

临泉县杨桥闸重建工程大体积混凝土温度控制措施

陈 影

临泉县城防管理所, 安徽 阜阳 236400

[摘要]临泉县杨桥闸重建工程大体积混凝土结构的温度控制非常重要,水化热积聚可能出现温度裂缝,工程采用了很多温控办法,优化配合比、分层分段浇筑、设置冷却管让循环水冷却、加强保温和养护等,施工时实时监测混凝土内部温度变化并及时调整控制策略以将温度梯度控制在合理范围,相关措施提高了结构整体质量和耐久性。

[关键词]大体积混凝土;温度控制;水化热;冷却系统;裂缝防控

DOI: 10.33142/hst.v8i7.17081

中图分类号: X52

文献标识码: A

Temperature Control Measures for Large Volume Concrete in Yangqiao Sluice Reconstruction Project in Linquan County

CHEN Ying

Linquan County Defense Management Office, Fuyang, Anhui, 236400, China

Abstract: The temperature control of the large volume concrete structure in the reconstruction project of Yangqiao Sluice in Linquan County is very important. Temperature cracks may occur due to the accumulation of hydration heat. The project adopts many temperature control methods, such as optimizing the mix proportion, pouring in layers and sections, setting cooling pipes for circulating water cooling, strengthening temperature and curing, etc. During construction, real-time monitoring of temperature changes inside the concrete and timely adjustment of control strategies to control the temperature gradient within a reasonable range have improved the overall quality and durability of the structure.

Keywords: large volume concrete; temperature control; hydration heat; cooling system; crack prevention and control

引言

水利基础设施建设不断推进,大体积混凝土在闸坝工程里的应用越来越广泛,不过水化热释放得厉害,内部温度显著升高,很容易产生温度裂缝,结构安全和使用寿命都会受影响,临泉县杨桥闸是当地重要的水利工程,在混凝土温度控制上挑战多多,要保证工程质量和稳定运行,探索科学有效的温控技术手段很急迫,文章以杨桥闸工程为中心,系统地探讨温控措施的设计和实施效果。

1 临泉县杨桥闸重建工程概况与混凝土特性分析

区域水利系统中的临泉县杨桥闸重建工程是重要组成部分,因其工程稳定性和耐久性对大体积混凝土施工提出了更高要求。

1.1 工程背景与建设目标

临泉县泉河干流上有个杨桥闸,这是控制洪水、调节灌溉和生态补水的重要水利工程,下游区域防洪排涝和农业灌溉系统的效率直接与它的运行安全挂钩。闸体原来运行多年结构老化严重且渗漏很严重,按现在的防洪标准和运行要求不行了得重建。新建时不但要恢复基本功能还要提升闸体结构强度和长期耐久性能。项目设计时引进现代水利工程理念全面提升调蓄调度能力且特别强调基础设施抗裂抗渗性能,这样才能应对未来极端气候条件下的运行挑战。该工程投资规模大且施工任务重,包括围堰筑坝、深基开挖、大体积混凝土浇筑、闸门设备安装这些关键技术

环节,整体协调和施工组织要按更高标准来。

1.2 大体积混凝土结构特点

杨桥闸重建工程里,大体积混凝土结构被用于主闸墩、底板,该大体积混凝土有一次性浇筑方量大、结构厚实、受力复杂、热量释放慢的特点且内外温差特别容易形成,水化热集中释放会使大体积混凝土中心温度明显升高,若外部降温快就会产生较大温度应力从而诱发裂缝且影响结构耐久性,按照设计参数,该工程的混凝土最大单仓浇筑体积 800m^3 ,厚度在 2m 左右,是典型的大体积施工单元,为确保抗裂性能,选用中热硅酸盐水泥、低水胶比、矿物掺合料等复合配合比方案以降低水化热峰值,严格控制粗骨料最大粒径、砂率、坍落度损失率等从而实现良好的工作性和裂缝控制性能。

