

大体积混凝土在水利工程中的施工与温控研究

项宇, 张森林

江苏淮阴水利建设有限公司, 江苏 淮安 223001

DOI:10.61369/ETQM.2026020037

摘 要 : 大体积混凝土在水利工程中广泛应用, 但其施工过程中的温控问题影响着工程质量与安全。由于混凝土在硬化过程中产生的水化热, 可能导致温差过大, 出现裂缝等结构性问题。通过对大体积混凝土施工中的温控措施进行研究, 提出了合理的温控策略, 结合现场实践, 采用分层浇筑、冷却管系统及适时养护等方法, 控制温度变化, 确保混凝土的质量和稳定性。研究结果为水利工程中的大体积混凝土施工提供了理论依据与实践指导。

关 键 词 : 大体积混凝土; 水利工程; 温控; 施工; 裂缝控制

Research on Construction and Temperature Control of Mass Concrete in Water Conservancy Projects

Xiang Yu, Zhang Senlin

Jiangsu Huaiyin Water Conservancy Construction Co., Ltd., Huai'an, Jiangsu 223001

Abstract : Mass concrete is widely used in water conservancy projects, but temperature control issues during its construction process significantly impact project quality and safety. Due to the heat of hydration generated during concrete hardening, excessive temperature differentials may occur, leading to structural problems such as cracking. Through research on temperature control measures during mass concrete construction, reasonable temperature control strategies have been proposed. Combining on-site practices, methods such as layered pouring, cooling pipe systems, and timely curing are employed to control temperature variations and ensure the quality and stability of the concrete. The research findings provide theoretical basis and practical guidance for mass concrete construction in water conservancy projects.

Keywords : mass concrete; water conservancy projects; temperature control; construction; crack control

引言

大体积混凝土作为水利工程中的重要材料, 其应用范围涵盖了坝体、基础等关键结构。然而, 由于大体积混凝土在硬化过程中释放大量的水化热, 温度差异往往会导致混凝土内部产生裂缝, 影响工程的整体质量与安全。温控问题因此成为大体积混凝土施工中的核心挑战之一。如何有效地控制温度, 减少裂缝的发生, 并保证混凝土的长期稳定性, 已成为业界亟待解决的技术难题。文章将深入探讨大体积混凝土的温控技术, 通过分析现有的温控方法及其在实际工程中的应用, 为水利工程提供科学有效的施工指导。

一、大体积混凝土在水利工程中的应用现状

(一) 大体积混凝土的特点与优势

大体积混凝土通常指的是单次浇筑量较大、体积超过一定范围的混凝土结构。其主要特点是热膨胀性强、温度变化显著。在水利工程中, 大体积混凝土常用于坝体、基础等关键部位。由于其良好的抗压强度和耐久性, 大体积混凝土能够有效承受水流的冲击与压力, 具有显著的工程应用优势。随着混凝土技术的发展, 现代大体积混凝土的配合比和施工工艺不断优化, 能够提高其抗裂性能和施工效率。其优异的力学性能和较长的使用寿命, 使其成为水利工程不可或缺的材料。

(二) 水利工程中常见的大体积混凝土结构

在水利工程中, 大体积混凝土被广泛应用于多个重要结构, 包括水坝、渠道、泵站、闸门、桥梁等。水坝的主体结构, 特别是坝体和基座部分, 通常采用大体积混凝土进行浇筑。其原因在于大体积混凝土能有效提供所需的稳定性和支撑力, 防止水流对坝体造成过大压力, 确保大坝的安全性和长久耐用性。水利设施中的泵站、闸门基座等基础设施同样需要大体积混凝土来承载设备的重量, 保持结构的稳定性。这些结构对混凝土的耐压性、抗渗透性和抗冻性有较高要求, 以确保其在长期使用过程中具备足够的安全性和稳定性。大体积混凝土能够满足这些严苛要求, 成为水利工程中不可或缺的核心材料。

