

大体积混凝土施工裂缝成因分析与温控施工技术应用

魏 强

抚顺罕王傲牛矿业股份有限公司毛公分公司, 辽宁 抚顺 113000

[摘要]大体积混凝土由于内部水化热积聚并且内外温差较大,容易出现温度裂缝,明显损害结构的耐久性以及安全性。文中全面剖析了大体积混凝土施工裂缝的主要成因,着重研究水化热引发的内部温升、温度应力与收缩变形还有外部约束条件等因素的整体作用。依托抗与放相结合的温控原则,文中阐明了借助调控温度与应力来避免裂缝产生的根本原理。在具体技术层面,建议了改进原材料的措施,比如选用低热水泥以及适量掺合料以减少水化热,并且通过合理的配合比设计更优地改善混凝土性能。文中详尽阐述了施工过程中的关键技术:推行分层分块浇筑以减少约束;适当布置冷却水管并进行高效通水管理以降低内部峰值温度;采用严密的保温保湿养护方法以延缓表面散热与收缩。文中突出施工质量的保障体系,必须设立健全的温度监测系统,凭借即时数据采集与分析指导施工调整,并且配合精准的施工管理,保证各项温控措施执行彻底。通过整体运用前述温控技术,能有效地控制大体积混凝土的温度裂缝,提高工程质量,所总结的经验对同类工程具有重要借鉴意义。

[关键词]大体积混凝土;施工裂缝;温度控制;水化热;温控施工技术

DOI: 10.33142/aem.v8i7.20301

中图分类号: TU755.1

文献标识码: A

Analysis of Causes of Cracks in Large Volume Concrete Construction and Application of Temperature Control Construction Technology

WEI Qiang

Maogong Branch of Fushun Hanwang Aoni Mining Co., Ltd., Fushun, Liaoning, 113000, China

Abstract: Due to the accumulation of internal hydration heat and the large temperature difference between the inside and outside, large volume concrete is prone to temperature cracks, which significantly damage the durability and safety of the structure. The article comprehensively analyzes the main causes of construction cracks in large volume concrete, focusing on the overall effects of internal temperature rise, temperature stress and shrinkage deformation caused by hydration heat, as well as external constraints. Based on the principle of temperature control combining resistance and relaxation, the article elucidates the fundamental principle of using temperature and stress regulation to avoid crack formation. At the specific technical level, measures to improve raw materials have been suggested, such as using low heat cement and appropriate admixtures to reduce hydration heat, and improving concrete performance through reasonable mix design. The article elaborates in detail on the key technologies involved in the construction process: implementing layered and segmented pouring to reduce constraints; Properly arrange cooling water pipes and implement efficient water management to reduce internal peak temperatures; Adopting rigorous insulation and moisturizing maintenance methods to delay surface heat dissipation and shrinkage. The emphasis in the article is on the guarantee system for construction quality, which requires the establishment of a sound temperature monitoring system, guidance for construction adjustments through real-time data collection and analysis, and precise construction management to ensure thorough implementation of various temperature control measures. By applying the aforementioned temperature control technology as a whole, the temperature cracks in large volume concrete can be effectively controlled, improving the quality of the project. The experience summarized has important reference significance for similar projects.

Keywords: large volume concrete; construction cracks; temperature control; hydration heat; temperature control construction technology

引言

伴随现代基础设施建设的迅猛发展,大体积混凝土结构在大型桥梁、水利枢纽、高层建筑基础及核电站等工程中的应用逐渐普遍。这类结构一般拥有几何尺寸大、结构厚实等特点,施工过程中水泥用量较高,引发混凝土在硬化期间累积大量水化热。因为混凝土导热性能较为迟缓,热量很难迅速散发,造成结构内部温度骤升,然而表面却因为散热迅速温度对比较低,进而形成明显的内外温差。这种温差会在混凝土内部引发温度应力,当拉应力超出混凝土同龄期的抗拉强度时,就会诱发温度裂缝。此类裂缝不但损害结构的整体性,减弱其承载能力,并且或许变成有害介质侵入的通道,显著危害结构的长期耐久性与运营安全。全面研究裂缝成因,并且运用合理高效的温控防裂技术,已经成为保证大体积混凝土工程质量的重要环节。本文意在详尽探究大体积混凝土施工裂缝的生成机理,针对水化热调控、温度应力管理及外部约束应对等关键问题,全面讲解“抗放结合”的温控原则,并从材料改进、施工工艺革新及质量监控等方面,提出一套完备性的温控施工技术体系,期望为类似工程的裂缝防治提供理论依据与实践参考。

