

文章编号: 1674-9057(2019)02-0396-06

doi:10.3969/j.issn.1674-9057.2019.02.018

# 影响合肥城市地下空间开发的地质因素分析

彭苗枝, 李运怀, 管后春, 何苗

(安徽省地质调查院, 合肥 230001)

**摘要:**为查明合肥市地下空间开发的地质环境制约因素及地下空间开发中需注意的地质问题,以野外地质调查、钻探、室内测试等手段获得的原始数据为基础,研究合肥市地形地貌、工程地质条件、水文地质条件、活动断裂等地质因素的发育分布特征及其对地下空间开发可能造成的影响,并提出合肥市地下空间开发利用的对策与建议。结果表明:地形地貌、工程地质条件、水文地质条件、活动断裂是影响合肥市地下空间开发的主要地质因素;合肥市总体地质条件较好,利于地下空间开发,部分地区地下空间开发利用需注意地形坡度、膨胀土、软土、承压含水层、活动断裂等因素的影响。为政府部门编制城市地下空间资源开发利用规划提供地质依据,为实现合肥市地下空间资源的可持续发展提供参考。

**关键词:**地下空间;地质因素;合肥市

**中图分类号:** TU391

**文献标志码:** A

合肥市是安徽省省会,地处华东地区、江淮之间,环抱巢湖,是皖江城市带核心城市。近年来,随着合肥市国民经济的高速发展,城市化进程进一步加快,地铁、地下人防工程、地下商业街、高层建筑地下室、市政公共管沟等地下工程建设规模在迅速扩大。目前,合肥市地铁1、2号线已开通运营,地铁3、4、5号线正在建设,地铁6、7、8、9号线等地铁线路在勘察设计与规划中。以地铁建设为标志,合肥市已进入地下空间开发利用新的历史阶段,逐步走上由平面二维外延向三维立体空间拓展的可持续发展轨道。

地下空间以岩土体为介质和环境,与以空气为介质的地面、上部空间存在根本差别,是地下空间开发成本高、技术难度大的主要原因。换言之,除城市的技术经济条件、发展历史和现状等因素外,地质条件对地下空间开发的安全和经济起决定性作用<sup>[1-7]</sup>。

地下空间开发利用与地质环境条件息息相关<sup>[8]</sup>。如果在地下空间开发利用过程中,对复杂

的地质条件及可能产生的地质灾害认识不足或者认识到了而预防、控制、解决的方法采取的不对,都可能会出现较多的环境地质问题和地质灾害,甚至对周围设施产生不可逆的影响,影响地下工程建设的进展及效果<sup>[9-13]</sup>。

在合肥市积极开发利用地下空间的背景下,研究地下空间开发利用的地质环境制约因素,就地质环境制约因素对地下空间开发可能造成的影响进行剖析,提出合肥市地下空间开发利用的对策与建议具有重要的现实意义。

## 1 地质概况及地下空间的物质载体

### 1.1 地形地貌

合肥地处江淮丘陵中部,江淮分水岭横卧西北,总体地势表现为西北高、东南低。地貌主要为丘陵和平原,平原又分为风积波状平原、冲积平坦平原。波状平原广泛分布;巢湖沿岸以及南淝河、派河、丰乐河、杭埠河等河流下游两侧为冲积平坦平原;东南和西南有少量低山残丘<sup>[14]</sup>。全

收稿日期: 2018-04-10

基金项目: 安徽省公益性地质调查项目(2012-g-32)

作者简介: 彭苗枝(1984—),女,硕士,工程师,研究方向:水文地质工程地质, kanyim@163.com。

引文格式: 彭苗枝,李运怀,管后春,等.影响合肥城市地下空间开发的地质因素分析[J].桂林理工大学学报,2019,39(2):396-401.

