

洁净厂房高净空洁净钢梯安装施工技术与质量控制研究

孟令文

中国电子系统工程第二建设有限公司 江苏 无锡 214000

摘要：随着半导体、平板显示等高端制造产业的快速升级，高等级洁净厂房对竖向交通设施的结构安全性、安装精度与洁净适配性提出了严苛要求。钢结构楼梯凭借支点少、承载力高、构造简洁易清洁、受土建结构约束小等优势，已成为洁净厂房人员竖向通行与应急疏散的主流形式。本文以福州某平板显示项目array厂房洁净钢梯工程为依托，阐述了高净空洁净钢梯的结构体系与构件节点设计，分析了洁净环境下钢梯安装的核心施工重难点，可为同类高净空洁净厂房钢梯施工提供工程参考。

关键词：洁净厂房；钢结构楼梯；高净空安装；洁净施工

引言

在现代工业建筑体系中，相较于传统混凝土楼梯，钢结构楼梯具有自重轻、承载力高、布置灵活、施工周期短等显著优势，可适配大跨度、高净空的工业建筑空间，尤其在洁净厂房场景下，光滑平整的金属表面更易清洁维护，符合高洁净环境的使用要求。

随着洁净厂房向大尺度、多层级方向发展，钢梯安装高度不断提升，且施工往往在已成型或部分投用的洁净空间内开展，需同时兼顾高空安装精度、结构安全与洁净环境防护，施工技术与管理难度显著高于普通工业建筑。目前洁净钢梯施工普遍存在构件拼装精度不足、洁净防护措施不到位、高净空垂直度偏差易累积等共性问题，直接影响工程质量与洁净环境达标率^[1]。

本文结合福州某平板显示项目洁净钢梯工程实践，针对15.7m净空高度的洁净钢梯安装全过程展开研究，系统梳理构件构造特点与施工技术要点，总结形成适配洁净环境的标准化施工工艺与质量管控方法，为同类光电、半导体厂房的洁净钢梯施工提供技术借鉴。

1 洁净钢梯结构体系

福州某平板显示项目1#楼为array生产厂房，为满足生产运行中技术夹层至生产区的人员竖向通行需求，在厂房四周东西南北方向各设置一部洁净钢梯，共四部。钢梯架体净高15.700m，井道主结构采用全钢结构，架体分别从一层地面安装至二层底板、三层地面安装至四层底板，主要作为生产区与技术夹层之间的人员出入与应急疏散通道。

1.1 洁净钢梯结构体系与构件组成

钢梯整体采用钢框架支撑体系，由立柱、楼梯段、楼梯平台、栏杆扶手及基础底座五大核心部分组成，所有钢构件工厂预制镀锌，现场螺栓拼装为主，局部焊接

作业做洁净防护处理。

1.1.1 竖向承重立柱

主立柱采用200×200×8×12mm Q235B H型钢，为竖向核心承重构件。考虑运输与吊装便利性，单段立柱最长加工为5990mm，立柱间接长采用12mm厚钢板连接板螺栓连接，保障立柱整体刚度。每根立柱在各层楼板接触面设置底板与加劲板，与楼面结构镶嵌焊接，形成多点支撑体系。

1.1.2 楼梯斜跑段

楼梯段为倾斜承重构件，由斜向支撑梁与踏步板组成。倾斜支撑采用25#a槽钢（250×78×7×12），通过14mm厚钢板耳板与立柱连接；踏步采用5mm厚花纹钢板，折边规格为40×240×40mm，与斜撑梁在场外焊接组装成整体梯段后运至现场安装，既保障踏步平整度，又减少现场焊接产生。

1.1.3 楼梯平台

平台分为楼层平台与中间休息平台，供人员转折与休息使用。平台横梁采用250×125×6×9mm H型钢，通过210×115×14mm耳板与立柱连接，节点设置12mm厚加强隔板，采用M20×90高强螺栓紧固。平台面板采用5mm厚花纹钢板，下方通过63#角钢形成支撑网格，保障板面承载刚度。

1.1.4 栏杆与扶手

栏杆扶手为安全防护构件，全部采用不锈钢材质以适配洁净环境。扶手采用φ50×2mm不锈钢圆管，栏杆立柱与横档采用φ32×1.5mm不锈钢圆管，通过氩弧焊连接成型。扶手与钢结构交接处设置装饰环收口，保证节点美观无积尘缝隙；焊后经打磨、抛光处理，表面光滑易清洁。

