

# 高酸性气田开发安全工程概论

## ——普光气田安全工程实践

曹耀峰<sup>1,2</sup>

(1. 中国石油化工集团总公司,北京 100728; 2. 中国石化川气东送建设工程指挥部,四川达州 635000)

**[摘要]** 面对我国首个特大型超深高酸性普光气田的开发建设系统工程,在吸取前人惨痛教训的基础上,坚持科学发展观,以全新的安全理念统揽整个系统工程,突出观念转变、标准规范、本质安全、系统监督等环节,形成了高酸性气田开发配套的安全工程,确保了普光超深高酸性气田开发建设工程的胜利完成。

**[关键词]** 酸性气田;开发建设;安全概论

**[中图分类号]** TE3 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2010)10-0009-05

## 1 前言

川气东送工程是国家“十一五”重大工程,是中国石化集团公司成立以来投资规模最大的工程,也是第一个上中下游项目整体规划、整体设计、整体实施的系统工程,包括勘探、开发、气田地面集输、净化厂、川气东送天然气管道、区域公用工程、矿区基地建设、达州化肥、川维天然气利用、川东北至川西输气联络线等10项工程。其中普光高酸性气田大规模开发建设工程是风险最大的核心工程,面临特殊的气藏特征,天然气中剧毒硫化氢含量高达15% (井底硫化氢分压值达9.5以上)、二氧化碳含量高达10%,这种混合气体集高压、剧毒、强腐蚀和生态环境敏感于一体,特别是钻井工程面对“喷、漏、塌、卡、毒”等安全隐患,安全风险更大。普光气田净化厂工程是目前亚洲第一、世界第二大规模的天然气净化工程,国内尚无可供借鉴的先例和经验,工程设计、施工工艺、安全保障面临很大挑战。川气东送管道工程是中国石化第一条天然气长输管道,总长2 170 km,跨越山峦起伏、沟壑纵横的山区地带,山体隧道72条总长92.7 km,翻越大山1 114座,管道最高高程1 716 m,跨越最大坡角80°~85°;沿长江水网复杂地形地貌,穿越长江7次、中小型河流

501次,施工环境之恶劣复杂在世界管道建设史上罕见。可以说系统工程中每一个环节都存在着世界级难题。我们坚持科学发展观,实施安全管理的“4全”模式,即树立全新的安全理念,全方位建立标准规范,全系统质量保障,全过程严格监管。

## 2 树立高酸性气田开发工程的全新安全理念

全新的安全理念,是指有一个系统安全工程规划,树立全员全新安全理念,实行全方位每个细节的质量监控,监督每一个关键环节的安全保障。

面对的开发对象存在着硫化氢剧毒致命的风险,存在高压气流失控引爆的危险,历史的教训是惊世惨痛的。我国南方某井钻井过程失控井喷,大量硫化氢扩散造成几百人死亡的特大事件。大西北某井高压气流失控引发强烈井喷、燃爆,几个月抢险造成巨大损失。回顾往事,确实心有余悸。但究其原因,一是认识不足。由于缺乏科学研究,对海相超深含硫化氢气田开发工程的客观规律认识不到位,如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,硫化氢气体喷发扩散等规律。二是不按规律办事。主要反映在用传统的装备材料、传统的标准规程、传统的工艺技术、传统的

**[收稿日期]** 2010-07-28; **修回日期** 2010-08-09

**[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

安全管理办法实施工程建设。不讲科学,重大伤亡事故也就再所难免。

树立全员全新的安全理念,强化人的本质安全,要解决“谈虎色变”的恐惧心理,既要认知“虎”的危害,又具控制“虎”的技能。行之有效的办法就是强化组织全员高标准综合培训,严格工区施工队伍准入制度,提高安全准入门槛。重点狠抓钻井、作业、测井、焊接等特种作业培训,严格先培训后上岗,达到100%持证上岗。首先对高层管理人员和工程技术人员组织了百人国外培训,重点提高系统工程管理和高端技术操控能力。同时组织大规模的国内培训工作,聘请了相关专家确定培训内容,编审培训教材,制定培训制度,落实培训师资。编发了《硫化氢防护技术》普通版和高级版、《事故案例读本》和《硫化氢防护常识手册》等十多种教材。严格按照集团公司规定的要求,对所有进入川东北地区的人员,严格按照“先培训后上岗”原则。从指挥部领导到每一个职工,先后共计2万余人次接受了岗前培训。对一线操作工人还组织了实战示范演练,以确保其具备川东北地区特殊的安全保护意识和技能,做到了全员持证上岗。从而消除了心理上的压力,全员安全的意识得到了落实。

