

# 焊接车间烟尘治理及职业健康防护措施研究

郭彬宇

宁夏西北骏马电机制造股份有限公司 宁夏 石嘴山 753000

**摘要:** 本文针对焊接车间烟尘污染及职业健康隐患问题,分析烟尘产生机理、核心特性及职业健康危害,调研不同规模车间烟尘治理与防护现状,梳理现存核心短板。结合车间作业特点,研究现有烟尘治理技术适用性,优化设计源头捕集、净化处理与智能控制相结合的治理方案,构建工程防护、个体防护与管理体系联动的防护体系,通过案例验证方案可行性,为焊接车间烟尘治理、职业健康防护提供实用参考,保障作业人员身体健康。

**关键词:** 焊接车间; 烟尘治理; 职业健康; 防护措施

**引言:** 电机外壳焊接是电机生产核心工序之一,焊接过程中产生的细颗粒物烟尘含多种有毒有害物质,长期暴露会严重危害作业人员呼吸系统、神经系统等,且部分车间存在烟尘浓度超标、防护措施不到位等问题,不符合职业健康安全标准。基于此,本文聚焦焊接车间烟尘治理与职业健康防护,开展技术与体系构建,破解烟尘污染难题,完善防护措施,助力企业落实职业健康管理责任,推动电机生产车间安全、绿色、规范运行。

## 1 焊接车间烟尘特性及职业健康危害分析

### 1.1 焊接车间烟尘的产生与特性

(1) 烟尘产生机理: 电机外壳焊接常用手工电弧焊、气体保护焊等工艺,焊接材料与机座母材在高温电弧作用下,经熔融、蒸发、冷凝三个环节,形成焊接烟尘,该过程伴随焊接全程持续产生。(2) 烟尘核心特性: 粒径以 $0.01\sim 0.30\mu\text{m}$ 为主,属于易吸入细颗粒物;化学成分复杂,包含锰、铁、硅等金属氧化物,以及氟化物、臭氧等有毒物质;扩散受车间温度、湿度、风速及布局影响,易局部积聚或快速扩散。(3) 烟尘产生量影响因素: 焊接工艺不同排放量差异明显,手工电弧焊烟尘多于气体保护焊;焊接材料成分、作业强度直接影响产生量;车间通风条件差会导致烟尘无法及时排出,间接提升局部浓度。

### 1.2 焊接烟尘对职业健康的危害

(1) 呼吸系统危害: 长期吸入烟尘,尤其是粒径 $< 5\mu\text{m}$ 的可吸入颗粒,易引发尘肺病、支气管炎、肺炎等疾病,烟尘中有毒成分还会持续刺激呼吸道黏膜,引发咳嗽、咽痛等不适。(2) 其他系统危害: 烟尘中的锰、铬等重金属会损害神经系统、消化系统,长期暴露可出现肢体麻木、消化不良等症状,还可能引发皮肤过敏、眼部刺激,甚至增加罹患肺癌、喉癌的风险。(3) 危害程度分级: 结合《工作场所有害因素职业接触限值第1部分: 化学有害因素》(GBZ2.1-2019),根据烟尘浓度划分轻、中、

重三级危害,明确不同暴露水平对应的健康风险<sup>[1]</sup>。

## 1.3 焊接车间职业健康现状调研分析

(1) 调研对象与范围: 选取小型、中型、大型不同规模,涵盖多种焊接工艺的车间作为样本,确保调研结果具有代表性。(2) 调研结果分析: 检测显示部分车间烟尘浓度超标GBZ2.1-2019标准;作业人员体检中少数人出现呼吸道、血常规指标异常;现有防护措施存在通风设备老化、个人防护佩戴不规范等问题。(3) 核心问题总结: 烟尘浓度超标主要因通风系统不完善、工艺落后;防护不到位表现为防护用品配备不足、检测缺失;职业健康管理存在培训、体检、应急制度不完善等短板。

## 2 焊接车间烟尘治理技术研究及优化

### 2.1 现有烟尘治理技术分类及适用性分析

(1) 源头捕集技术: 主要包括移动式吸气臂、固定式吸尘罩、区域集气罩三类。移动式吸气臂灵活便捷,适配多工位机座焊接,捕集效率约85%~90%,但易受操作干扰;固定式吸尘罩对准焊接点位,捕集效率达90%以上,适合固定工位,缺点是灵活性差;区域集气罩覆盖范围广,适配密集工位,却存在捕集盲区。结合CFD模拟,优化集气罩开口尺寸、安装高度及角度,可减少烟尘逃逸,提升捕集效果。(2) 净化处理技术: 干式过滤采用预过滤+主过滤+活性炭吸附三级模式,净化效率达95%以上,能耗低,适配中低浓度烟尘,缺点是滤芯需定期更换;湿式洗涤净化适合高浓度烟尘,能同时降温,运维成本低,但易产生废水;静电除尘净化效率高、处理量大,适合大规模车间,不过能耗较高、设备投资大,需结合车间规模选型<sup>[2]</sup>。(3) 通风稀释技术: 自然通风依靠车间门窗形成气流,无需能耗,但受外界环境影响大,控制效果不稳定;机械通风分为全面通风和局部通风,全面通风可降低整体烟尘浓度,局部通风精准作用于焊接点位,气流组织合理,能有效抑制烟尘扩散,是目前焊

