

含硫气井定量风险分析技术标准探讨^{*}

吴庆善^{1,2} 钱新明¹ 郭再富³

1.北京理工大学宇航学院 2.中国石油天然气集团公司 3.中国安全生产科学研究院

吴庆善等.含硫气井定量风险分析技术标准探讨.天然气工业,2009,29(11):109-111.

摘要 随着近年来我国众多含硫化氢气田相继投入开发,含硫气井安全规划标准,特别是定量风险分析标准的制订变得十分必要和迫切。为此,分别对含硫气井定量风险分析技术标准的制订原则、适用范围、框架结构进行了分析,提出了适合我国国情的井喷事故概率的数值统计分析方法及参考值,事故后果分析方法及要求,定量风险计算方法及可接受风险水平等关键技术参数及主要技术内容。研究成果可用于指导我国含硫气井定量风险分析标准的制订,将使我国对含硫气田开发实施定量风险评价和管理成为可能。

关键词 含硫气井 井喷 定量风险分析 个人风险 社会风险 可接受风险水平 标准

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2009.11.032

随着我国石油天然气工业的快速发展,含硫油气田开发的安全问题越发突出^[1]。

定量风险分析方法(QRA)采用量化的风险值(如个人风险和社会风险值)对系统的危险性进行描述,对可接受风险水平进行对比以判断系统的风险程度,并提出相应的风险控制措施。目前在美、英、日和欧盟等工业发达国家,几乎对所有重大工程项目和建设规划都需要事先做定量风险评价和安全建议。对含硫油气田勘探开发来说,其风险因素众多,对其风险进行定量分析比较困难,国内外此方面研究并不多见。尽管国家发展和改革委员会于2005年颁布了《含硫化氢油气井安全钻井推荐做法》等5项含硫气田勘探开发行业标准,但尚未建立含硫气井的定量风险分析技术标准^[2]。含硫气田勘探开发安全相关标准规范的制订刻不容缓。

1 标准制订原则

1)维护公众生命安全,促进企业安全管理,保障能源支柱产业经济发展,充分结合我国国情。

2)以国家有关政策、法律、法规、标准为依据,与安全生产、石油行业有关规章、标准相一致。

3)满足现实生产的要求,适应新的发展形势,具有权威、科学、实用、全面的特点。

4)标准的制订必须吸收安全监管部门、行业管理部门、油气田开发企业领导及基层、科研院校、地方政府的意见和建议,充分体现标准的代表性和广泛基础,具有实际指导意义和可操作性。

2 标准适用范围及框架

含硫气井定量风险分析技术标准主要应包括陆上含硫化氢天然气井井喷毒物扩散事故的定量风险分析程序、方法、内容及可接受风险水平,可适用于陆上含硫化氢天然气井的安全评价和规划。

标准的主要结构可设置如下:①范围;②术语和定义;③定量风险分析程序及方法;④可接受风险水平。上述内容的设置能够对含硫化氢天然气井定量风险分析技术方法进行规定,从而有利于对含硫化氢天然气井实施定量风险评价,同时也可为应急计划区的划分奠定基础。

3 标准技术内容

3.1 术语和定义

含硫化氢天然气井定义为天然气中硫化氢含量大于 75 mg/m^3 ,且硫化氢释放速率不小于 $0.01 \text{ m}^3/\text{s}$ 的天然气井^[3]。风险可定义为某一特定危险情况发生的可能性和后果的组合^[4]。

^{*} 本文受到国家科技部“十一五”国家科技支撑计划项目(编号:2007BAK22B05、2008BAB37B05)的联合资助。

作者简介:吴庆善,1963年生,高级工程师,硕士,博士研究生;中国石油天然气集团公司安全环保部副总工程师,主要从事油气田勘探开发安全研究与管理工。地址:(100007)北京市东城区东直门北大街9号。电话:(010)59986235,13910552286。E-mail:qswu@petrochina.com.cn

个人风险(individual risk)是指在某一特定位置长期生活的未采取任何防护措施的人员遭受特定危害的频率。个人风险是空间位置坐标的函数,在区域地图上个人风险值相等的点连接起来,就构成了不同水平个人风险值的等值线。个人风险值给出了给定条件下位置的风险信息,而不考虑此处是否存在人员。因此,个人风险可定义为危险源造成在周边区域内某一固定位置的人员的个体死亡概率,也即单位时间内(通常为年)的死亡率,通常用区域地理图上的风险等值线表示。

社会风险(social risk)用于描述事故发生概率与事故造成的人员受伤或死亡人数的相互关系,是指同时影响许多人的灾难性事故的风险。社会风险是以死亡人数对应各种事件后果发生频率累加值作图的分布图形。某种意义上讲,社会风险与位置无关,而是与周围人口密度相结合的危险活动的风险量度。因此,社会风险可定义为能够引起大于等于 N 人死亡的事故累计频率(F),也即单位时间内(通常为年)的死亡人数,通常用 $F-N$ 曲线表示。

