

国外油气勘探开发新进展丛书 (二)
GUOWAI YOUQI KANTAN KAIFA XIN JINZHAN CONGSHU

SPE Monograph Volume 15

Sour-Gas Design Considerations

美国石油工程师学会专论丛书 (15)

酸气开发设计指南

SPE Monograph Volume 15 Sour-Gas Design Considerations

石油工业出版社

〔美〕布鲁斯 D. 克雷格 著
钱治家 郭平 译 王元 校

国外油气勘探开发新进展丛书 (二)

美国石油工程师学会专论丛书 (15)

酸气开发设计指南

[美] 布鲁斯 D. 克雷格 著
钱治家 郭 平 译
王 元 校

石油工业出版社

内 容 提 要

酸气开发是我国当前急需考虑的问题,由于其特殊性,在多方面要对其进行专门的考虑。本书主要讲述了在酸气开发设计过程中必须考虑的因素,包括如何进行选材和如何确定硫应力开裂和硫腐蚀的影响因素;本书系统地论述了含硫气体定义及含量测定、冶金学基础与含硫气体腐蚀等相关知识,并讨论了对高含硫气藏进行钻井、采油和地面设备操作时在材料及施工方面所涉及的问题。在本书的附录中,还给出了含硫气的生产与储存设备及抗硫化物和氢蚀破裂的部件购买与组建指南。

本书论述系统全面,不但对酸气开发设计人员有很好的参考价值,而且对从事酸气开发研究的有关人员、高等学校师生和现场工程技术人员来讲,也是一本很好的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

酸气开发设计指南/(美)克雷格(Craig, B.D.)著;钱治家,郭平译. —北京:石油工业出版社,2003.8

(国外油气勘探开发新进展丛书.第2辑)

书名原名:Sour-gas Design Considerations

ISBN 7-5021-4352-1

I. 酸…

II. ①克…②钱…③郭…

III. 酸性气-气田开发-指南

IV. TE37-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第076103号

Copyright 1993 by the Society of Petroleum Engineers Inc. Printed in the United States of America. All rights reserved. This book, or any part thereof, cannot be reproduced in any form without written consent of the publisher.

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092毫米 16开本 10印张 253千字

2003年8月北京第1版 2003年8月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-4352-1/TE·3044

定价:32.00元

《国外油气勘探开发新进展丛书》(二)

编 委 会

主 任：刘宝和

副 主 任：冉新权 张卫国

编 委：张正卿 刘德来 李 阳 沈 琛

何江川 阎建华 周家尧 张仲宏

李 斌 咸玥瑛 汪大锐 钟太贤

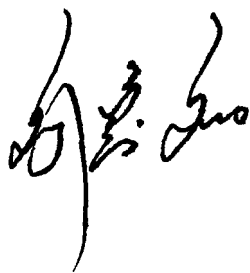
序

为了跟踪国外油气勘探开发的新理论、新技术、新工艺，提高中油股份公司油气勘探开发的理论和技术水平，提高整体经济效益，中油股份公司勘探与生产分公司有计划地组织有关专家对国外油气勘探开发及生产方面的新技术、新理论、新成果进行调研引进、吸收，并翻译出版，推荐给油田广大技术人员及管理干部，以期能达到促进生产、更新知识、提高业务水平及技术水平的目的。第一批引进的5本专著出版后，产生了较好的社会效益，得到了广大读者的高度关注和认可，普遍认为翻译质量高，出版质量好，内容满足实际需要。

为了进一步搞好股份公司石油勘探开发的科技发展事业，促进石油工业发展，我们在第一辑出版的基础上，经过多次调研、筛选，又推选出国外最新出版的5本专著，即《油藏评价一体化研究》、《油层伤害——原理、模拟、评价和防治》、《油藏工程实践》、《异常高压气藏》、《酸气开发设计指南》，以期追踪国外油气田勘探开发的热点问题和切合我国油气田开发实际需要的实用技术。

在全套丛书的引进、翻译出版过程中，勘探与生产分公司和石油工业出版社组织了一批著名专家、教授和有丰富实践经验的油田工程技术人员担任该书的翻译和审校人，并使本套丛书得以高质高效地出版。希望各油田及科研院校从事于勘探、开发工作的管理人员、技术人员以及研究人员读读这套丛书，同时在实践中应用之，这将会对今后的工作起到一定的指导和推动作用，为搞好油田勘探开发，实施低成本战略，创造更大效益做出贡献。

