

高含硫气田开发现状及面临的挑战

边云燕, 向波, 彭磊, 郭成华

(中国石油工程设计有限公司西南分公司, 四川 成都 610017)

摘要: 结合我国第一座高含硫整装气田——罗家寨气田在长达 5 年时间里所开展完成的设计、科研、评估等工作情况, 对川渝地区高含硫气田开发现状进行了回顾和总结, 对气田开发面临的问题和挑战做了介绍和分析。

关键词: 高含硫; 气田开发; 回顾总结; 挑战

文章编号: 1006-5539(2007)05-0003-05 **文献标识码:** A

0 前言

我国在含硫气田的开发中, 已经积累了将近四十年的经验, 到目前为止以四川为代表的中低含硫气田的开发已经在技术上和生产上趋于成熟, 以中坝含硫气田 (H_2S 含量达到或接近 7%) 已经长达 30 多年的安全生产实践说明, 其技术水平与 20 世纪末期的世界水平相当。

为了配合罗家寨等整装高含硫气田 (H_2S 含量达到 9.5% ~ 11.5%) 的开发, 近年来在川渝地区先后建成了一些高含硫天然气的单项工程和试验装置, 代表性的峰 4 峰 15 高含硫单井站和天东 5-1 井试验装置都在高含硫气田集输工艺、设备材料选择、防腐工艺等方面进行了试验和验证。

中国石油工程设计有限公司西南分公司作为天然气行业指导单位承担完成了我国首座高含硫整装气田罗家寨气田的开发设计。为了安全环保地进行高含硫气田开发, 中国石油及西南油气田分公司安排开展了一系列的高含硫科研项目 and 标准体系的建立, 取得了大量的成果和新认识并应用于工程设计建设中; 请国外公司对设计进行了咨询、HAZOP 评估。针对高含硫气田在钻探工作中出现的新问题, 中国石油又多次聘请国外有经验的知名公司对气田开发方案及地面工程设计建设进行了长期的评估论

证工作。随着罗家寨高含硫气田的开发, 我国高含硫气田集输工艺技术方面取得了较大的进步^[1]。

本文从地面工程设计建设的角度, 对以罗家寨为代表的我国高含硫气田开发现状进行了回顾和总结, 并对目前面临的问题和挑战做了介绍和分析。

1 高含硫气田开发的现状

1.1 罗家寨气田开发工作概况

罗家寨气田位于四川省宣汉县和重庆市开县境内, 地面高差变化较大, 交通条件差。1999 年 12 月, 2000 年 6 月先后在罗家 1 井和罗家 2 井获高产工业气流。2002 年上报探明储量 $581.08 \times 10^8 m^3$, 2004 年根据第一批开发井的实施效果, 完成了“罗家寨飞仙关鲊滩气藏开发实施方案”编制。其间西南油气田分公司组织安排多次国外技术考察、技术咨询、工程联合设计、HAZOP 审查等以保证安全和环保开发高含硫气田。

由于 2003 年“12·23”与 2006 年“3·25”事故的发生, 2006 年 4 月中油股份公司相继聘请 GAZ PROM 公司与壳牌公司专家对“罗家寨飞仙关组鲊滩气藏开发方案”、“罗家寨飞仙关鲊滩气藏开发实施方案”进行了评估, 提出罗家寨气田应开展先期试采工程。在吸收国外公司评估意见的基础上, 2006 年西南油气田分公司完成了《罗家寨气田飞仙

收稿日期: 2007-08-06

作者简介: 边云燕 (1970-), 女, 四川成都人, 高级工程师, 学士, 毕业于西南石油大学油气储运专业, 主要从事天然气储运研究与设计工作。电话: (028) 86014574

关气藏总体开发方案》和《罗家寨气田飞仙关气藏试采方案》。

1.2 罗家寨气田内部集输工程的设计概况

1.2.1 罗家寨气田内部集输工程简介

罗家寨气田 H_2S 含量 9.5% ~ 11.5%, CO_2 含量 7% ~ 8%, 原料气生产能力为 $600 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 新建单井站 8 座、集气站 3 座、末站 1 座、气田水回注站 2 座、集气干线 69.7 km 采气管线 28.4 km 燃料气管线 73.1 km 气田水管线 12.1 km 阀室 23 座^[1]。

