

建筑工程施工中大体积混凝土结构施工技术研究

刘伟权

445381*****4830

摘要: 大体积混凝土作为高层建筑筏板基础、大型设备承台等核心承重结构的关键材料,其施工质量直接决定工程的安全性与耐久性。传统施工中,水泥水化热引发的温差裂缝、收缩变形及浇筑缺陷等问题频发,严重威胁结构性能。本文围绕大体积混凝土施工的核心矛盾,提出了相关的技术措施,希望能够为工程质量安全提供标准化的技术思路。

关键词: 大体积混凝土; 施工技术; 温度控制; 裂缝防治; 养护工艺

DOI: 10. 69979/3029-2727. 25. 08. 078

引言

传统施工技术多聚焦“强度达标”,忽视“过程控制”,导致裂缝、蜂窝等质量问题屡见不鲜。因此,系统解析大体积混凝土的施工特性,针对性解决温度与收缩问题,成为提升工程质量的核心课题。

1 大体积混凝土施工的核心问题诊断

1.1 温差裂缝: 温度控制失效的直接结果

温差裂缝是大体积混凝土最常见的质量问题,占比达 60%以上。其形成机制是:混凝土浇筑后,内部水化热快速积聚,温度升至峰值;表面因散热快,温度持续下降,内外形成温差梯度。当温差超过混凝土抗拉强度时,内部产生拉应力,导致裂缝从中心向表面延伸,最终贯穿整个结构。这类裂缝不仅影响结构防水,还会加速钢筋锈蚀,降低耐久性。

1.2 收缩裂缝: 多因素叠加的变形后果

收缩裂缝分为表面微裂缝与内部深层裂缝:塑性收缩裂缝多在浇筑后几小时内出现,呈短细状(长度 <10 cm),深度约 1-2cm;干燥收缩裂缝多在硬化后 1-2 周出现,呈网状,深度可达 5-10cm;自收缩裂缝则隐匿于内部,需通过超声波检测发现。这些裂缝虽不直接危及结构安全,但会降低混凝土的抗渗性与抗冻性。

1.3 浇筑成型缺陷: 工艺控制不到位的表现

大体积混凝土浇筑量大、时间长(单段浇筑需 6-8 小时),易出现三大缺陷:离析(混凝土从高处下落时,骨料与砂浆分离,导致局部强度不均)、蜂窝(振捣不到位,混凝土未填满模板间隙,形成空洞)、漏振(振捣棒插入深度不足或移动过快,导致局部未密实)。这些缺陷会削弱混凝土的整体性,成为裂缝的“导火索”。

1.4 养护不到位: 温度与湿度失控的关键

养护是大体积混凝土施工的最后一道防线。若养护不及时,表面会因失水过快产生干缩裂缝;若内部温度未有效控制,会加剧温差裂缝。传统养护多采用“覆盖麻袋+洒水”,但难以保持稳定的温度与湿度环境——麻袋易吸水饱和,洒水间隔过长会导致表面干燥,无法有效抑制收缩^[1]。

2 关键施工技术

2.1 原材料温度控制: 从源头降低水化热

2.1.1 选用低热水泥, 优化水泥性能

优先选用矿渣硅酸盐水泥(水化热 ≤ 250 kJ/kg)或粉煤灰硅酸盐水泥(水化热 ≤ 280 kJ/kg),替代普通硅酸盐水泥(水化热 ≥ 350 kJ/kg)。这类水泥中掺有矿渣或粉煤灰,降低了熟料比例,从而减少水化热释放。同时,对进场水泥进行降温处理:存放在阴凉仓库(温度 $\leq 25^{\circ}\text{C}$),或采用冷水喷淋水泥罐,将水泥温度控制在 30°C 以内^[2]。

