

文章编号: 1006 - 544X (2009) 04 - 0474 - 07

AHP 法在南宁市地下空间开发地质环境 适宜性评价中的应用

欧孝夺¹, 杨荣才², 周 东¹, 欧 刚¹

(1. 广西大学 工程防灾与结构安全教育部重点实验室, 南宁 530004; 2. 南宁市城市建设投资发展总公司, 南宁 530022)

摘 要: 根据南宁市区域地质、岩土性状、地质灾害等研究成果并结合南宁市地下空间开发利用现状, 分析了城市地下空间开发地质环境适宜性评价的影响因素, 运用层次分析法从地质结构、地形地貌、岩土体特征、水文地质条件、地质灾害与环境地质问题等 5 方面为准则层建立分析模型; 在确定各指标因素权重的基础之上, 运用模糊综合评判法, 评价地下开发拟建区的地质环境适宜程度。南宁市地下空间开发的地质适宜性可划分为 4 个等级: 最适宜、适宜、次适宜及不适宜, 分别占研究区域面积的 20%、30%、40% 和 10%。

关键词: 地下空间; 地质环境; 层次分析法; 适宜性; 南宁市

中图分类号: TU470

文献标志码: A

城市地下空间开发利用的地质环境适宜性评价是一个综合性的岩土工程问题, 其适宜性评价涉及区域地质、地形地貌、岩土性状等准则, 每一个准则又包含诸多指标因素, 其中既有确定性的指标因素, 如岩土体承载力等, 又包含非确定性的指标因素如砂土液化的影响等。城市地下空间开发地质环境适宜性评价与传统的城市地质环境方式有所区别, 由于其中包含的影响因素更多, 评价难度更大, 因而如何更加科学、客观、真实地评价地下空间开发区域的地质环境适宜程度是一个十分有意义的课题。本文首先筛选地质环境的影响指标体系, 在采用层次分析法^[1]确定各指标因素权重的基础之上, 运用模糊综合评判法, 综合考虑各确定性和非确定性因素, 从而获得一个定量的综合评判结果, 用以评价南宁市各区域地下空间开发的地质环境适宜程度。

1 地质环境适宜性评价指标分析

1.1 评价指标体系

城市地下空间开发的地质环境质量评价系统是一个多层次、多因素的复杂系统^[2], 影响和控

制地质环境质量优劣的因素很多^[3], 在选取中, 结合南宁市城市工程地质特点按分级、分序、抓主、淡次的原则, 将其地下空间开发的地质环境质量因素划分为主次级, 如表 1 所示。

表 1 南宁市地下空间开发的地质环境质量影响因素分级
Table 1 Classification of influence factors of geological environment quality for Nanning underground space development

第一级	第二级	第二级对第一级的影响度
地质结构 B_1	活断层 C_1	$B_1 = f(C_1, C_2)$
	岩土体立体结构 C_2	
地形地貌 B_2	地貌单元 C_3	$B_2 = f(C_3, C_4, C_5)$
	地形坡度 C_4	
	场地土类型 C_5	
岩土体特征 B_3	岩体承载力 C_6	$B_3 = f(C_6, C_7, C_8)$
	土体承载力 C_7	
	土体压缩系数 C_8	
水文地质条件 B_4	地下水埋深 C_9	$B_4 = f(C_9, C_{10}, C_{11}, C_{12})$
	地下水污染指数 C_{10}	
	土体渗透性 C_{11}	
	邕江洪泛灾害 C_{12}	
地质灾害与环境地质问题 B_5	地震灾害 C_{13}	$B_5 = f(C_{13}, C_{14}, C_{15}, C_{16})$
	地面变形 C_{14}	
	砂土液化 C_{15}	
	边坡失稳 C_{16}	
第一级对地质环境质量 A 的影响度		$A = f(B_1, B_2, B_3, B_4, B_5)$

收稿日期: 2008 - 07 - 19
基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40772190); 广西自然科学基金资助项目 (桂科自 0991056); 工程防灾与结构教育部重点实验室主任基金资助项目 (2009TMZR005)
作者简介: 欧孝夺 (1970—), 男, 博士, 教授, 研究方向: 环境岩土工程。