1.3 混凝土温控面临挑战

大体积混凝土施工时温度控制是个关键难题,夏季高温加上昼夜温差大,外部环境温度波动厉害,很容易让混凝土表层和芯部出现温差裂缝,而且底板之类的结构与基岩紧密挨着,散热的路被堵住,内部热量积着放不出去,施工周期长,浇筑时间跨度大,各浇筑段的热影响范围叠加,施工缝附近特别容易有温度薄弱带,水泥水化反应快慢、冷却系统布局合理与否、后期保温材料厚度和覆盖时间长短等都对温控效果有很大影响,杨桥闸工程施工前做了详细的热力模拟和温度场预测分析,制定了有差异的温

控方案,以便在实际施工中对每个温升关键处有效管控,为后面温控措施的实行提供科学依据。

2 大体积混凝土水化热作用机理及裂缝风险评估

大体积混凝土水化时会产生很多热量,若温度应力控制不好,结构裂缝就极易产生且工程安全也会受到威胁。

2.1 水化热产生机制

大体积混凝土里,水泥跟水发生水化反应时会释放大热量,这些热量大多源于生成水化硅酸钙、氢氧化钙等产物的化学反应,反应刚开始时热量释放得快,3d 就能达到总热量的一半,这使得混凝土芯部温度快速上升,混凝土导热系数低,核心区域的热量很难往外传导,就出现了“热心”现象,内部和表层的温差不断增大,不同类型的水泥、水灰比、掺和料以及外加剂的使用对水化热释放量影响很大,像中热硅酸盐水泥水化热释放比普通硅酸盐水泥慢,能有效让温升速度减慢,并且加入粉煤灰、矿渣微粉这些矿物掺合料有助于减少水泥用量从而降低总热量,控制水化热关键是抑制反应初期的峰值,优化传热路径,这样才能保证混凝土结构热场相对均衡。

2.2 温度裂缝形成条件

混凝土内部有温度梯度就会产生拉应力,这拉应力若超过材料抗拉极限便会形成温度裂缝,混凝土内外温差超 25°C 时,尤其初龄期强度还未充分发展时,常在核心温度最高点周围或者表面区域出现裂缝,结构刚度大且约束条件复杂时裂缝发生风险就高,工程底板被桩基和基岩约束,热胀冷缩受限,是裂缝高发之处,高大闸墩结构立面迎风面降温快,表面容易产生张拉裂缝,施工间歇与不同浇筑段衔接之处若温度控制不连续也会成为裂缝集中区域,温度裂缝大多为贯穿裂缝或者网状细裂纹,虽不一定马上影响承载力但抗渗能力会被严重削弱,分析温度应力发展过程可预测裂缝高风险区域从而提前设置温控和补强措施来预防。

2.3 裂缝风险综合评估

杨桥闸重建工程裂缝风险评估将温度场仿真和应力场分析相结合,先利用有限元热力模拟工具建立混凝土结构三维模型并输入水泥品种、环境温度、施工间隔、冷却管布置等参数以对升温全程动态模拟,接着把模拟出的温度梯度叠加到结构模型来评估温差引发的拉应力分布并与混凝土抗拉强度比较以判断裂缝出现概率,评估结果显示主闸底板中心区、水下基础浇筑缝、墩柱根部是高风险裂缝带,工程据此制定“预防为主、监测为辅、控制结合”的应对策略,优化配合比减少水化热、设冷却水管及时散热、延长保温期、分层分段错时浇筑等,成功将温差控制在 20°C 以内,综合评估和实测数据对比验证了温控措施科学有效。

3 温度控制关键技术与施工工艺设计

大体积混凝土有因水化热产生温度裂缝的风险,得靠科学的温控技术和合理的施工工艺把全过程热应力有效控制住。

3.1 优化混凝土配合比

降低水化热的首要环节是合理的配合比设计,杨桥闸重建工程使用中热硅酸盐水泥,还掺粉煤灰与矿渣微粉,从而有效降低单位水泥用量和水化放热速率,水胶比控制在 $0.38\sim 0.42$ 之间,在满足结构强度要求的情况下尽可能减少水泥水化反应强度,进而改善混凝土后期耐久性能,采用连续级配粗骨料作骨料并严格控制含泥量与石粉含量,以降低早期水化热峰值幅度,加入适量缓凝剂调节凝结时间,有助于拉长放热曲线,使内部温度变化趋于平缓,从而争取后续冷却系统有效调节窗口期,达成热控与施工的良好循环。

