

大型煤化工储运装置安全防控技术研讨

吕金昌（济南浩宏伟业技术咨询有限公司，山东 济南 250101）

摘要：煤化工储运装置涉及的介质多为危险化学品，具有较高的危险性。从储运介质的理化特性可知，其具有挥发性、易燃易爆性与毒性等特点，一旦达到燃点和闪点，就会发生火灾和爆炸事故，这不仅关乎着人们的生命安全，也影响着企业的经济效益，所以煤化工储运装置安全防控工作极为重要。在具体工作开展中，煤化工储运装置安全管理人员要着重考虑介质的危险特性，将各种安全影响因素考虑其中，严格遵循行业标准与企业需求落实储运装置安全防控技术的应用，持续优化与提高煤化工储运装置安全管理水平。基于此，本文以大型煤化工企业储运装置存在的安全风险为切入点，分析了储运装置安全防控技术的应用现状与突出问题，探讨了安全防控技术的创新性应用，并结合具体案例验证了技术应用效果，旨在保障煤化工企业整体运行安全。

关键词：大型；煤化工；储运装置；安全防控技术；创新性应用

0 引言

煤化工是以煤为原料，采用煤气化或煤直接液化技术，通过气化、变换、净化、合成等化学反应，生产和储运燃料及化工产品。煤化工储运装置的危险化学品种类与数量较多，且储罐集中布置，往往构成一、二级危险化学品重大危险源。如果储运装置发生安全生产事故，可能带来巨大的经济损失甚至人员伤亡，所以必须做好煤化工储运装置的风险安全管控，针对大型煤化工储运装置安全防控技术展开分析和研究具有重要意义。

1 大型煤化工储运装置存在的安全风险

对于大型煤化工储运装置来说，其在实际运行中存在很多安全风险，所涉及的危险化学品具有易燃易爆、中毒窒息等危险性，火灾爆炸事故还会导致多米诺效应。煤化工企业储运的产品危险性较高，比如煤气的爆炸极限为4.5%到40%之间；甲醇所具有的闪点只有11℃，如果这些产品在储运过程中发生泄漏并遇到明火，会导致火灾甚至爆炸事故的发生^[1]。

另外，大型煤化工储运装置涉及的组成单元较多，比如，储罐单元、输送泵单元、管道单元、自动控制单元、消防单元等，每个单元的运行工艺都比较复杂，在实际运行时会根据生产情况设置相应的自动化运行控制参数。以某大型煤化工企业来说，其原料储运装置每年能完成1400万吨的周转量，储运管道整体长度在45km以上，操作运行压力在10MPa到20MPa之间，而反应温度在200℃到500℃之间，这就对煤化工储运装置的安全控制工作提出了较高的要求。

此外，煤化工储运装置涉及的工艺流程不仅具有连续性特点，很多设施设备采用集中布置，如生产过

程中风险点失去控制，就可能出现连锁性反应，发生灾难性事故。比如，某煤化工企业曾发生甲醇储罐出现了泄漏，泄漏甲醇沿着地面漫流，形成很大扩散面积，在此过程中，扩散的甲醇遇到了高温热源，从而引发了火灾事故，随后又引燃了附近的醋酸、醋酐、DMF等储罐，导致连环爆炸事故的发生。从介质发生泄漏到发生火灾爆炸时间极短，该事故带来巨大的直接经济损失。

不仅如此，在大型煤化工储运装置运行过程中，无论是自然灾害，还是人为破坏，都会为其带来安全隐患，比如当区域突降暴雨，储运装置的储罐浮顶就可能出现溢流的情况；地震灾害的发生可能使储运管道因地面沉降出现变形或者破裂，进而引发事故的发生。所以在大型煤化工储运装置管理中，相关人员应认真辨识其存在的安全风险，并结合实际情况采取有针对性的安全防控技术，以此来保证煤化工储运装置运行的安全性与稳定性。

2 大型煤化工储运装置安全防控技术应用现状

随着经济与科技发展的推动，近年来煤化工得到了迅猛发展，煤化工配套的储运装置呈现大型化、集中化发展趋势。为了保证储运装置运行的安全性与稳定性，煤化工企业采取了紧急切断阀、可燃和有毒气体检测报警系统以及自动灭火技术等安全防控技术^[2]。但是，在这些安全防控技术的具体应用中遇到了很多需要解决的问题，比如，储运装置储罐紧急切断阀，在紧急情况下，尽管其能够立即截断介质的流动，以免事故的进一步扩大，但由于紧急切断阀安装位置不合理、执行机构故障模式选型错误、未采取火灾安全保护措施、电动型执行机构未配备应急电源、阀体材