市海拔多在 15 ~ 80 m，平均海拔 20 ~ 40 m。位于西部的大蜀山孤峰突起，海拔高程 282 m，与其北面的董铺水库遥遥相对(图 1)。

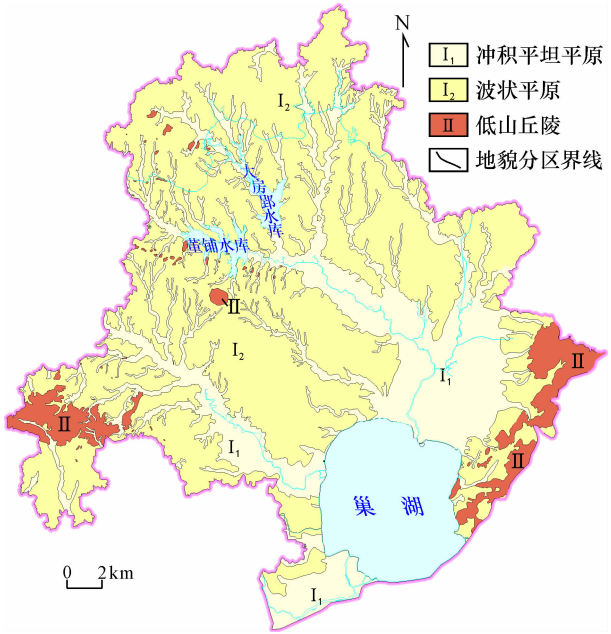


图 1 合肥市地貌图  
Fig. 1 Geomorphological map of Hefei

1.2 地层

本区在元古代末期最终形成刚性基底，至三叠纪皆处于古陆状态，缺失相应时代的沉积建造。经过古生代漫长的隆起以后，中生代本区受华北和扬子两大地块拼合的影响，断裂构造活动强烈，合肥地区开始发生断陷沉降，形成合肥盆地，沉积了侏罗纪—古近纪的一套巨厚陆相碎屑物<sup>[14]</sup>。第四纪以来，地壳升降活动较为明显，在一定程度上控制了区内第四纪沉积(图 2)。

1.2.1 基岩 以郯庐断裂的西界断裂西山驿断裂为界线，东侧为郯庐断裂带，主要为新太古代—中元古代地(岩)层，为一套中深变质岩层组合，岩性为片麻岩、片岩等；西侧为合肥盆地，主要为中生代以来沉积的“红层”，为一套巨厚的陆相碎屑物，岩性为砂岩、粉砂岩、泥岩。

1.2.2 第四系 合肥地区大部分被第四系松散沉积物覆盖，参照安徽省地质调查院 2009 年《合肥市地下空间资源开发利用调查评价报告》将第四系由老到新划分为中下更新统义城组、上更新统下蜀组 and 全新统芜湖组，厚度由西北向东南增大，最厚为 70 m(表 1)。芜湖组分布于冲积平坦平原，

