



# 自然灾害综合风险水路承灾体普查 风险评价方法

苏 航, 寇本川, 夏冬飞, 孙 冉  
(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

**摘要:** 为全面掌握我国自然灾害风险隐患情况, 提升全社会抵御自然灾害的综合防范能力, 定于 2020—2022 年开展第一次全国自然灾害综合风险普查工作。为摸清全国水路承灾体的空间分布、基本属性特征和自然灾害属性特征, 掌握全国水路自然灾害底数, 形成全国水路自然灾害综合风险区划, 特开展《自然灾害综合风险水路承灾体普查技术指南》编制工作。《指南》通过构建港口作业区、内河航道、通航建筑物和航运枢纽的自然灾害综合风险评价指标和权重, 利用指标体系法和风险矩阵得出风险等级, 形成水路承灾体关于灾类和灾种的风险评价及区划图, 为国家和地方各级政府应急管理提供科学决策依据。

**关键词:** 水路承灾体; 指标体系法; 风险矩阵; 风险评价; 风险区划

**中图分类号:** U 658.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1002-4972(2021)10-0054-05

## Risk assessment method of general survey of natural disaster about waterway disaster bearing body

SU Hang, KOU Ben-chuan, XIA Dong-fei, SUN Ran

(CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

**Abstract:** To comprehensively grasp the hidden dangers of natural disasters in China and improve the comprehensive prevention ability of the whole society against natural disasters, the first national comprehensive risk survey of natural disasters is carried out from 2020 to 2022. To master the spatial distribution, basic attribute characteristics, and natural disaster attribute characteristics of national waterway disaster bodies, master the base of national waterway natural disasters, and form the comprehensive risk zoning of national waterway natural disasters, *Technical guide for comprehensive risk survey of waterway disaster bodies in natural disaster* is carried out. By constructing the comprehensive risk assessment indexes and weights of natural disasters in port operation areas, inland waterways, navigation structures, and shipping hubs, the risk level is evaluated by the index system method and the risk matrix method, and the risk assessment and risk zoning map of national waterway natural disasters is formed, which will provide scientific decision-making basis for emergency management of national and local governments at all levels.

**Keywords:** waterway disaster bearing body; index system method; risk matrix; risk assessment; risk zoning

自然灾害综合风险水路承灾体普查是全国自然灾害综合风险普查的有机组成部分, 是提升水路承灾体自然灾害防治能力的基础性工作。通过开展普查摸清全国水路承灾体自然灾害风险底数,

查明重点地区抗灾能力, 客观认识全国和各地区自然灾害综合风险水平, 为全国各级交通运输主管部门开展水路承灾体关于自然灾害的防灾、减灾、救灾工作提供依据。因此, 以普查数据为基

**收稿日期:** 2021-06-08

**作者简介:** 苏航(1972—), 男, 高级工程师, 从事港口及航道工程的咨询与研究工作。

础,选择有效的水路承灾体自然灾害综合风险评价方法至关重要。

为全面掌握我国自然灾害风险隐患情况,提升全社会抵御自然灾害的综合防范能力,定于 2020 年至 2022 年开展第一次全国自然灾害综合风险普查工作。为贯彻落实《国务院办公厅关于开展第一次全国自然灾害综合风险普查的通知》(国办发〔2020〕12 号),受交通运输部委托,中交水规院开展了《自然灾害综合风险水路承灾体普查技术指南》(简称《指南》)的编制工作。

《指南》调查对象为交通行业管辖的在建和营运的水路承灾体,包括主要港口和地区性重要港口(其中码头泊位调查范围为沿海万吨级及以上泊位、内河千吨级及以上泊位)、三级及以上航道、通航建筑物、航运枢纽。普查内容包括水路承灾体属性信息普查和水路自然灾害信息普查。水路承灾体属性信息普查分为港口、航道、通航建筑物和航运枢纽设施信息调查。水路自然灾害信息普查分为地震、地质、气象、水旱、海洋灾害调查。其中,地质灾害包括崩塌、滑坡、泥石流灾害,气象灾害包括台风、暴雨、大风、雷电灾害,水旱灾害包括干旱灾害、洪涝灾害,海洋灾害包括风暴潮、海浪、海冰、海啸灾害。