3.2 设置强制冷却系统

控制内部温度升高的核心技术是冷却水管系统。本工程将 $\phi 25\text{mm}$ 塑料冷却管预埋在混凝土结构内,其布置间距与混凝土厚度、结构形状密切相关,一般设置在底板与墩身核心区域,将 $10\sim 15^{\circ}\text{C}$ 的循环水通入冷却系统,由冷却塔预先对水源降温,并用智能调节设备动态控制进出水温度与流速,通过“冷激”效应防止新的裂缝隐患。在混凝土初凝后24h内开始冷却管通水,持续 $7\sim 10\text{d}$,配套在线温度监测装置来实时获取内部温度数据,从而实现分区调控、分段通水,控制混凝土温度上升、稳定温差梯度,有效避免芯部过热与表面骤冷问题,保障结构整体热场均衡发展。

3.3 实施分层分段施工

工程为减小水化热集中释放带来的影响分层分段浇筑,将施工单元划分得很合理以避免一次性大体积浇筑造成剧烈升温,一般单层厚度控制在 $1.2\sim 1.5\text{m}$ 且每段浇筑完后留不少于48h的间隔以便热量能逐步释放,施工顺序为“先墩后墙、由内至外”并搭配养护系统加强湿养控制,用厚草帘或者岩棉保温材料覆盖且加上自动喷雾系统让表面保持湿润以延缓降温速度、降低温差,施工缝处理时用界面处理剂增强接缝结合力并加强缝区保温从而减少应力集中,通过分层错位、温控连贯的工艺安排使整体施工过程热应力可控且结构性能一致。现场施工如图1所示。



图1 现场施工图

4 温控措施实施过程中的监测与调整策略

全过程的动态监测与及时调整决定着温控措施是否有效,要借助实时数据反馈与响应机制确保混凝土结构在升温过程中安全稳定。

4.1 构建监测系统体系

杨桥闸重建工程构建了覆盖核心部位的智能温度监测系统以实现温控过程的科学管理,这一系统以分布式传感器为基础,在混凝土内部不同深度(表层、中层、核心层)预埋温度探头且布点密度按结构复杂程度来定,进而实时掌控各关键部位的温度变化,传感器和中央控制平台通过无线数据采集终端联通实现全天候连续监测,以5分钟为采样周期将温度数据上传到数据平台从而形成可视化温度曲线图和预警模型,并且将冷却水管流量、进出水温、外界环境气温等辅助参数集成起来为后续分析提供全面依据,设定温差阈值和上限报警机制后一旦发现局部温异常系统就会自动推送预警信息给施工技术团队,使温控调整能够迅速响应且操作有依据。

4.2 实施数据动态调整

施工单位能在监测数据的指导下依据温度变化趋势做出针对性调整,混凝土芯部温度若升高太快可通过加快循环冷却水流速、降低进水温度等方法提高冷却效率,外层降温速率过快时延长保温覆盖时间或者增加保温材料厚度能防止温差突变,施工时温控措施并非固定不变会根据昼夜气温、结构位置、养护进度灵活改变,夏季午后环境温度特别高的时候外层冷却通水暂停防止混凝土表层“冷缩”太快,夜间则增强内循环强度平衡昼夜温差效应,温度异常发展趋势有时意味着施工工艺有偏差像浇筑间隔太短、养护不到位等,借助监测系统的多维数据比对能及时发现问题根源调整施工节奏与操作方式实现从“被动应对”到“主动控制”的转变。

4.3 加强后期跟踪管理

混凝土初凝阶段之后,温控措施不能停且得一直延续到结构温度稳定后整个强度增长的过程,工程在拆模后继续设置外部温度传感器监测结构降温时的稳定性,尤其重点关注界面区域和结构转角部位应力集中的风险,专门技术小组也设立起来定期汇总分析各施工段温度数据从而形成温控工作日志,这是后期养护和裂缝调查的重要参考,要是局部温控不到位或者有细微裂纹的区域就得马上采取表面修补、密封注浆或者补强加固等措施防止小裂纹变大,到了后期还用红外热成像检测混凝土表面温度分布是否均匀以评估整体热场控制的成效,整个过程重视技术闭环管理,靠着“监测—判断—调整—复测”这种循环机制不断优化温控策略从而保证结构长寿命和运行安全目标的实现。

