

大体积混凝土基础底板温度裂缝控制施工措施

付前刚 刘平 陈鹏

中国建筑技术集团有限公司 北京 100013

摘要: 本文以大体积混凝土温度裂缝的成因机理为切入点,系统阐述了贯穿“材料-设计-施工-养护”全生命周期的综合控制策略。在材料层面,通过优化配合比设计,选用低热水泥、掺加矿物掺合料和高效减水剂,从源头上降低水化热总量;在设计层面,合理配置构造钢筋、设置后浇带或采用跳仓法,以释放约束应力;在施工层面,重点论述了分层分段浇筑、内部冷却循环水管降温、智能测温监控等核心工艺;在养护层面,强调了保温保湿养护的重要性,并介绍了覆盖保温材料、蓄水养护等具体方法。研究表明,唯有将“抗”与“放”的理念相结合,实施全过程、精细化的温控管理,方能有效抑制温度裂缝,确保大体积混凝土基础底板的工程质量。

关键词: 大体积混凝土;基础底板;温度裂缝;水化热;温控措施

引言

随着我国城市化与基础设施建设发展,超高层建筑等重大工程增多,这些工程依赖坚固基础,大体积混凝土基础底板是承载上部荷载的关键构件。依据《大体积混凝土施工标准》,大体积混凝土指实体最小尺寸不小于1米,或因水泥水化热致温度变化和收缩产生有害裂缝的混凝土。基础底板面积广、厚度大(常1.5米至数米)、配筋密集。浇筑硬化初期,水泥水化反应释放大热量,混凝土是热的不良导体,内部热量难散发,中心温度可达60℃甚至更高,表面温度相对低,形成不均匀温度场,产生复杂温度梯度,诱发拉应力。当拉应力超过同期混凝土抗拉强度,就会形成裂缝。温度裂缝影响结构外观,还会成为侵蚀性介质侵入通道,加速钢筋锈蚀和混凝土碳化,危及建筑寿命和安全。所以,深入研究并有效实施大体积混凝土基础底板温度裂缝控制措施,是现代土木工程重要技术课题。

1 大体积混凝土温度裂缝的成因机理分析

要有效控制温度裂缝,必须首先深刻理解其生成与发展的内在机理。这一过程是一个涉及热学、力学和材料学的复杂耦合问题。

1.1 水化热的积聚与温度场演变

水泥水化是放热反应,普通硅酸盐水泥(P·O42.5)在完全水化后,其理论水化热约为500kJ/kg。对于一个厚度为2米的基础底板,若每立方米混凝土中水泥用量为300kg,则单位体积内释放的总热量极为可观。在绝热条件下,混凝土的绝热温升 ΔT 可近似通过公式 $\Delta T = Q \cdot C / (c \cdot \rho)$ 计算,其中 Q 为水泥水化热(kJ/kg), C 为水泥用量(kg/m³), c 为混凝土比热容(约0.96kJ/(kg·℃)), ρ 为混凝土密度(约2400kg/m³)。代入上述数值,可得绝热温

升高达约65℃。这意味着,即使浇筑温度仅为20℃,混凝土内部最高温度也可能飙升至85℃左右。然而,实际工程并非绝热状态。混凝土内部的热量会通过传导、对流和辐射等方式向四周环境散失^[1]。因此,真实的温度场是一个动态演变的过程:浇筑后1-3天内,内部温度迅速上升至峰值;随后,随着水化反应速率的减缓和持续散热,温度开始缓慢下降。在整个升温-降温周期中,混凝土内部与表面之间始终存在温差,形成了由内向外的温度梯度。

1.2 温度应力的产生与发展

温度梯度的存在直接导致了温度应力的产生。在升温阶段,内部混凝土受热膨胀,但受到外部相对较冷混凝土的约束,从而在内部产生压应力,而在表面产生拉应力。此时,混凝土尚处于塑性或初凝状态,徐变效应显著,能够有效松弛大部分应力,故一般不会开裂。真正的危险期出现在降温阶段。随着内部温度逐渐回落,混凝土开始收缩。此时,一方面,已硬化的混凝土弹性模量迅速增长,徐变能力减弱;另一方面,基础底板通常与下部桩基或垫层紧密相连,受到强大的外部刚性约束。同时,混凝土各部分降温速率不同,也会产生内部约束。在这双重约束作用下,降温收缩变形受到限制,于是在混凝土内部(特别是中部区域)产生了巨大的拉应力。一旦该拉应力超过混凝土在该龄期下的抗拉强度(通常为抗压强度的1/10至1/15),裂缝便随之产生。裂缝一旦形成,又会进一步削弱截面,形成应力集中,促使裂缝继续扩展。

