

加强石油天然气工程建设安全监督管理

黄 勇

中国石油化工股份有限公司西南油气分公司产能建设及勘探项目部 四川 德阳 618000

摘 要：石油天然气工程建设具有高压高危、易燃易爆、周期长、参建方多等特点，安全风险贯穿全生命周期，监管工作面临协同不畅、新型风险叠加等挑战。本文分析了石油天然气工程核心安全风险特征与监管难点，构建了覆盖规划、设计、施工、运营的全生命周期安全监管体系，探讨了物联网、BIM、大数据、区块链等关键技术智能化监管中的应用，优化了多方协同治理机制。研究旨在完善石油天然气工程建设安全监督管理模式，提升监管精准度和实效性，为工程建设安全监督管理提供支撑，保障石油天然气工程安全稳定推进。

关键词：石油天然气；工程建设；安全监督管理；全生命周期；智能化监管

引言：随着我国能源结构优化，石油天然气工程建设规模不断扩大，其安全稳定运行直接关系到人民群众生命财产安全和能源供应保障。当前，石油天然气工程建设面临高压泄漏、火灾爆炸等传统风险，以及数字化带来的新型风险，现有监管模式存在协同不足、技术滞后等问题，难以满足全流程、全方位监管需求。因此，加强石油天然气工程建设安全监督管理，构建科学完善的监管体系、创新监管技术、优化协同机制，破解监管难题，防控安全风险，成为当前石油天然气工程建设领域亟待解决的重要课题。

1 石油天然气工程建设安全风险特征与监管挑战

1.1 石油天然气工程建设核心安全风险特征

石油天然气工程建设安全风险具有显著的高压高危、易燃易爆属性，核心风险集中于工程建设全流程。石油天然气钻探、场站施工、管道输送等环节，易因井喷、管道腐蚀、接口密封不严、施工操作不规范引发石油天然气泄漏，遇明火、静电极易发生爆炸、燃烧事故，危及人员生命与周边设施安全。同时，工程多涉及地下挖掘、野外施工，易受暴雨、滑坡、地震等地质灾害影响，导致野外施工场地营地受灾、管道断裂、设施损毁，引发自然灾害事故。此外，工程建设周期长、工序复杂，从勘察设计、施工建设到竣工验收，各环节风险相互关联、叠加，进一步增加了安全风险防控难度。

1.2 石油天然气工程建设监管面临的主要挑战

监管工作面临以下多重难题。（1）协同监管难度大，工程参建方包括建设、施工、设计、监理等多个主体，各方责任划分不够清晰，存在推诿扯皮、监管脱节现象，难以形成监管合力。（2）数字化技术普及带来新型监管挑战，随着智能监测、远程控制等技术应用，网络攻击、数据泄露等新型风险与传统安全风险叠加，对

监管技术水平和防控能力提出更高要求。现有监管模式多以现场检查为主，对数字化场景下的新型风险识别、预警和处置能力不足，难以实现风险的全流程、全方位监管，给石油天然气工程建设安全带来潜在安全隐患^[1]。

2 石油天然气工程建设全生命周期安全监管体系构建

2.1 规划阶段：地质勘查安全评估与选址规范

规划选址阶段作为石油天然气工程安全监管的首要环节，需从源头规避潜在安全隐患，围绕地质勘查和选址开展精细化管控，具体要求如下：（1）地质勘查安全评估需遵循“实地核查、全面覆盖、重点突出”原则，组织专业勘查团队深入现场，采用物探、钻探等多种方式，全面排查断层、滑坡、泥石流、地下溶洞等地质灾害隐患，同时核查区域内地下供水、供电、供气、通信等地下设施分布情况，形成详细的勘查报告，明确高风险区域的具体范围、风险等级，提出针对性防控措施，严禁在未完成勘查或高风险未管控的区域启动工程规划，杜绝因勘查遗漏、数据失真导致后续安全隐患。

（2）选址需严格遵循行业规范和区域发展规划，优先选择地质条件稳定、远离敏感区域的地段，避开生态保护区、居民区、学校、医院等人员密集区域，以及地下管线密集、地下水位过高的区域。管线走向需尽量避开交通主干道、河道、文物保护区，合理规划场站位置，兼顾施工可行性和后期运营安全性，选址方案需经过住建、应急、环保等多部门联合审核，明确安全距离要求，审核通过后方可进入下一阶段，确保选址科学合理、符合安全管控要求。

