

石油仓储装卸作业的自动化与安全保障措施研究

付军霞（山西赛福特安环科技有限公司，山西 太原 030006）

摘要：石油仓储装卸作业在石油产业链中占据关键地位，其自动化水平的提升对于提高作业效率、降低成本以及增强安全性具有极为重要的意义。本文深入剖析石油仓储装卸作业自动化系统的构成，详细阐述自动化过程中面临的各类安全风险，并提出全面且具有针对性的安全保障措施，旨在为石油仓储装卸作业的优化与安全运营提供坚实的理论支撑与实践指导。

关键词：石油仓储；装卸作业；安全保障

0 引言

石油作为现代工业的血液，其仓储装卸作业涉及众多环节与复杂流程。随着科技的迅猛发展，自动化技术在石油仓储装卸领域得到了广泛应用，从传统的人工操作逐渐向智能化、自动化转变。这一转变不仅显著提升了作业效率，减少了人力投入，还在一定程度上降低了人为失误带来的安全隐患。然而，石油及其产品具有易燃、易爆、有毒、易挥发等危险特性，使得仓储装卸作业即便在自动化环境下仍面临着诸多严峻的安全挑战。例如，某石油仓储基地在装卸作业过程中因设备故障引发油品泄漏，随后遇明火导致火灾爆炸事故，造成了重大的人员伤亡、财产损失以及环境污染。此类事件警示我们，深入研究石油仓储装卸作业的自动化与安全保障措施迫在眉睫，只有确保作业过程的安全高效，才能保障石油产业的稳定可持续发展。

1 石油仓储装卸作业自动化系统构成

1.1 自动化仪表

自动化仪表在石油仓储装卸作业中起着关键的感知作用。液位仪表如雷达液位计，通过发射微波脉冲并接收反射波精准确定油罐液位，不受介质特性干扰，适用于大型油罐；超声波液位计利用超声波传播特性测量，安装便捷但易受环境因素影响；静压液位计依据液体静压与液位关系工作，需考虑密度补偿。流量仪表方面，电磁流量计基于电磁感应原理，流速适应范围广且精度高；涡轮流量计借助流体对涡轮叶片作用力测量，响应快但对流体清洁度要求高；质量流量计可直接测质量流量，不受温度等因素影响但成本较高。压力仪表中的压力表直观显示压力数值，压力传感器则将压力信号转换为电信号便于传输处理，二者共同保障管道与设备压力监测与控制，为石油仓储装卸作业的稳定运行提供重要数据支持。

1.2 控制系统

控制系统是石油仓储装卸作业自动化的核心枢纽。PLC控制系统可靠性强，能在恶劣环境下稳定工作。其编程灵活，采用梯形图语言易于操作，可依据来自自动化仪表的信号，精准控制装卸泵启停、流量调节及阀门开闭等。例如在装车作业时，能根据液位与流量反馈自动调整。同时具备强大故障诊断报警功能，可及时发现并定位设备故障。DCS控制系统适用于大型石油仓储基地，采用分散控制、集中管理模式。将作业过程划分为多个控制单元，各单元控制器通过网络连接中央操作站。操作人员在操作站可实时监控各单元运行参数并下达指令，系统利用强大数据处理能力，采用先进算法优化作业流程，实现多罐协同装卸、油品调和等复杂控制，提升整体作业效率与管理水平。

1.3 装卸设备的自动化改造

装卸设备的自动化改造显著提升了石油仓储装卸作业的效能与安全性。装卸泵配备变频调速装置，在PLC或DCS系统控制下，依装卸流量需求灵活调节泵转速，如装车时可根据液位变化自动调整，避免流速过快引发问题。同时，泵体安装压力、温度、振动等传感器，实时监测运行状态，一旦出现异常，如压力过高、温度超限或振动异常，控制系统可自动采取降速、停机等保护措施并报警。阀门的自动化改造主要涉及电动阀门与气动阀门。电动阀门由电机驱动，能远程控制开度，在油品输送管道中精确控制流向与流量，如在油品调配时可按设定比例精准操作。气动阀门以压缩空气为动力，动作迅速、可靠性高，常用于紧急切断，如油罐区防火堤外的气动紧急切断阀，遇紧急情况可迅速关闭，防止油品泄漏扩大，保障作业安全。

2 石油仓储装卸作业自动化过程中的安全风险分析

2.1 火灾爆炸风险

在石油仓储装卸自动化作业中，火灾爆炸风险不

容忽视。静电火花是常见诱因，石油在管道流动、罐内运动时易产生静电，若装卸设备及管道材质导电不良或缺乏有效静电导除措施，如非导电管道、未接地或接地不良的金属部件等，静电电荷积聚形成高电场强度便会产生火花。当油气浓度处于爆炸极限范围内，如汽油在1.4%~7.6%浓度区间，就可能引发爆炸。电气设备火花同样危险，若防爆性能不达标或出现故障，如电机电刷打火、电气线路短路过载等，在油气环境中极易点燃混合物。

