

基于环境危害后果的长输管道环境风险评价方法*

王新伟¹ 李秀珍² 曾勇¹ 李巨峰² 朱先磊¹ 张强斌¹

(1. 中国石油大学(北京)油气污染防治北京市重点实验室; 2. 中国石油安全环保技术研究院检测中心)

摘 要 以油品泄漏为风险类型,从油品泄漏的途径、扩散范围和环境敏感性出发,在优化风险分级评价指标的基础上,重点考虑事故的环境危害后果,建立了包括事故概率、环境敏感性、事故源强及环境危害后果的指数综合评价法。通过现场评价及验证结果表明:该方法可解决现有环境风险评价方法中对事故的环境危害后果评价不足的问题;其事故概率评价指标体系为可选矩阵,可识别不同环境敏感区的主要因素,对我国长输管道事故管理具有较强的针对性。此外,该评价方法所需参数与野外现场结合紧密,具有操作简便、直观和通用性强等特点,可为油品长输管道的环境风险管理提供科学依据。

关键词 环境风险评价; 长输管道; 环境危害后果; 指标体系

DOI:10.3969/j.issn.1005-3158.2015.04.015

文章编号:1005-3158(2015)04-0044-05

0 引 言

管道运输与其他运输方式相比,是一种既安全又可靠的输油方式。正常运行情况下,长输管道对环境的污染明显小于其他运输方式。但是,长输管道通常传输距离长,且在使用过程中自然灾害、腐蚀、第三方破坏或机械失效等因素均可造成管道泄漏或管道破裂事故^[1],从而导致人身伤害、设施破坏和环境污染等严重后果。因此,进行长输管道的环境风险评价是其环境风险管理和环境决策的基础和前提。

目前,国内外针对长输管道的环境风险评价研究主要集中于评价方法的选择及应用上。风险评价方法主要有层次分析法^[1]、事故树分析法^[2-3]、事件树分析法^[4]、指数法^[5-6]、概率统计法及肯特法^[7-8]等。环境风险评价指数法因具有结构简单,易于操作等优点,近年来应用较广。一般用事故发生概率和导致的后果两方面因素综合评价风险的大小。已有研究多集中在管道事故发生的类型、原因及概率分析上,而在事故后果评价中,多集中在生命、财产安全方面的后果评价^[5-6]上,环境危害后果涉及较少。本文针对我国长输管道事故的致因因素,建立污染源—污染途径—污染受体全过程的指数综合评价系统;并重点考虑事故环境危害后果评价,以期对现有的管道环境风险管理提供借鉴。

1 长输管道环境风险评价指标体系

判别不同条件下的事故发生概率和环境危害后

果是进行油气长输管道环境风险评价的前提。通常,长输管道的传输距离长,途经地形地势复杂,难以用单一的指标进行环境风险特征的表征,因此,如何构建长输管道相关因素的环境风险评价指标体系是其风险评价工作的关键。

基于油品长输管道环境风险全过程分析,油品泄漏是主要的环境风险类型。因此,从污染物泄漏的途径、扩散范围和周边生态环境敏感性三个关键环节出发,评价泄漏物质的环境毒性、泄漏量、扩散难易程度和范围、人群和生态系统敏感程度等因素,选择相应的指标表征这些因素,并对指标进行分类、分级;结合我国典型的事故发生类型、原因、事故发生概率的指标分类、分级评分系统,建立包括事故概率、环境敏感性、事故源强及环境危害后果指标系统的指数综合评价法。指数综合评价法包括四个评价系统:长输管道事故概率评价系统、长输管道事故环境敏感性评价系统、长输管道事故泄漏量分级评价系统和长输管道事故环境危害后果评价系统。

1.1 长输管道事故概率评价系统

导致长输管道事故发生的因素很多,包括自然因素和人为因素。综合分析各种因素影响的因果关系,筛选导致我国油气管道事故的典型指标,对管道事故致因因素进行表征,提出适合于我国油品长输管道事故的指标体系,并对各指标进行风险分级。长输管道事故概率评价系统指标体系见图1。

