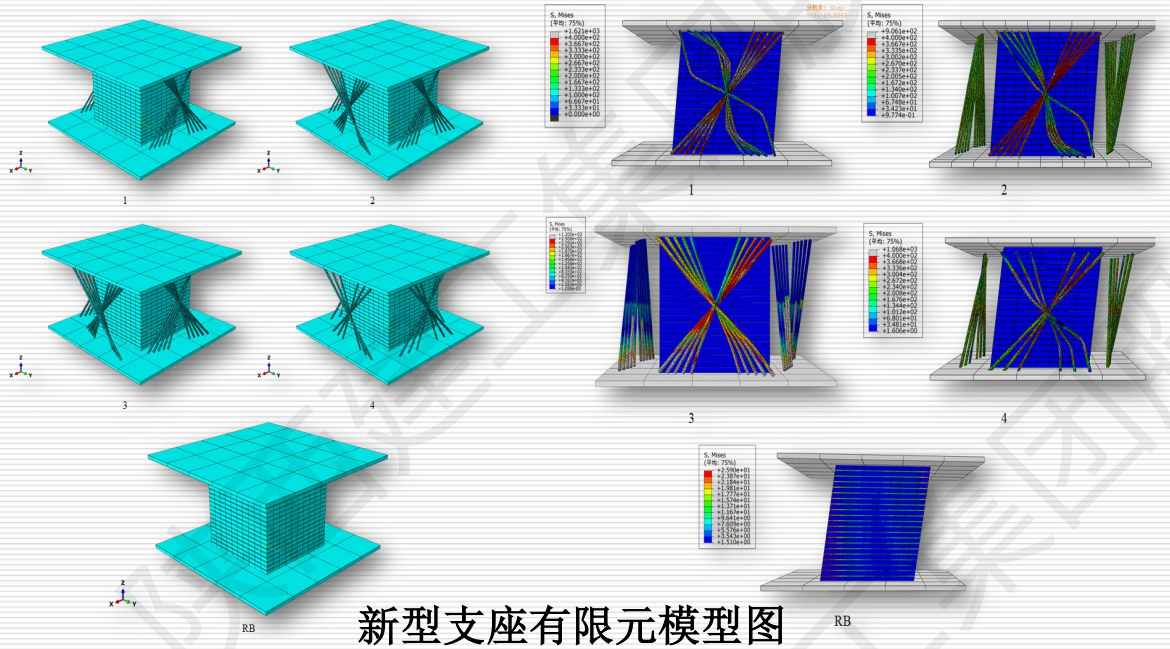
进而提出了新型带屈曲装置的韧性减隔震支座，结合了自适应屈曲装置水平抗侧刚度演变机理以及传统叠层橡胶支座良好的竖向抗压性能；

其结构形式主要由以下几部分组成：支座上盖板，支座下底板，橡胶层，钢板层，外围屈曲装置。



新型支座结构形式

3.3.2带屈曲装置的减隔震支座抗震性能分析



新型支座有限元模型图

该新型支座可通过装置中杆件屈曲前的弹性状态提供充足的抗侧刚度，满足减隔震支座正常使用和极限承载能力两阶段的刚度需求。

通过受压杆件屈曲后的弹塑性变形以及受拉杆件抗拉刚度起到耗散能量的作用和限位功能，符合减隔震设计理念。且依据压杆弹性屈曲特性以及天然橡胶的材料特性，新型支座具备良好的自复位能力，契合目前抗震韧性设计对结构的高质量、高性能需求。

