

石油工人技术培训系列丛书

# 钻井作业

## 硫化氢防护

李 强 高碧桦 杨开雄 王 勇 编



石油工业出版社

石油工人技术培训系列丛书

# 钻井作业硫化氢防护

李 强 高碧桦 杨开雄 王 勇 编

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书主要介绍了硫化氢的来源、硫化氢的理化性质及对人体的危害、钻井工程硫化氢腐蚀与防腐、钻井作业的安全措施、硫化氢中毒的早期抢救与护理、硫化氢监测仪器与防护器具,以及钻井作业的有关硫化氢防护标准,并附有典型案例。

本教材可供含硫化氢油气井钻井作业人员培训使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

钻井作业硫化氢防护/李强等编.

北京:石油工业出版社,2006.8

(石油工人技术培训系列丛书)

ISBN 7-5021-5660-7

I. 钻…

II. 李…

III. 油气钻井-硫化氢-防护-技术培训-教材

IV. TE38

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 090361 号

---

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www.petropub.cn

发行部:(010)64210392

经 销:全国新华书店

排 版:北京乘设伟业科技排版中心

印 刷:石油工业出版社印刷厂

---

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

787×960 毫米 开本:1/16 印张:9.75

字数:157 千字 印数:1—5000 册

---

定价:18.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

# 《石油工人技术培训系列丛书》

## 编 委 会

主 任：郑 虎

副 主 任：李万余 王永春 孙祖岭 白泽生

刘志华 孙金瑜

委 员：(按姓氏笔画排序)

上官建新 万志强 马卫东 马平凡

马自勤 王立民 王忠仁 尹君泰

申尧民 石柱臣 许 飞 许大坤

朱长根 向守源 百连刚 齐振林

张凤山 张景仁 张 剑 张启英

张晗亮 李储龙 李越强 岳丛林

范卓璞 段世民 钟启钢 郭向东

侯浩杰 赵益红 郝春生 夏中伏

郭跃武 韩 炜

# 《钻井作业硫化氢防护》

## 编 写 组

编写人员：李 强 高碧桦 杨开雄 王 勇  
审 稿 人：伍贤柱 陈忠实 韩烈祥 曾时田  
刘同斌 马宗金 林安村 陈常修  
王多金 冉金成 陈 刚 王仕水  
甘升平

# 努力造就更多的高技能人才

(代序)

《石油工人技术培训系列丛书》的出版,十分及时,很有必要,对加强中国石油天然气集团公司(以下简称“集团公司”)经营管理、专业技术和操作技能三支人才队伍建设,特别是操作技能人才队伍建设具有重要意义。

小康大业,人才为本。集团公司员工队伍中的高技能人才,是推动技术创新和实现科技成果转化不可缺少的重要力量,是集团公司三支人才队伍中重要组成部分。集团公司各项事业的发展,不仅需要广大专家的智慧 and 心血,也需要千千万万高技能人才的聪明和才智。长期以来,集团公司高技能人才奋战在油田勘探开发、炼油化工等生产一线,为科技成果的转化、产业结构的升级、企业竞争力的增强,发挥了不可替代的作用。我们要像尊重高级专家那样尊重高技能人才,要像重视高级专家那样重视高技能人才,要像关心高级专家成长那样关心高技能人才的成长。只有三支人才队伍比翼齐飞,各自发挥应有的作用,才能带动集团公司这艘巨轮乘风破浪,扬帆远航。

这些年,集团公司大力实施人才强企战略,坚持三支人才队伍一起抓,紧紧抓住培养、吸引和使用三个环节,不断改进人才工作方式方法,积极营造有利于各类人才脱颖而出的环境,有力推进了三支人才队伍建设,为建设跨国企业集团提供了人才保障。其中,在操作技能人才队伍建设方面,制定了《集团公司加强高技能人才队伍建设的意见》和《技师、高级技师管理办法》,积极组织技师、高级技师培训,全面开展班组长培训,不断提高技能鉴定工作质量,组织开展职业技能竞赛,促进了操作技能队伍素质的不断提高。但是,进一步加强高技能人才队伍建设,尽快形成一支结构合理、技术精湛、一专多能、适应国际市场规范施工作业要术的操作技