*基金项目:油气长输管道环境风险定量评价模型(HX20140004)。

王新伟,2009年毕业于中国石油大学(北京)地球化学专业,博士,现为中国石油大学(北京)地球科学学院副教授,研究方向为能源与环境。通信地址:北京市昌平区府学路18号,102249



图1 长输管道事故概率评价系统指标体系

1.2 长输管道事故环境敏感性评价系统

环境敏感性是指环境系统对区域内自然和人类活动干扰的敏感程度,它反映了区域环境系统在遇到干扰时,解决环境问题的难易程度和可能性的大小,可用来表征外界干扰可能造成的后果,即在同样干扰强度或外力作用下,各类环境系统出现区域环境问题可能性的大小。根据 HJ/T 169—2004《建设项目环境风险评价技术导则》及最高人民法院、最高人民检察院于 2013 年 6 月 8 日发布的《关于办理环境污染刑事案件适用法律若干问题的解释》,对长输管道事故环境敏感性指标体系进行了风险分级,其具体评价指标见表 1。

1.3 长输管道事故泄漏量分级评价系统

事故危害大小与事故污染物性质和泄漏量密切相

表 1 长输管道事故环境敏感性评价指标体系

环境敏感区指标	事故危害范围	风险分级
自然保护区、风景名胜 区、森林公园、世 界遗产地、国家重点 文物保护单位、历史 文化保护地等	0.33 hm ² 以上	1 或 2
	0.2 hm ² 以上	2 或 3
	0.067 hm ² 以上	3 或 4
饮用水水源 保护区	中断 12 h 以上	1 或 2
	中断 8 h 以上	2 或 3
	中断 4 h 以上	3 或 4
人口集中区	致使疏散、转移群众 1.5 万人以上	1 或 2
	致使疏散、转移群众 1 万人以上	2 或 3
	致使疏散、转移群众 0.5 万人以上	3 或 4
土地、森林 资源保护	致使基本农田、防护林地、特种用 途林地 1 hm ² 以上,其他农用地 2 hm ² 以上,其他土地 4 hm ² 以 上功能丧失或永久破坏的;致森 林或其他林木死亡 150 m ³ 以上, 或幼树死亡 7 500 株以上的。	1 或 2
	致基本农田、防护林地、特种用途 林地 0.33 hm ² 以上,其他农用地 0.67 hm ² 以上,其他土地 1.33 hm ² 以上基本功能丧失或永久破 坏的;致森林或者其他林木死亡 50 m ³ 以上,或幼树死亡 2 500 株 以上的。	3 或 4
财产损失	致使公私财产损失 100 万元以上的	1 或 2
	致使公私财产损失 30 万元以上的	3 或 4
非环境敏感区	无符合以上规定的环境敏感区	4

关。在其他条件相同的情况下,污染物的毒性越大,其危害越严重。假设所输送产品的化学物质成分基本相同,其毒性大致相当,因此,暂不考虑管道事故污染物性质,仅考虑污染物泄漏量大小对事故危害的大小。对于泄漏量的大小,主要考虑泄漏速率和泄漏的持续时间。选择管道破裂这种最不利的条件来确定泄漏率。较大的流量可能造成更大的泄漏量,基于最不利的泄漏率和泄漏发生地,可根据事故修复前的总泄漏量大小来评定泄漏量等级,参照 JT/T 458—2001《船舶油污染事故等级》,将区域内的溢油事故分为:重大溢油事故、大溢油事故、一般溢油事故、小溢油事故和溢油事件等五种类型。油品长输管道泄漏量分级见表 2。

表 2 油品长输管道泄漏量分级

泄漏形式	泄漏区环境	泄漏量/m ³	风险分级
瞬时排放和稳态排放(长时间小规模渗漏)	环境敏感区	>5	1
		>2.5~5	2
		>0.25~2.5	3
		≤0.25	4
	非环境敏感区	>10	1
		>5~10	2
		>0.5~5	3
		≤0.5	4

1.4 长输管道事故环境危害后果评价系统

管道事故的环境危害根据污染介质通常可分为地表水、大气、土壤和地下水环境等,为此,将管道事故的环境危害后果评价分为水环境、土壤-地下水环境及大气环境危害评价等三个部分。管道事故环境危害后果评价系统指标体系见表 3。

