

建筑工程大体积混凝土施工裂缝控制技术探究

牛 利

(安徽昌达路桥工程集团有限公司, 安徽 合肥 230000)

摘 要 为有效控制建筑工程大体积混凝土施工裂缝, 本文对裂缝成因展开了分析, 研究大体积混凝土施工裂缝控制技术, 涵盖水泥水化热、施工工艺、温度应力及施工环境等因素, 通过采用材料选择与配比优化、施工工艺改进、温控技术运用及施工环境优化等方法控制大体积混凝土施工裂缝。研究表明, 合理运用大体积混凝土施工裂缝控制技术, 可显著降低裂缝产生风险, 保障大体积混凝土施工质量。

关键词 大体积混凝土; 施工裂缝; 控制技术; 温度控制; 材料选择

中图分类号: TU755

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.017

0 引言

大体积混凝土因承载能力强、整体性好, 在建筑基础、大坝等关键部位应用广泛。但施工时裂缝问题频发, 水泥水化热使混凝土内部升温快, 与外部形成较大温差, 易引发温度应力裂缝。施工工艺不当, 如振捣不密实、浇筑顺序错乱, 也会催生裂缝。环境因素如温湿度、风速变化同样影响混凝土质量。裂缝不仅有损建筑外观, 更危及结构安全与耐久性。因此, 探究大体积混凝土裂缝控制技术, 对保障工程质量意义重大。

1 大体积混凝土施工裂缝的成因分析

1.1 水泥水化热引起的裂缝

在大体积混凝土中, 水泥作为重要胶凝材料, 与水发生水化反应时会释放大量热量。由于大体积混凝土结构厚实, 热量积聚在内部难以迅速散发。一般情况下, 水泥水化热在浇筑后的 1~3 天内达到峰值, 使混凝土内部温度可升高至 60℃ 甚至更高。而混凝土表面与外界环境接触, 散热相对较快, 内外形成显著温差。这种温差导致混凝土内部产生膨胀应力, 外部则是收缩应力。当应力超过混凝土的抗拉强度时, 裂缝就会出现。例如: 在某大型建筑基础施工中, 因混凝土浇筑方量大, 未采取有效温控措施, 水泥水化热使内部温度过高, 表面混凝土受拉开裂, 严重影响了基础的整体性与防水性能, 后续不得不进行修补加固, 耗费大量人力物力。

1.2 施工工艺不当引起的裂缝

施工工艺在大体积混凝土施工中起着关键作用。振捣不密实是常见问题之一, 混凝土内部存在空隙,

降低了其强度与抗渗性, 在后续受力或环境作用下易产生裂缝。比如振捣棒插入深度不足、振捣时间过短, 部分混凝土无法充分填充模板角落, 形成薄弱区域。不合理的浇筑顺序同样危害极大, 若相邻浇筑层间隔时间过长, 先浇筑层已初凝, 后浇筑层振捣时难以与先浇筑层有效结合, 新旧混凝土间易形成冷缝成为裂缝源头^[1]。在某桥梁承台施工中, 因浇筑顺序混乱, 未按规范从一端向另一端分层浇筑, 导致混凝土内部出现多处裂缝, 影响了桥梁的结构稳定性与使用寿命, 不得不返工重筑, 造成巨大经济损失与工期延误。

1.3 温度应力引起的裂缝

大体积混凝土中除水泥水化热的差异外, 外部环境温度的变化也会引起温度应力。随着温度的降低, 混凝土的收缩也随之增大。混凝土受地基和模板的约束, 收缩变形受到阻碍, 产生拉应力。当拉应力超过混凝土的极限抗拉强度时, 就会出现裂缝。在季节温差大的地区, 夏季气温高, 混凝土浇筑后温度高, 进入秋季和冬季气温骤降, 混凝土收缩显著, 如某高层办公楼基础因季节温差影响而未采取保温措施, 当气温骤降后, 地基表面产生多道裂缝, 使地基承载力下降, 建筑物结构安全隐患增大, 需采取裂缝注浆等加固措施。

