

Research on key technologies for quality control of segment construction of hanging basket cast box girders

Zhikai Yue Qiang Liu Qingjiang Liu Tingxuan Hu Jiaqi Yu

No.Three Engineering Co., Ltd. of CCCC First Highway Engineering Co., Ltd., Beijing, 101102, China

Abstract

This study focuses on the 9th and 14th segment box girders of the Yongding River Special Bridge on National Highway 230 (Changzhou Road-Xihan Road) using hanging basket method. Considering structural characteristics including large span, variable cross-section, and three-direction prestressing, along with construction challenges such as a maximum cantilever of 46m and a maximum girder segment weight of 188.4 tons, the research systematically investigates quality control techniques across critical phases: hanging basket design and assembly, girder segment casting, prestressing construction, and closure control. Practical experience demonstrates that through optimized construction processes and enhanced quality management, linear deviations and concrete cracking during cantilever casting can be effectively mitigated, ensuring project quality.

Keywords

hanging basket cast box girder segment; construction quality; key technology

挂篮悬浇箱梁节段施工质量控制关键技术研究

岳志才 刘强 刘青江 胡廷轩 于佳琪

中交一公局第三工程有限公司, 中国·北京 101102

摘要

以国道 230 (长周路 - 西韩路) 道路工程永定河特大桥梁第 9 联、第 14 联挂篮悬浇箱梁为研究对象, 根据大跨径、变截面、三向预应力等结构特点, 结合最大悬臂 46m、最大梁段重量 188.4 吨的施工难点, 从挂篮设计与拼装、梁段浇筑、预应力施工、合龙控制等关键环节, 系统研究质量控制技术。实践证明, 经由改良施工工艺并加强过程控制, 可以很好地处理悬浇施工出现的线性偏差, 混凝土开裂等状况, 保证工程质量。

关键词

挂篮悬浇箱梁节段; 施工质量; 关键技术

1 引言

挂篮悬浇施工由于适应性强、灵活度高, 是大跨径预应力混凝土连续梁桥建设的主要工艺。此类桥梁一般跨径大、截面形式复杂多变, 施工时要承受较大的荷载, 因此混凝土浇筑精度控制、预应力张拉效果保证等成为质量控制的难点^[1]。本文以挂篮悬浇箱梁施工全流程为研究对象, 从模板定位、混凝土浇筑、预应力施工等关键环节的质量控制技术入手, 为同类工程提供可以借鉴的经验。

2 工程概况

国道 230 (长周路 - 西韩路) 道路工程 (大兴段), 是北京市南部重要的交通干线, 全长约 2.08 公里, 其中永定河特大桥梁第 9 联、14 联采用挂篮悬浇箱梁施工。第 9

联为五跨 (55m+80m+80m+80m+55m)、第 14 联为三跨 (56m+100m+65m) 变截面预应力混凝土连续梁桥, 均为单箱单室结构, 配置三向预应力体系。施工环境方面, 项目位于永定河流域, 属暖温带大陆性季风气候, 场地分布于河漫滩, 地层复杂, 地下水类型多, 给基础施工和混凝土养护带来一定难度, 需针对施工环境开展质量控制技术研究。

3 挂篮设计与拼装质量控制

3.1 挂篮设计优化

挂篮是悬浇施工的主要设备, 其安全性及刚度都会影响梁体的质量。根据本工程梁段重量大、悬臂长度长的特点, 挂篮采用三角桁架式结构, 主要由主桁、底模平台、侧模、内模、走行系统、锚固装置组成, 设计荷载考虑梁段自重、施工荷载、风荷载、混凝土振捣荷载, 安全系数不小于 1.3。

按照第 14 联最大梁段重量 188.4t 的荷载需求, 主桁用 Q355B 型钢加工, 主桁片间距 3.5m, 用横向联系杆件构成稳定的框架, 保证整体刚度; 底模平台采用工字钢加钢板组

