

# 高含硫气田开发安全防护距离探讨

翁帮华<sup>1,2</sup> 饶维<sup>1,3</sup> 陈辉<sup>4</sup> 郭世月<sup>1</sup> 何敬阳<sup>5</sup>

1. 中国石油西南油气田公司安全环保与技术监督研究院 2. 国家能源高含硫气藏开采研发中心  
3. 四川天宇石油环保安全技术咨询服务有限公司 4. 中国石油中东公司哈法亚项目部  
5. 四川达美盛工程设计有限公司

翁帮华等. 高含硫气田开发安全防护距离探讨. 天然气工业, 2016, 36(10): 143-148.

**摘要** 在高含硫气田作业场所设置安全防护距离, 可以在发生井喷、含硫天然气泄漏事故时减少火灾、爆炸、H<sub>2</sub>S 中毒等造成的人员伤亡, 是控制和降低安全风险的有效手段之一。为此, 分析了国内外相关安全标准对含硫气田安全防护距离的要求, 并以四川盆地某高含硫气田为例, 应用国内外相关标准或方法计算井场、集气管道及净化厂的安全防护距离, 开展对比分析。结果表明, 依据不同的方法确定的安全防护距离偏差较大, 因此建议采用定量风险评价的方法作为确定搬迁距离的依据, 采用 EUB 推荐的查图法及公式快速确定或依据计算的 150 mg/m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>S 包络线范围确定应急撤离距离。针对高含硫气田开发, 建议采用以下措施降低风险: ①设置紧急截断系统, 减少含硫天然气潜在泄漏量; ②提升装置本质安全, 减少事故发生概率; ③提高应急保障水平, 减轻事故影响。

**关键词** 高含硫气田 H<sub>2</sub>S 泄漏扩散 毒害范围 安全防护距离 定量风险 个人风险等值线 搬迁范围 应急计划区 风险预防与控制

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2016.10.018

## Safety protection distance in high-sulfur gas field development

Weng Banghua<sup>1,2</sup>, Rao Wei<sup>1,3</sup>, Chen Hui<sup>4</sup>, Guo Shiyue<sup>1</sup>, He Jingyang<sup>5</sup>

(1. HSE and Technical Supervision Research Institute of PetroChina Southwest Oil & Gas Field Company, Chengdu, Sichuan 610041, China; 2. National Energy R&D Center of High Sulfur Gas Exploitation, Chengdu, Sichuan 610000, China; 3. Sichuan Tianyu Petroleum Environmental Protection & Safety technology Consulting Services Ltd., Chengdu, Sichuan 610041, China; 4. PetroChina International Iraq FZE Iraq Branch, Beijing 100120, China; 5. Sichuan DMS Engineering Design Co., Ltd., Chengdu, Sichuan 610000, China)

NATUR. GAS IND. VOLUME 36, ISSUE 10, pp.143-148, 10/25/2016. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

**Abstract:** The safety protection distance set around high-sulfur gas field facilities is one of the effective means to control and reduce risks such as fire, explosion, H<sub>2</sub>S poisoning, etc., which may cause loss of life and personal injury. In view of this, Comparative analysis was conducted of the safety protection distances in high-sulfur gas fields regulated in the relevant safety standards and codes between China and other countries. In a case study of a high-sulfur gas field in the Sichuan Basin, the safety protection distances in the well sites, gas gathering lines and stations, and purification plants, etc. were calculated and compared by different codes and methods at home and abroad. Due to the great differences from the results, quantitative risk evaluation should be taken as the proof for determining the moving distance. Then the method and formula provided by Alberta Energy and Utilities Board (AEUB) was used to obtain the emergency evacuation distance away from the enveloped scope where the air contains 150 mg/m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>S. In the end, the following proposals for sour gas field development were put forward: establishing emergency shutdown systems to reduce potential sour gas leakage rate; improving the intrinsic safety of facilities to reduce the accident probability; and promoting the emergency support capability to mitigate the impacts caused by accidents.

**Keywords:** High-sulfur gas field; H<sub>2</sub>S emission and dispersion; Toxic zone; Safety separating distance; Quantitative risk; Individual risk contour line; Exclusion zone; Emergency response plan zone; Risk prevention and control.

