

面向烟草行业的香精香料防爆物流设备设计 选型及应用实践

孙雨晨

北京达特集成技术有限责任公司 北京 100176

摘要: 香精香料作为烟草制品添加剂,具有易燃易爆特性,其在物流流转的安全至关重要。本文针对烟草行业需求,分析了香精香料的危险特性,阐述了防爆物流设备的分类、设计选型规范及Ex II B T4 Gb等级设备的应用实践。结合西南某中烟公司案例,探讨了轻量化、柔性化和智能化技术的创新应用。研究表明,防爆物流设备需以安全为核心,兼顾可靠性与创新性,通过技术优化实现高效安全的物料流转,为行业提供技术参考与实践指导。

关键词: 烟草行业; 防爆物流设备; 香精香料; 设计选型

引言

香精香料作为烟草制品的重要添加剂,具有改进烟草气味、增加韧性、提高保润性、改善燃烧性和减少碎损等作用,其化学成分复杂且普遍具有易燃易爆特性,如低闪点和较宽的爆炸极限范围。

本文通过分析香精香料的危险特性、防爆设备的基础理论与分类,探讨设计选型的规范标准,并结合典型案例,总结实践经验,以期对烟草行业香精香料的安全生产提供技术参考^[1]。

1 香精香料危险特性分析

香精香料作为烟草制品的重要添加剂,其化学成分复杂多样。常见的香精香料主要包括醇类、酯类、醛类、酮类等有机化合物,这些物质普遍具有较低的闪点和较宽的爆炸极限范围。例如,乙醇的闪点仅为13℃,爆炸极限为3.3%-19%;乙酸乙酯的闪点为-4℃,爆炸极限为2.2%-11.5%。这些物化性质决定了香精香料在特定条件下极易引发火灾爆炸事故。

香精香料爆炸的机理主要涉及三个关键要素:可燃物质、氧气和点火源。当香精香料蒸气与空气混合达到爆炸极限范围内,遇到静电火花、机械火花或高温表面等点火源时,就会发生剧烈的氧化反应,瞬间释放大热量和气体,形成破坏性爆炸。在物料的输送、搬运、存储过程中,物料的挥发、溢出、倾倒等情形都可能产生可燃性气体,增加了爆炸风险。

2 防爆物流设备的基础理论与分类

2.1 危险区域划分与设备防爆原理

2.1.1 危险区域划分

在香精香料的生产与储运环境中,物流设备应用场景处于爆炸性气体环境危险区,根据爆炸性气体混合物

出现的频繁程度和持续时间分为0区、1区、2区,香精香料环境中应用的防爆物流设备,根据其工艺需求和具体应用场景的不用,可能处于不同等级的危险区域中。

2.1.2 物流设备防爆原理

香精香料环境中应用的防爆物流设备通常属于IIB类设备,单体防爆物流设备主要包含机械部分(包含气动元件)和电气部分,其防爆原理由香精香料的爆炸机理决定,主要通过限制爆炸性混合物的形成、消除或控制点火源、采用隔爆外壳、控制外表面温度等方式实现防爆,所采取的防爆措施通常为5种,即隔爆型(d)、增安型(e)、本安型(i)、正压型(p)和浇封型(m),所属外表面温度组别通常为T4(135℃)。

2.2 防爆物流设备分类

防爆物流设备通常成系统使用,由几个或上百个单体设备组成,种类繁多,功能多样,根据用途和功能,防爆物流设备可以分为以下3类:

