

层次分析法在地质灾害危险性评估中的应用

王国良

(天津市地质调查研究院,天津 300191)

摘 要:尝试应用层次分析法对地面沉降危险性程度指标进行量化分级,为地质灾害评估提供统一的分级标准。

关键词:地面沉降;评估;层次分析法

当前,天津市地质灾害评估工作正在全面开展,地面沉降是本市最主要的地质灾害。在评估工作中对其危险性程度的划分尚无统一标准,以沉降速率或累计沉降量划分均不全面,各评估单位的分级数值也不统一,评审报告时曾出现 3 个报告 3 个分级标准。难以给建设单位和规划部门提供系统的量化的指标,用来科学决策。尝试应用层次分析法对地面沉降危险性程度指标进行量化分级。为地质灾害评估提供统一的分级标准。

1 目前对地面沉降危险性程度的划分标准

天津市的评估单位目前多用沉降速率来划分地面沉降危险性程度,见表 1。

表 1 天津市地面沉降危险性分级表

地面沉降速率(mm/a)	危险性分级
0~30	小
30~50	中等
>50	大

浙江省采用累计地面沉降量作为分级标准,见表 2。采用沉降面积和累计沉降量作为分级标准,见表 3。

表 2 浙江省地面沉降危险性分级表

累计地面沉降量(mm)	危险性分级
0~300	小
300~800	中等
>800	大

表 3 地质灾害灾变等级划分

灾种	指标	特大型	大型	中型	小型
地面沉降	沉降面积(km ²)	>500	500~100	100~10	<10
	累计沉降量(m)	>2.0	2.0~1.0	1.0~0.5	<0.5

上述几种分级方法各有侧重,但具体到评估工作中,工程所在的地质环境、工程的类型、工程级别等等因素的存在增加了分级的复杂性。如:线型工程(高速公路)和点状工程(变电所)的危险性分级,如果单纯用沉降速率或累计沉降量对危险性程度分级,往往以偏概全,人为的扩大或减小了地面沉降的危险性。同样的沉降速率,点状工程由于是基础共同沉降,不至于出现不均

匀沉降,危险性较小。线型工程则不同,局部沉降速率即使较小,但存在全线沉降速率不同的情况,必然产生不均匀沉降现象。危险性比点状工程要大。所以单项的分级标准不能为建设单位和规划部门提供决策的科学依据。现实工作迫切需要系统的分级标准和方法。层次分析法就是初步的探索和尝试。

2 用层次分析法进行地面沉降危险性分级

2.1 层次分析法

层次分析法简称为 AHP 法。它是由美国著名运筹学家 T.J. Satay 在 20 世纪 70 年代初提出来的,近年来在许多领域得到广泛应用,取得了显著成果。其基本方法是对于一个包括多方面因子而又难以准确量化的复杂系统进行分析评价时,可以根据各种因子之间的关系,理顺组合方式和层次,据此建立系统评价的结构模型和数学模型;对模型的各种模糊性因子,根据它们对于影响对象或作用目标的影响程度,通过专家评判确定量化指标或者标度指标,然后根据评价模型的需要,通过判断矩阵逐项或逐层得出各方面因子的作用权重或指标数值,最后计算出最高层次的评价目标值。运用层次分析法,大体上可按下面 4 个步骤进行:

- (1) 分析系统中各因素间的关系,建立系统的递阶层次结构;
- (2) 对同一层次的各元素关于上一层次中某一准则的重要性进行两两比较,构造两两比较的判断矩阵;

假定上一层次元素 C_k 作为准则,对下一层次元素 A_1, A_2, \dots, A_n 有支配关系,我们的目的是在准则 C_k 之下按它们的相对重要性赋予 A_1, A_2, \dots, A_n 相应的权重。对于权重的确定, AHP 法所用的是两两比较的方法。在这一步中,决策要反复回答问题:针对准则 C_k ,两个元素 A_i 和 A_j 哪个更重要些,重要多少,需要对重要多少赋予一定数值。这里使用 1—9 的比例标度,它的意义是:

