

高含硫天然气钻井环境风险评价及防范措施

徐龙君 毕智明

(重庆大学资源及环境科学学院)

摘 要 天然气钻井作业由于地下情况复杂隐藏着多种不安全因素,存在着较大的环境风险。要真正减少钻井施工现场的安全事故,必须充分了解影响钻井施工安全的风险源,评估风险的危害性的大小及范围,通过抓好安全生产管理,对风险进行控制,达到安全生产施工的目标。文章分析了天然气钻井中可能出现的环境风险因素,提出预防或减缓事故的对策和措施,为钻井行业提供安全可靠的参考。

关键词 天然气钻井作业;环境风险评价;危害;防范措施

中图分类号: X820.3

文献标识码: A

文章编号: 1005-3158(2013)01-0046-04

0 引 言

随着西部大开发战略的加快和中西部地区经济的发展,国家将开发利用天然气作为重点基础设施建设。近年来,钻井工程的环境风险日益受到重视,尤其是高含硫气井的钻进,其环境风险和安全更是首要问题^[1-3]。钻井行业具有野外独立施工、流动分散、多工种、多工序、立体交叉、连续作业、环境复杂的特点,如何将钻井过程中的各类风险降到最低程度,是当前急需解决的问题。结合钻井工程的特点,在总结了钻井风险源基础上,对其原因进行分析,以便对风险加以控制,为科学决策提供依据。

1 环境风险因素识别

1.1 风险物质

钻井过程中使用主要原、辅材料有钻井液、加重剂、固井水泥、添加剂、堵漏剂等,天然气的成分以甲烷等烃类物质为主,含硫化氢剧毒气体^[4]。某钻井工程附近天然气井 H_2S 含量高达 102.71 g/m^3 (摩尔体积比 7.14%),钻井废水主要含石油类、COD、SS。

1.2 常见事故

1.2.1 井漏

石油天然气钻井时要利用压力泵注入钻井液到达钻头,喷出的钻井液能够减少钻头与岩石的摩擦,并冲刷掉钻出的岩屑。井漏是在钻井过程中遇到地质情况复杂的地层,钻井液漏失到地下层的空隙中,不能沿井壁冲刷出岩屑。井漏是钻井中常见的问题,如果地层情况较稳定,则发生井漏量少,井漏发生后

可用堵漏剂进行堵漏。若地层情况复杂,堵漏难度大,可能引发天然气井涌和井喷。

1.2.2 气侵

钻井过程中如果起钻速度过快,钻头就变成了井筒里的活塞,会产生抽吸压力,使地层中高压气体进入井眼,并且导致井内液柱密度下降,不能对井内的天然气产生足够的压力,严重时还会引起井喷。

1.2.3 井涌、井喷

钻井时,钻杆内外的钻井液形成一个液柱,把地下气体封堵在地层里,当地层压力大于井内液柱压力时形成井涌。发生井涌时可通过替换高密度钻井液进行替换压井,若地层压力过大,井涌失控则导致井喷事故。造成井喷失控的主要因素有以下几个方面:

◆ 钻井至高压气层期间,地层压力可能出现异常,使井口装置和井控管汇失控发生井喷失控事故。若遇山洪、地震、滑坡等自然灾害,导致井口所在地层位移甚至塌陷等现象,可能损坏井控装置,诱发井喷失控事故发生。

◆ 设备井控装置存在缺陷,造成井控设施失效。压井钻井液密度偏低,不能满足压井要求。

◆ 操作钻井过程中,发现钻井液非正常返排又不采取相应的措施或者根本未注意到该现象,可能诱发井喷失控;起下钻钻井液返排时仍企图继续起下钻,往往会延误关井时间造成严重溢流,破坏井底的压力平衡,增加了井控难度,有可能恶化为井喷事故;关井后长时间不进行压井作业,对于天然气的泄漏,长时间关井,天然气大量聚集在井口,使井口压力和井底压力增高而诱发井喷失控。

