

ICS 13.100

E 09

备案号: 15531—2005

SY

中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/T 5087—2005

代替 SY/T 5087—2003

含硫化氢油气井安全钻井推荐作法

Recommended practice for safe drilling operations involving hydrogen sulfide

(API RP 49: 2001, NEQ)

2005—03—19 发布

2005—05—01 实施

国家发展和改革委员会 发 布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 人员防护	2
5 井场及钻井设备的布置	5
6 井用材料及设备	5
7 地质及钻井工程设计的特殊要求	6
8 应急管理	7
9 井场安全	9
10 钻井作业中的特殊要求	10
11 特殊作业	10
12 海上作业	11
附录 A (资料性附录) 硫化氢的物理特性和对生理的影响	12
附录 B (资料性附录) 二氧化硫的物理特性和对生理的影响	15
附录 C (资料性附录) 硫化氢扩散的筛选方法	17
附录 D (资料性附录) 酸性环境的定义	25

前 言

本标准参考 API RP 49: 2001《含硫化氢油气井钻井、修井作业推荐作法》(英文版)进行修订。

本标准代替 SY/T 5087—2003《含硫油气井安全钻井推荐作法》。

本次修订的主要内容有:

——范围;

——井场和钻机设备布置(对应 API RP 49: 2001 第 8 章部分章节);

——地质及钻井工程设计的特殊要求。

新增加内容有:

——人员及设备防护(对应 API RP 49: 2001 第 5 章、第 6 章);

——应急预案(对应 API RP 49: 2001 第 7 章部分章节);

——井场安全(对应 API RP 49: 2001 第 10 章及 API RP 55 第 9 章部分章节);

——井用材料及设备(含井控装置的材质和安装)(对应 API RP 49: 2001 第 9 章部分章节);

——特殊作业(对应 API RP 49: 2001 第 11 章部分章节);

——海上作业(对应 API RP 55 第 11 章);

——附录 A(对应 API RP 49: 2001 附录 A, API RP 55 表 A. 1 和表 A. 2);

——附录 B(对应 API RP 55 附录 B、表 B. 1 和表 B. 2);

——附录 C(对应 API RP 49 附录 C);

——附录 D(对应 API RP 55 附录 D)

本标准的附录 A、附录 B、附录 C 和附录 D 均为资料性附录。

本标准由石油工业安全专业标准化技术委员会提出并归口。

本标准起草单位: 中国海洋石油总公司健康安全环保部、四川石油管理局钻采工艺研究院。

本标准主要起草人: 郑维田、高碧华、李士安、戴忠良、牛世广、左柯庆、李强、陈戎、邢公。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为:

——SY 5087—85;

——SY 5087—93;

——SY/T 5087—2003。

含硫化氢油气井安全钻井推荐作法

1 范围

本标准规定了含硫化氢油气井钻井作业中从钻井设计、设备安装、井场布置、硫化氢监测、人员和设备防护、应急管理等方面的安全要求。

本标准适用于油气勘探开发中含硫化氢油气井的钻井作业。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

SY/T 0599 天然气地面设施抗硫化物应力开裂金属材料要求

SY/T 5323—2004 节流和压井系统（API Spec 16C；1993，IDT）

SY/T 5466 钻前工程及井场布置技术要求

SY/T 5858 石油工业动火作业安全规程

SY/T 5964 钻井井控装置组合配套、安装调试与维护

SY/T 6194 石油天然气工业 油气井套管或油管用钢管

SY/T 6277 含硫油气田硫化氢监测与人身安全防护规定

SY/T 6426 钻井井控技术规程

《海洋石油作业硫化氢防护安全要求》（1989） 原中华人民共和国能源部海洋石油作业安全办公室

API Spec 5D 钻杆规范

API Spec 6A 井口和阀门规范

API Spec 16A 钻通设备规范

API RP 53 钻井的防喷设备系统

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

阈值 threshold limit value (TLV)

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)。

3.2

安全临界浓度 safety critical concentration

工作人员在露天安全工作 8h 可接受的硫化氢最高浓度 [参考《海洋石油作业硫化氢防护安全要求》(1989) 1.3 条中硫化氢的安全临界浓度为 $30\text{mg}/\text{m}^3$ (20ppm)]。

3.3

危险临界浓度 dangerous threshold limit value

达到此浓度时，对生命和健康会产生不可逆转的或延迟性的影响 [参考《海洋石油作业硫化氢防

护安全要求》(1989)中硫化氢的危险临界浓度为 $150\text{mg}/\text{m}^3$ (100ppm)]。

3.4

氢脆 hydrogen embrittlement

化学腐蚀产生的氢原子,在结合成氢分子时体积增大,致使低强度钢和软钢发生氢鼓泡、高强度钢产生裂纹,使钢材变脆。

3.5

硫化物应力腐蚀开裂 sulfide stress corrosion cracking

钢材在足够大的外加拉力或残余张力下,与氢脆裂纹同时作用发生的破裂。

3.6

硫化氢分压 hydrogen sulfide factional pressure

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。

3.7

含硫化氢天然气 nature gas with hydrogen sulfide

指天然气的总压等于或大于 0.4MPa (60psia),而且该气体中硫化氢分压等于或高于 0.0003MPa ;或 H_2S 含量大于 $75\text{mg}/\text{m}^3$ (50ppm)的天然气。有关酸性环境(含硫化氢和二氧化硫)的定义参见附录D。

4 人员防护

4.1 培训

4.1.1 基本培训

基本培训包括但不限于以下内容:

a) 课堂培训:

- 硫化氢及二氧化硫的危害性、特征和特性(参见附录A、附录B);
- 对暴露于硫化氢及二氧化硫中的受害者的救援技术和急救方法;
- 正确使用和保养防硫化氢、二氧化硫的呼吸设备,包括理论培训和实践操作演练;
- 限制空间和封闭设施的进入程序。

b) 现场培训:

- 硫化氢及二氧化硫的来源和暴露征兆;
- 硫化氢、二氧化硫监测仪器的使用、校验和维护及监测系统警示信号的辨认;
- 工作场所中预防硫化氢和二氧化硫实际的操作和维护程序;
- 施工场所和作业的应急预案,特别是紧急集合区的位置、危险区域、风向判断及逃生路线选择。

4.1.2 现场监督人员的附加培训

委派到现场负责监督责任的人员都应增加下列项目的培训:

- a) 应急预案中监督的职责;
- b) 硫化氢对设备的影响;
- c) 钻遇硫化氢之前对钻井液的处理。

4.1.3 来访者和其他非定期派遣人员的培训

4.1.3.1 在进入危险区之前,应向来访者和其他非定期派遣的人员简要介绍有关出口路线、紧急集合区位置、适用的警报信号和在紧急情况下的响应方法和个人防护设备的使用。

4.1.3.2 只有在受过培训的人员随同下,才允许这些人员进入危险区。

4.1.3.3 在紧急情况下,应立即撤离这些人员。

4.1.4 培训时间

含硫油气井作业相关人员应进行专门的硫化氢防护培训，首次培训时间不少于 15h，每 2 年复训一次，复训时间不少于 6h。

4.1.5 资质和证书

4.1.5.1 应由有资质的培训机构对人员进行防硫化氢技术培训。

4.1.5.2 受训人员的培训时间、培训内容、考核结果应有记录。记录最少保留 2 年。

4.1.5.3 参加井控培训的人员也应参加防硫化氢培训并取得合格证书，合格证书的有效期为 2 年。

4.2 硫化氢监测

4.2.1 硫化氢监测的要求

含硫油气井钻井过程中的硫化氢监测应符合 SY/T 6277 中的相关规定。

4.2.2 监测仪器和设备

4.2.2.1 应按照制造厂商的说明对监测仪器和设备进行安装、维护、校验和修理。

4.2.2.2 在可能含硫地区进行钻井作业时，现场应有监测仪器。

4.2.2.3 当硫化氢的浓度可能超过在用的监测仪的量程时，应在现场准备一个量程达 $1500\text{mg}/\text{m}^3$ (1000ppm) 的监测仪器。

4.2.2.4 二氧化硫在大气中的含量超过 $5.4\text{mg}/\text{m}^3$ (2ppm) (例如在产生二氧化硫的燃烧或其他操作期间)，应在现场配备便携式二氧化硫检测仪或带有检测管的比色指示监测器。

4.2.2.5 应指定专人保管和维护监测设备。

4.2.3 固定式硫化氢监测系统

用于油气井钻井作业的固定式硫化氢监测系统，应能同时发出声光报警，并能确保整个作业区域的人员都能看见和听到。

4.2.4 监测传感器的位置

监测传感器至少应在下述位置安装：

- a) 方井；
- b) 钻井液出口管口、接收罐和振动筛；
- c) 钻井液循环罐；
- d) 司钻或操作员位置；
- e) 井场工作室；
- f) 未列入进入限制空间计划的所有其他硫化氢可能聚集的区域。

4.2.5 便携式硫化氢监测仪

作业现场应至少配备便携式硫化氢监测仪 5 台。

4.2.6 警报的设置

4.2.6.1 当空气中硫化氢含量超过阈值时 [$15\text{mg}/\text{m}^3$ (10ppm)]，监测仪应能自动报警。

4.2.6.2 第一级报警值应设置在阈值 [硫化氢含量 $15\text{mg}/\text{m}^3$ (10ppm)]，达到此浓度时启动报警，提示现场作业人员硫化氢的浓度超过阈值，应采取 8.2.2.1 的措施。

4.2.6.3 第二级报警值应设置在安全临界浓度 [硫化氢含量 $30\text{mg}/\text{m}^3$ (20ppm)]，达到此浓度时，现场作业人员应佩戴正压式空气呼吸器，并采取 8.2.2.2 的措施。

4.2.6.4 第三级报警值应设置在危险临界浓度 [硫化氢含量 $150\text{mg}/\text{m}^3$ (100ppm)]，报警信号应与二级报警信号有明显区别，警示立即组织现场人员撤离，并采取 8.2.2.3 的措施。