能人才队伍,仍是一项十分重要而紧迫的任务。《石油工人技术培训系列丛书》的编写与出版,将为加强操作技能人才队伍培训,造就更多的高技能人才,发挥重要作用。

这套丛书从生产实际出发,以满足需求为导向,以促进员工持续学习为目的,以重点培养员工的学习能力、实践能力和创新能力为目标,内容涵盖勘探、开发、炼化、销售等领域,实践性和针对性都很强。同时,大批专家的参与写作也使教材的权威性有了保证。希望这套丛书的出版发行,能为促进集团公司员工培训工作的深入开展,为促进更多高技能人才的成长,为形成一支门类齐全、梯次合理、素质优良、新老衔接、充分满足集团公司持续有效较快协调发展需要的人才队伍做出积极的贡献。

中国石油天然气集团公司党组成员、副总经理

2005年1月28日

# 前 言

硫化氢是一种剧毒性气体,含硫化氢的油气井一旦失控发生井喷事故,将导致灾难性的悲剧。例如,1993年华北油田的赵48井井喷失控,喷出大量硫化氢气体,造成7人死亡,464人中毒,22万余人迁移;四川的垫25井井喷失控,使方圆数千米范围内的百姓转移;2003年罗家16H井井喷失控,高含硫天然气造成243人死亡、2000余人中毒、井场周边5千米范围内6万余人紧急大转移。硫化氢气体不仅严重威胁人们的生命安全、污染环境,同时对钻井作业设备、工具和井下管材也会造成严重的腐蚀破坏,因此,我们必须高度重视钻井作业硫化氢防护。

现场作业人员、现场监督及管理人员都应掌握以下知识。

(1)了解硫化氢的危害:

- 硫化氢对人体的危害;
- 硫化氢对金属材料的腐蚀;
- 硫化氢加速非金属材料的老化;
- 硫化氢对钻井液的污染。

(2)了解井场地形、钻机设备布局与本地季节风向之间的关系,硫化氢监测仪器放置情况,报警器音响特点和风向指示器位置,以及安全撤退路线等。

(3)熟悉钻人含硫化氢地层作业时的安全规定和作业程序。

(4)掌握硫化氢监测仪器和防护器具的结构、性能以及正确使用和维护方法;具备救护硫化氢中毒人员的知识和基本技能。

(5)熟悉工作场所的应急预案。

本书在编写过程中,参考了原重庆石油高等专科学校、中油HSE重庆培训中心、中原石油勘探局钻井井控培训中心、大港油田钻井培训中心的一些资料,并得到伍贤柱、韩烈祥、曾时田等专家的具体指导,在此表示衷心感谢。

编 者

2006年3月



# 目 录

<b>第一章 硫化氢的来源及浓度概念</b> .....	(1)
第一节 硫化氢的来源 .....	(1)
第二节 硫化氢浓度概念 .....	(2)
<b>第二章 硫化氢的物理化学性质及对人体的危害</b> .....	(4)
第一节 硫化氢的物理化学性质 .....	(4)
第二节 硫化氢对人体的危害 .....	(4)
<b>第三章 硫化氢腐蚀</b> .....	(8)
第一节 金属的电化学失重腐蚀 .....	(8)
第二节 金属的氢脆和硫化物应力腐蚀开裂 .....	(11)
第三节 影响硫化氢腐蚀的主要因素 .....	(12)
第四节 硫化氢对非金属材料 and 钻井液的影响 .....	(15)
<b>第四章 钻井工程防硫化氢腐蚀措施</b> .....	(16)
第一节 材料的选用 .....	(16)
第二节 涂层保护 .....	(18)
第三节 提高钻井液防腐性能 .....	(19)
<b>第五章 含硫油气井钻井作业的安全措施</b> .....	(26)
第一节 井场及钻井设备的布置 .....	(26)
第二节 地质及工程设计的要求 .....	(27)
第三节 井用管材材质及井控设备安装 .....	(27)
第四节 硫化氢的监测及人身安全防护 .....	(29)
第五节 硫化氢防护演习 .....	(30)
第六节 钻井安全作业 .....	(31)
第七节 应急预案的制定及实施 .....	(36)
<b>第六章 硫化氢中毒的早期抢救与护理</b> .....	(46)
第一节 硫化氢中毒的早期救护 .....	(46)
第二节 心肺复苏 .....	(49)

