

Safety Monitoring and Emergency Response Technology for High-Temperature, High-Pressure Sulfur Gas Wells

Yipeng Liu

Fourth Engineering Project Department, Changqing Drilling Corporation, Sinopec Chuanqing Drilling Company, Xi'an, Shaanxi, 710299, China

Abstract

As China intensifies its exploration of oil and gas resources, high-temperature, high-pressure sulfur gas fields have become a major focus in the industry. These gas fields present significant safety risks during development due to high hydrogen sulfide content, elevated formation pressure, and extreme temperatures. This study systematically analyzes safety monitoring technologies and emergency response mechanisms for high-temperature, high-pressure sulfur gas wells. Key research focuses include wellhead safety control systems, video surveillance networks, integrated gas transmission system safety management, and equipment corrosion prevention technologies. Comprehensive management strategies are proposed, encompassing institutional development, safety training programs, and emergency drills. The research provides technical support and management references for the safe and efficient development of high-temperature, high-pressure sulfur gas fields through establishing a multi-layered security monitoring and emergency response system. The findings demonstrate that intelligent monitoring solutions and robust emergency response mechanisms can significantly enhance intrinsic safety levels at well sites, reduce accident rates, and ensure the safety of personnel and property.

Keywords

high temperature and high pressure; sulfur gas field; safety monitoring; emergency response; wellhead control; corrosion protection technology

高温高压含硫井场安全监测与应急响应技术

刘意鹏

中石油川庆钻探公司长庆钻井总公司第四工程项目部, 中国·陕西西安 710299

摘要

在我国不断深入开发石油天然气资源勘探, 高温高压硫气田日益成为产业关注的热点。这类气田在开发过程中安全危险较大, 硫化氢含量高, 地层压力大, 温度高。对高温高压含硫井场安全监控技术和应急机制进行了系统分析, 围绕井口安全控制系统、视频监控系统、集输系统安全控制及设备防腐技术等关键技术进行了系统研究, 提出了综合管理对策, 包括制度建设、安全培训、应急演练等内容。为高温高压含硫气田的安全高效开发提供技术支持和管理参考, 通过建立全方位、多层次的安防监控和应急响应体系。研究表明, 井场本质安全水平的显著提高、事故率的降低、人员生命财产的安全, 都可以通过智能监控手段和完善的应急响应机制的来实现。

关键词

高温高压; 含硫气田; 安全监测; 应急响应; 井口控制; 防腐技术

1 引言

高温高压含硫气田指地层温度在 150℃以上, 压力在 70MPa 以上, 含硫量在 2% 以上(即 30G/M3 以上的天然气藏。我国四川盆地、塔里木盆地等地区普遍分布此类气藏, 其研制具有较难、较高的安全隐患、较突出的环境影响等特点, 在我国四川盆地、塔里木盆地等地均有较多的发展空间。由于高温高压环境对材料设备的耐压、耐温性能要求较高,

加之高温高压环境下对设备的安全监控和应急处置工作成为开发过程中的核心环节, 硫化氢不仅具有很强的毒性, 而且对设备也具有很强烈的腐蚀性。本文结合现有的技术标准和现场实践, 以提升此类气田安全管理水、保障人员环境安全为目标, 系统阐述了高温高压含硫井场安全监控技术和应急处理机制。

2 高温高压含硫井场安全监测技术

2.1 井口安全监测系统

作为气井与地面系统的接口, 井口是重点进行安全监控的区域。高温高压含硫井场井口安全监控系统主要包括以

【作者简介】刘意鹏(1982-), 男, 中国甘肃庄浪人, 本科, 工程师, 从事石油工程、钻井现场安全管理研究。

下几个部分，一是实现井口与站场联锁合断并具有逻辑顺序启闭功能的紧急关闭系统(ESD)；二是远程终端控制系统(RTU)。对井口压力、温度等参数进行实时传输，负责数据采集和远程控制；三是与井下安全阀(SCSSV)配套的地面安全阀(SSV)，在发生火灾、压力异常或煤气泄漏等情况下自动关闭；四、易熔塞及火焰探测器，感应火灾讯号，触发熄火；五、压力/温度传感器，对井口、套筒的运行状况进行实时监测。该系统以具有高可靠性和快速反应能力的气液联动原理为基础，能够在10秒钟内完成紧急关闭井口，有效防止事故的扩大。

表1 高温高压含硫井场主要监测参数及阈值

监测参数	正常范围	报警阈值	关断阈值
井口压力	70~105 MPa	≥110 MPa	≥120 MPa
井口温度	150~180°C	≥190°C	≥200°C
H ₂ S 浓度	≤20 mg/m ³	≥30 mg/m ³	≥50 mg/m ³
可燃气体浓度	≤10% LEL	≥20% LEL	≥40% LEL

