

大体积混凝土温控防裂措施的动态管理研究

程思尧

上海华建工程建设咨询有限公司 上海市 200232

DOI:10.32629/ems.v8i6.20514

[摘要] 温控防裂是大体积混凝土施工质量控制的重点和难点问题。软弱地基、高烈度抗震以及工期紧张这些复杂工程条件,让温控防裂的管控难度进一步加大。传统静态管理模式存在配合比固定、监测滞后、工艺刚性等缺陷,以上海艾为电子车规级可靠性测试中心项目为工程实例,开展大体积混凝土温控防裂动态管理研究。构建一套全过程管控体系,涵盖配合比动态优化、膨胀加强带替代后浇带、温度实时监测与闭环调控、养护工艺动态跟进等内容。动态管理模式能够精准匹配水化热释放规律,有效控制内外温差与降温速率,在保障结构抗裂性能和耐久性的同时提升施工效率,同类高端工业建筑的大体积混凝土施工可以从中获得技术支撑与实践参考。

[关键词] 大体积混凝土; 温控防裂; 动态管理; 膨胀加强带

引言

在车规级电子厂房、研发试验楼等高端工业建筑中,大体积混凝土整体性强、承载力高、耐久性好,常用于设备基础、地下室底板等关键部位。但混凝土硬化时水泥水化热释放集中,内外温差迅速扩大,易产生温度应力与收缩裂缝,威胁结构安全和使用功能。车规级可靠性测试中心对结构精度、密闭性、稳定性要求极严,裂缝控制直接决定工程质量等级与安全水平。传统大体积混凝土温控防裂多采用静态管控模式,配合比固定、施工工艺单一、监测反馈滞后,难以适应软弱地基、高烈度抗震、工期紧张等复杂条件。动态管理以实时监测、快速分析、精准调控、持续优化为主线,围绕水化热控制、后浇带优化、温度监测、养护实施等环节实施全过程闭环调控,可有效化解温差裂缝风险,保障结构质量。以上海艾为车规级可靠性测试中心项目为载体,结合软弱场地、抗震设防、工期紧张等条件,提出可落地的温控防裂措施。

1 项目概况

艾为电子车规级可靠性测试中心建设项目位于上海市临港新片区科技城 PDC1-0402 单元 A1201 地块,用地面积

27200.3 m²,总建筑面积 113826.61 m²,其中地上 77852.65 m²、地下 35973.96 m²,包含 1#研发试验楼、2#研发配套楼、地下室及配套附属建筑,地下 2 层、地上最高 10 层,建筑高度 49.95m。

项目工程地质与设计条件复杂:场地为软弱场地土类型,抗震设防烈度 7 度,建筑场地类别 IV 类;基坑安全等级二级,环境保护等级三级,地基基础与建筑桩基设计等级均为甲级;±0.000 对应吴淞高程 4.750m,地下室底板面积大、厚度大,属于典型大体积混凝土结构。

本项目为车规级高端半导体研发测试平台,对结构质量、裂缝控制、尺寸精度要求极高,立项时间 2023 年 6 月,验收时间 2026 年 1 月,总周期 30 个月,项目总金额 360 万元,获评上海市优质结构,参与人员 8 人,项目负责人吴素霞。大体积混凝土主要应用于地下室底板、试车台设备基础等关键部位,设计要求设置多条伸缩后浇带,常规做法需待两侧混凝土龄期达 60 天后方可施工,与项目紧张工期形成突出矛盾;同时业主对材料管控、工程量审核、施工质量提出高标准要求,进一步提升了大体积混凝土温控防裂的技术难度与管理要求。

