

Research on Installation and Measurement Technology of Steel Arch Linkage Arch for Large Span Concrete Beam

Yong Guan

China Railway Fourteenth Bureau Group Fourth Engineering Co., Ltd., Jinan, Shandong, 250000, China

Abstract

This study leverages the Tianjin-Weifang High-Speed Railway project to analyze the mechanical characteristics and measurement accuracy requirements of composite structures. In traditional measurement practices, steel arch rib installation is controlled using total station free station setting methods and 3D coordinate measurement systems, with GPS enabling centimeter-level positioning and level instruments ensuring concrete beam elevation and pre-arching precision. At the emerging technology level, integration of BIM with conventional surveying equipment facilitates real-time data visualization and deviation analysis. The research demonstrates that traditional measurement technologies employ mature and standardized equipment, while emerging technologies like BIM exhibit outstanding automation and data processing capabilities. Comparative analysis yields technical configuration solutions adaptable to diverse construction environments and precision requirements, providing valuable references for technological advancement in this field.

Keywords

tie beam arch; measurement accuracy requirements; support settlement monitoring; measurement technology system; linear control

大跨度混凝土梁钢拱系杆拱安装测量技术研究

关勇

中铁十四局集团第四工程有限公司, 中国 · 山东 济南 250000

摘要

本研究依托津潍高铁项目, 分析该组合结构的力学特性与测量精度需求: 传统测量中, 以全站仪自由设站法、三维坐标测量法控制钢拱肋吊装, 借助 GPS 实现厘米级定位, 通过水准仪保障砼梁高程及预拱度精度; 新兴技术层面, 融合 BIM 与传统测量设备, 实现测量数据的实时可视化及偏差分析。研究表明, 传统测量技术设备成熟规范, BIM 等新兴技术的自动化与数据处理能力突出; 经对比分析, 提出适配不同施工环境与精度需求的技术配置方案, 可为该领域技术发展提供参考。

关键词

系杆拱; 测量精度要求; 支架沉降监测; 测量技术体系; 线形控制

1 引言

现代交通建设推进, 桥梁工程朝大跨度、高难度、轻量化发展。连续梁系杆拱结构跨越能力强, 是复杂跨越首选, 大跨度混凝土梁 + 钢拱组合稳定且协调。安装测量是其建设核心, 传统测量因组合结构复杂有局限。近年 BIM 等新兴技术为大跨度桥梁测量提供新方案, 提升精度与效率^[1]。本研究剖析传统测量特点、瓶颈, 探究新兴技术融合模式, 分析不同工程场景的测量技术方案, 支持领域发展与实践。

2 项目概况

新建津潍高铁工程 BWZH - 2 标段东寿特大桥 (88.09 + 168 + 88.09) m 预应力混凝土连续梁拱位于潍坊寿光市, 长

0.346km。其上跨 G18 荣乌高速 (DK317 + 020.85~DK317 + 366.95), 工点平面在直线上, 纵断面位于 0%~ - 4.0% 纵坡上, 变坡点里程 DK317 + 200.00, 竖曲线半径 R = 30000m。

该桥拱肋为竖直平行拱, 两肋中心距 14.8m, 计算跨径 168m, 矢跨比 1/5, 矢高 33.6m, 拱轴为二次抛物线, 方程为: $Y = 4 \times 33.6 (168 - X) X / 168^2 (m)$ 。

拱肋断面是哑铃型钢管混凝土等截面, 高 3.3m, 钢管直径 1.1m、壁厚 20mm, 两钢管以 16mm 厚腹板连接; 钢管内设加劲箍, 腰板间焊拉板, 管腔灌 C55 自密实补偿收缩混凝土, 肋间设横、斜撑。

