

# 储气库安全风险防控与应急处理策略研究

张蕴曼 (中国石油化工股份有限公司储气库分公司, 河南 郑州 450001)

**摘要:** 在能源需求增长和安全问题凸显的背景下储气库作用关键, 但其运行中面临设备老化、操作失误和外部环境变化等安全风险威胁安全运行。本文重点分析储气库结构、存储调度特性和运营环境复杂性, 讨论当前安全风险并提出优化对策, 健全风险评估和预测体系建立灵活应急响应机制, 促进技术更新和设备升级。旨在增强储气库安全性和应急能力, 提供理论支持和实践指导。

**关键词:** 储气库; 安全风险; 应急处理

**中图分类号:** TE8

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1674-5167 (2025) 017-0141-03

## Research on Safety Risk Prevention and Emergency Response Strategies for Gas Storage Facilities

Zhang Yunman (Gas Storage Branch of China Petroleum&Chemical Corporation, Zhengzhou Henan 450001, China)

**Abstract:** In the context of increasing energy demand and prominent security issues, the role of gas storage is crucial, but its operation faces security risks such as equipment aging, operational errors, and external environmental changes that threaten safe operation. This article focuses on analyzing the structure, storage scheduling characteristics, and operational environment complexity of gas storage facilities, discussing current security risks and proposing optimization measures, improving risk assessment and prediction systems, establishing flexible emergency response mechanisms, and promoting technological updates and equipment upgrades. Intended to enhance the safety and emergency response capabilities of gas storage facilities, providing theoretical support and practical guidance.

**Keywords:** gas storage facility; Security risks; Emergency Management

储气库在现代能源体系当中占据着举足轻重的地位, 其主要目的是对能源供应波动进行调节, 确保能源稳定可靠供应。在全球能源需求不断增加的今天, 储气库显得更加重要。储气库经过长时间运行后, 往往会面临着很多安全风险, 如果不能对其进行有效预防与控制, 就会造成严重安全事故的发生, 甚至会危害到周围环境以及人员的安全。

### 1 储气库的特点

#### 1.1 储气库的结构特点

储气库结构形式及其设计特点, 是保证储气库安全高效运行的基石。储气库结构形式按不同地质条件和技术需求分为地下储气库和地上储气库 2 种类型, 地下储气库可进一步细分成盐穴型、废弃油气田型和岩洞型, 地面储气库一般为钢筋混凝土结构。地下储气库作为目前使用最广的储气库类型之一, 具有可以高效地利用地下空间储存气体、地质条件相对稳定、可以降低外部环境对于气体储存过程影响等特有优势。盐穴型储气库一般采用天然形成的盐岩层进行储气, 因为盐岩有很强的密封性和耐压性使气体能在很高压力条件下保持稳定储存。废弃的油气田型是基于以往的油气勘查成果, 将不再被使用的油气田转变为储气库, 并利用其原有的岩层结构来储存气体。这种

储气库具有建设成本低, 储气能力大等优点。但地下储气库在运行维护过程中具有一定复杂性, 如地质条件动态变化引起岩层变形等, 对储气库密封性造成影响, 继而加大安全隐患。相对于地下储气库而言, 地上储气库施工比较简单, 由于不受地质条件限制, 一般都是在较小范围内或者是在短时间内进行存储。地上储气库储气能力不高, 对周边环境影响大, 储存期间易受气候变化和极端天气影响, 外部风险大。

#### 1.2 气体存储与调度特性

储气库的核心职责是储存如天然气这样的可压缩气体, 并在需求激增或供应短缺的情况下提供调度援助。储气库内天然气的储存和调度有着显著物理特性, 它们对储气库设计和运行提出了更高的技术性和精确性要求。在储气库设计中, 天然气压缩性问题是一个重点考虑。鉴于天然气能够在较高压力条件下进行储存, 储气库通常需要有一定的气体压缩性能, 以便在储存过程中将气体压缩到常规大气压力的数倍, 这就要求储气库必须能够承受非常高的内外压力差。由于天然气流动性大、易扩展性强等特点, 要求储气库必须有一套准确的储气及调度控制系统以实现高需求期储气、低需求期高效储气。储气库调度特性还决定了气体储存过程中要对储气量进行灵活管理以确保长期

供给安全。调度时储气库既要处理日常需求波动又要处理突发性能源短缺或者需求猛增等问题,这些都需要储气库有高效应急响应能力。气体调度时储气库放气须综合考虑放气流量,放气压力和放气进入管网速度等因素,以保证不给管道和下游供应系统带来过大负荷。通过有效的气体调度使储气库既平衡了供应和需求又在突发事件下提供了稳定、可靠的能源支持。