4.2.7 监测设备的检查、校验和检定

4.2.7.1 在极端湿度、温度、灰尘和其他有害环境的作业条件下，检查、校验和测试的周期应缩短。

4.2.7.2 监测设备应由有资质的机构定期进行检定。

4.2.7.3 检查、校验和测试应做好记录，并妥善保存，保存期至少 1 年。

4.2.7.4 设备警报的功能测试至少每天一次。

4.2.8 钻进油气层的检测

钻入油气层时，应依据现场情况加密对钻井液中硫化氢的测定。

4.2.9 预探井的检测

在新构造上钻预探井时，应采取相应的硫化氢监测和预防措施。

4.3 呼吸保护设备

4.3.1 基本要求

4.3.1.1 当环境空气中硫化氢浓度超过 $30\text{mg}/\text{m}^3$ (20ppm) 时，应佩带正压式空气呼吸器，正压式空气呼吸器的有效供气时间应大于 30min。

4.3.1.2 使用者应接受关于正压式呼吸器的限制和正确使用正压式空气呼吸器方法的指导和培训。

4.3.1.3 含硫油气井钻井作业应配备正压式空气呼吸器。正压式空气呼吸器应放在作业人员能迅速取用的方便位置。陆上钻井队当班生产班组应每人配备一套，另配备一定数量作为公用。海上钻井作业人员应保证 100% 配备。

4.3.1.4 正压式空气呼吸器每次使用后都应进行清洁和消毒。需要修理的正压式空气呼吸器，应作好明显标记并将其从设备仓库中移出，直至磨损或损坏的部件已经被及时修理和替换为止。

4.3.1.5 含硫油气井钻井作业之前，应确认作业人员的身体状况良好并熟悉正压式空气呼吸器的使用方法。

4.3.1.6 钻井作业中，应对硫化氢作业区的硫化氢浓度和作业人员状况进行持续监测。

4.3.2 存放、检查和维护

4.3.2.1 正压式空气呼吸器应存放在人员能迅速取用的安全位置，并应根据应急预案的要求配备额外的正压式呼吸器。

4.3.2.2 应对正压式空气呼吸器加以维护并存放在清洁、卫生的地方，以避免损坏和污染。

4.3.2.3 对所有正压式空气呼吸器应每月至少检查 1 次，并且在每次使用前都应进行检查，以保证其维持正常的状态。月度检查记录（包括检查日期和发现的问题）应至少保留 12 个月。

4.3.3 面罩的限制

在工作区域硫化氢、二氧化硫浓度超过安全临界浓度的地方，应使用满足 4.3.1 要求的正压式空气呼吸器。在使用之前宜进行面罩与脸部的密接测试。测试应使用尺寸、类型、样式或构成适合于该人员的正压式空气呼吸器来进行。

4.3.4 适应性要求

对执行含硫油气井有关作业任务需使用正压式空气呼吸器的人员，应进行定期检查和演练，以使其生理和心理适应这些设备的使用。

4.3.5 空气供应

正压式空气呼吸器空气的质量应满足下述要求：

- a) 氧气含量 $19.5\% \sim 23.5\%$ ；
- b) 空气中凝析烃的含量小于或等于 5×10^{-6} （体积分数）；
- c) 一氧化碳的含量小于或等于 $12.5\text{mg}/\text{m}^3$ (10ppm)；
- d) 二氧化碳的含量小于或等于 $1960\text{mg}/\text{m}^3$ (1000ppm)；
- e) 没有明显的异味。

4.3.6 呼吸空气压缩机

所有使用的呼吸空气压缩机应满足下述要求：

- a) 避免污染的空气进入空气供应系统。当毒性或易燃气体可能污染进气口的情况发生时，应对压缩机的进口空气进行监测。
- b) 减少水分含量，以使压缩空气在一个大气压下的露点低于周围温度 $5^\circ\text{C} \sim 6^\circ\text{C}$ 。

- c) 依照制造商的维护说明定期更新吸附层和过滤器。压缩机上应保留有资质人员签字的检查标签。
- d) 对于不是使用机油润滑的压缩机，应保证在呼吸空气中的一氧化碳值不超过 $12.5\text{mg}/\text{m}^3$ (10ppm)。
- e) 对于机油润滑的压缩机，应使用一种高温或一氧化碳警报，或两者皆备，以监测一氧化碳浓度。如果只使用高温警报，则应加强入口空气的监测，以防止在呼吸空气中的一氧化碳超过 $12.5\text{mg}/\text{m}^3$ (10ppm)。

5 井场及钻井设备的布置

- 5.1 井场的布置应符合 SY/T 5466 的要求。
- 5.2 钻前工程前，应从气象资料中了解当地季节的主要风向。
- 5.3 井场内的引擎、发电机、压缩机等容易产生引火源的设施及人员集中区域宜部署在井口、节流管汇、天然气火炬装置或放喷管线、液气分离器、钻井液罐、备用池和除气器等容易排出或聚集天然气的装置的上风方向。
- 5.4 对可能遇有硫化氢的作业井场应有明显、清晰的警示标志，并遵守以下要求：
 - a) 井处于受控状态，但存在对生命健康的潜在或可能的危险 [硫化氢浓度小于 $15\text{mg}/\text{m}^3$ (10ppm)]，应挂绿牌；
 - b) 对生命健康有影响 [硫化氢浓度 $15\text{mg}/\text{m}^3$ (10ppm) ~ $30\text{mg}/\text{m}^3$ (20ppm)]，应挂黄牌；
 - c) 对生命健康有威胁 [硫化氢浓度大于或可能大于 $30\text{mg}/\text{m}^3$ (20ppm)]，应挂红牌。
- 5.5 在确定井位任一侧的临时安全区的位置时，应考虑季节风向。当风向不变时，两边的临时安全区都能使用。当风向发生 90° 变化时，则应有一个临时安全区可以使用。当井口周围环境硫化氢浓度超过安全临界浓度时，未参加应急作业人员应撤离至安全区内。
- 5.6 测井车等辅助设备和机动车辆应尽量远离井口，宜在 25m 以外。未参加应急作业的车辆应撤离到警戒线以外。
- 5.7 井场值班室、工程室、钻井液室、气防器材室等应设置在井场主要风向的上风方向。
- 5.8 应将风向标设置在井场及周围的点上，一个风向标应挂在被正在工地上的人员以及任何临时安全区的人员都能容易地看得见的地方。安装风向标的可能的位置是：绷绳、工作现场周围的立柱、临时安全区、道路入口处、井架上、气防器材室等。风向标应挂在有光照的地方。
- 5.9 在钻台上、井架底座周围、振动筛、液体罐和其他硫化氢可能聚集的地方应使用防爆通风设备（如鼓风机或风扇），以驱散工作场所弥散的硫化氢。
- 5.10 钻入含硫油气层前，应将机泵房、循环系统及二层台等处设置的防风护套和其他类似的围布拆除。寒冷地区在冬季施工时，对保温设施可采取相应的通风措施，以保证工作场所空气流通。
- 5.11 应确保通信系统 24h 畅通。

6 井用材料及设备

6.1 对材料的考虑

钻井设备的制造材料应具备抗硫应力开裂的性能。

6.2 材料的选择

- 6.2.1 采用 SY/T 0599 的条款作为最低的标准。设备用户可自由选择更严格的规范。
- 6.2.2 材料应有材质合格证及用户抽检结果报告等适用性文件。
- 6.2.3 非金属密封件，应能承受指定的压力、温度和硫化氢环境，同时应考虑化学元素或其他钻井液条件的影响。

6.3 钻井液

下述措施将帮助金属抗硫化物应力腐蚀开裂：

- a) 在使用除硫剂时，应密切监测钻井液中除硫剂的残留量；
- b) 维持钻井液的 pH 值为 9.5~11，以避免发生能将硫化氢从钻井液中释放出来的可逆反应。

6.4 防喷设备的选择

6.4.1 用于硫化氢环境的防喷设备的检查及测试程序应按照 API RP 53 的相关条款执行。

6.4.2 环形和闸板型防喷器及相关设备的产品采购规范，以及对防喷设备的操作特性测试应按 API Spec 16A 的相关条款执行。

6.4.3 选择、安装和测试适用于硫化氢环境服务的节流管汇总成应按 API RP 53 及 SY/T 5323—2004 的有关条款执行。

6.4.4 在高含硫、高压地层和区域探井的钻井作业中，在防喷器上应安装剪切闸板。

6.4.5 在钻具中应加装回压阀等内防喷工具，但在井漏等特殊情况下，可以不安装内防喷工具。

6.5 井口设备

用于硫化氢环境的井口设备按 API Spec 6A 的要求执行。

6.6 管材

6.6.1 管材应使用符合 SY/T 0599、SY/T 6194 和 API Spec 5D 规定的材料及经测试证明适合用于硫化氢环境材料。

6.6.2 应选用规格化并经回火的较低强度的管材（例如 J55 或 L-80 油管，E 级和 X 级的钻杆）及规格化并经回火的方钻杆用于含硫油气井。

6.6.3 对于高于 646.25MPa (95000psia) 屈服强度的管材，应淬火和回火。

6.6.4 在没有使用特种钻井液的情况下，高强度的管材（例如 P110 油管和 S135 钻杆）不应用于含硫化氢的环境。

6.7 井控装置的安装

6.7.1 钻井设计中有关井控装置的设计、安装、固定和试压应符合 SY/T 5964 的规定。

6.7.2 钻井井口和套管的连接及放喷管线的高压区在现场不允许焊接。

6.7.3 放喷管线应至少装两条，其夹角为 $90^{\circ}\sim 180^{\circ}$ ，管线转弯处的弯头夹角不应小于 120° ，并接出距井口不少于 100m；若风向改变时，至少有一条能安全使用，以便必要时连接其他设备（如压裂车、水泥车等）做压井用。