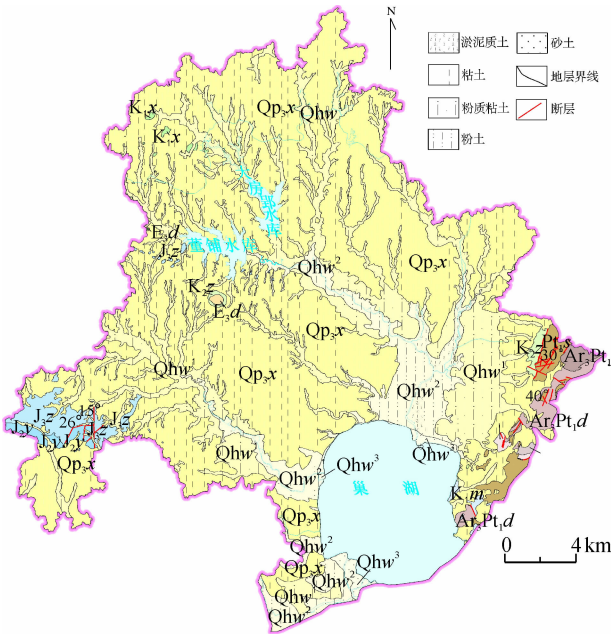


图 2 合肥市地质图  
Fig. 2 Geological map of Hefei

Qhw<sup>3</sup>—芜湖组上段; Qhw<sup>2</sup>—芜湖组中段; Qhw<sup>1</sup>—芜湖组下段; Qp<sub>3</sub>x—下蜀组; E<sub>3</sub>d—大蜀山组; K<sub>2</sub>z—张桥组; K<sub>1</sub>x—新庄组; K<sub>1</sub>m—毛坦厂组; J<sub>3</sub>z—周公山组; J<sub>2</sub>y—圆筒山组; Pt<sub>1</sub>b<sub>j</sub>—北将军岩组; Pt<sub>1</sub>q—桥头集岩组; Pt<sub>1</sub>s—双山岩组; Ar<sub>3</sub>Pt<sub>1</sub>d—大横山岩组; Ar<sub>3</sub>Pt<sub>1</sub>f—浮槎山岩组

岩性为青灰色、褐黄色淤泥质粘土、粉质粘土、粉细砂、含砾中粗砂等；下蜀组广泛分布于波状平原区，岩性为棕黄色粘土、粉质粘土；义城组主要分布于滨湖新区、经济开发区和东部撮镇店埠一带地表以下，岩性为粘土、粉质粘土、细砂、中砂。

1.3 合肥市地下空间的物质载体

根据合肥市目前地下空间开发利用深度和城市发展的需要，地下空间开发利用的下限一般在地面以下 40 m 深度。该空间内的物质载体有新太古代—古元古代片麻岩、片岩、侏罗纪—古近纪沉积的陆相碎屑岩(红色砂岩、泥岩)、新近纪喷出的玄武岩以及第四纪以来堆积的各类松散土体。

平原区上部分布第四系松散土体，下部为红层。波状平原区第四系厚度 5 ~ 50 m，其中，西北部以及低山丘陵外围，第四系厚度一般小于 10 m。冲积平坦平原区第四系厚度 15 ~ 60 m，南淝河、派河、丰乐河、杭埠河等河流上游第四系厚度 15 ~ 20 m，往下游至巢湖边逐渐增厚。丘陵山区分布新太古代—古元古代片麻岩、片岩、红层、古近纪玄武岩。

表 1 合肥市第四纪地层划分  
Table 1 Quaternary stratigraphic division of Hefei

地质年代		岩石地层		代号	岩 性
纪	世	组	段		
第四纪	全新世	芜湖组	上段	Qhw <sup>3</sup>	青灰色淤泥质粘土、粉质粘土、粉细砂
			中段	Qhw <sup>2</sup>	上部青灰、灰黄色粘土、粉质粘土
					下部青灰色、黑色淤泥、淤泥质粘土、粉质粘土、粉土等，夹粉砂
			下段	Qhw <sup>1</sup>	青灰、褐黄色粉土、粉砂、中细砂和含砾中粗砂等
	更新世	下蜀组	Qp <sub>3</sub> x	黄褐色、灰黄色粘土夹粉质粘土，局部夹多层含砾砂土、粉土等	
		义城组	上段	Qp <sub>1</sub> y <sup>2</sup>	上部棕红色粘土为主，少量棕红色、浅灰色粉质粘土、粉土，夹浅灰色粘土
			下段	Qp <sub>1</sub> y <sup>1</sup>	上部锈黄色、浅黄色细砂、浅灰色粉土、粘性土
					下部灰白色、浅灰色、灰黄色粉土 - 粉砂、细砂，底为浅灰色含砾细中砂

2 影响地下空间开发的主要地质因素

根据合肥市地质环境条件，结合近年来地下工程建设中出现的问题，分析认为合肥市地下空间开发主要受到地形地貌、工程地质条件、水文地质条件、地壳稳定性等因素的影响。

2.1 地形地貌与地下空间开发影响分析

地形地貌一般包括地面标高、坡度两个指标因素。一般来说，地面标高对地下空间开发的影响不大，地面坡度制约着地下空间的开发<sup>[6]</sup>。

合肥地处江淮丘陵中部，除西部孤峰突起的大蜀山、肥西县紫蓬山和肥东县桥头集低山丘陵区，区内地貌主要为平原。平原区内地形平坦或波状小起伏，地面坡度一般小于 15°，是地下空间开发的有利地形地貌。