1.5 管道事故应急抢险评价系统

管道风险除可采用事前预防措施降低风险外,事故发生后的应急抢险措施也是降低事故风险的重要措施,其措施的有效性,直接影响了事故危害的大小。事故应急抢险能力可以从场地条件、应急组织和管理、人员和物质储备以及应急点位置等方面来综合评价。

表 3 管道事故环境危害后果评价系统指标体系

一级指标	二级指标	二级指标风险分级			
		1	2	3	4
水环境危害	流量	大河、大湖	中河、中湖	季节河湖、小河湖	干枯河、湖床
	水环境功能区	一类区	二、三类区	四类区	五类区
	水源地(中断供水)	12 h 以上	8 h 以上	4 h 以上	2 h 以上
	距水体距离/m	≤200	>200~1 000	>1 000~2 000	>2 000
土壤-地下水环境危害	渗透率/(cm/s)(包气带性质)	>10 ⁻³	>10 ⁻⁵ ~10 ⁻³	>10 ⁻⁷ ~10 ⁻⁵	≤10 ⁻⁷
	含水层岩性	粉砂、页岩	粉土、泥质页岩	亚砂土、泥岩	黏土/亚黏土
	地下水埋深 D/m	≤2	>2~5	>5~10	>10
	土地利用方式	生态脆弱区、集中式饮用水水源地	分散式饮用水水源地	耕地、园地、林地、草地	其他用地
大气环境危害	油品挥发性	挥发性强	挥发性中等		挥发性弱
	环境温度	年均温度较高	年均温度中等		年均温度较低
	风速/(m/s)	≤2	>2~5	>5~8	>8
	地域功能	自然保护区、风景名胜区	其他需特殊保护区域	居住区、商业居民混合区、文化区	工业区、农村地区
	受影响人口	市级以上	县级	镇级	乡以下
	与事故点距离/km	≤0.2	>0.2~0.6	>0.6~1.3	>1.3

2 长输管道环境风险评价指标选择及权重确定

2.1 不同环境敏感区指标选取

因不同环境敏感区的风险特征不同,各种影响因素也不尽相同。针对不同的环境敏感区,抓住其主要影响因素是科学有效评价风险的前提。通过对不同环境敏感区风险概率类指标的选择,来反映出不同敏感区风险发生的概率特征。如江河区穿越点的管道

事故发生概率指标可选择城市扩张、施工活动、管道工程质量、管道泄漏监测、管道埋深、管道使用年限、跨界、洪水灾害、水工保护、防腐蚀、日常维护管理等三级指标;土壤敏感区穿越点可选择施工活动、管道作业、盗油、管道工程质量、管道泄漏监测、管道埋深、管道使用年限、防挖掘、防腐蚀、日常维护管理等三级指标;人口密集区穿越点可选择城市扩张、施工活动、管道作业、盗油、管道工程质量、管道泄漏监测、管道埋深、管道使用年限、火灾、爆炸风险、防挖掘、防腐

蚀、日常维护管理等三级指标;高寒冻土区可选择管道工程质量、管道泄漏监测、管道埋深、管道使用年限、土壤冻融、防腐蚀、日常维护管理等三级指标。

此外,针对不同环境敏感区的事故危害特征,选择合适的事故危害指标来反映不同敏感区事故危害的主要特征。如江河区穿越点的环境危害后果为水环境危害,危害表征的指标为流量、水环境功能区、水源地及距水体距离;土壤敏感区穿越点的环境危害后果为土壤—地下水环境危害,危害表征的指标为包气带性质、含水层岩性、地下水埋深及土地利用方式;人口密集区穿越点的环境危害后果为水环境、土壤环境及大气环境的综合危害,危害表征的指标为管道事故环境危害后果评价系统的全部二级指标。