6.7.4 井控装置、管材和井下工具及其配件在储放时应注明钢级，严格分类保管并带有产品合格证和说明书；运输过程中需采取措施避免损伤。

6.7.5 防喷器大修时，若进行了焊接、补焊、堆焊等工艺，则应在其后做大于 620°C 的高温回火处理。

7 地质及钻井工程设计的特殊要求

7.1 地质设计的特殊要求

7.1.1 应对拟定探井周围 3km，生产井井位 2km 范围内的居民住宅、学校、公路、铁路和厂矿等进行勘测，并在设计书中标明其位置。

7.1.2 在煤矿、金属和非金属矿等非油气矿藏开采区钻井，还应标明地下矿井、坑道的层位、分布、深度和走向及地面井位与矿井、坑道的关系。

7.1.3 在含硫地区的钻井设计中，应注明含硫地层及其深度和预计硫化氢含量。

7.1.4 在江河干堤附近钻井应标明干堤、河道位置，同时应符合国家安全、环保规定。

7.2 钻井工程设计的特殊要求

7.2.1 若预计硫化氢分压大于 0.3kPa 时，应使用抗硫套管、油管等其他管材和工具。

7.2.2 对含硫油气层上部的非油气矿藏开采层应下套管封住,套管鞋深度应大于开采层底部深度100m以上。目的层为含硫油气层以上地层压力梯度与之相差较大的地层也应下套管封隔。在井下温度高于93℃以深的井段,套管可不考虑其抗硫性能。

7.2.3 高压含硫地区可采用厚壁钻杆。

7.2.4 钻开高含硫地层的设计钻井液密度,其安全附加密度在规定的范围内(油井 $0.05\text{g}/\text{cm}^3 \sim 0.10\text{g}/\text{cm}^3$,气井 $0.07\text{g}/\text{cm}^3 \sim 0.15\text{g}/\text{cm}^3$)时应取上限值;或附加井底压力在规定的范围内(油井 $1.5\text{MPa} \sim 3.5\text{MPa}$,气井 $3\text{MPa} \sim 5\text{MPa}$)时应取上限值。

7.2.5 应储备井筒容积0.5倍~2倍的,密度值大于在用钻井液密度 $0.1\text{g}/\text{cm}^3$ 以上钻井液。

7.2.6 应储备满足需要的钻井液加重材料。

7.2.7 应储备足量的除硫剂。

7.2.8 在钻开含硫地层前50m,应将钻井液的pH值调整到9.5以上直至完井。若采用铝制钻具时,pH值控制在9.5~10.5之间。

7.2.9 不允许在含硫油气地层进行欠平衡钻井。

8 应急管理

8.1 基本要求

8.1.1 在含硫油气井的钻井作业前,与钻井相关各单位应制定各级防硫化氢的应急预案。钻井各方人员都应掌握应急预案的相关内容。应急预案应考虑硫化氢和二氧化硫浓度可能产生危害的严重程度和影响区域;还应考虑硫化氢和二氧化硫的扩散特性(参见附录C或其他公认的扩散模型);

8.1.2 应急预案的内容应包括但不限于:

- a) 应急组织机构。
- b) 应急岗位职责。
- c) 现场监测制度。
- d) 应急程序:
 - 报告程序;
 - 人员撤离程序;
 - 点火程序。
- e) 培训与演习。

8.2 应急预案编制内容

8.2.1 机构及职责:应急预案中应包括钻井各相关方的组织机构和负责人,并应明确应急现场总负责人及各方人员在应急中的职责。

8.2.2 应急响应。

8.2.2.1 当硫化氢浓度达到 $15\text{mg}/\text{m}^3$ (10ppm)的阈值时启动应急程序,现场应:

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

8.2.2.2 当硫化氢浓度达到 $30\text{mg}/\text{m}^3$ (20ppm)的安全临界浓度时,按应急程序应:

- a) 戴上正压式空气呼吸器;
- b) 向上级(第一责任人及授权人)报告;
- c) 指派专人至少在主要下风口距井口100m、500m和1000m处进行硫化氢监测,需要时监测点可适当加密;
- d) 实施井控程序,控制硫化氢泄漏源;

- e) 撤离现场的非应急人员；
- f) 清点现场人员；
- g) 切断作业现场可能的着火源；
- h) 通知救援机构。

8.2.2.3 当井喷失控时，按下列应急程序立即执行：

- a) 由现场总负责人或其指定人员向当地政府报告，协助当地政府作好井口 500m 范围内的居民的疏散工作，根据监测情况决定是否扩大撤离范围；
- b) 关停生产设施；
- c) 设立警戒区，任何人未经许可不得入内；
- d) 请求援助。

8.2.2.4 当井喷失控时，井场硫化氢浓度达到 $150\text{mg}/\text{m}^3$ (100ppm) 的危险临界浓度时，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信表通知（或安排通知）其他有关机构和有关人员（包括政府有关负责人）。由施工单位和生产经营单位按相关规定分别向其上级主管部门报告。

8.2.2.5 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二氧化硫浓度，以确定在什么时候方能重新安全进入。

8.3 油气井点火程序

8.3.1 含硫油气井井喷或井喷失控事故发生后，应防止着火和爆炸，按 SY/T 6426 执行。

8.3.2 发生井喷后应采取控制井喷，若井口压力有可能超过允许关井压力，需点火放喷时，井场应先点火后放喷。

8.3.3 井喷失控后，在人员的生命受到巨大威胁、人员撤离无望、失控井无希望得到控制的情况下，作为最后手段应按抢险作业程序对油气井井口实施点火。

8.3.4 油气井点火程序的相关内容应在应急预案中明确。油气井点火决策人宜由生产经营单位代表或其授权的现场总负责人来担任，并列入应急预案中。

8.3.5 井场应配备自动点火装置，并备用手动点火器具。点火人员应配戴防护器具，并在上风方向，离火口距离不少于 10m 处点火。

8.3.6 点火后应对下风方向尤其是井场生活区、周围居民区、医院、学校等人员聚集场所的二氧化硫的浓度进行监测（参见附录 C）。

8.4 应急联络

考虑到与相关方应急联系和报告的需要，应准备和保存一份应急通信表。根据应急通信表的内容制成联络框图，并作为应急预案的一部分：

- a) 应急救援服务机构；
- b) 政府机构和联系部门；
- c) 其他相关单位与承包商。

8.5 培训和演习

模拟应急程序的训练和演习是作业人员执行或演示他们的任务的重要手段。在这样的演练中，要包括动用设备和测试通信设备，而模拟伤员要被送往有医治模拟伤情设施的医院。这些演练应通知政府有关部门（最好能让他们参加）。

8.6 应急预案的更新

对应急预案应定期复核，随时对条款或覆盖范围的改变进行更新。特别应观察和考虑的变化是居住或住宅区、仓库、公园、商店、学校或公路，以及油气井作业的变化和租用设施的变化。

9 井场安全

9.1 计划

9.1.1 应制定一套与本标准的要求相一致的作业计划。

9.1.2 在开始作业前,生产经营单位、承包公司、钻井公司、服务公司和其他与工作有关的代表应讨论有关油气井的数据和将要执行的作业的有关事项,并以合同形式明确各方的安全责任。

9.1.3 在安装设备之前,生产经营单位或用合同形式委托的单位及代表应提供硫化氢应急预案,并与钻井和服务公司代表一起审查该预案。

9.1.4 生产经营单位还应审查钻井和服务公司的“应急预案”,以保证在硫化氢紧急情况下的响应协调。

9.2 日常检查

在每天开始工作之前,应由指定的井场监督实行日常检查。应包括但不限于下述检查项目:

- a) 已经或可能出现硫化氢的工作场地;
- b) 风向标;
- c) 硫化氢监测设备及警报(功能试验);
- d) 人员保护呼吸设备的安置;
- e) 消防设备的布置;
- f) 急救药箱和氧气瓶。

9.3 钻井液储存

9.3.1 从储存的钻井液中逸出的硫化氢气体对人员是有害的,特别是在封闭的空间里。当可能曾经暴露于硫化氢环境中的钻井液储存在钻井液罐、起下钻灌浆罐、钻井液储备罐或其他罐中时,应极其小心。

9.3.2 储存的钻井液与某些材料(残余的或添加的)之间的化学反应也会产生硫化氢。当人员进入任何容纳有或曾经容纳过储存的钻井液的封闭的或通风不畅的地点时,应采取合适的安全预防措施。被污染的钻井液应以安全的方式进行处理。

9.4 特别预防措施

9.4.1 在钻井作业期间,比如放喷、拆卸井口设备和起下管柱、循环钻井液等,应采取特别预防措施,以避免残存其中的硫化氢释放出来造成危害。

9.4.2 为避免无风和微风情况下硫化氢的积聚,可以使用防爆通风设备将有毒气体吹往期望的方向。

9.4.3 应特别注意低洼的工作区域,比如井口方井,由于较重的硫化氢或二氧化硫在这些地点的沉积,可能会达到有害的浓度。

9.4.4 当人员在达到硫化氢危险临界浓度 $[150\text{mg}/\text{m}^3 (100\text{ppm})]$ 的大气环境中执行任务时,应有接受过救护技术培训的值班救护人员,同时应有必要的救护设备,包括适用的呼吸器具。

9.5 安全工作许可证

硫化氢作业之前要制定相应的作业程序,签署作业许可证,明确安全措施。安全措施应包括向作业人员提供所需要的防护设备、正确的隔离设备、正确地进行设备和管线的通风等。

9.6 受限制空间的进入

对进出已知或潜在硫化氢危险的封闭设施应特别注意。在通常情况下,这些封闭设施不通风。进入受限制空间时应有一个受限制空间进入许可证。许可证至少应注明:

- a) 标明作业场地、许可证签发日期和使用期限;
- b) 保证安全作业的特殊检测要求和其他条件;
- c) 进行持续监测,以确定硫化氢、氧和可燃气体浓度不会导致起火和伤害作业人员的身体健康;
- d) 生产经营单位其他特殊规定。

9.7 硫化氢和二氧化硫防护演习

9.7.1 除了对人员进行硫化氢及二氧化硫培训外，还应定期举行应急演习。这些应急演习应包括应急程序所必需的步骤。

9.7.2 人员培训和应急演习的记录文件应保存至少1年。

9.8 硫化氢着火源

为了将可能的着火源减至最低，应考虑下列事项：

- a) 强制执行“不准吸烟”的规定；
- b) 在危险区使用的任何电器设施等均应满足防爆要求；
- c) 禁止装备有催化转化器的车辆在十分接近井口的地方作业，除非采取了措施保证该地安全而没有产生火花的可能；没有参与应急作业的车辆应在远离井口的警戒线以外；
- d) 在离井口30m以内的所有内燃机的排气管上，应安装火花捕捉器等同的设备；
- e) 将明焰烘箱、明火、焊接作业或其他可能的火源（电动工具、无线电通信等）限制在指定的区域；
- f) 其他防止火源措施。