低山丘陵区，地形起伏大，地面坡度 15° ~ 40°，除低缓丘陵外，绝大部分地区是地下空间开发利用的不利地形地貌，地下空间开发利用适宜性差。地面坡度较大的山地地形，地下空间开发的难度加大，造价增高。除地下工程建设选址需要，一般不建议在此区大面积进行地下工程建设。

2.2 工程地质条件与地下空间开发影响分析

合肥市在地表以下 40 m 深度范围内的地下空间主要处在第四系松散层和基岩风化层中。工程建设层由粘土、粉质粘土、淤泥质土、粉土、粉砂、细砂、砂岩、片麻岩、片岩等组成，除淤泥质土外，土体地基承载力一般 180 ~ 320 kPa，岩体强度较高。整体来说，地下空间工程地质条件都较好，大部分地区土质比较均匀且无不良土层，但河谷平原地区工程地质条件复杂，软土、砂土等不仅给地下工程建设带来许多难题，且容易产

生灾难性的环境岩土工程问题，如边坡失稳、突涌、地面塌陷、不均匀沉降等。根据该地区工程地质特征，结合近年来各类工程事故突发原因和防治经验，可确定影响合肥地下空间开发利用的主要工程地质因素是不良工程地质层的性质。

合肥分布有膨胀土、饱和砂土和软土等不良工程地质层，通常是工程建设时不可直接利用、应采取处理措施的天然地层，也是地下空间开发过程中最容易引起工程地质问题的土层。

2.2.1 膨胀土与地下空间开发影响分析 膨胀土在本区分布普遍，地层层位上，上更新统下蜀组分布普遍，膨胀性强；全新统芜湖组局部分布，膨胀性弱(图 3)。同一层粘土中，自由膨胀率一般表现为上低下高。下蜀组粘土中表现出随着深度的增加自由膨胀率相应增高的趋势。分布于波状平原中下蜀组膨胀土，膨胀性较强，膨胀率一般大于 50%，除岗集镇南部、合肥市西南部等地发育强膨胀潜势膨胀土外，大部分具弱 - 中等膨胀潜势。分布于平坦平原芜湖组粘性土，膨胀性较弱，膨胀率一般在 30% ~ 50%<sup>[14]</sup>。膨胀土的大气影响深度一般为 3.5 m，随着深度增加，膨胀土对地下空间开发影响在减小，膨胀土在深度 3.5 m 以下的范围影响性很小。膨胀土以弱膨胀潜势为主，中等膨胀潜势、强膨胀潜势膨胀土在局部地区分布。

本区内膨胀土的粘粒含量高，而且以伊利石和蒙脱石为主，因此液限和塑性指数都很高，摩擦强度虽低，但黏聚力大，在地下工程开发利用遇丰富地下水资源情况下，常因吸水膨胀而使其强度衰减。膨胀土具有超固结性，开挖地下洞室或边坡时往往因超固结应力的释放而出现大变形<sup>[15]</sup>。