中国石油天然气股份有限公司副总裁



译者前言

中国已发现了一些含硫气田，如河北省赵兰庄气田，油层伴生气中 H_2S 含量 63%；四川也相继发现卧龙河气田（ H_2S 含量 5% ~ 7.28%）、中坝气田（ H_2S 含量 6.75% ~ 13.3%）、威远气田（ H_2S 含量 1.22%）、四川磨溪气田（ H_2S 含量 1.8%）、长庆下古气田（低含量），尤其是大气田川东北罗家寨高含硫气藏（ H_2S 含量 6.7% ~ 16.6%）的发现，使中国高含硫气田储量大大上升，已达到上千亿立方米的储量。目前罗家寨准备作为西气东输的主要气源，其气田开发方案正在规划设计之中，但到目前为止国内还未见到酸气开发设计相关的专著问世。然而在国外，高含硫气田开发技术已较成熟，并有不少专著出版，借鉴国外开发经验对中国高含硫气田开发有重要指导意义。

《酸气开发设计指南》原书名为“Sour - Gas Design Considerations”，由 Bruce D. Craig 著（1993），属美国石油工程师学会专论丛书之一，文中主要讲述了在酸气开发设计过程中必须考虑的因素，包括如何进行选材，如何确定硫应力开裂和硫腐蚀的影响因素；系统地论述了含硫气体定义及含量测定、冶金学基础与含硫气体腐蚀等相关知识，并讨论了高含硫气藏在进行钻井、采油和地面设备操作时在材料及施工方面涉及的问题。在本书的附录中，还给出了含硫气的生产与储存设备及抗硫化物和氢蚀破裂的部件购买与组建指南。本书论述系统全面，不但对酸气开发设计人员有很好的参考价值，对从事酸气开发有关研究人员、高等学校师生和现场工程技术人员来讲，也是一本很好的参考书。

由于时间紧张，水平有限，在翻译过程中难免出现不当之处，敬请读者批评指正。

译者

2003 年 7 月

版 权 声 明

本书英文书名为“Sour – Gas Design Considerations”。

本书经由美国 Society of Petroleum Engineers Inc. 授权翻译出版，中文版权归石油工业出版社所有，侵权必究。

图字 01 – 2003 – 2764

目 录

第 1 章 引论	(1)
参考文献	(5)
第 2 章 定义、测试方法、安全性和含硫气体的特性	(6)
2.1 引言	(6)
2.2 组分性质	(7)
2.3 分析方法的确定	(9)
2.4 规范与标准	(12)
2.5 管理机构及要求	(13)
2.6 安全与应急预案	(15)
参考文献	(24)
第 3 章 冶金学基础和含硫气体的腐蚀	(27)
3.1 引言	(27)
3.2 金属与合金	(27)
3.3 分类系统	(29)
3.4 机械性能	(31)
3.5 硬度测试	(32)
3.6 材料的强化方法	(34)
3.7 含硫气腐蚀	(39)
3.8 硫化物引起的应力开裂	(43)
3.9 CO ₂ 腐蚀	(46)
3.10 SSC 测试方法	(48)
3.11 SCC	(52)
符号说明	(55)
参考文献	(56)
第 4 章 含硫气藏钻井	(60)
4.1 引言	(60)
4.2 钻柱组件	(60)
4.3 钻井液化学	(66)
4.4 监测过程	(68)

4.5 除氢	(71)
4.6 防腐	(71)
4.7 材料的选择	(72)
4.8 钻台安全	(73)
符号说明	(73)
参考文献	(74)
第 5 章 含硫气井的生产	(76)
5.1 引言	(76)
5.2 油管 and 套管的考虑因素	(76)
5.3 井口设备	(104)
5.4 钢丝绳	(107)
5.5 质量保证	(109)
5.6 安全阀	(109)
符号说明	(110)
参考文献	(111)
第 6 章 地面生产设施	(115)
6.1 引言	(115)
6.2 集气管线	(115)
6.3 氢致破坏	(119)
6.4 内腐蚀控制	(126)
6.5 腐蚀监测	(128)
6.6 检查	(131)
6.7 现场容器和储罐	(132)
6.8 质量保证	(138)
6.9 安全	(138)
符号说明	(139)
参考文献	(139)
附录 A 含硫气的生产和储存设备	(143)
A.1 引言	(143)
A.2 得克萨斯铁路委员会规则 36 中有关在 H_2S 环境下所使用的设施和 设备指南条款	(143)
参考文献	(145)
总参考文献	(145)

