

大体积混凝土施工裂缝控制技术探讨

杨兴才

四川川亿建筑工程有限公司 四川 绵阳 621000

摘要：在建筑工程领域，大体积混凝土结构广泛应用，如大型基础、水工大坝等。本文分析了大体积混凝土裂缝成因，包括温度变化、收缩变形及外部约束作用。构建裂缝控制技术体系，提出系统性与协同性、动态监测与实时调控、经济性与适用性原则。阐述了原材料选择与配合比优化、施工工艺控制、温度场与应力场控制、养护与后期监测等关键技术。通过科学选材、优化施工工艺、精准温控及有效养护监测，旨在降低大体积混凝土施工裂缝风险，保障结构安全，为相关工程实践提供参考。

关键词：大体积混凝土；施工裂缝控制；原则；技术

引言：大体积混凝土施工易出现裂缝问题，严重影响结构安全性、耐久性和使用功能。裂缝成因复杂，涉及温度变化、收缩变形、外部约束等多方面因素。尽管已有一些裂缝控制措施，但实际工程中仍存在控制效果不佳的情况。因此深入研究大体积混凝土施工裂缝控制技术，构建科学有效的控制体系，对于提高工程质量、保障结构安全具有重要意义。

1 大体积混凝土裂缝成因

1.1 温度变化引发的裂缝

大体积混凝土在浇筑后，水泥水化过程会释放大热量，且混凝土导热性能差，内部热量难以快速散发，导致混凝土内部温度急剧升高。据研究，在水泥水化高峰期，混凝土内部温度可较环境温度高出 30°C - 50°C 。当混凝土内部温度升高时，会发生膨胀；而在后期降温阶段，混凝土又开始收缩。由于混凝土各部位散热条件不同，内部与表面、不同浇筑层之间存在较大温差，由此产生的温度应力若超过混凝土的抗拉强度，就会引发裂缝。昼夜温差、环境温度骤变等外部因素，也会加剧混凝土表面与内部的温度差异，进一步增加裂缝产生的风险。

1.2 收缩变形导致的裂缝

混凝土的收缩变形主要包括干燥收缩、塑性收缩和自收缩。干燥收缩是混凝土在硬化过程中，内部水分不断蒸发，使混凝土体积逐渐减小。当混凝土表面水分蒸发速度大于内部水分迁移速度时，表面混凝土因失水率先收缩，而内部混凝土仍保持原体积，这种不均匀收缩会在混凝土表面产生拉应力，进而导致裂缝出现。塑性收缩发生在混凝土浇筑后的塑性阶段，此时混凝土尚未完全硬化，表面水分蒸发过快，混凝土表面失水收缩，而下部混凝土仍处于塑性状态，无法对表面收缩提供有效约束，从而产生塑性裂缝。自收缩则是由于水泥水化

消耗内部水分，导致混凝土内部相对湿度降低，引发自干燥现象，促使混凝土收缩产生裂缝。

1.3 外部约束作用产生的裂缝

在大体积混凝土结构施工中，地基、老混凝土垫层或钢筋等都会对新浇筑的混凝土产生约束作用。当混凝土在温度变化或收缩过程中受到这些约束时，无法自由变形，就会在混凝土内部产生拉应力。地基对大体积混凝土基础的约束，会限制混凝土在降温收缩时的自由变形，使混凝土内部产生较大的拉应力，当应力超过混凝土的极限抗拉强度时，裂缝便会产生。钢筋与混凝土的弹性模量不同，在温度变化时二者变形不一致，钢筋对混凝土的约束也会导致混凝土内部应力集中，增加裂缝产生的可能性^[1]。

2 裂缝控制技术体系构建原则

2.1 系统性与协同性原则

大体积混凝土裂缝控制是复杂的系统工程，需材料、结构设计、施工工艺、养护管理协同作用。在材料选择上，通过优化配合比降低水化热；结构设计时，合理设置伸缩缝、后浇带，减少约束应力；施工中采用分层浇筑、预埋冷却水管等工艺控制温度；养护阶段做好保湿保温，防止水分过快蒸发。各环节相互关联，单一措施效果有限，需整体规划，形成全流程、多维度的控制体系。

2.2 动态监测与实时调控原则

混凝土施工过程中，温度、应力等参数随时间动态变化，需建立实时监测系统，运用光纤传感、红外热像仪等技术，对混凝土内部温度场、应力场进行持续监测。根据监测数据及时调整温控措施，如调节冷却水流量、优化保温层厚度，确保混凝土内部与表面温差、降温速率等指标在安全范围内，实现裂缝控制的动态化与

精准化。

2.3 经济性与适用性原则

裂缝控制技术的应用需综合考虑工程成本与实际需求。在满足裂缝控制要求的前提下,优先选用性价比高的材料和工艺,如利用工业废料作为矿物掺合料,既能降低成本,又能改善混凝土性能^[2]。结合工程特点与环境条件,选择合适的技术方案,避免盲目采用复杂昂贵的技术,确保裂缝控制技术在特定工程中切实可行且经济合理。

