

水利工程大体积混凝土施工裂缝控制新技术研究

张丰 顾乐

邳州市水利建筑安装工程有限公司 江苏 邳州 221300

【摘要】：大体积混凝土是水利工程的关键材料之一，由于其施工中易出现裂缝而对工程质量与安全提出挑战。裂缝主要是由水泥水化热、混凝土收缩和膨胀，机械应力以及环境因素等因素共同作用产生。文章围绕水利工程中大体积混凝土施工期裂缝控制技术展开探讨，对常规温控技术、混凝土配合比优化技术、裂缝修复材料应用技术以及新型智能监测技术进行分析，提出了以新材料和智能化技术为依托，对裂缝进行控制的新思路。通过梳理上述技术应用效果及研究现状，进一步阐明裂缝控制未来趋势，以期为促进大体积混凝土施工质量及结构安全的提高提供理论依据及技术支持。

【关键词】：大体积混凝土；裂缝控制；水泥水化热；智能监测；配合比优化

DOI:10.12417/3083-5526.26.02.033

水利工程大体积混凝土由于浇筑量多、施工周期长、水泥水化热释放严重，易出现裂缝。裂缝的存在不仅会影响到结构美观，而且还会影响到混凝土强度及耐久性，从而影响到整体工程安全。所以裂缝控制就成了大体积混凝土建设的重要问题。近年来随着裂缝控制技术研究的不断深入，常规温控技术、混凝土优化配合比和新型裂缝修复材料被广泛采用。但在日益复杂的施工环境与技术要求下，已有技术仍然面临着一些局限^[1]。文章将对大体积混凝土施工中裂缝产生的机理和影响因素进行深入探究，对传统和新型裂缝控制技术应用状况进行分析，并对今后研究进行展望。

1 水利工程大体积混凝土施工的现状与挑战

1.1 大体积混凝土施工的特点与应用

大体积混凝土施工是水利工程应用较为广泛的一种施工方式，其主要体现为坝体，渠道和库区的大型基础设施项目。它具有混凝土浇筑数量多、施工周期长、受环境因素的影响大等特点。相对于普通混凝土施工而言，大体积混凝土受温度变化影响更为显著，特别是施工期混凝土水化热释放使温度变化幅度更大，继而可能诱发开裂^[2]。

随着水利建设的日益扩大，大体积混凝土在工程上的使用范围也逐步扩展到了更为复杂的工程项目。这类工程由于混凝土结构具有特殊性，因此如何预防裂缝出现同时又能确保其强度与耐久性已成为水利工程技术人员面临的一个重要问题。另外施工期温度梯度、湿度控制和凝固时材料配比等因素对混凝土性能有直接影响。

1.2 施工过程中裂缝的主要表现及原因分析

大体积混凝土施工期裂缝问题对工程质量与安全有重要影响。常见裂缝类型有温度裂缝、收缩裂缝、结构裂缝、施工裂缝。温度裂缝的产生主要是因为混凝土水化时放出大量的热，使其内部温度与表面温度相差很大，从而诱发裂缝的产生^[3]。在混凝土硬化的过程中，收缩裂缝通常会出现，尤其是在水泥发生水化反应之后，由体积收缩导致的裂缝对混凝土结构

的稳定性产生了显著的影响。

裂缝的出现也和施工方法有着密切的关系。比如在浇筑时施工操作不当，比如浇筑速度过快、振动过大或者振捣过多，均可能造成混凝土密实度不均，进而易产生裂缝。另外材料搭配不合理、骨料不均匀性及水泥品种选择等因素都对裂缝产生有一定影响。

1.3 裂缝控制技术的研究现状与发展趋势

当前裂缝控制技术已经成为了大体积混凝土施工过程中一个不容忽视的重要组成部分。常规裂缝控制方法有温控养护、混凝土配合比优化和外加剂应用。温控养护技术是通过控制混凝土温度差异来有效降低因水泥水化反应发热而导致温度裂缝。并对混凝土配合比进行了优化，通过调节水泥、骨料与水配比提高了混凝土工作性与耐久性，降低了裂缝发生率^[4]。

在智能化技术不断发展的背景下，裂缝控制研究方向已经逐步转向智能监测，信息化管理和新型修复技术等。近年来以物联网与传感技术为核心的智能监测系统能够对大体积混凝土施工期温度、湿度、应力等诸多物理量进行实时监控，及时发现裂缝迹象并实时反馈。新的裂缝修复材料应用不断获得突破，它们可以在裂缝产生后迅速进行修补，恢复混凝土结构完整性。伴随着科技的发展，今后裂缝控制会更准确、更有效，达到大体积混凝土整体建设质量。

2 大体积混凝土裂缝的形成机理与影响因素

2.1 水泥水化热引起的温度裂缝

水泥水化热对大体积混凝土温度裂缝产生有很大影响。水泥水化时，水泥会和水反应并放出大量热，使混凝土内部温度上升。若混凝土浇筑量越大水化热积累越明显。混凝土表面和内部温差大，易诱发裂缝。特别是大体积混凝土浇筑完成后，早期水泥水化反应强烈，温度梯度大，由此引起的裂缝往往发生于表面，从而影响了结构整体性。所以如何控制水泥水化热和减小温度差异是裂缝控制技术的重点之一^[5]。

