

建筑机电专业洁净室的施工要点分析

蔡飞成

深圳本贸科技股份有限公司 广东 深圳 518057

摘要：建筑机电专业洁净室施工对保障产品质量与生产环境至关重要。其施工要点贯穿全流程，前期借助BIM技术优化图纸，精准选材；施工中严格把控围护结构密封、机电管线安装工艺，确保气流组织合理、压差稳定；调试阶段精细调节温湿度、风量等参数，动态监测洁净度。通过强化各环节质量控制，能有效提升洁净室施工品质，满足不同行业对洁净环境的严苛要求。

关键词：建筑机电；专业洁净室；施工要点

引言：在科技飞速发展与产业升级的背景下，建筑机电专业洁净室在半导体制造、生物医药、精密电子等众多领域发挥着关键作用，其施工质量直接影响产品的良品率与生产稳定性。洁净室通过精确控制环境参数，如洁净度、温湿度、压差等，为精密工艺提供理想空间。然而，其施工涉及多专业协同、复杂工艺及严格标准，任何一个环节的疏忽都可能导致洁净度不达标。因此，深入剖析施工要点具有重要的现实意义。

1 建筑机电专业洁净室施工理论基础

1.1 洁净室环境控制原理

(1) 气流组织模式对机电布局的约束：单向流洁净室需保证气流平行匀速流动，机电设备布局需避开气流通道，风口排布需均匀对称；乱流洁净室侧重气流混合稀释，机电管线布置需配合气流回旋空间，避免形成涡流死角。(2) 压差梯度控制与机电阀门联动机制：通过设定不同区域压差等级，采用电动调节阀与压差传感器联动，实时调节新风量、回风量，维持洁净区相对正压，防止污染物渗入。(3) 温湿度精准调控与空调系统响应特性：依托变频空调机组、加湿器等设备，结合温湿度传感器反馈信号，实现系统快速响应，确保洁净室温湿度波动控制在允许范围，保障工艺需求。

1.2 机电系统构成与功能

(1) 净化空调系统：采用初中效过滤器+FFU+高效过滤器三级过滤模式，初中效过滤器去除大颗粒杂质，FFU提供洁净气流并保障送风均匀性，高效过滤器拦截微小颗粒物，确保送风洁净度达标。(2) 电气控制系统：重点实施防静电接地设计，通过专用接地干线将设备、地面等电位连接；同步做好电磁屏蔽，采用屏蔽电缆、金属桥架等，避免电磁干扰影响精密设备运行。(3) 工艺管道系统：纯水、特气管道严格控制安装坡度，保障介质顺畅流动与排净；焊接遵循惰性气体保护焊规范，

严控焊缝质量，避免杂质产生与气体泄漏，保障介质纯度^[1]。

1.3 施工质量控制理论

(1) PDCA循环在机电安装中的应用：按计划(Plan)、实施(Do)、检查(Check)、处理(Act)循环推进，持续优化施工流程，及时整改质量问题，提升安装质量稳定性。(2) 洁净度动态监测与反馈调节机制：施工过程中采用粒子计数器等设备动态监测洁净度，将数据反馈至控制系统，及时调整通风、过滤等参数，保障洁净度符合设计要求。(3) 三检制的实施要点：严格执行自检、互检、交接检，自检确保个人施工质量，互检强化班组间质量监督，交接检明确工序衔接质量责任，层层把控施工质量关。

2 建筑机电专业洁净室的施工全周期要点

2.1 施工准备阶段

(1) 图纸深化：核心依托BIM技术开展机电管线与建筑结构的碰撞检测，通过三维建模整合建筑、结构、机电各专业图纸，精准定位管线与梁、柱、墙体的冲突点位，提前优化管线走向与排布方案，避免施工阶段出现返工整改，保障施工流程顺畅。同时，基于BIM模型完成机电系统的可视化交底，提升各施工班组对图纸的理解程度。(2) 材料选型：1) 电气管线：304不锈钢管适用于高洁净等级、腐蚀性环境或有特殊卫生要求的区域，如医药、食品行业洁净室，具备优良的耐腐蚀性与洁净度保持能力；JDG管则适用于洁净等级相对较低、环境温和的区域，其施工便捷、密封性较好，可满足一般电子、精密制造行业的电气布线需求。2) 空调风管：镀锌钢板咬口形式需根据洁净等级精准选择，其中按扣式咬口因密封性能有限，严禁用于ISO5级及以上高洁净等级区域；联合角咬口、转角咬口密封性更佳，适用于高洁净等级区域，施工中需确保咬口平整、严密，避免漏

风影响洁净效果^[2]。(3)人员培训:组织施工人员开展专项培训,重点讲解洁净服穿戴规范,包括穿戴顺序、袖口与领口密封方式、鞋套与手套的搭配要求等,杜绝因穿戴不当带入污染物;同时进行无尘操作技能考核,涵盖工具使用、管线连接、设备安装等关键工序的无尘操作要点,考核合格后方可上岗作业。