3 大体积混凝土施工裂缝控制技术

3.1 原材料选择与配合比优化技术

在大体积混凝土施工中,通过以下科学选材和精准配比,可从源头降低混凝土水化热、收缩变形等裂缝诱因。(1)在水泥选择上,优先采用水化热低的品种,如中热硅酸盐水泥、低热矿渣硅酸盐水泥。此类水泥矿物成分中,C₃A(铝酸三钙)和C₃S(硅酸三钙)含量较低,可显著延缓水化速度,降低早期水化热峰值。控制水泥用量,在满足强度要求的前提下,尽量减少单方混凝土水泥用量,一般每立方米水泥用量不宜超过450kg。

(2)骨料方面,粗骨料宜选用粒径较大、级配良好的碎石,其粒径通常控制在5-40mm,通过优化级配,减少骨料间空隙率,降低水泥浆体用量,进而减少水化热。细骨料选择中粗砂,细度模数控制在2.6-3.0之间,确保良好的工作性,避免因细砂过多导致混凝土收缩增大。(3)掺合料的合理使用。粉煤灰和矿渣粉是常用的矿物掺合料,其具有“形态效应”和“火山灰效应”,能改善混凝土和易性,降低水化热。粉煤灰掺量一般控制在胶凝材料总量的15%-30%,矿渣粉掺量为20%-50%,通过双掺技术可进一步发挥协同效应,提升混凝土综合性能。

(4)外加剂的选用需根据工程需求和环境条件。为延缓水泥水化速度,可添加缓凝型减水剂,其掺量一般为胶凝材料总量的0.8%-1.2%,使混凝土初凝时间延长至6-8小时,避免水化热集中释放。针对干燥收缩问题,可掺入适量膨胀剂,补偿混凝土收缩变形,膨胀剂掺量通常为胶凝材料总量的3%-8%。引气剂可引入微小气泡,改善混凝土抗冻性和工作性,掺量控制在0.005%-0.02%。配合比设计需通过实验室试验验证,调整各组分比例,使混凝土坍落度控制在120±30mm,满足施工和易性要求的同时,确保强度、耐久性及抗裂性能达标。

3.2 施工工艺控制关键技术

大体积混凝土施工工艺的需从以下浇筑方式、振捣工艺、温控设施布设等多方面协同发力,降低施工过程中的裂缝风险。(1)浇筑工艺优化。采用分层分段浇筑

法,通过“薄层浇筑、循序渐进、一次到底”的方式,可有效减少混凝土内部热量积聚。分层厚度根据振捣设备性能确定,一般控制在300-500mm,层间浇筑间隔时间需小于混凝土初凝时间,避免出现冷缝。对于面积较大的结构,可采用斜面分层浇筑,利用自然流淌形成斜坡,每层浇筑方向保持一致,确保混凝土均匀覆盖和密实。严格控制混凝土入模温度,通过遮阳、水冷等措施,将入模温度控制在适宜范围,减少温差应力。(2)振捣工艺。振捣设备需根据混凝土坍落度和浇筑厚度合理选择,高频插入式振捣棒适用于多数场景。振捣时遵循“快插慢拔”原则,插入深度应进入下层混凝土50-100mm,确保上下层结合紧密。振捣间距控制在振捣棒作用半径的1.5倍以内,避免漏振或过振。漏振易导致混凝土不密实产生空洞,过振则会使骨料下沉、水泥浆上浮,引发表面塑性裂缝。振捣过程中需观察混凝土表面状态,以表面不再显著下沉、无气泡逸出且泛浆为准。

(3)温控设施布设。预埋冷却水管是常用手段,水管采用导热性好、耐腐蚀的薄壁钢管或PVC管,布置成蛇形或网格状,水平间距0.8-1.2m,垂直间距1.0-1.5m,确保混凝土内部热量均匀散发。通水时间需在混凝土浇筑后及时启动,初期采用低温水快速置换热量,后期根据温度监测数据调节水流速度与水温,使混凝土内部降温速率控制在合理范围。此外,在混凝土表面覆盖保温材料,形成隔热层,减小表面与内部温差,降低表面裂缝风险。(4)施工缝与后浇带处理。施工缝留设位置需避开结构受力较大部位,采用阶梯形、凸形等抗剪性能好的形式,并在继续浇筑前清理表面浮浆、松动石子,湿润后铺一层同配比水泥砂浆,增强新旧混凝土粘结力^[3]。后浇带需根据设计要求预留,宽度一般为800-1000mm,浇筑时间宜在两侧混凝土龄期达到42天或设计规定时间后,采用补偿收缩混凝土,浇筑后加强养护,避免后期收缩裂缝产生。