（三）大体积混凝土施工面临的挑战

大体积混凝土施工面临的挑战主要源自水化热的积累和温控问题。在混凝土硬化过程中，水化反应释放的热量会使混凝土内部温差过大，若温差过高，混凝土容易发生裂缝，严重影响其强度和耐久性。大体积混凝土的浇筑通常需要较长的施工时间，整个施工周期较长，温控难度较大。温控措施需要在较长的时间内持续进行，且必须精准控制，以避免温差过大引发裂缝。此外，施工过程中的搅拌、运输和浇筑环节涉及大量的混凝土操作，施工现场的管理和协调工作成为提高施工效率和质量的关键。施工中的各项技术要求高，需要严格的工艺控制和详细的施工方案，以确保每一环节的顺利实施，最终保证工程质量和安全^[1]。

二、大体积混凝土水化热与温控原理

（一）水化热的产生与影响

大体积混凝土在水化过程中释放的水化热是影响其施工质量和长期稳定性的关键因素。水泥与水发生化学反应会持续释放热量，在大体积混凝土中尤为显著，其内部最高温度通常可达到60 ~ 75 °C。由于混凝土体积较大、散热路径较长，水化反应释放的热量在内部不断积累而难以及时散发，导致混凝土内部温度显著升高。如图1所示。

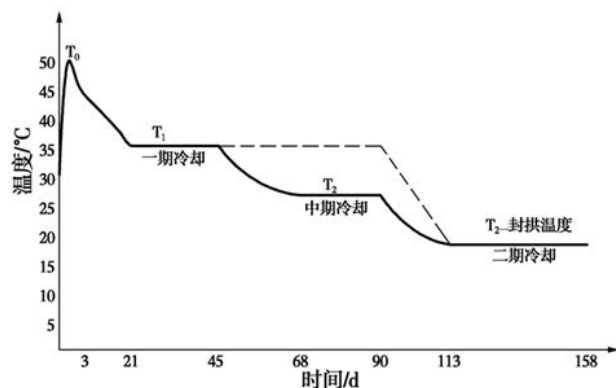


图1 水化热的产生影响

水化热的积累会在混凝土内部与表面之间形成较大的温度差，当内外温差超过20 ~ 25 °C时，极易引发温度应力裂缝。裂缝的产生不仅会降低混凝土的抗压强度（通常可下降10% ~ 20%），还会显著削弱其抗渗性能和耐久性，甚至影响整体结构的安全性。尤其在温差较大的条件下，混凝土内部产生的温度应力往往可达1.5 ~ 3.0 MPa，若超过其早期抗拉强度，裂缝便不可避免。因此，对水化热进行有效控制是减少裂缝、保障大体积混凝土结构长期安全与稳定的重要前提^[2]。

（二）温控对混凝土质量的影响

温控对大体积混凝土质量的影响十分显著，施工过程中若温度控制不当，极易引发一系列结构性质量问题。当混凝土内部温度过高（如超过70 °C）时，会加速水泥水化反应，使水化热集中释放，从而进一步扩大内外温差，增加温度应力水平。这些应力若无法及时释放，将导致混凝土产生裂缝，裂缝宽度往往可达到

0.2 ~ 0.5 mm，严重影响结构性能。

裂缝的存在不仅削弱混凝土的抗压强度，还会使其渗透系数由原本的 $10^{-9} \sim 10^{-10}$ m/s上升至 $10^{-6} \sim 10^{-7}$ m/s，显著增加渗水风险，进而影响工程的耐久性和运行安全。此外，温差过大还可能引起混凝土体积膨胀或收缩不均，导致结构产生变形或不均匀沉降，严重时影响整个水利工程的稳定性。因此，合理的温控措施对于保证混凝土质量和结构安全具有决定性作用。通过有效调控温度变化，可使水泥水化过程更加均衡，有利于混凝土强度的持续增长和耐久性能的提升。

（三）温控机制与控制方法

温控机制的核心在于通过调节施工过程中混凝土的温度变化速率，降低水化热的集中释放程度，从而减小温差对混凝土的不利影响。常见的温控方法包括设置冷却管系统、分层浇筑以及采用低水化热水泥等技术手段。

