

洁净厂房电气施工难点及对策研究

张 清

中国电子系统工程第二建设有限公司 江苏 无锡 214000

摘要：本文对洁净厂房电气施工，分析了面临的很多难点。在空间布局与管线综合方面，存在有限空间管线密集、与工艺设备布局协调难的问题；设备选型与安装面临满足洁净要求设备选择困难及高精度设备安装调试挑战；电磁干扰防护存在内部干扰复杂、外部干扰易侵入困境；接地系统构建存在多种接地需求协调及接地电阻严格控制难题。针对这些难点，提出了优化空间布局与管线综合、精准设备选型与安装调试、强化电磁干扰防护措施等针对性对策。

关键词：洁净厂房；电气施工；难点；对策

引言：随着半导体、医药等行业的快速发展，对洁净厂房的需求日益增长。洁净厂房电气系统与普通工业厂房相比，具有特殊性，需满足洁净度等级与电磁兼容性双重约束，环境敏感度要求极高，电气系统复杂且设备负荷动态变化。这使得洁净厂房电气施工面临诸多挑战，如空间布局受限、设备选型安装复杂、电磁干扰防护困难以及接地系统构建不易等。这些难点不仅影响施工进度和成本，还关系到厂房后续的稳定运行和产品质量。

1 洁净厂房电气系统特殊性分析

洁净厂房电气系统与普通工业厂房相比，有着诸多显著的特殊性，主要体现在需满足洁净度等级（ISO 14644标准）与电磁兼容性（IEC 61000标准）的双重约束。在环境敏感度要求上，洁净厂房有着极为严格的标准。空气中微粒浓度要精准控制在 $0.1\mu\text{m}$ 级，这是因为微小的尘埃颗粒可能会对生产过程造成严重影响，比如在电子芯片制造中，尘埃颗粒可能导致芯片短路等问题。同时，电缆绝缘材料挥发性有机物（VOC）释放需符合 $\leq 0.1\text{mg}/\text{m}^3$ 限值。若VOC释放量超标，挥发的有机物质会污染洁净厂房内的空气环境，影响产品质量，特别是在对空气质量要求极高的医药、食品等行业，会对产品的安全性和稳定性产生威胁。洁净厂房电气系统的复杂性也远超普通厂房。强电与弱电系统需实现物理隔离与信号屏蔽。像FFU群控、EMS环境监测等弱电系统，与强电系统在运行过程中容易产生交叉干扰^[1]。若不进行有效隔离和屏蔽，强电系统产生的电磁干扰可能会使弱电系统的信号传输出现偏差，导致FFU群控无法准确调节风机转速，或者EMS环境监测数据出现误差，进而影响整个洁净厂房的环境控制和生产流程。洁净厂房内的生产设备也具有动态负荷特性，启停频繁。这一特性带来了电压暂降风险，对电气系统的稳定性造成挑战。为应对这一

问题，供电系统需配置动态电压恢复装置（DVR）。当设备启动或停止导致电压瞬间下降时，DVR能迅速做出响应，在短时间内补偿电压，确保电压稳定在正常范围内，保障生产设备的持续稳定运行。若没有DVR，电压暂降可能会使生产设备停机，尤其是对那些对电压波动极为敏感的精密设备，会造成生产中断、产品报废等严重后果。

2 洁净厂房电气施工难点分析

2.1 空间布局与管线综合难题

（1）有限空间内的管线密集布置：半导体厂房通常空间有限，但却需要布置大量的电气管线，包括动力电缆、照明电线、通信线缆等。还要与通风、给排水、工艺管道等其他专业管线共享空间。在狭小的吊顶空间、管廊以及设备夹层内，各类管线错综复杂，极易发生管线交叉、碰撞等问题，不仅影响施工进度，还可能导致后期维护困难，甚至引发安全隐患。比如，在某半导体厂房的建设中，由于前期对电气管线与通风管道的综合规划不足，施工过程中发现多处管线冲突，不得不进行返工，造成了工期延误和成本增加。（2）与工艺设备布局的协调难度：半导体生产工艺复杂，设备种类繁多且布局紧凑。电气施工需要紧密配合工艺设备的安装位置和运行要求，确保电源供应、信号传输的准确性和稳定性。然而，工艺设备的更新换代较快，在施工过程中可能会出现设计变更，这就要求电气施工能够灵活调整，与新的工艺设备布局相匹配。但实际操作中，由于电气管线的铺设已具有一定规模，调整难度较大，容易出现电气设备与工艺设备接口不匹配、线路过长导致电压降过大等问题。