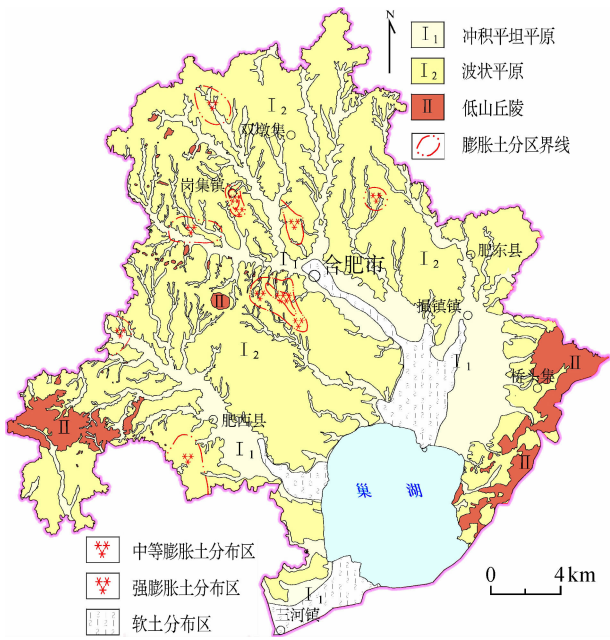


图 3 合肥市特殊土分布图

Fig. 3 Specific graph distribution map of Hefei

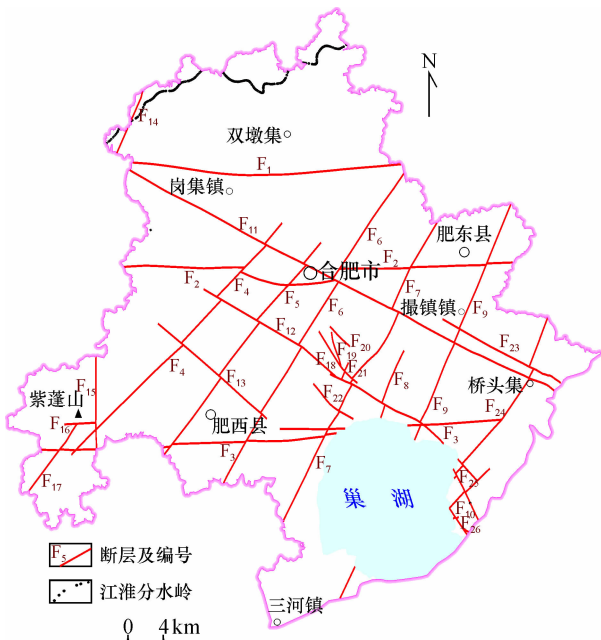


图 4 合肥市断裂分布图

Fig. 4 Fault distribution map of Hefei

因此在膨胀土中开发利用地下空间，常见围岩底鼓、内挤、坍塌等变形现象，导致隧道衬砌变形破坏，地面隆起。而且膨胀土隧道围岩变形常具有速度快、破坏性大、延续时间长等特点。

2.2.2 饱和砂土与地下空间开发影响分析 砂土主要分布于平坦平原中，层位上分布于芜湖组与义城组，砂土孔隙均为水充填，根据调查结果，饱和粉砂土为不液化土，在抗震设防烈度为Ⅶ度时开发地下空间不会发生地震液化<sup>[14]</sup>。因此，地下空间开发利用可不考虑砂土地震液化的影响。

2.2.3 软土与地下空间开发影响分析 软土分布于派河、南淝河漫滩、入湖口和巢湖沿岸及部分沟渠水塘中，多裸露于地表（图3），厚0.2~8 m，软塑—流塑状态，强度低，地基承载力特征值80~120 kPa，天然孔隙比0.85~1.13，平均1.01，天然含水量 $w$ 在24.4%~52.0%，液性指数 $I_L$ 在0.03~1.58，具有天然含水量高、孔隙比大的特点，一般呈流塑状态，因此具有触变性、高压缩性、流变性，而对工程产生不利影响。在地下工程建设中，当基坑或硐室开挖后，软土失去侧限，将发生塑流挤出变形，从而可能导致基坑的边坡坍塌、裂缝，硐室顶板侧壁的冒顶偏帮，甚至埋陷等。

区内的软土因地下水位高，且局部夹薄层粉砂，地下空间开发难度加大，成本增高。软土厚度

越大，施工难度越大，越不利于地下空间开发。对于厚度不大的软土，一般可采取置换土层的方法来处理；对于厚度较大的软土，需组织专门的地下技术施工。

### 2.3 水文地质条件与地下空间开发影响分析

地下空间开发利用与地下水的水量、水位及水质息息相关，即地下水埋深越浅，富水性越好，对地下空间的开发利用越不利。

地下水对地下空间开发利用的影响主要表现在：因改变局部区域地下水流场，造成渗流、潜蚀、突涌及管涌等；地下水会对地下结构产生一定的浮托作用；地下水中所含的 $\text{CO}_2$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 等具有侵蚀性的介质，对钢筋混凝土结构具有一定的弱腐蚀性，这是一种持久性的安全隐患<sup>[16-17]</sup>。