风险评价旨在为有效应对风险提供基于证据的

信息和分析,方法可选择层次分析法和风险矩阵等<sup>[1]</sup>。有关学者通过采用层次分析法构建指标体系,对港口工程重大危险源评价<sup>[2]</sup>、港口空间布局规划分级评价<sup>[3]</sup>、船闸引航道基坑开挖风险评估<sup>[4]</sup>以及航道整治工程总体安全风险评估<sup>[5]</sup>进行了探索和研究,均取得了有价值的研究成果。同时自然灾害的分级方法由自然灾害风险事件发生的可能性和产生的后果来决定,可参照自然灾害风险分级矩阵进行等级划分,进而进行风险区划<sup>[6-8]</sup>。

本文针对水路承灾体,构建了新的自然灾害综合风险评价模型。本模型参照层次分析法的建模流程,首先采用指标体系法建立评估指标,进行危险性评价;然后根据风险事件的严重程度直接查表进行危害性评价;最后依据风险矩阵进行风险分级和风险区划。本模型可实现空间单元和行政单元两个维度上的水路承灾体自然灾害综合风险评价,为同类项目风险评价提供了参考。

1 水路承灾体自然灾害综合风险评价模型

水路承灾体自然灾害综合风险评估以水路承灾体属性信息和水路自然灾害信息为基础,采用定性与定量相结合的方法进行风险评价,并以综合风险评价为基础进行区域划分。水路承灾体自然灾害综合风险评价模型见图 1。