可接受风险水平(acceptable level of risk)是进行安全决策的重要依据,应根据经济发展水平、人文环境等诸多因素制订,且应得到政府部门和社会的公认。因此,可接受风险水平可定义为符合安全生产发展水平、能被社会公众接受的风险。

3.2 定量风险分析程序及方法

3.2.1 资料及数据收集

主要工作是收集事故概率分析及事故后果分析所需气井资料、周边环境资料及事故资料,由于我国含硫气田多位于山区,其地形条件对事故后果影响较大,因此地形资料尤其重要。本部分工作应包括但不仅限于下述内容:

1)气井资料:主要包括气井名称、坐标、绝对无阻流量、硫化氢含量等数据资料。

2)周边环境资料:主要包括地形资料、气象资料及人口分布资料。其中地形资料应收集气井井口周边区域的地形图,并标注地表状况、气井位置、村镇和城市分布、主要厂矿及大型建筑物、构筑物分布等;气象资料在条件允许时尽量采用当地井场的实际气象数据,如数据不能获取或获取不充分时,可选用地理条件基本一致且距气井最近的气候要素资料,应包括气温、湿度、平均风速、主导风向、风频、总云量、低云量等项内容;人口分布资料主要收集气井周边村镇、城市、公共设施及常住居民等人口密集区域情况。

3)事故资料:主要包括国内外同行业事故统计分析资料、典型事故案例等。

3.2.2 井喷事故概率分析

对于井喷事故概率方面的研究,人们通常主要采用两种方式:数值统计和故障树分析。由于故障树分析还需要井口不同设备的基础数据,因此推荐采用数值统计方法来分析井喷事故概率,统计数据来源应为国内最近5 a以上的国内钻井数及井喷事故统计资料。

国内报道和研究井喷的总体数据较少,收集到的国内井喷文献资料往往也只是基于某个单井的数据,总体数据不清楚。国外20世纪后期井喷统计数据较多,而近年公开发表的数据较少,Rezaei等人^[5]提出针对所研究的酸气井,垂直敞喷发生的概率是 4.9×10^{-4} ,加拿大阿尔伯达省能源资源保护委员会(ERCB)钻井事故统计数据^[6]见表1。综合以上研究成果,在国内数据暂缺的情况下,建议的井喷事故概率参考值为 4.5×10^{-4} 次/a。

表1 加拿大 ERCB 钻井事故概率统计表

溢流概率	井涌概率	井喷概率
3.48×10^{-2}	1.07×10^{-3}	4.53×10^{-4}

3.2.3 井喷事故后果分析

分析主要考虑硫化氢扩散对公众造成的大范围毒性危害,不考虑火灾、爆炸等影响范围较小的事故后果。

3.2.3.1 计算模型选取

应采用符合以下要求的软件计算井喷事故毒物扩散后果^[7]:可公开获取;已在相关行业推广应用;可以获取其理论描述和模型验证的相关文献;适用于重气扩散模拟;可考虑地形条件影响;可计算硫化氢扩散过程中浓度的时间及空间分布;符合井喷事故毒物扩散后果分析的其他需求。

3.2.3.2 计算参数确定

释放源应包括垂直喷射和水平喷射两种形式;释放流量应取为该气井的硫化氢释放速率;释放时间应取为15 min^[8]。

3.2.3.3 计算结果及分析

计算结果应包括不同风向及风速条件下距地面1 m高处大气中硫化氢的 150 mg/m^3 、 450 mg/m^3 、 900 mg/m^3 、 1500 mg/m^3 瞬时浓度随时间变化的扩散范围,其中风向应包括东、南、西、北、东南、东北、西南、西北8个风向,风速应包括各风向下的3 m/s、

当地常年平均风速及 0.5 m/s 这 3 种风速。

根据硫化氢浓度计算结果进行毒性负荷计算,毒性负荷按下式计算^[9]:

$$P_c(x, y) = 0.28 \int C(x, y)^{3.5} dt \quad (1)$$

式中: $P_c(x, y)$ 为 (x, y) 位置处的毒性负荷; $C(x, y)$ 为 (x, y) 位置处的硫化氢浓度, mg/m^3 ; t 为时间, min 。

3.2.4 风险计算及对比可接受风险水平

整合井喷事故概率及后果分析,计算含硫化氢天然气井个人风险值及社会风险值,参考加拿大 RWDI 定量风险分析技术方法,并结合我国含硫气田实际情况,提出了个人风险及社会风险的计算公式。

