

高含硫气藏安全清洁高效开发技术新进展

黄 黎 明

国家能源高含硫气藏开采研发中心

黄黎明.高含硫气藏安全清洁高效开发技术新进展.天然气工业,2015,35(4):1-6.

摘 要 我国的高含硫气藏大多赋存于海相碳酸盐岩储层中,具有埋藏深、地质条件复杂、高温高压、高含硫化氢和二氧化碳的特点,在气田开发工程建设和安全清洁生产保障上存在着诸多技术难题。我国高含硫天然气资源丰富,主要集中在分布在四川盆地,目前累计探明储量已超过 $1 \times 10^{12} \text{ m}^3$,自 20 世纪 60 年代在四川盆地威远震旦系高含硫气藏进行开发实践以来,陆续成功开发了卧龙河、中坝等一批中小规模、中低含硫气藏,2009 年以来龙岗、普光等一批高含硫气田的相继成功投产,标志着我国高含硫气藏开发技术取得了新的突破。为此,重点介绍了“十二五”以来针对我国高含硫气藏安全、清洁、高效开发的实际需要,在气藏工程、钻完井工程、采气工程、地面集输与腐蚀控制工程、天然气净化和安全环保工程技术领域所取得的新进展。最后,分析了目前我国高含硫气藏开发面临的挑战,指出了下一步技术发展的方向:降低安全风险,降低环境危害,提高高含硫气藏开发效益。

关键词 高含硫气藏 气藏工程 钻完井工程 采气工程 地面集输工艺 腐蚀控制技术 天然气净化技术 安全环保技术进展 发展方向

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2015.04.001

New progresses in safe, clean and efficient development technologies for high-sulfur gas reservoirs

Huang Liming

(National Energy R & D Center of High-Sulfur Gas Reservoir Exploitation, Chengdu, Sichuan 610213, China)

NATUR. GAS IND. VOLUME 35, ISSUE 4, pp.1-6, 4/25/2015. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

Abstract: In China, there are a lot of high-sulfur gas reservoirs with the total proved reserves of over 1 trillion m^3 , most of which were discovered in the Sichuan Basin. Most high-sulfur gas reservoirs in China, distributed in marine carbonate zones, are characterized by great buried depths, complex geologic conditions, high temperatures, high pressures, high H_2S and CO_2 content, presenting various challenges in gasfield development engineering and production safety. Since the development of Sinian high-sulfur gas reservoirs in the Weiyuan area of the Sichuan Basin started in the 1960s, Wolonghe, Zhongba and other medium to small-scale gas reservoirs with medium to low sulfur content have been developed. Ever since 2009, successful production of Longgang and Puguang in the Sichuan Basin, together with some other high-sulfur gas reservoirs highlighted the breakthroughs in development technologies for high-sulfur gas reservoirs in China. This paper reviews the progress made in gas reservoir engineering, drilling and completion engineering, gas production, pipeline transmission, corrosion control, natural gas purification, HSE and other aspects with consideration of specific requirements related to safe, clean and high-efficient development of high-sulfur gas reservoirs since the “12th Five-Year Plan” period. Finally, considering the challenges in development of high-sulfur gas reservoirs in China, we summarized the trend in future technological development with the following goals of reducing risks, minimizing environmental damages, and enhancing the efficiency of high-sulfur gas reservoir development.

Keywords: High-sulfur gas reservoir; Gas reservoir engineering; Drilling & completion engineering; Ground collection and transmission; Corrosion control technology; Natural gas purification; Safety and environmental protection technological development; Development direction

作者简介:黄黎明,1965 年生,教授级高级工程师,博士生导师;长期从事天然气开发相关研究工作,现任中国石油西南油气田公司天然气研究院院长、全国天然气标准化技术委员会副主任、国际标准化组织天然气技术委员会上游领域分委员会(ISO/TC193/SC3)主席。地址:(610213)四川省成都市华阳镇天研路 218 号。电话:13908223666。E-mail:huanglm@petrochina.com.cn

