

水利水电工程大体积混凝土温控防裂对策

闫 明 庄乐乐

邳州市水利建筑工程有限公司 江苏 邳州 221300

【摘要】本次研究的目的是为了探究水利水电工程大体积混凝土温控防裂有效策略，并着重对温控技术防裂应用及优化方法进行了分析。研究在深入分析大体积混凝土特性的基础上，将温控数值模拟与试验研究相结合，提出分层浇筑，冷却管系统设计，外添加剂与材料改性等主要措施，并用试验证明了上述措施应用于实际工程的有效性。将数值模拟结果和实际工程数据进行比对，对温控方案进一步优化，以保证混凝土温度处于合理区间，避免出现裂缝现象。研究方法主要有数值模拟法和实验研究两种，通过对混凝土水化热释放过程及温控系统温度分布进行模拟来评价不同温控措施对混凝土水化热影响。在试验期间，利用温度监测系统进行数据采集以验证模型预测精度，同时通过对实际数据分析来优化施工期温控方案。研究结果表明：合理的温控措施可以有效地降低温差诱发裂缝的产生，增强混凝土结构稳定性和耐久性。冷却管系统，分层浇筑及合理使用外添加剂等措施都可明显减少裂缝发生率并优化混凝土温控效果。

【关键词】大体积混凝土；温控防裂；水利水电工程；冷却管系统

DOI:10.12417/2811-0528.25.19.056

1 大体积混凝土温控防裂的背景与意义

1.1 大体积混凝土的特点

大体积混凝土是水利水电工程重要构筑材料之一，其工程特性特殊。它最突出的特征就是大范围浇筑量大、工期长，这都使得它在施工期水化热大，造成混凝土内部温度梯度大。由于混凝土具有热膨胀和收缩等特点，在温度急剧变化时易产生裂缝而影响工程质量与安全^[1]。另外大体积混凝土硬化后内部水分蒸发缓慢，易形成表面干缩裂缝等问题，该现象在施工场地厚度大或者环境湿度小的情况下表现得尤为明显。混凝土中各组分及配比也会显著影响混凝土性能。如水泥类型，掺合料选择以及水胶比控制等均将对混凝土水化热释放率产生直接影响。随结构体积增加，混凝土内温差变化愈加显着。

1.2 温控防裂的必要性

温控防裂对大体积混凝土的施工起着关键作用。由于硬化时大体积混凝土水化热被释放出来，使混凝土内出现温度梯度，过高的温差会触发温度应力从而诱导裂缝。裂缝不仅会影响到结构整体的强度，同时也会造成耐久性下降，特别是对于水利水电工程这种对于结构安全有极高要求的工程来说，裂缝的出现将给工程稳定性以及使用寿命造成严重的威胁。因此采取有效的温控防裂措施对于确保结构长期安全和耐用性具有十分重要的意义。实施温度控制和防裂措施可以有效地降低混凝土内部的温度差异，确保其温度波动维持在一个可接受的范围内，从而避免产生过高的温度应力，进而有力地控制裂缝的出现。另外温控措施可以优化混凝土水化过程、促进混凝土均匀硬化、增加混凝土密实度与强度。对大型水利水电工程而言，温控防裂既是确保施工质量的重点，又是降低维护成本和延长

结构使用年限等方面的重要途径。

1.3 水利水电工程中的应用需求

水利水电工程大体积混凝土建设涉及工程量大，建设周期长，需要温控防裂措施等技术要求。在该领域中，温控防裂工作既是确保混凝土结构质量的根本，又是确保水利水电设施能够安全、平稳运行的重点。由于水利水电工程一般都会涉及大坝和输水管道这些巨大的构造，它们的混凝土浇筑量较大，施工环境也比较复杂，所以对这类工程的温度控制应用要求就显得格外紧迫。水利水电工程自身的特殊性，决定温控防裂措施需要根据具体的工程特点进行准确设计。大坝及其他工程因混凝土厚度大，水化热大量放出，温度变化异常剧烈，如不加控制，裂缝会直接影响大坝安全性和耐久性。对此，需要从优化混凝土浇筑工艺、合理布置温控措施等方面入手，减少温差过大导致应力过大，保证混凝土整体性与稳定性。另外水利水电工程温控防裂运用既要考虑到现阶段施工阶段需要，又要考虑到结构在长期运营期间维护与耐久性问题。所以温控防裂技术持续性的应用及创新发展直接决定着工程项目质量及服务年限。通过科学的设计及技术手段可以有效地保证项目的成功施工和长期平稳运行。

