

大跨径连续刚构桥梁上部结构施工质量控制措施

苏庆波

湖北长江路桥有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i8.8308

[摘要] 伴随我国交通基础设施建造步伐日益加快,大跨径连续刚构桥梁因跨越能力强、造型美观、行车顺畅等长处,在高速公路好城市跨江(河)通道创建进程中大量运用。但其上部构造施工工艺繁杂,包含悬臂浇筑,预应力张拉,体系改变等重要部分,任何一个施工过程存在偏差就有可能波及到桥梁的受力情况及其结构安全,乃至引起工程事故,如何妥善拟定并切实执行施工质量把控方案,变成保证桥梁创建品质的关键性内容。笔者结合工程实例和技术准则,探究大跨径连续刚构桥梁上部构造施工质量把控要点,希望给类似项目给予理论借鉴和操作指引,助推桥梁创建技术走向高品质发展。

[关键词] 大跨径;连续刚构桥梁;施工质量管理

Construction quality control measures for the upper structure of long-span continuous rigid frame bridges

Su Qingbo

Hubei Changjiang Road and Bridge Co., Ltd.

[Abstract] With the accelerating pace of transportation infrastructure construction in China, large-span continuous rigid frame bridge beams are widely used in the process of creating cross river (river) channels in highways and cities due to their strong crossing capacity, beautiful appearance, and smooth driving. However, the construction process of its upper structure is complex, including important parts such as cantilever casting, prestressed tensioning, and system changes. Any deviation in the construction process may affect the stress situation and structural safety of the bridge, and even cause engineering accidents. How to properly formulate and effectively implement the construction quality control plan has become a key content to ensure the quality of bridge construction. The author combines engineering examples and technical guidelines to explore the key points for controlling the construction quality of the upper structure of long-span continuous rigid frame bridges, hoping to provide theoretical reference and operational guidance for similar projects, and promote the high-quality development of bridge construction technology.

[Key words] large-span; Continuous rigid frame bridge; quality control in construction

引言

在当前城市化进程与交通运输需求持续增长的背景下,大跨径连续桥梁因其在城市连接与物流通道中的核心作用,成为工程学界聚焦的研究焦点,以其卓越能力征服宽广水域、艰险地貌与稠密都市环境,成功破解交通难题,成为推动区域一体化发展的稳固基石^[1]。在项目规划与实施阶段,会遇到多重难题,即多样且复杂的自然环境加大了先期调研与地基建设的复杂度,对支撑结构提出的高标准高难度要求,旨在确保其稳固性,此研究集中探讨大型连续桥梁的建设工程,目标在于详细解析技术挑战,并寻求有效的解决方案。深入剖析特定工程环境下的设计与施工要求,探索出新颖的应对策略,从而增强工程项目的稳定性和安全性,为相似工程的实施贡献宝贵的

理论依据和技术指南^[2]。

1 工程案例

某桥梁工程坐落于开阔平原直线路段,为五孔连续刚构桥,全长320米。桥梁上部结构采用分离式单箱双室箱梁设计,箱梁高度由端部2.2米渐变至跨中5.5米,顶板宽度达18.6米,底板宽度10.2米,两侧悬臂长度4.2米,构建起双向四车道通行空间。应力体系采用先进的三维预应力系统,配合高强度低松弛钢绞线与智能张拉技术,确保结构受力均衡。大桥主梁施工采用节段悬臂浇筑法,选用C55高性能混凝土提升结构耐久性;主墩与过渡墩均为分离式双肢薄壁空心墩,主墩混凝土强度等级C50,通过薄壁镂空设计减轻自重,过渡墩采用C45混凝土,配合钢筋网加固技术,增强墩身抗震性能与抗风