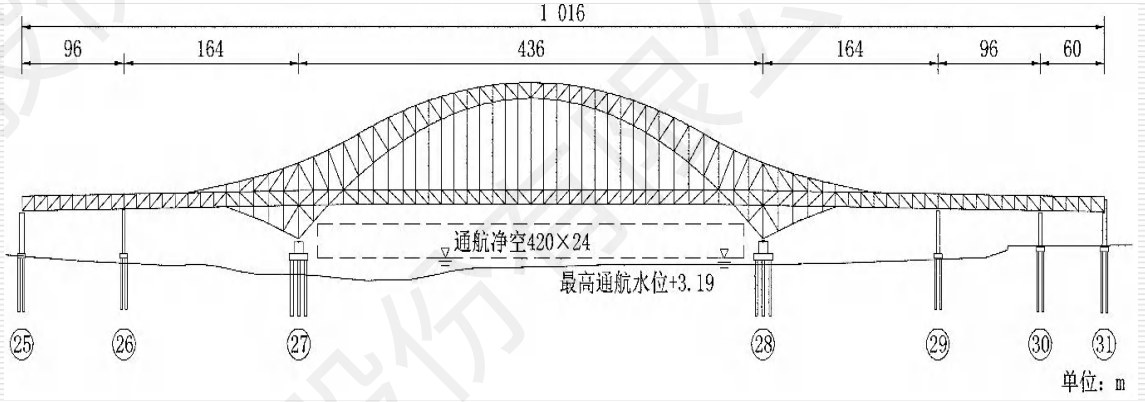
数值结果表明，**竖向支撑功能与剪切隔震功能实现分离**，使新型支座的受力清晰明确，**装置中受压杆件屈曲特性显著**，实现了损伤控制的效果。

3.3.3 大跨度连续钢桁架桥梁抗震性能研究分析

明珠湾大桥工程为中承式六跨连续钢桁拱桥，全长1016.1 m，桥面宽43.5 m，支座到拱顶处高109.1 m，理想矢跨比0.24。主梁为钢桁梁结构，桁间距18.2 m，边桁桁高10.5 m，中桁桁高10.8 m。主桥27、28号主墩采用整体式实心板墩，墩高在7.8 m左右。



