

层次因子综合预测法在岩溶地面塌陷地质灾害预测分析评估中的应用

宾红卫

(桂林水文工程地质勘察院,广西 桂林 541002)

摘 要:岩溶地面塌陷地质灾害在碳酸盐岩区广泛分布。在对岩溶地面塌陷地质灾害的预测评估中,而半定量的评价方法较为实用。详细介绍了如何运用层次因子综合预测法对岩溶地面塌陷进行预测分析评估,此方法简单易用,值得推广。

关键词:岩溶地面塌陷;层次因子;预测评估

中图分类号:P694 **文献标识码:**A **文章编号:**1004—5716(2010)04—0111—05

1 概述

桂林市作为国家历史文化名城和国家重点风景游览城市,“山水甲天下”的桂林市在国内外享有较高的知名度。桂林市临桂新城为桂林市城市向西发展的重要组成部分。

桂林临桂新城区位于桂林市西侧临桂县城,距桂林市中心仅10km,该项目规划建设用地总面积约56km²,地理坐标为:东经110°07'35″~110°12'59″,北纬25°11'12″~25°17'07″。城区内有湘桂铁路、桂柳高速公路、国道G321线、机场路、万福路、两江国际机场等发达的交通网络与市区及外部联系,城区内已建成大学路、世纪大道等城区主干道,交通十分方便。由于评估区岩性以纯碳酸盐岩为主,其岩溶地面塌陷为地质灾害危险性预测评估的主要灾种。在对岩溶地面塌陷地质灾害的预测评估中,我们运用了层次因子综合预测法对岩溶地面塌陷进行预测分析评估,此方法简单易用,值得推广。

2 评估区地质简况

临桂新城地貌形态为溶蚀-堆积孤峰平原地貌。评估区在区域上位于一向斜构造盆地中,盆地周边为中上泥盆统及下石炭统的碎屑岩组成的缓坡丘陵地形,构成一向斜汇水盆地,盆地中部为中泥盆统至下石炭统连续沉积的碳酸盐岩,总厚度大于2461m。岩性主要为灰岩、次为白云质灰岩和白云岩。其酸不溶物小于3%,比溶解度0.8~1.2。这种特殊的水文地质结构场地为岩溶作用提供了极为有利的条件。

评估区的断裂系统较为复杂,构造线以南北向、北北东向为主。南北向断裂多出于背斜轴部,呈压性或压扭性,分布于分水岭附近。北北东向断裂控制了峰林

和谷地的走向。特别是向斜盆地中缓倾斜的层面裂隙和垂直节理裂隙系统构成的水循环系统,为水系密度增大和地层渗透性增强,为溶蚀水与可溶岩的接触时间和接触面积,为山体岩石沿节理溶蚀和崩塌,均创造了良好的环境。

桂林是广西降雨和暴雨中心之一,多年平均降雨量达1889.4mm,其方解石饱和指数为-3.33~-4.18。年平均气温18.8℃,地表水温19.2℃,地下水温19~21℃。植被及土壤微生物供应二氧化碳丰富。因此,无论是大气降水或向斜盆地中汇集的外源水,其溶蚀、侵蚀和搬运能力都很强。

3 岩溶地面塌陷预测

岩溶地面塌陷影响因素众多,各因素之间也相互制约和影响。然而就塌陷的本质和形成条件看,岩溶塌陷产生与否主要由自然因素所决定,这些因素主要有覆盖层特征、岩溶发育程度、地质构造和地下水活动。它们共同构成了影响岩溶塌陷的基本因素,只要具备了塌陷的基本条件,岩溶塌陷就可能形成,只是时间问题。而地表水和人类工程活动的影响,主要起加速和引发作用,工程建设过程中可能促进塌陷形成的作用有:基础施工尤其是桩基础施工振动;基坑和开采抽排地下水;施工机械的荷载与振动;挖填土层使覆盖层变薄或增厚。建成使用过程中可能促进塌陷形成的作用有车辆荷载及振动、加荷堆载、抽取地下水等。这些作用均是通过改变塌陷形成的基本条件而加速塌陷形成。在塌陷预测时,由于影响因素错综复杂且没有截然的界限值,具有明显的模糊性,难以用准确的数学描述工具严密地刻画出岩溶地面塌陷的孕育-发展-产生过程,但各影响因素之间又具有明显的相关性和归类性。因此,

