

文章编号: 1005-0523(2016)02-0015-07

昌栗高速公路 K48+040-K53+582 段岩溶塌陷稳定性评价

邹长文, 郑明新

(华东交通大学土木建筑学院, 江西 南昌 330013)

摘要:以昌栗高速公路某段的岩溶发育为研究对象,在查明研究区地质环境条件的基础上,采用层次分析和模糊评判相结合的方法(AHP FUZZY),对研究区的岩溶塌陷易发程度进行评估,在岩溶塌陷风险定量评价方法方面进行探索。首先确定岩溶塌陷评估因子及其权重值,评估因子划分为溶洞发育条件、覆盖层条件、地形地貌条件、水文地质条件4类,再将这4类评价因子分成7个亚级评价因子;其次划分塌陷等级,将其分为4个等级,即稳定、基本稳定、较不稳定、不稳定;最后对研究区段进行岩溶稳定性风险评估。

关键词:岩溶;塌陷;层次分析法;风险评价

中图分类号:U416 **文献标志码:**A

DOI:10.16749/j.cnki.jecjtu.2016.02.003

岩溶地貌在我国分布较广,岩溶塌陷问题是最突出的地质灾害,是岩溶地区因岩溶作用而发生的一种地面变形和破坏的现象,岩溶塌陷的发生不仅仅会给交通运输、城市建设和人民生活带来严重的危害,而且还会恶化生态环境,影响各种资源的开发和利用,造成严重的经济损失和社会影响;因此,岩溶塌陷的风险性评估,对于防灾减灾具有重要的意义。近年来,有关岩溶塌陷这一地质灾害的调查研究成果很多。蒋小珍^[1]运用GIS的空间分析等功能,从地貌类型、盐酸盐岩类型、水文地质条件、人类活动和土地利用等方面对全国岩溶塌陷灾害进行了危险性评价;何书等^[2]运用模糊贴近度理论,结合研究区岩溶塌陷的特点及影响因素,建立岩溶塌陷易发性分级评价模型,有效地对江西瑞昌的武山铜矿区进行了岩溶塌陷易发性评估;赵德君等^[3]采用层次分析法构建了岩溶塌陷危险性模型,对武汉市阮家巷至陆家街区一带进行了塌陷危险性评价。国外的塌陷研究相对国内而言进展较快并多针对塌陷机理进行分析。Koutepov等^[4]利用GIS技术结合多种地质数据绘制了塌陷专题图,并对俄罗斯捷尔任斯克的岩溶塌陷产生原因进行分析;Heidari等^[5]对伊朗西部哈马丹地区中部平原进行了水文地质研究,分析了引发该区岩溶塌陷的致灾因素;Galve等^[6]利用地质地貌图和航片资料,评估了西班牙萨拉戈萨市塌陷区塌陷情况,并对塌陷灾害成因机理进行了分析。由此可以看出,目前对岩溶塌陷的相关研究已经取得显著进展,但尚须对已有研究成果进行完善。首先应当完善岩溶塌陷风险定量评价方法,岩溶塌陷实际上是一个受自然和人为因素共同影响的地质灾害,仍须在定量评价上继续研究;其次是岩溶塌陷风险等级评价标准。目前国内外对于岩溶塌陷风险评价标准的问题,研究成果相对还是比较少。在已有研究的基础上,本文以昌栗高速公路K48+040-K53+582段为研究对象,尝试在岩溶塌陷风险定量评价方法方面进行探索,将模糊评价方法和层次分析方法结合起来对岩溶地面塌陷做出综合评估。

收稿日期:2016-01-06

基金项目:国家自然科学基金项目(51568022);江西省高校科技落地计划项目(KJLD13036)

