

# 普光高酸性气田安全开发的难点与对策

曹耀峰

(中国石油化工集团公司,北京 100029)

**[摘要]** 中国石化集团公司针对高酸性气田开发具有的高风险性特征,始终遵循以安全为主导的工程建设管理理念,把安全工作作为气田开发建设的第一前提、首要基础和根本保障,强化标准制定实施、技术创新、新装备新材料研发应用、系统监督等关键环节,依靠高科技战胜高难度,通过系统控制化解高风险,用3年时间组织建成我国第一个超百亿方规模的超深高酸性大气田、世界第二大高酸性天然气净化处理厂,实践总结出了一整套我国高酸性气田安全高效开发的管理模式,形成了高含硫气藏安全高效开发配套技术及规范,对于类似气田的开发具有很好的推广和指导意义。

**[关键词]** 酸性天然气;剧毒强腐蚀;气田开发;安全开发

**[中图分类号]** TE11 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2011)08-0026-05

## 1 前言

随着中国东部陆相油田相继进入高含水期,国家经济发展迫切需要寻找新的资源接替。温家宝总理对海相油气勘探做出重要批示:“要重视油气资源战略勘查工作,争取在前新生代海相碳酸盐岩地层中有新的突破”。在几代石油人艰苦探索和不懈努力的基础上,中国石化于2003年4月27日在四川盆地东北部的四川省宣汉县发现了普光气田,圆了几代中国地质家和石油石化人的一个梦。普光气田发现后,中国石化集中优势力量开展了专项研究和系统准备,决定对普光气田实施整体开发。2006年7月4日,时任国务院副总理曾培炎听取中石化的专题汇报,将普光气田产能建设和管道输送定名为“川气东送”工程,将其列为与“西气东输”、“南水北调”、“三峡工程”、“青藏铁路”同等重要的重大工程,主要包括普光气田及其周边区块的勘探开发、酸性气体净化处理、长距离管道输送、天然气利用配套项目等,总投资626.76亿元。2007年8月31日,工程全线正式开工,2010年3月29日建成投产,用3年时间建成了我国第一个超百亿方规模的超深高酸性大气田,世界第二大高酸性天然气净化处理厂

和我国又一条横贯东西的天然气大管道。川气东送工程建成投产后,对保障国家能源安全和促进节能减排具有重大意义。

普光气田的整体开发是川气东送工程的核心工程,也是我国首次对超深高酸大气田进行自主大规模开发的创新实践。普光气田气藏的剧毒强腐蚀性等高风险因素,使安全成为关系工程建设成败的决定性条件。

## 2 普光高酸性气田开发难点

### 2.1 酸性气田的概念

酸性气田是指含有 $H_2S$ 或 $CO_2$ 等酸性气体的富集气藏。截至2007年底,我国累计探明高含硫天然气储量已超过7000亿 $m^3$ ,约占探明天然气总储量的1/6。随着海相资源勘探力度的加大,我国高含 $H_2S$ 和 $CO_2$ 天然气探明储量将进入快速增长期。目前我国已探明发现的酸性气田主要分布在川渝地区,开发历史已近40年。但过去开发的酸性气藏以中低硫为主,且规模较小。如中石油已开发的磨溪气田含硫1.1%~2.4%,中坝气田含硫6.67%~7.53%,近期投产的龙岗气田含硫4.3%。

**[收稿日期]** 2010-05-30

**[作者简介]** 曹耀峰(1953—),男,陕西渭南市人,教授级高级工程师,长期从事石油勘探开发技术与管理工;E-mail:caoyf2011@126.com

## 2.2 普光气田的主要开发难点

普光气田是中国石化2003年4月27日在四川盆地东北部发现的,截至2010年,已累计探明天然气地质储量4 122亿 $\text{m}^3$ ,是我国目前最大的超深整装高酸性大气田。普光气田集超深剧毒高压强腐蚀于一体,具有“三高一深”的特点。高酸:气藏中硫化氢平均含量15%、二氧化碳含量8%;高压:气藏平均压力55.8 MPa,井底硫化氢分压达到9.5 MPa;高产:单井平均无阻流量480.4万 $\text{m}^3$ ;超深:气藏平均埋藏深度5 974 m,属超深气藏。与国外已开发典型酸性气田相比,普光气田的显著特点超深、不含凝析油。前苏联奥伦堡气田井深1 330~1 830 m、阿斯特拉罕气田井深3 900~4 000 m,加拿大卡罗林气田井深3 720 m,法国拉克气田井深3 800 m,均含凝析油。