1.1.5 基础底座

底部基础采用500×500×20mm钢板作为底座,通过M20×180化学锚栓与地面结构固定;立柱底部设置240×160×12mm加劲肋,保障底部支座的抗侧刚度与承载稳定性。梯井宽度控制为100mm,兼顾安全间隙与洁净收口要求。

2 洁净环境下钢梯施工重难点分析

2.1 洁净环境管控难度大

施工区域位于洁净厂房内部,钻孔、切割、焊接等工序均会产生粉尘与焊烟,若防护不当极易造成周边洁净区域颗粒度超标,影响生产环境。同时钢梯构件多、安装工序杂,材料转运、人员进出均可能带入污染物,洁净施工贯穿于施工全流程,管控要求高、难度大。

2.2 高净空安装精度控制难

钢梯总净高15.7m,立柱采用多段拼接形式,安装过程中垂直度、定位偏差易逐段累积,一旦超标将直接影响上部梯段与平台的安装精度,甚至导致节点无法对位。同时顶部锚板与底部基础的定位需上下贯通对齐,对放线测量的竖向传递精度提出了极高要求。

2.3 高空作业安全风险突出

安装作业最高处接近16m,属于高空作业范畴,立柱吊装、横梁安装、梯段就位均需升降车与手拉葫芦配合作业,临边作业多、构件吊装转运风险高。同时洁净室内作业空间有限,吊装动线与作业面布置受限,进一步加大了安全管控难度。

2.4 多构件拼装协同要求高

钢梯由立柱、横梁、斜跑、平台、扶手等数十种构件拼装而成,节点数量多、螺栓连接精度要求高,构件加工误差与安装偏差叠加易造成错孔、错位问题。且土建结构存在施工误差,顶部与底部锚板位置需结合现场实测调整,对现场测量与构件适配性要求较高^[2]。

3 高净空洁净钢梯关键安装施工工艺

3.1 总体施工流程

项目采用“倒装法”立柱安装工艺,遵循“先定位、后立架;先结构、后装饰;先主体、后收尾”的原则,总体施工流程为:施工准备→现场放线定位→上下端化学锚栓与锚板安装→顶部立柱吊装定位→立柱逐段向下拼接→井架横梁安装→楼梯斜跑吊装→休息平台钢板敷设→扶手栏杆安装→洁净收尾与验收。

3.2 施工准备

为保障洁净室内施工不污染周边环境,安装前对井道作业区域进行全封闭防护:地面满铺PVC水晶膜做好成品保护,作业区外围采用彩条布围挡封闭,形成相对独立的作业空间,防止粉尘向外扩散。所有进场构件提前在洁净

缓冲间擦拭清洁,避免外包装与灰尘带入洁净区。

3.3 放线定位与锚栓安装

依据设计图纸在地面标识出钢梯基础四个定位点,采用红外线铅垂仪从一层定位点向上投射,定出四层顶板的四个对应基准点,悬吊铅锤复核竖向偏差,确保上下定位点垂直贯通。

顶部采用冲击钻打穿楼板,清孔后预埋化学锚栓,安装顶部锚板;同步对一层底部四个定位点钻孔清孔,预埋化学锚栓,安装底座钢板。锚栓施工严格控制孔深、孔径与清孔质量,保障化学锚栓的锚固力。

顶部锚板先初步固定,调整平面位置与水平度,确认四角方正、角度为90°后逐步拧紧螺母固定,作为上部立柱的安装基准。

3.4 立柱倒装拼接安装

采用5t手拉葫芦配合14m升降车进行立柱吊装,先将最顶端四根立柱吊装就位,与顶部锚板螺栓连接,形成顶部框架。连接螺栓先初拧不锁死,边调整立柱垂直度与框架方正度,边逐步拧紧连接螺栓。

第一节立柱校正固定后,自上而下逐段拼接下部立柱。立柱接头采用12mm厚连接板双面夹持,螺栓对称紧固。每拼接一段即采用铅锤与经纬仪复核垂直度,及时修正偏差,避免误差累积。

立柱安装至底层后,同步安装各层楼层面的连接加强板,使架体与土建结构形成多点拉结。整体架体初步成型后,统一调整整体垂直度与水平度,确认偏差符合要求后对所有连接螺栓进行终拧紧固,完成架体整体固定(图下1所示)。



