

基于雷电预警系统的油库防雷安全防护措施研究

向友军 (中海油销售桂平有限公司, 广西 贵港 53700)

摘要: 油库企业因其储存介质的高风险性, 是防范自然灾害、尤其是雷电灾害的重点, 传统的被动防雷措施存在预警滞后、响应迟缓等局限。本文通过对事故案例及现有文献的分析, 提出雷电对油库的致灾机理与现有防护体系的不足。通过对中海油桂平油库场磨式雷电预警系统的工作原理与硬件构成的介绍, 提出将预警系统输出的“黄、橙、红”三级预警信号与油库“准备、暂停、停止/撤离”三级应急操作程序结合, 并制定配套的运维与故障排除规程, 实现从“风险感知”到“行动执行”再到“系统保障”的完整闭环, 形成了油库现场实时监测、风险智能预警、分级应急响应与闭环维护的综合安全防护措施, 为提升油库企业的本质安全水平提供参考。

关键词: 雷电预警; 油库企业; 分级应急响应; 场磨式雷电预警系统

中图分类号: TM862 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 002-0163-03

Research on Lightning Protection and Safety Measures for Oil Depots Based on Lightning Warning Systems

Xiang Youjun (China National Offshore Oil Corporation (CNOOC) Sales Guiping Co., Ltd., Guigang Guangxi 53700, China)

Abstract: Due to the high-risk nature of their stored materials, oil depot enterprises are key sites for preventing natural disasters, particularly lightning hazards. Traditional passive lightning protection measures suffer from limitations such as delayed warnings and slow responses. This paper, through the analysis of accident cases and existing literature, identifies the disaster-causing mechanisms of lightning on oil depots and the shortcomings of current protection systems. By introducing the working principle and hardware composition of the field mill-type lightning warning system installed at the CNOOC Guiping Oil Depot, it proposes integrating the system's three-level output warning signals ("Yellow," "Orange," "Red") with a corresponding three-level emergency operation procedure ("Prepare," "Pause," "Stop/Evacuate") for the oil depot. Supporting operation, maintenance, and troubleshooting protocols are also developed. This integration achieves a complete closed loop from "risk perception" to "action execution" and further to "system maintenance," forming comprehensive safety protection measures for oil depots. These measures encompass real-time on-site monitoring, intelligent risk warning, hierarchical emergency response, and closed-loop maintenance, thereby providing a reference for enhancing the inherent safety level of oil depot enterprises.

Keywords: Lightning Warning; Oil Depot Enterprises; Hierarchical Emergency Response; Field Mill-type Lightning Warning System

石化行业是国民经济的支柱产业, 其安全生产事关国计民生与社会稳定。油库企业作为能源供应链的关键节点, 储存着大量易燃易爆的原油及成品油, 一旦发生事故, 后果不堪设想。在众多致灾因素中, 雷电因其瞬间能量大、具有极强的突发性、对设备设施的破坏多样, 成为油库企业安全运营的重大自然隐患。国内外因雷击引发的油库火灾爆炸事故屡见不鲜, 如1989年山东黄岛油库特大火灾、2022年古巴马坦萨斯省储油基地火灾等, 均造成了惨重的人员伤亡、巨额财产损失和恶劣的社会影响^{[1][2]}。

为防御雷电灾害, 油库企业通常采用以接闪器(避雷针、网)、引下线、接地装置为核心的“被动防雷”技术, 相应的设计规范(如GB 50074, GB 50650等)均对防雷设计的设计进行了要求^{[3][4]}。然而, 被动防雷本质上是“事后泄放”, 是指发生雷击事件后将雷

击电流安全导入大地, 防止设备的物理损毁和火灾。但是, 被动防雷存在两个关键问题: 一是雷击的提前预警, 无法为人员撤离、高危作业停止争取相应时间; 二是电气设备对感应雷(雷电电磁脉冲)防护的局限性, 特别是随着油气库自动化、信息化水平提升, DCS、SIS、视频监控等广泛应用, 这些设备对浪涌过电压极为敏感, 部署的浪涌保护器(SPD)在极端雷电流环境下可能失效, 导致设备损坏、系统误动, 进而引发连锁事故^{[5][6]}。

因此, 发展以“预测预警”为核心的“主动防雷”技术, 并与传统被动措施、安全管理流程深度融合, 构建“主动+被动”、“技术+管理”的立体化防护体系, 已成为行业安全发展的迫切需求。雷电监测预警系统通过对大气静电场、闪电定位等信息的实时采集与分析, 能够实现对雷暴活动趋势的预测, 为采取

预防性措施提供决策窗口^[7]。将预警信息有效转化为具体、可执行的安全指令，并与应急预案联动，对于贯彻“安全第一、预防为主、综合治理”的方针，提升油库企业的本质安全水平与应急管理能力和能力，具有重大的理论与现实意义。

