基于完整性管理理念的油气站场防爆电气管理探究

张志远 白云朋 冉克辉 刘永俊 秦少博

(国家管网集团北方管道公司郑州输油气公司, 河南 郑州 450000)

摘要: 在油气行业, 安全是首要考虑的问题, 特别是在油气站场中, 防爆电气设备的管理至关重要。本文探究如何基于完整性管理理念来优化油气站场的防爆电气管理, 通过系统的风险评估、预防性维护、状态监测以及持续改进措施, 提升整体安全性和设备可靠性。揭示了完整性管理在防爆电气管理中的重要作用, 并提出了具体的实施策略。

关键词: 油气站场; 防爆电气; 完整性管理; 风险评估; 预防性维护

1 绪论

随着油气资源开采和加工技术的发展, 油气站场的规模不断扩大, 复杂性增加, 对电气设备的安全性要求越来越高。防爆电气设备作为保障油气站场安全的关键环节, 其管理的有效性直接影响着整个系统的稳定运行和人员安全。因此, 探索基于完整性管理的防爆电气管理策略具有重要的现实意义。

近年来, 国内外学者对油气站场的防爆电气管理进行了广泛研究, 但多集中于单一的技术层面, 缺乏系统性的管理理念指导。完整性管理作为一种全面、系统的管理方式, 强调从整体角度出发, 综合考虑设备的全生命周期管理, 但在油气站场防爆电气领域的应用研究相对较少。本研究旨在填补这一空白, 通过深入分析油气站场防爆电气管理的需求, 构建基于完整性管理的管理体系, 包括风险评估、维护策略、监控手段和持续改进机制, 为油气站场提供一套科学、有效的防爆电气管理指南。

2 完整性管理理论与框架

完整性管理理论的核心在于通过系统化的管理方法, 确保设备在整个生命周期内维持其设计意图的功能, 同时满足安全、环保和经济性要求。在油气站场的防爆电气管理中, 这一理论的应用意味着不仅要关注设备的安装和运行, 还要涵盖从设计、采购、安装、运行、维护直到退役的每一个阶段。

为了实现防爆电气设备的完整性管理, 必须构建一个综合性的管理框架, 该框架涵盖了风险评估与控制、维护规划与执行、监控与数据收集以及性能评价与持续改进等关键要素。首先, 通过采用科学的方法对防爆电气设备的潜在风险进行识别、分析和评价, 制定相应的控制措施, 从而有效管理风险。其次, 制

定预防性维护计划, 确保设备得到适当的保养和维修, 同时实施状态监测, 以便及时发现并处理潜在故障, 减少非计划停机时间。

此外, 利用现代信息技术, 如物联网(IoT)和大数据分析, 实时监控设备状态, 收集运行数据, 为决策提供科学依据, 确保管理决策的精准性。最后, 通过定期评估防爆电气设备的性能和管理效率, 识别改进机会, 建立持续改进机制, 不断提升管理水平, 确保防爆电气设备在整个生命周期内保持最佳状态和最高安全性。这一系列的管理措施共同构成了一个闭环的、系统化的防爆电气完整性管理体系, 为油气站场的安全运营提供了坚实的保障。

3 防爆电气风险评估

3.1 风险识别与分析

风险识别作为完整性管理的基石, 对于确保油气站场防爆电气设备的安全至关重要。这一阶段的任务是对所有相关设备进行彻底的隐患排查, 目的是识别出可能存在的故障模式及其潜在的影响范围。通常, 这项工作涉及到对设备的设计、制造、安装、运行、维护等各个阶段的审查, 以确保任何可能引发安全问题的因素都不会被遗漏。

在风险识别过程中, 运用了多种分析工具和技术, 其中最常见的是故障树分析(Fault Tree Analysis, FTA)和事件树分析(Event Tree Analysis, ETA)。故障树分析是一种自上而下的逻辑分析方法, 用于描绘导致特定故障状态的所有可能原因路径; 而事件树分析则是自下而上的方法, 用于分析某一初始事件发生后可能引发的各种后果。通过这些分析, 可以确定潜在的危险源和事故链, 帮助管理者深入了解设备可能面临的风险类型及其相互关联。

3.2 风险评价与优先级设定

一旦潜在的风险被识别出来，下一步就是对其进行评价，以确定哪些风险最为紧迫，需要立即采取行动。风险评价通常包括两个方面：风险的严重程度和发生的可能性。通过使用风险矩阵法，可以将这两个因素结合起来，对每一项风险进行量化评级。风险矩阵是一种二维表格，一轴表示风险的可能性，另一轴表示风险的后果严重性。根据这两者的组合，可以将风险分为低、中、高三个等级，或者更详细的分类。