此外，明火源管控不当也会引发灾祸，像维修作业未遵循动火审批制度，在油气环境中违规焊接、切割，以及外来车辆未熄火进入装卸区，其尾气明火都可能成为导火索，从而导致严重的火灾爆炸事故，对人员、设施和环境造成毁灭性打击。

2.2 泄漏中毒风险

石油仓储装卸作业自动化进程中，泄漏中毒风险较为突出。设备密封失效是主要原因之一，泵的机械密封、阀门的密封垫片以及管道连接部位密封件，因长期受油品腐蚀、磨损，以及温度、压力变化影响，容易老化、损坏，致使油品泄漏。例如，离心泵输送腐蚀性油品时，密封面可能被侵蚀而失效。装卸作业失误也会引发泄漏，如装车时鹤管插入深度不足、卸车时管道连接不牢固，或在油品切换、多罐协同装卸时控制程序出错、人工调度失误等，都可能导致油品泄漏。泄漏的油品迅速挥发，形成含有苯、甲苯等有毒物质的油气，人员吸入过量会引发头晕、恶心、呼吸困难等中毒症状，严重时可危及生命，同时泄漏油品还会污染周边土壤、水体等环境，带来长期的生态危害。

2.3 其他安全风险

石油仓储装卸自动化作业还面临其他多种安全风险。超压风险较为常见，若泵的出口压力控制不当，如选型失误、运行参数设置错误或泵本身故障，会使管道内压力超出设计值。阀门误操作，如突然关闭正在输送油品的管道阀门且无有效压力泄放装置时，油品动能瞬间转化为压力能，导致管道超压。管道超压可能破裂、变形，油罐超压则可能鼓胀、焊缝开裂甚至爆炸，引发油品大量泄漏及次生灾害。高温风险也不容忽视，石油在装卸过程中因摩擦、阳光暴晒等产生热量，若散热不畅，油品温度升高，一旦超过闪点，在有氧环境下火灾爆炸风险剧增。同时，高温加速油品蒸发，使油气浓度上升，在通风不良处，不仅易引

发中毒，更增加了火灾爆炸的潜在威胁，尤其在高温季节或地区，此类风险更为显著。

3 石油仓储装卸作业的安全保障措施

3.1 安全管理制度

一套完善且严格执行的安全管理制度是石油仓储装卸作业安全的基石，需制定详尽且具可操作性的安全操作规程，明确规定作业前设备检查细则，像装卸泵的叶轮、轴封，阀门的密封面、阀芯，管道连接的牢固性与密封性，仪表的精准度等均需仔细核验；作业中依据油品特性与设备性能精准把控流量、液位与压力，严禁超范围操作，同时规范人员站位与行动轨迹，例如人员应站立于上风位且远离装卸口等危险区域；作业完成后及时清理现场，复位设备状态。

其次，实施严格动火审批制度，动火申请要涵盖作业详情、精确地点、预估时长及周全安全措施，安全部门评估并完善后安排专人监护，过程中遇特殊状况立即停止并重新审批。

再者，定期开展安全检查与隐患排查，专业人员依周期全面检查设备运行状况、安全设施完整性及人员操作规范性，对发现的隐患分类登记，一般隐患即查即改或限期整改，重大隐患则停业紧急整改，明确整改责任人与期限，验收合格方可复工，以此确保制度有效落实，从管理层面杜绝安全事故。

此外，安全管理制度还应包含安全责任的明确划分。从企业高层管理人员到基层一线员工，每个人都应清楚知晓自己在石油仓储装卸作业安全中的具体职责。例如，管理人员负责制定和监督安全策略的执行，确保安全资源的充足供应；班组长要负责本班次的作业安全监督，及时纠正员工的不安全行为；而一线员工则需严格遵守各项安全规定，执行安全操作流程。通过这种层级分明的责任体系，形成全员参与、人人有责的安全管理氛围，进一步增强安全管理制度的有效性和执行力。

3.2 安全设施配备

完备且有效的安全设施是石油仓储装卸作业安全的硬件支撑。消防设施的配备至关重要，各类灭火器依据火灾类型合理分布，如干粉灭火器在装卸、泵房等区域广泛安置，二氧化碳灭火器用于特定场所。消防栓系统水压、水量需达标且定期维保测试，大型消防水炮与泡沫灭火系统依场地需求配置，如油罐区的泡沫系统要能迅速覆盖灭火，且所有消防设施均需专人巡检维护，确保应急时正常运行。防爆电气设备方