2 温控防裂动态管理难点

2.1 水化热温升控制要求高

本项目大体积混凝土用于地下室底板与精密设备基础，结构厚度大，浇筑方量集中，水泥水化热释放快且峰值高，内部很容易形成高温核心区，内外温差迅速拉大并产生拉应力。车规级测试中心对裂缝、变形、均匀性要求极为严格，内部温升与内外温差必须控制在规范允许范围内，否则贯穿性裂缝或表面裂缝就会危及防水性能与结构耐久性。软弱地基与IV类场地进一步加剧了结构变形敏感性，传统静态配合比与固定降温措施很难匹配水化热的动态释放规律，温控精度不足，风险不可控。大体积混凝土智能监控系统可实现温度、应变等参数的实时采集、传输与分析，为温控防裂措施的动态调整提供精准数据支撑。精准温控是避免大体积混凝土裂缝产生的核心前提，而该智能监控系统恰好能够弥补传统静态管控的缺陷，通过实时数据反馈指导降温速率、入模温度及养护工艺的动态优化。只有将监测数据与施工调控紧密联动，才能在软弱地基、高烈度抗震等复杂条件下，有效控制温差裂缝，保障地下室底板与设备基础的整体性与耐久性，满足车规级测试中心对结构质量的严苛要求^[1]。

2.2 后浇带设置影响工期

设计要求地下室底板设置多条伸缩后浇带，两侧混凝土龄期达到 60 天方可封闭施工，这样做是为了释放早期收缩应力、降低裂缝风险。但本项目总周期只有 30 个月，地下室处于关键线路上，后浇带长期搁置会严重压缩后续施工窗口期，总工期难以兑现。强行压缩后浇带等待时间，收缩应力还没充分释放，裂缝风险就会急剧上升；完全按照设计等待，工期又无法控制。工期与质量的双重约束形成突出矛盾。传统静态后浇带工艺无法满足动态施工需求。

合理优化冷却水管铺设形式与施工工艺，可有效降低大体积混凝土内部温升，减少温度应力，避免裂缝产生。在后浇带等待期间，结合冷却水管降温与跳仓法等工艺调整，可

在不显著增加裂缝风险的前提下缩短封闭时间。关键在于通过动态监测和工艺优化，找到收缩应力释放与施工进度平衡点，既落实设计抗裂意图，又缓解工期压力，为同类工程提供可借鉴的解决路径。

2.3 温度裂缝监测时效性不足

传统大体积混凝土温度监测以人工巡检和定时记录为主，数据采集间隔长，反馈滞后，误差也比较大。水化热温升突变、温差超限这类关键风险点很难被及时发现。本项目地下室面积大，监测点位多，工况复杂，人工监测无法实现全域覆盖和实时预警。当内部温度快速上升或内外温差突破阈值时，降温、保温、补水等调控措施往往来不及启动，响应滞后就很容易产生裂缝。监测数据与施工调控脱节，没有形成“监测—分析—调控”的闭环，动态管理的基础相当薄弱。引入智能监测技术后，可实现温度数据实时采集与精准预警，大幅提升温控管理时效性。系统可连续记录各测点温度变化，当温差接近限值时发出报警信号，指导现场及时调整冷却水流量、覆盖保温层或实施喷雾补水。数据自动上传至管理平台，生成温度曲线与风险趋势图，为施工决策提供直观依据。这种实时反馈机制有效弥补了人工监测的不足，使温控措施从被动补救转向主动预防^[2]。

大体积混凝土智能监控系统可实现温度、应变等参数的实时采集、传输与分析，为温控防裂措施的动态调整提供精准数据支撑。依托该系统，本项目地下室底板浇筑过程中的温度变化被全程掌控，裂缝风险显著降低，结构质量与施工进度得到双重保障。

3 动态管理措施

3.1 配合比动态优化调整

大体积混凝土配合比动态优化以降低水化热、提升抗裂性并保障工作性为目标，同时结合原材料性能、浇筑季节、结构厚度与温控要求实施实时调整。低水化热硅酸盐水泥被选用，优质粉煤灰、矿粉等矿物掺合料按一定比例掺入以替

代部分水泥，水泥用量减少后放热速率自然延缓。连续级配碎石与中粗砂也被选为骨料，含泥量需严格控制在规范范围内，骨架稳定性和抗裂能力因此得到提升。

施工前根据结构厚度与环境温度完成多组配合比试验，基准方案从中确定。浇筑前一天的气温、风速、湿度等条件被纳入考量，外加剂掺量与水胶比需做微调。浇筑过程中入模温度实时监测，搅拌水温与骨料预冷措施随之动态调整。进场原材料的报验与送检复试必须严格执行，材料台账动态核对规格与数量，配合比执行精度才有保障。合理的配合比设计，核心是在保证混凝土工作性和强度的前提下，最大限度降低水化热总量与放热速率^[3]。