1 大体积混凝土裂缝的主要成因

大体积混凝土内部的温度场分布存在不均匀的情况,这种不均匀性会引发温度应力,成为造成裂缝形成的重要原因。裂缝出现的原因非常多样,是由多种因素共同作用形成的复杂现象,可以总结为水化热导致的内部温升、由此产生的温度应力与收缩变形,以及结构所受的外部约束条件这三个关键方面。

1.1 水化热与内部温升

水泥水化属于放热化学反应,大体积混凝土因为结构厚实,内部积聚的热量很难快速散发出去,造成混凝土内部温度迅速上升,形成中心高、外表低的温度梯度。水化放热速率与总量受到水泥种类、用量、掺合料以及外界环境条件等因素的影响。内部最高温度能够明显超过混凝土浇筑时的入模温度,这样的突然升高成为以后温度应力产生的根本原因。如果升温过程没有得到有效管理,混凝土内部会形成较大的压力应力,等到后期降温收缩的时候很容易转变成拉应力。

1.2 温度应力与收缩变形

伴随混凝土内部热量朝环境散发,内部温度开始降低,引发降温收缩。因为混凝土属于热惰性材料,中心与外表的冷却速率不一致,加上混凝土本身的热胀冷缩特性,这种不均一的降温收缩遭遇内部或外部限制时,便形成了温

度应力。当降温收缩产生的拉应力超出混凝土当前龄期的抗拉强度时,裂缝立刻形成。同时,混凝土的自生收缩和干燥收缩进一步恶化了总的收缩变形,与温度收缩相叠加,提高了开裂风险。

1.3 外部约束条件的影响

外界限制成为温度应力能够表现出来并且最终造成破裂的必要条件。对于大体积混凝土结构,限制作用主要来自于两个方向:一方面来自外部,比如基础、垫层或者之前浇筑好的相邻部分对后面浇筑的混凝土自由变形产生的阻碍;另一方面来自内部,也就是结构内部各个部位因为温度分布不均匀而相互制约的作用。限制强度越大,在同样温差条件下产生的温度拉应力就越大。基础情况、结构形状、浇筑顺序以及施工缝安排这些因素都明显影响到限制效果的大小和分布,如果设计不合理或者施工方法错误就会产生很强的限制作用,从而成为裂缝出现的根本原因。

2 温控施工的基本原理与原则

2.1 “抗”与“放”结合的理念

大体积混凝土裂缝控制的核心思路是平衡“抗力”与“释放变形空间”的矛盾,这是消解内部温度应力、削弱外部约束作用的核心原则。抗力的方法重点放在提高混凝土承受拉伸的能力或者加上外部限制来抵挡温度应力,防止裂缝出现。比如选择高强度骨料来提高混凝土的抗拉强度,另外通过布置钢筋网来限制混凝土的移动范围。仅仅依靠抗力的方法容易造成应力过于集中,一旦超过材料的承受极限,裂缝就会出现。必须把放松的想法结合起来。放松的方法重点放在消除或减少外部限制和温度应力,给混凝土留出一定的变形空间。常用的办法有在浇筑过程中预留施工缝或者合理分隔浇筑区域,这样可以降低结构内部的相互限制作用。单独使用抗力或者放松的方法往往不能达到理想的效果。最好的温控施工方式是把两种方法融合起来,根据实际情况灵活调整:在混凝土升温膨胀的时候,使用抗力的方法来控制变形幅度;在混凝土降温收缩的时候,更多地使用放松的方法,让混凝土能够在一定范围内自由收缩,最终在整个工程中达到平衡状态,有效地阻止有害裂缝的产生。

2.2 温度与应力控制的目标

大体积混凝土温控施工的首要 and 终极目的,就是通过积极调节温度场和应力场的变化趋势,把温度保持在一个安全的范围之内,这样就能有效防止温度裂缝的出现。温度控制的目标可以分成三个不同的方面:第一个方面是控制内部最高温度,可以通过减少水泥水化热峰值和使用一