难以采用定量方法对岩溶地面塌陷进行评价,而半定量的评价方法较为实用,本次评估采用层次因子综合预测法对岩溶地面塌陷的可能性进行分析评价。

3.1 层次因子综合预测法

3.1.1 判别因子的确定

岩溶地面塌陷总是在若干特定的条件下产生的,而某种条件又是由若干因子所组成。通过对评估区地质

环境条件分析,选取岩溶条件(岩溶地层、岩溶发育程度)、覆盖层条件(土层厚度、岩性、结构)、构造条件(距断层距离、距褶皱距离、断层性质)、地下水条件(地下水与基岩面距离、地下水位变幅)、地形地貌条件(地形变化、地貌条件)等 5 个条件共 12 个因子作为模糊层次评判预测因子,由此得出评估区岩溶地面塌陷预测的层次结构模型,如图 1 所示。



图 1 预测因子层次结构模型分析图

A - 目标层;B - 条件层;C - 因子层

3.1.2 预测因子权值的确定

判断矩阵是层次分析中权重确定的重要一步,判断矩阵的元素反映了研究者对影响因子之间相对重要性的认识,根据该区岩溶塌陷条件及影响因素分析,结合专家经验利用 A. L. Satty 提出的“1 - 9 标度”法,分别列出图 2 所示的预测因子层次结构中条件层和因子层

的判断矩阵(岩溶塌陷的基本条件相对于预测岩溶塌陷目标的相对重要性比较和针对各基本条件的相关因子之间相对重要性的比较)。计算各判断矩阵的特征向量,经归一化后即得出岩溶塌陷各基本条件及相关因子的相对权重值,再通过条件层与因子层相对权重的连乘,可得到各预测因子的计算权重值(如图 2 所示)。

