

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2021.02.006

引用格式:彭苗枝,吴剑雄,管后春,等. 合肥市地下空间开发地质环境适宜性评价[J]. 华东地质,2021,42(2):176-184.

合肥市地下空间开发地质环境适宜性评价

彭苗枝¹,吴剑雄¹,管后春¹,邱思晨²

(1. 安徽省地质调查院,安徽 合肥 230001; 2. 安徽省地质环境监测总站合肥分站,安徽 合肥 230001)

摘要:为查明合肥市地下空间开发地质环境影响因素,评价该市地下空间开发地质环境的适宜性,通过研究地质环境条件,选取工程地质条件、水文地质条件、地壳稳定性、地面及地下空间条件4个要素作为地下空间开发地质环境适宜性评价因子。在单因子地下空间开发适宜性评价的基础上,利用层次分析法确定权重,以MAPGIS为平台,运用模糊数学综合评价方法对合肥市地面以下40 m深度内的地下空间开发地质环境适宜性进行竖向分层评价。结果表明:合肥市地面以下40 m深度内的地下空间开发地质环境适宜性划分为适宜区、较适宜区、适宜性差区3个等级;0~5 m空间域适宜区、较适宜区面积占70.2%;-5~-15 m空间域适宜区、较适宜区面积占81.8%;-15~-40 m空间域适宜区、较适宜区面积占92.2%。合肥市具有较好的地下空间资源,这些潜在的地下空间资源可为城市可持续发展提供保障。

关键词:地下空间开发;地质环境;层次分析法;模糊综合评价;合肥市

中图分类号:TU984.113

文献标识码:A

文章编号:2096-1871(2021)02-176-09

地下空间指在地面以下的岩层或土层中天然形成或经过人工开发形成的空间。地下空间作为一种有限的不可再生性资源,对其进行合理开发及利用尤为重要^[1-6]。地下空间资源开发利用的适宜性评价指在对地下空间资源的地质、水文、地形等条件进行分析和研究的基础上,总体判断地下空间开发利用工程难度并确定可开发的资源分布情况^[7]。地下空间是一种自然资源,受各种自然条件的影响。地质环境是地下空间开发利用的载体,地质环境条件的优劣是决定地下工程安全性和经济性的关键^[8-13]。由于城市地下空间资源的容量是有限的,一旦建成将很难改造或拆除,不具有循环利用性,对地下空间盲目开发将导致一系列地质灾害的发生^[13-17]。因此,合理地规划和开发利用地下空间资源,对地下空间进行适宜性评价是十分必要的。

目前,地下空间开发利用适宜性评价中最常用的方法主要有灰色评估法、综合指数法、模糊综合评

判法、多目标线性加权函数和人工神经网络法等^[18-24],这些方法均具有较强的探索性,目前还未形成统一的方法体系^[25]。地质环境不同的区域,其地下空间资源的差异性也较大,且同一地质因子影响深度也不相同。如果自上而下对地下空间利用同一数学模型进行评价,结果往往有偏差。因此,对地下空间竖向分层且在单因子地下空间地质适宜性评价的基础上开展地下空间资源评价,评价结果更科学、更客观。

本文从地质角度出发,在对单因子适宜性评价的基础上,利用层次分析法(Aalytic Hierarchy Process,AHP)确定权重,以MAPGIS为平台,运用模糊数学综合评价方法对合肥市地面以下40 m深度内的地下空间开发地质环境适宜性进行竖向分层评价,科学反映和度量了地下空间可供开发利用的资源,为合肥市合理开发、利用地下空间资源提供参考。

* 收稿日期:2020-06-19 修订日期:2020-12-22 责任编辑:谭桂丽

基金项目:安徽省公益性地质调查“合肥市城市地质调查(编号:2005-56)”项目资助。

第一作者简介:彭苗枝,1984年生,女,工程师,主要从事水文地质、工程地质调查及研究工作。Email:kanyim@163.com。

1 区域地质背景

合肥地区大地构造位置上位于华北板块、扬子板块及大别造山带结合部位,主体处于华北板块南缘。郯庐断裂带呈 NE 向从合肥地区东南部通过,肥中断裂、肥西—韩摆渡断裂、蜀山断裂呈 EW 向横穿合肥地区,主要发育近 EW 向、NE 向和 NW—NNW 向 3 组断层。

合肥地处江淮丘陵中部,江淮分水岭横卧西北部,总体地势表现为西北高、东南低。地貌主要为丘陵和平原,平原分为风积波状平原和冲积平坦平原。风积波状平原分布广泛,巢湖沿岸及南淝河、

派河、丰乐河、杭埠河下游两侧为冲积平坦平原,南部和西南部有少量低山残丘分布^[26]。全市海拔多为 15~80 m,平均海拔 20~40 m。西部大蜀山孤峰突起,海拔 282 m,与北侧董铺水库遥遥相对。