10 钻井作业中的特殊要求

10.1 严格按设计的钻井液密度执行，未经设计修改的申报、审批程序，不得修改设计钻井液密度，但不包括下列情况：

- a) 发现地层压力异常时；
- b) 发现溢流、井涌、井漏时。

若出现上述异常情况，应关井求压，及时调整钻井液密度或压井，同时向有关部门汇报。

10.2 利用钻井液除气器和除硫剂，控制钻井液中硫化氢的含量在 50mg/m^3 （33.3ppm）以下，并随时对钻井液的pH值进行监测。

10.3 在油气层中进行起钻前，应先进行短程起下钻。

10.4 钻头在油气层中和油气层顶部以上300m长的井段内的起钻速度应控制在 0.5m/s 以内。

10.5 钢材，尤其是钻杆，其使用拉应力需控制在钢材屈服强度的60%以下。

10.6 井场内严禁烟火；若需动火，按SY/T 5858执行。

11 特殊作业

11.1 取心作业

11.1.1 在从已知或怀疑含有硫化氢的地层中起出岩心之前应提高警惕。在岩心筒到达地面以前至少10个立柱，或在达到安全临界浓度时，应立即戴上正压式空气呼吸器。

11.1.2 当岩心筒已经打开或当岩心已移走后，应使用移动式硫化氢监测设备来检查岩心筒。在确定大气中硫化氢浓度低于安全临界浓度之前，人员应继续使用正压式空气呼吸器。

11.1.3 在搬运和运输含有硫化氢的岩心样品时，应提高警惕。岩样盒应采用抗硫化氢的材料制作，并附上标签。

11.2 油气井测试作业

11.2.1 在油气井测试期间人员的安全防护，应按第4章执行。

11.2.2 只有经硫化氢防护培训合格的人员才能参与作业。

11.2.3 实施作业的主要人员数量应保持最低。作业过程中，应使用硫化氢监测设备来监测大气情况，正压式空气呼吸器应放在主要工作人员能迅速而方便取得的地方。

11.2.4 在开始作业前，应召开钻井及相关工作人员参加的特殊安全会议，并特别强调使用正压式空气呼吸器、急救程序及应急反应程序。

11.2.5 应在保证人员安全的条件下，排放和（或）燃烧所有产生的气体。对来自储存的测试液中的气体，也应安全地排放。

11.2.6 在处理已知或怀疑有硫化氢地层的液体样品过程中，人员应保持警惕。处理和运输含硫化氢的样品时，应采取预防措施。样品容器应使用抗硫化氢的材料制成，并附上标签。

11.3 弃井作业

用水泥将产生或可能产生危险浓度硫化氢的整个地层封死，并按有关规定和程序实施弃井作业。

12 海上作业

12.1 海上含硫油气井作业，应执行《海洋石油作业硫化氢防护安全要求》和本标准其他章节中的要求。

12.2 海上含硫油气井作业时，应在前述应急预案的基础上增加以下项目：

- a) 培训：所有人员都应熟悉应急逃生路线的位置和逃生设备的应用；
- b) 所有人员撤到上风位；
- c) 海上设施的医护人员和安全监督应熟练使用氧气复苏设备；
- d) 平台应对可燃气体和硫化氢的浓度加以监测，确保直升机安全起降；在可能情况下应使船舶和直升机从上风方向接近现场。

12.3 当钻井、油气井服务、生产和建造作业中有两种或两种以上的作业需要同步进行时，必须强调这些作业之间的协调。应指派一个人担任同步作业的负责人，协调应急事项。

附录 A

(资料性附录)

硫化氢的物理特性和对生理的影响

A.1 物理数据

化学名称：硫化氢。

化学文摘服务社编号：7783-06-4。

同义词：硫化氢、氢硫酸、二氢硫。

化学分类：无机硫化物。

化学分子式： H_2S 。

通常物理状态：无色气体，比空气略重， 15°C (59°F)、 0.10133MPa (1 atm) 下蒸气密度（相对密度）为 1.189。

自燃温度： 260°C (500°F)。

沸点： -60.2°C (-76.4°F)。

熔点： -82.9°C (-117.2°F)。

可爆范围：空气中蒸气体积分数 4.3%~46%。

溶解度：溶于水 and 油，溶解度随溶液温度升高而降低。

可燃性：燃烧时火焰呈蓝色，生成二氧化硫，参见附录 D。

气味和警示特性：硫化氢有极其难闻的臭鸡蛋味，低浓度时容易辨别出。但由于容易很快造成嗅觉疲劳和麻痹，气味不能用作警示措施。

A.2 暴露极限

美国职业安全与健康局 (OSHA)¹⁾ 规定硫化氢可接受的上限浓度 (ACC) 为 $30\text{mg}/\text{m}^3$ (20ppm)， $75\text{mg}/\text{m}^3$ (50ppm) 为超过可接受的上限浓度 (ACC) 的每班 8h 能接受的最高值（参见 29 CFR²⁾ Part 1910.1000, Subpart Z, Table Z-2）。美国政府工业卫生专家联合会 (ACGIH)³⁾ 推荐的阈限值为 $15\text{mg}/\text{m}^3$ (10ppm) (8h TWA)，15min 短期暴露极限 (STEL) 为 $22.5\text{mg}/\text{m}^3$ (15ppm)。每天暴露于短期暴露极限 (STEL) 下的次数不应超过 4 次，连续 2 次间隔时间至少为 60min。对于外大陆架的油气作业，即使偶尔短时暴露于 $30\text{mg}/\text{m}^3$ (20ppm) 的硫化氢环境，根据美国内政部矿产管理部门的规定，要求使用呼吸保护装置。详细资料详见 The NOISH Recommended Standard for Occupational Exposure to Hydrogen Sulfide。参阅表 A.2 暴露值的附加资料。向雇主了解特定情况下的暴露值。

A.3 生理影响

警示：吸入一定浓度的硫化氢会伤害身体（参阅表 A.1），甚至导致死亡。

硫化氢是一种剧毒、可燃气体，常在天然气生产、高含硫原油生产、原油馏分、伴生气和水的生产中可能遇到。因硫化氢比空气重，所以能在低洼地区聚集。硫化氢无色、带有臭鸡蛋味，在低浓度下，通过硫化氢的气味特性能检测到它的存在。但不能依靠气味来警示危险浓度，因为处于高浓度 [超过 $150\text{mg}/\text{m}^3$ (100ppm)] 的硫化氢环境中，人会由于嗅觉神经受到麻痹而快速失去嗅觉。长时

1) 美国职业安全与健康局（美国劳工部）。可从 U. S. Government Printing Office, Washington, D. C. 20402 获得。

2) 美国联邦法规。

3) 美国政府工业卫生专家联合会。

间处于低硫化氢浓度的大气中也会使嗅觉灵敏度减弱。

警示：应充分认识到硫化氢能使嗅觉失灵，使人不能发觉危险性高浓度硫化氢的存在。

表 A.1 硫化氢

在空气中的浓度				暴露于硫化氢的典型特性
% (体积分数)	ppm	每 100 标准立方英尺 的格令数	mg/m ³	
0.000013	0.13	0.008	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。随着浓度的增加，嗅觉就会疲劳，气体不再能通过气味来辨别
0.001	10	0.63	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联合会推荐的阈限值 (8h 加权平均值)
0.0015	15	0.94	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	1.26	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	3.15	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 1h，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	6.30	144.14	3min~15min 就会出现咳嗽、眼睛受刺激和失去嗅觉。在 5min~20min 过后，呼吸就会变样、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	18.90	432.40	明显的结膜炎和呼吸道刺激。 注：考虑将此浓度定为立即危害生命或健康浓度，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	31.49	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	44.08	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。应用人工呼吸和 (或) 心肺复苏
0.10 +	1000 +	62.98 +	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
注 1：表 A.1 中的数据只作为指导的近似值，公布的数据会稍为不同。				
注 2：资料来源于 API RP 55 (第二版，1995) 表 A.1。				

表 A.2 硫化氢的职业暴露值

OSHA ACCs				ACGIH TLVs				NIOSH RELs			
ACC		ACC 以上的 8h 最大峰值		TWA		STEL		TWA		CEIL (C)	
ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	ppm	mg. m ³	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³
20	30	50	75	10	15	15	22. 5	N/A	N/A	C10	C15
ACC、ACCs：可接受的上限浓度。 TLV、TLVs：阈限值。 REL、RELs：推荐的暴露值。 TWA：8h 加权平均浓度（不同加权平均重量计算方法见特定的参考资料）。 STEL：15min 内平均的短期暴露值。 N/A：不适用的。 CEIL (C)：NIOSH 规定的 10min 内平均的暴露值。											

过多暴露于硫化氢中能**毒害呼吸系统的细胞**，导致死亡。有事例表明血液中存在酒精能加剧硫化氢的毒性。即使在低浓度 [15mg/m³ (10ppm) ~75mg/m³ (50ppm)] 时，硫化氢也会刺激眼睛和呼吸道。间隔时间短的多次**短时低浓度暴露**也会刺激眼、鼻、喉，低浓度重复暴露引起的症状常在离开硫化氢环境后的一段时间内消失。即使开始没有出现症状，频繁暴露最终也会引起刺激。

A.4 呼吸保护

美国职业安全与健康局审查了**呼吸器测试标准和呼吸器渗漏源**，**建议**暴露于硫化氢含量超过 OSHA 规定的可接受的上限浓度的任何人都要配戴正压式（供气式或自给式）带全面罩的个人呼吸设备。

附录 B (资料性附录)