冷却管系统通过在混凝土内部预埋冷却管道，向管内持续通入冷水或冰水（水温一般控制在5 ~ 15 °C），将水化反应释放的热量及时带走，使混凝土内部最高温度降低10 ~ 15 °C。分层浇筑则通过控制单层浇筑厚度（通常为0.5 ~ 1.0 m），减缓单次水化热集中释放速度，从而有效控制温度梯度。采用低水化热水泥或掺加粉煤灰（掺量一般为20% ~ 40%），可使混凝土水化热峰值降低约15% ~ 30%。此外，合理养护同样是温控的重要组成部分，通过保温或适当降温措施，使混凝土表面与内部温度变化保持协调，避免温度应力集中。这些方法结合应用，可显著改善大体积混凝土的温控效果^[3]。

三、大体积混凝土温控技术的应用与实践

（一）常用的温控措施

在大体积混凝土施工过程中，温控措施是保障工程质量和结构安全的重要手段。常用措施包括控制浇筑时间、选用低热水泥、分层浇筑以及采取合理的养护方式等。控制浇筑时间通常选择在环境温度较低的时段进行施工，如日平均气温低于25 °C时，可有效减少初始温升。采用低热水泥或复合胶凝材料可显著降低水化热释放速率，使混凝土内部温度变化更加平缓。分层浇筑通过控制浇筑节奏和间隔时间（一般为24 ~ 48 h），有效降低各层之间的温度差，防止裂缝产生。这些措施的综合运用能够从源头控制温差，显著提高大体积混凝土施工质量与安全性。

（二）冷却管系统的应用

冷却管系统是一种控制大体积混凝土水化热的有效技术，在水利工程中应用广泛。通过在混凝土内部合理布置冷却管道（管径一般为25 ~ 40 mm，间距为1.0 ~ 1.5 m），利用循环冷却水带走水化热，可使混凝土内部温度始终控制在设计允许范围内。冷却管布置需根据混凝土浇筑厚度、结构形态及热量分布特点进行优化设计，确保冷却效果均匀。当内外温差控制在20 °C以内时，可显著降低温度裂缝发生概率。随着施工技术的不断发展，冷却管系统在大体积混凝土中的应用已日趋成熟，成为水利工程温控体系中的重要组成部分^[4]。

（三）养护方式对温控效果的影响

养护方式在大体积混凝土温控中起着至关重要的作用，直接关系到混凝土的强度发展和耐久性能。合理的养护可使混凝土表面温度变化更加平缓，减少内外温差，降低裂缝风险。常见养护方法包括湿养护、膜养护以及保温养护。湿养护通常要求持续时间不少于14 d，通过保持混凝土表面湿润，可有效降低水分蒸发速率，避免早期干缩裂缝。膜养护通过覆盖塑料薄膜等材料，使水分蒸发量降低约60% ~ 80%，同时对表面温度起到一定调节作用。保温养护多用于低温环境，常采用保温棉或草袋覆盖，使混凝土表面温度不低于5℃，防止温差过大引起热应力裂缝。在工程实践中，将养护措施与冷却技术相结合，可有效改善混凝土内部温度分布，使水化热释放更加均匀，从而提高大体积混凝土结构的整体质量和长期稳定性^[5]。如表1所示。

表 1 不同养护方式对大体积混凝土温控效果的影响

养护方式	主要措施	关键参数	温控效果	适用条件
湿养护	持续洒水或覆盖湿麻袋	养护时间 ≥ 14 d	降低水分蒸发，减少早期干缩裂缝	常温环境、大体积结构
膜养护	覆盖塑料薄膜或养护膜	蒸发量降低 60% ~ 80%	稳定表面温度，减小内外温差	表面易失水结构
保温养护	覆盖保温棉、草袋等	表面温度 ≥ 5℃	防止低温引起温差应力	低温或冬季施工