平原区上部为第四纪松散土体,下部为红层。第四系厚 5~50 m,风积波状平原中部、西北部及低山丘陵外围土体厚度一般<10 m,岩性为棕黄色黏土。冲积平坦平原土体厚 15~60 m,南淝河、派河、丰乐河、杭埠河上游第四系厚 15~20 m,下游至巢湖边逐渐增厚,岩性为黏土、粉质黏土、淤泥质土、粉土、粉砂、细砂等。丘陵山区分布新太古代—古元古代片麻岩、片岩、红层和古近纪玄武岩(图 1)。

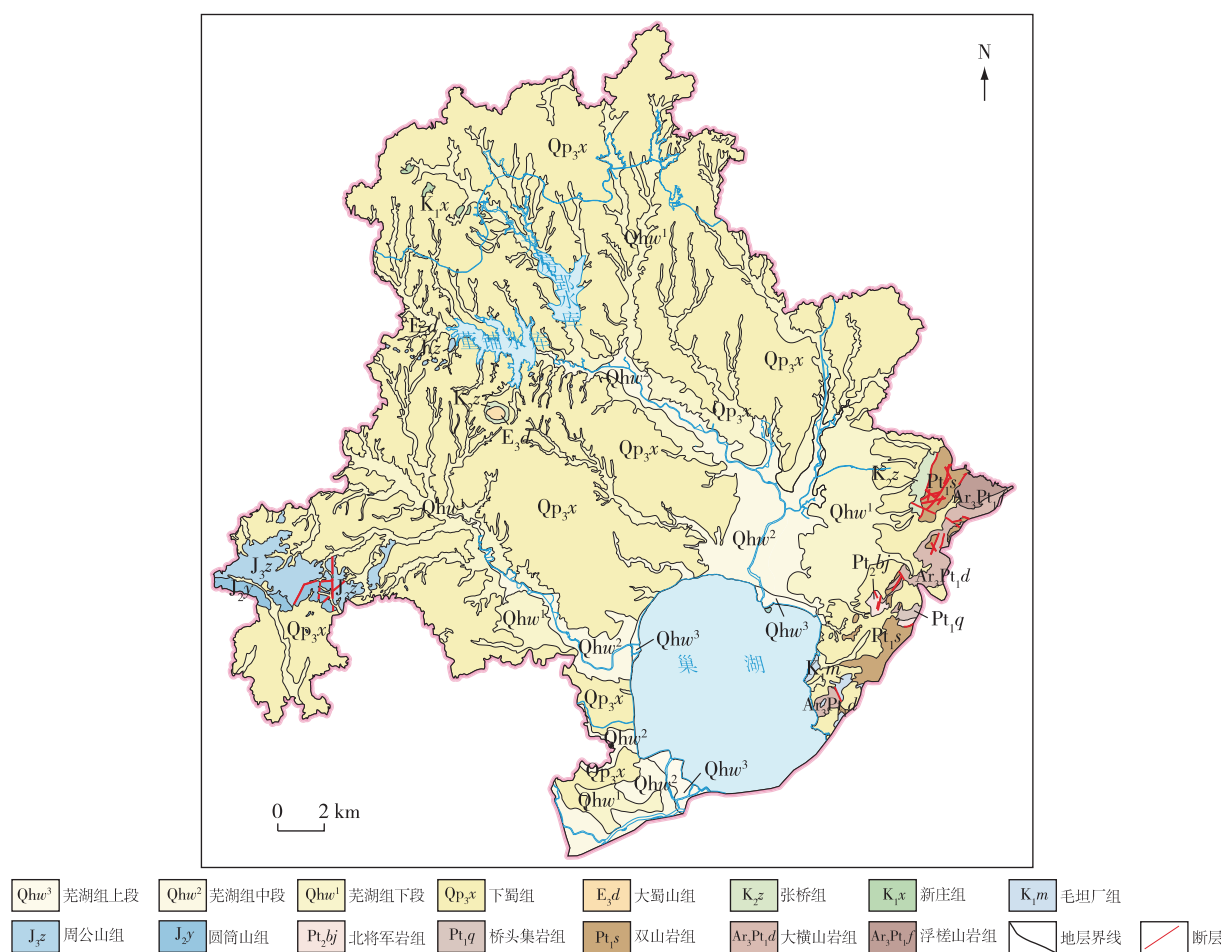


图 1 合肥市地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of Hefei City

2 评价空间域划分

本次评价范围为合肥市城市除去巢湖水域的

规划区,面积为 2 096 km²,评价深度为合肥市地面以下 40 m^[26]。根据地下空间与地表的距离以及地下空间开发利用性质、功能,对地下空间资源进行

竖向分层,分为0~−5 m空间域、−5~−15 m空间域和−15~−40 m空间域。

(1)0~−5 m空间域。地面至地下5 m范围内,人类最广泛利用的空间域,如城市物流管道设施。

(2)−5~−15 m空间域。地下5~15 m范围内,民用建筑与地下服务设施主要利用的空间域,如地下商场、地下停车库、储藏室、人防空间等。

(3)−15~−40 m空间域。地下15~40 m范围内,地铁、大型地下设施及危险品储藏室。

3 评价因子

通过分析合肥市地质背景,结合地下工程建设经验,选择工程地质条件、水文地质条件、地壳稳定性、地面及地下空间条件作为地下空间开发地质环境适宜性评价因子。

3.1 工程地质条件

研究区工程建设层由黏土、粉质黏土、淤泥质土、粉土、粉砂、细砂、紫红色细砂岩、粉砂岩及泥质粉砂岩组成,除西南部紫蓬山出露砂岩、东南部桥头集一带出露变形变质片麻岩外,大部分地区被土体覆盖。派河、南淝河漫滩、入湖口和巢湖沿岸发育软土,厚0.2~8.0 m。