1.2 地质环境质量分级对应评价指标取值

由于各次一级因素的提取和奉献度大小是一个模糊概念和模糊判断过程，为便于分析必须先建立各次一级因素数值化准则及对应取值，如表 2 所示。

2 评价模型的建立及指标因素权值的确定

2.1 评价模型的建立

采用层次分析法^[6-7]计算评价指标体系中的最低层，即各个指标因素相对于最高层的相对重

要性总排序权重，该权值计算的分析模型如图 1 所示。

2.2 构造判断矩阵

根据图 1 所建立的层次结构模型^[8-14]，将同一层的因素与上一层中某个因素两两成对比较，采用 1~9 及其倒数标度其重要性，构造出判断矩阵，如表 3~8 所示。

2.3 层次单排序及一致性检验

运用方根法确定同一层次各因素相对于上一层层次某元素相对重要性的排序权重 W_B 、 W_C ，同时求出最大特征根 λ_{max} ，这一过程称为“层次单

表 2 地质环境评价指标分级标准及对应取值^[4-5]

Table 2 Grading standards and corresponding value in geological environmental factors evaluation^[4-5]

地质环境适宜性评价分级	地质结构		地形地貌			岩土体特征			水文地质条件				地质灾害与环境地质问题			
	活断层	岩土立体结构	地貌单元	地形坡度 / (°)	场地土类型	岩体承载力 / MPa	土体承载力 / MPa	土体压缩系数 / MPa ⁻¹	地下水位埋深 / m	地下水综合污染指数	土体渗透性 / (m·d ⁻¹)	邕江洪泛灾害	地震灾害	地面变形	砂土液化	边坡失稳
无	无	a类	阶地	<5	无膨胀土	>0.8	>0.25	<0.1	>15	<0.3	<3	无	无	无	无	自然稳定
	少量	b类	阶地	5~10	弱膨胀土	0.6~0.8	0.2~0.25	0.1~0.3	10~15	0.3~0.5	3~5	无	小	轻度	少发生	需简单支护
	少量	c类	牛轭湖	10~30	中膨胀土	0.3~0.6	0.15~0.2	0.3~0.5	5~10	0.5~1.0	5~10	局部洪水淹没	中	一般	一定量	需支护且降水
	全新世活断层	d类	河漫滩	>30	强膨胀土	<0.3	<0.15	>0.5	<5	>1.0	>10	严重洪水淹没	大	严重	大量	需复杂支护

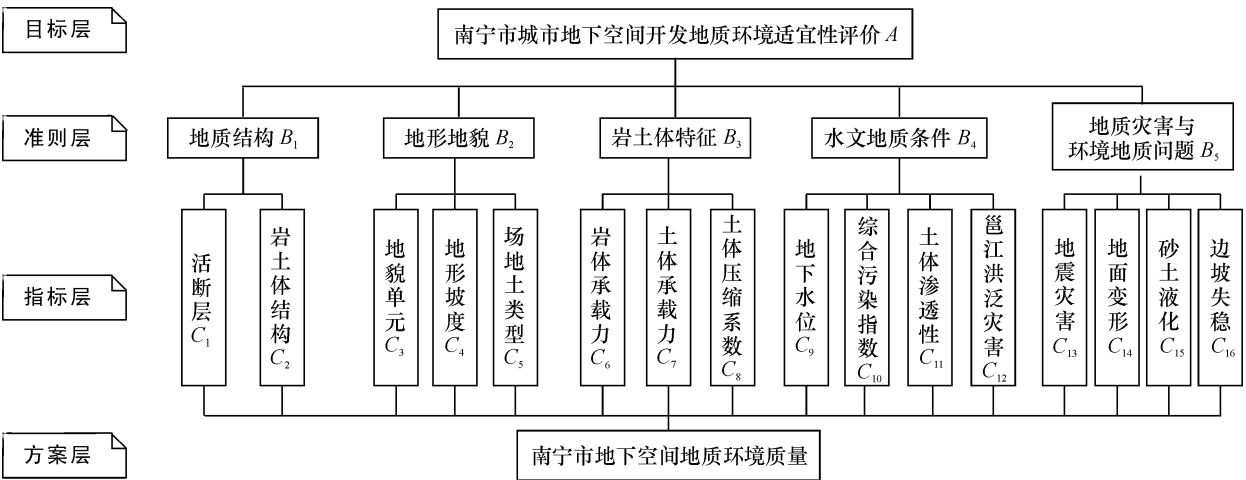


图 1 地质环境适宜性评价分析模型

Fig. 1 Geological environment suitability evaluation model

表 3 A - B 判断矩阵及一致性检验

Table 3 A - B judgment matrix and consistency test

A	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	W _{B_k} (K = 1 ~ 5)
B ₁	1	5	3	1	1	0.311 4
B ₂	1/5	1	1/3	1/3	1/2	0.073 7
B ₃	1/3	3	1	1	1	0.181 2
B ₄	1	3	1	1	1	0.225 7
B ₅	1	2	1	1	1	0.208 1

