

· 特约来稿 ·

DOI:10.3969/j.issn.1674-6732.2018.05.001

鉴于风险分布密集型港区的风险评价研究 ——以南京市龙潭港区为例

周琦¹, 逢勇^{2,3*}, 贾剑虹⁴, 查雪珍¹

(1. 铜陵学院建筑工程学院, 安徽 铜陵 244061; 2. 河海大学浅水湖泊综合治理与资源开发教育部重点实验室, 江苏 南京 210098; 3. 河海大学环境学院, 江苏 南京 210098; 4. 广东水电二局股份有限公司, 广东 广州 511340)

摘要:从码头主体风险和风险控制机制2个准则出发,构建了码头源风险评价指标体系和风险评价方法,提出,采用风险分布密集指数和码头源数量指数,反映港区内码头风险分布密集程度和码头数量对港区风险的影响程度。以码头风险评价方法为基础,综合考虑港区码头源风险大小、风险分布密集指数、码头源数量指数,建立了考虑风险分布密集型的港区风险评价方法。应用该方法对南京市龙潭港区进行风险评价,结果表明,南京市龙潭港区风险等级为高风险,港区内高风险码头共7座,且主要集中分布于南京长江四桥附近约2 km岸线内。

关键词:龙潭港区; 风险评价; 风险分布; 密集性

中图分类号: X824

文献标志码: A

文章编号: 1674-6732(2018)05-0001-05

Study on Risk Assessment of Risk-distribution-intensive Port Area ——Take the Longtan Port Area of Nanjing City as an Example

ZHOU Qi¹, PANG Yong^{2,3*}, JIA Jian-hong⁴, ZHA Xue-zhen¹

(1. College of Civil Engineering and Architecture, Tongling University, Tongling, Anhui 244061, China; 2. Key Laboratory of Integrated Regulation and Resources Development on Shallow Lakes, Ministry of Education, Hohai University, Nanjing, Jiangsu 210098, China; 3. College of Environment, Hohai University, Nanjing, Jiangsu 210098, China; 4. Guangdong Hydropower Second Bureau Co. Ltd., Guangzhou, Guangdong 511340, China)

Abstract: This study has established a risk assessment index system and evaluation method for quay based on the consideration of the quay's risk and risk control mechanism. Considering that the current risk assessment method for the port area does not take into account the dense distribution of quay's risk in the port area, the Risk Distribution Intensive Index and the Risk Source Quantity Index have been proposed, which respectively reflect the concentration of the risk distribution of the quay's risk in the port area and the risk impact of the number of quay on the port area. Based on the quay risk assessment method and considering the quay risk, Risk Distribution Intensive Index and Risk Source Quantity Index of port area, a risk assessment method for the port area is established. The risk assessment method have been applied in Longtan Port Area in Nanjing, the result shows: The risk level of Longtan Port Area is high; There are 7 high-risk quays in the port area, which are mainly concentrated in the coastline of about 2 kilometers near the Nanjing Fourth Yangtze River Bridge.

Key words: Longtan port area; Risk assessment; Risk distribution; Intensive

码头港口作为水陆货品运输的节点,在我国快速发展的社会经济活动中,发挥着越来越重要的作用。由于码头港口装卸、运输的部分货品如石油化工原料制品、煤、矿石等带有一定的污染性,会对水环境造成污染。因此,对码头港口的环境风险评价成为学者的研究重点,如鲍子谷等^[1]从污染类型、

收稿日期:2018-06-12;修订日期:2018-06-26

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项基金资助项目(2014ZX07405002);安徽省高等学校自然科学基金资助项目(KJ2017A465);安徽省高等学校省级教学研究基金资助项目(2016jyxm1050)

作者简介:周琦(1981—),男,副教授,博士,主要从事水环境水环境保护与规划研究工作。

* 通讯作者:逢勇 E-mail:pangyonghu@163.com

源强、溢油风险概率出发对某内河港口进行了风险评价;陈伟亚等^[2]采用事故树法对武汉新港某油码头的火灾爆炸、溢油等环境风险进行了分析,并提出了相应的防范措施;周奔等^[3]对揭阳某化工码头的风险源项、风险特征进行了分析,并从火灾爆炸、化学品泄漏等方面进行了环境风险评价。