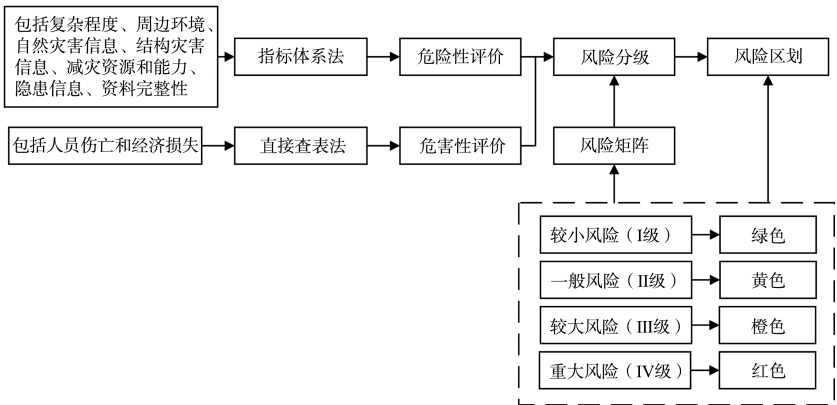


图 1 水路承灾体自然灾害综合风险评价模型

1.1 危险性评价

1.1.1 构建指标体系

危险性评价采用指标体系法。危险性评价指标体系包括 7 个项别及相应的评估指标,主要包

括设施复杂程度、周边环境、自然灾害信息、结构灾害信息、减灾资源和能力、隐患信息、资料完整性。其中港口设施危险性评价指标体系见图 2。

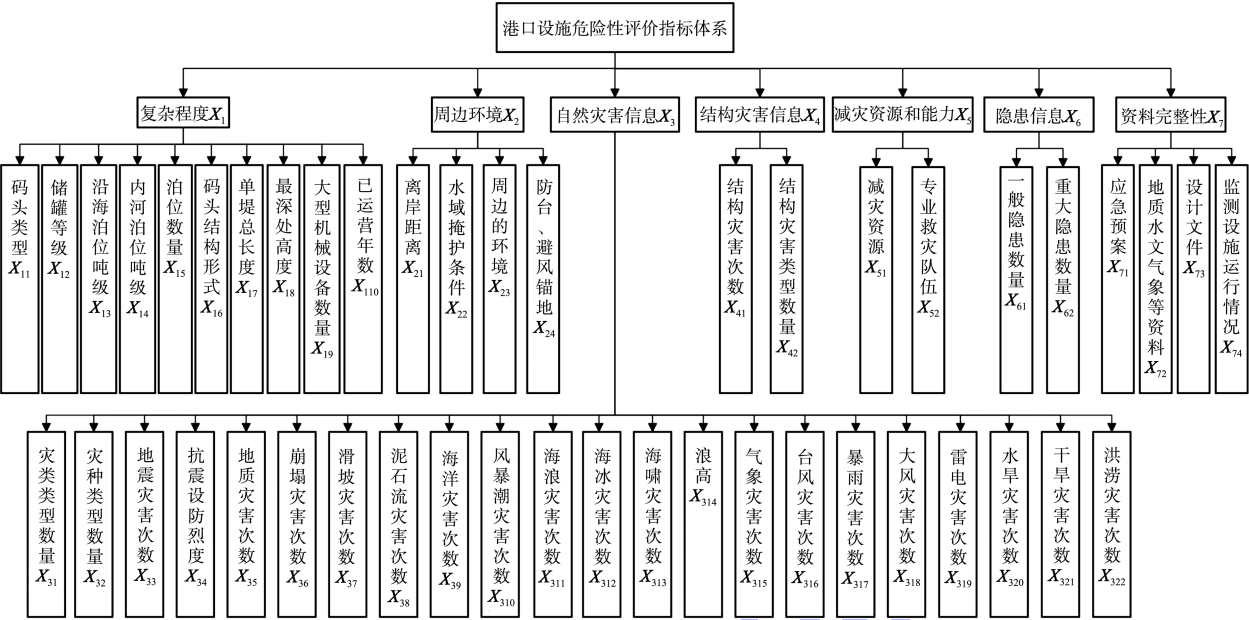


图2 港口设施危险性评价指标体系

1.1.2 权重系数

1)项别内评估指标的权重系数采用重要性排序法计算，即根据评估指标与事故发生可能性以及事故后果严重程度(优先考虑人员伤亡)的相关性，进行综合评判后，将各评估指标按重要性从高到低依次进行排序。计算公式为：

$$\gamma=\frac{2n-2a+1}{n^2} \tag{1}$$

式中： $\gamma$ 为权重系数； $n$ 为对应的某个项别包括的评估指标的数量； $a$ 为重要性排序号， $a\leqslant n$ 。

2)项别的权重见表1。

表1 项别权重系数

项别	工程复杂程度	周边环境	自然灾害信息	结构灾害信息	减灾资源和能力	隐患信息	资料完整性
权重系数	0.20	0.10	0.40	0.10	0.10	0.05	0.05

3)进行港口、航道、通航建筑物和航运枢纽危险性评价时，存在多个同一类型的水路承灾体时，按照计算分数大小排序，按照重要性排序法计算得出加权平均值。

4)进行区域水路承灾体危险性评价时，水路承灾体按照港口、航道、通航建筑物、航运枢纽的危险性指数分值从大到小的顺序进行重要性排序，按照指标体系法计算权重系数。

1.1.3 危险性指数计算

危险性指数  $P$  按以下公式计算：

$$P=\sum X_{ij} \tag{2}$$

$$X_{ij}=R_{ij}\gamma_{ij} \tag{3}$$

式中： $X_{ij}$ 为评估指标的分值，项别  $i=1,2,\cdots,m$ ，指标  $j=1,2,3,\cdots,n$ ，其中  $m$  为包括的项别的数量， $n$  为对应第  $i$  个项别包括的评估指标的数量； $\gamma_{ij}$  为第  $i$  个项别、第  $j$  个评估的权重系数； $R_{ij}$  为第  $i$  个项别、第  $j$  个评估的基本分值。

