

葵花形拱桥施工技术与控制要点研究

王志浩

(北京市政路桥股份有限公司,北京市 100045)

摘要: 葵花形拱桥因其结构为主拱上设置腹拱,整体造型酷似葵花而得名,凭借造型美感和合理的受力性能,在城市景观桥梁和主干路桥梁工程中应用渐广。此类桥梁多采用多跨连拱结构,拱轴线线形复杂,上下部结构协同受力要求高,施工过程中需重点控制拱轴线精度、支架稳定性、混凝土裂缝及结构耐久性等关键指标。为解决施工控制难题,以广州知识城九龙湖大桥为依托,从拱座墩、主拱圈、腹拱圈到连续纵梁等关键部位的施工工艺入手,深入分析控制重点并提出应对措施。通过强化模板及支架体系设计、精准控制拱轴线、优化混凝土施工及监测方案,实现了桥梁施工全过程的质量、安全与进度管控,确保了工程结构稳定性和耐久性。

关键词: 葵花形拱桥;拱轴线控制;结构裂缝控制

中图分类号: U445.4;TU997

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)09-0325-06

Research on Construction Technology and Key Control Points of Sunflower-shaped Arch Bridge

WANG Zhihao

(Beijing Municipal Road and Bridge Co., Ltd., Beijing 100045, China)

Abstract: The sunflower-shaped arch bridge is named for its structure where a web arch is set on the main arch, and its overall shape resembles a sunflower. With its aesthetic appeal and reasonable load-bearing performance, it is increasingly widely used in urban landscape bridges and main road bridge projects. Such bridges mostly adopt multi-span continuous arch structures, the arch axis lines are complex and the requirements for the coordinated force of the superstructure and substructures are high. During the construction process, the key indicators such as the accuracy of the arch axis, the stability of the support, concrete cracks, and the durability of the structure should be strictly controlled. To address the difficulties in construction control, relying on the Jiulonghu Bridge in Guangzhou Knowledge City, the control points are deeply analyzed and the countermeasures are proposed from the construction techniques of key parts such as arch seat pier, main arch ring, web arch ring and continuous longitudinal beam. By strengthening the design of formwork and support systems, precisely controlling the arch axis, and optimizing concrete construction and monitoring schemes, the quality, safety and schedule control throughout the bridge construction process have been realized, ensuring the structural stability and durability of the project.

Keywords: sunflower-shaped arch bridge; arch axis control; structural crack control

0 引言

葵花形拱桥是一类造型独特、受力高效的上承式异型拱桥,其核心特征为主拱与腹拱直接叠置相连,取消传统拱上立柱,采用腹拱横跨主墩将两侧主拱直接相连,立面呈现“大拱套小拱”的通透形态,既有传统拱桥的历史美感又兼顾简约的现代美感^[1-2]。该桥型因优美景观效果与良好结构效率,自

重较轻、整体刚度较大,在城市景观桥与中小跨径桥梁中应用日益广泛。

近年来,国内学者与工程界围绕葵花形拱桥开展了受力分析、设计优化与局部工法研究,在主腹拱受力机理、支架选型、混凝土浇筑等方面积累了一定经验。但总体来看,相关研究仍存在明显不足:一是施工全过程力学行为研究不够系统,对分段浇筑、支架分步拆撑带来的体系转换与应力重分布规律揭示不充分;二是施工控制指标与阈值不明确,线形、应力、温度等关键参数缺乏统一控制标准;三是复杂条件下成套施工工艺与风险防控体系不完善,小空间

收稿日期: 2026-03-09

作者简介: 王志浩(1993—),男,学士,工程师,从事道路与桥梁建设。

模板作业、混凝土抗裂、高精度线形控制等难点仍制约工程质量与安全。上述问题导致该桥型施工仍较多依赖经验,难以满足标准化、精细化建造需求。

在我国基础设施高速发展下,葵花形拱桥因造型美感与受力优势具备广阔应用前景。但其结构复杂、工序繁多、体系转换频繁、异型结构多、质量控制难度大的特点,使其对施工技术与过程控制有了更高要求。为破解现有技术瓶颈,保障成桥线形与受力状态符合设计预期,提升整体安全性、耐久性与美观度,亟需对施工技术与核心控制要点开展系统性研究。