1.2.2 开展国外公司技术咨询

2004年1月完成初步设计后,邀请加拿大 MV 咨询公司对罗家寨气田内部集输工程初步设计文件及所涉及的湿气输送系统、分子筛脱水装置、放空系统、控制系统、主要设备、材料、系统防腐、I & D 等关键技术问题进行咨询,对操作运行手册和事故状况的应急处理预案文件进行指导和审查。

1.2.3 开展 HAZOP 分析

为了保证设计的安全及可操作性,借鉴国外的先进经验及做法,西南油气田分公司邀请挪威斯堪博瑞 (SCANDPOWER) 公司对罗家寨集气系统的安全和可操作性进行 HAZOP 评估工作。通过 HAZOP 分析进一步明确了控制系统和紧急关断系统设置模式,防止工艺控制系统失效或可以预见的工艺系统人员失误所带来的危害,降低和控制项目风险,指导详施工图设计工作。

1.2.4 开展数字化管道设计

针对线路工程地形复杂、交通条件差、安全矛盾突出、管理难度大等特点,首次在国内的气田内部集输管道的勘察设计中采用了卫星遥感、航测技术及成果以优化线路走向,提供施工图设计及管理用实时航测照片,为本工程实施数字化管道管理做好了准备。

1.3 罗家寨气田净化厂工程的设计概况

1.3.1 罗家寨气田净化厂工程简介

罗家寨天然气净化厂工程处理原料气 H_2S 含量 9.5% ~ 11.5%, CO_2 含量 7% ~ 8%, 建设 3 套 $300 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 主体工艺装置 (脱硫装置、脱水装置、硫磺回收装置和尾气处理装置) 以及所有的辅助生产设施、公用工程和生活设施。

1.3.2 主体装置基础设计情况

罗家寨天然气净化厂工程脱硫装置、硫磺回收装置和尾气处理装置为成套引进,由 JACOBS (荷兰) 公司,完成罗家寨天然气净化厂的脱硫装置、硫磺回收装置和尾气处理装置 (包括尾气焚烧和酸水汽提装置) 以及全厂控制系统和 DCS 的基础设计,并对装置的性能进行担保。

1.3.3 开展 HAZOP 分析

JACOBS 公司完成了罗家寨天然气净化厂基础设计后,对上述装置以及全厂初步设计进行 HAZOP 分析,主要包括总图、锅炉房、脱水装置、污水处理装置、火炬放空系统等。对提出的意见在施工图设计中落实。

1.3.4 BV 公司技术咨询

在罗家寨天然气净化厂初步设计完成后,又与美国 BV 公司签订了施工图设计咨询合同,其咨询内容包括脱硫装置、硫磺回收装置和尾气处理装置中的工艺核算、大型热力管道的应力分析、复杂控制回路、DCS 系统、ESD 系统、机泵类设备和非标设备等方面的内容。

2 高含硫气田开发的科研和标准制定

2.1 依托川东北高含硫气田开展的科研工作

川东北罗家寨、铁山坡、渡口河等高含硫气田已开展并通过验收的科研课题包括:

- 国外高含硫天然气开发技术调研 (2000 年, 勘探与生产分公司);
- 高含硫气田气井完井及投产工艺技术研究 (2000 年, 勘探与生产分公司);
- 高含硫天然气集输工艺技术研究 (2000 年, 勘探与生产分公司);
- 高含硫天然气脱硫工艺技术研究 (2000 年, 勘探与生产分公司);
- 高含 H_2S 天然气集输管道材料和焊接工艺技术研究 (2002 年, 勘探与生产分公司);
- 川东北高含 H_2S 、 CO_2 天然气田井下管材的腐蚀评价研究 (2002 年, 勘探与生产分公司);
- 含硫天然气集输钢管材质技术条件研究 (2002 年, 勘探与生产分公司);
- 罗家寨高含硫天然气干气输送技术研究 (2003 年, 勘探与生产分公司);
- 罗家寨高含硫天然气采气井站与采输场站工

艺流程优化研究(2003年,勘探与生产分公司);

◦高酸性气田开发防腐及地面建设技术标准前期研究(2003年,勘探与生产分公司标准化委员会);