2.2 主体施工阶段

(1)围护结构安装:1)彩钢板接缝密封工艺:采用专用洁净室密封胶进行密封,施工前需清理接缝处的灰尘、油污,确保密封面干燥洁净;密封胶宽度需严格控制在 $\geq 10\text{mm}$,涂抹均匀饱满,避免出现气泡、缝隙,密封完成后进行养护,保障接缝的气密性与防尘性,防止污染物渗透。2)门窗安装气密性控制:安装过程中采用压差计实时监测门窗与框体、框体与墙体之间的密封性能,根据监测数据调整安装精度;门窗密封条需选用耐老化、密封性强的材质,安装时确保压实到位,杜绝缝隙漏风,保障洁净室整体气密性。(2)机电管线施工:1)电气配管:墙体开洞尺寸严格遵循86H盒标准,洞口尺寸比管线外径大 $10\text{-}15\text{mm}$,避免洞口过大导致密封困难;管线敷设完成后,采用防火密封胶封堵洞口与线管之间的间隙,防止气流窜动与污染物积聚。2)工艺管道:采用自动轨道氩弧焊进行焊接作业,焊接完成后需进行焊缝内窥检测,重点检查焊缝的成形质量、有无夹渣、气孔、未焊透等缺陷,确保焊缝质量符合工艺要求,避免因焊缝缺陷导致纯水、特气泄漏或杂质混入。3)空调风管:法兰连接螺栓扭矩严格控制在 $10\text{N}\cdot\text{m}$,采用扭矩扳手进行紧固,确保螺栓紧固均匀,避免因紧固不足导致漏风或紧固过度损坏法兰密封垫;法兰密封垫选用气密性优良的橡胶垫或聚氨酯垫,安装时对齐平整,保障连接部位严密^[3]。

2.3 系统调试阶段

(1)空调系统:1)风量平衡调试:采用风量测试仪对各风口风量进行检测,根据设计风量调整风阀开度,确保各风口风量偏差 $\leq 10\%$;同时调试风机转速,保障系统总风量符合设计要求,实现气流组织均匀稳定,提升洁净室洁净度。2)高效过滤器检漏:采用PAO气溶胶扫描法进行检漏,扫描速度控制在 $\leq 50\text{mm/s}$,匀速扫描高效过滤器的滤纸、边框及密封面;若检测到泄漏点,需及时更换过滤器或重新密封,确保高效过滤器的过滤效率,避免污染物穿透。(2)电气系统:1)接地电阻测试:对联合接地体进行接地电阻检测,确保接地电阻值 $\leq 1\Omega$;若电阻值超标,需增设接地极或优化接地干线,保障电气系统的防静电、防雷击性能,避免静电积

聚或电磁干扰影响精密设备运行。2)绝缘电阻检测:采用兆欧表检测电气线路的相间及对地绝缘电阻,要求绝缘电阻值 $\geq 20\text{M}\Omega$;若检测不合格,需排查线路绝缘层破损、受潮等问题并整改,防止线路短路或漏电引发安全隐患^[4]。(3)压差调试:1)洁净区与相邻区域压差梯度建立:通过调节新风阀、回风阀、排风阀的开度,逐步建立洁净区与相邻非洁净区、不同洁净等级区域之间 $10\text{-}30\text{Pa}$ 的压差梯度,并用压差计持续监测,确保压差稳定在设计范围内,防止污染物由低压区渗入高压洁净区。2)互锁装置功能验证:对传递窗、风淋室等设备的互锁装置进行功能测试,验证其是否能实现“一开一闭”的互锁逻辑,避免两门同时开启导致气流紊乱、污染物扩散;同时检查互锁装置的响应速度与可靠性,确保其正常发挥隔断防护作用。

3 建筑机电专业洁净室关键施工技术创新

3.1 机电管线预制技术

(1)工厂化预制:聚焦彩钢板墙体内管线模块化生产,打破传统现场零散施工模式。通过前期BIM深化设计,精准拆分墙体管线单元模块,在工厂标准化生产车间完成管线切割、焊接、防腐处理及与预埋件的组装。工厂化生产可严格控制施工环境洁净度与工艺精度,避免现场施工受粉尘、温湿度波动影响,同时实现管线与墙体结构的精准匹配。模块成品经质量检测合格后运输至现场,直接进行装配,大幅减少现场作业时间,降低对洁净室施工环境的污染,提升管线安装的一致性与可靠性。(2)装配式安装:推行顶板明配管支架的标准化设计,基于洁净室顶板结构特性与管线排布需求,制定统一的支架规格、材质及连接方式标准。支架采用304不锈钢材质,经工厂预制加工后,现场通过螺栓进行快速拼接与固定,无需现场焊接作业。标准化设计使支架具备互换性与通用性,简化安装流程,提升施工效率;同时,规整的支架布局可优化顶板管线排布,减少气流阻力,保障洁净室气流组织稳定性。此外,装配式安装便于后期管线维护与改造,降低运维成本。

