

给水管道综合防灾规划决策方法 研究与应用

管友海 张媛 王耀

(中国石油大学(华东)储运与建筑工程学院, 青岛 266555)

摘要 本文提出了一种城市给水管道综合防灾规划的决策方法, 该方法利用综合灾害指标的计算来获得综合防灾规划的决策依据。在综合灾害指标的计算过程中, 采用层次分析法, 得到了10种灾害最终的评价权重; 以地震地质灾害影响因素识别和地震地质灾害风险指标的计算为例, 给出了潜在灾害的风险指标计算。最后以综合灾害指标为重要衡量标准, 结合给水管道功能上的布局要求和系统的整体性要求, 在烟台市开发区给水管道综合防灾规划中进行了实际应用, 完成了给水管道的综合防灾规划。本文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: 给水管道 生命线工程 综合防灾 层次分析法

前言

城市综合防灾规划是抵御、减轻各种灾害对城市居民生命财产造成危害的各种政策性措施和工程性措施。目前针对单灾种的灾害风险评价与分析方法研究相对较多, 而综合防灾需要考虑多个灾种的综合影响(童林旭, 2000), 因此, 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。

给水管道在城市基础设施中有着非常重要的地位, 关系到灾时对其其它工程的破坏影响大小和灾后重建程度的难易。给水管道在单独灾种作用下, 特别是在地震地质灾害作用下的破坏分析以及给水管道系统灾后的功能可靠性分析方面, 目前的研究比较多, 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给水系统的影响, 目前的研究还比较薄弱(金磊, 2005; Hoshiya等, 2002)。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(高杰, 2008; Pitilakis等, 2006; Grigg, 2003)。

本文定义了综合灾害指标, 通过灾害识别、灾害风险指标的评价权重和各种灾害的风险

[收稿日期] 2010-03-14

[作者简介] 管友海, 男, 生于1975年。博士。主要研究领域: 结构抗震与防灾信息化。E-mail: gyhlhl@163.com

指标的计算,得到了给水管道综合防灾规划的决策依据。

1 综合灾害指标

本文将综合灾害指标定义为 L , 各个潜在灾害风险的大小用指标 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评价权重为 $w_1, w_2, w_3 \dots w_n$, 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, 可以得到给水管道的综合灾害指标为:

$$L = L_1w_1 + L_2w_2 + L_3w_3 + \dots + L_nw_n \quad (1)$$

出于实用性的考虑, 本文忽略了各个灾害之间的关联性, 假设不同灾害的发生在彼此之间是独立的, 因而可以进行线性叠加。

2 灾害风险指标的评价权重

2.1 灾害识别

对于给水管道来讲, 地震灾害是最主要的潜在灾害, 因此针对地震灾害的风险分析也是目前人们研究的重点, 而对于气象灾害、人为灾害风险分析的研究还很少。本文在考虑气象灾害、地震地质灾害、人为灾害的同时, 将给水管道的综合灾害分为了三层: 第一层为总目标层; 第二层(分目标层)为灾害的类别, 分别为气象灾害、地震地质灾害、人为灾害; 第三层(指标层)为具体灾害的指标, 共 10 类。设总目标层为 A 层; 分目标层为 B 层; 指标层为 C 层。图 1 给出了具体的分层框图。

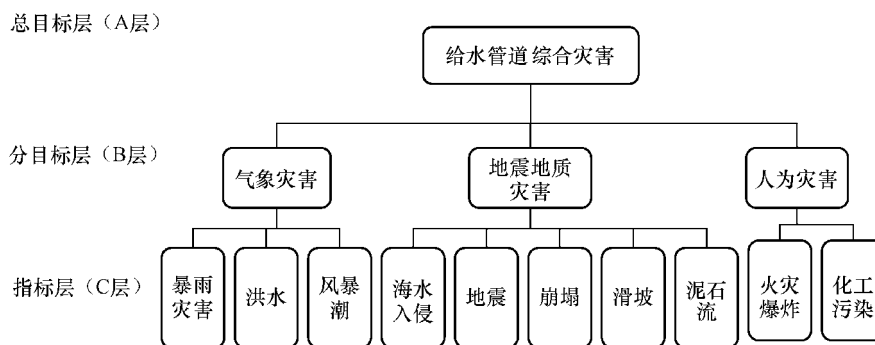


图 1 给水管道灾害识别

Fig. 1 Identification
of water-supply pipeline disasters

2.2 评价权重的计算

评价权重的取值采用层次分析法(朱坚鹏, 2005), 这里不做赘述。本文采用烟台开发区给水管道综合防灾规划中的调研数据进行计算, 数据汇总见表 1, 表中的数据为选择某个测评项的人数。

