

泵站主体结构施工中大体积混凝土温控防裂技术研究

张承全

身份证号码：410725198412162013

【摘要】随着我国基础设施现代化建设步伐的不断加快，泵站工程作为城市给排水系统、水利调度、农田灌溉等领域的重要支撑，其主体结构的安全与耐久性备受关注。大体积混凝土在泵站主体结构中的应用十分广泛，但由于其自身水化热释放大、散热困难、约束条件复杂，极易因温度应力而引发温度裂缝，进而影响结构的整体稳定性与工程服役寿命。本文系统梳理了泵站主体结构大体积混凝土温控防裂的机理，深入分析了原材料优化、配合比设计、分层分段施工、智能温控监测、养护管理及新材料新工艺等多环节技术措施，总结近年来行业最新实践成果，探讨全过程多维度温控防裂协同管理策略。研究指出，通过多源数据监测、智能信息化手段与材料创新的有机结合，可显著提升大体积混凝土温控防裂成效，有效保障泵站结构安全与工程耐久性。最后对未来泵站大体积混凝土温控防裂技术的智能化、绿色化和标准化发展方向提出展望。

【关键词】 泵站主体结构；大体积混凝土；温控防裂；施工技术；智能监测

Study on temperature control and crack prevention technology of large volume concrete in pump station main structure construction

Zhang Chengquan

ID number: 410725198412162013

【Abstract】 As China accelerates its infrastructure modernization, pump station projects, which are crucial for urban water supply and drainage systems, water resource management, and agricultural irrigation, have garnered significant attention for their structural safety and durability. Large-volume concrete is widely used in the main structures of these pump stations. However, due to its high heat release during hydration, difficulty in heat dissipation, and complex constraints, it is prone to temperature-induced cracking, which can compromise the overall stability and service life of the structure. This paper systematically examines the mechanisms of temperature control and crack prevention in large-volume concrete used in the main structures of pump stations. It delves into various technical measures, including raw material optimization, mix design, layered and segmented construction, intelligent temperature monitoring, curing management, and the use of new materials and processes. The paper summarizes recent industry practices and explores comprehensive strategies for multi-dimensional temperature control and crack prevention throughout the construction process. The study suggests that integrating multi-source data monitoring, intelligent information technology, and innovative materials can significantly enhance the effectiveness of temperature control and crack prevention in large-volume concrete, thereby ensuring the structural safety and durability of pump stations. Finally, the paper outlines future directions for the intelligent, green, and standardized development of temperature control and crack prevention technologies in large-volume concrete for pump stations.

【Key words】 main structure of pumping station; large volume concrete; temperature control and crack prevention; construction technology; intelligent monitoring

引言

在现代城市水利、市政和工业基础设施中，泵站主体结构普遍采用大体积混凝土以满足荷载、耐久和防渗等多重性能要求。由于混凝土体积巨大、内部水化热难以及时散发，极易产生温度梯度、体积变化受限与高温差等现象，造成早期温度应力集中，一旦超出混凝土的抗拉强度，便可能诱发温度裂缝，进而影响结构安全和耐久。近年来，随着泵站工程规模日益扩大，结构形态趋于复杂，对大体积混凝土温控防裂提出了更高要求。本文以泵站主体结构为对象，系统梳

理温控防裂理论基础，总结温控技术关键措施，探索全过程信息化协同管理与智能化创新路径，旨在为泵站工程高质量、长寿命、绿色化建设提供理论依据和工程参考。

一、大体积混凝土温控防裂的理论基础与影响因素

(1) 大体积混凝土温控防裂机理。大体积混凝土通常指最小尺寸大于 1m 或整体体积庞大的混凝土结构。水泥水化过程中释放大量热量，致使混凝土核心区温度持续升高，而表层因与外界接触易散热，形成温差。随着冷却，内部体

积收缩受外部或内部约束产生拉应力,若超过早龄期抗拉强度即出现温度裂缝。温度应力大小主要受水化热峰值、降温速率、温度梯度、结构约束、混凝土材料性能等因素影响。

(2) 原材料性能及其对温控防裂的影响。混凝土水化热主要由水泥品种与用量决定。低热硅酸盐水泥、矿渣水泥、粉煤灰等矿物掺和料可有效降低水化热。合理级配的骨料、适量减水剂、缓凝剂等外加剂既改善了混凝土和易性,又有助于降低温升与延缓放热过程。粗骨料用量高,体积变化小,有利于降低温度应力。

(3) 结构与环境因素。泵站结构大多埋置较深、刚度大、受力复杂,地下水体、环境温度及湿度变化均影响混凝土冷却与干燥过程。模板种类、厚度、拆除时机及养护措施均直接关系到温控效果。边界条件越复杂、散热速度越慢,温控防裂难度越大。

