

成渝中线高铁项目团队突破无推力组合拱桥设计施工难点——

# 智能拼装，建设跨江巨“弓”

本报记者 王永战

## 工匠绝活·我在重大工程一线

一条沱江，清水悠悠。桥面，锤声连连，焊花四落；桥下，钢柱林立，江水缓流。站在岸边高坡远望，一座巨“弓”初具雏形，安卧在桥墩之上。

这是成渝中线高铁建设现场，眼前的巨“弓”便是简阳沱江特大桥的雏形。成渝中线高铁是长江沿江高铁的重要组成部分，全

线长292公里，建成后，将使成渝通行时间缩短至50分钟。简阳沱江特大桥是其中的关键控制性工程，主拱计算跨径320米，边拱计算跨径72米，是一座无推力组合拱桥。

无推力组合拱桥如何设计？建设中有何难点，如何突破？近日，本报记者进行了探访。

### 创新设计

#### 基于泥岩、砂岩地质条件和通航需求，确定无推力组合拱桥设计方案

“弓”臂湛蓝，“弓”弦平顺。水面岸边，两座巨型桥墩供巨“弓”安卧。在简阳沱江特大桥建设现场，数十米高的桥面上，蓝色主拱缓缓向前延伸。工人手持焊枪，蓝光闪耀，焊花绽放。

“这座拱桥的主拱横跨320米，每幅拱肋由4根钢管构成，管内灌注混凝土。”走上大桥，负责桥梁设计的中铁二院高级工程师彭福兵娓娓道来，“主拱所有的水平力都由钢箱系梁承担，主拱对基础不产生水平推力，并且大桥由钢管混凝土主拱、钢箱—混凝土边拱、钢箱系梁等组合而成，所以叫无推力组合拱桥。”

为何选择无推力组合拱桥，又如何设计？彭福兵坦言，“方案设计大费周折。”

2020年，中铁二院的设计团队就开始围绕成渝中线如何跨越沱江展开研究。团队来到四川简阳石钟镇的沱江岸边观察——河岸宽阔，足足有300米，河中有水流缓慢，河两岸低山丘陵遍布。

“经我们钻探勘察发现，沱江两岸地层以泥岩和砂岩为主，地基承载力较差。”彭福兵说，基于这样的地质条件，常规的有推力拱桥方案便不宜采用。

同时，沱江未来有通航需求，又对桥梁主跨提出要求。“所以设计还要考虑尽量减少桥墩，减少对通航的影响。”彭福兵说。

2021年8月，新建成渝中线铁路可行性研究报告批复，工程开工日渐临近，桥梁设计也变得十分紧迫。怎么办？设计室里，中铁二院十人的设计团队整理地形资料和桥梁设计资料，展开头脑风暴。彼时，摆在团队面前有两个选择：尝试无推力组合拱桥设计或采取斜拉桥的设计方式。

若采用斜拉桥设计，开挖量大，施工周期长，成本较高，但设计经验相对丰富；采用无推力组合拱桥设计，开挖量少，施工周期短，成本较低，但设计经验不足。“综合权衡桥梁安全性、经济性和施工可行性后，我们最终确定无推力组合拱桥的设计方案。”彭福兵说。

桥梁设计紧锣密鼓地展开。设计团队反复分析受力结构，确定桥墩位置，明确拱桥主跨长度；同时，制出800多张设计图，从立面、断面等不同角度展示桥梁结构。最终，一套可靠详实的无推力组合拱桥设计方案逐渐成形。

### 数字建模

#### 利用建筑信息模型，通过提前虚拟拼装和实时监测调整，精准提升巨型主拱

桥上，蓝色拱肋伸向天际。桥下，巨型支架密密麻麻。如何让每一节拱肋向上生长？工程师们花了不少心思。

来到沱江特大桥的堆场，眼前，每节拱肋长达12米，由4根直径1.1米的钢管构成。在拱肋钢管内，还将浇筑大量混凝土用以受力。未来，这些拱肋将被提升至大桥上，组成主拱。

“由于钢管众多，每一节拱肋在焊接时都会有焊缝，也可能存在尺寸误差。若等拱肋送到桥上再解决误差问题，就会大幅增加施工难度。”中铁大桥局成渝中线站前五标段总工马天亮说。

如何解决这一难题？施工团队尝试将建筑信息模型（BIM）和虚拟拼装技术结合，提高组合拱拼装和提升效率。

大屏幕上，虚拟的桥梁模型位于中央，两侧列着钢管拱提升参数、应力监测、钢管拱姿态等数据指标。

“模拟组合！”马天亮一声令下，工人点击按钮，一段拱肋进行虚拟拼装。

“总工，虚拟拼装结果显示，钢管拱姿态正常，符合提升前的精准拼接需求。”