作者简介:邹长文(1989—),女,硕士研究生,研究方向为道路与铁道工程。

通讯作者:郑明新(1966—),男,教授,博士生导师,研究方向为岩土工程和道路工程。

1 评价区域地质环境条件

1.1 自然地理条件

江西省可溶岩出露面积 9 928 km², 隐伏面积 4 000 km², 约占全省总面积的 8.75%。根据岩溶分布状况, 江西省全境内可划分为“三带”和“三块”发育区。昌栗高速公路位于岩溶发育的萍乡至乐平发育带上, 该地区处于亚热带季风区域, 气候湿润温和, 雨量充沛, 盛夏至中秋前晴热干燥; 冬季阴冷但霜冻期短, 春秋季短, 冬季夏季长。年平均气温 17~17.7 °C, 极端最高气温 40.9 °C, 极端最低气温 -15.2 °C。年降雨量 1 600~1 700 mm, 降水日为 147~157 d, 年平均暴雨日 5.6 d, 年平均相对湿度为 78.5%。

1.2 地形地貌及地层岩性特征

南昌至上栗高速公路主要路线走廊带位于扬子准地台与华南褶皱系交接的江西省著名地质构造: 萍乡至乐平近东西向拗陷带内的西北边缘, 区内地层结构和岩性复杂, 地质构造发育, 如图 1 所示。

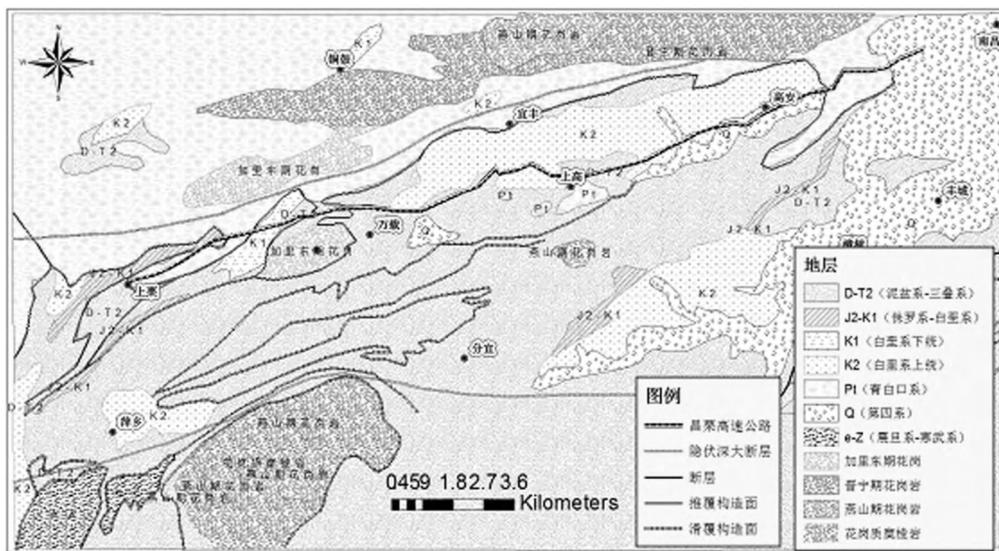


图 1 昌栗高速公路沿线地质图

Fig.1 Geological map along Nanchang-Shangli freeway

地质构造跨越两大单元, 隆起与拗陷复杂; 构造运动变质及沉积作用, 外加岩浆运动等具有多旋回性, 多阶段性和不平衡性, 继而形成了不同时期的碎屑物质和沉积环境, 故产生不尽相同的碳酸盐可溶岩类。受地区复杂地质条件的控制, 区内不良地质和特殊性岩土非常发育, 区内大面积分布多个年代的灰岩, 其稳定性比较差, 灰岩风化成因的红粘土多为高液限不良路基土。同时, 受地质构造控制, 区内地层近东西走向, 与路线呈小角度相交, 部分路段存在顺向坡。另外, 起点段花岗岩区风化岩体组成的边坡稳定性较差, 加上特殊的渗透和水理特性, 洼地基本发育厚层软土。