二、大体积混凝土温控防裂技术体系与环节措施

(1) 工程主体为现浇钢筋混凝土结构,结构转角、曲线多,模板工程量大,支立形式复杂。以定型模板为主,配以适量异形模板、角模、木模等,以保证结构的设计尺寸。配合比优化与原材料创新。大体积混凝土配合比设计须兼顾工作性、强度、耐久性与温控性能。首先选用低水化热水泥,并高掺矿物掺和料(如粉煤灰、矿渣粉),在保证性能的同时显著降低水化热总量。适度提高粗骨料比例,降低水泥浆体体积,优化骨料级配,有助于减小总体温升。拌合用水可采用降温工艺,甚至加冰或冷水拌合,初温控制在 15°C 左右。外加剂如缓凝剂、减水剂、膨胀剂、聚合物防裂剂等配合应用,进一步改善抗裂性能。随着科技进步,纳米材料、高性能纤维等新型材料的应用也日益增多。

(2) 分层分段与科学浇筑工艺。根据泵站主体结构尺寸与受力分布,合理划分施工区段,采用分层分段、跳仓、留设后浇带等工艺,控制单次浇筑体积与速率,避免因大面积集中浇筑造成局部温度过高。大体积混凝土宜采用“连续浇筑、减少冷缝、缩短间歇”,同时灵活调整施工工序和节点,以防局部应力集中。模板可选用保温效果较好的材料,并分阶段及时拆除,利于表层散热。

(3) 全过程温度监测与智能调控。混凝土浇筑前在核心、表层、边界、节点等关键部位埋设温度传感器或测温铜管,形成空间分布式温度监控系统。采用无线数据采集、远程云端分析、智能预警等信息化技术,实现24小时温度实时监测与动态分析。施工过程中,依据监测数据灵活调整冷却水流量、覆盖养护时间、降温措施、模板拆除顺序等,确保内外温差与降温速率始终受控。智能化温控平台可自动生成温控曲线,实时报警异常波动,显著提升防裂的科学性与响应速度。

三、新型温控防裂技术与泵站工程应用创新

(1) 绿色材料与高性能外加剂创新。近年来,泵站工程推广高掺量粉煤灰、矿渣粉等工业副产品,实现低热、低碳、环保目标。部分工程采用纳米级 SiO_2 、碳纤维、聚丙烯纤维等微纳米材料提升抗裂性能。智能外加剂可根据温度变化自动调节反应速率,抑制水化热峰值,延缓水化进程。

(2) 主动冷却与智能养护一体化。在混凝土内部布设循环冷却管道,通入冷水或冰水进行分阶段主动降温,尤其适用于体积巨大、散热困难的泵站底板与厚壁。表层采用自动喷雾系统、保温毯、覆盖湿润麻袋等复合养护措施,智能养护平台可自动调控喷水、覆盖等养护频率和周期。施工现场温湿度自动采集,为养护措施动态调整提供数据支撑。

(3) 全过程协同管理与多专业联动创新。推行业主、设计、施工、监理、科研等多方协同管理,制定详细温控防裂专项施工方案,落实全过程目标责任制。建立“材料进场—施工浇筑—温度监测—养护管理—质量验收—信息归档”闭环管理流程。与结构设计、地基处理、防渗系统等专业团队协同优化结构体系、节点设计和工艺参数,形成从设计源头到运行维护全过程的温控防裂集成管控体系。

四、泵站主体结构大体积混凝土温控防裂的实践总结

(1) 原材料优化与配合比调整实践效果。通过现场试验和实际工程应用,采用高掺量矿物掺和料(如 $35\%300\text{kg}/\text{m}^3$),水化热峰值降低20%以上,混凝土抗裂性能提升明显。合理控制骨料级配,粗骨料粒径与分布更均匀,有效减缓了核心温度峰值与表面降温速率。

(2) 智能监测与冷却养护一体化应用成效。实际工程中采用嵌入式温度传感器与无线数据终端,布点合理,数据采集密集,温度曲线实时回传,监控平台自动生成内外温差、冷却速度等关键参数。根据数据,及时调整冷却水流量、增加表层养护频率、合理延后模板拆除,确保混凝土内外温差控制在 25°C 以内。冷却管道+自动喷水养护一体化方案,可将温差峰值降低30%,极大减少了表面裂缝和贯穿裂缝的发生。

(3) 精细化管理与团队协同的实际收益。通过全过程分工细化、节点责任落实,结合“温控防裂日报”“专项风险分析会”“应急预案演练”等管理措施,现场温控异常处置响应时间缩短30%以上。多专业联动和多工序穿插,提升了工序衔接与数据流转效率,确保温控防裂措施落地见效。通过智能平台对质量数据归档,后期维护与质量追溯更加便捷科学,为工程后续运维管理提供了坚实数据基础。

五、泵站大体积混凝土温控防裂技术的发展趋势与展望

(1) 智能化与大数据驱动的温控防裂技术发展

未来的温控防裂技术将更加依赖物联网、人工智能和大数据分析平台,实现施工过程的智能化管理。通过多源传感

器实时采集温度、应力、湿度和振动等关键数据,利用云平台对数据进行智能分析和风险预测,能够提前识别潜在裂缝风险,指导施工人员科学调整温控方案。系统具备自动调控功能,可根据实时监测数据动态调整温度控制措施,有效预防裂缝的产生和扩展。故障自诊断技术的应用,使设备和系统能够自主检测异常状况,及时发出预警,保障施工安全与质量。数据驱动的智能温控防裂不仅提高了施工的精准度和效率,还促进了施工过程决策的科学化,确保了应急处置的及时和精准。大数据平台还能自动积累施工经验和知识,实现知识共享与传承,为未来类似项目提供有力技术支持。智能化与数据技术的深度融合,为温控防裂技术注入创新动力,推动工程建设向更高水平迈进。

