

防爆区域电气仪表选型与安装规范优化建议

刘艳果

河南能源集团义马气化厂 河南 三门峡 472300

摘要:在石油、化工、天然气及制药等高危工业领域,爆炸性环境是普遍存在的重大安全风险源。电气仪表作为自动化控制系统的核心组成部分,其在防爆区域内的安全可靠运行,直接关系到整个生产装置乃至人员生命财产的安全。一旦选型或安装不当,这些设备本身就可能成为点燃源,引发灾难性的火灾或爆炸事故。因此,科学严谨地执行电气仪表的选型与安装规范,是构建本质安全型工厂的基石。然而,随着技术的迭代更新和国际标准的持续演进,现行规范体系在实际应用中也暴露出一些亟待优化的问题。本文旨在系统梳理防爆区域电气仪表选型与安装的核心规范框架,深入剖析当前实践中存在的共性挑战与潜在风险,并在此基础上,从标准体系融合、全生命周期管理、数字化赋能以及人员能力建设等多个维度,提出具有前瞻性和可操作性的优化建议,以期提升我国防爆安全工程的整体水平提供理论参考与实践指导。

关键词:防爆区域;电气仪表;设备选型;安装规范;本质安全;标准优化

引言

现代工业高度依赖电气仪表,尤其在易燃易爆的防爆区域,其不仅是过程控制的关键,更是安全保障的核心。防爆性能并非设备固有属性,而是贯穿设计、选型、安装、运维等全生命周期的系统工程,任一环节疏漏均可能导致防护失效。目前,国际以IEC 60079系列、国内以GB 3836系列、GB 50058及新发布的GB/T 3836.15-2024(2025年8月1日实施)等标准构成技术规范体系,为安全应用提供依据。然而,实践中仍存在标准理解偏差、衔接不畅、新技术(如无线与智能仪表)带来的挑战及施工质量参差等问题,形成潜在风险。因此,系统审视并优化现有选型与安装规范,既是技术演进所需,更是安全生产的刚性要求。

1 防爆区域电气仪表选型的规范基础与核心原则

1.1 危险区域的科学划分

选型的前提是对爆炸性环境进行准确的危险区域划分。根据GB 50058-2014《爆炸危险环境电力装置设计规范》,爆炸性气体环境被划分为0区、1区和2区,而爆炸性粉尘环境则划分为20区、21区和22区。这种划分基于可燃物质释放的频率、持续时间和通风条件等因素。区域划分的准确性直接决定了后续设备选型的严格程度,是整个防爆安全体系的逻辑起点。

1.2 设备保护级别(EPL)与防爆型式的匹配

在明确区域划分后,需依据设备保护级别(Equipment Protection Level, EPL)来选择合适的防爆型式。EPL是一个量化指标,用于表征设备在特定环境下防止成为点燃源的能力。例如,对于0区,必须选用EPL为“Ga”级别

的设备,通常对应本质安全型(Ex ia);对于1区,则可选用EPL为“Gb”的设备,如隔爆型(Ex d)、增安型(Ex e)或本质安全型(Ex ib)等。选型时必须确保设备铭牌上的EPL标识不低于所在区域的要求。

1.3 气体/粉尘组别与温度组别的精确对应

除了区域和EPL,还必须考虑爆炸性物质的具体物理化学特性。GB 3836.1等标准将可燃气体按其最大试验安全间隙(MESG)和最小点燃电流比(MICR)划分为IIC、IIB、IIA三个组别,其中IIC组别(如氢气、乙炔)因其极小的安全间隙和极低的点燃电流而被认为是最为危险的。设备的防爆标志必须标明其适用的最高气体组别,且该组别应覆盖现场存在的所有可燃气体,以确保在最恶劣的混合物条件下依然安全^[1]。同样,设备的最高表面温度(由其内部元器件温升和环境温度共同决定)必须低于环境中可燃物质的引燃温度,并对应到相应的温度组别(T1-T6)。选型时,必须确保设备的温度组别高于现场混合物的最低引燃温度,从而杜绝因设备过热而引发的点燃风险。

1.4 国际与国内标准的协同考量

在全球化背景下,工程项目常涉及进口设备,或是需要满足国际业主的特定要求。因此,选型时还需关注IEC 60079、北美NEC 500/505以及欧洲ATEX指令等国际标准的要求,并确保其与我国GB标准的等效性或兼容性。这要求选型人员不仅精通本国规范,还需具备跨标准体系的知识储备和判断能力,能够准确解读不同认证体系下的技术文件,避免因标准差异或理解偏差导致合规风险,确保无论设备来源何处,其安全性能都能满足