横撑采用圆端形截面, 高 1.5m、宽 1.2m, 圆端外径 1.2m, 由 18mm 厚钢板卷制而成; 斜撑为外径 0.8m、

壁厚 12mm 的圆形钢管, 管内不填充混凝土。

该桥吊杆采用 II 型 35CrMO 合金钢实心圆等强钢拉杆, 强度等级 460 级, 呈平行排列, 横桥向中心间距

【作者简介】关勇 (1989-), 男, 中国山东梁山人, 本科, 工程师, 从事铁路工程技术研究。

14.8m, 为双吊杆形式: 组纵向中心距 8m、组内吊杆纵向距 0.6m。全桥设 34 组共 68 根, 均垂直拱弦线布置。

3 连续梁系杆拱结构特点与测量要求

3.1 结构组成与力学特性

大跨度混凝土梁 + 钢拱连续梁系杆拱结构由主梁、拱肋、系杆、吊杆构成。主梁多为预应力混凝土结构, 如津潍高铁 (88.09+168+88.09) m 连续梁拱桥主梁为单箱变高箱形截面; 拱肋采用钢管混凝土结构, 此桥为等高哑铃形截面, 弦管、缀板内填微膨胀混凝土。

恒载下, 主梁承弯矩、剪力, 拱肋承轴压, 系杆承轴拉, 吊杆传竖向荷载; 受载时结构有动态内力响应, 设计施工需考虑动力特性对稳定的影响。系杆、拱肋借吊杆协同受力, 系杆预应平衡拱肋水平推力, 吊杆约束变形、传递力, 以发挥各构件材料性能^[2]。

3.2 组合结构的特殊测量要求

复杂力学性能对安装测量要求严格, 构件安装偏差导致结构受力失衡, 如拱肋轴线偏移产生附加弯矩、吊杆垂直度偏差致索力分布不均。因此, 需高精度测量实时监测构件位置与变形, 确保各部件相对位置符合设计要求。

按相关规范, 特大桥各等级平面控制测量中, 最弱点位中误差不超 20mm, 最弱相邻点相对点位中误差 ≤10mm, 桥梁轴线相对中误差需 ≤1/100000。

拱肋在安装精度上, 按照表 1 规范要求执行。大跨度钢拱桥跨度超 300m 时, 宜采用 GPS 法在拱顶监测空间变位, 用静力水准仪或液压传感器监测桥面挠度。

表 1 钢管拱肋架设实测项目

序号	检查项目	允许偏差 (mm)	备注
1	轴线偏位	L/6000	
2	拱圈高程	±L/3000	
3	对称点高差	L/3000	
5	内弧偏离设计弧线	8	
5	吊装成拱后竖向位置	10	
6	拱肋管口中心距	±5	
7	拱顶及 1/4、3/4 拱跨处高程	按设计要求	
8	吊杆孔高程	±5	

3.3 混凝土梁与钢拱结合部位的技术特点

混凝土梁与钢拱结合部位是结构关键节点, 受力复杂, 测量精度要求高。需考虑材料特性差异、变形协调和应力传递等。钢管混凝土混合拱桥接头主要材料为钢材和混凝土, 其强度、弹性模量等影响接头受力。钢梁和混凝土变形要协调, 钢材弹性模量变化影响接头受力。测量时要关注结合部位变形监测, 确保变形协调。从材料强度看, 混凝土强度等级提升对结构性能影响大, 对测量精度要求更高, 要精准控制构件安装位置与变形状态。

4 传统测量技术在大跨度混凝土梁 + 钢拱结构中的应用

4.1 全站仪技术的应用

全站仪集成测角、测距与数据处理功能, 是大跨度砼梁 + 钢拱安装的必备设备。现代全站仪测角精度 1" -5"、测距达毫米级, 例如徕卡 TS16 测角精度 1", 测距精度为 1mm+1ppm × D。

钢拱肋吊装时, 全站仪通过自由设站法或三维坐标测量法实现精准控制: 自由设站法观测已知控制点定向, 可突破通视限制, 适配桥梁复杂通视环境; 三维坐标测量法需先在已知控制点设站定向, 再测拱肋特征点坐标 (每个点测 3-5 次取平均), 确保坐标中误差 ≤3mm。