接车间的主流通风方式。

## 2.2 焊接车间烟尘治理方案设计

(1) 方案设计原则：坚持源头控制、高效净化、智能节能、经济可行的核心原则，紧密结合机座焊接车间工位分散、作业强度不均、烟尘产生点多且分散的作业特点，兼顾烟尘治理效果与企业实际运维成本，避免过度设计造成资源浪费，确保方案可落地、可长效运行。(2) 分阶段治理方案：源头捕集系统设计中，吸气臂风速严格控制在1.2-1.5m/s，确保有效捕捉烟尘且不影响焊接操作，根据工位分布、焊接设备摆放位置合理布置集气罩，减少工位间交叉干扰；净化系统优先选用三级过滤模式，适配机座焊接烟尘中金属氧化物、氟化物等成分，提升有毒有害物质去除率；通风系统优化气流组织设计，合理布置送排风风口，确保车间内风速均匀，避免局部烟尘积聚，提升整体治理效果。(3) 智能控制系统集成：集成压差传感器、颗粒物浓度监测仪及变频风机，实现三者联动控制。颗粒物浓度监测仪实时监测车间烟尘浓度，压差传感器监测滤芯堵塞情况，当监测到烟尘浓度超标或滤芯压差异常时，变频风机自动调节转速，既保证烟尘治理效果达标，又避免风机持续高速运行造成的能耗浪费，实现设备自适应调节与智能化节能运行<sup>[3]</sup>。

## 2.3 治理技术优化与效果验证

(1) 现有技术优化措施：针对传统治理技术中滤芯易堵塞、设备能耗高、运维成本高的不足，升级滤材为高效覆膜滤料，提升滤材纳污能力，延长滤芯使用寿命；优化清灰系统，采用脉冲喷吹清灰模式，精准控制清灰时间和频率，减少滤芯损耗，降低运维工作量；对风机进行变频改造，结合焊接作业强度实现按需供能，进一步降低设备能耗。(2) 效果验证方法：通过现场采样检测，对比治理前后车间烟尘浓度（严格参照GBZ2.1-2019标准），确认烟尘浓度是否达标；同步监测设备运行能耗变化，统计滤芯更换周期、运维成本等关键指标，全面验证优化方案的治理效果、节能效益及经济性。(3) 案例分析：选取某中型焊接车间作为试点，该车间原有治理方案存在烟尘浓度超标、能耗较高等问题，应用优化后的治理方案后，经现场检测，车间烟尘浓度完全符合国家标准，设备运行能耗降低15%，滤芯更换周期延长30%，运维成本显著下降，充分验证了方案的可行性与有效性，可为同类焊接车间烟尘治理提供实践参考。

## 3 职业健康防护措施体系构建

### 3.1 工程防护措施完善

(1) 车间布局优化：结合焊接烟尘扩散规律，明确

划分高烟尘区域与清洁区域，高烟尘区域集中布置焊接工位，清洁区域设置休息区、办公区及物料存放区，两者之间设置实体隔离屏障，减少烟尘交叉污染。同时优化工位布局，避免焊接工位密集排列，合理预留通风通道，确保气流顺畅，减少烟尘在车间内积聚，从空间布局上降低烟尘危害。(2) 设备防护升级：为各类焊接设备逐一配备专用烟尘捕集装置，根据焊接工艺和工位特点，合理搭配移动式吸气臂或固定式吸尘罩，确保捕集装置与焊接点位精准对接，提升烟尘捕集效率。建立设备定期维护保养制度，安排专人负责每日检查、每周清洁、每月检修，及时排查设备故障，更换老化部件，确保捕集、净化设备长期正常运行；针对焊接过程中产生的高噪声，在高噪声工位增设隔音罩、隔音板等设施，降低噪声对作业人员的危害<sup>[4]</sup>。(3) 环境监测系统建设：在每个焊接工位上方及车间关键区域，合理布置粉尘浓度在线监测仪，监测点位覆盖所有焊接作业区域，确保监测无盲区。监测系统实现烟尘浓度数据实时采集、传输，同步接入车间管理平台，当烟尘浓度超出GBZ2.1-2019标准限值时，自动发出声光报警，同时联动烟尘治理设备自动调整运行参数，提升治理效率，实现环境监测与治理的智能化联动。

