

doi:10.3969/j.issn.1005-3158.2010.04.003

事故状态下污染物排放 对水环境影响的预测研究

潘红磊¹ 张强斌² 曾 勇²

(1. 中国石油集团安全环保技术研究院; 2. 中国石油大学(北京))

摘 要 对辽河油田欢喜岭采油厂在事故状态下污染物排放对大凌河水域环境的影响进行预测研究。计算了洪水淹没、油罐冒顶泄漏、油井井喷泄漏、联合站泄漏、管道泄漏、暴雨径流带走落地油等 16 种情景下对该河流水质的影响情况,并建立数学模型,进行情景模拟。研究结果表明,事故状态下对大凌河水质影响的次序由大到小依次为:洪水淹没、油罐冒顶泄漏、油井井喷泄漏、联合站泄漏、管道泄漏、暴雨径流。

关键词 欢喜岭油田 事故 大凌河 污染 预测 模型

0 引 言

欢喜岭采油厂位于辽宁省盘山县和凌海市境内,辽河、大凌河、绕阳河等 11 条河流横跨生产区域,油田面积 350 km²,年产原油 138 万 t。

大凌河上游分为南西两支,南支发源于辽宁省建昌县鸡冠山,西支发源于河北省平泉县龙潭洼山,两支在喀左汇合后,流经朝阳、北票、义县、凌海市入渤海。见图 1。

研究范围内大凌河共分 2 个功能区段:第一段起

始断面为右卫镇,终止断面为东三义,控制断面为东三义,河段长度 12 km,水功能区为大凌河右卫镇过渡区,水质目标为 II 类;第二段起始断面为东三义,终止断面为入海口断面,控制断面为东三义断面,河段长度 24 km,水功能区为大凌河凌海缓冲区,水质目标为 II 类。大凌河东三义断面水质状况较差,非汛期、汛期及年均值综合评价结果均为劣 V 类水质。超 V 类水质标准的因子主要有溶解氧、化学需氧量、生化需氧量、高锰酸盐指数、石油类、挥发酚和砷^[1-2]等。

1 油田事故风险识别

油田突发性水污染事故主要发生在运输和生产过程,二者之和占事故总数的 63.8%,而油品储存系统发生事故的几率为 21.0%。生产系统发生泄漏的频率较高,但通常都是局部性的泄漏;尽管储存系统发生事故的相对较小,然而一旦发生就有可能造成严重的影响。根据资料,发生于地表水体附近的泄漏事故,会直接对地表水体造成污染。进入水体的油量多时可在水面形成油膜,1t 石油任其扩散可形成覆盖 12 km² 范围的厚 0.1 mm 的油膜。

欢喜岭油田区域地下油藏属于稠油油藏,压力系统正常。因此,钻井作业存在发生井喷事故的可能性,但概率极小。除井喷外,钻井过程中的其他事故,如卡钻、井壁坍塌及油井报废等,一般不会造成显著



图 1 大凌河地理位置

的环境污染。

如果油气生产过程中发生井喷,将有大量原油和伴生气喷出,极易发生火灾,喷出的大量烃类气体污染大气,原油覆盖植被会影响光合作用而导致其死亡,污染土壤,进入地表水会造成水质污染。尽管井喷后果严重,但井喷发生的概率非常小。进行井下作业时,特别是对于压力较高的自喷井,由于操作失误或处理措施不当也可能发生井喷,其后果与钻井过程中发生的井喷是一样的。除井喷外,井下作业时酸化液、压裂液、压井液等的泄漏以及落地油也会造成井场附近的局部污染。

油气集输过程中主要潜在污染因素包括:集输管线腐蚀穿孔、爆裂造成原油及含油污水泄漏;洪水冲坏采油、输油设施及管线,造成原油、污水泄漏;不法分子的偷盗破坏,造成原油外泄污染环境。

储罐区的主要突发性环境风险事故为泄漏和火灾两种类型:储罐区泄漏事故主要有4种情况:输油管泄漏,泄漏量一般不会超过数吨;入孔、阀门法兰密封不良泄漏,泄漏量一般不会超过数千克;槽车阀门未关或内漏,造成的泄漏量一般不会超过数百千克;罐体破裂,这是最恶性的泄漏事故。