防治技术主要包括，通过加热、保温等措施使管线温度高于硫露点10~15°C，是目前硫沉积中含硫气田发展的一个典型问题。采用节流控制，对压力降进行合理设计，避免因温度急剧下降而引起硫析出，从而达到合理的设计目的。研制高效硫溶剂及抑制剂，有效浓度50~100ppm的二苯基二硫醚等。新型纳米复合抑制剂能减少70%的硫沉积量。表1所示，高温高压含硫井场主要监控参数和阈值智能清管器，配有各种检测传感器，对管道中的沉积物状况进行实时监控，如表1所示。清管周期是根据实际运行情况而进行的动态调整的，一般是30天到90天的时间。硫沉积厚度实时监测采用超声波测厚、射线检测等方法。新型光纤传感技术能够做到分布式测量，并且有±1个米的定位精度。

2.2 视频监控系统

视频监控系统作为“无声的第三只眼”，在井场安全监控中发挥着不可替代的作用。系统基于宽带网络实现图像远程采集、传输与处理，具备以下功能，全覆盖、无盲区监控井组与站场；与气体检测、火灾报警、周界入侵等系统联动；自动弹出报警区域画面，实现报警联动；支持远程控制与录像回放，便于事故追溯。

2.3 集输系统安全监测

输电系统是气田发展的“血管”，它的安全运行与整个气田的安全生产有着直接的关系，输电系统的安全运行的安全性是直接相关的。在含硫环境下，高温高压对输电体系提出了多方面的风险，硫沉积、腐蚀和泄漏。对高温高压含硫井场的安全监测技术和应急响应机制，以现有技术标准和现场实践为基础，结合理论分析和案例研究进行了系统的阐述。研究内容包括井口安防监控系统、视频监控系统，集输

系统安控，设备防腐技术，应急反应机制和安全管理对策等，并对高温高压含硫气田的安全高效开发进行了研究，安全保障体系的建设、安全、安全。

2.3.1 硫沉积监测与防治

硫沉积是发展含硫气田中普遍存在的问题，特别是节流阀、分离器等部位容易堵塞，温度和压力变化很大。采用加热、保温、节流等工艺对硫析出进行控制；以硫溶剂或抑制剂的加注；采用智能清管技术对管道进行定期清扫。硫沉积是主要包含硫气田发展中的典型问题，防治技术包括，使管线温度高于硫露点10~15分钟，通过加热、保温等措施进行防治。采用节流控制，合理设计压力降，避免由于温度急剧下降而造成的硫析出现象的发生。研制二苯基二硫醚等高效硫溶剂和抑制剂，使50~100ppm的浓度得到有效提高。新型纳米复合抑制剂可使硫沉积量降低超过70%的浓度。智能清管器配有多重检测传感器，能对管道内的沉积状态进行实时监控。清管周期根据运行实际状况进行动态调整，一般为30天。硫沉积厚度实时监测，采用超声波测厚、射线检测等手段。采用超声波测量、定位精度达±1米的方式，可实现光纤传感技术的分布式测量。通过下列几种手段加以防治，采用加热、保温、节流等工艺对硫析出进行控制；以硫溶剂或抑制剂的加注；采用智能清管技术对管道进行定期清扫。硫沉积是主要包含硫气田发展中的典型问题，防治技术包括，使管线温度高于硫露点10~15分钟，通过加热、保温等措施进行防治。采用节流控制，合理设计压力降，避免由于温度急剧下降而造成的硫析出现象的发生。研制二苯基二硫醚等高效硫溶剂和抑制剂，使50~100ppm的浓度得到有效提高。新型纳米复合抑制剂可使硫沉积量降低超过70%的浓度。智能清管器配有多重检测传感器，能对管道内的沉积状态进行实时监控。清管周期根据运行实际状况进行动态调整，一般为30天。硫沉积厚度实时监测，采用超声波测厚、射线检测等手段。采用超声波测量、定位精度达±1米的方式，可实现光纤传感技术的分布式测量。HS和CO在高硫环境下协同作用，使设备腐蚀加剧。

2.3.2 腐蚀监测与控制

腐蚀控制技术中抗硫化物(如L80、C110等)的选用；添加抗腐蚀药物；腐蚀探针的安装和网上监控系统的安装；壁厚检测和智能内测定期开展。高温高压含硫气田开发特点高温高压含硫气田是指地层温度在150°C以上，压力在70MPa以上，硫化氢含量在2%以上的天然气储藏(即30g/mm³)。此类气藏广泛分布于我国的四川盆地、塔里木盆地等地区，其开发特殊性十分显著。储层埋藏深度，一般在地质构造复杂、非均质性强的4500~8000米之间。