(1)0~−5 m空间域。从岩性组合、软土厚度、膨胀土膨胀潜势和施工技术难度等方面综合评价工程地质条件的优劣(表1)。岩性为黏土且均一,无软土与膨胀土分布,施工技术简单,工程地质条件优^[27-28];岩性不均一,软土厚度大,含强膨胀潜势膨胀土,工程地质条件差。

(2)−5~−15 m空间域。从岩性组合、软土厚度、软土工程地质结构类型和施工技术难度等方面综合评价工程地质条件的优劣(表1)。岩性为黏土且均一,无软土与膨胀土分布,施工技术简单,工程地质条件优;岩性为砂土、淤泥,不均一,软土厚度大,软土呈多层分布,施工技术复杂,工程地质条件差。

(3)−15~−40 m空间域。从岩性组合、砂土厚度、砂土顶板埋深和施工技术难度等方面综合评价工程地质条件的优劣(表1)。岩性均一,砂土厚度小,砂土顶板埋深大,砂土密实,施工技术简单,工程地质条件优;岩性不均一,砂土厚度大,顶板埋深浅且砂土松散,施工技术复杂,工程地质条件差。完整稳定的岩体工程地质条件优,节理、裂隙发育稳定性差的岩体工程地质条件差。

根据上述方法,将0~−5 m、−5~−15 m、−15~−40 m空间域工程地质条件划分为优、良、中、差4个等级。

表1 评价因子及分级标准

Table 1 Evaluation factors and grading standards

评价因子	二级因子	适宜性分级			
		优	良	中	差
工程地质条件	岩性组合	均一黏土、完整稳定的岩体	黏土夹砂土(淤泥质土)	砂土夹黏性土	砂土、淤泥质土、节理及裂隙发育、稳定性差的岩体
	软土厚度/m	无	<2	2~5	≥5
	软土工程地质结构	无	单层	双层	多层
	膨胀土膨胀潜势	无	弱	中等	强
	施工技术难度	简单	较简单	复杂	很复杂
	砂土厚度/m	<5	5~10	10~15	≥15
水文地质条件	砂土顶板埋深/m	≥35	25~35	20~25	≤20
	地下水赋存类型	潜水	潜水、上层滞水	承压水	承压水、潜水
	富水性/(m ³ ·d ^{−1})	<10	10~50	50~100	>100
地壳稳定性	地下水腐蚀性	无	轻微	中等	强
	稳定性分区	稳定区	次稳定区	较不稳定区	不稳定区
地面及地下空间条件	地面设施及地下已开发利用的空间对地下空间开发影响程度	无影响	影响较小,开发利用其下部或周边地下空间不会破坏原有建筑	影响一般,开发利用其下部或周边地下空间须采取一定防护措施	影响较大,开发利用其下部或周边地下空间会破坏原有建筑或设施

3.2 水文地质条件

地下水分为松散岩类孔隙水、碎屑岩类裂隙孔隙水和基岩裂隙水。除了撮镇—滨湖新区东南部中一下更新统孔隙含水层单孔涌水量一般为 $100\sim 1\,000\text{ m}^3/\text{d}$ 外,其他地区地下水基本较贫乏。 $0\sim -5\text{ m}$ 、 $-5\sim -15\text{ m}$ 、 $-15\sim -40\text{ m}$ 空间域均从地下水赋存类型、富水性、地下水腐蚀性等方面综合评价水文地质条件的优劣。根据表1评价因子及分级标准, $0\sim -5\text{ m}$ 空间域内水文地质条件划分为优、良、中3个等级; $-5\sim -15\text{ m}$ 空间域水文地质条件划分为优、良2个等级; $-15\sim -40\text{ m}$ 空间域水文地质条件划分为优、良、中、差4个等级。

3.3 地壳稳定性

结合研究区地质条件,地壳稳定性评价主要选择更新世断裂、地震活动、构造应力场等指标,采用定性分析法^[26]将合肥市地壳稳定性分为紫蓬山稳定区、岗集—罗集次稳定区和长临—肥东较不稳定区。根据表1分级标准,分别将 $0\sim -5\text{ m}$ 、 $-5\sim -15\text{ m}$ 、 $-15\sim -40\text{ m}$ 空间域地壳稳定性条件划分为优、良、中3个等级。