**作者简介:**翁帮华,女,1973年生,高级工程师;1996年毕业于四川大学化学系,主要从事安全、环境研究与评价工作。地址:(610041)四川省成都市高新区天府大道北段12号。电话:(028)82972754。ORCID:0000-0002-7117-7837。E-mail:wengbh@petrochina.com.cn

目前全球已发现 400 多个具有开采价值的高含硫气田,广泛分布于西欧、中亚、北美等地,以 1957 年加拿大、法国分别投入开发的平切尔溪气田、拉克气田为代表,西方发达国家已积累了近 60 年的高含硫气田开发经验,并逐步建立了安全开发相关的法律、法规和标准体系。我国高含硫天然气累计探明储量约  $1 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ,约占我国天然气总储量的 1/6,其中 90% 都集中在四川盆地。自 1973 年四川盆地卧龙河气田投产以来,我国的高含硫气田开发也积累了一定的经验,至今有 10 余个高含硫气田投产,已开发高含硫天然气超过其累计探明储量的 15%<sup>[1-3]</sup>。

高含硫天然气资源开采面临腐蚀性强、毒性大等风险,四川盆地高含硫气田还普遍具有气藏埋藏深、地质条件复杂、气田周边人居稠密、地形复杂、交通不便、事故后果严重等特点,对高含硫气田安全开发提出了更为严峻的挑战。在 2003 年发生了严重的高含硫气田事故——“12·23”井喷事故以后,政府安全管理机构和气田企业均在高含硫气田开发安全设计、安全评价、应急保障体系建设等方面开展了大量的研究工作,并制订了一系列标准。从 2009 年龙岗、普光气田投产开始,我国高含硫气田进入了大规模开发期,安全风险防控意识及手段达到了

国内天然气开发行业的高峰<sup>[4-5]</sup>。

## 1 高含硫气田开发安全防护距离设置要求

在高含硫气田作业场所设置安全防护距离,包括搬迁距离和应急计划区,可以在发生井喷、含硫天然气泄漏事故时减少火灾、爆炸、 $\text{H}_2\text{S}$  中毒等造成的人员伤亡,是减少安全风险的有效手段之一。国内外对高含硫天然气气井(井喷)及地面集输场站、管道及净化厂等设施(泄漏)分别提出了安全防护距离要求。

### 1.1 国外相关标准及要求

全球已开发的高含硫气田以加拿大阿尔伯塔省最为集中,美国得克萨斯、密歇根州也有较多的高含硫气井在生产。加拿大的高含硫气田的安全防护距离主要根据能源和公用事业委员会(EUB)发布的《新建酸性天然气设施与居住区及其他开发区最小间距要求》(ID 81-03)中规定的潜在  $\text{H}_2\text{S}$  释放量确定<sup>[6]</sup>,其依据主要为含硫天然气泄漏扩散模拟确定的  $\text{H}_2\text{S}$  毒害浓度范围,要求该范围内无人居住以减小伤亡(表 1)。

表 1 加拿大 EUB 高含硫天然气井及处理设施的最小间距要求表

设施级别	$\text{H}_2\text{S}$ 释放量		最小间距要求
	气井释放速率 / ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	地面设施潜在释放量 / $\text{m}^3$	
1	< 0.3	< 300	井场距居民住所最小距离 100 m 除穿越特殊用地或能源局另有要求外无其他要求
2	0.3 ~ 2.0	300 ~ 2 000	距居民和乡村居民集中区(每平方千米 12 户以上) 100 m 距城区和公共设施区 500 m
3	2.0 ~ 6.0	2000 ~ 6 000	距每平方千米 12 户以下的居民区 100 m 距乡村居民集中区(每平方千米 12 户以上) 500 m 距城区或公共设施区 1 500 m
4	> 6.0	> 6 000	按能源局的要求,但不得低于 3 级要求

同时,加拿大阿尔伯塔省 EUB《酸性气井许可和钻井要求》(IL97-6)<sup>[7]</sup>中对应急撤离范围给出了建议(表 2、图 1)。

### 1.2 我国相关标准及要求

对含硫天然气井,中国安全生产科学研究院联合中石油和中石化,参考采用了加拿大阿尔伯塔省 EUB 及美国密歇根州相关标准,结合我国天然气井现状,将我国高含硫天然气井分为 3 类,并分别提

出了各类气井公众安全防护距离要求,制订了 AQ 2017—2008《含硫化氢天然气井公众危害程度分级方法》<sup>[8]</sup>和 AQ 2018—2008《含硫化氢天然气井公众安全防护距离》<sup>[9]</sup>(表 3)。这两个标准目前主要在高含硫气井钻前选址及钻井期间安全防护距离设置具有指导意义。

