

大庆地区油田开发排水工程环境风险评价初探^{*}

于艳新^{**} 陈家军 王红旗

(北京师范大学环境科学研究所环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100875)

【摘要】 利用定性分析的方法, 对大庆地区永乐油田永 5 转油站地区不同设计排水方案进行环境风险因素识别和危害环境预测, 在此基础上, 运用模糊综合评价法, 建立相应的环境风险模糊指数, 确定危害环境系数, 最后得出环境风险模糊评价指数, 表征各方案风险相对大小, 提出针对优选方案环境风险管理的措施。

关键词 油田开发 排水工程 环境风险 模糊综合评价

文章编号 1001-9332(2001)02-0283-04 **中图分类号** X828 **文献标识码** A

Preliminary approach to environmental risk assessment of drainage projects during oilfield exploitation in Daqing.
YU Yanxin, CHEN Jiajun, WANG Hongqi (State Key Joint Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, Institute of Environmental Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875). -Chin. J. Appl. Ecol., 2001, 12(2): 283 ~ 286.

A qualitative analysis was made to assess the environmental risk and its impact of alternative drainage projects around Yong-5 oil-transport station at Yongle oilfield in Daqing. On the basis of this, a method of fuzzy comprehensive assessment was applied to set up corresponding indexes, to determine hazard environmental coefficients, and to calculate the environmental risk fuzzy assessment indexes which reflect the relative risk degrees of alternative drainage projects. The measures on environmental risk management were proposed according to the priority of alternative projects.

Key words Oilfield exploitation, Drainage projects, Environmental risk, Fuzzy comprehensive assessment.

1 引言

近年来, 大庆地区油田工业发展迅猛, 新油田开发建设方兴未艾, 排水问题十分突出。大庆地区属松花江、嫩江冲击平原, 地貌特征为草原遍布、泡沼较多^[9]。油田布井无法完全避开水域, 低洼地, 井淹事故风险极大。1998 年嫩江水灾, 大庆部分外围油田遭淹, 造成生产停滞、原油泄漏、农田污染的严重事故。随着厄尔尼诺现象的影响, 全球气候异常, 洪水爆发频度、强度日益增大, 油田排水将成为新油田开发建设的关键。由于各种自然、人为因素的影响, 油田排水工程实施过程中仍会有许多事故风险隐患, 其发生及影响程度具有很大的不确定性^[6], 不利于油田经济建设和管理^[7]。为了从宏观上把握风险, 为技术性和政策性决策提供服务, 实现油田工业的可持续发展, 对油田排水工程进行环境风险评价, 尤为重要和必要。

我国环境风险评价工作起步较晚, 目前尚未形成成熟的评价程序、方法及标准^[10], 大多数环境风险评价停留在定性、半量化阶段^[18]。关于油田排水工程环境风险评价研究更少^[5, 16, 17]。本文以永乐油田永 5 转油站地区的排水工程为例, 运用模糊数学综合评价法^[2, 4, 11], 通过计算各排水方案环境风险模糊指数, 确定风险发生的可能性; 计算危害环境系数, 得到风险危

害后果, 最后用环境风险模糊评价指数表征风险发生的可能性和危害后果的综合效应, 从中选取指数最低、风险可接受的排水方案, 并具有针对性地进行风险管理。以此, 试图提供一种定量的环境风险评价方法, 在油田排水工程环境风险评价上作初步尝试。

2 研究地点与研究方法

2.1 自然概况

研究范围在永乐油田永 5 转油站地区。永乐油田的排水问题突出体现在永 5 转油站地区。该地区地势低洼, 内有一个天然碱泡——月牙形无名泡和一些鱼池, 大部分都是低洼地, 布有 50 口井。1998 年雨水较大时, 28 口井位于水中, 13 口井位于鱼池中, 9 口井位于低洼地。规划 3 个排水方案。方案一建支渠将积水外排, 低洼地建汇水渠, 鱼池并不排水; 方案 2 以井排路为挡水堤坝, 将路西侧井区积水抽到路东侧的泡中, 集中外排; 方案 3 不排水, 建设水泡子采油井场 23 座, 增加单井高度, 挡住积水。预算 3 个排水方案投资从大到小顺序为: 方案 3 > 方案 2 > 方案 1。鉴于上述情况, 对各排水方案进行环境风险评价, 探寻经济与环境最优结合方案。