明珠湾大桥现场图



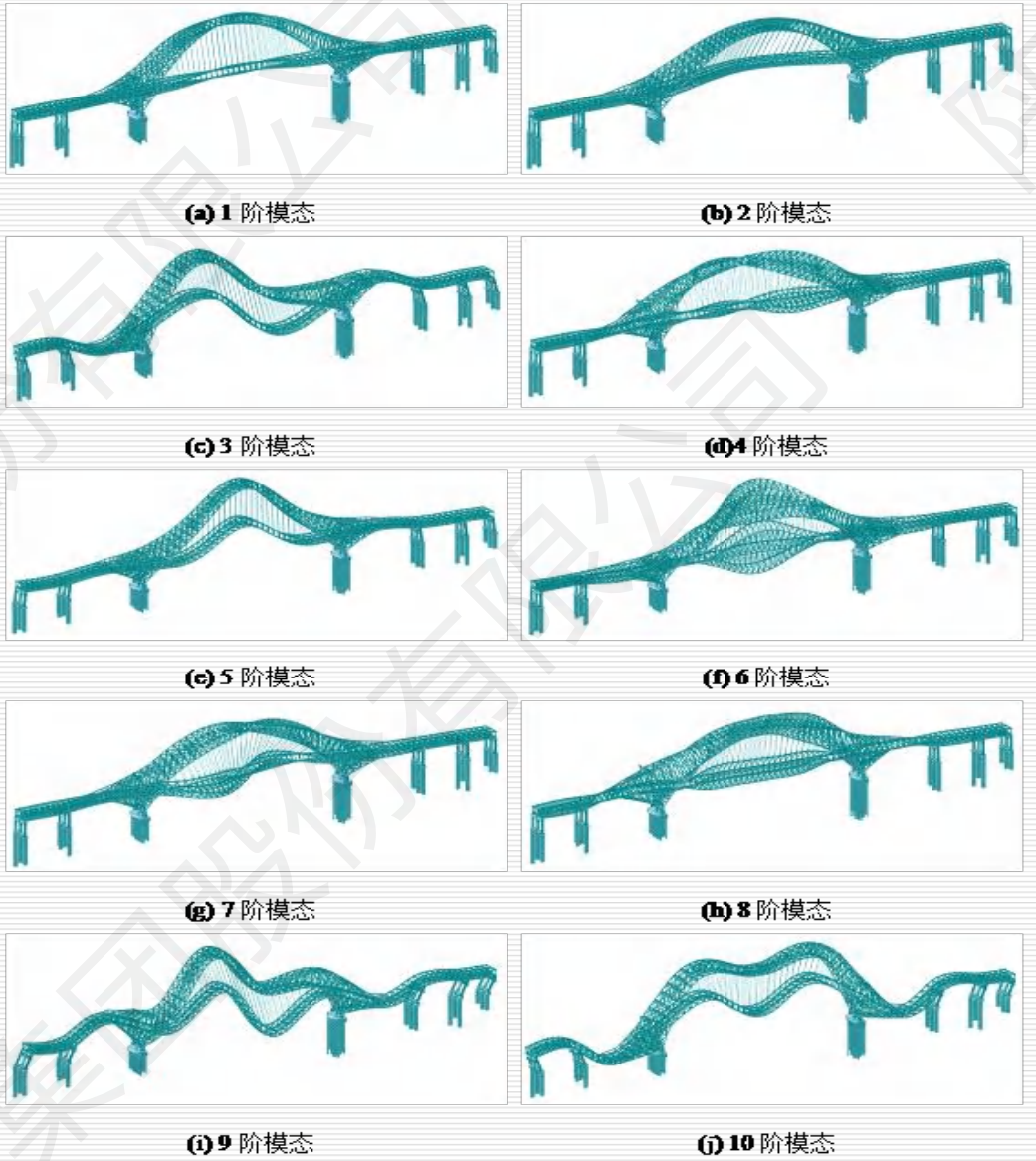
明珠湾大桥立面图

以明珠湾大桥工程为背景，从桥梁自振周期、桥墩剪力和弯矩等方面，对设计新型减隔震支座的全桥地震响应进行分析。

3.3.3大跨度连续钢桁架桥梁抗震性能研究分析

通过数值模拟，从桥梁结构自振周期、桥墩墩顶剪力、墩底弯矩、减隔震支座位移以及减隔震率五方面对支座的减隔震效果进行对比分析。

结果表明，新型支座兼备隔震与减震能力，新型支座可通过合理调整外围屈曲装置中杆件的几何参数、材料参数等来降低墩顶支座剪力和墩底弯矩响应值，其可更好地适应桥墩高度和抗侧刚度分布不均的连续梁桥。