对投产后的地面设施,在我国高含硫气田大规模开发初期,为尽快解决高含硫气田安全防护距离设

表 2 加拿大 EUB 含硫天然气井应急计划区范围表

分级	气井 H <sub>2</sub> S 释放速率 (RR) /(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	应急计划区范围			
		应急撤离范围 (S) 计算公式 /km <sup>2</sup>	应急撤离范围 /km <sup>2</sup>	以井口为圆心确定的 应急撤离半径 /km	以一个风向确定的应急 撤离距离 /km
1	RR < 0.3	S=RR <sup>0.58</sup> ×2.0	< 1.0	< 0.6	< 1.5
2	RR=0.3 ~ 8.6	S=RR <sup>0.68</sup> ×2.3	1.0 ~ 9.9	0.6 ~ 1.8	1.5 ~ 4.8
3	RR > 8.6	S=RR <sup>0.81</sup> ×1.9	> 10.8	> 1.8	> 4.8

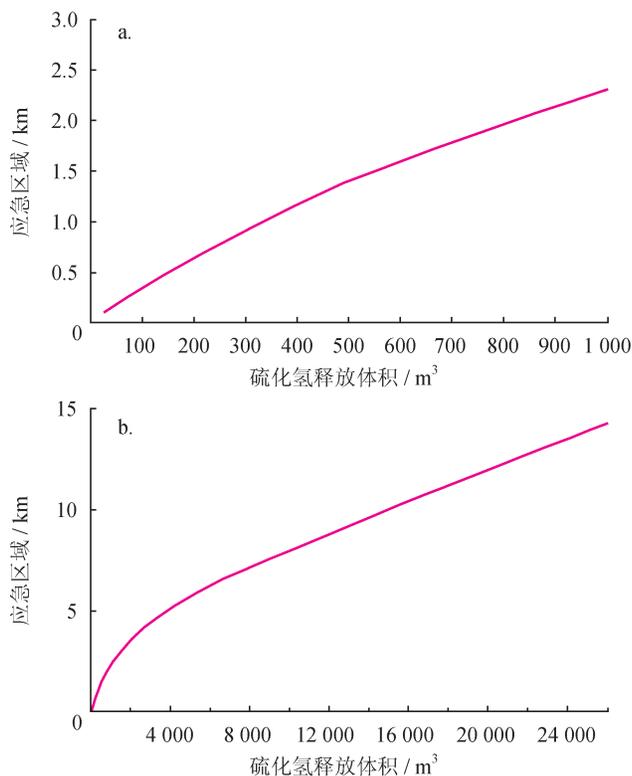


图 1 含硫天然气地面设施应急计划区范围图

表 3 我国含 H<sub>2</sub>S 天然气井分级及安全防护距离表

气井等级	H <sub>2</sub> S 释放速率 /(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	距离要求
一	≥ 5.0	井口距民宅应不小于 100 m, 且距井口 300 m 内常住居民户数不应大于 20 户 距铁路及高速公路应不小于 300 m 距公共设施及城镇中心应不小于 1000 m
二	1.0 ~ 5.0	井口距民宅应不小于 100 m 距铁路及高速公路应不小于 300 m 距公共设施应不小于 500 m 及城镇中心应不小于 1000 m
三	0.01 ~ 1.00	井口距民宅应不小于 100 m 距铁路及高速公路应不小于 200 m 距公共设施及城镇中心应不小于 500 m

置无标准可依的局面, 中石油联合相关单位以川东北典型高含硫气藏为研究目标, 采用高含硫天然气泄漏扩散模拟的手段, 提出了 3 个高含硫气田安全设计标准, 即《高含硫化氢气田集气站场安全规程》(SY 6779—2010)<sup>[10]</sup>、《高含硫化氢气田集输管道安全规程》(SY 6780—2010)<sup>[11]</sup>、《高含硫化氢天然气净化厂公众安全防护距离》(SY/T 6781—2010)<sup>[12]</sup>, 分别确定 H<sub>2</sub>S 含量为 13% ~ 15%(体积百分比)的集气站、集输管道及净化厂搬迁距离为距装置边缘或管道两侧 200 m、40 m、400 m, 应急撤离距离确定为 1 500 m、1 500 m、1 500 m。该系列标准一定程度上解决了高含硫气田安全设计及安全防护距离设置, 但均一化的距离要求未考虑川渝地区复杂地形对含硫天然气泄漏扩散结果的影响。另外, 3 个标准还要求“H<sub>2</sub>S 含量小于 13% 或高于 15% 的设施, 经专家论证, 可适当减小或增大安全防护距离”, 且分别将“搬迁距离”和“应急撤离距离”定义为“含硫天然气发生泄漏时, 空气中 H<sub>2</sub>S 可能达到 1 500 mg/m<sup>3</sup>、150 mg/m<sup>3</sup> 的距离”, 为安全防护距离的论证提供依据。