个人风险按式(2)计算:

$$R_i(x, y) = P_b P_w P_A(x, y) P_L(x, y) \quad (2)$$

式中: $R_i(x, y)$ 为 (x, y) 位置处的个人风险值; P_b 为井喷事故概率; P_w 为大气稳定度出现的频率,根据气象资料确定; $P_A(x, y)$ 为 (x, y) 位置处风角度概率,根据气象资料确定; $P_L(x, y)$ 为 (x, y) 位置处受体致死概率,根据下式确定:

$$P_L(x, y) = -29.4 + 1.4 \ln[P_c(x, y)] \quad (3)$$

式中: $P_c(x, y)$ 为 (x, y) 位置的毒性负荷。

社会风险按下式计算:

$$R_s = \sum P_b P_w P_D(\geq N), N \quad (4)$$

式中: R_s 为社会风险值; P_b 为井喷事故概率; $P_D(\geq N)$ 为导致大于等于 N 人死亡的风向 D 出现的频率,由个人风险分析及人口分布资料计算确定; N 为死亡人数,根据计算情况设定。

根据定量风险计算结果绘制个人风险等值线及社会风险 $F-N$ 曲线,其中个人风险等值线应包括 $10^{-3}/a$ 、 $10^{-4}/a$ 、 $10^{-5}/a$ 、 $10^{-6}/a$ 、 $10^{-7}/a$;将个人及社会风险计算结果与可接受风险水平进行对比分析。

个人风险与可接受水平的对比应参考最低合理可行原则(ALARP 原则)^[10],如表 2 所示。

表 2 个人风险可接受水平表

最大可忍受风险(每年)	可忽略的风险(每年)
1×10^{-5}	1×10^{-7}

社会风险可接受水平如图 1 所示。

4 结论

对含硫气井定量风险分析技术标准的制订原

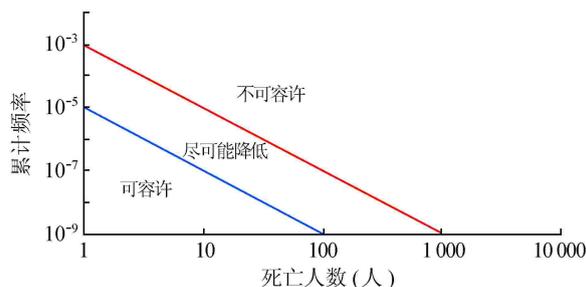


图 1 社会风险可接受水平图

则、适用范围、框架结构进行了分析,提出了井喷事故概率的分析方法及参考值、事故后果分析方法及要求、定量风险计算方法及可接受风险水平等,可较好地用于指导我国含硫气井定量风险分析标准的制订,使我国对含硫气田开发实施定量风险评价和管理成为可能。

参 考 文 献

- [1] 戴金星,胡见义,贾承造,等.科学安全勘探开发高硫化氢天然气田的建议[J].石油勘探与开发,2004,31(2):1-4.
- [2] 刘铁民,张兴凯,邓云峰,等.含硫气田安全规划方法及关键技术研究[R].北京:中国安全生产科学研究院,2009.
- [3] 邓云峰,李湖生,吴庆善,等.AQ 2017—2008 含硫化氢天然气井公众危害程度分级方法[S].北京:煤炭工业出版社,2009.
- [4] 陈元桥,陈全,刘卓慧,等.GB/T 28001—2001 职业健康安全管理体系规范[S].北京:中国标准出版社,2002.
- [5] REZAEI C, MEHAIRY M M K AL, AL MARZOOQI A, et al. Health safety and environment impact assessment for onshore sour gas wells [R]// SPE 71439. [S. l.]:SPE,2002.
- [6] IAN DOWSETT, LYNDIA HOLIZKI. Public safety considerations near critical sour gas facilities [R]. [S. l.]: RWDI West Inc,2004.
- [7] 翁帮华,银小兵,向启贵.SAFETI 定量风险分析软件在石油天然气开发风险评估中的应用[J].石油与天然气化工,2007,36(6):524-527.
- [8] 张兴凯,邓云峰,曹登泉,等.AQ 2016—2008 含硫化氢天然气井失控井口点火时间规定[S].北京:煤炭工业出版社,2009.
- [9] Canada Alberta Energy and Utilities Board. EUB H₂S a model for calculating emergency response and planning zones for sour gas facilities [EB/OL]. http://www.ercb.ca/docs/public/sourgas/EUBModelsDraft/Volume2_ERPEndPoints.pdf, 2006.
- [10] 丁厚成,万成略.风险评价标准值初探[J].工业安全与环保,2004,30(10):45-47.

(收稿日期 2009-05-27 编辑 何 明)