

化工企业电气事故预防与应急响应机制

刘铁梁

山西焦化股份有限公司 山西 临汾 041606

摘要: 化工企业作为国民经济的重要支柱,其生产过程具有高温、高压、易燃、易爆、有毒、有害等高风险特性。电气系统作为化工生产的核心动力与控制中枢,一旦发生故障或事故,极易引发连锁反应,导致火灾、爆炸、中毒等灾难性后果,严重威胁人员生命安全、生态环境及社会稳定。本文旨在深入剖析化工企业电气事故的成因与特点,系统阐述以“本质安全”为核心、以“风险分级管控和隐患排查治理双重预防机制”为基石的综合预防策略,并构建一套科学、高效、闭环的应急响应机制。通过强化全生命周期管理、提升人员专业素养、融合智能化技术手段,最终实现从被动应对向主动预防的根本性转变,为化工行业的安全生产提供理论支撑与实践路径。

关键词: 化工企业; 电气事故; 预防机制; 应急响应; 本质安全; 双重预防

引言

在全球工业化进程不断加速的背景下,化学工业以其强大的基础性和带动性,持续为现代社会提供着不可或缺的原材料与产品。然而,其固有的高风险属性也始终如影随形。在众多潜在风险源中,电气系统因其分布广泛、能量集中、控制关键等特点,成为化工企业安全管理的中中之重。据统计,由电气原因引发的化工事故占比居高不下,且往后果极其严重。2019年江苏响水天嘉宜化工有限公司“3·21”特别重大爆炸事故,其直接原因之一便是硝化废料自分解产生的热量无法及时导出,而相关的温度监测与联锁控制系统未能有效发挥作用,凸显了电气与自动化仪表系统在风险防控中的关键作用。传统的“事后处理”模式已无法满足现代化工企业对安全的严苛要求。国家《安全生产法》、《危险化学品安全管理条例》等法律法规以及《化工过程安全管理实施导则》(AQ/T3034)等行业标准,均明确要求企业建立并完善风险分级管控和隐患排查治理的双重预防工作机制。在此背景下,构建一个集“事前预防、事中控制、事后处置”于一体的、系统化的电气事故预防与应急响应机制,不仅是企业履行社会责任、保障员工福祉的内在需求,更是其实现可持续发展的根本前提。

1 化工企业电气事故的成因与特点分析

要有效预防电气事故,必须首先深刻理解其发生的根源与表现形式。化工企业的电气事故成因复杂,可归纳为以下几类:

1.1 设备与设施因素

在设备与设施方面,化工生产环境普遍存在的腐蚀性气体、粉尘、高温高湿等恶劣条件,长期作用下会加速电缆绝缘层的老化龟裂、开关触头的氧化接触不良以

及电机绕组的受潮绝缘下降,这些都为短路、漏电、过热等故障埋下隐患。此外,若在设计阶段未严格按照防爆区域划分要求选用相应防爆等级的电气设备,或在安装过程中存在密封不严、接地不良、电缆敷设不符合间距要求等问题,极易在正常运行或轻微故障时产生足以引燃周围可燃气体的火花或高温表面。更为严重的是,若企业缺乏定期的预防性试验和状态监测,无法及时发现设备潜在缺陷,小问题便可能迅速演变成大事故。

1.2 人员与管理因素

违章作业是最常见也最危险的行为,包括无证上岗、未执行上锁挂牌(LOTO)程序进行带电检修、使用非防爆工具在防爆区作业、擅自解除安全联锁等,这些行为直接突破了安全防线。与此同时,部分员工安全意识淡薄、专业知识和应急处置能力不足,在面对异常情况时容易判断失误或操作不当^[1]。更深层次的原因在于管理体系的不健全,如安全责任制落实不到位、规章制度流于形式、隐患排查走过场、应急预案缺乏针对性和可操作性、培训教育效果不佳等,这些问题共同构成了系统性的管理漏洞。

1.3 环境与外部因素

化工工艺本身带来的腐蚀、粉尘、湿度等环境条件直接侵蚀电气设备,构成持续性的威胁。雷击作为重要的外部诱因,其强大的雷电流可直接损坏设备或通过感应过电压破坏敏感的电子控制系统。此外,外部电网的电压骤降、谐波干扰等波动也可能导致关键机泵停机、DCS/PLC系统紊乱,进而引发工艺失控,形成间接但致命的风险链。

1.4 事故特点

化工企业的电气事故通常具有突发性强、能量巨

大、次生灾害多、救援难度大的特点。一次简单的电气短路,可能迅速点燃泄漏的可燃气体,形成爆炸;或者导致关键冷却、搅拌、泄压等安全仪表功能失效,使反应釜超温超压而发生物理爆炸。事故一旦发生,往往呈现多米诺骨牌效应,波及范围广,造成的人员伤亡和财产损失难以估量。