目前对码头集中港区的风险评价较少,而对于同样风险源较集中的工业园区,多将工业园区作为整体考虑进行风险评价。如王辉民等^[4]以现有的环境风险评估方法为基础,构建了危化品存储园区的环境风险评价体系,并应用于我国东北某地;高英巍等^[5]从石化园区的自然灾害、地理情况、社会经济发展状况、生态保护情况等出发,提出了基于区域环境风险敏感性分析的石化园区环境风险评价方法;李艳萍等^[6]以工业园区内主导行业、危险废弃物处理、污染物排放方式、污染物排放量等 9 项风险指标,并综合考虑园区环境督管机制和风险受体敏感性,构建了环境风险评价指标体系用于工业园区的环境风险评价。

从港区内码头分布来看,码头分布集中会大大增加碰撞、倾覆、泄漏等生产事故的发生概率,并且若发生火灾爆炸,在以危化品装卸、运输为主的港区,会发生连续爆炸的多米诺事故^[7],相应地由生产事故、安全事故引发的环境事故的发生概率也会大大增加。

现以码头环境风险评价方法为基础,建立考虑港区内码头风险分布密集型的港区风险评价方法,并应用于南京市龙潭港区,为密集型港区码头的风险监管提供参考。

1 研究区域

南京市龙潭港区位于长江南京段龙潭水道南岸,是南京港的重要组成部分,为长江规模最大的集装箱港区。

根据江苏省海事局提供的 2013 年长江江苏段港口码头资料可知:龙潭港区共有 28 座码头,码头类型主要为集装箱、散货、散杂货、危险品等;其中,龙潭集装箱码头停泊能力最大为 8.5 万 t/次;危险品码头数量为 15 个,总停泊能力为 21.18 万 t/次,是龙潭港区的主要码头类型,其中金陵石化 10 号以及金陵石化 12 号两座码头的停泊能力均达到 5 万 t/次。

2 评价方法

2.1 码头风险源风险评价方法

考虑到影响港区内码头风险的因素中,除生产规模(以停泊能力表征)外,行业类型、生产工艺水平、风险监管应急能力等都是定性指标,难以定量判定各指标风险大小,因此,采用半定量性质的风险指数法^[8]确定码头风险大小。

2.1.1 评价指标体系

从码头自带风险和风险源的风险控制能力出发,建立以码头主体风险、码头风险控制能力为重点的港区内码头风险评价指标体系。采用专家评价^[9]结合层次分析法^[10]确定各指标的权重,以此反映不同指标对码头风险大小的影响程度。码头风险源评价指标及各指标权重见表 1。

表 1 码头风险评价指标体系

准则层	指标层	指标权重
主体风险	码头行业类型	0.236
	码头停泊能力(t/次)	0.204
	生产装备工艺水平	0.161
风险控制机制	管理制度水平	0.161
	应急预防系统	0.128
	环境监控系统	0.110

2.1.2 指标风险等级划分标准

根据江苏省沿江码头装卸货品种类对水环境的危害程度,确定码头行业类型的风险等级划分标准。整体考虑江苏省沿江各码头的停泊能力,进行码头停泊能力指标风险等级划分标准的确定。按照码头生产装备工艺水平达到的行业水平(国际先进、国内先进、国内一般和国内落后)确定其风险等级。

参考文献^[11],以安全生产管理制度完备情况、清洁生产审核通过情况、ISO14000 标准认证情况等来表征码头管理制度的完善程度和执行力度,以此确定码头管理制度水平的风险等级划分标准。以码头风险事故应急预案制定和执行情况,防污染设备的安装运行情况来确定码头应急预防系统的风险等级划分标准。

以码头环境风险监控设备的安装运行情况以及是否能够完成污染指标的监测情况,来判定码头环境监控系统的风险等级。可根据码头行业类型确定安装的监控设备类型,具体可依据《地表水自动监测技术规范(试行)》(HJ 915—2017)中规定

的必测污染指标来确定水质自动监测仪器类型,对于化工、石化等类型码头,还应就化工、石化产品的易挥发、致毒、易燃易爆等特性,选择安装可燃气体检测器、电化学检测器、火焰检测器、光离子化检测器等气态环境监控设备^[12],对于电厂煤灰、水泥等

类型码头,则以颗粒物作为监测指标确定相应的气态环境监控设备。以码头行业类型类比工业类型,参考《地表水和污水监测技术规范》(HJ/T 91—2002),确定各类型码头的必测水污染指标。码头风险评价指标的风险等级划分标准见表 2。