(2) 绿色低碳材料与环保技术在泵站大体积混凝土施工中的应用

响应国家“双碳”战略,泵站大体积混凝土施工中绿色低碳材料的应用日益广泛。这些材料包括高性能活性矿物掺和料、再生骨料以及可降解保温材料等,旨在有效降低施工过程中的碳排放,提升工程的环境友好性和可持续发展水平。高性能活性矿物掺和料不仅能够改善混凝土的性能,还能替代部分传统水泥材料,减少水泥用量,从而降低碳足迹。再生骨料的使用有效实现资源循环利用,减轻环境负担。可降解保温材料则在确保混凝土温控效果的同时,减少对环境的长期影响。绿色温控措施也逐渐成为施工主流,诸如利用太阳能实现被动保温、采用智能喷雾冷却技术以及节能循环养护等手段,不仅提高了温控效率,还降低了能源消耗和运行成本。这些环保技术的综合应用,不仅促进了泵站混凝土施工质量的提升,更为实现建筑工程绿色低碳发展目标提供了坚实保障。

(3) 全过程标准化与智能运维一体化提升工程质量管理

推动大体积混凝土温控防裂的全过程工艺实现标准化和模块化,是保障工程质量的重要举措。通过制定科学合理的工艺标准,涵盖设计、材料选用、施工实施、实时监测、养护维护等各环节,形成贯穿项目全生命周期的规范管理体系。全过程标准化不仅提高了施工效率和工艺稳定性,还有效防止温控过程中的裂缝产生,保障结构安全与耐久性。依托 BIM、GIS 等先进信息平台,实现施工数据和运维信息的可视化管理,使项目进度和质量状况一目了然,便于及时发现问题和精准调控。智能运维系统结合传感器技术和大数据分析,实现对结构健康状态的动态监测和预警,提高维护工

作的科学性和主动性。全过程标准化与智能运维的深度融合,有助于提升工程的全周期质量管理水平和安全保障能力,推动建筑工程向高效、智能和可持续方向发展。

(4) 应对复杂环境与极端气候的新技术研发

面对极端气温、复杂地下水环境及特殊地基条件等严峻挑战,研发适应性强的新型建筑材料和工艺成为提升工程耐久性和安全性的关键。自调节温度复合材料能够根据环境温度自动调整自身性能,保障结构在极端气候下的稳定性与可靠性。超高性能混凝土具备卓越的强度和耐久性,能够有效抵抗恶劣环境对结构的侵蚀,延长使用寿命。智能自愈合材料通过内含微胶囊或活性成分,能够自动修复裂缝,防止微损伤扩大,提升结构整体的维护效率和安全性。柔性界面工艺则在结构连接处实现更好的应力缓冲与变形适应,有效降低裂缝和损伤风险。通过这些前沿技术的研发与应用,不仅增强了建筑结构对复杂环境的适应能力,也显著提升了工程的自我修复和维护能力,为建筑行业应对未来气候变化和环境挑战提供了坚实的技术保障。

结论

泵站主体结构施工中大体积混凝土温控防裂是保障工程质量与结构安全的关键环节。本文系统梳理了大体积混凝土温控防裂的理论机制、材料与配比优化、智能监测与养护、创新材料与工艺以及全过程管理等多维度技术措施,综合总结了当前典型工程的成功实施经验。研究表明,结合新材料的创新应用、智能温控技术的推广以及全过程的协同与信息化管理,有效控制了混凝土内部温升与温差,显著减少了温度裂缝的产生,提升了结构的耐久性和绿色低碳水平。

未来,应加快建设智能化、绿色化与标准化相结合的平台,构建覆盖设计、施工及养护全过程的质量追溯体系,完善智能决策支持系统,从而推动泵站大体积混凝土温控防裂技术迈向高质量和可持续发展阶段。通过整合先进的信息技术和管理手段,实现施工过程中的实时监控与风险预警,提高温控防裂的科学化和精准化水平。大力加强新材料的研发和工艺创新,促进环保节能材料的推广应用,为提升混凝土性能提供有力支撑。完善技术标准体系,规范施工操作与管理流程,确保各环节质量稳定可控。强化专业人员的培训与技能提升,打造高素质技术队伍,提升整体工程执行能力。

参考文献

- [1]李亮,郑国华.大体积混凝土温控防裂技术及工程应用[J].水利水电科技进展,2023(2):77-82.
- [2]陈健,李强.泵站主体结构大体积混凝土施工温控技术探讨[J].建筑技术开发,2022(12):100-104.
- [3]王东,朱慧.大体积混凝土智能温控与防裂施工技术研究[J].工程建设与设计,2023(8):56-60.