地形地貌对于岩溶发育的作用则是主要影响了地下水的补、径、排条件, 从山岭到盆地, 地下水由补给转向排泄, 由垂向运动转向水平运动。岩溶作用由垂向转向水平为主, 岩溶发育由弱变强; 因此, 谷地对岩溶的影响最大, 其岩溶最发育。

2 岩溶发育特征

2.1 岩溶发育特征

根据钻孔资料, 表层填土主要由松散的粉质黏土和灰岩碎石组成, 呈现红褐色。覆盖层主要由含砾粉质黏土和细角砾土组成, 并还有少量的红黏土和灰岩, 粉质黏性土呈黄褐色, 可塑。细角砾土则呈灰褐色略带黄褐色, 颗粒以灰岩、砂岩为主, 粘性土填充。岩溶顶板埋深 8.90~21.70 m。路线内岩溶分布地段 16 个钻孔中有 7 个钻孔揭露溶洞, 钻孔见洞率为 43.75%, 顶层溶洞埋深 8.90~18.60 m, 顶板灰岩厚度 0.10~3.30 m, 洞

高 1.10~5.90 m,溶洞多为半填充至填充状态,填充物红粘性土、角砾土及粗圆砾为主。

2.2 岩溶地质条件

工程沿线岩溶区土层岩性以粉质黏土为主,粉土和粗砂次之,其下灰岩发育有溶洞。区内地下水类型为松散岩类孔隙水和岩溶水,两者水力联系密切,在较多抽取岩溶水条件下,地下水径流速度快,地下水位下降变化大,易淘空灰岩上部松散土层形成土洞,土洞不断发育,顶板逐渐变薄,当顶板承载力小于上部土层自重或荷载时,会发生岩溶地面塌陷。

3 岩溶地面塌陷稳定性评价

岩溶地面塌陷是一种突发性的地质灾害,具有难于预测和突发性的特点。其稳定性与溶洞发育程度、覆盖层条件、地形地貌条件、水文地质条件等因素有关,在考虑主要影响因素的基础上,适当简化评价过程,同时要降低评价的任意性和模糊性,提高评价结果的科学性;因此,评价区域采用层次分析-模糊综合评判方法(AHP FUZZY)对岩溶地面塌陷做出综合评判,并依据评判结果进行岩溶地面塌陷发育强弱分区,进而对未来岩溶塌陷发展趋势做出预测与评价。

3.1 评价因子的确定

评价区域地质环境错综复杂,难以十分准确地把握岩溶塌陷的主要因素;因此选择岩溶塌陷产生和形成的主要因素,且充分利用野外实际调查的资料和钻探资料,将影响岩溶塌陷稳定性的影响因素(通常可用稳定系数 F_s 表示)表示成一系列影响参数的函数。不同的因素对地质灾害的影响程度是不同的,既不可能全部考虑所有的影响因素,又必须反映工程范围内的地质环境条件;因此,选取其中 4 个重要的影响因素作评价因子,如下:

$$F_s = \{U_1, U_2, U_3, U_4\} = \{\text{溶洞条件、覆盖层条件、地形地貌条件、水文地质条件}\}。$$

该评估多级模糊多级目标决策方法将 4 个子因素集用二级因素表示如下:

溶洞条件 $U_1 = \{X_{11}\} = \{\text{溶洞发育程度}\}$;

覆盖层条件 $U_2 = \{X_{21}, X_{22}\} = \{\text{覆盖层厚度、覆盖层岩性和结构}\}$;

地形地貌条件 $U_3 = \{X_{31}\} = \{\text{地面地貌特征}\}$;

水文地质条件 $U_4 = \{X_{41}, X_{42}, X_{43}\} = \{\text{岩溶地下水位及动态变化、岩溶水钻孔单口井涌水量、岩溶水位降深}\}。$

