

暖通空调管道安装施工质量控制措施探究

袁 哲

中国电子系统工程第二建设有限公司 江苏 无锡 214188

摘 要：洁净厂房暖通空调管道系统承担着介质输送、温湿度调节和洁净度维持的关键功能，其安装质量直接决定系统运行性能。本文结合洁净机电工程的特殊要求，从管道制作、支架安装、管道连接、坡度控制、保温施工、洁净防护及检测验收七个环节系统分析了施工质量通病及其成因，并提出了全过程控制措施。研究表明，洁净厂房的管道安装质量控制须以洁净防护为主线，将洁净要求融入每道工序的质量标准中，建立从预制加工到系统调试的全链条管控体系，方能有效保障管道系统长期稳定运行。

关键词：洁净厂房；暖通空调；管道安装；质量控制；洁净防护

引言：暖通空调管道系统是洁净厂房环境保障体系的重要组成部分，其安装质量不仅影响空调系统的输送效率和运行能耗，更直接关系到洁净室的空气品质和产品良率。与普通建筑不同，洁净厂房的管道安装面临着洁净度控制、严密性保障和交叉作业协调三重约束，施工过程中任何环节的疏漏都可能导致系统性能下降或洁净环境破坏。当前，洁净厂房管道安装中普遍存在管道清洁度不足、连接密封不严、坡度控制不当、保温层不连续等问题，这些问题在运行阶段逐步暴露，整改难度大、成本高。本文从洁净机电工程视角出发，探究管道安装全过程质量控制的关键环节与实施要点。

1 洁净厂房管道安装工程的质量特性与控制体系

1.1 洁净管道系统的质量特征指标

洁净厂房暖通管道系统的质量特征可归纳为五个维度。严密性指管道系统在承压状态下无泄漏的能力，风管系统漏风率高压不应超过2%，水管系统保压试验在规定时间内压降不超过允许值。洁净度指管道内壁及输送介质不受污染的程度，风管内表面尘埃残留量应满足设计洁净等级要求，管材切割端面及焊接部位无氧化皮、无锈蚀。坡度与排水指冷凝水管道及需要坡度的管道按设计坡度安装的能力，坡度不足将导致积水、滋生微生物。保温完整性指绝热层连续无间断、无冷桥的性能，保温层接缝不严将导致结露滴水。安装精度指管道坐标、标高、平直度等几何参数的偏差控制水平，偏差超标将影响系统水力平衡和气流组织。

1.2 洁净管道施工质量控制体系框架

洁净管道施工质量控制应建立“事前预防、事中控制、事后检验”三级控制体系。事前预防包括图纸深化

设计、施工方案编制、材料进场验收、人员培训交底及洁净施工环境准备。事中控制涵盖预制加工精度控制、管道安装过程监督、连接质量控制、坡度校核、保温施工监控及现场洁净防护。事后检验包括管道打压试验、漏风量测试、内窥镜检查、保温层验收及系统调试验证。三个层级相互衔接、层层递进，形成从源头到终端的全链条质量控制，任一环节的失控都可能导致质量缺陷向下游传递^[1]。

1.3 洁净管道施工质量的影响因素分析

影响洁净管道施工质量的因素可归为五类。人员因素——施工人员的专业技能水平、洁净施工意识和责任心是质量的基础，焊工持证率、管道工操作熟练度直接影响管道连接质量，洁净施工区人员穿戴规范和行为习惯影响洁净防护效果。材料因素——管材壁厚偏差、管件密封面光洁度、法兰垫片材质、保温材料密度等均应符合设计要求，材料进场检验的严格程度决定质量起点。机具因素——切割设备的精度、焊接设备的稳定性、检测仪器的校准状态直接影响施工质量。方法因素——施工工艺流程的合理性、工序衔接的紧凑性、洁净防护措施完善性是质量控制的制度保障。环境因素——施工区域的洁净等级维持、温湿度控制、粉尘防护措施的有效性直接影响管道内壁清洁度和焊接质量。

2 管道制作与支架安装质量控制

2.1 风管预制加工的精度与清洁度控制

风管预制加工是管道安装的第一道质量关口，加工精度和清洁度直接影响后续安装质量。风管板材下料尺寸偏差应控制在±2mm以内，板材拼接咬口应严密平直、不得有豁口和裂纹。共板法兰风管的法兰成型尺寸

偏差不大于 $\pm 1\text{mm}$ ，法兰转角处不得有开裂。风管加固肋间距应符合设计要求（一般不大于 800mm ），加固位置应避开咬口缝。风管预制完成后须进行机械清洗——先用硬毛刷清除内部铁屑，再用白布沾工业酒精沿气流方向反复擦拭，擦拭后的白布应无明显变色。清洗合格的风管两端须用塑料薄膜封堵严密，标注清洁度等级和检查日期后方可存放或运输至安装现场^[2]。