全站仪在拱肋安装中的应用主要有三方面: 一是拱肋节段吊装时, 跟踪测量其前端反光片以获取三维坐标; 二是将测量数据与初始资料比对, 保障拱肋垂直; 三是节段对点后松吊机吊钩, 微调扣索、锚索的同时观测拱顶偏位。

4.2 GPS 技术的应用

GPS 接收机基于全球卫星导航系统三维定位, 优势为定位快、覆盖广、不受通视限制, 用于平面控制网构建和结构实时动态监测。大跨度混凝土梁 + 钢拱结构主要用 RTK 与 PPK 差分技术。目前市场上 RTK 定位的平面精度可达 8mm + 1ppm, 高程精度可达 15mm + 1ppm; PPK 技术的精度更高, 平面精度为 2.5mm + 0.5ppm, 高程精度为 5mm + 0.5ppm。

4.3 水准仪技术的应用

水准仪通过提供水平视线测高差, 是高程控制关键设备, 分 DS05、DS1、DS3 三个等级。在系杆拱安装测量中, 控制网用 Trimble DiNi03 电子水准仪, 桥面及构件高程检测选 DS1 级精度。

在混凝土梁高程控制中, 水准仪用于预拱度设定和梁体线形监测。预拱度设定需考量恒载等因素, 按《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650 - 2020) 执行, 按二次抛物线分配。箱梁悬浇段立模标高计算公式为 $H_i = H_0 + f_1 + f_2 + f_3$ 。

在连续梁桥线形监控中, 采用电子水准仪 (如天宝 Dini03) 按二等水准测量规范监测梁体高程和墩台沉降。测点布置测点布置原则: ① 尽量靠近腹板; ② 测点离梁段端部 10cm; ③ 不妨碍施工及挂篮的行走、固定等; ④ 易于保护。

4.4 传统测量技术的集成应用

大跨砼梁 - 钢拱施工中, 传统测量以集成模式发挥仪器优势。平面控制网依“高精度、易操作、便维护”, 由 GPS 静态 + 精密导线搭建: GPS 不受通视限、效率高; 导线用全站仪附合导线保精度冗余。

高程控制网以精密水准测量为主、三角高程测量为辅: 水准测量用电子水准仪配钢瓦尺, 沿附合路线施测 (符合二等水准规范), 往返测高差需满足 $±4\sqrt{L}$, 单位权中误差 ≤1mm; 三角高程通过两台水准仪引桥旁水准点至桥下作后

视,中间设站观测两遍(更换仪器高、手动观测四个测回,距离 $\leq 150\text{m}$),适用于水准难覆盖区域。

5 新兴技术在大跨度混凝土梁与钢拱结构中的融合应用

5.1 BIM 技术在测量方案设计中的应用

BIM 技术在大跨度混凝土梁与钢拱结构安装测量中作用显著,在测量方案设计和施工模拟方面优势独特。基于 CATIA 构建桥梁三维模型,开发属性插件赋予工程信息,为材料汇总提供数据。

5.2 BIM 与传统测量设备的集成应用

测量设备集成是趋势,构建 BIM 与全站仪、GPS 等的交互机制,实现测量数据实时可视化与偏差分析,包括:基于三维模型优化控制点布设选最优方案;开展测量路径规划避障风险;对比 BIM 与设计坐标做精度分析并预控误差。

5.3 BIM 在施工过程监测中的应用

BIM 技术用于施工过程监测,如结构变形监测数据与模型实时比对、跟踪进度及质量控制。实时导入现场监测数据,直观呈现变形和进度,为决策提供依据。数据管理上,BIM 构建统一平台,集中管理、可视化展示监测数据,传感器数据实时显示在模型对应位置,提高利用效率,便于协同。

5.4 智能监测系统的融合应用

智能监测系统整合多传感器及数据处理技术,多维度实时监测大跨度混凝土梁+钢拱结构,包含传感器网络模块。按照《GB 50982-2014》规范配置传感器,对荷载(例如风荷载)及结构响应(比如拱肋变形)进行监测;系杆拱桥的各类受力情况,由对应传感器实施监测,需在施工阶段完成部署,并于安装前完成校准^[9]。

