

制氢站防爆电气设计要点探析

刘清镞

内蒙古华电氢能科技有限公司 内蒙古 包头 014000

摘要：防爆电气设计是保障制氢站安全运行的核心环节。针对氢气易燃易爆特性，需精准划分危险区域，合理选型电气设备，规范线路敷设，强化接地与防雷设计。通过优化设计流程、推进技术创新、加强人员培训及完善维护机制，可有效提升防爆电气设计水平，降低安全风险，为制氢站构建可靠的安全防护体系，确保制氢生产稳定高效开展，对推动氢能产业安全发展具有重要意义。

关键词：制氢站；防爆电气；设计要点

引言

随着氢能产业快速发展，制氢站作为关键基础设施，其安全运行至关重要。氢气具有易燃易爆、扩散性强等特性，制氢过程中一旦发生泄漏，极易引发爆炸、火灾等严重事故。防爆电气设计是防范此类风险的关键防线，直接关系到制氢站的安全与稳定。本文围绕危险区域划分、设备选型、线路敷设等设计要点，结合提升设计水平的策略展开探讨，旨在为制氢站防爆电气设计提供参考，助力行业安全发展。

1 制氢站防爆电气设计的重要性

制氢站作为氢气生产、储存及输送的关键场所，氢气易燃易爆且扩散速度快的特性使其面临极高的爆炸风险，防爆电气设计在其中扮演着不可或缺的角色，关乎整个制氢站的安全稳定运行与人员生命财产安全。制氢站运行过程中，氢气可能因设备密封失效、管道破损等原因泄漏，在空间内积聚形成可燃混合气。一旦遇到电气设备产生的电火花、高温表面等点火源，便极易引发爆炸。防爆电气设计通过采用特殊的结构与制造工艺，从源头杜绝点火源的产生。例如，隔爆型电气设备凭借坚固的外壳，将内部爆炸限制在壳体内部，阻止火焰向外部传播；本安型电气设备则严格限制电路中的能量，使其在正常工作和规定的故障状态下均不会产生足以点燃氢气的能量。这些技术手段能有效降低爆炸事故发生的概率。防爆电气设备的合理选型与正确安装也是制氢站防爆电气设计的关键环节。根据制氢站内不同区域的爆炸危险程度划分，精准选择相应防爆等级的电气设备，确保设备与环境的适配性。安装时，遵循规范要求做好接地、密封等防护措施，防止电气设备因安装不当产生缝隙，致使氢气渗入引发危险。若电气设备选型或安装出现偏差，即便设备本身具备防爆性能，也可能因与现场环境不匹配或安装缺陷，无法有效发挥防爆功

能，埋下安全隐患。有效的防爆电气设计还能保障制氢站的连续稳定生产。若因电气设备引发爆炸事故，不仅会对站内设备造成严重损毁，导致生产中断，还会因设备维修、重建等工作造成巨大的经济损失。通过科学的防爆电气设计，降低事故发生率，维持生产的连续性，保证氢气的稳定供应，对于依赖氢气的工业生产环节和能源供应体系有着至关重要的意义，是制氢站安全运行的坚实保障。

2 制氢站防爆电气设计要点

2.1 危险区域划分

制氢站危险区域划分需以氢气释放源为核心依据，基于氢气密度小、扩散速度快且极易形成爆炸性混合气体的特性进行系统性界定。氢气压缩机、管道接口、阀门等持续或频繁释放氢气的部位，应划分为0区，该区域内氢气与空气混合形成的爆炸性气体环境连续存在或长时间存在，对电气设备防爆性能要求极高。紧邻0区且可能受泄漏氢气影响的区域，可划分为1区，该区域在正常运行时可能出现爆炸性气体环境，如设备检修、意外泄漏等情况发生时，氢气扩散至此区域形成可燃混合气。距释放源较远、仅在异常工况下才可能出现短暂性爆炸性气体环境的区域定义为2区，如制氢站周边通风良好的辅助区域。区域划分过程中，需结合站内设备布局、通风条件等因素，通过流体力学模拟计算氢气扩散路径与浓度分布，确定各危险区域的边界范围，确保区域划分的科学性与准确性，为后续电气设备选型与线路敷设提供可靠依据。还应考虑不同区域间的隔离措施，防止爆炸性气体环境的蔓延，增强整个制氢站电气系统的安全性^[1]。