◦高酸性气田在线腐蚀试验装置研制及现场材料评价试验(2003年,勘探与生产分公司);

◦高酸性气田油套管柱及集输管线腐蚀规律及防护技术研究(2003年,勘探与生产分公司);

◦集气井井下管柱和地面集输管道抗硫耐蚀材料评价与优选(2003年,集团公司重点实验室);

◦含硫气田天然气集输安全控制技术研究(2004年,勘探与生产分公司);

◦罗家寨地面集输污水处理技术研究(2004年,勘探与生产分公司)。

2.2 高含硫标准体系的创建

2.2.1 高酸性气田开发防腐及地面建设技术标准前期研究

西南油气田分公司组织翻译了国外高含硫气田的相关标准,包括:

◦ISO 3183-3《石油天然气工业——管道钢管——交货技术条件第三部分: C级钢管》;

◦ISO 15156-1《石油天然气工业——石油和天然气生产中含 H_2S 环境使用的材料第一部分: 选择抗裂纹材料的一般原则》;

◦ISO 15156-2《石油天然气工业——在含 H_2S 环境下油气生产使用的材料第二部分: 抗开裂碳钢和低合金钢及铸铁的使用》;

◦ISO 15156-3《石油天然气工业——油气开采中用于含 H_2S 环境的材料第三部分: 抗开裂耐蚀合金(CRAs)其他合金》;

◦NACE标准 MR 0175-2003《酸性油田环境中抗硫化物应力开裂和抗应力腐蚀开裂的金属》。

2.2.2 建立和完善高含硫气田开发的成套企业标准

西南油气田分公司组织制定了我国首套高含硫气田开发的企业标准,主要包括:

◦设计标准:《高酸性气田地面集气系统设计规范》、《高酸性气田集气管道及储罐内腐蚀控制要求》;

◦安全技术规定:《高酸性气田集输站场安全技术规定》、《高酸性气田集气管道安全技术规定》;

◦施工验收:《高酸性气田天然气集输管道工

程施工及验收规范》、《高酸性气田集输场站及净化装置工程施工及验收规范》、《高酸性气田天然气集输管道焊接技术规范》、《高酸性气田集输场站和矿场脱水装置工程质量验收标准》、《高酸性气田集输管道线路工程施工质量验收标准》;

◦正在编制的标准规范:《高酸性气井安全生产技术规范》、《高酸性气田在线腐蚀监测技术规范(地面集输系统部分)》、《高酸性气田地面集输管道、设备材质技术要求》、《高酸性气田集输管道运行管理规范》、《高酸性气田集输管道清管作业规程》、《高酸性气田天然气净化厂安全生产规范》。

2.3 开展现场评价试验工作

2.3.1 天东 5-1 井试验装置

《高酸性气田在线腐蚀试验装置研制及现场材料评价试验》研制的在线腐蚀试验装置安装在目前 H_2S 、 CO_2 含量相对较高(H_2S 6.87%、 CO_2 2.76%)的龙门气田天东 5-1 井进行现场材料评价试验。

现场试验过程中利用天东 5-1 井的现有条件,尽可能地模拟罗家寨气田井下及地面集输系统的压力、温度及流速等与腐蚀有关的因素,并考察这些因素对材料耐蚀性能的影响。

2.3.2 峰 4 峰 15 高含硫单井站的建设运行

为确保西南油气田分公司高含硫气田、气井的安全开发,进一步搞好高含硫气田、气井的设计工作,中国石油工程设计有限公司西南分公司完成了重庆气矿相关高含硫单井站的设计,其中峰 15 井、峰 4 井、天东 5-1 井产出气中的硫化氢含量高,为典型的高酸性气质。气井投产运行时间及气质情况见表 1。

表 1 气井投产运行时间及气质情况表

气井	投产时间	气质情况	
		H_2S 含量 / $g \cdot m^{-3}$	CO_2 含量 / $g \cdot m^{-3}$
峰 15 井	2005-11-04	134 915	62 675
峰 4 井	2005-11-06	117 765	30 910
天东 5-1 井		98 35	54 23

