

水利水电施工中混凝土温控措施的优化设计与实践

聂文俊

江西建振项目管理有限公司 江西南昌 330000

摘要: 在水利水电工程中,混凝土是不可或缺的建筑材料,其质量直接影响到工程的稳定性和耐久性。混凝土在施工过程中,由于水泥水化热的作用,会产生温度变化,从而引起温度应力,可能导致裂缝的产生,影响结构安全。因此,采取有效的温控措施对于保证混凝土工程质量至关重要。本文将探讨混凝土温控措施的优化设计与实践,包括温度监测、温控材料的选择、施工工艺的改进等方面,以期为类似工程提供参考。

关键词: 水利水电工程;混凝土;温控措施;优化设计

引言

水利水电工程是国家基础设施建设的重要组成部分,其施工质量直接关系到工程的长期运行和安全。混凝土作为水利水电工程中最常用的建筑材料,其施工过程中的温度控制是保证工程质量的关键环节之一。混凝土在硬化过程中会释放大量的水化热,导致混凝土内部温度升高,与外部环境形成温差,从而产生温度应力。如果温度应力超过混凝土的抗拉强度,就会产生裂缝,影响结构的完整性和耐久性。因此,研究和实施有效的混凝土温控措施,对于提高水利水电工程的施工质量具有重要意义。

一、混凝土温控措施的设计原则与优化思路

(一) 温控目标的确立与科学依据

水利水电工程混凝土温控的核心目标体系需要从多个维度进行深入考量。这些目标主要体现在三个关键方面:首先是要严格控制混凝土结构内部与表面之间的温度梯度,避免因温差过大导致温度应力超过混凝土的抗拉强度;其次需要科学调控混凝土的降温速率,确保其符合规范要求,防止因降温过快引发收缩裂缝;最后必须有效限制混凝土在硬化过程中可能达到的最高温度峰值,避免高温对混凝土微观结构造成不可逆的损伤。这些目标的设定绝非主观臆断,而是建立在严谨的工程热力学理论和大量工程实践数据的基础之上。在实际工程应用中,必须基于项目的具体特征来制定合理的温控指标体系。以典型的大体积混凝土结构为例,由于其几何尺寸庞大,内部水化热积聚效应显著,其温控指标必然与薄壁结构存在本质差异;施工期间的环境气候参数,

包括环境温度的高低变化、太阳辐射强度、空气流动速度等气象要素,都会直接影响混凝土的温升特性和散热效率,这些因素都必须在指标设定阶段予以充分评估;此外,混凝土原材料的基本特性,如水泥品种(特别是水化热特性曲线)、骨料的热学性能、矿物掺合料的种类及掺量比例等,都是影响混凝土温度场演化的决定性因素。

(二) 温控措施的综合设计原则与实施要点

温控措施的设计必须遵循系统化、差异化和经济性的基本原则。系统性原则要求不能简单地依赖单一技术手段来控制温度,而是需要将原材料优选、配合比优化、浇筑工艺控制、保温保湿养护、冷却系统设计等多种技术措施有机整合,构建一个多层次、全方位的温度调控体系。这个体系中的各项措施应当相互协同、互为补充,形成完整的温度控制闭环,以应对混凝土在不同龄期可能出现的各类温度问题。针对性原则强调必须摒弃“一刀切”的传统做法,需要根据混凝土结构的不同功能区域(如基础约束区、迎水面、背水面、内部核心区等)以及不同施工阶段(如浇筑初期、强度发展期、后期养护期等)的具体特征,深入分析其温度变化规律和散热条件的差异性,从而制定差异化的温控策略。例如,对于散热条件受限的内部核心区或基础约束部位,可能需要采用更高效的冷却系统;而对于暴露在外的结构表面,则需要重点考虑保温措施的可靠性。经济性与可行性原则要求在确保温控效果的前提下,必须进行技术经济比选,选择性价比最优的实施方案。这包括评估各项措施的技术成熟度、施工便捷性以及成本效益比,避免盲目追求技术先进性而忽视经济合理性,力求以最合理的资