如此情景，在施工现场时常上演。这种

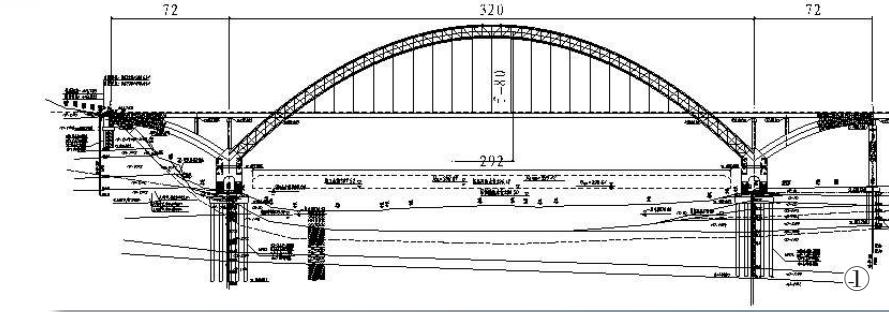
虚拟拼装如何实现？原来，工人已利用数字采集设备进行扫描，将每一节拱肋数字化，然后将数据传输至系统内，便能进行虚拟拼装。

长江沿岸铁路集团四川公司科技创新带头人胡鹏说，施工团队引入地理信息系统（GIS），将铁路沿线施工资料数字化，实现了铁路施工的数字孪生，建成了建筑信息模型系统。

消除提升前的潜在误差，只是完成精准提升工作的第一步。

“施工中，我们要将跨度174米、重达2400吨的钢结构大节段钢拱一次性提升，怎么实现？”马天亮卖了个关子。

原来，常规方式下，施工团队要用千斤顶提升，提升时的各点位承受重量要进行人工计算，以保证提升时的平衡。现在，团队把一套基于建筑信息模型系统的智能监测设备布设在各个提升点位上，提升时数据及时反馈，当点位出现相对高差并达到限值时，系统便能立刻调整各吊点的相对高差，实现提升过程中的稳定和精准。“现在，我们的高差控制精度已达到毫米级。”马天亮说。



图①：简阳沱江特大桥设计图。

长江沿岸铁路集团四川公司供图

图②：信息化调度中心内，工作人员在进行虚拟拼装。朱柯宇摄

图③：工人在桥面进行焊接作业。张耀川摄

图④：正在建设的简阳沱江特大桥。本报记者 王永战摄



图②



图③



图④

### 高效组合

#### 引入智能化螺栓施拧和混凝土智能温控技术，保障不同材料组合质量

桥面缓缓向前延伸，巨型组合拱旁，工人穿梭来往。站在沱江特大桥上，仔细看，已建成的拱肋靠一颗颗螺栓紧紧“攥”在一起。

一座铁路大桥，拥有约7.2万套高强度螺栓。螺栓虽小，作用巨大。

中午时分，桥面温度高达50多摄氏度。工人们身着工服，汗水浸透了里衣。他们冒着高温，挥动扳手，将一颗颗螺栓施拧到位。

如何让每一颗螺栓精准施拧，保证主拱部件高效组合？施工队伍为高强度螺栓配上了一个智能施拧系统。

组合拱上，不同位置的螺栓设定扭矩有所不同，智能化施拧系统为每一个螺栓都匹配了编号，并明确输入了相应螺栓的设定扭矩。工人使用智能化扳手施拧螺栓后，通过传感器感应，螺栓的施拧扭矩和施工时间就得以回传系统。

“在我们的建筑信息模型系统上，每个螺栓的位置和拧紧状态都能清晰展示。”马天亮说，这样就实现了对每个螺栓施拧状态的全面掌控，避免漏拧、欠拧和超拧现象。

不仅要让螺栓“攥”住不同主拱部件，

也要让钢管与混凝土充分组合。材料不同，性能各异，怎么确保不同材料的高效组合？

马天亮把手指向了施工项目部大屏幕上的智能温控系统，混凝土温度、流量等参数依次展示。“内部混凝土温度过高，增加冷却水管通水流量。”传感器监测到混凝土温度异常后，智能温控系统自主启动对冷却水管通水时长和流量的调节。

“大体积混凝土浇筑进钢管后，如果混凝土内外温差过大，存在开裂风险，严重影响组合拱的质量。”马天亮说，引入智能温控系统后，工人在浇筑混凝土时，在钢管内埋设了温度传感器和冷却水管，传感器实时采集混凝土参数，系统根据智能温控算法，自动控制冷却水管通水时长和流量，精准控制混凝土降温速率。“这样，冷却过程实现智能化、无人化。”马天亮说，目前已完成超5000立方米的混凝土智能温控。