从上述单井站的建设使用情况表明,中国石油工程设计有限公司西南分公司针对高酸性气井采用的集输工艺方案设计合理、安全可靠,材料选择和施

工技术要求合理适宜,能满足高酸性气井生产实际需要,为罗家寨气田地面集输工程的设计建设积累了经验。

2.4 科研成果在工程设计中的应用

通过近几年来对高含硫气田特点的研究,分析高含硫气田开发面临的技术问题,结合传统含硫气田的开发工艺,在遵循现有国家规范的前提下,吸收国外开发高含硫气田的成熟技术和生产实践经验,总结出适合高含硫气田的集输工艺专有技术,这些科研成果已经在罗家寨高酸性气田试采和地面集输及净化厂工程设计中得到了很好的应用,主要内容包

a 为了避免含硫生产污水分散排放,简化站场污水处理工艺,采用气液混输工艺技术。

b 高温、高压、高 H_2S 高 CO_2 以及高含 Cl 地层水腐蚀性强,对系统的材料选择、防腐工艺提出了严峻考验,当采用碳钢+缓蚀剂方案时,配套采用缓蚀剂清管器涂抹技术。

c 因高 H_2S 高 CO_2 的存在,原料气的水合物形成温度较高,为了防止水合物堵塞,避免 CO_2 高温腐蚀,采用水套加热炉的优化设计技术。

d 由于温度和压力的骤然变化,原料气会有单质硫析出,预测系统元素硫可能形成的部位,采用溶硫剂加注工艺技术。

e 为了减少 H_2S 排放至大气中,可能对人生安全造成的危害以及对环境造成的污染,在高含硫气田开发中,采用安全泄放技术,即先截断,再放空或不放空,放空的原料气燃烧后排放。

f 高含硫原料气安全检修置换工艺技术,确保安全生产,达到保护环境的目的。即站场内分段设置原料气检修置换系统,该系统可以保证对检修设备和管段内的高含硫原料气的完全置换,且置换气体进入放空火炬系统。

g 含硫污水采用闪蒸脱硫、密闭输送、回注地层的处理技术。

3 国外公司评估情况

2006年4月中油股份公司相继聘请 GAZPROM 公司与壳牌公司专家对“罗家寨飞仙关组鲕滩气藏开发方案”、“罗家寨飞仙关鲕滩气藏开发实施方案”进行了评估^[3]。从评估交流的情况我们认为:

国外公司在高含硫气田的开发方面起步较早,积累了较多的经验,建立了高含硫气田开发较为配套完整的设计、管理标准体系,对安全、环保、健康的意识很强,要求比较严格。国外公司通过评估提出的主要工作思路:

3.1 危害识别 (HAZID)

对高含硫气田开发,在贯彻有效减轻风险的措施之前,首先应该识别所有相关(可能)危害的构成,找出主要的健康、环境、安全方面的危害、各种情景以及控制措施。按照危害识别 (HAZID) 的建议行动,将有机会有效地降低项目的风险,同时它也提供了跟踪项目风险降低措施的方法。焦点领域如下:

- 钻井(包含井喷的情况);
- 地面设施及其布局;
- 管道、路径以及控制;
- 上述方面对附近居民和环境的影响;
- 对所有潜在事故事件的紧急反应计划(包括对居民);
- 所有 SMOPS 问题;
- 上述领域的所有界面。

3.2 HSE的设计标准

高含硫气田开发应建立一套特定的健康、安全和环境设计标准,以便所有与这个项目相关的各方都有一套统一的工作准则,包括职业健康极限(比如工人在 H_2S 中暴露的极限以及噪声极限等)和环境排放的限制(比如 H_2S 、 SO_2 的排放要求等)。为了安全,需要明确表述风险的容忍程度标准(比如定义危害波及距离、紧急反应/安全区域、风险等值线,以及衡量社会风险的相关标准)。

3.3 建立安全理念

对高含硫气田开发,需要建立包括安全理念和行为准则在内的全面 HSE 设计基础:

- 火灾和气体的检测(特别是对有毒气体);
- 主动和被动的失火和爆炸的防护(包括对特殊区域和各类火灾的消防、现场建筑物防爆等设计准则);
- ESD 和 EDP 放空(在设备放空时,建立隔离区域,以便最大程度降低对人的风险和事态升级的可能);
- 紧急反应理念(针对不同情况)可以用来指