我国高含硫气藏资源丰富,累计探明高含硫天然气储量逾 $1\times 10^{12}\text{ m}^3$,开发潜力巨大。我国的高含硫气藏大多赋存于海相碳酸盐岩储层中,具有埋藏深、地质条件复杂、高温高压、高含硫化氢和二氧化碳的特点,在气田开发工程建设和安全清洁生产保障上存在诸多技术难题。中国石油天然气集团公司(以下简称中国石油)在 20 世纪 60 年代就开始了高含硫气藏开发的技术攻关和开发生产实践,逐步发展和完善了我国高含硫气藏开发配套的技术系列^[1-3]。2000 年以来,围绕四川盆地川东北地区罗家寨、龙岗等高含硫气田以及海外阿姆河右岸高含硫气藏的开发,在技术研发平台建设、技术攻关、生产实践等方面开展了大量的工作,取得了长足的发展,2010 年建成了国内首个具有国际先进水平的中国石油高含硫气藏开采先导试验基地,2013 年又组建了国家能源高含硫气藏开采研发中心,进一步发展和完善了我国高含硫气藏开发配套的技术系列,全面支撑了国内和海外高含硫气藏的安全、清洁、高效开发。

1 我国高含硫气藏开发概况

我国高含硫气田的基本情况列于表 1。20 世纪 60 年代我国在四川盆地的威远震旦系高含硫气藏进行了开发实践,随后陆续成功开发了卧龙河、中坝等一批中小规模、中低含硫气藏,积累了针对含硫气藏开发的经验。2000 年以后,随着四川盆地川东北地区罗家寨、渡口河、铁山坡、龙岗、普光、元坝以及中部地区磨溪高石梯气田等高含硫气藏的相继发现,国内高含硫气藏的勘探开发进入了发展的快速期。2009 年四川龙岗、普光高含硫气田相继成功投产以及中国石油海外首个大型高含硫气藏——土库曼斯坦阿姆河气田的顺利投产,标志着我国高含硫气藏开发技术取得了

表 1 我国典型的高含硫气田(藏)统计表

气田	天然气储量/ 10^8 m^3	H ₂ S 含量	CO ₂ 含量
中坝	186.30	6.75%~13.30%	2.90%~10.00%
卧龙河	408.86	5.00%~7.80%	1.30%~1.50%
渡口河	359.00	9.79%~17.10%	6.40%~8.30%
铁山坡	373.97	14.37%	/
罗家寨	797.36	6.70%~16.65%	5.80%~9.10%
龙岗	720.33	1.67%~8.60%	2.46%~5.10%
普光	3 812.59	15.20%	8.60%
元坝	1 834.20	2.51%~6.65%	1.63%~11.31%
磨溪—高石梯	/	92.00%	/

突破,我国高含硫气藏开发水平得到了显著提升,具备了开发国内高含硫气藏和海外高含硫气藏的能力和实力。目前正在进行四川盆地元坝、磨溪地区高石梯等高含硫气藏的开发建设。

2 高含硫气藏开发技术现状

我国高含硫气藏开发技术是在四川盆地多年开发中低含硫气田技术集成和经验的基础上,学习借鉴国外高含硫气藏开发技术,通过持续的技术攻关和不断的生产实践逐渐发展起来的,基本形成了满足我国高含硫气藏开发的气藏工程技术、钻完井工程技术、采气工程技术、地面集输工艺与腐蚀控制技术、天然气净化技术、安全环保技术等开发配套技术系列(表 2),为我国高含硫气藏成功开发提供了技术保障。

