

大体积砼基础防裂缝技术研究

——以长沙住宅项目为例

文 / 彭逸夫 中铁城建集团房地产开发有限公司

摘要：本文针对住宅建筑大体积基础施工中的裂缝问题，通过筏板基础热工计算，制定了温控标准，提出了包括原材料精选、配合比优化、冷却管与支撑架构一体化设计、施工技术措施及温度监控的综合温控策略。同时，系统研究了防裂措施及冷却管兼做钢筋支撑架的技术方案。实践表明，温控措施有效降低了内外温差，控制了裂缝产生，确保了结构安全与稳定。本研究为大体积基础防裂施工提供了技术参考，并创新性地将冷却管应用于支撑架构中。

关键词：大体积砼；防裂缝技术；冷却管；钢筋支撑架；温度控制；筏板基础

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.07.034

引言

住宅建筑大体积砼基础在浇筑过程中易产生裂缝，这不仅破坏了结构的整体性，加速了钢筋锈蚀，还可能引发地下室渗漏问题，影响房屋的正常使用及地下室设备的稳定运行。因此，采取有效措施预防裂缝的产生，确保大体积砼基础的安全与稳定，是施工中的技术难题。本研究以某住宅建筑项目为例，旨在深入探讨大体积砼基础防裂缝技术，并创新性地提出冷却管兼做钢筋支撑架的技术方案，从而为解决大体积砼基础施工中的裂缝问题提供新的思路和方法。

一、工程概况

本文所研究房建项目地处长沙市湘江新区大王山片区，建筑总面积为156774.18m²。项目主体结构采用剪力墙与框架体系的组合形式，采用筏板基础，砼标号为C35，其厚度在1.0m~1.5m范围内，属典型的大体积砼构造。大体积混凝土浇筑时，水化热效应显著，易引发开裂。裂缝破坏结构整体性，导致渗水、钢筋锈蚀，降低结构安全和承载能力，影响房屋使用及地下室设备稳定运行。因此，本项目地下室筏板基础大体积混凝土施工需采用科学有效的防裂技术，避免裂缝产生，确保结构安全与稳定。

二、温度控制指标

确保大体积砼无裂施工的核心在于温度管理，针对本项目特性，特制定以下温控标准：砼块体内外温差（排除砼收缩引起的等效温度影响）需控制在25℃以下；砼浇筑体的冷却速率不得超过2.0℃/天；砼表面与外部环境间的温差保持在20℃以内。

三、筏板基础热工计算

为确立温控方案的基础数据，实施了筏板基础的热工评估，精确计算水化热导致的中心区域温升。依据《建筑施工手册》（第四版）第613~616页提供的计算方法，进行了详细的热工分析^[1]。

（一）现场施工实际情况及计算参数的取值

筏板基础砼标号为C35，按初步选定的砼配合比，每立方砼的水泥用量为362kg；当地年平均气温20.1℃，极端最高气温为39.5℃，极端最低气温为-2.5℃。砼筏板基础浇筑时的外界气温预计24~33℃；搅拌站生产，泵送入模。

（二）筏板基础砼的温升计算

1. 水化热绝热温升计算

第t天龄期的绝热温升（按热量无散发的理论状态下砼的温升）按（1）式计算：

$$T_{(t)} = WQ/C\rho(1 - e^{-mt}) \quad (1)$$

式中各符号所代表的意义见《建筑施工手册》，此处不再赘述，根据本项目的实际情况取值如下： $W=362\text{kg/m}^3$ ； $Q=377\text{KJ/kg}$ ； $C=0.97\text{KJ/(kg.k)}$ ； $\rho=2450\text{(kg/m}^3)$ ； $e=2.718$ ； $m=0.3\text{d}^{-1}$ 。

2. 筏板基础砼各龄期时收缩形变量计算

筏板基础砼各龄期收缩形变量按下式进行计算：

$$\epsilon_{y(t)} = \epsilon_y^0(1 - e^{-0.01t}) \times M_1 \times M_2 \times \dots \times M_{11} \quad (2)$$

式中各符号所代表的意义见《建筑施工手册》，按本项目的实际情况取值如下： $\epsilon_y^0=3.24 \times 10^{-4}$ ， $M_1=1.0$ ， $M_2=1.0$ ， $M_3=1.21$ ， $M_4=1.2$ ， $M_5=1.09(3\text{d})$ ， $M_5=1(7\text{d})$ ， $M_6=1.1$ ， $M_7=1$ ， $M_8=0.68$ ， $M_9=1.3$ ， $M_{10}=0.89$ ， $M_{11}=1$ 。