### 3.2 个体防护措施规范

(1) 防护用品选型与配备：根据车间烟尘危害等级，结合焊接作业特点，为作业人员配备符合国家相关标准的个体防护用品，核心配备电动送风过滤式呼吸器，针对不同作业场景搭配相应等级的防尘口罩，同时配备防护眼镜、防烟尘防护服、防护手套等，全面阻隔烟尘、有毒气体及焊接火花对作业人员的伤害，确保防护用品的防护性能与烟尘危害程度相适配。(2) 防护用品使用管理：建立健全防护用品发放、更换、检查管理制度，明确发放周期、更换标准，定期为作业人员发放合格的防护用品，对损坏、失效的防护用品及时回收、更换。规范作业人员防护用品佩戴流程，明确佩戴要求，定期开展防护用品佩戴培训，讲解正确的佩戴方法、使用注意事项及维护技巧，确保作业人员熟练掌握佩戴规范，做到全程规范佩戴。(3) 个体防护监督考核：建立常态化监督机制，安排安全管理人员每日巡查焊接工位，定期检查作业人员防护用品佩戴情况，及时纠正未佩戴、佩戴不规范等行为。将防护措施落实情况与作业人员绩效考核直接挂钩，对规范佩戴、严格执行防护要求的人员予以表彰奖励，对违规操作、拒不落实防护措施的人员进行批评教育、绩效扣分，强化作业人员的防护意识<sup>[5]</sup>。

### 3.3 职业健康管理体系建设

(1) 管理制度完善: 结合GB/T45001-2020职业健康安全管理体系要求, 制定完善的机座焊接车间烟尘治理、职业健康防护相关管理制度, 明确管理人员、作业人员的岗位职责, 规范焊接作业操作流程、烟尘治理设备运行流程及防护措施执行标准, 建立健全考核机制, 确保各项管理制度可落地、可执行, 形成“人人有责、层层落实”的管理格局。(2) 培训与教育: 定期开展职业健康培训与教育工作, 培训内容涵盖焊接烟尘的危害特性、防护措施、防护用品使用方法、应急处理流程等, 针对新入职员工开展岗前专项培训, 考核合格后方可上岗; 针对在岗员工开展定期复训, 及时更新防护知识和技能, 提升作业人员和管理人员的职业健康意识、自我防护能力及应急处置能力。(3) 健康监护与应急处置: 为每一位焊接作业人员建立完整的职业健康档案, 详细记录个人基本信息、上岗前体检、在岗期间定期体检、离岗时体检的各项数据, 跟踪作业人员健康状况, 对出现健康异常的人员及时调整岗位、安排治疗。制定烟尘中毒、呼吸道不适等突发情况的应急处置预案, 明确应急响应流程、救援措施及责任分工, 配备充足的应急救援物资, 定期开展应急演练, 提升应急处置能力。

### 3.4 防护措施效果评估

(1) 评估指标设定: 明确防护措施效果评估的核心指标, 主要包括作业人员健康状况改善情况、车间烟尘浓度达标率、防护措施落实率、作业人员防护满意度等, 其中烟尘浓度达标率需严格参照GBZ2.1-2019标准, 作业人员健康状况重点对比体检指标变化, 确保评估指标科学、全面, 能够真实反映防护体系的运行效果。(2) 评估方法与流程: 采用多种评估方法相结合的方式, 定期开展防护措施效果评估, 实地检测车间烟尘浓度, 对比治理前后及不同阶段的浓度数据; 开展问卷调查, 收集

作业人员对防护措施、防护用品、管理工作的满意度反馈; 对比作业人员不同时期的健康体检报告, 分析健康状况改善情况。建立规范的评估流程, 明确评估周期、责任分工, 确保评估工作有序开展。(3) 持续改进措施: 根据评估结果, 全面梳理防护体系存在的不足, 分析问题成因, 针对性优化防护措施, 比如调整车间布局、升级防护设备、完善管理制度、加强培训教育等。建立“设计-实施-评估-改进”的闭环管理机制, 定期开展复盘总结, 持续优化防护体系, 不断提升职业健康防护水平, 切实保障作业人员的身体健康和生命安全。

### 结束语

本文围绕焊接车间烟尘治理与职业健康防护展开系统研究, 明确了烟尘特性与危害, 优化了烟尘治理技术方案, 构建了全方位防护措施体系, 通过试点案例验证了方案的有效性与经济性。研究有效解决了车间烟尘超标、防护不足等痛点, 但仍需结合企业实际生产场景持续优化。未来可进一步探索低成本、高效能的治理技术, 完善闭环管理机制, 为电机制造行业焊接工序职业健康防护提供更全面的支撑。

### 参考文献

- [1] 杨子佳. 焊接烟尘检测技术及标准化研究[J]. 机械制造文摘(焊接分册), 2025, (03): 31-35.
- [2] 石柏成. 高强度用无镀铜与镀铜实心焊丝焊接烟尘的分析[J]. 焊接, 2024, (09): 15-22.
- [3] 闪顺章, 王从陆. 焊接烟尘扩散数学模型研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2021, 14(06): 177-181.
- [4] 鲍升凯. 焊接材料对形成焊接烟尘影响的研究进展[J]. 焊接, 2021, (10): 20-25.
- [5] 杨凤, 尹艳, 郭薇薇, 等. 作业场所气体保护焊焊接烟尘特征研究[J]. 职业卫生与应急救援, 2021, 39(03): 245-250.