为降低水泥水化热诱发温度裂缝可采用温控技术调整混凝土内表面温度差异。常用温控措施有使用低热水泥、分层浇筑、建立冷却管道。采用这些技术手段可有效地减小水泥水化时温度升高速度、控制温度差、预防裂缝产生。随着科技的发展,采用智能化温控系统使温控策略制定更准确,可以对混凝土内部温度变化情况进行实时监测,对裂缝预防和控制提供了科学依据。

2.2 混凝土的收缩与膨胀作用对裂缝的影响

混凝土经过水泥水化反应之后会出现不同程度的体积收缩现象,该现象在混凝土硬化期间不断出现,尤其是早期阶段,若不采取有效控制措施就有可能出现裂缝。收缩裂缝一般以竖直裂缝形式出现,且多出现于混凝土表面及内部。混凝土在外界约束或者温度的作用下,收缩力的作用会造成应力集中进而诱发裂缝。

为有效地控制混凝土收缩和膨胀问题,一般都会从选择合适材料,优化配合比和使用收缩补偿材料等方面着手减小裂缝产生风险。如添加适量膨胀剂有助于抵消一部分收缩应力和减少裂缝出现几率。同时优化混凝土水胶比、降低水分蒸发和提高混凝土密实性还可有效降低收缩裂缝产生。另外采取合理的施工方法与养护措施,例如及时浇水以维持湿度等,还可以在在一定程度上减缓收缩的影响,提高混凝土整体稳定性。

2.3 施工过程中的机械应力与环境因素

施工期机械应力对大体积混凝土裂缝产生有重要影响。施工时混凝土因浇筑、振捣等作业过程承受外部负荷的影响,会造成内部应力不均,继而诱发裂缝。浇筑大体积混凝土时,由于施工机械振动及外力作用等因素会造成混凝土密实度不均,特别是温度较低或者较高时,混凝土在温差作用下更易发生局部收缩不匀而产生裂缝。

环境因素例如温度、湿度、风速,对于大体积混凝土施工质量同样有着显著的影响。高温干燥环境下混凝土表面水分挥发过快易造成表面干裂。但低温环境中混凝土水化反应过程变缓且易开裂。为了更好地应对各种环境挑战,施工过程中必须实施合适的温度控制和养护措施,例如使用保温材料或喷洒养护剂,这样可以有效地减少水分的蒸发,保持合适湿度以避免环境因素作用于混凝土以减少裂缝危险。

2.4 材料选择与配比对裂缝控制的影响

混凝土配合比对其强度、流动性及耐久性等关键性能有直接影响,从而影响裂缝产生。合适地调整水泥、水和骨料配比可改善混凝土抗裂性能。如合理调控水泥水化热和选用低热水泥及矿物掺合料可有效减少水泥水化热诱发温度裂缝的危险。同时选用适当的骨料及外加剂可提高混凝土抗收缩性能并降低收缩与膨胀引起的裂缝。

除配合比之外,外加剂选择在裂缝控制中也起着举足轻重

的作用。减水剂、引气剂和其他外加剂既可提高混凝土工作性又可增强混凝土抗裂性能。如减水剂能有效地降低水泥浆体中水胶比和水泥水化过程中的发热;使用引气剂可以通过加入微小的气泡来降低混凝土的收缩速率,从而减少裂痕的出现。另外使用合适的混凝土养护剂还可以促进水泥水化反应的进行,同时保持合适的湿度,以免由于干缩而导致开裂。通过对材料选择和配比进行优化,可以显著改善大体积混凝土施工裂缝控制效果。

3 传统裂缝控制技术与新技术的对比与研究

3.1 传统温控技术及其应用现状

传统温控技术多采用在混凝土浇筑时控制温度上升与降温差异,以预防裂缝出现。因大体积混凝土水化时会放出大量的热,过高的温差易引起裂缝产生,所以采取温控措施延缓混凝土内外侧温差过大是一种行之有效的裂缝防治方法。温控技术有冷却管道法,低热水泥法和分层浇筑法,冷却管道法是将冷却管道布置于混凝土内部对混凝土进行温度控制,低热水泥法则旨在通过选择低热水泥来降低水泥在水化过程中释放的热能。

如近几年大型水利工程采用冷却管道法对温度裂缝进行控制技术,并获得良好应用。某水坝施工时施工单位将冷却管道与温控系统结合起来,通过对混凝土内部温度进行实时监控,来调节冷却管道的流速,成功控制温差过大问题并避免开裂。与此同时,采用低热水泥还有效地降低了裂缝发生率,已被广泛地应用于许多大型水坝工程。这些传统温控技术仍是解决大体积混凝土开裂的重要途径。

