

化工装置中防爆电气设备选型与应用研究

钟为民 诸葛晟昱

浙江巨化检安石化工程有限公司 浙江 衢州 324000

【摘要】：化工装置中易燃易爆介质广泛存在，电气设备若选型不当或应用不规范，易形成潜在点燃源，增加安全风险。立足爆炸危险区域划分与介质物化特性，构建防爆电气设备选型技术框架，明确防爆结构形式、等级参数与温度组别的匹配关系，并结合工艺条件与运行环境提出系统化配置思路。同时对安装控制、运行监测及风险管理措施进行分析，强化全过程技术管控。实践分析表明，科学选型与规范应用协同推进，有助于提升化工装置电气系统的安全可靠水平。

【关键词】：化工装置；防爆电气设备；选型原则；危险区域划分；安全运行

DOI:10.12417/2705-0998.26.02.014

引言

化工生产装置多处于易燃易爆环境，电气系统贯穿于动力、控制与检测全过程，一旦选型或配置不当，极易成为事故诱因。爆炸危险区域的复杂性、介质多样性以及工艺条件的变化，使防爆电气设备的选择与应用呈现出较高技术要求。不同防爆结构形式在实际工况中的适配程度存在显著差异，若缺乏系统分析与规范匹配，难以保证装置安全运行。围绕危险区域划分、设备防爆等级及现场安装条件等关键因素展开系统梳理，有助于建立科学合理的选型路径，为化工装置电气安全提供技术支撑。

1 化工装置爆炸危险环境特征分析

1.1 易燃易爆介质分类与特性

化工装置中常见爆炸性物质主要包括可燃气体、蒸气及可燃性粉尘，不同介质在爆炸极限、最小点火能量、闪点及自燃温度等方面存在明显差异。可燃气体按爆炸特性划分为IIA、IIB、IIC级别，其中氢气、乙炔等属于高危险等级介质，对防爆结构强度和隔爆间隙提出更高要求；有机溶剂蒸气则受环境温度与通风条件影响显著，易在密闭空间形成爆炸性混合物。粉尘类介质具备悬浮性和沉积性，爆炸压力上升速率快，对设备外壳密封性能和表面温升控制要求严格。介质物化参数直接决定防爆电气设备的类别选取与温度组别匹配，是选型分析的基础依据。

1.2 爆炸危险区域划分原则

爆炸危险区域划分依据可燃物质释放频率、持续时间及通风状况确定，是防爆电气设备选型的重要前提^[1]。气体环境通常划分为0区、1区和2区，其中0区表示爆炸性气体长期存在，要求采用本质安全型或隔爆等级较高的设备；1区为正常运行时可能出现爆炸性混合物的区域；2区则为异常情况下短时出现。粉尘环境按照20区、21区、22区进行分类，并结合沉积厚度及清理周期综合判断。区域界定需结合工艺流程布置、设备密封形式以及泄漏点位置进行空间分析，避免因划分不当导致防爆等级偏低或配置过度，从而影响装置整体安全水

平。

1.3 电气火源形成机理

电气设备在运行过程中可能产生电弧、火花及危险高温表面，是引发爆炸事故的关键诱因。开关分断、电机换向及接触不良均可能产生瞬时电弧，其能量超过最小点火能量时即可点燃爆炸性混合物。导体过载运行或散热条件不足会导致外壳温度升高，当表面温度超过介质自燃温度或达到对应温度组别上限时，潜在风险显著增加。静电积聚亦不可忽视，尤其在粉尘输送与液体流动过程中易形成放电现象。电气火源的产生与设备结构、负荷特性及运行状态密切相关，对防爆型式与防护等级的确定具有直接影响。

2 防爆电气设备类型与技术参数

2.1 防爆结构形式比较

防爆电气设备按照防护机理可分为隔爆型(Ex d)、增安型(Ex e)、本质安全型(Ex i)、正压型(Ex p)及充砂型(Ex q)等结构形式。隔爆型通过坚固外壳承受内部爆炸压力并阻止火焰外泄，适用于爆炸危险等级较高的区域，对壳体强度、隔爆接合面间隙和粗糙度要求严格。增安型在正常运行条件下不产生电弧或高温，通过加强绝缘与结构设计降低点燃概率，多用于接线盒与照明设备。本质安全型依靠限制电路能量，使其低于最小点火能量，常见于自动化仪表及控制回路。正压型通过维持外壳内部高于环境压力的洁净气体隔离可燃介质，适用于大型控制柜。不同结构形式在适用区域、维护难度及成本控制方面差异明显，需结合化工装置实际工况合理选取。