1.1.4 可能性等级

计算得出  $P$  后，根据  $P$  值对照表2确定自然灾害发生的可能性等级。

表 2 水路自然灾害综合风险评估可能性等级标准

概率范围	中心值	概率等级描述	定性描述	概率等级	<i>P</i>
<0.000 3	0.000 1	几乎不可能	小	1	$P\leq 15$
0.000 3~<0.003	0.001	可能性很小	一般	2	$15<P\leq 30$
0.003~<0.03	0.01	偶然	较大	3	$30<P\leq 45$
0.03~<0.3	0.1	可能	重大	4	$45<P\leq 60$
$\geq 0.3$	0.6	很可能	特大	5	$P>60$

1.1.5 危险性评价主要过程

1)选取某类水路承灾体某个危险性评价主要指标，采用指标体系法进行评价。①基本分值 *R* 打分；②确定重要性排序；③依据指标体系法计算公式评估分值；④确定风险等级。

2)自然灾害指标选择方法。①进行灾类危险性评价时，仅选择单一灾类指标；②进行整体自然灾害危险性评价时，包含全部指标；③进行灾种危险性评价时，灾类危险性评价指标将被替代。

3)危险性评价主要指标得分与其权重乘积，得出某类水路承灾体的危险性评价 *P* 值。

4)各单类水路承灾体危险性评价主要指标得分与其权重乘积，得出区域的危险性评价 *P* 值。

1.2 危害性评价

1.2.1 严重性等级

依据人员伤亡和经济损失数量，对照表 3 确定自然灾害的严重性等级。

表 3 水路自然灾害综合风险评估严重性等级标准

后果等级分值	定性描述	人员死亡/人	人员重伤/人	直接经济损失/万元
1	小	无死亡	重伤<5	0<直接经济损失<100
2	一般	1≤死亡<3	5≤重伤<10	100≤直接经济损失<1 000
3	较大	3≤死亡<10	10≤重伤<50	1 000≤直接经济损失<5 000
4	重大	10≤死亡<30	50≤重伤<100	5 000≤直接经济损失<1 万
5	特大	30≤死亡	100≤重伤	1 万≤直接经济损失

1.2.2 相关要求

1)人员死亡是指在事故中失去生命，可累加。  
2)人员重伤是指在事故中身体受到严重的伤害，可累加。

3)直接经济损失是指因事故造成人身伤亡及善后处理支出的费用和毁坏财产的价值，可累加。

4)当多种后果同时产生时，应采用就高原则确定风险事件严重程度等级。

5)进行港口、航道、通航建筑物和航运枢纽危害性评价时，存在多个同一类型的水路承灾体

时，应采用就高原则确定风险事件严重程度等级。

6)进行区域水路承灾体危害性评价时，应采用就高原则确定风险事件严重程度等级。

1.3 风险分级

风险分级采用风险矩阵。

水路自然灾害综合风险分级由自然灾害综合风险事件的可能性(危险性)和严重性(危害性)来决定。风险等级分为 4 级，分别为较小风险(Ⅰ级)、一般风险(Ⅱ级)、较大风险(Ⅲ级)、重大风险(Ⅳ级)，见表 4。

表 4 风险等级划分

可能性等级	严重程度等级				
	很可能(5)	可能(4)	偶然(3)	可能性很小(2)	几乎不可能(1)
小(1)	较大风险Ⅲ	一般风险Ⅱ	一般风险Ⅱ	较小风险Ⅰ	较小风险Ⅰ
一般(2)	较大风险Ⅲ	较大风险Ⅲ	一般风险Ⅱ	一般风险Ⅱ	较小风险Ⅰ
较大(3)	重大风险Ⅳ	较大风险Ⅲ	较大风险Ⅲ	一般风险Ⅱ	一般风险Ⅱ
重大(4)	重大风险Ⅳ	重大风险Ⅳ	较大风险Ⅲ	较大风险Ⅲ	一般风险Ⅱ
特大(5)	重大风险Ⅳ	重大风险Ⅳ	重大风险Ⅳ	较大风险Ⅲ	较大风险Ⅲ