【作者简介】岳志才 (1981-), 男, 中国山西晋中人, 本科, 高级工程师, 从事公路工程施工经营管理研究。

合结构,其承载能力不小于 25kN/m^2 ;走行系统采用液压驱动,并装有同步控制系统,使挂篮移动平稳,梁体扰动小。

3.2 挂篮拼装质量控制

拼装前需要对墩顶现浇段顶面进行找平,平整度误差控制在 3mm/m 以内,按设计预埋锚固螺栓;严格验收挂篮构件,核查质量资料,构件尺寸必须符合规范要求,严禁使用变形锈蚀构件。拼装按照“主桁→横向联系→底模平台→侧模→内模→走行系统→锚固装置”的顺序进行,各工序完成以后验收。主桁安装用全站仪进行测量,保证垂直度偏差 $\leq 1\%$,两主桁间距偏差在 $\pm 5\text{mm}$ 以内;底模平台安装完成后用设计荷载的1.2倍进行预压,消除非弹性变形,测定弹性变形值。拼装完成后全面验收,检查主桁焊缝、底模平整度、模板接缝、走行同步性及锚固抗拔力等,合格后方可进入下一工序^[2]。

4 梁段悬浇施工质量控制

4.1 测量放样控制

根据项目施工控制网,在墩顶布设加密控制点,用全站仪做三维坐标放样,形成梁体施工独立控制体系,控制点至少每周复核一次保持稳定。立模高程根据公式计算,立模高程=设计高程+预拱度+挂篮弹性变形+施工预留变形,其中预拱度根据桥梁跨径、自重和二期恒载来确定,挂篮弹性变形经预压试验实测,施工预留变形按经验取 5mm 到 10mm ;立模时用水准仪控制高程,每 2m 设一个测点,偏差控制在 $\pm 3\text{mm}$ 内。梁段浇筑时,每 30 分钟记录一次模板沉降、位移数据,沉降超过 5mm 就停止浇筑排查加固;浇筑完毕后,实测梁体顶面高程和轴线偏位,轴线偏位偏差 $\leq 10\text{mm}$,高程偏差 $\leq \pm 10\text{mm}$ 。

4.2 钢筋与预埋件施工控制

钢筋原材料进场必须经过力学性能试验合格后才可以使用,采用工厂化加工、现场绑扎安装。三向预应力钢筋按图施工,定位钢筋间距为 1.5m ,保证预应力管道偏差 $\leq 5\text{mm}$;绑扎时用强度 $\geq \text{C}55$ 的混凝土垫块控制保护层,每平方米不少于 4 个梅花形布置。钢筋接头焊接或机械连接,焊接单面焊 $\geq 10d$ 、双面焊 $\geq 5d$,机械连接抗拉强度达标,同一截面接头面积百分率 $\leq 50\%$ 。预埋件和钢筋绑扎同步进行,预应力金属波纹管安装前经过灌水试验保证无渗漏;锚垫板与管道中心线垂直,偏差 $\leq 2\text{mm}$,固定牢固;通气孔、泄水孔位置准确,保证功能正常。

4.3 混凝土施工质量控制

$\text{C}55$ 混凝土配合比设计采用低水化热硅酸盐水泥,掺加 I 级粉煤灰和高效缓凝减水剂,水胶比为 0.32 ,胶凝材料用量为 480kg/m^3 等,满足强度等各方面要求。浇筑时采用泵送,遵循从挂篮前端向后端、从腹板向顶板、对称均衡的原则,分层厚度不大于 30cm ,振捣间距不大于 50cm 、时间 $20\text{s} \sim 30\text{s}$,对于 71m^3 大梁段浇筑连续。浇筑完毕后,初凝前收浆抹平,初凝后覆盖土工布洒水养护 $\geq 14\text{d}$;大体积梁

段采用原材料降温、预埋冷却水管、覆盖保温被等方式控制内外温差 $\leq 25^\circ\text{C}$,降温速率 $\leq 2^\circ\text{C/d}$ ^[3]。

5 预应力施工质量控制

5.1 预应力材料质量控制

预应力钢绞线、锚具、夹具等材料进场时,应附出厂合格证和质量检验报告,按有关规定进行抽样检测。钢绞线的抗拉强度、屈服强度、弹性模量等指标应符合设计要求,锚具的硬度、锚固效率系数应满足《预应力筋用锚具、夹具和连接器》(GB/T14370-2015)的规定,不合格材料不得进场使用。预应力管道采用金属波纹管,壁厚不小于 0.3mm ,进场后检查外观质量,无破损、变形等缺陷,具有足够的刚度和密封性。