今年下半年，沱江特大桥即将合龙。当包含不同部件和材料的巨型组合拱精准提升、高效组合，这座中承式无推力组合拱桥将等待第一趟高铁列车飞驰而过。

## 暖心故事

当日头刚爬到雷公山山顶，贵州省黔东南苗族侗族自治州丹寨县双尧村卫生室里，忙碌了一上午的村医龙光庆来不及休息，又径直走向药品柜。血压计、听诊器、各类药物……不一会儿，小药箱就被塞得满满当当。

“今天要去7组开展慢病随访。路程远，不抓点紧来不及。”挎上医药箱，龙光庆发动了摩托车，沿着小路朝河边驶去。

双尧村地处雷公山西南麓，全村7个村民小组、4个自然寨，共1400多人。作为村里唯一的村医，16年来，守护好村民们的健康，是龙光庆的“头等大事”。

“原来到村民家里看病，全靠一双脚板，一个来回就要一天。”沿着蜿蜒的山路下行，龙光庆说，这些年，村里的交通和医疗条件有了很大改善，自己也换成了骑摩托车出诊。“可要想到河对岸的寨子，骑车还得两个多小时。”

“一整天只够看几个患者，心里头哪能不急嘛！”龙光庆停下摩托车，沿着山路走了约20分钟，龙光庆走到排调河渡口。他挽起衣袖，拉动绳索，把一条渡船拉到岸边来。乌篷船荡开碧水，泛起层层涟漪。记者跟随跨上渡船，龙光庆调转船头向对岸驶去。

“以前别说开渡船了，坐在船上都心慌。”为了能尽快给对岸村民送医送药，龙光庆学会了划船。熟练地操起船桨，龙光庆的话语间满是自豪：“时间长了，老乡们都喊我‘摆渡医生’！”

头顶烈日，手摇船桨，小船向前行进间，20分钟过去了。停船靠了岸，来不及喘口气，龙光庆又转身上了山。掩映在密林与藤蔓丛中的小道间，尽是泥污腐烂的落叶、凸起的石块。陡坡近乎直上直下，他却不觉加快了脚步。

走了16年的山路，龙光庆早就“如履平地”。如今，这条村民们出行已不再使用的“羊肠小道”，依旧是他上山看诊的“最短路径”。

“可偶尔也会有‘马失前蹄’的时候嘞！”龙光庆打趣道。他掀起裤腿，露出深浅不一的疤痕来。“要是遇上下雨天，打湿了鞋子裤子不要紧，最怕就是滑倒，一旦受伤，就会耽误给大伙看病！”

转过几个弯，终于爬至公路旁，拍拍沾了一身的杂草树叶，龙光庆又沿着公路步行了两公里，敲开了村民杨雷家的门。“老杨，最近身体状况咋样？”

“看到你来，就放心喽！”杨雷热情招呼着，将龙光庆让进屋里来。今年57岁的杨雷，患糖尿病20多年，是龙光庆重点关注的对象。他告诉龙光庆，这几天自己的四肢有些发麻。

“还有哪里不舒服，随时给我打电话！”做完日常检查，龙光庆又叮嘱了一些注意事项。

“别看这一趟爬山又涉水，相比骑车绕路，时间可节约了一半多。”走出杨雷家，龙光庆低头看了看手表，露出欣慰的神色：“7组的慢性病患者，今天下午全都能随访问完！”



龙光庆在摆渡过河。

姚晶权摄

## 江西抚州金溪县持续完善城市功能惠民生

### 建好口袋公园 拓展绿色空间

本报南昌5月7日电（记者杨颜菲）傍晚时分，吃过晚饭，家住江西抚州金溪县秀谷镇鸣山路附近的居民刘旭辉便喊上邻居，一起去“鸣山口袋公园”散步。“以前这里有污水排放，如今改造成小公园，林木繁茂、空气清新，我们都爱来转转。”刘旭辉说。

近年来，金溪县按照“水清、景美、人和”的目标，充分盘活利用城区内边角地、空闲地、拆违腾退土地及其他可利用空间，积极推进口袋公园建设，打造10分钟便民休闲健身圈。“鸣山口袋公园”就是由几处池塘和废弃停车场改建而来的，总占地约2000平方米，面积不大，但功能齐全，成为周边群众茶余饭后的好去处。金溪县因地制宜栽树种草，加强适儿化、适老化、无障碍设计，完善遮阳避雨、夜间照明、休憩座椅等基础设施建设，推动绿色空间与城市发展有机融合。

据了解，近3年来，金溪县已建成12个集园林绿化、休闲健身、文化游园等为一体的口袋公园。一座座口袋公园，犹如一幅幅插图，点缀在城区中间，持续完善城市功能服务民生。

“我们将继续加大城市植绿补绿和生态湿地修复保护力度，补齐城市短板，增强城市承载能力，让天更蓝、地更绿、水更清，城市更宜居、宜业、宜游。”金溪县生态文明建设促进中心主任彭自强说。