《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ/T 169—2004) 及其修订版的征求意见稿引入了国际通行的风险评价理念, 即综合考虑事故后果和事故发生概率, 但实际应用中由于没有建立符合我国国情的失效数据库, 因此还没有实现真正意义上的风险评价, 而只是要求对最大可信事故后果的半致死浓度范围内的居民进行搬迁。对高含硫气田的开发, 风险主要来源于含硫天然气泄漏所致的 H<sub>2</sub>S 中毒, 建设期井场及投运后集气站均以最大可信事故——井喷(释放速率以无阻流量计)事故时, 含硫天然气扩散 H<sub>2</sub>S 达到半致死浓度 (LC<sub>50</sub>: 618 mg/m<sup>3</sup>, 30 min) 包络线作为搬迁依据, 而将 H<sub>2</sub>S 达到立即威胁生命和健康浓度 (IDLH: 430 mg/m<sup>3</sup>, 30 min) 包络线作为首批应急撤离的依据。

近年来随着我国风险评价技术的不断发展, 借

鉴国际通行做法及风险评价导则<sup>[13]</sup>,对高风险作业场所进行定量风险评价(QRA)研究和应用,有的企业还建立了符合企业及区域特点的部分高风险设施失效数据库,国家安全生产监督管理部门也相继出台了《危险化学品生产、储存装置个人可接受风险标准和社会可接受风险标准(试行)》(国家安监总局2014年13号)、《油气输送管道风险评价导则》(SY/T 6859—2012)等标准,对定量风险评价进行了指导和规范,逐步实现与国际接轨,将个人风险等值线范围作为搬迁的依据,以社会风险计算结果作为项目风险是否可接受的依据。以定量风险计算结果确定安全防护距离,可以促使作业者尽可能减少事故的发生,而事故又是不可完全避免的,则可通过搬迁、应急响应等措施减缓事故造成伤害。

## 2 典型高含硫气田开发安全防护距离对比研究

以四川盆地某高含硫气田为例,应用国内外相关标准或方法计算井场、集气管道及净化厂的安全

防护距离,开展对比分析。该气田H<sub>2</sub>S平均含量为14%(体积百分比),井场中最大井喷无阻流量为670×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d(H<sub>2</sub>S释放速率为12 m<sup>3</sup>/s),建成投产后单井场集气规模最大为350×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,集气站及管道阀室间H<sub>2</sub>S潜在泄漏量小于1 440 m<sup>3</sup>,净化厂设施H<sub>2</sub>S潜在泄漏量小于1 800 m<sup>3</sup>,集输气管道处于《输气管道工程设计规范》(GB 50251—2003)确定的二类地区。

单独以甲井场事故、乙集气管道及丙净化厂脱硫单元泄漏事故为例,分别列出采用含硫天然气泄漏扩散后果确定的搬迁距离和应急撤离距离,以及各标准建议的安全防护距离,对比结果如表4和图2所示。对比研究表明,依据不同的方法确定的安全防护距离偏差较大,给高含硫气田开发搬迁方案制订及应急管理带来较大的困扰。为此,建议综合考虑不同事故后果及发生概率,采用定量风险评价的方法作为搬迁距离的依据,首先解决了各标准及方法不统一的问题,而且在降低风险的同时,减少搬迁量及社会影响;其次,若只考虑将事故状态下H<sub>2</sub>S的毒害范围作为搬迁依据,将挫伤作业者提