二氧化硫的物理特性和对生理的影响

B.1 物理数据

化学名称：二氧化硫。

化学文摘服务社编号：7446-09-05。

化学分类：无机物。

化学分子式： SO_2 。

通常物理状态：无色气体，比空气重。

沸点： -10.0°C (14°F)。

可燃性：不可燃，由硫化氢燃烧形成。

溶解性：易溶于水和油，溶解性随溶液温度升高而降低。

气味和警示特性：有硫燃烧的刺激性气味，具有窒息作用，在鼻和喉粘膜上形成亚硫酸。

B.2 暴露极限

美国职业安全与健康局规定二氧化硫 8h 时间加权平均数 (TWA) 的允许暴露极限值 (PEL) 为 $13.5\text{mg}/\text{m}^3$ (5ppm)，而美国政府工业卫生专家联合会 (ACGIH) 推荐的阈限值为 $5.4\text{mg}/\text{m}^3$ (2ppm) (8h TWA)，15min 短期暴露极限 (STEL) 为 $13.5\text{mg}/\text{m}^3$ (5ppm)。参阅表 B.2 暴露值的附加资料。向雇主了解特定情况下的暴露值。

B.3 生理影响

B.3.1 急性中毒

吸入一定浓度的二氧化硫会引起人身伤害甚至死亡。暴露浓度低于 $54\text{mg}/\text{m}^3$ (20ppm)，会引起眼睛、喉、呼吸道的炎症，胸痉挛和恶心。暴露浓度超过 $54\text{mg}/\text{m}^3$ (20ppm)，可引起明显的咳嗽、打喷嚏、眼部刺激和胸痉挛。暴露于 $135\text{mg}/\text{m}^3$ (50ppm) 中，会刺激鼻和喉，流鼻涕、咳嗽和反射性支气管缩小，使支气管黏液分泌增加，肺部空气呼吸难度立刻增加 (呼吸受阻)。大多数人都不能在这种空气中承受 15min 以上。据报道，暴露于高浓度中产生的剧烈的反映不仅包括眼睛发炎、恶心、呕吐、腹痛和喉咙痛，随后还会发生支气管炎和肺炎，甚至几周内身体都很虚弱。

B.3.2 慢性中毒

有报告指出，长时间暴露于二氧化硫中可能导致鼻咽炎，嗅、味觉的改变、气短和呼吸道感染危险增加，并有消息称工作环境中的二氧化硫可能增加砒霜或其他致癌物⁴⁾的致癌性，但至今还没有确凿的证据。有些人明显对二氧化硫过敏。肺功能检查发现在短期和长期暴露后功能有衰减。

B.3.3 暴露风险

尚不清楚多少浓度的低量暴露或多长时间的暴露会增加中毒风险，也不清楚风险会增加多少。宜尽量少暴露于二氧化硫中。宜坚决阻止暴露于二氧化硫环境中的人吸烟。

注：工作安排必须考虑任何原有的慢性呼吸伤害，因暴露于二氧化硫中能使其病情恶化。

4) Criteria for a Recommended Standard for Occupational Exposure to Sulfur Dioxide, 1974, p. 26. 也可参考 1977 年版。

B.4 呼吸保护

美国职业安全与健康局审查了呼吸器测试标准和呼吸器渗漏源，建议暴露于二氧化硫含量超过 OSHA 规定的允许暴露极限（PEL）的任何人都要配戴正压式（供气式或自给式）带全面罩的个人呼吸设备。有关含二氧化硫的油气井服务和修井作业中推荐使用的适当呼吸设备见 6.5。

表 B.1 二氧化硫

空气中的浓度				
% (体积分数)	ppm	格令每 100 标准 立方英尺	mg/m ³	暴露于二氧化硫的典型特性
0.0001	1	0.12	2.71	具有刺激性气味，可能引起呼吸改变
0.0002	2	0.24	5.42	ACGIH TLV 和 NIOSH REL
0.0005	5	0.59	13.50	灼伤眼睛，刺激呼吸，对嗓子有较小的刺激。注：OSHA PEL（参见 29 Code of Federal Regulations Part 1910.1000，表 Z-1；ACGIH 和 NIOSH STEL 15min 内暴露平均值的极限
0.0012	12	1.42	32.49	刺激嗓子咳嗽，胸腔收缩，流眼泪和恶心
0.010	100	12.0	271.00	立即对生命和健康产生危险的浓度（IDLH），见 DHHS No. 85-114，NOISH 化学危险品手册
0.015	150	17.76	406.35	产生强烈的刺激，只能忍受几分钟
0.05	500	59.2	1354.50	即使吸入一口，就产生窒息感。应立即救治，提供人工呼吸或心肺复苏技术（CPR）
0.10	1000	118.4	2708.99	如不立即救治会导致死亡，应马上进行人工呼吸或心肺复苏（CPR）
注：表 B.1 中列出的值为大约值，一些出版物中给出的值会稍有不同。				

表 B.2 二氧化硫的职业暴露值

OSHA PELs				ACGIH TLVs				NOISH RELs			
TWA		STEL		TWA		STEL		TWA		STEL	
ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³
5	14	N/A	N/A	2	5	5	13	2	5	5	13
ACC：可承受的最高浓度。 TLV：阈值。 REL：推荐的暴露水平限值。 TWA：8h 加权平均浓度（不同重量计算方法见特定的参考资料）。 STEL：15min 内平均的短期暴露水平限值。 N/A：不适用的。											

附录 C

(资料性附录)

硫化氢扩散的筛选方法

注：美国石油学会 (APD) 空气模拟工作小组 (AQ7) 采用简单的筛选模型及模拟技术给出了暴露半径的预计值 (图 C.1~图 C.4)。对于硫化氢和携带气体的平衡悬浮混合物的低速释放，这些模型较准确。图 C.1~图 C.4 对于高速释放的、以轻的气体为硫化氢携带气的混合物，可用作一种较保守的筛选处理方式。但不推荐将图 C.1~图 C.4 用于低速释放、携带气和硫化氢混合物重于空气的场合，或可能产生气溶胶的场合，因为此时可能会得出偏小的暴露半径预测值。宜对具体的应用条件进行评价，以决定是否需要使用条件更为苛刻的模拟技术。使用者宜对他们自己的作业过程进行评价，以选择适合的模型用于具体的应急预案。

C.1 引言

本附录列出的内容是一般性的，以供编制应急预案时，保守地估计硫化氢扩散达到的浓度时使用。图 C.1~图 C.4 给出了纯硫化氢连续释放或瞬时释放时，由计算模型算出的其在大气中呈屏幕平面的浓度为 $15\text{mg}/\text{m}^3$ (10ppm)， $45\text{mg}/\text{m}^3$ (30ppm)， $150\text{mg}/\text{m}^3$ (100ppm)， $450\text{mg}/\text{m}^3$ (300ppm)， $750\text{mg}/\text{m}^3$ (500ppm) 的暴露半径。暴露半径描述了释放源与沿着羽毛状的地面中心线到达所关心的浓度之间的距离。已开发出了一些作为释放的硫化氢的量/速率和不同的释放方式 (连续释放或瞬时释放) 的函数的暴露半径的关系式，来预测不同浓度的暴露半径。方程式和相关系数在 C.8 和表 C.1 中给出。模拟了最坏的气象条件下的白天和夜晚的情况。

涉及硫化氢操作的不同的规范都给出了一个暴露半径 (ROE) 的预测方法和技术，必须考虑这些方法，因为为了符合某些特殊的要求，规范可能会规定特定的方法，除非允许使用其他方法。

C.2 方法

图 C.1、图 C.2、图 C.3 和图 C.4 中的暴露半径 (ROE) 是用基于 Gaussian 扩散理论经美国环保署批准的模型预测所得，图 C.1 和图 C.2 的暴露半径 (ROE) 是在连续、稳定的释放 100% 硫化氢的模式上预测出来的，图 C.3 和图 C.4 的暴露半径 (ROE) 是在硫化氢瞬时释放的模型上预测出来的。两种硫化氢释放类型都是用中等浮升介质在稳定的气象条件下模拟的。所有的模拟工作中均采用了 3.048m (10ft) 的有效烟羽高度 (释放高度加上烟羽抬升高度)。假设预测的暴露半径 (ROE) 值在 $0\text{m}\sim 15.24\text{m}$ (0ft~50ft) 的有效烟羽高度内没有明显变化。

为了进行扩散模拟，空气中的紊流程度被分为增加的和稳定的两类，应用最广泛的分类是 Pasquill-Gifford (PG) 稳定级别 A、B、C、D、E、F (Pasquill, F., Atmospheric Diffusion, Second Edition, John Wiley & Sons, New York, 1974)。PG 稳定级别 A 是指最不稳定的 (最强紊流) 空气条件，PG 稳定级别 F 是指最稳定的 (最少紊流) 空气状态，PG 稳定级别 D 是指中间的空气状态，温度的梯度几乎与绝热下降速度相同。在这样的条件下，上升或下降的热的气包的速度与周围空气相同，不会加剧或抑制空气的垂直运动。

平坦、开敞草原的标准 PG 扩散系数用于连续硫化氢释放模式，平坦、开敞草原的 Slade 扩散系数 (参见 NTIS³⁾ - TID 24190; Slade, D. H., Meteorology and Atomic Energy, 1986) 用于瞬时硫化氢释放模式。在建立瞬时硫化氢释放模式时，假定下风向 (X) 和上风向 (Y) 扩散系数相同。这样的假设得到最保守 (最坏情况) 的暴露半径 (ROE) 预测值。以下的气象条件也假设代表了白天和夜晚最坏的情况。选择了稳定的中间级别 PG D 级，风速 $8.045\text{km}/\text{h}$ (5mile/h) 作为白天硫化氢连续释放条件。对于夜晚硫化氢连续释放情况，选择了稳定的中间级别 PG D，风速 $3.540\text{km}/\text{h}$ (2.2mile/h)。

5) 国家技术情报中心。

对于白天瞬时释放，选择了稍微不稳定的级别 Slade A，风速 8.045km/h (5mile/h)。对于夜晚的瞬时释放，选择了中间稳定的级别 Slade B，风速 3.540km/h (2.2mile/h)。