### 1.3 储气库的运营环境复杂性

储气库运行环境表现出诸多方面的巨大复杂性,而这种复杂性既源于储气库所处自然地质条件的影响,又与气候变化,外部灾害和设备老化有着密切的关系。储气库一般都分布在地下或者地理条件比较特殊的地区,不确定的环境因素使储气库在运行过程中面临着很多挑战。地下储气库在运行过程中,特别受地质条件影响。不同区域岩层结构,土壤类型和地下水位对储气库稳定性影响显著。地下水渗透性造成气体泄漏和岩层移动威胁气体存储密封性。地震,土壤沉降,地下水位变化以及其他地质活动同样直接危害着储气库安全。在储气库施工和运行期间,需要对储气库进行严谨的地质勘探和环境评估才能保证储气库在地下复杂环境下的安全运行。外部气候变化也影响储气库运行。极端的气象条件,例如暴雨、台风和寒潮等,都会对储气库的设备安全造成威胁,特别是在地面储气库中,气候的变化会直接对储气设备造成损害,可能导致设备出现故障或气体泄露。由于气候变化导致的各种自然灾害,例如洪水和地震,储气库面临着非常高的外部风险,这对储气库的设计和管理提出了更高的标准。再者,设备老化是储气库运行所面临的主要问题。随着储气库服役年限的延长,设备老化磨损使其工作效率及安全性大打折扣,尤其是自动化控制,监控系统、在气体压力调节和其他关键设备中,老旧设备不能对突发变化做出及时反应或者遇到技术故障而加大事故风险。

## 2 储气库存在的问题

### 2.1 安全风险评估体系不完善

储气库安全风险评价体系是保证储气库在运行期间能对潜在危险进行识别,防范与处置的依据<sup>[1]</sup>。目前很多储气库在安全风险评估体系方面还存在很大缺陷,不仅会影响安全管理效果,还会加大事故几率。很多储气库风险评价体系还没有科学化、系统化,很多评价方法仍依赖于传统定性分析、经验判断等手段,缺少以大数据分析为基础、以智能化决策为支撑的量化评价工具。由于储气库安全风险类型较多,涉及设备故障,气体泄漏和外部灾害,常规评估手段不能综合考虑、对各种风险进行了系统的评估,致使一些潜

在隐患没有被及时发现。现有评估体系缺少实时动态监控和预警机制,通常仅能根据历史数据对事件进行事后评估,不能对出现的安全事件进行提前预警。这样就使储气库运行时对某些突发风险识别和响应比较缓慢,耽误了处理的最佳时机。另一方面很多储气库安全评价缺少跨学科,跨领域整合性研究。实际运行中地质,气体流动,设备状态和外部环境的作用交织在一起,单一安全评估手段并不能有效地涵盖所有可能存在的危险。

### 2.2 应急处理机制不够灵活

应急处理机制是否灵活是保证储气库在突发事件发生时能快速有效地应对风险的关键所在,目前很多储气库应急处理机制存在着普遍僵化和效率低下的现象,使事故中的反应速度及处置效果都不尽人意<sup>[2]</sup>。已有应急响应程序通常运行在固定模式下,缺少对突发事件多样性问题的思考。储气库运行期间风险类型及突发事件性质多样,主要表现为设备故障,气体泄漏,火灾,爆炸,外界自然灾害。不同种类事件所需应急措施与处置手段是不一样的。很多储气库应急处理机制没有按照事件种类,大小,复杂程度等因素分层次,分类别进行调整,造成应急响应不够灵活,效率较低。当气体泄漏后,应急预案过于简单化,不能及时截断泄漏源或者启动气体捕集系统而加剧事故后果。另一方面应急响应团队指挥协调能力受机制限制。很多应急预案没有兼顾跨部门,跨职能协调配合,造成信息传递落后和资源调配难等问题。应急处理机制各响应措施之间普遍缺乏流程上的有效衔接,各参与主体在实际运行过程中由于信息不畅或者责任不明等原因不能迅速有效启动救援工作。再者应急演练不足及人员培训欠缺等问题使真正应急时操作人员及管理人员常常应对经验不足而加大事故处理难度,增强应急处理机制灵活性还需在多个方面加以优化。

### 2.3 技术与设备的老化问题

随着储气库使用年限的延长,技术及设备老化现象逐渐暴露出来,并已成为储气库安全及运行效率提高的一个主要影响因素。设备老化在提高故障频率的同时,也使储气库在运行中存在诸多隐患,严重者会造成灾难性事故。很多储气库的核心设备,例如气体压缩机、调节阀和自动化控制系统等,已经投入使用多年,但由于长时间的高强度运行,这些设备的可靠性已大幅下降<sup>[3]</sup>。设备老化所带来的直接问题就是故障率升高,尤其是高温,高压这种极端情况下设备易出现性能衰退或者破坏。气体调节设备故障造成了气体存储与调度方面存在着严重的问题,甚至会造成气体泄漏这样的事故。设备老化会对储气库自动化控制



系统准确性和反应速度产生影响,当系统故障发生后不能及时处理数据并发出警报,导致风险预警延迟。由于设备老化而导致维护成本越来越高,特别是对某些重要却又很难替换的设备来说,维保难度及成本往往超过了人们的想象。对老化设备进行维修或更换不仅需耗费大量人力物力,而且需停机检修,直接关系到储气库能否正常运行和能源供应。