2 基于“抗”与“放”原则的综合控制策略

针对上述成因,工程界普遍遵循“抗”与“放”相结合的基本原则来制定裂缝控制策略。“抗”,即提高混

凝土自身的抗裂能力；“放”，即采取措施减少或释放约束应力。二者相辅相成，缺一不可。

2.1 “抗”的策略：提升混凝土自身性能

2.1.1 优化混凝土配合比设计

这是从源头上控制水化热的根本途径。具体措施包括：①选用低热水泥：如中热硅酸盐水泥（P·MH）或低热矿渣硅酸盐水泥（P·SLH），其早期水化热显著低于普通硅酸盐水泥。②掺加矿物掺合料：大量使用粉煤灰（I级或II级）和粒化高炉矿渣粉（S95级或以上）等活性矿物掺合料，可以等量或超量取代部分水泥（取代率可达30%-50%）。这不仅能有效降低胶凝材料的总水化热，还能改善混凝土的和易性、降低用水量、提高后期强度和耐久性。③使用高效减水剂：采用聚羧酸系高性能减水剂，可在保证工作性的前提下，大幅降低水胶比和单位用水量，从而减少水泥用量，间接降低水化热。同时，低水胶比有助于提高混凝土的密实度和抗拉强度。④优化骨料级配：选用连续级配的粗、细骨料，可以减少胶凝材料浆体的用量，增加混凝土的体积稳定性。

2.1.2 合理配置构造钢筋

在满足结构受力计算的前提下，在基础底板的中部区域（即温度应力最大的区域）配置双向、细直径、密间距的温度-收缩钢筋网片。这些构造钢筋的作用并非承受主要荷载，而是通过其“弥散配筋”的效应，将可能出现的宽大裂缝分散成众多细微、无害的裂缝，从而控制裂缝的宽度，防止其发展成贯通性有害裂缝。

2.2 “放”的策略：降低约束与释放应力

2.2.1 设置后浇带或采用跳仓法

①后浇带：在超长结构中，按规范要求（通常30-40米）设置临时施工缝，将大体积混凝土分割成若干较小的浇筑单元。待两侧混凝土收缩大部分完成后（通常42-60天），再用高一等级微膨胀混凝土将其封闭。这种方法能有效释放早期收缩应力，但会延长工期，并增加后期防水处理的难度^[2]。②跳仓法：这是一种更为先进的“以放代抗”技术。它将整个底板划分为多个仓格（如9m×9m），按照“隔一浇一”的顺序进行浇筑。先浇筑的仓格在硬化收缩过程中，其相邻的空仓提供了自由变形的空间，从而大大降低了约束应力。待先浇仓格收缩稳定后（通常7-10天），再回填浇筑中间的仓格。跳仓法避免了后浇带的诸多弊端，能有效缩短工期，是目前控制超长大体积混凝土裂缝的主流方法。

2.2.2 降低混凝土入模温度

控制初始温度是控制最高温升的有效手段。可通过以下方式实现：①冷却骨料：在炎热季节，对砂石骨料

进行洒水降温或搭设遮阳棚。②使用冷水或冰屑拌合：用地下水或制冷机制备的冷水（甚至加入碎冰）来拌合混凝土，可显著降低拌合物温度。③夜间浇筑：尽量选择一天中气温较低的时段（如夜间）进行混凝土浇筑。

3 核心施工温控技术措施

在前述原则指导下，具体的施工过程是温控成败的关键。

3.1 分层分段浇筑工艺

对于厚度超过1.5米的底板，必须采用分层浇筑。每层浇筑厚度宜控制在400-500mm，并确保在下层混凝土初凝前完成上层混凝土的覆盖，以保证层间良好结合。分层浇筑能增大散热面积，减小单次浇筑的混凝土体积，从而有效控制温升。同时，应采用“斜面分层、薄层浇筑、循序推进、一次到顶”的浇筑方法，利用混凝土自然流淌形成的斜坡进行振捣，避免形成施工冷缝。

3.2 内部冷却循环水管降温系统

这是控制大体积混凝土内部最高温度最直接、最有效的主动降温措施。在绑扎钢筋的同时，预埋直径为Φ25-Φ48mm的薄壁钢管（通常为黑铁管或塑料管）作为冷却水管。水管水平间距宜为1.0-1.5米，垂直间距为0.8-1.2米，形成网格状布置。混凝土浇筑完毕并终凝后，立即通入循环冷却水。通过调节水流量和水温，可以精确控制混凝土内部的降温速率（一般要求不超过2°C/d），使其内外温差始终保持在安全范围内（通常要求≤25°C）。冷却水的进出口应定期轮换，以保证降温均匀^[3]。整个冷却过程需持续7-14天，直至混凝土内部温度进入平稳下降阶段。