$\lambda_{\max} = 5.170\ 24$, $CI = 0.042\ 56$, $RI = 1.12$, $CR = 0.038\ 0 < 0.1$

表 4 B₁ - C 判断矩阵及一致性检验Table 4 B₁ - C judgment matrix and consistency test

B ₁	C ₁	C ₂	W _{C_i} (i = 1, 2)
C ₁	1	1/5	0.166 7
C ₂	5	1	0.833 3

$\lambda_{\max} = 2$, $CI_1 = 0$, $RI_1 = 0$, $CR_1 = 0 < 0.1$

表 5 B₂ - C 判断矩阵及一致性检验Table 5 B₂ - C judgment matrix and consistency test

B ₂	C ₃	C ₄	C ₅	W _{C_i} (i = 3, 4, 5)
C ₃	1	2	1/3	0.229 7
C ₄	1/2	1	1/5	0.122 0
C ₅	3	5	1	0.648 3

$\lambda_{\max} = 3.004\ 176$, $CI_2 = 0.002\ 1$,
 $RI_2 = 0.58$, $CR_2 = 0.003\ 6 < 0.1$

表 6 B₃ - C 判断矩阵及一致性检验Table 6 B₃ - C judgment matrix and consistency test

B ₃	C ₆	C ₇	C ₈	W _{C_i} (i = 6, 7, 8)
C ₆	1	1	1	0.333 3
C ₇	1	1	1	0.333 3
C ₈	1	1	1	0.333 3

$\lambda_{\max} = 3.0$, $CI_3 = 0$, $RI_3 = 0$, $CR_3 = 0 < 0.1$

表 7 B₄ - C 判断矩阵及一致性检验Table 7 B₄ - C judgment matrix and consistency test

B ₄	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	W _{C_i} (i = 9, 10, 11, 12)
C ₉	1	5	1	1/3	0.312 5
C ₁₀	1/5	1	1/5	1/5	0.062 5
C ₁₁	1	5	1	1	0.312 5
C ₁₂	1	5	1	1	0.312 5

$\lambda_{\max} = 4.0$, $CI_4 = 0.0$, $RI_4 = 0.9$, $CR_4 = 0.0 < 0.1$

表 8 B₅ - C 判断矩阵及一致性检验Table 8 B₅ - C judgment matrix and consistency test

B ₅	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆	W _{C_i} (i = 13, 14, 15, 16)
C ₁₃	1	1	1/2	1/2	0.173 1
C ₁₄	1	1	1	1	0.244 8
C ₁₅	2	1	1	1	0.291 1
C ₁₆	2	1	1	1	0.291 1

$\lambda_{\max} = 4.061\ 02$, $CI_5 = 0.020\ 34$,
 $RI_5 = 0.9$, $CR_5 = 0.022\ 6 < 0.1$

排序”。为使构造的判断矩阵具有满意的一致性, 还需进行一致性检验, 即当随机一致性比率 CR 满足: $CR = CI/RI < 0.1$ 时, 称层次单排序结果具有满意的一致性, 其中 RI 为平均随机一致性指标, 为一致性指标, 由 $CI = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1)$ 确定 (n 是判断矩阵的阶数)。

由表 3~8 可以看出, 各层次单排序权重及所构造的各判断矩阵均具有满意的一致性。

2.4 层次总排序及一致性检验

在计算出某一层次相对于上一层次某一元素的单排序权重后, 再将上一层次该元素本身的权重加权综合, 即可计算得到处于评价指标体系指标层的各指标因素相对于最高层的相对重要性权重, 即指标因素总权重, 这一过程称为“层次总排序”。为保证其可信度, 层次总排序也应进行一致性检验, 当层次总排序随机一致性比率 CR 满

$$\text{足: } CR = \frac{\sum_{K=1}^5 W_{B_k} \cdot C I_k}{\sum_{K=1}^5 W_{B_k} \cdot R I_k} < 0.1 \text{ 时, 称层次总排序结果}$$