2.2 研究方法

2.2.1 评价原则 针对油田排水工程的特殊性, 为切实加强环境风险评价结果于油田经济建设与环境管理中的实用性, 将以

^{*} 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(98002712)。

^{**} 通讯联系人。

1999-02-09 收稿, 1999-06-16 接受。

下几点作为本项评价的原则:1)必须搜集油田环境和排水工程的详细资料,为定性分析做准备。2)定量评价以定性分析为基础,定性分析重在识别环境风险因素及其对环境敏感点的危害。3)鉴于目前尚无环境风险评价标准可资参照^[15],故模糊综合评价中风险因素权重及隶属度的确定主要靠专家评估。4)风险不可能被精确地衡量出来,它永远只是一种估计^[14],重要的是给出其相对大小,为决策、管理服务。

2.2.2 评价程序及方法 评价分3级进行,逐级递推,采用定性分析与定量评价相结合的方法。1级:定性分析。包括3部分:(1)资料的收集与整理,(2)环境风险因素(自然,人为)识别与分析,(3)危害环境分析,剔除最劣方案。

2级:定量评价。根据定性分析结果,采用模糊数学方法进行环境风险综合评价,程序如下:(1)计算环境风险模糊指数 I_R : 确定评价风险因素集 U 。划分风险评价级别,确定风险评价集 V 。确定评价风险因素权重矩阵 W ,表征不同评价风险因素在排水工程中的重要程度。根据不同评价风险因素在各个风险评价级别上的隶属关系,建立模糊关系矩阵 A 。将 W 与 A 进行复合运算,得到风险隶属度矩阵 R ,即 $R = W \cdot A$,表示评价风险因素综合对风险评价级别的隶属度。根据风险评价集构造风险评价级别矩阵 S ,由公式 $I_R = R \times S^T$ 计算风险模糊指数。由此可知风险发生的可能程度,相当于概率大小。(2)计算危害环境系数 C_E 。(3)将前两步计算出的 I_R 、 C_E 相乘,计算环境风险模糊评价指数 I_{ER} 。

3级:根据1、2级分析评价结果,选择最优方案并提出风险管理措施。

3 结果与分析

3.1 风险因素识别与分析

3.1.1 洪水风险因素分析 洪水的发生,主要取决于无名泡汇水流域面积和降水。无名泡汇水流域面积为 12.5km^2 ,降水强度 800mm 以上时,发生概率为 2% 。短期内不考虑蒸发,水域面积扩大 28.8km^2 ,淹没全部油水井,致使原油泄漏。此外,洪水还可使输油管线破裂,原油泄漏危害环境。

3.1.2 地震风险因素分析 永乐油田的震级范围为 $4.5 \sim 6$ 级,减震距离小于 10km 。发生地震的可能性不大。但由于该油田大部分为砂化土壤,地下水埋深浅。一旦地震,加重地物损坏,直接或间接地破坏油水井,输油管和储油罐,使原油泄漏。

3.1.3 雷击风险分析 雷暴期为每年的 $4 \sim 10$ 月,持续时间长,特大雷暴日平均 2.2 日。雷击可使非金属油罐破损,引发火灾。

3.1.4 人为风险因素分析 直接风险因素如人员操作、管理上的失误,发生井喷、输油管穿孔等事故,造成原油泄漏,甚至生产停滞。间接风险因素涉及人类的一些活动,各方案不尽相同。方案1鱼池井不排水,潜在风

险很大。水渠设计不合理时,泥沙淤积^[13],河水漫堤,会淹没农田、草原。方案2排水工程实施不畅,油水井遭淹;及时实施,消除油田内水患,可能将危害转移到油田周围环境。方案3不排水,但单井高度增加。当积水不足以淹没油水井时,生产过程中产生的落油对油田内环境具有潜在影响。一旦积水淹没或长期浸泡油水井,会造成井口坍塌,原油泄漏事故,破坏油田内外环境功能。

