



基于 GIS 的武汉市长江新城地下空间资源质量评估

熊 峰,江 丹,吴品磊,庞设典,官善友

武汉市勘察设计院有限公司,湖北 武汉 430022

摘 要: 地下空间开发是当下城市建设的热点。为服务于长江新城地下空间规划建设,在多要素城市地质调查所获取的大量基础数据和成果资料的基础上,结合 GIS 技术,开展长江新城地下空间资源质量评价,得到长江新城不同深度的地下空间资源质量分区图。结果表明:浅层、次浅层地下空间资源质量总体为良—优,且西南侧明显不如东侧和北侧,主要受现有地下构筑物、软土及地下水等因素的影响;次深层、深层地下空间资源质量总体为中—良,主要受开发深度、岩溶及岩体开挖难度的影响。

关键词: 地下空间;质量评估;GIS;城市地质;武汉市

GIS-BASED QUALITY EVALUATION OF UNDERGROUND SPACE RESOURCES IN YANGTZE RIVER DEMONSTRATION DISTRICT OF WUHAN CITY

XIONG Feng, JIANG Dan, WU Pin-lei, PANG She-dian, GUAN Shan-you

Wuhan Geotechnical Engineering and Surveying Co., Ltd., Wuhan 430022, China

Abstract: The underground space development is a hot spot in urban construction currently. To serve the planning and construction of underground space in Yangtze River Demonstration District of Wuhan City, based on a large number of basic data and results obtained from multi-factor urban geological survey, combined with GIS technology, the paper carries out the underground space resources quality evaluation of the study area, which is shown in the zoning map of underground space resources quality of different depths. The results indicate that the quality of shallow and sub-shallow underground space resources are generally good-excellent, with the southwest side obviously inferior to the east and north sides, mainly affected by the existing underground structures, soft soil and groundwater. The quality of sub-deep and deep underground space resources are generally medium-good, mainly affected by the development depth, karst and rock excavation difficulty.

Key words: underground space; quality evaluation; GIS; urban geology; Wuhan City

0 引言

长江新城是武汉市政府规划的一个新区,位于武汉市中北部的长江边上,是武汉重点打造的“未来之星”。2018—2019 年,对长江新城开展了空间、资源、环

境、灾害多要素城市地质调查,通过地质调查、钻探、物探、测试等手段,查明了区域内土壤层、工程建设层、主要含水层等的地质结构和参数,在此基础上开展了国土空间综合评价,其中地下空间资源评价是一项重要

收稿日期:2021-02-19;修回日期:2021-03-29. 编辑:张哲.

基金项目:武汉市多要素城市地质调查专项资金计划项目“长江新城多要素城市地质调查”(ZSHJ-WHS-FW-2019-52).

作者简介:熊峰(1993—),男,硕士,主要从事城市地质、环境地质研究工作,通信地址 湖北省武汉市江汉区万松园路 209 号,E-mail//xiongfengcug@126.com

内容,本文以长江新城为例,建立一种科学、实用、便捷的城市地下空间资源质量评价体系,服务于长江新城地下空间规划、建设。

地下空间开发是当下城市建设的热点,城市地下空间是宝贵的有限资源,规划失误和反复折腾必然造成巨大的浪费,充分利用地下空间需要科学系统地制定规划^[1-2]。在开发利用地下空间时应全面考量其适宜性,实现综合开发效益最大化^[3-5]。《城市地下空间规划标准》^[6]提出城市地下空间规划和开发利用前应进行地下空间资源质量评估,且评估内容应包含但不限于自然因素、环境要素、人文要素和建设要素4个方面。目前地下空间评价方法主要为“GIS+综合评价”,常涉及3种模式:1)基于地质环境因素的评价^[7-10];2)基于既有建筑影响和地质环境因素的评价^[11-15];3)基于地质、既有建筑和开发利用效益的综合评价^[16-19]。由于缺乏相关标准且各个地方实际情况差异较大,地下空间评价体系、方法等不尽相同,借鉴和使用起来较为困难。

本文的观点是,服务于规划、建设的地下空间资源质量评估所得的应是一种客观的结果,仅与地下空间自身因素有关,而不考虑人为赋予的地下空间开发的价值效益。因此,长江新城地下空间资源质量评价体系是基于上述第二种模式建立的。