由此得出溶洞发育程度、覆盖层厚度、覆盖层岩性与结构、地面地貌特征、岩溶地下水位及动态变化、岩溶水钻孔单口井涌水量、岩溶水位降深 7 个亚级评价因子。

3.2 评价因子对岩溶塌陷稳定性的权重分析

影响因子对岩溶塌陷地质灾害影响的权重指各因子对地质灾害影响的重要程度,因于影响因素关系复杂,难以直接地确定而量化;因此,根据评价区域以往影响塌陷形成的控制因素重要性不同,并且考虑岩溶区域评价的经验,采用“九标度”层次分析法,即对两个因子相比较,1,3,5,7,9 分别表示第一个因子比第二个因子同等重要、稍微重要、明显重要、强烈重要、极端重要,而 2,4,6,8 则表示上述两相邻判断的中间值,比较结果见表 1。

计算判断矩阵 A 的最大的特征值 λ_{\max}

1) 计算判断矩阵每一行元素的乘积 M_i :

$$M_i = \prod_{j=1}^n a_{ij} (i=1, 2, \dots, n) = [8\ 820, 0.040, 0.0\ 004\ 762, 0.0\ 006\ 614, 112.5, 24.00, 3.333\ 3]^T \quad (1)$$

2) 计算 M_i 的 n 次方根 \bar{w}_i :

$$w_i = \sqrt[n]{M_i} = [3.661\ 3, 0.631\ 4, 0.335\ 3, 0.351\ 4, 1.963\ 5, 1.574\ 6, 1.187\ 7]^T \quad (2)$$

表1 评价因子的判断矩阵
Tab.1 Judgment matrix of evaluation factors

评价因子	岩溶条件	覆盖层条件		地形地貌条件	水文地质条件		
	岩溶发育程度	覆盖层厚度	覆盖层岩性、结构	地面地貌特征	水位及动态变化	岩溶水钻孔单口井涌水量	岩溶水位降深
岩溶发育程度	1	5	7	7	4	3	3
覆盖层厚度	1/5	1	4	3	1/5	1/3	1/4
覆盖层岩性、结构	1/7	1/4	1	2	1/5	1/6	1/5
地面地貌特征	1/7	1/3	1/2	1	1/3	1/4	1/3
水位及动态变化	1/4	5	5	3	1	2	3
岩溶水钻孔单口井涌水量	1/3	3	6	4	1/2	1	2
岩溶水位降深	1/3	4	5	3	1/3	1/2	1

3) 对向量 $\bar{w}=[\bar{w}_1, \bar{w}_2, \dots, \bar{w}_n]^T$ 归一化为

$$\bar{w}_i = \frac{\bar{w}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{w}_i} = [0.377, 0.065, 0.035, 0.036, 0.202, 0.162, 0.123]^T \quad (3)$$

则 $w=[w_1, w_2, \dots, w_n]^T$ 即为所求的特征向量, 且最大特征值 λ_{\max} 为

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(Aw)_i}{nw_i} = \frac{1}{7} \left(\frac{2.8609}{0.377} + \frac{0.5124}{0.065} + \frac{0.2690}{0.035} + \frac{0.2778}{0.036} + \frac{1.5949}{0.202} + \frac{1.1812}{0.162} + \frac{0.9383}{0.123} \right) = 7.6792 \quad (4)$$

从上述分析得到岩溶塌陷危险性评价的影响因子的权重向量, 即

$$w=[0.377, 0.065, 0.035, 0.036, 0.202, 0.162, 0.123]^T \quad (5)$$

从以上权重向量可以得出, 各评价因子对岩溶塌陷稳定性具有不同的影响程度, 其中以溶洞发育程度类型的影响为最大, 地面地貌特征为最小。该结论与实际已发生的地面塌陷成因分析结论一致。

若要判断矩阵求出的权重值是否合理, 还必须进行一致性的检验, 因为该判断带有主观性, 在每次进行两两比较判断时具有比较判断的不一致性。当判断偏移一致性过大时, 把判断矩阵的权向量计算结果作为决策依据将是不可靠的。为此在求得 λ_{\max} 后需进行一致性指标 C_1 检验, 其中

$$C_1 = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} = \frac{7.6792 - 7}{7-1} = 0.1132 \quad (6)$$

