

# 生命线工程综合防灾规划决策方法研究与应用<sup>\*</sup>

管友海, 张 媛, 王 耀

(中国石油大学(华东)储运与建筑工程学院, 山东 青岛 266555)

**摘 要:**在对生命线工程综合防灾规划编制的技术路线进行分析的基础上,引入了综合灾害指数的概念,提出了一种城市生命线工程综合防灾规划的决策方法,该方法利用综合灾害指数的计算来获得综合防灾规划的决策依据。在综合灾害指数的计算过程中,以给水工程综合防灾为例,采用层次分析法,得到10种灾害最终的评价权重;以地震灾害影响因素识别和地震灾害风险指标的计算为例给出潜在灾害的风险指标计算。最终以综合灾害指数为重要衡量标准,并结合生命线工程功能上的布局要求和系统的整体性要求来进行生命线工程综合防灾规划。本方法在烟台市开发区生命线工程综合防灾规划中得到了实际应用,以期为我国其他城市生命线工程综合防灾规划的编制提供借鉴。

**关键词:** 生命线工程; 给水工程; 综合防灾; 层次分析法

**中图分类号:** X4      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-811X(2010)03-0057-03

我国的灾害管理体制中,灾害防御工作基本上还是分灾种进行的,而且主要还是应急管理体制,没有上升到灾害风险管理的层面,因此有必要建立与城市可持续发展相适应的综合防灾规划<sup>[1-4]</sup>。

生命线工程在城市基础设施中有着及其重要的地位,关系到灾时对其他工程的破坏影响大小和灾后重建程度难易。生命线系统在单灾种作用下,特别是地震灾害作用下的破坏分析和系统灾后的功能可靠性分析研究的比较多,已有不少科学性和实用性兼备的方法,而对于如何综合考虑各种潜在灾害对城市以及生命线系统的影响,目前来看研究还比较薄弱。至于如何将综合防灾减灾的理念应用到城市以及各个基础设施的规划中,更是鲜有深入的研究。建立一种基于综合灾害风险的规划分析方法是生命线综合防灾规划中亟待解决的主要问题<sup>[5]</sup>。

本文引入了综合灾害指数的概念,利用通过灾害识别、灾害的风险指标的评价权重和各种灾害的风险指标来计算,得到综合防灾规划的决策依据。

## 1 综合灾害指数的定义

生命线工程综合防灾规划在编制过程中主要包括了基础数据收集与处理、现状评述与灾害识别、灾害风险分析模型的建立与评价、设防标准的优化选择、

抗灾薄弱环节的识别与改造措施以及综合防灾规划决策几方面的内容<sup>[6-8]</sup>,具体的技术路线如图1所示。

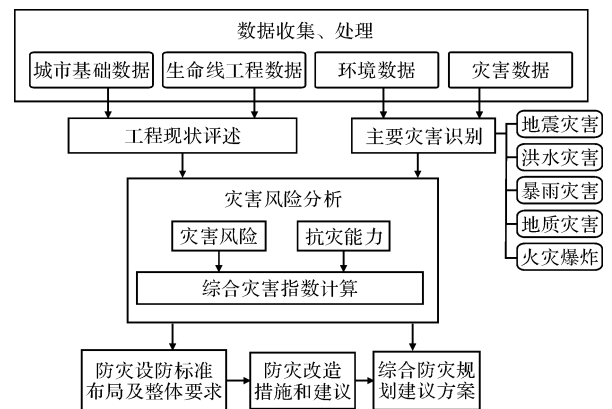


图1 生命线工程综合防灾规划编制技术路线图

将图1中的综合灾害指数定义为 $L$ ,各个潜在灾害的风险的大小用指标 $L_i(i=1, 2, 3, \dots, n; n$ 为灾害种类的个数)表示,取值区间为 $[0, 1]$ ,各个灾害的风险指标的评价权重为 $w_1, w_2, \dots, w_n$ ,那么通过灾害识别、风险指标的评价权重和单种灾害的风险指标,可以得到生命线工程的综合灾害指数:

$$L = L_1 w_1 + L_2 w_2 + \dots + L_n w_n. \quad (1)$$

在这里忽略了各个灾害之间的关联性,假设不同灾害的发生彼此之间是独立的,因而可以进行线性叠加。

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2010-02-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(50778167)

作者简介: 管友海(1975-),男,山东临沂人,博士,讲师,主要研究方向为结构抗震与城市防灾信息化. E-mail: gyhlhl@163.com

2 灾害的风险指标的评价权重

2.1 灾害识别

生命线工程可以进一步细化为电力工程、通信工程、给水工程、燃气工程、供暖工程、交通工程等6项主要的综合防灾规划，虽然各个工程面临的灾害特征、致灾因素和成灾机理有所差别，但编制规划的思路是相通的，下面以给水工程的水管道为例讲述灾害识别的过程，本文将综合灾害分为二级体系，第一层(分目标层)为灾害的类别，分为气象灾害、地震地质灾害、人为灾害；第二层(指标层)为具体灾害的指标，共10类，具体见图2所示<sup>[8-10]</sup>。