1 研究区概况

长江新城地处武汉市北部,其范围东至倒水河,西临淝水河,南抵长江北岸,北达G318高速公路,总面积550 km²。地貌单元主要为冲湖积平原,分布于武湖周边;冲积-堆积平原,主要分布于长江、倒水河、淝水河沿岸;剥蚀丘陵区,主要分布于研究区西侧、北侧。整体地势起伏小,海拔高程一般在16~70 m之间,表现为东南低,西北高。构造活动较弱,主要受北西向的襄广断裂和北东向的长江断裂影响。地下水类型主要为松散岩类孔隙水、碎屑岩类孔隙裂隙水、岩浆岩-变质岩类裂隙水和碳酸盐岩类岩溶裂隙水,相同含水层涌水量差异较大。发育有碳酸盐岩、碎屑岩、松散-密实砂土,少量凝灰岩、玄武岩和花岗岩,且基岩埋深一般在40 m以内。岩溶塌陷和地面沉降是区内的主要地质灾害类型。长江新城东南侧和西南侧各有一个垃圾填埋场,分别为岱山垃圾填埋场和陈家冲垃圾填埋场。

2 研究方法

2.1 开发深度分层

城市地下空间利用遵循分层利用、由浅入深的原则。研究表明,多数城市常以15 m、30 m为界将地下空间划分为浅层、次浅层和深层^[20]。《城市地下空间规划标准》对地下空间分层也有界定,分别以15 m、30 m、50 m为界将地下空间划分为浅层、次浅层、次深层和深层4个层次。本次评价参照该标准进行浅层(0~15 m)、次浅层(15~30 m)、次深层(30~50 m)、深层(50~100 m)的分层评价。显然,深度越大,地质条件的可利用难度系数、地下工程施工和使用成本相应提高,地下空间质量水平相应降低。有专家提出采用系数调节法对地下空间资源质量进行折减^[21],为简单起见,对地下0~100 m范围内的折减系数(α_H)进行假定:

1)统一层内折减系数相同,且浅层折减系数为1(不折减);

2)折减系数是基于分层埋置深度 H 的线性函数,即 $\alpha_H=1-H/1000$,且 $H=0$ 时, $\alpha_H=1$ 。

根据上述,浅层(0~15 m)、次浅层(15~30 m)、次深层(30~50 m)和深层(50~100 m)的折减系数依次取值为1、0.85、0.7和0.5。

2.2 适建性分区

现有的建筑、文物、生态及农业保护区等对地下空间影响较大,因此在进行地下空间质量评估前还应根据场地的实际情况开展适建性分区。长江新城范围地下空间适建性主要受地表及地下建筑影响。将建筑物对地下空间资源的影响进行分级,并对不同深度、不同程度的影响进行分区,将评价范围划分为严重限制区、一般限制区和非限制区(详见表1)。严重限制区的地下空间资源质量差;非限制区表示对地下空间开发无影响;一般限制区表示对地下空间开发有一定的影响,影响程度用折减系数 α_B 表示,咨询专家意见后,取 $\alpha_B=0.8$ 。

2.3 指标及权重确定

2.3.1 指标体系

指标体系的建立应遵循有针对性、普适性、数据易取得以及指标可量化原则^[22]。除了开挖深度和地上地下建设现状因素,地下空间资源质量还受地形地貌、岩土体工程条件、水文地质、不良地质作用与灾害、特殊性岩土等地质环境因素的影响。由于长江新城地形起伏小且地形地貌对地下空间资源质量的影响多是综合

性的影响,与场地其他地质环境指标相关,为避免重复计算,尽量保证各指标因子的独立性.

指标量化采用“分级-打分”的方法,即首先根据相关经验、规范进行等级划分,一般可划分为4个等级.各级取值范围分别为:优(0.75~1.00)、良(0.5~0.75)、中(0.25~0.50)、差(0~0.25).然后,采用专家打分法,在各等级的取值范围内确定得分值.由于指标属性的差异,各指标划分存在等级数量不一的情况,此时应根据实际情况在0~1范围内等差取值,如表2所

示.其中隧道围岩等级和岩土施工工程等级分别参照《城市轨道交通岩土工程勘察规范》(GB 50307—2012)确定;地下水腐蚀性参照《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)确定;地面沉降分区参照《武汉市深厚软土区域市政与建筑工程地面沉降防控技术导则》,且地面沉降主要影响浅层、次浅层及次深层地下空间,对深层地下空间影响较小.一般地,地表高程越低,地下水承压性越高,含水层涌水量可根据含水层厚度和地表高程的比值综合确定.

