

天然气储气库风险评价与安全管理研究

曲 弦（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：天然气储气库是保障国家能源安全的关键基础设施。本文从设备技术、人为管理和外部环境等方面系统梳理了储气库面临的风险因素，并探讨了构建涵盖定性、半定量和定量方法的多层次风险评价体系。在此基础上，提出了健全全生命周期风险防控机制、构建智能化监测预警系统、构建多方参与协同治理格局等安全管理策略。以期为储气库的安全稳定运行提供借鉴，为国家能源安全战略实施和天然气产业高质量发展保驾护航。

关键词：天然气储气库；风险评价；安全管理；全生命周期；动态防控

中图分类号：TE88

文献标识码：A

文章编号：1674-5167（2025）023-0144-03

Research on Risk Assessment and Safety Management of Natural Gas Storage Facilities

QuXian(Sinopec Gas Storage Branch Company,Zhengzhou Henan 450001,China)

Abstract: Natural gas storage facilities are key infrastructure for ensuring national energy security. This article systematically reviews the risk factors faced by gas storage facilities from aspects such as equipment technology, human management, and external environment. Moreover, it deeply explores the construction of a multi-level risk assessment system covering qualitative, semi-quantitative, and quantitative methods. On this basis, safety management strategies such as improving the risk prevention and control mechanism throughout the entire life cycle, building an intelligent monitoring and early warning system, and establishing a multi-party participation and collaborative governance pattern have been proposed. With the aim of providing references for the safe and stable operation of gas storage facilities and safeguarding the implementation of the national energy security strategy and the high-quality development of the natural gas industry.

Key words: Natural gas storage facility Risk assessment Safety management Full life cycle Dynamic prevention and control

随着我国经济社会快速发展和能源结构低碳转型，根据国家能源局发布的《中国天然气发展报告（2024）》显示，2024年天然气在一次能源消费总量中的占比为8.5%。天然气储气库作为保障供气安全的关键基础设施，其建设规模不断扩大。根据国家管网集团的规划，将在“十四五”期间新增储气能力超过100亿m³。然而，储气库建设与运营涉及复杂的地质工程条件和多环节的生产组织，潜在风险因素错综复杂。科学评估风险并实施有效管控，对于提升储气库本质安全水平，支撑国家能源安全具有重要意义。

1 天然气储气库风险影响因素分析

1.1 设备与技术风险因素

储气库系统由井口装置、集输管网、压缩机、监测系统等众多设备组成，设备故障是引发事故的常见诱因。比如新疆某储气库曾经由于安全阀失灵，导致超压运行引发爆炸。

同时，油气田开发后期，普遍存在设备老化、腐蚀、密封失效等问题，亟需开展评估与整治。技术因素方面，部分储气库未配备实时监测系统，难以第一时间发现安全隐患。智能化改造滞后，缺乏大数据分析支持的精准调控手段，也在一定程度上制约了风险防范

能力。

1.2 人为与管理风险因素

人为失误是诱发事故的重要因素。天然气储气库事故调查表明，90%故障源于人的不当行为。操作违章、应急处置不当、安全培训与教育缺失等，均可能引发事故。管理方面，国内储气库的风险评估机制仍不健全，评估主体、内容、方法等缺乏标准化规范。应急预案针对性、可操作性不强，多部门联动机制有待优化。除此之外，设备设施管理中的隐患排查不彻底、评估过于宽泛等问题，也增加了风险隐患。

1.3 外部环境风险因素

储气库还面临自然灾害、市场波动等外部风险。我国储气库多分布于地震、滑坡、泥石流易发区，极端天气事件也呈增多态势。一旦发生地震等灾害，易诱发井筒变形、管线断裂等次生灾害。市场因素比如季节性用气量波动剧烈，可能导致储气库频繁注采，加速设备损耗。

除此之外，城镇化进程中的地下管线施工、油气开采等第三方活动，也可能对储气库设施造成破坏。宏观政策、技术进步、需求变化等不确定的因素，也需要纳入中长期风险识别的范畴。

2 天然气储气库风险评价体系构建

2.1 风险评价方法分类与适用

储气库风险评价方法的选择需要综合考虑数据基础、评价目的等因素，根据实际情况合理匹配。定性方法如专家评价法、安全检查表等，主要依托专家经验判断风险等级，适用于缺乏完整定量数据的储气库，特别是风险相对较低的观察井、废弃井等场景。