项目所在地的强制性法规要求。

2 防爆区域电气仪表安装的规范要点与关键细节

2.1 隔爆型 (Ex d) 设备的安装精髓——隔爆接合面的完整性

隔爆型设备依赖其坚固外壳和精密的隔爆接合面来容纳内部可能发生的爆炸并阻止火焰向外部环境传播。安装过程中,对隔爆接合面的保护是重中之重。首先,在安装前必须彻底清除接合面上的油漆、锈迹、油污和任何机械杂质,确保金属面洁净无瑕。其次,为防止设备在长期运行中因环境腐蚀而导致隔爆间隙增大,应在清洁后的接合面上均匀涂抹一层薄薄的、不影响防爆性能的专用防锈脂^[2]。最后,在紧固螺栓时,必须确保所有螺栓齐全,并严格按照制造商规定的力矩值,采用对角线交叉顺序均匀拧紧,以保证接合面受力均匀,密封圈被有效压缩,从而维持设计要求的隔爆间隙和宽度,这是隔爆功能得以实现的物理基础。

2.2 电缆引入与密封的严密性

电缆入口是防爆外壳上不可避免的薄弱环节,必须通过有效的密封来阻断爆炸性混合物沿电缆侵入设备内部的路径。为此,引入装置中的橡胶密封圈内径必须与所用电缆的外径紧密贴合,公差配合需严格符合相关标准的要求。在安装时,必须使用压紧螺母将密封圈充分、均匀地压缩,使其产生足够的径向压力,实现可靠的密封效果,严禁用金属导管或其他硬物直接压紧密封圈,以免损坏其密封性能。此外,对于设备上未使用的电缆入口,必须使用与设备防爆型式相同、且由原厂提供的金属堵头或盲板进行严密封堵,任何随意的替代材料都无法保证同等的防爆安全性。

2.3 本质安全 (Ex i) 系统的整体性保障

本质安全系统的防爆能力并非源于单个设备,而是取决于整个回路的能量限制水平。因此,其安装必须着眼于系统的整体性。首要原则是本安线路与非本安线路必须在物理空间上严格分离敷设,通常要求两者间距大于50毫米,或采用接地的金属隔板进行有效隔离,以最大限度地防止非本安线路的故障高能量通过电磁感应或电容耦合的方式窜入本安回路,从而破坏其本质安全特性。其次,应使用低电容、低电感的专用本安电缆进行敷设,其护套通常为醒目的蓝色,以便于在复杂的线缆中快速识别^[3]。最后,作为本安系统核心的关联设备(安全栅)必须安装在安全区域(非防爆区),并确保其接地良好,只有这样才能有效限制流入危险区域的能量,真正实现“本质安全”。

2.4 接地与等电位联结的可靠性

可靠的接地是防止静电积聚和故障电流引发火花的关键措施,对于防爆安全至关重要。每一台防爆设备都必须配备独立的、截面积符合规范要求(通常不小于4平方毫米,对于电机等大功率设备要求更高)的黄绿双色专用接地线。接地连接点必须牢固、无锈蚀,确保接触电阻足够低,使得整个接地系统的接地电阻值能满足设计要求(通常不大于4欧姆,对于某些特殊场合要求更为严格)。此外,在爆炸危险区域内,所有金属构件、管道、设备外壳等均应进行等电位联结,通过可靠的电气连接消除它们之间的电位差,从而有效防止因电位差放电而产生的静电火花,为防爆安全构筑起又一道坚实的防线。

3 现行规范体系下存在的主要问题与挑战

尽管现有规范体系已相当完善,但在实际应用层面仍面临诸多挑战:(1)标准体系繁杂,理解与执行存在偏差:国内外防爆标准众多,且部分条款表述抽象,给一线工程师和施工人员的理解带来困难。不同专业背景的人员(如工艺、仪表、电气)对同一标准的理解可能存在差异,导致在设计交底和施工验收环节出现分歧。

(2)新技术、新设备带来的规范滞后性:随着工业物联网(IIoT)的发展,无线变送器、智能阀门定位器等新型设备在防爆区域的应用日益广泛。这些设备集成了复杂的电子电路和通信模块,其防爆认证和安装要求远比传统仪表复杂。现行规范在如何评估和规范这类集成化、智能化设备的安全性方面,尚显不足。(3)安装施工质量难以保证:防爆安装的许多关键细节(如隔爆面处理、密封圈压紧力)高度依赖施工人员的经验和责任心。缺乏有效的过程监督和量化检测手段,使得“差不多就行”的思想容易滋生,为日后运行埋下隐患。(4)全生命周期管理理念缺失:当前的规范更多聚焦于设计选型和初始安装阶段,对于设备投运后的定期检验、维护保养、老化评估以及最终的报废处置等环节,缺乏系统性的指导和强制性要求,未能形成闭环管理。