2.1.2 骨料预处理, 降低骨料温度

砂石骨料占混凝土体积的 70%以上,其温度对整体温度影响显著。对骨料采取遮阳+冷却措施:在骨料堆上方搭建遮阳棚,避免阳光直射升温;在骨料堆中埋置 $\Phi 50$ mm 冷却水管,通入 $10-15^{\circ}\text{C}$ 冷水,将骨料温度控制在 25°C 以内。此外,选用级配良好的骨料(如连续级配碎石),减少空隙率,降低水泥浆用量,间接减少水化热。

2.1.3 掺加活性掺合料, 替代部分水泥

掺加粉煤灰(15%-25%)或矿渣粉(20%-30%)等活性掺合料,替代部分水泥。这些掺合料能与水泥水化产物(如氢氧化钙)反应,生成具有胶凝性的物质,既减少水泥用量(每替代 10%水泥,水化热降低约 8%),又改善混凝土的和易性,减少离析风险。同时,掺合料的微集料效应可填充混凝土内部孔隙,提高密实度^[3]。

2.2 搅拌与运输：控制过程温度损失

2.2.1 冷水搅拌，降低出机温度

在混凝土搅拌时，加入10℃以下的冷水（占拌合水总量的30%-50%），降低混凝土出机温度。搅拌时间控制在90-120秒，确保混凝土均匀——过短会导致水泥未充分水化，过长会增加热量生成。同时，定期检测搅拌机内混凝土温度，确保出机温度 $\leq 30^{\circ}\text{C}$ 。

2.2.2 缩短运输时间，减少温度散失

采用混凝土罐车运输，合理规划路线（避免拥堵），将运输时间控制在45分钟以内。运输过程中，罐车保持低速转动（2-3转/分钟），防止混凝土离析。夏季高温时，可在罐车外部淋水降温，降低混凝土温度上升速度。

2.3 浇筑过程：分层与冷却结合，控制热量积聚

2.3.1 分层浇筑，减少单层热量积聚

采用分层浇筑工艺，每层厚度控制在30-50cm（不超过振动棒作用半径的1.25倍）。分层浇筑的优势是：每层混凝土的水化热可在下层混凝土中扩散，避免热量集中。上层混凝土需在下层初凝前（3-4小时）浇筑完毕，若超过初凝时间，需按施工缝处理——凿毛表面、清理浮浆、铺一层同配比砂浆（厚度5-10cm），确保新旧混凝土粘结良好。

2.3.2 预埋冷却水管，主动带走热量

浇筑前，在混凝土中预埋 $\phi 25-32\text{mm}$ 的冷却水管，间距1.5-2m，呈蛇形布置（避免直角转弯）。水管连接至循环冷却系统，通入15-20℃冷水，流速控制在0.6-1.0 m^3/h 。冷却水管的作用是：将内部热量通过冷水循环带出，控制混凝土内部温度峰值 $\leq 50^{\circ}\text{C}$ ，减小内外温差。

2.3.3 表面保温，减缓热量散失

浇筑完成后，及时覆盖保温材料：底层铺5cm厚泡沫板，中间铺土工布，顶层铺塑料薄膜。保温层的总厚度控制在5-10cm，目的是减缓表面热量散失，缩小内外温差。冬季施工时，可增加岩棉被覆盖，确保表面温度 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 。

2.4 温度监测：实时调控，确保温差在控

在混凝土内部埋置DS18B20温度传感器（精度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ），间距1-2m，覆盖结构的不同部位（中心、边缘、表面）。传感器连接至智能监测系统，实时显示内部温度、表面温度及环境温度。当内外温差超过25℃时，系统自动报警，采取以下措施调整：（1）增加保温层厚度（如再加一层土工布）；（2）加大冷却水管水流速度（提升至1.2 m^3/h ）；（3）延长养护时间（推迟拆模时间）。

3 关键施工技术：裂缝防治体系构建

裂缝防治需从原材料、配合比、浇筑工艺、养护多环节协同控制，减少收缩与温差的影响。

3.1 原材料优化：减少收缩的源头控制

3.1.1 选用低收缩水泥

优先选用低收缩硅酸盐水泥（收缩率 $\leq 0.03\%$ ），替代普通水泥（收缩率 $\leq 0.04\%$ ）。这类水泥的矿物组成中，铝酸三钙含量较低，水化收缩较小。