附录 B 抗硫化物应力腐蚀开裂 (SSC) 和氢蚀破裂 (HIC) 钢铁部件的	
 购买和组装指南	(146)
B.1 简介	(146)
B.2 含硫设备环境	(146)
B.3 测试方法和结论	(146)
B.4 管线和包括接头的工厂管子	(146)
B.5 容器	(147)
B.6 油罐	(148)
参考文献	(148)
单位换算表	(150)

第1章 引 论

无论是从腐烂的东西（比如说臭鸡蛋）中释放出来的硫化氢（ H_2S ）或是银首饰的失泽，含硫气体的存在几个世纪以来一直让人感到讨厌。然而，直到19世纪50年代，含硫气体才被看做是一种重大的安全隐患。那个时候，石油工业开始在加拿大阿尔伯达的 Pincher Creek 油田和 Jumping Pound 油田、美国阿肯色州的 McKamie - Patton 油田以及法国的 Lacq Supérieur 油田开展勘探开发工作，这些油田都含有大量的 H_2S 气体。这些油田的井下管柱因硫应力开裂（SSC）导致的过早的失效引起了石油工业对含硫气体的关注。1952年为此召开了国家腐蚀工程师学会（NACE）专题论坛，讨论硫应力腐蚀问题。在前人的文献中对氢应力开裂有所提及，只是叫法不同罢了（例如：氢开裂、延迟开裂、静态疲劳、 H_2S 应力腐蚀开裂，以及硫应力腐蚀开裂等），硫应力开裂（SSC）只是其中的一种特殊情况。在本文中会一直沿用硫应力开裂 SSC 这个叫法。

在19世纪50年代，随着越来越多的勘探开发工作的开展，在得克萨斯州的 BrownBassett 油田以及得克萨斯、路易斯安那州、密西西比、阿拉巴马州、佛罗里达州的 Smackover 地层，均遇到了酸性环境下由于含硫而导致了材料问题。

1974年，Tuttle 列出了有记载的 SSC 导致的生产失效，尽管这个表不算全面，因为在1974年之后还有更多的失效发生，但是它解释了问题发生的范围，并列出了多种对 SSC 敏感的合金。

1966年，NACE 出版文献提出了在油气生产和管线输送过程中抗 SSC 的材料的选择。在1975年，将此文献和它的第二版相结合就形成了 NACE MR-01-75 标准。然而，这一新标准仍然不够全面。

当西得克萨斯州由于 H_2S 导致人员伤亡事故后，得克萨斯州铁路委员会要求所有的油公司在遵从1976年3月15日生效的 RAC36 号规范的同时，也要遵从 NACE MR-01-75 标准。这一举措促使专家们于1976年4月召开专题会议来修订和更新这一标准。现在使用的标准与这次会议产生的标准很相似。尽管该标准一直在 NACE 的 T-1F-1 委员会的修订和更新之下，并且标准更加全面，设计过程也更为谨慎，但是含硫气体仍然不断在世界上造成人员伤亡和财产损失。导致这些事故最基本的原因就是 H_2S 腐蚀，以及人们对关于含有大量的含硫的气体知识还不熟悉，以及未能很好地执行 NACEMR-01-75 标准。

本文的基本目的是告诉那些负责设计和操作含硫系统的人们,如何进行选材,以及如何确定涉及 SSC 和硫腐蚀的影响因素。其次,本文试图收集那些用来描述含硫气体对材料影响的相关数据,这些数据已使用在整个专题论文中。在强调材料特性和腐蚀的同时,这些数据还包括在 H_2S 环境下的安全指标和含硫气体的分析技术。本文没有重点介绍 H_2S 的剧毒性。但是,在进行含硫气体的风险设计时必须牢记它的剧毒性。也就是说,当涉及含硫气体设备设计和操作所推荐的安全程序和设备时,必须严格遵循。只有意识到这一点,才能在设计和操作过程中做出谨慎的决定。在设计和操作期内,对酸气所要求的基本安全才能达到。