2.2 水管预制加工的坡口与清洁要求

洁净厂房水系统管道（冷冻水管、冷却水管、冷凝水管）的预制加工重点控制切割端面质量和内部清洁度。钢管切割应采用机械切割或等离子切割，切割端面平面度偏差不超过管径的 1% 且不大于 2mm 。坡口加工应采用坡口机或角磨机，坡口角度（ $60^\circ \pm 5^\circ$ ）、钝边厚度（ $1 \sim 2\text{mm}$ ）和间隙尺寸应符合焊接工艺规程要求，坡口表面应光滑无毛刺、无氧化皮。管道内壁清洁采用压缩空气吹扫和拖布擦拭相结合的方法，确保管内无金属屑、无锈渣。切割和坡口加工完成后，管道敞口端应立即用专用塑料管帽封堵，标注管径、材质和加工日期。预制完成的管段应按系统分区分类码放，底部垫高不少于 200mm ，避免接触地面污染物。

2.3 支吊架安装的间距与牢固度控制

支吊架是管道系统的支撑骨架，其安装质量直接影响管道的受力状态、使用寿命及运行安全。支吊架安装间距应严格按照设计图纸和规范要求执行——水平安装钢管的支架间距通常按管径确定： $\text{DN}15 \sim \text{DN}25$ 间距不大于 2.0m ， $\text{DN}32 \sim \text{DN}50$ 间距不大于 2.5m ， $\text{DN}65 \sim \text{DN}100$ 间距不大于 3.0m ， $\text{DN}125$ 以上不大于 4.0m 。垂直安装管道的支架间距可适当增大，但不应超过水平间距的 1.2 倍。支吊架与管道接触应紧密无间隙，滑动支架的滑动面应平整光滑，确保管道在温度变化时能够自由伸缩，导向支架的导向槽应与管道轴线严格平行，防止管道产生偏心受力。固定支架应牢固固定在结构梁或立柱上，承受管道的重量和热胀推力，其焊接连接应满焊、无虚焊。保温管道在支吊架处应设置防腐木托或专用保温管托，其厚度应与保温层厚度一致，宽度比支架宽度宽 20mm 以上，以阻断金属支架与管道之间的热传导路径，有效防止冷桥产生。支吊架安装的垂直度偏差不应超过 $1/1000$ ，水平度偏差不应超过 2mm 。所有支吊架安装完成后应逐个检查紧固螺栓扭矩，确保连接牢固可靠，并填写隐蔽工程验收记录。

3 管道连接与坡度控制

3.1 不同连接方式的质量控制要点

洁净厂房管道连接方式多样，不同连接方式对施工质量的要求差异显著。焊接连接是最主要的连接方式，广泛应用于冷热水管道和风管系统。焊接前须进行焊接工艺评定，焊工资质须覆盖相应材质和位置。焊接电流、电压和焊接速度应严格按工艺规程执行，多层多道焊时层间温度控制在 $100 \sim 150^\circ\text{C}$ 。焊缝外观应无裂纹、未熔合、气孔、夹渣等缺陷，对接焊缝余高不超过 3mm 。焊缝内部质量按设计要求进行射线探伤或超声波探伤抽检，抽检比例不低于 20% 。法兰连接适用于需经常拆卸的检修段和设备接口。法兰密封面应光洁无损伤，密封垫片材质应与介质相适应，螺栓紧固应按对角线顺序分三次逐步拧紧，终拧扭矩偏差不超过 $\pm 10\%$ 。螺纹连接用于小口径管道，螺纹加工应完整光滑，连接时外露螺纹 $2 \sim 3$ 扣，密封填料均匀无挤出。沟槽连接用于消防管道和部分水系统，压槽深度和宽度应符合管件产品技术要求，卡箍安装应到位无偏斜^[3]。

3.2 管道坡度控制与排水要求

管道坡度控制是洁净厂房管道安装的关键质量指标之一，直接关系到冷凝水排放和系统运行安全。冷凝水管道坡度不应小于设计值（通常不小于 0.8% ），水平支管坡向排水立管，水平干管坡向集水盘或排水口。冷热水管道的排气和泄水坡度应符合设计要求，一般不小于 $0.2\% \sim 0.3\%$ ，高点设自动排气阀、低点设泄水阀。坡度控制方法为：在管道安装前利用水准仪在管架上标出坡度线，管道安装时拉线找坡并用水平尺分段校核；每安装一段后用水准仪复核管底标高偏差（允许 $\pm 5\text{mm}$ ）。管道穿过变形缝处应采用柔性连接并设置独立的支吊架系统，避免结构变形对管道坡度产生影响。冷凝水管最高点应设置通气管，接入排水系统前设置透明观察管，便于日常巡检确认排水状态。

3.3 管道严密性试验与洁净度验证

管道安装完成后须进行严密性试验，验证管道系统的密封性能。水系统管道进行水压试验——试验压力为工作压力的 1.5 倍且不低于 0.6MPa ，稳压 10min 后压力降不超过 0.02MPa 为合格。试验用水应为洁净水，试验后须将管内水排尽并用压缩空气吹干。风管系统进行漏风量测试——在规定的试验压力下，单位面积风管漏风量不应超过设计值。高压系统风管（ $\geq 500\text{Pa}$ ）漏风率不超过 2% ，中压系统不超过 3% 。洁净度验证采用白布擦拭法——用洁净白布擦拭管道内壁，白布无明显变色视为合格。对于洁净度要求极高的管道系统，可采用内窥镜检查或尘埃粒子计数器检测管内空气洁净度。