1 油库雷电风险与防护现状分析

1.1 雷电致灾机理与风险特性

雷电对油气储罐的破坏主要形式包括直击雷、感应雷和雷电波侵入^[1]：①直击雷：直接击中罐体或附件，巨大的雷电流产生的热效应和机械力可导致金属熔穿、火花飞溅，直接引燃爆炸性油气混合物；②感应雷：雷云放电或直击雷产生的剧烈变化的电磁场，使附近金属导体产生高达数万伏的感应过电压，在电气连接不良处产生火花，或通过线路侵入电子设备造成损坏；③雷电波侵入：雷击架空线路、管道或附近大地，雷电波沿这些导体侵入库区内部，损坏电气和信息系统。油库在设计时选择内浮顶罐虽通过浮盘与液面接触减少了气体空间，但密封圈处仍可能存在油气积聚，且其庞大的钢制结构是良好的雷电流通道，对等电位连接和接地要求极高。一旦防雷接地系统因腐蚀、连接松动等原因失效，雷击风险将急剧升高。

1.2 传统被动防雷的局限

以 GB 50650、GB 50074 等规范为代表的传统防雷设计，对油库接地电阻、接地点数量、等电位连接等静态参数进行了要求，是保障安全的基础。但其局限在于：①无预见性：无法告知“雷何时来”，人员作业、油品收发等高危活动在雷暴临近时仍在进行，处于“盲防”状态；②防护盲区：对感应雷和雷电波侵入的防护依赖于 SPD 等设备的完好性，在遭受超设计标准的雷电流或设备老化时可能失效^[5]；③管理依赖性强：其有效性高度依赖于定期的检测和维护（如规范要求每年检测），但实际中可能因种种原因未能严格执行，留下隐患。

1.3 主动预警的必要性与应用现状

雷电预警系统通过监测大气电场等参数，可提前数分钟至数十分钟发现雷暴生成与逼近，为主动防控提供“时间窗”，可以有效监测地面电场变化，预警雷暴活动。然而，当前预警技术在油库企业的应用，多处于“有预警、缺联动”的状态。预警信号往往仅作为普通气象信息，未能深度融入生产调度和应急指挥的决策闭环，其巨大潜能尚未充分发挥。这是本文提出构建一体化防护措施的出发点。

2 雷电预警系统发展现状分析

在油库、加油站、加气站等油气储运销售高危行业，雷电预警系统已从辅助性气象工具，转变为保护

工艺安全生产的重要手段。当前，雷电预警技术已从单一探测方式向多源融合、智能分析的方向发展，系统通常由雷电探测模块、数据处理模块和用户端三部分构成，实现从数据采集、分析到预警发布的闭环流程。

国内外雷电预警系统主要依托以下几种探测技术相结合的方式：大气电场仪分为场磨式、电子式和闪电定位系统+多普勒雷达三种主流原理。其中场磨式技术成熟、测量稳定、抗干扰能力强，适用于复杂恶劣环境；电子式则具有低功耗、无机械磨损等特点，但对环境适应性较弱，易出现数据漂移。闪电定位系统+多普勒雷达则是通过多个站点协同探测闪电发生的方位、强度和持续时间，实现广域雷电监测，数据通常由气象部门或第三方服务提供，可监测风暴结构、移动路径及强度，提供雷暴发展趋势信息，适用于区域级预警。

2.1 场磨式雷电预警系统在桂平油库的应用

桂平油库雷电预警系统核心采用场磨式大气电场仪。其传感器探头由旋转的转子和定子组成。当转子和定子的叶片处于相同位置时，转子屏蔽效应会使得电力线无法到达定子叶片上，此时无法产生任何感应电荷，只有当转子转动露出定子叶片时，电荷才会逐渐产生。所以，定子上可以观察到随周期性改变的感应电荷，利用电流的变化即可测量到电场的变化规律。系统通过连续监测电场强度的数值、变化率和趋势，可识别雷暴的生命周期（初始、发展、成熟、消散），从而在雷电发生前发出预警，能够针对短时、小区域雷暴进行准确预报，提供局部的雷电预警、预报。

2.2 雷电预警系统系统硬件构成

桂平油库雷电预警系统主要由以下四部分组成：①雷电探测模块：组要由大气电场仪构成，采用场磨式原理，机械部分由电极和螺旋电机组成，相对其他原理，如电子式原理，准确率更高；②数据处理模块：支持雷电探测数据的通信、接收、存储、计算与应用发布的硬件和软件；③用户端：满足包括电脑端、移动端、数据接口服务等不同类型的数据查询。

2.3 预警分级标准

根据雷暴逼近的距离和风险程度，在《大型油气储存基地雷电预警系统基本要求》中明确了雷电预警系统设定三级预警要求：①一级（黄色预警）：距基地 10km 以外区域出现雷暴活动，有向本场移动趋势。意味着风险初步显现，需启动准备程序；②二级（橙色预警）：距基地 5-10km 区域出现雷暴活动，风险显著增加。意味着风险临近，需暂停高危作业，部分人员开始撤离准备；③三级（红色预警）：距基地 0-5km 区域出现雷暴活动或电场强度急剧升高，极有可能发生雷击。意味着风险迫在眉睫，必须停止一

