

超长混凝土结构温度裂缝问题及优化施工技术研究

聂国平¹, 吴正孟², 孟祥玲³

(1. 山东正顺建设集团有限公司, 山东 济南 250000;

2. 山东伸达建设集团有限公司, 山东 菏泽 274000;

3. 聊城聚盈建筑工程有限公司, 山东 聊城 252000)

摘 要 本文基于超长混凝土结构的特点, 深入分析了温度裂缝的成因, 尤其是温差应力、水泥水化热效应及环境因素的作用; 探讨了当前常见的温度裂缝控制技术及其局限性, 如温控措施、材料优化和施工工艺改进; 针对现有技术不足, 提出了智能温控系统的应用、温度场模拟技术的优化、低水化热水泥的使用以及自密实混凝土的应用等一系列创新的施工优化技术, 通过合理的施工工艺优化, 如分段施工与适时浇筑、预冷与保温措施的实施, 进一步减少温差应力, 控制裂缝的发生。研究表明, 在超长混凝土结构中, 通过优化施工技术和控制温度裂缝, 可以延缓混凝土的老化过程, 延长超长混凝土结构的长期使用寿命并提高安全性。

关键词 超长混凝土结构; 温度裂缝; 材料选用; 温度控制技术

中图分类号: TU755

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.10.021

0 引言

由于混凝土的水化热效应以及外界环境的温差变化, 混凝土内部会产生较大的温差应力, 这些应力容易导致裂缝的产生, 尤其是在大体积混凝土施工中尤为突出。温度裂缝不仅会对结构的外观造成影响, 还会严重影响结构的使用功能和长期耐久性。随着时间的推移, 这些裂缝会导致水分、气体和化学物质的侵入, 从而加速混凝土的老化与钢筋的锈蚀, 严重时甚至会危及结构的安全性。因此, 温度裂缝问题的控制和防治成为超长混凝土结构施工中的关键技术难题。

1 超长混凝土结构的特点与温度裂缝的成因

1.1 超长混凝土结构的定义与特点

超长混凝土结构通常指的是那些规模巨大、跨度长、体积大的混凝土构件, 这类结构通常应用于大型基础设施建设, 如桥梁、隧道、堤坝、高层建筑等。在超长混凝土结构施工过程中, 容易产生一系列影响质量与稳定性的问题。

超长混凝土结构的独特特点决定了其在施工过程中面临的温度裂缝风险更高。超长混凝土结构的体积通常非常庞大, 特别是在大体积混凝土施工中, 混凝土内外部温差明显, 容易导致内部温度不均匀, 进而产生温差应力^[1]。由于超长结构的尺寸, 温差应力会集中于某些局部区域, 从而导致裂缝的形成。超长混

凝土结构通常由多个混凝土构件组成, 这些构件在施工过程中会因温度差异而发生不同程度的热胀冷缩。当多个构件相互连接时, 温度差异会引发较大的内部应力, 最终导致裂缝的产生。

1.2 温度裂缝的成因分析

1. 温差应力作用。混凝土材料在温度变化时会发生热胀冷缩现象。由于混凝土的热膨胀系数较小, 温差导致的热膨胀往往不能均匀分布, 这样就会在混凝土内部产生温差应力。温度过高或过低时, 混凝土内部的温度梯度较大, 从而导致应力集中, 最终形成裂缝。特别是在大体积混凝土施工中, 中心部分与表面部分的温差尤为显著, 极易形成温度裂缝。

2. 水泥水化热影响。水泥在水化过程中会释放大量的热量, 产生水泥水化热效应。这种热量的释放不仅会导致混凝土内部的温度升高, 还会在混凝土的不同区域产生温差。在大体积混凝土中, 水泥水化产生的热量无法迅速释放, 从而加剧了内部温度的差异, 导致热膨胀和收缩的不同步, 进一步引发裂缝的形成。

3. 环境因素。季节性温差、日夜温差、气候变化等因素, 会导致混凝土的温度周期性波动, 从而在结构内部产生反复的热应力。特别是在温差较大的地区, 早晨和晚上温差的变化, 或在季节交替时, 都会导致混凝土出现裂缝。此外, 施工期间的天气状况, 如突

如其来的高温或寒冷天气,也会影响混凝土的凝结与硬化过程,进而影响温差应力的分布。

4. 施工工艺问题。在施工过程中,如果浇筑和硬化速度过快,未能合理控制混凝土的温度变化,或者施工过程中采用的材料的热膨胀特性不匹配,都会导致温差应力过大^[2]。此外,混凝土的养护措施不当,特别是在高温环境下未采取适当的保湿和降温措施,都会加剧裂缝的形成和发展。

2 现有温度裂缝控制技术及其局限性

2.1 温控措施

温控技术主要通过通过对混凝土施工过程中温度变化的有效管理来减少温差应力,从而控制温度裂缝的产生。在混凝土浇筑过程中,控制混凝土的初始温度是避免温度裂缝的关键。通常,通过冷却水的添加或使用低热水泥来控制混凝土的浇筑温度,从而减少水化热的影响。此外,还可以采取在夏季施工时避免高温天气,选择适合的施工时段来降低温度波动。