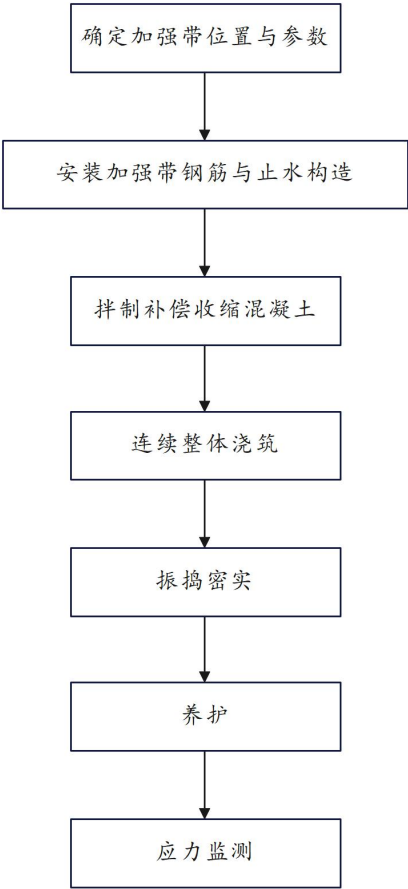


图 1 膨胀加强带替代后浇带施工流程

3.2 膨胀加强带动态替代后浇带

为破解后浇带 60 天等待期与工期紧张的矛盾，本项目采用膨胀加强带动态替代伸缩后浇带技术。该技术的核心原理

是在加强带混凝土中添加膨胀剂，使混凝土在硬化过程中产生适度膨胀，以此补偿收缩应力，从而取消后浇带的长期间歇，实现与两侧混凝土一次性连续浇筑。施工过程中，根据结构受力与收缩应力分布，动态确定加强带的位置、宽度与构造形式。加强带混凝土采用高膨胀率补偿收缩配方，同时强化带间界面处理与振捣密实度，以保障结构整体性与防水性能。这项措施在满足抗裂要求的前提下，大幅缩短了关键线路工期，工期与质量的双赢局面得以实现。

膨胀加强带的具体实施需注意以下几点：首先，加强带的位置应选在结构受力较小且收缩应力集中的区域，宽度一般取 1.5m 至 2.0m。其次，加强带混凝土的膨胀率需通过试验确定，既要补偿收缩又不可过度膨胀破坏结构稳定。带间界面处理时，可设置密目钢丝网或快易收口网，防止两侧混凝土混料，同时加强振捣确保接缝密实。养护方面，加强带区域应适当延长保湿养护时间，使膨胀剂充分发挥作用。冷却水管采用蛇形布置，管距 1.0~1.5m，通水温度与流速根据实时监测数据动态调整。通过上述综合措施，本工程后浇带等待时间由 60 天压缩至 7 天，地下室底板整体工期缩短约 50 天，为同类工业建筑大体积混凝土施工提供了可复用的技术路径。

3.3 温度实时监测与反馈调控

传统人工监测滞后、数据离散、响应迟缓。本项目改用闭环管控流程，建立覆盖全域、实时采集、智能分析、多级预警的大体积混凝土温度在线监测体系，全周期动态管理温控防裂。在地下室底板、设备基础等大体积混凝土内部分层布设高精度温度传感器，结构表面与周边环境也布置测点，形成三维全域监测网络。系统按固定频率自动采集温度数据，通过无线传输到后台实时分析，同步生成温度变化曲线、内外温差曲线、降温速率曲线，由专人负责监控与处置按规范与项目控裂要求，预先设定最高温升、内外温差、降温速率三个预警阈值。系统判断数据：正常范围内就继续监测；接近或超出限值则立即触发超限预警，现场声光报警和移动端

消息同步推送风险信息。

管理人员接到报警后,针对不同情况启动调控措施。内部温升过快时,开启循环冷却水系统帮助导热降温;内外温差偏大时,加厚保温覆盖层;降温速率超标时,延长养护时间。措施执行后同步验证效果,合格就继续监测,不合格则