45mg/m³ (30ppm)，150mg/m³ (100ppm)，450mg/m³ (300ppm)，750mg/m³ (500ppm) 的硫化氢连续释放时的暴露半径 (ROE) 值适用于 10min~1h 的平均时间， 10×10^{-6} (体积分数) (连续释放) 的暴露半径 (ROE) 值为基于 8h 的平均浓度，因 10×10^{-6} (体积分数) 代表了硫化氢 8h 的时间加权平均数 (TWA) 值。为了取得 8h15mg/m³ (10ppm) 平均浓度，需用系数 0.7 转化 1h 的浓度 (参见 EPA⁶⁾ - 450/4 - 88 - 009; A Workbook of Screening Techniques for Assessing Impacts of Toxic Air Pollutants)。45mg/m³ (30ppm)，150mg/m³ (100ppm)，450mg/m³ (300ppm)，750mg/m³ (500ppm) 的硫化氢瞬时释放的暴露半径 (ROE) 值适用于 1min~10min 的平均时间；EPA 的转换因子 0.7 用于转换模型预测的瞬时峰值以获得 10min 15mg/m³ (10ppm) 时间平均浓度。对于连续释放，美国环保局 (EPA) 认为 10min 和 1h 的平均时间是相同的。本附录所述的模拟假定瞬时排放时间极短 (最多 10min~15min)。

用于预测硫化氢连续释放和瞬时释放的暴露半径 (ROE) 值的模型的简要描述见 C. 13。

表 C. 1 下风向时硫化氢浓度及其释放量/速率所对应的暴露半径 (ROE)
数学预测的线性回归系数

时 间	排 放 类 型	浓 度 ppm	系 数	
			A	B
白天	连续	10	0.61	0.84
白天	连续	30	0.62	0.59
白天	连续	100	0.58	0.45
白天	连续	300	0.64	-0.08
白天	连续	500	0.64	-0.23
夜晚	连续	10	0.68	1.22
夜晚	连续	30	0.67	1.02
夜晚	连续	100	0.66	0.69
夜晚	连续	300	0.65	0.46
夜晚	连续	500	0.64	0.32
白天	瞬时	10	0.39	2.23
白天	瞬时	30	0.39	2.10
白天	瞬时	100	0.39	1.91
白天	瞬时	300	0.39	1.70
白天	瞬时	500	0.40	1.61
夜晚	瞬时	10	0.39	2.77
夜晚	瞬时	30	0.39	2.60
夜晚	瞬时	100	0.40	2.40

6) 美国环保局。

表 C.1 (续)

时 间	排 放 类 型	浓 度 ppm	系 数	
			A	B
夜晚	瞬时	300	0.40	2.20
夜晚	瞬时	500	0.41	2.09

注：白天气象条件：稳定的 PG D 级（中间），风速 1.609km/h（1mile/h）。
 夜晚气象条件：稳定的 PG F 级（稳定），风速 3.540km/h（2.2mile/h）。

C.3 结论

硫化氢连续释放和瞬时释放所产生的羽状中心线和地面硫化氢浓度的暴露半径（ROE）值的预测和表示见图 C.1～图 C.4。其中图 C.1 和图 C.2 分别是最坏气象条件下的白天和夜晚硫化氢连续释放的暴露半径（ROE）预测值，而图 C.3 和图 C.4 分别是最坏气象条件下的白天和夜晚硫化氢瞬时释放的暴露半径（ROE）预测值。两种释放模式都分别包括了浓度为 $15\text{mg}/\text{m}^3$ （10ppm）， $45\text{mg}/\text{m}^3$ （30ppm）， $150\text{mg}/\text{m}^3$ （100ppm）， $450\text{mg}/\text{m}^3$ （300ppm）， $750\text{mg}/\text{m}^3$ （500ppm）的暴露半径（ROE）值。 $15\text{mg}/\text{m}^3$ （10ppm）的暴露半径（ROE）值表示硫化氢连续释放 8h 平均时间和瞬时释放 1min 平均时间的暴露半径（ROE）值。 $45\text{mg}/\text{m}^3$ （30ppm）， $150\text{mg}/\text{m}^3$ （100ppm）， $450\text{mg}/\text{m}^3$ （300ppm）， $750\text{mg}/\text{m}^3$ （500ppm）的暴露半径（ROE）值表示硫化氢连续释放 10min 平均时间和瞬时释放 1min 平均时间的暴露半径（ROE）值。对硫化氢连续释放，模拟了 $4.536\text{kg}/\text{h} \sim 4536\text{kg}/\text{h}$ （ $10\text{lb}/\text{h} \sim 10000\text{lb}/\text{h}$ ）（ $111.8\text{SCFH} \sim 111768\text{SCFH}$ ）的速率。对硫化氢瞬时释放，模拟了 $0.454\text{kg} \sim 454\text{kg}$ （ $0.1\text{lb} \sim 1000\text{lb}$ ）（ $1.1\text{SCF} \sim 11177\text{SCF}$ ）的释放量。如果硫化氢的释放量以磅为单位，可以通过乘以转换因子 11.2 转换为标准立方英尺（SCF）。

注：图 C.1～图 C.4 中的暴露半径（ROE）均为依据硫化氢的释放量绘制的曲线。对于含有多种成分气流的释放，应使用实际的硫化氢释放量确定暴露半径（ROE）。

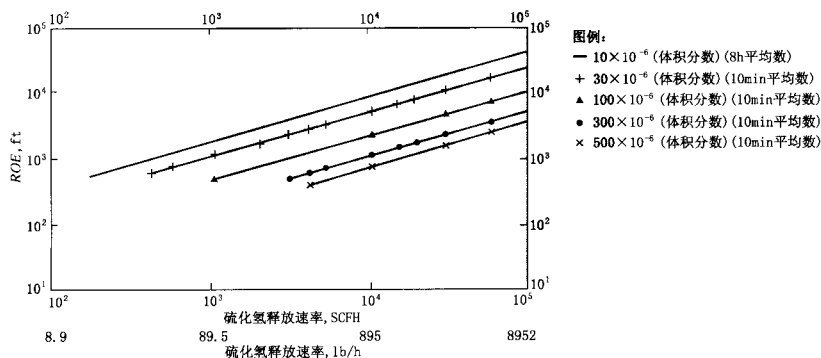


图 C.1 白天持续释放硫化氢的预测暴露半径 [PG D 级——风速 8.045km/h (5mile/h)]

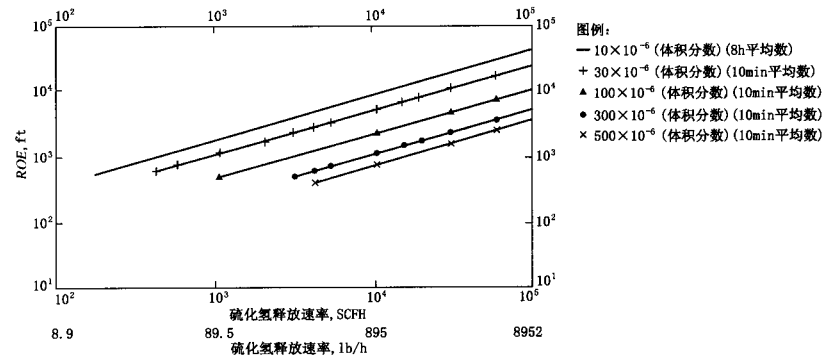


图 C.2 夜晚持续释放硫化氢的预测暴露半径 [PG F 级——风速 3.540km/h (2.2mile/h)]

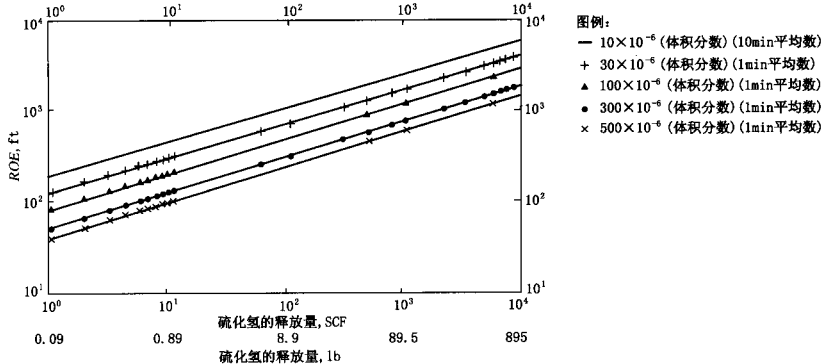


图 C.3 白天瞬时释放硫化氢的预测暴露半径 [Slade A 级——风速 8.045km/h (5mile/h)]

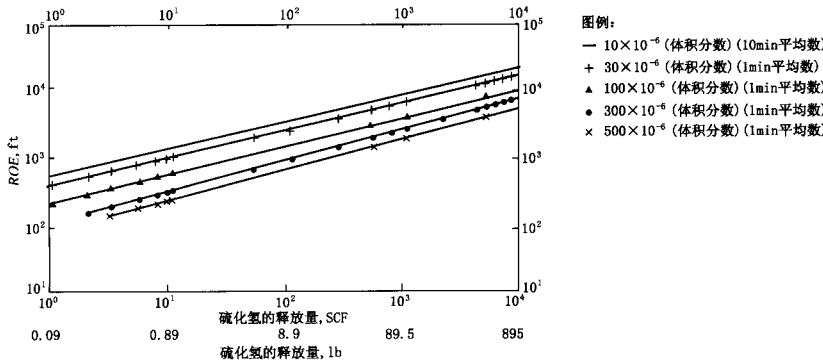


图 C.4 夜晚瞬时释放硫化氢的预测暴露半径 [Slade B 级——风速 3.540km/h (2.2mile/h)]

表 C.1 描述了风向时硫化氢浓度及其释放量/速率所对应的暴露半径 (ROE) 数学预测的线性回归系数。方程式见 C.8, 这些系数只有在图 C.1~图 C.4 中所给出的范围内才可以采用, 如果用外推法, 将导致对暴露半径 (ROE) 值过于保守的估计。任何超过 15min 以上的释放应视为连续释放。本附录中模型建立基于气象条件是稳定的假设。长平均时间 (8h) 和长下风距离预测出的暴露半径 (ROE) 值是保守的, 这是因为不可能在此其间气象条件一直不变。