以广州知识城九龙湖大桥为依托,采用仿真模拟、受力分析与现代监测技术相结合的方法,系统研究模板及支架体系设计、主要结构混凝土浇筑、线形控制、裂缝控制等关键技术,明确施工全过程控制要点、工艺流程,形成可复制的施工技术方案与控制体系。研究成果可为同类桥梁施工提供理论依据与技术参考,有助于推动葵花形拱桥施工向精细化、标准化发展,对提升异型拱桥工程品质具有重要工程价值与实践意义。

1 工程概况

九龙湖大桥上部结构采用10 m+40 m×3+10 m的跨径组合,分幅式设计,单幅宽度17.5 m,两幅桥之间预留5 m净宽。主拱圈为实腹式板拱,墩顶主拱圈上设置实腹式腹拱,拱上建筑采用钢筋混凝土连续板梁。主拱拱轴线方程为: $y=-4E-6x^4-3E-4x^3-0.0203x^2+0.6114x+0.0006$,为4次抛物线,截面高0.9 m,矢跨比为1/7.08。腹拱分为边墩腹拱和中墩腹拱,均采用4次抛物线,截面高0.7 m,边墩腹拱拱轴线方程为: $y=0.00024x^4+0.0054x^3-0.1025x^2+0.8709x+0.0019$;中墩腹拱拱轴线方程为: $y=0.0014x^4+0.0237x^3-0.2347x^2+1.1312x+0.0007$ 。连续纵梁全长140 m,跨径组合为10+14+12+10.5+7+10.5+12+10.5+7+10.5+12+14+10 m,截面高度为0.8 m^[3]。

墩身采用矩形截面实体墩,为保证整体线形优美流畅,墩身侧立面通过圆角接顺主拱弧线,墩身横桥向宽度与主拱一致,为11.35 m,每侧设0.25 m梯形装饰凸起。桥梁整体布置如图1所示。

2 施工准备

施工前需完成详尽的技术准备、现场准备及资源配置工作。技术层面,针对本工程葵花形拱结构

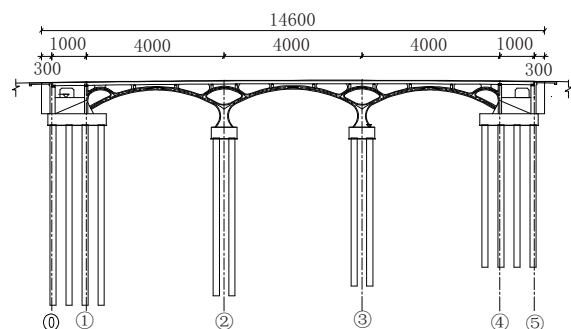


图1 九龙湖大桥总体布置图(单位:cm)

特点及超危大工程属性,编制专项施工方案并组织专家论证,明确各分项工程施工工艺、质量标准及安全控制要点;结合设计图纸完成拱轴线坐标计算、预拱度取值分析,利用MIDAS Civil有限元分析模型模拟施工全过程,优化施工流程。现场层面,清理施工区域障碍物,完成场地平整与排水系统布设,按照地基处理方案提前开展支架基础预处理,同步完成测量控制点布设与复核,确保测量精度满足规范要求。资源配置方面,按需配备模板、承插型盘扣式钢管脚手架、振捣设备、监测仪器等施工机械,选用符合设计要求的P·O 42.5R水泥、粉煤灰、减水剂等原材料,进场前严格进行质量检测。