切相关作业，全面进入应急状态。该分级标准将抽象的电场数据转化为直观的空间距离和风险等级，为桂平油库分级雷电预警响应提供了指导作用。

2.4 预警效果

桂平油库自投用雷电预警系统后，统计2025年6-12月数据，一级黄色预警127次，使得生产作业可以有效计划暂停与恢复，避免了以往因突然天气变化导致的紧急停工事件发生，同时提升了全员的风险意识和执行力。通过预警响应联动，油库彻底杜绝在高雷电风险时段进行收发油、储罐清洗等特级作业的可能，将“人员暴露于雷击风险下”的概率降至零。

3 基于预警分级的安全应急响应措施

预警的最终价值在于指导行动。本文构建的响应体系，将三级预警信号精确转化为各岗位的具体任务，实现“预警即指令”。

3.1 一级（黄色）预警响应程序

一级（黄色）预警响应的核心目标是在风险初步显现时，做好全面应急准备，同时维持正常生产秩序。在桂平油库安全风险管理要求中控室承担信息枢纽职责，负责发布预警并持续监控电场及气象数据变化，加强关注现场作业情况，重点监视储罐视频及火灾报警系统。现场各岗位进行针对性准备，检查关键工艺设备状态，调整短期作业计划，体现“边生产边预防”。

3.2 二级（橙色）预警响应程序

二级（橙色）预警标志着风险显著升高，响应核心目标随之升级为“暂停高危作业，启动人员撤离”。橙色预警响应程序构建了生产作业的“安全红线”，其关键在于果断执行“暂停”与“启动”这两大动作，将作业活动限制在最低必要范围，并将部分高风险区域人员转移至更安全位置，为应对可能即刻发生的雷击风险做好最后的人员与应急准备。在油库生产作业管理中。通常要求在立即暂停所有成品油的收船、发车作业，现场作业人员及作业计划推迟或停止，从源头切断主要风险作业。

3.3 三级（红色）预警响应程序

三级（红色）预警是最高级别的警报，响应核心目标为“全面停止作业，全员进入应急状态”，意味着现场从生产运行模式彻底转换为灾害防御模式。油库安全生产中，中控室发布红色预警，并下达全面停止作业和撤离的最终指令，并通过指挥岗位的前置与监控的强化，确保在极端天气事件发生时，能够第一时间发现火情等异常并立即启动应急预案，实现从预警到实际应急响应的无缝转换，全力保障人员生命安全与设施安全。此分级响应体系，明确了从“准备”到“暂停”再到“停止/撤离”的逐级升级逻辑，确

保了预警与行动的无缝衔接，有效避免了因判断迟疑或指令模糊而贻误时机。

4 系统维护保养

预警系统必须建立严格的运维制度，确保维护保养与故障处理，确保设备的其持续有效运行。制定年度检查计划，通过制定详细的维护计划和故障排查表，并将责任落实到人，提升系统的在线率和可靠性，确保其在关键时刻平稳有效。建立快速故障诊断流程，制定标准作业程序。为系统的日常巡检、定期维护、校准、数据备份等所有操作制定详细的、步骤化的标准作业程序，确保运维作业标准化、可追溯。加强人员培训与考核，开展定期专项培训。对运维人员及相关值班人员进行系统原理、操作规程、日常巡检要点、常见故障识别与初步处置的定期培训和复训。

5 结论

油库企业面对严峻的雷电安全挑战，单一的技术或管理手段不足以应对突发的自然灾害。本文提出基于雷电预警的综合安全防护措施，通过技术层面的可靠监测与预警，管理层面上的精准分级响应与制度化运维，将“主动预警”与“被动防护”、“技术措施”与“管理程序”有机结合，构建的“监测-预警-响应-维护”一体化防护措施。随着大数据发展、油库智能管控平台的建设，雷电安全防护措施必将向着智能、精准、集成的方向演进，并与生产管理系统实现深度集成，本文对于推动油库企业管理向更高水平迈进，提供了参考价值和实践意义。

参考文献：

- [1] 薛朝妹. 油库雷击事故的预防与控制 [J]. 中国安全生产科学技术, 2011, 7(08): 203-206.
- [2] 秦柳, 王天博, 李治华, 等. 大型油库储罐防雷击安全评估 [J]. 化学工程与装备, 2025, (24): 103-107.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 国家质量监督检验检疫总局. GB50650-2011 石油化工装置防雷设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2011.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 国家质量监督检验检疫总局. GB50074-2014 石油库设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.
- [5] 刘杰, 郭军成, 胡秋红, 等. 雷电预警在爆炸品生产企业中的工程应用 [J]. 爆破器材, 2024, 53(05): 38-45.
- [6] 吴勤, 许钧瑞, 蒋浩波, 等. 石化行业成品油库事故原因分析及预防措施研究 [J]. 车用能源储运销技术, 2025, 3(02): 38-42.
- [7] 曾金全, 朱彪, 王颖波, 等. 基于雷电临近预警技术的主动防雷应用 [J]. 应用气象学报, 2015, 26(05): 610-617.