本文不可能详细到教人们怎样针对含硫气体环境一步一步地完成设计工作。因为发生腐蚀的部位以及材料的选择都是十分复杂的。事实上根本不可能有这样一种现成的流程存在。于是,本文只是把那些重要而且必须考虑的数据罗列出来,以便人们对酸气系统的工艺设计和操作做出正确的决策。即便是完全遵循了本文所提供的方法,仍然会存在一定程度的风险。对含硫气体环境下材料的行为研究是一个逐步发展的技术。材料偶尔也会表现出预期不到的例外特性,因此,不可能提供绝对的保证。

本文共分为 5 章。第二章介绍了含硫气体的基本定义,以及某些重要硫组分的性质,此外还讨论了 H_2S 浓度的分析方法、安全工艺措施以及所需的设备。读者必须熟悉这些方法,因为设计含硫气体操作系统的核心就是要考虑安全问题和有毒气体的输送问题。

第三章简要地介绍了冶金学基础和与含硫气体腐蚀相关的知识,这将有助于读者了解对一些材料的要求,以及使用其他一些材料的局限性。

第四~六章讨论了含硫气体环境下钻井、采油和操作地面设备时在材料方面所关心的,以及必须考虑的问题。

表 1.1 SSC 导致的生产失效

类 别	材 料	热 处 理	断裂部位 硬度值 HRC	相 态	环境中 H_2S 含量 %	地 点	年 代
碳钢及低合金钢							
套管	N80			冷凝液和气体	10	Ginger, 得克萨斯州	1951
油管	9Ni	正火和回火		气体	75	希腊, 加拿大	1951
油管	9Ni			气体		McKarnie 油田, 阿拉斯加	1951

续表

类 别	材 料	热 处 理	断裂部位 硬度值 HRC	相 态	环境中 H ₂ S 含量 %	地 点	年 代
油管	9Ni			气体	7.5	McKamie 油田, 阿拉斯加	1951
套管	N80			气体	3.5	加拿大	1952
油管接箍	N80		51	气体	3.5	加拿大	1954
油管接箍	N80			气体	>10	Okotoks, 加拿大	1958
套管	N80		25	气体	微量	Paloma 油田, 加拿大	1956
套管接箍	N80			气体	>10	Okotoks, 加拿大	1958
油管加厚端	N80	未正火	25~39	气体	70	Panther 河, 加拿大	1964
油管	C75	正火和回火	26~30 ^①	气体	70	Panther 河, 加拿大	1966
套管接箍	Sco95	正火和回火	>25	气体		南得克萨 斯州	1966
油管	C75	正火和回火	28~42 ^②	含硫原油		Good water 油田, 密 西西比州	1970
油管	C75	正火和回火	22~24 ^③	含硫原油		Pachuta Ceek, 密西西比州	1970
压缩机阀弹簧	AISI 6150		38			未报到	1968
阀簇	易加工钢 ^④	HB156		气体	>10	加拿大野猫山	1962
卡环, 井口 油管挂			51			加拿大	1962
防喷器, 绞盘螺钉	AISI 4140		41~43	低温脆裂		加拿大	1961
球面螺栓	AISI 4140	淬火和回火	30~40	冷凝液和气体	>10	Waterton, 加拿大	1961
采油树箍	AISI 4340	浇铸和正火	27~30	冷凝液和气体	>10	Waterton, 加拿大	1962
DF 油管挂			26~29	冷凝液和气体	>10	Waterton, 加拿大	1962
外螺纹钻杆接 头, 钻杆	E 级		34~35	气体和泥浆		Waterton, 加拿大	1963