基于风险矩阵的评价结果，管理层可以明确哪些风险需要优先处理，哪些可以暂时监控而不必立即采取行动。这种优先级设定有助于合理分配有限的资源，确保最关键的安全问题得到及时解决，同时也有助于制定后续的预防性维护计划和应急响应预案。在风险评价的过程中，重要的是要考虑到设备故障对生产、环境、人员安全及公司声誉等各方面的潜在影响，确保防爆电气设备管理策略能够全面覆盖所有重要方面，从而最大程度地降低总体风险水平。

4 基于完整性管理的防爆电气维护策略

4.1 预防性维护计划

预防性维护是确保防爆电气设备持续可靠运行的基石。在油气站场的复杂环境中，电气设备的故障可能会引发严重的安全和环境事故，因此，建立一套详尽的预防性维护计划至关重要。这一计划应覆盖设备的全生命周期，从安装、调试、运行直至最终退役，确保每个阶段都能得到适当的关注和维护。

防爆电机、开关设备、控制面板和其他电气组件是油气站场运行的核心，它们的可靠性和稳定性直接影响着整个系统的安全。根据制造商的维护手册和行业标准，这些设备应当定期接受专业检查和性能测试。通常情况下，检查频率介于每6个月至每年一次之间，具体频次应根据设备的实际运行条件和历史维护记录灵活调整。例如，如果某一设备在过去的一年内经历了频繁的启动和停止，或是运行在极端温度条件下，那么其检查频率可能需要相应增加，以确保潜在问题的及时发现和解决。

除了定期检查，预防性维护计划还应包含关键部件的更换策略。这包括但不限于电缆接头、绝缘材料、密封件和润滑剂等。根据设备的使用年限和制造商的建议，预先规划这些部件的更换周期，可以有效避免因老化或磨损导致的故障。例如，防爆电机的轴承和润滑系统，以及控制面板内的继电器和传感器，都是需要特别注意的部件，它们的性能直接关系到设备的

稳定运行。

在防爆电气设备中，电气连接点的完好性至关重要。接触不良不仅会导致电气设备的过热，还可能产生电弧放电，从而成为潜在的点火源。因此，定期检查连接点的紧固程度，清理氧化层和污垢，确保接触面清洁和导电性良好，是预防性维护的重要组成部分。在检查过程中，应使用专业的工具和方法，比如扭矩扳手和接触电阻测试仪，以确保连接点的质量。

在油气站场，电气设备通常处于易燃易爆的环境中，因此，预防性维护计划还应包括对设备周围环境的管理。定期清理电气设备附近的易燃物质，如油渍、粉尘和化学品，可以显著降低火灾和爆炸的风险。此外，保持良好的通风条件，避免高温和湿度过高，有助于延长电气设备的使用寿命，减少因过热引起的故障。爆炸性气体混合物根据可燃物质的引燃温度分为6组，爆炸性气体混合物根据可燃物质的引燃温度分为6组，具体情况如表1：

表1 温度组别、表面温度和引燃温度关系

电气设备的温度组别	电气设备的最高表面温度 /℃	爆炸性气体混合物的引燃温度 /℃
T1	450	>450
T2	300	>300
T3	200	>200
T4	135	>135
T5	100	>100
T6	85	>85

4.2 状态监测与故障诊断

在油气站场的防爆电气管理中，状态监测与故障诊断是预防性维护的高级形式，它通过实时或定期的设备健康状态检查，提前发现潜在问题，从而避免突然故障造成的非计划停机和安全事故。这一策略的核心在于利用各种先进技术和工具，对设备运行状态进行细致入微的观察和分析。

振动分析是状态监测中最常用的技术之一，它能够捕捉到设备内部的细微运动变化，如轴承磨损、转子不平衡、齿轮损坏等问题。通过安装在设备表面的加速度传感器，收集振动信号，再利用频谱分析、时域分析等方法，可以精确识别出不同类型的故障模式。定期的振动分析不仅能帮助预测设备的剩余寿命，还能在故障早期阶段采取措施，避免故障恶化。

热成像技术利用红外摄像机捕获设备表面的温度分布，对于检测电气连接处的过热、电机绕组过载、变压器内部短路等隐蔽性故障非常有效。局部过热通常是电气设备即将失效的前兆，通过热成像可以直观

