

系统论视角下半导体厂房二次配施工安全重难点分析与综合治理策略

牛 坤

中国电子系统工程第二建设有限公司华中大区 江苏 无锡 214000

【摘 要】：本文针对半导体行业二次配项目施工过程中的安全管理问题开展深入研究，分析了多系统交叉作业、特殊介质管路施工、洁净环境要求等环节存在的安全风险。通过系统梳理施工过程中的重难点问题，提出了建立系统化安全管理体系、强化特殊介质管控、实施洁净环境施工优化、构建高效应急响应机制等针对性措施。研究表明，通过健全管理制度、加强人员培训、引入先进技术手段和建立评估反馈机制，可有效提升半导体二次配项目的安全管理水平，降低事故发生率，为半导体产业安全生产提供有力保障。

【关键词】：半导体二次配；施工安全；风险管理；特殊介质；洁净环境

DOI:10.12417/2811-0528.26.04.019

半导体产业作为高科技产业的核心组成部分，对国家的经济发展、科技进步和国防建设具有战略意义。半导体生产工艺复杂，涉及众多精密设备和特殊材料，需要高标准的厂务设施支持。其中，二次配工程（Hook-up）作为连接厂务主管线与工艺设备的关键环节，直接关系到生产线的稳定运行和员工的生命安全。二次配项目包括特殊气体、化学品、真空、超纯水、废气处理、电力及检测通讯信号等多个系统的管线和设备连接，其施工过程具有技术密集性、多专业交叉性和高风险性等特点。随着我国半导体产业的快速发展，新建和改造项目日益增多，二次配工程施工规模不断扩大，安全管理面临前所未有的挑战。由于半导体厂房空间有限，而二次配涉及的系统繁多，管线复杂，各种作业往往需要交叉进行，容易产生安全隐患。同时，半导体生产工艺对洁净环境有严格要求，进一步增加了施工安全管理的复杂度。此外，二次配施工中接触的危险化学品、特种气体和高压电气系统等，都具有较高的潜在风险，一旦发生事故，不仅会造成人员伤亡和巨额财产损失，还会影响整个生产线的建设和投产进度。

因此，制定一套科学、有效的二次配安全施工管控方案，对于保障项目安全发展至关重要。本文结合工作实际，分析了半导体二次配项目施工安全管理中的重难点问题，并提出了相应的应对措施，以期对相关领域的实践提供参考。

1 二次配项目施工安全管理概述

半导体二次配项目是指将厂务系统（一次配）与工艺设备连接的所有工程活动，包括规划设计、安装调试、验收维护等阶段。其覆盖的系统极为广泛，主要包括特殊气体系统、化学品供应系统、超纯水系统、真空系统、电力系统、废气处理系统和控制系统等。这些系统具有不同的特性和安全要求，增加

了安全管理的复杂度。

表 半导体二次配项目各系统施工安全要求概览

系统类型	主要危险因素	安全施工要求	管理重点
特殊气体系统	易燃易爆、毒性、腐蚀性	防泄漏、防爆、气体检测	气密性测试、紧急切断
化学品系统	腐蚀性、挥发性、毒性	防泄漏、防腐蚀、通风良好	材料兼容性、二次密封
超纯水系统	微生物污染、电气短路	洁净施工、防渗漏	坡度控制、点检确认
真空系统	机械伤害、噪音、污染	安全防护、个人防护装备	支架固定、压力测试
电力系统	电击、短路、火灾	绝缘测试、上锁挂牌	线缆标识、接地保护
废气处理系统	化学暴露、环境污染	密闭施工、泄漏检测	焊接质量、风量平衡

二次配项目施工通常在已运行的半导体厂房中进行，要求施工过程必须兼顾运营和工程建设的双重要求。需要确保现有生产线不受施工影响；又要保证工程按期高质量完成。这种特殊的工作环境带来了以下特点：一是作业空间受限，各种管线密集，施工空间狭窄；二是洁净要求高，半导体生产对洁净度有严苛要求，施工活动必须满足洁净室标准；三是接口复杂，不同系统、不同材质、不同标准的接口众多，需要精确匹配；四是风险多样，施工过程中面临电气、化学、机械等多种风险组合。