2 构建以“本质安全”为核心的电气事故预防体系

预防胜于救灾。化工企业应摒弃“头痛医头、脚痛医脚”的碎片化思维,转而构建一个基于“本质安全”理念、覆盖全生命周期的系统性预防体系。

2.1 强化源头设计,筑牢本质安全根基

在项目设计初期,就必须将安全理念融入每一个细节。科学的防爆区域划分是所有后续防爆措施的基础,应严格依据《爆炸危险环境电力装置设计规范》(GB50058),结合工艺物料的理化性质、释放源等级、通风条件等因素,精确划分0区、1区、2区(气体)或20区、21区、22区(粉尘)。在此基础上,高标准的设备选型与采购至关重要,在防爆区域内必须选用符合国家标准、取得防爆合格证的电气设备,并充分考虑其耐腐蚀性、防护等级(IP等级)、能效水平等,优选可靠性高、维护需求低的产品^[2]。对于关键的安全仪表系统(SIS),还应采用冗余配置(如1oo2,2oo3),确保单点故障不会导致整个安全功能失效;供电系统也应考虑双回路甚至配备UPS/EPS,以保障极端情况下关键负荷的持续供电,从而从源头上最大限度地消除或降低风险。

2.2 深化双重预防机制,实现风险动态管控

风险分级管控和隐患排查治理双重预防机制是预防体系的核心骨架。首先,企业需运用HAZOP、JSA、FMEA等系统化工具,对电气系统进行全面的风险辨识,不仅要识别设备本体风险,更要关注人机交互界面、操作规程、变更管理等管理性风险,最终形成详细的电气安全风险清单。其次,根据风险评估结果,按照“红、橙、黄、蓝”四色进行分级,并明确不同层级的管控责任:红色重大风险由公司最高管理层直接负责,投入必要资源采取工程技术措施从根本上消除风险;橙色较大风险由专业部门负责人管控;黄色与蓝色风险则由车间、班组负责日常管控。同时,必须建立常态化的隐患排查治理机制,制定详细的检查清单,利用红外热成像、局放检测等专业化手段进行精准诊断,并实行“发现-登记-整改-验收-销号”的全流程闭环管理,对重大隐患挂牌督办,确保整改到位。

2.3 夯实基础管理,提升人员安全素养

再先进的技术和再完善的制度,最终都要靠人来执

行。因此,夯实基础管理、提升人员安全素养是预防体系落地的关键。企业应建立健全《电气安全管理制度》《临时用电管理规定》《上锁挂牌(LOTO)程序》等核心规章制度,并确保其有效执行而非流于形式。在教育培训方面,既要在全员普及电气安全基础知识,使其了解基本风险和应急避险方法,更要对电工、仪表工等特殊作业人员进行深度的专业技能培训和复训,确保其持证上岗、技能过硬。此外,定期组织事故案例学习,用血的教训警醒员工,克服麻痹思想,也是提升安全文化的有效途径。对于动火、受限空间、高处、临时用电等高风险作业,必须严格执行作业许可制度,落实各项安全措施后方可作业,从管理流程上堵住违章作业的漏洞。

2.4 拥抱智能技术,赋能安全管理升级

数字化、智能化是未来安全管理的发展方向。通过部署传感器网络,实时采集变压器油温、开关柜局放、电机振动、电缆温度等关键参数,并借助大数据分析和AI算法,可以实现对设备故障趋势的精准预测,推动维护模式从“计划检修”向“状态检修”转变,大幅降低突发故障率^[3]。同时,利用AR眼镜、智能巡检机器人等新技术替代人工进行高危、重复性巡检,不仅能提高效率 and 准确性,还能自动记录、上传数据,为管理决策提供依据。更进一步,构建工厂电气系统的数字孪生模型,可用于模拟各种故障场景下的系统响应,优化应急预案,并开展沉浸式应急演练,从而在虚拟环境中锤炼实战能力,实现安全管理的质的飞跃。

3 构建科学高效的电气事故应急响应机制

3.1 应急预案的编制与管理

应急预案是应急响应的行动指南。企业应在综合应急预案框架下,编制专门的《电气事故专项应急预案》,明确不同场景(如电气火灾、触电、全厂停电、DCS系统瘫痪等)下的处置原则、组织架构、职责分工、处置程序和保障措施。同时,针对具体的电气设备或场所(如变电站、配电室、电机控制中心MCC),还应制定简明扼要、图文并茂的现场处置卡,张贴在醒目位置,指导一线员工进行初期处置。预案的生命力在于其时效性,因此必须根据工艺变更、设备更新、演练评估结果和事故教训,定期进行评审和修订,确保其始终与实际情况相符。

