

大体积混凝土浇筑过程中温度裂缝的现场监测与防控技术研究

武钰杰^{1,2} 张小飞^{1,3}

1.天津金滨置业有限责任公司 天津 300000

2.天津市西青区西青道 282 号 天津 300000

3.天津市津南区双港镇梨双公路新家园香薇邸 9 号楼 904 号 天津 300000

【摘要】：大体积混凝土浇筑过程中，温度裂缝的发生严重影响了工程质量与结构安全。温度裂缝主要源自混凝土内部温差的不均匀变化，引起体积收缩或膨胀，进而导致裂缝的形成。为有效控制这一问题，本文研究了大体积混凝土温度裂缝的成因，并提出了基于现场监测与防控技术的有效措施。通过实时温度监控、应力监测等技术手段，结合混凝土浇筑过程的温控管理，可以显著减少裂缝的发生。本研究为相关工程提供了科学依据和技术支持，推动了混凝土工程质量的提升。

【关键词】：大体积混凝土；温度裂缝；现场监测；防控技术；质量控制

DOI:10.12417/2705-0998.26.01.055

引言

在大体积混凝土浇筑过程中，温度裂缝的发生是一个常见而严重的工程问题。这类裂缝通常由于浇筑过程中温度梯度的变化，导致混凝土内部不同区域的应力积累，从而引发裂缝的生成与扩展。温度裂缝不仅影响混凝土的强度与耐久性，还可能对后期的维护与修复带来巨大的挑战。因此，如何通过有效的监测与防控手段降低裂缝的发生频率和影响，成为了混凝土工程中的重要课题。通过对现场温度及应力状态的实时监测，结合先进的温控技术和施工工艺，能够有效控制裂缝的形成，为保障工程结构的稳定性与安全性提供技术支持。

1 温度裂缝形成的机理与影响因素

(1) 温度梯度对混凝土裂缝的影响

温度梯度是引发大体积混凝土裂缝的主要因素之一。在混凝土浇筑过程中，混凝土内部由于水化热的释放产生较高的温度，而表面温度较低，形成了明显的温差。这种温差导致混凝土内部不同区域的膨胀和收缩程度不同，进而产生应力。当温度差达到一定程度时，混凝土无法适应这种温度变形，导致裂缝的出现。特别是在大体积混凝土中，由于体积庞大，温度梯度的影响更加显著，裂缝容易在温度变化的局部区域形成并扩展，影响结构的整体性和安全性。

(2) 水化热与外界温度变化的相互作用

混凝土水化过程中的水化热是温度裂缝的另一关键因素。水泥与水反应时释放的水化热会使混凝土温度急剧上升，尤其是在初期水化阶段，水化热的释放速度较快。与此同时，外界温度变化对混凝土的影响也不容忽视^[1]。当天气温度较高时，水化热与外界温度的叠加可能导致混凝土温度过高，进一步加剧温差和温度梯度的形成。而在低温环境下，混凝土表面温度下降较快，与内部温度的差异也会引发裂缝。这些相互作用因素共同作用，增加了温度裂缝的风险。

(3) 施工过程中应力的积累与裂缝产生

在大体积混凝土的浇筑过程中，应力的积累是导致温度裂缝的重要原因。当混凝土逐渐冷却并凝固时，由于内部和表面温度差异，产生的热应力会不断积累。特别是在混凝土尚未完全硬化时，表面温度的急剧下降会导致表面收缩，而内部温度相对较高，混凝土体积膨胀，这种温差引起的应力差可能导致裂缝的出现。随着时间的推移，裂缝可能会逐渐扩展并加深，影响整个混凝土结构的稳定性和承载力。

2 现场温度与应力监测技术

(1) 温度监测技术及设备选择

温度监测是控制混凝土温度裂缝的关键技术。当前常用的温度监测方法包括温度传感器、红外线测温 and 无线传输技术。温度传感器通常采用热电偶、热电阻和光纤温度传感器等类型，具有高精度和实时反馈的优点。选择合适的设备应根据工程的实际需求和环境条件进行评估。在大体积混凝土施工中，常选用温度传感器与数据采集系统相结合的监测方案，这种系统能在混凝土结构的不同深度和位置实时采集温度数据。为避免因安装位置不当导致的数据失真，传感器需在浇筑前合理布置，以确保温度监控的全面性和精确性。同时，红外线测温技术也可以用于对混凝土表面温度的远程检测，具有非接触式测量的优势，适用于大范围的温度监控。

(2) 应力监测与数据分析方法

应力监测技术在大体积混凝土施工中至关重要，尤其是在温度裂缝产生的早期阶段。常见的应力监测方法包括应变计法、光纤光栅传感器法及无线应变传感器法。应变计是传统的应力测量工具，它能够准确记录混凝土受力状态下的微小变形，从而反映出应力的的大小。光纤光栅传感器则具备高精度和耐腐蚀特性，能够在高温环境下稳定工作，适合用于长时间监测^[2]。无线传感器则具备布设灵活、数据传输便捷的特点，适合复杂或难以接触的施工环境。通过数据采集后，应用应力分