从工程技术角度看,普光气田的开发主要有以下难点:a. 普光气田开发技术及安全管理缺乏标准体系:普光气田的气藏特性及地质地貌环境的复杂性,使其规模开发面临无标准可依的困境。从国际上看,相关标准侧重于产品和实验评价,缺乏施工和作业类标准,而且相关企业采取了严格的商业保密措施。从国内看,酸性气田勘探开发标准多是框架指导和原则性规范,覆盖专业不全,缺乏技术操作性,特别是标准配套整体滞后于技术发展,新技术应用缺乏标准依据;b. 钻井工程技术难点:由于普光气田平均埋藏深度大于5 000 m,属超深气藏,导致钻井施工过程中“喷、漏、塌、卡、陡”等技术难题交集出现,同时,由于海相上覆地层坚硬,可钻性级值在5级以上,造成建井周期长、投资高,另外国内施工队伍对高酸性结构、管材选择无经验,对固井水泥浆体系、固井工艺也需学习借鉴和攻关,特别是高温、高压、高酸气井的井控、人身安保等都存在极大风险,其中,硫化氢具有致命危险,对设备材料具有强腐蚀性;c. 采气工程技术难点:对超长井段(300~600 m)射孔的材料、传爆、防震等配套技术需要自己研发,对高产、高压、高酸气井试气工艺和配套设备需求没有实践经验,对巨厚海相气层大酸量(300~1 000 $\text{m}^3$ )酸压改造的酸液配方、施工工艺和投产管柱优化需探索研究;d. 集输工程技术难点:缺乏山地高酸性混输工程设计、材料选择及焊接施工经验,缺乏高酸气田腐蚀防护、硫沉积防治、泄漏监控等经验;e. 气体净化工程技术难点:由于系国内首次建设超大型高含硫天然气净化厂,没有相关

设计及施工经验,大型设备制造、安装难度大,复合材料和抗硫材料焊接技术要求高;f. 硫化氢防护难点:由于普光气田处于川东北地区,居住人口稠密,道路崎岖复杂,应急救援及医疗救护难度较大,同时周边居民对硫化氢防范知识匮乏,地方缺乏专业医疗急救设备和救护经验等都增加了救护难度。

对于普光气田“三高一深”带来的工程建设上的诸多技术难点,国内外专家和国际油气公司均认为是世界级难题。

## 3 普光气田的安全开发实践

酸性气田开发需要解决的关键问题是防止气田建设和生产过程中出现硫化氢泄露,并杜绝因硫化氢泄露对人员和周边环境造成危害。普光气田的安全开发得益于周密完备的预防和保障措施:a. 在预防上,通过工程技术、装备材料的集成创新以及强化标准体系建设和加强全流程严格管理,实现硫化氢在生产过程中不喷、不漏、不泄;b. 在安全保障上,建设高标准、全覆盖的应急救援体系,确保出现意外的情况下有能力消除危害。

### 3.1 靠装备材料技术创新与严格的科学管理确保硫化氢不喷、不漏、不泄

#### 3.1.1 积极推进工程技术创新,用高科技化解高难度

为解决气田开发过程中超深井钻井、试气投产、酸气集输、大型净化等技术难题,我们坚持“学习借鉴、攻关创新、集成应用”紧密衔接的科技创新路径,组建了产学研一体化的技术攻关团队,组织实施了“高含硫气藏安全高效开发技术”、“大型高含硫气田开发示范工程”两项国家科技重大专项,组织开展了12项课题、47项子课题的研究,完成了气体钻井技术、高酸性气井完井技术、超长井段(600 m)射孔技术、一体化酸压投产技术、湿气集输技术和120亿 $\text{m}^3$ 酸气净化厂配套技术等一系列科技攻关;针对工程建设和新技术现场应用过程中遇到的难题,在工程建设一线组织实施了空气雾化钻井、旋转尾管固井、多级暂堵酸化压裂、大排量酸气焚烧测试等63项先导试验,实现了产学研攻关与现场试验良性互动,加快了科技攻关、技术集成和技术成果的规模化应用,形成了国内首套适应超深高酸性气田规模开发的气藏工程优化、钻井综合配套、测试及生产完井、集输工程、大型高酸气净化处理等五大工程技术系列,为建成我国首个超百亿方超深高酸大气田提供了技术支撑。

3.1.2 以本质安全为目的,全面提升装备材料的抗腐蚀等级

硫化氢对设备材料具有强腐蚀性。调研了国外高酸性气田开发工程选用的设备、材料现状以及选配经验,在此基础上经反复实验和测试研究,确定了关键装备材料的抗腐蚀、抗高压等级。