表 2 我国已形成的高含硫气藏开发配套技术系列一览表

技术系列	关键技术
气藏工程	强非均质高含硫储层精细描述技术 强非均质礁滩型气藏流体分布精细描述技术 多压力系统复杂礁滩气藏描述地质建模技术 高含硫气藏特殊渗流机理实验评价技术 气井产能评价非稳态测试分析技术 动态储量计算和可采储量评价技术 强非均质高含硫有水气藏水侵动态分析技术 复杂高含硫气藏开发方式优化技术
钻完井工程	高含硫气井安全钻井和井控技术 高含硫气井钻井液与防漏堵漏技术 大温差高含硫气井固井技术 高含硫气井完井试油技术 高含硫气井完井投产及完整性评价技术 高含硫气井事故防范与应急救援技术
采气工程	高温高压高含硫气藏储层改造技术 高含硫深井修井技术 高含硫深井排水采气技术 高含硫气井试井及动态测试技术 高含硫气井井下节流技术
地面集输与腐蚀控制工程	气液混输与一体化橇装生产工艺 材料选择评价和集输管线焊接性能评价技术 高含硫气田整体腐蚀控制技术 元素硫腐蚀评价及控制技术 腐蚀监/检测与内腐蚀直接评价技术 集输天然气管道风险评价技术
天然气净化工程	大型净化装置集成优化设计技术 溶剂法深度脱硫脱碳技术 高效硫磺回收及尾气处理技术 高含硫天然气分析检测技术 脱硫装置胺液净化技术
安全环保工程	钻井废弃物无害化处理技术 气田开发 HSE 风险的识别与量化评价技术 气田开发应急保障配套技术 三维扩散模拟定量风险评价技术 H ₂ S、SO ₂ 三维精确模拟及量化评估技术 含硫气田水回注风险防控技术

3 高含硫气藏开发技术新进展

近年来,国家能源高含硫气藏开采研发中心围绕制约高含硫气藏安全清洁高效开采的关键瓶颈技术难题开展攻关和现场应用实践,在气藏工程、钻完井工程、采气工程、地面集输与腐蚀控制工程、天然气净化工程和安全环保工程技术领域取得新进展。

3.1 气藏工程技术

在复杂强非均质高含硫储层精细描述、复杂礁滩型气藏流体分布精细描述、强非均质碳酸盐岩高含硫有水气藏水侵动态分析等技术领域取得了突破,形成了配套的技术。

3.1.1 复杂强非均质高含硫储层精细描述技术

针对复杂强非均质储层判别手段局限,储层参数难以量化描述等问题,综合利用地震反射模式、数字岩心、成像测井等手段,形成了强非均质储层精细描述技术,定量描述了裂缝、溶洞、孔隙的发育程度、搭配关系和空间结构等,为有利区优选,开发井位部署、开发方式调整提供了技术支撑。

3.1.2 复杂礁滩型气藏流体分布精细描述技术

针对纵向多期次礁滩体流体分布规律复杂、礁滩体内流体综合判别精度低、流体分布精细描述缺乏针对性的刻画方法,在优化测井流体识别方法基础上,分层系、分区块开展气水精细描述,掌握了礁滩气藏流体纵横向分布规律;在此基础上,利用井震结合、动静结合,精细描述了各开发单元含气边界和气水关系,为优选潜力区、合理治水和开发技术对策的制订奠定了基础。

3.1.3 强非均质碳酸盐岩高含硫有水气藏水侵动态分析技术

针对强非均质碳酸盐岩高含硫有水气藏水侵规律复杂等难题,基于储层精细描述和气水分布精细描述,动静结合,定性识别与定量计算相结合,形成了强非均质碳酸盐岩高含硫有水气藏水侵动态分析技术,为强非均质碳酸盐岩高含硫有水气藏合理治水、提高气藏采收率和开发效益提供重要支撑。

3.2 钻完井工程技术

针对高含硫气井钻完井中井控风险高、地层复杂多变和钻完井作业难度大的技术瓶颈,重点从高含硫气井钻井压力控制技术、固井工艺、气井完整性评价、试油测试技术和井喷失控应急救援等领域开展技术攻关,形成了高含硫气井钻井、完井、事故预防和应急救援3大技术。