2.2 各指标权重的确定

由于各环境敏感区评价时,考虑的敏感因素不同,各因素的重要性也不相同,因此建议针对具体评价区实际特点,采取专家评价法选取指标权重。

3 环境风险评价模型

目前,风险分析与表征部分尚未形成统一的评估体系。评估方法多为运用概率型数学模型将区域内风险发生概率(R)及其风险损失度(D)的风险复合表征模型具体化。因此,综合风险可以用长输管道事故发生可能性指标(P)、环境敏感性指标(S)、泄漏量指标(A)、环境危害指标(E)之间的函数关系,见公式(1)。

$$R = f(P, S, A, E) \quad (1)$$

具体函数形式可采用各影响因子的加权之和来表示,见公式(2)。

$$R = \sum_{i=1}^i w_i P_i + w_j S_j + w_a A + \sum_{l=1}^l w_l E_l \quad (2)$$

式中: R 为长输管道环境综合风险等级(计算值范围:1~4); P 为长输管道事故发生概率等级(取值:1~4); S 为管道事故环境敏感性等级(取值:1~4); A 为

泄漏量等级(取值:1~4); E 为泄漏后的环境危害等级(包括大气、地表水、土壤和地下水环境危害等级,取值:1~4); w 为各项指标的权重,由专家评价法给出。采用等距离划分法确定出长输管道环境风险值等级,见表4。

表4 长输管道环境风险分级体系

R 值分级	风险分级	环境风险分级的含义
1~1.5	高	不可接受,需采取重大措施调整
>1.5~2.5	较高	采取较大措施调整后可接受
>2.5~3.0	较低	采取轻微措施调整后可接受
>3.0~4.0	低	可接受

4 案例分析

为验证所建立的长输管道环境风险评价方法的实用性和科学性,现场考察了我国西部的某成品油长输管道。此管道全长480 km。根据现场考察和收集的资料对穿越河流、地下水源地、农田、草原、城区、地质灾害等环境敏感点的管道进行风险评价和排序。

4.1 环境风险识别

经现场考察,对沿线环境敏感目标进行了识别,共识别了26个环境敏感点,主要包括穿越河流(6处)、穿越地下水源地、湿地、林场、草原、农田(5处)、穿越城镇(2处)、穿越黄土沟壑、地质灾害地(3处)等。以上各敏感目标,分别存在泄漏造成的水环境风险性、土壤环境风险。仅以河流穿越点环境风险评价为例,河流穿越点环境风险特征见表5。

4.2 水环境风险评价

根据1.1长输管道事故概率评价系统,选取城市扩张、施工活动、管道工程质量、管道泄漏监测、管道埋深、管道使用年限、跨界、洪水灾害、水工保护共9个三级指标对穿越河流管道事故发生概率进行风险分

表5 河流穿越点环境风险特征

穿越点	管道风险特征	保护目标	管道施工
泄洪道1	上游水库检修需下泄。2011年泄洪时河道有严重冲刷	水库距离灌溉水源地约1 600 m	管道全线无加厚、无防护;管壁外3PE防腐,距河底埋深3 m
中型河1	流速较大,2012年山洪冲刷管道裸露	800 m河道,灌溉用水	有水坝、截水墙、水笼保护,埋深2.5 m
泄洪道2	上游泄洪用	主河道68 m,小村	直角穿越,有护坡、砌石坝,埋深4 m
中型河2	泄洪用,降水少	150 m宽河道	有护堤、导流渠、泄洪渠,埋深4 m
小型河	黄土沟壑区,人烟稀少	100 m河滩	埋深4 m,地下有坝
黄河	城区人口密集,建设中	水源地	埋深距水面20 m,距河底9~10 m

级及权重计算。由于防护措施中的防挖掘、防腐蚀及日常维护,整个管道具有一致性。因此,防护措施仅考虑水工保护措施。

其次,根据 1.4 水环境危害评价系统,环境危害后果为水环境危害,选择流量、水环境功能区、水源地及距水体距离指标对穿越河流管道事故水环境危害进行风险分级及权重计算,评价水环境危害影响等级。

