

大体积混凝土施工裂缝控制技术与工程应用

赵言

中国二十二冶集团有限公司, 河北 唐山 063000

[摘要]大体积混凝土施工时, 因水化热易集聚、温度梯度往往较大等情况会使它极易产生温度裂缝, 从而严重影响结构安全与耐久性。为有效控制裂缝形成, 需要对材料选用、配合比优化、浇筑工艺、养护措施和温度监测等方面进行系统分析, 提出温控和应力控制并重的综合技术体系, 并用典型工程实例验证其可行性和效果。结果显示, 合理的裂缝控制策略可显著降低开裂风险, 确保结构整体性能和长期使用安全。

[关键词]大体积混凝土; 温度裂缝; 施工技术; 温控措施; 结构耐久性

DOI: 10.33142/ect.v3i7.17169

中图分类号: TU755

文献标识码: A

Research and Engineering Application of Crack Control Technology in Large Volume Concrete Construction

ZHAO Yan

China MCC22 Group Corporation Ltd., Tangshan, Hebei, 063000, China

Abstract: During the construction of large volume concrete, the accumulation of hydration heat and large temperature gradients can easily cause temperature cracks, which seriously affect the safety and durability of the structure. To effectively control the formation of cracks, it is necessary to conduct a systematic analysis of material selection, mix proportion optimization, pouring process, curing measures, and temperature monitoring. A comprehensive technical system that emphasizes both temperature control and stress control should be proposed, and its feasibility and effectiveness should be verified through typical engineering examples. The results show that a reasonable crack control strategy can significantly reduce the risk of cracking, ensuring the overall performance and long-term safety of the structure.

Keywords: large volume concrete; temperature cracks; construction technology; temperature control measures; structural durability

引言

随着基础设施建设不断发展, 大体积混凝土广泛应用于大型桥梁、高层建筑和水利工程, 不过施工时水化热引发的温度裂缝问题越来越突出, 成为制约工程质量与安全的关键因素, 有效控制裂缝、提高结构耐久性是工程实践急需解决的核心技术难题, 因此深入探讨裂缝形成机理与控制技术路径对提高大体积混凝土施工水平和工程质量意义重大。

1 大体积混凝土裂缝成因分析

大体积混凝土体积大且内外温差明显, 在施工和硬化过程中很容易产生裂缝, 要想有效控制裂缝就得深入分析裂缝成因。

1.1 水化热积聚导致的温度应力

大体积混凝土在水泥水化期间会释放大量热量, 尤其中心区域因体积大散热慢、热量积聚导致内部温度迅速攀升, 而混凝土开始冷却时表层受环境影响降温快, 内外部温度有差异导致体积变形不均匀, 这种变形若受限则温度应力就会产生, 应力超混凝土早期抗拉强度时裂缝形成, 这类裂缝多贯穿性, 水平或斜向分布, 早龄期常见, 是影响结构耐久性的主要问题之一, 并且温度应力和收缩应力可能叠加使裂缝发展趋势加剧, 控制水化热释放速率、降低温升峰值、调节温降过程是防止温度裂缝的关键。

1.2 约束条件引起的收缩变形

大体积混凝土自身体积大且结构复杂, 硬化时常受到基础、旧结构或者模板等外部条件的约束, 其自由变形被这些约束抑制后内部会产生附加应力, 在混凝土干缩和温度收缩叠加时这种情况更严重, 若约束强度大于混凝土自身抗拉强度, 受限部位如钢筋锚固部位、边角区域或者接口处就容易出现裂缝, 并且不均匀沉降和差异收缩也可能使应力集中, 这是施工中必须严格控制的一个诱因, 由于约束裂缝在初期往往不容易被发现, 后期容易被荷载扩大, 从而影响结构的耐久性和安全性, 而合理布设缝隙、优化支模方式、控制混凝土浇筑顺序并使用缓凝剂延缓水化反应, 就能有效减小约束作用的不利影响, 让结构变形能够可控地释放。

