

基于层次分析法的沿海大型石化项目海洋减灾能力评价

贾后磊¹, 张翠萍¹, 英晓明¹, 冉娟¹, 舒颢俊¹, 谭骏², 马毅¹

(1. 国家海洋局南海规划与环境研究院 广州 510300; 2. 国家海洋局海洋减灾中心 北京 100194)

摘要: 文章针对沿海大型石化项目和海洋灾害特点, 以工程自身防护能力、公司预警报能力和公司响应应急能力为准则层, 筛选 18 项指标建立沿海大型石化项目海洋减灾能力评价体系, 运用层次分析法构建沿海大型石化项目海洋减灾能力评价指标层次结构模型。结果显示, 影响沿海大型石化项目海洋减灾能力的准则层权重由大到小依次为工程自身防护能力、公司预警报能力和公司响应应急能力。从各评价指标权重看, 海堤高程和海堤完好程度是工程自身防护能力的主要影响指标; 重大危险源监控覆盖率和主体防护工程定期检查频次是公司预警报能力的主要影响指标; 应急设备保障率和应急物资储备度是公司响应应急能力的主要影响指标。以惠州炼化项目为例对其海洋减灾能力进行评价, 应用该方法的评价结果比较客观可行, 与项目现状比较吻合, 可以为其海洋减灾能力建设提供指导。

关键词: 海洋石化项目; 海洋灾害; 海洋工程; 防灾减灾; 海堤工程

中图分类号: P7

文献标志码: A

文章编号: 1005-9857(2017)06-0071-06

Marine Disaster Mitigation Capacity Assessment of Coastal Petrochemical Projects Based on the Analytic Hierarchy Process

JIA Houlei¹, ZHANG Cuiping¹, YING Xiaoming¹, RAN Juan¹,
SHU Xiejun¹, TAN Jun², MA Yi¹

(1. South China Sea Institute of Planning and Environmental Research, SOA, Guangzhou 510300, China;

2. National Marine Hazard Mitigation Service, SOA, Beijing 100194, China)

Abstract: The coastal protection engineering's protection ability, the company's early warning mechanism and the company's emergency response capability were selected as the criterion layer, which included 18 indicators, to build the coastal petrochemical project evaluation index system of marine disaster reduction capacity. By using the methods of analytic hierarchy process (AHP), marine disaster reduction capacity evaluation model for coastal petrochemical projects was constructed. According to the model calculation results, the criterion layer weight ranks as: the coastal protection engineering's protection capacity, the company's early warning mechanism and the

收稿日期: 2016-12-22; 修订日期: 2017-05-22

基金项目: 国家海洋减灾中心专项“工程类海洋减灾能力综合评估方法预研”。

作者简介: 贾后磊, 高级工程师, 硕士, 研究方向为海洋生态环境和海洋减灾, 电子邮箱: jiahoulei@163.com

company's emergency response capacity. The results showed that seawall elevation and the degree of seawall in good condition were the key indicators impacting the coastal protection engineering's protection capacity. The monitoring coverage of major hazard sources and the frequency of regular check for protection engineering were the main impact indexes for the company's early warning mechanism. The assurance rate of emergency equipment and the emergency supplies reserves degree were the main impact indexes for the company's emergency response capacity. By using above methods, the marine disaster reduction capacity of Huizhou refinery project was evaluated. The evaluation results agreed with the Huizhou refinery project's actual situation.

Key words: Marine petrochemical project, Marine disaster, Ocean engineering, Disaster prevention and mitigation, Seawall works

随着我国沿海地区社会经济的飞速发展, 滨海新城和沿海产业园区大量兴建, 一些石化工业园区也陆续在沿海或海湾建设。在发生海洋灾害时, 沿海大型工程受其影响可能引发次生灾害, 对人民生命财产产生较大威胁。

目前国内外多以城市为研究对象进行区域减灾能力评价研究^[1-6], 对单个工程减灾能力进行评价研究的较少; 应用较多的评价方法主要有层次分析法^[7-8]、模糊综合评判法^[9]、主成分分析法^[10]和突变理论分析法^[11]。本研究以沿海大型石化项目为研究对象, 构建海洋减灾能力评价指标体系, 采用层次分析法和专家打分法相结合的评价方法, 以惠州炼化项目为例, 对其海洋减灾能力进行综合评价, 以期对工程类海洋减灾能力评价工作进行有益探索, 并为其他沿海大型石化项目的综合评价提供方法借鉴。