面，依不同防爆区域等级选用适配设备，其安装要严守规范，如线路采用防爆穿线管或桥架敷设且接头密封，设备接地可靠。

定期全面检查维护，包括外壳、密封、连接及元件等，及时更新故障老化设备，预防电气火花引发事故。泄漏检测与防护设施不可或缺，高精度可燃、有毒气体检测仪合理布局并定期校准，个人防护用品如适配滤毒罐的防毒面具、防静电工作服、耐油防护手套等齐全有效，泄漏收集处理设施如围堰、集油坑、分离器等科学设置，防止泄漏扩散污染，全方位保障作业安全。

在安全设施的配备过程中，还应注重设施的兼容性和系统性。例如，消防设施与泄漏检测设施之间应建立联动机制，当泄漏检测设施检测到可燃气体浓度超标并发出警报时，消防设施能够自动启动部分预作用系统，如开启消防水幕进行局部隔离，防止火灾的蔓延和扩大。同时，安全设施的配备应与企业的整体安全文化建设相结合，通过标识、警示和培训等手段，让员工充分了解安全设施的重要性和正确使用方法，提高安全设施的使用效率和效果。

3.3 人员培训

专业且素养良好的人员队伍是石油仓储装卸作业安全的关键要素。全面系统的人员安全培训首当其冲，培训内容涵盖石油危险特性认知，通过实例、数据让作业人员深刻领会石油产品易燃、易爆、有毒、易挥发的危害；深入讲解安全操作规程，借助理论、演示、模拟操作使人员熟练掌握各环节要点与禁忌；普及消防知识，包含火灾类型、灭火原理、消防设施运用及报警流程，并通过演练提升实际操作能力；教授应急处理方法，如泄漏时阀门关闭、堵漏、警戒、疏散等操作以及事故中的自救互救技能，同时以案例分析强化安全意识，定期考核并与绩效挂钩，激励人员主动提升安全素养与技能水平，从人员层面筑牢安全防线。

人员培训不仅要注重知识和技能的传授，还要关注员工的心理和行为因素。例如，开展安全心理学培训，让员工了解在高压力、高风险环境下如何保持良好的心理状态，避免因恐慌、焦虑等情绪导致操作失误。同时，通过行为安全观察与反馈，及时纠正员工的不安全行为习惯，培养安全行为文化。

此外，建立员工安全培训档案，记录员工的培训历程和成绩，为员工的职业发展和安全绩效评估提供依据，进一步促进员工积极参与安全培训，不断提升

自身安全素质。

3.4 应急救援

科学且高效的应急救援体系是石油仓储装卸作业安全的最后防线。制定详尽周全的应急救援预案是核心，预案明确火灾爆炸、泄漏中毒等事故应急流程，如火灾时消防队伍迅速响应依火势战术灭火、医疗救护及时救治转运伤员、抢险抢修快速修复受损设施防止事故扩大；确定救援组织机构及职责，设立指挥部统筹，下设消防、医疗、抢险、后勤等小组各负其责；规定应急资源配置，包括消防器材、防护装备、急救药品等储备地点、数量与调配方式。

4 结论

石油仓储装卸作业的自动化发展为提高作业效率带来了显著的优势，但同时也伴随着一系列安全风险。通过构建完善的自动化系统，包括先进的自动化仪表、可靠的控制系统和经过自动化改造的装卸设备，可以提升作业的精准性和可靠性。然而，为确保石油仓储装卸作业的安全进行，必须高度重视安全保障措施的实施。建立健全安全管理制度，严格规范作业人员的操作行为；配备齐全的安全设施，如消防设施、防爆电气设备和泄漏检测与防护设施等，从硬件上保障作业安全；加强人员培训与应急救援工作，提高作业人员的安全素质和应急处理能力。只有将自动化技术与安全保障措施有机结合，才能实现石油仓储装卸作业的高效、安全运行，为石油工业的稳定发展奠定坚实的基础。

在未来的发展中，随着科技的不断进步，石油仓储装卸作业的自动化与安全保障技术也将不断创新和完善，进一步提高石油仓储行业的整体安全水平和运营效率，为全球能源供应和经济发展提供更加可靠的保障。

参考文献：

- [1] 贺鹏 . 港口石油化工码头智慧化作业链安全装卸工艺研究 [J]. 中国石油和化工标准与质量 ,2024, 44(13):169-171.
- [2] 全国首艘江海全域 LNG 加注船“海洋石油 302”完成首次装卸货检验 [J]. 中国船检 ,2024,(07):62.

作者简介：

付军霞（1978.12-）女，汉族，山西太原人，硕士研究生学历，中级工程师，2007 年毕业于中北大学，主要从事化工安全管理及安全评价工作。