<b>第七章 硫化氢监测仪器与防护器具</b> .....	(56)
<b>第一节 便携式硫化氢监测仪</b> .....	(56)
<b>第二节 固定式硫化氢监测仪</b> .....	(65)
<b>第三节 防毒面具</b> .....	(69)
<b>第四节 空气呼吸器</b> .....	(71)
<b>附1 赵48井及罗家16H井井喷案例</b> .....	(90)
<b>附2 SY/T 5087—2005《含硫化氢油气井安全钻井推荐作法》</b> .....	(96)
<b>附3 SY/T 6277—2005《含硫油气田硫化氢监测与人身安全防护规程》</b> .....	(135)
<b>参考文献</b> .....	(144)

# 第一章 硫化氢的来源 及浓度概念

## 第一节 硫化氢的来源

硫化氢( $\text{H}_2\text{S}$ )是硫和氢结合而成的气体。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,经分解可产生硫化氢。在天然气生产、高含硫原油生产中经常能遇到硫化氢。油气井中的硫化氢主要来源于以下四个方面(见图 1-1):



图 1-1 油气井钻井中硫化氢的主要来源

- (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、有机质与储集层水中的硫酸盐经高温还原作用而产生硫化氢。
- (3) 通过地层裂缝等通道,下部地层中硫酸盐层的硫化氢上窜而来。在非热采区,因底水运移,将含硫化氢的地层水推入生产井中。
- (4) 油气井钻井作业中,钻井液的某些处理剂在高温作用下发生热分解以及钻井液中细菌的作用都可能产生硫化氢。

含硫化氢油气田在区域分布上,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。

## 第二节 硫化氢浓度概念

### 一、硫化氢浓度单位

描述某种流体中的硫化氢浓度有以下三种方式。

#### (一) 体积分数

指硫化氢在某种流体中的体积比,单位为%或 $\text{mL}/\text{m}^3$ ,现场所用硫化氢监测仪器通常采用的单位是ppm, $1\text{ppm} = 1\text{mL}/\text{m}^3$ 。

#### (二) 质量浓度

指硫化氢在 $1\text{m}^3$ 流体中的质量,常用 $\text{mg}/\text{m}^3$ 或 $\text{g}/\text{m}^3$ 表示,该单位为我国的法定计量单位。

#### (三) 硫化氢分压

指在相同温度下,一定体积天然气中所含硫化氢单独占有该体积时所具有的压力。

### 二、单位之间的换算关系

$$1\% = 14414\text{mg}/\text{m}^3$$

$$1\text{ppm} = 1.4414\text{mg}/\text{m}^3$$

$$\text{硫化氢分压} = \text{硫化氢体积分数}(\%) \times \text{总压力}$$

### 三、几个重要的概念

#### (一) 含硫化氢天然气

指天然气的总压等于或大于 $0.4\text{MPa}$ ( $60\text{psi}$ ),而且该天然气中硫化氢

分压等于或大于 0.0003MPa;或硫化氢含量大于  $75\text{mg}/\text{m}^3$  (50ppm) 的天然气。

## (二) 酸性天然气—油系统

含硫化氢天然气—油系统是否属于酸性天然气—油系统按有关条件划分。

(1) 当天然气与油之比大于  $1000\text{m}^3/\text{t}$  时,按含硫化氢天然气条件划分。

(2) 当天然气与油之比小于  $1000\text{m}^3/\text{t}$  时:

①若系统的总压力大于 1.8MPa,则按含硫化氢天然气的条件划分;

②若系统的总压力等于或小于 1.8MPa,天然气中硫化氢分压大于 0.07MPa 或硫化氢体积分数大于 15% 时,则为酸性天然气—油系统。

## (三) 阈限值

阈限值指几乎所有工作人员长期暴露都不会产生不利影响的某种有毒物质在空气中的最大浓度。硫化氢的阈限值为  $15\text{mg}/\text{m}^3$  (10ppm), 二氧化硫的阈限值为  $5.4\text{mg}/\text{m}^3$  (2ppm)。阈限值为硫化氢检测的一级报警值。