对于气象灾害和人为灾害, 根据资料调查表的情况同样也列出了与表 1 相同的表格。在这里由于篇幅的所限, 本文仅给出了有关地震地质灾害分指标的比较, 具体见表 2。

表 1 分目标层指标比较表

Table 1 Comparison of sub-aims index

需比较的项目		项目一和项目二相比较结果（项目一比项目二危害程度） 单位：人									
项目一	项目二	很大		相对较大		同等		相对较小		很小	
		普通人员	专家	普通人员	专家	普通人员	专家	普通人员	专家	普通人员	专家
气象灾害	地震地质灾害	0	0	3	1	10	1	27	4	11	0
	人为灾害	7	0	25	3	15	3	4	0	0	0
地震地质灾害	人为灾害	15	2	20	2	16	2	0	0	0	0

表 2 地震地质灾害分指标的比较

Table 2 Comparison of seismic geological disaster sub-index comparison

需比较的项目		项目一和项目二相比较结果（项目一比项目二危害程度） 单位：人									
项目一	项目二	很大		相对较大		同等		相对较小		很小	
		普通人员	专家	普通人员	专家	普通人员	专家	普通人员	专家	普通人员	专家
海水入侵	地震	0	0	0	0	5	0	21	2	25	3
	崩塌	1	0	2	2	24	4	17	1	7	0
	滑坡	4	1	28	4	18	1	1	0	0	0
	泥石流	14	2	27	2	9	2	1	0	0	0
地震	崩塌	21	4	28	2	2	0	0	0	0	0
	滑坡	38	3	13	3	0	0	0	0	0	0
	泥石流	42	6	9	0	0	0	0	0	0	0
崩塌	滑坡	13	0	31	3	7	3	0	0	0	0
	泥石流	22	3	25	2	4	1	0	0	0	0
滑坡	泥石流	12	1	33	5	4	0	2	0	0	0

对于调查数据采取 5 分制的评分标准：很大 5 分；相对较大 3 分；同等 1 分；相对较小 1/3 分；很小 1/5 分。将上述表格中每项的调查人数乘以相应分值后求和，然后除以总人数即得到专家或普通人员的评分值，其中相同项对比评分值为 1 分。由于是两两比较，结果是相对的，即后者相对于前者的得分是前者相对于后者得分的倒数。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，分目标层指标的比较评分结果见表 3。

表 3 分目标层指标评分比较结果及最终权重

Table 3 Sub-aims index score comparison and final weight

灾害类型	气象灾害		地震地质灾害		人为灾害		权重
	普通人员	专家	普通人员	专家	普通人员	专家	
气象灾害	1.000	1.000	0.592	0.889	2.477	2.000	0.352
地震地质灾害	1.689	1.125	1.000	1.000	2.961	3.000	0.489
人为灾害	0.404	0.500	0.338	0.333	1.000	1.000	0.159

C.I.= 0.009

C.R.=0.017 <0.1(一致性可以接受)