四、大体积混凝土温控优化策略与未来发展

（一）温控技术的创新方向

随着大体积混凝土施工技术的持续进步，温控技术也在不断革新与优化。传统的温控方法虽然在一定程度上有效，但仍然存在一些局限性，如温控效果的均匀性差、成本高昂以及实施复杂等问题。未来，温控技术的创新方向将重点关注提高效率 and 智能化水平。例如，智能温控系统的应用，将通过实时监测混凝土的温度变化和水化热数据，利用算法自动调节冷却和加热策略，确保温控过程更加精准和灵活。与此同时，新型低热水泥和高性能混凝土材料的研发，将有助于有效降低水化热的释放，从源头减少温差变化，进一步提升温控效果。这些新材料能够优化混凝土的热力学性能，减少裂缝的发生，并提高结构的整体耐久性。随着新型复合材料和环保技术的出现，温控技术的创新也将更加注重环境友好性和可持续性，推动能源的节约使用并降低施工过程中产生的碳排放，为绿色建筑和可持续发展贡献力量^[6]。

（二）数字化技术在温控中的应用

数字化技术在大体积混凝土温控中的应用前景广阔，能够显著提高施工过程中的温控精度和效率。通过嵌入传感器和数据采集系统，实时监测混凝土内部和表面温度变化，可以及时获得准确的温度数据。这些数据经过分析后，不仅能够预测温度的变化趋势，还可以根据实时情况进行优化调整，有效避免因温差过大而引发的裂缝和结构性问题。结合物联网技术，温度传感器与远程监控系统的结合，使得温控情况可以在施工现场外的任何位置进行实时监控，进一步提高温控的灵活性和响应速度。数字化技术还可以与建筑信息模型（BIM）相结合，通过创建三维模型，模拟混凝土浇筑过程中的温度变化，进而优化施工方案，提高温控策略的科学性。这种智能化、数字化的温控方式不仅提升了施工的精准度和效率，还为整个工程提供了可追溯的数据支持，确保施工过程的可控性，进而保证工程质量和安全性^[7]。

（三）未来水利工程中的温控发展趋势

随着水利工程项目规模的不断扩大，大体积混凝土的使用日益增多，温控技术将在未来水利工程中发挥更加重要的作用。未来的温控发展趋势将更加注重智能化和自动化。通过人工智能和大数据技术，温控系统能够实现自我学习和优化，基于实时数据对温度变化进行预测和调整，确保温控措施的精准实施。同时，绿色环保的温控技术将成为趋势，低能耗、高效能的温控系统将受到广泛应用，例如太阳能和地热等可再生能源的利用，为温控提供更多环保的解决方案。未来水利工程中的温控发展还将更加注重整体工程的可持续性，不仅仅局限于混凝土本身的温控，还包括施工环境的温度管理，以确保整个项目的环境友好性和节能效果^[8]。

五、结语

大体积混凝土在水利工程中的应用广泛，但其温控问题一直是影响施工质量和结构安全的重要因素。通过对水化热产生的机理、温控技术的现状及应用方法的研究，表明合理的温控措施对提高混凝土质量至关重要。冷却管系统、分层浇筑及养护方式等技术已在实践中得到了广泛应用，并取得了显著成效。随着科技的不断进步，温控技术的创新与数字化技术的结合将为大体积混凝土施工提供更加精准、环保和高效的解决方案。未来，水利工程中的温控技术将朝着智能化、绿色化方向发展，为提升工程质量和可持续性提供强有力的支持。

参考文献

[1] 张国辉. 水利工程技术大体积混凝土施工与优化探究 [J]. 石化技术, 2025, 32(08): 229–230.
[2] 王延昌, 王洪建. 大型水利工程中大体积混凝土施工技术应用分析 [J]. 水上安全, 2025(11): 179–181.
[3] 杨磊. 水利工程大体积混凝土浇筑温控措施研究 [J]. 工程技术研究, 2025, 10(09): 106–108.
[4] 朱盈. 水利工程大体积混凝土施工技术要点分析 [J]. 水上安全, 2025(03): 44–46.
[5] 童利勇. 水利工程大体积混凝土开裂风险预测研究 [J]. 水利技术监督, 2024(12): 272–275.
[6] 张继. 水利工程大体积混凝土温控措施研究 [J]. 水利技术监督, 2024(06): 217–219.
[7] 李汉林. 水利施工的大体积混凝土抗裂技术 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2023(36): 178–180.
[8] 马己安, 张鑫华. 水利工程中大体积混凝土温控防裂措施研究 [J]. 科技资讯, 2023, 21(16): 158–161.