

大体积混凝土温控防裂新型冷却系统优化研究

赵烨

长春空港翔悦投资有限公司，吉林长春，130000；

摘要：大体积混凝土在建筑工程中广泛应用，但其温控防裂问题一直是工程界关注的重点。本文针对大体积混凝土温控防裂的需求，对新型冷却系统进行优化研究。通过分析大体积混凝土温度裂缝产生的原因，阐述了新型冷却系统的工作原理和优势。利用数值模拟与实验相结合的方法，对冷却系统的关键参数进行优化分析，包括冷却水管布置方式、水流速度、水温等。研究表明，优化后的新型冷却系统能够有效降低大体积混凝土内部温度峰值，减小内外温差，显著提高混凝土的抗裂性能，为大体积混凝土工程的温控防裂提供了可靠的技术支持。

关键词：大体积混凝土；温控防裂；新型冷却系统

DOI：10.69979/3029-2727.25.09.019

引言

大体积混凝土因体积大、水泥用量多，水化时释放大热量，使内部温度骤升。当内外温差超限，产生的温度应力若超过混凝土抗拉强度，就会出现裂缝，影响结构外观、整体性、耐久性和抗渗性，甚至威胁安全，故温控防裂是关键。传统措施如减少水泥用量、用低水化热水泥等有局限，难以满足需求。新型冷却系统的出现提供了新方案，优化该系统对提升温控防裂效果、保障工程质量意义重大。

1 大体积混凝土温度裂缝产生的原因

1.1 水泥水化热

水泥在水化过程中会释放出大量的热量，这是大体积混凝土内部温度升高的主要原因。由于大体积混凝土体积较大，热量不易散发，导致混凝土内部温度持续上升，形成较大的温度梯度。在混凝土内部温度升高的同时，其表面温度则受环境温度影响较大，相对较低。这种内外温差会使混凝土内部产生压应力，表面产生拉应力。当拉应力超过混凝土的抗拉强度时，混凝土表面就会出现裂缝。随着混凝土内部温度的逐渐降低，内部混凝土开始收缩，由于受到基础或已硬化混凝土的约束，会在混凝土内部产生拉应力，可能导致混凝土内部出现裂缝，甚至贯穿裂缝。

1.2 混凝土的收缩

混凝土在硬化过程中会发生收缩，主要包括塑性收缩、干燥收缩和自收缩。塑性收缩发生在混凝土浇筑后的早期，此时混凝土处于塑性状态，表面水分蒸发过快，导致混凝土表面失水收缩，而内部混凝土由于水分尚未散失，体积不变，从而使表面混凝土受到内部混凝土的约束，产生拉应力，当拉应力超过混凝土的抗拉强度时，

就会出现塑性裂缝。干燥收缩是由于混凝土内部水分逐渐散失，引起混凝土体积收缩。在大体积混凝土中，由于内部水分向外迁移困难，表面混凝土首先干燥收缩，内部混凝土对表面混凝土产生约束，同样会产生拉应力，导致裂缝产生。自收缩是由于水泥水化反应消耗水分，使混凝土内部产生自干燥现象，引起混凝土体积收缩。自收缩在大体积混凝土中也不容忽视，特别是对于高强混凝土和高性能混凝土，自收缩可能会导致混凝土内部出现微裂缝，降低混凝土的耐久性。

1.3 外界约束条件

大体积混凝土在浇筑和硬化过程中，会受到基础、模板以及相邻已硬化混凝土的约束。当混凝土内部温度发生变化产生变形时，由于受到这些约束的限制，不能自由变形，从而在混凝土内部产生应力。例如，当混凝土基础与地基之间存在较强的摩擦力时，混凝土在温度变化作用下的膨胀和收缩受到阻碍，会在混凝土内部产生较大的应力。此外，混凝土浇筑分层施工时，新浇筑混凝土与下层已硬化混凝土之间也会产生约束作用，影响混凝土的温度应力分布。当温度应力超过混凝土的极限抗拉强度时，就会引发裂缝。

2 新型冷却系统的工作原理及优势

2.1 工作原理

新型冷却系统主要通过在大体积混凝土内部埋设冷却水管，利用循环冷却水带走混凝土内部的热量，从而降低混凝土内部的温度。冷却水管一般采用导热性能良好的金属管或塑料管，按照一定的间距和布置方式埋设在混凝土中。冷却水从进水口流入冷却水管，在管内流动过程中吸收混凝土内部的热量，然后从出水口流出。通过调节冷却水的流量、水温以及通水时间，可以精确

控制混凝土内部的温度变化。一些新型冷却系统还配备了智能化的监测和控制系统,能够实时监测混凝土内部的温度、冷却水的流量和温度等参数,并根据预设的温控目标自动调整冷却系统的运行参数,实现对混凝土温度的精准调控。