1.4 施工环境因素对裂缝的影响

施工环境中的温度、湿度及风速变化对大体积混凝土质量影响显著。高温环境下, 混凝土水分蒸发过快, 表面迅速失水, 内部水分迁移速度跟不上, 导致表面混凝土干缩变形。同时, 高温还会加速水泥水化反应, 进一步增大内部温度。湿度方面, 若环境湿度低, 混凝土表面水分流失加剧, 干缩裂缝极易出现。风速也是重要因素, 大风会加快混凝土表面水分蒸发, 增大

干缩应力。例如在沙漠地区施工,昼夜温差大、空气湿度低且风速高,某大体积混凝土桥墩施工时,因未做好保湿防风措施,混凝土表面短时间内出现大量细小裂缝,严重影响桥墩耐久性,后续需频繁进行维护保养,增加了工程全生命周期成本。

2 大体积混凝土施工裂缝控制技术

2.1 材料选择与配比优化

2.1.1 合理选择水泥与骨料

水泥的特性对大体积混凝土的水化热有直接影响。低热水泥,如矿渣硅酸盐水泥,相较于普通硅酸盐水泥,其水化热释放速率较慢且总量较低,可有效降低混凝土内部升温幅度。普通硅酸盐水泥 3 天的水化热可达 $300 \sim 400 \text{ J/g}$,而矿渣硅酸盐水泥同期水化热仅为 $200 \sim 300 \text{ J/g}$ 。在选择水泥时,需综合考虑工程实际需求、成本及水泥性能。若工程对早期强度要求不高,优先选用低热水泥可显著降低裂缝风险^[2]。骨料方面,粗骨料宜选用粒径较大、级配良好的石料,一般来说, $5 \sim 40 \text{ mm}$ 连续级配的石料较为理想,这样能减少水泥用量,降低水化热。每立方米混凝土中,采用优质级配石子可比级配不良的石料减少水泥用量约 $20 \sim 30 \text{ kg}$ 。同时,良好的级配可使混凝土更加密实,提高其抗裂性能。细骨料以中粗砂为宜,其细度模数在 $2.3 \sim 3.0$ 之间,可减少混凝土的干缩。

2.1.2 高性能混凝土的应用

通过掺加粉煤灰和矿粉等矿物掺合料,高性能混凝土的各项性能得到了明显的提高。粉煤灰可以填满水泥颗粒之间的空隙,提高混凝土的密实度,降低水泥的水化热;同时,它的活性组分也可以和水泥的水化产物进行二次反应,从而提高混凝土的后期强度。研究表明,粉煤灰的掺量为 $15\% \sim 30\%$ 时,28 天水化热可降低 $10\% \sim 20\%$;同时,矿粉也可以改善混凝土的微结构,改善其抗渗性和耐久性。在配合比设计时,精确控制外加剂用量,可以大幅度降低水化热,同时保证混凝土的强度。将高性能混凝土应用于城市地标建筑基础建设中,既可满足大体积混凝土强度要求,又可通过矿物掺合料有效控制裂缝,提高建筑物整体质量和使用寿命。经检测,地基混凝土抗渗等级提高 $1 \sim 2$ 级,裂缝宽度控制在 0.2 mm 以内。

2.2 施工工艺改进

2.2.1 分层浇筑技术

分层浇筑工艺是大体积混凝土施工的关键技术,其核心思想是将大体积混凝土按一定的厚度进行分层,再按顺序浇筑。每层混凝土厚度一般以 $300 \sim 500 \text{ mm}$