3 主要重难点剖析

3.1 连续纵梁支架体系方案设计

连续纵梁支架是以主拱及腹拱作为支撑结构,因其具有曲面几何形态,在施工过程中面临较高的技术难度。其中,支架的最小支撑高度仅为15 cm,这一尺寸要求使得常规的盘扣式钢管支架难以适用。由于盘扣支架的杆件均为标准规格,缺乏与此高度匹配的非标构件,导致其既无法提供足够的结构稳定性,也难以满足施工中对精度控制和分段卸落的工艺要求。因此,在上述特殊条件下,如何进行支架的结构设计,成为实际施工中的一项关键难点。

经过多次方案比选,最终采用分区设计方案。如图2所示,支架设计分为2部分。阴影部分支架设计是参考预制梁架设时钢制沙箱临时支座进行设计,简称为小高度类沙箱支架设计方法。其主要优点是利用洁净的中粗砂的可塑性适应曲面基底,且利用其不易板结的特性可直接采用高压水枪卸落,解决了支架高度低作业人员无法作业的难题,经济性好,可操作性强。为防止连续纵梁混凝土浇筑过程中中粗砂产生滑移,横桥向采用已有装饰挡块作

为侧向模板抵抗滑移,顺桥向采用竹胶板作为侧向模板抵抗滑移,通过预埋钢筋及对拉螺栓加固,防止变形;非阴影部分通过计算采用“24 墙支墩+16#工字钢横梁+盘扣支架”组合形式,兼顾稳定性与承载能力,确保支架适配曲面基底及低高度支撑需求。

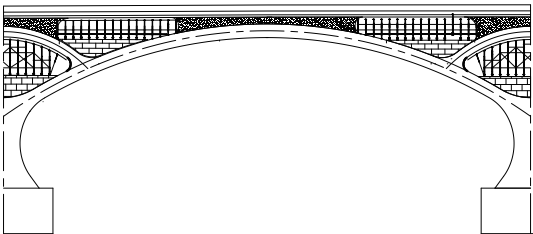


图2 连续纵梁支架设计图

3.2 模板设计与精度控制

主拱、腹拱拱轴线线形复杂,主拱截面高度为 90 cm,腹拱截面高度为 70 cm,结构尺寸不同,2 种结构侧模无法通用。同时,九龙湖大桥是广州知识城创新大道南北贯通的重要节点,建设单位对工期要求高,左右两幅桥梁需同步施工,整体模板基本无周转余地。综合考虑经济性,经过比选决定本次主拱、腹拱施工均采用木模板作为侧模,但这给模板设计及精度控制带来难度。此外,主拱、腹拱侧面设有梯形装饰凹槽(如图 3 所示),这进一步加大了模板设计的难度。

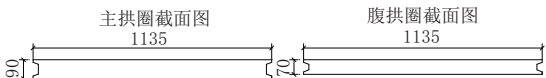


图3 拱圈截面图(单位:cm)

通过精心设计和现场试验,模板采用模块化加工,按 1.2 m 长度划分单元。这样有利于控制模板的加工精度,整体拼装后满足拱轴线偏差控制要求,在 CAD 中绘制侧模结构图并标注尺寸,安排专人验收加工部件尺寸,确保精度。全过程标高复核,在支架架设、底模安装、支架预压等环节多次复核调整标高,以底模精度保障侧模安装精度,满足拱轴线要求。模板设计如图 4 所示。

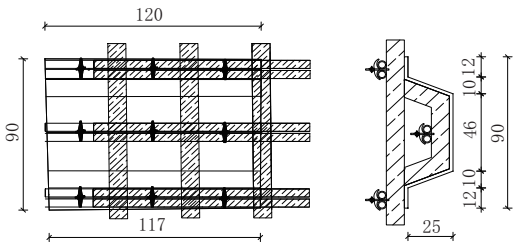


图4 拱圈模板设计图(单位:cm)

