

雷电冲击下石油化工储罐的安全评估与防护

杨煜强¹ 蒋玉芳² 宁 凡¹

1. 陕西省突发事件预警信息发布中心 陕西 西安 710014

2. 陕西省大气探测技术保障中心 陕西 西安 710014

摘 要: 本文系统探究了雷电冲击对石油化工储罐的安全威胁,深入分析了雷电物理特性及其作用机制,识别了储罐设备在雷击作用下的薄弱环节。通过构建储罐雷电风险评估指标体系,建立防护设施性能评估模型,结合大数据技术开展雷击概率预测,形成了完整的安全评估方法。在此基础上,提出了储罐接地系统优化设计方案,完善了防雷装置选型与布置策略,构建了基于多源数据的雷电监测预警系统,为提升石油化工储罐的雷电防护能力提供了技术支撑和实践指导。

关键词: 石油化工储罐; 雷电防护; 安全评估

引言: 随着石油化工行业的快速发展,储罐作为关键设施设备在生产运营中发挥着重要作用。然而,雷电作为一种具有高能量、强破坏性的自然现象,对储罐安全构成严重威胁^[1]。近年来,因雷击导致的储罐火灾爆炸事故时有发生,造成重大人员伤亡和财产损失^[2]。因此深入探究雷电冲击机理,建立科学的安全评估方法,优化防护技术措施,对确保石油化工储罐安全运行具有重要的理论价值和实践意义。

1 雷电冲击对石油化工储罐的危害分析

1.1 雷电冲击的物理特性及作用机制

雷电作为一种典型的大气放电现象,其高电流强度、短持续时间和大能量密度等物理特性对石油化工储罐构成严重的安全威胁,深入理解这些特性及其作用机制对制定有效的防护策略具有重要意义^[3]。从能量特性角度来看,当雷电击中储罐时产生的瞬时高温会导致储罐壁体局部熔化并形成贯穿性破坏,同时引起储罐内部压力急剧升高,这种复合作用可能导致储罐结构的严重损伤。在电磁效应方面,雷电电流在流经储罐时产生的强大电磁场不仅会导致储罐内部电子设备出现严重的电磁干扰和功能性损坏,同时由感应电压引发的二次放电现象也会对储罐的安全运行构成重大威胁^[4]。雷击过程中产生的强烈冲击波通过机械冲击作用会对储罐结构造成显著损伤,这种损伤在储罐薄壁区域尤为严重,容易形成应力集中而引发结构破坏和永久变形。

通过对雷电物理特性的深入探究,结合储罐结构特点和材料性能,可以更好地理解雷击损伤机理,为制定有效的防护措施奠定理论基础^[5]。随着计算机模拟技术的发展,通过建立精确的雷电能量传输模型,可以更加准确地模拟和预测雷击过程中的能量分配规律,为评估雷

电危害程度提供可靠的理论依据,同时也为优化防护设计提供重要参考。

1.2 储罐设备在雷击下的薄弱环节识别

通过对石油化工储罐结构特征和运行特点的系统分析探究表明,在雷击作用下储罐系统存在多个关键薄弱环节亟需重点关注和防护,而这些薄弱环节的识别和评估对于确保储罐安全运行具有重要的现实意义。通过建立完整的储罐系统脆弱性评价指标体系,采用层次分析法结合专家评估方法对各个薄弱环节进行科学的权重系数确定,可以有效量化评估不同部位的防护需求强度和优先处理顺序。

大量探究和实践经验表明,储罐防腐层的完整性对雷电防护效果具有重要的影响作用,防腐层的局部破损不仅会加速金属结构的腐蚀进程,同时还会改变雷电流的传导路径,增加局部过热和放电风险的概率^[6]。金属结构的焊接质量和连接可靠性同样需要重点关注,不良的焊接工艺或接头处理可能在雷击时形成危险的高温热点,甚至导致结构的局部失效。针对这些已识别出的薄弱环节,需要制定系统的加固措施和定期检测方案,建立健全的维护保养制度和应急处置预案。通过采用红外热成像、超声波探伤、涡流检测等先进的无损检测技术,可以及时发现潜在的安全隐患并采取相应的预防措施。

1.3 雷击导致储罐事故的典型案例分析

通过对国内外石油化工储罐雷击事故案例的系统收集和深入分析,可以发现这类事故具有多发性、危害性和连锁性等典型特征,而对事故发生的原因、演变过程和后果进行全面剖析,对于提升防护水平和完善安全管理具有重要的借鉴意义。在某大型石化企业的实际案例中,一座容量为2万立方米的固定顶原油储罐在雷雨天