- 表示两个元素相比,具有同样重要性;
- 表示两个元素相比,一个元素比另一个元素稍微重要;
- 表示两个元素相比,一个元素比另一个元素明显重要;
- 表示两个元素相比,一个元素比另一个元素强烈重要;
- 表示两个元素相比,一个元素比另一个元素极端重要。

、 、 、 为上述相邻判断的中值。

因素 i 与 j 比较得标度 A_{ij} , 则因素 j 与 i 比较的标度 $A_{ji} = 1/A_{ij}$

- (3) 由判断矩阵计算被比较元素对于该准则的相对权重,并进行判断矩阵的一致性检验;

(4) 计算各层次对于系统的总排序权重, 并进行排序 (见表 4)。

排序, 其综合排序见表 11 ~ 表 13。

表 4 各层次对于系统的总排序权重排序

层次 A	A ₁	A ₂	...	A _m	B 层次总排序数值
层次 B	a ₁	a ₂	...	a _m	
B ₁	b ₁₁	b ₁₂	b _{1m}	$\sum_{j=1}^m a_j b_{1j}$
B ₂	b ₂₁	b ₂₂	b _{2m}	$\sum_{j=1}^m a_j b_{2j}$
.....
B _n	b _{n1}	b _{n2}	b _{nm}	$\sum_{j=1}^m a_j b_{nj}$

类似地, 当 $CR < 0.1$ 时, 认为判断矩阵具有满意的一致性, 否则就需要调整判断矩阵的元素取值, 使之具有满意的一致性。

2.2 层次分析法用于地面沉降危险性评价指标的权重值确定

2.2.1 建立问题的递阶层次

根据天津市地质调查研究院多年的地面沉降研究成果, 结合《地质灾害防治条例》初步归纳建立递阶层次 (见图 1)。

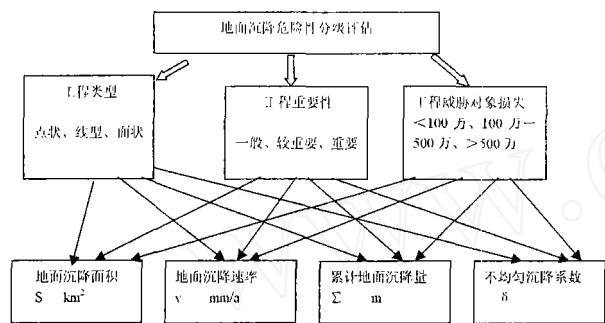


图 1 地面沉降危险性评估递阶结构示意图

2.2.2 构造两两比较矩阵并判断矩阵的一致性

运用 T.L. Saaty 的 1 - 9 标度, 两两比较得到如下判断矩阵 (表 5 ~ 表 10), 经检验判断矩阵的 $CR < 0.1$, 认为判断矩阵具有满意的一致性。

表 5 工程类型判断矩阵

工程类型	点状工程	线型工程	面状工程	i
点状工程	1	1/3	1/4	0.13
线型工程	3	1	1/2	0.34
面状工程	4	2	1	0.53

表 6 工程重要性判断矩阵

工程重要性	一般工程	较重要工程	重要工程	i
一般工程	1	1/2	1/3	0.16
较重要工程	2	1	1/2	0.30
重要工程	3	2	1	0.54

2.2.3 权重值分配

按照层次分析法的第四步, 根据上面的判断矩阵进行分类

表 7 工程威胁对象损失判断矩阵

损失类型	<100 万	100 ~ 500 万	> 500 万	i
<100 万	1	1/2	1/3	0.16
100 万 ~ 500 万	2	1	1/2	0.30
> 500 万	3	2	1	0.54

表 8 点状工程、一般性工程、损失小于 100 万判断矩阵

沉降特征	沉降面积	沉降速率	累计沉降量	沉降不均匀系数	i
沉降面积	1	1/2	1/2	1/3	0.12
沉降速率	2	1	1	1/2	0.23
累计沉降量	2	1	1	1/2	0.23
沉降不均匀系数	3	2	2	1	0.42