1 评价指标体系构建

基于灾害全过程管理思路, 参考国际应急管理阶段划分理论, 从典型沿海大型石化项目海洋减灾能力这一特殊属性出发, 建立综合评价指标体系。将评价指标划分为工程自身防护能力、公司预警报能力和公司响应应急能力 3 个部分, 涵盖灾前和灾中阶段。由于灾后重建均须依靠社会、政府的大力支援, 单个工程的灾后重建较难选取具体指标, 本研究未将灾后阶段纳入指标体系中。

其中, 工程自身防护能力是应对海洋灾害的天然屏障, 经专家多次筛选确定, 包括海堤高程、越浪堤排水设施完好性、海堤完好程度、地面基础沉降、

厂坪标高和海堤筑堤材料等指标; 公司预警报能力是海洋防灾减灾的重要基础, 较高的灾害预警能力、灾情分析能力、信息发布能力更能快速公布灾害的动态变化, 包括主体防护工程定期检查频次、重大危险源监控覆盖率、预警信息接收和发布的反应时间、人均占有防爆通信设备数量、防灾减灾应急演练频次以及年防灾知识培训和宣传次数等指标; 公司响应应急能力是防灾减灾的根本保障, 只有不断提高应急处置和救援能力等, 才能切实提高防灾减灾水平、更为有力有效地应对海洋灾害, 包括应急设备保障率、应急物资储备度、应急响应速度、紧急疏散通道覆盖率、应急救援队伍投入量和应急处置流程完善程度等指标。

2 模型构建与权重确定

2.1 模型构建

针对上述 18 项指标构建沿海大型石化项目的 AHP 分析模型, 模型主要分 3 个层次。①目标层 A, 是该模型的最终核算和决策最终目标, 即沿海大型石化项目海洋减灾能力综合值; ②准则层 B, 是该模型指标要素层的分类要素, 即核算目标层 A 的 3 类要素, 包括工程自身防护能力、公司预警报能力和公司响应应急能力; ③指标层 C, 是该模型核算目标层 A 的具体指标。

根据专家对评价指标的排序, 按 1~9 比例标度 (表 1) 对准则层对目标层、指标层对准则层的重要程度进行赋值, 构造准则层对目标层 (A-B) 的判断矩阵、指标层对准则层 (B_1-C 、 B_2-C 、 B_3-C) 的判断矩阵。

表 1 判断矩阵标度及其含义

标度	含义
1	表示 2 个因素相比,具有同样重要性
3	表示 2 个因素相比,一个因素比另一个因素稍微重要
5	表示 2 个因素相比,一个因素比另一个因素明显重要
7	表示 2 个因素相比,一个因素比另一个因素强烈重要
9	表示 2 个因素相比,一个因素比另一个因素极端重要
2、4、6、8	上述 2 个相邻判断的中值
倒数	因素 i 与 j 比较后得判断 b_{ij} ,则 j 与 i 比较的判断 $b_{ij}=1/b_{ji}$

2.2 指标权重

本研究在融合专家意见的基础上,采用层次分析法确定沿海大型石化项目海洋减灾能力各项评价指标的权重,其关键步骤在于构建判断矩阵(即确定各个指标的相对重要性)。从具体指标层开

始,采用两两比较方法构建判断矩阵(如 B_1-C 的矩阵如表 2 所示),采用方根方法求出各因素的权重并归一化,通过一致性检验后得到指标层对准则层的权重值,最终确定沿海大型石化项目海洋减灾能力评价的指标权重(表 3)。

表 2 关于 B_1-C 的判断矩阵

B_1	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
C_1	1.00	1.13	1.28	1.80	3.00	9
C_2	0.89	1.00	1.14	1.60	2.67	8
C_3	0.78	0.88	1.00	1.40	2.33	7
C_4	0.56	0.63	0.71	1.00	1.67	5
C_5	0.33	0.38	0.43	0.60	1.00	3
C_6	0.11	0.13	0.14	0.20	0.33	1