源投入获得最佳的温控效果，杜绝过度设计或脱离工程实际的做法^[1]。

（三）优化设计的核心思路与实施路径

混凝土温控的优化设计应当遵循“源头控制-精准计算-动态调整”的技术路线。源头控制是优化设计的首要环节，其核心在于通过优化混凝土的配合比参数，如科学调整水胶比、优化掺合料配比等，从本质上减少混凝土的水化热总量；优先选用低热或中热水泥品种，从材料源头上降低水化放热峰值。这些基础性措施能够有效缓解后续温控的压力。基于热工计算的精准设计是优化的重要支撑，通过建立三维温度场仿真模型，可以准确模拟混凝土在浇筑、硬化及养护全过程的温度演变规律，预测可能出现的最高温度、最大内外温差和临界降温速率等关键参数。基于这些计算结果，可以科学确定各项温控措施的关键参数，包括冷却水管的优化布置方案（如管间距、走向角度、分层高度）、冷却介质的运行参数（流量、温度、持续时间）以及保温材料的选型与构造（材料导热系数、铺设厚度、覆盖范围）等。过程控制的动态优化是确保温控效果的最后保障。优化设计必须与施工过程形成良性互动，在设计阶段就要充分考虑施工可行性，并在实施过程中基于实时温度监测数据，建立“监测-评估-调整”的闭环控制机制，实现温控方案的动态优化，最终确保各项温控目标得以圆满实现。这种设计施工一体化的理念，是保证温控效果的最有效途径。

二、关键温控措施的设计要点与实践准备

（一）原材料选择与配合比优化

说明在原材料选择上，优先采用低热或中热水泥是控制混凝土水化热总量的直接手段，其水化过程中释放的热量相对较少。同时，合理选用掺合料，如粉煤灰、矿渣粉等，也是重要的温控策略。这些掺合料不仅能够替代部分水泥，从而直接减少水化热，还能改善混凝土的和易性，并促进后期强度的增长。在选择骨料时，应注重其热物理性能，例如导热系数和比热容，同时要控制骨料的温度，避免使用温度过高的骨料直接进入搅拌。阐述配合比设计过程中，对水胶比的控制是关键环节，较低的水胶比虽然有利于强度，但需平衡其对新拌混凝土工作性和水化热的影响。胶凝材料（水泥与掺合料总和）的总用量也需要严格控制，用量越高，水化热通常也越高，因此需要在满足强度和耐久性要求的前提下，尽可能降低胶凝材料总量。这些选择和要点直

接关系到混凝土内部初始热量的产生量，是温控的基础环节^[2]。

（二）混凝土浇筑过程中的温控

论述在混凝土浇筑前和浇筑过程中，采取有效的降温措施至关重要。骨料预冷可以通过堆料场喷雾降温、堆高骨料、使用冷却设备等方式实现，拌合水中加入冰块或直接使用低温水，都能有效降低新拌混凝土的入仓温度。这些降温措施的设计需要考虑冷却效率、成本以及实施的可行性，其实施要点在于确保冷却均匀，并准确测量入仓混凝土的实际温度。强调在浇筑过程中，浇筑速度的快慢、分层厚度的设定、以及振捣的密实程度，都会显著影响混凝土内部温度的分布。浇筑速度过快或分层过厚，会导致热量积聚在内部难以散发，加剧内外温差；振捣不密实可能留下空隙，影响混凝土的整体导热性能，也可能导致局部应力集中。因此，必须控制适宜的浇筑速度和分层厚度，并保证振捣质量，使混凝土结构均匀密实，有利于温度的均匀分布和后续散热。

（三）养护阶段的温控设计

阐述混凝土浇筑完成后进入养护阶段，早期的保温保湿养护具有决定性意义。在这个阶段，混凝土内部温度仍然较高，且强度尚未充分发展，此时若表面散热过快或干燥过快，极易产生有害的温度收缩裂缝和干燥收缩裂缝。因此，必须采取具体方法进行保温保湿，例如及时覆盖保温性能良好的材料（如土工布、塑料薄膜、保温被等）以减少表面散热，并通过洒水等方式保持混凝土表面湿润，防止水分过快蒸发。说明冷却水管系统作为一种主动降温措施，其设计需要遵循一定的原则，包括根据结构尺寸和温度场模拟结果确定冷却水管的布置形式（如网格状、螺旋状）、计算确定合理的管间距，以及设定冷却水的流量控制参数。冷却水管的开启和关闭时机必须依据混凝土内部实际温度监测数据来决定，通常在温度接近或达到峰值时开始通水冷却，并在温度下降至预定范围后停止。同时，冷却措施必须与保温措施有效配合，避免在冷却的同时导致表面过度散热。强调养护期限的确定不能随意，它应基于混凝土强度发展情况、温度稳定状况以及工程具体要求，通过试验或规范来确定，确保混凝土在达到足够的强度和稳定性之前，始终处于适宜的温湿环境中。