具有满意的一致性, 计算结果见表 9。

指标因素总权重的大小表明该因素对地下空间开发的影响程度。由表 9 得到 $W = (0.051\ 9, 0.259\ 5, 0.016\ 9, 0.009\ 0, 0.047\ 8, 0.090\ 6, 0.090\ 6, 0.090\ 6, 0.070\ 5, 0.014\ 1, 0.070\ 5, 0.070\ 5, 0.036\ 0, 0.050\ 9, 0.060\ 6, 0.060\ 6)$, 由此可见: B_1 (地质结构) 对目标 (最佳适宜区) 评价的影响最为显著, C_4 (地形坡度) 对目标评价的影响程度最低。

3 南宁市地下空间开发地质环境适宜性模糊综合评价

3.1 建立评价指标集

模糊综合评判法^[8]是对受多种因素影响的事物做出全面评判的一种十分有效的方法。为对南宁市地下空间开发地质环境适宜性做出评价, 首先应建立相应的评判因素集, 为此将图 1 中地质环境适宜性评价指标体系的 16 个指标因素作为地质环境适宜性的评判因素集, 即 $U = \{C_1, C_2, C_3, \dots, C_{16}\}$ 。

3.2 评价集 V 的建立及各影响因素的隶属度

令地质环境适宜性评价集为 $[0, 1]$ 上的连续区

表 9 层次单排序、层次总排序计算结果及一致性检验
Table 9 Single-level sort, total-level sort, and test of consistency

指标层	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	指标综合权重 W_i	层次总排序一致性检验
	$W_{B_1} = 0.3114$	$W_{B_2} = 0.0737$	$W_{B_3} = 0.1812$	$W_{B_4} = 0.2257$	$W_{B_5} = 0.2081$	$(i = 1, 2, \dots, 16)$	
C_1	0.1667					0.0519	$CI = \frac{1}{K-1} \sum_{k=1}^K W_{B_k} \cdot CI_k = 0.0043$ $RI = \frac{1}{K-1} \sum_{k=1}^K W_{B_k} \cdot RI_k = 0.482$ $CR = \frac{CI}{RI} = 0.0089 < 0.1$
C_2	0.8333					0.2595	
C_3		0.2297				0.0169	
C_4		0.1220				0.0090	
C_5		0.6483				0.0478	
C_6			0.3333			0.0906	
C_7			0.3333			0.0906	
C_8			0.3333			0.0906	
C_9				0.3125		0.0705	
C_{10}				0.0625		0.0141	
C_{11}				0.3125		0.0705	
C_{12}				0.3125		0.0705	
C_{13}					0.1731	0.0360	
C_{14}					0.2448	0.0509	
C_{15}					0.2911	0.0606	
C_{16}					0.2911	0.0606	

间，城市地下空间开发地质环境适宜性 级 ($0.75 < B_j < 1$)； 级 ($0.5 < B_j < 0.75$)； 级 ($0.25 < B_j < 0.5$)； 级 ($0 < B_j < 0.25$) 分别是 最适宜、适宜、次适宜及不适宜 4 个等级。

对评价指标集中的各指标分别作出单因素评判，由此得到对应因素在 V 上的隶属度 μ_i ($i = 1, 2, \dots, 12$)。 μ_i 的大小表明该因素对“城市地下空间开发地质环境适宜性优劣程度”这一模糊概念的符合程度，并规定某个因素的隶属度 μ_i 越大，表明该项因素越接近最佳适宜区的目标，反之则越背离最佳适宜区的目标。

3.2.1 确定性因素的隶属度 数学模型是建立隶属度函数的基础，反映各单项因素隶属城市地下空间地质环境质量适宜性评价等级的关键， U 中的 C_4 、 C_6 、 C_7 、 C_8 、 C_9 、 C_{10} 、 C_{11} 为确定性因素，对各单项指标归类分序，根据各因素的数据统计特征，采用右（降）半梯形隶属函数式（1）、左（升）半梯形隶属函数式（2）及三角形分布隶属函数式（3）共 3 种数学模型函数^[8]确定这些因素的隶属度。