2.2 电气设备选型

制氢站电气设备选型需严格契合危险区域划分结果与氢气爆炸特性。在0区，应选用本质安全型（ia等级）设备，此类设备通过限制电路能量，使其在正常工作、

一个或多个故障状态下产生的电火花和热效应均不足以点燃爆炸性气体混合物，从本质上消除引发爆炸的风险。对于1区，可采用隔爆型设备，其外壳能承受内部爆炸性气体混合物的爆炸压力，并阻止内部爆炸向外壳周围爆炸性混合物传播，即便设备内部发生爆炸，也能将危险限制在设备外壳内部。2区可选择增安型设备，这类设备在正常运行条件下不会产生点燃爆炸性混合物的火花或危险温度，并采取措施提高其安全程度，以避免在正常和认可的过载条件下出现点燃现象。设备选型还需关注防护等级，制氢站环境潮湿且可能存在氢气腐蚀，电气设备应具备良好的防尘、防水及防腐蚀性能，如选用防护等级达到IP65及以上的设备。在设备安装方式上，优先选择壁挂式或架高式安装，减少设备与地面潮湿环境的接触，降低电气故障发生概率，保障设备稳定运行与制氢站安全。

2.3 电气线路敷设

制氢站电气线路敷设需兼顾防爆性能与线路保护，避免因线路故障引发氢气爆炸事故。线路应采用电缆敷设方式，且优先选用阻燃型铜芯电缆，铜芯具有良好的导电性与机械强度，阻燃特性可防止电缆在短路或过载时引发火灾。电缆应穿管敷设，管材可选用热镀锌钢管或无卤阻燃型塑料管，热镀锌钢管具备较强的机械保护能力，能抵御外界机械损伤，无卤阻燃型塑料管则具有良好的耐腐蚀性与阻燃性能。穿管敷设时，应确保管路连接紧密，采用防爆型管接头，防止氢气渗入管内形成爆炸性气体环境。电缆在穿越不同危险区域或楼板、墙壁时，需进行严密的封堵处理，使用防火泥、防爆密封胶泥等材料填充缝隙，阻止爆炸性气体在不同区域间传播。对于明敷线路，应做好防机械损伤、防日晒雨淋等防护措施，如加装防护套管或线槽，避免电缆绝缘层老化、破损导致漏电短路。电缆敷设路径应尽量避免靠近氢气释放源与高危区域，减少线路受氢气影响的风险，保障电气线路安全稳定运行^[2]。

2.4 接地与防雷设计

制氢站接地与防雷设计是保障电气系统安全、防止雷击与静电引发氢气爆炸的关键环节。接地系统应采用综合接地方式，将工作接地、保护接地、防雷接地等统一接入接地网，接地电阻需满足不大于 1Ω 的要求，以确保电气设备故障时电流能迅速导入大地，降低设备外壳带电风险。站内电气设备金属外壳、电缆金属护套、穿线管等均应可靠接地，通过专用接地线与接地网连接，接地线应采用多股铜芯线，其截面积根据设备容量与短路电流大小确定，保证接地线路的导电能力。防雷设计

方面，制氢站应安装独立避雷针或避雷带，其保护范围需覆盖整个制氢站区域，避免雷击直接击中站内设备与氢气储存装置。避雷针或避雷带应与接地网可靠连接，引下线应采用截面不小于 50mm^2 的热镀锌扁钢或直径不小于 8mm 的圆钢，确保雷电流能安全导入大地。为防止感应雷与雷电波侵入，在电气线路进线端需安装浪涌保护器，限制雷电过电压，保护电气设备免受雷击损坏。还需关注制氢站静电接地，对氢气管道、储罐等设备设置静电跨接与接地装置，及时导除设备运行过程中产生的静电电荷，防止静电放电引发氢气爆炸，全方位提升制氢站电气系统的安全性。

3 提升制氢站防爆电气设计的策略

3.1 优化设计流程与规范

(1) 在制氢站防爆电气设计流程中，前期现场勘察是关键环节。设计人员需对制氢站所处地形地貌、周边环境进行详细调研，精确测量站内设备布局与间距，掌握氢气产生、储存、输送等各环节的潜在危险点。通过建立三维数字化模型，直观呈现站内空间结构，模拟氢气泄漏后的扩散路径，从而科学划分爆炸危险区域，为后续设计提供精准依据。(2) 设计方案制定阶段，要充分运用计算机辅助设计(CAD)和有限元分析(FEA)等技术手段。针对防爆电气设备的选型，不仅要考虑设备的防爆等级与防护性能，还需结合制氢站的工艺流程和电气负荷需求进行综合评估。例如，对电气线路的走向和敷设方式进行优化，减少线路交叉与裸露，降低电火花产生的风险；对配电箱、控制箱等设备的布局进行合理规划，确保操作便捷且满足防爆要求。(3) 设计成果的审核与验证是保障设计质量的重要环节。建立多专业协同审核机制，组织电气、化工、安全等领域的专家对设计方案进行联合评审，从不同角度对设计的合理性、安全性进行全面审查。利用仿真模拟软件对设计方案进行动态模拟，验证在各种工况下防爆电气系统的运行性能，及时发现并修正设计缺陷，确保设计方案符合实际运行需求。