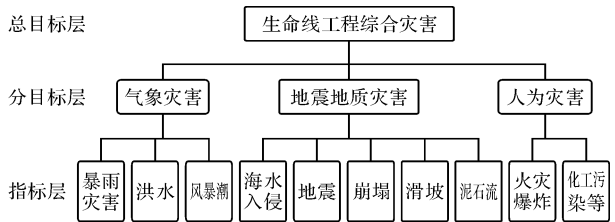


图2 生命线工程管道灾害识别

不同地区的具体情况各异，不同生命线工程的情况各异，表格中的灾害种类不尽相同，如：在给水工程的枢纽工程(水厂、加压站等)就不需考虑暴雨冻害冻雨的影响。

2.2 评价权重的计算

评价权重的取值采用层次分析法，关于层次分析法本文将不做赘述。通过层次分析法的具体计算公式和评分比较结果就可以计算得到各个指标的权重系数<sup>[8-10]</sup>。

设总目标层(综合灾害)为A层，分目标层(灾害类别)为B层，指标层(具体灾害类别)为C层，则各层的权重如表1所示。至此，表1最后一列的权重数据就作为各类灾害风险指标的评价权重。

表1 A-C层总排序权重计算

| A-B层 \ B-C层 | 气象灾害  | 地震地质灾害 | 人为灾害  | A-C层                          |
|-------------|-------|--------|-------|-------------------------------|
|             | 0.352 | 0.489  | 0.159 | $\sum W_{A-B} \times W_{B-C}$ |
| 暴雨          | 0.254 | -      | -     | 0.089                         |
| 洪水          | 0.480 | -      | -     | 0.169                         |
| 风暴潮         | 0.266 | -      | -     | 0.094                         |
| 海水入侵        | -     | 0.186  | -     | 0.091                         |
| 地震          | -     | 0.428  | -     | 0.209                         |
| 崩塌          | -     | 0.183  | -     | 0.089                         |
| 滑坡          | -     | 0.098  | -     | 0.048                         |
| 泥石流         | -     | 0.055  | -     | 0.027                         |
| 火灾爆炸        | -     | -      | 0.763 | 0.121                         |
| 化工污染        | -     | -      | 0.237 | 0.038                         |

3 潜在灾害的风险指标计算

对于灾害的风险指标计算旨在得到指标 $L_i$ 的值。具体的灾种不同，计算方法相差是很大的。对于已有成熟分析方法并且资料数据完备的灾害风险指标的计算采取定量的分析，对于方法不成熟或者资料不完备的灾害风险指标计算采用模糊评判的方法从定量与定性结合的方法估计。本文以给水工程管道的地震灾害为例介绍灾害的风险指标的计算<sup>[8-10]</sup>。给水工程管道的地震灾害各个因素具体指标值即地震风险指数 $d$ 如表2所示。

表2 地震风险指数

| 项目(j)        | 类别(k)                   | 风险指数(d) |
|--------------|-------------------------|---------|
| 输入烈度         | Ⅵ                       | 1.0     |
|              | Ⅶ                       | 1.6     |
|              | Ⅷ                       | 2.0     |
|              | Ⅸ                       | 2.5     |
|              | X                       | 3.0     |
| 场地类型         | I, II                   | 1.0     |
|              | Ⅲ                       | 1.3     |
|              | Ⅳ                       | 1.5     |
|              | 不良地质区                   | 2.0     |
|              | $D \leq 200$            | 1.35    |
| 管道直径<br>D/mm | $200 < D \leq 300$      | 1.3     |
|              | $300 < D \leq 500$      | 1.25    |
|              | $500 < D \leq 800$      | 1.2     |
|              | $800 < D \leq 1000$     | 1.15    |
|              | $D > 1\ 000$            | 1.1     |
| 建造年代<br>Y/年  | $Y > 1980$              | 1.5     |
|              | $1980 \leq Y \leq 1990$ | 1.3     |
|              | $1990 < Y \leq 2000$    | 1.1     |
|              | $Y > 2000$              | 1.0     |
| 接头形式         | 刚性                      | 1.4     |
|              | 柔性                      | 1.2     |
|              | 焊接                      | 1.1     |
| 管材           | 混凝土                     | 2.0     |
|              | 铸铁, 球墨铸铁                | 1.8     |
|              | 钢, PVC 或 PE             | 1.6     |
| 位于事故多发区      | 是                       | 1.4     |