注:RI=1.24,CR=0<0.1,一致性检验通过。

表 3 沿海大型石化项目海洋减灾能力评价指标权重

目标层(A)	准则层(B)及权重	指标层(C)	权重
惠州炼化项目 海洋减灾能力(A)	工程自身防护能力(B_1) (0.491)	海堤高程(C_1)	0.273
		越浪堤排水设施完好性(C_2)	0.152
		海堤完好程度(C_3)	0.242
		地面基础沉降(C_4)	0.030
		厂坪标高(C_5)	0.091
		海堤筑堤材料(C_6)	0.212
	公司预警报能力(B_2) (0.282)	主体防护工程定期检查频次(C_7)	0.259
		重大危险源监控覆盖率(C_8)	0.333
		预警信息接收和发布的反应时间(C_9)	0.185
		人均占有防爆通信设备数量(C_{10})	0.037
		防灾减灾应急演练频次(C_{11})	0.111
		年防灾知识培训和宣传次数(C_{12})	0.074
	公司响应应急能力(B_3)(0.227)	应急设备保障率(C_{13})	0.292
		应急物资储备度(C_{14})	0.250
		应急响应速度(C_{15})	0.208
		紧急疏散通道覆盖率(C_{16})	0.125
		应急救援队伍投入量(C_{17})	0.083
		应急处置流程完善程度(C_{18})	0.042

2.3 评分标准设定

评分标准主要有 2 种类型,即结合国家现有规范和标准或结合专家打分法确定指标评分标准。本研究以“海堤高程(C_1)”和“应急处置流程完善程度(C_{18})”2 个指标为例说明设定评分标准的过程。

《海堤工程设计规范》(GB/T 51015—2014)中规定,海堤工程的防潮(洪)标准应根据其各自防护对象的防潮(洪)标准分别确定^[12];本研究设定“海堤高程(C_1)”评分标准如表 4 所示。“应急处置流程完善程度(C_{18})”属于定性描述指标,本研究将定性类指标统一划分为 4 个等级,即非常完善、基本完善、基本不完善和不完善,打分时需专家依据已有经验结合项目实际情况进行赋值(表 5)。

表 4 “海堤高程(C_1)”评分标准

防潮(洪)标准(重现期)设计/年	评分参考值
≥ 100	1.0
50~100	0.8
30~50	0.6
20~30	0.4
≤ 20	0.2

注:其他介于两两之间的酌量取值。

表 5 “应急处置流程完善程度(C_{18})”评分标准

完善程度	评分参考值
非常完善	1.0
基本完善	0.8
基本不完善	0.6
不完善	0.4

注:其他介于两两之间的酌量取值。

3 惠州炼化项目海洋减灾能力评价

中海油惠州炼化项目包括沿海石化(炼化)基地工程和沿海石化仓储基地工程,位于广东省惠州市大亚湾技术经济开发区东部的大亚湾石化工业区内,主要产品包括液化气、丙烯、苯、对二甲苯、邻二甲苯、混合二甲苯、石脑油、汽油、航煤、柴油、硫黄和焦炭等。

海堤护岸为本项目的主要防护设施。项目所在海域的海洋灾害主要为风暴潮,1980—2012 年登

陆广东惠来至珠海之间的热带气旋共有 33 个、年平均 1 个,进入大亚湾海域的共有 6 个。2013 年 9 月 22 日台风“天兔”正面袭击惠州并横穿中南部地区,惠州普遍出现 11~13 级大风,本项目没有受到太大影响。

3.1 工程自身防护能力

项目所在海堤高程按照设计标准设计,为 5.2~5.4 m(理论最低潮面,下同),满足 100 年一遇设计标准。东联码头采用越浪设计,码头后方排水设施完好。厂区海堤未采用越浪堤。厂区在雨季易发生积水,可能是排水设施不够完善。北厂区地面由北面坡向南面,坡度为 3‰,场地标高为 6.4~9.4 m;南厂区场地是填海造地,场地标高不低于 5.4 m。仅在东联码头和马鞭洲码头有少数点略有沉降,且沉降小于 0.01 m,厂区地面无基础沉降。海堤筑堤材料影响海堤工程的防护等级,厂区外围海堤采用混凝土,结构为人工块体护面斜坡堤,满足设计标准要求。

3.2 公司预警报能力

(1)重大危险源监控覆盖率。将厂区内的各生产装置、公用工程及储运系统的 DCS 操作站、工程师站、SIS 系统机组控制系统操作站等相关设备集中在中控室,实现设备集中操作、控制和管理;对生产工况实施在线监控,对装置运行时出现的工艺参数异常现象进行报警连锁。设置 500 余个可燃、有毒气体报警探头以及火灾、烟雾检测探头,并将探头信号统一接入中控室,实现对可燃、有毒气体泄漏和火灾的有效监控和预防。生产装置区设置 50 余个防爆电视摄像头,可视化监控重要设备、加热炉、火炬、压缩机、主要机泵等的运行情况。