1.3 原材料质量与施工工艺影响

原材料的选择与施工工艺和混凝土裂缝的形成关系密切, 水泥用量多且水灰比控制不好时水化热和收缩变形风险会增加, 骨料级配不合理会使混凝土内部结构密实性差、强度分布不均进而容易出现微裂缝, 胶凝材料活性高或者掺合料掺量不合适会使水化反应速率过快形成早期温度峰值、加剧内外温差, 振捣不密实、浇筑不连续或者养护不到位等施工中的情况可能产生冷缝和干缩裂缝, 施工缝处理粗糙或者后浇带接缝封闭不好也容易成为裂缝

扩展的起始点,在高温、干燥、风大等不利气候条件下若不及时覆盖保湿、洒水养护等表面裂缝容易出现且混凝土早期抗裂性能会降低,要确保材料稳定性、优化施工流程、加强现场质量控制和养护管理,这对减少非结构性裂缝是重要保障、对提升整体工程质量是关键环节。

2 裂缝控制的关键技术与措施

大体积混凝土裂缝多发,得从设计、材料、施工等多个环节入手并运用系统化、科学化的控制技术与措施,全过程裂缝防治目标才能实现。

2.1 优化混凝土配合比设计

控制裂缝的基础在于合理的配合比设计,要降低水化热释放量,应优先选用低水化热水泥或者像粉煤灰、矿渣粉这类矿物掺合料,用它们替代部分水泥,从而降低整体水化热峰值与温升速率。水灰比要适当降低,使混凝土密实,让强度得以发展,减少后期干缩开裂的可能性。选择骨料要注重级配优化,保证骨料间填充性良好,降低孔隙率,进而提升整体抗裂能力。可以掺加膨胀剂、减缩剂这些功能性外加剂,补偿收缩或者调节水泥反应速率,从源头上降低裂缝形成几率。要是混凝土有特殊性能要求,也得考虑使用缓凝剂、减水剂之类的材料,改善施工性能并控制早期温升。配合比设计要结合工程特点和气候条件进行试验,查看可行性和稳定性,确保设计与施工一致且相适应。

2.2 严格温度控制与监测

裂缝防治中温度控制是核心手段之一,施工时可采用分层分区浇筑、降低入模温度、设置冷却管等方式,以降低温升速率,减少因温差产生的热应力,大体积基础或者承台结构特别适用冷却水循环系统,能有效带走水化热且在混凝土强度还未形成时降低裂缝产生风险,施工前中后期布设温度传感器实时监测温度有助于及时掌握温度变化趋势并动态调整控制策略,养护阶段采用覆盖草垫、洒水保湿、设置保温棉毯等保温保湿措施可缓解降温速率和收缩应力叠加,施工环境温度大时要控制浇筑时间和夜间温差影响以最大程度降低温度裂缝风险。

2.3 完善施工工艺与养护措施

混凝土裂缝控制效果受施工工艺直接影响,浇筑方式需连续快速以免出现冷缝,振捣要充分且不能漏振以保证密实成型,施工缝和后浇带设置得科学合理既能方便施工又对释放结构应力有益从而减少强制约束产生的裂缝隐患,像转角、开口和连接节点等结构应力集中的部位要加强局部构造处理、配置加密钢筋网片或者设置裂缝诱导缝来引导应力释放,养护要注重“早养护、长养护”,在干热气候或者风力较强的地区需延长养护时间、增加保湿频次以保证混凝土表面不开裂,在结构内部还没稳定的时候控制住外界荷载和扰动让应力平缓发展有助于提高整体抗裂性能,施工工艺和养护措施有效配合是保障大体积混凝土结构质量的关键环节。

3 温控技术在施工中的应用策略

大体积混凝土施工时温度控制极为关键,合理的温控

策略能有效舒缓热应力、减少裂缝风险,是保障结构质量与安全的重要技术手段。

3.1 预冷与控温材料应用

混凝土浇筑前,预冷技术能有效降低入模温度、减缓早期水化热累积,常见的有使用低温拌合水、冷却骨料或拌合时加碎冰等方法,在夏季高温施工时尤其适用;掺入粉煤灰、矿渣粉等活性矿物材料,可减少水泥用量、降低水化热释放速度并延缓水化峰值出现,这对温度应力平稳释放有利,而膨胀剂、减缩剂等辅助材料在调节体积变化上也有一定作用,能弥补温降造成的体积收缩、改善内部应力状态,选材得因地制宜,结合当地气候、运输条件和结构特征制定策略以保证温控技术从源头得以施行。