利用式(2)得到地震风险值 $L_E$ ，以此来判定地震灾害的风险。类似的，可以得到其他灾害以 $L_i$ 表示的风险值。

$$L_E = \prod_{j=1}^6 \prod_{k=1}^{2-5} d_{jk}^{\delta_{jk}}, \tag{2}$$

式中： $j$ 为影响因素的类别； $k$ 为每个因素下不同的指标； $d$ 为每个因素下不同指标的值，即地震风险指数。

$$\delta_{jk} = \begin{cases} 0, & \text{第} j \text{项无} k \text{类;} \\ 1, & \text{第} j \text{项有} k \text{类。} \end{cases} \tag{3}$$

## 4 生命线工程综合防灾规划

通过上文的计算,可以由式(1)得到综合灾害指数 $L$ 。在计算综合灾害指数时,可以对各个灾害风险评价价值与权重的乘积进行排序,从而得到对该要素(管段、线路等生命线工程的组成部分)影响最大的主导灾害,从而可以进一步进行主导灾害的区划。在得到综合灾害指数后,就可以根据指数的大小将一些灾害风险大的要素从要素布局中剔除出去,从而得到生命线工程规划建议布局。同时结合设防标准的要求并与总体规划建议布局关联起来,就可以形成最终的综合防灾规划建议方案。在剔除不易铺设管网的路段过程中,综合灾害指数的大小是衡量的一个重要标准,但同时还要根据实际情况考虑生命线工程功能上的布局要求和系统的整体性要求。

本方法在烟台市开发区生命线工程综合防灾规划中得到了实际应用<sup>[10]</sup>。

## 5 结语

本文对生命线工程综合防灾规划编制的技术路线进行了分析,引入了综合灾害指数的概念,利用通过灾害识别、灾害的风险指标的评价权重和各种灾害的风险指标来计算,得到综合防灾规划的决策依据。

在综合灾害指数的计算过程中,利用了灾害

的风险指标的评价权重计算和潜在灾害的风险指标计算两个过程,本文以给水工程综合防灾为例,采用层次分析法,得到10种灾害最终的评价权重;以地震灾害影响因素识别和地震灾害风险指标的计算为例给出潜在灾害的风险指标计算。最终以综合灾害指数为重要衡量标准,并结合生命线工程功能上的布局要求和系统的整体性要求来进行生命线工程综合防灾规划。

本方法在烟台市开发区生命线工程综合防灾规划中得到了实际应用,以期为其他城市生命线工程综合防灾规划的编制提供借鉴。

## 参考文献:

- [1] 周靖,马石城,赵卫锋.城市生命线系统暴雪冰冻灾害链分析[J].灾害学,2008,23(4):39-44.
- [2] 周红波,高文杰,刘成清.上海虹桥综合交通枢纽灾害链及其在灾害评估中的应用[J].灾害学,2009,24(4):6-12.
- [3] 周红波,高文杰,刘成清.上海虹桥综合交通枢纽工程的灾害识别与评估[J].灾害学,2009,24(2):16-20.
- [4] 暴雨杰,尹占娥,温家洪.评价城市基础设施自然灾害连锁效应的结构方法[J].灾害学,2009,24(1):13-17.
- [5] 金磊.城市生命线系统防灾备灾能力亟待提高[J].中国建筑学报,2005(4):4-6.
- [6] Pitilakis Kyriazis, Alexoudi Maria, Argyroudis Stoiris, et al. Earthquake risk assessment of lifelines [J]. Bulletin of Earthquake Engineering. 2006, 4(4): 365-390.
- [7] 庄丽.城市居住区抗震防灾规划研究[D].青岛:青岛海洋大学,2007.
- [8] 高杰.给水工程综合防灾规划空间决策支持系统研究[D].青岛:中国海洋大学,2008.
- [9] 冯启民.东营市抗震防灾规划[R].青岛:中国海洋大学,2006.
- [10] 冯启民.烟台经济技术开发区综合防灾规划[R].青岛:中国海洋大学,2007.

# Study and Application of A Decision Method of Comprehensive Disaster Prevention Plan for Lifeline Projects

Guan Youhai, Zhang Yuan and Wang Yao

(College of Architecture & Storage Engineering, China University of Petroleum, Qingdao, 266555, China)

**Abstract:** By introducing comprehensive disaster index, and based on analysis on technical routes, a decision method of comprehensive disaster prevention plan for lifeline projects is proposed. With calculation of comprehensive disaster index, decision-making basis of the plan can be obtained by the method. In computing the comprehensive disaster index, taking the comprehensive disaster prevention of water supply system as an illustration, and using analytic hierarchy process, final evaluating weights of ten kinds of disasters are got. Risk indicators of potential disasters are computed based on two examples, which are the identification of earthquake disaster influencing factors and the computing of earthquake disaster risk indicators. Finally, the plan is conducted by putting the comprehensive disaster index as an important measure as well as considering the functional layout requirements of lifeline projects and the system integrity. The method has already been applied in the comprehensive disaster prevention plan for lifeline projects for the development zone in Yantai city in hope of providing reference for other cities in China.

**Key words:** lifeline projects; water supply system; comprehensive disaster prevention; analytical hierarchy process