3.1.2 掺加膨胀剂，补偿收缩

掺加UEA硫铝酸钙类膨胀剂（掺量8%-12%）或HEA氧化钙类膨胀剂（掺量6%-10%）。膨胀剂能与水泥水化产物反应，生成膨胀性物质（如钙矾石），抵消部分收缩应力。例如，UEA膨胀剂的限制膨胀率可达0.02%-0.03%，有效降低收缩裂缝发生率。

3.2 配合比优化：降低收缩的关键参数

3.2.1 控制水灰比，提升密实度

水灰比是影响收缩的核心参数，大体积混凝土水灰比需控制在0.4-0.5之间。采用聚羧酸高效减水剂（减水率 $\geq 25\%$ ），在降低水灰比的同时保证混凝土和易性，减少离析风险。例如，水灰比从0.5降至0.45，混凝土收缩率可降低15%。

3.2.2 控制水泥用量，减少水化热

通过掺加掺合料，将水泥用量控制在300-400 kg/m^3 之间。水泥用量每减少100 kg/m^3 ，水化热可降低约10%，收缩率降低8%。同时，控制骨料中的含泥量：砂的含泥量 $\leq 3\%$ ，石子的含泥量 $\leq 1\%$ ，避免泥块含量过高导致收缩增加。

3.3 浇筑工艺控制：避免缺陷的现场管理

3.3.1 控制浇筑速度，防止热量积聚

混凝土浇筑速度需控制在2-3 $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ ，避免因速度过快导致内部热量积聚。例如，某1000 m^2 的筏板基础，浇筑速度控制在2.5 $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ ，单段浇筑时间约8小时，确保热量及时扩散^[4]。

3.3.2 避免冷缝，保证新旧混凝土粘结

分层浇筑时，严格控制上层混凝土的浇筑时间，在下层初凝前完成浇筑。若因特殊情况超过初凝时间，需按施工缝处理：先用凿岩机凿毛表面，清除浮浆与松散混凝土，然后用高压水冲洗干净，铺一层同配比砂浆（强度等级比混凝土高一级），再进行上层混凝土浇筑。

3.4 养护工艺优化：保持温湿度的精准控制

3.4.1 湿度养护，防止干缩

混凝土硬化需充足水分，避免干缩裂缝。采用自动喷淋养护系统，每隔2-3小时喷水一次，保持表面湿润。喷淋的水量需适中，避免积水导致表面起砂。养护时间

不少于 14 天, 大体积混凝土可延长至 21 天。

3.4.2 温度养护, 控制温差

养护期间, 保持内部温度缓慢下降, 避免骤变。采用覆盖保温+通冷却水管的组合方式: 前 7 天, 保温层厚度保持 5-10cm, 冷却水管流速控制在 $0.6\text{m}^3/\text{h}$; 7 天后, 逐渐减少保温层厚度, 冷却水管流速降至 $0.3\text{m}^3/\text{h}$, 让内部温度缓慢降至环境温度。

4 关键施工技术: 浇筑与成型工艺控制

4.1 浇筑方案确定: 适配结构尺寸

根据结构尺寸与施工条件选择浇筑方案: (1) 全部分层: 适用于平面尺寸小 ($\leq 20\text{m} \times 20\text{m}$) 的结构, 将结构分成若干层, 每层从一端向另一端浇筑。优点是混凝土供应集中, 便于管理; 缺点是层间间隔时间短, 需确保混凝土供应能力。(2) 分段分层: 适用于平面尺寸大 ($> 20\text{m} \times 20\text{m}$) 的结构, 将结构分成若干段 (每段长 10-15m), 每段分层浇筑。优点是降低混凝土供应压力, 便于质量控制; 缺点是段间需协调浇筑顺序。(3) 斜面分层: 适用于长度长 ($> 30\text{m}$) 的结构, 从一端沿斜面分层浇筑, 每层厚度 30-50cm。优点是混凝土流动顺畅, 便于振捣; 缺点是需控制斜面坡度 ($\leq 1:6$), 避免混凝土下滑。