图1 立柱安装情况

3.5 梯段与平台安装

横梁安装:按照标高顺序逐层安装井架横梁,横梁通过耳板与立柱连接,采用M20高强螺栓紧固。安装过程用水准仪控制同一层横梁的顶面高差,保障梯段与平台的安装基准标高准确。

斜跑梯段安装:采用手拉葫芦与升降车配合作业,将预制好的斜跑梯段吊装至设计位置,通过耳板与立

柱、横梁初步连接。采用水平仪、水准仪、铅锤等工具精确找平找正，调整踏步水平度与梯段坡度，确认无误后终拧高强螺栓固定（图下2所示）。



图2 斜跑安装

休息平台安装：先将63#角钢与平台横梁固定形成支撑网格，再敷设5mm花纹钢板，采用钻尾丝将平台板与角钢牢固连接，使横梁、角钢、平台板形成整体受力体系。平台板接缝平整，板边顺直，无翘曲与凸起。

3.6 不锈钢扶手栏杆安装

按设计标高放线定位栏杆立柱位置，采用氩弧焊将不锈钢立柱与钢结构基层焊接固定，再依次安装横档与扶手圆管。焊接采用小电流氩弧焊，减少焊接变形与焊渣飞溅。

全部焊接完成后，用磨光机去除焊渣、焊瘤，再用打磨膏逐级打磨抛光，使焊缝与母材平滑过渡，表面光洁无毛刺。扶手与钢结构交接处安装装饰遮盖环，遮盖焊缝与连接节点，保证外观整洁无积尘死角（图下3所示）。



图3 扶手安装及完成效果

3.7 成品保护与洁净收尾

安装过程中注意保护构件镀锌层，手拉葫芦链条不得直接缠绕在带棱角的型钢上，防止割损镀锌层与链条。对安装中造成的镀锌层破损部位，采用配套自喷漆及时修补。

施工完毕后全面清理作业区域，拆除临时防护设施，擦拭钢梯所有构件表面灰尘与污渍，对缝隙、边角做彻底清洁。检查所有收口节点的密封性，确保无积尘

缝隙，满足洁净厂房使用要求。

4 质量控制点与验收标准

4.1 全过程质量控制要点

原材料质量控制：所有钢材、不锈钢管、高强螺栓、化学锚栓等材料进场必须具备出厂合格证与质量证明文件，关键材料按规范抽样复检，严禁不合格材料投入使用。

测量定位控制：定位放线采用红外线铅垂仪竖向传递基准，上下锚板定位偏差严格控制，确保架体整体竖向对位准确。

垂直度控制：钢梯整体垂直度偏差不得大于架体高度的0.1%；每接高10m进行一次分段验收，及时修正偏差，防止误差累积。

节点连接控制：所有螺栓必须按规格配齐，严禁漏装、以小代大或随意扩孔；高强螺栓终拧扭矩符合设计要求；焊接节点焊缝饱满，无虚焊、夹渣、气孔等缺陷。

洁净质量控制：产生作业必须在封闭围挡内进行，配套除尘措施；施工完成后表面洁净无污渍，缝隙密封良好，无积尘死角^[3]。

4.2 安装验收允许偏差

钢梯构件安装精度应执行《钢结构工程施工质量验收标准》相关要求。

结论

高净空洁净钢梯是洁净厂房竖向交通系统的重要组成部分，其施工核心在于同时保障结构安装精度、使用安全性与洁净环境适配性。本文通过福州某平板显示项目的工程实践，采用自上而下的立柱倒装工艺，配合全封闭洁净作业防护，有效解决了高净空安装偏差累积与洁净环境污染两大核心难题。

工程应用结果表明，该施工工艺可将钢梯整体垂直度偏差稳定控制在规范允许范围内，节点连接可靠，外观与洁净性能满足厂房使用要求，取得了良好的工程效果。相关施工工艺与质量管控经验，可为同类光电、半导体洁净厂房的钢结构楼梯施工提供参考，对提升洁净工业建筑钢结构安装标准化水平具有一定的工程应用价值。

参考文献

- [1]中华人民共和国住房和城乡建设部，国家市场监督管理总局。钢结构工程施工质量验收标准：GB 50205-2020[S].北京：中国计划出版社，2020。
- [2]张旭。工业厂房钢结构楼梯安装施工关键技术[J].施工技术，2021,50(16):78-81。
- [3]刘军。电子洁净厂房钢结构施工防尘与洁净度控制技术[J].电子工业专用设备，2022,51(03):45-48。