3.4 地面及地下空间条件

合肥市地处江淮丘陵中部,江淮分水岭横卧西北,总体地势表现为西北高、东南低。地貌主要为平原,东南部和西南部有少量低山残丘分布。区内铁路、高速公路、高层建筑物、较大面积的水域及地形起伏较大的低山残丘是影响地下空间开发利用的主要地面因素。已有地下空间主要有地下人防工程、地下停车库及地下管线等。根据地面设施及已有地下空间对地下空间开发利用的影响程度(表1),将 $0\sim -5\text{ m}$ 、 $-5\sim -15\text{ m}$ 、 $-15\sim -40\text{ m}$ 空间域地面及地下空间条件划分为优、良、差3个等级。

(1) $0\sim -5\text{ m}$ 空间域。属于地表层,是人类最广泛利用的空间域,具有较强的公共性,受地面条件影响较大,大多数地面建筑(构)物对该空间域都将产生影响。地下空间开发利用适宜性为优的区域主要分布在城区外围,其上主要是呈片状分布的农田。地下空间开发利用适宜性为良的区域主要分布于城区内低层建筑物及建设中的公园。地下空间开发利用适宜性为差的区域主要分布于中高层建筑、工业园区,董铺水库、大房郢水库等水域及桥头集一带低山丘陵区。

(2) $-5\sim -15\text{ m}$ 空间域。地下空间开发利用适宜性为优的区域主要包括 $0\sim -5\text{ m}$ 空间域为优、良的区域和城市道路以下的空间域。地下空间开发利用适宜性为良的区域主要分布在除董铺水库和大房郢水库以外的水域下或建设中的公园。地下空间开发利用适宜性为差的区域主要为中高层建筑之下的空间,董铺水库、大房郢水库、已建成的双凤工业园区以及东部瑶海工业园、桥头集低山丘陵区。

(3) $-15\sim -40\text{ m}$ 空间域。地下空间开发利用适宜性为优的区域主要分布在广场、农田、道路、水域、绿地和铁路等开阔空间下及低层建筑物下。地下空间开发利用适宜性为良的区域主要分布于中层建筑与工业厂房下。地下空间开发利用适宜性为差的区域主要为高层建筑物以下的空间。

4 评价步骤

本次评价采用基于AHP的模糊数学综合评价方法。该方法在选取评价因子的基础上,运用AHP法确定每个空间域内不同因子的权重,组成权系数矩阵;运用模糊数学理论建立各评价因子对各评价等级的线性函数关系式,计算各单因子对各级地下空间的隶属度,组成模糊矩阵;将隶属度矩阵与权系数矩阵相乘,得出每个格网对地下空间开发地质环境适宜性优、良、中、差的隶属度,再根据最大隶属度原则判断地下空间开发地质环境适宜性的优劣。当隶属度相同时,将最高级别作为评价结果,依据该方法确定地下空间开发地质环境适宜性等级,哪一评价等级地下空间开发地质环境适宜性的隶属度最大,则地下空间开发地质环境适宜性评价结果即为该等级,具体评价步骤如下。

(1)建立因素集和评语集。在3个深度范围的地下空间域选取了工程地质条件、水文地质条件、地壳稳定性和地面及地下已有建筑物条件4个因素作为评价因子,即评价因素集为

$$U=(U_1, U_2, U_3, U_4),$$

式中: U 为地下空间开发地质环境适宜性评价集; U_1 为工程地质条件因子; U_2 为水文地质条件因子; U_3 为地壳稳定性因子; U_4 为地面及地下已有建筑物条件因子。评价过程中将地下空间开发地质环境适宜性划分为4个级别,即评语集为

$$V=(V_1,V_2,V_3,V_4),$$

式中: V 为地下空间开发地质环境适宜性评语集; V_1 为适宜; V_2 为较适宜; V_3 为一般适宜; V_4 为不适宜。

(2) 确定评价标准。将 GIS 格网 (GRID) 作为基本评价单元, 根据 1:50 000 成图比例尺精度, 在合肥城区建立了 8 405 个 1 km×1 km 格网, 用该格网对参评因素的基础图件进行剖分, 再由专家按表 2 评分标准对剖分后的每个格网进行打分, 从而确定各个参评因子分值。分值越小表示对地下空间开发的影响越小, 地下空间开发地质环境适宜性等级越高。

表 2 评价因子评分标准

Table 2 Standard of the evaluation factors				
标准值	V_1	V_2	V_3	V_4
评分/分	0.00~5.00	5.01~7.00	7.01~9.00	9.00~10.00
U_1	优	良	中	差
U_2	优	良	中	差
U_3	优	良	中	差
U_4	优	良	中	差

(3) 用层次分析法确定权重。建立 0~-5 m、-5~-15 m、-15~-40 m 空间域的比较判断矩阵^[29], 根据矩阵计算不同评价因子权重组成的权重集(表 3)。