## (四) 安全临界浓度

安全临界浓度是指工作人员在露天安全工作 8h 可接受的最高浓度。硫化氢的安全临界浓度为  $30\text{mg}/\text{m}^3$  (20ppm), 此浓度为硫化氢检测的二级报警值。

## (五) 危险临界浓度

达到危险临界浓度时,对生命和健康会产生不可逆转的或延迟性的影响。硫化氢的危险临界浓度为  $150\text{mg}/\text{m}^3$  (100ppm), 此浓度为硫化氢检测的三级报警值。

## 第二章 硫化氢的物理化学 性质及对人体的危害

### 第一节 硫化氢的物理化学性质

硫化氢是一种无色、有臭鸡蛋味、剧毒、可燃和具有爆炸性的气体,其主要的物理化学性质如下:

- (1)一种无色气体,沸点为 $-60.2^{\circ}\text{C}$  ( $-76.4^{\circ}\text{F}$ )。
- (2)在 $0.3 \sim 4.6\text{ppm}$ 的低浓度时,可闻到臭鸡蛋味;当浓度高于 $4.6\text{ppm}$ 时,人的嗅觉迅速钝化而感觉不出它的存在,因此气味不能用作警示措施。
- (3)毒性较一氧化碳大 $5 \sim 6$ 倍,几乎与氰化氢的毒性相同。
- (4)燃点为 $260^{\circ}\text{C}$  ( $500^{\circ}\text{F}$ ),燃烧时呈蓝色火焰,产生有毒的二氧化硫,危害人的眼睛和肺部。
- (5)在 $15^{\circ}\text{C}$  ( $59^{\circ}\text{F}$ )、 $0.10133\text{MPa}$  ( $1\text{atm}$ )下相对密度为 $1.189$ ,比空气略重,极易在低洼处聚集。
- (6)其与空气混合浓度达 $4.3\% \sim 46\%$ 时将形成一种爆炸混合物。
- (7)易溶于水和油,在 $20^{\circ}\text{C}$ 、 $1$ 个大气压下, $1$ 体积的水可溶解 $2.9$ 体积的硫化氢。溶解度随溶液温度升高而降低。
- (8)含硫化氢的水溶液对金属具有强烈的腐蚀作用。

### 第二节 硫化氢对人体的危害

#### 一、危害的生理过程

硫化氢只有进入人体并与人体的新陈代谢发生作用后,才会对人体造成伤害。硫化氢侵入人体的途径有三条:

- (1)通过呼吸道吸入;
- (2)通过皮肤吸收;
- (3)通过消化道吸收。

硫化氢主要通过人的呼吸器官对人产生伤害,只有少量经过皮肤和胃进入人的肌体。吸入的硫化氢大部分滞留在呼吸道里。硫化氢与呼吸道粘膜的表面接触时与碱反应生成  $\text{Na}_2\text{S}$ ,  $\text{Na}_2\text{S}$  具有刺激和腐蚀作用。但硫化氢对人体的危害主要在于对肌体总的危害上。

硫化氢是一种神经毒剂,亦为窒息性和刺激性气体,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。硫化氢进入人体,将与血液中的溶解氧发生化学反应。当硫化氢浓度极低时,它将被氧化,会压迫中枢神经系统,对人体威胁不大;中等浓度硫化氢会刺激神经;而硫化氢浓度较高时,将夺去血液中的氧,会引起神经麻痹,使人体器官缺氧,造成人中毒,甚至死亡。

硫化氢对血液的氧化作用最初表现为红血球数量升高然后下降,血红蛋白的含量下降,血液的凝固性和粘度上升。硫化氢中毒时,人体血红蛋白对氧气的呼吸能力将大幅下降,致使血液中氧气的饱和能力降低。

硫化氢被吸入人体,通过呼吸道,经肺部,由血液运送到人体各个器官。首先刺激呼吸道,使嗅觉钝化,引发咳嗽,严重时呼吸道被灼伤;接着眼睛被刺痛,严重时将失明;刺激神经系统,导致头晕,丧失平衡,呼吸困难;心脏跳动加速,严重时心脏缺氧导致死亡。