储罐区火灾主要有4种情况:油罐在不发货也不收货的情况下着火;油罐内燃烧;油罐顶被炸开,火势异常猛烈;油罐着火后爆裂。罐体裂开,火势除在罐内燃烧外,溢出地面的油品也着火。

针对欢喜岭油田开发的特点,结合油藏情况、采油、注水工艺、管理水平及自然灾害等进行分析,危害其安全的潜在危险因素主要有自然灾害、腐蚀环境、误操作、设备缺陷及人为破坏问题。主要事故类型为管线破裂导致的泄漏、储油罐破裂泄漏及联合站泄漏,集输管线事故导致大量原油、含油污水外泄或排放,对周围水环境造成直接污染;自然灾害中暴雨径流及洪水导致的落地油入河及输油、储油设施被冲垮使污染物入河。

1.1 物质的危险性识别

物质危险性主要包括:火灾爆炸危险性和健康危害性。化学物质对人体健康的危害性通常是指物质的毒性,其危害程度分极度危害、高度危害、中度危害和轻度危害四个级别^[3]。事故泄漏的主要污染物包括:石油类(主要污染物为环戊烷、苯、甲苯、二甲苯、萘、苯并[a]芘)、重金属(主要污染物为Pb、Cd)、硫化物(主要污染物为硫化钾、硫化钠)、氰化物(主要污染物为氰化钾、氰化钠、乙腈、

丙烯腈)、挥发酚(主要污染物为苯酚、五氯苯酚)等。

1.2 事故概率确定

风险评价中的事故预测,通常是通过对国内外同类装置或建设项目的事故统计资料的分析,确定可能发生事故的类型、源强和概率。因此实际评价中,往往是通过调查历史事故的调查,最好是全世界或国内同类工厂运行史的事故调查来确定事故可能发生的概率^[4]。

通过对现有事故的统计,以时间发生的频率代替其概率。

统计结果表明储罐破裂概率为 $1.0 \times 10^{-7}/a$;炼油厂输油管道泄漏事故概率为 $1.2 \times 10^{-2}/a$ 。储罐区油罐爆炸事故发生的概率为 8.7×10^{-5} 次/(罐·年)。

1.3 风险源强的确定

欢喜岭油田对于大凌河污染事故的风险源主要包括落地油、管道、储油罐或联合站及采油井。其中落地油通过暴雨径流或洪水入河,油井及井场集输设施泄漏、爆炸或被洪水冲垮等均能引起石油类污染物入河。另外,井喷也会大凌河产生污染。事故状态下污染源强见表1。

针对欢喜岭油田,在暴雨径流(N-1情景)下,浓度增量最大到 0.34 mg/L ,对大凌河水环境将造成一定的影响;洪水淹没(N-2情景)、管道泄漏(N-8情景)、油罐冒顶泄漏(N-9情景)、联合站泄漏(N-10情景)、油井井喷泄漏(N-16情景)各情景下,浓度增量最大为GB 3838—2002《地表水环境质量标准》Ⅴ类水限值的20倍以上,对大凌河造成严重影响,因此按1h扩散范围来评价各情景方案影响大凌河水质的严重程度。

各情景方案影响大凌河水质程度从大到小排列为:洪水淹没、油罐冒顶泄漏、油井井喷泄漏、联合站泄漏、管道泄漏、暴雨径流。因此,在事故状态下污染物大量排放将导致大凌河水域污染物浓度显著增加,会造成严重的水环境污染。

2 模型方程与求解方法

本次评价方法主要基于MIKE21HD(水动力)、AD(advection-dispersion, 对流扩散)、SA(Simulation of Accidental Oil Spill, 溢油分析)模块,可用于模拟河流、湖泊、河口、海湾、海岸水流、波浪、泥沙等环境场^[5-6]。该软件为工程应用、海岸管理及