表4 安全防护距离计算结果及相关标准要求表

安全防护距离 (至装置区边界)	确定依据	甲井场		乙集气管道	丙净化厂
		井喷	集气站泄漏	管道泄漏	脱硫单元泄漏
搬迁距离 /m	SY 6779—2010/SY 6780—2010/SY 6781-2010 (H <sub>2</sub> S 含量为 13%~15% 时)	/	200	40	400
	SY 6779—2010/SY 6780—2010 (H <sub>2</sub> S 浓度为 1 500 mg/m <sup>3</sup> 时)	750~1 390	/	250	460~750
	HJ/T 169—2004(H <sub>2</sub> S 浓度为半致死浓度 618 mg/m <sup>3</sup> 时)	590~1 520	/	320~480	1 000~1 500
	定量风险评价	250~360	250~360	0	360~600
	AQ 2017—2008/AQ 2018—2008	民宅和装置区距离大于 100 m, 300 m 范围内小于 20 户	/	/	/
EUB 要求	民宅和装置区距离大于 100m, 居民集中区和装置区距离大于 500 m	100	100	100	
应急撤离 距离 /m	SY 6779—2010/SY 6780—2010 (H <sub>2</sub> S 含量为 13%~15% 时)	/	1 500	1 500	1 500
	SY 6779—2010/SY 6780—2010 (H <sub>2</sub> S 浓度为 150 mg/m <sup>3</sup> 时)	1 050~3 050	/	970~1 200	1 500~2 100
	HJ/T 169—2004 (H <sub>2</sub> S 浓度为立即威胁生命和健康浓度 430 mg/m <sup>3</sup> 时)	700~1 700	/	360~480	0~1 500
	EUB 要求	2 100~5 700	2 500	2 500	3 400

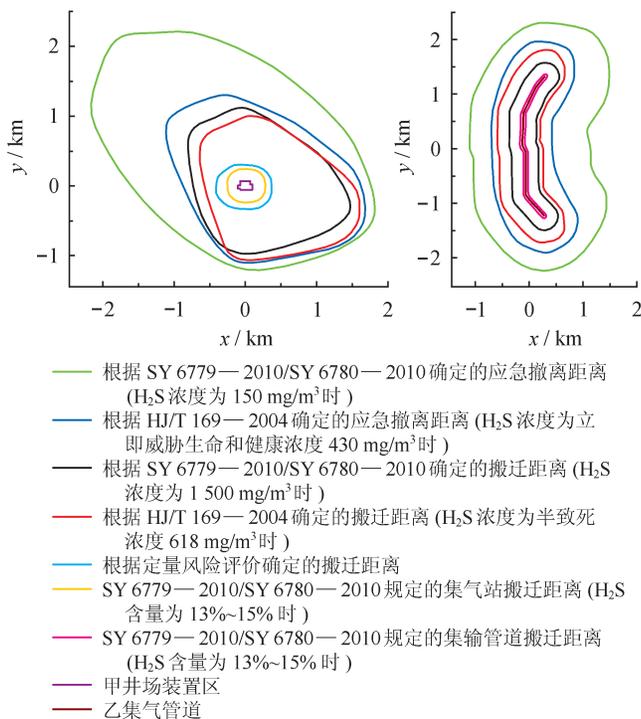


图 2 甲井场井喷及乙集气管道泄漏事故安全防护范围计算结果及标准要求图

高其安全设计和应急保障水平的积极性。另外，借助复杂地形条件下含硫天然气泄漏扩散定量风险评价技术还能解决山区丘陵地带 H<sub>2</sub>S 沿沟谷扩散等问题，使人居稠密、多山多丘陵的川渝地区高含硫气田居民搬迁范围更趋合理<sup>[14]</sup>。而对于应急撤离范围，则可采用 EUB 推荐的查图法及公式快速确定或依据计算的 150 mg/m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>S 包络线范围确定。

### 3 高含硫气田开发风险控制对策

#### 3.1 设置紧急截断系统，减少含硫天然气潜在泄漏量

《油气集输设计规范》(GB 50350—2005) 规定井口应安装高低压紧急截断装置，进出站设截断阀，在事故发生时迅速切断气源。目前我国大规模开发的高含硫气田处于人口较密集的川渝地区，气井均安装井下安全阀 (SCSSV)，地面设施采用 SCADA+ESD 控制系统，实现进出站紧急截断与放空，气田分 4 级或 5 级关断，包括全气田+净化厂关断、全净化厂关断、天然气净化厂装置关断、机组关断、局部设备关断等，达到甚至超过加拿大及美国部分在运的高含硫气田。