2 二次配项目施工安全管理重难点分析

2.1 多系统交叉作业的协调难度

半导体二次配项目涉及多个专业系统同步或交叉施工,协调难度大。由于半导体厂房空间有限且涉及的系统繁多,包括电气、气体、化学、水处理等多个专业,这些系统的施工往往需要在同一时间、同一空间内交叉进行,容易相互干扰,产生安全隐患。不同专业施工队伍之间的沟通不畅也会增加安全风险。各专业团队往往只关注自己的施工任务,缺乏对整个项目的全面了解和安全风险的整体评估。这种“各自为政”的工作方式可能导致安全措施不协调甚至相互冲突。例如,电气团队可能设置了临时电缆通道,而气体管道安装团队可能在同一区域进行热工操作,缺乏协调就容易造成事故。工期压力下的赶工行为也是交叉作业中的常见问题。半导体项目通常工期紧张,不同系统施工进度不一致可能导致后续工作被迫加速进行,这种时间压力下,工人可能忽视安全程序,走捷径,增加事故风险。特别是在项目后期,多种作业同时进行,空间拥挤,人员复杂,安全管理难度显著增大。

2.2 特殊介质管路施工的高风险性

特殊气体和化学品管路的施工是二次配项目中安全风险最高的环节之一。半导体工艺中使用的特殊气体如硅烷、磷烷、砷烷等具有易燃、易爆、有毒等特性,对管路施工提出了极高要求。这些管路的施工必须确保极高的气密性,因为即使是微小的泄漏也可能导致严重后果。例如,硅烷在空气中会自燃,砷烷是剧毒物质,一旦泄漏,可能造成火灾、爆炸或人员中毒事故。特殊介质管路对材料兼容性和施工质量有特殊要求。不同化学品需要不同材质的管路系统,例如去离子水(DI)系统需采用PVDF/PPH/PFA材料,而特殊气体系统多采用SUS316EP级别的不锈钢管。施工中的焊接、连接工艺要求极高,需要专业的技术人员和专用的设备。若施工人员技能不足或质量控制不严格,可能导致管路内部污染或连接不牢固,留下安全隐患。

特殊介质管路的测试和验证过程也存在风险。管道系统安装完成后需要进行压力测试、纯度测试和功能验证,这些测试过程中可能涉及高压、危险介质的使用,如果安全措施不到位,可能发生事故。例如,在进行压力测试时,如果超过测试压力或使用不当的测试介质,可能导致管道破裂或设备损坏。

2.3 洁净环境施工的特殊要求

半导体二次配项目大多在洁净室内进行,对施工环境和工艺有特殊要求。洁净室环境控制严格,对颗粒物、温度、湿度、静电等都有明确指标,这限制了许多常规施工方法的应用。例如,传统的切割、焊接等产尘作业在洁净室内受到严格限制,

必须采取特殊的防护措施或改用其他工艺,这增加了施工的复杂性和安全管理的难度。在洁净环境中施工,需要遵守严格的人员与物料进出规程。所有工作人员必须穿着特制的洁净服,物料和设备需要经过清洁处理才能进入洁净室。这些要求虽然必要,但可能影响施工效率,并在一定程度上增加了作业风险。例如,洁净服可能限制人员的活动能力和视野,影响对危险情况的反应速度;繁琐的进出程序可能使应急响应变得复杂。

洁净室内的通风和排气系统在施工期间可能需要调整或关闭,这会影响危险物质的排放和稀释。特别是在化学品或气体系统施工中,如果通风不足,可能导致有害物质积聚,形成危险环境。此外,洁净室内空间通常较为封闭,一旦发生事故,救援和疏散也比普通环境更加困难。

