

建筑工程大体积混凝土裂缝成因及控制技术研究

李 梅

(蒙城宝城建工有限公司, 安徽 亳州 233500)

摘 要 大体积混凝土裂缝关系到建筑工程的结构稳定与安全性,是现代建筑工程项目中重点关注的内容。本文以建筑工程大体积混凝土裂缝控制为核心,系统梳理了大体积混凝土裂缝的种类及其形成原因,重点关注温度应力、收缩变形、材料特性及施工工艺等关键影响因素,在此基础上提出了优化施工材料及其配比、推动设计施工工艺精细化、科学调控施工场地的温度以及做好混凝土工程的养护与表面处理等具体措施,并建议通过建立全过程的智能化监测系统巩固大体积混凝土裂缝的控制成效,以期为建筑工程的质量优化与提升提供参考。

关键词 建筑工程; 大体积混凝土; 裂缝

中图分类号: TU755.7

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.042

0 引言

在各类建筑工程中,大体积混凝土因其结构厚实、支撑能力强和稳固性较好等优势被广泛应用。但是大体积混凝土易出现内部水泥水化热积聚、温度梯度及收缩变形等问题,这些问题所导致的混凝土裂缝不仅会破坏建筑工程结构的整体性,还可能引发渗漏、钢筋锈蚀等耐久性问题,严重影响建筑工程的使用寿命,甚至有可能引发安全事故。大体积混凝土裂缝的出现需要在修复上额外投入大量的人力、物力,这无疑大幅度增加了工程的成本。因此,研究裂缝成因及控制技术对提升工程质量和经济效益具有重要意义。

1 建筑工程大体积混凝土裂缝类型

建筑工程大体积混凝土裂缝的形成受材料特性、施工工艺和工程环境等多种因素的综合影响,根据其成因和形态特征不同可以将其分为不同的种类,准确判断大体积混凝土裂缝的类型,能够更好地因症施策。

1.1 温度裂缝

温度裂缝是最为常见的大体积混凝土裂缝之一,这是由混凝土材料自身的性质所决定的,混凝土工程中的水泥水化热积聚就容易引发这种裂缝^[1]。混凝土在浇筑作业完成后,要经历一段3~5天的硬化周期,这一阶段混凝土内部的温度最高能达到80℃,而表面由于具备一定的散热条件,热量的聚集往往不会那么剧烈,混凝土内外就会出现显著温差,当这种内外温差产生的热应力超过混凝土抗拉强度时,混凝土表层或结构薄弱处就会产生裂缝。这种温度裂缝多呈放射状,经

常出现在基础底板、大坝等大体积构件的施工中后期。

1.2 干缩裂缝

混凝土硬化的过程中会伴随着水分蒸发,当水分蒸发失衡时就会导致干缩裂缝,即当表层的水分蒸发速率高于内部时,混凝土结构的表面收缩变形就会受内部约束进而产生拉应力,最终就会形成网状或横向裂纹。这类裂缝的宽度通常比较细微,最宽不会超过0.4 mm,多出现在蒸发速率较高的混凝土结构的表层,因此裂缝的深度通常不会超过构件厚度的1/4,这种裂缝在低湿度或者高温这种蒸腾作用比较强烈的环境中更容易出现。值得注意的是,水泥品种的选择、水灰比的设计以及养护条件都会影响干缩裂缝出现的概率。

1.3 塑性收缩裂缝

塑性收缩裂缝多出现在混凝土初凝前的塑性阶段。当工程所在地风速较大、气温较高时,混凝土表面的水分会快速蒸发,从而形成毛细管负压,而此时的混凝土还未完全固结,尚未建立强度的浆体就容易产生不规则龟裂纹^[2]。塑性收缩裂缝形态呈中间宽两端细,长度通常有2~3 cm,这种裂缝容易出现在大面积楼板或墙体结构中,在进行混凝土浇筑时振捣不密实或者没有及时地覆盖养护膜会使塑性收缩裂缝出现的概率大幅度增加。