1.2.4 其他潜在风险

- ◆ 井壁失稳,由于气体钻井在井筒中形成的压力比常规钻井液钻井小,因此低的井筒压力可能引起井眼机械失稳,尤其是在松软地层钻井。当气体钻井有较多的地层进入井筒时,产出的水在被气体举升过程中经过裸眼井段的水敏性岩层,可能造成井壁的水化失稳。而从井壁上垮塌的岩屑由于不能被气体有效地举升到地面,最终造成卡钻。
- ◆ 地层水入井,利用气体钻渗透性地层、裂缝性地层或含水层时,地层水会流入井眼。若进入井眼的地层水较多,钻屑易成块,并附着在井壁和钻具上,造成卡钻、钻具泥包、循环管路被堵等。
- ◆ 井下着火、爆炸和腐蚀,因空气中含有氧气,利用气体钻井时,当钻遇非目的层段的浅层气或煤层气,压缩空气中的氧与之混合,就极易燃烧或爆炸;压缩空气中约含 20.9% 的氧在高温、高压和潮湿的条件下会造成快速的氧化腐蚀。
- ◆ 硫化氢气体钻井技术适用于坚硬、无地层水的非产层段地层。其特点是可提高坚硬地层机械钻速,延长钻头使用寿命,避免井塌、井漏等复杂情况的发生。但应注意在进入产层时禁止采用气体钻井,否则可能出现硫化氢随空气流体返出至地面,造成人员中毒。

2 环境风险预测与评价

天然气钻井工程带来的环境风险影响程度大、范

围广,主要是由天然气放喷和井喷失控所造成的危害。以重庆某气田为例,其产气量为 $1.03\times 10^6\text{ m}^3/\text{d}$, H_2S 含量最高值为 102.71 g/m^3 (摩尔体积比 7.14%)。考虑两种风险情况:释放的天然气立即点火燃烧排放;释放的天然气未立即点火燃烧排放。

以最不利气象条件预测,预测模型为连续扩散高斯模型^[4]。 SO_2 、 H_2S 的风险情况预测结果见表 1 和表 2。可以看出,点火放喷时 SO_2 影响浓度大,范围广;大气越稳定,污染物达标距离越远。

由表 1 可知, SO_2 对生命和健康产生危险的距离出现距井口 40 m 范围内。另外,均不满足 GBZ2.1—2007《工作场所有害因素职业接触限值》规定的短时间接触容许浓度 10 mg/m^3 。在风速为 1.5 m/s 和大气稳定度 F 条件下预测点火燃烧二氧化硫的落地浓度在 300 m 范围内超过 10 mg/m^3 的标准值。

由表 2 可看出, H_2S 最大落地浓度值中最大值为 $5\,847.20\text{ mg/m}^3$,出现距离 4m;高于 30 min 吸入硫化氢最低致死浓度 900 mg/m^3 ,高于 AQ2017—2008《含硫化氢天然气井公众危害程度分级方法》中立即危害生命或健康浓度 432.40 mg/m^3 ,高于 AQ2017—2008 美国职业安全与健康管理局的可接受上限值 28.83 mg/m^3 的浓度;高于达到 GBZ2.1—2007《工作场所有害因素职业接触限值》规定的最高容许浓度 10 mg/m^3 。

由此可知,若发生井喷事故, H_2S 最大浓度影响范围为 79 m 左右。天然气释放量按 $1.03\times 10^6\text{ m}^3/\text{d}$

表 1 放喷时 SO_2 最大落地浓度和出现距离

风速/ (m/s)	稳定度 A		稳定度 D		稳定度 F	
	最大落地浓度/ (mg/m^3)	出现距离/ m	最大落地浓度/ (mg/m^3)	出现距离/ m	最大落地浓度/ (mg/m^3)	出现距离/ m
2.0	5 874.81	4	10 195.37	1	11 006.23	4
1.0	2 417.07	4	626.22	4	210.72	4
0.5	2 674.70	4	747.50	49	239.02	79

表 2 放喷时 H_2S 最大落地浓度和出现距离

风速/ (m/s)	稳定度 A		稳定度 D		稳定度 F	
	最大落地浓度/ (mg/m^3)	出现距离/ m	最大落地浓度/ (mg/m^3)	出现距离/ m	最大落地浓度/ (mg/m^3)	出现距离/ m
2.0	3 121.06	4	5 416.41	1	5 847.20	4
1.0	1 284.10	4	332.69	4	111.95	4
0.5	1 420.97	4	397.12	49	126.98	79

计算,最大落地浓度为 $5\,847.20\text{ mg/m}^3$,对人畜而言会有生命危险。即便在 79 m 以外,也会有强烈的刺激味;在点火放喷时 79 m 处的 SO_2 最大浓度达到 239.02 mg/m^3 ,对呼吸系统和眼睛造成危害。