气期间遭受雷击,由于储罐接地系统长期处于年久失修状态且未能及时发现和处理,导致雷电流在流过程中未能得到有效疏导,最终在储罐顶部形成贯穿性穿孔,引发了持续数小时的火灾事故,不仅造成了巨大的经济损失,还对周边环境造成了严重污染。通过事故调查发现,该储罐的接地电阻值远超国家标准要求,多处接地连接点出现严重腐蚀,这些安全隐患在日常检查中未能得到有效发现和及时处理。

典型案例充分说明,雷电防护设施的完整性和有效性直接关系到储罐的安全运行,而设备维护和管理水平的高低则是决定防护效果的关键因素。通过运用事故树分析方法对多起典型事故进行系统分析,可以清晰地识别出防雷装置失效、检测维护不到位、操作规程执行不严等关键影响因素,这些因素之间往往存在复杂的相互作用关系,需要采取综合性的防范措施^[7]。针对事故规律特征,建立科学的事故概率评估模型,将多个因素纳入评估体系,可以有效预测不同情景下的事故风险等级,为制定针对性的防范措施提供重要依据。

2 石油化工储罐的雷电安全评估方法

2.1 储罐雷电风险评估指标体系构建

建立科学合理的风险评估指标体系是开展储罐雷电安全评估的重要基础工作,通过系统的理论探究和实践分析,从雷电危害性、储罐脆弱性和防护能力三个维度构建完整的评估框架体系,充分考虑各类影响因素的作用机制和相互关系。在雷电危害性评估方面,重点考虑地区雷电活动水平、雷击密度分布特征以及雷电流强度等关键指标,通过长期观测数据的统计分析,建立适用于不同地理气候条件下的评估标准;在储罐脆弱性评估方面,充分考虑储存介质的危险等级、储罐结构特征、设备完整性状态等重要指标,采用定性定量相结合的方法,科学评估储罐系统在雷击作用下的易损性;在防护能力评估方面,系统考察防雷装置的性能状态、检测维护的规范程度、应急响应的及时性等关键要素,通过建立完整的评估体系,实现对防护水平的全面评价。

运用模糊综合评价方法建立指标权重确定模型,采用专家打分和层次分析相结合的方式确定各级指标的科学权重,通过建立标准化的评估流程,将各类定性指标转化为可量化的评估参数。在实际应用过程中,针对不同类型储罐的特点和运行环境的差异,对评估指标体系进行动态调整和持续优化,确保评估结果的准确性和适用性。通过系统化的风险评估工作,及时发现和消除各类安全隐患,为制定科学的防护策略提供重要的决策依据。

2.2 储罐雷电防护设施性能评估模型

针对储罐防雷设施的特点和功能要求,建立包含接地系统、避雷针、等电位连接等多个关键子系统的综合性能评估模型,通过系统的理论分析和实验探究,全面评价防护设施的有效性和可靠性。在避雷针系统评估方面,采用先进的电场仿真技术对防护范围和效果进行深入分析,充分考虑周边地形地貌和建筑物的影响因素,通过建立精确的三维模型优化避雷针的布置方案,确保形成完整的防护空间。

针对接地系统的性能评估,开展系统的接地电阻测试和阻抗特性分析,建立考虑土壤环境特性和季节性变化影响的动态评估模型,通过长期监测数据的积累和分析,准确评估接地系统的疏导能力和性能稳定性。在等电位连接系统评估中,重点关注金属构件之间连接的可靠性和导电性能,通过建立标准化的测试方法和评估标准,确保等电位连接的有效性和持久性。

2.3 基于大数据的储罐雷击概率预测

利用气象、地理信息和设备运行等多源数据,构建储罐雷击概率预测模型。通过分析历史雷电活动数据,建立区域雷电特征参数库,包括雷击密度、极性分布、强度分布等信息;并结合数值天气预报技术,实现对雷电活动的短期预测。应当采用机器学习算法,建立考虑多因素影响的雷击概率模型,输入变量包括气象条件、地形特征、储罐属性等;通过深度学习方法提取数据特征,建立雷击风险等级判别模型。