(2)主体防护工程检查频次。针对生产装置、消防设施等开展日常检查和定期检查,及时发现隐患并组织整改,但对海堤护岸未开展检查工作。

(3)预警信息接收和发布的反应时间。预警信息采用“消息”“警报”和“紧急警报”3 种形式发布。其中,“消息”针对政府发布的台风白色、蓝色预警信号,密切跟踪台风发展态势和路径,每 6 h 以邮件、电话的形式向应急领导小组组长汇报,并向其他成员通报;“警报”针对政府发布的台风黄色预警

信号,应急办公室立即向应急领导小组组长和成员通报,每 2 h 以邮件、电话和短信的形式向应急领导小组成员通报台风最新进展情况和路径预测;“紧急警报”针对政府发布的台风橙色、红色预警信号,应急办公室立即向应急领导小组组长和成员通报,每 1 h 以短信的形式向运行部经理和管理人员发布台风最新进展情况和路径预测。

(4) 防灾减灾应急演练频次。每季度进行 1 次桌面演练和实战演练,每年开展不少于 2 次公司级应急预案实战演练,雨季前开展 1 次公司级实战演练。

(5) 年防灾知识培训和宣传次数。主要针对应急领导小组成员、应急管理人员、作业现场管理人员和其他相关人员实行培训,在分析应急培训需求的基础上,每年编制应急培训计划,针对不同岗位职责安排不同培训内容,建立健全应急管理培训档案,详细、准确记录培训及考核情况,评价和持续改进培训效果;公司 HSE 中心与人力资源部等有关部门通过各种宣传手段,对员工和周边公众广泛宣传应急法律法规和应急常识。

(6) 人均占有防爆通信设备数量。进入存在和可能存在易燃易爆物质的场所,不得使用非防爆电器、手机和对讲机等;对工作人员和应急监测人员均配备防爆型对讲机,确保通信畅通。

3.3 公司响应应急能力

按照能够满足最高级别(Ⅰ级)环境事件应急需求的应急设备配置,可保障应急需要。公司本身配备能够满足最高级别(Ⅰ级)环境事件应急需求的应急物资,依据重特大事件应急处置的需求,建立以公司应急物资储备为主、社会救援物资为辅的应急物资保障体系,并建立应急物资动态管理制度。依据公司生产安全事故综合应急预案,结合实际情况,将突发环境事件设置为一级、二级、三级应急响应。第一时间按照《事故应急指挥卡》和《工艺事故应急卡》对事故装置进行现场处置。

重大危险源分布区内均布置紧急疏散通道。当事故发展状态无法控制时,将通过防爆对讲机、短信平台、移动通信等手段,及时通知疏散路线及集结地点等。

应急指挥办公室、现场应急指挥组成员和救援

人员均按专业分工,同时考虑集结和救援的便利性来组织落实人员。定期组织人员学习安全生产法律法规,熟悉危险化学品性质和特种设备管理要求等。对所有员工进行经常性的事故救护常识教育,熟练掌握各种防毒面具、消防器材等的使用。公司内部配备专业消防队伍以及 1 000 余人的各生产装置设备、仪表、电气等专业维护保养队伍,建立有毒有害气体防控中心,在应急事件中可有效组织救援和及时救护受伤人员。

针对防台风、防地震、防洪以及各装置现场应急、重大环境污染事故等,制定完善的应急处置流程,并且每 3 年至少组织 1 次对突发环境事件应急预案的修订。

3.4 综合评价

结合惠州炼化项目的实际情况,采用专家打分法给出各指标评分(表 6)。经计算,最终得到该项目海洋减灾能力综合值约为 0.8(总分为 1.0),反映其海洋减灾能力处于中等偏上水平。这与该公司在公司管理、风险防范、防灾减灾等方面的高度重视密切相关。

表 6 惠州炼化项目海洋减灾能力指标评分

指标	分值
海堤高程(C ₁)	1.0
越浪堤排水设施完好性(C ₂)	0.8
海堤完好程度(C ₃)	0.6
地面基础沉降(C ₄)	0.8
厂坪标高(C ₅)	0.7
海堤筑堤材料(C ₆)	0.8
主体防护工程定期检查频次(C ₇)	0.5
重大危险源监控覆盖率(C ₈)	0.9
预警信息接收和发布的反应时间(C ₉)	0.9
人均占有防爆通信设备数量(C ₁₀)	0.7
防灾减灾应急演练频次(C ₁₁)	0.7
年防灾知识培训和宣传次数(C ₁₂)	0.7
应急设备保障率(C ₁₃)	0.9
应急物资储备度(C ₁₄)	0.9
应急响应速度(C ₁₅)	0.9
紧急疏散通道覆盖率(C ₁₆)	0.8
应急救援队伍投入量(C ₁₇)	0.8
应急处置流程完善程度(C ₁₈)	0.7

