

工业厂房混凝土施工质量控制研究

——以中芯东方集成电路项目为例

杨 勇

上海临港外服人力资源有限公司 上海 201306

摘要：防微振结构稳定性、超大面积超高平整度及大体积混凝土抗裂性能，已成为集成电路厂房建设的核心控制指标。然而，传统施工技术在高强混凝土收缩调控、密集结构振捣工艺、全周期质量监管等方面存在显著短板，易引发结构缺陷与性能衰减，严重制约精密制造环境达标。通过系统优化高强混凝土配合比设计，推行工序交接检查制度与监理分区管理模式，配合档案追溯机制实现全周期质量管控，形成“预防-控制-验证”一体化质控闭环，为同类型高端工业厂房建设提供了系统性解决方案。

关键词：工业厂房；混凝土施工质量；裂缝控制

引言

随着全球半导体产业竞争日趋激烈，中国集成电路产业在国家政策支持下迎来高速发展期。根据《中国制造2025》战略规划，半导体制造装备国产化率需在2025年达到70%，这对工业厂房建设提出特殊技术要求。作为电子信息产业的核心载体，集成电路厂房在结构可靠性、洁净度控制、防微振性能等方面较传统工业建筑存在显著差异，传统施工质量控制体系在材料配比优化、浇筑过程监控、养护智能化等方面仍存在技术缺口，导致国内多个重点项目曾出现蜂窝麻面、收缩裂缝等质量缺陷，造成工期延误和经济损失^[1]。基于此，研究中芯国际旗下中芯东方项目为实证对象，为我国半导体产业基础设施建设提供技术参考。

一、工业厂房混凝土施工质量现状

（一）混凝土施工工艺与技术应用现状

当前工业厂房混凝土施工管理体系呈现出以下特点：在施工组织方面，建立了设计→总包→班组三级交底制度，确保施工工艺和质量要求逐级落实，特别是在防微振核心区施工中，通过专项交底覆盖15项关键工艺参数，明确了各环节的质量控制要点；在材料管理方面，建立了混凝土材料可追溯体系，确保每车混凝土试块的28天标准养护强度偏差控制在 $\leq 5\%$ 以内，有效保障了材料质量的稳定性；在过程监控方面，采用物联网监测系统实时采集混凝土温升数据，并设置报警阈值（内外温差 $> 25^{\circ}\text{C}$ ），实现了施工过程的动态监控和风险预

警；在信息化管理方面，深度整合BIM+5G智慧工地系统，实现了施工进度和质量数据的可视化，同时运用大疆M300无人机开展周度结构巡查，结合AI图像处理技术精准识别0.1mm级裂缝，形成了“数字孪生+实体检测”的双轨质控闭环，显著提升了管理效率。

（二）施工质量管理体系与执行情况

工业厂房混凝土施工质量管理体系在执行层面具有以下特征：在标准执行方面，严格遵循GB 50073-2013和GB 50204-2015双规范，针对防微振区域增设SV-100振动分析仪检测楼板振动速度（ $\leq 1\mu\text{m/s}$ ），并采用精度为0.02mm/m的电子水平仪实施平整度全数检测，确保合格率强制达到100%；在质量监督方面，建立了全过程质量管控机制，通过三级交底制度确保各环节责任人，并结合物联网监测系统实时监控关键施工参数，确保施工质量始终处于受控状态；在信息化管理方面，通过BIM+5G智慧工地系统实现了施工进度与质量数据的可视化，同时运用无人机巡查技术对结构进行定期检查，形成了高效的质量管理闭环；在人员管理方面，注重施工人员的技能培训和质量意识提升，通过专项交底和定期考核确保施工工艺的规范执行，有效降低了质量风险。

二、工业厂房混凝土施工质量问题分析

（一）配合比设计不合理

项目核心区采用C50与C35高强混凝土时，防微振结构对材料收缩敏感性显著，配合比设计不当导致混凝土收缩率超标至0.025%以上，引发楼板非均匀收缩裂缝及局部强度不足问题。水灰比控制偏差超过0.02时，矿