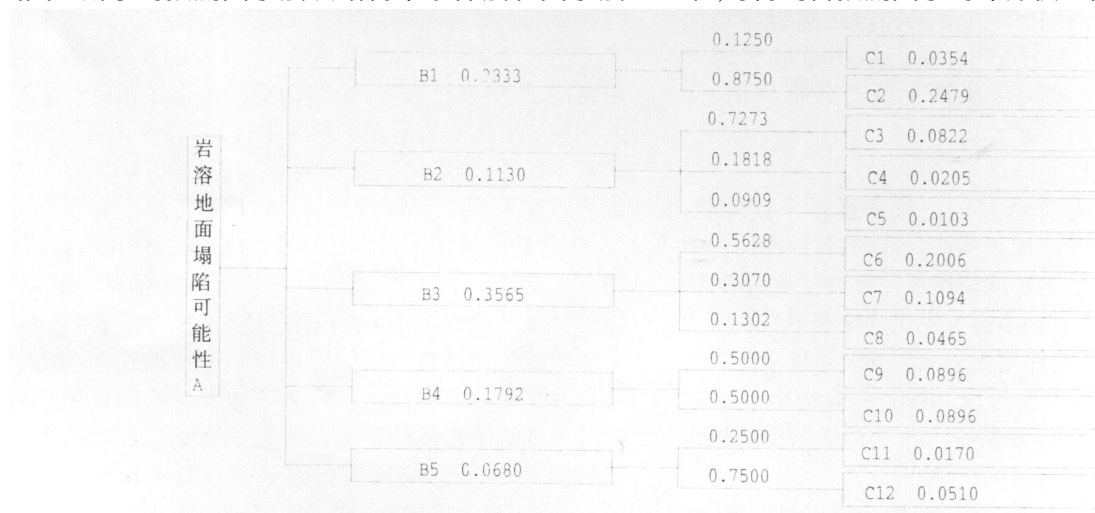


图 2 预测因子权重图

A - 目标层;B - 条件层;C - 因子层

3.1.3 预测因子等级划分和取值

各预测因子的发育程度及其与预测单元的相对位置不同,对预测单元岩溶地面塌陷稳定性的影响程度也

不尽相同。根据评估区岩溶地面塌陷形成条件和影响因素分析,确定本次预测的 12 个因子等级指标,如表 1 所示。

表 1 岩溶地面塌陷模糊评判因子等级划分表

指标			分级和取值		
条件层	因子层	代号	稳定级(1)	基本稳定级(2)	不稳定级(3)
岩溶条件 B1	岩溶地层	C1	无	尧云岭组 C1y、鹿寨组 C1lz	融县组 D3r
	岩溶发育程度	C2	弱发育	中等发育	强发育
	土层厚度(m)	C3	>16(或=0)	8~16	<8
覆盖层条件 B2	土层岩性	C4	砂砾石、残积粘土	残坡积红粘土	粉质粘土、含砾粉质粘土
	土层结构	C5	无或多元	二元	一元或混杂
	距断层距离(m)	C6	>400	400~200	<200
构造条件 B3	距褶皱轴距离(m)	C7	>800	800~400	<400
	断层性质	C8	压性	压扭性、扭性	张扭性、扭性
	地下水与基岩面距离(m)	C9	>10	10~5	<5
地下水条件 B4	地下水变幅(m)	C10	<0.75	0.75~1.50	>1.50
	地形变化	C11	山头、坡地	平坦地	低洼地、沟谷
地形地貌条件 B5	地貌单元	C12	峰丛、岗丘	阶地	峰林平原、洼地、谷地

3.1.4 预测因子等级隶属函数确定

预测因子分定性指标和定量指标两类。定性指标是离散性取值,其隶属函数为其相应指标所对应的级别;定量指标常常是连续性区间取值,各级别虽有界限值,但实际上往往呈过渡状态,对定量指标隶属函数的取值原则是在各级别界限值上、下限各取 1/4 区间值作为各级别界限值的过渡函数,分属相邻级别共有;其余定量指标区间值隶属于相应级别。

3.1.5 根据评估区岩溶地面塌陷的分布特征

采用模糊数学方法,将预测层次结构模型(见图 2)中的预测目标 A 划定评价集为:

$$A = \{ \text{稳定级}(a_1), \text{基本稳定级}(a_2), \text{不稳定级}(a_3) \} \quad (1)$$

相应的条件层各预测指标对 A 的评价模糊子集为:

$$B_i = \{ b_{i1}, b_{i2}, b_{i3}, b_{i4}, b_{i5} \} \quad (2)$$

相应的因子层各预测指标对 A 的评价模糊子集为:

$$C_i = \{ c_{i1}, c_{i2}, c_{i3} \} \quad (3)$$

在所建立的模型中,基本条件层有 5 个评价指标,因子层有 12 个评价指标,则某评价单元 j 所构成的相应模糊子集为:

$$B_j = \{ B_1, B_2, B_3, B_4, B_5 \}^T \quad (4)$$

$$C_j = \{ C_1, C_2, C_3, \dots, C_{12} \}^T \quad (5)$$

利用层次分析法确定各层指标权重的模糊子集

W,对基本条件层:

$$W_B = \{ W_{b1}, W_{b2}, \dots, W_{b5} \} \text{ 且 } W_{bi} = 1 \quad (6)$$

对于因子层: $W_c = \{ W_{c1}, W_{c2}, \dots, W_{c12} \}$, 且:

$$W_{ci} = 1 \quad (7)$$

于是得到某预测单元 j 评价集的计算模型:

$$A_j = W_B B_j = W_c C_j = \{ a_1, a_2, a_3 \} \quad (8)$$

式中: a_1 ——稳定级;

a_2 ——基本稳定级;

a_3 ——不稳定级。

根据各单元评判结果,按最大隶属度原则,确定其所处单元的级别,然后再根据各单元的级别进行评估区稳定性预测分区评价。

本次评价首先划分岩溶区和非岩溶区,然后对岩溶区按地貌、地层岩性选取临桂新城区的 3 个有代表性的工程勘察作为评价单元,在苏桥工业园区选取一个工程勘察作为评价单元,从勘察资料中分别确定每个预测单元的所有指标实际值,确定各评价指标的隶属函数值,然后列出每个预测单元的隶属函数矩阵 C,再根据图 3 所确定的各评价因子权重 W_c ,运用模糊层次判别原理建立计算模型:

$$A_j = W_c C_j \quad (j=1, 2, 3, \dots) \quad (9)$$

计算出每个单元的模糊评价集: $A = \{ a_1, a_2, a_3 \}$

取最大值,该值所对应的级别即为该单元所处的级别,当 a_1 最大为稳定,当 a_2 最大为基本稳定,当 a_3 最

大为不稳定。

3.2 岩溶地面塌陷稳定性预测结果

(1) 桂林市港澳山庄工程勘察评价指标(因子层)实际值为: C_1 融县组, C_2 强发育, C_3 3.7m, C_4 含砾粉质粘土、粉质粘土, C_5 一元结构, C_6 600m, $C_7 > 800$ m, C_8 压扭性, C_9 2.2m, C_{10} 1.5m, C_{11} 平坦地, C_{12} 峰林平原。

