

城市九孔上承式连续实腹拱桥施工技术

许大鹏

(安徽建工建设投资集团有限公司, 安徽 合肥 230031)

摘要 城市多孔连续实腹拱桥造型优美、景观效果突出, 在城市河道及景观廊道工程中应用广泛。九孔上承式连续实腹拱桥因跨数多、连拱效应明显、自重较大, 对施工对称性、结构线形、支架体系及受力控制要求极高。本文以城市九孔上承式连续实腹拱桥为研究对象, 结合现行规范与工程实践, 系统阐述施工总体流程、下部结构施工、满堂支架搭设与预压、主拱圈现浇、拱上结构施工、桥面系施工及支架卸除等关键技术, 明确施工控制要点、质量标准与安全环保措施, 以期为同类型城市连续拱桥施工提供技术参考。

关键词 城市桥梁; 九孔连续拱桥; 上承式实腹拱; 满堂支架法; 对称浇筑

中图分类号: U445.4

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.25.028

0 引言

随着我国城镇化进程不断加快, 城市市政桥梁不再仅满足通行功能, 更加注重结构安全、景观效果、文化特色与生态保护的综合统一。上承式连续混凝土拱桥因受力合理、刚度较大、造型舒展美观、耐久性好, 在城市景观河道、生态廊道、新城核心区等工程中应用日益广泛。安徽省庐江县合庐产业新城作为合肥南部重要的产城融合发展片区, 区域内水系发达、生态敏感节点多。本文结合该项目实际施工条件, 从施工部署、关键技术、过程控制、安全环保等方面总结形成一套适用于城市多跨连续混凝土拱桥的施工技术体系, 旨在为同类工程提供实践参考。

1 工程概况与技术特点

1.1 工程概况

龙桥路(牛金路—星夜大道)段建设工程西起牛金路, 东至星夜大道, 位于合庐产业新城核心区, 长度3 028.058 m。红线宽45 m, 南侧绿线15 m, 道路等级: 城市主干道, 跨河桥桥梁中心桩号为K2+483.903, 全长118.7 m, 采用9孔上承式连续实腹拱桥, 桥梁结构分两幅设计, 中间留一道2 cm变形缝。全桥位于直线段, 拱桥中间大两边小对称布置, 跨径分别为7.5 m, 8.5 m, 9.5 m, 10.5 m, 11.5 m, 10.5 m, 9.5 m, 8.5 m, 7.5 m。第一个和最后一个拱圈满足游步道净空不少于2.5 m, 高程为4.5 m。

1.2 技术特点

首先, 连拱受力特征显著: 九孔连续结构使各孔拱圈与墩台形成整体受力体系, 施工过程中必须严格执行全桥对称、逐孔均衡、同步加载的原则, 避免因受力不均导致墩顶偏移、拱圈开裂及内力重分布异常。其次, 结构自重较大, 支架要求高: 实腹拱圈混凝土方量大、自重集中, 现浇施工对支架刚度、稳定性及地基承载力要求极高, 支架设计与预压为施工控制核心环节。最后, 线形控制精度要求高: 拱轴线形直接决定桥梁景观效果, 施工中需严格控制拱轴线偏差、高程偏差及结构尺寸偏差, 保证全桥线形流畅、对称美观。

2 城市九孔上承式连续实腹拱桥总体施工流程

城市九孔上承式连续实腹拱桥遵循先地下、后地上; 先下部、后上部; 先主拱、后拱上; 对称施工、均衡受力的总体原则。

3 城市九孔上承式连续实腹拱桥关键施工技术

3.1 施工测量与全过程监控

测量控制是保证拱桥线形与位置准确的基础。正式施工前, 需建立全桥统一平面及高程控制系统。对拱脚、墩台中心、拱轴线、支架基础位置进行精准放样。施工过程中布设支架沉降测点、墩顶位移测点、拱圈应力与线形测点, 实施动态监测, 及时反馈数据并调整施工参数, 确保结构受力与线形始终处于可控状态。

作者简介: 许大鹏(1987-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 市政道桥工程。

3.2 下部结构施工

下部结构是上部拱圈的受力依托,施工质量直接影响全桥稳定性。基础施工采用钻孔灌注桩基础,严格控制成孔、清孔、钢筋笼安装及混凝土灌注质量,确保桩基完整性与承载力。基坑开挖按土质放坡,设置排水系统,基底夯实平整并浇筑混凝土垫层。墩台采用定型钢模板,分层对称浇筑混凝土,保证外观平整、垂直度满足规范要求。拱脚位置预埋钢筋与预埋件必须定位准确、固定牢固,为后续主拱圈施工提供可靠连接。九孔墩台宜同步推进施工,保证全桥受力均衡。