根据环境风险评价模型(1)、(2)计算,黄河环境风险值为 1.88,泄洪道 1 和中型河 1 环境风险值分别为 2.82 和 2.94,其他河流环境风险值均大于 3。因此,根据表 4 长输管道环境风险分级体系判断,黄河为较高风险,采取较大措施调整后可接受;泄洪道 1 和中型河 1 为较低环境风险,采取轻微措施调整后可接受;其他河流为低环境风险,可接受。此环境风险评价结果与现场考察结论相符,表明基于长输管道事故概率—管道事故环境敏感性—泄漏量分级—事故环境危害后果的综合评价系统对油品长输管道的环境风险评价具有适用性。

5 结 论

①基于污染源—污染途径—污染受体全过程的指数综合评价系统,通过现场评价及其验证结果表明:本方法可解决现有环境风险评价方法中针对事故的环境危害后果评价不足的问题,对油品长输管道的环境风险评价具有适用性。

②所建立的事故概率等级评价系统中的指标体系不同于已有的风险事故因素,它是针对我国实际长输管道事故的致因因素构建,且为可选指标矩阵,可识别不同环境敏感区的主要因素,对我国长输管道事故管理具有较强的适用性。

③本评价方法所需参数与野外现场结合紧密,具有操作简便、直观和通用性强等特点,可为油品长输管道的环境风险管理提供科学依据。

参 考 文 献

- [1] 陈康,秦岭.输油管道环境风险接受准则的确定[J].天然气与石油,2009,27(1):26-28.
- [2] Liang W, Hu J, Zhang L, et al. Assessing and Classifying Risk of Pipeline Third-party Interference Based on Fault Tree and SOM[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2012(25):594-608.
- [3] Zheng J Y, Zhang B J, Liu P F, et al. Failure Analysis and Safety Evaluation of Buried Pipeline due to Deflection of Landslide Process[J]. Engineering Failure Analysis, 2012(25):156-168.
- [4] 马红娜,李彦娥,武征.成品油管道泄漏的环境风险评价[J].油气储运,2011,30(11):801-805.
- [5] Jozi S A, Rezaian S, Shahi E. Environmental Risk Assessment of Gas Pipelines by Using of Indexing System Method (Case study: Transportation Pipelines 12 Inches, Aabpar-Zanjan of Iran) [J]. APCBEE Procedia, 2012(3):231-234.
- [6] 张艳桥,赵薇. Muhlbauer 评分法在输油管道风险评价中的应用及分析[J]. 环境保护科学, 2010, 36(1):69-72.
- [7] 陆瑞忠,郑津洋. 肯特管道风险评价法在天然气长输管道的应用[J]. 化工生产与技术, 2008, 15(3):55-60.
- [8] Han Z Y, Weng W G. Comparison Study on Qualitative and Quantitative Risk Assessment Methods for Urban Natural Gas Pipeline Network[J]. Journal of Hazardous Materials, 2011(189):509-518.

(收稿日期 2014-12-22)

(编辑 王薇)

油气管道控制系统软件打破国外垄断

历时 3 年研发的油气管道控制系统软件 PCS(PipelineControlSystem) V1.0, 6 月 30 日顺利通过中国石油组织的专家验收。这套软件打破了国外在油气管道 SCADA 技术领域的垄断,标志着中国石油在 SCADA 系统软件国产化方面取得重大进展。

SCADA 系统软件国产化研发是西气东输二线重大科技专项子课题之一。当前油气调控中心控制系统使用的 SCADA 系统软件都是从国外引进的。油气管道控制系统软件 PCSV1.0 首次集成管道调控的基础和高级业务,形成了数据采集、传输、集成、维护一体化的服务平台技术。

课题验收委员会专家一致认为,油气管道控制系统软件 PCSV1.0 在功能、性能方面,可以满足油气管道中控与站控应用需要,在系统架构上具有更高的可靠性,有利于逐步摆脱对国外产品和技术的依赖,保障国家能源战略安全。

目前,油气管道控制系统软件 PCSV1.0 已进入工业试验阶段,计划采用并行运行方式,在冀宁天然气管道和港枣成品油管道实施。同时,进行中控与站控系统试验,逐步在新建管道安装,分期分批替代进口系统,最终实现 PCS 软件大规模推广应用。

(摘编自 中国石油报 2015-07-13)