4.2 成型工艺控制: 确保密实度与平整度

4.2.1 振捣密实, 避免蜂窝漏振

浇筑后及时用插入式振捣棒振捣 (直径 50mm), 振捣时间控制在 20-30 秒, 以“表面出现浮浆、不再下沉、无气泡冒出”为标准。振捣时需避免漏振 (未覆盖所有区域) 与过振 (振捣时间过长, 导致骨料下沉、砂浆上浮)。振捣棒插入深度需进入下层混凝土 5-10cm, 确保上下层混凝土粘结良好。

4.2.2 表面收光, 减少表面裂缝

初凝前 (浇筑后 2-4 小时), 用木抹子收光表面, 消除泌水与表面裂缝; 终凝前 (浇筑后 4-6 小时), 用铁抹子压光, 提高表面密实度。表面收光的目的是: 减少表面孔隙, 降低水分蒸发速度, 防止塑性收缩裂缝。

5 关键施工技术: 养护与后期维护

养护是确保混凝土性能的关键, 后期维护则是保障结构长期安全的必要环节。

5.1 养护方法: 多措施协同

(1) 覆盖养护: 用土工布覆盖混凝土表面, 保持湿度; 上面铺泡沫板, 进行保温。(2) 喷淋养护: 大

面积混凝土采用自动喷淋系统, 每隔 2-3 小时喷水一次, 保持表面湿润。(3) 冬季保温: 用岩棉被+电热毯覆盖, 确保内部温度 $\geq 5^\circ\text{C}$ 。

5.2 养护时间: 满足强度发展需求

养护时间不少于 14 天, 水泥用量大、水化热高的混凝土延长至 21 天。养护期间需定期检查温度与湿度, 调整养护措施——若表面温度过高, 增加喷淋次数; 若表面干燥, 增加保温层厚度。

5.3 后期维护: 定期检查与监测

(1) 定期检查: 每周检查混凝土表面裂缝与变形, 每月用超声波检测仪检测内部缺陷, 及时发现问题。(2) 结构监测: 大型结构采用应变计 (监测应力变化)、水准仪 (监测变形), 若应力超过设计值或变形超过允许值, 及时采取加固措施。

6 应用效果

某高层建筑筏板基础 (厚度 2m, 面积 1000m^2) 采用本文技术后: (1) 内外温差控制在 20°C 以内, 无温差裂缝; (2) 收缩裂缝发生率 3%, 均为表面微裂缝 (宽度 $< 0.2\text{mm}$); (3) 混凝土强度达设计值 115%, 均匀性良好 (强度标准差 $\leq 3\text{MPa}$); (4) 养护时间缩短至 14 天, 节省成本 15%。

7 结论

大体积混凝土施工技术的核心是控制温度与收缩, 通过原材料优化、分层浇筑、冷却水管预埋、智能温度监测及精细化养护, 可有效解决温差裂缝、收缩裂缝及浇筑缺陷问题。

未来, 随着新材料、智能化技术的发展, 大体积混凝土施工将向更高效、更绿色、更智能的方向迈进。工程实践中, 需严格遵循技术规范, 加强过程管控, 将“精细化”理念贯穿施工全周期, 为建筑结构的安全与耐久保驾护航。

参考文献

- [1] 李子川. 土木工程中大体积混凝土结构施工技术应用[J]. 四川建材, 2024, 50(11): 99-101.
- [2] 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.
- [3] 罗方鑫. 土木工程中大体积混凝土结构施工技术研究[J]. 中国水泥, 2024(10): 94-96.
- [4] 杨帅, 刘长武, 杨玉广, 等. 夏季大体积混凝土墙体温控防裂的研究与应用[J]. 海河水利, 2024(1): 96-99.