3.2 施工过程中的动态温控措施

在混凝土浇筑及初凝阶段要对温控措施进行动态调整,兼顾结构厚度、气温变化和施工进度;水冷系统是一种高效的主动控温方式,将冷却水管埋设在混凝土内部使冷水循环进入结构核心区域,可直接带走大量水化热从而显著降低核心温度,该技术常用于大型基础或者水工结构;分层分区浇筑的方式能避免整体温度一起升高从而有效控制温度梯度发展,配合合理的间歇时间在上层混凝土还没过热时进行下一层浇筑可减少结构整体应力集中情况;施工时选择清晨或者夜间温度低的时候可降低外部环境对温升的不利影响;在整个过程中设置自动温度监测装置能实时反馈结构温度变化并及时调整冷却策略和养护手段,这对提升施工智能化和安全性很关键。

3.3 养护阶段的温降缓释与保温措施

在混凝土养护阶段,温控重点是“缓降温、防骤降”以防止结构因温度骤降而开裂,传统的覆盖养护如用麻袋、草帘再加上洒水保湿能有效控制表面水分蒸发速度,让冷却时表层收缩变慢从而降低表面裂缝出现的几率,冬季或者昼夜温差大的环境下要在混凝土表面加上泡沫板、保温棉之类的保温层以免冷风直接吹且防止低温快速传导到内部,关键部位或者高强度结构可采用电加热毯、热风机这种主动保温的方法来延长温降过程从而减少热应力因骤冷而波动的情况,养护周期往往要延长直至结构温度和环境温度的差值缩小到安全范围内,必要时用温度数据分析和结构应力模拟确定最佳养护终点,系统化、精细化的保温降温策略对结构不开裂和混凝土强度均衡发展很重要且是重要保障。

4 典型工程裂缝控制实例分析

典型大体积混凝土工程里裂缝控制的实践分析能验证裂缝控制技术的有效性,从而给类似工程提供可复制、可借鉴的技术路径与经验支持。

4.1 港珠澳大桥人工岛承台裂缝控制

世界级跨海通道工程港珠澳大桥的人工岛承台结构混凝土方量超级大,最大单仓浇筑量超 5000m³,是典型大体积混凝土结构,面对水化热引发温度裂缝的控制问题,项目团队构建了“冷却水管+温控监测+外加剂优化”三位一体

的温控体系,承台里头预埋环形冷却水管,施工时靠冷却水循环系统把温度控在 60°C 之下且掺加粉煤灰和矿渣,降低水泥用量和水化热释放速率,用保温棉毯把结构表面盖着二次保温,将温降速率控制在不超过 $1.5^{\circ}\text{C}/\text{日}$,使内外温差稳稳在 25°C 以内,测量验收后发现这个承台没明显温度裂缝,验证了多措并举、系统控温的策略可行又可靠。

4.2 上海中心大厦筏板基础裂缝防治

632m高的上海中心大厦筏板基础厚达6m、混凝土总量超 15000m^3 ,是典型的大体积基础结构,为有效控制早期裂缝项目采用分区分层浇筑和全过程智能温控系统,筏板浇筑时入模温度严格控制在 25°C 以内且施工前优化混凝土配合比、加入35%的粉煤灰和缓凝减水剂以降低水化峰值,预埋冷却水管并布设好多点温度传感器以实时采集中心和表层温度数据、依据数据反馈动态调整冷却水流量和频次,并且浇筑完马上覆盖保温层、将养护时间延长到21天,最终筏板基础零贯穿性裂缝达到优质结构标准,智能温控和全过程质量控制成效显著。

4.3 南水北调中线丹江口大坝混凝土裂缝治理

南水北调中线工程的重要组成部分丹江口大坝加高工程,其施工内容包含大体积重力坝体混凝土浇筑,由于水压和温度应力长时间共同作用于大坝混凝土,裂缝控制要求非常高,施工时用低水化热水泥和高掺量矿物掺合料控制水化热以降低内部升温速度,并且设置冷却水管系统,加上气温调节、夜间浇筑等施工组织优化手段将温差控制在安全范围,合理布置裂缝诱导缝,在坝体两边设置温度释放槽,分段浇筑时同步强化面层保温防护,通过多项技术协同控制,有效达成工程让坝体稳定运行十年没有结构性裂缝的目标,也体现出复杂工程里裂缝控制技术的系统性和长期效能。

