

建筑工程大体积混凝土裂缝控制技术研究

杨文龙

上海建工四建集团有限公司 上海 201103

摘要：本文围绕建筑工程大体积混凝土裂缝控制技术展开研究。明确了大体积混凝土定义，阐述其核心特点与工程意义。深入分析裂缝产生原理，涵盖温度应力、自收缩及荷载控制原理，并从材料特性、温度应力与收缩变形、施工工艺与环境因素三方面剖析裂缝成因。在此基础上，构建裂缝控制技术体系，包括材料优化、温度控制、施工工艺改进及结构设计优化技术。通过具体案例与数据，验证各技术措施的有效性，为建筑工程大体积混凝土裂缝防控提供全面指导。

关键词：大体积混凝土；裂缝控制；建筑工程

引言：在建筑工程领域，大体积混凝土凭借其结构承载优势，广泛应用于各类大型基础设施。然而大体积混凝土施工易出现裂缝问题，不仅影响结构美观，更威胁结构安全与耐久性。裂缝的产生与材料特性、温度应力、施工工艺及结构设计等多方面因素密切相关。因此深入研究大体积混凝土裂缝控制技术，对于保障建筑工程质量、降低维护成本具有重要意义。

1 大体积混凝土的定义

大体积混凝土是指混凝土结构物中单次浇筑的最小几何尺寸不小于1米（或根据具体规范可能扩展至1.5米及以上），且因混凝土硬化过程中水泥水化反应释放的水化热易导致内部温度显著升高（内外温差可能超过25℃），从而引发温度应力、收缩裂缝等结构问题的混凝土类型。核心特点：第一、尺寸特征：涉及基础底板、大坝、桥梁承台、核电站安全壳等大型工程构件，需单次连续浇筑的混凝土体积庞大^[1]。第二、热学特性：水泥水化反应产生的热量难以通过表层散热，导致内部温度峰值可达50℃-70℃，形成非均匀温度场。第三、力学风险：温度梯度与收缩效应叠加，易产生贯穿性裂缝，威胁结构耐久性与承载能力。工程意义：其定义需结合具体工程环境（如气候条件、结构约束）及材料特性（水泥品种、配合比）综合判断，核心目标是通过温控措施（如冷却水管、低热水泥）控制裂缝风险，保障结构安全。此定义强调了大体积混凝土在工程实践中需重点关注的尺寸阈值、热学行为及力学风险三要素，为设计、施工与监测提供技术依据。

2 建筑工程大体积混凝土裂缝控制技术原理

2.1 温度应力控制原理

大体量混凝土结构特征在于其尺寸巨大，导致水泥水化过程中释放的水化热难以迅速逸散，进而引起混凝土

内部温度的急剧上升。举例而言，对于C40级别的混凝土，其每立方米的水泥使用量介于350至550千克之间时，可积累的水化热量高达17500至27500千焦，促使内部温度可能飙升至70℃或以上。相比之下，混凝土表层直接暴露于外部环境，因此散热效率较高，造成了显著的内外温度差异。一旦这种温差超过25℃，混凝土内部将遭受约10兆帕的拉伸应力影响。以某商业办公楼为例，其大体量梁柱混凝土浇筑后，因未有效控制温差，部分区域内外温差达30℃，导致表面出现宽度达0.2mm的裂缝。为控制温度应力，需采取一系列措施。在材料选择上，优先选用低热水泥，如矿渣水泥、粉煤灰水泥，可降低水化热。例如，采用P.O42.5R普通硅酸盐水泥时，配合后期强度（R60或R90）的使用，可降低混凝土内部热量。掺入适量粉煤灰，不仅能提高混凝土活性，还能降低水化热。在施工工艺方面，采用分层浇筑技术，每层浇筑厚度控制在1.0m-1.5m，以降低混凝土内部温度峰值，减少温度梯度，在混凝土浇筑前预埋冷却水管，通过循环冷水降低混凝土内部温度，降温速度控制在0.5℃-1.0℃/h，可有效控制温度应力。

2.2 自收缩控制原理

自收缩调控机制自收缩现象发生在混凝土硬化阶段，源于内部水分减少引发的相对湿度下降，进而导致体积缩减。在常规高水灰比混凝土中，自收缩影响相对较小；然而，高性能混凝土因水胶比缩减，自收缩问题变得尤为显著。具体而言，水胶比0.4时，自收缩占整体收缩的40%；0.3时占比升至50%；而0.17（配合硅灰使用）时，自收缩几乎等同于全部收缩。研究显示，水胶比0.23时，自收缩即高达总收缩的80%。针对自收缩控制，材料选择上倾向使用C3A含量低的水泥，鉴于C3A在硅酸盐水泥熟料中的化学缩减量最大，为C2S的3倍，