3.2 危害环境分析

鉴于上述事故分析,各排水方案对环境敏感点的危害如下:方案1主要造成鱼类死亡、减产,影响农作物生长,对地面水、草原、生态有一定程度影响^[8],对地下水影响较少。方案2主要是外排水淹没耕地,对草原、生态影响不大^[1],对地下水、地面水影响很小。方案3落地油造成土壤板结,农作物减产,草原退化,生态系统破坏,地面及地下水严重污染,水生生物生长、发育受阻。由此可以看出,方案3投资最大,风险因素最多,环境危害最大,故由定性分析即可排除方案3,定量评价针对方案1、方案2进行。

3.3 环境风险模糊综合评价

3.3.1 计算各排水方案环境风险模糊指数 1)确定评价风险因素集。根据上述风险因素识别结果及实际情况,各方案风险因素均为洪水、雷击、地震及人为因素,故将这4个因素作为评价风险因素集的要害。确定评价风险因素集为:

$$U_i = (\text{洪水、雷击、地震、人为因素})$$

其中, i 代表排水方案, $i=1,2$ 。

2)划分风险评价级别,确定风险评价集。用模糊数学语言来描述风险评价级别,将其划分为5级:1级:风险很小;2级:风险较小;3级:风险一般,即有一定风险,但可以接受;4级:风险较大;5级:风险很大。由此确定风险评价集 $V_i = (1\text{级}, 2\text{级}, 3\text{级}, 4\text{级}, 5\text{级})$, i 的含义同上。

3)确定评价风险因素权重矩阵。权重确定具有一定难度。确定方法有专家调查法、统计分析法、因子分析法、层次分析法等。根据上述风险因素分析结果和实际情况,此处采用集体评议并参考专家意见的定性分析方法来确定,采用10分制,定出各方案的评价风险因素权重(表1)。由此得到各方案相应于评价风险因素集的权重矩阵,即:

方案1: $W'(1) = (5, 1, 1, 3)$, 方案2: $W'(2) = (4, 1, 1, 4)$ 。

归一化得: $W(1) = (0.5, 0.1, 0.1, 0.3)$, $W(2) = (0.4, 0.1, 0.1, 0.4)$ 。

4)建立模糊关系矩阵。根据前面环境风险因素分

析结果,采用统计推断并参考专家意见法,建立模糊关系矩阵.

表 1 各排水方案环境风险因素权重

Table 1 Weights of environmental risk factors of the alternative projects

方案 Projects	风险因素 Risk factors			
	洪水 Flood	雷击 Light strike	地震 Earthquake	人为因素 Man - made factors
1	5	1	1	3
2	4	1	1	4

方案 1:

$$A(1) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0.1 & 0.2 & 0.6 & 0.1 \\ 2 & 0.2 & 0.4 & 0.3 & 0.1 & 0 \\ 3 & 0.8 & 0.1 & 0.1 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0.05 & 0.15 & 0.6 & 0.2 \end{bmatrix}$$

注:矩阵上方序列为风险评价级别,左边编号为评价风险因素,依次为洪水、雷击、地震、人为因素,矩阵元素 a_{ij} 为隶属度,即从第 i ($i=1,2,3,4$) 种评价风险因素着眼作出的第 j ($j=1,2,3,4,5$) 种风险评价级别的可能程度. 以下矩阵与其相同,不再表示.

把洪水风险因素在 5 个风险评价级别上的隶属度分别确定为 1 级 0, 2 级 0.1, 3 级 0.2, 4 级 0.6, 5 级 0.1, 基于这样的考虑:一旦洪水事故发生,其风险较大,故 4 级隶属度为最大 0.6,不可能风险很小,故 1 级隶属度为 0,以此类推,确定其他评价风险因素在各个风险评价级别上的隶属度. 其余方案与其相同,不再累述.