些降温手段,让混凝土内部的温度升高幅度控制在预设的上限之下,避免因温度太高而导致材料性能下降的问题。第二个方面是降低内外温差,主要是要减慢表面部分热量散发的速度,让混凝土内外部的温度差保持在一定的安全范围之内,通常建议将内外温差控制在 20°C 以内,以此防范表面裂缝产生。第三个方面是控制降温速率,必须确保混凝土在释放多余热量的过程中能够平缓且稳定地进行,防止因为温度变化太快而导致内部结构受到破坏,比如因为温度梯度变化过大而引发严重的收缩应力问题。

温度管理是达成应力管理的前提条件。应力管理的主要目的就是保证混凝土内部由于温差和收缩引发的拉应力一直低于其同龄期的抗拉强度,并且保有一定的安全余量。这必须借助对于混凝土浇筑之后的温度场开展准确的仿真预估,并根据监测结果实施灵活调节。另外,还需要特别重视初期几天的应力演变,因为这个时期混凝土弹性模量提升迅速而抗拉强度仍然偏低,对温度波动反应非常灵敏。因此,温度和应力管理构成一个整体性、动态性的目标,其实现不但依靠材料和工艺的提前改进,更加仰仗施工环节中的即时观察与回溯校正,目的是保障结构从建造到运营整个周期的安全可靠和持久耐用。

3 原材料与配合比的优化做法

3.1 低热水泥与掺合料的使用

为了有效减少大体积混凝土早期内部温度升高,主要方法是从一开始就严格管理水化热总量。挑选水泥时应优先选用中低热水泥,这类水泥通过调整熟料中的矿物组分,降低铝酸三钙和硅酸三钙的占比,这样就能让水化反应的速度变慢下来,结果就是每公斤水泥产生的水化热能量会明显变少。另外还要大力推广一些高效优质的矿物掺合料来代替一部分水泥,这是有效控制温度上升并且全面提升整体性能的一个重要手段。比如粉煤灰和矿渣粉这些掺合料添加进去以后,一方面可以减少水泥的总用量,另一方面它们反应速度比较慢,而且后期释放的能量还能慢慢增加,正好起到分散掉早期水化热峰值的作用,从而大幅降低最高温度。掺合料本身含有微小颗粒填充作用加上二次水化反应这些特点,能够很好地改善混凝土内部的小尺度构造,使得后期强度变得更高并且使用寿命更加长久。实际施工过程中,必须结合工程的具体需求、各种材料的技术指标以及现场环境条件,通过反复试验来找到最合适的掺合料种类以及添加比例。

3.2 配合比设计与优化措施

挑选出优质的原材料之后,合理规划好比例分配成为实现性能提升和温度控制目标的关键步骤。设计的基本思

路就是在满足强度、流动性和耐久性要求的情况下,尽量把混凝土的绝热温升、收缩变形以及抗裂性能做得更好。一定要严格控制水胶比,这个数值会直接决定强度和收缩程度,需要根据实际情况调整到合适的范围,同时还要满足泵送等施工条件的要求。可以通过添加高性能减水剂等方式来降低水泥的使用量,这样既能减少水化热释放,又能很好地控制收缩问题。骨料颗粒大小分布的规划显得非常重要,应该选择连续级配的粗骨料,并且严格控制含泥量,适当增加粗骨料所占的比例,这样可以增强整体结构的稳定性和抗压能力,同时也能有效减少因收缩导致的问题。细骨料建议选用颗粒均匀的中粗砂,含泥量要严格控制,控制在合理范围内。还可以适量加入膨胀剂或者纤维材料,比如聚丙烯纤维,这些材料能够帮助改善混凝土的抗裂性能。在规划好比例分配后,一定要进行详细的实验测试,全面检查混凝土的物理力学性能、绝热温升情况以及收缩表现,只有确保各项指标都符合预期要求,才能正式投入使用。