3.3 拱座墩混凝土浇筑质量控制

拱座墩为曲线结构,墩身整体高度 5.968 m。侧立面中间部位宽度较小,为 2.5 m,下部宽度较大,为

5.4 m,这导致每侧存在 1.45 m 宽度的反弧阴角。同时,钢筋密度大、空间小,导致混凝土浇筑卸料及振捣困难,易出现投料不足、振捣不密实,产生蜂窝、麻面、烂根等质量通病问题,影响结构耐久性^[4]。墩身设计如图 5 所示。

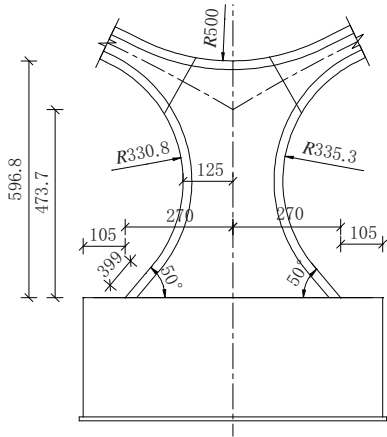


图5 墩身侧面图(单位:cm)

针对投料难题,在墩柱反弧部位预留 50 cm×50 cm 的投料口,其间距为 1.5 m。同时,对混凝土配合比进行优化以增强和易性,并将坍落度控制在 180±20 mm。针对振捣难题,采用插入式振捣器与附着式振捣器协同振捣。附着式振捣器的间距为 2.5 m,每个墩柱安装 3 个,以此确保反弧部位的混凝土振捣密实。

3.4 拱轴线控制

线形控制作为施工控制中最重要工作之一,贯穿于整个施工控制过程,也是最后保证成桥整体线形是否达标的基础^[5]。拱桥受力依赖拱轴线线形,线形变化会导致受力状态改变,若变形过大,可能引发永久性结构功能缺失。根据设计文件及规范要求,拱轴线偏差,当跨度大于 20 m 时,不得大于计算跨度的 1/5000,九龙湖大桥跨度为 40 m,偏差不得超过 8 mm^[6]。

针对拱轴线控制难题,一是强化方案论证,针对超危大工程属性,编制专项施工方案并组织行业内知名专家进行论证,优化支架及模板设计;二是严格按施工方案进行地基处理,完成后进行承载力检测,确保满足设计要求;三是精准线形测设,根据拱轴线方程式计算坐标(含预拱度值),用全站仪控制每排立杆标高;四是规范支架预压,消除非弹性变形,采集弹性变形数据,精准设置预拱度,预拱度=设计预拱度+支架弹性变形值。预压过程已经基本消除地基的不均匀沉降、杆件的拼装间隙等塑性变形。设计时为适应桥面系的纵面变化,对主、腹拱拱轴线进

行了旋转处理,拱轴线方程为计算及验收时的控制方程。施工时设计给出的构造放样数据已经考虑了设计预拱度,因此本工程预拱度仅需考虑收集到的弹性变形数据^[7]。

3.5 裂缝控制

混凝土裂缝控制是现浇混凝土施工的控制重点。其产生原因分为很多种,施工加载过程中拱圈挠度改变引发应力变化、支架卸落导致结构变形、混凝土水化热产生温度应力,均可能导致拱圈、连续纵梁出现裂缝,其中温度应力变化导致的裂缝是混凝土早期开裂的主要因素之一,往往是贯穿性的有害裂缝。对结构的抗渗性、整体性、耐久性甚至承载能力十分不利^[8-10]。

针对裂缝控制的难题,一是开展建模分析,模拟施工全过程,分析各阶段应力、变形状态,重点关注节点部位,为裂缝控制提供依据;二是加强应力监测,埋设传感器监测关键部位混凝土内部温度及应力变化,动态调整施工参数;三是优化合龙工艺,选择当日最低温度进行主拱圈合龙,用千斤顶施加轴线压力后合龙;四是优化施工流程,通过模拟确定合理浇筑及支架卸落顺序;五是优化混凝土配合比,减少水化热,采用科学养护工艺,控制混凝土内外温差。