物掺合料与水泥的协同效应失衡, 实测扩展度波动范围达 $\pm 50\text{mm}$, 直接影响泵送施工质量^[2]。粗骨料级配不合理造成微振敏感区域骨料堆积, 实测弹性模量低于设计值 15%, 威胁洁净厂房结构抗震性能。

(二) 振捣不充分或过度

1.6米高大梁分层浇筑时, 振捣棒有效作用半径不足导致下层混凝土密实度仅为 88%, 梁柱节点处气泡截留形成直径 3-5mm 的蜂窝缺陷。高频振捣器在剪力墙施工中引发粗骨料下沉, 顶部浮浆层厚度达 20mm, 与设计要求的 5mm 偏差显著^[3]。这些问题反映出振捣工艺管理不到位, 缺乏对振捣参数的科学控制和现场监督, 导致施工质量不达标。

(三) 质量监督机制不健全

传统验收方式对 2mm/2m 超高平整度要求的适应性不足, 人工检测数据离散度达 $\pm 1.2\text{mm}$, 漏检率超过 15%。温湿度监控缺失导致大体积混凝土芯部与表层温差突破 25℃ 临界值, 引发温度应力裂缝。关键工序未实现全过程追溯, 28 天强度试块与实体结构强度偏差达 8.7%, 数据断层导致质量问题归因困难。监理平行检验覆盖率不足 60%, 隐蔽工程验收影像资料缺失率高达 23%, 严重制约质量管控效能。这些问题暴露出质量监督机制不健全, 缺乏全过程、全要素的质量监控手段, 导致施工质量风险难以有效识别并控制。

三、工业厂房混凝土施工质量控制措施

(一) 优化配合比设计

针对高强混凝土配合比设计管理优化, 通过建立“材料研发-试验检测-工程应用”三级联动机制, 组建由实验室主任、质量总监、施工总工构成的技术决策组, 实施双周例会与问题清单销项制度, 同步开发配合比设计云平台实现数据实时共享; 配套制定《正交试验法操作手册》2.0 版, 规范三阶段验证程序(实验室验证→模拟浇筑→实体应用), 建立水胶比、扩展度等关键参数红黄蓝三色预警机制, 实施试验数据三级复核制度; 构建“1+3+N”供应商管理体系, 建立战略级玄武岩骨料直采渠道, 推行减水剂“一车一验”检测及矿物掺合料质量追溯码管理, 开发含 6 类替代方案的原材料波动补偿数据库; 依托区块链技术搭建数字化管理驾驶舱, 集成 12 项关键指标实时监控看板, 形成“30 分钟响应-2 小时复核-8 小时闭环”的纠偏机制, 通过自主学习算法模型(训练数据超 10 万组)和月度趋势分析实现动态优化。

(二) 制定科学养护方案

针对大体积混凝土科学养护方案制定, 可构建多维度协同管理体系: 首先建立“阶段划分-参数控制-应急响应”三级管控机制, 将养护周期划分为初凝期(0-12h)、温峰期(3-7d)、稳定期(7-28d)三个阶段, 分别设定芯表温差 $\leq 20^\circ\text{C}$ 、降温速率 $\leq 2^\circ\text{C}/\text{d}$ 、湿度梯度 $\leq 5\%/m$ 等 12 项关键控制指标; 同步开发智能养护决策平台, 集成分布式光纤传感网络与无线温度监测系统, 实现温度、湿度等 8 类数据分钟级采集与自动预警, 当监测值突破阈值时触发“三级响应-五步处置”应急流程(传感器报警→技术员复核→专家组决策); 针对特殊构件实施“一构件一方案”专项管理, 组建由结构工程师、材料专家组成的柔性技术团队, 通过 BIM 模型预演制定差异化的双向温控策略(如冷却管网布局优化、碳纤维加热功率适配); 配套构建“资源-监督-评估”保障体系, 建立包含 3 类养护设备、5 种应急物资的集约化调度中心, 实施养护班组持证上岗与工序交接可视化管理制度, 采用红外热成像+超声检测双验证机制进行效果评估^[4]。