表 3 空间域评价因子权重

Table 3 Weight of evaluation factors in spatial domain							
空间域/m	V	U_1	U_2	U_3	U_4	W	指标值
0~-5	U_1	1	2	3	1/3	0.241 3	$\lambda_{\max}=4.062\ 8$
	U_2	1/2	1	1.5	1/4	0.132 0	$CI=0.020\ 9$
	U_3	1/3	1/1.5	1	1/4	0.099 5	$RI=0.9$
	U_4	3	4	4	1	0.527 2	$CR=0.023\ 3$
-5~-15	U_1	1	2	2	1/2	0.266 8	$\lambda_{\max}=4.089\ 0$
	U_2	1/2	1	2	1/2.5	0.183 1	$CI=0.029\ 7$
	U_3	1/2	1/2	1	1/2.5	0.128 9	$RI=0.9$
	U_4	2	2.5	2.5	1	0.421 2	$CR=0.033\ 0$
-15~-40	U_1	1	1	2	1/1.5	0.258 4	$\lambda_{\max}=4.016\ 9$
	U_2	1	1	1.5	1/1.5	0.239 0	$CI=0.005\ 6$
	U_3	1/2	1/1.5	1	1/2	0.153 8	$RI=0.9$
	U_4	1.5	1.5	2	1	0.348 8	$CR=0.006\ 3$

注: λ_{\max} 为矩阵最大特征根; CI 为一致性指标; RI 为平均一致性指标; CR 为一致性比率。

(4) 建立隶属度函数与构建模糊矩阵。各评价因子隶属函数如公式(1)、(2)、(3)、(4)所示, 其中 c 为该因子实际分值。

$$U_1 = \begin{cases} 1 & c \leq 5 \\ \frac{6-c}{1} & 5 < c < 6, \\ 0 & c \geq 6 \end{cases} \quad (1)$$

$$U_2 = \begin{cases} 0 & c \leq 5, c \geq 8 \\ \frac{c-5}{1} & 5 < c < 6, \\ \frac{8-c}{2} & 6 \leq c < 8 \end{cases}, \quad (2)$$

$$U_3 = \begin{cases} 0 & c \leq 6, c \geq 9.5 \\ \frac{c-6}{2} & 6 < c < 8, \\ \frac{9.5-c}{1.5} & 8 \leq c < 9.5 \end{cases}, \quad (3)$$

$$U_4 = \begin{cases} 0 & c \leq 8 \\ \frac{c-8}{1.5} & 8 < c < 9.5, \\ 1 & c \geq 9.5 \end{cases} \quad (4)$$

确定隶属函数后, 根据表达式建立模糊关系矩阵 R , 利用公式(1)、(2)、(3)、(4)计算每个格网参评因子的隶属度, 即 $R=[r_{ij}]$, 从而建立模糊矩阵 R 。

(5) 模糊综合评价。通过以上公式计算得到权重集 W 及每个单元格的模糊关系矩阵 R , 根据公式(5)进行模糊综合评价^[30], 得出每个格网对地下空间开发地质环境适宜、较适宜、适宜中等、适宜差的隶属度, 再根据最大隶属度原则判断地下空间地质环境适宜性的优劣。

$$B=W \cdot R=(w_1, w_2, w_3, w_4) \cdot$$

$$\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} & r_{44} \end{bmatrix} = (b_1, b_2, b_3, b_4), \quad (5)$$

5 评价结果

根据上述评价步骤, 得出每个空间域单元格地下空间开发地质环境适宜性等级。对格网区块边界进行编辑, 得到各空间域地下空间地质环境适宜性评价图, 地下空间开发地质环境适宜性评价统计结果如表 4 所示。

表 4 合肥市地下空间开发地质环境适宜性评价统计结果
Table 4 Statistics of geological environment suitability assessment of underground space development in Hefei City

空间域/m	适宜区面积/ km ²	较适宜区面积/ km ²	适宜性差区 面积/km ²
0~—5	1 377	94	625
—5~—15	1 266	449	381
—15~—40	1 623	308	165

5.1 0~—5 m 空间域

0~—5 m 空间域地下空间开发利用适宜性主要受地面及工程地质条件影响(图 2)。由图 2 可知,适宜区主要分布在城市周边未开发区,面积为 1 377 km²;较适宜区主要分布在软土分布区和“城中村”或城市亟待建设区,面积为 94 km²。地层多为下蜀组及少量芜湖组,岩性多为黄褐色黏土、粉质黏土,局部有淤泥质土、粉土、粉砂等。水文地质条件较好,地下水赋存条件主要为上层滞水和潜水,含水层富水性极贫乏—贫乏,地下水无腐蚀性。除局部软土分布区力学性质差异较大外,总体工程地质条件较好。