表 1 事故状态污染源强

情景 编号	事故源	风险 类型	发生概率/ (次/年)	污染物	排放浓度/ (mg/L)	泄漏持续时间/ h	排放量/ kg
N-1	落地油	暴雨径流	7×10^{-1}	石油类	0.34	24	18.2
N-2	井场全部	洪水淹没	2×10^{-2}	石油类	5.0×10^4	24	1699920
N-3	井场全部	洪水淹没	2×10^{-2}	Pb	1.3×10^{-4}	24	16
N-4	井场全部	洪水淹没	2×10^{-2}	Cd	7×10^{-5}	24	9
N-5	井场全部	洪水淹没	2×10^{-2}	氰化物	4×10^{-5}	24	4
N-6	井场全部	洪水淹没	2×10^{-2}	硫化物	1.4×10^{-4}	24	17
N-7	井场全部	洪水淹没	2×10^{-2}	挥发酚	1.2×10^{-4}	24	14
N-8	管道	泄漏	1.2×10^{-2}	石油类	5.0×10^4	2	1000
N-9	油罐	冒顶泄漏	1×10^{-7}	石油类	5.0×10^4	6	25000
N-10	联合站	泄漏	1×10^{-4}	石油类	5.0×10^4	2	2000
N-11	联合站	泄漏	1×10^{-4}	Pb	0.2	2	4
N-12	联合站	泄漏	1×10^{-4}	Cd	0.1	2	2
N-13	联合站	泄漏	1×10^{-4}	氰化物	0.05	2	1
N-14	联合站	泄漏	1×10^{-4}	硫化物	0.33	2	7
N-15	联合站	泄漏	1×10^{-4}	挥发酚	0.27	2	6
N-16	油井	井喷	1×10^{-4}	石油类	5.0×10^4	24	5000

环境评价提供完备、有效的设计条件和参数^[7]。连续性方程：

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \tag{1}$$

x 方向动量方程：

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \xi}{\partial y} + \frac{gp \sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} - \\ \frac{1}{\rho \omega} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h \tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h \tau_{xy}) \right] - \Omega q - f V V_x + \\ \frac{h}{\rho \omega} \frac{\partial}{\partial x} (p_a) = S_{ix} \end{aligned} \tag{2}$$

y 方向动量方程：

$$\begin{aligned} \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \xi}{\partial y} + \frac{gp \sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} - \\ \frac{1}{\rho \omega} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h \tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h \tau_{xy}) \right] - \Omega q - f V V_y + \\ \frac{h}{\rho \omega} \frac{\partial}{\partial y} (p_a) = S_{iy} \end{aligned} \tag{3}$$

污染物扩散方程：

$$\frac{\partial HP}{\partial t} + \frac{\partial HuP}{\partial x} + \frac{\partial HvP}{\partial y} =$$

$$K_x \frac{\partial^2 (HP)}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 (HP)}{\partial y^2} + M \tag{4}$$

油膜扩展运动方程：

$$\left(\frac{dA_{oil}}{dt} \right) = K_a \cdot A_{oil}^{1/3} \cdot \left(\frac{V_{oil}}{A_{oil}} \right)^{4/3} \tag{5}$$

式中：

- h—水位, m;
- H—水深, m;
- u、v—分别 x、y(即东、北)方向的流速分量, m/s;
- f(V)—风摩擦系数;
- V、V_x、V_y—风速及风速 x、y 方向分量, m/s;
- Ω—柯氏力参数(s⁻¹, Ω=2ωsinφ, φ: 计算区域平均纬度);
- p、q—x、y 方向单宽流量, m³/s;
- P_a—大气压强, Pa;
- ρ—水体密度, g/cm³;
- ω—地球自转角速度, π/s;
- ζ—在参考面上的自由水面高度, m;
- τ_{xx}、τ_{xy}、τ_{yy}—剪切应力分量, 10⁻¹ Pa;
- C—谢才系数, m^{1/2}/s, C=H^{1/6}/n, n 为曼宁系数;

t —时间,s;
 g —重力加速度, m/s^2 ;
 P —污染物浓度, mg/L ;
 $K_x、K_y$:分别是 $x、y$ 方向的扩散系数, m^2/s ;
其中:
 $K_x=5.93\sqrt{g|u|H/C}$
 $K_y=5.93\sqrt{g|v|H/C}$
 $M=\alpha\cdot\omega\cdot P$
 M —源项, g/s ;
 α —沉降系数, $1/\text{h}$; ω —沉降速度, m/s ;
 A_{oil} —为油膜面积, m^2 ; K_a —系数, L/h 。

3 情景模拟

对表 1 中 16 种情景均进行模拟预测,以 N-9 为例:

3.1 模拟场景

溢油地点:欢喜岭油田油罐冒顶泄漏,发生概率 $10^{-7}/\text{a}$,溢油起点为欢喜岭油田范围内油罐泄漏以点源排放进入大凌河。
污染物:石油类。
泄漏量:25 t,泄漏持续时间 6 h
泄漏方式:点源。
风:风速 1.5 m/s,风向为西北风。
上游来水量:100 m^3/s (50%具有代表性的年份洪水期流量)。

下游水深:1.5 m。
3.2 模拟结果
通过模拟表明,污染物进入大凌河后迅速扩散,约 21 h 后达到大凌河口,22 h 后河口污染物浓度见图 2。

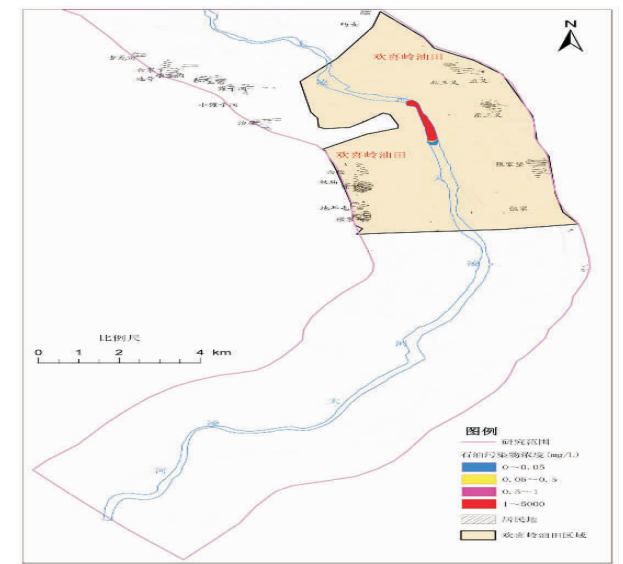


图 2 N-9 情景污染物排放 1 h 后扩散情况
污染物排入大凌河后 1 h、6 h 和污染物到达河口 (22 h) 扩散情况分别见表 2、图 3 和图 4。

表 2 石油类浓度增量包络面积

工况	时间/h	石油类浓度最大增值/(mg/L)	包络面积/ km^2			
			>1 mg/L	0.5~1 mg/L	0.05~0.5 mg/L	0~0.05 mg/L
N-9	1	50000.00	1.38	0.003	0.122	0.041
	6	50000.00	2.055	0.025	0.288	0.105
	22	47000.00	3.368	0.072	0.227	0.7

4 结 论

根据对欢喜岭油田生产情况的调查和模型模拟结果可看出,欢喜岭油田在正常生产过程中石油类污染物的排放导致大凌河水域污染物浓度增值幅度很小,对大凌河水环境造成的影响很小。
为减少事故发生的概率,减少对大凌河水域污染的影响,应提前采取事故防范措施,制定必要的事故应急程序,一旦发生溢油或化学品泄漏事故,立即启动应急程序,尽量杜绝事故造成的污染物排放进入水体环境。

参 考 文 献

[1] 杨夏燕. 突发性油污染事故应急体系研究 [D]. 上海: 东华大学, 2005.
[2] 张栋. 大型石油罐区泄漏火灾事故环境风险评价应用研究 [D]. 北京: 首都经济贸易大学, 2004.
[3] 余银玲, 田永彬, 李光富. 5213 区块油田开发地表水风险评价 [J]. 油气田地面工程, 2008, 27(8): 45-46.
[4] 陈文坚. 化学危险品储运项目环境风险评价实例 [J]. 福建环境, 2003, 20(5): 27-30.