合肥市地下水有松散岩类孔隙水、红层裂隙孔隙水、基岩裂隙水三大类型。地下水主要赋存于漫滩相和河床相的砂层、含砾砂层、砾石层的孔隙中。区内地下水对混凝土、钢材的腐蚀性评价皆为无腐蚀性影响。

红层裂隙孔隙水、基岩裂隙水水位埋深较深，水量贫乏—极贫乏级；波状平原中的松散岩类孔隙水水量极贫乏级，对地下空间开发影响较小。

河谷平坦平原中的松散岩类孔隙水，水位埋深较浅，地下水位埋深1~2 m，水量中等，且赋存于早更新世砂砾层中的地下水往往具有承压性，

且承压含水层的顶板埋深一般 20 ~ 30 m, 是本区地下空间最不利的水文地质条件区。承压水由于其压力影响, 若地基内存在承压水, 开挖基坑时可能会使坑底土层产生隆起现象甚至破坏。承压水头高、水量大, 施工中若揭穿了承压含水层后再实施排水将十分困难。而区内地铁隧道底界深度在 10 ~ 20 m, 开挖隧道将形成临空面低水位区, 改变了原有地下水径流, 使周围地下水向临空面内汇集, 威胁施工作业人员的安全, 增加地下工程建设的难度。

## 2.4 活动断裂与地下空间开发影响分析

合肥市断裂构造较为发育, 多为隐伏断裂, 按断裂方向可分为近东西向、北东向、北西 - 北北西向等断裂系统。对地下空间开发有影响的主要有郟庐断裂带  $F_{10}$ 、乌云山合肥断裂  $F_6$ 、大新庄丙子铺断裂  $F_7$ 、哑巴店大兴集断裂  $F_{11}$ 、大蜀山施口断裂  $F_{12}$  (部分)、长安集吴山口断裂  $F_4$ 、上王岗塘西村断裂  $F_{22}$  等更新世仍有活动的断裂 (图 4)。在安徽地区较低剪应力值的状态下, 合肥地区的平均剪应力值相对更低, 在一定程度上反映出近场地壳的相对稳定性。自 2002 年以来, 合肥地区剪应力值一直处于较低的水平, 反映了最近一段时间合肥地区地震活动水平较弱<sup>[14]</sup>。

区域上震级周期分析显示, 合肥市目前处于周期的谷段, 未来将逐渐步入地震活动的峰段。因此, 未来有发生  $M_L 4.0$  级左右地震的可能。地震活动在其近场分布上看, 主要是在该区域的东北部和东南部, 最大的地震活动在其东南部。该区域具有小震深度的数据显示均位于 0 ~ 5 km 范围内, 属于地壳内浅源地震。它对地下空间开发利用的影响主要是断裂错动后到达地表, 并在地面产生一定程度的位错和断裂破碎带或裂隙密集, 进而降低岩体强度, 还可能因断裂活动引发地基失稳等次生效应。

## 3 地下空间开发利用对策与建议

(1) 膨胀土广泛分布的波状平原区, 虽膨胀土的影响深度不大, 但浅层地下空间开发利用过程中应做好膨胀土的防水保湿工作或对膨胀土地基进行相应的处理。

(2) 派河、南淝河漫滩及巢湖入湖口, 既是软土分布区也是地下水主要赋存区, 地下水水量

中等, 水位较浅, 土层压力大, 给地下空间开发利用带来了难度。建议采用专门特殊的地下技术施工, 一定要注意做好土层的护壁和排水工作, 预防工程地质问题的发生。

(3) 大蜀山、紫蓬山、桥头集等低山残丘区, 由于地形地貌的限制, 且此区多为林地, 人口也相对稀少, 大多为旅游景区, 除地下工程建设选址需要, 一般不建议在此区大面积进行地下工程建设。尤其对于东部桥头集山区, 断层、片麻理、节理等发育, 岩石破碎, 若开发地下空间, 一定要做好基坑支护措施, 确保地下洞室的稳定与安全。

