

油气生产现场防爆电气设备风险分析及控制措施

孟克敏

中国石化中原油田供电服务中心

DOI: 10.12238/jpm.v6i8.8343

[摘要] 本研究聚焦于油气生产现场的防爆电气设备，通过深入剖析油气企业电气设备隐患排查的实际情况，系统梳理防爆电气设备所面临的各类典型风险。其中涵盖防爆认证缺失、安装操作不规范、密封功能失效、连接方式不当、防松措施不到位以及电缆未作防爆处理等关键问题。鉴于油气生产场所易燃易爆的特殊环境属性，深入探讨这些风险可能引发的严重后果，并从设备选型采购、安装施工管理、连接防护强化以及设备维护体系完善等多个维度，提出科学且具操作性的控制策略。旨在有效降低防爆电气设备运行过程中的风险，保障油气生产现场安全稳定运行，为油气企业安全生产提供坚实的理论与实践支撑。

[关键词] 油气生产；防爆电气设备；风险分析；控制措施

Risk analysis and control measures for explosion-proof electrical equipment in oil and gas production sites

Meng Kemin

Sinopec Zhongyuan Oilfield Power Supply Service Center

[Abstract] This study focuses on explosion-proof electrical equipment in oil and gas production sites. Through in-depth analysis of the actual situation of hidden danger investigation of electrical equipment in oil and gas enterprises, various typical risks faced by explosion-proof electrical equipment are systematically sorted out. This includes key issues such as lack of explosion-proof certification, non-standard installation and operation, failure of sealing function, improper connection methods, inadequate anti loosening measures, and cables not being treated with explosion-proof measures. Given the special environmental properties of oil and gas production sites that are flammable and explosive, this article explores in depth the serious consequences that these risks may cause, and proposes scientific and operational control strategies from multiple dimensions such as equipment selection and procurement, installation and construction management, strengthened connection protection, and improved equipment maintenance systems. Aiming to effectively reduce the risks during the operation of explosion-proof electrical equipment, ensure the safe and stable operation of oil and gas production sites, and provide solid theoretical and practical support for the safe production of oil and gas enterprises.

[Key words] oil and gas production; Explosion proof electrical equipment; Risk analysis; control measures

引言

油气生产环境易燃易爆且工况复杂，电气设备故障或违规运行易引发火灾爆炸等事故，严重威胁人员安全、造成企业财产损失并破坏生态环境。防爆电气设备是保障生产安全的关键，但实际作业中问题频发，安全风险突出。本文结合作者工作经验与中原油田现场排查情况，深入分析防爆电气设备风险并提出控制措施，对保障安全生产意义重大。

一、油气生产现场防爆电气设备典型风险分析

(一) 防爆认证与标识问题

排查发现，部分设备存在防爆认证缺失问题，既无有效防

爆合格证号，也未标注“CCC”认证标志。这两类认证是设备防爆性能与安全的重要保障，缺失认证意味着设备未经严格检测，在油气环境中运行易因电火花引发爆炸。老旧装置中，过期合格证与设备老化叠加，进一步加剧安全隐患。

(二) 安装规范不符合要求

1. 隔爆接合面距离不足：IIB级环境下，部分设备隔爆接合面与障碍物间距小于30mm，影响隔爆性能。如储罐区因布局紧凑，设备运行时振动、温变易破坏接合面完整性，导致火焰外泄风险增加。

2. 电缆引入装置安装不当：常见问题包括提前剥离电缆外

护套、未用压紧装置等，导致密封圈失效，易燃易爆气体可进入设备内部。防爆配电箱中，钢管直连电缆的不规范操作也屡见不鲜，引发多起爆炸事故。

(三) 连接与防护问题

1. 连接部件不匹配：部分企业在连接 EX d 型防爆配电设备时，未选用匹配的防爆挠性管或电缆引入装置。这类部件是防止电气连接点产生电火花的关键，但不匹配的选型会削弱连接部位的防爆性能。设备运行时，电流波动、振动易导致接触不良，引发电火花。如部分油气输送站因忽视部件选型，使设备长期存在安全隐患，极易诱发爆炸事故。

2. 电缆导线未防爆处理：油气场所存在易燃易爆气体，电缆若未经防爆处理，老化破损时易产生电火花引发爆炸。接头密封不严、连接不牢等处理不当问题，也会显著提升火灾爆炸风险，此类原因引发的事故在实际生产中较为常见。

(四) 设备维护与管理问题

1. 紧固件防松措施缺失或松动：防爆电气设备中，紧固件防松措施缺失或松动是较为常见的故障现象。紧固件在防爆电气设备中承担着固定和连接各部件的重要作用，而防松措施则是确保紧固件在设备运行过程中不会出现松动的关键保障。当紧固件防松措施缺失或松动时，设备的密封性和稳定性会受到严重影响。一旦密封性被破坏，设备内部爆炸产生的火焰就有可能泄漏到外部环境，引发外部爆炸事故。例如，在一些振动较大的油气生产设备中，由于在设备安装和维护过程中，对紧固件防松措施的重视程度不足，导致经常出现紧固件松动的情况。这不仅影响了设备的正常运行，还大大增加了设备的运行风险。