表 9 线型工程、较重要工程、损失 100 万 ~ 500 万判断矩阵

沉降特征	沉降面积	沉降速率	累计沉降量	沉降不均匀系数	i
沉降面积	1	1/2	1/2	1/4	0.11
沉降速率	2	1	1	1/2	0.22
累计沉降量	2	1	1	1/2	0.22
沉降不均匀系数	4	2	2	1	0.45

表 10 面状工程、重要工程、损失大于 500 万判断矩阵

沉降特征	沉降面积	沉降速率	累计沉降量	沉降不均匀系数	i
沉降面积	1	1	1	1/4	0.16
沉降速率	1	1	1	1/2	0.19
累计沉降量	1	1	1	1/2	0.19
沉降不均匀系数	4	2	2	1	0.46

表 11 工程类型综合权重

工程类型	点状工程	线型工程	面状工程	总排序数值
工程类型权重	0.13	0.34	0.53	
沉降面积	0.12	0.11	0.16	0.13
沉降速率	0.23	0.22	0.19	0.21
累计沉降量	0.23	0.22	0.19	0.21
沉降不均匀系数	0.42	0.45	0.46	0.45

表 12 工程重要性综合权重

工程重要性	一般工程	较重要工程	重要工程	总排序数值
工程重要性权重	0.16	0.30	0.54	
沉降面积	0.12	0.11	0.16	0.13
沉降速率	0.23	0.22	0.19	0.21
累计沉降量	0.23	0.22	0.19	0.21
沉降不均匀系数	0.42	0.45	0.46	0.45

表 13 工程威胁对象损失综合权重

工程类型	<100 万	100 ~ 500 万	> 500 万	总排序数值
损失权重	0.16	0.30	0.54	
沉降面积	0.12	0.11	0.16	0.13
沉降速率	0.23	0.22	0.19	0.21
累计沉降量	0.23	0.22	0.19	0.21
沉降不均匀系数	0.42	0.45	0.46	0.45

综上所述,地面沉降危险性评估时,考虑工程类型、工程重要性、工程威胁对象要素后,四个主要沉降特征的权重值分别为:沉降面积 0.13、沉降速率 0.21、累计沉降量 0.21、不均匀沉降系数 0.45。

2.3 用层次分析法确定的分级指标和标准

应用层次分析法建立的危险性指数计算模型为:

$$W = \sum_{i=1}^n w_i \cdot Q_i$$

式中:W——危险性指数;

w_i ——控制地质灾害危险程度的*i*类因素;

Q_i ——控制地质灾害危险程度的*i*类因素的权重。

在天津地区控制地面沉降危险程度的因素为上节提到的四大沉降特征:沉降面积、沉降速率、累计沉降量、不均匀沉降系数。

不均匀沉降系数尝试作如下定义:

不均匀沉降系数(\bar{v}):根据沉降速率和累计沉降量等值线图,分别算出单位长度的变化量的平均值。

$$\bar{v} = \bar{v} \cdot \bar{s} / 100 \quad (1)$$

$$\bar{v} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{v_i \times 10^6}{L_i} \right); \bar{s} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{s_i \times 10^6}{L_i} \right)$$

式中: \bar{v} 、 \bar{s} ——平均沉降速率和平均累计沉降量;

n ——统计个数;

v_i 、 s_i ——相邻等值线间的速率变化量和累计沉降量变化量,mm/a,mm;

L ——相邻等值线间距,km。

为计算地面沉降危险性指数,各沉降因素应按表 14 取值,然后乘以各自的权重,再累加即得到指数值。根据表 15 可进行评估分级。

表 14 沉降因素取值标准表

因素取值	沉降面积 (km ²)	沉降速率 (mm/a)	累计沉降量 (mm)	不均匀 沉降系数
1(小)	< 50	< 30	< 300	< 3
2(中)	50 ~ 500	30 ~ 50	300 ~ 800	3 ~ 5
3(大)	> 500	> 50	> 800	> 5