按（3）式各龄期时筏板基础砼收缩变形换算成当量温差

$$T_{y(t)} = \epsilon_{y(t)} / \alpha \quad (3)$$

（三）筏板基础砼各龄期内外温差计算

筏板基础砼各龄期内外温差按式（4）进行计算。

$$\Delta T = T_0 + 2/3T_{(t)} + T_{y(t)} \xi - T_h \quad (4)$$

砼入模温度按 $T_0=33\text{℃}$ ，当时环境温度按 $T_h=29\text{℃}$ 计算。

表1汇总了筏板厚度为1.5m条件下，其中心温度与外部环境的温差情况。

表1 各龄期砼中心与外部环境温差计算表

龄期 (d)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
计算温升 (℃)	53.8	47.7	44.4	41.8	39.7	38.5	38.3	37.7	37.5	38.1

依据表 1 数据，筏板基础砼在 3 至 30 天龄期内，内外温差持续高于 25℃，最高温升计算值达到 53.8℃。因此，必须采取针对性的温控手段，以预防筏板基础因温度过高诱发裂缝。

四、大体积混凝土防裂缝温控措施

(一) 优化混凝土配合比

1. 选用低水化热水泥

水泥水化热是大体积混凝土内部温升的主要原因之一，选用低水化热水泥是减少温度应力的关键。低水化热水泥释放的热量较少，可降低混凝土内部最高温升，减小内外温差，减少温度裂缝风险。本项目选用南方 P.042.5 低碱水泥，属低水化热通用硅酸盐水泥。

2. 掺加矿物掺和料

本项目按 S95 级磨细矿粉与标准 II 级粉煤灰双掺技术。矿物掺和料不仅能够替代部分水泥，减少水化热，还能改善混凝土的微观结构，提高混凝土的密实性和耐久性。且这些掺和料能够填充水泥颗粒间的空隙，形成更加致密的结构，降低混凝土的孔隙率，从而增强混凝土的抗裂性能。

3. 使用外加剂

掺入水泥质量 0.6% 的 FDN-440 缓凝高效减水剂，延

缓水泥水化速度，降低水化热释放速率，使混凝土内部温升平缓，减少温度应力累积。同时，在保持工作性能不变的前提下，减少用水量，降低水胶比，提高混凝土强度和耐久性。减水剂还改善流动性，便于浇筑和振捣，减少孔隙和气泡，提高密实度。

掺入水泥质量 1% 的 YF-HEA 膨胀剂，引发适度体积膨胀，建立预应压力，抵消混凝土硬化过程中的拉应力，减少裂缝，提高承载能力和耐久性。膨胀剂还形成微小气孔，缩短应力传递路径，增强密实度，提升抗渗性。

4. 合理控制骨料级配

合理的骨料级配能够优化混凝土的颗粒堆积，减少孔隙率，提高混凝土的密实度和强度。严格控制细骨料含泥量与细度模数 (2.6 ± 0.2 , MB 值 ≤ 1.4)；单一种类粗骨料由于级配不理想，本项目采用由 5~10mm、5~25mm 进行组配的方式，以获得良好配合的精骨料。

优化后 C35 配合比如下：

水泥：细骨料：粗骨料：水：减水剂：粉煤灰：矿渣粉：膨胀剂 = 289：853：1036：153：1.7：43：29：2.9

根据计算上述 C35 砼配比计算各龄期的内外温差为如表 2 所示。

表 2 各龄期砼中心温升计算表

龄期 (d)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
计算温升 (℃)	42.5	40.7	37.4	35.8	30.7	25.5	21.3	18.7	17.5	16.1

由表 2 计算结果可知，采取的系列控温措施产生了显著的作用，但在龄期 3d~18d 期间，砼内外温差超过 25℃，超出预期控制目标。针对筏板基础内部高温及温差超标问题，拟采用集成式冷却管降温方案，并创新性地将冷却管兼具支撑功能，以降低额外施工成本。

(二) 冷却管与支撑架构融合设计

1. 支撑架构优化设计

鉴于冷却管同时承担支撑架的功能，选用高强度且耐腐蚀的镀锌钢管作为主材，确保在砼浇筑时保持形状稳定，避免变形或损坏。为了满足温控需求，对支撑架构进行精细化的设计，明确了钢管架体的步距、跨度以及立杆间距，并科学规划了通水冷却管的布局，确保整个系统在实现有效温控的同时，也提供了稳固的支撑结构。