硫化氢中毒发病机理:

(1)血液中高浓度硫化氢可直接刺激颈动脉窦和主动脉区的化学感受器,导致反射性呼吸抑制。

(2)硫化氢可直接作用于脑,低浓度时起兴奋作用;高浓度时起抑制作用,引起呼吸中枢和血管运动中枢麻痹。

(3)硫化氢引起呼吸暂停、肺水肿以及血氧含量降低,可致继发性缺氧,从而导致中毒人员发生多器官功能衰竭。

(4)硫化氢遇到眼睛和呼吸道粘膜表面的水分后分解,对粘膜有强刺激和腐蚀作用,引起不同程度的化学性炎症反应。对组织损伤最重,易引起肺水肿。

(5)硫化氢可使冠状血管痉挛、心肌缺血、水肿、炎性浸润及心肌细胞内氧化,造成心肌损害。

## 二、中毒症状

### (一)慢性中毒

人体暴露在低浓度硫化氢环境(如 50 ~ 100ppm)下,将会慢性中毒,症状是:头痛、晕眩、兴奋、恶心、口干、昏睡、眼睛剧痛、连续咳嗽、胸闷及皮肤过敏等。长时间在低浓度硫化氢条件下工作,也可能造成人员窒息死亡。

长期与低浓度硫化氢接触,常出现神经衰弱综合症和植物神经功能紊乱。硫化氢主要作用于中枢神经系统和呼吸系统,亦可伴有心脏等多器官损害。

### (二)急性中毒

吸入高浓度的硫化氢气体会导致气喘,脸色苍白,肌肉痉挛;当硫化氢浓度大于 700ppm 时,人很快失去知觉,几秒钟后就会窒息,心脏停止工作,如果未及时抢救,会迅速死亡。而当硫化氢浓度大于 2000ppm 时,只要吸一口气,就会立即死亡。

硫化氢急性中毒后,会引起肺炎、肺水肿、脑膜炎和脑炎等疾病。经硫化氢中毒后,人对其敏感性将提高,如人的肺在硫化氢中毒后,即使空气中硫化氢浓度较低时,也会引起新的中毒。

## 三、人体对不同浓度硫化氢的反应

硫化氢浓度与对人危害程度关系见表 2-1(引自 SY/T 5087—2005《含硫化氢油气井安全钻井推荐作法》)。

表 2-1 硫化氢浓度与对人危害程度表

硫化氢在空气中的浓度			暴露于硫化氢中的典型表现
体积分数		质量浓度 mg/m <sup>3</sup>	
%	ppm		
0.000013	0.13	0.18	通常,硫化氢在大气中含量为 0.195mg/m <sup>3</sup> (0.13ppm)时,有明显和令人讨厌的气味,在大气中含量为 6.9mg/m <sup>3</sup> (4.6ppm)时气味就相当显而易见。随着浓度的增加,嗅觉就会疲劳,气体不再能通过气味来辨别



续表

硫化氢在空气中的浓度			暴露于硫化氢中的典型表现
体积分数		质量浓度 mg/m <sup>3</sup>	
%	ppm		
0.001	10	14.41	有令人讨厌的气味。眼睛可能受刺激。美国政府工业卫生专家公会推荐的阈限值(8h加权平均值)
0.0015	15	21.61	美国政府工业卫生专家公会推荐的15min短期暴露范围平均值
0.002	20	28.83	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
0.005	50	72.07	暴露15min或15min以上的长时间后嗅觉就会丧失,如果时间超过1h,可能导致头痛、头晕和(或)摇晃。超过75mg/m <sup>3</sup> (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	144.14	3~15min就会咳嗽、眼睛受刺激和失去嗅觉。在5~20min过后,呼吸就会受阻、眼睛就会疼痛并昏昏欲睡,在1h后就会刺激喉道。延长暴露时间将逐渐加重这些症状
0.03	300	432.40	出现明显的结膜炎和呼吸道刺激 <sup>①</sup>
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 以上	1000 以上	1440.98 以上	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

<sup>①</sup>考虑将此浓度定为立即危害生命或健康值,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》。

注:资料来源于 API RP 55(第二版,1995)表 A. 1。