稳定性。

2 大跨径连续钢构桥梁施工

2.1 基础施工

(1) 深水承台

桥梁承台基础处于深水区域,受水流冲刷、水压波动等动态荷载影响较大,要缩减孔桩间距,从而提升基础整体性^[3]。大尺寸承台的施工存在空间不足、混凝土浇筑温控难等难题。目前最常用的是钢吊箱和钢套箱施工工艺。吊箱吊装之前要用BIM技术做三维模拟,保证吊装路线准确避开复杂的河床地形。因为承台底部土质松软,钢吊箱平台底部还要加上抛石挤淤层,用水下混凝土封底加固。平台距离河面较高,水流冲击大,要用锚碇系统和定位桩加固,随时检测平台的位移情况,保证在整个施工过程的稳定。

(2) 地下连续墙

地下连续墙是深基坑支护的关键结构,采用液压抓斗+旋挖钻机协同成槽法。施工顺序按照测量放线→导墙施工→成槽清底→钢筋笼吊装→水下混凝土浇筑。使用超声波检测仪实时检测槽壁垂直度,用锁口管或工字钢接头来加强墙体的防渗功能。低噪音、低振动,适合靠近居民区施工,墙体刚性大,可以抵御地下水压力,给后面主体结构施工提供保障。

(3) 大型深井

针对超大尺寸沉井基础,采用“钢壳—混凝土”组合结构增强承载能力,施工过程中,在工厂预先制作好钢壳沉井节段,运到现场之后,通过焊接拼接成为整体,借助空气幕助沉手段降低井壁摩阻力,凭借实时沉降监测数据动态调整下沉速率,当沉井接近设计标高时,采取触变泥浆套辅助纠偏,保证定位精度误差在正负50毫米范围之内,封底阶段采用水下混凝土“导管法”浇筑,形成刚性基础底座。

2.2 索塔施工

(1) 钢索塔

钢索塔采用“节段拼装+智能提升”施工技术,节段在工厂预制成形后运输至现场。安装时,利用液压同步提升系统将分段钢塔精准定位,通过全站仪三维坐标控制确保轴线偏差 $\leq 1/3000$ 塔高。针对高空焊接作业,采用防风罩与温控设备保障焊接质量,关键节点焊缝进行100%超声波探伤检测。同时设置临时横撑与斜拉索辅助结构,增强施工过程中索塔的抗风稳定性。

(2) 混凝土索塔

混凝土索塔采用液压爬模施工工艺,模板系统由钢模板、液压爬升装置、操作平台组成。浇筑前,通过有限元软件模拟索塔应力分布,优化混凝土分层浇筑厚度与间隔时间。施工中,利用智能温控系统监测混凝土内部温度,通过循环冷却水系统控制内外温差 $\leq 25^{\circ}\text{C}$ 。钢筋绑扎采用定位架辅助,确保主筋间距误差 $\leq 10\text{mm}$,关键锚固区增设加强钢筋网片,提升局部承载能力^[4]。

2.3 上部结构施工

(1) 节段悬臂浇筑

本工程主梁采用对称悬臂浇筑工艺,挂篮选用菱形桁架式结构,在工厂完成预拼装后现场整体吊装。施工时,每个节段浇筑前进行挂篮预压试验,消除非弹性变形。采用“挂篮前移—模板调整—钢筋绑扎—预应力管道安装—混凝土浇筑—预应力张拉”的循环作业流程,利用BIM+GIS技术建立施工监控模型,实时采集主梁高程、应力数据,通过参数调整确保成桥线形误差 $\leq \pm 20\text{mm}$,合龙段施工选在日气温最低时段进行,采用刚性支撑锁定后对称浇筑微膨胀混凝土。

(2) 预应力施工

三维预应力体系采用智能张拉设备,通过PLC控制系统实现张拉力与伸长量双控。纵向预应力束采用两端同步张拉,横向与竖向预应力束按设计顺序单端张拉。张拉前对孔道摩阻损失进行实测,修正理论伸长值。压浆采用真空辅助压浆工艺,控制压浆压力在0.5-0.7MPa,通过循环排浆确保孔道密实度,关键部位采用雷达检测技术验证压浆效果,防止预应力钢绞线锈蚀。