5 裂缝控制技术的工程效果与发展趋势

大体积混凝土结构的耐久性与安全性因裂缝控制技术的有效实施得到显著提升,且相关技术体系也不断被推动着完善与创新,这一技术有着广阔的应用前景和发展潜力。

5.1 综合控制技术成效显著

裂缝控制技术系统化发展,从材料选型、施工组织到后期养护已形成一套成熟的综合技术体系。实践显示,通过配合比优化、内置冷却水管、智能温控监测、分层分区浇筑、覆盖保温养护等多项技术的集成应用,能有效降低大体积混凝土结构温度裂缝发生率。在港珠澳大桥、上海中心大厦、南水北调丹江口大坝等重点工程中,这些措施大大降低了裂缝发生概率,部分结构贯穿性裂缝为零,混凝土整体性能大大提升。工程效果验证,严格执行温控与限裂技术,绝大多数裂缝问题可控可防,项目质量水平与结构使用寿命显著提升。

5.2 智能化监测与反馈应用推广

传统裂缝控制主要靠人判断、凭经验调节,受较多因素限制,近年来裂缝控制里智能化技术的作用越来越重要,

在混凝土结构里布设温度传感器、应力应变监测点,将数据采集系统和温控反馈装置相结合,就能对温度变化、结构状态实时监控并智能调节,如上海中心大厦项目,温控系统根据传感器数据动态调整冷却水流量和养护方案,实现了全过程闭环控制,这种智能化管理提升了控制精度、减少了人为干预,增强了裂缝控制的可预见性与主动性,以后BIM、物联网和AI技术融入进来,裂缝控制会朝着更精准、自动化方向发展,从“被动处理”根本转变为“主动预防”。

5.3 绿色低碳与材料创新融合发展

在碳排放控制和绿色施工的大背景下,裂缝控制技术向着节能环保方向不断深化,材料方面,低碳胶凝材料研发和应用持续推进,高掺量粉煤灰、矿渣、活性硅灰之类的材料,既能减少水泥用量又能降低水化热以推动绿色低碳建设,且新型功能材料如膨胀剂、减缩剂、自愈合微胶囊等被推广,为结构裂缝事前控制和后期修复创造更多机会,施工工艺上,浇筑流程优化、温升路径控制、养护周期延长,能耗和资源浪费也随之减少,以后裂缝控制会更注重材料绿色性能和施工可持续性,形成“控制—监测—调节—修复”一体化多维度发展格局,大体积混凝土工程综合价值和生态性能将被全面提升。

6 结语

大体积混凝土裂缝控制是保障结构安全与耐久性的重要环节,其涉及材料设计、温控技术、施工管理和智能监测等多方面内容,典型工程的实践验证了温度控制、配合比优化、科学养护等措施综合应用能有效降低裂缝发生率并提升工程整体质量,如今智能化和绿色建造理念不断推进使裂缝控制技术向着数字化、精准化、低碳化方向发展,日后需加强新材料、新工艺和智能系统的集成创新以构建多维度、全生命周期的裂缝控制体系,从而为复杂结构和重大工程高质量实施提供坚实保障。

[参考文献]

- [1]王鹏辉,许琼鸽.大体积混凝土裂缝控制技术在建筑工程中的应用[J].建筑结构,2022,52(2):1015-1018.
 - [2]关中正,王星宇,杨帅,等.房建工程大体积混凝土施工裂缝控制技术[J].中国建筑装饰装修,2025(6):174-176.
 - [3]杨承磊,刘涛.建筑工程施工中大体积混凝土裂缝控制技术及其效果评价[J].北方建筑,2025,10(2):43-46.
 - [4]于占秋.港口航道工程大体积混凝土裂缝施工控制技术[J].珠江水运,2025(8):138-140.
 - [5]丁茂.房建施工中大体积混凝土裂缝控制技术应用[J].中国建筑装饰装修,2025(12):176-178.
- 作者简介:赵言(1989.2—),单位名称:中国二十二冶集团有限公司,毕业学校和专业:河北联合大学轻工学院,土木工程。