

Research on key technologies for temperature control and crack prevention in large volume concrete for large span bridges

Qingjiang Liu Zhicai Yue Jiancheng Xue Fenxin Li Jingwang Han

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

Abstract

The construction of 12 large-volume concrete main pier cap foundations for Yongding River Special Bridge (National Highway 230, Daxing Section) presents challenges including concentrated hydration heat and significant temperature differences between interior and exterior environments. This study investigates critical temperature control technologies through embedded three-layer cooling water pipes. By optimizing mix design, improving cooling system layout, enhancing construction process control, and strengthening curing practices, the research effectively manages temperature gradients and cooling rates within concrete structures. The approach achieves crack-free construction of large-volume concrete, providing technical references for similar engineering projects.

Keywords

large span bridge; large volume concrete; temperature control and crack prevention; key technology

大跨径桥梁大体积混凝土温控防裂关键技术研究

刘青江 岳志才 薛建成 李奋新 韩敬旺

中交一公局第三工程有限公司, 中国·北京 101102

摘 要

国道230大兴段永定河特大桥12座大体积混凝土主墩承台施工, 第9联单个承台混凝土576m³, 第14联单个承台697m³, 面临水化热集中、内外温差大等裂控难题, 本文结合预埋三层冷却水管的施工实践, 研究温控防裂关键技术^[1]。通过优化配合比设计、改进冷却系统布置、加强施工过程控制、加强养护, 有效地控制混凝土内表温差和降温速率, 实现大体积混凝土无裂缝施工, 为类似工程提供技术参考。

关键词

大跨径桥梁; 大体积混凝土; 温控防裂; 关键技术

1 引言

大跨径桥梁主墩承台是大体积混凝土浇筑的承重结构, 水化热积聚产生的温度应力容易造成裂缝, 降低结构耐久性和安全性。国道 230 大兴段永定河特大桥共有 12 座大体积混凝土主墩承台, 第 9 联和第 14 联单个承台混凝土用量分别达到 576m³ 和 697m³, 还要与四联挂篮悬浇箱梁施工同步。本文根据该工程预埋三层冷却水管的条件, 对大体积混凝土温控防裂关键技术进行系统研究, 解决施工中温度控制问题, 保证工程质量^[2]。

2 工程概况

2.1 项目背景

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, 其中永定河特大桥包含桥梁长度 1404m, 路基长度 676m, 公路等级为一级, 双向六车道, 设计时速 80 公里 / 小时。项目建成后对完善区域路网结构, 加强城南地区交通联系, 串联多个产业园区起到重要作用, 对区域经济发展起到推动作用。

2.2 大体积混凝土承台设计参数

本项目共设 12 个大体积混凝土主墩承台, 分布在 28#-31# 轴、48#-49# 轴等处, 均需做冷却水施工。其中第 9 联主墩承台尺寸为 12m × 12m × 4m, 单个承台混凝土用量 576m³; 第 14 联主墩承台尺寸为 13.2m × 13.2m × 4m, 单个承台混凝土用量 697m³。承台混凝土设计强度等级为 C35, 采用一次浇筑, 内部设置三层 Φ48 × 2.5mm 无缝钢管作为

【作者简介】刘青江 (1984-), 男, 中国河北保定人, 工程师, 从事公路工程施工技术质量管理研究。

冷却降温水管，管间采用螺纹丝扣加生胶带连接，保证通水过程中不漏水。

2.3 施工环境与技术难点

水文地质条件复杂：桥位区横跨永定河，河堤内历年最高地下水水位达 40.00m，近 3-5 年潜水最高地下水水位绝对标高约 36.00m，施工时需防范地下水对混凝土浇筑的影响。

温度控制难度大：大体积混凝土水化热集中释放，容易造成内部最高温度超标，如果温控措施不到位，就会产生温度裂缝。

施工协同要求高：需配合四联挂篮悬浇箱梁施工进度，承台施工质量直接影响后续结构施工安全。

3 大体积混凝土温控防裂技术原理

3.1 温度应力产生机制

大体积混凝土浇筑后，水泥水化反应会放出大量的热，由于混凝土的导热系数小，热量积聚在内部不容易散发出去，形成内高外低的温度场。内部混凝土受外部低温混凝土的约束而产生压应力，后期混凝土降温收缩时，外部混凝土

已经硬化，内部收缩受到约束产生拉应力。当拉应力大于混凝土同期抗拉强度时，就会出现温度裂缝^[1]。

3.2 温控防裂核心指标

根据大体积混凝土施工标准 GB50496-2018 以及项目实际情况，确定温控核心指标，混凝土浇筑温度不大于 25℃，冷却水进出水口水温差不大于 10℃，水温与内部混凝土温差不大于 20℃，混凝土内表温差不大于 25℃，内部最高温度不大于 70℃，降温速率不大于 2℃/d，养护水与表面混凝土温差不大于 15℃。