5 温度控制成效分析与工程应用启示

温控成效的检验与结构安全相关,且是后续类似工程

技术依据的决定因素,通过分析实测数据和实践结果,就能总结出有效经验和工程启示。

5.1 成果验证与质量评估

全面收集与分析杨桥闸重建工程温控数据后,温控措施成效显著,大体积混凝土核心温度峰值被控制在 65°C 以内且内外最大温差没超过 20°C ,远低于设计预警标准,关键部位没有贯穿性温度裂缝,个别边缘区域仅有可控的表面收缩微裂纹且后期封闭养护和表面修复处理后没有对结构功能产生实质性影响,施工全程冷却系统稳定运行且水温水量调控及时、监测数据反馈和调整机制运转良好,混凝土热应力一直处于安全范围,混凝土抗压强度、抗渗性、收缩性能等实测指标都符合设计与规范要求且结构整体外观不错,没有变形或开裂痕迹,这充分验证温控方案科学适用且体现全过程温控技术与施工工艺有效融合。

5.2 技术优势与创新亮点

在温控实施过程中,本工程出现了多项有推广价值的技术亮点,其一,温控措施的精细化管理得以实现,借助传感网络和数据平台构建的“感-传-控”一体化监测体系提高了施工过程的可视化和智能化水平;其二,冷却系统设计很科学,依据结构形状和浇筑节奏进行差异化布置避免了冷却盲区形成;其三,施工工艺安排得合理,通过分层分段、错峰浇筑和间歇养护等手段有效协调了温控节奏和施工进度;混凝土配合比的优化兼顾了温控和力学性能的平衡,利用掺合料调控水化热降低了温度应力且没有牺牲强度和耐久指标,这些技术综合起来一用,温控工作就从传统的经验型控制转变成系统化、数据化、主动化管理,构建起高效可复制的温控施工体系,给今后同类大体积混凝土工程提供了可借鉴的操作范本。

5.3 工程启示与推广建议

本工程实施与总结后有若干在水利和市政工程领域值得推广的重要启示,温控设计要在施工方案阶段前置且贯穿材料选用、结构划分、施工工艺、养护计划全过程,而非将其作为施工阶段的被动补救办法,要让施工现场技术人员深入理解温控原理和操作以提高对温差数据的识读能力和响应效率,防止机械执行与应急处理不匹配,再次在大体积混凝土施工中引入智能化技术已是提升质量控制能力的重要手段,建议在以后工程中进一步推广无线监测、自动调控、水冷系统和数字施工平台的集成应用,施工后期要一直关注结构降温稳定性和早期裂缝动态并建立长效监测机制,将施工期质量控制延伸到全生命周期安全管理。

6 结语

临泉县杨桥闸重建工程大体积混凝土施工时靠着科学的温控设计、严谨的施工组织有效控制了水化热从而大大降低裂缝风险,整个过程综合运用优化配合比、布设冷

却系统、分层分段施工和智能监测手段确保结构安全性与耐久性,实践表明精细化、系统化的温控技术是保障大体积混凝土工程质量的关键且给类似水利工程提供了能复制、可推广的技术经验和实施范例。

[参考文献]

- [1]蔡文俊.高温季节下桥梁承台大体积混凝土温度控制研究[D].成都:西南交通大学,2018.
- [2]杨宝良.大体积混凝土的温度监测及控制技术措施[J].城市道桥与防洪,2021(7):207-210.
- [3]陈传勇,康飞,曾勇,等.特大桥承台大体积混凝土初期温度场研究[J].建筑技术,2023,54(3):263-266.
- [4]王冠杰.大体积混凝土筏板基础裂缝机理及控制方法研究[D].西安:西安建筑科技大学,2023.
- [5]曲圣凡.大体积混凝土循环冷却系统设计及应用[J].新城建科技,2024,33(4):77-79.

作者简介:陈影(1977.6—),女,安徽省阜阳市临泉县人,汉族,大专学历,临泉县城防管理所工作,工程师,从事水利水电工程工作。