

混凝土坝施工中的温控技术优化与应用

朱天久，薛华东

江苏淮阴水利建设有限公司，江苏 淮安 223001

摘 要： 混凝土坝作为关键的水利工程构筑物，在水资源管理、能源储存与供应以及洪水防控等方面具有重要作用。然而，在混凝土坝的施工过程中，温度变化对混凝土的影响十分显著。本文探讨了温度对混凝土性能的影响，特别是对强度、耐久性、开裂和变形等方面的影响。为了优化混凝土坝施工中的温度控制，提出了一系列温控技术的优化措施，有助于将温度所造成的不利影响限制在合理的范围内，进而为混凝土坝的施工质量提供可靠保障。

关 键 词： 混凝土坝；温控；优化

Optimization and Application of Temperature Control Technology in Concrete Dam Construction

Zhu Tianjiu, Xue Huadong

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

Abstract： Concrete dams, as key hydraulic engineering structures, play an important role in water resource management, energy storage and supply, and flood prevention and control. However, in the construction process of concrete dams, the influence of temperature change on concrete is very significant. This paper explores the effects of temperature on concrete properties, especially on strength, durability, cracking and deformation. In order to optimize the temperature control in the construction of concrete dams, a series of optimization measures of temperature control technology are proposed, which help to limit the adverse effects caused by temperature within a reasonable range, and then provide a reliable guarantee for the construction quality of concrete dams.

Key words： concrete dam; temperature control; optimization

一、前言

混凝土坝作为水利工程中的重要构筑物，在水资源的调控、能源的储存和供应、洪水的防控等方面发挥着关键作用。然而，在混凝土坝的施工过程中，温度变化对混凝土的影响不容忽视。混凝土的水化反应和硬化过程是一个放热过程，而外界环境因素如气温、日照等也会对混凝土的温度产生影响。过快或过大的温度变化会导致混凝土的温度应力增加，从而可能引发开裂、变形等问题，严重影响工程质量和结构稳定性。因此，进行混凝土坝施工中的温控技术优化与应用研究具有十分重要的现实意义。

二、温度与混凝土性能关系

（一）温度对混凝土强度和耐久性的影响

温度变化会直接影响混凝土的水化反应速率和产热过程，从而影响混凝土的力学性能和长期耐久性。一方面，高温环境可能导致混凝土早期水化反应过快，产生较大的收缩应力，从而引发裂缝和损坏。另一方面，温度变化也会影响混凝土的抗冻性和耐久性，因为温度的升降可能导致水分在混凝土中的冻融循环，加速裂化和龟裂。同时，高温环境下的长时间暴露还可能引发混凝土的碳化现象，导致钢筋锈蚀和混凝土材料的损坏^[1]。

（二）温度变化对混凝土开裂和变形的影响

混凝土在硬化过程中由于温度梯度的存在，常常会产生温度应力，从而导致开裂现象的发生。高温会引发混凝土表面的快速水化，导致表面收缩，而混凝土内部仍在水化反应过程中，容易产生内部的收缩应力。相反，低温环境下混凝土的硬化速率减慢，表面和内部温度差异加大，可能引起温度应力累积。这些应力可能导致混凝土内部产生裂缝，降低结构的稳定性和耐久性。同时，温度变化还会引起混凝土的热胀冷缩现象，从而导致结构的变形。在温度升高时，混凝土膨胀，而在温度降低时则收缩，这些变形可能导致结构的变形和位移，进而影响结构的整体性能^[2]。

三、温控技术优化措施

（一）预冷与预热技术的应用

预冷技术通过在混凝土的配合比中使用冰水或冷却剂，以及在搅拌过程中控制水温，实现混凝土初始温度的降低。这样可以有效延缓混凝土的水化反应速率，减少热释放，从而降低温度升高的速度。预冷技术的应用能够有效减少温度梯度，减缓温度变化对混凝土的影响，降低产生裂缝的风险。另一方面，预热技术则主要应用于低温环境下的混凝土施工，以保证混凝土在施工

2023.2 | 007



过程中达到必要的强度和早期的硬化。预热技术通过在混凝土制备前对骨料、水和其他原材料进行适度的预热，使得混凝土在投放时的初始温度较高，从而在低温环境下更好地进行水化反应^[3]。

（二）混凝土配合比的调整与优化

通过合理地调整混凝土中水、水泥、骨料和掺合料的配比，可以控制混凝土的水胶比、水化热产生、早期强度等参数，从而实现温度的控制和稳定性的提升。

在温控方面，适当降低水胶比是一种常见的策略。较低的水胶比能够减少混凝土中的水分含量，从而减少水化热的产生，降低温度的升高速率。此外，降低水胶比还有助于减小混凝土的收缩和开裂风险，提高坝体的整体稳定性。然而，在减少水胶比的同时，也需要确保混凝土的工作性能和耐久性不受损。同时，混凝土中掺入适量的掺合料也是一种有效的温控优化方法。例如，可以添加矿物掺合料如粉煤灰、硅灰等，或者有机掺合料如矿渣粉等。这些掺合料能够降低混凝土的水化热，提高混凝土的早期强度，减少温度的升高^[4]。