方案 2:

$$A(2) = \begin{bmatrix} 0 & 0.1 & 0.6 & 0.2 & 0.1 \\ 0.3 & 0.2 & 0.4 & 0.1 & 0 \\ 0.8 & 0.1 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0.1 & 0.2 & 0.6 \end{bmatrix}$$

5) 计算风险隶属度矩阵. 根据公式 $R = W \cdot A$ 将 $W(i)$ 与 $A(i)$ (i 表示排水方案, $i=1,2$) 进行复合运算得到各排水方案风险隶属度矩阵,即:

方案 1:

$$R(1) = w(1) \cdot A(1) = (0.5, 0.1, 0.1, 0.3) \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0.1 & 0.2 & 0.6 & 0.1 \\ 2 & 0.2 & 0.4 & 0.3 & 0.1 & 0 \\ 3 & 0.8 & 0.1 & 0.1 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0.05 & 0.15 & 0.6 & 0.2 \end{bmatrix} \\ = (0.1, 0.15, 0.185, 0.49, 0.11)$$

同理可得方案 2 的风险隶属度矩阵,即

方案 2:

$$R(2) = w(2) \cdot A(2) \\ = (0.11, 0.11, 0.33, 0.16, 0.28)$$

根据最大隶属度原则可知:方案 1 风险为 4 级,即风险较大;方案 2 风险为 3 级,即风险可以接受.

6) 计算各排水方案环境风险模糊指数. 由风险评价集 V 构造出风险评价级别矩阵 S , 即

$$S = (1, 2, 3, 4, 5)$$

根据公式: $I_R = R \cdot S^T$ 得到各排水方案环境风险模糊指数,即

方案 1:

$$I_R(1) = R(1) \cdot S^T \\ = (0.1, 0.115, 0.185, 0.49, 0.11) \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{bmatrix} \\ = 3.395$$

同理得方案 2 的环境风险模糊指数,即

方案 2:

$$I_R(2) = R(2) \cdot S^T = 3.36$$

3.3.2 计算各排水方案危害环境系数 根据前面对环境的危害结果分析,采用专家调查法对环境危害对象评分,采用 10 分制,评分结果见表 2.

由此,据公式

$$C_E = \sqrt[j]{C_1 C_2 \dots C_j}$$

其中, C_j 为危害对象评分结果, $0 \leq C_j \leq 10$, $j=1,2,3,4,5,6$; C_E 为危害环境系数,即风险一旦发生,对环境的危害程度. 计算得到排水方案 1 危害环境系数为 5.09,方案 2 危害环境系数为 2.36.

表 2 各排水方案对环境的危害评分结果

Table 2 Environmental impact scores of the alternative projects

方案 Projects	危害对象 Impact factors					
	地面水 Surface water	生态 Ecology	水生生物 Aquatic organism	农业 Agriculture	牧业 Stock farming	地下水 Ground water
1	5.3	4.4	0.5	7.3	4.3	1.0
2	7.2	9.5	5.4	9.2	8.7	7.8

3.3.3 计算各排水方案环境风险模糊评价指数 根据

3.3.1 6) 和 3.3.2 结果,由公式 $I_{ER} = I_R \times C_E$,得到各排水方案的环境风险模糊评价指数,方案 1 为 17.28,方案 2 为 7.93.

3.3.4 最优方案选择及风险管理 综合考虑经济、环境因素,方案 2 较方案 1 投资大,但环境风险比方案 1 低得多,且风险可以接受. 因此,优先选择方案 2,方案 3 在 3.2 即被排除,故方案 2 为最优排水方案. 为减少方案 2 事故环境风险^[3],建议采取如下的措施:1) 排水工程必须及时实施;2) 对于人为因素的影响应加强管理,提高人员素质,尽可能避免人为因素引起的油水并

原油泄漏事故发生;3)一旦泄漏事故发生,为防止含油污水、落地油排入外环境,配套上围油栏、转盘式抽油机、轻便储油罐及拉运车辆,回收泄漏油;4)密切关注汛期气象预报,做好防范工作;5)建立应急响应机构及快捷的交通通讯工具。

4 结 语

油田开发排水工程环境风险是区域环境风险的主要类型之一,妨碍了区域持续发展。将排水工程环境风险评价纳入油田开发、决策、管理过程是实现“区域环境风险最小化”的重要手段。

运用模糊数学方法进行油田开发排水工程环境风险评价,将定性分析与定量评价有机结合,弥补了国内油田开发排水工程事故统计资料不全^[12],难以实施类比分析和进行概率风险评价的缺陷。同时克服了单一性风险分析的片面性^[19],开辟出环境风险评价的新领域。评价结果体现不同排水方案环境风险的相对大小,为决策提供比较可靠的依据。该方法简单、实用,不失为油田排水工程环境风险评价的有效方法,对制定油田开发环境风险管理措施具有一定指导意义。

