

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<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。

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≤250kJ/kg）或粉煤灰硅酸盐水泥（水化热≤280kJ/kg），替代普通硅酸盐水泥（水化热≥350kJ/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≤25℃），或采用冷水喷淋水泥罐，将水泥温度控制在 30℃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Φ50mm 冷却水管，通入 10-15℃冷水，将骨料温度控制在 25℃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≤30℃。

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Φ25~32mm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≤50℃，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≥5℃。

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±0.5℃），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）。

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≤0.03%），替代普通水泥（收缩率≤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≥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300~400kg/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≤3%，石子的含泥量≤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2~3m³/h·m²，避免因速度过快导致内部热量积聚。例如，某1000m²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]。

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 0.6m³/h；7 天后，逐渐减少保温层厚度，冷却水管流速降至 0.3m³/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）全面分层：适用于平面尺寸小（≤20m×20m）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（>20m×20m）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（>30m）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（≤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≥5℃。

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 1000 m²）采用本文技术后：（1）内外温差控制在 20℃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<0.2mm）；（3）混凝土强度达设计值 115%，均匀性良好（强度标准差≤3MPa）；（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.