3.2.1 高含硫气井安全钻井和井控技术

针对高含硫气井钻井井下安全、含硫钻井液地面

处理、井控风险等难题:①建立“三模型一方法”[钻井液流变参数预测模型、当量静态密度(ESD)预测模型、当量循环密度(ECD)预测模型、钻井液性能及水力参数设计方法]的基础上,编制了钻井液性能及水力参数模拟软件,该软件的应用成为辅助高含硫钻井作业安全的重要手段;②进行了四相分离器、硫化氢清除装置的创新设计,保证油、气、液、固四相的有效分离,实现了对返出钻井液中的硫化氢进行有效控制和处理;③研制了管内封隔器和油套管丝扣现场气密封检测系统,保障了高含硫气井下油、套管作业的井控安全。

3.2.2 高含硫气井完井投产及完整性评价技术

通过高温高压大产量气井储层井筒稳定性分析、不同工况下完井管柱力学强度校核、井下管柱防腐工艺技术研究、完井管柱和井口冲蚀分析、衬管参数优化设计、井口抬升原因分析等,形成了一套完整的高含硫气井完井投产技术;以两级屏障完整性为核心,配套了相控阵探伤仪、腐蚀监测和超声波测漏等检测设备,对采气井口装置、井下管材腐蚀完整性和永久式封隔器完井的环空压力力学完整性进行评价,进一步完善了高温高压高含硫气井完整性评价与管理技术体系,确保了高含硫气井整个寿命周期的完整性。

3.2.3 高含硫气井钻完井事故预防和救援技术

针对高含硫气井溢流监测实时性和可靠性较差、应急救援技术与装备落后等关键技术难题,研制出了两油气井溢流先兆在线监测与预警系统和应急救援试验系统,完善了高含硫气井钻完井事故预防和救援技术。油气井溢流先兆在线监测与预警系统通过对现场作业数据进行实时采集,利用判识模型进行实时分析,实现了将溢流预警时间大幅度提前的目的。应急救援试验系统则以模拟试验井和试验钻机为载体,通过配套完善清障切割、井口重置、冷却掩护、应急通信等设备,具备了在井喷失控情况下的应急救援能力。

3.3 采气工程技术

为了降低高含硫气藏开采风险,提高气藏采收率,实现效益开发,发展了高温高压高含硫气藏储层改造技术、高含硫深井排水采气技术和高含硫气井井下节流技术等配套技术。

3.3.1 高温高压高含硫气藏储层改造技术

研发了新型机械封隔器、可降解解堵球、纤维转向剂和耐高温160℃酸液体系,形成了物理和化学相结合的均匀布酸技术,满足了高温、高压、高含硫气藏深度酸化需要;基于酸岩反应机理等实验评价,建立了一套碳酸盐岩储层酸化施工参数优化方法,提高了酸化设计的针对性和有效性。

3.3.2 高含硫高温深井排水采气技术

研发了国内唯一的高温气举阀测试装置,解决了高温深井气举阀调试过程中无法模拟井下温度环境的技术瓶颈难题,为气举工艺设计奠定了基础。成功研制了充氮 25 MPa 抗外压 90 MPa 的高抗硫气举阀及配套工具,在龙岗 001-31、黄龙 001-X1 井成功应用。

3.3.3 高含硫气井井下节流技术

为简化高含硫气井地面工艺流程、加快建设周期,自主研发了节流压差达 35 MPa、 H_2S 含量达 225 g/ m^3 的井下节流工具,配套完善了高含硫气井井下节流技术,填补了国内技术空白。

3.4 地面集输与腐蚀控制工程技术

在地面集输工艺方面,形成了包括采集气工艺、气田水输送工艺、天然气水合物防治工艺及配套材料选择的高酸性气田地面集输工艺技术,并在国内首次实现高度集成、模块化安装的含硫气田地面集输橇装生产工艺。在腐蚀控制技术方面,围绕整体腐蚀控制的理念,形成了材料防腐、缓蚀剂防腐、表面涂层防腐等整体防腐技术和建立综合腐蚀检测(监测)体系。

