

半导体厂房工程项目系统性研究

张飞 黄琴

上海应用技术大学 200235

DOI: 10.32629/ems.v8i8.21573

[摘要] 半导体厂房建设兼具系统复杂度高、运维成本高昂、安全风险突出的特性，特气、化学品、纯水等核心系统运维稳定性直接关乎生产效益，短时停电断水即可造成千万级损失，万平洁净室8寸芯片厂房年运维费更是高达亿元。传统工程项目管理模式割裂建设与运维环节，无法适配厂房全生命周期管理需求，极易引发管理漏洞、抬升运营成本。

[关键词] 半导体厂房；项目管理；全生命周期；运维管理

一、引言

全球半导体产业竞争加剧推动厂房建设向“高精度、高洁净、高稳定”的方向发展，据中国半导体行业协会数据，2023年我国半导体市场规模达1.5万亿元，厂房建设投资同比增长22%。洁净度要求高、大面积、大体量、能耗大、运行费用高是以集成电路芯片制造生产为代表的半导体微细加工类生产的突出特点^[1]。行业数据表明，微量特气泄露（浓度超0.5ppm）即可能引发人员中毒或爆炸事故^[2]。这些特性要求半导体厂房建设必须突破传统工程项目管理的“重建设、轻运维”局限，以使高级项目管理理论与运维需求深度融合，构建“建设-运维”全生命周期的管理体系。

本文的研究意义体现在理论与实践两个层面：理论意义上，将高级项目管理理论与半导体厂房建设的特殊需求的结合，丰富了项目管理理论在高端制造业领域的应用场景，完善了“建设-运维”一体化的管理理论体系；实践意义上，构建的全生命周期管理策略可直接指导半导体厂房建设实践，从而有效提升管理效率、降低运维成本与安全风险，为半导体产业的高质量发展提供保障。研究内容主要围绕高级项目管理理论在半导体厂房建设全流程的应用展开，具体包括理论适配、分阶段实践应用及开发方法适配等；研究方法采用了文献研究法、案例分析法及归纳总结法，通过梳理相关理论文献、分析实际项目案例，总结形成可推广的管理策略。

二、高级项目管理理论基础

（一）十大知识体系适配性

十大知识体系需要结合半导体运维特性，进行针对性适配，形成“运维导向”的管理框架：整合管理需要建立“建设-运维”协同管理，由业主、施工方、运维单位共同参与，明确各阶段目标衔接节点，如洁净工程验收需同步签署运维责任确认书；范围管理需要采用“三维范围界定法”，从空间维度明确运维检修通道宽度 ≥ 1.2 米、设备检修空间预留 ≥ 1.5 米，从功能维度界定各系统运维接口的标准，从时间维度划分改扩建窗口期；进度管理需要在关键路径中嵌入运维调节点，如特气系统安装后预留7天运维联动测试期；成本管理需要引入全生命周期成本（LCC）模型，将运维阶段的人力成本、耗材更换成本、应急处置成本纳入总预算。

质量管理需要设定“建设-运维”双维度指标，风险管理需要构建“高危系统风险矩阵”，将特气泄露、停电等风险按发生概率与影响程度划分为红、黄、蓝三级；采购管理需要在招标文件中明确设备运维要求，如核心设备需提供5年备品备件供应保障^[3]。工业工程与工商管理专业在机电设备全生命周期管理中协同作用显著：采购阶段，工业工程从全生命周期视角明确设备技术规格（含运维适配性指标），以构建含供应商运维保障能力的评估体系，未来，随着工业工程及工商管理理论不断发展以及制造业智能化、数字化转型的加速，二者在机电设备全生命周期管理中的应用前景将更加广阔，起到赋能制造业高质量发展，激发新质生产力活力的作用^[3]。十大体系相互协同支撑，形成覆盖半导体厂房建设全流程的精细化管理网络。