质选型错误、密封机构未采用耐火结构、动力电缆和信号电缆未采取防火保护等原因，会造成紧急切断阀失去作用。

储运装置的装卸车鹤管采取相应安全联锁系统，利用对鹤管状态的跟踪监测来保证装卸车处在安全可控范围，如果安全联锁设置错误，车辆静电接地断开报警、满溢报警、可燃和有毒气体检测报警系统以及采用下部装车的常压罐车气相回路堵塞报警等报警信息（包括报警时间、鹤位、类型等）未接入DCS、GDS、PLC、SCADA等过程控制系统或安全仪表系统，会造成汽车装卸车过程发生火灾爆炸中毒事故。储运装置的火灾检测也是一种有效及时发现火灾事故的重要手段，通过安装线型光纤感温火灾探测器、红外火焰探测器、光栅光纤感温火灾探测器、图像型火灾探测器、智能视频监控系统等火灾自动报警系统，会及时发现险情及时处置，将火灾事故消灭在萌芽状态。尽管目前大型煤化工储运装置安全防控技术显示出一定的应用效果，由于储运装置的结构与运行环境比较复杂，储运装置安全防控技术目前仍存在有一定的短板存在，需要不断完善和持续改进。

3 大型煤化工储运装置安全防控技术的创新性应用

3.1 高性能高可靠性储罐紧急切断阀的应用

在煤化工储运装置安全防控中，针对储罐紧急切断阀存在的可靠性不足的情况，需要引入运行可靠性更高的紧急切断阀，因此在下一步阀门选择研究中需要重点解决材料、结构与控制等方面存在的问题。阀门材质选择方面，金属陶瓷阀可应用在高温、高压、高强度的环境下，陶瓷的抗腐蚀性较强，加上金属的韧性，在储罐紧急切断阀的应用中表现出良好的经济性与可靠性价值。比如 Al_2O_3 陶瓷+钛合金的阀门部件，其是经过热压烧结而成，将其应用在储运装置中，即使在600℃的高温环境下也能够不间断运行上千个小时，且各项性能不会降低。

阀门结构选择方面，复合密封结构具有良好的应用价值，可实现多重冗余备份，确保阀门在储运装置运行的极端工况下也能快速切断，由此保证系统的可靠性^[3]。阀门控制选择方面，带有智能执行系统的阀门可实时检测储运装置紧急切断阀的运行状态，具有自动诊断、校准与适应功能，能够实现在发现异常时第一时间跳转到备用执行通道，无需人为干预，且通过数据挖掘技术与机器学习算法的辅助，能提前预

判储运装置紧急切断阀隐藏的故障，做到预防性维护。

3.2 储运装置装车鹤管联锁控制算法的应用

在煤化工储运装置安全防控中，要保证装车鹤管联锁控制系统的使用效果，可引入智能控制算法，使其达到多智能体协同的目的。对煤化工储运装置的复杂生产工况，推荐采用智能控制系统所具有的分布式协同控制功能，可灵活地应对多变的储运装置运行环境，保证储运装置的安全高效运转。不仅如此，该智能控制算法可使所有鹤管智能体在持续试错或者学习中探索出最适宜的控制方案。在储运装置装车系统运行时，如果某一鹤管智能体在试错中发现储运管线压力存在异常，能够试着调整管道阀门的开度，然后结合反馈结果来判断调整行为的优劣程度，由此持续优化自身策略，实现最优的生产效果。除此之外，通过控制算法与区块链技术的联合应用，使系统发挥出不可篡改的功能，形成较为安全可靠的智能体协同体系，智能控制系统发出的所有控制指令均能够通过交易的形式出现在区块链上，所有的篡改操作均可第一时间被发现，从而使系统具有较高的容错能力，提高储运装置的安全控制水平。

3.3 多传感器融合泄漏检测系统的应用

在煤化工储运装置安全控制中，传统的单一传感器已经无法满足储运罐泄漏检测的灵敏度要求，需要更新原有的泄漏检测系统，比如采用多种传感器集成的融合泄漏检测系统。在储运装置的实际应用过程中，光纤传感器、电容传感器以及声发射传感器等均可通过优化组合，利用光声等物理场的优势，发挥各自传感器的最大效能，从而综合感知储运装置泄漏信号，具有较高的灵敏度，且适用性较强^[4]。不仅如此，在泄漏数据融合过程中，这种泄漏检测系统在深度学习算法的辅助下，可以训练庞大的泄漏数据量，并从中筛选出信号所具有的多维特征，由此建立起泄漏判断模型。

除此之外，系统在主动学习策略的辅助下，还能够在线判断可能的泄漏弱信号，从而持续加强模型所具有的泛化能力，并提高其识别泄漏信号的精准度。在储运装置泄漏检测系统中引入以卷积神经网络为依托的多模态泄漏信号识别算法，利用上述所提到的传感器来融合应变、频谱与介电常数等方面的数据，可构成具有高维度储运装置泄漏特征的向量，接着利用深度卷积原理就可精准高效地判断储运装置的泄漏信号；针对储运装置泄漏的盲区部分，可引入蛇形机器