3.2 混凝土配合比优化与裂缝控制

混凝土配合比对其强度,耐久性以及裂缝控制性能有直接影响。通过对水泥,骨料,水和外加剂等材料配合比进行优化,可显著提高混凝土工作性,抗裂性能和耐久性,使其裂缝得到有效控制。如降低水胶比、优化骨料级配以及采用合适的外加剂等均可使混凝土收缩率下降,延缓水泥水化反应导致的温度改变,进而减少裂缝出现。合理的混凝土配合比既有利于混凝土强度的提高,又有利于硬化时混凝土稳定体积、减小应力集中和裂缝产生。

在实际工作中,很多水利工程项目都是通过调整混凝土配合比进行优化来对裂缝进行治理。以某大坝项目为例,采用低水胶比、优化骨料级配等措施,不但混凝土强度得到改善,而且温度裂缝、收缩裂缝等现象也得到有效降低。另外减水剂,膨胀剂和其他外加剂的应用也一定程度地降低裂缝产生,提高混凝土抗渗性能。上述配合比优化技术手段已成功运用于多项水利项目,验证了该技术对裂缝控制的重要性。

3.3 新型裂缝控制材料与技术的应用

伴随着科学技术的进步,常规裂缝控制方法已经逐步朝着

新型材料与工艺发展。如新型高性能混凝土，低收缩混凝土和自愈合混凝土等应用使混凝土硬化后抵抗裂缝能力得到了极大提高。自愈合混凝土能够通过加入特定的自愈合剂，在混凝土出现裂缝的情况下，自动进行修复，从而显著提升结构的耐用性和安全性。超高性能混凝土（UHPC）因其卓越的抗裂特性，已经成为许多高端工程项目中控制裂缝的新选择。这些新型材料能有效地增强混凝土抗裂性和降低裂缝。

将自愈合混凝土技术应用于一项大型水利项目，以解决开裂的难题。本工程中施工单位将微胶囊自愈合材料加入混凝土，混凝土开裂后胶囊断裂，自愈合物质释放，裂缝顺利修补。采用该技术后，结构耐久性得到显著提升，降低了结构后期维护费用。同样地新型超高性能混凝土已被用于许多水坝项目，其高强度、低收缩特性使裂缝问题得以有效治理，进一步论证新型材料与工艺在裂缝控制方面所具有的极大潜能。

3.4 智能监测与信息化管理在裂缝控制中的作用

随着信息技术与智能化设备的飞速发展，智能监测技术与信息化管理系统被广泛用于裂缝控制。这些技术能够对大体积混凝土施工期温度、湿度、应力等关键指标进行实时监控，及时发现裂缝出现及发展趋势，并为施工期裂缝控制提供科学依据。通过传感器网络的布设，施工方能够实时获得混凝土内部及表面温度分布，湿度变化情况等信息，并适时调整施工策略以避免出现裂缝现象。该信息化管理系统可以结合施工数据及

预设裂缝控制模型进行数据分析及预测，为裂缝控制提供准确方案。

将该智能监测系统应用于某水坝建设项目效果明显。本工程通过布置大量温湿度传感器，应力传感器及其他装置对混凝土温度变化及收缩进行实时监控。通过实时反馈数据，施工方对浇筑方式及养护措施进行适时调整，顺利避免开裂。与信息化管理系统相结合，本工程同时建立裂缝监测数据库，对后续工程维护、裂缝修复等工作提供有价值的支撑。智能监测及信息化管理相结合为裂缝的控制提供更准确、更有效的技术手段。

4 结论

大体积混凝土建设裂缝控制问题，对水利工程有现实意义。从裂缝产生机理及其影响因素研究可发现，裂缝的产生主要受到水泥水化热，混凝土收缩膨胀，施工期机械应力以及外部环境因素等多种因素综合影响。常规温控技术、混凝土配合比优化已在裂缝控制上取得一定效果，但是仍面临着施工环境复杂和控制手段受限的挑战。近年来新型裂缝修复材料及智能监测技术不断应用，为裂缝控制带来新思路及解决方案。伴随着材料科学与智能技术的持续发展，融合新型材料、智能监控以及信息化管理的裂缝控制技术在水利项目中的重要性将日益凸显，这样才能保证大体积混凝土的施工质量，保证工程长期安全。

参考文献：

- [1] 沈宁.建筑大体积顶板混凝土施工中的裂缝控制技术[J].建设机械技术与管理,2026,39(02):107-109.
- [2] 翟伟.水池池壁大体积混凝土防渗与裂缝控制技术研究[J].中国新技术新产品,2026,(07):113-115.
- [3] 李启玲.大体积混凝土浇筑施工技术 with 裂缝控制[J].全面腐蚀控制,2026,40(03):81-83.
- [4] 庄羽.建筑工程大体积混凝土施工技术要点研究[J].中国房地产业,2026,(06):90-93.
- [5] 张超.建筑大体积混凝土裂缝成因与控制[J].中国建筑装饰装修,2026,(03):184-186.