

高含硫气田职工培训教材

高含硫气田硫化氢防护

熊良淦 编著



中國石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

高含硫气田职工培训教材

高含硫气田硫化氢防护

熊良淦 编著

中国石化出版社

内容提要

本书详细介绍了普光分公司硫化氢防护技术的最新成果, 日常生产作业中硫化氢防护遇到的问题 and 解决办法, 是企业 HSE 管理水平的真实写照。本书适合高含硫化氢油气田及其他石油石化企业的管理人员和企业员工阅读使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

高含硫气田硫化氢防护/熊良淦编著.
—北京: 中国石化出版社, 2014. 5
高含硫气田职工培训教材
ISBN 978-7-5114-2776-2

I. ①高… II. ①熊… III. ①高含硫原油-气田开发-硫化氢-防护-职工培训-教材 IV. ①TE38

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 089363 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭, 或者以任何形式或任何方式传播。版权所有, 侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址: 北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编: 100011 电话: (010) 84271850

读者服务部电话: (010) 84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 8.75 印张 128 千字

2014 年 7 月第 1 版 2014 年 7 月第 1 次印刷

定价: 38.00 元

高含硫气田职工培训教材

编写委员会

主任：王寿平 陈惟国

副主任：盛兆顺

委员：郝景喜 刘地渊 张庆生 熊良淦 姜贻伟
陶祖强 杨发平 朱德华 杨永钦 吴维德
康永华 孔令启

编委会办公室

主任：陶祖强

委员：马洲 王金波 程虎 孔自非 邵志勇
李新畅 孙广义

教材编写组

组长：熊良淦

副组长：廖家汉 邵理云 臧磊 张分电 焦玉清
马新文 苗辉

成员：李国平 朱文江 时冲锋 洪祥 肖斌
姚建松 周培立 苗玉强 陈琳 樊营

序


2003年，中国石化在四川东北地区发现了迄今为止我国规模最大、丰度最高的特大型整装海相高含硫气田——普光气田。中原油田根据中国石化党组安排，毅然承担起了普光气田开发建设重任，抽调优秀技术管理人员，组织展开了进入新世纪后我国陆上油气田开发建设最大规模的一次“集团军会战”，建成了国内首座百亿立方米级的高含硫气田，并实现了安全平稳运行和科学高效开发。

普光气田主要包括普光主体、大湾区块（大湾气藏、毛坝气藏）、清溪场区块和双庙区块等，位于四川省宣汉县境内，具有高含硫化氢、高压、高产、埋藏深等特点。国内没有同类气田成功开发的经验可供借鉴，开发普光气田面临的是世界级难题，主要表现在三个方面：一是超深高含硫气田储层特征及渗流规律复杂，必须攻克少井高产高效开发的技术难题；二是高含硫化氢天然气腐蚀性极强，普通钢材几小时就会发生应力腐蚀开裂，必须攻克腐蚀防护技术难题；三是硫化氢浓度达1000ppm（ $1\text{ppm}=1\times 10^{-6}$ ）就会致人瞬间死亡，普光气田高达150000ppm，必须攻克高含硫气田安全控制难题。

经过近七年艰苦卓绝的探索实践，普光气田开发建设取得了重大突破，攻克了新中国成立以来几代石油人努力探索的高含硫气田安全高效开发技术，实现了普光气田的安全高效开发，创新形成了“特大型超深高含硫气田安全高效开发技术”成果，并在普光气田实现了工业化应用，成为我国天然气工业的一大创举，使我国成为世界上少数几个掌握开发特大型超深高含硫气田核心技术的国家，对国家天然气发展战略产生了重要影响。形成的理论、技术、标准对推动我国乃至世界天然气工业的发展作出了重要贡献。作为普光气田开发建设的实践者，感到由衷的自豪和骄傲。

在普光气田开发实践中，中原油田普光分公司在高含硫气田开发、生产、集输以及 HSE 管理等方面取得了宝贵的经验，也建立了一系列的生产、技术、操作标准及规范。为了提高开发建设人员技术素质，2007 年组织开发系统技术人员编制了高含硫气田职工培训实用教材。根据不断取得的新认识、新经验，先后于 2009 年、2010 年组织进行了修订，在职工培训中发挥了重要作用；2012 年组织进行了全面修订完善，形成了系列《高含硫气田职工培训教材》。这套教材是几年来普光气田开发、建设、攻关、探索、实践的总结，是广大技术工作者集体智慧的结晶，具有很强的实践性、实用性和一定的理论性、思想性。该教材的编著和出版，填补了国内高含硫气田职工培训教材的空白，对提高员工理论素养、知识水平和业务能力，进而保障、指导高含硫气田安全高效开发具有重要的意义。