3.2 洁净度动态控制技术

(1)施工过程分区管理:实施全周期洁净度分级管控策略,实现施工与洁净度保障同步推进。1)前期:采用粗装修与机电管线同步施工模式,合理划分施工区域,设置临时隔离围挡,避免不同工序交叉污染;在施工区域设置临时除尘设备,减少作业产生的粉尘扩散。2)中期:进入封闭空间施工阶段后,按ISO8级 \rightarrow ISO5级的梯度逐步提升洁净等级,通过阶段性开启净化空调系统、强化通风过滤等措施,逐步降低空间内颗粒物浓

度；同时严格管控人员、物料进出流程，防止外部污染物带入。3) 后期：在高效过滤器安装前，对洁净室内部进行全面清扫，采用无尘布分区域擦拭3遍，重点清理墙面、地面、顶板及管线表面的积尘；清扫完成后进行环境检测，确保满足高效过滤器安装的洁净前提，避免安装过程中粉尘污染过滤器。(2) 实时监测系统：构建全方位、高精度的洁净环境实时监测网络。1) 粒子计数器在线监测：在施工关键区域及洁净度敏感点位布设粒子计数器，重点监测 $0.5\mu\text{m}$ 粒径粒子数，确保监测值 $\leq 3,520,000/\text{m}^3$ (ISO8级标准)；监测数据实时反馈至控制中心，若出现超标情况，立即触发报警并联动通风系统调整风量，实现洁净度的动态调控。2) 温湿度传感器网络布局：按间距 $\leq 6\text{m}$ 的标准均匀布设温湿度传感器，形成全覆盖监测网络，实时采集施工环境温湿度数据；结合空调系统智能调控模块，精准调节温湿度参数，保障施工环境符合工艺要求，同时为机电设备安装提供稳定的环境条件^[5]。

3.3 智能化调试技术

(1) BIM+物联网融合技术：打造智能化施工与运维管理平台。1) 机电设备运行数据实时上传云端：在空调机组、水泵、风机等核心机电设备上安装物联网传感器，采集设备运行参数(转速、功率、振动、温度等)，通过5G或工业以太网实时上传至云端管理平台，实现设备运行状态的远程实时监控。2) 故障预警模型构建：基于LSTM神经网络算法，对云端积累的设备运行数据进行深度学习与分析，构建故障预警模型；模型可精准识别设备异常运行特征，提前预判潜在故障(如轴承磨损、管路堵塞等)，并推送预警信息与维护建议，降低设备故障停机风险，保障施工与运维阶段的连续性。

(2) 数字孪生技术：实现洁净室全生命周期的数字化管控。1) 施工过程虚拟仿真：基于BIM模型构建洁净室

数字孪生体，对施工过程中的气流组织进行虚拟仿真模拟，提前预判气流死角、风速不均等问题，优化空调风口排布、管线走向等设计方案；通过仿真结果指导现场施工，提升气流组织合理性，保障洁净度达标。2) 运维阶段预测性维护：数字孪生体实时同步洁净室实体建筑与机电系统的运行数据，结合设备运行年限、性能衰减规律等因素，构建设备剩余使用寿命评估模型；通过模型精准评估设备运维需求，制定预测性维护计划，避免过度维护或维护不及时，提升运维效率，延长设备使用寿命。

结束语

建筑机电专业洁净室施工要点繁多且要求严苛，从前期的精心规划、图纸深化，到施工中的精准操作、严格质控，再到调试阶段的细致调整、动态监测，每个环节都紧密相连、缺一不可。只有全面掌握并严格执行这些要点，才能打造出符合标准、稳定可靠的洁净室环境。随着行业的持续发展，我们更需不断探索创新施工技术，提升施工水平，以更好地满足各领域对洁净室日益增长的需求。

参考文献

- [1] 李晓宇. 洁净室机电设备安装与调试关键技术研究[J]. 化工自动化及仪表, 2020, 47(2): 45-49.
- [2] 刘明. 洁净室机电设备维护与保养策略研究[J]. 机电工程, 2021, 36(4): 58-63.
- [3] 王芳, 陈丽. 洁净室机电设备运行效果检查与评估方法[J]. 环境科学与管理, 2020, 43(6): 112-117.
- [4] 苏京腾. 建筑机电专业洁净室的施工要点研究[J]. 建筑理论, 2023, (4): 76-78.
- [5] 胡向阳. 洁净室机电安装使用的问题分析[J]. 建筑技术科学, 2023, (9): 116-117.