析软件对数据进行处理,能够实时计算混凝土内部应力分布情况,识别应力集中区域和潜在裂缝风险。应力监测的实时数据为施工过程中的温控管理提供了重要参考依据。

(3) 监测系统的实时数据反馈与应用

实时数据反馈系统在温度与应力监测中起着至关重要的作用。通过布设在混凝土结构中的传感器,监测系统能即时收集温度与应力数据,并通过无线或有线网络将数据传输至监控中心。此类系统的优点在于其高效性和准确性,使得施工人员能够在第一时间发现潜在问题,并采取相应的措施进行调整。监测数据的实时反馈还可以与自动化控制系统结合,通过分析当前温度和应力的变化趋势,自动调节施工过程中的温控措施。具体应用中,系统能够识别并预警温度和应力的异常变化,减少裂缝的发生风险。此外,监测数据的可视化展示使得管理者能够直观了解混凝土的状态,为施工决策提供依据,从而提升工程的施工质量和效率。

3 防控技术与措施

(1) 合理的施工温控设计

施工温控设计在大体积混凝土工程中具有至关重要的作用。通过优化温控设计,可以有效控制混凝土内部温差,降低裂缝的发生概率。在温控设计过程中,合理的混凝土浇筑顺序、浇筑速度、以及保温措施的安排是关键。采用分层浇筑方法,可以有效减少每层混凝土内部温度梯度,从而降低温差引起的应力集中。浇筑过程中的温度控制需考虑环境温度变化,避免在高温或低温环境下进行过快的浇筑。同时,保温材料的使用也十分重要,特别是在较冷季节,通过覆盖保温层或使用加热设备,可有效减缓混凝土温度的降幅,保持内部温度均匀,减少表面和内部温差的对比,进一步防止裂缝的产生。

(2) 混凝土配比与材料选择

混凝土配比的设计直接影响其水化热的释放与温度控制。采用低水化热水泥或替代性矿物掺合料(如粉煤灰、矿渣粉等),可以显著降低混凝土的水化热,减少温度裂缝的风险。优化水泥、骨料、水的配比,不仅可以控制水化热,还能改善混凝土的力学性能和耐久性^[3]。合理的骨料粒径分布和含水率也是影响混凝土温控效果的重要因素。特别是在大体积混凝土中,选择高强度、低膨胀的骨料能够有效减小裂缝的发生几率。除了水泥和骨料,外加剂的选择同样重要,某些外加剂(如缓凝剂、减水剂)能够延长混凝土的凝结时间,降低水化热的急剧释放,进一步帮助温控设计。综合考虑配比和材料选择,可以实现温度裂缝的有效防控。

(3) 降温技术与施工流程优化

降温技术的应用对于防控混凝土温度裂缝具有重要意义。通过在浇筑过程中对混凝土温度进行调控,可以有效避免温度差异引起的应力集中。常用的降温措施包括冷却管法、冷却水

流法以及冷却剂的使用。冷却管法是通过在混凝土中埋设冷却管道,利用流动冷却水来降低混凝土内部温度,从而控制水化热的积累。冷却水流法则是通过直接喷洒或流淌冷水来降低混凝土表面温度,尤其在高温环境下,这一方法能够快速有效地降低表面温度。施工流程优化也起着关键作用,通过合理安排混凝土的浇筑时间、浇筑顺序和施工进度,避免在温度过高时集中大量混凝土浇筑。优化后的施工流程不仅能够提升施工效率,还能在各个阶段实现温度的均匀分布,减少裂缝发生的风险。

4 温度裂缝的预防与修复策略

(1) 裂缝的早期预防措施

温度裂缝的早期预防是确保混凝土结构长期稳定性的关键。为了在浇筑前就控制温度梯度,施工阶段需要精确计算水化热释放,并采取适当的温控措施。混凝土的配比设计中应优先选择低水化热水泥以及具有缓凝特性的外加剂,以减缓水化反应速度。施工过程中,合理布置传感器进行实时温度监测,使得施工人员能够在第一时间识别温度变化,并及时调整施工进度和温控措施。采取分层浇筑和分段施工的方式,减少每一层混凝土的温度积累,有效减小裂缝风险。温控设计中加入保温措施,尤其是在低温环境下,通过使用加热设备或加盖保温层来减缓温度下降,保持混凝土内部温度均衡,从而有效防止裂缝的产生。