随着气田开发的不断推进、深入，新的技术问题还会不断出现，高含硫气田开发和安全生产运行技术还需要不断完善、丰富，广大技术人员要紧密结合高含硫气田开发的新变化、新进展、新情况，不断探索新规律，不断解决新问题，不断积累新经验，进一步完善教材，丰富内涵，为提升职工整体素质奠定基础，为实现普光气田“安、稳、长、满、优”开发，中原油田持续有效和谐发展，中国石化打造上游“长板”作出新的、更大的贡献。



2013 年 3 月 30 日

前 言

普光气田是我国已发现的最大规模海相整装气田，具有储量丰度高、气藏压力高、硫化氢含量高、气藏埋藏深等特点。普光气田的开发建设，国内外没有现成的理论基础、工程技术、配套装备、施工经验等可供借鉴。决定了普光气田的安全优质开发面临一系列世界级难题。中原油田普光分公司作为直接管理者和操作者，克服困难、积极进取，消化吸收了国内外先进技术和科研成果，在普光气田开发建设、生产运营中不断总结，逐步积累了一套较为成熟的高含硫气田开发运营与安全管理的经验。为了固化、传承、推广好做法，夯实安全培训管理基础，填补高含硫气田开发运营和安全管理领域培训教材的空白，根据气田生产开发实际，组织技术人员，以建立中国石化高含硫气田安全培训规范教材为目标，在已有自编教材的基础上，在已有自编教材的基础上，编著、修订了《高含硫气田职工培训教材》系列丛书，该丛书包括《高含硫气田安全工程》《高含硫气田采气集输》《高含硫气田净化回收》《高含硫气田应急救援》，总编陈惟国。其中，《高含硫气田安全工程》培训教材包含《高含硫气田 HSE 管理》《高含硫气田硫化氢防护》《高含硫气田采气井控》三本，每本教材单独成册。

《高含硫气田硫化氢防护》为《高含硫气田安全工程》培训教材中的一本，理论基础与操作技能并重，内容与国标、行标、企标的要求一致，贴近现场操作规范，具有较强的适应性、先进性和规范性，可以作为高含硫气田职工安全培训使用，也可以为高含硫气田开发研究、教学、科研提供参考。本册教材主编熊良淦，副主编康永华、孔令启。

内容共分 7 章，涵盖了硫化氢防护基础知识，硫化氢防护设备的操作使用，硫化氢对设备的腐蚀与防治，防硫化氢应急演练等，第 1 章由马洲、孙

广义编写，第2章由夏焕生、苗玉强编写，第3章由许辽辉、陈琳编写，第4章由程虎、刘建云编写，第5章由荣林、樊营编写，第6章由卞莲芳、赵谦编写，第7章由张世杰、杨大静编写。本教材由苗玉强统稿。参加编审的人员还有李国平、朱文江、时冲锋、洪祥、肖斌、姚建松、周培立等。

在本教材编著过程中，各级领导给予了高度重视和大力支持，陈惟国同志对做好教材编著工作多次作出指导，熊良淦、张庆生、廖家汉、邵理云、臧磊、张分屯、焦玉清、苗辉对教材进行了审定，普光分公司多位管理专家、技术骨干、技能操作能手为教材的编审修订贡献了智慧，付出了辛勤的劳动，编审工作还得到了中原油田培训中心的大力支持，中国石化出版社对教材的编审和出版工作给予了热情帮助，在此一并表示感谢！

高含硫气田开发生产尚处于起步阶段，安全管理经验方面还需要不断积累完善，恳请在使用过程中多提宝贵意见，为进一步完善、修订教材提供借鉴。

目 录

第 1 章 认识硫化氢	(1)
1.1 硫化氢的基本性质	(1)
1.2 硫化氢的来源及易出现场所	(6)
1.3 硫化氢浓度的计量单位与防护	(9)
复习思考题	(15)
第 2 章 硫化氢监测与防护设备	(16)
2.1 硫化氢监测设备	(16)
2.2 呼吸保护设备	(24)
复习思考题	(39)
第 3 章 硫化氢现场救护	(40)
3.1 硫化氢中毒机理	(40)
3.2 现场急救应急程序	(42)
3.3 现场救护病人的搬运方式	(47)
3.4 心肺复苏术 (CPR)	(50)
3.5 现场急救药品、器材配备	(54)
复习思考题	(56)
第 4 章 硫化氢对设备的腐蚀及防护	(57)
4.1 硫化氢对材料的腐蚀	(57)
4.2 硫化氢的腐蚀机理	(59)
4.3 影响硫化氢腐蚀的因素	(62)
4.4 硫化氢腐蚀的控制措施	(63)
复习思考题	(66)