C4AF的5倍。在混凝土配比设计上,遵循“三低(低砂率、低流动性、低水胶比)、二掺(添加高效减水剂与高性能引气剂)、一高(提高粉煤灰掺量)”原则,旨在减少单位用水量^[2]。例如,借助高效减水剂,可将水灰比调控至0.6以下,有效抑制自收缩。施工工艺层面,强化混凝土浇筑与振捣作业,提升密实度,并尽量推迟拆模时间,确保拆模后混凝土表面温度降幅不超过15℃。此外,采用二次振捣技术,以增强混凝土强度,提升其抗裂性能。

2.3 荷载控制原理

荷载裂缝是指因动、静荷载的直接作用引起的裂缝。在大体积混凝土结构中,除了承受自身重量外,还可能承受外部荷载,如设备荷载、施工荷载等。当荷载产生的应力超过混凝土的抗拉强度时,就会产生裂缝。为控制荷载引起的裂缝,需进行合理的结构设计。设计之初,需全面考量结构受力特性,科学规划钢筋布局,以增强结构的抗裂能力。优选小径、密排的配筋设计,确保全截面配筋率在0.3%至0.5%范围内。针对应力易集中的脆弱环节,采取强化手段,如在结构形态转换点增设隐蔽梁,并提升该区域的配筋率,以强化混凝土的极限抗拉能力。施工过程中,必须严格监控施工荷载,严禁在混凝土强度未达标前施加超额负载。模板拆卸时机需依据混凝土强度增长情况审慎决定,防止过早拆模对混凝土结构造成损害。

3 建筑工程大体积混凝土裂缝成因分析

3.1 材料特性与配合比

大体积混凝土裂缝的产生与材料特性及配合比设计密切相关,水泥的品种和用量直接影响混凝土的水化热释放。以常用的硅酸盐水泥为例,其水化热较高,若单方混凝土水泥用量超过400kg,水化热集中释放将导致内部温度急剧上升。例如,某高层建筑基础底板采用C40混凝土,水泥用量达450kg/m³,浇筑后内部温度峰值超过70℃,内外温差达28℃,最终引发贯穿性裂缝。骨料级配和含泥量对混凝土收缩性能影响显著。若细骨料含泥量超过3%,混凝土收缩率将增加20%以上,加剧裂缝风险。外加剂的选用不当也可能导致裂缝。例如,减水剂掺量超过1.5%时,混凝土早期强度增长过快,后期收缩应力集中,易引发裂缝。

3.2 温度应力与收缩变形

温度应力与收缩变形是大体积混凝土裂缝的核心诱因。水泥水化热导致混凝土内部温度升高,形成非均匀温度场。以某核电站安全壳为例,浇筑后内部温度达65℃,而表面温度仅35℃,温差达30℃,产生约12MPa

的温度应力,远超混凝土抗拉强度。混凝土在硬化过程中发生自收缩和干缩^[3]。自收缩主要源于水泥水化消耗水分,当水胶比低于0.4时,自收缩占总收缩的40%以上。干缩则因水分蒸发导致体积缩小,环境湿度每降低10%,收缩率增加5%。例如,某桥梁承台在夏季施工时,因风速较大导致表面失水过快,干缩裂缝宽度达0.3mm。此外,温度梯度与收缩效应叠加,进一步加剧裂缝扩展。研究表明,当温度应力与收缩应力之和超过混凝土抗拉强度的70%时,裂缝概率显著增加。

3.3 施工工艺与环境因素

施工工艺与环境因素对大体积混凝土裂缝的影响不容忽视。施工工艺方面,浇筑方式不当易导致冷缝。例如,某大型水坝采用分层浇筑时,单层厚度超过1.5m,上下层间隔时间超过2小时,层间结合面形成薄弱区,最终产生纵向裂缝。振捣不密实则导致内部孔隙率增加,收缩应力集中。养护措施不足是另一关键问题。若保湿养护时间少于14天,混凝土表面水分蒸发过快,干缩裂缝发生率提高30%。例如,某商业综合体地下室顶板因养护时间不足,出现大面积龟裂。环境因素方面,昼夜温差超过15℃时,混凝土表面与内部温差加剧,易引发温度裂缝。风速超过5m/s时,表面失水速率加快,干缩裂缝风险增加。雨季施工时,雨水渗入混凝土内部,导致水胶比波动,强度不均匀,进一步加剧裂缝风险。