2.2 设备选型与安装挑战

2.2.1 满足洁净要求的设备选择

洁净厂房对空气中的尘埃粒子、微生物等污染物含量有严格限制，因此电气设备必须具备良好的防尘、抗菌性能。普通的电气设备难以满足这一要求，要选用专门设计的洁净型电气设备，如洁净灯具、洁净配电箱、洁净插座等。这些设备在外壳材质、密封性能、表面处理等方面都有特殊要求，价格相对较高，且市场上产品种类繁多，质量参差不齐，给设备选型带来困难。

2.2.2 高精度设备的安装与调试

半导体生产设备通常具有高精度、高灵敏度的特点，对电气设备的安装精度和调试要求极高。比如，光刻机等关键设备的电源稳定性要求极高，微小的电压波动都可能影响设备的正常运行和产品质量^[2]。在电气设备安装过程中，要严格控制设备的水平度、垂直度以及接地电阻等参数，确保设备安装牢固、连接可靠。调试过程中，要运用专业的测试仪器和方法，对电气系统的各项性能指标进行精确测量和调整，以满足设备的运行要求。

2.3 电磁干扰防护困境

半导体厂房内存在大量的电气设备和电子仪器，这些设备在运行过程中会产生各种频率的电磁干扰。工艺设备之间的信号传输也容易受到电磁干扰的影响，导致信号失真、误动作等问题。比如，高频电源设备、射频设备等产生的电磁辐射较强，可能会干扰附近的传感器、控制器等设备的正常工作。不同设备之间的电磁干扰还可能相互叠加，进一步加剧电磁环境的复杂性。除了内部电磁干扰，半导体厂房还可能受到外部电磁干扰的影响，如附近的变电站、通信基站、高压输电线路等产生的电磁辐射。这些外部电磁干扰可能通过电源线、信号线、建筑物结构等途径侵入厂房内部，对电气系统和生产设备造成损害。特别是对于一些对电磁干扰敏感的半导体生产工艺，如芯片制造中的光刻、蚀刻等环节，外部电磁干扰可能导致产品质量下降甚至报废。

2.4 接地系统构建难点

2.4.1 多种接地需求的协调

洁净厂房内的电气设备通常需要满足多种接地要求，包括工作接地、保护接地、防雷接地、防静电接地等。不同的接地系统有不同的功能和技术要求，要在施工过程中进行合理的设计和布局，确保各接地系统之间相互独立又协同工作。工作接地是为了保证电气设备的正常运行，提供稳定的参考电位；保护接地则是为了防止人员触电和设备损坏，将电气设备的金属外壳与大地连接。然而，在实际施工中，由于接地线路的敷设空间有限，且各接地系统之间可能存在电位差，容易出现接地系统混乱、接地电阻不合格等问题。

2.4.2 接地电阻的严格控制

为了有效防止电磁干扰、保障设备和人员安全，洁净厂房对接地电阻的要求极为严格。一般来说，工作接地电阻应不大于 4Ω ，保护接地电阻应不大于 4Ω ，防雷接地电阻应不大于 10Ω ，防静电接地电阻应在 $10^5-10^9\Omega$ 之间。在施工过程中，要达到如此严格的接地电阻要求并非易事，需要选择合适的接地材料、优化接地极的布置方式，并采取有效的降阻措施。但由于地质条件复杂、施工环境限制等因素，接地电阻的控制往往成为施工难点之一。

3 洁净厂房电气施工难点的解决对策

3.1 优化空间布局与管线综合

在洁净厂房电气施工中，空间布局与管线综合的优化是确保工程质量和后期稳定运行的关键。我将从前期规划、技术运用、施工顺序以及布局原则等方面，结合资料给出专业解决对策。优化空间布局与管线综合是解决洁净厂房电气施工难点的关键举措。在前期规划阶段，需组织电气、通风、给排水、工艺等多专业开展联合设计，全面考量各专业管线的走向、位置及空间关系。运用建筑信息模型（BIM）技术，构建三维模型，对电气管线进行模拟布置。通过该模型，能直观呈现各管线在吊顶空间、管廊以及设备夹层等有限空间内的分布情况，提前精准识别并解决管线交叉、碰撞问题，大幅提升施工效率与质量。在施工顺序方面，严格遵循“先大管后小管、先高后低、先里后外”的原则^[3]。先进行主干电气管线的铺设，为后续分支管线连接奠定基础，保障施工有条不紊地推进。同时在有限空间利用上，采用分层布置与桥架敷设相结合的方式。分层布置使不同类型的电气管线在空间上有序分布，避免混乱；桥架敷设则为电气线路提供了规范的安装路径，提高空间利用率。在管线综合布局时，遵循一系列科学原则。如小管让大管，因小管绕弯相对容易且成本较低；分支管让主干管，分支管管径小且影响范围小于主干管；有压管让无压管，无压管改变坡度和流向对流动影响大；气体管让水管，水流动力消耗大等。通过这些原则的运用，有效协调各专业管线之间的关系，减少冲突，营造合理有序的空间布局，为洁净厂房电气系统的稳定运行创造良好条件。

