

集成电路洁净厂房多专业交叉施工的总承包协调管理策略

马东

信息产业电子第十一设计研究院科技工程股份有限公司上海分公司 上海 200120

【摘要】：重庆 12 英寸集成电路特色工艺线项目（一期）是在高洁净、高复杂度施工环境下推进的大型半导体制造工程，涉及装饰装修、机电安装、洁净系统、气化学供应、废水处理等多专业交叉作业。当前项目正面临多专业穿插施工导致的工序冲突、洁净度与施工活动矛盾、资源协调难度大等问题。因此，围绕总承包协调管理，本研究提出洁净环境控制策略、BIM 辅助下的冲突预判机制、进度与资源的动态调控方法，以及数字化协同工具的集成应用，以实现洁净标准与施工进度双重保障。

【关键词】：集成电路；洁净厂房；多专业交叉施工；总承包管理；BIM

DOI:10.12417/2811-0536.26.03.062

1 引言

集成电路产业是国家战略性新兴产业的重要组成部分，洁净厂房作为芯片制造的核心载体，其建设过程涉及机电、暖通、装饰、消防、自动化等多个专业，施工复杂度高、协同难度大。尤其是在重庆 12 英寸集成电路特色工艺线项目工程中，对洁净施工质量与施工进度双重控制提出更高要求，总承包单位面临多专业交叉、工序穿插密集、洁净等级高标准等诸多管理挑战。

2 洁净度控制与施工冲突的实时协调

2.1 动态调整洁净区域施工准入制度

项目一期中，生产厂房 1 洁净区域按施工节点逐步开放，涉及多专业交叉施工，为保障洁净环境，需实施动态准入机制。项目部依据洁净室围护封闭进度，将洁净区划分为三级准入等级：装修施工阶段为非控制区，设备安装前为准洁净控制区，设备调试阶段为高洁净控制区。不同阶段采用不同人员准入标准，高洁净控制区要求施工人员提供洁净作业培训合格证，每日由专人核查入场工具、材料封装状态及操作计划。所有进出人员均须在指定风淋间进行静电释放及全身吹淋，并在现场设置实时颗粒计数器，若洁净指标超标，将临时冻结该区施工权限。

2.2 材料运输与设备安装的洁净防护流程优化

本项目中，大型洁净设备如高纯气体柜、纯水设备等需在精装修完成后运输进场，存在与室内空气、人员流动交叉污染风险。为此，项目设立“三级物资防护流程”：第一阶段在厂区外围物资缓冲仓进行开箱、表面清洁、静电处理及洁净封包，作业由专人使

用无尘布和酒精对设备全覆盖擦拭，转运前进行粒子测试，数据不合格禁止入内。第二阶段经密闭电动平板车运送至厂房门厅缓冲区，车辆底部附设防尘布和静电吸附膜，转运全程限定专用路径，不与施工主通道交叉。第三阶段在厂房内设点对点转运，搬运前开启临时 FFU 单元确保局部正压，同时吊装窗口设置软式风帘和 PVC 围挡，作业完成后立即封闭吊装口并启动局部送风设备。整个过程中，需配备洁净监督员跟踪拍照与视频记录，并在设备开包安装后采集局部洁净度数据作为验收依据，确保每一次运输与安装行为都在可控洁净环境中完成。

2.3 高洁净区与非洁净区作业界面的缓冲区管理

项目施工过程中，洁净区与厂务管廊、物流间等非洁净作业区形成多重交界面，尤其在设备搬运、材料输送路径存在频繁切换环境等级的问题。为此，总承包统一在各交界面设置模块化缓冲区单元，尺寸控制在 4 米×6 米，内部划分为人流通道和物资通道两部分，并设置风淋设备、鞋底清洁粘尘垫、静电释放仪及缓冲操作台。其中，缓冲区外侧配备临时净化送风系统，保持区域压差正向流动，净化效率达到 ISO 8 等级要求。进入人员按作业类别分批管理，电气、暖通、弱电等专业每日设定限额，每班次固定出入人数并设定时间窗口，缓冲区使用 RFID 门禁系统绑定个人信息，出入时间、次数、行为轨迹全部可查。物资由仓储统一分拣后进入缓冲区，由洁净物资专员执行三重擦拭与双层包装更换流程，记录运输编号和粒子数据。洁净区一旦出现颗粒指标预警，系统自动暂停缓冲区开放，第一时间启动溯源机制，实现洁净环境与多工种交叉施工之间的有序衔接。