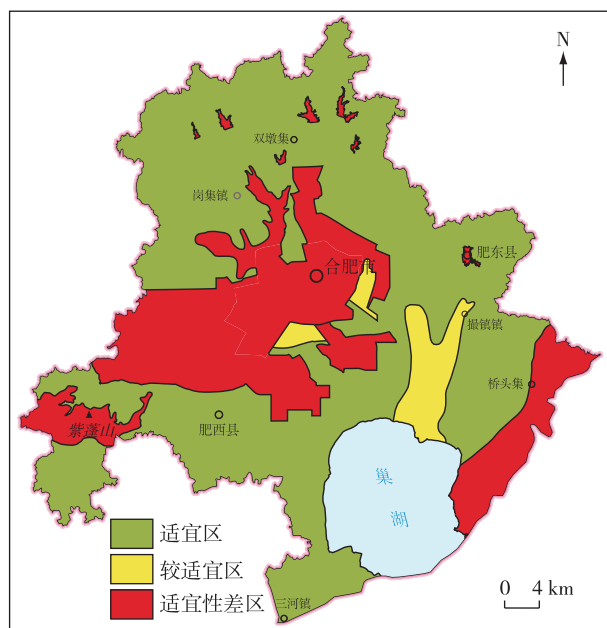


图 2 0~—5 m 空间域地下空间开发地质环境适宜性分区图

Fig. 2 Geological environment suitability zoning of underground space development in 0~—5 m depth space domain

适宜性差区主要分布于城市中心区和低山丘陵区,面积为 625 km²,占合肥市总面积的 29.8%。城市中心区岩性多为黏土、粉质黏土,地下水赋存条件为上层滞水和潜水,含水层富水性贫乏—极贫乏,地下水无腐蚀性。水文地质条件较好,但该区位于水库、厂房等地区,地面条件适宜性差。肥西县紫蓬山、肥东县桥头集等地区属于低山丘陵区,水文地质条件好,地下水赋存条件为潜水,含水层富水性贫乏,地下水无腐蚀性,但该区地形起伏大,地貌复杂,地面条件适宜性差。肥东县桥头集低山丘陵区主要为前寒武纪变质岩,断层、片麻理、节理发育,岩石破碎,变形、变质强,工程地质条件较差。

5.2 —5~—15 m 空间域

—5~—15 m 空间域地下空间开发利用适宜性受地面和工程地质条件影响(图 3)。适宜区主要分布在城市周边未开发区,面积为 1 266 km²;较适宜区主要分布在工业园区、软土分布区、紫蓬山低山区,面积为 449 km²。岩性以黏性土、砂土、红层砂岩为主,南淝河、派河等地区有软土分布,厚度一般<2 m,单层结构分布,岩土层整体较均匀且稳定,强度较高,围岩稳定性好。地下水赋存条件为潜水,含水层富水性贫乏—极贫乏,地下水无腐蚀性。

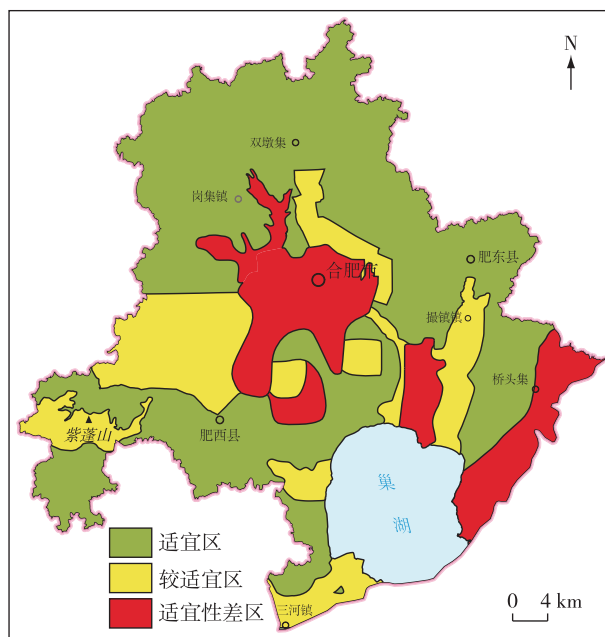


图 3 —5~—15 m 空间域地下空间开发地质环境适宜性分区图

Fig. 3 Geological environment suitability zoning of underground space development in —5~—15 m depth space domain

适宜性差区主要分布在大型水库、城市中心区、大圩软土分布区与桥头集低山丘陵区,面积为 381 km^2 ,占合肥市总面积的 18.2% 。大型水库、城市中心区岩性主要为黏土和砂岩,地下水赋存条件为潜水,含水层富水性极贫乏-贫乏,地下水无腐蚀性。工程地质、水文地质条件均较好,主要受地面及已有地下空间条件影响,大型水库地面条件适宜性差,城市中心区多为中、高层建筑物,少数地下车库,地面及已有地下空间条件适宜性差。大圩软土分布区与桥头集低山丘陵区水文地质条件较好,地下水赋存条件为潜水、承压水,含水层富水性极贫乏-贫乏,地下水无腐蚀性,工程地质条件差。大圩软土分布区软土发育,厚 $>5\text{ m}$,土层压力大,地下空间开发可能产生软土层蠕动、地面沉降、变形等工程地质问题。桥头集低山丘陵区主要为前寒武纪变质岩,断层、片麻理、节理发育,岩石破碎,变形变质强,工程地质条件较差。