（三）散热与保温措施的选择与实施

散热措施旨在加速混凝土的散热，降低温度升高速率，而保温措施则旨在减缓混凝土的散热，提高混凝土的保温性能，以控制温度变化。这两项措施的选择和实施需要综合考虑施工环境、混凝土性能、工程要求等多方面因素。

散热措施中，常见的方法包括喷水降温、表面散热、风扇通风等。喷水降温可以通过在混凝土表面喷洒冷却水来吸收热量，从而降低混凝土的温度。表面散热则通过将混凝土表面暴露在空气中，利用空气对混凝土的散热效应来降低温度。风扇通风可以通过强制对混凝土表面进行风扇通风，加速热量的散发。这些措施的应用需要根据具体的施工进度和环境条件进行合理选择，以确保混凝土的温度稳定控制。

保温措施中，常用的方法包括覆盖保温层、使用绝热材料等。覆盖保温层可以在混凝土表面覆盖一层绝热材料，如保温板、保温棉等，以减缓混凝土的散热速率，提高保温性能。使用绝热材料则可以在混凝土中掺入适量的绝热颗粒，如珍珠岩颗粒、膨胀珍珠岩等，以减少热传导，提高混凝土的保温效果。保温措施的选择要充分考虑保温材料性能、成本以及施工可行性^[5]。

（四）控制施工速度与施工顺序的策略

在施工速度方面，要根据混凝土的特性和环境条件，适度调整浇筑速度。过快的浇筑速度可能导致混凝土内部温度不均匀，产生较大的温度梯度，从而增加裂缝的风险。适当减缓浇筑速度，让混凝土有足够时间进行自然散热，有助于降低温度升高速率，减少温度应力的积累。

在施工顺序上的合理安排也对温控至关重要。不同部位的混凝土坝会受到不同程度的温度影响，因此，在施工顺序上可以优先考虑对温度影响较大的部位，以确保温度差异的减小。例如，在较热的气候条件下，可以从坝底开始施工，逐渐向上，以利用坝体下部的相对低温来降低整体温度升高速率^[6]。

四、温控技术的具体应用

（一）温控技术对工程周期和成本的影响

传统的温控方法往往在降温效果、施工时间和能源消耗方面存在一定的局限性，导致工程周期延长和成本增加。然而，随着先进温控技术的引入，这些问题得到了有力的解决。

首先，传统的温控方法如覆盖、喷水等不仅操作繁琐，而且难以精确控制温度变化，导致温度梯度大、裂缝产生的风险增加。这甚至会延长施工周期，还会增加后续的维护成本。然而，先进的温控技术，如冷却管道系统和温度预测模型，能够实现实时监测和精确控制，从而有效减少温度梯度和裂缝的产生，显著缩短工程周期。其次，传统温控方法的高能耗也会导致施工成本的增加。例如，大量喷水或湿布不仅浪费水资源，还增加了能源消耗，影响了工程的可持续性。然而，新型温控材料的应用，如相变材料和聚合物，可以通过吸收、释放热量来调控温度，降低了能耗并减轻了环境压力。这不仅降低了工程成本，还与可持续发展的理念相契合^[7]。

（二）温控技术的监测与调整

（1）温度监测系统在施工中的作用

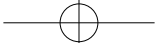
温度监测系统在混凝土坝施工中扮演着至关重要的角色，它是确保温控技术的有效实施和施工质量的关键工具。该系统通过实时监测混凝土的温度变化，提供了即时的数据反馈，使工程管理者 and 施工人员能够了解混凝土的温度情况，及时进行调整和干预，以确保温度控制目标的达成。

首先，温度监测系统能够及时掌握混凝土的实际温度情况，帮助工程管理者了解混凝土坝施工过程中的温度变化规律。这有助于发现异常情况，如温度升高过快或过慢等，从而及时采取措施进行调整。例如，如果监测数据显示温度升高速率较快，可以适时采取散热措施进行降温，以防止温度引起的裂缝等问题。其次，温度监测系统还能帮助验证和评估温控技术的效果。通过对实际温度数据与预测数据的对比分析，可以判断温度控制策略是否达到预期目标，是否需要进行调整。如果发现实际温度与预测温度偏差较大，可以通过改变施工速度、调整保温材料等方式进行及时纠正，以确保施工质量和坝体稳定性。最后，温度监测系统也有助于施工过程中的不同部位进行温度监控。混凝土坝在施工过程中，不同部位的温度变化可能存在差异，因此，针对不同部位采取有针对性的温控措施是必要的。监测系统可以实时提供各部位的温度数据，帮助施工人员合理安排施工顺序，采取适当的散热或保温措施，以减小温度差异^[8]。

