

市政工程中 大跨度梁拱组合钢结构桥梁施工技术分析

史鹏昭

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南郑州 450001

DOI:10.12238/ems.v7i12.16476

[摘 要] 大跨度梁拱组合钢结构桥梁是连接城市核心区域、跨越复杂地形的重要枢纽，它凭借优异的大跨度跨越能力、轻量化结构设计及与城市景观的高适配性，能有效应对跨江河、城市繁华地段等复杂施工场景。不过，此类桥梁的施工过程中，建设单位面临钢结构分段运输难度高、梁拱协同受力控制复杂、焊接质量要求严格、吊装作业风险显著等问题，要实现工程预期目标，工程建设者需依托科学施工技术与精细化管理手段。为此，本文结合某城市跨江市政桥梁工程实例，深入剖析大跨度梁拱组合钢结构桥梁的结构特点与适用场景，并从钢梁分段设计、钢箱梁组装焊接、支撑系统搭设、钢箱梁吊装、起拱技术与预拱度控制五方面，阐述施工技术的现场应用要点；同时，本文还提出施工工艺控制、过程监测调整、质量验收三大质量管控措施，为同类市政工程的施工工作提供实用技术参考。

[关键词] 市政工程；大跨度梁拱组合钢结构桥梁；钢梁分段施工；钢箱梁吊装

引言

随着城市化进程加快，市政交通对桥梁的要求不断提升，不仅需要更大跨度与更强承载能力，还需与周边景观和谐融合。大跨度梁拱组合钢结构桥梁采用“连续钢梁+拱肋”协同受力体系，兼具钢梁良好的抗弯刚度与拱肋轴向承压特性，能减轻梁体自重、实现大跨度跨越，且钢结构工业化生产可大幅缩短现场施工周期，成为跨江河、跨交通干线及城市核心区域市政桥梁的优选方案。但在施工中，常因分段设计不合理导致吊装效率低，或因焊接质量把控不到位留下结构隐患，亦或因预拱度计算偏差引发桥面沉降。因此，深入研究该类桥梁施工技术要点，结合工程实际优化现场施工方案，对提升工程质量、规避施工风险、确保结构长期稳定至关重要。

1 连续梁拱组合桥梁概述

连续梁拱组合钢结构桥梁的核心是“连续钢梁+拱肋”，二者并非独立承载，而是通过刚接或铰接节点形成协同体系。其中，连续钢梁多为钢箱梁（单箱多室或双箱单室），主打抗弯抗扭刚度；拱肋则以箱型或桁架式为主，借吊杆或刚接与钢梁衔接，能把梁体竖向荷载转为自身轴向压力，大幅减轻梁体弯矩，如图 1 所示。运营时，荷载先经钢梁传至拱肋节点，再由拱肋承压传向墩台——这种“梁抗弯+拱抗压”模式，比纯钢梁桥更省钢、减重，还比传统混凝土桥轻，抗震性更强；加上钢结构预制率高，能缩短工期、少扰环境，拱肋线

条又易做景观设计，很适配市政工程的多功能需求，如市政工程中跨城市内河、滨江路段等江河区域，跨高速公路、铁路这类繁忙交通干线，或是城市景观核心区。不过要发挥这些优势，技术上需重点突破四点：一是分段制造运输，优化尺寸以平衡预制精度与组装效率；二是梁拱节点施工，靠专用焊接控变形、保传力；三是吊装定位，用适配设备加实时监测实现精准就位；四是预拱度控制，考量自重、活载、温度影响预设拱度，抵消后期变形^[1]。



图 1 连续梁拱组合钢结构桥梁结构图

2 工程概况

某城市新区跨江市政桥梁是连接新区与老城区的重要交通干道，采用连续梁拱组合钢结构形式，其跨越城市主要江河，上游邻近湿地公园、下游为航运航道。桥梁总长 860m，主跨 320m 为梁拱组合结构，边跨各 270m 为连续钢梁；钢箱梁采用单箱三室截面，截面高度 3.2m，顶板宽 34m（含 2.5m 宽人行道与 3m 宽非机动车道）；拱肋为箱型抛物线形钢结构，截面尺寸 2.0m×1.8m，通过 16 组高强钢丝束吊杆（直径

15.2mm, 抗拉强度 1860MPa) 与梁体连接。该桥梁设计荷载为城-A 级, 满足 IV 级通航等级与 7 度抗震设防要求, 需在 18 个月工期内完工, 同时需配套桥面 LED 景观灯带与声屏障环保设施, 实现与周边湿地公园的生态景观协调。

3 大跨度梁拱组合钢结构桥梁施工技术应用

针对工程难点, 施工单位采用“工厂预制+现场组装”模式, 分阶段实施钢梁分段设计、钢箱梁组装焊接、支撑系统搭设、钢箱梁吊装、起拱与预拱度控制五大核心技术, 具体实施情况如下:

3.1 钢梁分段设计

在钢梁分段设计的决策阶段, 设计团队需在多维度间反复权衡: 团队最初更倾向于优先保障工厂预制精度, 计划以更大的分段规模减少现场拼接节点, 从而降低焊接质量风险与结构稳定性隐患。但设计团队很快发现, 若仅聚焦预制精度而采用大体量分段(单段重量超 120t、长度 30m), 不仅会超出常规重型运输车(载重上限 100t)的载重上限, 城市道路运输中的最小转弯半径(15m)、限高(5m)要求也会让分段运输陷入困境; 反之, 若为迁就运输条件将分段做小(单段重量 60t、长度 15m), 现场焊接工作量会增加 60%, 既延长施工工期, 还会提升焊缝质量管控的难度。最终, 设计团队明确了“工厂预制精度、运输可行性、吊装效率”三者均平衡的核心设计原则, 确定主跨钢梁单段重量控制在 85~95t、长度 22~25m, 边跨钢梁单段重量 70~80t、长度 20~22m, 兼顾预制与现场施工效率。

3.2 钢箱梁组装和焊接

钢箱梁组装与焊接是保障桥梁结构受力性能的核心工序, 施工中需重点控制组装精度与焊接质量, 防止出现焊接变形影响结构轴线和高程。

3.2.1 现场组装要点

现场组装时, 施工团队将组装平台搭建作为现场组装的基础工作。具体操作中, 施工团队先在桥梁墩台两侧搭设型钢组装平台, 为保障平台稳定性, 采用 C30 混凝土浇筑独立基础; 接着在平台顶部铺设 I40b 工字钢, 技术人员用水准仪, 对工字钢进行找平操作, 确保平台平整度偏差 $\leq 2\text{mm/m}$; 同时在平台上设置定位挡块(间距 5m)和高程控制点, 间隔 10m 增设高程基准点——这样在组装钢箱梁时, 技术人员能准确控制分段高程, 确保高程偏差符合设计要求。

3.2.2 焊接工艺控制

技术人员依据钢箱梁的材质确定焊接材料与设备的选型, 核心目标是确保焊接熔敷金属的强度符合设计要求。例如, 针对工程中使用的特定低合金高强度钢, 技术人员选用适配的低氢型焊条(用于手工焊)与焊丝+焊剂(用于埋弧自动焊); 对于梁拱连接节点等关键节点, 技术人员优先采用埋弧自动焊保障焊接质量, 而次要焊缝则采用气体保护焊, 以此在保证基础质量的前提下提升焊接效率。

在焊接顺序与变形控制上, 技术人员采用“对称焊接、分段退焊”的工艺方案。具体来看, 纵向焊缝从中间向两端逐步焊接, 横向焊缝从腹板向翼缘方向推进, 梁拱节点焊缝则先焊腹板与拱肋的连接缝, 再焊翼缘与拱肋的连接缝; 每道焊缝完成后, 技术人员采用锤击法释放焊接过程中产生的应力, 减少焊接变形对结构的影响。同时, 技术人员用全站仪实时监测焊接变形情况, 若发现变形超出允许范围, 会及时调整后续焊接顺序, 确保最终焊接变形量控制在规范标准内。

在焊接顺序与变形控制上, 技术人员采用“对称焊接、分段退焊”的工艺方案。具体来看, 纵向焊缝从中间向两端逐步焊接, 横向焊缝从腹板向翼缘方向推进, 梁拱节点焊缝则先焊腹板与拱肋的连接缝, 再焊翼缘与拱肋的连接缝; 每道焊缝完成后, 技术人员采用锤击法(锤击力 5~8kN)释放焊接应力, 减少焊接变形对结构的影响。同时, 技术人员用全站仪(精度 $\pm 2\text{mm}$)实时监测焊接变形情况, 若发现变形超出允许范围($\leq 5\text{mm/m}$), 会及时调整后续焊接顺序, 确保最终焊接变形量控制在规范标准内。

3.3 搭设支撑系统

施工团队搭建的支撑系统, 是桥梁施工阶段承载钢箱梁、拱肋及施工荷载的临时结构。施工团队需兼顾其承载力、稳定性与可拆卸性, 并按“陆地段+跨江段”的不同施工场景, 采用差异化设计方案:

对于陆地段(边跨), 施工团队采用“型钢支架+混凝土基础”方案。其中混凝土基础选用特定强度等级的独立基础, 尺寸需根据支撑荷载提前设计, 确保能承受支架传递的全部荷载; 支架立柱选用特定规格的螺旋钢管, 横纵向间距设置需兼顾支撑稳定性与现场施工操作空间; 立柱顶部安装可调顶托, 方便后续调整钢箱梁高程; 顶托上方铺设双拼工字钢分配梁, 分配梁与钢箱梁的接触部位需垫设橡胶垫, 以