2 大体积混凝土温控防裂的常用措施

2.1 分层浇筑与控制浇筑温度

分层浇筑和控制浇筑温度，是实现大体积混凝土温控防裂的一项根本性措施。浇筑大体积混凝土时，温度梯度对混凝土裂缝开展有直接影响，特别是施工前期水泥水化热快速释放，内部温度剧增。分层浇筑是通过把混凝土分几层层层浇注，可

以有效地避免大面积温度突变现象。在各层浇筑完成后，让其局部硬化和冷却，降低温度应力集中程度，为下一层混凝土浇筑提供较好温控条件，使裂缝产生得到有效地控制^[2]。同时浇筑温度控制也是保证大体积混凝土施工质量的一个关键环节。浇筑时对混凝土初始温度进行合理调控以降低水化热生成速度能有效减小混凝土内温差。比如通过采用冷却水管或者冷却液等合适的冷却措施来对混凝土进行降温，以免施工中温度过高导致裂缝出现^[3]。另外使用低热水泥或者添加减温剂也可以进一步减小温度波动和温度差异引起的应力。将分层浇筑和控制浇筑温度有机地结合在一起，既优化了温控效果又提高了混凝土密实度和均匀性，从而为大体积混凝土温控防裂工作提供了坚实的保证。

2.2 冷却管系统的设计与优化

冷却管系统是在水利水电工程中广泛用于控制混凝土浇注后温度变化的一种大体积混凝土温控防裂关键技术^[4]。该方法的核心思想是在混凝土结构的内部或外部安装冷却管道，通过使用循环冷却水或其他冷却介质来降低混凝土的温度，从而避免因温度梯度过高而产生裂缝。冷却管系统设计和优化需综合考虑混凝土热释放特性，施工环境，冷却介质流动性和系统能效诸多因素。冷却管布置方式关系到系统效果。设计中一般采用均匀分布管道来保证冷却效果均匀、温控稳定。冷却管道间距、管径、埋设深度等均需要依据混凝土浇筑大小及实际温度的变化来合理地计算布置。另外管道内流速与冷却介质温度控制对温控效果也有相同影响。过低流速或者冷却介质温度不当都会造成冷却不均从而加大裂缝风险。优化冷却管系统既涉及到管道布置及参数调整问题，又要综合运用数值模拟和现场监测数据动态调整。通过对温度变化趋势的监控，可适时调节冷却水流量或启动或停止冷却系统以达到更准确、更有效地温控。有效运用该技术可显著减少裂缝的产生，确保大体积混凝土结构长期稳定和耐久性。

2.3 外加剂与材料改性方法

外加剂及材料改性方法对大体积混凝土温控防裂具有重要作用，可有效提高混凝土温控性能及裂缝抗性。采用外加剂可以通过调整混凝土水化热释放进程和减小温差来降低裂缝产生危险。常用的外加剂主要有减水剂、引气剂、缓凝剂及减温剂，前者通过减少水泥用量来降低水化热，后者通过推迟水化反应速率来帮助减小温度波动给混凝土带来的应力。材料改性方法主要有改变混凝土组分或者采用特殊掺合料提高温控性能等。例如，低热水泥和矿物掺合料（如粉煤灰、矿渣）在混凝土中的应用，能够显著降低水化热，减缓水泥的水化过程，从而减少内部温度梯度。另外使用高性能混凝土（HPC）或超高性能混凝土（UHPC）不只是增强了混凝土的强度和持久性，

还因为它们具有较低的水化热释放特点，被视为大型混凝土抗裂的优选方案。通过对外加剂及材料改性方法的合理选择及匹配，可以在确保混凝土强度前提下有效地抑制温差诱发裂缝的产生，增强大体积混凝土结构整体稳定性和耐久性。这些技术的综合应用可为水利水电工程混凝土施工工作提供可靠技术支持。

3 大体积混凝土温控防裂的数值模拟与实验研究

3.1 温控数值模拟的基本方法

温控数值模拟是大体积混凝土温控防裂研究的一种先进技术方法，可以对混凝土浇筑时温度变化情况进行准确预测和分析。基本方法一般是以热传导理论为基础，通过构造数学模型来模拟不同施工情况下混凝土温度场的分布^[5]。这种方法能够有效地捕捉到水泥水化热释放，外界环境温度的变化以及混凝土材料特性等因素对温度场产生的影响规律，为温控设计提供科学依据。温度控制数值模拟的关键步骤是准确地建立热传递模型，这包括热源部分、水化热的释放速度以及材料的热物理性参数等因素。通过对热传导方程的求解模拟出了混凝土内部和表面温度分布。在数值求解方面，常用的方法包括有限元法（FEM）和有限差分法（FDM），这两种方法都能有效地处理复杂的几何形状和不均匀的温度分布问题。有限元法特别适合于大型或复杂构造水利水电工程大体积混凝土温控分析。在仿真时，可以将温控系统中冷却管布置，流体温度和流速等参数作为输入条件，以此来预测各种温控方案对仿真结果的影响。通过将模拟的结果与真实的监测数据进行比对，我们能够优化混凝土的温度控制策略，确保温度差异维持在一个可接受的范围，并避免裂痕的出现。数值模拟既可以对施工过程温控措施进行指导，也可以对项目后期温度控制及养护起到借鉴作用。

