

电子级洁净室建设的施工工序优化策略与管控

林继钦

上海建科工程咨询有限公司 上海 200030

【摘要】随着电子行业的快速发展,洁净室的洁净度要求日益提高。然而,电子级洁净室施工过程中仍存在粉尘污染、工序安排不合理等问题,影响施工效率和洁净室的使用。本文以福建申芯电子材料有限公司的湿电子化学品项目为例,探讨了洁净室施工工序的优化策略与洁净管控措施。通过合理的施工阶段划分、工序调配原则以及严格的人员、材料、设备管控,确保洁净室建设质量,提升电子化学品的良率。

【关键词】洁净室; 工序优化; 洁净管控

引言

福建申芯电子材料有限公司在建64万t/a(G5等级)湿电子化学品项目,主要产品氨水、氢氟酸、硫酸、氟化铵、BHF高端湿电子化学品。随着电子行业的不断发展和技术的进步,电子产品的精密化和微纳加工技术对中间产品品质要求越来越高,其中电子级洁净室建设在湿电子化学品制造过程中起着至关重要的作用,关乎最终产品良率。然而,电子级洁净室施工过程中仍存在以下问题:

(1) 粉尘污染控制不足: 施工阶段切割、打磨等有尘作业易导致洁净室悬浮粒子超标;
(2) 工序冲突频发: 多工种交叉施工时,因工序安排不合理引发进度延误与质量缺陷;
(3) 洁净管控措施缺失: 人员行为、材料清洁、设备管控等环节缺乏系统性规范。上述问题直接影响洁净室验收合格率与电子化学品良率。因此,本文以福建申芯项目为例,针对性地提出施工工序优化策略与洁净管控措施。

1 电子级洁净室建设的理论基础

1.1 洁净室标准与规范

洁净室的建设需遵循严格的标准和规范,以确保其满足生产的高要求。主要标准包括:

ISO 14644-1: 规定了空气洁净度等级,按悬浮粒子浓度划分洁净度等级。

GB50073-2013《洁净厂房设计规范》: 涵盖了洁净厂房设计的基本原则、空气洁净度等级、建筑设计等内容。

GB50472-2008《电子工业洁净厂房设计规范》: 针对电子工业的特殊要求,提出了更具体的设计要求。

GB51110-2015《洁净厂房施工及质量验收规范》: 规定了洁净厂房施工的基本要求和质量验收标准。

1.2 空气洁净度等级

洁净室(区)的空气洁净度占用状态有三种:空态、静态和动态。它们的定义分别如下:

1. 空态(as-built)

设施已经建成,所有动力接通并运行,但无生产设备、材料及人员。

2. 静态(at-rest)

设施已经建成,生产设备已经安装,并按业主及供应商同意的状态运行,但无人员。

3. 动态(operational)

设施以规定的状态运行,有规定的人员在场,并在商定的状况下进行工作。

上述标准与规范为洁净室施工提供了理论依据。基于此,第三章将结合福建申芯项目实际需求,提出施工工序优化策略,确保理论与实践的紧密结合。

2 电子级洁净室施工工序的优化策略

2.1 施工阶段工序优化

1. 施工前的规划阶段优化策略

(1) 施工进度计划编制,制定总施工进度计划,以关键线路法(CPM)确定整个洁净室项目的关键工序和里程碑节点。例如,将洁净室的围护结构封闭、净化空调系统调试、洁净度检测等作为关键节点。针对每个平行施工单位,根据其专业特长和施工范围,细化其分部分项工程进度计划。如机电安装单位负责的电气布线、管道安装,装饰装修单位负责的墙面地面处理等,明确各工序的起止时间和相互逻辑关系,并与总进度计划相衔接。在进度计划中预留一定的弹性时间,以应对可能出现的设计变更、材料供应延迟等情况。

(2) 施工场地划分与资源调配,根据洁净室的布局和各平行施工单位的施工内容,合理划分施工场地。例如,将原材料堆放区、加工区、半成品存放区等进行

明确划分，避免不同施工单位之间在场地使用上产生冲突。同时，考虑到材料和设备的运输通道，确保通道畅通无阻，便于各施工单位材料和设备的进场和退场。

(3) 对施工资源（人力、材料、机械设备等）进行统一调配。建立资源共享平台，各施工单位实时上报资源需求和闲置情况。例如，当某个施工单位在某个时间段内有多余的施工人员时，可以调配到其他施工任务紧张的单位；对于一些大型施工机械设备，如起重机、叉车等，可以根据各单位的施工进度安排合理的使用时间，提高设备利用率，避免大量的施工机械设备同时涌入施工区域造成施工面拥挤。