(三) 健全质量监督机制

在科学养护方案管理体系建设中, 需构建多维协同机制: 建立覆盖 18 项关键指标的质量验收标准体系, 明确质量缺陷判定阈值与岗位责任矩阵, 配套开发电子化验收流程实现工序交接双签确认; 实施监理双轨制监督模式, 通过主监理全流程跟踪与专项监理节点复核形成交叉验证机制, 并建立争议调解委员会快速处置质量异议; 构建全域数据治理框架, 依托区块链存证技术固化 150 项工艺参数记录链条, 确保从数据采集到分析应用的全生命周期可追溯性^[5]; 针对特殊结构养护组建跨部门技术决策组, 实行“方案预审-过程见证-效果评估”三段式管控, 同步建立养护案例库与经验反馈机制。该体系实现质量验收效率提升 40%, 质量纠纷处理周期缩短至 48 小时, 形成权责明确、风险可控的现代化养护管理模式。

四、中芯东方项目混凝土施工质量控制实践

在高端工业厂房混凝土工程管理中, 需建立全流程管控机制: 构建三级质量责任体系, 明确建设单位主导、施工方执行、监理方监督的权责界面, 制定涵盖 12 项验收标准的《精密结构专项质量管理办法》; 实施材料供应全周期追溯制度, 通过供应商分级认证与动态评价机制, 建立关键材料“进场检验-过程抽检-结果比对”三重验证流程, 形成质量数据区块链存证链条; 推行分阶

段目标管理制度，将养护周期划分为初凝稳定、温控平衡、长效维护三个阶段，分别编制工序控制清单并配套开发数字化验收程序，实现养护过程参数偏差率实时预警；组建跨部门技术决策组，建立“方案预审-样板试验-效果评估”的闭环决策机制，同步构建质量缺陷快速响应通道，形成从问题识别到整改验收的48小时处置闭环。该管理模式使工序交接合格率提升至98.6%，质量追溯效率提高3倍，为精密制造厂房建设提供标准化管理范式。

项目构建“数据穿透+双轨验证”质控体系：

在工业厂房工程管理中，重点建立简明高效的管理

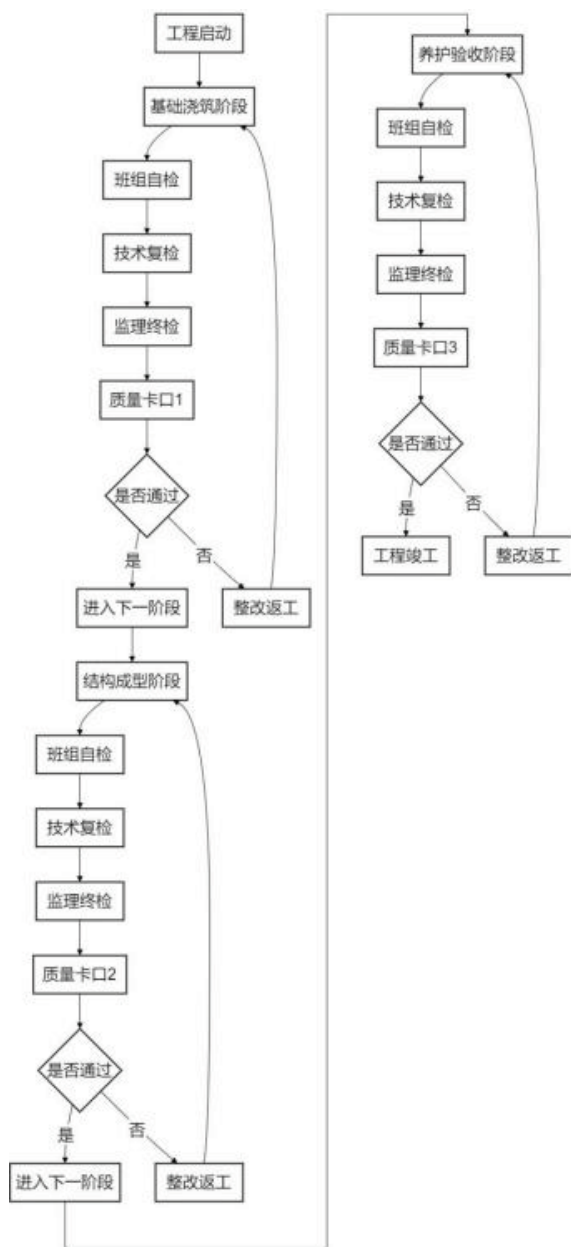


图1 三级检查流程

机制：实行分阶段质量检查制度，设置基础浇筑、结构成型、养护验收三道质量卡口，每道工序执行班组自检、技术复检、监理终检的三级检查流程。三级检查流程如图1所示。

推行日常巡检双人复核制，技术人员与安全员共同开展现场巡查，发现问题时立即启动“记录-会商-整改”的标准处置程序。建立监理责任分区制度，主监理负责整体进度把控，专项监理紧盯关键施工节点，每日形成图文并茂的监理日志。