### 3 储气库的优化对策

#### 3.1 完善风险评估与预测体系

很多储气库的风险评估及预测还很不完善,没有有效地运用现代科技手段对潜在风险进行综合的识别及评价。建立科学,全面,动态更新的风险评估体系就显得格外关键。风险评估体系要以数据驱动为支撑,综合考虑地质数据,历史运行数据,气象条件,设备状态和外部风险源等因素,系统地定量评估储气库各种风险。传统风险评估往往依靠人工经验进行,缺少实时数据支持及精确预测模型,导致许多潜在安全隐患无法及时发现。通过引进大数据技术,物联网传感器和人工智能等先进技术,实现了储气库各运营参数的实时监测和分析,并产生准确的风险预测报告。这样既可以提前发现设备老化,气体泄漏和气候异常可能带来的风险,又可以对风险评估体系进行实时更新,从而为决策提供更科学的依据。风险评估体系应该是跨学科综合性的,要充分考虑到地质,气体流动,设备性能和外部环境等诸多因素的相互影响<sup>[4]</sup>。储气库所处的环境极其复杂,不同风险源的综合影响往往难以用单一方法加以评估,评估模型应整合不同领域的专业知识,形成全方位、多层次的风险评估框架。

#### 3.2 构建灵活的应急响应机制

储气库日常运行过程中会遇到设备故障,气体泄漏和极端天气等多种可能出现的风险,因此高效灵活的应急响应机制对安全运行至关重要。应急响应机制以快速、有效应对突发事件、尽可能减少损失、避免事态继续恶化为中心工作。建设灵活多样的应急响应机制,需要应急预案能针对储气库所面临的风险种类详细制定。储气库风险种类较多,主要有设备故障,管道破裂,气体泄漏,火灾等等,各事件处理方法及响应措施也不尽相同。应急响应机制一定要灵活度高,能针对具体情况迅速对应急预案进行调整,以保证应急措施的适当和及时。应急响应机制要求建立在准确的信息传递和协调基础之上。储气库突发事件中信息流通是否迅速和准确决定着应急响应是否高效。为促进信息传递更加准确和实时,要搭建跨部门跨专业协作平台,实现储气库内各种信息向有关领导及应急人员实时分享,避免因信息滞后或者误传造成决策失误。

#### 3.3 推动技术更新与设备升级

在储气库运行环境日趋复杂,安全风险也在发生变化的情况下,促进技术更新和设备升级成为确保储气库安全高效运行的关键要素。很多储气库技术与装备已经逐渐步入老化期,常规装备与管理技术已经不能适应现代化储气库在安全性,智能化以及自动化等方面的更高需求<sup>[5]</sup>。为促进储气库整体运行效率和安全,需要在技术更新和设备升级方面增加投资。技术更新,设备升级要以自动化,智能化为重点。传统储气库运营往往依靠人工操作与手动监测,该管理模式不但效率低,且易出现人为错误。通过自动化控制系统及智能化管理平台的介绍,实现了储气库设备远程监控及自动调节,降低了人工干预的程度,提高了运行效率 and 安全性。例如,通过智能传感器对气体压力,温度,流量等重要数据进行实时监测,并将大数据分析 and 人工智能算法相结合,从而达到对储气库工作情况进行综合监测和准确预测的目的。智能化系统可以在出现故障之前通过预警系统实时反馈信息,并及时采取适当措施对其干预以预防事故。

### 4 结论

储气库安全管理是确保能源供应链平稳可靠运行的根本,在运营环境日益复杂的情况下,传统管理方法正面临着许多挑战。对当前储气库安全风险状况进行深入剖析,提出以提高储气库安全防控和应急处理能力为目标的系列优化策略。构建一套完整的风险评估及预测体系是发现潜在危险、防范安全事故发生的关键;建立灵活多样的应急响应机制可以保证突发事件出现后得到及时有效应对;促进技术更新和设备升级将切实提高储气库整体安全和运行效率。储气库安全管理工作需要系统性和综合性的改革和优化,才能保证储气库在复杂和多变的环境下继续保持稳定和安全的运行。

#### 参考文献:

- [1] 杨春和,王贵宾,施锡林,等.中国大规模盐穴储氢需求与挑战[J].岩土力学,2024,45(1):1-19.
- [2] 胡李华,岳群超,吴云,等.关退煤矿软岩地下空间压缩空气储能模型试验系统研制及其应用[J].采矿与安全工程学报,2024,41(4):853-866.
- [3] 邓金睿,顾晓敏,陈莉,等.气主导体系集输管道水合物堵塞形成与沉积特性研究综述[J].科学技术与工程,2023,23(23):9755-9765.
- [4] 闫丽丽,毛晓楠,朱瑛辉,等.储气库出砂预测分析与防砂完井工艺优化研究[J].石化技术,2023,30(1):164-166.
- [5] 罗大清,马莉,孔欣怡,等.2022年天然气市场回顾与2023年展望[J].当代石油石化,2023,31(2):1-7.