3.2 应急组织与职责

高效的应急响应离不开清晰的组织架构和明确的职责分工。企业应成立由主要负责人为总指挥的应急指挥部,下设抢险救援组、工艺处置组、警戒疏散组、医疗救护组以及通讯联络与后勤保障组。其中,抢险救援组

由专业电工、消防队员组成,负责切断电源、扑灭电气火灾、抢救触电人员;工艺处置组负责紧急停车、物料隔离、泄压等工艺操作,防止次生灾害;警戒疏散组负责划定警戒区,引导无关人员有序疏散;医疗救护组负责对伤员进行现场急救,并联系外部医疗机构;通讯联络与后勤保障组则负责内外信息沟通、应急物资调配、交通疏导等,确保整个应急体系高效协同运转。

3.3 应急响应流程

一个标准化的应急响应流程是成功处置事故的关键。当任何人员发现电气事故或异常时,应立即通过最近的报警装置或电话报告。应急值班室接到报告后,需迅速核实情况,并按预案规定级别启动应急响应。在事故初期的“黄金时间”内,现场人员的正确处置至关重要:对于触电事故,首要任务是迅速、安全地使触电者脱离电源,并立即进行心肺复苏(CPR);对于电气火灾,若为初起小火且已断电,可使用干粉或二氧化碳灭火器扑救,但若火势较大或未断电,则严禁用水或泡沫灭火,应立即撤离并报警;对于全厂停电,则需立即启动UPS/EPS保障关键仪表和应急照明,工艺人员按紧急停车程序操作,防止反应失控。随着事态发展,指挥部应果断决定是否请求政府消防、医疗、环保等外部救援力量支援,并做好对接准备^[4]。在整个过程中,应由指定发言人统一对外发布事故信息,避免谣言传播。事故得到控制后,还需开展现场清理、环境监测、事故调查、善后处理、心理干预等一系列后期处置工作。

3.4 应急保障与演练

再完美的预案,若缺乏有效的保障和实战检验,也只是一纸空文。企业必须在关键区域配备足量、有效的应急物资,如绝缘手套、绝缘靴、令克棒、干粉灭火器、正压式空气呼吸器、急救药箱等,并建立定期检查、维护、更新的制度。同时,应组建专兼职应急救援队伍,定期进行体能、技能训练,保持队伍的战斗力和战斗力。更重要的是,要将演练常态化,每年至少组织一次包含

电气事故场景的综合应急演练,并针对专项预案进行桌面推演或功能演练。每次演练后都必须进行严谨的评估总结,找出预案和执行中的不足,持续改进,确保在真实事故发生时能够真正做到临危不乱、处置得当。

4 结语

化工企业的电气安全是一项复杂的系统工程,绝非单一措施所能奏效。它要求企业必须树立“红线”意识和“底线”思维,将安全置于一切工作的首位。通过构建以“本质安全”为引领、以“双重预防机制”为骨架、以“全生命周期管理”为脉络、以“智能化技术”为赋能的综合预防体系,可以从源头上最大限度地消除和控制风险。同时,通过建立健全科学、高效、闭环的应急响应机制,能够在事故发生时迅速、有序、有效地进行处置,将损失降至最低。未来,随着物联网、大数据、人工智能等新一代信息技术的深度融合,化工企业的电气安全管理将迈向更加精细化、智能化、前瞻化的新阶段。企业应积极拥抱变革,持续投入,不断优化和完善自身的预防与应急体系,真正实现从“要我安全”到“我要安全”再到“我会安全”的文化跃迁,为我国化工行业的高质量、安全、绿色发展保驾护航。

参考文献

- [1]张荣荣,白鹏飞,冯涛,等.化工企业电气事故分析与解决方案[C]//中国机电一体化技术应用协会.第六届全国石油和化工电气设计与应用论文大赛论文集.陕西延长中煤榆林能源化工有限公司;,2023:199-203.
- [2]黄绍兰,徐景轶.化工企业电气工程质量控制与安全策略[J].化工管理,2024,(23):111-113.
- [3]闫孟珠.电气监控系统在化工企业中的应用及优化[C]//重庆市大数据和人工智能产业协会,西南大学,重庆工商大学,重庆建筑编辑部.人工智能与经济工程发展学术研讨会论文集.浙江石油化工有限公司;,2025:772-775.
- [4]修铭.化工企业电气系统安全技术管理研究[J].当代化工研究,2023,(12):185-187.