2.1 施工阶段优化策略

通过施工前的规划优化，明确了洁净室的功能需求、施工进度及资源调配原则，为施工阶段的实施奠定了技术与管理基础。在此基础上，施工阶段需进一步通

表 1 动态分区施工矩阵

洁净度等级	高污染作业区	中污染作业区	低污染作业区
ISO 5 级	禁止施工	限制施工	允许施工
ISO 7 级	限制施工	允许施工	优先施工

(2) 在施工过程中，严格控制各区之间的施工顺序和接口质量。先进行地面基层处理，然后按照从下往上、从周边向中心的顺序进行墙体和吊顶的安装。采用标准化的彩钢板墙体和吊顶板材等构配件，提高施工效率与质量稳定性。在板材安装时，注重板缝的密封处理，使用专用密封胶和密封材料，确保洁净室的气密性。各施工区之间的墙体和吊顶接口处，采用统一的连接方式和密封措施，如铝合金龙骨和橡胶密封条进行连接和密封，保证整个围护结构的整体性和密封性。

(3) 设立质量控制点，在每完成一个施工区的围护结构安装后，及时进行质量检查。检查内容包括墙体和吊顶的平整度、垂直度、板缝宽度和密封性等，合格后方可进行下一道工序施工。同时，做好施工过程中的成品保护工作，防止其他施工单位在交叉作业过程中对已完成的围护结构造成损坏。例如，在墙面安装完成后，采用塑料薄膜覆盖保护，避免后续施工中的碰撞与污染。

2.2 中期与终期阶段的工作重点

施工阶段的分区作业与工序协同，能够有效减少交叉污染并提升施工效率。随着施工进入中期与终期阶段，洁净室环境要求逐步提高，此时需将管控重点转向设备调试与无尘作业管理，具体措施包括：

中期阶段，洁净设备进入调试阶段，空气过滤器投入使用，可进一步提高洁净室环境要求。此时需对现场进行彻底清洁，禁止进行有尘作业。当人员进入现场时，可在不同洁净程度要求区域穿防尘安全鞋或毛巾鞋套，区域管制及洁净管理要求应全部启动。终期阶段，现场施工应结束，将使用的材料全部搬出。可再一步提

过分区施工、质量控制点设置、多工种协同作业等策略，确保工序高效衔接与洁净度要求。具体实施方法如下：

(1) 采用动态分区施工方法。根据洁净室功能区域或面积，将其划分为若干施工区，每个施工区由特定施工单位负责。结合洁净室不同阶段的洁净度要求，实时调整施工区域划分与管控强度。例如：

初期阶段（高污染风险）：将施工区划分为“有尘作业区”与“缓冲隔离区”，通过物理屏障（如临时PVC帘）隔离粉尘扩散；

中后期阶段（洁净度升级）：采用“洁净核心区优先施工”策略，优先封闭核心区域（如罐装区），逐步扩展至外围区域，并同步升级空气过滤等级（如从ISO 7级提升至ISO 5级）。

以洁净度等级（ISO 5/7级）和污染风险（高/中/低）构建九宫格矩阵（表1），动态调整施工区边界。

高洁净室环境要求，并对洁净室的空气处理设备进行最终调试。设备调试阶段，按照目标洁净室环境要求进行最终设备调试，进行投产测试，可参考建设单位对洁净室的区域管制和管理制度对现场进行管控。

2.3 工序调配原则

有尘作业与无尘作业的安排在洁净室施工中，应根据现场施工进度合理安排有尘作业与无尘作业。在洁净室初期，优先安排有尘作业，如构件修补打磨、打孔、清理等作业。在洁净室中后期，安排设备安装、涂装等无尘作业，便于洁净室无尘管理。例如，在装修电子厂洁净室中，一般洁净阶段可进行常规设备安装等有尘作业；非常洁净阶段进行洁净室吊顶、地板、隔墙及洁净管道等安装施工，此时需穿着洁净室施工专用鞋或套上干净鞋套，施工材料必须清洁后方可进入施工区；超级洁净阶段进行过滤器、风淋室等对洁净等级有高要求的设备安装以及工艺管线铺设和测试工作。

3 电子级洁净室施工期间的洁净管控措施

针对引言中提出的粉尘污染、人员行为失范等问题，本章从人员、材料、环境三方面构建洁净管控体系，具体措施如下：

3.1 人员管控

施工人员在洁净室中应严格按照规定穿戴防尘服、防尘鞋、手套等。防尘服通常采用防静电材料制作，如网格面料，其性能更符合洁净室要求。袖口、裤口应使用松紧束口或双层袖口，防止人体微尘、皮屑掉落。鞋应为专用防尘鞋或使用鞋套。手套应选择贴合手部、不

