

西北地区大体积混凝土温控与浇筑工艺优化

王旭东

上海勘测设计研究院有限公司 上海 200000

【摘要】：我国西北沙漠地区气候干旱、昼夜温差大、风沙多，房建工程地基基础大体积混凝土施工容易出现水化热集中、结构内外温差过大、表面干缩开裂等质量通病，直接影响建筑基础的承载力和结构耐久性。本文以新疆塔克拉玛干沙漠若羌生产运维中心房建项目为依托，结合项目第三方混凝土配合比试验数据、现场监管管控体系，从原材料配合比优化、分层浇筑工艺改进、全流程动态温控、沙漠环境专项养护四个方面展开工艺优化研究。工程实践证明，配套的项目标准化监管管控流程可以实现大体积混凝土施工全过程质量可控。该工艺适合于西北沙漠特殊的施工环境，可以给同区域同类房建基础工程提供成熟的施工技术。

【关键词】：西北地区；沙漠房建工程；大体积混凝土；浇筑工艺；温度控制；裂缝防控；配合比设计

DOI:10.12417/2705-0998.26.10.024

1 引言

目前西北房建项目大多沿用内陆通用大体积混凝土施工工艺，没有根据沙漠干旱、强风沙、大温差工况进行针对性的优化，混凝土配合比采用通用设计参数，不适当当地原材料特性，温控以被动保温补救为主，缺少源头原材料预控，浇筑及养护工艺没有做防风、保湿专项设计。三峡南疆塔克拉玛干沙漠新能源基地若羌生产运维中心项目前期施工时发现，传统工艺容易造成混凝土内部温升过快、表面水分快速蒸发、温降梯度不均等现象，从而引起基础结构表层干缩裂缝和深层温度裂缝。根据该项目 EPC 总承包施工、全过程监理见证、第三方原材料送检的现场管控条件，本文针对大体积混凝土浇筑及温控工艺进行优化，融合现场多强度等级混凝土配合比试验数据、监理旁站和见证取样管控流程，形成一套适应西北沙漠区域的大体积混凝土施工工艺。

2 西北沙漠区域大体积混凝土施工难点分析

2.1 极端温湿度环境诱发高裂缝风险

塔克拉玛干沙漠片区空气相对湿度长期小于 30%，混凝土浇筑完成后表层游离水分蒸发速率是内陆地区 3 到 5 倍，塑性阶段很容易产生浅表干缩裂缝。同时区域昼夜温差可达 18℃ 以上，大体积混凝土内部水泥水化热不断积累、散热缓慢，结构表面受到沙漠环境冷空气、大风对流的影响迅速降温，产生极大的温度梯度；当温度应力大于混凝土早期极限抗拉强度时，就会出现贯穿性的、深层的结构性裂缝，破坏地基基础的整体性。

2.2 风沙、极端天气干扰混凝土成型质量

项目场区春、秋季连续性大风沙尘天气较多，露天浇筑时风沙会冲刷未终凝的混凝土表面，使表层砂浆流失、骨料裸露、表面平整度和密实度达不到要求；冬季低温环境下水泥水化反应慢，早期强度增长缓慢。如果保温、温控措施不到位，基础混凝土就会出现冻害缺陷，造成结构强度达不到设计要求。沙漠场区扬尘大，极易污染新浇筑混凝土作业面，增大表层病害

发生概率。

2.3 传统工艺及管控体系地域适配性不足

一是传统浇筑大多采用整体一次性厚层浇筑，内部水化热不能及时散去，温升峰值超标；二是通用混凝土配合比没有根据若羌本地天山水泥、区域 II 区中砂、卵石等原材料特性进行设计，抗收缩、低水化热性能达不到要求；三是传统管控缺少全链条闭环体系，前期原材料送检、施工过程旁站、后期养护巡检衔接不畅，被动保温养护无法抵消沙漠强风干、大温差的负面影响，裂缝防控效果不好。