（2）基于监测数据的温控策略调整

基于监测数据的温控策略调整是混凝土坝施工中的关键步骤，它确保温度控制能够根据实际情况进行及时调整，以达到最佳的施工效果和结构稳定性。监测数据提供了实际温度变化的准确反映，通过对这些数据的分析和解读，可以为温控策略的优化提供有力支持。

首先，监测数据能够及时发现温度异常情况，如温度升高速率过快或温度梯度过大等。当监测数据显示温度超出预期范围



时,就表明温控策略可能存在问题,需要进行调整。例如,如果监测数据显示某一部位的温度升高速率超过安全阈值,可以通过增加散热措施或调整施工速度来降低温度升高速率,以防止温度引发的结构问题。其次,监测数据还能够帮助评估温控技术的实际效果。通过对监测数据与预测数据的比对,可以判断当前采取的温控策略是否达到预期效果。如果实际温度变化与预测偏差较大,就需要进行相应的调整。例如,如果预测的保温效果不如预期,可以增加保温材料的厚度或密度,以提高保温性能。最后,基于监测数据的温控策略调整还可以为不同施工阶段提供指导。监测数据能够反映出混凝土的实际温度分布情况,从而指导施工人员合理安排施工顺序和速度。例如,在较热的气候条件下,监测数据可能显示坝底温度较低,坝顶温度较高,这时可以采取逐层浇筑的方式,从坝底开始,逐渐向上,以利用坝底较低的温度来减缓整体温度升高速率^[9]。

（三）环境影响与环保性考虑

传统的温控方法,如大量的喷水和湿布覆盖,可能导致水资源浪费和能源消耗增加,进而对周围的环境造成一定程度的影响。然而,先进的温控技术的引入可以减轻这些不利影响,并促进工程的可持续性。

首先,传统温控方法在水资源利用上存在一定的问题。大量喷水和湿布使用的水量较大,可能导致当地水资源的过度开采,影响当地生态平衡。而采用先进温控技术中的相变材料和聚合物等材料,可以实现温度调控而减少对水资源的需求,从而降低了环境的影响,更符合可持续发展的原则。其次,传统方法中的能源消耗较高,例如通过机械设备加速水的蒸发。这不仅会增加工程的成本,还会加大温室气体的排放,对气候产生一定的不利影响。相比之下,采用先进的温控技术,如冷却管道系统,可以通过更加高效的热交换方式来降低能源消耗,减少环境污染,保护生态环境^[10]。

五、结语

综上所述,混凝土坝施工中的温控技术优化与应用对于水利工程的可持续发展具有重要意义。通过科学合理的温控策略选择与调整,结合实际工程情况,可以实现温度控制目标,保障施工质量,为工程结构的安全稳定提供坚实的保障。随着科技的不断进步和工程实践的积累,相信温控技术在混凝土坝施工中将发挥越来越重要的作用,为水利工程的可持续发展贡献更大的力量。

参考文献:

- [1] 熊剑明. 大江口水库除险加固工程碾压混凝土坝温控设计 [J]. 黑龙江水利科技, 2023, 51(06): 18-21.
- [2] 梁志鹏, 周华维, 王放, 赵春菊, 周宜红. 基于关联规则挖掘的混凝土坝温控方案优化 (英文) [J]. 水利水电技术 (中英文): 1-21.
- [3] 李松辉, 张国新, 刘毅. 混凝土坝温控全过程智能关联优化调控方法及工程应用 [J]. 水利水电技术 (中英文), 2021, 52(S2): 193-198.
- [4] 杨春宝, 韩小妹, 温州, 邵剑南. 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, (02): 96-99.
- [5] 许继刚, 王振红. 高海拔地区碾压混凝土坝温控防裂研究 [J]. 中国农村水利水电, 2019, (08): 162-167+173.
- [6] 翟占英, 宋学博, 邢鑫. 高寒区混凝土坝温控防裂施工技术及应用 [J]. 中国水能及电气化, 2019, (06): 12-15+35.
- [7] 张瀚宇. 某碾压混凝土坝温控仿真分析及措施费评估 [D]. 武汉大学, 2019.
- [8] 张国新, 刘毅, 刘有志, 李松辉, 张磊. 高混凝土坝温控防裂研究进展 [J]. 水利学报, 2018, 49(09): 1068-1078.
- [9] 孙海奎. 碾压混凝土坝温控防裂探讨 [J]. 工程技术研究, 2018, (06): 22-23.
- [10] 张亚娟. 狮子崖水库碾压混凝土坝温控费计算分析 [J]. 建材与装饰, 2018, (15): 138-139.