## 1.4 风险区划

风险区划以灾类风险等级为依据划分。风险等级划分为 4 个等级并赋以 4 种颜色,表示自然灾害综合风险的 4 个等级,分别为红色代表重大风险(Ⅳ级),橙色代表较大风险(Ⅲ级),黄色代表一般风险(Ⅱ级),绿色代表较小风险(Ⅰ级)。

## 2 案例

### 2.1 背景

某沿海港区存在危险品码头,陆域储罐等级Ⅱ级,共有 3 个万吨级及以上泊位,泊位最大吨级为 10 万 t,结构形式为高桩结构,防波堤长度 3 000 m,最深处高度 15 m,大型机械设备 4 台,码头已运营 20 a。码头离岸距离 1.5 km,水域掩护条件好,周边无其他影响安全的设施,防台、避风锚地好,距离区域较近。自然灾害共 2 个,地震灾害 1 次,抗震设防烈度 8 度,海浪灾害 1 次,极端高水位 50 a 一遇波要素  $H_{1\%}$  为 4 m。地震灾害造成 1 人死亡、6 人重伤,直接经济损失 400 万元;海浪灾害造成直接经济损失 50 万元。结构灾害类型 1 个,数量 1 次,为自然因素导致的地基滑坡。减灾资源和专业救援队伍基本满足预案要求。一般事故隐患年平均数量 6 个,重大事故隐患年平均数量 0 个。应急预案已评审并发布,地质水文气象等资料和设计文件资料完整,监测设施正常运行率大于 60%。

### 2.2 海浪灾害(灾种)综合风险评价

危险性评价:按照指标默认顺序排序,计算综合得分  $P$  值 37.78,偶然发生;危害性评价:小;风险评价与区划:一般风险(Ⅱ级),黄色。

### 2.3 地震灾害(灾类)综合风险评价

危险性评价:按照指标默认顺序排序,计算综合得分  $P$  值 35.56,偶然发生;危害性评价:一般;风险评价与区划:一般风险(Ⅱ级),黄色。

### 2.4 自然灾害综合风险评价

危险性评价:按照指标默认顺序排序,计算综合得分  $P$  值 35.56,偶然发生;危害性评价:一

般;风险评价与区划:一般风险(Ⅱ级),黄色。

## 3 结语

1)基于水路承灾体自然灾害综合风险评价模型对案例进行评价,自然灾害综合风险为一般风险(Ⅱ级),风险区划为黄色。

2)运用指标体系法和风险矩阵进行水路承灾体自然灾害综合风险评价,可建立层次结构模型,将评估指标按重要性从高到低排序,客观计算权重系数,采用定性与定量相结合的方法进行风险分级和风险区划,为风险控制提供依据。

3)本模型评估指标需要在普查实施阶段结合实际数据不断完善,逐步提高模型评价结果的可靠性,为防灾减灾救灾工作提供依据。

## 参考文献:

- [1] 中国标准化研究院.风险管理风险评估技术:GB/T 27921—2011[S].北京:中国标准出版社,2012.
- [2] 洪宁宁,詹水芬,彭士涛,等.AHP-综合评价法在港口工程风险评价中的应用研究[J].水运工程,2010(7):74-77.
- [3] 齐越,姚海元,董敏,等.层次分析法(AHP)在港口空间布局规划中的应用[J].港工技术,2016,53(6):15-18.
- [4] 刘建华,汪映红,邹开明,等.基于多层次模糊评价法的船闸引航道基坑开挖风险评估[J].水运工程,2019(3):10-15.
- [5] 吕永兴,马一.基于指标体系法的长江干线武安段6 m水深航道整治工程总体安全风险评估[J].水运工程,2020(9):132-137.
- [6] 民政部-教育部减灾与应急管理研究院.自然灾害风险分级方法:MZ/T 031—2012[S].北京:中国标准出版社,2012.
- [7] 张鹏,李宁.我国自然灾害风险分级方法的标准化[J].灾害学,2014,29(2):60-64.
- [8] 史培军,王季薇,张钢锋,等.透视中国自然灾害区域分异规律与区划研究[J].地理研究,2017,36(8):1401-1414.