2.2 防爆等级与温度组别匹配

防爆等级标识涵盖设备类别、气体组别及温度组别，是选型过程中不可忽视的技术依据。气体组别从IIA至IIC反映爆炸性气体的点燃难易程度，IIC对应氢气等高危险介质，对隔爆接合面长度和壳体强度提出更高标准^[2]。温度组别T1至T6依据设备最高表面温度划分，其中T6允许的表面温度上限最低，适用于自燃温度较低的介质环境。设备标识需与现场介质类别及其自燃温度进行对照，保证设备最高表面温度低于可燃物质

自燃点,同时满足区域等级要求。若防爆等级选择偏低,存在点燃风险;等级过高则造成投资增加与维护复杂化,因此匹配过程应结合工艺参数与环境温度综合分析。

2.3 设备性能参数对安全性的影响

防爆电气设备的额定电压、额定电流、功率因数及防护等级等性能参数直接影响运行安全状态。电动机在额定负载下运行可保持绕组温升在允许范围内,若长期过载,绝缘老化加速,外壳表面温度升高,可能突破温度组别限制。外壳防护等级IP值决定设备对粉尘和水分侵入的防护能力,密封性能不足会削弱隔爆结构的有效性。接线端子允许温升、短路分断能力及电缆引入口的机械强度均关系到设备在复杂工况下的稳定运行。技术参数选择应结合负荷特性、环境腐蚀性 & 安装方式综合考虑,使设备在额定工况内长期稳定工作,降低电气火源形成概率。

3 防爆电气设备选型原则构建

3.1 基于区域等级的选型方法

爆炸危险区域等级是确定防爆电气设备类别与型式的核心依据。0区及20区环境中爆炸性混合物处于长期或频繁存在状态,设备选用应满足最高防爆保护级别,控制回路宜采用本质安全型结构,并通过安全栅或隔离式安全栅实现能量限制;动力设备应尽量布置在非危险区域,通过机械传动或隔离措施降低电气风险。1区及21区对设备的防爆性能仍有严格要求,可采用隔爆型或正压型设备,但须校核外壳强度与泄压路径。2区及22区在异常工况下可能形成爆炸环境,选型侧重于降低故障点燃概率,并加强运行监测。区域等级与设备保护级别需对应匹配,同时结合安装位置空间分布、通风条件及释放源等级进行系统分析,避免因区域判定偏差导致设备配置失衡。

3.2 结合工艺条件的适配策略

化工装置运行参数对防爆电气设备选型具有直接影响。高温、高湿及腐蚀性气体环境对设备外壳材料与密封结构提出特殊要求,不锈钢或表面防腐涂层可提高耐蚀性能;存在频繁启停或重载冲击的电动机,应选用绝缘等级较高、具备较大起动转矩裕量的型号,以控制绕组温升^[1]。含尘环境需关注粉尘沉积对散热能力的影响,设备表面温度计算应考虑沉积层厚度修正系数。自动化控制系统中信号回路电压、电流参数需与保安认证数据一致,避免因参数偏差削弱防爆性能。选型过程应围绕介质特性、运行压力、环境温度及设备布置方式展开综合评估,使结构形式与工艺条件保持一致性。

3.3 安全性与经济性协调思路

防爆电气设备配置既需满足技术规范,也需兼顾投资控制与运行成本。防爆等级过度提高会增加采购费用与维护复杂度,而等级偏低则难以保证安全裕度,因此需在风险评估基础上确定合理安全系数。通过危险与可操作性分析方法对潜在点

燃源进行辨识,可为选型提供量化依据。对连续运行的重要设备,应优先保障防爆性能与可靠性;对间歇运行或处于低风险区域的设备,可在满足标准前提下优化型号选择。集中布置控制柜并采用正压通风系统,可减少单台设备防爆改造数量,从而降低总体成本。技术可行性与经济合理性在系统层面进行平衡,有助于实现化工装置电气系统的安全稳定运行。

4 防爆电气设备安装与运行控制

4.1 安装规范与环境适应要求

防爆电气设备在化工装置中的安装质量直接关系到防爆性能的有效发挥。隔爆型设备的接合面应保持规定间隙和粗糙度,严禁擅自打磨或涂覆影响隔爆性能的材料,紧固件需采用与原设计一致的强度等级。电缆引入装置必须与设备防爆标志相匹配,密封圈压紧程度应符合技术要求,避免形成泄漏通道。接地系统应设置专用保护接地端子,确保接地电阻满足规范限值。处于腐蚀性或高湿环境的设备应采取防腐处理和防凝露措施,控制柜内部可配置加热或除湿装置。安装位置需避开振动源和高温辐射区域,保持必要的检修空间,以保证设备在复杂工况下稳定运行。

4.2 运行监测与维护管理要点

防爆电气设备在长期运行过程中,其防爆结构和电气性能可能因环境因素发生变化,需建立定期检查制度^[4]。运行期间应监测电动机电流、绕组温度及轴承振动值,防止过载或机械故障引发异常温升。隔爆外壳的螺栓紧固状态和密封面完整性需按周期复查,发现锈蚀或损伤应及时处理。对本质安全型回路,应核对安全栅参数与现场仪表匹配情况,防止擅自更换元件导致能量超限。粉尘环境中设备表面积尘应及时清理,避免影响散热条件。维护作业应在断电并确认无爆炸性气体聚集后进行,严格执行动火与受限空间管理程序。