### 3 制定全方位高酸性气田开发企业的企业标准规范

全方位建立高酸性气田开发工程标准规范,就是要解决标准规范不全面、不系统、操作性不强的难题。经过全面调研国内外有关高酸性气田开发建设标准和规范,在借鉴综合、科研攻关和实践总结的基础上编制一套企业标准和规范,体现了全面性、系统性和可操作性。

工程技术标准规范是方案、设计、装备、施工、管理的基础,是保障本质安全的源头。超深高酸性气田建设缺乏配套的工程技术标准可以借鉴,通过开展国内外相关标准及技术应用调研,经专家组多次论证,确立了超深高酸性气田工程技术标准体系。同时集国内知名高等院校、科研院所和大型专业企业,组织了产学研三结合的优势团队,开展了国家级重大科研攻关项目《高含硫气藏安全高效开发技术》、《四川盆地普光大型高含硫气田开发示范工程》等科研攻关,中国石化内部也组织了《川东北地区大型气田勘探目标及关键技术研究》、《南方复杂深井钻井关键技术研究》、《普光气田产能建设关键

技术研究》、《川气东送管道工程技术研究》等重点科研攻关工作,还组织了川东北工区短平快的先导项目51项。这些科研攻关成果经过现场实践检验,有效地解决了高含硫气藏开发的气藏工程、安全钻井、完井、采气、集输工艺、特殊材料焊接、系统安全控制技术和高抗硫材料设备等一系列配套技术难题,形成了超深高酸气田钻井配套技术;形成了高酸气田投产作业配套技术;形成了高酸气田湿气集输、净化工程设计、工艺管道焊接、系统分级应急连锁关断、大口径管道穿跨越等配套技术;形成了高酸气田开发建设全过程硫化氢系统检测与安全防护技术,为工程技术标准的制定奠定了基础。

在中国石化编制的高酸性气田勘探开发企业标准系列框架指导下,重点突出了物探、钻井、测录井、试气测试与投产作业、集输工程、安全环保等专业标准的制定工作。组织了200多人经过一年多时间的努力,共完成了51项企业标准的制修订工作,填补了国内该类气田工程技术全面系统标准的空白,经专家评审认为整体处于国际先进水平。通过集中贯标、岗前培训、技术交流、专家授课等形式,开展广泛的标准宣贯工作,强化标准的执行,有效规范工程设计、施工、装备配套、管理等重点环节,为现代化管理创新奠定了基础,提高了工程技术管理水平。确保工程技术本质安全的科学合理,为安全标准规范制订奠定了基本保障。

### 4 以创优质工程为主线奠定全系统工程本质安全基础

全系统本质安全主要包括方案的优化、设计的科学、装备的配备和优质的施工。方案的优化遵循“安全、优质和效益”三统一的原则,既借鉴国外成熟的经验,又不照搬国外的模式,根据气藏的特点、地理环境、国内技术水平、自主的科研成果和设计原则相结合,在引进了Black& Veatch大型脱硫净化工艺设计包的基础上,开展大型设备选型及结构尺寸的优化设计、大型硫磺回收装置的平面布置、高温大口径管道和脱硫炉应力分析、大尺寸管道器材和大型化阀门选用、大型硫磺燃烧炉工程、大型液硫储罐技术、特大型散装硫磺圆形料场储存系统、大型余热锅炉技术开发等一批项目的技术攻关研究,集成发展了天然气净化厂自主设计技术,掌握了大型装置设计、制造、运输、优化配置等关键技术,完成了我国第一套大型净化装置的工艺包设计。与加拿大

VECO公司合作开展了集输工艺选择、流程设计、腐蚀控制、环境安全防护等大量的基础技术研究,制定了“全湿气加热保温混输、抗硫管材+缓蚀剂+阴极保护+智能清管防腐、SCADA+ESD+声波泄露监测控制、截断阀室+ERP+紧急疏散广播+应急火炬系统安全措施”总体技术路线,解决了人口稠密山区高酸性地面集输场站、酸气管道建设方案难题。自主创造性地优化了井网井型的选择、从式井间距的确定、投产工艺、大口径管道路径、采气集输净化三系统四级安全测控联锁集成等方案,使系统工程方案的各个环节达到安全、优质和高效的目标。