2.4 应急响应的高标准要求

半导体二次配项目施工过程中的应急响应面临特殊挑战。由于施工环境复杂,危险因素多样,事故可能同时涉及多种危险物质和特殊环境,对应急响应提出了更高要求。例如,洁净室内发生气体泄漏事故,既要考虑毒性气体的扩散问题,又要顾及洁净室密闭环境对气体排放的影响,还需要注意应急救援行动不能对厂房洁净度造成破坏性影响。二次配项目涉及的危险物质种类繁多,需要针对性的应急处理和救援方案。不同特殊气体和化学品需要不同的处置方法和防护要求,这要求应急救援人员具备专业知识和装备。例如,硅烷泄漏需要专用的抑制系统,酸碱化学品泄漏需要中和处理,这些专门要求增加了应急准备的复杂度。

施工期间应急设施可能不足或访问受限。由于施工活动仍在进行中,一些固定的应急设施可能尚未完全安装到位,或者被施工材料、设备暂时遮挡。此外,施工人员对应急程序的熟悉程度可能不如正式员工,这可能在事故发生时影响初期响应效果。

3 二次配项目施工安全管理的应对措施与实践建议

3.1 建立系统化的安全管理体系

有效的安全管理需要从体系设计入手,建立全面、系统的管理框架。首先应制定详细的二次配安全施工规章制度,明确各项安全操作规程和责任主体。这套制度应当覆盖所有施工活动和危险情境,为安全工作提供明确指导。例如,针对动火作业、高处作业、受限空间作业等高风险活动,需要制定专项安全管理制度,明确审批流程和安全措施要求。实施分区域、分级别的安全管控策略。根据半导体厂区的不同风险特点,可以将施工区域划分为高风险区、中风险区和低风险区,分别采取不同的管控措施。例如,在特殊气体和化学品作业区域划定为高风险区,实施严格的访问控制和作业许可制度;在普通管线

安装区域划分为中风险区，实施标准安全程序；在办公和辅助区域划分为低风险区，实施基本安全要求。

建立多维度监督机制。除了专职安全管理人员外，还应鼓励施工人员相互监督，报告不安全行为和条件。可以设立安全奖励计划，对遵守安全规定、提出安全改进建议的人员给予表彰和奖励。同时，对违反安全规定的行为应采取适当的惩戒措施，形成明确的安全导向。

表 半导体二次配项目施工安全管理责任体系

责任主体	主要职责	监督内容	问责机制
施工单位	制定安全计划，提供资源保障	制度完整性、资源充足性	合同履约考核
项目经理	落实安全措施，协调各方工作	计划执行度、问题整改率	业绩评价
安全主管	监督现场安全，组织培训演练	违规次数、培训覆盖率	职务任免
责任主体	主要职责	监督内容	问责机制
班组长	执行安全规程，指导作业人员	操作符合度、措施落实度	职务任免
作业人员	遵守安全规定，报告安全隐患	违规次数、报告数量	奖励惩罚

3.2 强化特殊介质管路的安全管控

针对特殊介质管路施工的高风险特性，需要采取专项管控措施。首先应加强施工人员的专业培训，确保他们充分了解特殊介质的危险特性和安全施工要求。培训内容应包括材料特性、安全操作规程、应急处理方法等，并通过考核确保培训效果。只有经过专门培训并合格的人员才能参与特殊介质管路的施工。实施全流程质量控制是确保特殊介质管路安全的关键。从材料验收、加工制作到安装测试，每个环节都需要严格的质量控制。材料进场前应进行规格和质量检查，确保符合设计要求；管道切割、焊接和连接过程中应采用正确的工艺和方法；安装完成后需要进行彻底的清洁、压力测试和检漏测试。对于关键工序，应实行旁站监督和第三方验证制度。

采用技术手段增强安全性。例如，对于特殊气体系统，可以安装双级减压阀、紧急切断阀和气体泄漏检测系统提前上线。对于化学品系统，应采用二次密封措施和泄漏收集装置。这些技术措施可以在施工和未来运行过程中提供额外保护，减少事故发生的可能性和影响范围。