参考文献

- 1 Bornthouse L W. 1986. User's manual for ecological risk assessment. New York: ORNL-6251 Press. 57 ~ 69
- 2 Chen J-J (陈家军), Wang H-Q (王红旗), Xi C-G (奚成刚) et al. 2001. Environmental impact of oil pollutant on ground water during oilfield exploitation in Daqing. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 12 (1): 113 ~ 116 (in Chinese)
- 3 David A X. 1993. Book reviews about natural hazards by bryant and environmental hazards. Assessing risk and reducing disaster by smith. *Progr Physical Geogra*, 17 (4): 504 ~ 506
- 4 Lao Q-T (劳其团). 1990. Fussy comprehensive assessment of total environmental quality in city. *China Environ Sci* (中国环境科学), 10 (2): 93 ~ 98 (in Chinese)
- 5 Lu Sh-Y (陆书玉), Xu F (徐 峰), Shi J-R (石剑荣). 1997. Environmental risk indication study for engineering project. *Shanghai Environ Sci* (上海环境科学), 10 (4): 22 ~ 26 (in Chinese)
- 6 Morgan M G, Max Herion. 1985. Uncertainty in risk assessment. *Environ Sci*, 19 (8): 662 ~ 667
- 7 Pan Z-Q (潘自强). 1991. Hazards assessment and management. *China Environ Sci* (中国环境科学), 1 (4): 279 ~ 283 (in Chinese)
- 8 Shen Y-W (沈英娃), Cao H-F (曹洪法). 1991. Outlining the method of ecological risk assessment. *China Environ Sci* (中国环境科学), 11 (6): 465 ~ 468 (in Chinese)
- 9 Sun X-R (孙兴儒). 1992. Development and Environmental Impact of Oil Field. Beijing: Oil Industry Press. (in Chinese)
- 10 Wang J (汪 晶). 1998. Theory and development of risk assessment technique. *Environ Sci* (环境科学), 19 (2): 95 ~ 96 (in Chinese)
- 11 Wang P-Zh (汪培庄). 1983. Fuzzy Set Theory and Its Application. Shanghai: Shanghai Scientific and Technological Press. 105 ~ 109 (in Chinese)
- 12 Wang Y (王 勇), Yang K (杨 凯), Wang Y (王 云). 1995. Research on environmental risk assessment of oil industry. *China Environ Sci* (中国环境科学), 15 (3): 1 ~ 6 (in Chinese)
- 13 Xu Z-h F (徐正凡). 1987. Hydraulics. Beijing: Higher Education Press. 320 ~ 325 (in Chinese)
- 14 Yacov Y H. 1984. Integrated risk and uncertainty assessment in water resources within a multi-objective. *J Hydrol*, 68 (2): 222 ~ 234
- 15 Zeng G-M (曾光明), Zhong Z-h L (钟政林), Zeng B-W (曾北危). 1998. Research of the uncertainty in environmental risk assessment. *China Environ Sci* (中国环境科学), 18 (3): 252 ~ 255 (in Chinese)
- 16 Zhang F (张 峰), Li Y-N (李寅年). 1991. Case analysis of environmental risk assessment of construction project in oil industry. *Res Environ Sci* (环境科学研究), 12 (2): 32 ~ 35 (in Chinese)
- 17 Zhao Z-h M (赵振明). 1998. Risk analysis in environmental impact assessment of construction project. *Environ Sci Trends* (环境科学动态), 10 (4): 24 ~ 25 (in Chinese)
- 18 Zhong Z-h L (钟政林), Zeng G-M (曾光明), Yang Ch-P (杨春平). 1996. Development of environmental risk assessment. *Adv Environ Sci* (环境科学进展), 4 (6): 17 ~ 21 (in Chinese)
- 19 Zhong Z-h L (钟政林), Zeng G-M (曾光明), Yang Ch-P (杨春平). 1994. The application of random theory in environmental assessment. *J Hunan Univ* (湖南大学学报), 24 (1): 33 ~ 38 (in Chinese)

作者简介 于艳新,女,1972年2月生,硕士研究生,主要从事环境评价、固体废弃物处置与管理等方面的研究工作。发表论文2篇。E-mail:yyxmail@263.net