2. 设备维护管理不到位：部分油气企业在防爆电气设备的维护管理方面存在明显不足，对设备维护管理的重视程度不够。企业缺乏完善的设备维护管理制度和定期巡检制度，导致设备在长期运行过程中，无法得到及时有效的维护和保养。随着时间的推移，由于环境因素和设备自身的损耗，各种问题逐渐显现。如果这些问题不能及时发现和处理，就会不断积累，最终可能引发严重的安全事故。例如，一些防爆电气设备的外壳出现锈蚀、变形等情况，但由于缺乏有效的巡检和维护机制，未及时进行修复和更换，使得设备的防爆性能逐渐下降，为安全生产埋下了隐患。

二、油气生产现场防爆电气设备风险控制措施

(一) 严格设备选型与采购管理

1. 确保认证合规：在防爆电气设备的全生命周期管理中，选型与采购环节是保障设备安全运行的首要关键环节。为确保设备认证合规，应依据《GB 3836 爆炸性环境》系列标准，建立严格的双重复核机制。一方面，通过国家防爆电气产品质量监督检验中心官网，对设备的防爆合格证号进行核查，确认其有效性；另一方面，在全国认证认可信息公共服务平台，查验

设备的“CCC”认证状态，确保设备通过 GB/T 3836.1-2021 等核心标准的严格检测。同时，构建科学合理的供应商动态评估体系，运用层次分析法 (AHP)，从生产资质、质量管控体系、近三年安全事故率、售后服务响应速度等 12 个维度，对供应商进行全面、系统的量化评分。根据评分结果，将供应商分为战略、优质、合格三个等级，优先选择通过 ISO 9001 质量体系认证，且具有丰富油气行业防爆设备供货经验的企业进行合作。这样能够从源头上确保采购的防爆电气设备具备可靠的质量和安全性。

2. 匹配环境要求：油气生产场所的爆炸危险特性复杂多样，因此需要运用科学的区域风险评估模型进行分级管控。依据《危险场所电气防爆安全规范》，不同的区域应选用相应防爆等级的设备。在 0 区，即连续出现爆炸性气体环境的区域，应选用 Ex ia Ga 本安型设备，这种设备具有极高的本质安全性能，能够在危险环境中安全运行；在 1 区，即正常运行时可能出现爆炸性气体环境的区域，可采用 Ex d IIC Gb 隔爆型设备，该设备通过隔爆外壳等结构，能够有效防止内部爆炸传播到外部。以某页岩气开采平台为例，平台通过安装高精度的气体检测仪，实时监测甲烷浓度，并结合区域划分结果，在井口装置区部署了防爆等级为 Ex d IIC T6 Gb 的电动阀门控制器。与原设备相比，新设备提升了 T6 温度组别，能够承受最高 85℃ 的表面温度，大大降低了因设备表面温度过高而引燃易燃易爆气体的风险，有效保障了开采平台的安全生产。

(二) 规范设备安装与施工

1. 严格遵守安装规范：设备安装过程必须严格遵循《电气装置安装工程爆炸和火灾危险环境电气装置施工及验收规范》(GB 50257) 的相关要求，建立精确的三维安装标准模型。在隔爆面安装环节，要求隔爆接合面与障碍物之间保持不小于 30mm 的安全距离，并采用激光测距仪进行实时监测，确保安装精度。电缆引入装置的安装需符合 GB 3836.14-2014 标准，其中密封圈的硬度需控制在邵氏硬度 45-55 之间，通过专业的硬度计进行检测验证。某炼化企业在乙烯装置改造过程中，引入 BIM 技术进行设备安装模拟。通过 BIM 技术的三维可视化和模拟分析功能，提前发现并修正了 3 处因布局不合理导致的防爆性能缺陷，有效提高了设备安装的质量和安全性，避免了后期因安装问题导致的安全隐患和整改成本。

2. 加强施工质量监督：构建“三阶段四维度”的全面质量监督体系，对设备安装施工过程进行严格把控。在安装前，运用 X 射线荧光光谱仪对设备材质进行成分分析，确保设备材质符合相关标准要求，从源头上保证设备质量；安装过程中，采用红外热成像仪检测电气连接部位的温度分布，通过温度变化及时发现连接部位可能存在的接触不良等问题；同时使用超声波局放检测仪监测设备运行状态，检测设备内部是否存在局部放电等潜在故障。安装完成后，运用氦质谱检漏仪对隔爆腔

体进行气密性测试,要求压力保持率达到98%以上,确保设备的密封性能符合防爆要求。某海上采油平台通过引入专业的第三方监理机构,在验收阶段发现并整改了电缆桥架跨接电阻超标等5项隐患,使得设备安装合格率达89%大幅提升至99.5%,显著提高了设备安装质量,为设备的安全运行奠定了坚实基础。