合理的养护措施可以有效降低温度裂缝的风险。养护期间通过洒水、覆盖保温材料等方法,保持混凝土表面湿润,防止过早的水分蒸发,减缓混凝土的收缩变形。此外,使用蒸汽养护和温控养护设备可以确保混凝土在养护阶段的温度均匀,降低裂缝形成的可能性。对于大体积混凝土,特别是超长混凝土结构,冷却管系统被广泛应用。通过在混凝土浇筑前布置冷却管,并在养护期间通入冷水,可以有效降低混凝土内部的温度,控制温差应力,减少温度裂缝的发生,这一技术尤其适用于大体积混凝土的结构施工中。

2.2 材料选用与混合比优化

材料的选择与混合比的优化是控制温度裂缝的重要手段。采用低热水泥或高标号水泥,可以有效减少水化热的释放,从而控制温度变化引起的应力。低热水泥的水化热较低,因此减少了混凝土内部温度的快速升高,有助于减缓裂缝的形成^[3]。使用粒径均匀、热膨胀系数小的骨料有助于减少混凝土内部的温差,通过选择适宜的骨料,能够有效降低混凝土的热膨胀率,减轻温差应力。合理的水灰比、细骨料与粗骨料的比例以及掺合料的使用,有助于控制混凝土的水化热和温度应力。适当的掺合料,如粉煤灰、硅灰等,可以有效降低水化热的释放,减少温度差异。此外,优化混合比还可以提高混凝土的力学性能,进一步增强结构的抗裂能力。

2.3 施工技术改进

在大体积混凝土浇筑过程中,浇筑顺序不合理会导致局部温度过高,产生应力集中。科学合理的浇筑顺序有助于避免温度应力的过度集中,应尽量避免混

凝土浇筑过程中出现冷热不均的情况,以确保混凝土各部分温度变化的均匀性。对于超长混凝土结构,采用分段施工技术可以有效控制温度裂缝。通过将混凝土分段浇筑,控制每段的浇筑量和养护条件,避免单次大规模浇筑带来的过大温差应力。在施工过程中,应根据不同部位的温差变化情况,调整施工节奏与方法。在某些特殊情况下,采用后浇带技术可以有效地降低温差应力对混凝土的影响。通过将大体积混凝土分为多个浇筑段,并在后续施工中加入后浇带,能够有效缓解因温度变化产生的裂缝问题。

2.4 现有温度裂缝控制技术的局限性分析

温控措施和材料优化往往需要额外的投入,如使用低热水泥、冷却管系统和养护设备等,这些技术和措施会增加施工成本,特别是在大型项目中,这些成本会显著提高项目的总费用^[4]。一些温度裂缝控制技术,如冷却管的使用和温控养护,需要精细的施工管理和高技术水平的施工人员。施工中稍有疏忽,会导致温控效果不佳,进而影响裂缝控制效果。

虽然现有技术能够有效控制温度裂缝的产生,但由于混凝土本身的热膨胀特性,完全消除裂缝几乎是不可能的。裂缝的控制更侧重于将裂缝限制在可接受的范围内,避免裂缝对结构造成严重影响。一些技术的适应性较差,特别是在极端气候条件下,现有的温度控制措施无法完全应对极端温差的挑战。施工期间的天气变化会超出预期的温控范围,导致裂缝问题的发生。

3 超长混凝土结构温度裂缝的优化施工技术研究

3.1 新型温度控制技术

智能温控系统通过高度集成的传感器网络、自动化控制系统和远程监控技术,在超长混凝土浇筑过程中实现温度的实时监控和调节。智能温控系统将温度传感器嵌入超长混凝土结构中,传感器可以感知混凝土内部和表面的温度变化。系统通过无线传输或有线网络将温度数据实时传输至中央控制系统,在分析数据后,系统会自动调整温控措施,如控制冷却管的流量或启动温控设备。由于混凝土的温度波动对裂缝的产生有着直接影响,这种实时监控与调节能够有效避免由于温差变化过大而产生的裂缝。例如,浇筑过程中若发生突发性温度升高,系统能够及时检测并调整冷却管的流量,或通过启动专门的温控设备来降低混凝土温度,从而确保混凝土在整个浇筑和硬化过程中温度的均匀性,减少由温差引起的应力集中。

温度场模拟技术是一种利用计算机模拟和数值分析的方法,用于预测超长混凝土结构在浇筑过程中的温度变化^[5]。温度场模拟技术通常结合热传导、对流

和辐射等物理原理,使用有限元分析等数值方法对温度场进行建模和仿真。通过模拟分析,工程师可以提前识别出现温度过高或过低的区域,并制定相应的温控策略。例如,在高温环境下施工时,模拟结果可以显示哪些部分因水化热过大而产生高温差,应通过改变施工工艺或调整温控措施来缓解这一问题。温度场模拟技术的优势在于其能够在施工前进行详细的预测,帮助工程师优化施工计划。施工前的模拟分析可以帮助预测不同工序的温度变化,制定更为科学的施工方案,确保混凝土结构能够在最佳条件下完成浇筑和养护。