3.3 现浇拱圈施工

1. 满堂支架设计与预压:满堂支架现浇是城市实腹拱桥最常用、最成熟的施工方法,支架体系安全是工程成败的关键。第一步,支架搭设:常用盘扣式钢管支架,立杆纵距 0.8 m,横距 0.8 mm,步距 1.2 m。支架底部设置垫板或可调底座,增强局部稳定性;纵横向设置扫地杆、水平横杆及竖向剪刀撑,形成空间整体稳定结构。顶托上方铺设方木与模板系统,底模严格按照设计拱轴线与计算预拱度进行放样安装,确保成桥线形符合设计要求^[1]。第二步,支架预压:支架搭设完成后进行支架预压,可有效消除支架体系的非弹性变形,保障施工精度。检验支架整体安全性并获取弹性变形值,为高程调整提供依据。预压荷载取拱圈自重的 1.1 倍~1.2 倍,采用砂袋、水箱或混凝土块分级加载,依次为 0→60%→100%→120%。每级加载完成后进行沉降观测,持荷至连续 24 h 沉降量不大于 2 mm 方可进行下一级加载。预压完成后分级对称卸载,分别计算弹性与非弹性变形,据此调整底模标高。

2. 模板安装:拱板底部模板采用 15 mm 厚竹胶板,标准尺寸 1 220 mm×2 440 mm;底模模板长边顺桥梁走向布置,外模使用木工板。底模布设遵循以下原则:以各跨拱座中心线为基准,整幅模板由基准位置向两侧排布^[2]。在底模板安装好后,经过监理单位一起通过验收后,才能进入下一道工序施工。在下道工序施工前确保模板标高及平面位置进行复核测量,确保其平整度、接缝质量均符合设计及规范规定。

3. 钢筋制作与安装:本桥梁主筋选用 HRB400E 抗震螺纹钢,所有钢筋半成品统一于钢筋加工厂预制加工。按部位、型号、规格分别堆放,钢筋直径<22 mm 的采用绑扎搭接或者单面搭接焊连接,钢筋直径≥22 mm 的采用机械连接(即直螺纹套筒连接)。模板平面位置及标高复核合格后,方可开展钢筋安装作业。在底板、

侧板上弹出钢筋间距控制线,按标识依次布设主筋与箍筋,同步穿插底板横向分布钢筋;底板上层纵向钢筋需从箍筋内侧穿入。底板上层钢筋设置定位支撑筋,避免施工踩踏引发钢筋变形。底板与侧墙钢筋选取关键节点点焊加固,保证钢筋网格整体稳定。纵向普通钢筋采用搭接焊连接,双面焊缝长度不应小于 5 d,单面焊缝长度不应小于 10 d。同一连接区段内钢筋接头数量占比不得大于 50%,接头错开间距不小于 35 d,且最小间距不小于 500 mm。当钢筋位置发生冲突时,本着适当调整次要受力钢筋的原则处理,并经监理工程师的认可。钢筋保护层的设置:钢筋保护层垫块采用同强度标号的水泥垫块,其厚度满足设计要求,垫块呈梅花形布置,并确保每平方米内垫块数量不少于 4 个。

4. 混凝土浇筑:主拱圈是桥梁主要受力结构,施工需严格控制对称、密实、温控与线形。混凝土由商品混凝土站集中拌制,通过运输罐车运至施工现场,运至现场后应现场检测坍落度及和易性,坍落度满足 150±30 cm 要求方可使用,并做好试样留存工作^[3]。本工程混凝土采用汽车泵泵送入模。混凝土浇筑施工前,须对支架、模板、钢筋及各类预埋件进行全面检查验收,确认各构件完好无损,安装位置正确、几何尺寸均符合设计及规范要求,方可开展浇筑作业。拱顶混凝土浇筑时先从拱脚下料,利用输送泵直接浇筑。具体浇筑步骤如下:首先自拱脚下料保证两侧拱脚对称浇筑,从拱脚向拱顶全宽浇筑,拱圈混凝土整体浇筑工作,要赶在拱脚混凝土初凝前收尾。浇筑过程中检测拱顶高程及位移变化,提前在拱顶位置加压配重,防止拱架拱顶上翘。必须等拱圈强度完全达到设计要求,再进行后续拱上结构施工。由于九拱桥超静定次数大,受温差影响大,拱圈浇筑温度应选择在 10℃~20℃ 时进行。混凝土采用 C40 泵送混凝土,入模温度控制在 5℃~30℃。单孔拱圈采取对称分段浇筑,一般分为 3 段~4 段,从拱脚向 L/4 位置、再向拱顶推进,保证连接可靠。浇筑顺序遵循底板→腹板→顶板,腹板分层斜向推进,分层厚度不大于 30 cm。选用插入式振捣器振捣混凝土作业时均匀振捣,保证快插、慢拔的操作手法。避免漏振、过振及蜂窝麻面。在施工过程中,务必把控好混凝土内外温度差值不大于 25℃,内部最高温度不大于 70℃,防止温度裂缝产生^[4]。