续表

类 别	材 料	热 处 理	断裂部位 硬度值 HRC	相 态	环境中 H ₂ S 含量 %	地 点	年 代
钻具接头	E 级和 AISI 4135			气体	70	Panther 河, 加拿大	1968
钻杆	SI35		36~37	气体和泥浆	>10	Jonathan 区, 密西西比州	1970
抽油杆			23~25.5	酸性水			
液化石油气 罐, 焊接区	低碳钢			液化石油气	微量	日本	1959
压缩机叶轮	低合金钢	淬火和回火 ^⑤				Hydrotreating 服务公司, 加拿大	1968
阀盖	易加工钢	冷处理	HB174	冷凝液和气体	10	Waterton, 加拿大	1963
马氏不锈钢							
阀塞	AISI 410	锻造和热处理	27	冷凝液和气体	42	Ginger, 得克萨斯州	1951
阀体	AISI 410	座火硬化	25~27	冷凝液和气体	42	Ginger, 得克萨斯州	1951
闸阀弹簧	AISI 410	淬火和回火		气体	>10	Jumping Pound, 加拿大	1953
气举阀锁键	AISI 403 或 410		38	气体	>10	Burnt Timber, 加拿大	1961
层位锁定 臂及接头	AISI 410	焊接 (定臂和栓)	栓 32, 定臂 35				1959
虚阀	AISI 410		38	冷凝液和气	>10	Waterton 加拿大	1962
钢丝绳防喷管	9Cr1Mo		32~43	气体	15	德国	1968
奥氏不锈钢							
键弹簧	AISI 304	冷加工	47	气体	>10	Burnt Timber, 加拿大	1962
钢丝绳	AISI 304			气体		Carbondale, 加拿大	1967
塞头及塞杆	AISI 316			冷凝液和气体	>10	Waterton, 加拿大	1962
经过沉降硬 化的不锈钢							
SI 活塞	17-4PH	H950 老化	39	气体	>10	加拿大野猫山	1962
活塞	17-4PH					加拿大	1962

续表

类 别	材 料	热 处 理	断裂部位 硬度值 (HRC)	相 态	环境中 H ₂ S 含量 %	地 点	年 代
非铁合金							
油管挂	X750	锻造和热处理	32~35	气体	35	Glenpool, 密西西比州	1972
阀杆	K500	热轧、老 化硬化	27~34.5	气体	35	Thomasville, 密西西比州	1972

注：HRC—洛氏 C 硬度；

①富 Mn 材料；

②冷轧拉直；

③管上标明微硬度 41；

④含硫 0.28%，含磷 0.08%；

⑤屈服应力 114000psi。

参 考 文 献

1. Garwood, G. L. : "Material Selection for Downhole and Surface Equipment for Sour Gas Condensate Wells," paper 53 presented at the 1973 NACE Corrosion/73, Anaheim, CA.
2. "Symposium on Sulfide Stress Corrosion," *Corrosion* (1952) 8-1-8.
3. Tuttle, R. N. : "Deep Drilling—A Materials Engineering Challenge," *Materials Performance* (1974) 13, 42-45.
4. *Sulfide Cracking Resistant Metallic Materials for Valves for Production and Pipeline Service*, Publication 1F166, NACE, Houston (1966).
5. *Recommendations of Materials for Sour Service*, Publication 1B163, NACE, Houston (1963).
6. *Standard MR-01-75, Metallurgy of Oil Field Equipment for Resistance to Sulfide Stress Cracking*, NACE, Houston (1975).
7. "Rule 36: Oil, Gas, or Geothermal Resource Operation in Hydrogen Sulfide Areas," *Statewide Rules for Oil, Gas and Geothermal Operations*, Oil & Gas Div., Railroad Commission of Texas, Austin (June 1991) 106-20.

第2章 定义、测试方法、安全性和含硫气体的特性

2.1 引言

油藏中的含硫气体有几个可能的来源。人们认为油井产出物中所含 H_2S 来源于生成油气时的原生的腐烂有机物, 这些有机物和早期油藏中生成油气的物质有关。原本无硫的油藏变得含硫是由于在钻井中或水驱过程中向油藏导入了硫酸盐还原菌, 或者是一些不可氧化的硫不溶解物。不管油藏的含硫机理是什么, 本文的重点是研究油藏中、钻进和生产过程中的 H_2S 和硫组分, 以及对含 H_2S 气体的处理。