井口防喷器,普光气田开发井使用 35 ~ 70 MPa 高抗硫防喷器(HH 级);外围重点探井中使用 105 MPa 压力高抗硫防喷器(HH 级)。产层套管,均采用双抗级别(抗硫化氢、二氧化碳)。地面节流管汇,按照普通抗硫(EE 级)、部分高抗硫(HH - EE 级)、全部高抗硫(HH 级)3 种防硫级别配备;放喷管线由  $\phi 89$  mm 更换为  $\phi 103$  mm,节流阀由针型改为楔块式,与液气接触的阀室内表面全部涂防硫材料,阀件本体用防硫材料制作。钻井液,加入除硫剂,保证 pH 值在 9.5 以上,防止钻具氢脆,现场储备 20 t 除硫剂。重点井配备防硫钻杆,安装双节流、四条放喷管线、双液气分离器和气动下灰加重装置。

为满足气田长期生产对设备材料的要求,组织开展了全面的腐蚀监测和室内实验研究,进一步掌握了硫化氢高压高温下的相态、超临界的流态、高分压对材料腐蚀、单质硫析出危害等相关技术参数,并据此制定了“抗硫管材 + 缓蚀剂 + 腐蚀监测 + 阴极保护 + 智能清管”联合防腐工艺路线和技术措施。

抗硫管材:集输管道采用 L360 抗硫碳钢,井口 - 加热炉单井集气管道采用 825 镍基合金,放空管线采用 A333 - 6 低温抗硫碳钢;缓蚀剂:采用涂膜 + 连续加注工艺;腐蚀监测:采用腐蚀挂片、电阻探针、线性极化探针和电指纹等腐蚀监测技术;阴极保护:采用强制电流阴极保护,设 6 座阴极保护站;智能清管检测:引进智能清管检测技术进行管道清洁、几何测量和金属损失检测。

### 3.1.3 创新制订酸性气田开发工程建设标准体系

针对国内缺乏规模开发超深高酸性气田工程技术标准的实际,应把标准的制订实施作为保障工程安全建设的源头。在借鉴经验和实践总结的基础上,组织制订了国内首套适应超深高酸性气田规模开发、涵盖气藏开发、石油工程等 7 大业务领域的 51 项标准,在工程建设中实施效果良好,填补了国内超深高酸性气田工程技术企业标准体系的空白。其中,气体钻井技术、空气钻井条件下的录井技术、PDC 钻头钻井条件下的录井技术及含硫化氢条件

下电缆测井作业等 6 项标准属国际首创,《垂直钻井推荐作法》等 12 项技术标准属国内首创。

### 3.1.4 把严格执行标准作为工区铁的纪律

设计和工程技术方案是确保新标准全面执行的基础。制订实施了设计方案三级审查机制,通过严格设计单位资质、严密论证优化、严把方案审查、精细优化技术措施、严控方案变更,以保证新标准全面体现在设计方案之中。实施工程建设现场督导机制,采取监理旁站、专家驻井督导、关键工序全程督导、重点工程领导挂牌督导、前线督导组区域督导等措施,对施工全过程进行实时现场跟踪,确保施工严格按照设计标准实施。

### 3.1.5 建设全覆盖的安全管理体系

建立严密的四级安全监管体系,层层落实安全监管责任。组建并强化专业安全监督队伍,严格现场检查,重点强化井控管理和硫化氢防护;严格责任追究,坚持把隐患当事故来对待,把违章当事故来处理;组织开展“反陋习、抓细节”活动,把隐患消灭在萌芽状态。

## 3.2 建设安全保障体系,具备处理意外事故的能力

### 3.2.1 建设覆盖全工区的自动报警系统

在气田生产区域,全面运用全自动化的远程控制、数据采集与传输技术,采用“SCADA + ESD + SIS + 激光泄漏监测”控制方案;在集输站场、阀室、管线、隧道等部位,安装硫化氢检测仪、可燃气体检测仪、火焰探测器、腐蚀监测仪、电指纹监测仪、视频摄像头等监控报警装置;为确保附近居民能及时获取相关信息,设计安装了紧急疏散广播系统,共计修建基站 6 座、安装紧急疏散广播点 287 个,每个点安装 3 只户外号角喇叭。

### 3.2.2 建设覆盖全流程的四级自动关断系统

在国内首次组织设计安装了从单井、站场、管线到整个气田的四级自控连锁关断系统,既实现了一个生产环节的独立关断,又实现了气田的一次性整体关断。

### 3.2.3 建设覆盖全岗位的现场防护体系

牢固树立以安全为主导的工程建设理念,组织开展了以“超深高酸性气田开发建设标准宣贯”为主要内容的全员安全培训,先后组织 7 万余人次接受安全培训,实现了全员 100 % 持证上岗。