(1) 防爆搬运设备:包括防爆叉车、防爆关节机器人、防爆桁架机器人、防爆提升机等,主要用于搬运危险物品,具有独立的防爆电气系统和防爆结构。

(2) 防爆输送设备:包括防爆辊道输送机、防爆链式输送机、防爆穿梭车、防爆堆垛机等多种产品,用于连续输送危险物品。

(3) 防爆储存设备:如防爆货架、防爆积放式输送机、防爆柜等,用于安全储存或暂存易燃易爆物品^[2]。

3 防爆物流设备的设计选型规范标准

3.1 规范性要求

根据国家标准规范,对电气设备在爆炸性环境中的选择已有明确规范,如无其他特殊要求,防爆物流设备通常参考电气设备防爆要求进行防爆设计,如有需要,

还需要进行整机防爆认证。不同危险区域允许使用的设备保护级别如下表所示：

表1 爆炸性环境内设备保护级别的选择

危险区域	设备保护级别(EPL)
0区	Ga
1区	Ga或Gb
2区	Ga、Gb或Ge

表2 电气设备保护级别(EPL)与电气设备防爆结构的关系

设备保护级别 (EPL)	电气设备防爆结构	防爆形式
Ga	本质安全型	“ia”
Ga	浇封型	“ma”
Ga	由两种独立的防爆类型组成的设备，每一种类型达到保护级别“Gb”的要求	—
Ga	光辐射式设备和传输系统的保护	“op is”
Gb	隔爆型	“d”
Gb	增安型	“e”
Gb	本质安全型	“ib”
Gb	浇封型	“mb”
Gb	油浸型	“o”
Gb	正压型	“px”、“py”
Gb	充砂型	“q”
Gb	本质安全现场总线概念 (FISCO)	—
Gb	光辐射式设备和传输系统的保护	“op pr”
Gc	本质安全型	“ic”
Gc	浇封型	“mc”
Gc	无火花	“n”、“nA”
Gc	限制呼吸	“nR”
Gc	限能	“nL”
Gc	火花保护	“nC”
Gc	正压型	“pz”
Gc	非可燃现场总线概念 (FNICO)	—
Gc	光辐射式设备和传输系统的保护	“op sh”

3.2 设计与选型原则

防爆物流设备的设计与选型需严格遵循国家标准，同时兼顾灵活性，确保设备既满足安全要求，又能高效服务物流作业。设计与选型可以遵循以下原则：

3.2.1 安全性

安全性作为防爆物流设备设计与选型的首要考量，贯穿于整个项目生命周期。与工艺设备不同，物流设备虽不直接参与产品生产加工，不直接接触危险性物料，但是作为物料存储与流转的关键载体，其防爆性能直接关系到整个物流系统的安全稳定运行。具体而言，香精香料环境中的物流设备面临的防爆挑战主要聚焦于以下

三类接触场景：

（1）金属与金属接触防爆：金属部件间的直接接触需通过优化结构设计、采用低摩擦系数合金材料、增设缓冲装置等措施，有效避免剧烈碰撞与摩擦产生的火花，从而消除潜在的爆炸风险。

（2）金属与非金属接触防爆：针对金属与非金属部件的连接部位，如传感器外壳与安装基座、密封件与管道接口等，需重点考虑连接的可靠性、密封性以及非金属材料的耐久性。通过选用符合防爆标准的非金属材料、优化连接结构设计、加强定期检查与维护，确保连接部位在长期使用过程中不发生松动、老化或破损，进而防止爆炸性气体侵入引发事故。

（3）关键部位与溢出（或挥发性）物料接触防爆：对于涉及易燃易爆物料存储与转运的关键部位，如设备焊缝、外露链条链轮、设备工艺孔洞等，需采取更为严格的防爆措施。比如采用惰性气体保护或正压通风技术等，以最大限度地降低物料溢出或挥发接触设备从而导致的爆炸风险。

3.2.2 可靠性

防爆物流设备的可靠性是保障连续生产、确保人员安全及物料品质的核心要素。由于香精香料行业涉及易燃易爆的有机溶剂、挥发性成分等环境，设备必须满足严格的防爆标准，同时具备高度的稳定性和耐用性，以适应高湿度、腐蚀性气体等复杂工况。

（1）市场验证与技术沉淀：优先选择经过长期市场验证、技术成熟的防爆物流设备，类似设备在化工、食品、制药等相似领域已有广泛应用，其设计缺陷和潜在风险已在真实生产场景中得到充分优化，能够确保在易燃易爆环境中稳定运行。

（2）定制化设计的可靠性保障：针对香精香料行业的特殊需求（如防腐蚀、防静电、无尘洁净等要求），防爆物流设备需在成熟产品基础上进行定制化改造。对处于暴露环境中的材料采用不锈钢或特殊涂层，抵御香料成分的腐蚀性；通过防爆电机、本安型电气元件及密封设计，确保设备在爆炸性气体环境中安全运行；优化设备传动系统与传感器布局，避免粉尘积聚或静电火花，同时保留基础设计的操作便捷性与维护效率^[3]。

3.2.3 创新性

在满足安全性与可靠性的前提下，香精香料环境的防爆物流设备应通过创新技术实现效率提升与适应性优化。烟草行业作为工业物流领域的先进代表，其创新实践表明：真正的技术创新并非盲目追求“新”，而是基于严谨测试与反复论证的渐进式改进。

(1) 轻量化与节能设计: 结合香精香料物流载体重量轻、尺寸小的特点, 采用轻量化材料替代部分金属材质, 在满足使用需求的条件下减轻设备自重, 降低驱动能耗, 小功率电气设备更容易满足防爆要求, 实现了能耗与防爆性能的双重优化。

(2) 柔性化物流解决方案: 针对存在小批量、多品种的香精香料生产特点, 选取灵活性高物流设备, 设计高适应性的物流系统方案, 满足不同生产任务的快速转换需求, 同时优化空间利用率。