3.4.1 气液混输与一体化橇装生产工艺

创新集成采集气工艺、气田水输送工艺、天然气水合物防治工艺及配套材料选择的高酸性气田地面集输工艺技术,实现了气田水和硫化氢全程零排放。研发了集气体加热、气液分离、药剂加注、腐蚀监测、现场取样和放空系统于一身的一体化橇装生产工艺和装备,实现了工厂化批量生产和快捷安装。

3.4.2 高含硫气田整体腐蚀控制技术

针对高含硫气藏腐蚀环境苛刻,形成了材料优选、缓蚀剂防腐和建立配套腐蚀检测(监测)体系的整体腐蚀控制技术。井筒采用了耐蚀合金 2830、2532、G3 等材料的油管,环空内加注环空缓蚀剂保护液;地面采输管线普遍采用了 L360NCS 和 L360QCS 抗硫耐蚀钢并配合缓蚀剂防腐;天然气净化厂腐蚀苛刻环境采用了 1Cr18Ni9Ti 材料,分离器、闪蒸罐等设备内防腐采用涂层加牺牲阳极;循环水系统主要选用缓蚀剂、阻垢剂和杀菌剂的配合应用,实现水质的稳定运行。整体腐蚀控制技术在龙岗高含硫气田开发中全面应用,控制气田地面系统金属材料整体腐蚀速率低于 0.1 mm/a。

3.4.3 腐蚀监(检)测与内腐蚀直接评价技术

针对防腐方案调整和安全评价基础数据需要,形成了腐蚀监(检)测与内腐蚀直接评价技术。创新应用 FSM 和氢探针实现了缓蚀剂预膜效果的评价,创新形成了基于腐蚀机理分析、临界积液分析、多相流模拟分析和腐蚀概率分析技术的内腐蚀直接评价技术,建立

了腐蚀监(检)测数据库,实现了数据查询、录入、评价和预测。

3.5 天然气净化工程技术

进一步深化完善了高含硫天然气脱硫脱碳溶剂、硫磺回收及尾气处理配套技术,形成的技术适应的气质范围更宽,开发了气—固法 SO_2 吸附技术,可替代传统的 SCOT 工艺。建立了天然气净化装置平稳运行保障技术、超重力脱硫、过程模拟软件等技术体系。

3.5.1 溶剂法脱硫脱碳技术

在原有的配方型脱硫脱碳体系的基础上,针对 H_2S 和 CO_2 含量(体积分数)均超过 20%,有机硫含量超过 1 000 mg/ m^3 特殊高酸性气质开展了研究,研制的溶剂在满足净化气中 $\text{H}_2\text{S} \leq 20$ mg/ m^3 ,有机硫含量不超过 200 mg/ m^3 的国家二类商品气标准前提下,使再生能耗降低 10%。

3.5.2 天然气脱硫胺液净化技术

针对目前脱硫胺液长期使用后有效组分降低所带来的脱硫效果变差、废旧溶剂存放、处理等一系列问题,自主开发了两种致泡物质脱除剂,其脱除率超过 99%,并解决了溶剂复活后硫化氢选择性吸收性能变差的问题,恢复溶剂脱除性能至新鲜溶剂水平。

3.5.3 硫磺回收尾气处理新技术

针对新标准下各天然气净化厂硫磺回收尾气超标的问题,开发了一系列硫磺回收尾气处理新技术。将气—固吸附用于 SO_2 脱除,研究了新型 SO_2 脱除催化剂及配套技术,可将克劳斯尾气中 SO_2 含量控制在 300 mg/ m^3 以下;研究了新型可再生型胺法 SO_2 溶剂及配套脱除技术,酸气负荷相比 SCOT 工艺提高 1 倍以上,可将克劳斯尾气 SO_2 脱除至 200 mg/ m^3 以下。

3.6 安全环保工程技术

针对高含硫气田开发区域地形复杂、人口稠密、气井产量大及安全风险大等特点,建立了包括高含硫气田开发环境影响评价、安全评价技术、风险防控与应急保障技术,污染物处理与循环利用技术,节能减排技术等为主体的高含硫气田开发安全清洁生产技术体系,为实现高含硫气田的安全、高效、清洁开发提供了保障。