第 5 章 其他有害气体的防护	(67)
5.1 二氧化硫	(67)
5.2 一氧化碳	(73)
5.3 天然气	(78)
5.4 二氧化碳	(81)
复习思考题	(90)
第 6 章 含硫气田特殊要求	(92)
6.1 设计安装要求	(92)
6.2 受限空间的操作	(98)
6.3 含硫气井的生产管理	(101)
6.4 含硫天然气处理装置的操作	(103)
复习思考题	(107)
第 7 章 高含硫化氢气田应急管理	(108)
7.1 应急管理总体概述	(108)
7.2 应急体系建设	(111)
7.3 普光气田应急管理	(113)
复习思考题	(127)



1.1 硫化氢的基本性质

硫化氢是一种无色、剧毒、易燃易爆的酸性气体。一个硫化氢分子由两个氢原子和一个硫原子组成，俗称氢硫酸。掌握它的物理性质和化学性质，是我们在工作中做好硫化氢防护的基础。

1.1.1 硫化氢的物理性质

硫化氢又名氢二硫，其水溶液称氢硫酸，其物理特性如下。

1.1.1.1 剧毒性

硫化氢毒性是一氧化碳毒性的5~6倍，几乎与氰化物毒性相同（中毒症状为头痛、头晕、恶心、昏迷、死亡）。

1.1.1.2 状态

硫化氢的自燃点260℃，熔点-80℃，沸点-60℃，因此通常都是气态的，密度比空气略大。标准状况下硫化氢的密度=34g/22.4L=1.52g/L（或相对密度1.189），硫化氢易向地势低的地方聚集。发现硫化氢泄漏，要择机逃往上风方向、地势较高的地方。

1.1.1.3 色和味

硫化氢气体无色。低浓度（0.13~4.6ppm）时，呈臭鸡蛋味；高含量时，人的嗅觉神经会很快被麻痹而失去知觉。因此凭嗅觉检测硫化氢是不允许的。

1.1.1.4 可溶性

硫化氢气体能溶于水、乙醇、甘油等液体，常温时1体积水能溶解2.6体积

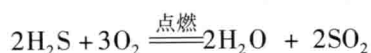
的硫化氢，液体流动、减压、加热都能挥发出硫化氢气体。作业时应特别注意，避免硫化氢中毒。

1.1.2 硫化氢的化学性质

硫化氢的分子式为 H_2S ，相对分子质量为 34.08，具有以下化学性质。

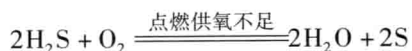
1.1.2.1 可燃性（在空气中自燃温度 $260^{\circ}C$ ）

(1) 完全燃烧：



H_2S 点燃，呈淡蓝色火焰，生成有毒的二氧化硫气体。

(2) 不完全燃烧：



(3) 爆炸极限：

可燃物质（可燃气体、蒸气和粉尘）与空气（或氧气）必须在一定的浓度范围内均匀混合形成预混气，遇着火源才会发生爆炸，这个浓度范围称为爆炸极限。硫化氢的爆炸极限是 4.3% ~ 46%，硫化氢在这个浓度范围，遇到着火源就会发生爆炸。其他气体的爆炸极限如表 1-1-1 所示。

表 1-1-1 几种气体的爆炸极限比较

气体的爆炸极限（ $20^{\circ}C$ 及 1atm 下）					
物质名称	爆炸极限/%（体积）		物质名称	爆炸极限/%（体积）	
	下限	上限		下限	上限
甲烷	5.00	15.00	乙烯	2.75	28.60
乙烷	3.22	12.45	乙炔	2.50	80.00
丙烷	2.37	9.50	氢	4.00	74.20
丁烷	1.86	8.41	硫化氢	4.30	45.50

1.1.2.2 还原性



氧化产物和还原产物的质量比是 2:1。硫化氢上述可燃性与还原性的反应，事实上就是净化厂克劳斯炉中的主反应。

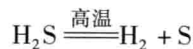
1.1.2.3 腐蚀性

硫化氢溶于水形成弱酸，对金属的腐蚀有电化学失重腐蚀、氢脆、硫化物应力腐蚀开裂。氢脆破坏往往造成井下管柱的突然断落，地面管汇和仪表的爆裂、井口装置的破坏，导致严重的井喷失控或火灾、爆炸事故。电化学失重腐蚀是钢材在湿硫化氢环境中易引发腐蚀破坏，对金属设备和输送管道造成强烈腐蚀。