2. 循环水冷却系统集成

在钢管支撑架构的纵向和横向上，每 4 跨设置一个冷却单元，而顶部水平杆则不参与冷却循环。选定一根立杆作为冷却水入口，通过扫地杆连接至中部水平杆形成冷却管道的一部分，再由另一侧立杆作为出水口，从而形成一个闭环冷却系统。^[3] 系统详细设计如图 1 所示。

循环水冷却系统在运行过程中，流量按 35L/min 实施，运行时间预设为 9~12d，同时通过温度监测实时了解大体积砼内部情况，并对管道冷却水出入口进行测温

(测温评率为每半小时一次)，根据反馈数据实时动态调整冷却系统水流量，并决定何时停止运行冷却系统。

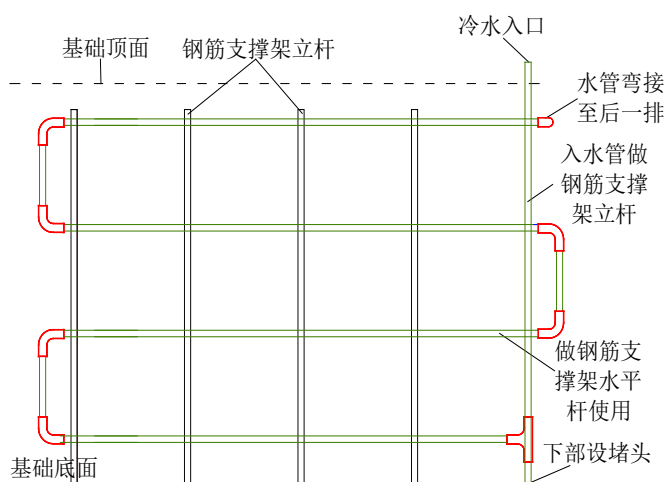


图 1 冷却管兼做支撑架降温系统布置图

(三) 浇筑与振捣控制

采用斜层浇筑技术，每层厚度控制在 500mm 以内，以促进振捣密实与热量散发，减少温升。为了防止形成施工冷缝，层间浇筑的时差不得超过砼的初凝时间。振捣充分且均匀，避免过振或振捣不足。斜层浇筑过程中大体积砼浮浆、泌水现象较多，且多集中于坡面之下，现场应采用小型吸水泵进行排除。

(四) 温度管理

温度管理包括控制混凝土浇筑温度和养护温度。浇筑时尽量避开高温或低温时段，控制混凝土入模温度在 5 ~ 30℃ 之间，并且对于砼骨料以洒水、遮阳等措施，避免阳光直射，温度过高。

为管控砼浇筑后的温度并确保温差合规，浇筑前需精密布置温度监测元件，持续监控内部温度变化，保持温度变化在安全范围。精准监测不仅揭示砼内部温度分布，还为优化养护策略提供数据依据。

测温实施的核心策略是整合预埋测温传感器与高精度测温仪器。选用 $\phi 10$ 钢筋作为预埋载体，每个测温位置固定安装 3 个测温传感器（测温传感器安装见图 2 所示），以确保数据采集的全面性和精确性。养护阶段结束后，需对伸出底板面的钢筋进行裁剪处理。

在测温点布局上，遵循结构中心线原则，同时确保布点均匀且重点区域覆盖全面。每个测温杆设上、中、下三个测温层面，具体位置设定为：上层测温点距砼顶面 100mm，中层测温点位于底板几何中心，下层测温点则距砼底面 100mm。此外，增设大气温度监测点，以获取全面的环境温度数据。