人，其搭载了气体传感器阵列，能够精准感知储运罐底部或者壁体的泄漏情况，同时，在微流控芯片集成的辅助下，机器人还能够原位分析储运装置泄漏位置的化学环境，呈现出泄漏源所具有的表征，以便后续的应急安全处置提供决策依据。

4 大型煤化工储运装置安全防控技术应用实践

4.1 案例概况

以某大型煤化工企业的甲醇储运装置为例，该储运装置总占地面积约 135000m²，包括 21 座甲醇储罐，每罐容积约 50000m³，整体储量接近 1200000t，一年的周转量在 5000000t 以上，具有甲醇的储运与中转功能。但是，因为储运装置设计标准与运行工况等方面问题的影响，该储运装置的安全防控水平无法满足企业现代化发展的要求。

相关数据显示，该储运装置在近 5 年的时间里发生了 24 起安全生产事故，其中储运管道系统泄漏事故占比较大，接近 58%，呈现出逐年加剧的趋势，不仅为企业带来巨额的经济损失，也威胁到了区域环境与周边居民的安全。该煤化工企业结合自身实际情况，推动了甲醇储运装置安全控制的创新性改造，提升了整个储运装置的安全控制水平。

4.2 储运装置安全控制技术的创新性改造效果评估

针对储运装置安全风险问题，企业的技术小组对其展开了全面调查与深入分析，并在充分调查分析的基础上编制了与之相适应的技术创新性改造方案，并通过了实践检验。

首先，为了解决储运罐紧急切断阀问题，小组重新改造了阀门的结构，并重新选择了阀门材料，在此过程中，小组经过多次测试选择了镍基高温复合材料，并改造了阀门原有的密封结构。将改造后的阀门投入使用后，1200℃高温环境下，其能够不间断运行 1000h 以上，且整体密封性能高出三个数量级，紧急切断时间缩短到 14s 内。

其次，为了解决装车鹤管联锁控制系统问题，小组选择了软硬件“冗余 + 容错”模式，即改造了现有的控制网络，并选择了“EPA+PLC”系统，增强了储运装置运行时的容错能力^[5]。同时小组又加入了智能故障诊断系统，配合容错控制算法使用，在储运装置运行时，可快速定位故障，并进行故障隔离，最后重构回路动态，如此系统就能够不间断运行。

最后，为了解决储运装置泄漏问题，小组在多传感器信息融合系统的基础上将微流控气体检测系统融

入了光纤振动传感器，形成了新的智能监测系统，在储运装置运行时，可实时获取罐体、管道的应变场以及介质浓度场的相关数据，然后在监测系统识别模式的辅助下就能提高泄漏检测的精准度，同时也减少了储运装置泄漏的误报率。该煤化工企业通过本次技术改造，储运装置的安全控制水平大幅提升，每项重要指标都得到了完善，三个方面的问题依次降低了 96%、93%、98%，逐渐扭转了储运装置的安全局势。

5 结语

综上所述，随着煤化工行业的发展，储运装置的安全问题越发受到重点关注，本文针对这种情况提出了一系列的安全控制技术，比如，高性能高可靠性储罐紧急切断阀、储运装置装车鹤管联锁控制算法、汽车装卸车设施安全联锁设置以及多传感器融合泄漏检测系统等，并在实践中解决了储运装置紧急切断阀可靠性不足、装车鹤管联锁控制系统灵敏度不足等方面的问题，证明了这些安全控制技术的应用与效果，为煤化工企业的经营与发展带来巨大的经济价值，也为同类型煤化工企业的储运装置安全控制工作提供了重要参考与借鉴。

未来，随着新技术的推广与应用，煤化工企业应该紧随时发展的步伐，时刻保持探索与研究态度，不断进行煤化工储运装置安全控制技术的优化与改造，使其与时俱进，朝着智能化、标准化、机械化、自动化、信息化方向转变，在促进煤化工企业现代化建设的同时带动煤化工产业的绿色健康发展。

参考文献：

- [1] 罗慧丰, 陈菊香. 基于 AHP- 模糊综合评价法煤化工储运装置安全风险评估研究 [J]. 化工管理, 2022(7):5.
- [2] 王希平, 王金鸣. 新型煤化工项目固体物料储运装置工艺设计探讨 [J]. 矿山机械, 2017, 45(7):3.
- [3] 郑文平. 大型煤化工煤储运实践运行注意事项与处理 [J]. 石化技术, 2022, 29(3):2.
- [4] 王璐, 智会强, 包有权. 新型煤化工工程煤储运系统火灾特性及防治技术试验研究 [J]. 化工管理, 2024(21):45-47.
- [5] 刘汉刚. 神华宁煤煤炭间接液化项目煤储运装置工艺设计 [J]. 煤炭工程, 2016, 48(2):3.

作者简介：

吕金昌 (1977-) 男，汉族，山东高密人，大学本科，高级工程师，研究方向：安全工程技术。