4 主要施工工艺及控制要点

4.1 拱座墩

拱座墩是上部结构的主要承重载体,其施工质量对桥梁整体耐久性存在影响。九龙湖大桥共设4座拱座墩,为曲线结构,采用定型钢模施工,运用三维建模技术数控加工成型,保证结构尺寸精确度。钢模面板厚度6 mm,背肋选用[10槽钢横向布置,间距30 cm,背架采用[14+[10槽钢竖向布置,间距75 cm,通过M16对拉螺栓对拉固定,间距120 cm×120 cm。墩身整体高度5.968 m,混凝土分2次浇筑,第1次浇筑至主拱预埋筋下部,即4.20 m,完成预埋钢筋安装并验收合格后,进行第2次浇筑,浇筑过程中重点控制曲线部位混凝土振捣密实度,避免出现空洞、蜂窝等质量缺陷^[11]。

4.2 上部结构施工

4.2.1 地基处理

良好的基础是支架搭建的前提条件,九龙湖大桥跨越九龙湖入河口,支架搭建区域涉及不同的地质条件,包括现状道路、施工期间的施工便道、现状

河道等。为保证支架始终处于干燥状态,根据以往九龙湖入河口峰值水流量计算,预埋4根D2000钢筋混凝土管作为导流管涵。根据水文地质条件分区制定方案,一是现状道路范围,处理方案为拆除既有道路后开挖至38.2 m高程,压实平整后回填50 cm碎石;二是现状河道范围,处理方案为清理淤泥后换填素土至38.2 m,分层厚度0.3 m,压路机压实后整体回填50 cm碎石;三是过渡墩至桥台范围,处理方案为桥台、过渡墩及边拱座施工完成后,回填土至42.4 m高程,分层厚度0.3 m,小型压实机具压实后回填50 cm碎石。地基处理范围为桥梁投影外扩1 m,全部基层处理完成后统一浇筑20 cm厚C20混凝土垫层,垫层设置2%坡度便于排水,外侧布设纵向排水沟,每间隔20 m设置集水井,配套横向排水沟,在最低点设置集水井,做好防渗处理,防止雨水浸泡地基。

通过计算确定,地基承载力验算结果混凝土硬化层厚度不小于0.2 m,地基承载力特征值不小于200 kPa。根据验算结果对地基承载力进行检测,若承载力不满足要求,重新开挖换填并分层碾压至设计方案高程,再次检测合格后方可推进后续施工。

4.2.2 模板及支撑体系设计

常规支架体系均选用规格为 $\Phi 48$ mm×3.2 mm承插型盘扣式钢管脚手架,连续纵梁小高度支架采用类沙箱支架设计方案。常规模板采用12 mm厚优质竹胶板,小半径曲线结构采用定制钢模板。模板主分配梁采用规格 $\phi 48$ mm×3.5 mm钢管,次分配梁选用A-2类80 mm×100 mm针叶材方木,针对不同构件采用差异化支撑设计。

主拱圈底模及侧模均采用12 mm厚竹胶板,满堂支架为常规支架体系,立杆纵横向间距均为0.6 m,横向水平杆步距1.0 m。顺桥向及横桥向设置60 cm×150 cm规格竖向斜杆,间隔两跨布设,无法设置部位采用扣件式钢管补强。水平剪刀撑从扫地杆开始,每2 m设置一层,共3层。底模板下横向次分配梁轴间距200 mm,主分配梁采用2根预制成拱轴线形状的 $\phi 48$ mm×3.5 mm钢管,轴间距0.6 m,支架最大高度6.4 m。支架体系设计如图6所示。

腹拱圈底模采用12 mm厚竹胶板,拱脚小半径圆弧段采用定型钢模板,支架采用“24墙支墩+16#工字钢横梁+承插型盘扣式满堂支架”组合支架形式。24墙支墩沿纵桥向砌筑,横桥向布置间距为1.8 m;16#工字钢横梁横桥向布置,间距0.6 m;满堂支架立