3 适配沙漠环境的大体积混凝土工艺优化设计

3.1 原材料及混凝土配合比源头优化

根据项目 C20、C25、C35、C40 四种强度等级的现场配合比试验结果，确定合适的原材料和配合比参数，所有的材料都经过了长江三峡技术经济发展有限公司监理单位的见证取样验收。胶凝材料选用若羌天山水泥有限责任公司 P·O 42.5 普通硅酸盐水泥，严格控制水泥水化放热量；掺入粉煤灰、矿渣微粉双掺矿物掺合料代替部分水泥，延缓水化热峰值出现时间。项目最佳掺配比为粉煤灰、矿渣微粉掺量各占 14%。粗骨料选用本地 5~20mm 连续级配卵石，含泥量控制在 1% 以下；细骨料采用场区 II 区中砂，杂质含量严格控制，比细砂大大降低混凝土干缩变形。外加剂复配高性能缓凝减水剂、膨胀剂、防腐外加剂，适应沙漠地下盐碱地质环境；减水剂掺量控制在 3%，膨胀剂掺量为 4%，防腐剂根据地下腐蚀工况掺量控制在 7%；降低拌合用水量，提高混凝土抗裂、抗腐蚀性能。

3.2 分层分段+跳仓浇筑工艺优化

单层浇筑厚度控制在 300mm 到 400mm 之间，混凝土泵送推移速度控制在 2~3m/h，增大混凝土散热表面积，减缓水化热蓄积速率；现场采用机械振捣成型，与项目标准化施工设备参数相匹配。控制层间浇筑间隔时间，保证上下层混凝土衔接间隔小于初凝时间，监理旁站全程记录浇筑时序，杜绝基础施工冷缝；大面积地下基础采用跳仓法施工，合理划分浇筑仓体；

单仓浇筑完成后静置养护不少于 7d, 充分释放混凝土早期收缩应力, 降低基础结构约束拉应力, 从根源防止贯通性温度裂缝。

3.3 振捣与收面工序专项优化

根据沙漠混凝土表面容易风干开裂的特性, 对现场振捣和收面施工标准进行优化。分层同步振捣, 振捣棒插入下层已浇筑混凝土 50mm, 用快插慢拔作业方式, 均匀布置振捣点位, 监理现场平行检查, 杜绝漏振、过振引起的骨料下沉、表层砂浆上浮开裂等问题; 斜面浇筑部位采用坡脚、坡顶双向振捣, 保证大体积斜面基础密实度均匀。针对沙漠水分蒸发快的核心痛点, 强制执行两道收面工序。混凝土初凝前完成初次收面, 清除表层浮浆和塑性收缩裂缝; 终凝前完成二次抹压, 闭合表层细微毛细裂缝, 提高表层密实度, 减缓表层水分蒸发, 防控干缩裂缝。

4 全流程闭环温度控制技术措施

4.1 浇筑前原材料预温控

根据沙漠季节极端气候对原材料进行预温调控, 夏季高温施工对砂石骨料进行全覆盖遮阳防护, 采用低温拌合水搅拌混凝土, 使混凝土出机温度 $\leq 28^{\circ}\text{C}$; 冬季低温施工预热拌合水和骨料, 保证混凝土入模温度 $\geq 5^{\circ}\text{C}$, 防止低温冻害缺陷。施工前清理基底和模板, 消除沙漠地基温差造成的底部应力集中, 所有温控原材料进场都进行了见证取样, 台账实时更新。

4.2 浇筑过程动态温控

现场保持混凝土连续匀速泵送浇筑, 防止中途停工造成局部热量堆积; 厚度大于等于 1m 的厚大基础构件, 内部分层设置循环冷却水管, 循环带走内部蓄积水化热。依靠微机控制电液伺服压力试验机 (FS0800) 等项目标定检测设备, 实时检测入模温度、环境温湿度, 监理工程师根据沙漠实时风速、环境温度变化情况来调节浇筑速度, 保证温升可控。

4.3 浇筑后保温、保湿、防风三位一体养护

养护是西北沙漠大体积混凝土防裂的核心工序, 浇筑完成后立即进行双层防护, 内层土工布保湿、外层保温棉被保温, 场区大风天气搭设硬质防风围挡, 切断沙漠强风对流, 从源头上解决表层极速失水、骤冷开裂的问题。规范养护周期为常规工况连续养护不少于 14d, 风沙、大温差天气延长养护周期; 全程监测内部、表层、环境三维温度, 控制核心指标混凝土内外温差 $\leq 25^{\circ}\text{C}$ 、日均温降速率 $\leq 2.0^{\circ}\text{C}/\text{d}$ 。项目监理部每天进行养护专项检查, 把温控养护列入工程质量台账。