3.2 精准设备选型与安装调试

(1) 严格设备选型标准：洁净厂房环境特殊，电气设备需满足防尘、抗菌等要求，应选用洁净型产品，如外壳用不锈钢或工程塑料、密封良好且表面抗菌的设备。同时，要考量设备电气性能，确保其额定电压、电

流与厂房供电系统和负载需求匹配,具备高可靠性和稳定性,减少故障发生概率。此外,设备还需与其他系统良好兼容,如照明系统与控制系统能协同工作,通信线缆与电气设备无电磁干扰。(2)强化质量把控环节:设备采购时,综合评估供应商信誉、产品质量和价格,优先选择知名品牌和通过权威认证的产品。设备进场后,依据相关标准和合同要求进行检验,检查外观有无损坏、密封是否良好、电气参数是否达标。对于关键设备,如变压器、配电柜,进行抽检和测试,必要时委托专业机构检测,确保设备质量合格。(3)规范安装流程:安装前,技术人员需熟悉设计图纸和安装说明书,明确安装要求和技术标准。制定详细安装计划,合理安排施工顺序和人员分工。安装过程中,按要求固定设备,确保牢固,控制好水平度、垂直度和接地电阻等参数。连接线路时,保证连接可靠,标识清晰,避免错接、漏接。(4)精细调试要点:安装完成后,全面检查电气系统,确保设备和线路安装正确。调试时,使用专业测试仪器,如示波器、功率分析仪,测量和调整电气参数,包括电压、电流、频率、功率因数等,使其符合设备运行要求。对设备功能进行测试,如开关操作、信号传输、保护装置动作等,确保设备正常运行。对于复杂电气系统,进行联合调试,模拟实际运行工况,检查各设备协同工作情况,及时解决问题。

3.3 强化电磁干扰防护措施

(1)内部电磁干扰抑制:对厂房内电气设备合理布局,将干扰源与敏感设备分区布置,降低相互干扰。选用屏蔽电缆、屏蔽线槽等,为电气线路提供电磁屏蔽,减少辐射泄漏。在电气设备上安装滤波器,对电源和信号进行滤波,去除高频干扰信号。如针对高频电源设备,采用低通滤波器,抑制高频杂波对电网的污染;对信号传输线,安装带通滤波器,保证信号频段的纯净。

合理设计接地系统,将电气设备金属外壳、屏蔽层可靠接地,形成等电位连接,有效引导干扰电流入地,构建良好的电磁屏蔽环境^[4]。(2)外部电磁干扰防护:在厂房建设时,利用金属屏蔽网对建筑物外墙、屋顶进行屏蔽处理,阻挡外部电磁干扰进入。对于进入厂房的电源线、信号线,安装电源滤波器、信号滤波器,并采用屏蔽线缆,防止干扰沿线路侵入。在厂房周边设置电磁干扰监测点,实时监测干扰强度和频率,一旦发现异常,及时采取措施,如增加屏蔽措施、调整设备布局等。针对不同类型的外部干扰源,制定针对性防护策略。对于附近变电站产生的工频磁场干扰,采用高导磁率的屏蔽材料进行屏蔽;对于通信基站的高频电磁干扰,优化滤波器参数,增强对高频信号的衰减能力。

结束语:综上所述,洁净厂房电气施工在空间布局、设备选型、电磁干扰防护和接地系统构建等方面存在的难点。通过采取优化空间布局与管线综合、精准设备选型与安装调试、强化电磁干扰防护措施等一系列有效对策,能够较好地解决这些问题。在实际施工中,需严格按照相关标准和规范,将这些对策落实到各个环节,确保电气系统的稳定运行。随着技术的不断进步,洁净厂房电气施工技术也应持续创新发展,以适应行业更高的要求,为相关产业的高质量发展提供坚实保障。

参考文献

- [1]田亚斌,吴忠,姚勇,杨汉林,褚云鹏,胡安杰.洁净车间电气安装技术措施[J].安装,2020(10):72-73.
- [2]王竟莹.电子洁净工业厂房建筑消防设计分析[J].工程建设与设计,2023(12):43-45.
- [3]官铭啸.洁净厂房暖通系统施工细节及难点[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2021(6):317-319.
- [4]李志鹏,朱述振,刘鹏.洁净厂房常见配电支吊架的安装要点分析[J].洁净与空调技术,2022(2):109-111.