

大体积混凝土温度应力监测与裂缝控制策略分析

王爱军 安鹏飞

中国水利水电第十二工程局有限公司, 浙江省杭州市, 310030;

摘要: 大体积混凝土在各类大型建筑工程中应用广泛, 然而, 温度应力引发的裂缝问题严重影响其结构安全与耐久性。本文深入研究大体积混凝土温度应力监测与裂缝控制策略。阐述温度应力监测技术, 包括原理、方法、监测点布置及实时预警系统; 详细分析裂缝成因, 如内外温差、混凝土收缩等因素; 提出原材料选择、施工方法优化及增强混凝土抗裂性能等控制策略; 通过桥梁承台和高层建筑筏板基础施工案例, 对比分析不同工程中温度应力监测与裂缝控制措施的实施效果并总结经验。研究表明, 有效的温度应力监测与合理的裂缝控制策略能显著减少大体积混凝土裂缝的产生, 保障工程质量。

关键词: 大体积混凝土; 温度应力监测; 裂缝控制; 内外温差; 抗裂性能

DOI: 10. 64216/3080-1508. 25. 06. 002

引言

在现代建筑工程领域, 大体积混凝土被广泛应用于桥梁承台、高层建筑筏板基础、大坝等重要结构中。其具有结构厚实、混凝土用量大等特点, 在浇筑后水泥水化过程中会释放大量热量, 导致混凝土内部温度急剧上升, 而表面散热较快, 形成较大的内外温差, 进而产生温度应力。当温度应力超过混凝土的抗拉强度时, 就会引发裂缝。这些裂缝不仅影响混凝土结构的外观, 还可能降低结构的承载能力、抗渗性和耐久性, 严重威胁工程的安全与使用寿命。

1 大体积混凝土温度应力监测技术

1.1 监测原理与方法

大体积混凝土温度应力监测依托于热传导原理和应力应变关系, 其复杂性和重要性不容小觑。混凝土内部温度变化严格遵循热传导定律, 这一过程如同热量在混凝土内部进行一场有序的“迁移”。在实际操作中, 为了精准捕捉混凝土内部不同位置的温度变化, 需要在混凝土内部巧妙地布置温度传感器。常用的温度传感器类型多样, 其中热电偶利用热电效应这一神奇特性, 当温度发生变化时, 热电偶能够敏锐地将温度变化转化为热电势输出, 就像一个忠实的“温度记录员”, 准确地将温度信息以电信号的形式传递出来。热敏电阻则是根据自身电阻值随温度变化的独特规律来测量温度, 其测量原理基于电阻与温度之间的紧密联系, 温度的每一次波动都会在电阻值上清晰地反映出来。而应力应变监测方面, 应变片和光纤光栅传感器发挥着重要作用。应变片通过精确测量混凝土的应变情况, 再结合混凝土

特定的弹性模量数据, 经过科学计算得出应力值。这一过程类似于通过测量物体的变形程度, 再结合其材料特性来推断所承受的应力大小。光纤光栅传感器则展现出其高精度测量的优势, 它巧妙地利用光纤光栅的波长随应变变化的特性, 能够极其精准地实现对应力应变的测量, 为大体积混凝土应力应变监测提供了可靠的数据支持。在实际监测场景中, 将温度和应力应变传感器有机结合使用, 如同构建了一个全方位的监测网络, 能够全面、深入地获取混凝土内部的温度场和应力场变化信息, 为后续的分析 and 决策提供坚实的数据基础。

1.2 监测点布置策略

监测点的合理布置堪称准确获取大体积混凝土温度应力数据的核心环节。在进行监测点布置时, 需要综合考量诸多因素, 包括混凝土结构的独特形状、具体尺寸、所采用的施工工艺以及温度场分布特点等。

对于混凝土浇筑块体而言, 中心、边缘、拐角等部位无疑是关键监测点的首选位置。在块体中心, 这里是温度变化最为集中的区域, 能够监测到温度变化的最大值; 而边缘和拐角部位, 由于其特殊的位置, 温度变化相对复杂, 可能会出现温度变化的最小值。例如, 在一个大型建筑的基础混凝土浇筑块体中, 中心部位的温度在水泥水化热的作用下迅速上升, 而边缘部位由于与外界环境接触, 散热较快, 温度相对较低。通过在这些关键部位布置监测点, 能够精准捕捉到温度和应力变化的极值情况。