5 工程实例应用与效果分析

5.1 工程概况

本次工艺试验以三峡南疆塔克拉玛干沙漠新能源基地若羌生产运维中心建设项目为依托, 项目位于新疆若羌县新区, 地处塔克拉玛干沙漠边缘, 典型极端大陆性气候; 施工周期内

昼夜温差最大 18.2°C , 常年大风沙尘、空气干燥。项目总用地面积为 100.48 亩, 有综合楼、宿舍楼、附属站房等 10 个建筑单体, 大面积地基基础、地下室底板均为大体积混凝土结构。试验区选取综合楼地下室筏板大体积混凝土构件, 结构厚度 1200mm, 设计强度等级 C35, 浇筑总量 2280m^3 , 施工全过程由监理杨宏见证取样, 所有混凝土配合比均采用委托来样试验确定, 砂石以干料计量。

5.2 监测方案设置

在筏板基础设置温度监测点位, 分内中心、表层、基底三个监测点, 全天候采集温度数据, 记录混凝土入模温度、温升峰值、内外温差、温降速率等主要参数, 对比传统工艺和优化工艺的施工效果。优化工艺施工参数和监测结果如表 2.1 所示。

表 1 优化工艺施工参数和监测结果

施工工艺类型	入模温度 $^{\circ}\text{C}$	内部最高温度 $^{\circ}\text{C}$	最大内外温差 $^{\circ}\text{C}$	日均温降速率 $^{\circ}\text{C}$	裂缝数量 (条)
传统施工工艺	26.8	69.5	31.2	2.8	18
优化施工工艺	25.3	62.1	22.5	1.9	3

5.3 应用效果分析

通过监测数据可知, 相比传统的工艺, 采用优化工艺可以有效地降低混凝土入模温度和内部温升峰值, 内部最高温度下降七点四摄氏度, 最大内外温差满足规范要求, 彻底解决了温差超标的难题。日均温降速率更平稳, 防止由于温度变化过大造成的温度应力。裂缝数量明显减少, 仅有一两条表面细裂缝, 并没有深部或者贯穿性的裂缝, 裂缝控制效果好。

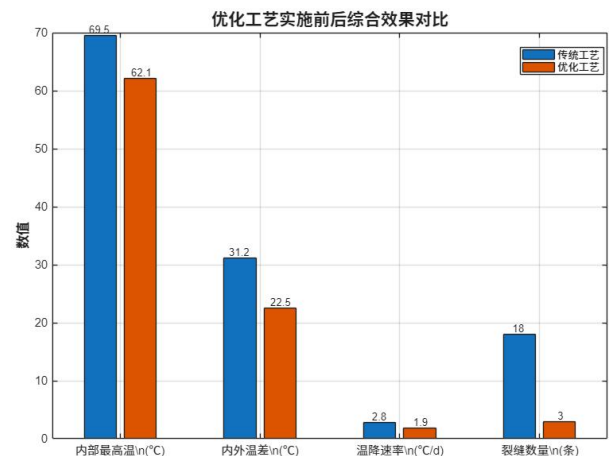


图 1 效果对比

同时优化后的分层浇筑、跳仓施工工艺提高了混凝土的浇

筑密实度, 结构整体性更好。通过改变原材料的配比, 提高了混凝土的抗干缩性, 适应了西北干旱多风的施工环境, 解决了传统施工中表面失水开裂、温度裂缝频繁出现的问题, 工程整体质量合格, 全部验收通过。

6 施工质量控制要点总结

6.1 前期原材料与配合比质量管控

西北地区大体积混凝土施工质量管控需前置源头管控思维, 原材料选型与配合比设计直接决定混凝土水化热特性、收缩性能与抗裂能力, 是温控防裂的基础环节。施工中需严格筛选胶凝材料、骨料及外加剂, 结合西北干燥大温差环境优化配比参数, 从根源降低水化热释放量, 减小混凝土自身收缩变形。优先选用低水化热、稳定性强的水泥品类, 合理利用粉煤灰、矿粉等矿物掺合料替代部分水泥, 有效延缓水化热释放速率, 改善混凝土内部孔隙结构, 提升抗干缩、抗温差变形能力。同时严格把控骨料粒径、级配与含泥量, 杜绝杂质、泥块影响混凝土强度和密实度, 搭配适配的高效缓凝减水剂, 精准控制拌合用水量, 在满足泵送施工和结构强度要求的前提下, 最大限度降低混凝土早期收缩应力, 适配西北特殊施工环境。