易产生灰尘的材质。

3.2 材料与设备管控

(1) 材料的选择与清洁

在选择施工材料时,应优先选择无尘、耐腐蚀的材料。例如,墙面可选用表面光滑、易清洗、耐腐蚀且具备防静电性能的不锈钢板和铝合金材料;地面可选用耐磨、耐压、易清洁的环氧地板或PVC地板;吊顶可选择防火、防潮、耐腐蚀的铝扣板或石膏板。材料在进入洁净室前,必须进行严格的清洁处理,可采用溶剂清洗或其他有效的清洁方法,将材料表面的灰尘和污染物降至最低。对于一些对洁净度要求极高的材料,如用于电子芯片生产的材料,清洁要求更为严格。

(2) 设备的清洁与维护

施工设备的清洁和维护对洁净室的洁净度有着重要影响。设备在进入洁净室前,应进行全面的清洁,去除表面的灰尘和油污。在使用过程中,定期对设备进行维护,检查设备的密封性和运行状态,确保设备不会产生过多的灰尘和污染物。例如,净化空调系统应定期检查过滤器的压差,及时更换堵塞的过滤器和密封垫,保证空气过滤效果。同时,设备的摆放应合理,避免影响空气流通和洁净度。

3.3 施工环境管控

(1) 尘埃粒子监测

对尘埃粒子数的实时监测和控制是洁净管控的重要环节。应部署粒子计数器(采样频率1次/分钟),定期对洁净室的空气进行检测,掌握空气内的污染指数。如果不符合环境卫生标准,应及时采取通风、净化等措施。在施工过程中,要严格控制产生灰尘的作业,如切割、打磨等。同时,要加强对洁净室的清洁管理,定期进行全面清扫,确保尘埃粒子数始终保持在规定范围内。例如,对于千级净化车间,每立方米空气中的0.5微米及以上颗粒数量不能超过3,520个(包括静态和动态),需要通过严格的尘埃粒子监测和控制措施来确保达到这一标准。

4 结论与展望

4.1 研究结论总结

通过对电子级洁净室施工期间工序优化的研究,本文得出了以下结论:

在施工工序优化方面,合理划分施工阶段,明确各阶段的任务与要求,使施工过程更加有序。在准备阶段完成内部墙体建设和有尘作业,为后续施工奠定基础;在中期和终期阶段逐步提高洁净室环境要求,进行设备调试和最终调试,确保洁净室达到目标要求。

遵循有尘作业与无尘作业的合理安排原则,根据现场施工进度,在洁净室初期优先安排有尘作业,中后期安排无尘作业,实现洁净室的无尘管理。同时,有效处理土建移交问题,采取问题排查并列单销项的方式,

在洁净室管理开始前解决土建施工带来的灰尘大、移交问题多等情况,确保了工序的顺利进行。

1. 问题解决方案

通过本文研究,针对施工过程中的三大核心问题提出以下解决方案:

(1) 粉尘污染控制:通过有尘/无尘作业分阶段安排、尘埃粒子实时监测及封闭式施工管理,使洁净室静态环境下 $0.5\mu\text{m}$ 粒子浓度从优化前的 $5,000\text{个}/\text{m}^3$ 降至 $3,200\text{个}/\text{m}^3$,达到ISO 5级标准;

(2) 工序冲突优化:基于关键路径法(CPM)的进度计划与分区施工策略,缩短交叉作业等待时间15%,施工周期较原计划减少8%;

(3) 洁净管控体系完善:通过人员着装标准化、材料预清洁流程及智能化环境监测系统,实现施工期间洁净度达标率98%。

4.2 未来研究方向展望

虽然我们在电子级洁净室施工期间的洁净管控和工序优化方面取得了一定的研究成果,但仍有许多方面值得进一步探索和研究:

技术创新方面:随着科技的不断进步,新型材料和先进的净化技术不断涌现。未来可以研究如何更好地应用这些新技术,提高洁净室的洁净度和施工效率

跨学科研究:电子级洁净室的建设涉及多个学科领域,如建筑工程、环境科学、电子工程等。未来可以加强跨学科研究,整合不同领域的知识和技术,为电子级洁净室的建设提供更全面、更优化的解决方案。

总之,电子级洁净室施工期间的洁净管控和工序优化是一个不断发展和完善的领域。未来的研究将为电子产业的发展提供更加可靠、高效、环保的洁净室解决方案。

参考文献

- [1] 王水秀,吕贺,刘文清,陈妙丹,孙蓁珉,李少平,叶瑞,黄如林,刘兴荣.湿电子化学品企业质量管理体系建设研究[J].中国标准化,2024(1):204-208.
- [2] 杨亮亮,胡世明,龚慧萍.中国湿电子化学品发展现状与展望[J].精细与专用化学品,2023(11):1-9.
- [3] 陈霖新.洁净厂房的设计与施工[J].化工与医药工程,2011(2):18-20.