4 防爆区域电气仪表选型与安装规范的优化建议

4.1 推动标准体系的深度融合与可视化解读

为解决标准繁杂和理解困难的问题,应由行业协会或国家级标准化组织牵头,编制一份详尽的国内外主流防爆标准(如GB、IEC、ATEX、NEC)核心条款的对照表和等效性说明文件,为工程实践提供清晰的指引。同时,可以利用数字化平台,开发基于Web的智能选型助手,用户只需输入区域划分、介质类型、引燃温度等关键参数,系统即可自动推荐符合要求的设备防爆型式、EPL、气体组别和温度组别,并生成合规性报告,极大地

降低选型门槛。此外,应大力制作标准化的图集与视频指南,将抽象的规范条文转化为直观的三维动画、高清图片和短视频,详细演示隔爆面处理、电缆密封、接地连接等关键工序的标准操作流程,供设计、施工和监理人员随时查阅和学习,确保规范要求能够被准确无误地执行。

4.2 强化全生命周期安全管理

首先,应为每一台防爆仪表建立电子化的全生命周期档案,系统记录其选型依据、出厂合格证书、详细的安装记录、历次检验与校准报告、维修历史及状态评估结果。其次,应改变当前普遍存在的“一刀切”年度检验模式,转而制定动态的、差异化的检验与维护策略,根据设备的具体类型、所处区域的风险等级、实际运行工况及历史表现数据,科学地确定其检验周期和维护重点。例如,位于0区的高风险设备应接受比2区设备更频繁、更严格的检查^[4]。最后,应积极推广预测性维护技术,利用红外热成像、超声波检漏等先进的无损检测手段,对在役防爆设备进行在线或离线监测,提前发现隔爆面腐蚀、密封失效、接线端子松动等潜在缺陷,从而实现从被动的事后维修向主动的事前预防的根本性转变。

4.3 构建数字化、智能化的防爆管理平台

应充分利用BIM(建筑信息模型)技术,在工程设计的早期阶段就将防爆区域划分、设备防爆信息、电缆路由等关键数据深度集成到三维数字模型中。在施工阶段,可通过AR(增强现实)技术,将虚拟的安装指导信息叠加到真实的施工现场,指导工人精准完成复杂的防爆安装任务。在运维阶段,管理人员可以通过该平台快速查询任意设备的全部信息并进行空间定位,极大提升管理效率。同时,应整合国家防爆检测中心、各大制造商等多方权威数据,构建一个开放、共享的防爆产品数据库,支持用户通过扫描设备上的防爆标志,即时查询其完整的认证信息、技术参数和适用范围,从而有效打击市场上的假冒伪劣产品,从源头上保障设备安全。

4.4 加强专业化人才队伍建设

应建立一个分层级、覆盖全流程的防爆专业人才培养与认证体系,针对设计师、采购员、安装工程师、检验员和操作员等不同岗位角色,设计差异化的培训课程和考核标准。培训内容应紧密结合最新的国际国内标准和行业最佳实践,并特别强调实操技能的培养与考核,确保学员不仅“知道”,更能“做到”。对于大型的高危企业,建议设立专职的首席防爆官(Chief Protection Officer, CPO)岗位,由其全面负责企业防爆安全策略的顶层设计、具体执行与全过程监督,以此提升企业防爆管理的专业化、系统化和权威性,将防爆安全真正融入企业的核心文化之中。

5 结语

防爆区域电气仪表的选型与安装,是一项融合了严谨科学、精湛工艺和高度责任感的系统工程。面对日益复杂的工业环境和不断涌现的新技术,我们不能仅仅满足于对现有规范的被动遵守,而应积极推动其优化与升级。通过促进标准体系的融合与可视化、强化全生命周期管理、拥抱数字化智能化技术以及建设高水平的专业队伍,我们可以将防爆安全从一种合规性要求,升华为一种深入骨髓的企业文化和核心竞争力。唯有如此,才能真正筑牢安全生产的堤坝,为高危工业的可持续发展保驾护航。未来的防爆安全,必将是更加智能、更加精准、更加可靠的本质安全。

参考文献

- [1]杨文字,闫赞扬.隔爆型仪表防爆安全性试验评估[J].电气防爆,2024,(1):42-45.
- [2]郭森.电气设备安装工艺关键点质量控制方法研究[J].电气技术与经济,2025,(12):177-179.
- [3]骆廷勇.仪器仪表设备的防爆防腐管理方法探究[J].现代工业经济和信息化,2021,11(7):187-189.
- [4]夏博研.化工仪表设计中的防爆问题及对策[J].化工管理,2021,(24):114-115.