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x < a; \\ \frac{b-x}{b-a}, & a \leq x \leq b; \\ 0, & x > b; \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 0, & x < a; \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b; \\ 1, & x > b; \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x < a; \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b; \\ \frac{c-x}{c-a}, & b \leq x \leq c; \\ 0, & x > c; \end{cases} \quad (3)$$

3.2.2 非确定性因素的隶属度 U 中的 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_5 、 C_{12} 、 C_{13} 、 C_{14} 、 C_{15} 、 C_{16} 为非确定性因素。由于这些因素受个人主观判断的影响颇大，取值是离散的，因此采用专家评分法按照百分制给出评分，然后采用式（4）计算得到该因素的隶属度

$$\mu_i = \frac{d_i + (N - 2)p_i + g_i}{100N} \quad (4)$$

式中： μ_i —某非确定性因素 C_i 的隶属度； p_i — N 位专家对 C_i 评分的平均值； d_i —对 C_i 的评分中低于 p_i 的所有评分的平均值； g_i —对 C_i 的评分中高于 p_i 的所有评分的平均值。

3.3 建立模糊判断矩阵

南宁市城市地下空间开发地质环境适宜性模糊综合评价所选用“多因素综合评价”是通过 AHP 法进行的，其概念模型最终是反映次一级因素对地质环境适宜性的控制程度。因此模糊综合评价计算所用的模糊矩阵直接由 16 个次一级因素的 4 个地质环境适宜性评价级隶属度值按行排列，形成一个 16×4 阶矩阵，其矩阵形式为

$$R = (R_1 \ R_2 \ R_3 \ R_4) = \begin{bmatrix} 11 & 12 & 13 & 14 \\ 21 & 22 & 23 & 24 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ j1 & j2 & j3 & j4 \\ n1 & n2 & n3 & n4 \end{bmatrix} \circ \quad (5)$$

其中: $n = 16$; R_j 为地质环境第 j 级适宜区 ($j = 1, 2, 3, 4$) 的模糊判断向量, 由该级地质环境适宜区中所有因素的隶属度构成, $R_j = (1_j, 2_j, 3_j, \dots, n_j)^T$; i_j 为第 i 个此一级影响因子对第 j 级地质环境适宜区的控制度。

3.4 地质环境适宜性综合评价及优化分析

为了让各影响因子对地质环境适宜性影响程度均能反映出来, 必须综合考虑评价因素集中各因素的权重和隶属度, 采用普通的矩阵乘法作出地质环境适宜性等级的模糊综合评判

$$B = WR = (B_1, B_2, \dots, B_j) \quad (6)$$

其中, B_j ($j = 1, 2, 3, 4$) 对应待评价的地质单元适宜性的模糊综合评判结果。模糊综合评判 B_j 也应是评价集 V 上的一个模糊子集, 根据 3.2 节建立的地质环境适宜性评价集, 计算结果取 B_j 中极大值所在区为该评价单元地下空间开发地质环境质量级别区。

3.5 地质环境^[14]适宜性综合评价结果

在进行南宁市城市地下空间开发地质环境适宜性评价之前, 进行工程地质分区是十分有必要的, 因为这是适宜性评价区划的基础。其地质环境适宜性评价图绘制的具体操作步骤如下: 1) 将研究区坐标化和网格化。本次评价范围以 1:10 万工程地质图为基础, 基本方法是先将南宁市区研究区坐标化, 再将其研究区域面积约 200 km² 划分为 200 块 1 000 m × 1 000 m 的正方形网格工作单元; 2) 根据评价指标权重较大者, 亦以对地下空间开发利用影响起控制作用的单因素为准, 绘制等值线及阈值图; 3) 参考有关南宁市区地质环境监测、工程地质勘察、岩土设计、城市规划等文献资料, 将各区域内的评价指标体系量化后作为 AHP 模型数据输入, 再根据模糊评价结果判定该区域地下空间开发地质环境适宜性等级; 4) 将所有网格按适宜性级别连片成图, 最后得到南宁市城市地下空间开发地质环境适宜性区划 (图 2), 其地质环境适宜性分区特征及评价见表 10。