硫化氢加速非金属材料老化，地面集输工程的设备、阀门很多是橡胶、侵油石墨、石棉绳等非金属材料制作的密封件，在硫化氢环境中使用一段时间后，橡胶会鼓泡、胀大失去弹性，侵油石墨、石棉绳上的油被溶解从而失效。

1.1.2.4 不稳定性

硫化氢在较高温度时，分解成氢气和硫。



1.1.3 硫化氢对人体的危害

1.1.3.1 硫化氢具有很强的毒性

硫化氢主要通过呼吸系统、少量经过皮肤和消化道吸收进入人体并参与人体的新陈代谢对人体造成伤害。硫化氢是一种神经性毒素，可与人体内部某些酶发生作用，抑制细胞呼吸，造成组织缺氧。也会与血液中溶解的氧发生化学反应，当硫化氢的量较大时会引起神经麻痹，使人体器官严重缺氧，造成中毒甚至死亡。具体影响及危害如表 1-1-2 所示。

表 1-1-2 硫化氢对人的生理影响及危害

在空气中的浓度			暴露于硫化氢的典型特性
% (V)	ppm	mg/m ³	
0.000013	0.13	0.18	通常，在大气中含量为 0.195mg/m ³ (0.13ppm) 时，有明显和令人讨厌的气味，在大气中含量为 6.9mg/m ³ (4.6ppm) 时就相当显而易见，随着浓度增加，嗅觉就会疲劳，气体不再能通过气味来辨别
0.001	10	15	有令人讨厌气味；眼睛可能受刺激。美国政府工业卫生专家协会推荐的阈限值 (8h 加权平均值)； 我国规定几乎所有工作人员长期暴露都不会产生不利影响的最大硫化氢浓度
0.0015	15	21.61	美国政府工业卫生专家联合会推荐的 15min 短期暴露范围平均值
0.002	20	30	在暴露 1h 或更长时间后，眼睛有烧灼感，呼吸道受到刺激，美国职业安全与健康局的可接受上限值。工作人员在露天安全工作 8h 可接受的硫化氢最高浓度
0.005	50	72.07	暴露 15min 或 15min 以上的时间后嗅觉就会丧失，如果时间超过 1 小时，可能导致头痛、头晕和 (或) 摇晃。超过 75mg/m ³ (50ppm) 将会出现肺水肿，也会对人员的眼睛产生严重刺激或伤害
0.01	100	150	3~15min 就会出现咳嗽、眼睛受刺激和失去嗅觉，5~20min 过后，呼吸就会变样、眼睛就会疼痛并昏昏欲睡，1h 后就会刺激喉道，延长暴露时间将逐渐加重这些症状。我国规定对工作人员生命和健康产生不可逆转的或延迟性的影响的硫化氢浓度
0.03	300	432.40	明显的结膜炎和呼吸道刺激。 注：此浓度拟定为立即危害生命或健康，参见 (美国) 国家职业安全与健康学会 DHHS No 85-114 《化学危险袖珍指南》
0.05	500	720.49	短期暴露后就会不省人事，如不迅速处理就会停止呼吸、头晕、失去理智和平衡感。患者需要迅速进行人工呼吸和 (或) 心肺复苏技术
0.07	700	1008.55	意识快速丧失，如果不迅速营救，呼吸就会停止并导致死亡。必须立即采取人工呼吸和 (或) 心肺复苏技术
0.10 +	1000 +	1440.98 +	立即丧失知觉，结果将会产生永久性的脑伤害或脑死亡。必须迅速进行营救，应用人工呼吸和 (或) 心肺复苏技术

注：表中数据来源于《含硫化氢油气井安全钻井推荐作法》(SY/T 5087—2005)。

1.1.3.2 高含硫化氢气田应急响应

《含硫化氢油气井安全钻井推荐作法》(SY/T 5087—2009)所推荐的一种钻井应急响应程序,目前广泛地运用于钻井施工作业中的应急管理。该标准大量吸收了美国钻井应急管理的理念和普遍作法,特别是完全引用了 API 推荐的这一应急程序。因此,此应急程序可以说是国际上钻井应急管理的通行做法,具体程序如下。

(1) 硫化氢浓度达到 $15\text{mg}/\text{m}^3$ (10ppm) 时,按如下程序启动应急程序:

- 立即安排专人观察风向、风速,以便确定受侵害的危险区;
- 切断危险区的不防爆电器的电源;
- 安排专人佩戴正压式空气呼吸器到危险区检查泄漏点;
- 非作业人员撤入安全区。

(2) 硫化氢浓度达到 $30\text{mg}/\text{m}^3$ (20ppm) 时,按如下程序启动应急程序:

- 戴上正压式空气呼吸器;
- 向上级(第一责任人及授权人)报告;
- 指派专人至少在主要下风口 100m、500m、1000m 处进行硫化氢监测。

需要时监测点可适当加密;

- 实施井控程序,控制硫化氢泄漏源;
- 撤离现场的非应急人员;
- 清点现场人员;
- 切断作业现场可能的着火源;
- 通知救援机构。

(3) 发生井喷失控时,按下列程序立即执行:

- 由现场总负责人或其指定人员向当地政府报告,协助当地政府做好井口 500m 范围内居民的疏散工作,并根据监测结果,决定是否扩大疏散范围;
- 关停生产设施;
- 设立警戒区,任何人未经许可不得入内;
- 请求援助并立即点火。

(4) 井喷失控且硫化氢浓度达 $150\text{mg}/\text{m}^3$ (100ppm) 时,现场作业人员应按

预案立即撤离井场。现场总负责人应按应急预案的通讯表通知其他有关机构和相关人员（包括政府有关负责人）。由施工作业单位和油气生产经营单位按相关规定分别向其上级主管部门报告。

(5) 重新控制井口，在采取控制和消除措施后，继续监测危险区大气中的硫化氢及 SO_2 浓度，以确定在什么时候方能重新安全进入。

1.2 硫化氢的来源及易出现场所

1.2.1 硫化氢生成机理

硫化氢是硫原子和氢原子结合而成的气体。硫和氢都存在于动、植物的机体中，在高温、高压及细菌作用下，有机物分解可产生硫化氢。此外，某些化学反应和蛋白质在缺氧情况下分解也可产生硫化氢。例如，在工业生产作业中，含硫石油的开采和提炼，天然气开采和净化，采矿和从矿石中提炼铜、镍、钴等，煤的低温焦化，橡胶、人造丝、鞣革、硫化染料、造纸、颜料、菜腌渍、甜菜制糖、动物胶等生产均可产生硫化氢；开挖整治沼泽地、沟渠、水井、下水道、潜涵、隧道、垃圾、污物、粪便囤积处以及分析化验室的化学实验有硫化氢产生；火山喷气和矿下积水，也常有硫化氢存在。世界卫生组织资料显示，全世界有70多个职业都会遇到硫化氢。而在天然气开发气井中硫化氢主要来源于以下几个方面：

- (1) 热作用于油气层时，油气中的有机硫化物分解，产生出硫化氢；
- (2) 石油中的烃类和有机质通过储集层水中的硫酸盐的高温还原作用而产生硫化氢；
- (3) 通过裂缝等通道，下部地层中硫酸盐层的硫化氢上窜而来；
- (4) 油气井钻井作业中，钻井液处理剂在高温热分解作用下产生硫化氢；
- (5) 注水过程中，注入液体中的硫酸盐被细菌及微生物分解后对地层产生硫化氢。

1.2.2 天然气气藏分类

硫化氢气田在区域分布上，多存在于碳酸盐岩-蒸发岩地层中，其含量随地层埋深增加而增大。根据我国含硫气藏的划分标准（SY/T 6168—1995），将含硫气藏场分为 5 类。

- (1) 微含硫化氢： H_2S 体积含量小于 0.0013%。
- (2) 低含硫化氢：： H_2S 体积含量为 0.0013% ~ 0.3%。
- (3) 中含硫化氢气藏： H_2S 含量为 0.3% ~ 2%。
- (4) 高含硫化氢气藏： H_2S 含量为 2% ~ 10%。
- (5) 特高含硫化氢气藏： H_2S 含量为 10% 以上。

普光气田硫化氢含量很高，属于特高含硫化氢气藏，多数气井硫化氢含量在 14% ~ 18% 之间。

1.2.3 硫化氢易出现的地方

1.2.3.1 钻井作业现场

含硫气田钻井时硫化氢主要存在于循环罐、振动筛、过浆槽、井口和钻台等地方。

1.2.3.2 修井作业现场

修井作业现场的硫化氢主要存在于装载场所、调整或维修仪表、循环罐、油罐、储浆罐等处。

1.2.3.3 油气集输现场

油气集输现场的硫化氢主要存在于增压间、计量站、水、油或乳剂的储藏罐；用来分离油和水、乳化剂和水的分离器；空气干燥器；输送装置、集油罐及其管道系统；用来燃烧酸气的放空池和放空管汇等地方。

1.2.3.4 天然气净化厂油气炼化现场

炼化现场的硫化氢主要存在于密封件、连接件、法兰、处理装置包括冷凝装置、排泄系统、取样凡尔及其他破裂部位等。