为现场施工人员配备了正压式空气呼吸器、备用气瓶、便携式硫化氢气体报警仪等装备;在涉硫作业现场,安装了固定式硫化氢检测仪探头、风向标、

逃生路线图、硫化氢警示标识牌等设施,并绘制设备现场摆放图,确保意外情况下能够无障碍紧急疏散;制订实施涉硫作业安全许可证制度,进入现场人员都必须经过硫化氢防护培训,切实掌握硫化氢防护技能,并要求施工单位定期组织开展防硫应急演练和现场模拟逃生演练。

#### 3.2.4 确定安全防护距离

针对气田所处山区环境及人口稠密的特点,组织开展了硫化氢在不同气象、地形条件下的扩散规律研究。根据硫化氢扩散模拟结果,研究确定了高标准的安全设防距离,对普光气田酸气管道、集输站场、天然气净化厂分别按 100、300、800 m 设防,并配合地方政府对设防距离以内的 2 603 户居民实施了整体搬迁。

#### 3.2.5 建设企地联合应急救援体系

组织专项投资建设应急救援中心,配备先进应急救援设备,建立专兼职应急救援队伍,形成工区完善的应急救援体系。根据工区分布,建设了普光、元坝两个应急救援中心站,配置了消防坦克、强风抢险车等国内一流的先进装备,具备了处置重(特)大规模的井喷失控、硫化氢泄漏、火灾、爆炸、环境灾害、自然灾害等事故的能力,并在汶川大地震抢险救灾过程中经受了实战考验。其中,普光应急救援中心被评为国家级油气田救援示范基地。

建立多方高效联动的应急协调机制,实现了企地之间的应急联动。根据普光气田的特点,与当地政府建立了分公司与县、厂与乡、站与村三级应急联动管理模式,编制了宽领域、广覆盖的应急预案,并在当地政府备案,同时坚持组织施工队伍开展应急演练和定期组织开展大型企地应急演练。同时,进

一步完善了医疗救护措施,与地方市、县、乡三级医疗机构签订了医疗互助协议,以援建地方医院专科建设,配备了高压氧舱等专业救护设备,并定期组织员工和周边居民开展硫化氢防护和自救知识培训。

工程建设全过程未发生重(特)大安全生产事故,未发生参建人员和周边群众硫化氢中毒事件,并经受住了汶川大地震等自然灾害的严峻考验。川气东送工程安全高效地建设投产,标志着我国具备了大规模安全开发超深高酸气藏的能力,为国内同类酸性复杂气藏开发起到了示范作用。

## 4 我国酸性气田安全开发的发展及建议

中石化集团有限公司在普光气田安全有效开发的基础上,在四川盆地重点围绕元坝礁滩、黑池梁、川东北中浅层、川东南区块等四大重点积极开展勘探评价工作,力争“十二五”实现新增探明储量 6 000 亿  $m^3$ 。应用普光超深高酸性气田勘探开发工程技术,到“十二五”末期,在元坝地区新建天然气产能 60 亿  $m^3/a$ 。

基于我国经济社会发展对天然气急剧上升的实际需求以及酸性气田开发所面临的特殊高风险环境,提出了关于“加快研究制订我国酸性气田安全开发行业标准”的建议。标准是确保安全的源头。由于国内目前尚无酸性气田开发的行业及国家标准体系,制约了酸性气田安全开发技术的推广以及气田规模开发的效能。中石化制订的酸性气田开发标准体系,是在普光气田开发实践中总结创建出来的,也是该行业国内首套企业标准体系。中石化希望与各兄弟单位及行业专家学者加强合作,加快制订出我国酸性气田安全开发的行业标准。

# Difficulties and measures for security development of Puguang high-sour gas field

Cao Yaofeng

(China Petrochemical Corporation, Beijing 100029, China)

[ **Abstract** ] Considering the high-risk characteristics of the high-sour gas field development, China Petrochemical Corporation follows the management concepts focusing on safety all the time in the project construction and makes safety the first precondition, primary basis and essential guarantee for the gas field development. By means of strengthening the key links such as standard establishment and implementation, technical innovation, new equipments and new materials R&D and application, system supervision, etc. , it overcomes the superior difficulties with high technology and handles the high risks with system control. As a result, it has built the first ultra-deep and high-sour large gas field of China with the scale of over 10 billion cubic meters and the second largest high sour gas purifying plant in the world in 3 years. Meanwhile, it has summarized a complete management mode for developing domestic high-sour gas fields and formed the supporting technologies and specifications for developing high sulfur content gas reservoirs safely and effectively, which has important popularizing and guiding meaning on developing similar gas fields.

[ **Key words** ] sour gas; rank poison and strong corrosion; gas field development; security development