(三) 强化设备连接与防护管理

1. 选择匹配连接部件:针对Ex d型防爆配电设备,依据GB 3836.15-2017标准,连接部件必须具备与主体设备同等的防爆性能。在选用防爆挠性管时,需严格检查其弯曲半径是否符合最小10倍管径的要求,并通过拉力试验机测试其抗拉强度,确保抗拉强度不低于500N。某LNG接收站采用的铠装防爆挠性管,在经历-162℃的极端低温测试后,依然能够保持良好的密封性能和机械强度,充分证明了其可靠性。同时,建立连接部件全生命周期管理台账,设定6个月为检查周期,采用目视检测结合超声波探伤仪的方式,及时发现并更换出现裂纹、老化等问题的部件,确保连接部件始终处于良好的运行状态,保障设备连接部位的防爆性能。

2. 做好电缆防爆处理:电缆系统的防爆处理应遵循《爆炸危险环境电力装置设计规范》(GB 50058),构建涵盖选型、敷设、接头处理等环节的全流程防护体系。在选型阶段,选用符合GB/T 12706标准的阻燃电缆,并增加低烟无卤特性要求,提高电缆的阻燃性能和环保性能;在敷设过程中,采用桥架加盖板的封闭式结构,确保电缆与外界危险环境有效隔离,同时与工艺管道保持0.5m以上的安全间距,避免相互影响。在接头处理方面,采用冷缩式防爆接头,通过扭矩扳手精确控制螺栓紧固力在8-10N·m,确保接头连接牢固;并采用密封胶进行二次封堵,进一步增强接头的密封性能。某油田联合站通过实施上述电缆防爆处理措施,将电缆接头故障率从年均12次大幅降至2次,显著提升了电缆系统的本质安全水平,有效降低了因电缆问题引发安全事故的风险。

(四) 完善设备维护与管理体系

1. 加强紧固件维护:定期对防爆电气设备的紧固件进行全面检查和保养,确保防松措施有效,紧固件无松动现象。对于振动较大的设备,应适当增加紧固件的检查频率,及时发现并拧紧松动的紧固件。在选择紧固件时,要注重其质量,选择符合相关标准和设备使用要求的产品。同时,根据设备的使用环境和工作特点,采用合适的防松方法,如使用弹簧垫圈、螺纹锁固剂等,确保紧固件在设备运行过程中始终保持紧固状态,保障设备的密封性和稳定性。

2. 建立健全维护管理制度:建立完善的防爆电气设备维护管理制度,制定详细、科学的设备维护计划和操作规程。明确设备巡检的周期、内容和标准,定期对设备进行全面巡检和维护,及时发现并处理设备存在的问题。建立设备维护档案,详

细记录设备的维护情况、故障处理情况以及更换的零部件等信息,为设备的管理和维护提供全面、准确的依据。此外,加强对设备维护人员的培训,定期组织专业技能培训和安全知识培训,提高维护人员的专业技能水平和安全意识,确保设备维护工作能够高质量、安全地开展,保障防爆电气设备的正常运行和安全生产。

三、结论

油气生产现场防爆电气设备的安全可靠运行,是保障油气企业安全生产的关键环节,对于企业的稳定发展和社会的安全稳定都具有不可忽视的重要意义。通过对防爆电气设备典型风险的深入分析可以发现,设备在防爆认证、安装规范、连接防护以及维护管理等多个方面都存在不同程度的问题,这些问题严重威胁着油气生产现场的安全。针对这些风险,本文提出了一系列涵盖设备选型采购、安装施工管理、连接防护强化以及维护管理体系完善等方面的控制措施。油气企业应充分认识到防爆电气设备风险管理的重要性,将这些控制措施切实落实到实际生产过程中的每一个环节,加强设备的全生命周期管理。只有这样,才能确保防爆电气设备安全可靠运行,有效降低油气生产现场的安全风险,为油气企业的安全生产和可持续发展提供有力保障。同时,随着油气行业的不断发展和技术的进步,还应持续关注防爆电气设备领域的新技术、新方法,不断优化和完善风险控制措施,以适应日益复杂的生产环境和更高的安全要求。

[参考文献]

- [1]王建华. 电气防爆技术在石油化工企业中的应用[J]. 化工管理, 2020(15): 145-146.
- [2]李建国. 石油天然气行业防爆电气设备的安全管理[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2019, 39(18): 14-15.
- [3]张志强. 防爆电气设备安装与维护要点分析[J]. 电气时代, 2021(06): 82-83.
- [4]陈刚. 浅谈石油化工企业防爆电气设备的选型与安装[J]. 中国设备工程, 2020(10): 118-119.
- [5]刘勇. 油气田防爆电气设备的常见问题及对策[J]. 安全、健康和环境, 2018, 18(12): 38-40.
- [6]赵伟. 防爆电气设备的风险管理与控制[J]. 电气技术, 2019(08): 121-123.
- [7]孙明. 石油化工企业防爆电气设备的维护与管理[J]. 化工设计通讯, 2021, 47(03): 127-128.
- [8]周立军. 防爆电气设备在易燃易爆场所的应用研究[J]. 中国新技术新产品, 2020(09): 114-115.
- [9]吴强. 浅谈油气生产现场防爆电气设备的安全管理[J]. 中国石油石化, 2019(S1): 132-133.
- [10]郑海涛. 防爆电气设备的安装与维护探讨[J]. 电子测试, 2021(11): 125-127.