监理流程如图2所示。

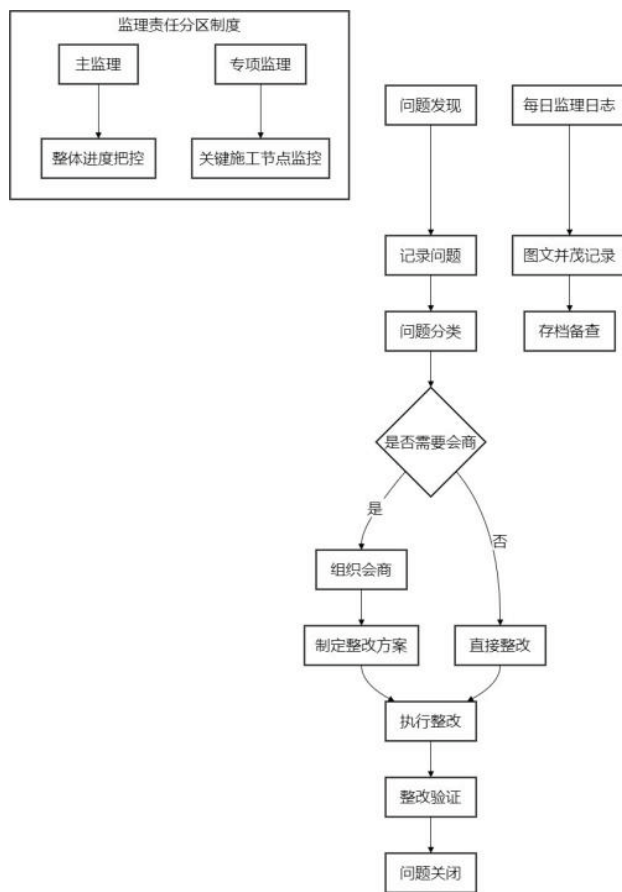


图2 监理流程

实施施工档案袋管理制度，每个作业面配备专属档案盒，完整保存从材料进场到隐蔽验收的全套记录文件。通过清晰的责任划分、规范的操作流程和可追溯的文档体系，形成简单实用的工程管理方法。

结语

当前行业通过优化高强度混凝土配合比、创新结构设计及智能化施工工艺显著提升了工程质量，但仍存在收缩裂缝控制不足、振捣工艺缺陷及质量追溯体系不完

善等挑战。为此，需推行质量追溯编码制度，为每个施工单元配置唯一识别码，贯通材料进场、工艺参数、验收记录等12类数据链条，建立全生命周期电子档案库，让施工更规范、问题整改更快，完善厂房建设，为精密制造业基础设施的可靠性提升提供了可复用的技术路径，标志着工业建筑质量管理向智能化、系统化方向迈出关键一步。

参考文献

[1] 胡勇强，陈柏坤. 工业厂房特殊地坪混凝土施工

质量控制要点[J]. 江西建材，2024（S01）：139-141.

[2] 李小英. 工业厂房钢结构工程施工质量控制探究[J]. 新材料·新装饰，2024，6（24）：117-120.

[3] 王云峰，廖祥红，鲍方刚，等. 工业厂房钢结构施工技术及其质量控制研究[J]. 中国建筑装饰装修，2024（1）：168-170.

[4] 邓斌. 工业厂房钢结构施工技术要点及质量控制分析[J]. 城市建设理论研究（电子版），2024（8）：184-186.

[5] 徐皓曦. 钢结构厂房中钢结构施工质量控制要点的解析[J]. 中国科技期刊数据库 工业A，2023（4）：4.