表 2 码头风险评价指标的风险等级划分标准

准则层	指标层	指标风险等级划分标准			
		高风险	中风险	低风险	极低风险
码头主体风险	行业类型	石化、化工码头	散(件)杂货、电厂配套、煤灰码头	集装箱、舢装、材料码头	其他
	码头停泊能力(ν次)	> 50 000	(20 000, 50 000]	(5 000, 20 000]	≤5 000
码头风险控制机制	生产装备工艺水平	国内落后	国内一般	国内先进	国际先进
	管理制度	不全面	全面但不合理	全面合理	全面合理且执行效果好
	应急预案系统	应急预案和防污染设施均无	应急预案和防污染设施只有 1 项	应急预案和防污染设施均有,无定期演练	应急预案和防污染设施均有,有定期演练
	环境监控系统	没有安装环境风险监控设备	安装有部分环境风险监控设备,但无能力进行污染指标的监测	安装有必须的环境风险监控设备,有能力进行部分污染指标的监测	安装有必须的环境风险监控设备,有能力进行全部污染指标的监测

2.1.3 码头风险指数计算方法

(1) 对码头风险各评价指标按照指标风险等级划分标准确定各指标的风险等级;

(2) 依据“十二五”水专项课题“太湖流域水环境风险评估与预警技术示范”研究成果^[13-14]确定评价指标风险指数确定标准,见表 3,参照该标准确定评价指标风险指数;

表 3 评价指标风险指数确定标准

评价指标风险等级	高	中	低	极低
评价指标风险指数	4	3	2	1

(3) 根据指标风险指数和指标权重,采用加权求和确定码头风险指数,计算公式如下:

$$k = \sum_{i=1}^n V_i W_i \quad (1)$$

式中:k——码头风险指数;V_i——第 i 项评价指标的风险指数;W_i——第 i 项评价指标的权重;n——指标个数。

2.1.4 码头风险等级评价标准

码头风险等级划分标准见表 4。

表 4 码头风险等级划分标准

风险等级	高	中	低	极低
风险指数	≥3	[2, 3)	[1.5, 2)	[1, 1.5)

由表 4 可见,参考“十二五”水专项课题“太湖流域水环境风险评估与预警技术示范”研究成果^[13-14],并经专家论证确定码头风险等级划分标准。

2.2 沿江港区风险评价方法

2.2.1 港区风险影响因素

(1) 港区内码头风险大小。港区内码头的风险大小极大地影响着港区的整体风险。一般来说,若港区内所有码头的风险指数平均值越大,则港区的风险也应越大;另外,风险大的码头对港区风险的影响要明显强于风险小的码头,因此,在确定港区风险大小时,首先应考虑港区内风险指数最大的风险源码头。

(2) 港区内码头数量。不考虑单个码头源的风险大小差异,则港区内码头源数量越多,港区对周边水体的风险影响越大,其风险也应越大。因此,除港区内码头风险大小外,码头源数量也是影响港区风险大小的重要因素。

(3) 港区内风险分布密集性。港区内码头分布相对集中,则在船舶进出港、离停码头以及货品装卸过程中,发生生产事故的概率较大^[7],从而导致发生溢油、危化品泄漏、危险化工装置爆炸等污染事故的概率也大大增加。因此,港区风险相对于码头源分布相对分散地区的风险较大,在对港区风险进行评价时也应考虑码头分布的密集性。

2.2.2 港区风险指数计算方法

根据上述港区风险影响因素分析,用码头源数量指数和风险分布密集指数分别反映港区内码头源数量和码头源分布密集程度。同时,以港区内码头源风险指数的平均值和最大值来反映港区内码头源风险大小的总体情况,从上述 3 个方面,确立港区风险大小即港区风险指数的计算公式如下:

$$K = \max_{1 \leq i \leq m} (k_i) \cdot (1 + G \cdot D \cdot \frac{\bar{k}}{4}) \quad (2)$$

式中: K ——港区风险指数; \bar{k} ——港区内码头源风险指数的平均值; k_i ——第 i 项风险源的风险指数; 4 ——码头源风险指数可能达到的最大值; G ——风险分布密集指数; D ——码头源数量指数; m ——码头源数量。

(1) 风险分布密集指数确定。码头源风险指数较大且相互间距离较近,则港区的风险分布相对较集中,风险分布密集指数也较大,因此码头源的风险大小及相互间的距离基本能反映风险分布密集程度。