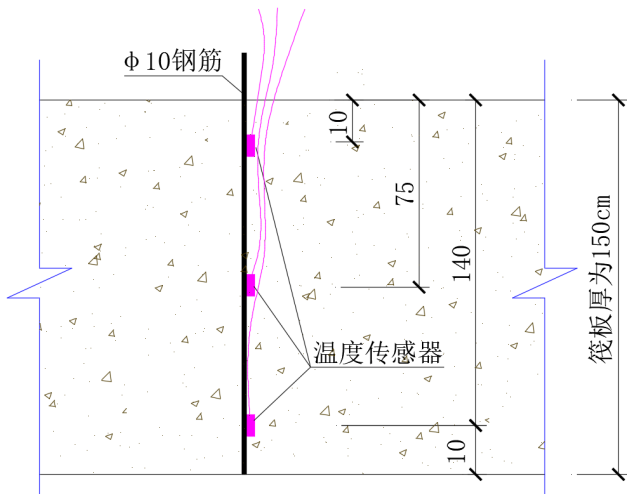


图 2 测温传感器安装图

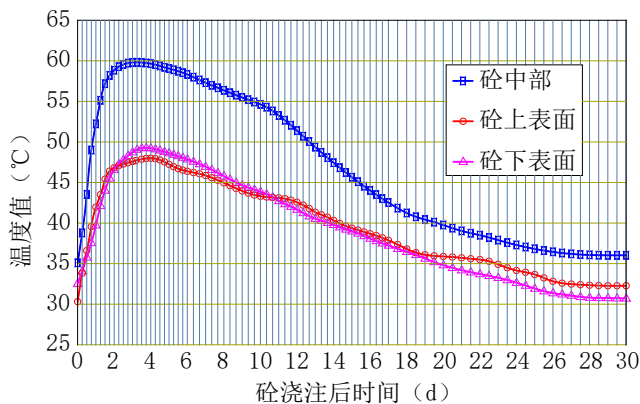


图 3 典型测温点温度变化曲线图

图 3 为典型测温点温度变化曲线图，该图温度曲线显示，各监测时段温度均达标，证实温控措施有效且可行。

(五) 养护措施

养护是防止混凝土裂缝的重要环节。养护时间应根据混凝土强度等级、气候条件等因素确定，一般不少于 14d。养护期间应保持混凝土表面湿润，避免干燥收缩导致裂缝。养护可分补水及覆盖，同步进行，待砼浇筑完成 12h 之内应进行补水作业，同时采用塑料薄膜进行覆盖养护。塑料薄膜保湿性能好，在覆盖作业中需注意薄膜应相互搭接不小于 100mm，并固定压实，使其贴实砼面，膜内有水分为佳。在养护期间应安排专人进行浇水或蓄水作业，同时根据测温记录跟踪砼内外温差以及表面温度与环境温差，待温度指标满足要求，养护时间达标之后，可撤除覆盖措施。

(六) 降温速率调控与裂缝防控

在完成保温养护作业后，采取温和而逐步的降温方式，根据温度变化情况，适时调整保温保湿材料的覆盖厚度和方式，确保降温速度每天不超过 1.5℃，以预防贯穿性裂缝的产生。若检测到砼表面裂缝的宽度超过了 0.3mm 的阈值，即刻采取补救措施，如裂缝注浆：使用专用的裂缝注浆材料（如环氧树脂、聚氨酯等）对裂缝进行注浆填充，以恢复砼的完整性和耐久性，表面封闭作业、粘贴钢板或碳纤维，以提高结构的防水性能、整体承载力和抗裂性。

(七) 施工缝设计

施工缝设置在结构受力较小的部位，且便于施工和检查。施工缝设计成易于清理和处理的形状，如平面、斜面等。浇筑新砼前，彻底清理施工缝表面的浮浆、杂物，并在施工缝处涂刷界面剂或铺设一层与砼同配合比的水泥砂浆，以提高粘结力。

结语

本文研究并实践了大体积混凝土基础防裂技术，验证了冷却管兼做钢筋支撑架技术的有效性和可行性。通过原材料精选、配合比优化、冷却管与支撑架构一体化设计、施工技术措施及温度监控等综合温控策略，有效降低了混凝土内外温差，控制了裂缝产生，确保了结构安全与稳定。本研究为大体积混凝土基础防裂施工提供了技术参考和实践指导，推动了建筑行业科技进步与可持续发展。未来将进一步深化研究，探索更多创新解决方案，助力行业高质量发展。

参考文献

[1] 郭丽. 高层建筑大体积混凝土施工及裂缝控制措施 [J]. 城市建筑, 2024, 21(24): 194-196.
 [2] 彭磊. 房建筏板基础大体积混凝土施工裂缝防控研究 [J]. 建筑机械化, 2024, 45(12): 164-168.
 [3] 丁川洋. 浅析道路桥梁工程中混凝土施工技术及其裂缝防治措施 [J]. 价值工程, 2024, 43(30): 141-144.

作者简介：彭逸夫（1991-01），男，汉族，湖南长沙，工程师，硕士研究生，一级建造师，一级造价工程师，研究方向：建筑工程现场施工技术及管理。