C.4 其他考虑

本附录中建模工作是假设平衡浮力的气态硫化氢稳定的气象条件下释放在平坦的乡村地形。图 C.1~图 C.4 所示的暴露半径 (ROE) 值代表包括各种场所和释放条件下硫化氢释放的一般情况。实际暴露半径 (ROE) 值取决于具体释放类型、释放条件和场所。如在有较多建筑物等的城区附近的场所硫化氢释放的暴露半径 (ROE) 值将大大减小, 这是由于建筑物导致的紊流所致。一些其他可能明显影响实际暴露半径 (ROE) 值的情况包括: 液体/气体悬浮物的释放、密集的云雾、烟羽抬升、喷射释放、不稳定释放 (井喷、管线破裂等) 和复杂的地形等。如果有上述任何一种情况存在, 应建立更加严格的模式。

当扩散的硫化氢和携带气混合物的密度比空气重得多, 并且释放速度很慢时, 图 C.1~图 C.4 中的暴露半径 (ROE) 曲线不能用。如果硫化氢和携带气混合物的相对密度高于 1.2 左右, 图 C.1~图 C.4 可能不能对所有释放速度和气象条件都给出保守的暴露半径 (ROE)。在石油工业中经常遇到的硫化氢, 通常在携带气体, 如天然气或二氧化碳中含量都较低。二氧化碳的相对密度是 1.52。硫化氢/二氧化碳混合物的扩散预测, 低速释放的情况下, 使用密集气体模式有时会得到过低的硫化氢暴露半径 (ROE) 预测值。低速率的气体释放应包括初始速度低于 60.96m/s (200ft/s) 和因气体从释放源喷射出撞击附近表面而使喷射动力下降的高于 60.96m/s (200ft/s) 的释放。同样地, 图 C.1~图 C.4 不能用于潜在的含有气溶胶的硫化氢/携带气体的释放。

图 C.1~图 C.4 也可能过高地预测暴露半径 (ROE)。对于当硫化氢/携带气混合物比空气轻得多 (例如相对密度低于 0.8) 的低速释放, 使用这些图例其暴露半径 (ROE) 的高估系数可达 2~3。使用这些图例会导致对高速释放的硫化氢/携带气混合物 [例如气体释放速率大于 60.96m/s (200ft/s)] 暴露半径 (ROE) 值的过高预测, 无论其释放方向如何。其过量预测对垂直高速释放十分明显, 可以达到 2 个数量级的差异。使用者宜参考更加严格的大气扩散模式。

当计算危险气体稀释浓度的暴露半径 (ROE) 时, 可能导致过高的预测。例如, 实际上不可能指望下风方向的大气浓度高于稳定释放流束中的浓度。使用者宜参考更加严格的大气扩散模式。

总之, 硫化氢/携带气混合物的组成、释放速率和方向都是关键的变量, 能极大地影响硫化氢的暴露半径 (ROE) 预测值。当然, 其他变量, 如释放气体的温度、含有硫化氢溶液的闪蒸和气溶胶形成等, 都会对暴露半径 (ROE) 预测产生大的影响。精确的大气扩散模拟技术十分必要, 同时也是复杂的。在某些环境下, 如上所述, 可能要求建立更加严格的模型。

已有一些参考资料和模型可用于描述特定的释放情况。C.5 和 C.6 列出了部分可用于这些情况的模型。美国石油学会 (API) 没有认可任何具体模型。可以从模型开发者或该领域内有经验的人士处获得有关模型选择和使用的更多指导。加拿大艾得蒙顿的阿尔伯塔大学机械工程的 Wilson, D.J. 所著 “Release and Dispersion of Gas from Pipeline ruptures” 是有关井喷和管线破裂的参考资料。

当使用者计算出硫化氢的释放量低于图 C.1~图 C.4 的范围时, 暴露半径 (ROE) 曲线可以延伸到最小的暴露半径 (ROE) 值 15.24m (50ft)。在某些情况下, 15.24m (50ft) 以下的值可以由外推曲线的方法得出。图 C.1~图 C.4 由一个假设的释放高度加上 3.048m (10ft) 烟羽抬升高度而得出。若实际不是 3.048m (10ft) 的释放高度将会得到不同的暴露半径 (ROE)。

如果用户计算的硫化氢释放量低于图 C.1~图 C.4 所显示的范围, 允许暴露半径 (ROE) 曲线延伸到最低暴露半径 (ROE) 值 15.24m (50ft)。在某些情况, 低于 15.24m (50ft) 的暴露半径

(ROE) 可通过外推曲线而得出。采用假设释放高度加上 3.048m (10ft) 的上升热柱, 发展了图 C.1~图 C.4。实际释放高度导致不同的暴露半径 (ROE)。

C.5 专利扩散模型

注: 使用者宜仔细地评估这些模型对主导条件的适用性。

以下为可以用于特定场合的一些专利模型:

CHARM (Radian Corporation): CHARM 是一个可以用于连续地或瞬时地释放气体或液体的 Gaussian 模型。该模型设计为处理悬浮、平衡悬浮和重于空气的化学物的扩散。重质气体的扩散由 Eidsvik 模型估算。本模型组件的来源包括壳牌公司的 SPILLS 模型的改进版本 (Radian Corp., 850MOPAC Blvd., Austin, TX 78759)。

FOCUS (Quest Consultants, Inc.): FOCUS 是一个包括发散速率模型 (两相排出、储存池蒸发、喷气释放排出等) 和用于平衡悬浮和致密气体烟羽扩散模型的软件包。该模型可以分别使用或联合使用 (Quest Consultants, Inc., 908 26th Avenue, NW, Suite 103, Norman, OK 73069-6216)。

TRACE (Dupont): TRACE 使用多重的 Lagrangian Wall 扩散模型处理间歇和连续释放。可以将风道结合考虑, 也可以将液体蒸发和悬浮效果考虑进去 (E. I. Dupont de Nemours & Company, 5700 Corea Avenue, Westlake Village, CA 91362)。

WHAZAN (Technica International): WHAZAN 是一个用于平衡悬浮和致密气体烟羽扩散模型的软件包。它同时含有可以处理两相排出、蒸发和自由喷射式蒸气扩散的子模型。这些模型可以单独运行也可以连接运行 (Technical International Associates, Inc., Box 187, Woodstock, GA 30128-4420)。

C.6 公众可以获得的模型

注: 使用者宜仔细地评估这些模型对主导条件的适用性。

以下为公众可以获得的一些可以用于特定场合的模型:

DEGADIS (美国海岸警卫队): DEGADIS 为重于空气气体的扩散模型。它可以用于液体池蒸发气体的扩散和喷射扩散。基本上是一个稳态的, 但却是用系列稳态计算的方法模拟过渡态。蒸气产生的速率、池的面积、气象参数等都是重要的输入数据。可以由美国商务部的 NTIS (国家技术情报中心) 获得有关资料, Springfield, VA 22161。

HEGADAS (Shell Research B. V.): HEGADAS 是一个用于平衡悬浮和致密气体扩散的模型。其基本的模型是对平流/扩散方程式和标准形式的高斯扩散模型求解。该模型的适用范围宽, 包括瞬时水平喷射。可以由美国商务部的 NTIS (国家技术情报中心) 获得有关资料, Springfield, VA 22161。

SLAB (Lawrence Livermore National Laboratory): SLAB 设计用于由溢出液体所产生的致密气体发散, 该模型考虑了在垂直于羽状中心线的截面处的浓度聚集。计算了下风方向的浓度变化。溢出液体所产生的致密气体发散的量和速率是模型要求输入的数据, 可以从 Lawrence Livermore National Laboratory, Box 808, Livermore, CA 94550, 或 API, Health & Environmental Sciences Department, 1220 L Street, NW, Washington, DC 20005 获得有关资料。

C.7 图 C.1~图 C.4 的计算示例

下列的计算式可用于当已知总体积及其硫化氢含量时, 估算硫化氢的体积和质量。

对连续释放:

假设: 释放 141584m^3 (5000000SCFD) 的天然气, 所含硫化氢为 $12000\text{mg}/\text{m}^3$ (8000ppm)。

注: 用户必须知道天然气体积 (或流动速率) 和硫化氢浓度, 以便有效利用图 C.1~图 C.4。

为了计算以 SCFH (标准立方英尺每小时) 为单位的硫化氢释放量, 需按下式计算:

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{S 的释放速率} &= \frac{5000000 \times 8000 \times 10^{-6}}{24000000} \\ &= 1667 \text{SCFH (47.21 m}^3/\text{h)} \end{aligned}$$

为了计算以磅每小时 (lb/h) 为单位的硫化氢释放量, 需按下式计算:

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{S 的释放速率} &= \frac{5000000 \times 8000 \times 10^{-6}}{267605634} \\ &= 150 \text{lb/h (68.04 kg/h)} \end{aligned}$$

对瞬时释放:

假设: 释放 2831.68 m³ (100000 SCFD) 的天然气, 所含硫化氢为 12000 mg/m³ (8000 ppm)。同样假设在白天释放, 风速为 8.045 km/h (5 mile/h) (见图 C. 3)。

为了计算以 SCF (标准立方英尺) 为单位的硫化氢释放量, 需按下式计算:

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{S 的释放速率} &= \frac{100000 \text{SCF} \times 8000 \times 10^{-6} \text{H}_2\text{S}}{1000000} \\ &= 800 \text{SCF (22.64 m}^3) \end{aligned}$$

在通过适当的计算和已知的参数得到硫化氢释放的速率或释放量后。参考图 C. 1~图 C. 4 或 C. 8 的方程式 (C. 9~C. 12 给出计算示例) 可获得暴露半径 (ROE) 数据。

以下公式是把硫化氢的体积分数转化成 ppm。

$$\text{H}_2\text{S 的体积分数} \times 10000 = \text{ppm}$$

使用 C. 8 的方程式时, 表 C. 1 中的系数取: A = 0.40, B = 2.40。

C. 8 暴露半径 (ROE) 的计算

使用表 C. 1 中的系数 “A” 和 “B”, 经过下列方程式的数学计算, 可以得到各种硫化氢释放率 (H₂S) 下的暴露半径 (ROE):

$$\text{ROE} = \lg^{-1} [\text{Alg (H}_2\text{S)} + \text{B}]$$

对连续释放, 输入的硫化氢释放速率 (H₂S) 为 SCFH, 对瞬时释放输入的硫化氢的释放量 (H₂S) 为 SCF。

C. 9 计算示例——连续释放 (白天)

白天 (稳定性为 PG D), 风速为 8.045 km/h (5 mile/h) 时, 100% 的硫化氢连续释放, 计算在释放速率为 316.33 m³/h (11170 SCFH) 时的 ROE_{100ppm}。使用表 C. 1, 适用的系数值为: A = 0.58, B = 0.45, 代入 C. 8 中的方程式:

$$\text{ROE}_{100\text{ppm}} = \lg^{-1} [0.58 \times \lg (11170) + 0.45] = 628 \text{ft (191.41 m)}$$