一般来说,码头源密集分布区域内,码头源的相邻码头较多,有些码头源相互间可能都是相邻码头源。若将码头源作为节点,则码头源间距为连接两个节点的路线长度,根据最小生成树^[15]的定义,则连接 n 个码头源的 $n - 1$ 个长度总和最小的路线与 n 个码头源构成一个最小生成树^[15]。从最小生成树的定义和特征考虑,以码头源最小生成树上各相邻码头源为对象,确定港区的风险分布密集指数的准确性和效率均较高。港区风险分布密集指数和码头源风险密集度按公式(3)和(4)计算,其中, $G \in (0, 1]$, G 越小表示风险分布越分散,反之,则风险分布越集中; $w_i \in (0, 1]$, w_i 越大,两码头源风险越集中,越接近 0,两码头源的风险相对密集程度越低。

$$G = \frac{\sum_{i=1}^{m-1} w_i \cdot k_i^u \cdot k_i^d}{\sum_{i=1}^{m-1} k_i^u \cdot k_i^d} \quad (3)$$

$$w_i = \begin{cases} 1, & \text{if } d_i \leq d_{\max}; \\ d_{\max}/d_i, & \text{if } d_i > d_{\max} \end{cases} \quad (4)$$

式中: G ——港区风险分布密集指数; k_i^u ——码头源最小生成树节点路线 L_i 上游码头源的风险指数; k_i^d ——码头源最小生成树节点路线 L_i 下

游码头源的风险指数; w_i ——节点路线 L_i 上、下游两码头源风险密集度; d_i —— L_i 对应的节点路线长度,即 L_i 上相邻码头源间距; d_{\max} ——风险距离阈值,取 1 km; m ——码头源数量。

(2) 码头源数量指数确定。若不考虑码头源风险指数,港区内码头源数量越多,港区的风险应越大。从码头源数量增加过程来看,初期码头源数量较少,每增加一个码头源,港区的风险增量较大,而随着港区内码头源数量的逐渐增加,每增加一个码头源,港区的风险增量应逐渐减少。考虑到码头源数量和港区风险的非线性关系,码头源数量指数按公式(5)计算,其中, $D \in [0, 1)$, 码头源数量越多, D 越接近于 1。

$$D = (m - 1)/m \quad (5)$$

式中: D ——码头源数量指数; m ——码头源数量。

2.2.3 港区风险等级评价标准

由表 3 可知,码头源风险指数的分布区间为 $[1, 4]$, 则码头源风险指数的平均值和最大值的分布区间也均为 $[1, 4]$, 同时考虑到 $G \in (0, 1]$, $D \in [0, 1)$, $w_i \in (0, 1]$, 参考公式(3), 分别以各码头风险指数均为 1, G 趋近于 0, $D = 0$, 以各码头风险指数均为 4, $G = 0$, D 趋近于 0, 为两个极端情况,利用公式(2)确定该区间上下边界值,得到港区风险指数的分布区间为 $[1, 8)$ 。

考虑港区风险指数的分布区间,并以 G, D, w_i 均按 1 考虑,参考码头源风险等级划分标准,将码头源风险指数的平均值和最大值均分别按 3, 2, 1.5 考虑,确定港区风险等级划分标准,见表 5。

表 5 港区风险等级划分标准

港区风险等级	高	中	低	极低
港区风险指数	≥ 5.25	$[3, 5.25)$	$[2.06, 3)$	$[1, 2.06)$

3 评价实例

3.1 码头源风险评价

根据江苏省海事局提供的 2013 年龙潭港区码头资料,并参考实地调研核实的信息,确定龙潭港区 28 座码头的主体风险及风险控制机制所涉及指标的评价值。根据表 2 和表 3, 确定指标风险等级和指标风险指数,利用公式(1) 计算得出各码头的风险指数,并依据表 4 得出各码头风险等级的评价结果。根据评价结果可知:龙潭港区以中风险码头

为主,有20座,但高风险码头也较多,有7座,低风险码头有1座,没有极低风险码头。高风险码头评价结果见表6。

表6 龙潭港区高风险码头风险评价结果

序号	码头编号	码头名称	风险指数	风险等级
1	LM09	金陵石化6号码头	3.185	高风险
2	LM11	金陵石化7号码头	3.185	高风险
3	LM13	金陵石化港池码头	3.303	高风险
4	LM17	金陵石化10号码头	3.185	高风险
5	LM18	金陵石化11号码头	3.185	高风险
6	LM19	金陵石化12号码头	3.185	高风险
7	LM26	兴隆洲油码头	3.099	高风险