3.6.1 含硫天然气泄漏三维扩散模拟定量风险评价技术

针对复杂地形及局地气象条件下,高含硫天然气开发事故后果严重,准确预测评价难度大等技术瓶颈,创新形成了基于计算流体动力学(CFD)的三维扩散模拟技术和定量风险评价方法及软件,提高丘陵及中、低山地带的评价精度 50%以上,缩短评价周期 90%以上。

3.6.2 高含硫气田区域应急保障技术

针对高含硫气田多、矿权主体不同,地企应急保障

措施体系相对独立的现状,提出了包括消防、医疗、交通等的区域应急资源优化配置方案,建立了区域应急管理体系构架(图 1),提升了企业间和企地间联动机制,实现了区域风险防范和应急管理科学化。成果应用于川东北天然气项目应急预案的制订、阿姆河天然气采气厂等的安全评价。

制,实现了区域风险防范和应急管理科学化。成果应用于川东北天然气项目应急预案的制订、阿姆河天然气采气厂等的安全评价。

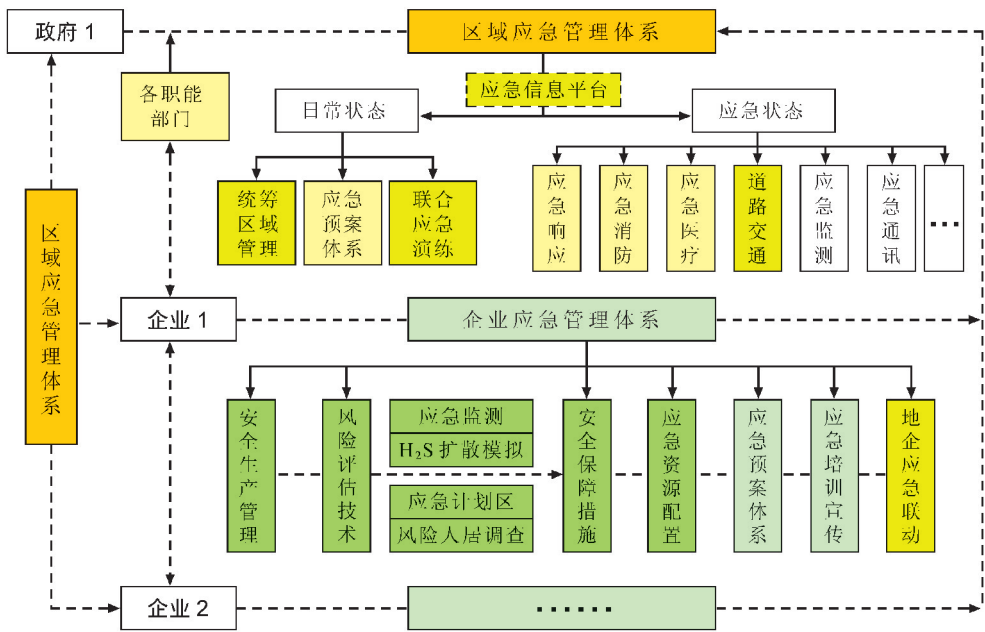


图 1 区域应急保障体系架构图

3.6.3 含硫气田水回注风险防控技术

通过对地面、井筒完整性及回注井层开展风险系统识别,提出了地面回注水处理系统优化、井筒泄漏监控及回注水窜层的预防措施,形成了含硫气田水回注风险防控技术(图 2),为龙岗礁滩气藏回注井风险评估和管理提供了技术支撑。