5.2 预应力张拉控制

张拉前必须满足以下条件:梁段混凝土强度达到设计强度的 90% 以上,弹性模量达到设计值的 85% 以上;混凝土养护时间不少于 7 天;预应力管道畅通,无堵塞现象;张拉设备(千斤顶、油泵、压力表)已经校验合格,在有效期内使用。预应力张拉采用双控,以张拉力控制,伸长值校核。张拉顺序为先纵向、后横向、再竖向,纵向预应力筋采用对称张拉、分批张拉的方式,每批张拉间隔时间不少于 24 小时。张拉过程分为初张拉、分级张拉、持荷锚固三个阶段,初张拉至张拉力的 10% ,复核预应力筋位置;分级张拉至设计张拉力的 20% 、 50% 、 80% 、 100% ,每级持荷 3min ,记录伸长值;达到设计张拉力后持荷 5min ,伸长值在 $\pm 6\%$ 范围内时锚固。张拉完成后检查锚具锚固情况,钢绞线外露长度不小于 30mm ,无滑丝、断丝现象,滑丝、断丝根数不大于总根数的 1% 。对张拉记录进行整理分析,伸长值偏差超过允许范围时,要查明原因并采取补救措施^[4]。

5.3 孔道压浆与封锚控制

压浆采用真空辅助压浆工艺,压浆前孔道做真空处理,真空度控制在 $-0.06 \sim -0.10\text{MPa}$ 。压浆材料采用高性能无收缩水泥浆,水胶比 $0.26 - 0.28$,掺加专用外加剂,保证水泥浆流动性、凝结时间、强度满足要求。压浆顺序由低到高,压浆压力控制在 $0.5 \sim 0.7\text{MPa}$,持荷压力为 0.5MPa ,持荷时间不少于 5min 。在压浆时观察排气孔的出浆情况,当排气孔排出的水泥浆浓度与注入的水泥浆浓度相等且无气泡时,关闭排气孔。压浆结束后,及时用砂轮切割机切除多余钢绞线(严禁用氧气乙炔切割),封锚混凝土强度等级不低于 $\text{C}55$,浇筑前清理锚具及梁体端部混凝土表面,凿毛冲洗干净,设置钢筋网片增强封锚。封锚混凝土浇筑之后加强养护,保证与梁体紧密结合,无裂缝产生^[5]。

6 合龙段施工质量控制

6.1 合龙段施工准备

本工程合龙施工按照先边跨后中跨的原则进行,第 9 联先完成两侧 55m 边跨合龙,再进行中间三个 80m 跨

合龙,第14联依次开展65m边跨和100m中跨合龙。合龙时段选择在夜间气温稳定的22:00-次日6:00,控制温差 $\leq 5^{\circ}\text{C}$,规避温度影响。施工前在合龙段两端安装Q235B型钢劲性骨架(第9联 $300\text{mm}\times 300\text{mm}$ 、第14联 $350\text{mm}\times 350\text{mm}$),用全站仪定位后焊接固定,抵抗温度和收缩应力。同时在合龙段两侧悬臂端设置配重(合龙段混凝土重量的50%-70%,采用沙袋或水箱),实行“浇筑与卸载同步”的办法保证梁体受力平衡、结构稳定。

6.2 合龙段浇筑与养护

合龙段混凝土浇筑采用一次连续浇筑完成,浇筑时间控制在6h以内,保证混凝土的整体性。混凝土配合比以C55为基础,掺加微膨胀剂,膨胀率控制在0.02%~0.03%,补偿混凝土收缩,提高合龙段整体性。浇筑完毕立刻覆盖保温被进行养护,养护期不少于20d,保证混凝土表面温度稳定,防止产生温度裂缝。养护期间加强对梁体线形及应力的观测,出现异常及时处理。

6.3 合龙段质量验收

合龙段施工完毕后,对梁体轴线偏位、高程偏差、混凝土强度、裂缝情况进行检查。轴线偏位偏差不大于15mm,高程偏差不大于 $\pm 15\text{mm}$;混凝土强度达到设计强度的100%;梁体表面无宽度大于0.2mm的裂缝。验收合格后才能拆除挂篮和劲性骨架。