6.2 施工过程工艺质量管控

施工浇筑阶段是规避结构缺陷、控制温度应力的核心环节, 需严格落实优化后的分层分段浇筑、规范振捣与收面工艺, 杜绝施工冷缝、密实度不足、表层开裂等质量问题。浇筑施工严格遵循斜面分层、分段推移的施工方式, 严控单层浇筑厚度和推移速度, 保障每层混凝土充分散热, 避免内部热量集中堆积。精准把控层间浇筑间隔, 确保上下层混凝土无缝衔接, 彻底消除施工冷缝缺陷。振捣作业采用分层同步振捣模式, 规范振捣深度、速度和点位, 杜绝漏振、过振问题, 保证混凝土整体密实度均匀。针对西北地区风干速度快的特点, 严格执行二

次抹压收面工艺, 及时闭合表层塑性裂缝, 提升混凝土表面密实度, 有效抵御大风、干燥环境引发的表面失水开裂问题, 保障混凝土成型质量。

6.3 全过程温控与养护管控

温度控制与后期养护是西北地区大体积混凝土防裂的关键工序, 需构建浇筑前预控、浇筑中调控、浇筑后稳控的全链条温控体系。施工前根据季节温差开展原材料预温处理, 规避高温入模温升过快、低温入模冻害问题, 稳定混凝土初始施工温度。浇筑过程中通过布设冷却水管、动态调整浇筑速度等方式, 主动带走内部积聚热量, 平稳控制温升峰值。浇筑完成后立即落实保温保湿防风养护措施, 通过双层覆盖、增设防风围挡等方式, 隔绝风沙、温差带来的不利影响, 精准控制混凝土内外温差与日均温降速率, 避免温度骤变产生超标温度应力。根据西北天气特征动态调整养护周期, 温差较大时段适当延长养护时长, 持续保障混凝土硬化过程稳定, 逐步提升结构强度与抗裂性能。

7 结论

西北地区特殊的气候条件是影响房建工程大体积混凝土施工质量的主要因素, 传统的通用施工工艺存在明显的适应性不足, 容易产生各种裂缝缺陷。本文优化的分层分段浇筑、二次抹压收面、全流程温控和适应西北环境的养护工艺, 可以有效地降低混凝土水化热峰值, 平稳控制温降梯度, 大大减少温度裂缝和干缩裂缝的产生, 明显提高大体积混凝土结构施工质量以及耐久性。工程实例表明, 该套优化工艺操作简便、实用, 完全符合西北地区干燥、大温差、多风沙的施工环境, 可以有效地解决西北地区房建大体积混凝土施工的常见质量通病, 有较好的工程推广价值。后续可以利用智能化温度监测技术, 对大体积混凝土温控进行更加精准、自动化的控制, 从而不断改善西北地区房建工程基础施工的标准化、精细化水平。

参考文献:

- [1] 叶金德.大体积混凝土施工裂缝控制关键技术研究[C]//《中国招标》期刊有限公司.新质生产力驱动第二产业发展与招标采购创新论坛——新型电力系统建设与绿色采购转型专题论文集.[出版者不详],2026:1302-1306.
- [2] 阎昕,张昊.大体积混凝土施工工期多维度温控防裂技术体系构建与工程验证[J].四川水泥,2026,(6):29-31.
- [3] 王颖媛.地下室顶板混凝土大体积施工温控技术[J].全面腐蚀控制,2026,40(5):117-119.
- [4] 张治刚.大体积混凝土施工中水泥水化热调控及温控系统应用研究[J].水泥,2026,(6):87-89.
- [5] 邢树意,吕玮琳,高同斌.建筑基坑工程中采用大体积混凝土温控施工技术研究[J].水泥,2026,(6):114-116.