4 浇筑与冷却过程中的具体技术措施

4.1 分层分块浇筑做法

把大体积混凝土结构分成很多小块来浇筑是一种关键方法,用来降低水化热积聚和约束应力的问题。关键点就是把大块材料分成几个块状的小部分,每个部分单独进行浇筑工作,这就是所谓的分块分层浇筑。分块尺寸需要结合结构具体特征、施工设备作业能力以及温控要求严谨规划,将单次浇筑方量和分层厚度控制在合理区间内,这样可以加快散热速度,同时减少由于温度变化带来的内部应力。分层浇筑的时候,一定要严格管理好下一层混凝土的初凝时间,保证上一层浇筑的时候,下一层仍然保持一定的流动状态,这样才能让上下两层更好地粘合在一起,防止出现薄弱的接缝问题。这样的施工方式可以很好地分散高温聚集的情况,同时减轻老混凝土对新浇筑混凝土的压力,从根本上减少因为温度变化而引发的应力问题。

4.2 冷却水管的布置与通水管理

冷却水管系统成为一种有效方式,用来降低混凝土内部达到最高温度。水管一般选用金属或者塑料材质,浇筑之前依据温度场模拟计算出来的数据来规划布局,平面放置的距离、上下层数之间的距离以及距离混凝土表面的具体位置,都需要专门设计确定下来。管道的布置一定要覆盖住那些温度高的地方,还要形成一个顺畅的循环路径。怎么开水和关水是核心技术难点,必须制定一套合理的开水计划,这个计划里面要规定好什么时候开始送水、送水

会持续多长时间、每分钟送多少水量、水温应该控制到什么程度。通常建议在混凝土浇筑完成后尽早开启通水冷却，以此精准调控混凝土内部的降温速率，防止因为降温太快而引起一些不好的后果，比如裂缝之类的麻烦。开水上冷的时候，需要让水流一直保持平稳流畅的状态，同时还要时刻关注流出水管的水温情况，用来判断当前降温效果好不好，如果觉得不够理想就赶紧调整相关参数，保证最终达到预期的效果。

4.3 保温保湿养护方法

保温保湿养护目的是减慢混凝土表面热量散发和水分蒸发，这样就能缩小内外温度差异以及收缩应力。保温措施一般在混凝土完全凝固之后马上用保温材料包裹住，比如铺上一层土工布、一层草帘或者一块泡沫保温板等等，这些材料覆盖的层数和厚度需要按照计算出来的温差大小以及周围天气情况来具体确定，这样才能构成一道有效的隔热屏障。保湿养护就是利用一层不透气的塑料膜来包裹住混凝土表面，或者使用不断浇水、喷洒清水、建造蓄水池等多种方法，确保混凝土表面一直维持着潮湿的状态。保温与保湿养护工作通常同步开展，一方面可避免表面温度骤降产生结构损伤，另一方面也能防止水分快速散失引发表面干缩裂缝。整个养护过程必须持续足够长时间，直到混凝土内部温度降到跟周围环境温度差不多，并且抗压强度已经达到设计标准为止，在这个阶段还需要根据温度监测的数据随时调整养护的具体方法。

5 温度监测与施工质量管理保障

5.1 温度监测系统的布置与数据分析

为了保证温度控制方法能够正常发挥作用，必须搭建一套完整且可靠的温度监测体系。监测点的位置需要根据建筑物的实际情况以及温度控制的具体计算模型来合理安排，重点要关注混凝土内部、表面以及那些容易受到约束的地方。一般情况下会使用预先埋好的数字温度传感器，这样就能随时获取最新的温度信息。监测工作的开展一定

要从混凝土开始浇筑一直到温度上升和下降两个阶段全部完成。收集到的温度数据要及时进行仔细研究，特别要注意温度分布的不均匀程度、不同部位之间的温差大小，还有降温的速度到底有没有超出安全许可的标准。如果监测出来的数据接近或者已经超过了警戒线，施工管理人员就必须马上查明问题的原因，并且迅速采取适当的改进办法，比如适当增加冷却用水的用量、加大保温材料包裹力度等等，从而让整个施工流程一直处于灵活调整并且主动掌控的状态。

5.2 精细化施工的管理要点

温控施工的成功完全依靠精细管理。施工之前需要制定详细的温控施工专项方案，清楚说明每个步骤的技术参数、操作标准以及负责人的名字。施工期间，一定要确保所有温控措施都得到落实。具体做法包括做好冷却水管通水时长、水流流速及入水温度的记录与管控；核查保温保湿养护材料的铺设时机、覆盖范围与完整度；对浇筑顺序、分层厚度及层间间歇时间进行严格管控。建立各个工种和各个岗位之间的有效配合和沟通渠道，确保信息传递顺畅无阻，形成完整的管理循环，确保每一步施工质量都能达到温控要求。