为宜,保证各层混凝土浇筑完成后,水化热能及时向外散发,有效防止混凝土内部过热积聚。上层混凝土浇筑过程中,下层混凝土仍处于塑性状态,该特点可使上下层混凝土紧密结合,大大提高整体结构的连续性和整体性,有效防止冷缝产生^[3]。某大型商业综合体地下室底板的施工,其面积大、浇筑量大。施工团队采取分层浇筑的方式,通过合理规划各层混凝土的厚度和浇筑顺序。每层混凝土浇筑完毕后,用高频振动棒振捣,保证混凝土的密实程度,并将模板的每一个角都填满。采用该技术后,混凝土内部温度分布更加均匀,最高温度比无分层浇注时低 $8 \sim 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$;经过后期质量检测,地下室底板开裂率明显降低,防水效果良好,无渗漏,为整个商厦的稳定施工打下了坚实的基础。

2.2.2 适当延长浇筑间隔时间

适当延长相邻浇筑层的间隔时间,是优化大体积混凝土施工工艺、控制裂缝产生的有效手段。这一方法的关键在于,让下层混凝土在等待上层浇筑的过程中有充足时间散热,从而降低混凝土整体水化热峰值。然而,需要严格把控间隔时间,务必确保其处于混凝土初凝时间范围内,否则极易在新旧混凝土交接处形成冷缝,严重影响混凝土结构质量^[4]。一般来说,在夏季高温环境下,混凝土水化反应速度加快,散热需求更为迫切,此时浇筑间隔时间可适当延长至 $2 \sim 3$ 小时;而在冬季低温条件下,混凝土凝结速度变慢,间隔时间则应适当缩短。例如,在某跨江大桥的桥墩承台施工中,夏季施工时,施工人员依据现场实时温度以及混凝土初凝时间数据,合理调整浇筑间隔。在确保下层混凝土未初凝的前提下,给予其充分散热时间,使混凝土内部温度梯度更加平缓,温度应力降低了约 30% 。经长期监测,该桥墩承台未出现明显裂缝,结构稳定性良好,有力保障了桥梁在后续运营过程中的安全可靠,为跨江交通的顺畅提供了坚实支撑。

2.3 温控技术

2.3.1 养护温度控制

养护温度控制是大体积混凝土温控技术的关键环节,对混凝土的质量和耐久性起着决定性作用。在混凝土浇筑完成后,其内部水泥持续进行水化反应,释放大热量,导致内部温度迅速升高。而混凝土表面与外界环境直接接触,散热较快,由此形成较大的内外温差。当温差超过一定限度,混凝土就会因温度应力而产生裂缝。为有效控制这一温差,需采取合理的养护温度控制措施。常见的做法是在混凝土表面覆盖

保温材料,如草帘、棉被、保温毡等。这些保温材料能够减缓混凝土表面热量的散失速度,缩小混凝土内部与表面的温差。同时,在混凝土内部埋设测温元件,构建实时温度监测系统^[6]。通过该系统,施工人员可随时掌握混凝土内部温度变化情况。一旦发现内部温度与表面温度差值接近 25°C 这一预警值,便立即采取相应措施,如增加保温层厚度、调整养护用水温度等,确保温差始终处于可控范围。例如在某高层写字楼的基础大体积混凝土施工中,严格执行养护温度控制措施。从混凝土浇筑完成开始,持续监测温度,依据温度数据动态调整保温覆盖,使混凝土内外温差始终维持在 $20\sim 22^{\circ}\text{C}$ 。