3.2 材料创新应用与优化

低水化热水泥是一种在传统水泥的基础上进行优化配比的水泥材料,其主要目的是通过减少水泥水化过程中释放的热量来控制温度升高。低水化热水泥通过减少水泥中某些成分的含量,优化矿物组分,从而有效降低水化热的释放速度和总量。使用低水化热水泥的混凝土在浇筑过程中能够避免因水化热积聚所引起的高温差,减少由温度变化引起的应力。这一技术尤其适用于超长混凝土结构,因为长时间的水化反应和外界温度变化容易在大体积混凝土中造成裂缝。粉煤灰、硅灰等掺合料通过与水泥反应,减少水泥中活性物质的比例,进一步减缓水化热的释放,并有效提高混凝土的抗渗性、抗裂性以及长期耐久性。

自密实混凝土由于其极高的流动性和优异的自密实性,可以避免这种因振动不均造成的温差,降低温度应力的集中^[6]。因此,使用自密实混凝土可以有效减少施工过程中因施工缺陷引起的温度裂缝。自密实混凝土的另一个优势是其均匀性较高,能够在混凝土结构中实现更加均匀的温度分布。这对于超长混凝土结构尤为重要,因为这些结构的尺寸较大,容易出现温差较大的问题,自密实混凝土能够更好地控制混凝土的温度梯度,从而减轻温度应力对结构的影响。

3.3 施工工艺的创新优化

大体积混凝土的浇筑过程中,由于混凝土的大尺寸和较长的水化反应周期,温度梯度容易在结构内部产生。通过合理的施工顺序和时间间隔,将大体积混凝土的浇筑分为多个阶段进行,每一段的浇筑时间控制得当,有助于温度应力的均匀分布。在分段施工过程中,合理规划每一段混凝土的浇筑时间,可以有效避免混凝土在不同段之间产生过大温差。通过适当的浇筑顺序,可以确保每一段混凝土在浇筑后的温度升降过程得到充分控制,从而避免因过快或过慢的浇筑速度造成的局部温差。分段施工不仅有助于温控,还可以通过分阶段的监测与调整,提高施工的安全性和

可控性。每个施工阶段的温度和湿度等参数都可以独立监控,确保每一段混凝土都符合温控要求,减少裂缝的风险。

温度裂缝的产生不仅与混凝土的温升速度有关,还与初始浇筑温度的高低密切相关。预冷骨料是减少混凝土初始温度的有效方法,通过将骨料冷却至适当温度,可以降低混凝土在浇筑初期的温度^[7]。使用冰水来搅拌混凝土,或者在混凝土浇筑前将搅拌水冷却,能够有效降低混凝土的温度,从而减少水化热的释放速度,降低温度裂缝的发生概率。在混凝土浇筑完成后,为了避免混凝土表面温度过快降低导致的温差,应采用保温层或隔热材料包裹混凝土表面。保温措施能够有效减少混凝土在养护阶段的热量流失,保持内部温度稳定,防止裂缝的形成。特别是在低温环境下,保温措施显得尤为重要,因为混凝土在低温条件下容易发生温差裂缝。

4 结束语

超长混凝土结构温度裂缝主要来源于温差应力、水泥水化热的影响、环境因素以及施工工艺的不足。通过智能温控系统、温度场模拟技术、低水化热水泥的使用、自密实混凝土的应用、分段施工与适时浇筑、预冷与保温措施等优化措施,能够有效控制温差应力、减少水化热和温度变化的影响,从而显著降低温度裂缝的发生概率。优化施工技术在超长混凝土结构温度裂缝控制中具有重要意义,不仅能提高结构的耐久性和安全性,还能在实际工程中降低维修成本,延长建筑使用寿命,为未来工程实践提供了宝贵的技术指导和实践经验。

参考文献:

- [1] 杜新梅.超长建筑结构温度应力及裂缝控制探究[J].砖瓦,2024(12):86-88.
- [2] 王立志.超长混凝土结构收缩徐变机理及抗裂技术研究[J].城市建筑,2024,21(19):195-197.
- [3] 郑聪.超长结构温度应力问题分析与探讨[J].福建建设科技,2024(01):49-51,74.
- [4] 王泽民.超长混凝土质量控制技术研究[J].四川建材,2023,49(12):134-135,147.
- [5] 朱浩川,肖志斌,邵剑文,等.超长混凝土结构温度效应有限元分析及裂缝控制措施[J].建筑结构,2023,53(09):123-127,52.
- [6] 亢毅.超长混凝土结构设计中基本问题研究与工程实践[J].陶瓷,2023(03):134-136.
- [7] 仲鑫,杜鑫,徐浩峻,等.超长结构混凝土裂缝控制技术[J].城市建筑空间,2022,29(S2):452-453.