对于跨度超 300 米的钢拱桥,拱顶的空间变位采用 GPS 测量,桥面挠度则借助静力水准仪等设备监测。该系统可实现数据的实时采集与自动分析,依托物联网开展全天候监测,数据会通过无线方式传输至处理中心,再经算法分析实现预警功能。

6 技术对比与综合评估

6.1 传统测量技术的优势与局限

传统测量技术在大跨度混凝土梁+钢拱结构安装有优势。全站仪体系完备、操作规范,复杂钢结构定位精度达毫米级,助钢拱肋精准就位、控制拼接面偏差。GPS 不受通视条件限制,适用于复杂地形,用 RTK 和 PPK 差分技术可厘米级定位。水准仪高程控制精度高、操作简便,在混凝土梁相关作业中不可替代。

6.2 新兴技术的优势与挑战

新兴技术(如 BIM)在大跨桥梁安装测量中优势突出,可通过搭建三维模型,实现设计、施工、监测的一体化管理。不过其应用也面临不少挑战:技术门槛较高,需专业软件与

人员,且对技术人员的计算机技能要求高;设备投入成本昂贵;数据管理难度大,海量三维数据对存储与处理能力要求较高。此外,新兴与传统技术的融合存在障碍,不同技术的数据接口不统一,数据转换易出现信息缺失或精度下降的情况。

6.3 技术组合方案的优化配置

综合传统技术与新兴技术,针对大跨度混凝土梁+钢拱结构施工阶段的特点及精度要求,提出技术组合优化方案:在控制网建立阶段,采用“GPS 静态测量+精密导线测量+水准测量”技术组合。借助 GPS 技术可快速构建首级控制网,在通视条件较差的区域更能凸显其优势;通过精密导线测量对控制点进行加密,能够提升局部测量精度;借助水准测量建立高程控制网,可确保高程精度。该方案整合各类技术的长处,既满足了测量精度要求,也有效提高了施工效率。

在钢拱肋的吊装作业阶段,推荐采用“全站仪实时监测+GPS 动态定位+BIM 模型指导”的技术搭配。其中,全站仪负责拱肋节段的精确定位与实时监测,精度能达到毫米级别;GPS 用于获取拱肋的整体位置信息,可针对大跨度场景实时提供三维定位服务;BIM 则通过模拟作业来指导吊装过程,借助位置比对实现对吊装的精准把控^[4]。

7 结论

本研究聚焦大跨度砼梁-钢拱连续梁系杆拱安装测量技术,结论如下:该结构形式复杂,融合砼梁与钢拱优势,安装精度要求高(规范明确钢管拱肋精度指标);传统测量技术(如全站仪)不可替代,体系成熟、成本可控;新兴技术(BIM、智能监测)实现一体化管理、实时预警;适配工程的技术组合方案可优势互补,有效性经实践验证。

该技术未来将向智能化、多源数据融合、物联网应用及技术标准化/规范化方向发展。本研究为该结构安装测量提供了理论与实践指引,推动了领域技术进步;后续需深化技术融合机制、优化算法,构建更完善的智能测量体系,助力大跨桥梁建设。

本研究分析该技术,提出适用不同施工环境与精度要求的配置方案。表明传统技术设备成熟、操作规范,BIM 等新兴技术自动化和数据处理能力强。技术融合提升测量效率精度,为技术发展提供参考。

参考文献

- [1] 刘维. 全站仪自由设站法在钢拱肋安装中的精度控制[J]. 测绘通报, 2023, (6): 112-116.
- [2] 张强, 黄兴. GPS RTK技术在系杆拱桥施工动态监测中的应用[J]. 工程勘察, 2022, 50(8): 51-55.
- [3] 王志强. 二等水准测量在连续梁高程控制中的实践[J]. 测绘工程, 2021, 30(4): 45-49.
- [4] 周光旭. BIM技术与全站仪集成的钢拱肋安装测量方法[J]. 建筑科学, 2023, 39(7): 120-126.