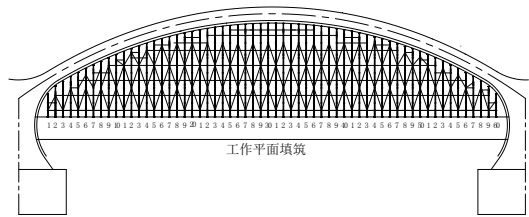


图6 主拱圈支架设计图

杆纵横向间距 0.6 m,步距 1.0 m,横桥向及顺桥向设置剪刀撑,水平剪刀撑从扫地杆开始设置 2 层。模板设计与主拱圈一致。支架体系设计如图 7 所示。

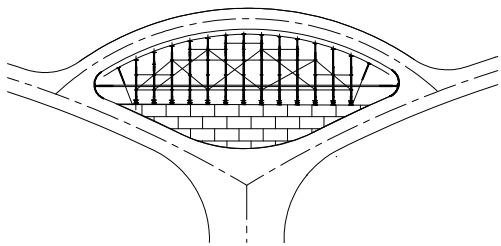


图7 腹拱圈支架设计图

连续纵梁小高度类沙箱支架设计方法:纵桥向以外挡块及 12 mm 厚模板作为侧模,模板外侧预埋 $\phi 25$ 钢筋作为支撑,间距为 30 cm,配套 M16 对拉螺栓,间距为 60 cm $\times$ 60 cm,防止变形;箱体内填筑中粗砂,上铺 12 mm 厚竹胶板作为底模。此支架体系与承插型盘扣式支架的不均匀沉降,通过预压的方式消除;其余部分采用与腹拱一致的支架设计方法。翼缘板模板采用 12 mm 厚竹胶板,支架为承插型盘扣式满堂支架,立杆纵向间距 0.6 m、横向间距 0.9 m,步距 1.0 m,其余模板及支架体系设计与主拱圈一致。支架体系设计如图 2 所示。

垂直于拱轴线方向设置斜杆,与支架用扣件连接,纵横向间距均为 1.2 m,对称于拱顶布设;顶托与钢管主龙骨之间用木楔填充,确保面受力,主龙骨与木楔用绑丝绑扎牢固,防止侧移。

4.2.3 支架预压

支架预压目的是消除非弹性变形,如地基沉降及杆件拼装间隙等,获取弹性变形数据来指导预拱度设置。根据设计文件及规范要求,预压荷载取混凝土结构恒载与模板重量之和的 110%,采用袋装砂土分级加载。加载顺序纵向模拟混凝土浇筑顺序,横桥向从结构中心线向两侧对称布载。

预压分 3 级进行,依次加载至预压值的 60%、80%、110%,每级加载完成后停止加载,间隔 12 h 观测支架沉降量。当顶部监测点 12 h 沉降量平均值 ≤ 2 mm 时,方可进行下一级加载,加载至设计值后维持观测,待沉降稳定后分级卸载,同步记录各阶段变

形数据,为结构预拱度设计提供基础数据。

4.2.4 模板安装

侧模安装在钢筋验收合格后进行,测量放线确定底板边线,确保侧模与底模对齐,调整垂直度并牢固连接。安装完成后检查整体尺寸及平整度,不符合要求及时调整。侧模竖向设置 3 道 M16 对拉螺栓,分别位于上缘板中线、装饰槽中线、下缘板中线,纵桥向间距为 0.6 m。

新旧混凝土交接处,预留 60~120 cm 模板及对拉螺栓不拆除,新浇筑侧模与预留模板用方木连接牢固。钢模与木模连接处,下方设置 8 cm $\times$ 10 cm 方木钉固在木模板上,垂直于加固方木设置钢管支撑,间距为 60 cm,配套对拉螺栓,接缝处用透明胶带粘牢,防止漏浆。