三、温控措施在施工实践中的实施与控制

（一）施工前的准备与交底

说明在混凝土浇筑施工正式启动之前，详细编制科

学、可行的温控方案是基础性工作。该方案需要明确各项温控措施的具体参数、实施步骤、责任人以及相应的监测计划。进行充分的技术交底，确保所有参与施工的技术人员和管理人员都清楚了解温控目标、各项措施的操作要点以及各自的职责，是保证方案有效执行的前提。同时，对操作工人进行针对性的培训，使其掌握具体操作技能和注意事项，同样不可或缺。阐述为了准确掌握混凝土内部的温度变化情况，监测系统的布设必须遵循科学原则。测温点的选择需要具有代表性，能够反映不同部位、不同深度的温度状况，通常在结构的关键截面、温度变化梯度大的区域以及不同浇筑层中设置测点。仪器选型则要考虑其精度、稳定性、耐久性以及与数据采集系统的兼容性，确保能够长期、可靠地记录温度数据^[3]。

（二）施工过程中的动态监控与调整

阐述在混凝土浇筑及养护的整个过程中，温度监测数据的实时收集是动态控制的基础。需要按照预定计划，定时采集各测温点的温度值，并将数据传输至分析平台。对这些数据进行及时的分析，识别温度变化的趋势，判断是否出现异常波动或接近温控警戒值，是后续调整决策的依据。论述当监测结果显示温度变化偏离预期或接近设定的控制指标时，必须迅速采取行动。例如，如果内部温度上升过快或过高，可能需要及时启动或加大冷却水管的流量；如果表面温度下降过快或与环境温差过大，则需要增加保温层厚度或采取其他覆盖措施来减缓散热。这种基于实时数据的调整，是确保温控效果的关键环节。强调现场管理团队在确保各项温控措施准确、及时落实到位方面起着核心作用。这包括监督各项操作是否符合规定，检查材料（如保温材料、冷却设备）是否到位且状态良好，协调不同工种之间的配合，以及确保监测数据的准确采集和传递^[4]。

（三）异常情况的处理

简述在施工过程中，可能会遇到一些计划外的情况，这些情况会对混凝土的温控带来不利影响。例如，遭遇极端高温或低温天气，会显著改变混凝土的入仓温度或加速/减缓表面散热；突然的停电可能导致冷却系统无法运行，使内部温度急剧升高。说明针对这些可能出现的异常情况，必须在施工前就预先制定详细的应急预案。预案应明确在特定异常情况发生时，应采取的替代措施、责任分工以及信息通报流程。现场处理原则应坚持“快

速响应、优先保安全、尽量减少温控偏离”的基本思路，即在确认异常情况后，迅速评估其对温控的具体影响，立即启动相应的应急程序，优先保障人员和结构安全，并采取措施尽可能将温度变化控制在可接受范围内，防止产生有害裂缝^[5]。

结语

水利水电施工中混凝土温控措施的优化设计与实践是一个系统且复杂的过程，涉及多个环节和方面。从温控措施的设计原则与优化思路的确立，到关键温控措施的设计要点与实践准备，再到施工实践中的实施与控制，每一个步骤都紧密相连，对保证混凝土工程质量起着至关重要的作用。在实际工程中，必须充分认识到混凝土温控的重要性，严格遵循设计原则，做好各项温控措施的设计与准备工作。同时，在施工过程中要加强动态监控与调整，及时处理异常情况，确保温控措施的有效落实。随着水利水电工程的不断发展和技术的不断进步，混凝土温控措施也需要不断创新和完善。未来，应进一步探索更加科学、高效、经济的温控方法，不断提高混凝土工程的质量和耐久性。相信通过持续的研究和实践，水利水电施工中混凝土温控技术将不断取得新的突破，为我国水利水电事业的发展提供更加坚实的保障。

参考文献

- [1] 刘存福, 岳攀. 某水电站大坝心墙高陡岸坡混凝土设计优化及施工控制[J]. 甘肃水利水电技术, 2019(1): 4. DOI: CNKI: SUN: GSSJ.0.2019-01-019.
- [2] 杨春宝, 韩小妹, 温州, 等. 高寒区混凝土坝温控设计标准和防裂措施优化研究[J]. 水利规划与设计, 2021(2): 4. DOI: 10.3969/j.issn.1672-2469.2021.02.021.
- [3] 邓世顺, 王振红, 汪娟, 等. 大坝混凝土施工工期温控措施的时间和空间优化[J]. 人民黄河, 2019, 41(8): 5. DOI: CNKI: SUN: RMHH.0.2019-08-026.
- [4] 高小龙. 月潭水库坝体混凝土高温季节施工温度及裂缝控制优化措施[J]. 安防科技, 2020, 000(015): P.54-55.
- [5] 韩振宝, 陈杰. 羊曲水电站溢洪道溢流面混凝土防裂技术研究[J]. 水电水利, 2020, 4(9): 158-160. DOI: 10.32629/hwr.v4i9.3364.