3.3 实施洁净环境下的施工优化

洁净环境下的二次配施工需要采取适应性措施。首先应制定洁净室专项施工方案，明确洁污分流、环境控制和工艺方法等要求。应充分考虑洁净室的特点，选择产尘少、污染小的施工方法和工艺。例如，尽可能采用外部预制、现场组装的方式，减少现场加工作业；使用专用工具和设备，降低对洁净环境的影响。加强人员和物料管理。所有进入洁净室的人员必须接受洁净室行为规范的培训，并通过考核。人员进出应通过风淋室进行清洁，并正确穿着洁净服。物料和设备进入洁净室前应进行彻底清洁，并采用适当的包装和保护措施。对于可能产生污染的活动，应设置隔离区，防止污染扩散。

实施环境监控和保持措施。必要时，可以在施工区域设置临时围护和空气净化设备，维持局部洁净环境。施工结束后应进行彻底清洁，恢复洁净条件。

3.4 构建高效应急响应机制

针对二次配项目施工期间的风险特点，需要制定针对性应急预案。预案应当覆盖可能发生的各类事故，如火灾、泄漏、触电等，并明确应急组织、职责分工、处置程序和资源调配。预案应充分考虑半导体厂区的特殊环境，如洁净室、狭窄空间、危险物质等因素，确保可行性。配备专业应急装备和物资。根据二次配项目涉及的危险物质类型，配备相应的个人防护装备、泄漏处理工具、急救设备等。例如，对于特殊气体泄漏，应配备专用堵漏工具和气体检测仪；对于化学品泄漏，应配备中和剂和吸附材料。这些装备应放置在易于拿取位置，并定期检查维护。

开展定期应急演练。演练应模拟可能的事故场景，如气体泄漏、化学品溢出、电气火灾等，检验应急预案的有效性和人员的应急能力。通过演练，可以发现应急预案中的不足，并针对性地改进。演练后应进行评估和总结，不断完善应急响应机制。

4 结论与展望

本文系统浅析了半导体行业二次配项目施工安全管理的重要难点问题，包括多系统交叉作业的协调难度、特殊介质管路施工的高风险性、洁净环境施工的特殊要求以及应急响应的高标准要求。针对这些难点，提出建立系统化安全管理体系、强化特殊介质管路安全管控、实施洁净环境下施工优化以及构建高效应急响应机制等应对措施。研究表明，半导体二次配项目的安全管理需要采取系统化、专业化的方法，兼顾技术和管理两个方面。在技术方面，需要采用先进的施工工艺和检测手段，确保工程质量；在管理方面，需要建立完善的组织体系和管理制度，提高全员安全意识。只有通过技术和管理相结合，

才能有效控制施工风险，防止事故发生。

未来半导体二次配项目的安全管理有以下几个发展方向：一是智能化管理，利用物联网、大数据和人工智能技术，实现施工过程的实时监控和风险预警；二是标准化建设，进一步完善半导体建设行业的安全标准和技术规范，提高行业整体水

平；三是专业化培训，加强施工人员的专业能力和安全意识，培养更多高素质的专业人才。

通过持续改进安全管理方法和技术手段，不断提高安全管理水平，为安全发展提供有力保障。

参考文献：

- [1] 半导体二次配安全施工管控方案.PPT 超级市场,2023.
- [2] 论半导体工艺设备二次配管配线工程的施工管理与质量控制.人人文档,2023.
- [3] 半导体二次施工对工人的施工安全管控方案.PPT 超级市场,2023.
- [4] 二次配工程师招聘信息.51job,2025.
- [5] 集成电路新建项目机电二次配设备安装与连接环节注意事项.电子发烧友,2025.
- [6] 如何有效实施芯片生产车间工艺设备二次配工程.人人文档,2023.
- [7] 苏州电子芯片洁净车间装修工程二次配工程.网易新闻,2021.
- [8] 华润微电子(重庆)有限公司 4%氢氮系统二次配工程公告.全国招标信息网,2023.