(2) 裂缝出现后的修复与加固技术

裂缝一旦出现,需要迅速采取修复措施以恢复混凝土结构的稳定性与承载力。裂缝修复通常采用灌浆法,即通过注入特定的修复材料(如环氧树脂、聚氨酯灌浆料等)填补裂缝,确保裂缝区域得到充分修补并恢复其整体性。对于较大的裂缝,可能需要结合加固技术来增强结构的强度^[4]。可以在裂缝区域使用钢筋网或碳纤维加固带进行加固,提高结构的抗拉能力和抗裂能力。对于裂缝较为严重的区域,还可通过外包钢套管等方式进行加固,以确保裂缝修复后的长期稳定性。修复过程中,必须严格监测修复效果,确保修补材料的粘结强度和裂缝填充的完整性,避免修复后再次出现裂缝。

(3) 施工中常见问题的解决方案

施工过程中,温度裂缝的发生常常与施工环境和操作不当密切相关。为解决这一问题,首先要确保温控设计与施工计划的合理性。在夏季高温施工时,应避免混凝土过快凝固,采取适当的延迟水泥或减水剂来调节水化热的释放速度。施工现场的温度和湿度变化会直接影响混凝土的水化过程,因此,确保施工区域温度适宜并及时调整水分供应也是减少裂缝风险的有效措施。在施工过程中,操作不当也容易引发裂缝,例如过快的振捣或过度的机械搅拌可能导致混凝土表面裂缝或内部产生气孔,因此操作人员需要熟悉并执行严格的施工规范。最

终，监测设备的实时反馈能够在问题发生的初期就进行预警，提供及时的修正方案，从而有效降低裂缝的发生概率。

5 技术应用与工程案例

(1) 成功应用的工程案例

在多个大体积混凝土施工项目中，温控与裂缝防控技术已经得到了有效应用。某高速公路桥梁建设项目中，项目团队采用了实时温度监测系统，结合冷却管法和分层浇筑技术，通过对混凝土各层的温度进行精准调控，成功避免了温度裂缝的产生。通过数据实时反馈，施工方调整了浇筑顺序和施工进度，使得每一层混凝土的温差保持在安全范围内。另一个水利工程案例中，采用了低水化热水泥和矿物掺合料，成功减少了水化热的释放，结合现场应力监测，确保了混凝土在整个水工结构中的稳定性与安全性。这些项目的成功应用表明，结合现场实际情况合理选择温控措施，能够有效预防温度裂缝，确保工程质量。

(2) 温控与裂缝防控措施的效果评估

在多个大体积混凝土项目中，温控和裂缝防控措施的效果评估表明，通过精确的温控设计和实时监测，能够显著降低裂缝的发生率。通过对比未实施温控技术的项目，采用温控措施后的工程显示裂缝发生的频率明显减少^[5]。在某大型工业设施建设中，使用了动态温控系统和自动化应力监测系统，温度与应力的实时反馈让施工人员能够及时发现潜在的裂缝问题，并

采取补救措施。温控与裂缝防控措施不仅提高了施工效率，还在实际应用中减少了修复成本。施工中对裂缝发生的预警和处理显著降低了混凝土裂缝的影响，保障了结构的长期安全性。

(3) 技术应用中的挑战与应对策略

在应用温控与裂缝防控技术的过程中，依然面临诸多挑战。复杂的施工环境、极端天气条件及现场布置限制了某些温控措施的全面应用。寒冷季节施工时，施工环境的低温可能导致温控设备难以保持所需温度，进而影响混凝土的凝固过程。针对这些问题，项目团队在应用过程中采取了针对性措施，如增加现场的加热设备，提升施工区域的温度稳定性。传感器的布设和数据采集系统可能因施工过程中混凝土表面覆盖层的变化而遭遇干扰，为此，技术团队通过优化传感器位置 and 选择更为精准的设备进行数据采集，确保监测系统的准确性。在这些挑战下，通过灵活调整施工方案和技术应用，能够有效应对各种复杂施工环境的影响，确保项目的顺利进行。

6 结语

温度裂缝是大体积混凝土施工中的常见问题，直接影响结构的安全与耐久性。通过合理的温控设计、精确的监测技术和有效的防控措施，可以大大减少裂缝的发生。结合现场实践，技术应用和工程案例表明，温度裂缝的预防和修复不仅提高了施工质量，也降低了后期维护成本。未来，随着技术的不断进步，混凝土施工中的裂缝防控将更加精细化，保障工程质量和安全。

参考文献:

- [1] 倪天红.大体积混凝土温度裂缝控制与施工监测技术研究[J].城市开发,2025,(19):171-173.
- [2] 张曦.高层建筑大体积混凝土施工温度监测与裂缝控制研究[J].江西建材,2025,(08):185-188.
- [3] 严艳锋,郭亚鹏,高小永,等.大体积混凝土温度监测与裂缝控制[J].中国科技信息,2024,(23):45-48.
- [4] 樊俊江.内衬墙大体积混凝土温度监测及裂缝控制技术[J].新型建筑材料,2022,49(10):45-50.
- [5] 陈永刚,李成春,赵月.大体积混凝土温度裂缝控制与监测措施分析[J].工程建设与设计,2021,(02):204-205.