导综合应急预案。

上述安全观相互关联,只有将它们综合起来,才能降低项目的整体 HSE 风险。

3.4 实际影响模拟 (PEM)

对于像 H_2S 和 SO_2 这样的毒气排放,需要进行实际或后果影响模拟,确定井场、设备、管道事故的影响范围,模拟结果可以指导包括疏散周围人群的应急预案制定。有几种计算机模型可以利用,包括火灾和爆炸模拟,以优化设施布局、防火设计以及针对有人的建筑物(比如控制室)的防爆设计。

3.5 HSE 体系的建立及管理

对于高含硫气田应进行项目的 HSE 总体设计,且应该由中石油 HSE 管理体系和危害影响管理程序统一管理。HSE 行动计划必须包括所有必需的行动,证明 HSE 的风险已被识别和评估,而且控制已到位,能够管理这些风险,对所有可能的事故,补救应急措施都已计划到位。为了有效管理 HSE 项目,项目管理必须系统完整,这种管理应该包括组织机构的界面,具体的项目界面,包括公司内部和外部的界面。在设计和将来的施工中,应该采用针对各种 HSE 活动的建议,以减少安全、环境和财产方面的风险,从而确保项目的利益。如果可能,应该在设计中尽量消除危害和风险,或者用更低风险的方法替代。

4 高含硫气田开发面临的挑战

4.1 HSE 的措施及管理

搞好项目的 HSE 是高含硫气田开发的根本所在,针对不同高含硫气田特点,提前进行 HSE 措施和管理方案的制定是开发工作顺利开展的保证。目前,在高含硫气田开发中对管道沿线的安全距离确定、场站安全及卫生防护距离确定等方面还没有相关的标准和规范作为依据;HSE 相关的管理内容和方法还需要进一步明确和规范。

4.2 亟待解决的关键技术

通过对高含硫单井站、试验装置的建设运行和

开展相关评价工作,总结多年来针对罗家寨高含硫整装气田开发所开展的科研和标准制定,以及罗家寨气田地面集输、净化厂的设计建设情况,结合国外公司多轮咨询、评估所提出的罗家寨气田地面工程建设可能存在的技术问题,我们认为在今后的高含硫气田开发的地面工程设计中还需要重点研究、解决以下技术问题:

4.2.1 高酸性气田开发专用缓蚀剂研制

由于不同高含硫气田开发所面临的腐蚀环境各异,在采用碳钢+缓蚀剂的技术方案以节省投资的情况下,专用缓蚀剂研制必须提前得到解决。

研究的重点是结合气质条件,开展缓蚀剂的预评价、加注浓度、加注量、加注周期、监测及有效加入的实施、缓蚀剂管理技术等内容,为工程设计的材质选择、缓蚀剂注入系统等的设计提供依据。

4.2.2 元素硫沉积及防治措施的研究

高含硫天然气在开采过程中,随着压力、温度的变化可能形成元素硫而影响正常生产,而世界范围内对元素硫的形成和预防并没有成熟的做法和经验可供借鉴,故应针对元素硫沉积机理、防腐工艺、腐蚀监测技术进行研究,优化防止硫沉积措施,为高含硫气田开发的设计提供依据。

4.2.3 高含硫耐蚀合金钢配套技术的研究

开展高含硫耐蚀合金钢配套技术研究,是高含硫气田选材和防腐技术的发展方向。

4.2.4 腐蚀情况预测的研究

国际标准及相关经验证明,在 H_2S 分压大于 1 MPa 酸性环境条件下金属材料性能可能发生新的变化,对其腐蚀情况预测研究也是一项技术研究的重点工作。

参考文献:

- [1] 王春瑶. 气田集输工艺的选择[J]. 天然气与石油, 2006, 24(5): 25-27.
- [2] 中国石油工程设计有限公司西南分公司. 罗家寨气田内部集输工程初步设计[Z]. 成都: 中国石油工程设计有限公司西南分公司, 2004.
- [3] 壳牌(中国)有限公司. 罗家寨总体开发方案壳牌技术专家组评估报告[Z]. 成都: 中国石油工程设计有限公司西南分公司, 2006.