注：在层次分析法中，C.I.为计算一致性指标；C.R.为计算一致性比例，一般当 C.R.<0.1 时，一致性是可以接受的。

同样, 可以将其它表中的数据进行类似的计算, 在这里本文只给出了地震地质灾害分指标评分比较结果及最终权重 (气象灾害和人为灾害同理), 如表 4 所示。

表 4 地震地质灾害分指标评分比较结果及最终权重

Table 4 Seismic geological disaster sub-index score comparison and final weight

	海水入侵		地震		崩塌		滑坡		泥石流		权重
	普通人员	专家	普通人员	专家	普通人员	专家	普通人员	专家	普通人员	专家	
海水入侵	1.000	1.000	0.333	0.211	0.825	1.722	2.399	3.000	3.144	3.000	0.186
地震	3.003	4.739	1.000	1.000	3.745	4.333	4.490	4.000	4.467	5.000	0.478
崩塌	1.212	0.581	0.267	0.231	1.000	1.000	3.235	2.000	3.706	3.667	0.183
滑坡	0.417	0.333	0.223	0.250	0.309	0.500	1.000	1.000	3.209	3.333	0.098
泥石流	0.318	0.333	0.215	0.200	0.270	0.273	0.312	0.300	1.000	1.000	0.055

C.I.= 0.079 C.R.=0.071 < 0.1 (一致性可以接受)

各层的权重如表 5 所示, 表 5 最后一列的权重数据就是各类灾害风险指标的评价权重。

表 5 A—C 层总排序权重计算

Table 5 Weight calculations of A—C total sorts

B—C 层	A—B 层	气象灾害	地震地质灾害	人为灾害	A—C 层
			0.351	0.491	0.158
暴雨		0.255	—	—	0.088
洪水		0.480	—	—	0.171
风暴潮		0.265	—	—	0.095
海水入侵		—	0.187	—	0.092
地震		—	0.477	—	0.221
崩塌		—	0.184	—	0.089
滑坡		—	0.096	—	0.049
泥石流		—	0.056	—	0.026
火灾爆炸		—	—	0.764	0.132
化工污染		—	—	0.236	0.037

3 灾害的风险指标计算

在本文中, 对于灾害的风险指标计算旨在得到指标 L_i 的值。由于具体的灾种不同, 因此计算方法相差是很大的。本文以给水管道的地震灾害为例, 具体介绍灾害的风险指标计算。

对于风险指标的取值, 同样采取层次分析法。首先对分目标层指标进行比较, 即对场地类型、管道直径、建造年代、接头形式、管材、是否位于事故多发区、场地影响等 7 类进行比较 (冯启民, 2006; 庄丽, 2007), 形式与表 1 类似; 然后对影响因素的指标进行比较, 形式与表 3 类似, 唯一不同点是在此表格中的数值不是人数, 而是在 [0, 1] 区间的选择

值。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，形式与表 3、表 4、表 5 类似。通过上述计算最终可以得到各个因素具体指标的值，即地震风险指标 d 。

利用下面的公式 (2)，可得到地震风险指标 L_E ，并以此来判定地震地质灾害的风险：

$$L_E = \sum_{j=1}^7 \prod_{k=1}^{2-6} d_{jk}^{\delta_{jk}} \quad (2)$$

式中， j 为影响因素的类别，共 7 类； 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标； $\delta_{jk} = \begin{cases} 0, & \text{当管道性质属于 } j \text{ 因素下非第 } k \text{ 项时;} \\ 1, & \text{当管道性质属于 } j \text{ 因素下第 } k \text{ 项时。} \end{cases}$

类似的，可以得到其它灾害以 L_i 表示的风险值。

4 给水管网综合防灾规划的应用

通过以上的计算，可以由式 (1) 得到综合灾害指标 L 。在计算综合灾害指标时，可以对各个灾害风险评价价值与权重的乘积进行排序，得到对该要素（管段、线路等给水管道的组成部分）影响最大的主导灾害，从而进一步进行主导灾害的区划。

在得到综合灾害指标后，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，综合灾害指标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给水管网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给水管网综合防灾规划中得到了实际应用（冯启民，2007），其中综合防灾规划的局部如图 2 所示。采取的风险判定准则与建议见表 6。



图 2 给水管网综合防灾规划的局部图
Fig. 2 Local map of W\water supply pipeline comprehensive disaster prevention plan

表 6 风险判定准则与建议

Table 6 The criterion for risk evaluation and suggestion

综合灾害指标 L 范围	破坏风险	待建管道规划建议	已建管道改造建议
$0 < L \leq 0.3$	小	正常设计	正常使用
$0.3 < L \leq 0.6$	中	加强抗灾设计	防灾加固
$0.6 < L \leq 1$	大	复线式设计，加强盈余度	复线式改造，加强盈余度