设计的科学性体现在标准依据、实验依据、计算依据和严格审定等方面。我们参照了国际上最先进的标准,坚持设计的高水准,对国内外尚无标准或标准没有涵盖的关键点,则采用先进的最新实验设备取得的实验成果和科学的计算结果作为依据,大胆创新实践。用“五严”控制关键环节:严格设计单位资质、严密的论证优化、严细的技术措施、严格工程设计审查、严控方案变更程序。工程设计严格执行工程设计单位—业主—指挥部三级审查机制,以确保设计的科学严谨和本质安全。

设备和材料的配备选择也是本质安全的关键因素。经过调研国外高酸性气田开发工程选用的设备和材料现状,特别是高压、高温类似气田的选配经验,认为如此大规模既高含硫化氢,又高含二氧化碳的混合型酸性气田的开发极为少有。采用引进和国产相结合的办法解决设备和材料的选择,经过实验测试研究,做出了大胆的优化决策。在初期引进了抗硫钻井封井器、高抗硫钻杆、HH级高抗硫采气井口、井下封隔器、高温焚烧炉、净化厂抗硫反应塔和高镍合金套管、集输管材等设备材料;同时集团公司组织国内大型专业公司联合开展抗硫封井器、抗硫套管、镍基合金油管、105 MPa HH级高抗硫采气井口、高温焚烧炉、大口径管道等装置、材料的国产化研制工作,既推动国内石油工业制造技术升级和相关产业的发展,又满足了高质量的本质安全需求,为降低建设成本创造了条件。

优质的施工是确保本质安全的最后一关。紧紧抓住工程质量这个核心,把强化质量管理与创建国家优质工程相结合,努力实现优质工程目标。重点是抓好三项工作:一是构建工程质量保证体系,建立指挥部、业主、监理、承包商四个层次的质量控制管理组织机构,全面推行领导干部工程质量事故问责

制,组织了包括外商的200多人的工程施工质量检测 and 监管队伍,建立实施激励与约束相结合的质量奖惩机制;二是实施了全员质量管理、全方位质量管理和全过程质量管理的质量管理模式,确保质量监管责任层层分解到项目部、施工队、班组、岗位、工序,严格落实以施工单位自检、第三方抽检、业主飞检相结合的质量监管流程;三是深入开展工程创优活动,制订创优计划、创优标准、考核办法,明确职责,落实责任,积极开展刻样板、抓反面典型等活动。三项工作的落实既体现了领导抓、抓领导;抓职工、职工抓;抓细节、全程抓,有效地保障了创优工程的目标实现。

同时配套了创优质施工必需的后方支撑设备和队伍,投入大型钻机、气体钻井设备、大型压裂机组、山地模块作业机、双级双泵固井车、高压高抗硫防喷器组、地面双节流压井管汇等装备,为优质施工提供了必要的手段;建立了钻具维护检测站、钻井液检测中心、固井技术服务中心、井下打捞技术服务中心、物资储备中心等专业化服务队伍,为质量监督提供了可靠的后勤保障。

## 5 实行全过程的严格安全管理实现安全工程目标

深刻认识工程建设特点与风险,把安全提到事关工程建设成败和对国家、人民生命财产负责的高度来认识。把安全作为一项系统工程来抓,抓安全管理制度建设,抓安全基础设施建设,抓全过程严格监督,是确保高酸性气田开发安全工程目标实现的有效管理途径。

现代企业把管理作为生产力的重要要素,安全工程当然也不能例外,管理的基础又必然定位在制度管理,所以作为普光高酸性气田开发安全工程,必须抓好安全制度建设。制度建设重点立足于全新安全理念建设,立足于执行全方位制定的标准,立足于全过程质量监控。我们在学习、借鉴和实践的基础上,逐步建立了从职工培训、安全职责、过程监督、节点验收、奖惩制度等方面的系列安全工程规章制度。突出重点规范和关键操作制度,包括《中国石化川气东送建设工程安全生产管理规定》,《中国石化川气东送建设工程石油与天然气井井控管理规定》,《关于钻井工程检查验收管理的规定》,《普光气田试气投产平台交叉作业安全环保特别管理规定》,《中国石化川气东送建设工程安全生产事故行政责