(4) 地下空间开发应尽量避免开郟庐断裂带  $F_{10}$ 、乌云山合肥断裂  $F_6$ 、大新庄丙子铺断裂  $F_7$ 、哑巴店大兴集断裂  $F_{11}$ 、大蜀山施口断裂  $F_{12}$  (部分)、长安集吴山口断裂  $F_4$ 、上王岗塘西村断裂  $F_{22}$  等自更新世仍有活动的断裂, 安全距离建议为 2 km。

## 4 结 论

影响合肥市地下空间开发利用的主要地质因素是地形地貌、工程地质条件、水文地质条件、活动断裂的发育情况, 它们控制着地下工程建造施工方法的选择和工程建设成本。

研究表明, 合肥市总体地质条件较好, 利于地下空间开发。部分地区地下空间开发利用需注意地形坡度、膨胀土、软土、承压含水层、活动断裂等因素的影响。本文在研究地形地貌、工程地质条件、水文地质条件、活动断裂等地质因素的发育分布特征及其对地下空间开发可能造成的影响基础上, 提出了地下空间开发利用的防治对策与建议, 为合肥市地下空间的合理开发利用提供技术支撑。

## 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 童林旭. 地下空间概论 (一) [J]. 地下空间, 2004, 24 (1): 133 - 136.
- [3] 刘湘, 祝文君. 城市地下空间的自然资源学基础及其评估 [J]. 地下空间, 2004, 24 (4): 543 - 547.
- [4] 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 (S2): 3357 - 3362.
- [5] 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.

[6] 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.

[7] 朱大明. 地下空间开发与自然地理环境因素 [J]. 地下空间与工程学报, 2005, 1 (5): 660 - 664.

[8] 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.

[9] 王初生, 叶为民, 杜灏洁. 上海城市地下工程环境地质效应研究 [J]. 地下空间与工程学报, 2005, 1 (2): 283 - 286.

[10] 郑国明. 影响福州城市地下空间开发的地质因素分析 [J]. 地下空间与工程学报, 2013, 9 (1): 13 - 17.

[11] 张璐, 章广成, 吴江鹏. 某城市地下空间开发利用适宜性评价 [J]. 桂林理工大学学报, 2014, 34 (3): 488 - 494.

[12] 王晓双. 哈尔滨市地下空间开发利用研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2006.

[13] 李伟宏. 影响城市地下空间开发利用的主要因素 [J]. 地下空间, 1993, 13 (2): 118 - 124.

[14] 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报告 [R]. 合肥: 安徽省地质调查院, 2009.

[15] 于明波, 颜荣涛, 韦昌富, 等. 宁明膨胀土持水性研究 [J]. 桂林理工大学学报, 2017, 37 (3): 437 - 443.

[16] 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.

[17] 宁国民, 陈国金, 徐绍宇, 等. 武汉城市地下空间工程地质研究 [J]. 水文地质工程地质, 2006 (6): 29 - 35.

Analysis of geological factors affecting the development of urban underground space in Hefei

PENG Miao-zhi, LI Yun-huai, GUAN Hou-chun, HE Miao

(Institute of Geological Survey of Anhui Province, Hefei 230001, China)

**Abstract:** In order to find out the geological environment constraints and the geological problems in the development of underground space of Hefei, based on the original data by means of geological survey, drilling and indoor test, this paper studied the geological factors such as landform and geomorphology, engineering geological conditions, hydrogeological conditions and active faults. The paper puts forward the countermeasures and suggestions. The results show that topographic landforms, engineering geological conditions, hydrogeological conditions and active faults are the main geological factors in the development of underground space in Hefei. The overall geological conditions in Hefei are good for the development of underground space, and the development and utilization of underground space in some areas should be paid attention to especially shape slope, expansive soil, soft soil, artesian aquifer and active faults. Research results provide a geological basis for the development and utilization of urban underground space resources to the government, and a useful reference for the sustainable development of underground space resources in Hefei.

**Key words:** underground space; geological factor; Hefei