系是紧密结合高含硫气藏开发工程建设需求开展攻关,并在生产实践中应用完善形成的,强力支撑了我国已投产高含硫气田的开发生产。

4.1 龙岗礁滩大型高含硫气藏开发

2006 年 10 月发现龙岗礁滩气藏,包括飞仙关组鲕滩和长兴组生物礁两套储层,高产井产量超过 $100 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。飞仙关组和长兴组 H_2S 含量超过 $30 \text{ g}/\text{m}^3$,最高达到 $130.3 \text{ g}/\text{m}^3$ 。在气藏开发过程中面临诸多技术难点:国内首个超深(6 000 m)大型高含硫气藏开发,无技术和经验可供借鉴;碳酸盐岩强非均质岩性气藏的储层和流体分布预测难度大;多产层高温(150°C)深井产水工况下钻完井及采气工艺技术要求高;气田产水对集输和防腐提出了更高要求;山地人口稠密地区高含硫气田开发 HSE 保障技术要求高等。针对上述开发难点,中国石油充分利用已经形成的高含硫气藏开发技术,如多压力系统复杂礁滩气藏描述地质建模技术、高含硫气藏特殊渗流机理实验评价技术、气井产能评价非稳态测试分析技术等,仅用 18 个月优质建成年产 $20 \times 10^8 \text{ m}^3$ 规模的试采工程,一次投产成功,开创国内大型高含硫气田开发的先例。截至 2014 年 10 月,龙岗礁滩气藏现已安全平稳生产 1 905 d。累计生产天然气超过 $62 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

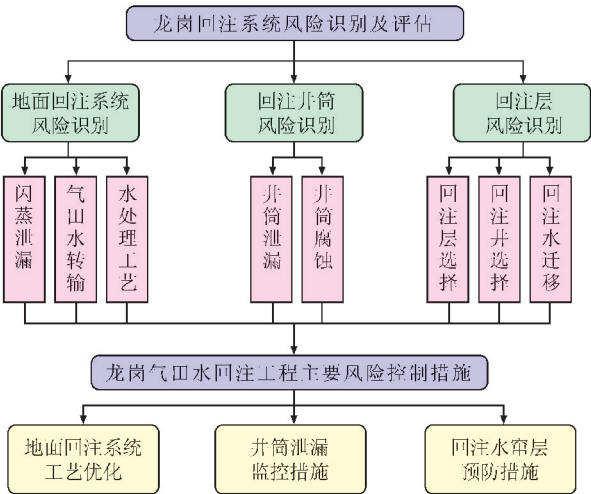


图 2 龙岗高含硫气田水回注风险识别与控制技术框图

4 开发配套技术应用典型实例

我国高含硫气藏开发配套技术系列和标准规范体

4.2 土库曼斯坦阿姆河右岸萨曼杰佩大型高含硫气田开发

萨曼杰佩气田位于阿姆河右岸 A 区块西部, H_2S 含量为 $35\sim 45\text{ g/m}^3$, 1986 年 12 月投产, 1993 年苏联解体后全部关井封存。2007 年 7 月, 中国石油接手该项目时, 针对高含硫老井在封存多年后井筒完整性评价及复产较困难, 单井产量高, 压力系统复杂, 钻井井控风险大, 天然气净化装置处理规模大(设计日处理能力为 $4\times 450\times 10^4\text{ m}^3$), 建设周期短, 对设计、施工、建设和运行的技术要求高以及集输管道气、油、水三相混输乳化现象严重等诸多难题, 充分应用已形成的复杂高含硫气藏开发方式优化技术、快速修井完井技术、材料和缓蚀剂联合防腐及监测技术、大型脱硫及硫磺回收工艺技术等配套技术, 在不到 18 个月内优质高效完成 $60\times 10^8\text{ m}^3/\text{a}$ 产能工程建设, 于 2009 年 12 月一次性投产成功。截至目前, 已安全平稳运行 1 800 d, 累计向中亚天然气管道输送商品气 $242.18\times 10^8\text{ m}^3$, 一定程度上缓解了我国天然气供应压力。

5 高含硫气藏开发技术发展方向

5.1 面临的挑战

我国高含硫气藏的开发经过半个多世纪的技术攻关和生产实践, 取得了重要的技术突破和进展。但是, 我国高含硫气藏开发技术仍然面临认识深化、技术配套发展、技术水平提升、环境保护加强、开发成本降低和提高开发效益水平等诸多挑战。