2.2 优势

相比传统的温控措施,新型冷却系统具有以下显著优势:

高效降温:能够直接将混凝土内部的热量带走,降温效果显著,可有效降低混凝土内部的温度峰值,减小内外温差,从而降低温度应力,减少裂缝产生的风险。

精准调控:通过智能化的监测和控制系统,可以根据混凝土的实际温度变化情况,实时调整冷却系统的运行参数,实现对混凝土温度的精准控制,满足不同工程对温控的严格要求。

适应性强:适用于各种规模和类型的大体积混凝土工程,无论是高层建筑的基础底板、大型桥梁的承台,还是水利工程中的大坝等,都能发挥良好的温控效果。

可重复利用:冷却水管在混凝土浇筑完成后,部分系统的冷却水管可以回收重复利用,降低了施工成本。

3 新型冷却系统的优化分析

3.1 数值模拟模型的建立

为了深入研究新型冷却系统的性能,优化其关键参数,利用有限元软件建立大体积混凝土温度场和应力场的数值模拟模型。在模型中,充分考虑混凝土的热物理参数(如导热系数、比热容、热膨胀系数等)、水泥水化热的放热规律、冷却水管的布置方式、水流速度、水温以及环境温度等因素的影响。采用合适的单元类型对混凝土和冷却水管进行网格划分,确保模型能够准确模拟混凝土内部的温度分布和变化情况。通过与实际工程案例或实验数据对比,验证数值模拟模型的准确性和可靠性。

3.2 冷却水管布置方式的优化

冷却水管的布置方式对大体积混凝土的温控效果有着重要影响。研究不同的布置间距、层数和排列方式对混凝土温度场的影响。通过数值模拟分析发现,减小冷却水管的布置间距可以增强冷却效果,但同时会增加施工成本和难度;增加冷却水管的层数可以提高冷却效率,但需要合理设计各层水管的通水时间和流量,避免出现冷却不均匀的情况。综合考虑温控效果和经济性,确定最优的冷却水管布置方式。例如,对于厚度较大的大体积混凝土,可以采用多层冷却水管布置,上层水管主要控制混凝土表面温度,下层水管重点降低混凝土内

部温度;在水平方向上,根据混凝土结构的形状和尺寸,采用均匀布置或变间距布置的方式,使冷却效果更加均匀。

3.3 水流速度的优化

水流速度是影响冷却系统散热效率的关键参数之一。较高的水流速度可以带走更多的热量,但会增加水泵的能耗和冷却水管的压力损失;较低的水流速度则可能导致冷却效果不佳。通过数值模拟和理论分析,研究水流速度与混凝土内部温度降低速率、散热效率之间的关系。建立数学模型,以混凝土内部温度满足温控要求且能耗最小为目标函数,求解最优的水流速度。实验研究也表明,在一定范围内,随着水流速度的增加,混凝土内部温度降低速率加快,但当水流速度超过某一临界值时,温度降低速率的增加幅度逐渐减小,而能耗却大幅增加。因此,需要根据具体工程情况,合理选择水流速度,在保证温控效果的前提下,实现节能降耗。

3.4 水温的优化

冷却水温对大体积混凝土的温控效果也有重要影响。较低的水温可以提高冷却系统的散热能力,但如果水温过低,会导致混凝土内部与冷却水管之间的温差过大,可能在混凝土内部产生较大的温度应力,增加裂缝产生的风险。通过数值模拟分析不同水温条件下混凝土内部的温度分布和应力变化情况,确定合适的水温范围。在实际工程中,可以根据混凝土的浇筑温度、环境温度以及温控要求,动态调整冷却水温。例如,在混凝土浇筑初期,由于水泥水化热释放较快,内部温度上升迅速,可以适当降低冷却水温,加快散热速度;在混凝土温度下降阶段,逐渐提高冷却水温,减小混凝土内部与表面的温差,避免温度应力过大。

4 新型冷却系统的实验研究

4.1 实验方案设计

为了验证数值模拟优化结果的准确性和新型冷却系统的实际性能,进行实验研究。设计制作大体积混凝土试件,在试件内部按照优化后的冷却系统方案埋设冷却水管。设置不同的实验组,分别研究冷却水管布置方式、水流速度、水温等参数对混凝土温度变化的影响。在试件内部和表面布置多个温度测点,采用高精度温度传感器实时监测混凝土在浇筑后不同时刻的温度变化情况。同时,记录冷却系统的运行参数,如水流速度、水温等。实验过程中,模拟实际工程中的施工条件 and 环境因素,确保实验结果具有较高的可靠性和参考价值。