此防止钢箱梁局部应力集中, 保护结构安全。

对于跨江段(主跨), 施工团队采用“钢栈桥+钢管支架”组合方案。钢栈桥以特定规格的螺旋钢管桩为基础, 施工团队需将钢管桩入土至江底并固定, 确保基础牢固; 栈桥桥面铺设工字钢, 工字钢之间通过焊接连接, 形成稳定的桥面结构; 钢管支架搭建在钢栈桥上, 立柱同样选用特定规格的螺旋钢管, 横纵向间距按受力要求合理设置; 为增强支架整体稳定性, 施工团队会用特定规格钢管在支架间设置横向和斜向剪刀撑, 剪刀撑与立柱、分配梁之间通过焊接连接, 最终形成完整的支撑体系^[2]。

3.4 钢箱梁吊装施工

钢箱梁吊装需结合跨江、通航等现场环境与设备能力, 制定“分阶段、差异化”方案以保障精准就位与安全: 陆地边跨因吊装半径小、分段轻选适配汽车吊, 跨江主跨因难度大、分段重选带GPS定位, 实时监测船体姿态的浮吊, 二者额定起重量均匹配需求。吊装时间避开通航时段, 夜间作业并申请封航, 遇恶劣天气暂停, 吊点对称设置(间距依梁长定), 用合规钢丝绳与卸扣且吊点焊缝需强度验算, 顺序遵循“先边跨后主跨、对称吊装”, 过程用全站仪监测轴线高程、缓慢起吊防冲击, 就位后可调顶托微调偏差, 再用高强螺栓紧固临时连接板并复核扭矩^[3]。

主跨合拢段施工时, 施工团队明确主跨最后一段为合拢段, 需在温度稳定时段, 如夜间2:00-4:00, 环境温度18~22℃, 可减少温度变形影响。吊装合拢段前, 技术人员用激光测距仪测量合拢口间隙, 间隙过大(超设计值15mm)则用50t千斤顶顶推调整, 间隙过小(小于设计值5mm)则采用砂轮片打磨调整, 确保间隙满足焊接要求(10±2mm)。合拢焊接采用“双人对称焊接”工艺, 施工团队安排经验丰富的焊工从合拢口两端向中间同时焊接, 焊接过程中, 技术人员每焊完一道焊缝就用红外线测温仪监测焊缝温度, 确保层间温度控制在150~250℃; 焊接完成后, 待焊缝冷却至环境温度, 作业组再拆除临时连接板, 避免焊缝未冷却产生内应力影响钢箱梁结构性能。

3.5 起拱施工控制

大跨度梁拱组合结构在施工与运营阶段, 会因自重、活载、温度等因素产生挠度, 为保障桥梁运营后桥面高程符合设计要求, 施工团队必须开展预拱度控制工作。施工控制阶

段, 各环节均围绕预拱度推进: 工厂预制钢箱梁时, 技术人员通过调整胎架高程(主跨跨中胎架高程抬高31.2mm)预设预拱度, 让钢箱梁分段自带预拱度, 为后续施工打基础; 现场组装时, 技术人员按预拱度值设置组装平台的高程控制点, 其中主跨跨中组装平台高程比设计高程高31.2mm, 边跨按抛物线规律递减(如距主跨100m处高程抬高18.5mm), 组装过程中用全站仪实时监测钢箱梁顶面高程, 若偏差超5mm, 立即通过可调顶托调整; 拱肋安装时, 施工团队按预拱度要求设置拱顶高程(抬高35mm, 含5mm自重压缩量预留), 待拱肋安装完成且拱顶沉降稳定(72h内沉降量≤2mm)后, 再调整吊杆张拉力(初始张拉力500kN, 分级调整至800kN)修正梁体挠度, 最终确保预拱度达到设计标准(实测值与设计值偏差≤3mm)^[4]。

结束语

大跨度梁拱组合钢结构桥梁施工是复杂系统工程, 需统筹考量“技术可行性、环境适应性、质量安全性”三大要素。施工中, 科学分段设计可优化运输与吊装效率, 精细化焊接工艺能保障节点受力性能, 稳定支撑系统可有效控制施工安全, 精准预拱度计算与监测能确保结构精度。通过本文的技术分析与实践经验, 希望能为后续同类市政大跨度梁拱组合钢结构桥梁施工提供有益参考, 推动市政桥梁建设向“更跨度、更安全、更智能、更美观”方向发展, 为城市交通建设贡献更大力量。

[参考文献]

- [1]黄雪松. 大跨度梁拱组合钢结构桥梁在市政道桥施工技术分析[J]. 中国建筑金属结构, 2025, 24(15): 124-126. DOI: 10.20080/j.cnki.ISSN1671-3362.2025.15.043.
- [2]方晓环. 大跨度梁拱组合钢结构桥梁施工技术[J]. 汽车周刊, 2025, (09): 85-87. DOI: CNKI: SUN: QCZK.0.2025-09-032.
- [3]李朋. 大跨度钢结构桥梁吊装施工技术研究[J]. 交通世界, 2024, (27): 103-105+131. DOI: 10.16248/j.cnki.11-3723/u.2024.27.022.
- [4]冯太坤, 马林, 郑佑卫. 大跨度梁拱组合钢结构桥梁施工技术研究[J]. 工程技术研究, 2024, 9(13): 60-62. DOI: 10.19537/j.cnki.2096-2789.2024.13.019.