还需要利用时序分析方法,探究雷电活动的时空分布规律,为防护决策提供支持;建立预测结果的可靠性评估方法,通过交叉验证和误差分析不断优化模型性能。开发可视化展示系统,直观呈现预测结果,为运行管理人员提供决策参考。

3 石油化工储罐的雷电防护技术与优化

3.1 储罐接地系统的设计与改进

针对储罐接地系统的关键作用,提出优化设计方案。采用多点接地技术,降低雷电流通过时的阻抗,提高疏导效率。在接地极布置方面,考虑土壤电阻率分布特征,优化接地网结构,确保接地电阻满足标准要求。针对易腐蚀环境,选用具有防腐性能的接地材料,采用热镀锌或铜包钢等复合材料提高耐久性。

在连接方式上,采用焊接或压接等可靠方式,减少接触电阻。建立接地系统完整性检测方案,包括接地电阻测试、连接点检查和热成像分析等内容。针对特殊地质条件,探究深井接地和化学接地等技术的应用效果;并开发接地系统在线监测装置,实时掌握系统性能状态。

3.2 防雷装置的选型与布置优化

基于储罐防雷需求的系统分析和评估结果,通过科学的理论计算和实践验证,对防雷装置的选型和布置方案进行全面优化,提升整体防护效果。在避雷针选型方面,充分考虑防护半径要求和使用环境特点,通过深入的技术论证选择最适合的型号和规格,确保其防护性能满足工程需求。通过先进的计算机仿真分析技术,对避雷针的安装位置和高度进行精确计算和多方案比较,通过建立完整的三维模型深入分析防护空间的覆盖情况,确保形成可靠的防护区域。

在引下线系统的设计过程中,通过严格的计算确保导线截面积满足雷电流承载要求,采用优化的布线方案有效减少电感效应的影响,提高雷电流的疏导效率。引入先进的等电位连接技术,通过科学的连接方式将储罐各个金属构件可靠连接,形成完整的电气通路,有效防止感应放电现象的发生。在防雷装置安装过程中,建立完善的质量控制体系,通过严格的施工管理确保各部件连接可靠,满足规范要求。

3.3 雷电监测预警系统的构建与应用

针对储罐雷电防护的实际需求,构建基于多源数据的智能监测预警系统,通过先进的技术手段实现对雷电活动的精确监测和及时预警。在监测设备配置方面,通过科学的布设方案安装高精度的雷电定位装置,实现对区域雷电活动状况的实时监测和准确定位;并采用先进的大气电场仪对雷暴云的发展过程进行连续监测,通过对电场变化特征的分析为预警工作提供重要依据^[8]。

应当建立完善的雷电参数测量系统,通过专业的传感器网络实时记录和分析雷击电流的波形特征,为防护效果评估提供可靠数据支撑。并开发智能化的预警算

法,通过对气象数据和设备状态信息的综合分析,实现对雷电风险的分级预警,为防护措施的及时调整提供决策依据。

结论:本文通过系统分析雷电冲击对石油化工储罐的危害机理,建立了科学的安全评估方法,提出了全面的防护技术方案。结果表明,准确识别储罐薄弱环节,建立多维度的风险评估体系,采用先进的防护技术,可以有效降低雷击事故风险。通过优化接地系统设计、完善防雷装置布置、构建智能监测预警系统,实现了储罐雷电防护能力的全面提升。

参考文献

- [1]叶威.石油化工储罐的切水现状及发展趋势[J].广州化工,2024,52(4):39-41.
- [2]文传钧.关于石油化工油气储罐大型化的研究[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(1):103-105.
- [3]化延宁.石油化工设备应急储罐安装质量控制措施[J].新疆有色金属,2024,47(1):90-91.
- [4]刘登宇.压缩空气泡沫灭火系统在石油化工储罐消防安全中的应用[J].石油化工建设,2022,44(10):173-176.
- [5]张英杰,管孝瑞,姜辉,等.基于滚球法的铝拱顶储罐雷电防护设计及试验研究[J].安全、健康和环境,2022,22(12):35-40.
- [6]肖军.基于多因素权重分析的石油化工装置安全仪表雷电隐患监测方法[J].石油化工建设,2023,45(8):21-23.
- [7]孙伟心.浅谈雷电预警系统在石油化工企业的应用[J].安全、健康和环境,2020,20(6):13-18.
- [8]张洋.浅谈雷电预警系统在石油储罐区雷电防护中的应用[J].电脑采购,2021(22):25-27.