(2) 临桂中学 E、F 栋教工宿舍楼工程勘察评价指标(因子层)的实际值为: C_1 融县组, C_2 强发育, C_3 4.9m, C_4 残积红粘土, C_5 一元结构, C_6 1100m, $C_7 > 800$ m, C_8 压扭性, C_9 1.6m, C_{10} 2.5m, C_{11} 平坦地, C_{12} 峰林平原。

(3) 桂林市机场路 K11 + 700 ~ K14 + 00 段工程勘察评价指标(因子层)的实际值为: C_1 尧云岭组, C_2 弱发育, C_3 1.96m, C_4 残积粘土, C_5 一元结构, $C_6 > 1100$ m, $C_7 > 800$ m, C_8 压扭性, C_9 3.9m, C_{10} 1.0m, C_{11} 平坦地, C_{12} 岗丘。

上述工程地段相应的判别因子模糊子集如下所示:
港澳山庄判别因子模糊子集:

$C_1 =$	0.000	0.000	1.000
	0.000	0.000	1.000
	0.000	0.000	1.000
	0.000	0.000	1.000
	0.000	0.000	1.000
	1.000	0.000	0.000
	1.000	0.000	0.000
	0.000	1.000	0.000
	0.000	0.000	1.000
	0.000	0.050	0.950
	0.000	1.000	0.000
	0.000	0.000	1.000

临桂中学判别因子模糊子集:

$C_2 =$	0.000	0.000	1.000
	0.000	0.000	1.000
	0.000	0.000	1.000
	0.000	1.000	0.000
	0.000	0.000	1.000
	1.000	0.000	0.000
	1.000	0.000	0.000
	0.000	1.000	0.000
	0.000	0.000	1.000
	0.000	0.000	1.000
	0.000	1.000	0.000
	0.000	0.000	1.000

机场路勘察判别因子模糊子集

$C_3 =$	0.000	1.000	0.000
	1.000	0.000	0.000
	0.000	0.000	1.000
	1.000	0.000	0.000
	0.000	0.000	1.000
	1.000	0.000	0.000
	1.000	0.000	0.000
	0.000	1.000	0.000
	0.000	0.000	1.000
	0.000	1.000	0.000
	0.000	1.000	0.000
	1.000	0.000	0.000

根据图 2 结果,因子层相对于目标层的权重值为 W_c :

$$W_c = \{0.0354, 0.2479, 0.0822, 0.0205, 0.0103, 0.2006, 0.1094, 0.0465, 0.0896, 0.0896, 0.0170, 0.0510\}$$

则目标隶属函数计算结果分别为:

$A_1 = W_c C_1 = \{0.31, 0.07, 0.62\}$, 取最大值,其相应的稳定级别为不稳定,表明港澳山庄地段岩溶地面塌陷稳定性为不稳定,易产生岩溶地面塌陷,预测发生岩溶地面塌陷的可能性大。

$A_2 = W_c C_2 = \{0.31, 0.080, 0.61\}$, 取最大值,其相应的稳定级别为不稳定,表明临桂中学地段岩溶地面塌陷稳定性为不稳定,易产生岩溶地面塌陷,预测发生岩溶地面塌陷的可能性大。

$A_3 = W_c C_3 = \{0.63, 0.19, 0.18\}$, 取最大值,其相应的稳定级别为稳定,表明机场路 K11 + 700 ~ K14 + 00 地段岩溶地面塌陷稳定性为稳定,不易产生岩溶地面塌陷,预测发生岩溶地面塌陷的可能性小。

4 结束语

从地质灾害危险性现状和评估区地质环境条件复杂程度分析,并结合上述预测评价结果,可以确定:在自然条件下,临桂新城区沙塘 - 庄里 - 平顶山一带及以东地区为纯碳酸盐岩区,岩溶中等 - 强发育,岩面起伏变化大,岩溶个体形态溶沟(槽)、溶洞较发育,地下水丰富、埋藏浅、活动强烈,土体工程地质性质较差,具备形成土洞条件,且第四系土层厚度不大,易发生岩溶地面塌陷,为不稳定区,预测发生岩溶地面塌陷的可能性中等;临桂新城区庙岭 - 蔡塘 - 秧塘一带及以西地区,为不纯碳酸盐岩区,岩性主要为泥灰岩,岩溶弱发育,岩面

(下转第 117 页)