1.4 沉陷裂缝

沉陷裂缝属于结构性裂缝,主要由地基不均匀沉降或施工支撑体系失稳引起的。当项目所在地的地基土质松软,或者位于将要融化的冻土层上回填不实时,

混凝土结构会由于其本身的大重量发生差异沉降,不同位置的沉降度不同就会形成垂直于沉降方向的直线状裂缝。在地下工程中这类裂缝问题尤其突出,宽度可达数毫米,并且这种结构性裂缝的出现通常伴随着工程结构的错位,如在冬季施工时模板支撑于冻土上,解冻后柱脚、墙根等部位就容易产生贯穿性的沉降裂缝。

在实际的建筑工程中,各类裂缝的出现往往不是独立的,而是会相互影响和促进。如温度的梯度变化会加速水分蒸发诱发干缩裂缝,而地基沉降则可能加剧温度应力的分布不均。准确把握不同类型的裂缝及其特征,能够在实际控制作业时选择正确的策略。

2 建筑工程大体积混凝土裂缝的影响因素

2.1 材料特性因素

建筑工程大体积混凝土裂缝的出现原因必然绕不开混凝土自身的特性,比如普通硅酸盐水泥具有明显的水化热特性,而这一特性是引发温度裂缝的重要因素。同时,各种建筑材料的配合比设计也会影响裂缝出现的概率,比如水泥的用量会直接影响水化反应强度,在每立方米超过 100 公斤的高水泥用量下,就会加剧温度应力和化学收缩反应;当细骨料细度过大或含泥量超标,也会降低混凝土抗裂性,而水胶比过高则会导致塑性收缩裂缝和干缩裂缝的出现风险增加^[3]。除此之外,外加剂的选择和使用也是一项重要影响因素,比如缓凝剂与膨胀剂配伍性差,会削弱补偿收缩效果,也有可能加剧裂缝的发展。

2.2 温度梯度因素

混凝土的材料特性对温度梯度与热应力非常敏感,温度梯度与热应力是引发裂缝的常见动力源^[4]。水泥水化过程中会释放大量的热量,每千克水泥约释放 377 kJ 热量,大量的热量在混凝土内部积聚,形成高达 70 ℃ 左右的温峰,与混凝土结构表面形成较大的温差,而这种温差会导致拉应力超过混凝土抗拉强度,使混凝土结构出现裂缝。因此,一般的混凝土建筑工程在进行浇筑作业时,会通过冷却水管或分层浇筑等措施缩小混凝土结构的内外温差,避免贯穿性温度裂缝。混凝土结构的温度梯度效应在昼夜温差骤变的环境下会更加明显,因此当昼夜温差较大时,热胀冷缩机制也会加速混凝土表面微裂纹的扩展。

2.3 施工工艺因素

施工工艺缺陷所导致的裂缝,如浇筑速度过快,导致分层厚度超过 500 mm,从而会形成冷缝。而振捣不充分则使混凝土结构内部的孔隙增加,混凝土结构整体性被削弱,也会产生裂缝。除此之外,混凝土工程的养护工艺也应该是一项关注重点,养护措施不当,

比如早期未覆盖保湿膜或喷淋中断,会使混凝土结构表面的水分蒸发加快,就容易引发干缩裂缝网络。而由模板支撑体系失稳所导致的沉陷裂缝由于常常伴随结构错位,修复的难度和成本都比较高。

2.4 外部环境因素

外部环境中对混凝土结构影响最大的因素主要有两种:一是地基条件,建筑工程的地基条件决定着裂缝发展的边界条件,如果地基土质不均匀就会导致差异沉降,在超长结构中产生拉伸变形;二是温度与湿度的综合反应,低湿度、高温度的环境会加速混凝土表面水分扩散,形成较深的干缩层。而在滨海盐雾区,不仅空气中的湿度较高,还有大量的具有强腐蚀性的氯离子会沿裂缝渗透快速的锈蚀钢筋,这种损伤会显著缩短混凝土结构建筑工程的使用寿命^[5]。