3 环境风险影响防范措施

3.1 环境风险防范措施

3.1.1 施工单位钻井工程井控措施

根据 AQ2016—2008《含硫化氢天然气井失控井口点火时间规定》,天然气井站发生事故在 15 min 内点燃,计算泄漏天然气中甲烷和硫化氢的量。根据对《建设项目环境风险评价技术导则》评价等级判定依据,本项目环境风险评价等级为二级。该项目主要环境风险类型为井喷失控引起含剧毒物质 H_2S 的天然气扩散、井喷失控放喷燃烧、热辐射。事故发生主要危害井口周边居民的人身安全、健康,恶化区域大气环境质量。

钻井施工中应严格按照《中国石油天然气集团公司石油与天然气钻井井控规定》和 SY/T6426—2005《钻井井控技术规程》、SY/T5087—2003《含硫油气井安全钻井推荐作法》等行业相关规范和《钻井设计》的要求进行工程控制,防止发生井喷事故。

同时,按照 AQ2018—2008《含硫化氢天然气井公众安全防护距离》的要求: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 ;距公共设施及城镇中心应不小于 $1\,000\text{ m}$ 。

3.1.2 配备应急点火系统及点火时间、点火管理

应按行业相关规范,井控放喷管、测试放喷管都应设置点火系统,同时要配备井喷失控后的应急点火系统和专业执行人员、负责人,并进行专门培训和演练。

按行业相关规范,点火人员应佩戴防护器具,并在上风方向,离火口距离不得少于 10 m ,用点火枪点火;井喷失控井口点火时间应执行 AQ2016—2008《含硫化氢天然气井失控井口点火时间规定》的规定。

3.1.3 钻井进入含硫气层和中途测试对居民的临时撤离

根据行业规范确定项目撤离距离为 500 m 。在即将钻进含硫气层和中途测试前应临时撤离周边 500 m 的居民至作业完成。

3.1.4 对周边居民的风险应急培训、演练、应急撤离配备

施工单位应主动联系当地政府,对撤离区内的居民通过发放宣传册普及安全知识,内容应有危害程

度、防范应急救护措施。同时在进入含硫气层前对 $100\sim 500\text{ m}$ 的居民进行应急演练一次。站场明显位置应设风向标,井场配备高音喇叭,以便及时通知周边居民。远处居民在预案中确定有应急组织机构组织撤离。

3.1.5 钻井风险监控、报警措施

严格按照 SY/T5087—2005《含硫化氢油气井安全钻井推荐作法》、SY6277—2005《含硫油气田硫化氢监测与人身安全防护规程》中的相关规定落实。

钻井队应按规定配备 H_2S 安全防护设施及装置;其中带探头四通道硫化氢监测报警系统探头触点安放在钻台井口,钻井液出口及司钻旁边三处,主机安装在值班房。含 H_2S 气层钻进时,加强对钻井液中 H_2S 浓度的测量;在可能产生 H_2S 的场所工作的员工每人应配备 H_2S 监测仪、防毒面具或空气呼吸器,并保证有效使用;在含硫气层取心起钻,当取心工具距井口还有 5 m 时应监测 H_2S 浓度,钻台作业人员应戴上空气呼吸器,直到取出岩心,且 H_2S 浓度降到安全范围内。同时井场应配备高音喇叭,以便及时报警和通知疏散周边居民。

进入含硫油气层前,应与当地政府和医院、消防部门取得联系;一旦发生井涌、井喷,出现 H_2S 溢出井口的危险情况以便及时报警。与各单位、部门的报警联系主要采用值班专用通信电话和手机。

3.2 事故应急措施

3.2.1 环境风险应急基本要求

应把防止井喷失控、硫化氢外溢中毒等作为事故应急的重点,避免造成人员中毒危害和财产损失,施工单位应本着“人员的安全优先、防止事故扩展优先、保护环境优先”的原则,按照 SY/T6283—1997《石油天然气钻井健康、安全与环境管理体系指南》的要求和环评要求制定应急预案。

3.2.2 环境风险应急关键措施

井喷后,应立即组织撤离井口周边 500 m 的居民,同时向当地政府部门通报,做好周边居民撤离准备;在 15 min 内完成井口点火燃烧泄漏天然气,将剧毒气体硫化氢燃烧转化为 SO_2 和 H_2O 。点火应监测甲烷浓度,取 5.0% 和 15% 作为甲烷的爆炸上、下限区域,防止爆炸事故。在事故现场核心区设置至少 2 个空气监测点,扩散时监测项目 H_2S 和 CH_4 ,燃烧时监测 H_2S 、 SO_2 、 CO 。24 h 密切监测空气质量等变化情况。现场应急监测方法主要有便携式气体检测仪器:硫化氢库仑检测仪、硫化氢气敏电极检测仪;醋酸铅检测管法、醋酸铅指示纸法。