(a) 1 阶模态　(b) 2 阶模态

(c) 3 阶模态　(d) 4 阶模态

(e) 5 阶模态　(f) 6 阶模态

(g) 7 阶模态　(h) 8 阶模态

(i) 9 阶模态　(j) 10 阶模态

3.4 大跨度连续钢桁架桥梁建造监测与诊断预警技术研究

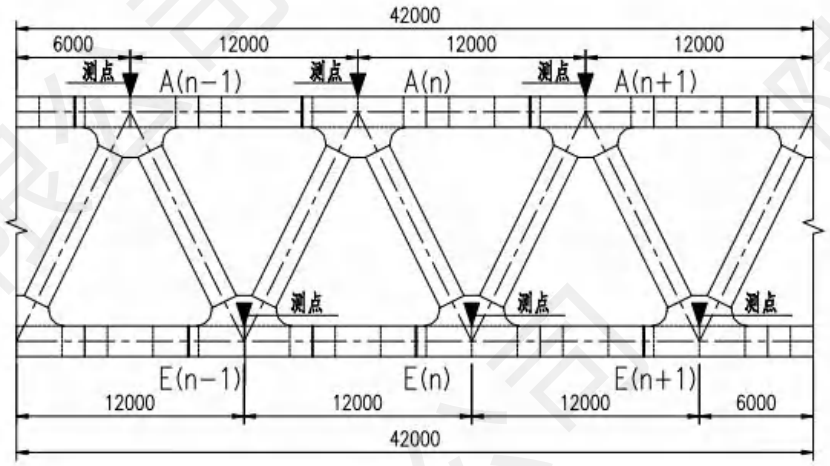
大跨度连续钢桁架桥梁建造监测与诊断预警技术研究

- 大跨度连续钢桁架桥梁顶推施工监测技术研究
- 大跨度连续钢桁架桥梁桥梁复杂结构的损伤识别方法研究
- 大跨度连续钢桁架桥梁桥梁结构的预警监测平台

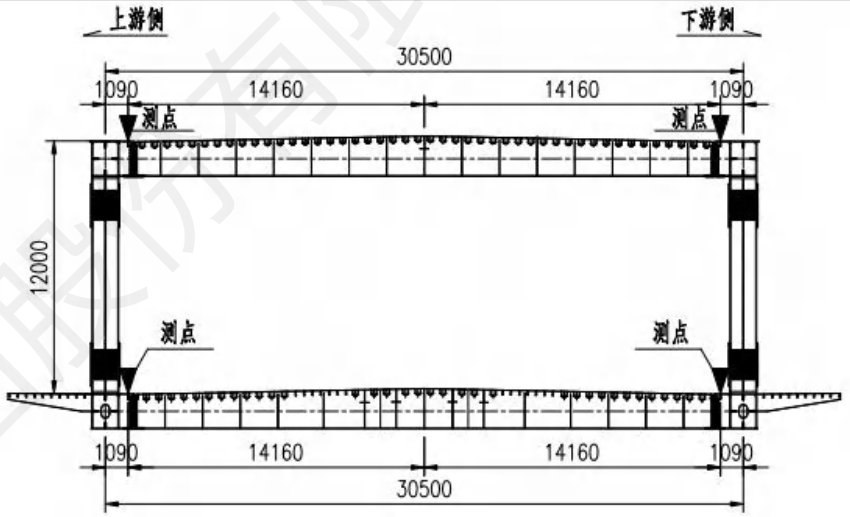
3.4.1 大跨度连续钢桁架桥梁顶推施工监测技术研究

大跨度连续钢桁架桥梁成套施工监测技术

- 施工监测的主要对象为主体桁架结构、导梁、滑道梁。
- 施工监测内容包括主要包括变形、应力及环境条件。
- 严格控制每一施工阶段结构的变形，当与计算值偏差较大时，则需进行误差分析且确定调整方法，为下一阶段施工做好准备。
- 结构不利受力部位应作为应力重点监测区域，结合局部精细分析，采取措施确保结构安全。