具体的防灾规划或改造建议方案如下：

(1) 刚性承插接口的灰口铸铁管道抗灾性能较差，建议采用较好的管材，如钢管、PVC 管。

(2) 增加管道的柔性连接, 以提高满足位移的能力, 同时根据管网修复准则, 建议在原有管道进行检修更新时, 使用柔性接口代替刚性承插接口, 以提高管网的抗震能力。在管道与附近连接处及构筑物或设备连接处尤其如此。

(3) 增加分割措施, 在必要处增加闸阀, 以便分割遭受破坏严重的管段, 避免影响管网整体运行功能, 同时为灾后抢修创造条件。

(4) 对于部分区域在设防水准下, 存在处于填挖区、抗震能力薄弱、多发洪涝灾害等严重问题, 建议进行复线式改造, 或在设计中将该地区的管道设计成复线式结构, 以提高该管段的综合防灾能力的盈余度。

5 结语

本文提出了一种城市给水管道综合防灾规划的决策方法, 该方法利用综合灾害指标的计算来获得综合防灾规划的决策依据。在综合灾害指标的计算过程中, 采用层次分析法, 得到了 10 种灾害最终的评价权重, 同时以地震地质灾害影响因素识别和地震地质灾害风险指标的计算为例, 给出了潜在灾害的风险指标计算。最后以综合灾害指标为重要衡量标准, 结合给水管道功能上的布局要求和系统的整体性要求, 在烟台市开发区给水管道综合防灾规划中进行了实际应用, 完成了给水管道的综合防灾规划。本文提出的方法, 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。

参考文献

- 冯启民, 2006. 东营市抗震防灾规划. 青岛: 中国海洋大学.
- 冯启民, 2007. 烟台经济技术开发区综合防灾规划. 青岛: 中国海洋大学.
- 高杰, 2008. 给水工程综合防灾规划空间决策支持系统研究. 青岛: 中国海洋大学.
- 金磊, 2005. 城市生命线系统防灾备灾能力亟待提高. 中国建筑学报, (4): 4—6.
- 童林旭, 2000. 城市生命线系统的防灾减灾问题. 城市发展研究, (3): 8—12.
- 朱坚鹏, 2005. 基于 AHP 住宅区公共服务设施评价体系研究. 杭州: 浙江大学.
- 庄丽, 2007. 城市居住区抗震防灾规划研究. 青岛: 青岛海洋大学.
- Grigg Nell S., 2003. Water utility security: multiple hazards and multiple barriers. *Journal of Infrastructure Systems*, **9** (2): 81—88.
- Hoshiya Masaru, Yamamoto Kinya, 2002. Redundancy index of lifelines systems. *Journal of Engineering Mechanics*, **128** (9): 961—968.
- Pitilakis Kyriazis, Alexoudi Maria et al., 2006. Earthquake risk assessment of lifelines. *Bulletin of Earthquake Engineering*, **4** (4): 365—390.

Study on Decision-Making of Water Supply Pipeline Comprehensive Disaster Prevention Plan and Its Application

Guan Youhai, Zhang Yuan and Wang Yao

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

Abstract This paper proposes a decision-making approach for urban water supply pipeline comprehensive disaster prevention planning. In our approach the comprehensive disaster index is the basis of the decision-making for the comprehensive disaster prevention plan. In computation, the analytic hierarchy process is applied to get the final evaluating weights of ten kinds of disasters. The risk indicators of potential disasters are computed from two examples, which are the identification of earthquake disaster influencing factors and the computing of earthquake disaster risk indicators. Finally, taking Yantai Development Zone as a case study, we conduct the water supply pipeline comprehensive disaster prevention planning by putting the comprehensive disaster index as an important measure as well as considering the functional layout requirements of water supply pipeline and the system integrity.

Key words: Water supply pipeline; Lifeline networks; Comprehensive disaster prevention; Analytical hierarchy process