4 建筑工程大体积混凝土裂缝控制技术体系构建

4.1 材料优化技术

材料优化是大体积混凝土裂缝控制的基础环节。水泥作为核心胶凝材料,其水化热释放直接影响混凝土内部温度变化。研究表明,采用低热水泥(如矿渣水泥、粉煤灰水泥)可显著降低水化热峰值。例如,在某大型水电站大坝基础施工中,将普通硅酸盐水泥替换为矿渣水泥后,混凝土内部温度峰值降低约15℃,内外温差从30℃降至20℃以内,有效减少了温度裂缝的产生。骨料的选择同样关键,细骨料含泥量需控制在2%以内,粗骨料级配应合理,空隙率不超过40%,以降低收缩变形。外加剂的合理使用也是材料优化的重要手段。掺入高效减水剂可减少用水量10%-15%,降低水胶比至0.4以下,从而提升混凝土密实性和抗裂性。例如,某核电站安全壳工程中,通过掺加聚羧酸减水剂,混凝土28天抗压强度提高15%,收缩率降低25%。纤维增强技术(如钢纤维、聚丙烯纤维)可有效抑制微裂缝扩展,提高混凝土韧性,建议纤维掺量控制在0.5%-1.0%之间^[4]。

4.2 温度控制技术

水泥水化热引发的温度应力是裂缝的主要诱因,需

通过主动降温措施进行调控。冷却水管埋设技术是常用方法之一,在混凝土内部预埋直径50mm的钢管,循环通入15℃-20℃的冷水,可使内部温度下降8℃-12℃。例如,某高层建筑基础底板施工中,采用双层冷却水管布置,混凝土内部温度峰值从75℃降至63℃,温差控制在25℃以内。分层浇筑技术通过减少单次浇筑厚度(建议不超过1.5m),降低混凝土内部温度梯度,每层浇筑间隔时间控制在24-48小时,确保层间结合良好。表面保温养护是防止温度骤降的关键,采用覆盖塑料薄膜、草帘或蓄水养护,可使混凝土表面温度下降速率控制在1.5℃/d以内。实时温度监测系统(如埋设热电偶传感器)可动态掌握混凝土内部温度变化,为温控措施调整提供数据支持。

4.3 施工工艺改进

施工工艺的优化对裂缝控制至关重要。混凝土搅拌时间需严格控制,搅拌时间过短会导致均匀性差,过长则可能引发离析。建议搅拌时间控制在90-120秒,并通过坍落度试验(目标值180±20mm)确保工作性。振捣工艺需遵循“快插慢拔”原则,振捣棒插入深度不超过下层混凝土50mm,间距不超过振捣棒作用半径的1.5倍,避免漏振或过振。例如,某地铁车站底板施工中,通过规范振捣操作,混凝土密实度提高10%,裂缝宽度减少0.1mm。浇筑顺序应采用“斜面分层、薄层浇筑、循序渐进”的方式,避免冷缝产生。养护工艺需根据环境条件调整,夏季采用覆盖保湿养护,冬季采用蒸汽养护,确保混凝土强度稳定增长。

4.4 结构设计优化

结构设计优化是预防裂缝的重要保障。配筋率需合理设置,全截面配筋率宜控制在0.3%-0.5%之间,通过“细而密”的配筋方式(如Φ12@150双层双向)提高抗裂性能。例如,某大型厂房柱基础施工中,将配筋率从

0.2%提高至0.4%后,裂缝宽度减少50%。构造措施需加强,在温度应力集中区域(如变截面处、预埋件周边)增设温度筋或暗梁,提升局部抗裂能力。例如,某高层建筑核心筒施工中,在墙体与楼板交接处增设Φ14@100温度筋,有效抑制了竖向裂缝^[5]。后浇带设置需科学规划,间距控制在30-40m,宽度不小于800mm,浇筑时间间隔不少于60天,以释放收缩应力。BIM(建筑信息模型)技术可用于模拟混凝土温度场和应力场,为结构优化提供可视化依据。

结束语

建筑工程大体积混凝土裂缝控制是一项复杂而系统的工程,需从材料优化、温度控制、施工工艺改进及结构设计优化等多方面入手,综合施策。通过本文的研究,构建了一套较为完善的大体积混凝土裂缝控制技术体系,并通过具体案例验证了其有效性。未来,随着新材料、新工艺的不断涌现,应继续深化研究,不断完善裂缝控制技术,为建筑工程的高质量发展贡献力量。同时也期待更多学者与工程师加入到这一领域的研究中来,共同推动大体积混凝土裂缝控制技术的进步。

参考文献

- [1]方波青,王平,钟波.建筑工程大体积混凝土裂缝防治技术[J].四川水力发电,2021,40(06):38-40+46.
- [2]何志清.论述大体积混凝土裂缝的预防和处理[J].居业,2021,No.166(11):190-191.
- [3]马泽琛,吴英红,周海鹏.大体积混凝土裂缝控制[J].中国住宅设施,2021,No.221(10):119-120.
- [4]潘泽军.浅析大体积混凝土施工裂缝原因及其控制技术[J].中国建筑金属结构,2022(01):96-97.
- [5]万里长,范玮武,叶庭,王刚.大体积混凝土温度裂缝控制技术的运用[J].河南科技,2020,39(34):119-121.