2.3.2 预冷技术与降温措施

预冷技术与降温措施是在大体积混凝土施工中从源头上降低混凝土温度以及在施工过程中有效带走热量的重要手段。预冷技术主要应用于混凝土浇筑前,通过对原材料进行降温处理,降低混凝土的初始温度。其中,对骨料进行喷淋冷水降温是常用方法之一。持续的喷淋冷水可使骨料温度降低 $5\sim 10^{\circ}\text{C}$,从而有效降低混凝土的出机温度。此外,对拌和用水采用加冰冷却也是常见操作,一般情况下,加冰冷却可使混凝土出机温度降低 $3\sim 5^{\circ}\text{C}$ 。在混凝土浇筑过程中,为进一步控制内部温度,可在混凝土内部埋设冷却水管。冷却水管通常采用导热性能良好的金属管或塑料管,在混凝土浇筑时按一定间距和布置方式埋入。浇筑完成后,向冷却水管内通入循环冷水,利用冷水与混凝土之间的温差,将混凝土内部的水化热带走。例如在大型水利枢纽工程的大坝大体积混凝土施工中,综合运用预冷技术与冷却水管降温措施。对骨料进行喷淋冷水降温,同时在拌和用水中加入适量冰块,使混凝土出机温度大幅降低。在混凝土浇筑后,通过冷却水管持续通入循环冷水。经实际监测,混凝土内部最高温度较未采取这些措施时降低了 $10\sim 15^{\circ}\text{C}$,有效减少了温度应力裂缝的产生,确保了大坝的结构安全与长期稳定性,为水利枢纽的正常运行奠定了坚实基础。

2.4 施工环境优化

2.4.1 控制湿度与风速

在施工环境中,控制湿度与风速能有效减少混凝土干缩裂缝。通过喷雾、洒水等方式增加空气湿度,使混凝土表面保持湿润状态,减缓水分蒸发速度。一般将空气相对湿度保持在 $80\%\sim 90\%$ 为宜。在混凝土表面覆盖塑料薄膜,既能保湿又能防止水分过快散失。对于风速较大的施工场地,设置防风屏障,降低风速

对混凝土表面的影响。在沿海地区某大体积混凝土建筑施工中,通过设置防风屏障与喷雾保湿系统,有效控制了湿度与风速,混凝土表面干缩裂缝明显减少,提高了建筑的外观质量与耐久性。经统计,采取措施后,混凝土表面干缩裂缝数量减少了约 60% ,建筑外观平整光滑,耐久性得到显著提升。

2.4.2 避免极端气候条件下施工

极端气候,如高温酷暑、暴雨、严寒等,对大体积混凝土质量影响极大。在高温天气下,混凝土水分蒸发快,水化热反应加速,易产生裂缝;暴雨会冲刷混凝土表面,影响其配合比与强度;严寒则会使混凝土受冻,降低其性能。因此,应合理安排施工进度,避开极端气候时段。如在夏季高温时,选择在清晨或傍晚时段浇筑混凝土;冬季严寒时,做好混凝土的保温与防冻措施,若无法避免低温施工,可采用加热原材料、添加防冻剂等方法。例如:在某北方城市冬季大体积混凝土基础施工中,通过采用加热水拌和、添加防冻剂并加强保温养护等措施,成功在低温环境下完成施工,保证了基础工程质量。经检测,基础混凝土强度满足设计要求,未出现因受冻导致的质量问题,为工程顺利推进提供了保障。

3 结束语

大体积混凝土施工裂缝成因复杂,涵盖水泥水化热、施工工艺、温度应力及施工环境等因素。目前已形成材料选择与配比优化、施工工艺改进、温控技术运用、施工环境优化等一系列控制技术,如通过合理选材、分层浇筑、精准温控等,有效降低裂缝发生率,保障建筑工程质量。未来,随着材料科学与施工技术的进步,将开发出更高效的裂缝控制手段,进一步提升大体积混凝土施工质量,推动建筑行业向更高质量、更可持续方向发展。

参考文献:

- [1] 么凯龙,丛莉,宋兴龙.超长超厚建筑工程大体积混凝土无缝施工技术[J].砖瓦,2025(02):169-171.
- [2] 文在江.大体积混凝土构件模板新型加固技术研究[J].建筑科技,2025,09(01):102-105.
- [3] 刘佳鑫.地下室大体积混凝土跳仓分块施工技术探析[J].江西建材,2024(12):362-364.
- [4] 连蓼燕.建筑工程中大体积混凝土结构施工研究[J].房地产世界,2024(21):158-160.
- [5] 吴建宏.建筑工程中大体积混凝土结构的施工技术探析[J].中国住宅设施,2024(10):154-156.