相应递增,Sn 与 S 的含量出现正比关系(见表 2)。随着花岗岩的演化,最终形成了活跃于各演化阶段的钾、钠、锂、铷、铯等碱金属及硅、硫、氟等低熔点化合物的集

中。这种气液流体进一步使晚期花岗岩产生矿化蚀变,锡则向花岗岩演化的最后阶段,特别是蚀变阶段定向聚集。因此,晚阶段云英岩化花岗岩锡的丰度明显递增。

表 2 花岗岩中微量元素含量(ppm)^[1]

岩石类型	Li	Th	Cs	U	Rb	Zr	Ta	TR ₂ O ₃	Nb	Y	Ba	F	Sr	S	Mo	P ₂ O ₅	Sn
似斑状花岗岩	40	30	25	0	270	240	0	440	40	30	900	1150	420	250	0	1950	27
中粗粒花岗岩	90	40	30	15	525	130	0	235	40	50	250	700	120	300	0	300	45
萤石化中、粗粒花岗岩	65	50	45	25	615	125	5	295	60	110	0	1650	20	700	0	300	50

晚阶段中的含矿流体自下而上分带纯化、浓集,并不断向花岗岩的上部运移。因而花岗岩边部及岩体近侧围岩常发生云英岩化、白云母化、硅化、萤石化等矿化蚀变。黑云母中以类质同向存在的锡不断分离而进入热液,热液中的锡浓度不断增大。含矿热液经导矿空间向容矿空间运移,在构造的有利部位发生交代、充填、沉淀而最终形成锡矿体。因此,晚阶段中的中、粗、细粒黑云母花岗岩为成矿母岩;花岗岩中的黑云母、副矿物为锡的载体;云英岩化、白云母化等则为更重要的矿化蚀变。总之,在梁河锡矿区,花岗岩是成矿的先决条件。花岗岩化成因机理清楚的表明:锡矿化作用是花岗岩化过程中的一种表现形式,锡矿体则是这个过程在特定环境(构造破碎带)中的产物。锡矿化作用与花岗岩的演化有着继承性亲缘关系,花岗岩与成矿有着必然的专属性。

4 结论

综上所述,通过对矿区花岗岩分布特征、岩石矿物学和岩石化学特征的研究,我们可以得出梁河锡矿区的锡的富集与矿区中-粗粒黑云母二长花岗岩的分布具有密切的关系。矿区花岗岩不仅控制着锡矿化的分布,也为矿床的形成提供了必要的物质基础。

参考文献:

[1] 云南省梁河县来利山锡矿区老熊窝矿段地质报告[R]. 云南省地质矿产局第四地质大队,1996,10.

[2] 施琳,唐良栋,赵珉,等.腾冲-梁河地区原生锡矿床类型及成矿机理[J]. 云南地质,1991,10(3):290-322.

[3] 陈吉琛.滇西花岗岩类形成的构造环境及岩石特征[J]. 云南地质,1989,8(3):205-212.

[4] 云南省地质研究所锡矿组.滇西不同类型花岗岩及其与锡矿的关系[J]. 云南地质,1984,3(1):19-35.

[5] 唐良栋.腾冲-梁河地区来利山锡矿床成因类型探讨[J]. 云南地质,1992,3(11):283-288.

[6] 张理刚.稳定同位素在地质科学中的应用[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1985.

[7] 张兴润.三江东部锡矿带的花岗岩类和锡矿地质特征[J]. 云南地质,1987,6(1):14-29.

[8] 林文信.梁河来利山紫苏辉石花岗岩的地质特征及成因浅谈[J]. 云南地质,1987,6(1):83-87.

[9] 范承钧.云南锡矿带之划分及其区域成矿地质特点[J]. 云南地质,1988,7(1):1-12.

收稿日期:2009-03-03
第一作者简介:张苗红(1981-),女,新疆阿克苏人,工程师,主要从事地质找矿与土工环境地质工作。

(上接第 114 页)

起伏变化不大,岩溶个体形态溶沟(槽)、溶洞不发育,地下水贫乏,水位埋藏较深,活动不强烈,不易发生岩溶地面塌陷,为稳定区,预测发生岩溶地面塌陷的可能性小。

参考文献:

[1] 1:20 万桂林幅区域水文地质普查报告[R]. 广西地质矿产局.

[2] (1:5)~(1:10)万桂林市区水文地质工程地质调查报告[R]. 广西地质矿产局.

收稿日期:2009-02-20
作者简介:宾红卫(1974-),女,工程师,主要从事地质灾害危险性评估、岩土工程勘察、设计及施工工作。