4.2 实验结果分析

对实验数据进行整理和分析,与数值模拟结果进行

对比。实验结果表明,优化后的新型冷却系统能够有效降低大体积混凝土内部的温度峰值,减小内外温差,与数值模拟结果基本吻合。在不同的冷却水管布置方式下,混凝土内部温度分布存在明显差异,按照优化方案布置的冷却水管能够使混凝土内部温度更加均匀,温度峰值降低更为显著。改变水流速度和水温对混凝土温度变化也有显著影响,当水流速度和水温在优化范围内时,混凝土内部温度能够得到有效控制,且温度降低速率较为合理,符合温控防裂的要求。实验结果进一步验证了数值模拟优化方法的有效性和新型冷却系统的良好性能。

5 工程应用案例分析

5.1 工程概况

某大型桥梁工程的承台采用大体积混凝土浇筑,承台尺寸为长 \times 宽 \times 高=20m \times 15m \times 5m,混凝土设计强度等级为C40。由于承台体积较大,水泥水化热产生的温度问题对混凝土的质量和耐久性影响较大,为了有效控制混凝土内部温度,防止裂缝产生,决定采用新型冷却系统进行温控防裂。

5.2 新型冷却系统的应用

根据工程特点和温控要求,对新型冷却系统进行优化设计。冷却水管采用直径为50mm的薄壁钢管,按照间距1.0m \times 1.0m呈梅花形布置,共布置3层,层间距为1.5m。冷却系统配备了智能化的监测和控制系统,能够实时监测混凝土内部温度、冷却水的流量和温度等参数。在混凝土浇筑前,对冷却系统进行调试,确保其正常运行。混凝土浇筑过程中,按照预设的温控方案,调节冷却水的流量和水温。在混凝土浇筑初期,将水流速度控制在1.5m/s左右,冷却水温控制在15 $^{\circ}$ C,随着混凝土内部温度的升高,适当增加水流速度至2.0m/s,同时根据温度监测情况,动态调整冷却水温,使混凝土内部与表面的温差始终控制在25 $^{\circ}$ C以内。

5.3 温控效果评估

在混凝土浇筑后的养护期间,通过温度监测系统对混凝土内部温度进行持续监测。监测数据表明,采用新型冷却系统后,混凝土内部温度峰值得到了有效控制,最高温度为65 $^{\circ}$ C,较未采用冷却系统时降低了15 $^{\circ}$ C左右。混凝土内部与表面的温差始终控制在设计要求的范围内,未出现温度裂缝。通过对承台混凝土的外观检查和钻芯取样检测,混凝土质量良好,各项性能指标均满足设计要求。该工程应用案例表明,优化后的新型冷却系统在大体积混凝土温控防裂方面具有显著的效果,能够有效保障工程质量和安全。

6 结论与展望

6.1 结论

大体积混凝土温度裂缝产生的主要原因包括水泥水化热、混凝土收缩以及外界约束条件等,这些因素相互作用,增加了混凝土温控防裂的难度。

新型冷却系统通过在混凝土内部埋设冷却水管,利用循环冷却水带走热量,具有高效降温、精准调控、适应性强和可重复利用等优势,为大体积混凝土温控防裂提供了一种有效的解决方案。

通过数值模拟与实验研究相结合的方法,对新型冷却系统的关键参数进行优化分析,确定了最优的冷却水管布置方式、水流速度和水温等参数,提高了冷却系统的温控效果和节能性能。

工程应用案例表明,优化后的新型冷却系统能够有效降低大体积混凝土内部温度峰值,减小内外温差,防止温度裂缝的产生,保障了工程质量和安全。

6.2 展望

尽管新型冷却系统在大体积混凝土温控防裂方面取得了良好的效果,但仍有一些问题需要进一步研究和改进。未来的研究可以从以下几个方面展开:

进一步研发高性能的冷却水管材料,提高冷却水管的导热性能和耐久性,降低冷却水管的成本。

深入研究大体积混凝土在复杂环境条件下的温度场和应力场变化规律,完善新型冷却系统的设计理论和方法,提高温控防裂的可靠性。

加强智能化技术在冷却系统中的应用,开发更加先进的监测和控制系统,实现对大体积混凝土温度的实时、精准调控,提高施工过程的自动化水平。

开展新型冷却系统与其他温控防裂措施的协同作用研究,探索更加综合、有效的大体积混凝土温控防裂技术体系,为工程建设提供更可靠的技术支持。

参考文献

- [1]何德文.大体积混凝土水循环温控系统施工方法研究[J].价值工程,2024,43(27):16-19.
- [2]刘雄,黄胜春,熊焰,等.大体积混凝土温控系统:201520240586[P][2025-07-04].
- [3]韩燕,黄达海,王汉姣.高拱坝混凝土二期冷却优化研究[J].云南水力发电,2007.DOI:JournalArticle/5aea2983c095d713d8a33c30.

作者简介:姓名:赵烨,性别:男,出生年月:1976年9月,籍贯:吉林省长春市,职称:副高级工程师,研究方向:土木工程,学历:大学本科。