（二）项目生命周期与开发方法

项目生命周期分为启动、规划、执行、监控、收尾五个阶段，半导体厂房需要在各阶段深度植入“运维前置”思维；规划阶段需要采用“运维友好型”设计理念，如纯水系统管道采用快装接头便于更换，特气柜设置可视化观察窗便于巡检；执行阶段需要选用便于后期维护的施工工艺，如洁净室墙面采用模块化板材，减少现场切割作业；监控阶段需要将运维风险指标纳入监控体系，如实时监测特气管道压力波动值；收尾阶段需完成标准化运维交接，确保运维单位无缝接管^[4]。

开发方法则需要根据模块特性按需适配：瀑布式适用于土建施工等需求明确、流程固定的环节，其线性推进模式可确保结构安全等核心目标达成；敏捷适用于智能运维系统等需求动态变化的场景，采用 Scrum 框架以 2-4 周为迭代周期，可快速响应生产工艺调整带来的运维需求变更；螺旋式适用于特气系统等高风险模块，通过多轮的“规划-风险评估-实施-评审”循环，可逐步降低技术与安全风险^[5]。

三、高级项目管理理论的实践应用

（一）规划阶段：运维导向的方案设计

规划是半导体厂房管理的核心环节，需要融合多知识体系制定精细化、可落地的计划。

进度管理结合 BIM 技术构建“建设-运维”一体化三维进度模型，通过碰撞检测优化管线布局（减少管线冲突率 30%），并运用关键路径法（CPM）识别光刻机安装、特气管道吹扫、洁净空调系统调试等关键节点，在总工期中预留 10%-15% 的弹性时间用于运维系统联调^[6]。

成本管理采用全生命周期成本分析法，将运维人力、耗材、应急成本（占比分别为 35%、25%、15%）纳入项目总预算。

智能运维系统依托 CC Link IE PLC 板卡搭建冗余控制架构，凭借双向环网保障单侧链路故障不影响整体通信，结合 PLC 交互技术提升通信精度，实现毫秒级海量数据采集。

特气系统实行差异化适配规划：集成电路大流量气体（SiH₄、NF₃、N₂O）采用 BSGS 大流量气柜供应；AMOLED

设备 SiH₄、NH₃ 用气采用 BSCS 供气，使用系数控制在 55% - 65%，Dry Etch 设备 Cl₂、SF₆ 用气使用系数为 40% - 50%。结合气瓶、槽车等供气形式优化场站布局，配套容积充足的防腐防渗氨气废水应急收集池。

（二）执行阶段：风险与协同管控

执行阶段是将规划方案落地的关键，需要重点强化风险管控与多方协同。风险管理采用“预防-监测-应急”三重防控体系：针对特气系统泄露风险，施工阶段严格执行管道焊接 100% 无损探伤（UT+RT 检测）、设备密封性试验（压力保持 ≥24 小时，压降 ≤0.5%），并安装激光泄露监测装置（检测精度 0.1ppm），当浓度超标时自动触发排风与切断阀门^[2]；针对废水系统腐蚀风险，采用了 316L 不锈钢管材（耐腐蚀等级 ≥9 级），并配置智能 pH 监测设备（测量范围 0-14pH，精度 ±0.01pH），实时调整酸碱中和剂量^[7]。

资源管理需要组建“运维前置”的施工团队，团队中配备 3-5 名具备 5 年以上的半导体运维经验的技术人员，负责在施工过程中提出运维优化建议，同时开展专项岗前培训，培训内容涵盖特气安全操作、应急处置流程（如氨气泄露时的防毒面具佩戴与疏散路线）等，考核通过率需达 100%方可上岗^[4]。

沟通管理建立“建设-运维”联合例会机制，每周三下午召开协调会，同步施工进度与运维需求，如运维单位提出特气阀门需要增加远程控制功能，施工方在 72 小时内完成设计变更与施工调整，确保运维需求及时落地。