3.3 冷却水管工作原理

采用在承台内预埋三层冷却水管，通入循环冷却水的方式，利用热传导将混凝土内水化热带走。冷却水管按层距 1.5m 布置，最底层距承台底面 0.5m，出入口露出承台 30cm，形成闭合循环系统。通过调节冷却水流量和温度来控制混凝土内部温度上升速度，减小混凝土内外温差，减小温度应力。

3.4 冷却水管布置示意图

见表 1。

表 1 承台水管布置层级信息表

层级	距承台底面距离	横向间距	纵向间距	水管规格	连接方式
第一层（底层）	0.5m	1.0m	1.2m	Φ48×2.5mm 无缝钢管	螺纹丝扣+生胶带
第二层（中层）	2.0m	1.0m	1.2m	Φ48×2.5mm 无缝钢管	螺纹丝扣+生胶带
第三层（顶层）	3.5m	1.0m	1.2m	Φ48×2.5mm 无缝钢管	螺纹丝扣+生胶带

注：适用于第 9 联（12m×12m×4m）与第 14 联（13.2m×13.2m×4m）承台，水管均采用 U 型布置，通过架立筋固定

4 大体积混凝土温控防裂关键技术

4.1 混凝土配合比优化设计

大体积混凝土施工时，原材料的选择以及配合比的设计属于温控防裂的重要部分。水泥选用低水化热矿渣硅酸盐水泥（P·S42.5），通过减少单方混凝土水泥用量来降低水化热峰值；骨料采用级配良好的 5-31.5mm 碎石（含泥量≤1%）和细度模数 2.6-3.0 的中粗砂（含泥量≤2%），优化级配提高混凝土的密实度和导热性能。掺入 I 级粉煤灰（掺量占胶凝材料总量 30%）和矿渣粉（掺量 20%），延缓水化热释放速度，改善工作性；配用减水率≥25%、缓凝时间 8~12h 的高效缓凝减水剂，将水胶比控制在 0.42 以下，减少混凝土收缩^[4]。

经试验优化后，C35 大体积混凝土最终配合比（质量比）为：水泥：粉煤灰：矿渣粉：碎石：砂：水：外加剂 = 240：120：80：1180：680：168：4.48，坍落度控制在 180mm 到 200mm 之间，初凝时间大于等于 12h，终凝时间小于等于 24h，保证一次性连续浇筑，为温控防裂打下基础。

4.2 冷却系统优化布置与运行控制

根据不同的承台尺寸，本工程采取不同的冷却水管布置方案和运行控制策略。第 9 联 12m×12m×4m 承台、第 14 联 13.2m×13.2m×4m 承台均预埋三层 U 型冷却水管，

横向间距 1.0m，纵向间距 1.2m，用焊接架立筋固定悬空部分，防止浇筑过程中移位或损坏。

冷却系统运行管理初期用附近村庄自来水作水源，后期改为循环水冷却，用 3m×3m×3m 冷却水箱调节水温。混凝土升温阶段冷却水流量控制在 3.0m³/h，进水温度约 21℃；降温阶段冷却水流量调整至 1.8m³/h，保证冷却水与混凝土内部最高温差控制在 15-20℃。通水时间从混凝土覆盖冷却水管后立即开始，一直持续到混凝土内部最高温度不超过 40℃，最大内表温差不超过 20℃为止，总通水时间不少于 7 天。压力控制采用分水器集中控制各层水管流量，2 台功率≥10kw、流量≥20m³/h 水泵（1 台备用）保证供水稳定。

浇筑前需进行不少于 2h 的加压通水试验，重点检测管道密封性和流量稳定性，发现漏水、阻水问题及时修复，保证冷却系统无故障后再进行混凝土浇筑，为大体积混凝土温控防裂提供可靠的保障。

4.3 施工过程温控管控技术

大体积混凝土施工时，浇筑过程控制及温度监测动态调整，是温控防裂的关键环节。浇筑工艺采取分层连续推进的方式，每层浇筑厚度把控在 30cm，层间间隔时间≤2h，保证下层混凝土初凝之前完成上层的覆盖。布料方式采用汽车泵从承台中心向四周辐射推进，有效地避免了混凝土离析

现象。振捣作业采用50型插入式振捣棒，振捣棒的间距不大于50cm，振捣棒应插入下层混凝土5cm至10cm，与模板之间保持5cm至10cm的安全距离，根据混凝土停止下沉、气泡完全排出、表面泛浆等现象来判断振捣完成，防止漏振、过振。泌水处理依靠混凝土自然坡面形成排水通道，配合小型水泵及时抽排，防止泌水积聚影响结构强度。

温度监测系统采用传感器和测温仪相结合的方式，每个承台设置15个监测点，其中内部温度点9个，按三层布置，表面温度点4个，环境温度点2个。根据混凝土水化进程来决定监测的频率：浇筑后前三天每两小时采集一次数据，第四天到第七天调整为每小时采集四次数据，七天后每八小时采集一次数据，直至温度场稳定为止。根据实时监测数据，当混凝土内部温度超过60℃时，立即增大冷却水流量或者降低进水温度；内表温差大于20℃时，迅速加强表面保温措施，通过多层保温被覆盖、增设暖棚等方式实现温度梯度控制，使混凝土结构在水化热高峰期温度应力处于安全范围内^[5]。