再计算一致性比率

$$C_R = \frac{C_1}{R_1} \quad (7)$$

其中 R_1 的取值^[18]如表 2 所示。

表2 平均随机一致性指标
Tab.2 Mean random consistency index

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
R_1	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46	1.49	1.52	1.54

当 $n=7$ 时, $R_1=1.36$, 所以得到一致性检验的结果为: $C_R=0.113 \ 2/1.36 =0.083 \ 2<0.10$

当时 $C_R<0.10$ 时, 则认为该判断矩阵一致性好。否则, 就应当重新进行两两比较再次得出权重向量矩阵, 直至判断矩阵具有满意的一致性为止。这时从判断矩阵中计算出的最大特征根所对应的特征向量经标准化后, 才可以作为层次分析的权值。

3.3 稳定性的确定

由于影响岩溶塌陷的因素繁多而复杂, 评价因素指标之间也有着不确定性, 考虑到资料精度和评价的实际价值, 将岩溶塌陷的稳定性等级划分为 4 个等级(如表 3), 即稳定(不塌陷)、基本稳定(不易塌陷)、较不稳定(易塌陷)、不稳定(极易塌陷)4 个等级。

表 3 岩溶地面塌陷稳定性预测评价要素表

Tab.3 Prediction and evaluation of the stability of karst ground subsidence

稳定性分级 评价要素	不稳定 (极易塌陷) $X_i=10$	较不稳定 (易塌陷) $X_i=6$	基本稳定 (不易塌陷) $X_i=3$	稳定 (不塌陷) $X_i=1$	权重值
岩溶发育程度	强发育	中等发育	弱发育	不发育	0.377
岩溶水钻孔单口井 涌水量/($m^3 \cdot d^{-1}$)	1 000 富水性强	500~1 000 富水性中等	100~500 富水性较弱	<100 富水性贫乏	0.065
地下水水位及动态变 化/m	水位埋深<5 水位变 化大	水位埋深 5~10 水位变 化大	水位埋深 10~15 水位 变化小	水位埋深 ≥ 15 水位 变化小	0.035
岩溶水位降深/m	30	25~30	15~25	<15	0.036
覆盖层岩性、结构	均一松散砂层或软土	均一稍密-中密双层或 多层砂土, 底为砂砾	双层或多层粘土与砂 互层	均一可塑-硬塑粘 性土	0.202
覆盖层厚度/m	<10	10~20	20~30	≥ 30	0.162
地面地貌特征	低洼带临近地表水体	平原、谷地、地阶地	山前缓坡、中高阶地	谷地、阶地、高阶地	0.123

为了满足定性-半定量评价要求, 对各个影响因子进行对应评语的数值化; 因此用层次分析法来确定其稳定性是行之有效的方法之一。其基本公式为

$$F_s = \sum_{i=1}^n a_i X_i \quad (8)$$

式中, F_s 为稳定性指数; a_i 为权值; X_i 为危险性级别量化指标, 其值按表 3 取值。根据 F_s 值, 按表 4 划分岩溶塌陷稳定性等级。

表 4 岩溶地面塌陷稳定性分级表

Tab.4 Stability classification of karst ground collapse

稳定性等级	稳定(不塌陷)	基本稳定(不易塌陷)	较不稳定(易塌陷)	不稳定(极易塌陷)
稳定性指数 F_s	1	$1 < F_s \leq 3$	$3 < F_s \leq 6$	$6 < F_s \leq 10$