3 连续钢构桥梁上部结构施工质量问题

3.1 节段悬臂浇筑施工质量缺陷

3.1.1 挂篮变形与位移

挂篮是节段悬臂浇筑的关键设备,其稳定性十分重要。施工过程中,挂篮多次移动、混凝土浇筑时,出现局部变形、位移的情况,主要是由于挂篮设计不合理,杆件强度、刚度不足,承受混凝土浇筑荷载及自身重力时发生挠曲。挂篮拼装精度不高,各连接部位松动,造成整体稳定性差。施工过程中,对挂篮预压试验不充分,不能消除非弹性变形,导致实际施工中挂篮变形超限,影响箱梁节段浇筑精度,造成节段间错台、裂缝等质量问题。

3.1.2 节段浇筑不对称

节段悬臂浇筑要维持两侧对称施工,这样才能保证主梁受力均衡。不过在实际操作过程中,因为施工组织不够妥当,两边混凝土浇筑速度不一,浇筑方量有差别,造成主梁两边悬臂端出现不均衡的附加弯矩。不均衡受力就会使主梁扭转、偏位,影响到结构的总体稳定状况^[5]。不对称浇筑还可能造成挂篮倾斜,加大挂篮倾覆危险,危及施工安全。在桥施工监测中,就曾发现因为一边混凝土浇筑速度过快,致使主梁明显偏位,不得不暂停施工去纠正,耽误了工期,增加了成本。

3.2 预应力施工质量问题

预应力张拉是保证连续钢构桥结构安全的重要环节,采用智能张拉技术能够有效提升张拉精确度,但仍然会存在诸多因素影响张拉精确度。一方面,智能张拉设备的传感器出现故障或智能张拉系统参数设置不合理,会导致实际张拉力与设定的设计值不符,进而造成张拉力偏低,不能建立起预应力,减少连续钢构桥的承载能力;另一方面,如果张拉操作不当,比如张拉速度过快,持荷时间不足,则可能发生超张拉的情况,使钢绞线承受过多应力,发生脆性断裂的现象,严重威胁到连续

钢构桥的安全性。

3.3 孔道压浆不密实

孔道压浆可以保护预应力钢绞线, 防锈蚀并保证预应力的有效传递, 但在实际压浆施工过程中, 由于压浆设备性能差和压浆工艺不规范的原因导致孔道压浆不密实。压浆压力不足, 导致水泥浆没有被充分填充到孔道内, 孔道有空隙; 压浆时断, 产生“堵灌”现象, 使得孔道内有气阻, 水泥浆无法流动; 水泥浆的配合比例不对, 泌水量太大, 硬化后孔道内就会形成空洞, 钢绞线与空气、水分接触, 钢绞线生锈, 导致预应力丧失, 严重影响桥梁的耐久性。在某桥的后期检测过程中, 通过无损检测方法检测到该桥某些孔道压浆密实程度不足 50%, 钢筋有锈蚀现象。

3.4 混凝土施工质量问题

大体积混凝土箱梁在进行混凝土浇筑作业时会产生大量热量, 由于混凝土内部散热比表面要慢得多, 从而使得混凝土箱梁在浇筑过程中箱内温度急骤增高, 表面散热较慢, 导致内外存在很大温差。当混凝土内外温差带来的温度应力大于混凝土的抗拉强度时, 便在混凝土表面产生开裂现象。在某桥浇筑箱梁时正值夏季高温时期, 没有做好温度控制措施, 导致箱梁顶板、腹板出现许多温度裂缝。无疑严重降低了箱梁的防水性能与耐久性能。

混凝土在硬化时会发生收缩变形, 有塑性收缩、干燥收缩和自收缩。如果施工时混凝土配合比不合理, 水泥用得太多, 水胶比太大, 都会使混凝土收缩增多。如果养护不及时或者养护方式不当, 混凝土表面水分快速蒸发, 容易造成收缩裂缝。收缩裂缝一般不规则, 贯穿整个混凝土结构, 使结构整体性和承载力下降。