2.3.3 泄漏监测与阀室设置

在集输管网设置阀室，分段控制气体流动，一旦发生泄漏可迅速切断。同时，建立立体气体泄漏监测网络，包

括, H_2S 探测器; 可燃气体报警器; 激光对射检测仪; 压力变化监测装置。

3 应急响应技术

3.1 自动关断与放空系统

当发生漏电、火灾或压力异常时, 依次将 SSV 与 SCSSV 关闭, 使关断程序由 ESD 系统自动触发。放空系统同时起动, 将高压气体从管道中引到火炬上燃烧, 从而起到防止超压爆炸的作用。自动关闭系统与放空系统构成了高温高压含硫井场安全生产的最后一道安全防线。其技术先进性和可靠性是决定这两个系统协调运转与否的直接因素, 其控制程度是十分重要的。

3.2 应急指挥与联动机制

建立信息共享、统一调度的企业地方联动应急指挥中心。应急响应流程包括, 报警信息接收与确认; 启动应急预案; 切断泄漏源、疏散人员; 启动放空与消防系统; 组织抢险与医疗救援。对含硫高温高压气田突发事故, 建立科学有效的应急指挥和联动机制是组织保障。该机制整合企业资源、政府力量、社会支持, 形成应急响应体系, 具有全方位、多层次的系统性特征。应急指挥系统采用组织架构, 做到三级指挥、分级响应, 确保及时有效的应急处置下、上能下、下能上的应急指挥体制。

现场指挥部作为一线指挥机构, 设立在事故现场的安全区域。指挥部由现场最高负责人担任总指挥, 成员包括工艺、设备、安全、医疗等专业人员。指挥部配备移动应急指挥车, 车内集成通信系统、监控终端和决策支持系统, 能够在断电、断网等极端条件下维持 4 小时以上的独立运行能力。现场指挥部的主要职责包括, 初期灾情评估、人员疏散组织、初期灭火控制、医疗救护协调以及向上级指挥部实时汇报现场情况。

3.3 应急演练与培训

定期进行应急演练, 增强员工应对紧急情况的应变能力。演练内容应包括, 硫化氢泄漏应急处置; 火灾爆炸事故救援; 人员疏散与医疗救护; 与地方政府联动协调。表 2 所显示的十种安全监控系统的功能比较, 建立多层次的演练体系通过表格可以看出, 桌面推演, 每季度一次, 重点训练指挥决策和协调能力, 在每半年一次的基础上, 对突发事件进行演练, 并对突发事件作出相应反应。对每半年进行一次功能演练进行检测, 对具体的应急职能进行有效性的测试。

4 安全管理对策

4.1 制度体系建设

依据《高含硫化氢气田地面集输系统设计规范》(SY/T 0612-2014) 等标准, 建立健全安全管理制度与操作规程, 重点强化井控管理、用火作业、承包商管理等环节。

4.2 安全培训

所有从业人员必须具备基本事故防范知识和应急处置技能的硫化氢防护培训, 并持证上岗。建设完备的训练体系, 训练时间不少于 72 学时, 包括硫化氢的防护、应急装备的使用等。每年开展不少于 40 学时的针对特定岗位的专项技能培训。每两年复训一次, 每两年考核一次, 保证连续技能达标。

4.3 智能化监控平台建设

为实现风险预警、智能诊断和决策支持, 构建智能安防监控平台, 实现联网、大数据和人工智能技术的结合。在实际应用中, 通过智能视频分析, 智能视频监控系统展现出从“事后可追溯”到“事前预警”的显著优势, 提高了预警能力。在某气田部署系统后, 包括人员违规进入危险区、设备处于非正常状态等在内的多起安全隐患事故被成功预警。管理效率提高, 在极端气象条件下仍能保持有效监控, 自动生成巡视报告, 减少人工巡视频次。紧急情况加速反应, 并与其他保安系统联动, 可在 2 秒钟内将警报讯息传递至相关职位, 支援远距离紧急应变指挥决定。

5 结论

高温高压含硫井场安监及应急响应是需要从多维度综合施策的, 包括技术、管理、标准等多个维度的系统工程。开发风险的有效控制、安全生产的保障, 可以通过建立完善的安全监测体系、完善的应急处理机制以及科学的管理体制来实现。今后高温高压含硫气田的安全开发水平将随着新技术的发展和应用而不断提高, 从而为我国能源安全提供强有力的保障。开发高温高压硫井场具有高危险性、高技术要求等特点。

参考文献

- [1] 杨杰, 赵勇, 贺伟东, 等. 高含硫气田丛式井场安全控制技术及管理对策[J]. 安全、健康和环境, 2024, 17(05):1-4.
- [2] 盖文妹, 邓云峰, 李竞, 等. 高含硫井场应急广播系统通知效能评估方法[J]. 安全与环境学报, 2024, 14(03):126-131.
- [3] 杨光炼, 刘飞, 潘登, 等. 试油测试过程中的安全环保技术作业——以川渝地区为例[J]. 天然气工业, 2024, 34(05):158-162.