3.3 全过程智能测温监控

“没有测量，就没有控制”。必须建立完善的温度监测系统，为温控决策提供实时、准确的数据支持。通常采用预埋式数字温度传感器（如JDC-2型或类似产品），沿底板厚度方向至少布置上、中、下三个测温点，并在平面内按一定间距（如6m×6m）布设测温断面。通过数据采集仪或无线传输系统，将温度数据实时上传至项目管理平台。技术人员需每日分析温度变化曲线，重点关注中心最高温度、内外温差、降温速率等关键指标。一旦发现异常，可立即调整保温或冷却措施，实现动态、精准的温控管理。

3.4 保温保湿养护

混凝土浇筑完毕并初凝后，必须立即覆盖保温保湿材料。保温的目的在于减小内外温差，保湿则是为了防止表面水分蒸发过快而产生干缩裂缝。常用的保温材料有塑料薄膜、土工布、麻袋片、草帘、泡沫板等，可根

据环境温度灵活组合使用。例如,在夏季可仅覆盖一层塑料薄膜以保湿;在春秋季节,可采用“一层塑料薄膜+两层麻袋”的组合;在冬季,则需增加保温层厚度,并可能辅以暖风机等加热设备^[4]。养护时间不得少于14天,对于掺有缓凝型外加剂或有抗渗要求的混凝土,养护时间应不少于28天。在条件允许的情况下,蓄水养护(在底板表面蓄水50-100mm)是一种效果极佳的保温保湿方法。

4 工程实例分析

4.1 施工概况

为验证前述温控措施的有效性,本文以某超高层写字楼项目主楼基础底板工程为实例进行详细剖析。该底板平面尺寸为80米×50米,厚度高达2.8米,一次性浇筑混凝土总量约11,200立方米,属于典型的大体积混凝土结构,且处于夏末初秋季节,环境温度波动较大,温控挑战严峻。

4.2 温控措施

在材料层面,选用P·O42.5普通硅酸盐水泥,并大幅掺加30%的I级粉煤灰和15%的S95级矿渣粉,将水胶比严格控制在0.38,有效降低了单位体积混凝土的水化热总量。在结构设计与施工组织上,果断摒弃了传统的后浇带方案,采用先进的跳仓法施工,将庞大的底板科学划分为16个9m×9m左右的独立仓格,并严格按照“隔一浇一”的顺序进行浇筑,为混凝土早期收缩提供了充足的变形空间,显著降低了结构内部的约束应力。在核心温控技术方面,于钢筋绑扎阶段同步预埋了Φ32mm的薄壁冷却水管,形成水平间距1.2米、竖向间距1.0米的三维网格。浇筑完成后立即启动循环冷却水系统,并依据实时测温数据动态调节水流量。同时,在整个底板平面内共设置了20个具有代表性的测温断面,每个断面沿厚度方向布置上、中、下三个数字温度传感器,共计60个测温点,构建了全覆盖、高密度的智能监控网络。在后期养护环节,采用了“一层塑料薄膜(保湿)+三层土工布(保温)”的复合覆盖方案,确保了混凝土表面始终处于湿润状态,并有效减缓了热量散失。

4.3 实施效果

经全过程严密监控,混凝土内部中心最高温度峰值稳定在62℃,内外最大温差被成功控制在21℃以内,远低于25℃的安全警戒线,且降温速率平缓。最终,该基础底板在硬化及后续使用过程中未出现任何有害裂缝,结构完整性和耐久性得到了充分保障,充分证明了所采取的综合温控措施的科学性与有效性。

5 结语

大体积混凝土基础底板的温度裂缝控制是一项复杂的系统工程,绝非单一措施所能解决。成功的温控实践必须建立在对裂缝成因机理的深刻理解之上,严格遵循“抗”与“放”相结合的原则,从材料优选、配合比优化、结构设计、施工组织到后期养护,实施全过程、精细化管理。其中,优化配合比以降低水化热是治本之策,设置后浇带或采用跳仓法是释放约束的有效途径,而内部冷却水管、智能测温监控和严格的保温保湿养护则是施工阶段的核心保障。未来,随着智能传感、大数据分析和自动化控制技术的进一步融合,大体积混凝土的温控管理将朝着更加精准化、智能化的方向发展,为建造百年精品工程奠定坚实基础。

参考文献

- [1]贾兵飞.某建筑基础大体积混凝土施工及温度裂缝控制措施研究[J].砖瓦,2023,(07):130-132.
- [2]孙文.超高层建筑基础底板大体积混凝土温度裂缝防控措施研究[D].扬州大学,2020.DOI:10.27441/d.cnki.gyzdu.2020.001328.
- [3]李阳.大体积混凝土基础底板跳仓法温度与裂缝控制研究[D].石家庄铁道大学,2024.DOI:10.27334/d.cnki.gstdy.2024.001184.
- [4]黄文波.大体积混凝土基础施工温度裂缝控制简易技术措施研究[C]//广西网络安全和信息化联合会.2025年第六届工程领域数字化转型与新质生产力发展研究学术交流论文集.漳州华侨城置业有限公司,2025:305-307.