4.3 常见配置问题及改进措施

实际工程中存在防爆等级与区域划分不一致、电缆密封不严以及接地系统不完善等情况,均会削弱整体安全性能。部分设备在选型阶段忽视介质温度组别,导致表面温度控制不符合要求;控制柜内电气元件混装不同防爆型式,也可能形成潜在点燃源。针对上述问题,应在设计阶段加强图纸审查和防爆标志核对,施工过程中实施专项验收。电缆引入部位可采用双重密封结构,提高防护等级;对老旧装置可通过技术改造更换不符合标准的设备,并完善接地与等电位连接。通过系统排查与针对性整改,提升防爆电气设备在化工装置中的实际应用效果。

5 防爆电气设备综合应用优化路径

5.1 系统化配置方案设计

化工装置防爆电气系统的优化应立足整体结构进行统筹

规划,将危险区域划分结果、电气负荷分布及工艺流程布置纳入统一设计框架。动力设备、控制设备与检测仪表在空间位置与功能上形成联动关系,配置方案需兼顾供电可靠性与防爆等级匹配。对爆炸危险等级较高的生产单元,可采用集中控制与远程操作方式,将高能电气设备布置于非危险区域,通过信号传输实现控制分离。电缆路径规划应避免高温、高腐蚀和机械冲击区域,并通过桥架分层敷设降低交叉干扰。系统设计阶段应开展短路电流计算、负荷校核及温升分析,确保各类设备在额定工况下具备足够安全裕度。通过标准化选型、模块化组合及接口统一,可提高系统兼容性与后期改造便利性,使防爆电气设备在化工装置中形成结构清晰、层级分明的配置体系。

5.2 风险控制与全过程管理

防爆电气设备的安全保障贯穿设计、采购、安装、调试及运行维护全过程。设计阶段需依据国家防爆标准和行业规范进行技术审查,对防爆标志、认证文件及适用区域进行严格核对;采购环节应确认设备具备有效防爆合格证和型式试验证书,防止非标产品进入现场。施工过程中实施专项质量验收,对隔爆接合面、电缆密封和接地连续性进行实测记录^[5]。运行阶段建立设备档案,记录运行参数、检修记录及故障情况,结合风险矩阵法对关键设备进行分级管理。对于高风险单元,可引入在线温度监测与振动监测系统,实现异常状态预警。通过制度化

管理和技术手段结合,形成覆盖全生命周期的风险控制体系,确保防爆电气设备在复杂工况下保持稳定状态。

5.3 安全运行效果评估与改进方向

防爆电气设备应用效果的评价应基于实际运行数据与事故隐患排查结果进行量化分析。通过统计设备故障率、温升超限次数及维护频次,可判断选型与配置是否符合工况需求。对存在异常记录的设备,应结合负荷曲线和环境参数进行技术复核,分析是否存在选型偏差或安装缺陷。利用安全检查表法与现场巡检记录,对电缆引入口密封状况、外壳完整性及接地电阻值进行周期性评估。对已运行多年的装置,可开展防爆符合性复审,对标准更新后不满足要求的设备进行替换或技术改造。结合自动化升级与智能监测技术应用,对关键节点实施实时数据采集,提高风险识别精度。通过持续评估与针对性优化,促进防爆电气设备配置更加贴合化工装置运行特性。

6 结语

化工装置爆炸危险环境复杂多变,防爆电气设备的科学选型与规范应用关系到装置整体运行安全。依据区域等级、介质特性及工艺条件建立系统化配置方案,并强化安装质量控制与全过程管理,有助于降低电气点燃风险,提高设备运行稳定性。结合运行数据开展持续评估与技术改进,可进一步优化防爆电气系统结构,保障化工生产装置安全平稳运行。

参考文献:

- [1] 曾桥,施春阳,李俊,李祥,张璐璐.低温环境下野外自然好氧堆肥理化特征及微生物群落结构变化[J].安徽农业科学,2024,52(6):51-59.
- [2] 倪勇军,李文荣,宋维昌,张生华,李军,田乾,关博文.低温环境微生物灌入法修复砂浆效果及性能研究[J].硅酸盐通报,2024,43(2):478-486+533.
- [3] 郭迎春.化工生产中电气设备的防爆技术与安全维护[J].石油石化物资采购,2025(12):115-117.
- [4] 侯延波,李永成,李崇勇.化工车间防爆电气设备在建筑配电系统中的应用分析[J].消费电子,2025(16):128-130.
- [5] 李庚波.化工企业防爆电气设备安全管理探讨[J].电气开关,2025,63(2):108-110+113.