3.4 岩溶塌陷稳定性评价结果

线路划分为 4 个里程段, 各段统计结果见表 5

由表中可看出, 评价区内各里程段岩溶地面塌陷稳定性指数 F_s 在 3.41~6.97 之间, 根据表 4 分级原则, 岩溶地面塌陷稳定性为稳定(不塌陷)、基本稳定(易塌陷)、较不稳定(易塌陷)、不稳定(极易塌陷)4 个级别。其中线路 K53+373-K53+440 里程段岩溶地面塌陷稳定性为不稳定(极易塌陷), 线路 K48+040-K48+190, K50+905-K50+980 和 K195+505-K195+620 里程段岩溶地面塌陷稳定性为较不稳定(易塌陷)。

表5 评价因子权重分析结果及评价表
Tab.5 Analysis results and evaluation of evaluation factors weight

评价因子	岩溶条件	覆盖层条件		地形地貌	水文地质条件			稳定性指数 F_s	稳定性评估	
		岩溶发育程度	覆盖层厚度/m	覆盖层岩性、结构	地面地貌特征	岩溶地下水水位及动态变化/m	岩溶水钻孔单口井涌水量/ $(m^3 \cdot d^{-1})$			岩溶水位降深/m
路段	0.377	0.065	0.035	0.036	0.202	0.162	0.123			
K48+040 -K48+190	要素 X_i	弱发育 3	25 3	含砾粉质黏土 3	冲积洼地 6	水位 0.9, 年变幅 0.1~3.0 10	富水性中等 6	25~30 3	5.01	较不稳定
K50+905 -K50+980	要素 X_i	中等发育 6	10.5 6	粉质黏性土 1	冲积洼地 6	水位 14.8, 年变幅 0.1~3.0 3	富水性弱 3	15~20 3	4.37	较不稳定
K53+373 -K53+440	要素 X_i	强发育 10	12.3 6	粉质黏性土 1	冲积洼地 6	水位 >15, 年变幅 0.1~3.0 1	富水性强 10	30 6	6.97	不稳定
K53+440 -K53+582	要素 X_i	中等发育 6	21 3	含砾粉质黏土 3	冲积洼地临近地表水 10	水位 >15, 年变幅 0.1~3.0 1	富水性贫乏 1	<15 1	3.41	较不稳定

4 结论

以昌栗高速公路 K48+040-K53+582 段为研究对象,在已有研究的基础上,在岩溶塌陷风险定量评价方法方面进行探索,将模糊评价方法和层次分析方法相结合对岩溶地面塌陷做出综合评估,由此可得出以下结论:

1) 总结了江西省的自然地理条件、昌栗高速公路沿线的地形地貌及岩性特征;选取岩溶的发育程度、覆盖层、地形地貌及水文地质条件等评价因子进行岩溶塌陷风险评价,并将评价区岩溶地面塌陷稳定等级分为稳定、基本稳定、较不稳定和不稳定 4 个级别,该评价方法更能反映影响因素的全面性,使稳定性判断结果更加符合工程实际;

2) 根据昌栗高速公路的地质环境状况,结合岩溶塌陷评估因子的分级和取值,采用模糊层次分析法对研究区的岩溶塌陷易发程度进行评估,得到岩溶塌陷易发区分布在 K53+373-K53+440 路段,处于不稳定(极易塌陷)状态,主要原因为水文地质条件差及岩溶发育强烈,对实际工程可以起到一定的借鉴和指导作用。

参考文献

- [1] 蒋小珍. 基于 GIS 技术的全国地面塌陷灾害危险性评价[J]. 地球学报, 2003, 24(5): 469-473.