4.2.5 混凝土浇筑

主拱采用 C40 商品混凝土,罐车运输、汽车泵泵送入模,分段连续浇筑,对称于拱顶进行,预留后浇带以释放沉降变形,待养护期结束后浇筑后浇带混凝土,防止裂缝产生。浇筑按由低到高逐层、逐段进行,下一层混凝土振捣密实后再投料,且需在上一层初凝前完成浇筑。浇筑顺序如图 8 所示,为区段 1 $\rightarrow$ 区段 2 $\rightarrow$ 区段 3 $\rightarrow$ 区段 4。

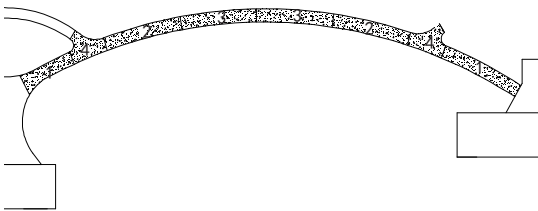


图8 主拱圈混凝土浇筑工艺图

中腹拱跨径为 12.8 m,边腹拱跨径为 8.26 m,均小于 16 m。按设计文件及规范要求,腹拱混凝土待主拱圈后浇带混凝土强度达到设计强度的 100% 后施工,按拱圈全宽从拱脚向拱顶对称、连续浇筑,并在混凝土初凝前完成,一次成型,不预留后浇带。浇筑顺序如图 9 所示,为区段 1 $\rightarrow$ 区段 2。

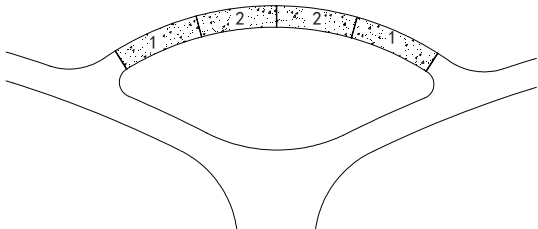


图9 腹拱圈混凝土浇筑工艺图

连续纵梁因尺寸大、混凝土用量多,单幅用量达 1 662 m³,采用连续分段浇筑方式,从跨中向墩顶方

向浇筑,翼缘板由悬臂前端向固定端浇筑,确保混凝土密实度与结构整体性^[12]。

4.2.6 支架监测

监测覆盖支架预压及混凝土浇筑全过程,监测点沿桥纵向每隔 1/4 跨径布置 1 个监测断面,每个监测断面的监测点为 5 个,对称布置^[13-14]。共设置 70 组监测对象,涵盖主拱、腹拱、连续纵梁关键部位。监测参数包括水平位移、模板沉降、立杆倾角、立杆轴力,分别采用位移传感器、全站仪、倾角仪、应变计监测。监测最小精度满足:传感器 0.01 mm、全站仪 0.5 mm、倾角仪±0.030、应变计≤0.5%FS^[15]。

监测控制指标严格按规范及经验值设定:支架位移允许值 15 mm、报警值 10 mm;支架沉降允许值 10 mm、报警值 5 mm;立杆倾角允许值 4%、报警值 3.2%;立杆轴力允许值 20 kN、报警值 15 kN。出现报警或异常情况时,立即启动连续不间断监测,停止混凝土浇筑,查明原因后采取支架加固、方案优化等应急措施,确保施工安全。

在预压前对结构底板高程观测一次。每加载一级,在预压过程中监测各观测点高程并计算沉降量。全部预压荷载施加完成,监测结果符合规范要求后,判定支架预压合格。预压合格后,计算各阶段支架的弹性变形值,将该弹性变形值与设计预拱度叠加,算出施工预拱度,按算出的预拱度调整底模高程^[16]。