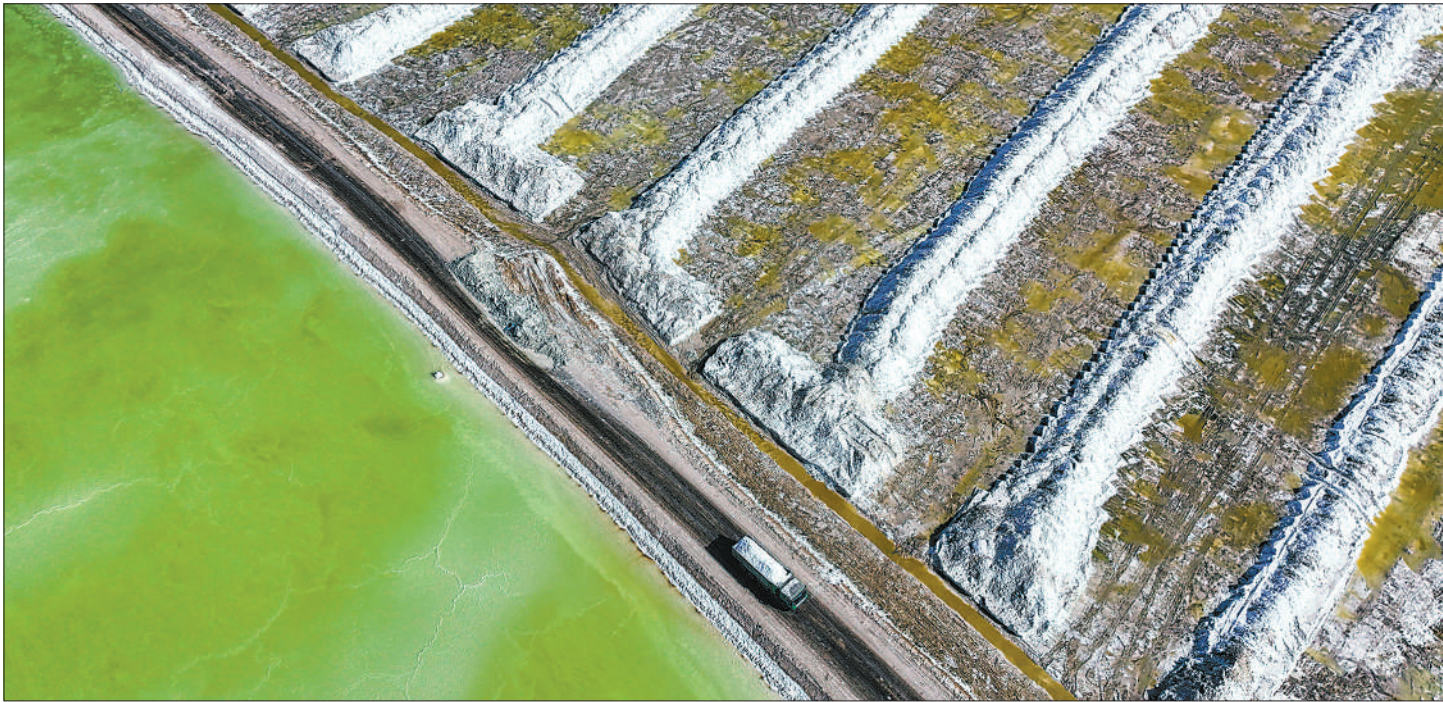
## 多态耦合轨道交通动模试验平台建设取得阶段性成果

### 时速有望达1500公里

本报北京5月7日电（记者李心萍）日前，西南交通大学“多态耦合轨道交通动模试验平台”真空管道顺利完成架设，并进行了直线电机60米试验线第一阶段试验。

该项目设计方铁四院有关负责人介绍，西南交通大学多态耦合轨道交通动模试验平台是一项创新型科研试验平台，项目将建设一条长1.6公里、内径宽3米、管道内空气压力在0.005至1.0标准大气压范围内的高架超高速真空管道交通试验线以及相关配套设施。

平台建设完毕后，可在管道内模拟不同低气压环境，开展不同磁悬浮模式比例模型车运行测试。当模型车采用高温超导磁悬浮模式时，试验速度可超过音速，理论上有望达到时速1500公里。



近年来，青海省致力于打造世界级的盐湖产业基地，推进盐湖资源有序开发，逐步实现从“资源宝库”向“产业高地”的转型，2024年青海钾肥产量达749万吨。图为海西蒙古族藏族自治州茫崖市一家钾肥生产企业的运输车正将开采的粗盐运往加工车间。

本报记者 贺勇乔栋摄影报道