尽管已经发表了许多关于含硫气体对人员、材料和环境的影响的文章, 但是迄今为止, 既没有对于含硫气体的标准定义, 也没有用一个规定的 H_2S 浓度来定量地证明它不是酸性气体。美国石油学会没有专门定义含硫气体, 但是他们认为凡是含有 H_2S 的气体就是含硫气体。API RP49 建议把酸气定义为在大气中 H_2S 浓度超过 20mg/L 。这个数值是一个上限, 并不是人们在这样的含硫环境下工作 8h 所允许的浓度的加权平均值。加拿大也采用了 20mg/L 这个极限。在美国和加拿大, 允许工作环境的含硫浓度的上限是 10mg/L 。NACE 是从材料的观点对酸气加以定义的, 他们认为气体中 H_2S 的分压等于或大于 0.05 psi (0.34 kPa) 就属于含硫气体, 这将在本文的后面部分讨论。如果含硫气体被排放到大气中, 或燃烧生成 SO_2 , 美国的州立或联邦环境保护局限定了排放含硫气体的组成。在《天然气工程手册》中含硫气体被定义为 H_2S 含量大于 $1.5\text{ gr}/100\text{ft}^3$ [大于 $1.5\text{gr}/(2.8\text{m}^3)$]; 或者是总含硫量达到 $30\text{ gr}/100\text{ft}^3$ [$30\text{gr}/(2.8\text{m}^3)$] 的气体。在标准温度和压力下, $1\text{ gr H}_2\text{S} = 16.5\text{mg/L}$ 。

一般来说, 含硫气体可以被定义为任何含有一定量, 并且以 H_2S 为主要硫组分的天然气。虽然含硫组分多种多样, 但是只有少量的诸如硫醇、羰基硫、二硫化碳, 偶尔还会有单质硫出现在产出的天然气中。有时候, 硫元素会以固态产出, 它会在生产和输送过程中造成严重的堵塞和腐蚀问题。

影响酸性天然气特性的 H_2S 量将直接影响我们对材料、安全或者是环境的考虑。

2.2 组分性质

为了了解硫组分对材料、安全和环境的影响，我们必须考查酸气的组分特性，以及它们各自可接收的浓度。除硫组分外，还要考虑 CO_2 的含量。因为，这种酸性气也常常出现在含硫的气流中并且明显地增大其腐蚀性。

表 2.1 列出了各种含硫气体的组分及其一些性质。然而，表中并没有完全列出所有与天然气一起产出的有机硫和无机含硫组分。因为硫元素的化学性质和衍生物非常复杂。读者可以参考其他文献（参考文献 5, 6）来获取更多的这方面的信息。表 2.1 列出的组分是经常在气井中检测到的一些代表性组分，它们和本文所讨论的问题有关。需要注意的是这些气体都比空气重，容易沿地面或者在低洼处聚集。 H_2S 的毒性很大，在低浓度下短时间内就可以置人于死地。实际上， H_2S 是目前人类所知道的最具毒性的气体之一。

表 2.1 标准温度和压力下的重要组分及其性质

组 分	化学分子式	相对密度	浓度极限值 ^①	致命浓度 ^②	爆炸燃烧极限	77°F 时在水中的该浓度
空气	N_2/O_2	1.00	—	—	—	$177\text{ft}^3/\text{ft}^3$
二氧化碳	CO_2	1.52	5,000	10%	—	$0.73\text{ft}^3/\text{ft}^3$
硫化氢	H_2S	1.18	10	600mg/L	4.3~46.0	$2.3\text{ft}^3/\text{ft}^3$
二氧化硫	SO_2	2.26	5	1000mg/L	—	$31.21\text{ft}^3/\text{ft}^3$
甲硫醇	CH_3SH	1.66	0.5	未知	未知	$2.41\text{g}/100\text{g}^{\text{③}}$
乙硫醇	$\text{C}_2\text{H}_5\text{SH}$	未知	0.5	未知	未知	未知
丁硫醇	$\text{C}_4\text{H}_9\text{SH}$	未知	0.5	未知	未知	未知
羰基硫	COS	2.1	NA	1200mg/L	11.9~28.5	$0.8\text{mL}/\text{mLH}_2\text{O}^{\text{④}}$
硫 质	S	2.0 ^⑤	—	—	—	不可溶

①浓度极限值：长时间暴露于其中也不会有不利影响；

②致命浓度：短时间暴露于其中就会致死；

③59°F 下；

④56°F 下；

⑤与水相比。

表 2.2 列出了在不同 H_2S 环境下，对人类造成的毒害作用。虽然在很小的浓度下，人可以坚持很久。但是，当浓度超过 100×10^{-6} ，人类的嗅觉器官受到伤害而失去嗅觉。研究表明暴露于 H_2S 环境下，会导致各种疾病甚至死亡。