2.2 设计阶段：本质安全设计标准与HAZOP分析应用

设计阶段是筑牢工程本质安全的核心，需将安全管控要求全面融入设计全流程，避免设计缺陷造成安全隐患，具体措施如下：（1）严格执行国家及行业安全设计

标准,结合工程地质实际情况、介质特性,选用符合安全标准的设备、材料,明确地层压力预测、井控设备选型、管道压力等级、防腐工艺等关键参数,针对钻探环节,选准必封点、优化井身结构设计、完善井控设备选择;针对采输环节,强化地面流程设备配套选型、完善安全设施设计;针对输送管线,做好壁厚设计和抗压性能核算,优化防腐、防冻、抗冲击设计;避免因设计不合理导致井下复杂、井控事故、高压泄漏、管线腐蚀等问题,设计方案需明确安全管控要点,确保可落地、可监管。

(2)全面应用HAZOP(危险与可操作性分析)方法,组织设计、技术、安全、监理等专业人员,针对设计方案中的工艺流程、设备布局、操作环节、控制逻辑等进行系统分析,识别潜在危险点、风险诱因及可能造成的后果,重点分析井喷、天然气泄漏、爆炸、压力异常等核心风险,提出具体的优化改进措施,形成完整的HAZOP分析报告,作为设计优化的重要依据,对分析发现的设计缺陷及时整改,确保设计方案的安全性和可行性^[2]。

2.3 施工阶段:特种作业资质管理、智能监控与应急预案联动

施工阶段是安全事故高发、频发环节,需强化现场管控,实现资质、监控、应急三位一体,全方位防范施工安全风险,具体工作如下:(1)严格落实特种作业资质管理,司钻、焊接、高处、吊装等特种作业人员,必须持有效资质证书上岗,严禁无证作业、违规操作。作业前需进行专项安全培训和技术交底,明确作业流程、安全注意事项和应急处置方法,作业过程中安排专人监护,做好作业记录,对违规作业人员及时制止、严肃处理,确保特种作业规范开展。(2)推行智能监控全覆盖,在施工现场关键部位、高风险环节,安装视频监控、泄漏检测仪、人员定位设备等设备,实时监测作业环境、人员操作和设备运行情况,数据实时上传至监管平台,发现溢流、天然气泄漏、违规操作、设备异常等情况立即发出预警,应急人员第一时间赶赴现场处置,实现施工过程的实时监控、精准管控。(3)建立应急预案联动机制,结合施工风险特点,制定针对性的应急预案,明确应急处置流程、责任分工、物资保障和联动方式,配备足够的压井堵漏、井控、消防灭火等应急物资,定期开展应急演练,演练内容覆盖井喷、泄漏、火灾爆炸、人员救援等场景,确保突发安全生产事故时,建设单位、施工单位、应急抢险单位、地方应急救援力量能够快速响应、协同处置,最大限度降低事故损失。

2.4 生产运营阶段:完整性管理、定期检测与风险动态评估

生产运营阶段需持续强化安全风险管控,建立长效监管机制,实现风险动态防控,保障工程长期安全稳定运行,具体工作如下:(1)推行管道完整性管理,建立完善的管道全生命周期档案,涵盖管道材质、铺设时间、施工记录、检测结果、维护记录等信息,明确管道维护责任主体和维护流程,定期开展管道腐蚀检测、阴极保护检测、压力试验等工作,及时修复管道腐蚀、破损、接口松动等缺陷,对老旧管线逐步进行更新改造,确保管道运行完整性。(2)严格执行定期检测制度,制定详细的检测计划,对场站设备、阀门、仪表、压缩机等关键设施进行定期校验和维护,对高压管道、接头、阀门等易损部位加大检测频次,采用超声波检测、射线检测等先进检测技术,及时排查设备老化、故障、泄漏等安全隐患,检测结果及时录入监管档案,对发现的问题限期整改、跟踪落实。(3)开展风险动态评估,结合工程运营数据、检测结果、周边环境变化(如周边施工、地质变化、人员分布变化),定期对工程运营安全风险进行分级评估,更新风险清单,明确风险等级和防控重点,针对性调整防控措施,对高风险环节强化管控,实现风险的动态识别、评估、管控,确保运营阶段安全风险可控、可防^[3]。

3 关键技术支撑下的智能化监管创新

3.1 物联网传感器网络在实时监测中的应用

物联网传感器网络可实现石油天然气工程建设全流程实时监测,打破传统人工监测的局限,具体应用如下:(1)根据工程建设不同环节需求,合理布设各类传感器,施工阶段在井口设置流量传感器,管道焊接点、动火作业区域布设油气泄漏传感器、温度传感器,在地灾易发区域布设地质沉降传感器;运营阶段在高压管道、场站设备上布设压力传感器、振动传感器,实现关键部位全覆盖。(2)传感器实时采集流量变化、泄漏浓度、压力、温度、沉降量等数据,通过无线传输模块上传至监管平台,数据传输延迟控制在秒级,一旦监测数据超出预设阈值,平台立即发出声光预警,同步推送至现场监管人员手机终端,便于快速赶赴现场核查处置,避免事故扩大。