4.4 养护与保温措施优化

本工程大体积混凝土采用“带模养护+洒水覆盖养护”组合养护方式，配合多维保温措施，实现大体积混凝土全周期温控防裂。混凝土浇筑完毕，立即用土工布加彩条布双层包裹模板，进行7天带模保湿养护，利用模板作为初期保温层，减少表面水分蒸发和热量散失；拆模后立即覆盖双层土工布，持续洒水保持表面湿润，养护时间不少于14天，保持混凝土水化热稳定释放。

保温控制从模板、表面、拆模三个环节协同控制：①模板保温，在浇筑时对模板表面覆盖土工布，阻隔风对混凝土表面的直接作用，减小散热速率；②表面保温，在混凝土进入降温阶段后，立即覆盖厚度≥5cm的土工布和阻燃草帘复合保温层，减小热量向外散发，延长散热时间，减小内外温差；③拆模管理，严格控制拆模条件，只有在混凝土表面温度与日最低环境温度之差小于10℃时才允许拆除模板，拆模后及时进行回填，防止环境温度急剧下降导致温度应力裂缝，保证混凝土结构的完整性和耐久性。

4.5 施工界面与细节管控

桩头处理采用环切法凿除浮浆，至新鲜骨料外露，桩顶进入承台15cm，处理后用水冲洗，为后续连接筑牢根基。钢筋在加工厂集中加工，现场绑扎，主筋用焊接连接（单面焊长度≥10d，双面焊长度≥5d），严格控制同一断面接头面积百分率≤50%。钢筋绑扎完成之后立即进行混凝土浇筑，防止长时间暴露产生锈蚀。

模板使用定型钢模板，模板安装前要打磨除锈，均匀涂刷脱模剂，模板接缝处贴双面胶密封，防止漏浆。混凝土浇筑全过程设专人看护模板，发现模板变形、移位等异常立即采取应急措施，保证施工精度和结构安全。经由桩头、钢筋、模板这三个工序的衔接以及规范的操作，进而提升基础施工的质量，为永定河特大桥的耐久性构筑起坚固的基础。

5 工程应用效果验证

5.1 温度控制效果

通过对第9联和第14联主墩承台的温度监测数据进行统计，混凝土内部最高温度控制在65℃到68℃之间，没有超过70℃的控制标准；内表温差最大为22℃，满足≤25℃的要求；降温速率稳定在1.5℃到2.0℃/d之间，没有出现超标的情况。冷却水进出水口温差在8-10℃之间，水温与内部混凝土温差控制在15℃以上、18℃以下。

5.2 裂缝控制效果

12座大体积混凝土主墩承台施工完毕后，经过外观检查和超声波检测，没有发现有害裂缝，表面平整光滑，混凝土强度经过检测都达到了C35设计要求，合格率为100%。承台尺寸偏差、顶面高程、轴线偏位等均满足《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T3650-2020）^[6]。

5.3 经济效益与社会效益

从经济效益上来说，优化温控技术可以减少修补裂缝产生的额外费用，每个承台节约维修费用8到12万元，总共节约成本100多万元；还可以缩短养护时间，保证后面四联挂篮悬浇箱梁的施工进度，产生间接经济效益。

社会效益：本技术成功应用为大跨径桥梁大体积混凝土温控防裂提供了实践依据，提高了工程质量、结构耐久性，对类似工程有借鉴意义，且施工过程中减少对周边环境的影响，符合绿色施工的要求。

6 结论

本文结合国道230大兴段永定河特大桥大体积混凝土承台施工，针对576m³和697m³承台温控防裂问题，提出综合技术方案。通过优化混凝土配合比掺入矿物掺合料降低水化热，采用三层冷却水管加分级流量控制，分层浇筑，动态监测等措施，12座承台无裂缝。未来随着桥梁建设的发展，可以研究智能化温控系统，利用BIM和物联网实现自动调节，也可以探索使用新型低水化热、自修复材料来提高大体积混凝土结构的耐久性。

参考文献

- [1] 毕进安. 高速公路桥梁承台大体积混凝土配合比设计与温控防裂研究[J]. 交通科技与管理, 2024, 5(03): 45-47.
- [2] 钱越. 仙新路大桥承台大体积混凝土防裂技术研究[J]. 山西建筑, 2023, 49(17): 165-168.
- [3] 董晓帅. 铁路桥梁大体积混凝土结构防裂措施探讨[J]. 工程技术研究, 2023, 8(02): 216-218.
- [4] 李梦怡. 道路桥梁施工大体积混凝土裂缝成因及防治措施[J]. 工程技术研究, 2022, 7(11): 95-97.
- [5] 梁大刚. 铁路桥梁大体积混凝土结构防裂分析[J]. 四川建材, 2022, 48(03): 120-121+123.
- [6] 郑镇平. 桥梁承台大体积混凝土温控防裂技术探讨[J]. 福建交通科技, 2021, (12): 76-78+82.