《高含硫化氢气田地面集输系统设计规范》(SY/

T 0612—2008) 规定按管道沿线人口密度分级情况确定管道截断阀的设置，要求管道内 H<sub>2</sub>S 潜在释放量分别为 6 000 m<sup>3</sup> 以上 (一级)、6 000 ~ 2 000 m<sup>3</sup> (二级)，1 999 ~ 300 m<sup>3</sup> (三级)。这与加拿大 EUB 的 ID 97-06 要求接近，据此确定的截断阀间距一般为 1 ~ 4 km，也与美国联邦法 (CFR) 及密歇根州的补充法令“处于一级地区酸性气管道截断阀的距离不大于 3 mile (1 mile=1.609 3 km)”要求相当。

#### 3.2 提升装置本质安全，减少事故发生概率

减小高含硫气田开发风险更重要的是提升设施本质安全，减少事故发生概率。含硫气井的井控措施、地面设施的选材与防腐乃是安全措施的重中之重，国内外均有完备的标准规范及安全规程确保气田安全开发，国内各高含硫气田根据实际情况开展选材及防腐方案的论证，采用碳钢+缓蚀剂方案或耐蚀复合管，建立在线腐蚀监控系统等，尽可能减少氢致开裂 (HIC) 和硫化物应力腐蚀开裂 (SSC) 导致的井筒及地面设施泄漏概率，减小开发风险<sup>[15]</sup>。

#### 3.3 提高应急保障水平，减轻事故影响

为提高气田安全应急响应速度，高含硫气田集输管道根据气田及企业实际情况安装感测压降截断阀或应用其他新技术进行管道泄漏的实时监测与截断，如激光检测、光纤温度感应、光纤声波感应等；装置区及厂界普遍安装 2 ~ 3 级 H<sub>2</sub>S 监测与报警系统，实现泄漏预警 (5 ppm 或 10 ppm，1 ppm=1.5 mg/m<sup>3</sup>，下同)、员工应急响应与装置关停 (20 ppm 或 30 ppm) 和社区撤离 (100 ppm 或 200 ppm)；建立多渠道应急通信系统覆盖整个应急计划区，确保人员事故状态时能及时有序撤离；建立消防中心，满足应急保障需求；发展区域应急能力，加强企企、企地联合演练，不断提高应急保障水平<sup>[16]</sup>。

## 4 结论

1) 风险评价两个核心是事故概率和事故后果，我国环境风险评价导则最早提出并发展了这一理念，但目前还局限于选取最大可信事故后果进行计算，对半致死浓度包络线范围居民进行安全搬迁，没有考虑提升本质安全水平降低事故概率的方法，大大增加了搬迁安置工程量。

2) 定量风险评价技术综合计算了评价对象所有事故的失效概率及失效后果，并以事故概率与公众接触剂量导致的致死概率的乘积进行量化，采用该方

法确定的个人风险等值线作为安全搬迁的依据, 是国际上高风险作业场所的通常做法, 较单以最大可信事故后果的某一浓度范围为依据更为科学。因此, 定量风险评价技术是环境风险评价发展的必然趋势。

3) 建议各高含硫气田不断收集地面设施、设备失效数据, 建立并完善我国高含硫气田失效数据库, 应用定量风险评价方法对已投运的高含硫气田进行后评价, 使新投入开发的高含硫气田安全防护距离设置更符合我国国情。

4) 合理设置安全防护距离是高含硫气田开发风险控制的有效手段之一, 同时, 应通过合理选材、防腐、自动控制与紧急截断、泄漏监测与报警、应急响应等措施, 不仅最大限度降低事故发生概率, 同时减轻事故发生后果, 全方位预防和控制高含硫气田开发风险, 符合我国“预防为主、综合治理”的安全方针。