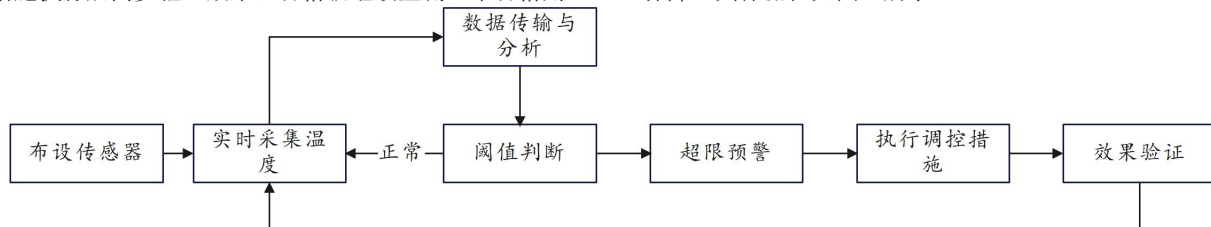


图2 大体积混凝土温度监测与动态调控流程

3.4 养护工艺动态跟进

养护是大体积混凝土温控防裂的最后一道关键防线。温度应力释放与裂缝控制的最终效果,取决于养护措施是否到位。本项目摒弃传统“一刀切”的固定养护模式,以温度监测数据为依据,让养护措施随结构部位、环境条件和温度变化动态调整,实现全周期精细化管控。混凝土浇筑完成后,立即覆盖保温保湿棉被和塑料薄膜,形成封闭养护环境,避免表面水分快速蒸发与温度骤降。内外温差接近 25°C 预警阈值时,增加保温覆盖层数,提高表面保温强度,阻止温差继续扩大。内部降温速率超过 $1.0^{\circ}\text{C}/\text{d}$ 时,放缓保温层拆除节奏,延长保湿养护时长,避免应力骤增引起表面裂缝。地下室底板、设备基础等大体积部位采用差异化养护方案:厚度大、水化热高的设备基础需要强化保温与补水,边角等易受环境影响部位需增设防风保温措施。结合上海地区气候特点实施分时段养护:高温时段增加洒水频次,搭设遮阳棚以降低环境影响;低温时段加厚保温层,采用蓄热养护;大风天气封闭作业面,减少热量流失。专人旁站监督,每日记录养护情况与温度数据,持续优化养护方案,使混凝土在适宜的温湿度环境中完成硬化,有效抑制温度裂缝,保障结构整体性与耐久性。

4 结论

调整方案再试。整个流程包括传感器布设、温度采集、数据传输分析、阈值判断、超限预警、措施执行、效果验证,环环相扣。这套体系将温控管理由经验判断转为数据驱动,为现场调控提供精准依据,为项目达到优质结构目标提供技术保障。具体流程如图2所示:

本文依托艾为电子车规级可靠性测试中心建设项目,剖析大体积混凝土温控防裂在水化热控制、工期保障和监测时效三个方面的核心难点。为克服传统温控模式缺陷,构建以实时监测为基础、动态调控为核心的温控防裂体系。通过配合比动态优化、膨胀加强带替代后浇带、温度实时监测闭环调控、养护工艺动态跟进等成套措施,有效化解温度裂缝风险,提升结构施工质量与建设效率。该成果满足车规级高端工业建筑对结构精度与稳定性的严苛要求,同时为软弱场地、高抗震设防、工期紧张条件下的大体积混凝土温控防裂提供可复制、可推广的实践路径,可在同类工程中推广应用。

[参考文献]

- [1]刘毅,辛建达,张国新,等. 大体积混凝土温控防裂智能监控技术[J]. 硅酸盐学报, 2023, 51 (05): 1228-1233.
- [2]张超,常晓林,刘杏红. 大体积混凝土施工期冷却水管理设形式的优化[J]. 天津大学学报(自然科学与工程技术版), 2014, 47 (03): 276-282.
- [3]谢先坤. 大体积混凝土结构三维温度场、应力场有限元仿真计算及裂缝成因机理分析[D]. 河海大学, 2001.

作者简介:程思尧, 1992.12.4, 男, 汉族, 江苏徐州市人, 南京工业大学, 本科学历, 建筑工程专业, 从事工程建设领域, 房屋建设工作十多年, 参与了多个地产开发建设工作。