3.2 基于BIM的数字化孪生平台风险模拟

BIM数字化孪生平台可构建工程全生命周期数字模型,实现风险可视化模拟,具体应用如下:(1)将工程勘察、设计、施工等各阶段数据录入BIM平台,构建与实体工程1:1的数字化孪生模型,清晰呈现井底压力、井口流量、管道走向、地质条件、周边环境等关键信息,实现工程信息的集中管理和可视化查询。(2)依托孪生

模型开展风险模拟,模拟井喷失控、管道泄漏、地质滑坡、设备故障等场景下的风险扩散路径和影响范围,提前预判施工和运营中的潜在安全风险,同时可模拟应急处置流程,优化救援路线和处置方案,为现场监管提供精准参考。

3.3 大数据分析在风险预测与决策支持中的应用

大数据分析技术可挖掘数据背后的风险规律,为监管决策提供精准支撑,具体应用如下:(1)整合传感器监测数据、施工记录、检测报告、历史事故数据等多维度信息,建立大数据分析模型,对数据进行筛选、分析,识别安全风险形成的规律和关联因素,比如分析不同地质构造的溢流井喷风险点、不同地质条件下管道腐蚀的速率、不同作业环节的违规操作频次。(2)通过大数据模型预测安全事故发展趋势,对高风险环节提前发出预警,同时生成数据分析报告,明确监管重点区域、重点环节和重点时段,为监管部门制定针对性管控措施、合理调配监管资源提供数据支撑,提升监管的精准度和效率。

3.4 区块链技术对参建方责任追溯的赋能

区块链技术凭借不可篡改、可追溯的特性,实现参建方责任精准追溯,具体应用如下:(1)将建设、施工、设计、监理等参建方的责任清单、作业记录、检测报告、验收文件等信息录入区块链系统,每个环节的操作均会生成不可篡改的时间戳,实现责任信息全程可追溯,避免责任推诿。(2)当发生安全事故时,通过区块链系统快速追溯相关环节的责任主体和操作流程,核查各参加单位是否履行相应职责,比如核查设计单位是否按标准规范编写设计、施工单位是否按规范开展特种作业、监理单位是否履行现场管理职责,为责任认定和追责提供明确依据,强化参建方的责任意识^[4]。

4 石油天然气工程建设安全监督管理多方协同治理机制优化

石油天然气工程建设安全监督管理需整合各方力量,优化协同治理模式,打破主体壁垒,形成监管合力,具体优化举措如下:(1)明确各方核心职责,搭

建协同沟通平台。建设单位牵头统筹,合理保障安全投入,规范HSE管理体系运行,定期组织各参建方开展沟通交流;第三方机构聚焦专业服务,做好工程各环节专业检测、安全评价,及时反馈隐患问题并提供整改建议;员工主动参与监督,对违规操作、安全隐患及时上报,形成多方联动的监管格局。(2)建立协同管控机制,强化过程联动配合。建设单位与各参建单位建立常态化对接机制,同步工程进度与安全风险防控,确保隐患早发现、早整改;第三方机构出具的检测、评价报告及时共享给各参建单位,为安全管控提供专业支撑;搭建全员沟通渠道,及时公开工程建设相关信息,设立举报奖励机制,鼓励员工参与安全监管,提升协同治理的实效性,切实强化石油天然气工程建设安全监督管理水平^[5]。

结束语:石油天然气工程建设安全监督管理是一项系统性、长期性工作,需立足工程实际,统筹风险防控、体系建设、技术创新与协同治理。本文从风险特征、全生命周期监管、智能化技术应用、多方协同四个方面,提出了加强石油天然气工程建设安全监督管理的具体路径。后续可结合工程实践,进一步优化监管技术与机制,强化各环节管控衔接,持续提升安全监管水平。唯有不断完善监管体系、创新监管模式,才能有效防范各类安全风险,推动石油天然气工程建设安全、高效、高质量发展。

参考文献

- [1]赖龙辉.管输天然气场站及配套工程建设存在问题及管理措施浅析[J].工程建设标准化,2025(8):98-101.
- [2]王志达,胡晟,杭容方.天然气工程建设安全监督管理工作探讨[J].内蒙古煤炭经济,2021(10):124-125.
- [3]周帅,刘君伟.天然气工程建设及运行安全管理策略探究[J].大众标准化,2021(16):25-27.
- [4]刘君伟,周帅.实现天然气工程建设安全化管理的策略[J].大众标准化,2021(16):43-45.
- [5]王静媛.天然气工程建设安全监督管理工作探讨[J].现代工程项目管理,2024,3(8):12-13.