1) 新发现的高含硫气藏埋藏更深, 温度和压力更高, 储集类型多样, 气水关系复杂, 开发难度更大, 对钻井轨迹控制、提速、安全风险控制、完井材料与工艺、储层改造液体、工具和工艺等均提出了更高的要求。

2) 已开发的高含硫气藏面临普遍产水、井筒和地层堵塞等问题, 要求进一步加强对气藏精细描述以及完善排水、治水、解堵等配套技术。

3) 国家新的安全生产法和环保法日益严格, 高含硫气藏钻井泥浆废弃物处置、含硫天然气测试放空、开采过程中含硫气田水的处理、净化脱硫尾气中 SO_2 的排放控制等面临着更高的挑战。

5.2 技术发展方向

安全、清洁、高效是贯穿高含硫气藏开发的主线, 保障高含硫气藏更加安全、更加清洁生产和提高开发效益与开发水平是今后高含硫气藏开发技术发展的方向。

1) 向降低安全风险方向发展。完善高含硫气井井筒和地面系统完整性技术配套, 逐步建立完善高含硫气田设施失效数据库及检测(监测)体系, 形成井筒完

整性和集输管道定量风险评价方法, 确保高含硫气井全寿命周期内的安全生产; 完善高含硫气田区域性应急保障体系构架和应急资源优化配置方案, 推进企企、企地有效联动, 提升应急管理水平。

2) 向降低环境危害方向发展。发展高含硫气田区域植被生态监测技术, 跟踪评价区域生态环境质量, 将高含硫气田区域生态环境影响最小化; 完善高含硫气田水回注风险控制标准, 开展气田水处理达标外排工艺技术研究, 不断提升清洁生产水平; 深化大规模脱除硫化物并高效回收的高含硫天然气净化技术及尾气 SO_2 处理技术, 提高脱硫效率, 降低脱硫尾气中 SO_2 的排放浓度和总量, 减轻对大气的污染; 研究微生物处理钻井泥浆废弃物等新型处理技术, 提高钻井清洁生产水平。

3) 向提高高含硫气藏开发效益发展。有效平衡高含硫气藏安全与经济的矛盾, 加强现有开发配套技术的跟踪评价与完善, 降低开发成本, 提高气田开发水平与开发效益。一是深化提高气藏采收率的理论和技术, 包括完善高酸性气藏共存体系流体相态理论、深化储层元素硫沉积及伤害机理实验评价和动态分析技术、复杂强非均质高含硫有水气藏整体治水优化技术等; 二是发展安全、快优钻完井技术, 包括优化高温、高压、高含硫气井钻井液体系和固井水泥浆体系, 发展储层改造的工具及液体技术; 三是降低开发生产成本, 加强井下管材和工具优选, 优化地面缓蚀剂防腐应用技术, 改进配方溶剂及配套工艺技术, 提高旧胺液处理效率。

参 考 文 献

- [1] 李鹭光. 高含硫气藏开发技术进展与发展方向[J]. 天然气工业, 2013, 33(1): 18-24.
Li Luguang. Progress in and developing orientation of technologies for the recovery and production of high-sulfur gas reservoirs in China[J]. Natural Gas Industry, 2013, 33(1): 18-24.
- [2] 陈昌介, 何金龙, 温崇荣. 高含硫天然气净化技术现状及研究方向[J]. 天然气工业, 2013, 33(1): 112-115.
Chen Changjie, He Jinlong, Wen Chongrong. A state of the art of high sulfur natural gas sweetening technology and its research direction[J]. Natural Gas Industry, 2013, 33(1): 112-115.
- [3] 徐波, 何金龙, 黄黎明, 刘其松, 孙茹. 天然气生物脱硫技术及其研究进展[J]. 天然气工业, 2013, 33(1): 116-121.
Xu Bo, He Jinlong, Huang Liming, Liu Qisong, Sun Ru. Biotodesulfurization in natural gas sweetening process and its research progress[J]. Natural Gas Industry, 2013, 33(1): 116-121.