(3) 物流设备智能化设计: 依托数字孪生技术构建物流设备全生命周期虚拟镜像, 集成物联网多源传感器与边缘计算节点, 实时映射设备关键状态参数, 形成动态更新的三维数字模型, 基于数字孪生平台与中央控制系统的深度联动, 实现风险事件智能处置, 形成“物理空间-数字空间-决策系统”三位一体的闭环防控体系, 保障物流作业安全高效运行。

3.2.4 可扩展性

在烟用香精香料行业从传统人工作业向自动化作业的转型过程中, 考虑到实施过程的分阶段特性, 防爆物流系统的设计必须充分考虑设备的可扩展性, 采用模块化架构设计, 通过标准化接口确保新增设备能够与现有系统快速集成, 在关键部件(如控制柜、通信模块)中预留20%-30%的容量冗余。

4 典型案例分

4.1 案例背景

西南某中烟公司香精香料生产物流系统项目, 属于爆炸性气体环境1区和2区。选用防爆堆垛机、防爆辊筒输送机、防爆皮带输送机、防爆桁架机器人、防爆货架、防爆叉车等多种物流设备, 所有设备防爆等级不低于Ex II B T4 Gb, 基本实现了香精香料的原料存储、原料暂存、原料和成品载体的输送与周转、成品码垛、成品存储等关键物流工艺需求。

4.2 设计亮点与技术创新

设备防爆等级适配性设计: 针对香精香料挥发性有机物的特性和1区、2区危险环境要求, 所有物流输送设备统一采用Ex II B T4 Gb防爆等级, 方便不同区域设备的统一维护与管理。为提高设备接地设计的安全性及便利性, 输送设备外露结构件采用不锈钢材质, 同时提高了设备的耐腐蚀性、清洁性, 防爆货架设备表面采用防静电喷涂工艺, 接地电阻小于3欧姆。针对不同防火分区之间的输送需求, 定制化设计了单边翻转输送机, 可实现输送机20s内翻转90°, 满足消防要求。

◎柔性化物流设计: 为适应多品种、大批量的生产

模式, 结合物流载体重量轻、体积相对较小的特点, 物流设备选用了防爆辊筒输送机为主的输送设备, 采用双层辊筒输送机, 通过1条主线搭配4条缓存线的形式, 满足物料载体长距离快速输送的要求, 实现了订单快速切换、多品种同时生产、异常情况紧急补料等功能。针对成品码垛区域, 配备2套防爆桁架机器人, 通过定制化开发, 可实现单次抓取1~3个物料载体, 适配多种订单需求。

◎双重防错设计: 在人工上料站台, 设计了防爆视觉检测+机械限制的双重检测形式, 确保物料载体按规定方向输送至后端工位, 替代了原有的人工复检环节, 提升了项目整体的安全性。

◎防爆打印贴标设计: 防爆环境下的打印和贴标是困扰物流项目信息传递的难题, 通过定制化设计与开发, 本项目设计出了防爆打印贴标机, 可实现物料载体不脱离输送线完成贴标的功能, 在原料收货端, 在线完成外来物料的信息识别、转码、打印和贴标功能, 成品入库端, 实现了在线自动打印贴标, 极大提升了原料收货端和成品入库端的输送效率。

◎实时监控系统设计: 项目创新性地构建了基于工业物联网的防爆物流实时监控系统, 系统采用本安型(Ex ia)数据采集终端, 通过光纤环网架构实现全链路防爆数据传输, 实时显示堆垛机位置精度($\pm 1\text{mm}$)、输送机速度(0.2-1.5m/s可调)等20余项关键指标, 通过三维可视化界面, 操作人员可实时掌握全系统200+监测点的状态, 故障定位时间缩短80%。

5 结束语

香精香料防爆物流设备的设计与选型是烟草行业安全生产的重要保障。本文通过对香精香料危险特性的分析, 结合防爆物流设备的分类、设计原则及选型标准, 系统地提出了适用于烟草行业的防爆物流解决方案。西南某中烟公司的典型案例进一步验证了Ex II B T4 Gb等级设备在实践中的高效性与安全性, 为行业提供了可借鉴的经验。

随着防爆物流设备的不断研发与应用, 并且与融合数字孪生、物联网和人工智能技术深度融合, 同时, 行业持续关注防爆标准的更新与技术进步, 推动防爆物流设备的标准化与模块化发展, 助力烟草行业向自动化、智能化方向稳步迈进。

参考文献

- [1]YC / T 164-2012, 烟用香精[S].北京:中国标准出版社, 2012.
- [2]GB / T 3836.1-2021, 爆炸性环境 第1部分: 设备 通用要求[S].北京:中国标准出版社, 2021.
- [3]GB 50058-2014, 爆炸危险环境电力装置设计规范[S].北京:中国计划出版社, 2014.