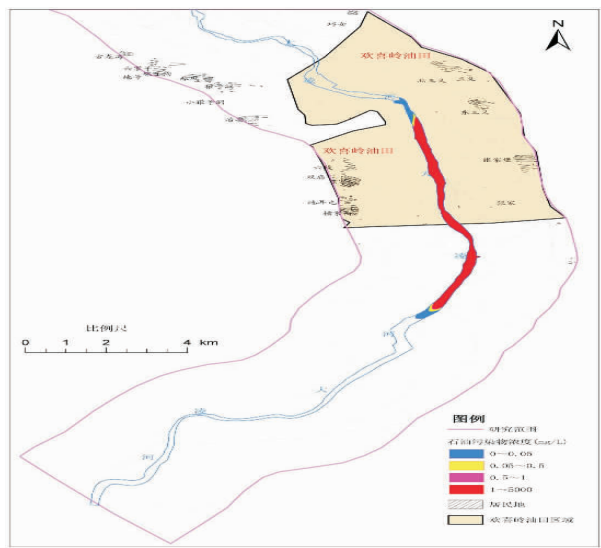


图 3 N-9 情景污染物排放 6 h 后扩散情况

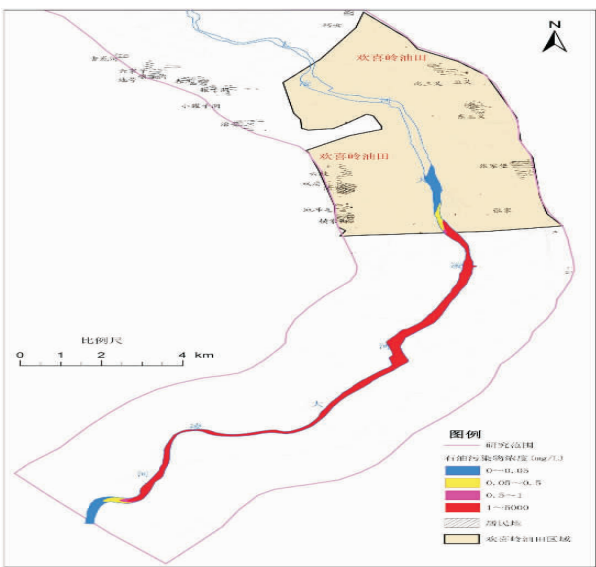


图 4 N-9 情景污染物排放 22 h 后扩散情况

[5] 张 峥,李寅年.石油化工项目环境风险评价实例分析[J].环境科学研究,1999,12(2):32-35.

[6] 胡应成,朱冠友.环境风险评价的技术方法[J].中山大学学报论丛,2003,23(1):99-104.

[7] 龙军,俞珂.用事故树分析法进行炼厂油罐爆炸事故的环境风险分析[J].化工环保,1996,16(2):13-19.

(收稿日期 2010-01-10)

(编辑 李 娟)

(上接第 3 页)

5 石油石化企业温室气体清单的编制要求

按照温室气体排放量的统计核算方法,在统计边界内对识别的各种温室气体直接排放源和能源间接排放源进行温室气体排放量的统计,编制形成石油石化企业需要的温室气体清单。

由于排放种类不同,排放源的类型多样,量化统计核算复杂,因此在石油石化企业温室气体清单编制的过程中应遵循以下原则:①抓大放小,统计核算主要排放源。应对石油石化企业中排放量大、活动水平数据容易收集、核算统计方法确定的燃料燃烧过程和生产工艺过程予以重点关注,而对排放量小、活动水平数据较难收集、统计核算方法不明确的逸散过程可在清单编制中给予不确定性说明;②源头把关,确保清单数值质量。应对石油石化企业准确识别的排放源的活动水平数据进行细致搜集,采用实际统计和标定监测数据,并对排放系数建立数学模型进行合理评估,确保编制的清单数据真实准确;③自下而上,保证统计核算的完整性。应对石油石化企业生产运营过程

进行梳理,确定合理、有效的温室气体统计边界,对所有有温室气体排放的二级单位进行温室气体排放统计,确保不遗漏、不重复,保证清单统计核算的完整性,为进一步开展温室气体减排和控制工作奠定基础。

参考文献

[1] 蒋洪强,周颖,师华定,等.温室气体排放统计核算技术方法[M].北京:中国环境科学出版社,2009,10.

[2] 蔡博峰,刘春兰,陈操操.城市温室气体清单研究[M].北京:化学工业出版社,2009,8.

[3] 蒋家超,李明,赵由才.工业领域温室气体减排与控制技术[M].北京:化学工业出版社,2009,2.

[4] 赵天涛,阎宁,赵由才.环境领域温室气体减排与控制技术[M].北京:化学工业出版社,2009,3.

[5] 政府间气候变化专门委员会.2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南[M].全球环境战略研究所,2006.

[6] 国际石油工业环境保护协会,美国石油协会.石油行业温室气体排放报告指导方针[M].美国巴特勒研究所,2003.

(收稿日期 2010-09-26)

(编辑 王 薇)