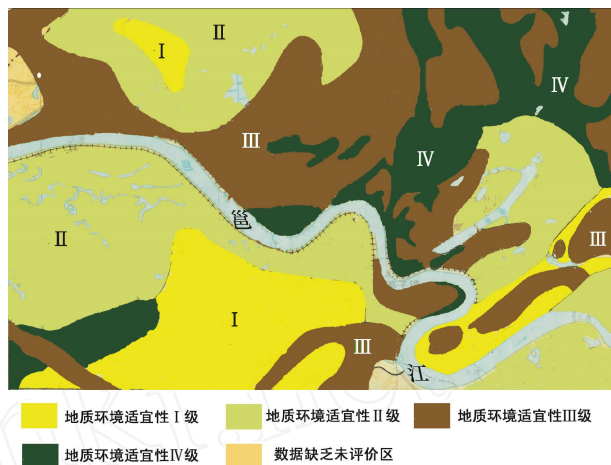


图 2 南宁市城市地下空间开发地质适宜性区划图

Fig. 2 Geological environment suitability evaluation in Nanning underground space development

4 案例评价分析

本文以南宁市 1:10 万工程地质图为基础, 选取市区已建地下工程区为评价单元进行验证, 根据评价结果, 再与现场踏勘、调研及施工反馈信息等所获数据进行比较, 反复验证其评价结果的正确性。计算过程中首先确定每个单元地质环境适宜性评价指标特征值, 再按上述模型进行样本训练, 之后再判断其余样本的归属问题, 根据输出结果, 判定样本属于哪一类地下空间开发地质环境适宜区。鉴于篇幅有限, 下面以南宁新华街人防工程为例介绍其评价分析结果。针对该地下工程, 将其区域地质环境指标付诸于评价模型加以运用, 得到该地质单元的模糊综合评判计算: $B = WR = (B_1, B_2, \dots, B_j) = (0.643 \ 5, 0.131 \ 2, 0.456 \ 1, 0.320 \ 1)$, 计算结果取其所得值中极大值为该评价单元地质环境质量级别区, 即取 $B_1 = 0.643 \ 5$, 则对应的地质环境适宜性是适宜区 (I)。

南宁新华街人防工程位于南宁市最繁华的商业地段, 街道两旁有百货大楼、南宁书城、裕丰商厦、钻石广场等商业大楼。现场踏勘、调研及施工反馈信息等所获数据显示该工程为地下一层全埋式, 该工程全长约 600 m, 共划分为 6 个防护单元。场地上覆地层主要由人工堆填的沥青混凝土地面及填土, 第四系河流冲积成因的粘土、粉质粘土、粉土、粉细砂、圆砾等组成, 下伏基岩为第三系湖相沉积泥岩。场地内第四系覆盖层赋存两层地下水: 第 I 层主要赋存于杂填土中, 属上