任追究规定》,《处级以上领导干部基层联系点制度》《中国石化川气东送工区安全环保培训教育管理的规定》,《中国石化川气东送建设工程指挥部应急管理的规定》等 50 多项规章制度,明确了全方位的执行规范和职责,做到行有依据,罚有章。这一整套高酸性气田开发工程安全管理的规章制度,充分体现了川气东送安全工程“以人为本,和谐施工”的精神。

有了必要的制度,还得创建实施的必备安全设施建设。其重头戏就是投资 3 亿多元人民币建设以普光应急救援中心为主体的应急救援网络(见图 1~图 3)。

应急救援中心建设主要包括应急救援管理中心、环境监测站、消防、气防站、泥浆储备站、医疗救护队等。应急分站主要有消防、气防、医疗、应急泥浆和物资储备等设施及设备。应急救援网络覆盖了中国石化川东北目前的整个勘探开发区域。同时组建了消防、气防、环境监测、医疗救护、应急抢险和泥

浆配送等专业人员。仅普光应急救援中心就配备了 218 人,配置了研制的专用消防坦克和大马力各型消防车、气防车、强力风车、急救车和各种配套车辆等 48 台,以及各类器材几百种,并按预案备足了充裕的抢险物资。

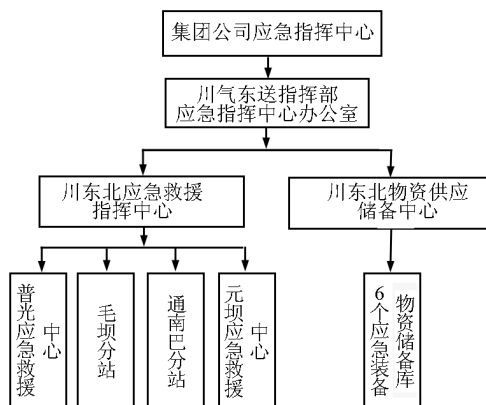


图 1 中国石化川东北地区应急救援体系  
Fig. 1 Emergency rescue system of SINOPEC in northeast of Sichuan province

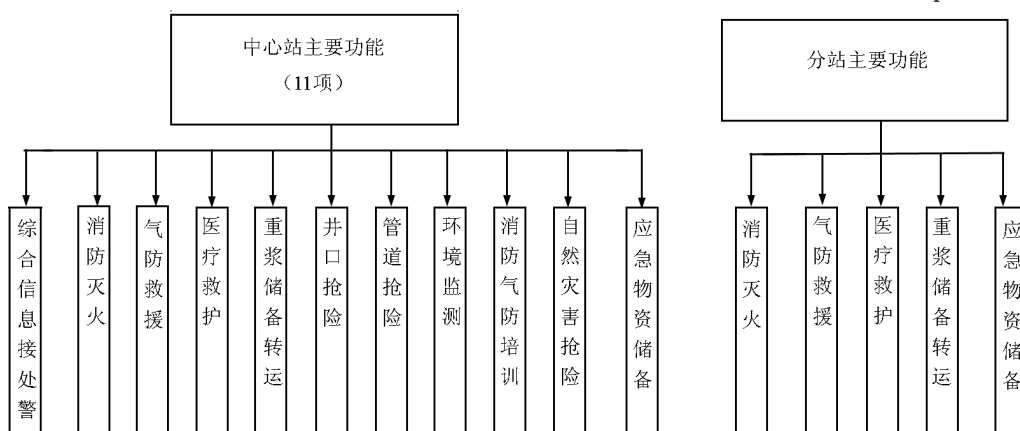


图 2 应急救援中心站与分站功能

Fig. 2 The function of Emergency rescue central station and branch station

抓好系统工程建设的全过程监管是安全工程的最关键的环节。首先建立中国石化总部、前线指挥部、各承建单位和施工单位“四级”监管体系及机制;其次是严控工程事故隐患关键节点;再则是严格监管贯穿于建设全过程。总部由安环局组织以安环部为主的定期督查组,每季度组织全系统督查,指挥部安环部每月组织重点检查,承建单位每旬组织全方位检查,施工单位每日检查。督查中突出隐患关键节点,如井控关键装置、钻具配制、重浆准备、测井试气准备、投产流程和应急预案演练等。对关键工序严格执行作业票证制度,如钻开海相地层,净化投产前系统检测等。安全全过程监管主要体现在没有通过安全教育的员工不准上岗,没有安全保障的设

