

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：10.64216/3104-9664.25.01.005

1 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。

2 大体积混凝土施工的核心问题诊断

2.1 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。

2.2 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 < 10cm），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。

2.3 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”。

2.4 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]。

3 关键施工技术

3.1 原材料温度控制：从源头降低水化热

3.1.1 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 $\leq 250\text{kJ/kg}$ ）或粉煤灰硅酸盐水泥（水化热 $\leq 280\text{kJ/kg}$ ），替代普通硅酸盐水泥（水化热 $\geq 350\text{kJ/kg}$ ）。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]。

3.1.2 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 $\phi 50\text{mm}$ 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。

3.1.3 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]。

3.2 搅拌与运输：控制过程温度损失

3.2.1 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 $\leq 30^{\circ}\text{C}$ 。

3.2.2 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。

3.3 浇筑过程：分层与冷却结合，控制热量积聚

3.3.1 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：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。

3.3.2 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 0.6-1.0m³/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。

3.3.3 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 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 。

3.4 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 1.2m³/h）；（3）延长养护时间（推迟拆模时间）。

4 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。

4.1 原材料优化：减少收缩的源头控制

4.1.1 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。

4.1.2 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。

4.2 配合比优化：降低收缩的关键参数

4.2.1 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%。

4.2.2 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 300-400kg/m³ 之间。水泥用量每减少 100kg/m³，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。

4.3 浇筑工艺控制：避免缺陷的现场管理

4.3.1 控制浇筑速度，防止热量积聚

混凝土浇筑速度需控制在 2-3m³/h · m²，避免因速度过快导致内部热量积聚。例如，某 1000 m² 的筏板基础，浇筑速度控制在 2.5m³/h · m²，单段浇筑时间约 8 小时，确保热量及时扩散^[4]。

4.3.2 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。

4.4 养护工艺优化：保持温湿度的精准控制

4.4.1 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。

4.4.2 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。

5 关键施工技术: 浇筑与成型工艺控制

5.1 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。

5.2 成型工艺控制: 确保密实度与平整度

5.2.1 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。

5.2.2 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。

6 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。

6.1 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 $\geq 5^\circ\text{C}$ 。

6.2 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。

6.3 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。

7 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%。

8 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.