2 大体积混凝土裂缝成因分析

2.1 内外温差因素

表 1 不同工程案例大体积混凝土内外温差与裂缝情况

工程案例	混凝土内部最高温度（℃）	混凝土表面温度（℃）	内外温差（℃）	是否出现裂缝
案例 A	75	30	45	是
案例 B	70	32	38	是
案例 C	65	30	35	否
案例 D	60	28	32	否

大体积混凝土在水泥水化过程中会释放大量的水化热，导致混凝土内部温度迅速升高。由于混凝土表面散热较快，内部热量不易散发，从而形成较大的内外温差。当内外温差超过一定限度时，混凝土内部产生的拉应力超过其抗拉强度，就会引发裂缝。一般来说，当混凝土内外温差超过 25℃ 时，出现裂缝的风险显著增加。如案例 A 中，混凝土内部最高温度达到 75℃，表面温度为 30℃，内外温差高达 45℃，最终出现了裂缝；而案例 D 中，内外温差控制在 32℃，未出现裂缝。内外温差产生的温度应力与混凝土的弹性模量、线膨胀系数等因素有关，弹性模量越大、线膨胀系数越高，温度应力越大。

2.2 混凝土收缩作用

混凝土收缩是导致大体积混凝土裂缝的另一个重要因素。混凝土收缩主要包括塑性收缩、干燥收缩和自生收缩。塑性收缩发生在混凝土浇筑后的初期，此时混凝土处于塑性状态，水分蒸发较快，导致混凝土体积缩小。若此时混凝土表面失水过快，内部水分无法及时补充，就会产生塑性裂缝。干燥收缩是混凝土在干燥环境中，水分逐渐散失引起的体积收缩。干燥收缩会持续较长时间，对混凝土结构的影响较大。自生收缩则是由于水泥水化反应引起的混凝土体积减小。混凝土收缩会使混凝土内部产生拉应力，当拉应力超过混凝土的抗拉强度时，就会产生裂缝。

3 裂缝控制策略与技术措施

3.1 原材料选择与优化

选择低热水泥是控制大体积混凝土温度应力的重要措施之一。低热水泥的水化热较低，能有效降低混凝土内部的温度上升幅度。例如，采用中低热的矿渣硅酸盐水泥，其水化热可比普通硅酸盐水泥低。在混凝土中掺加矿物掺合料，如粉煤灰、矿粉等，不仅可以替代部分水泥，减少水泥用量，降低水化热，还能改善混凝土的工作性能和耐久性。粉煤灰的掺量一般为水泥用量的 15%-30%，矿粉的掺量为 20%-50%。同时，合理选择骨料，采用粒径较大、级配良好的骨料，可减少水泥浆用量，降低混凝土的收缩。

3.2 施工方法选择与温控措施

在施工过程中，分层分段浇筑是常用的施工方法。分层浇筑可以减小混凝土浇筑层的厚度，加快热量散发，降低混凝土内部温度。分段浇筑则可以避免混凝土因收缩和温度应力产生的裂缝扩展。例如，在某大型基础施工中，采用分层厚度为 0.5-1.0m 的分层浇筑方法，有效控制了混凝土内部温度。温控措施包括混凝土浇筑前的冷却和浇筑后的养护。在混凝土浇筑前，对原材料进行冷却，如对骨料进行喷水冷却、对拌合水进行加冰冷却等，可降低混凝土的入模温度。在混凝土浇筑后，通过覆盖保温材料、洒水养护等措施，控制混凝土表面温度，减小内外温差。

3.3 增强混凝土抗裂性能

表 2 增强混凝土抗裂性能的措施及应用

增强措施	具体方法	作用原理
添加纤维	掺入聚丙烯纤维、钢纤维等	提高混凝土的抗拉强度和韧性，阻止裂缝扩展
设置构造筋	合理布置构造钢筋	增强混凝土的抗拉能力，分散应力
使用膨胀剂	添加适量膨胀剂	使混凝土产生微膨胀，补偿收缩
优化配合比	调整砂率、水灰比等	改善混凝土性能，提高抗裂性