地看到这些热点，及时进行干预，防止事态扩大。

声学监测利用麦克风阵列捕捉设备运行时产生的声音，通过分析噪声模式的变化来判断设备状态。对于某些特定类型的故障，如阀门泄漏、气体流动异常等，声学监测可以提供早期预警。

近年来，AI 和 ML 技术在状态监测与故障诊断中的应用日益广泛。通过训练 AI 模型学习设备在正常运行时的行为特征，当设备状态偏离正常模式时，系统能够自动识别并发出警报。这种预测性维护策略极大地提高了维护效率，减少了非计划停机时间，降低了维护成本。

4.3 维护效果评估与持续改进

维护活动的效果评估是确保防爆电气设备管理策略成功实施的必要环节。通过收集和分析设备的运行数据、维护记录、故障报告以及停机时间等关键绩效指标 (KPIs)，可以客观地评价维护计划的有效性。例如，如果某类设备的故障率高于预期，或者某个维护程序未能达到预期的延长设备寿命目标，这都可能是维护策略需要调整的信号。持续改进机制应当鼓励跨部门合作，整合工程、运营和维护团队的专业知识，共同识别维护过程中的瓶颈和不足。这可能包括优化备件库存管理、提升技术人员的技能水平、改进维护作业流程或引入更先进的监测技术。定期回顾维护策略，并将其与行业最佳实践进行对比，可以确保防爆电气管理始终保持在最高标准，为油气站场的长期安全和高效运营奠定坚实基础。

5 实施案例分析

以位于中东地区的某大型油气站场作为研究案例，该站场拥有复杂的油气处理设施，包括原油分离、气体压缩和液体储存等多个工艺单元，配备了大量的防爆电气设备。站场在过去的几年中曾遭遇多次因电气设备故障引发的安全事故，导致生产中断和经济损失。为了改善这一状况，站场决定采纳基于完整性管理理念的防爆电气管理策略。

站场首先进行了全面的风险评估，利用故障树分析和事件树分析，识别了电气设备中的潜在风险点。基于评估结果，制定了详细的预防性维护计划，包括定期检查和测试设备、更新老化部件，以及加强电气连接点的清洁与维护。同时，引入了先进的状态监测技术，如振动分析仪和红外热成像相机，以实现设备状态的实时监控。

为了提升维护效率和准确性，站场还采用了基于人工智能的预测性维护系统，通过分析历史数据预测

设备故障趋势，提前安排维护工作，避免了多次潜在的故障和事故。此外，站场还建立了维护效果评估机制，定期分析维护记录和设备性能数据，识别维护策略中的不足，并进行持续改进。

实施完整性管理策略后的两年内，该油气站场的电气设备故障率下降了约 30%，意外停机时间减少了近一半，显著提升了生产效率和经济效益。更重要的是，没有再发生因电气设备引起的安全生产事故，大大增强了员工的安全感和企业的社会形象。然而，在实施过程中也遇到了一些挑战。首先，引入新技术和新设备需要较高的初期投资，且技术人员需要时间来掌握和适应这些新技术。其次，数据的准确性和完整性对预测性维护系统的效能至关重要，但在实际操作中，有时会因为数据记录不全或错误而导致误判。最后，持续改进机制的建立需要跨部门之间的紧密协作和沟通，这对组织架构和企业文化提出了较高要求。

6 结论与建议

基于完整性管理理念的防爆电气管理策略，通过系统性的风险评估、预防性维护、状态监测和持续改进机制，显著提升了油气站场电气设备的可靠性和安全性。这一策略不仅减少了意外事故的发生，还提高了生产效率和经济效益，展现了其在油气行业的广阔应用前景。对于油气企业而言，将完整性管理理念融入日常运营中，是一项值得推广的长期战略。企业应持续优化管理流程，注重维护策略的科学性和实用性，同时培养一支具备现代管理理念和技术能力的维护团队，以确保油气站场的持续安全运行。此外，定期进行效果评估，及时调整和完善管理措施，也是确保策略有效性的关键。

参考文献：

- [1] 陈胜森,王联伟.基于全寿命周期完整性管理理念的油气站场防爆电气管理[J].石油规划设计,2017,28(5):4.
- [2] 陈佳欣.油气长输管道全寿命周期完整性管理的对策研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2022(3):4.
- [3] 张显力,张海鸥.防爆电气概论[M].北京:机械工业出版社,2015:24-63.
- [4] 孙福友,张荣帅.防爆电气设备及其发展趋势[J].油气田地面工程,2013,32(12):117.

作者简介：

张志远(1986.03-),男,汉族,河南邓州人,大学本科,中级工程师,研究方向:油气储运。