4.2.7 模板、支架拆除

模板及支架拆除需待混凝土强度达到设计强度 100% 后进行,拆除顺序为连续纵梁支架、腹拱支架、主拱支架。满堂支架拆除在 2 个单向推力墩之间 3 孔同步开展,从每孔拱顶向两端拱脚对称卸落,横向同步作业,遵循“由上而下、先搭后拆”原则;先松顶托使底模与构件分离,监测梁底变形及拱脚水平位移,无异常后拆除模板,再依次拆除剪刀撑、斜撑、小横杆、大横杆、立杆,拆除顺序为安全网、栏杆、底模、剪刀撑、小横杆、大横杆、立杆。

拆除过程中禁止分立面拆架及上下 2 步同步拆架,做到一步一清、一杆一清。拆立杆时先抱住立杆再敲松盘扣,分段拆除高差≤2 步,若高差超过 2 步,应增设临时斜撑加固。拆除标准节时做好防失稳措施,必要时加设临时支撑。

5 监测结果分析

九龙湖大桥为三跨葵花形连续拱桥,结构左右对称,进行结果分析时,取 1/2 跨进行结果的提取。

为节省篇幅,以主拱圈监测结果为例,列出其中一跨主拱圈各监测点高程变化,如表 1 所示,负值表示向下位移,正值表示向上位移。

表 1 主拱圈位移实际监测值 单位:mm

施工阶段	GW1	GW2	GW3	GW4	GW5	GW6	GW7
混凝土浇筑	-0.215	-0.213	-0.244	-0.247	-0.222	-0.201	-0.198
支架卸落	-0.365	-0.509	-1.578	-2.269	-1.542	-0.497	-0.286

从观测结果可以看出:在监测过程中,混凝土浇筑及支架卸落后,支架受力后有一定的位移,但测得竖向位移(沉降)变化均未达到或超过允许偏差,说明主拱圈支架体系结构稳定性满足要求,可保障施工过程中主拱圈的线形。实际监测结果表明,主拱圈位移较大位置发生在跨中截面。拆除主拱圈支架后,虽然主拱圈产生较大位移,但仍在允许偏差范围内,说明满堂支架体系在保障主拱圈线形起到重要作用。

6 结 语

九龙湖葵花形拱桥施工中,通过明确工程结构特点,优化墩台、上部结构等关键部位施工工艺,强化支架体系设计、预压及监测,针对性防控质量风险、破解技术难点,实现了施工全流程精准控制。工程实践表明,分层浇筑、水化热控制等措施有效保障了大体积混凝土质量;模块化模板、精准线形测设确保了拱轴线精度;分区支架设计、施工顺序优化成功解决了复杂结构施工难题。最终桥梁结构稳定性、耐久性及外观质量均满足设计及规范要求^[17],该施工全流程控制技术可为同类葵花形拱桥工程提供宝贵经验,有助于提升此类桥梁施工质量与安全水平。

参考文献:

[1] 康俊涛,梁庆学,周汉生.整体式预应力葵花拱桥受力性能分析[J]. 土木工程与管理学报,2013,30(3):12-17;28.
[2] 张苹,秦星.凤凰二桥多跨葵花形混凝土拱桥施工技术[J]. 人民交通,2019(7):80-81.
[3] 韩强.葵花形连续拱桥模架支撑体系风险控制技术研究[J]. 市政技术,2024,42(12):182-189.
[4] 李彪.葵花型拱座施工关键技术研究[J]. 中国高新区,2019(6):180.
[5] 杨萌.多跨现浇连续钢筋混凝土板拱桥施工控制研究[D]. 石家庄:石家庄铁道大学,2016.
[6] CJJ 2—2008 城市桥梁工程施工与质量验收规范[S].
[7] 刘伟文.对桥梁连续箱梁施工技术的分析[J]. 商品与质量(建筑与发展),2011(4):62-63.
[8] 侯景鹏,熊杰,袁勇.大体积混凝土温度控制与现场监测[J]. 混凝土,2004(5):56-58.

(下转第 356 页)