4 管道保温与系统调试质量控制

4.1 保温材料选用与施工工艺控制

洁净厂房管道保温的质量直接影响系统的运行能耗和防结露性能。保温材料应选用闭孔率不低于 90% 的橡塑保温材料, 导热系数在 0℃ 时不应大于 $0.035\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, 燃烧性能不低于 B1 级。保温层厚度应按设计值执行, 冷冻水管保温厚度通常为 30~50mm (依管径和环境温度确定), 冷凝水管保温厚度一般不小于 20mm。保温施工工艺控制要点包括: 保温材料与管道表面应紧密贴合, 粘接剂涂刷均匀、压合密实无空隙; 接缝应错开布置 (相邻两道保温层的纵缝错开不少于 100mm), 接缝处采用专用胶带密封, 宽度不小于 50mm; 阀门、法兰、弯头等异形部位应采用定制保温壳或现场按实际形状精确裁剪, 确保保温层连续无断点。支吊架处的保温处理尤为关键——应采用防腐木托或高密度保温管托隔离管道与金属支架, 管托宽度应比支架宽度宽 20mm, 防止冷桥形成。

4.2 绝热层连续性与冷桥防治

绝热层的连续性控制是保温施工的核心质量要求。管道穿墙、穿楼板处, 保温层应连续通过套管内部, 套管与保温层之间的空隙用柔性不燃材料填实。管道与设备连接的柔性接头处, 保温层应包覆至设备接口法兰外侧, 并用不锈钢带紧固。阀门手轮和操作部位可采用可拆卸式保温套, 便于日常操作和维护检修, 保温套的保温层厚度应与管道保温层一致。冷桥检查应在保温完成后进行——系统运行 24 小时后用红外热成像仪扫描管道表面, 发现异常低温区域应判定为冷桥点, 返工处理^[4]。保温层外表面应设置标识环, 标明介质名称和流向箭头, 标识环的颜色应符合设计规定 (冷冻水管蓝色、冷却水管绿色、热水管红色)。

4.3 系统调试与质量控制效果验证

系统调试是验证管道安装质量的最终环节。调试工作应按照“先单机、后系统、先无负荷、后有负荷”的原则分阶段进行。水系统调试内容包括: 水泵单机试运转 (运行时间不少于 2 小时, 轴承温升不超过 40℃)、水系统水压试验、管网冲洗、系统流量平衡调试 (各分支环路流量偏差不超过 $\pm 10\%$)。风系统调试内容包括: 风机单机试运转、风管漏风量测试、风量平衡调整 (各风口风量偏差不超过 $\pm 10\%$)、压差测试 (相邻房

间压差 $\geq 5\text{Pa}$)。调试过程中应做好各项数据记录, 调试完成后编制调试报告。对于调试中发现的质量缺陷, 须逐一整改并重新测试, 直至全部指标满足设计要求后方可办理系统验收。

4.4 洁净防护施工与成品保护管理

洁净厂房管道安装的洁净防护与成品保护是区别于普通建筑安装的显著特征。材料进场后应存放于洁净区域, 管材两端封堵严密, 管件密封包装不得提前拆封。预制加工应在专用洁净加工区完成, 加工区维持正压并设置除尘装置, 加工人员穿戴洁净服和手套。已安装管道每天收工前须对敞口进行临时封堵, 防止灰尘落入管腔; 管道焊接作业时设置焊接烟尘收集装置, 焊后及时清理焊渣和飞溅。管道安装完成后挂设“已安装管道、禁止踩踏”标识, 交叉作业区域用彩条布或木板对管道进行覆盖保护, 严禁在已安装管道上堆放材料或作为临时脚手架的支撑点。洁净防护管理贯穿施工全过程, 其执行力度直接影响管道内壁的洁净质量。

结束语

洁净厂房暖通空调管道安装质量控制是一项系统性工程, 其核心在于将洁净要求融入管道制作、安装、连接、保温、调试的全过程。本文围绕管道制作精度、支架安装牢固度、连接密封性、坡度排水、保温连续性及洁净防护等关键控制点, 提出了全链条质量控制措施。实践证明, 管道安装的质量控制不能仅依赖最终验收环节, 更应注重过程管控和预防性措施。建议施工企业建立洁净管道安装专项质量计划, 将洁净防护指标量化为可操作的控制参数, 通过工序标准化和检测手段科学化, 从源头上杜绝质量隐患, 确保洁净厂房管道系统长期安全可靠运行。

参考文献

- [1] 谭敬波. 建筑暖通空调安装施工关键技术研究 [J]. 城市开发, 2025(24): 154-156.
- [2] 赵峰. 暖通空调工程水系统安装施工技术探究 [J]. 工程建设与设计, 2025(5): 224-226.
- [3] 黄威. 暖通空调工程现场管道安装精度控制技术 [J]. 砖瓦世界, 2025(9): 124-126.
- [4] 张芳芳. 暖通空调管道安装技术要点 [J]. 建筑·建材·装饰, 2024(19): 157-159.