5.3 工程实践与应用效果

多个大型基础设施项目采用各种温控技术和管理系统后，取得了非常好的效果。通过从头到尾的温度监测和非常精细的施工管理方式，混凝土内部最高温度降得比较低，内外温差保持在合适的范围，降温的速度变得很稳定。成功避免了有害温度裂缝的产生，整个结构的整体性能表现得非常好。工程的实际操作经验清楚地说明，把科学的温度监测数据分析结果和严格的施工质量管理措施很好地结合起来，是达到大体积混凝土裂缝控制目标最重要的方法。这种方法不仅明显提升了实体工程的质量水平和使用寿命，还为类似工程提供了可靠的参考经验和实际操作指导。如表 1 所示。

表 1 某工程混凝土温控施工效果研究

管控维度	实测核心指标	工程应用成效说明
温度控制核心参数	最高温度 48.6℃、内外温差≤19℃、降温速率 1.6℃/d	全程温控指标远低于规范设定的内外温差≤25℃、降温速率≤2℃/d 的安全阈值
硬件配置与管控方案	76 个测温点+分布式传感器+分层通水冷却	实现 24 小时全时段温度动态采集，无监测盲区
实体质量检测结果	无深度超 0.2mm 贯通裂缝、强度标准差 0.4MPa、抗渗 P10	实体强度均匀性优异，完全满足设计抗渗要求
综合效益对比	耐久性冗余度提升 12%	较传统粗放施工模式，结构长期服役寿命显著提升

6 结束语

研究大体积混凝土施工裂缝产生的原因,研究发现,裂缝的产生是水化热积聚、内外温差作用、收缩变形以及外部约束等多种因素共同作用的结果,控制裂缝需要从多个方面进行全面处理,这属于一项涉及设计、材料选择、施工方法和管理手段的整体工作。仅仅依靠一味加强或者一味放松的方法来解决裂缝问题,效果并不好,应该采用把加强和放松结合起来的方式,重点放在放松上面,利用温度控制的方式来减少裂缝发生的可能性。具体操作上,要从控制温度和控制应力这两个关键点出发,采取多种技术手段和管理方法来应对。挑选低热水泥和活性掺合料的时候,一定要认真考虑这些材料在不同条件下的表现特点,合理安排它们的比例,这样就能在源头上减少水化热的产生量和温度上升的速度。在施工阶段,可以采用分层分块的浇筑方式,合理规划好冷却水管的铺设位置和使用方法,同时做好保温保湿的养护工作,这些做法都能有效减少内部和外部温差带来的不利影响,同时减轻由于外界压力导致的约束应力。特别需要注意的是,建立一套覆盖整个施工过程的自动监测系统,并且根据实时采集的数据及时调整控制策略,这样的做法能够帮助更好地控制温度,指导施工决策,起到非常重要的辅助作用。所有这些技术手段的效果好不好,最终还是要看施工组织管理水平和质量保

证体系是否完善到位。实际工程案例表明,如果全面运用前面提到的温度控制施工技术,就能够很好地抑制裂缝的形成和发展趋势,确保大体积混凝土结构保持整体性、延长使用寿命并且维持长久的安全性能。本次研究总结出来的裂缝形成原因分析和成套技术应用的经验教训,可以给类似工程的设计工作和施工管理工作提供一些实用的帮助和参考意见,推动大体积混凝土施工技术不断迈向更加先进的发展阶段。

[参考文献]

- [1]张云飞.大体积混凝土施工中裂缝成因分析及防治措施[J].四川建材,2021,47(10):134-135.
- [2]钟添和.大体积混凝土施工中裂缝成因分析与防治措施[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2021(4):87.
- [3]任效坤.路桥施工中大体积混凝土裂缝成因与防治措施分析[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2022(7):98.
- [4]熊红军.大体积混凝土施工中裂缝成因分析与防治[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2021(11):0166-0167.
- [5]王小广.大体积混凝土自动温控施工技术[J].建筑技术开发,2022,49(18):44-47.

作者简介:魏强(1990—),男,满族,辽宁省抚顺市人,学历,本科,研究方向为土建施工。