3 工艺管道与机电安装的冲突预判与规避

3.1 基于 BIM 的管道综合排布优化

重庆 12 英寸集成电路特色工艺线项目一期施工中, 厂房机电系统管线密集, 管道走向复杂、层级交错, 局部区域如工艺夹层、走廊夹道空间极其有限。对此, 项目需在实施前采用 BIM 模型对各系统进行三维建模, 建立基于实际图纸深化的综合管线模型, 并由总包统一组织专业交底与模型会审, 明确各类管道空间分层规则, 如高纯气体布设在最高层, 暖通风管位于中部, 电缆桥架居下, 废水与强电避让主气路系统。模型中, 设置冲突监测点位, 重点对百级洁净区吊顶夹层、设备间天花板及主干管廊进行碰撞校验, 冲突等级按间距分为三级, 并以颜色标识分包责任。所有深化模型在开工前提交施工模拟视频, 由施工人员按照可视化模拟结果进行预排放线, 现场加工与安装过程中由 BIM 管理小组每日进行模型对照核验, 发现偏差及时修正, 确保空间利用最优、交叉冲突最小。

3.2 关键节点的施工优先级协调

本项目厂房内存在大量关键施工交汇节点, 如主洁净区空调风道与气体管道、工艺管线与电缆桥架的交接段, 若施工顺序处理不当将直接导致返工与安装障碍。基于此, 项目需编制《关键施工交叉节点优先级控制清单》, 将设备夹层、送风段吊顶、中央走廊交叉段等 20 个节点列为高冲突部位, 统一设定专业优先级顺序。例如, 在送风段吊顶区域, 优先安装空调风道与高纯气体主管, 再布置消防喷淋和桥架, 最后进行弱电穿线与配线箱安装。此外, 交叉施工区域需每日召开专项协调例会, 项目经理、各专业工长、现场协调员三方现场交底, 并使用 BIM 模型明确标高、支架尺寸与接口方向, 避免多工种抢占空间。同时, 特殊位置如纯水回流支路与电力管线共架位置, 需提前在支架施工时一次性预埋滑槽与标识牌, 提升安装效率并消除后期干扰。

3.3 共用支架系统的标准化设计

项目厂区内, 各类管线系统多采用高空布设方式, 若分别设置支架将造成空间浪费、维护困难与吊顶冲突。为优化布线空间、提升施工效率, 项目全范围推广共用支架系统, 具体根据区域功能划分为管廊型、天花夹层型及设备夹层型三类, 均采用工厂预制标准组件, 包括主龙骨、横担、连接件及抗震支撑, 材料为热镀锌碳钢, 接口位置统一为 45° 斜口连接并标配激光定位孔。所有支架布置在施工前由支吊架设计单位联合 BIM 组依据模型完成深化图, 统一出图、统一

清单、统一预制、统一发货。现场支架安装中, 由专业支吊架施工队伍完成, 在标定区域先行安装基础骨架, 随后各专业依顺序进入, 按支架设计孔位就位管线。整个支架系统每 8 米设置位移缝和抗震连接节点, 满足地震带建筑安装规范。安装完成后由第三方检测机构现场抽检 20% 节点的承载能力与定位偏差。

4 多专业交叉施工的进度动态调控

4.1 关键设备进场时间与土建装修的精准匹配

项目一期施工中, 关键设备如高纯气体汇流排、超纯水系统、空调主机、化学品自动供应系统等需在精装修完成后的限定时间内完成进场、定位和初步安装。为保障施工与设备进场无缝衔接, 项目部组织编制“关键设备进场匹配计划”, 将设备进场节点前置 60 天反推至精装修、吊顶收口、地坪找平完成时间, 按日列入施工主控计划, 由总包下发至各专业工种同步执行。其中, 厂务设备需预留不少于 2 天的楼层通道空窗期完成转运及布放, 机电分包单位须提前完成设备接口定位与母管压接点预埋, 所有电气控制箱与地线排提前至土建结构阶段安装到位。此外, 还需对进场路径进行实测放样, 标明转运路线、楼板承重要求与最小通行尺寸, 遇无法满足的结构开口提前报审。

4.2 高风险工序的避让规则

本项目中, 吊装、穿管、焊接、动火等高风险工序分布于多专业施工过程之中, 若未进行作业冲突规避与时段划分, 易引发洁净破坏、安全事故与交叉干扰。为实现施工安全与洁净控制的同步达标, 项目实施“高风险工序避让清单”制度, 建立作业类别与区域冲突排查机制。所有动火及明火焊接工序需在施工前 24 小时提交审批, 审核内容包括: 作业时间、作业点位、火源控制措施、洁净影响范围、临时通风设置及周边施工工序关系等。同时, 洁净区内高风险作业统一安排在每日 9:00-18:00 之间执行, 并设洁净封闭围挡与局部净化风口。此外, 在设备夹层、空调箱基座及管廊汇合区等空间密集部位, 项目部需明确同时段只允许 1 个专业开展高风险作业, 并设置双人巡检制度, 施工组长与安全员实时签到、签退, 每天形成电子台账提交总包备案。