3.3 温度场与应力场控制技术

大体积混凝土施工中,温度场与应力场的精准控制是通过以下控制技术有效降低混凝土内部温度应力,保障结构安全。(1)科学设计温控方案。施工前利用有限元分析软件,模拟混凝土水化过程中的温度场变化,预测不同时间段内部最高温度、温差分布及应力集中区域,据此制定针对性温控措施。设计关键参数包括混凝土浇筑顺序、冷却水管布置、保温层厚度及养护周期,确保混凝土内部与表面温差、降温速率满足规范要求。

(2)实施主动温控措施。预埋冷却水管系统需合理设置管径、间距与走向,通常采用蛇形或网格状布局,通

过循环冷水带走水化热量。通水过程中,根据实时温度监测数据动态调节水流速度与水温,优先在水化热高峰期加大流量,后期减缓降温速度,避免温度骤降引发拉应力。此外,采用智能温控系统,结合传感器与自动化控制设备,实现温度数据采集、分析与调节的一体化管理,提升温控精准度。(3)保温保湿养护。混凝土浇筑后及时覆盖保温材料,如棉被、泡沫板或土工布,延缓表面热量散失,减小内外温差。养护初期需保持保温层湿润,通过洒水、喷雾等方式维持混凝土表面湿度,防止水分过快蒸发产生干缩裂缝。冬季施工时,可采用暖棚法或蒸汽养护,确保混凝土在适宜温度下硬化,避免冻害引发裂缝。(4)优化应力释放技术。应力释放与补偿措施可有效降低应力场危害。合理设置伸缩缝、后浇带,释放混凝土收缩变形产生的拉应力;在结构约束部位设置滑动层,减少地基对混凝土的约束作用。此外,采用补偿收缩混凝土,利用膨胀剂产生的膨胀应力抵消部分收缩应力,优化混凝土内部应力分布。施工过程中,避免过早拆除模板或施加荷载,待混凝土强度达到设计要求后,再逐步卸载,防止结构因应力突变产生裂缝。

3.4 养护与后期监测技术

养护与后期监测是通过科学养护维持混凝土性能,结合实时监测及时发现潜在裂缝风险,为结构安全提供双重保障,主要包含以下技术:保湿保温养护技术。混凝土浇筑完成后,需立即开展养护工作。保湿方面,采用覆盖塑料薄膜、土工布或喷洒养护剂的方式,阻止水分过快蒸发。对于大面积混凝土表面,可配合喷雾系统持续补水,保持表面湿润状态,降低干燥收缩风险。保温养护则通过覆盖棉被、聚苯板等隔热材料,减缓混凝土表面热量散失速度,缩小内部与表面温差,避免因温差过大产生温度裂缝。保温层的厚度需根据环境温度和混凝土内部温度动态调整,确保温差控制在合理范围。养护周期管理需严格遵循混凝土硬化规律。普通硅酸盐水泥配制的混凝土,养护时间不得少于14天;采用掺合料或抗渗要求的混凝土,养护周期应延长至21天甚至更久。养护初期是控制裂缝的关键阶段,需加强保湿保温

措施,随着混凝土强度增长,逐步减少养护频次。在养护过程中,避免过早拆除保温层和模板,防止混凝土因强度不足或温度骤变引发裂缝。(2)后期监测技术。通过实时获取混凝土状态数据,实现裂缝风险的预判与控制。温度监测是最基础且重要的手段,在混凝土内部预埋温度传感器,按一定间距布置成网格状,重点监测水化热峰值区域和结构薄弱部位。通过监测系统实时采集数据,绘制温度变化曲线,动态调整温控措施。裂缝监测则采用人工巡检与仪器检测相结合的方式,人工巡检需定期检查混凝土表面是否出现裂缝,仪器检测可利用裂缝测宽仪、红外热像仪等设备,精确测量裂缝宽度、深度及发展趋势。对于已出现的微小裂缝,可及时采取表面封闭、压力灌浆等修补措施,防止裂缝进一步扩展。应力监测也是评估混凝土结构安全的重要内容^[4]。在混凝土内部关键受力部位埋设应力传感器,实时监测结构在施工及使用阶段的应力变化情况,结合温度、裂缝数据进行综合分析,为结构安全提供全面评估依据。

结束语:大体积混凝土施工裂缝控制是一项系统工程,贯穿于原材料选择、施工工艺、温度场与应力场控制以及养护与后期监测等各个环节。通过科学选材与配合比优化,从源头降低裂缝诱因;优化施工工艺,减少施工过程中的裂缝风险;精准控制温度场与应力场,降低内部应力;做好养护与后期监测,及时发现并处理潜在裂缝。在实际工程中,应根据工程特点和环境条件,综合运用各项技术,构建完善的裂缝控制体系,以有效降低大体积混凝土施工裂缝的发生概率。

参考文献:

- [1]唐家东,李松,黄林华.大体积混凝土施工裂缝控制技术探讨[J].百科论坛电子杂志,2021(15):1741.
- [2]陈卓凡.大体积混凝土施工裂缝控制技术研究[J].河南建材,2021(11):153-154.
- [3]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(1):96-97.
- [4]汪勇.大体积混凝土施工裂缝控制技术[J].工程施工与管理,2025,3(2):33-34.