#### 参 考 文 献

- [1] 戴金星. 中国含硫化氢的天然气分布特征, 分类及其成因探讨[J]. 沉积学报, 1985, 3(4): 109-123.  
Dai Jinxing. Distribution, classification and origin of natural gas with hydrogen sulphide in China[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1985, 3(4): 109-123.
- [2] 何生厚, 赵金洲, 沈琛, 刘汝山, 彭国生, 刘一江, 等. 高含硫化氢和二氧化碳天然气田开发工程技术[M]. 北京: 中国石化出版社, 2008.  
He Shenghou, Zhao Jinzhou, Shen Chen, Liu Rushan, Peng Guosheng, Liu Yijiang, et al. Development engineering technologies for high-H<sub>2</sub>S and high-CO<sub>2</sub> gas fields[M]. Beijing: China Petrochemical Press, 2008.
- [3] 林科君, 袁勇, 李洪, 周波, 杨軻舸. 川东北高含硫气田区域应急管理模式探讨[J]. 油气田环境保护, 2013, 23(5): 75-77.  
Lin Kejun, Yuan Yong, Li Hong, Zhou Bo, Yang Kege. Discussion on regional emergency management model of high-sulfur gas field in Northeast Sichuan[J]. Environmental Protection of Oil & Gas Fields, 2013, 23(5): 75-77.
- [4] 李国平. 普光高含硫气田企业三级应急联动模式[J]. 中国安全生产科学技术, 2012, 8(5): 138-140.  
Li Guoping. Study and application of three levels joint enterprises and governments emergency response of Puguang high sulfur gas field[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2012, 8(5): 138-140.
- [5] 常宏岗, 熊钢. 大型高含硫气田安全开采及硫磺回收技术[J]. 天然气工业, 2012, 32(12): 85-91.  
Chang Honggang, Xiong Gang. Technologies for safe production and sulfur recovery in giant high-sulfur gas fields[J]. Natural Gas Industry, 2012, 32(12): 85-91.
- [6] Alberta Energy and Utilities Board. Minimum distance requirements separating new sour gas facilities from residential and other developments[S]. ID 81-03, 1981.
- [7] Alberta Energy and Utilities Board. Sour well licensing and drilling requirements[S]. ID 97-06, 1998.
- [8] 全国安全生产标准化技术委员会. 含硫化氢天然气井公众危害程度分级方法[S]. AQ 2017—2008, 2008.  
National Standardization Technical Committee for Safety Production. Classification method of public hazard levels for natural gas well involving hydrogen sulfide[S]. AQ 2017-2008, 2008.
- [9] 全国安全生产标准化技术委员会. 含硫化氢天然气井公众安全防护距离[S]. AQ 2018—2008, 2008.  
National Standardization Technical Committee for Safety Production. Specification for public safety protection distance of natural gas well involving hydrogen sulfide[S]. AQ 2018-2008, 2008.
- [10] 石油工业安全专业标准化技术委员会. 高含硫化氢气田集气站场安全规程[S]. SY 6779—2010, 2010.  
Petroleum Industry Safety Professional Standardization Technical Committee. Safety regulations for gas gathering station in high hydrogen sulfide gas field[S]. SY 6779-2010, 2010.
- [11] 石油工业安全专业标准化技术委员会. 高含硫化氢气田集输管道安全规程[S]. SY 6780—2010, 2010.  
Petroleum Industry Safety Professional Standardization Technical Committee. Safety regulations for gathering and transmission pipelines in high hydrogen sulphide gas field[S]. SY 6780-2010, 2010.
- [12] 石油工业安全专业标准化技术委员会. 高含硫化氢天然气净化厂公众安全防护距离[S]. SY/T 6781—2010, 2010.  
Petroleum Industry Safety Professional Standardization Technical Committee. Standard of public safety distance for natural gas processing plants involving high hydrogen sulfide[S]. SY/T 6781-2010, 2010.
- [13] Uijt de Haag PAM, Ale BJM. Guideline for quantitative risk assessment[M]. Delft: Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen, 2005.
- [14] 翁帮华, 张林霞, 胥云丽, 刘坤, 周东, 李宇. 复杂地形条件下含硫天然气开发定量风险评价技术[J]. 天然气工业, 2012, 32(12): 102-105.  
Weng Banghua, Zhang Linxia, Xu Yunli, Liu Kun, Zhou Dong, Li Yu. Quantitative risk evaluation of sour gas development under complicated topographic conditions[J]. Natural Gas Industry, 2012, 32(12): 102-105.
- [15] 边云燕, 向波, 彭磊, 郭成华. 高含硫气田开发现状及面临的挑战[J]. 天然气与石油, 2007, 25(5): 3-7.  
Bian Yunyan, Xiang Bo, Peng Lei, Guo Chenghua. High sour gas field development statuses and challenges faced with in development[J]. Natural Gas and Oil, 2007, 25(5): 3-7.
- [16] 王善文. 国内外含硫气田应急预案编制对比分析研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2011, 7(10): 46-50.  
Wang Shanwen. Comparison study on emergency planning of natural gas well involving hydrogen sulfide[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2011, 7(10): 46-50.