半定量方法在定性描述的基础上，引入部分定量指标，如风险矩阵法通过泄漏可能性与后果严重性的分值判断风险等级，该方法操作简便，可为大多数在用储气库提供风险初筛。定量方法则完全依赖数学模型量化风险，如故障树分析、蒙特卡洛模拟等，计算精细但成本较高，更适用于高风险、高投入的注采井等核心场景。

对于新建或扩容改造的储气库，宜先定性识别高风险因素，再开展半定量、定量评估；而常规评估可以定性或半定量方法为主。选择恰当的评价方法，才能在合理成本下，为储气库安全管理提供有效的风险分析依据。

2.2 风险评价流程设计与实施

储气库风险评价需遵循“准备-识别-分析-应对”的基本流程。

2.2.1 数据准备

广泛收集地质、工程、设备、运行、检修等数据，构建多源异构数据集。通过数据清洗、集成与关联分析，为风险识别提供精准支撑。如采用三维地震勘探、测井等手段获取地下地质结构信息。

2.2.2 风险因素识别

从地质构造、工程设计、设施设备、生产运行等方面，系统梳理影响储气库安全的风险因素。典型风险如井壁稳定性、气体泄漏、断层活动、管线腐蚀等。可以运用头脑风暴、德尔菲等经验判断方法，辅以数据分析与仿真模拟。

2.2.3 风险分析与评价

从事事故发生可能性和损失后果严重性两个维度展开定量、半定量计算。例如利用压力、温度、应力等监测数据，评估井筒失效概率；估算泄露扩散范围，预判人员伤亡、经济损失等。并且需要开展灵敏度分析，找出对风险影响最大的因素。

2.2.4 风险应对措施

针对评估出的高风险场景，制定相应的工程和管理措施，从而降低事故发生概率和损失。例如加固井筒、优化注采参数、升级自动化控制系统等。还需要建立风险分级、信息报告和应急处置机制，确保风险可控在控。

2.3 风险分级标准制定与应用

科学统一的风险分级标准是开展评价、指导管控的基础。通常从事故发生可能性(L)和后果严重性(S)两个维度，将L、S分为1-5级，再对风险等级(R)做四级划分，见表1。制定分级标准需要在行业调研的基础上，结合典型场景设定参考值，以定性描述和定量指标相结合。可能性方面要综合考虑地质条件、井型、设备工况、作业频率等因素；严重性评判则从人员伤亡、经济损失、环境污染、社会影响等方面，构建尽可能量化的多维度指标体系。基于分级评估结果，企业要建立“四色管理”机制，对不同风险等级实施差异化管控策略，对极高风险和高风险场景要采取停产整改或限产整改，并落实“一区一策”专项治理，严格落实整改责任和期限；而对中低风险场景则以跟踪管控和持续优化为主。

3 天然气储气库安全管理策略研究

3.1 健全全生命周期风险防控体系

储气库安全管理需树立全生命周期理念，从源头预防风险。选址阶段要开展场址适宜性分析与比选，从区域地质构造、水文地理、自然灾害、环境敏感性等方面论证工程选址的科学性，为后续建设运营奠定

表1 储气库风险分级矩阵

	S1	S2	S3	S4	S5
L1	R1	R1	R2	R3	R4
L2	R1	R2	R3	R4	R4
L3	R2	R3	R4	R4	R4
L4	R3	R4	R4	R4	R4
L5	R4	R4	R4	R4	R4

安全基础。

设计阶段应高度重视安全专篇编制，系统开展定量风险评估（QRA），围绕工艺流程、井型设计等优化完善方案，将安全管理前置。在施工阶段，要严把质量安全关，扎实开展设计交底、施工方案论证、设备工艺质量把关、人员培训教育等，全过程、全要素落实安全措施，切实做到“百米工程、百米验收”。

投产前，须组织开展试运行安全评估，全面排查设计、施工、设备等方面缺陷隐患，论证关键技术参数匹配性，经第三方专家组验收合格后，方可投入商业运行。进入常态化运行后，还应建立定期安全评估机制，每3年开展一次全面现状评估，重点识别管道、井筒、地面设施的安全风险，制定整改方案，持续改进。

3.2 构建智能化监测预警体系

传统的人工定期巡检和抽检模式，难以全天候、全过程把控储气库安全风险。应该积极运用现代信息技术，构建集监测、传输、分析、预警、调度于一体的智能化安全管控系统。监测层面，可以在井筒、管线等关键部位布设多种传感器，实时感知压力、温度、应力、位移、气体泄漏等风险参数，通过SCADA系统、GIS平台等汇聚数据、可视化展示，实现“一库一图”动态管理。在海量实时监测数据的基础上，应用机器学习算法，挖掘设备工况异常模式，智能诊断故障风险，提前预警并优化运行参数。