5.3 -15~-40 m 空间域

-15~-40 m 空间域地下空间开发利用适宜性主要受高层建筑及水文地质条件影响,其次受工程地质条件影响(图4)。适宜区广泛分布,面积为 $1\,623\text{ km}^2$;较适宜区主要分布在二环及周边地区、滨湖—严店和店埠河下游(撮镇—河口段)沿岸,面积为 308 km^2 。岩性主要为黏土、砂土、砂岩,总体工程地质条件较好,围岩整体较稳定。地下水赋存条件为微承压水,含水层富水性较贫乏-中等,地下水均无腐蚀性,水文地质条件较好。

适宜性差区主要分布在城市高层建筑物、大圩与桥头集低山丘陵区,面积为 165 km^2 ,占合肥市总面积的 7.8% 。高层建筑物分布区虽然工程地质及水文地质条件较好,但由于地表为高层建筑物,地面条件适宜性差。大圩—巢湖北岸一带岩性以砂土为主,夹淤泥和粉细砂。地下水赋存条件为承压水和潜水垂向共存,含水层富水性较贫乏-中等。桥头集低山丘陵区主要为前寒武纪变质岩,断层、片麻理、节理发育,岩石破碎,变形变质强,工程地质条件较差。

综上所述,0~-5 m 空间域地下空间资源开发利用适宜区、较适宜区面积占 70.2% ; -5~-15 m 空间域地下空间资源开发利用适宜区、较适宜区面积占 81.8% ; -15~-40 m 空间域地下空间资源开发利用适宜区、较适宜区面积占 92.2% 。合肥市具有数量可观的地下空间资源,大部分地区可开发

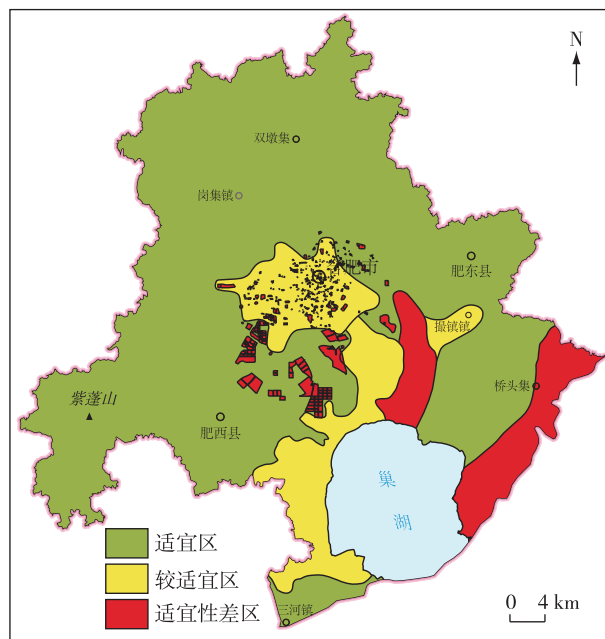


图4 -15~-40 m 空间域地下空间开发地质环境适宜性分区

Fig. 4 Geological environment suitability zoning of underground space development in -15~-40 m depth space domain

利用,这些潜在的地下空间资源可为城市可持续发展提供有力保障。

6 结论

(1)合肥市地面以下40 m深度内的地下空间开发利用适宜性划分为适宜区、较适宜区、适宜性差区3个等级。

(2)合肥市0~-5 m空间域地下空间资源开发利用适宜区及较适宜区面积占 70.2% ; -5~-15 m空间域地下空间资源开发利用适宜区、较适宜区面积占 81.8% ; -15~-40 m空间域地下空间资源开发利用适宜区、较适宜区面积占 92.2% ,具有较好的地下空间资源,可为城市可持续发展提供有力保障。

参考文献

- [1] 曹晖,杨汉元,姜文,等.长沙市地下空间开发地质环境适宜性评价[J].中国矿业,2019,28(增刊):142-147.
- [2] 程光华,苏晶文,李采,等.城市地下空间探测与安全利用战略构想[J].华东地质,2019,40(3):226-233.