4.3 突发延误下的资源重新分配机制

项目实施过程中不可避免出现因天气、材料延迟、设备缺陷、交叉干扰等因素造成的局部工期偏差。为应对突发延误, 项目建立以施工单元为基础的“可转移资源池”, 每个工种施工队伍配置固定与浮动人员比例为 4:1, 浮动人员可按需调配至关键工区, 按周

更新流动安排表。当某一施工区因设计变更或环境封闭推迟作业时，项目部通过现场 BIM 模型标记任务停工面，动态调整相邻工作面资源进驻次序，实现人员平移与机械重分配。如洁净围护因接口材料到货延迟，立即通知高纯气体单位提前完成次区域管道施工，避免总作业量堆积于单一节点。此外，每日协调会设“延误响应”议题板块，由进度组提供延期信息，计划组提出应急资源分配建议，并同步纳入主施工计划进行路径修正。

5 数字化协同工具的应用落地

5.1 轻量化 BIM 模型在施工现场的移动端协同

在项目一期生产厂房和厂务系统施工过程中，受现场作业环境、人员操作条件等因素限制，BIM 技术主要应用于施工前的深化设计与方案协调阶段，现场空间复核仍以图纸交底与实体核查为主。项目由总包 BIM 主管统一组织各专业 BIM 人员，基于设计图纸建立综合模型，对暖通、工艺管道、电气桥架等系统进行套图分析，重点消除设备夹层、管廊及洁净区吊顶空间内的碰撞问题，形成可实施的综合排布方案。

在模型优化完成后，由 BIM 团队将深化成果转化为施工图、节点大样及管线综合示意图，组织施工管理人员和各专业工长开展 BIM 施工交底。交底内容重点说明管线分层原则、关键节点标高控制、支架共用位置及接口预留要求，并由各参建方联合会签确认，作为现场施工执行依据。通过“模型先行—图纸固化—交底落实”的方式，降低后期施工阶段因空间冲突引发的返工风险。

施工阶段的现场管理以实体复核和质量巡检为主，未在空间检查中全面采用轻量化 BIM 或移动端模型协同。项目在日常质量与安全巡检中引入移动端协同工具，由现场管理人员通过移动终端记录施工进度、质量问题及整改情况，形成电子巡检台账并同步至总包管理平台。该方式虽未实现基于 BIM 模型的实时空间复核，但在问题记录、责任追溯和整改闭环方面提升了现场管理效率，实现了数字化手段对传统施工管

理流程的补充。

5.2 进度偏差自动预警与责任推送逻辑

项目施工中多工种交叉密集，为实现对施工进度动态监测与闭环响应，项目引入基于施工计划数字模型的偏差预警系统。各工种每日施工任务在移动端签到报工后，系统自动与主进度计划进行对比分析，当实际完成偏离计划超过 48 小时，系统在平台首页推送红色预警标识，并按责任单位、责任人及所属区域进行自动归类^[1]。例如当厂房三层空调风管未按计划完成吊装，系统将滞后节点与原计划路径高亮标出，并通过项目群组消息通知暖通单位项目经理与区域工长。此外，平台根据前期责任分工绑定数据自动生成《延误分析单》，要求责任单位在 24 小时内提交调整计划及风险规避措施，经项目施工经理审核后调整主路径计划^[2]。

5.3 电子化施工日志的多专业并联签署

重庆项目中每日涉及装饰、暖通、消防、气体、电气、弱电等多个专业在同一楼层或区域内作业，传统纸质施工日志难以同步记录多方动态，存在责任不清、信息断层等问题。对此，项目采用数字施工日志系统，每日由各专业工长通过移动终端录入当天作业内容、施工人数、施工面编号、使用材料及进展情况，系统自动生成专业日志并同步至总包平台。各专业日志于当日 17:00 前完成提交后，由总包现场协调人员进行整合，形成区域施工日志总表。日志提交后开放电子签署功能，由区域负责人、安全员、质检员进行线上签字确认，不再使用纸质交底本。若某项作业因质量、进度或施工干扰被记录为异常情况，系统将自动生成问题派单并关联施工日志归档，具备完整问题溯源能力。

6 结语

本文围绕重庆 12 英寸集成电路特色工艺线项目（一期）建设全过程，针对洁净度控制、专业冲突预判等核心问题，系统提出总承包协调管理策略，有效提升了多专业交叉施工效率与洁净施工质量。

参考文献:

- [1] 王晋.基于单片机的洁净厂房环境监测控制系统设计[J].集成电路应用,2025,42(04):64-66.
- [2] 汤健灵.某集成电路产业园厂房的建筑设计[J].工程技术研究,2022,7(08):185-189.