- [2] 何书,王家鼎,朱忠,等. 基于模糊贴进度的岩溶塌陷易发性研究[J]. 自然灾害学报, 2009, 18(1): 8-13.
- [3] 赵德君,彭凤,杨建,等. 基于层次分析法的武汉市岩溶塌陷危险性分区评价[J]. 资源环境与工程, 2012, 26(S1): 97-99.
- [4] KOUTEPOV V M, MIRONOV O K, TOLMACHEV V V. Assessment of suffusion-related hazards in karst areas using GIS technology [J]. Environmental Geology, 2008, 54: 957-962.
- [5] HEIDARI M, KHANLARI G R, BEYDOKNTI A R, et al. The formation of cover collapse sinkholes in North of Hamedan, Iran [J]. Geomorphology, 2011, 132: 76-86.
- [6] GALVE J P, GUTIERREZ F, LUCHA P, et al. Sinkholes in the salt-bearing evaporate karst of the Ebro River valley upstream of Zaragoza city (NE Spain) Geomorphological mapping and analysis as a basis for risk management [J]. Geomorphology, 2009, 108: 145-158.
- [7] 江西省交通科学研究所. 昌栗高速公路岩溶及下伏洞穴区路基处治方案[R]. 南昌: 江西省交通科学研究所, 2014.
- [8] 刘秋宇, 郑明新. 岩溶路基病害成因分析及其治理措施—以昌金高速公路芦溪段为例[J]. 华东交通大学学报, 2014, 31(1): 135-140.
- [9] 戴建玲, 雷明堂, 蒋小珍. 线性工程岩溶塌陷危险性评价研究[J]. 中国岩溶, 2012, 31(3): 296-302.
- [10] 陈华兴, 王瑞甫, 刘宏力, 等. 麻驾高速公路岩溶勘察研究[J]. 四川地质学报, 2010, 30(2): 222-224.
- [11] 陈学军, 罗元华. GIS支持下的岩溶塌陷危险性评价[J]. 水文地质工程地质, 2001, 28(4): 15-18.
- [12] 邓启江, 李星宇, 吕琼, 等. 昆明市岩溶塌陷发育特征和防治措施[J]. 中国岩溶, 2009, 28(1): 23-29.
- [13] 郭金玉, 张忠彬, 孙庆云. 层次分析法的研究与应用[J]. 中国安全科学学报, 2008, 18(5): 148-153.
- [14] 金艳珠, 谈树成, 虎雄岗, 等. 基于层次分析法与GIS相结合的岩溶塌陷地质灾害易发性分区评估—以云南省师宗县为例[J]. 热带地理, 2012, 32(2): 173-178.
- [15] 林毅. 广东省廉江市北部湾大道岩溶地面塌陷稳定性评价[J]. 地质灾害与环境保护, 2014(3): 62-67.
- [16] 刘秀敏, 陈从新, 沈强, 等. 覆盖型岩溶塌陷的空间预测与评价[J]. 岩土力学, 2011, 32(9): 2785-2790.
- [17] 王小东, 张冰, 胡圣武. 地质灾害危险性区划评价中隶属度函数构造方法的探讨[J]. 地球与环境, 2009, 37(1): 67-69.
- [18] 焦树锋. AHP法中平均随机一致性指标的算法及MATLAB实现[J]. 太原师范学院学报: 自然科学版, 2006, 5(4): 45-47.

Stability Evaluation of Karst Roadbed Along K48+040-K53+582 of Nanchang-Shangli Freeway

Zou Changwen, Zheng Mingxin

(School of Civil Engineering and Architectural, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: Based on the research example in a section of Chang-Li highway which is located in the karst areas, the probable occurrence level of karst collapse was evaluated in the study by using the analytic hierarchy process and fuzzy comprehensive evaluation method (AHP FUZZY), combined with the geological conditions. It makes an exploration in terms of karst collapse risk through quantitative evaluation method. Firstly, the karst collapse evaluation factors and their weights are determined. The evaluation factors are divided into 4 categories: karst condition, overburden condition, topography and geomorphology condition, hydrogeology condition. Then, these four kinds of evaluation factors are divided into 7 subevaluation factors. Secondly, the collapse level is divided into four levels, namely: stable, basic stable, the more unstable, unstable. Finally, the study area is evaluated and predicted.

Key words: karst; collapse; the analytic hierarchy process; risk evaluation.

(责任编辑 王建华)