3.2 港区风险评价

根据龙潭港区28座码头的风险指数和坐标位置,采用公式(2)~(5)计算得出龙潭港区风险指数,结果见表7。

表7 龙潭港区风险指数计算结果

风险分布 密集指数	码头源风险指数		码头源 数量指数	港区 风险指数
	最大值	平均值		
0.967	3.303	2.850	0.964	5.497

根据港区风险指数,参考港区风险等级划分标准(表5)可知,龙潭港区的风险等级为高风险等级,相关部门应加强对龙潭港区的风险监管。

从评价结果来看,龙潭港区风险较高,主要原因在于:(1)龙潭港区内高风险等级码头源较多,达到7座,且主要集中于长江四桥附近约2 km长江岸线内;(2)28座码头相对密集于龙潭港区约16 km的长江岸线,因此风险分布密集指数达到0.967,接近于1;(3)码头数量相对较多,达到28座,因此码头源数量指数也较大,达到0.964。

4 结论

(1)从主体风险、风险控制机制2个准则出发,构建了码头源风险评价指标体系和风险评价方法,并采用专家分析结合层次分析法确定了各指标权重。

(2)综合考虑港区内码头源风险大小、码头源数量及港区内风险分布密集性,以码头源风险评价方法为基础,提出了鉴于风险分布密集型的港区风险评价方法。

(3)以南京龙潭港区为例,评价得出南京龙潭港区内有高风险码头7座、中风险码头20座和低风险码头1座,从评价结果可知,龙潭港区内高风险码头较多,且港区内危险品码头数量和总停泊能力也较大(15座,21.18万t/次总停泊能力)。

(4)对龙潭港区进行风险评价可知,由于港区内高风险码头较多、码头源分布较密集、码头源数量较多,龙潭港区风险指数达到5.497,为高风险等级,相关部门应加强对龙潭港区的风险监管。

[参考文献]

- [1] 鲍子谷,谢伟. 油品码头规划中的环境风险评价[J]. 水运工程,2017,39(5):15-21.
- [2] 陈伟亚,张露萍. 油码头环境风险分析及预防措施[J]. 武汉工程大学学报,2015,37(8):26-31.
- [3] 周奔,吴耀光. 某化工码头环境风险分析及风险防范措施[J]. 广州环境科学,2012,27(1):31-34.
- [4] 王辉民,高菊红,李翔. 基于危险化学品储存的区域生态环境风险评价[J]. 中国安全科学学报,2008,18(3):154-160.
- [5] 高英巍,何佳,包存宽,等. 基于区域环境风险敏感性分析的石油化工行业规划环境风险评价[J]. 环境污染与防治,2009,31(3):93-96.
- [6] 李艳萍,乔琦,柴发合,等. 基于层次分析法的工业园区环境风险评价指标权重分析[J]. 环境科学研究,2014,27(3):334-340.
- [7] 陈明亮. 化工装置事故的多米诺效应定量分析关键问题研究[D]. 北京:北京化工大学,2013.
- [8] MENG X J, ZHANG Y, YU X Y, et al. Regional environmental risk assessment for the Nanjing Chemical Industry Park: an analysis based on information-diffusion theory[J]. Stochastic Environmental Research And Risk Assessment, 2014,28(8):2217-2233.
- [9] 唐松立. DEA与AHP在商业银行房地产贷款风险分析中的应用研究[J]. 商,2013(24):179.
- [10] 郭金,郭凤仪,王智勇,等. 三标度层次分析法模糊评判触头材料的抗电弧侵蚀能力[J]. 辽宁工程技术大学学报,2008,27(4):548-551.
- [11] 庄巍. 基于GIS的长江下游地区水环境容量计算、风险判别及预警[D]. 南京:河海大学,2009.
- [12] 韩璐,俞博凡,宋永会. 重点环境风险源监控技术库设计研究[J]. 环境工程技术学报,2015,5(5):380-385.
- [13] 谢蓉蓉,逢勇,张倩,等. 嘉善地区水环境敏感点水质影响权重分析及风险等级判定[J]. 环境科学,2012,33(7):2244-2250.
- [14] 谢蓉蓉. 基于控制单元水质达标的总量分配及生态补偿方法研究[D]. 南京:河海大学,2014.
- [15] GRAHAM R L, HELL P. On the history of the minimum spanning tree problem[J]. Annals of the History of Computing, 1985,7(1):43-57.