3 建筑工程大体积混凝土裂缝控制技术

3.1 优化材料选用与配比

控制混凝土裂缝的一大关键就是降低混凝土材料的水化热以提高混凝土抗裂性能。在混凝土建筑工程中可以优先选用低热或中热水泥,比如矿渣水泥,并在其中掺入一定量的粉煤灰、矿渣粉等掺合料,减少混合材料中水泥的比重,能够有效地降低水泥的水化热。在材料配比环节,要严格控制骨料级配,粗骨料采用 5~40 mm 的连续级配碎石,含泥量控制在 1% 以内,细骨料则可以选用细度模数 2.3 到 3.0 的中粗砂,含泥量控制在 2% 以内。水胶的比例控制在 0.35 到 0.45 之间,并在其中加入一定的聚羧酸系高效减水剂或缓凝剂,延缓水化热释放速度,提升混凝土流动性和密实度。

3.2 施工工艺精细化

选择合适的施工工艺能够有效地降低混凝土结构的裂缝发生风险。比如在混凝土浇筑环节,选择分层分段浇筑方法降低温度应力,以 30~50 cm 为一个浇筑层。同时,采用“斜面分层、推移式浇筑”工艺,控制好斜面的坡度,还要确保浇筑过程的连续,避免冷缝形成。在配置混凝土材料时,使用高频的振捣器充分、均匀地对混凝土进行振捣。对钢筋密集区和施工缝结合面这类结构比较脆弱的区域进行重点处理,有效消除内部孔隙。控制好混凝土的入模温度,在高温季节进行施工时可以使用适量的冷水进行拌和,并骨料遮阴降低温度,在条件允许的情况下,可以尽量在夜间施工,也能够有效降低环境温差的影响^[6]。

3.3 温度场动态调控

预埋冷却水管配合循环水冷却能够有效降低混凝土结构的核心温度,缩小混凝土结构的内外温差,减少由温度梯度导致的温度裂缝。可以在混凝土结构中

布置无线温度传感器,对混凝土内部、混凝土表层和工程的环境温度进行实时监测,将混凝土结构的温差阈值控制在 25°C 内能够有效地消除温差的影响。在大坝一类的超厚构件中,还可以采用分层分块浇筑的方法,合理设置施工缝,释放早期收缩应力。在浇筑工作完成后,及时做好混凝土结构的养护与表面处理工作。混凝土养护工作的重点在于保湿与保温,混凝土初凝后立即在表面覆盖一层塑料薄膜,使用草袋或保温棉保持混凝土的表面湿度,要至少经过两周左右的养护周期后再进行下一阶段的施工。大体积混凝土表面在终凝前还需要进行二次抹压,闭合塑性收缩裂纹,并采用蓄水养护或自动喷淋系统维持湿度稳定。冬季施工时,可以增加碘钨灯照射或搭建保温棚,防止混凝土结构表面温度的快速下降。

4 建筑工程大体积混凝土裂缝控制成果验收与后期养护

4.1 裂缝控制成果验收体系

依托多维度的监测技术与科学的管理流程对大体积混凝土裂缝控制成果进行验收,不仅是保障当前建筑工程施工质量的要求,也是通过不断地经验总结完善大体积混凝土裂缝控制技术的需求所在。通过预埋无线温度传感器与光纤传感装置,实时采集混凝土内部温度场、应力场及变形数据,结合红外热成像技术实现非接触式的裂缝检测。验收阶段重点核查混凝土结构的温度梯度和降温速率等关键指标,并通过数值模拟软件对比实测数据与理论模型的吻合度,确保温控措施能够达到预期的效果。例如上海浦东新区某项目采用分层测温点布设,结合智能预警系统,成功将底板最大温升控制在 65°C 以内,温差峰值低于 22°C ,达到验收标准。对于使用冷却水管的工程,可以通过水循环流量记录及压力测试确认管路畅通性,并在封闭前进行注浆密实度检测。