计不通过,没有安全保障的项目不开工,没有安全保障的现场不施工,没有达到安全标准的物资装备不准安装使用,没有工序安全验收不准下道工序施工,没有安全验收的工程不得交割。全过程安全监管确保了“川气东送”安全工程目标的实现。

国家“十一五”重点工程之一的“川气东送”建设工程,历经 3 年,在 3 万余名管理、科研、施工人员的艰辛奋斗下,攻难克险,学习、攻关、实践、总结,形成了高酸性气田开发系统工程的“四全”安全管理模式。相信这既是中国石化高风险工程安全工作的成果,也应该是我国安全工作的一项宝贵的社会财富。

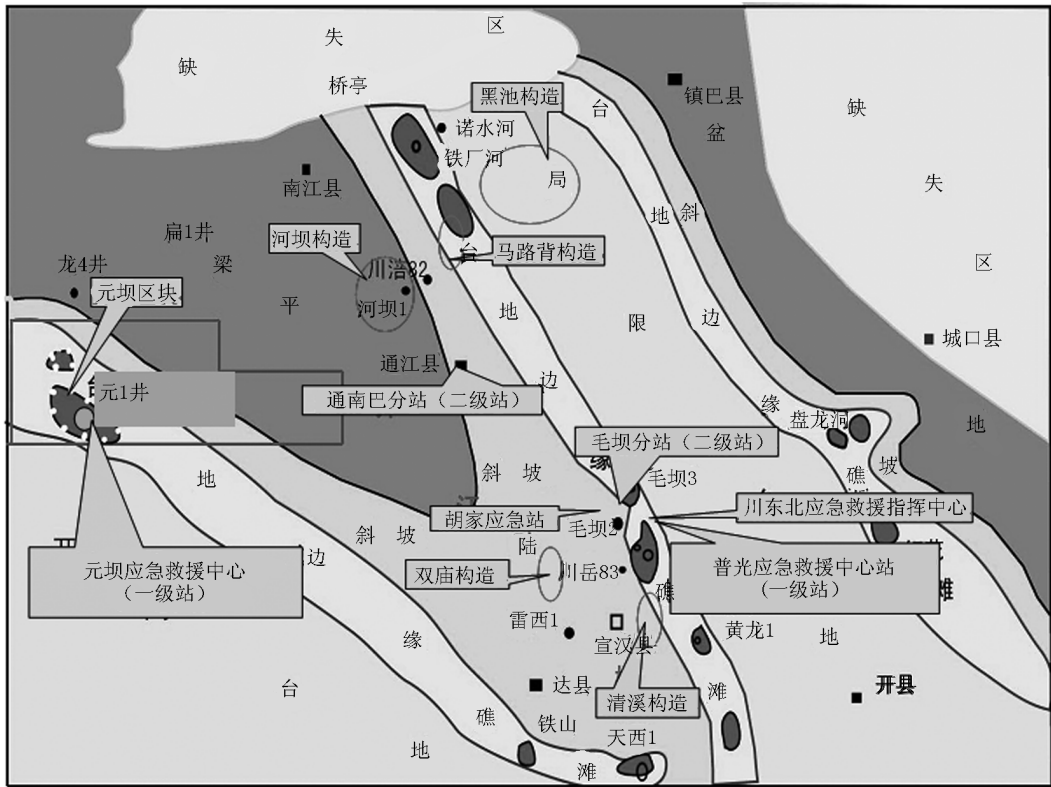


图3 川东北地区应急救援中心及站点建设规划布局

Fig.3 The plan locations of Emergency rescue centre and branch station in northeast of Sichuan province

## Safety engineering introduction for development of gas field with high H<sub>2</sub>S content—safety engineering practice in Puguang Gas Field

Cao Yaofeng<sup>1,2</sup>

(1. China Petrochemical Corporation, Beijing 100728, China; 2. The Headquarters of Sichuan-to-East Gas Transmission Project, SINOPEC, Dazhou, Sichuan 635000, China)

[Abstract] Facing the development and construction engineering of China's first large gas field with high H<sub>2</sub>S content and ultra depths, on predecessors' bitter lesson basis, we adhered to the scientific concept of development and adopted a new security concept to fulfill the system engineering, and highlight concept change, standards, supervision and other links. As a result, systematic technologies of safety engineering and development of gas field with high H<sub>2</sub>S content have been formed, which ensured that the development construction project of Puguang Gas Field can be successfully completed.

[Key words] gas field with high H<sub>2</sub>S content; development construction; safety engineering introduction