3.2 强化技术创新与应用

(1) 积极引入先进的防爆电气技术，如本质安全型电路技术。该技术通过限制电路中的能量，使其在正常工作和规定的故障条件下均不会产生足以点燃爆炸性混合物的能量，从根源上降低爆炸风险。在制氢站的仪表、控制系统等低电压、小电流回路中广泛应用本质安全型设备，能够有效提高系统的安全性和可靠性。(2) 智能化防爆电气设备的研发与应用是提升制氢站安全性的重要方向。利用物联网(IoT)、大数据和人工智能

(AI)技术,为防爆电气设备赋予智能感知、自我诊断和远程监控功能。例如,在电气设备上安装传感器,实时监测设备的温度、湿度、振动等参数,通过数据分析及时发现设备异常状态,提前进行预警和维护,避免因设备故障引发爆炸事故。(3)探索新型防爆材料的应用,开发具有更高防爆性能和耐腐蚀性的材料用于防爆电气设备制造。例如,采用新型复合材料替代传统金属材料制作防爆外壳,在保证防爆性能的同时,减轻设备重量,提高设备的抗冲击和耐腐蚀能力。研究新型绝缘材料和密封材料,提升电气设备的绝缘性能和密封效果,防止氢气泄漏和电火花外泄^[3]。

3.3 加强人员培训与管理

(1)制氢站防爆电气设计人员的专业素质直接影响设计质量。企业应定期组织设计人员参加专业技能培训,邀请行业专家进行技术讲座和案例分析,帮助设计人员掌握最新的防爆电气设计理念、技术标准和设计方法。鼓励设计人员参加行业交流活动,了解国内外先进的设计经验和科技成果,拓宽设计思路,提升专业水平。(2)对于参与制氢站防爆电气安装、调试和维护的工作人员,要进行针对性的岗位技能培训。培训内容不仅包括防爆电气设备的安装规范、操作流程和维护要点,还需进行安全操作规程和应急处理措施的培训。通过实际操作演练,使工作人员熟练掌握防爆电气设备的安装和维护技能,提高应对突发情况的能力。(3)建立科学合理的人员考核与激励机制。针对设计人员,组织专业评审团队对其设计成果展开多维度的质量评估,从创新性、实用性、安全性等方面考量;对优秀设计方案给予高额奖金、荣誉表彰等奖励。对安装、维护人员的工作表现开展月度与年度定期考核,将考核结果与绩效紧密挂钩,激发工作人员的积极性和责任心,确保防爆电气系统的设计、安装和维护工作质量。

3.4 完善维护与更新机制

(1)制定详细的防爆电气设备维护计划至关重要,需明确设备的维护周期、维护内容和维护标准。例如,规定每月进行基础外观清洁与简单部件紧固检查,每季

度开展电气性能测试,每年实施全面拆解深度维护。定期对防爆电气设备进行巡检,检查设备的外观完整性、电气连接可靠性、密封性能等,细致查看有无裂缝、锈蚀,连接处是否虚接,密封垫是否老化,及时发现并处理设备的磨损、老化、松动等问题。对设备的防爆性能进行定期检测,确保设备始终符合防爆要求。(2)建立防爆电气设备的档案管理系统,记录设备的型号、规格、安装时间、使用情况、维护记录等信息。通过对设备档案的分析,掌握设备的运行规律和性能变化趋势,为设备的维护和更新提供数据支持。当设备出现故障或性能下降时,能够快速查阅设备档案,准确判断故障原因,制定合理的维修方案。(3)随着技术的不断发展和制氢站运行工况的变化,及时对防爆电气设备进行更新升级。关注行业内新技术、新产品的发展动态,对符合制氢站需求且性能更优的防爆电气设备进行评估和引进。对老旧设备进行逐步淘汰和更换,确保制氢站防爆电气系统始终处于先进水平,有效降低爆炸风险,保障制氢站的安全稳定运行^[4]。

结语

综上所述,制氢站防爆电气设计需从危险区域精准划分、设备科学选型、线路规范敷设等多方面把控要点,并通过优化设计流程、强化技术创新、加强人员管理及完善维护机制,持续提升设计质量。随着氢能产业不断发展,制氢站防爆电气设计需紧跟技术进步,深入探索智能化、数字化设计方案,为制氢站筑牢安全屏障,推动氢能产业迈向更高质量、更安全的发展阶段。

参考文献

- [1]马丁,赵宝旭,汤璞,等.制氢站UPS改造与优化实践[J].机电信息,2024(17):74-77.
- [2]陈德磊,郝磊.制氢站氢气送出系统工艺及控制[J].冶金动力,2021(1):21-24.
- [3]陈晓雷.VOCs治理系统防爆电气设计探讨与应用[J].中国环保产业,2023(3):55-58.
- [4]覃柳莎,李艳华,吴磊,等.海上油气生产设施防爆电气设计[J].天津科技,2020,47(9):57-60.