4 结论

在沿海大型石化项目海洋减灾能力评价指标选取方面,除项目工程自身防护能力特点外,还关注对项目影响较大的指标,如重大危险源监控覆盖率、紧急疏散通道覆盖率等。综合评价中准则层指标权重排序由大到小依次为工程自身防护能力(0.491)、公司预警报能力(0.282)和公司响应应急能力(0.227),可见工程自身防护能力权重远高于后者。因此,沿海大型石化项目在海洋减灾方面应重点加强海堤建设,海堤高程设计应满足所在海域防潮防浪设计标准要求;采用抗风浪的海堤结构,并建立海堤完好程度的定期检查制度。

从 AHP 建模分析结果来看,工程自身防护能力中的“海堤高程”(0.273)和“海堤完好程度”(0.242),公司预警报能力中的“重大危险源监控覆盖率”(0.333)和“主体防护工程定期检查频次”(0.259),公司响应应急能力中的“应急设备保障率”(0.292)和“应急物资储备度”(0.250)的权重均较高,说明沿海大型石化项目的工程设计和日常监管已成为海洋减灾的重要措施;地面基础沉降、人均占有防爆通信设备数量、应急处置流程完善程度的权重相对其他指标均较低,说明由于每个石化项目几乎都会对其有相应配备和设计,整体影响程度不大。

从惠州炼化项目海洋减灾能力各评价指标评分来看,“海堤完好程度”和“主体防护工程定期检查频次”分值较低,与该项目现状较吻合。惠州炼化项目的主体防护工程为海堤,海堤完好程度直接影响防护工程即承灾体的抗灾害能力,因此应加强海堤检查,并对出现的隐患及时处理。

本研究构建的工程类海洋减灾能力评价指标体系更侧重可操作性及在政府部门的推广性,因此选取的评价指标基本都可根据工程本身的资料直接获得数据,并且选取的指标个数较少。今后可尝试增加更多指标,更客观地进行海洋减灾能力评价,为相关政策的科学制定奠定基础。

参考文献

- [1] 国家海洋局. 2012 年中国海洋灾害公报[Z]. 2013.
- [2] 曹玮. 洪涝灾害的经济影响和防灾减灾能力评估研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2013.
- [3] WAD T, NEMOTO Y, SHIMA M, et al. Effects of the nuclear disaster on marine products in Fukushima[J]. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2013 (124): 246—254.
- [4] DAVIDSON R A, SHAH H C. An urban earthquake disaster risk index [D]. Palo Alto: John A. Blume Earthquake Engineering Center, 1997.
- [5] CUTTER S L, BORUFF B J, SHIRLEY W L. Social vulnerability to environmental hazards[J]. *Social Science Quarterly*, 2003, 84(2): 242—261.
- [6] 白音包力皋, 丁志雄. 日本城市防洪减灾综合措施及发展动态[J]. *水利水电科技进展*, 2006, 26(3): 82—86.
- [7] 李莉, 沈琼. 风暴潮灾害防灾减灾能力评价: 以山东省沿海城市为例[J]. *中国渔业经济*, 2011, 6(29): 98—106.
- [8] 黄大鹏, 郑伟, 张人禾, 等. 安徽淮河流域洪涝灾害防灾减灾能力评估[J]. *地理研究*, 2011, 30(3): 523—530.
- [9] 严晓菊, 李琼芳, 蔡涛, 等. 城市防洪减灾能力评价问题的探讨[J]. *河海大学学报(自然科学版)*, 2012, 40(1): 118—122.
- [10] 张颖超, 范金平, 邓华. 基于加权 TOPSIS 法的浙江省抗台风减灾能力评估[J]. *灾害学*, 2013, 28(4): 74—80.
- [11] 李晓娟, 赖茂宇. 城市交通系统抗灾能力评价[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2012, 13(4): 475—479.
- [12] 海堤工程设计规范 GB/T 51015—2014[S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.