5. 混凝土养护:浇筑完成后及时对混凝土表面进行覆盖保温保湿,可选用塑料薄膜结合保温棉被或土工布分层覆盖。养护阶段始终维持表面湿润状态,严

禁表面失水、干裂。连续养护时间不得低于14 d;大体积混凝土同步监测内部、表面温度,动态调整养护方式,合理控制降温速率。

3.4 拱上结构施工

待主拱圈混凝土强度达到设计强度100%,再开展拱上结构施工作业。拱上横墙、腹拱采用对称浇筑,避免单侧偏载。拱上填料采用泡沫轻质土填料施工,施工应按配料→制泡→混合→浇筑→养护工序实施。原材料(水泥、发泡剂、水等)需符合设计与规范要求,配合比经试配后报监理工程师确定,湿重度、流动度及抗压强度满足设计指标。浇筑前基底平整、无积水并做好排水;模板支撑牢固、拼缝密封防漏浆。采用分层浇筑,单层厚度宜控制在0.3 m~0.5 m,浇筑从一端向另一端推进,同一区段上下层浇筑间隔:气温 $\geq 15^{\circ}\text{C}$ 时。浇筑完成后及时覆盖塑料薄膜或土工布保湿养护,养护时间不少于7 d;顶层强度达1.5 MPa后方可进行后续施工。拱脚处设置排水层与泄水管,防止雨水积存侵蚀结构^[5]。

3.5 桥面系及附属工程

桥面铺装分幅施工,基层混凝土拉毛处理,保证与上层铺装黏结可靠。伸缩缝、人行道、栏杆、照明、排水等附属工程精准定位安装,确保线形顺直、外观统一。景观栏杆、亮化工程与桥梁整体风格协调,提升城市景观效果。

3.6 支架与模板卸除

卸架是拱桥施工的关键工序,必须在主拱圈强度达到100%且监控数据合格后进行。卸架遵循从拱顶向拱脚、全桥对称、分级缓慢、同步卸除的原则,先松动顶托,再拆除杆件,严禁集中、快速、单侧卸载,避免拱圈产生额外内力导致开裂。卸架过程持续监测拱顶高程与墩顶位移,确保结构安全稳定。

4 城市九孔上承式连续实腹拱桥施工质量控制与质量标准

第一,支架体系:预压沉降稳定,整体刚度与强度满足设计要求,变形可量化、可调整。第二,主拱圈:拱轴线偏差 $\leq \pm 5\text{ mm}$,高程偏差 $\leq \pm 10\text{ mm}$,截面厚度偏差 $\leq \pm 5\text{ mm}$,混凝土密实、无裂缝、无露筋。第三,连拱控制:全桥对称施工偏差 $\leq 5\text{ mm}$,墩顶水平位移 $\leq 3\text{ mm}$ 。第四,卸架控制:分级、匀速、同步,卸架过程无异常变形、无裂缝产生。第五,拱圈混凝土温度监测监控:建立水化热监测管控系统,测温点

位严格按照规范及施工计算布设,覆盖混凝土结构内部、表层及施工环境,保障监测数据全面、精准、有效。全程规范记录各项温度数据,保证监测记录连续、完整、真实,无漏测、断测情况。施工全过程严控混凝土内外温差标准,以 25°C 为临界管控值,根据测温数据动态调整养护方案,规避温湿度骤变引发的有害裂缝。依托信息化监测系统实时掌握混凝土温度变化情况,结合环境温度、昼夜温差及结构温度状态,及时调整保温、保湿养护措施,保证混凝土结构温湿度平稳变化,从源头预防水化热过高、温差过大引发的结构性裂缝。

5 城市九孔上承式连续实腹拱桥施工管理措施

首先,安全管理:支架搭设、高空作业、起重吊装均执行专项方案,支架方案需经专家论证;现场设置临边防护、安全网、警示标识,特种作业人员持证上岗。其次,环保措施:城区施工采取降噪、降尘措施,建筑垃圾与施工污水集中处理,保护河道水环境,做到文明施工、绿色施工。最后,应急管理:编制暴雨、大风、支架沉降超限、混凝土浇筑中断等应急预案,配备应急物资,确保突发情况快速处置。

6 结束语

城市九孔上承式连续实腹拱桥施工技术复杂、控制要点多,其核心在于对称均衡施工、支架安全可靠、拱圈线形精准、受力体系平稳转换。通过严格执行满堂支架预压、主拱圈对称浇筑、全过程监测及分级卸架等关键技术,可有效保证结构安全、线形美观与质量达标。该施工体系适应性强、成熟可靠,在城市景观拱桥建设中具有较高的推广与应用价值。

参考文献:

- [1] 白泓伟.山区下承式钢管混凝土拱桥关键施工技术[J].交通世界,2026(11):119-121.
- [2] 杨先权,王亮,王亚龙,等.多跨双曲拱桥无支架法拆除施工方案研究[J].世界桥梁,2026,54(03):40-46.
- [3] 徐建,王修山.人行系杆拱桥吊杆更换施工控制与力学性能试验研究[J].中国建筑金属结构,2025,24(S1):202-205.
- [4] 周水兴,刘小波,张敏.混凝土拱桥悬臂浇筑施工成拱线形简化计算方法研究[J].世界桥梁,2026,54(02):97-102.
- [5] 李广华.开口薄壁截面拱桥转体施工监测要点[J].交通世界,2025(32):141-143.