3.2 实验研究结果分析与应用

试验研究将其应用于大体积混凝土温控防裂技术可为温控措施制定提供现实数据支撑。通过对实际施工期温度变化情况进行仿真，试验研究能够验证不同温控方案对温度的影响，为实际工程的设计提供了可靠指导依据。试验中一般使用热电偶，红外测温仪及其他温度监测设备来实时记录混凝土内表面温度的变化情况，然后对温控措施实施后的结果进行评价。试验研究表明：冷却管系统，分层浇筑和采用外加剂都在温度梯度控制方面效果显著。比如冷却管系统的使用可以有效地降低混凝土内部温度，明显地减少温差过大造成裂缝。同时合理分层浇筑方式可避免大面积温差累积，降低应力集中进而缓解裂缝风险。另外外加剂尤其是减温剂及缓凝剂的应用对控制水化热释放及延缓水化反应速率显示出较好的作用。对实验数据进行深入剖析，可将不同温控措施进行优化组合，从而制定出较

为准确的温控防裂方案。试验结果也证明温控防裂不但有利于减少裂缝发生、提高混凝土强度及耐久性，而且对后续施工阶段具有可操作性。试验研究结果已被广泛地应用于实际工程，并有效地保证了大体积混凝土结构质量和安全。

3.3 模型与实际工程的对比

对模型和实际工程进行比较分析，对评价温控防裂技术的效果具有重要的意义。通过构建数值模拟模型并与实际工程混凝土浇筑过程温度数据进行对比分析，可以有效地验证温控方案是否合理及应用效果。该模型在比较过程中提供对温度分布及应力状态进行理论上的预测，同时实际工程通过温度监测系统收集实际施工数据，两者比较为技术优化奠定基础。大体积混凝土施工过程中温控模型预测结果一般都是建立在理想条件与假设之上，然而实际工程必然会受到很多因素的制约，如环境温度的变化，混凝土配合比不同，施工中不确定因素等。将模型预测和现场实测数据进行比较，能够辨识出模型对实际情况的偏离程度，进一步对模拟算法进行优化和调整模型参数，使其更加真实的反应实际施工情况。特别是当温度梯度及温差应力较大时，通过将模型与实际工程进行比较，能够揭示出可能出现裂缝的危险，有助于工程师及时采取措施进行施工调整。另外通过对分析可以对混凝土温控防裂技术提供普适

性与可操作性反馈信息。将模型验证同实际工程应用密切结合起来，保证温控措施适用于各种环境及情况，为大体积混凝土安全建设及长期运营提供了保证。

4 结论

大体积混凝土温控防裂技术对于水利水电工程有着重大的现实意义和应用价值。本研究对温控防裂措施进行了系统的研究和分析，并得到如下结论：第一大体积混凝土自身的特性决定了施工时易受水化热释放影响出现温度梯度，由该温差所诱发的应力成为导致裂缝出现的重要因素。所以合理进行温控设计是非常重要的。二是温控防裂常用措施如分层浇筑，冷却管系统应用以及外加剂和材料改性方法等都不同程度地有效遏制裂缝产生，增强混凝土结构稳定性和耐久性。实验研究及数值模拟对温控技术优化提供科学依据，通过数值模型预测结果和实际工程数据进行比较，证明温控方案有效，对施工过程技术调整具有指导作用。通过实施不同温控方案并进行比较分析，找出最优温控组合从而达到减小裂缝风险和改善混凝土质量目的。在今后温控技术发展的背景下，智能化和精细化温控方法是水利水电工程的趋势。对于温控防裂技术进行不断地优化与革新，一定能够为大体积混凝土施工质量控制问题提供更准确的解决思路，确保工程安全性和耐久性。

参考文献：

- [1] 许严.大体积预制盖梁水化热及新型温控措施研究[J].建筑科技,2025,9(07):72-78.
- [2] 李柯.重力坝大体积混凝土温控防裂施工技术研究[J].水泥,2025,(07):140-142.
- [3] 姜功华.水库主坝大体积混凝土防裂温控方案及施工效果分析[J].江西建材,2025,(04):113-115+122.
- [4] 马已安,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.
- [5] 姜峰.水利工程大体积混凝土温控防裂技术[J].黑龙江水利科技,2021,49(03):191-193.