7 施工过程质量监测与控制

7.1 监测内容与频率

变形监测包括梁体悬臂端沉降、轴线偏移、合龙段变形,采用全站仪、水准仪进行监测,梁段悬浇时每浇筑一个块段监测一次,合龙段施工期间每2h监测一次,合龙后7d内每天监测一次,7d后每周监测一次,直至施工结束。应力监测在梁体腹板、顶板关键截面预埋应力传感器,施工中梁体应力变化进行监测,频率与变形监测相同,应力变化速率大于 1MPa/d 或者应力值达到设计值的90%时,加密到每小时测一次并分析处理。温度监测包括环境温度、混凝土内部温度、梁体表面温度,采用温度传感器进行监测,混凝土浇筑时每30min测量1次,浇筑完成后7d内每1h测量1次,7d后每4h测量1次,控制混凝土内外温差、表面与环境温差在允许范围内^[6]。

7.2 监测数据处理与应用

建立监测数据台账,及时对监测数据进行整理分析,绘制变形-时间曲线、应力-时间曲线、温度-时间曲线。通过数据分析来判定梁体施工质量的状态,如果变形、应力或者温度超出允许的范围,就及时对施工工艺进行调整,比如调节立模高程,改变张拉参数,加强温控措施等,保证施工质量处于受控状态。

7.3 质量问题处置

当梁体悬臂端沉降或者轴线偏移超过允许范围时,需要分析偏差原因,如果是因为挂篮变形引起的,则调整挂篮

预拱度,如果是因为混凝土收缩或者温度变化引起的,则通过张拉预应力筋进行纠偏,保证梁体线性符合设计要求。发现混凝土表面有裂缝时,应立即检测裂缝宽度,对于裂缝宽度小于0.2mm的裂缝,用环氧树脂浆液封闭;裂缝宽度大于0.2mm的裂缝,用压力注浆处理,注浆材料采用环氧树脂砂浆,注浆压力控制在 $0.3\sim 0.5\text{MPa}$,保证裂缝填充密实。预应力施工时,张拉过程中出现滑丝、断丝,数量在允许范围内可以继续张拉,超过允许范围需要更换预应力筋重新张拉;压浆过程中孔道堵塞,应及时清理孔道,重新压浆,保证孔道压浆饱满。

8 施工质量控制效果

通过上述关键技术的应用与实施,国道230道路工程永定河特大桥第9联、第14联挂篮悬浇箱梁施工质量得到有效控制。梁体轴线偏位最大偏差8mm,高程最大偏差10mm,均满足规范要求;混凝土强度合格率100%,表面无宽度大于0.2mm的裂缝;预应力张拉伸长值偏差在 $\pm 3\%$ 以内,孔道压浆饱满度好;合龙段施工质量优良,梁体线性流畅。

施工期间,实行全过程的质量检测和动态控制,及时消除各种质量隐患,没有出现质量事故,工程得以顺利进行。目前第9联、第14联挂篮悬浇箱梁已经全部施工完毕,经第三方检测机构检测,各项质量指标均符合设计及规范要求,为后续桥面系施工打下了良好的基础。

9 结论

本文对国道230永定河特大桥挂篮悬浇箱梁施工质量控制技术进行系统的研究。研究表明,挂篮设计拼装、梁段悬浇、预应力施工、合龙段工艺、全过程监测,分别从基础保障、施工控制、应力施加、结构成型、动态管理五个方面来共同保证施工质量。未来随着桥梁建设的不断发展,BIM模拟、物联网监测、自动化设备等智能化技术将会给挂篮悬浇施工质量控制注入新的活力,推动大跨径桥梁建造技术的发展。

参考文献

- [1] 张君毅.连续箱梁挂篮悬浇施工技术[J].黑龙江交通科技,2022,45(04):121-123.
- [2] 刘丹.桥梁工程挂篮悬浇施工应用技术分析[J].运输经理世界,2022,(08):79-81.
- [3] 刘国平.陡冲子大桥T型钢构箱梁挂篮悬浇施工技术[J].建筑机械化,2024,45(04):58-61.
- [4] 郭佳飞.桥梁工程连续刚构箱梁施工技术分析[J].交通建设与管理,2024,(02):101-103.
- [5] 吕海亮.大跨径预应力悬浇箱梁施工关键技术研究[J].建筑机械,2024,(02):141-146.
- [6] 李晓婷.特大桥箱梁挂篮悬浇施工技术研究[J].交通世界,2023,(17):162-164.