4 大跨径连续刚构桥梁上部结构施工质量控制措施

4.1 严格把控材料质量与施工工艺标准化

施工前需对钢材、混凝土、预应力筋等材料的强度、规格、耐久性进行严格检验, 确保符合设计标准。如钢材的力学性能需通过抽样复检, 预应力管道应满足抗压、抗变形要求, 预制构件如模板、墩台等需检查尺寸精度和表面平整度, 避免因误差累积导致结构偏差。施工中需严格遵循技术规范, 如焊接工艺需符合三级质量管理体系要求, 焊缝质量通过无损检测确保无裂纹、气孔等缺陷。对于大体积混凝土浇筑, 应优化配合比, 控制水化热和收缩变形, 并采用分层浇筑、振捣密实等措施, 防止裂缝产生。

4.2 强化工序验收

工序验收是质量形成的关键环节, 需通过多级检查与联合验收实现全过程管控。多级质量检查制度建立“班组自检—施工单位互检—监理验收—质量监督抽检”的四级检查体系。如模板安装完成后需复核轴线、标高及支撑稳定性; 混凝土浇筑前需清理模板内杂物并湿润表面, 经监理签字确认后进入下一工序。隐蔽工程联合验收针对预应力管道定位、钢筋绑扎

等隐蔽工程, 需组织设计、施工、监理等多方参与联合验收。重点核查管道坐标偏差是否在 $\pm 5\text{mm}$ 以内、钢筋保护层厚度是否符合设计要求等, 若发现管道堵塞或钢筋移位, 需立即整改并复验, 杜绝隐患留存。

4.3 动态监控线形与应力状态

大跨径桥梁上部结构的线形与应力控制是质量管理的核心难点, 需通过计算分析与实时监测实现动态调整。施工前需建立桥梁线形控制模型, 模拟各施工阶段的变形与内力分布, 为立模标高提供理论依据。施工中采用全站仪、水准仪等设备实时监测主梁挠度与桥面标高, 将实测数据与模拟值对比, 及时调整模板或配重以修正偏差, 如悬臂浇筑时可通过调整挂篮预拱度补偿挠度变形。

应力监测与稳定性保障

4.4 完善技术交底与人员管理

施工质量最终取决于人的执行, 需通过技术交底与培训提升全员质量意识。施工前需组织专项技术交底, 明确设计意图、施工流程及质量控制指标, 如针对大跨径连续梁合龙段施工, 需向操作人员讲解温度控制、配重设置及刚性连接等关键措施。同时, 施工方案需经专家论证, 确保工艺可行性与安全性。定期开展技能培训, 重点强化测量放线、预应力张拉等关键岗位人员的操作规范性。实行质量责任追溯制, 对违规操作或验收疏漏进行追责, 形成“全员参与、全过程管控”的质量文化。

5 结束语

综上所述, 大跨径连续钢构桥梁上部结构的施工质量管理需贯穿材料、工艺、监控与管理四大维度。通过严格把控材料质量、强化工序验收、动态监控线形应力、落实技术交底, 可有效提升施工质量的可靠性与耐久性。未来, 随着智能化监测技术与 BIM 协同平台的推广应用, 质量管理将逐步向精细化、信息化方向发展, 为桥梁工程的安全建设与长效运维提供更强保障。

[参考文献]

- [1]李文斌,张春良.大跨径连续刚构桥钢束锚下有效预应力同束不均匀度影响因素与控制措施[J].四川水泥, 2024(8): 267-269.
- [2]韦权峰.大跨径现浇连续刚构箱梁施工技术研究[J].企业科技与发展, 2024(11): 108-112.
- [3]严华卫.大跨度连续刚构桥梁施工控制关键问题分析与研究[J]. 2021(5): 167-167.
- [4]刘东霞.大跨度连续刚构桥梁标准施工控制关键问题分析[J]. 2021(2016-11): 202-203.
- [5]张琦.大跨径连续刚构桥梁上部结构施工质量管理研究[J].现代工程科技, 2023, 2(12): 126-128.

作者简介: 苏庆波, 1989.08.06, 男, 河南省, 汉族, 本科, 工程师, 研究方向: 路桥。