放喷燃烧期间井口外 500 m 居民撤离。撤离路线应根据钻井井场风向标,沿发生事故时的上风向进行撤离。通过高音喇叭、广播、电话及时通知周边各户居民,保证全部及时通知撤离。

3.2.3 人群自救方法

迅速撤离远离井场,沿井场上风向撤离,位于井场下风向的应避免逆风撤离,应从风向两侧撤离后再沿上风向撤离,同时尽量撤离到高地。撤离过程中采用湿毛巾或棉布捂住嘴,穿戴遮蔽皮肤完全的衣服并戴手套。有眼镜的则佩戴眼镜。该自救措施应在宣传单、册中注明,在应急演练中进行演练。

3.2.4 岩屑池、废水池连环事故防范和应急措施

通过加固池壁和防渗,修建排水沟截洪,加强平时管理,保证池体液位在总液位的 2/3 以下。大雨天可能因雨水进入污水池而导致外溢事故,采用塑料布棚及时将雨水引入排水沟防止其溢漏进入农田。

3.2.5 事故发生后环境污染物的消除方案

当发生天然气扩散时,应及时进行井控,争取最短时间控制井喷源头,尽可能切断泄漏源。硫化氢扩散时间短,通过空气流动自然扩散和自然降雨降低空气中硫化氢浓度,可通过消防车喷雾水使其溶解,将大气污染物转化为地表水污染物。

4 结 论

◆ 钻井作业为野外作业,地下情况复杂,钻井作业中隐藏着多种不安全因素。若处理不当,钻井过程中可能出现严重的环境污染事故。

◆ 点火放喷时 SO_2 影响浓度大、范围广;大气越稳定,污染物达标距离越远。

◆ 钻井工程的风险防范,应制定详尽周密事故应急救援计划,加强废物污染防治,对环境敏感点应采取特别防范措施。

参 考 文 献

- [1] 张磊,王卫东,陈宝华,等. 钻井队现场风险识别技术初探[J]. 中国安全生产科学技术, 2009(S1): 65-69.
- [2] 董国永. 钻井作业 HSE 风险管理[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001.
- [3] 王平,于润桥. 钻井风险分析和成本控制[J]. 石油钻探技术, 1995, 23(4): 57-59.
- [4] 向启贵,熊军. 天然气输气管道环境风险评价[J]. 石油与天然气化工, 2002: 71-75.

(收稿日期 2012-11-06)

(编辑 王蕊)

(上接第 40 页)

5.2 工作建议

◆ 控制污水处理系统来水水质状况,跟踪来水水质变化,进行水质净化药剂持续优化,保证水处理药剂随水质波动微调、反应器正常运行。

◆ 优选过滤器滤料清洗剂,提高去污能力,降低清洗剂对污水处理的影响,控制过滤器进水水质。

◆ 继续进行水质检测,找出影响因素,使用小孔径滤膜抽悬浮物,分析水样悬浮物含量变化,定性分析微晶态固体。

参 考 文 献

- [1] 赵作滋,任建科,刘贞祥,等. 原油脱水系统中溢流沉降罐内中间乳化层的形成与分离处理[J]. 油田化学, 1996, 13(4): 340-344.

- [2] 盖立学. 聚合物驱含油污水油水乳状液稳定机理及油水分离化学剂研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2002.
- [3] 吴宗福,黄宏权,李永长,等. 一种新型低温高效破乳剂的研制与应用[J]. 江汉石油学院学报, 2003, 25(1): 85-88.
- [4] 陈霞,李杰训,李东成. 油水中间过渡层的预防及处理技术[J]. 油气田地面工程, 2002, 21(5): 51-53.
- [5] 孙宝江,乔文孝,付静. 三次采油中水包油乳状液的超声波破乳[J]. 石油学报, 2000, 21(6): 97-101.
- [6] 吴迪,孟祥春,张瑞泉,等. 胶态 FeS 颗粒在电脱水器油水界面上的沉积与防治[J]. 油田化学, 2001, 18(4): 317-319.

(修回日期 2012-08-17)

(编辑 袁立凡)