- [3] 童林旭.地下空间概论(一)[J].地下空间,2004,24(1):133-136.
- [4] 刘运来,吴江鹏,彭培宇,等.基于地质环境要素的地下空间利用适宜性评价[J].长江科学院院报,2017,34(5):58-62.
- [5] 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(增刊):1093-1099.
- [6] 吴炳华,蔡国成,潘小青,等.宁波市地下空间开发利用地质环境制约因素研究[J].城市地质,2016,11(4):39-43.
- [7] 柳昆,彭建,彭芳乐.地下空间资源开发利用适宜性评价模型[J].地下空间与工程学报,2011,7(2):219-231.
- [8] 谷天峰.GIS支持下的城市地质环境评价研究以咸阳市为例[D].西安:西北大学,2004:3-10.
- [9] RAMANATHAN R. A note on the use of the analytic hierarchy process for environmental impact assessment[J]. Journal of Environmental Management, 2001, 63(1):27-35.
- [10] 张晓峰,吕良海,白永强,等.城市地下空间模糊综合评价方法研究[J].地下空间与工程学报,2012,8(1):8-13.
- [11] 徐军祥,秦品瑞,徐秋晓,等.济南市地下空间资源开发地质环境适宜性评价[J].山东国土资源,2012,28(8):14-17.
- [12] 岳志辉.石家庄城市地下空间开发及利用适宜性灰色综合评价[D].石家庄:河北工业大学,2013:25-50.
- [13] 刘健,魏永耀,高立,等.苏州城市规划区地下空间开发适宜性评价[J].地质学刊,2014,38(1):94-97.
- [14] 廖建三,彭卫平,林本海.影响广州市浅层地下空间开发利用的地质因素分析及分区评价[J].岩石力学与工程学报,2006,25(增刊):3357-3362.
- [15] 杨明,朱成河,郭长胜,等.临沂市城市地下空间资源地质调查评价研究[J].山东国土资源,2016,32(3):68-75.
- [16] 吴立新,姜云,梁越,等.城市地下空间开发利用容量评估的基础研究[J].地理与地理信息科学,2004,20(4):44-47.
- [17] 欧孝夺,杨荣才,周东,等.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[J].桂林工学院学报,2009,29(4):474-480.
- [18] 潘朝,吴立,左清军,等.基于模糊数学的武汉市地下空间开发地质适宜性评价[J].安全与环境工程,2013,20(2):19-23.
- [19] 郭超,阎长虹,刘军熙,等.基于GIS的东营市浅层地下空间质量评估[J].工程地质学报,2014,22(2):334-340.
- [20] 夏友,马传明.郑州市地下空间资源开发利用地质适宜性评价[J].地下空间与工程学报,2014,10(3):493-497.
- [21] 彭建,柳昆,郑付涛,等.基于AHP的地下空间开发利用适宜性评价[J].地下空间与工程学报,2010,6(4):688-694.
- [22] 王永立,沈健,齐波.基于GIS-Fuzzy的地下空间资源评价[J].城市地质,2008,3(2):43-47.
- [23] 王兰化,马武明,李明明,等.天津滨海新区地下空间开发适宜性评价[J].地质调查与研究,2015,38(4):299-304.
- [24] 吴炳华,张水军,徐鹏雷,等.宁波市地下空间开发地质环境适宜性评价[J].地下空间与工程学报,2017,13(增刊):16-21.
- [25] 杜莉莉.重庆市主城区地下空间开发利用研究[D].重庆:重庆大学,2013:11-14.
- [26] 李运怀,管后春,刘道彬,等.合肥市地下空间资源开发利用调查评价[R].合肥:安徽省地质调查院,2009:90-140.
- [27] 彭苗枝,秦先燕,何苗.影响黄山市中心城区工程建设的地质因素及工程建设适宜性评价[J].华东地质,2019,40(1):67-73.
- [28] 邢怀学,葛伟亚,李亮,等.基于GIS的丹阳城镇工程建设适宜性评价[J].华东地质,2019,40(1):59-66.
- [29] 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.
- [30] 彭俊婷,洪涛,解智强,等.基于模糊综合评价的城市地下空间开发适宜性评估[J].测绘通报,2015(12):66-69.

Geological environment suitability assessment of underground space development in Hefei City

PENG Miaozi¹, WU Jianxiong¹, GUAN Houchun¹, QIU Sichen²

(1. *Institute of Geological Survey of Anhui Province, Hefei 230001, Anhui, China;*

2. *Anhui institute of Geo-Environment Monitoring (Hefei), Hefei 230001, Anhui, China*)

Abstract: To find out the influencing factors of geological environment and evaluate the suitability of underground space development in Hefei City, by studying the geological environment conditions, this study selects engineering geological condition, hydrogeological condition, stability of crust, ground and underground space conditions as the key factors of geological environment suitability assessment of underground space development. On the basis of the suitability evaluation of single factor underground space development, the weight was determined by Analytic Hierarchy Process, and the suitability evaluation of geological environment for underground space development within 40 m below the surface of Hefei City was carried out vertically and stratified with MAPGIS as the platform and fuzzy mathematics comprehensive evaluation method. The result shows that the geological environment suitability of underground space development within the depth of 40 m underground could be divided into three grades, suitable area, relatively suitable area and poor suitable area respectively. The suitable and relatively suitable areas in the depth of 0~5 m spatial domain account for 70.2%, the suitable and relatively suitable areas in the depth of -5~-15 m spatial domain account for 81.8%, the suitable and relatively suitable areas in the depth of -15~-40 m spatial domain account for 92.2%. It is considered that there are good underground space resources in Hefei City, and these potential underground space resources can provide guarantee for sustainable development of the city.

Key words: underground space development; geological environment; Analytic Hierarchy Process; fuzzy comprehensive evaluation; Hefei City