C. 10 计算示例——连续释放 (夜晚)

夜晚 (稳定性为 PG F), 风速为 3.540 km/h (2.2 mile/h) 时, 100% 的硫化氢连续释放, 计算在释放速率为 316.33 m³/h (11170 SCFH) 时的 ROE_{100ppm}。使用表 C. 1, 适用的系数值为: A = 0.66, B = 0.69, 代入 C. 8 中的方程式:

$$\text{ROE}_{100\text{ppm}} = \lg^{-1} [0.66 \times \lg (11170) + 0.69] = 2300 \text{ft (701.04 m)}$$

C. 11 计算示例——瞬间释放 (白天)

白天 (稳定性为 Slade A), 风速为 8.045 km/h (5 mile/h) 时, 100% 的硫化氢瞬间释放, 计算在释放速率为 31.63 m³ (1117 SCF) 时的 ROE_{100ppm}。使用表 C. 1, 适用的系数值为: A = 0.39, B = 1.91, 代入 C. 8 中的方程式:

$$\text{ROE}_{100\text{ppm}} = \lg^{-1} [0.39 \times \lg (1117) + 1.91] = 1255 \text{ft (373.38 m)}$$

C.12 计算示例——瞬间释放（夜晚）

夜晚（稳定性为 Slade B），风速为 3.540km/h（2.2mile/h）时，100％的硫化氢瞬时释放，计算在释放速率为 31.63m³（1117SCF）时的 ROE_{100ppm}。使用表 C.1，适用的系数值为：A = 0.40，B = 2.40，代入 C.8 中的方程式：

$$ROE_{100ppm} = \lg^{-1} [0.40 \times \lg (1117) + 2.40] = 4161\text{ft} (1268.27\text{m})$$

C.13 高斯模型和瞬时扩散模型概述

C.13.1 引言

应急反应的高斯模型和瞬时扩散筛选模型用于预测在稳定的气象条件下，平衡悬浮的、稳态点源的气态物的下风向扩散（羽状中心线，和与下风向距离相关的地面水平浓度和最大地面水平烟羽宽度）。由 EPA（美国环保局）批准的经典高斯扩散理论被用于此模型中。该程序在 BASIC 中被设计为个人电脑使用。该程序在使用中应该使用对生命或健康有即时危险的浓度（IDLH）、ERPG - 2、阈值（TLV）和短期暴露极限（STEL）等作为浓度水平，因为这些都是人们所关注的浓度。两个程序中的以上浓度水平都可以通过输入替代的浓度所代替。可以向美国石油学会（API）的勘探与生产部（700North Pearl Street, Suite 1840, Dallas, Texas 75201 - 2845）索取示例程序清单和计算机演算实例。

C.13.2 高斯模型

该模型计算在稳定的气象条件下，平衡悬浮的、羽状中心线、地面水平浓度和最大地面水平烟羽宽度的稳态单一点源的连续扩散，其稳态气象条件和下风向距离由计算者给出。该模型使用标准的高斯模型并采用 Pasquill - Gifford 扩散系数。使用者输入释放率、有效释放高度（释放高度加烟羽抬升）、名义风速、计算所用的各段递增的下风向距离、释放物的类型和稳定度等级。该模型目前可以处理的物质有 8 种。另外需要加入时，可以采用将模型中已有的物质替代的方法加入。模型的预设稳定性等级为 D。但 Pasquill - Gifford 稳定性等级的所有 6 个等级（A、B、C、D、E 和 F；A 为最不稳定，F 为最稳定）都可以输入使用。

C.13.3 瞬时释放模型

该模型计算在稳定的气象条件下，平衡悬浮的、羽状中心线、地面水平浓度和最大地面水平烟羽宽度的、稳态单一点源的瞬时扩散，其稳态气象条件和下风向距离由计算者给出。该模型使用标准的高斯模型并采用 Slade 扩散系数。计算者所需要输入的量值，除输入释放的总量而不是释放率外，其他都和高斯模型一样。模型可以接受的稳定性等级为 3 个（A、B 和 C；A 为最不稳定，C 为最稳定）。

附 录 D

(资料性附录)

酸性环境的定义

D.1 酸性环境

酸性环境⁷⁾定义为含有液态水和硫化氢含量超过 D.1.1 和 D.1.2 中规定值的流体, 这些环境可能造成敏感性材料的硫化物应力开裂 (SCC)。

注意: 应该指出, 高敏感性的材料可能会在比上述条件好的环境下失效。SCC 现象受到一系列复杂参数的相互作用影响, 包括:

- a) 化学组成、强度、热处理和材料微观结构;
- b) 环境的氢离子浓度 (pH);
- c) 硫化氢浓度和总压;
- d) 总拉伸应力;
- e) 温度;
- f) 时间。

使用者应该判明, 所处的环境条件是否属于本标准的所述范围之内*。

D.1.1 酸性气体

当被处理气体的总压达到或高于 0.4MPa (65psia), 并且其中所含的硫化氢分压高于 0.0003MPa (0.05psia) 时, 应选用抗 SCC 材料或对该环境进行控制。系统的总压低于 0.4MPa (65psia), 或者其中所含的硫化氢分压低于 0.0003MPa (0.05psia) 时, 则不在本标准的范围之内。分压由系统的总压乘以硫化氢的摩尔分数而得到。图 D.1 给出一个确定在酸性环境中硫化氢分压是否超过 0.0003MPa (0.05psia) 的简便方法。以下是两个例子:

- a) 在一个系统中, 硫化氢的摩尔分数为 0.01% [150mg/m³ (100ppm) 或 6.7 格令每 100 标准立方英尺], 总压为 7MPa (1000psia), 其硫化氢的分压超过 0.0003MPa (0.05psia) (图 D.1 中的点 A)。
- b) 在一个系统中, 硫化氢的摩尔分数为 0.005% [75mg/m³ (50ppm) 或 3.3 格令每 100 标准立方英尺], 总压为 1.4MPa (200psia), 其硫化氢的分压不超过 0.0003MPa (0.05psia) (图 D.1 中的点 B)。

D.1.2 酸性油和多相流体

在酸性原油系统中, 当只有原油, 或含有油、水、气的两相或三相流体时, 使用标准设备能够满意地运行, 且具备下列的条件, 则不在本标准的范围内:

- a) 最大气油比为 1000m³/t [5000SCF: bbl (原油重量单位桶)];
- b) 气相中硫化氢的体积含量最高为 15%;
- c) 气相中硫化氢的分压最高为 0.07MPa (10psia);
- d) 地面操作压力最高为 1.8MPa (265psia) (见图 D.2);
- e) 当操作压力超过 1.8MPa (265psia) 时见 D.1.1。

一般认为, 标准设备在这些低压系统中之所以能够满意地运行是因为油的缓蚀作用和低压条件下

7) 引自 NACE MR 0175-94, Standard Material Requirements Stress Cracking Resistant Metallic Materials for Oilfield Equipment.

* D.1.1 和 D.1.2 中以及图 D.1 与图 D.2 所给出的临界硫化氢水平由低合金钢数据得出。——译者

所处的低应力二者的原因。

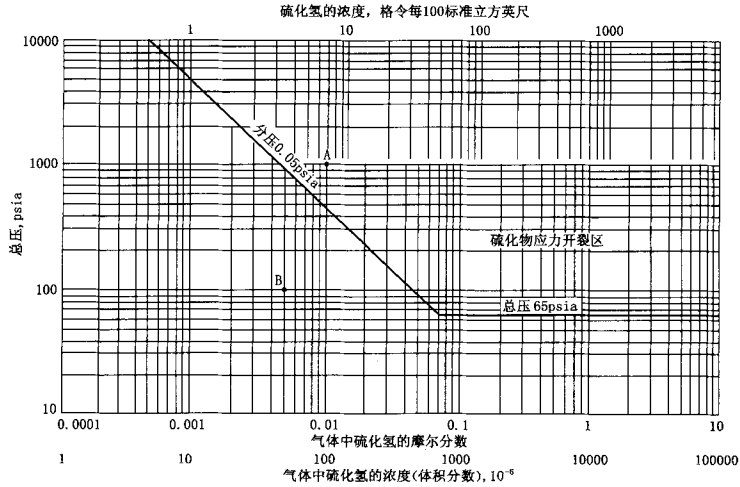


图 D.1 酸性气体系统 (见 D. 1. 1)

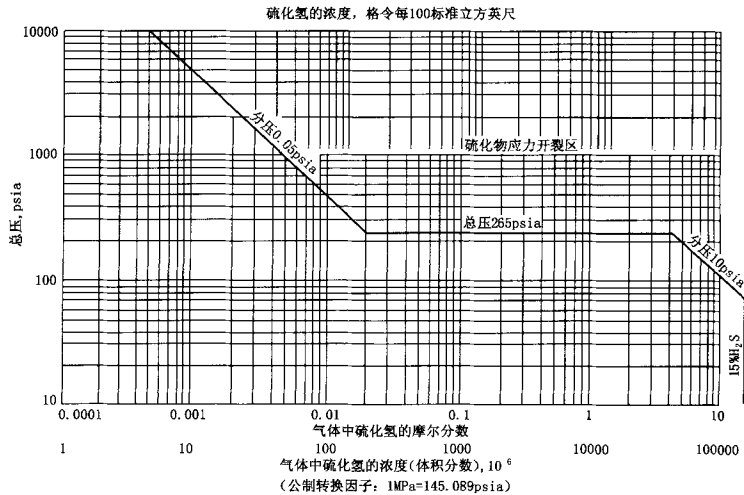


图 D.2 酸性多相系统 (见 D. 1. 2)