添加纤维是增强混凝土抗裂性能的有效方法之一。聚丙烯纤维、钢纤维等纤维材料能够均匀分布在混凝土中,提高混凝土的抗拉强度和韧性。在某桥梁承台工程中,掺入 $0.9\text{kg}/\text{m}^3$ 的聚丙烯纤维后,混凝土的抗裂性能显著提高,裂缝明显减少。设置构造筋也是常用的增强抗裂性能的措施。合理布置构造钢筋,能够增强混凝土的抗拉能力,分散应力,防止裂缝的产生和发展。在高层建筑筏板基础中,按照设计间距布置构造筋,有效控制了裂缝的发展。使用膨胀剂可使混凝土产生微膨胀,补偿收缩,减少收缩裂缝。某水坝工程在混凝土中添加适量膨胀剂后,有效减少了收缩裂缝的出现。此外,通过优化混凝土配合比,调整砂率、水灰比等参数,也能改善混凝土的性能,提高其抗裂性。

4 温度应力监测与裂缝控制案例分析

4.1 案例一:某桥梁承台施工

某桥梁承台尺寸为长 20m 、宽 15m 、高 5m ,混凝土设计强度等级为C40。在施工过程中,采用了全面的温度应力监测措施。在承台内部布置了10个温度监测点和5个应力监测点,采用热电偶和应变片进行监测。混凝土原材料选择上,采用低热水泥,并掺加了20%的粉煤灰和10%的矿粉。施工时采用分层浇筑,每层厚度为 0.8m ,浇筑间隔时间为24小时。混凝土浇筑后,通过覆盖保温材料和洒水养护,控制混凝土表面温度。监测数据显示,混凝土内部最高温度为 65°C ,表面温度为 30°C ,内外温差控制在 35°C 以内。在整个施工过程中,未出现明显裂缝,温度应力监测与裂缝控制措施取得了良好效果。

4.2 案例二:高层建筑筏板基础施工

某高层建筑筏板基础尺寸为长 50m 、宽 30m 、厚 2m ,混凝土设计强度等级为C35。在温度应力监测方面,采用光纤光栅传感器进行监测,共布置了15个监测点。原材料选择上,选用了中低热水泥,砂率控制在38%,水灰比为0.4。施工中采用跳仓法浇筑,跳仓间距为 10m 。浇筑后,通过蓄水养护,保持混凝土表面湿润。监测结果表明,混凝土内部最高温度为 60°C ,表面温度为

28°C ,内外温差控制在 32°C 。在筏板基础施工完成后,经检查,仅发现少量细微裂缝,通过表面修补处理后,不影响结构安全和使用功能。

4.3 案例比较与经验总结

对比两个案例,在温度应力监测方面,案例一采用热电偶和应变片监测,案例二采用光纤光栅传感器监测,都能准确获取温度应力数据,但光纤光栅传感器具有更高的精度和稳定性。在裂缝控制措施上,两个案例都采用了原材料优化、合理的施工方法和养护措施,但案例一采用分层浇筑,案例二采用跳仓法浇筑,都根据各自工程特点有效控制了裂缝。通过这两个案例可以总结出,大体积混凝土温度应力监测与裂缝控制需要综合考虑工程特点、原材料选择、施工方法和养护措施等多方面因素。精准的温度应力监测是裂缝控制的基础,合理的裂缝控制策略是减少裂缝产生的关键。

5 结论

大体积混凝土温度应力监测与裂缝控制是保障工程质量的重要环节。通过有效的温度应力监测技术,能够实时掌握混凝土内部的温度场和应力场变化情况,为裂缝控制提供科学依据。深入分析裂缝成因,如内外温差、混凝土收缩等因素,有助于针对性地制定裂缝控制策略。从原材料选择与优化、施工方法选择与温控措施到增强混凝土抗裂性能等多方面的技术措施,能够有效减少大体积混凝土裂缝的产生。

参考文献

- [1] 杨新浩,董军,张凌云,等.大体积混凝土承台分次浇筑层间水化热效应的相互影响研究[J/OL].公路,2025,(03):156-163[2025-03-17]
- [2] 颜进.大体积混凝土裂缝成因及解决措施研究[J].砖瓦,2025,(03):122-124.D0I:10.16001/j.cnki.1001-6945.2025.03.035.
- [3] 王新刚,丁凯璇,王玺智.大体积混凝土温度智能调控机的研发与应用[J].工程机械,2025,56(03):46-51+8-9.