表 10 南宁市城市地下空间开发地质适宜性分区特征与评价

Table 10 Partition characteristics and evaluation of geological adaptation in Nanning underground space development						
分区代号	地基特征	地下水	分布范围	不良地质作用	场地使用评价 适宜性	施工工艺及需要 注意的问题
地下空间开 发利用最适 宜区（）	地面较平坦。上部 粘土、亚粘土，厚度 在 5~10 m，可塑— 坚硬，承载力高，工 程性好。下部砾 质土 5~11 m，土体 总厚 10~20 m	地下水富水性弱， 单井涌水量小，地 下水位埋深 6~13 m，不受洪水影响	分布在石柱岭 —化工厂、先生 岭、三津、大塘 村、屋背岭等地	不良地质现象 不发育	该区工程地质条件 良好，适宜兴建各 种形式的地下工程	可采用明挖或暗挖、盾 构法等施工工艺。常用 基坑支护方法有：土钉 墙、桩锚支护或地下连 续墙等
地下空间开 发利用适宜 区（）	地面较平坦，上部 粘土、亚粘土，厚度 5~8 m，局部夹灰色 软弱土，下部砾石 土厚 8~15 m，土体 总厚 20~30 m，局 部低洼地段受洪水 淹没	孔隙水富水性中 等，单孔流量 100 m ³ /d 以上，地下水 位埋深 8~14m，局 部低洼地段受洪水 影响	主要分布在邕 江西岸一带，江 南和江北均有 分布	粘土层局部夹 灰色软弱土，对 浅层地下空间 有一定影响	该区工程地质条件 较好，采取合适的 处理方法加固第四 系松软土体，可兴 建各类地下工程	对明挖基坑，应做好止 水措施，防止侧壁坍塌 或出现流砂、潜蚀、管 涌等。如采用盾构法 或矿山法，应注意施工 措施的可靠性，防止局 部灰色软弱土沉降过 大，诱发安全事故；在 采用浅埋暗挖手段施 工时，应注意岩体中 软弱夹层的不利影响， 预防冒顶塌方
地下空间开 发利用次适 宜区（）	地面较平坦，上部 粘土、亚粘土，厚 度 5~8 m，局部含 胀缩土；中部普遍 分布有软土，局部 含液化砂土；下部 砾质土厚度大。 土体总厚 20~30 m，局部低洼地段 受洪水影响	孔隙水具有弱承 压性质，与邕江具 有直接水力联系， 富水性较好，单孔 流量 150~250 m ³ /d。地下水位 埋深 8~14 m。局 部低洼地段受洪 水影响	部分 级阶地 及东部北湖 路—手拖厂一 带	软土、胀缩土 等对浅层地 下空间有一定 影响，局部砂 土易液化	该区工程地质条 件较差，地下工 程建造应采取合 理的施工工艺和防 水止水措施	常用的明挖基坑支护 方法有：桩锚支护+桩 间止水、地下连续墙、 重力水泥土墙。对浅 埋暗挖工程，应严格注 意松软土层塌陷问题， 应采取合适的方法加 固第四系软土层，做好 防水措施
地下空间开 发利用较不 适宜区（）	在小块的坑、塘 里，上部为素填土 或杂填土，下部为 塘泥，厚度 0.3~4 m 不等，最厚 8 m 多，多处地段被洪 水淹没	孔隙水与地表水 有直接水力联系， 单孔流量 180~ 400 m ³ /d，止水和 排水困难	主要在朝阳广 场—东南菜市 一带的零星小 块分布	淤泥、淤泥质 土对地下空间 开发影响颇大	该区工程地质条 件极差，属地下工 程建设危险区	易发生地表坍塌、施工 机械陷落等安全事故。 明挖基坑深度较大时， 止水困难，基岩岩体稳 定性较差，地下工程造 价昂贵

层滞水，埋藏较浅，3.0~5.5 m 不等；第 2 层地下水主要赋存于第四系地层中，属孔隙水，具承压性，水量较丰富，静止稳定水位一般埋深在 6.90~8.90 m。该工程地质环境及施工反馈信息均与表 10 中南宁市城市地下空间开发地质环境次适宜区（）的特征相吻合。

5 结束语

文中将适宜性划分为最适宜、适宜、次适宜及不适宜 4 个等级，评价结果显示其各占研究区域面积的百分比依次约为 20%、30%、40%、10%。类地质环境最适宜区，主要分布在南宁市区的高阶地松散土亚区，如江南留村、沙井站等，该区分布在邕江高级阶地以上，阶地呈平台状，保存较完整，土体二元结构，上部为粘性土，下部为砾质土，总厚度为 15~20 m，基本不受地下水影响，该区地基承载力高，地下水综合污染指数小，除了个别地段边坡、路堤不稳定外，一般无其他环境工程地质问题发生，高层建筑的桩基及地下室宜放在下部砾质土层上，是地下空间开发地质环境质量好的地区。类地质环境适宜区，主要分布在南宁市区的低阶地松散土亚区的级阶地，该区域低阶地的高程约 73~85 m，阶地被侵蚀微弱，界面宽阔平坦，地层属于河流冲积层，土体二元结构，上为粘性土，下为砾质土 20~30 m，局部为软土层夹粉砂，地下水位对其影响较弱。类地质环境次适宜区主要分布在级阶地，地面较平坦，上部粘土、亚粘土，厚度 5

~8 m, 局部含胀缩土, 中部普遍分布有软土, 局部含液化砂土, 局部低洼地段受洪水影响。孔隙水具有弱承压性质, 与邕江具有直接水力联系, 富水性较好, 地下工程受地下水影响严重。