钢桁梁标准节间线形测点布置立面图



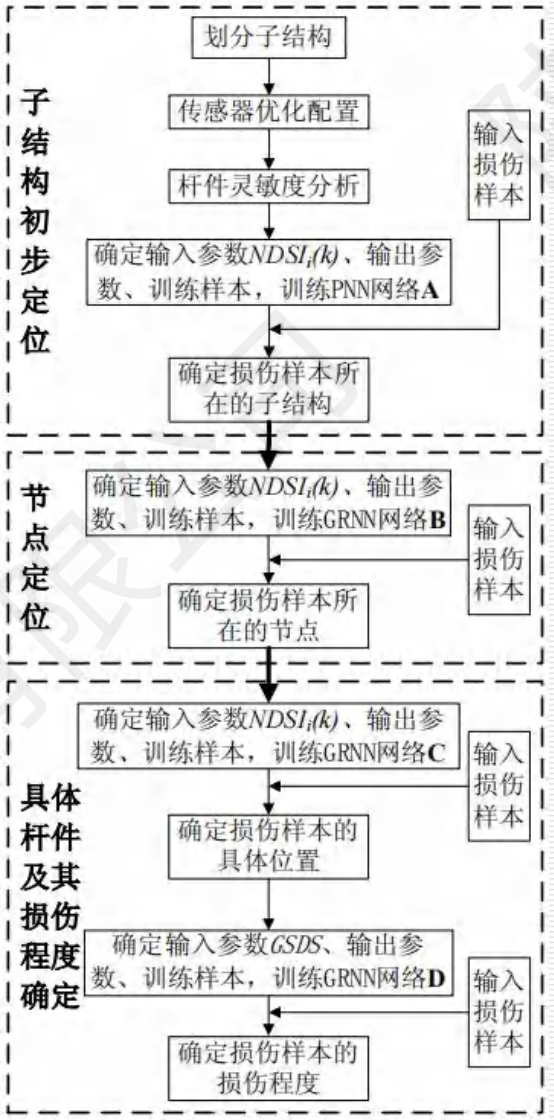
钢桁梁线形测点布置图

3.4.4大跨度连续钢桁架桥梁桥梁复杂结构的损伤识别方法研究

为了克服大跨度桥梁复杂结构体系节点杆件众多、结构复杂所带来的**损伤识别困难**，在现有研究的基础上提出了**基于神经网络的三步定位法（初步定位、节点定位和具体杆件及损伤程度识别）**。

利用两类神经网络来完成对大型复杂结构的损伤识别。

研究表明，增加第1步可显著的减少第2步节点定位时损伤训练样本的数量，使计算工作量大大减少，神经网络技术对大跨度桥梁复杂结构进行损伤定位的适用性。



三步定位法原理图

3.4.5大跨度连续钢桁架桥梁桥梁结构的预警监测平台

建立基于B/S模式大跨度公轨合建桥损伤识别云平台，深度融合BIM+GIS模型实现多源数据监测与可视化，集成静力、环境及损伤识别系统。

建立三级预警机制，采用红黄绿分级管理，结合神经网络、灰色模型及MATLAB工具有效提升预测效率，形成全周期闭环管理，显著提升复杂结构健康监测的智能化水平。

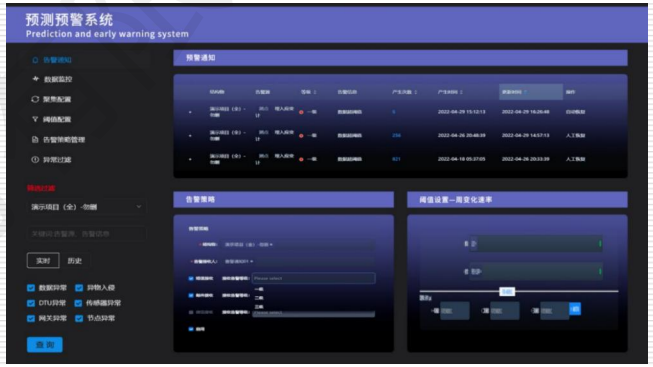




桥梁监测系统平台



设备硬件系统及架构平台



预测预警子系统平台

4

研究成果及效益

指标类型	学术成果如下
研究报告	研究报告1份
论文	发表学术论文47篇（核心期刊以上论文24篇）
专利	获授权专利56项（发明专利11项，实用新型专利45项）
软著	获授权软件著作权2项
工法	获工法14项（省级工法3项，企业工法11项）
获奖	获奖15项

✧ 经济效益：

项目相关技术成果在渭河公轨合建特大桥等**10余项代表性工程中得到应用**，通过应用本项目相关技术节约工效20%，缩短了工期，提高了施工效率，**共计节支6300万元。**



跨渭河公轨合建大桥

（在同类型的公轨合建桥中，跨径与联长均为亚洲第一）



泸州长江二桥



红岩村嘉陵江特大桥



三门峡黄河公铁两用特大桥



临猗黄河特大桥



福州道庆洲大桥



富县延能化管廊跨河大桥



跨泾河公轨合建大桥



鼎山长江大桥



浩吉联络特大桥

✧ 社会效益：

该科技成果的成功应用，**得到了省、市、区各级政府机关领导的指导，以及多家新闻媒体采访报道，项目成果实用性强**，有着广阔的推广与应用前景，社会效益显著 。



赵一德在西安市轨道交通规划调研



周绪红院士听取汇报并指导工作



高宗余院士对方案进行指导

多批专家、院校师生等社会各界人士到应用项目观摩学习，并**培养了一批优秀的科研人员和工程技术骨干**，提高了研究水平，提升了企业的科技竞争力，增强了土木学科专业实力，**有力推动了土木工程学科的发展。**

恳请各位专家批评指正！