同时，预警模型应该根据风险距离、风险等级等因素，能够进行自动分级预警，或者触发相应的声光报警。当预警等级升高到橙色、红色时，还需要联动启动人员撤离、设备停机、应急调度等控制措施，最大限度地降低事故造成的影响。

3.3 构建多方参与的协同安全治理格局

当前，安全生产正从“企业唱独角戏”，走向“政府统筹、行业自律、企业主体、社会参与”的协同共治新格局。储气库作为关系国计民生的重要能源基础设施，更加应该积极构建多元主体参与的安全共建共享机制。从政府监管来看，应进一步健全完善储气库规划、建设、运营等各环节的法规标准，强化行业准入管理。综合运用多种监管执法手段，加大明查暗访、跟踪问效力度，严格落实停产整顿、课以重罚等措施，压紧压实企业安全主体责任。

行业协会则应该在标准规范制修订、先进经验推广、从业人员教育培训等方面发挥桥梁纽带作用，推动行业健康有序发展。搭建多元化的风险分担机制，积极引入安全生产责任保险等政策性保险，为企业发展“保驾护航”。针对重大事故，及时成立联合调查组，开展深度查因溯源，吸取事故教训。企业作为安全生

产第一责任人，要全面落实安全生产主体责任，强化全员安全意识。健全“党政同责、一岗双责、齐抓共管”的责任体系，将安全生产纳入干部考核、绩效考核的重要内容。

4 结语

天然气储气库事关国家能源安全和百姓民生福祉。从动态、全生命周期视角审视储气库风险防控，构建多层级、立体化的安全评价体系，创新管理机制和技术手段，已经成为业界共识。未来仍需在复杂环境工程风险精准辨识、多源异构数据融合、跨专业协同等方面深化研究，为储气强国战略落地提供科技支撑。同时，还应该进一步健全多元共治的社会安全治理体系，构建人人有责、人人尽责、人人享有安全生产的良好局面。

参考文献：

- [1] 刘建伟. 地下储气库安全风险评估及防范 [J]. 现代职业安全 ,2025(01):76-78.
- [2] 宋成立, 闫敏辉, 袁海涛, 等. 储气库注气提量安全评估方法及应用 [J]. 石油管材与仪器 ,2024,10(06):43-48.
- [3] 龚晓凤, 赵连成, 张杰, 等. 基于文本挖掘的储气库安全隐患管理及可视化研究 [J]. 中国安全生产科学技术 ,2024,20(S1):66-72.
- [4] 宋旭, 文明, 胡瑾秋, 等. 储气库站场天然气泄漏及火灾事故应急知识图谱构建 [J]. 消防科学与技术 ,2024,43(06):826-831.
- [5] 杜民. 储气库建设与运行过程安全风险分析及对策研究 [J]. 安全、健康和环境 ,2023,23(06):83-86.
- [6] 郑雅丽, 邱小松, 赖欣, 赵艳杰, 孙军昌, 皇甫晓红. 气藏型地下储气库地质体注采运行风险分级与管控 [J]. 天然气工业 ,2022(03):114-119.
- [7] 张东星. 断块油气藏型储气库封闭性评价研究——以大港油田板中北储气库为例 [J]. 广东石油化工学院学报 ,2018(03):30-33.
- [8] 陈凤喜, 闫志强, 伍勇, 夏勇, 游良容. 岩性气藏型储气库封闭性评价技术研究——以长庆靖边气田SH224 储气库区为例 [J]. 非常规油气 ,2015(03):58-64.
- [9] 廖伟, 魏路路, 罗海涛, 张士杰, 徐刚, 陈龙. 微地震监测在油气藏型储气库地质体完整性评价中的应用 [J]. 石油地球物理勘探 ,2023(04):913-921.
- [10] 王建夫, 张志胜, 安国印, 王文权, 巴金红, 尹浩, 康延鹏. 气体示踪技术在盐穴地下储气库微泄漏监测中的应用 [J]. 天然气工业 ,2021(12):156-164.
- [11] 陈龙龙, 白远, 云彦舒, 谢旭强, 田丰, 王维波, 江晨硕. 气体示踪在非均质特低渗透油藏二氧化碳驱气窜监测中的应用 [J]. 钻采工艺 ,2020(03):56-59.