综上所述, 南宁市地质条件复杂, 地质灾害隐患严重, 为规避建设风险, 使浅层地下空间开发投资更具科学性, 必须重视对南宁岩土地质条件的研究并就主要影响因素进行剖析, 为地下空间的合理规划、建设提供重要依据。南宁市城市地下空间开发的重点在Ⅰ、Ⅱ阶地, 第四系松软土体的工程性质、地下水、膨胀土、软岩及活动断裂的发育分布特征是影响浅层地下空间开发利用的主要地质因素, 根据上述主控因素的分布规律及对地下工程建造影响的方式和强度, 将南宁市地下空间开发利用划分4个等级, 并运用层次分析法及模糊评价理论对城市地下空间开发地质环境适宜性评价建立了分析模型, 该方法在南宁市新华街人防工程的验证中表明, 其评价结果与该地区实际地质环境适宜性程度调查相吻合, 这表明运用层析分析法对南宁城市地下空间开发地质环境适宜性进行评价, 将定性分析与定量计算有机结合, 逻辑性强, 方法简便, 可对南宁市地下空间开发地质环境适宜性作出评判, 为南宁市城市地下空间开发利用提供决策依据, 在以后的地下工程建设中, 应优先考虑在最适宜区和适宜区兴建各种形式的地下工程, 尽量避免在不适宜区进行大型地下工程建设。

参考文献:

- [1] 赵焕臣, 许树柏, 向金生. 层次分析法: 一种简易的新决策方法 [M]. 北京: 科学出版社, 1986.
- [2] 王旭军. 论城市地下空间规划 [J]. 地下空间, 1998, 18 (2): 84 - 88.
- [3] 李相然. 谈城市地下空间利用中的工程地质条件研究 [J]. 地下空间, 1995, 15 (4): 296 - 300.
- [4] 吴恒. 南宁市地质环境的工程地质分析 [J]. 桂林冶金地质学院学报, 1994, 14 (1): 70 - 79.
- [5] 赖远坤. 南宁市更新统望高组上段冲积粘性土的工程地质特征 [J]. 广西土木建筑, 1999, 24 (1): 6 - 10.
- [6] 罗文凯. 层次分析法在深基坑支护系统方案优选中的应用 [J]. 甘肃科技纵横, 2004, 33 (4): 126 - 127.
- [7] 李相然, 权惠庆, 曹振斌, 等. BP神经网络及其在城市环境工程地质研究中的应用 [J]. 中国环境监测, 2001, 17 (1): 15 - 18.
- [8] 肖位枢. 模糊数学基础及应用 [M]. 北京: 航空工业出版社, 1992: 63 - 72.
- [9] 朱合华, 李晓军. 数字地下空间与工程 [J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26 (11): 2277 - 2288.
- [10] 刘宝琛. 综合利用城市地面及地下空间的几个问题 [J]. 岩石力学与工程学报, 1999, 18 (1): 109 - 111.
- [11] 潘丽珍, 李传斌, 祝文君. 青岛市城市地下空间开发利用规划研究 [J]. 地下空间与工程学报, 2006, 2 (7): 1093 - 1097.
- [12] 许劼, 王国权, 李晓昭. 城市地下空间开发对地下水环境影响的初步研究 [J]. 工程地质学报, 1999, 7 (1): 15 - 19.
- [13] 李相然. 城市工程地质环境的现状、发展趋势与防治对策研究 [J]. 环境科学进展, 1997, 5 (1): 61 - 66.
- [14] 蔡鹤生, 周爱国, 唐朝晖. 地质环境质量评价中的专家-层次分析定权法 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1998, 23 (3): 299 - 302.

Application of AHP to Geological Environment Suitability Assessment in Nanning Underground Development

OU Xiao-duo¹, YANG Rong-cai², ZHOU Dong¹, OU Gang¹

(1. Ministry of Education Key Laboratory of Disasters Preventing and Structural Safety Construction, Guangxi University, Nanning 530004, China; 2. Nanning Urban Construction and Investment Corporation, Nanning 530022, China)

Abstract: The factors which influence the geological environment suitability assessment of underground are analyzed. In the research of geological rock and soil property, geological disasters, and the current utilizing situation of underground, AHP method is adopted to set up the analysis model based on the geologic structure, topography, rock and soil characters, hydro geologic conditions and geological disasters. The theory of Fuzzy comprehensive evaluation is used to evaluate the suitable intensity of underground geological environment. Studies show that the application results are in consistent with the objective reality, and give a reference to the geological environment suitability assessment in underground development. The geological suitability of underground space development in Nanning can be divided into four grades: the most suitable, suitable, sub-suitable and unsuitable, for the study area 20%, 30%, 40% and 10% of respectively.

Key words: underground space; geological environment; analytic hierarchy process (AHP); suitability; Nanning