4.2 混凝土结构的后期养护管理

精细化的养护管理是大体积混凝土裂缝控制的关键环节,不仅需要在整个施工过程中充分落实,还需要延续到工程结束后。在混凝土终凝后立即覆盖塑料薄膜与土工布,形成保湿、保温的物理性屏障。对于超厚构件,可以采用蓄水养护的方法,可显著降低表面蒸发速率,同时根据温控和湿度检测仪提供的数据,配合自动喷淋系统动态调节混凝土湿度。保温层的具体厚度要结合热工的计算结果确定。在一项实测环境温度差达 15°C 的工程项目中,根据测算结果覆盖 4.8 cm 厚棉毡,有效降低了其表面温度的降幅。

在养护期间,还需要持续监测混凝土表里温差与

收缩应变趋势,采用埋入式光纤传感器对裂缝扩展趋势进行跟踪,结合声发射技术捕捉微裂纹信号,当检测到贯穿性裂缝时,可以使用环氧树脂注浆修复。黄浦区某项目通过实时监测数据发现局部区域温差超限后,立即启动附加保温层并调整冷却水流量,不仅降低了裂缝出现的概率,还有效控制了裂缝的大小,降低了后期维护修补的成本。养护结束后,还需进行龄期28天的强度回弹检测与超声波探伤,确保结构整体性满足设计要求。

4.3 全生命周期数字化管理创新

数字技术的发展为建筑工程施工提供了更加便捷和智能的工具,依托BIM与物联网技术构建数字孪生系统,可实现对裂缝演变的长期跟踪。通过整合施工期温控数据与运营期结构健康监测信息,建立裂缝风险预测模型,为后续维护提供决策支持。将工程养护阶段的温度、应力数据提供给经过系统训练的人工智能模型,能够精准预测几年后最大裂缝宽度扩展量,为耐久性评估提供了科学依据。

5 结束语

大体积混凝土裂缝控制涉及材料科学、施工技术、数字监测等多个领域。通过建立源头降热、过程控温和后期修复的全链条技术体系,能够实现对大体积混凝土裂缝的有效控制。大体积混凝土裂缝的控制技术还具有很大的发展和完善空间,未来,建筑工程领域要持续关注混凝土裂缝控制技术的创新,实现混凝土工程的可持续发展。探索使用钢渣、锂渣等工业固体废物替代骨料的方法,降低碳排放的同时达到提升建筑抗裂性能的目的。加快自愈混凝土的研发,通过微生物矿化或胶囊化修复剂实现裂缝自主修复。持续推动混凝土结构对复杂环境的适应能力,推动现代工程建设向绿色化、精准化的转变和升级。

参考文献:

- [1] 王文庆. 建筑工程大体积混凝土裂缝成因及控制技术[J]. 新城建科技, 2025, 34(02): 153-155.
- [2] 周魁. 房建工程施工中大体积混凝土裂缝成因及控制技术[J]. 中国水泥, 2025(01): 100-102.
- [3] 康凌. 建筑工程中大体积混凝土裂缝控制技术的运用分析[J]. 居业, 2024(11): 37-39.
- [4] 马一啸. 建筑工程大体积混凝土裂缝控制技术[J]. 居业, 2024(10): 25-27.
- [5] 白治琴. 建筑工程施工中大体积混凝土裂缝控制技术[J]. 工程机械与维修, 2023(04): 158-160.
- [6] 卜娜蕊, 刘睿, 赵慧斌, 等. 浅谈建筑工程大体积混凝土裂缝控制技术[J]. 四川水泥, 2023(05): 265-268.