根据相关研究成果,结合实际评估工作经验,初步确定分级标准如表 15。

2.4 层次分析法分级标准和其他分级标准在评估工作中的比较

2.4.1 工程实例中的沉降特征

线型工程:京沪高速公路一期支线。

沉降速率:

$$\begin{aligned} v &= (55 \text{ mm/a} \times 28 \text{ km} + 60 \times 33 + 55 \times 16 + 45 \times 28 + 55 \times 16 \\ &+ 45 \times 10 + 35 \times 24) / (28 + 33 + 16 + 28 + 16 + 10 + 24) \\ &= 7830 / 155 = 50.52 \text{ mm/a} \end{aligned}$$

累计地面沉降量

$$\begin{aligned} s &= (750 \text{ mm} \times 18 \text{ km} + 850 \times 12 + 950 \times 11 + 1000 \times 15 + 950 \\ &\times 22 + 850 \times 23 + 950 \times 15 + 800 \times 10 + 600 \times 30) / (19 + 12 + 11 + \\ &15 + 22 + 23 + 15 + 10 + 30) = 130600 / 157 = 832 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{平均沉降速率: } v = (10 / 28 + 10 / 16 + 10 / 28 + 10 / 10) / 4 = 0.59$$

$$\text{平均累计沉降量: } s = (100 / 19 + 100 / 12 + 100 / 11 + 100 / 22 + 100 / 23 + 100 / 15) / 6 = 6.37$$

$$\text{不均匀沉降系数: } = 6.37 \times 0.59 = 3.76$$

$$\text{沉降面积: } 64 \text{ km}^2$$

表 15 地面沉降危险性分级表

危险性指数	危险性等级
$0 < W < 2$	小
$2 < W < 3$	中
$W > 3$	大

2.4.2 用层次分析法评估分级

根据沉降特征,查表 3 得:沉降面积取值 2;沉降速率取值 3;累计沉降量取值 3;不均匀沉降系数取值 2。

$$W = 2 \times 0.13 + 3 \times 0.21 + 3 \times 0.21 + 2 \times 0.45 = 2.42$$

查表 3 得:地面沉降危险性为中等。

2.4.3 以往评估时单一用沉降速率分级

$v = 50.52 > 50$ 定为危险性大。专家评审报告时指出:“单纯依据沉降速率定为危险性大,不全面,应综合考虑各种因素定为中等较符合实际”。

通过对比可知,用层次分析法评估地面沉降危险性较全面。

3 结论和建议

在地质灾害评估工作中,现状评估、预测评估、综合评估和适宜性评价都可用层次分析法把定性的因素定量化,使评估工作更加科学和全面,能够给规划部门和建设单位一个量化的指标,具有可操作性。应用层次分析法综合确定地面沉降危险性等级,刚刚开始探索,理论和方法均不完善,相关的影响因素和权重都有待进一步探讨,恳请专家学者不吝赐教。

(上接第 285 页)

[5] E. Broch, S. Sorheim. Experiences from planning, Construction and Supporting of a road tunnel subjected to heavy rockbursting. Rock Mechanics And Rock Engineering, 1987, 17(1): 15 ~ 35.
[6] 邹成杰. 地下工程中岩爆灾害发生规律与岩爆预测问题的研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1992, 3(4).
[7] 李强, 等. 鄂西山区地下开采的环境效应及其预测评价. 见: 典型人类工程活动与地质环境相互作用研究(一)[M]. 西南交通大学出版社, 1994.

[8] 侯发亮, 等. 圆形隧道中岩爆的判据及防治措施. 岩石力学在工程中的应用[M]. 北京: 知识出版社, 1989: 195 ~ 201.
[9] 谭以安. 模糊数学综合评判在地下洞室岩爆预测中的应用[A]. 第二次全国岩石力学与工程学术会议论文集[C]. 北京: 知识出版社, 1989: 247 ~ 253.
[10] 王元汉, 等. 岩爆预测的模糊数学综合评判方法[J]. 岩石力学与工程学报, 1998, 17(5).