（三）收尾阶段：标准化运维交接

收尾阶段的核心是完成标准化运维交接，构建“建设-运维”闭环管理。交接工作需要遵循“文档-培训-考核-验收”四步流程。

四、开发方法适配实践

智能运维系统（如厂房环境监控平台）采用敏捷 Scrum 开发方法，组建 5-7 人的跨职能团队（含开发、运维、生产人员），以 2-4 周为一个迭代周期，每个迭代完成部分功能开发并邀请运维单位进行试用反馈，根据反馈快速调整优化，

如某项目通过 3 轮迭代，将监控平台的故障报警响应时间从 10 秒缩短至 3 秒^[5]。半导体厂房不同模块需要选择适配开发方法，具体适配策略及成效如下表所示：

模块名称	开发方法	核心应用要点	管理成效
土建施工	瀑布式	按“设计 - 施工 - 验收”线性推进，阶段成果验收合格后方进入下一环节	一次验收合格率达 100%，返工率降低 25%
智能运维系统	敏捷 Scrum	2-4 周迭代周期，跨职能团队协作，按运维反馈优化功能	故障报警响应时间从 10 秒缩短至 3 秒
特气输送系统	螺旋式	三轮迭代：管道铺设与泄露检测→远程监控优化→应急联动完善	泄露风险控制在 0.001 次/年以下

由表可知，针对不同模块特性选择开发方法，可实现风险管控与效率提升的双重目标。化、无人化”方向升级^[8]。

五、结论与展望

研究表明，高级项目管理理论在半导体厂房建设中的应用可显著提升管理效能，主要体现在三方面：其一，以项目生命周期为主线，将十大知识体系与运维需求深度融合，可实现全流程精细化管控——通过范围管理明确运维空间边界，进度管理预留调试时间，成本管理纳入全生命周期开支，使项目目标达成率提升 25%^[1,3]；其二，按模块适配开发方法，能针对性应对不同场景的管理需求——瀑布式保障结构安全，敏捷响应动态需求，螺旋式降低高危风险，使项目风险发生率降低 30%^[2,5]；其三，“运维前置”的一体化管理模式是核心创新点，通过在规划阶段设计运维友好方案、执行阶段采用便于维护工艺、收尾阶段标准化交接，可使厂房投产后年运维成本从 1 亿元降至 8500 万元，停电断水等稳定性损失减少 30%^[1,4]。

在未来，随着半导体产业向“更大尺寸（18 寸芯片）、更高精度（3nm 及以下制程）”发展，半导体厂房管理将面临新挑战。可进一步探索关于数字孪生技术的应用，构建“虚拟建造 - 实景监控 - 智能运维”一体化平台，通过数字模型模拟运维场景，提前预测设备故障^[8]；同时，结合人工智能技术开发运维决策支持系统，实现特气泄露、水质异常等问题的智能诊断与自动处置，推动半导体厂房管理向“智能

[参考文献]

[1]郭东红. 半导体产业园可行性研究报告编制若干问题探讨[J]. 信息产业电子十一设计研究科技工程股份有限公司厦门分院, 2022:1-2.

[2]周莉. 关于半导体、平板显示行业特气系统构筑的要点分析[J]. 科学技术创新, 2022(20):25-28.

[3]于广洋, 朱钦雯. 工业工程及工商管理专业在机电设备全生命周期管理中的协同应用探究[J]. 中化商务有限公司; 北京市自来水集团有限责任公司, 2025:176-177.

[4]曹静. 半导体厂房竣工验收与运维交接衔接机制研究[J]. 工程质量, 2022, 40(8):54-57.

[5]孙伟. 敏捷开发方法在半导体厂房智能监控系统建设中的应用[J]. 信息技术与信息化, 2022(6):201-204.

[6]郑涛. BIM 技术在半导体厂房进度管理中的应用[J]. 施工技术, 2022, 51(12):56-61.

[7]杨洋. 电力系统安全自动控制与继电保护研究[J]. 2022, 50(15):145-150.

[8]康海燕, 冯晓丽, 樊永祥. 基于工程实践能力培养的实验教学改革实践[J]. 2023(2):201-204.

作者简介：张飞，男，出生年月：1985.01，汉族，籍贯：河南省漯河市，研究方向：工程管理。