表 1 适建性分区参照表
Table 1 Zoning of construction suitability

建筑类别	浅层	次浅层	次深层	深层
超高层建筑、地铁、垃圾填埋场	严重限制区	严重限制区	严重限制区	严重限制区
高层建筑、市政高架	严重限制区	严重限制区	严重限制区	一般限制区
多层建筑	严重限制区	严重限制区	一般限制区	非限制区
低层建筑、厂房、道路、广场等	一般限制区	非限制区	非限制区	非限制区
规划拆迁区、绿地、农田	非限制区	非限制区	非限制区	非限制区

表 2 指标体系及分级依据参照表
Table 2 Index system and grading basis

一级指标	二级指标	分级依据	等级数量/个
岩土体工程条件	岩土体可挖性	岩土施工工程等级	6
	围岩稳定性	隧道围岩等级	6
	地基稳定性	根据地基承载力在厚度上的加权平均值	4
水文地质条件	地下水位埋深	地下水埋置深度	4
	含水层涌水量	含水层厚度及地表高程的比值	4
	地下水腐蚀性	地下水对混凝土结构的腐蚀性等级	4
	地下水补给	根据场地成因类别划分为一级阶地、二级阶地、湖积相、其他成因区 4 种类别	4
不良地质作用与地质灾害	岩溶	可溶岩分布区和非可溶岩区	2
	地面沉降	划分为地面沉降重点防控区、一般防控区和非防控区 3 个等级	3
	断裂构造	次深层、深层断裂影响区,浅层、次浅层断裂影响区,非影响区	3
	场地及地基地震效应	根据场地类型和地震设防烈度综合确定	4
特殊性岩土	软土	目标层软土厚度	4
	填土	目标层填土厚度	4
	膨胀土	目标层膨胀土厚度	4

表 3 指标权重计算汇总表

Table 3 Calculation results of index weights

一级指标	一级指标权重	二级指标	二级指标权重	最终权重
岩土体工程条件(A ₁)	0.3333	岩土体可挖性(A ₁₁)	0.2970	0.0990
		围岩稳定性(A ₁₂)	0.5396	0.1798
		地基稳定性(A ₁₃)	0.1634	0.0545
水文地质条件(A ₂)	0.3333	地下水位埋深(A ₂₁)	0.2976	0.0992
		涌水量(A ₂₂)	0.5232	0.1744
		地下水腐蚀性(A ₂₃)	0.0570	0.0190
		地下水补给(A ₂₄)	0.1222	0.0407
不良地质作用与地质灾害(A ₃)	0.1667	岩溶(A ₃₁)	0.4636	0.0773
		地面沉降(A ₃₂)	0.2722	0.0454
		地质构造(A ₃₃)	0.1412	0.0236
		场地及地基地震效应(A ₃₄)	0.1229	0.0205
特殊性岩土(A ₄)	0.1667	软土(A ₄₁)	0.6694	0.1116
		填土(A ₄₂)	0.2426	0.0404
		膨胀土(A ₄₃)	0.0879	0.0147

2.3.2 指标权重

指标权重的确定拟采用层次分析法(AHP).它是目前确立统计权数的最有效方法之一,应用十分广泛^[23],其原理是通过构建两两重要程度的判别矩阵,通过求取最大特征根对应的特征向量来确定各指标的权重.本研究评价指标的权重值如表 3 所示.

指标权重的计算结果显示,对于长江新城地下空间资源质量影响较大的因素为建设现状、开挖深度、围岩稳定性、地下水涌水量、软土、地下水位埋深、岩土体可挖性等.

2.4 地下空间资源质量评估

将各指标按照式(1)进行叠加计算,计算所得 y 值,按照浅层(0~15 m)、次浅层(15~30 m)、次深层(30~50 m)和深层(50~100 m)分别进行地下空间资源质量分区.

$$y=\alpha_H\alpha_B\sum_{i=1}^nw_iX_i$$

(1)

式中,y 表示地下空间资源质量值;α_H、α_B 分别表示开发深度折减系数、建设现状折减系数;w_i 表示指标 i 的权重,参照表 3;x_i 表示指标 i 的量化值.

最后,根据 y 值的大小,参照表 4 对地下空间资源质量进行等级划分.

表 4 地下空间资源质量等级划分表

Table 4 Quality grading of underground space resources

y 值范围	0~0.25	0.25~0.50	0.50~0.75	0.75~1.00
质量等级	差	中	良	优

3 结果与分析

根据上述评价方法,对长江新城不同深度范围的地下空间资源质量划分为“优、良、中、差”4 个等级.评价结果如图 1 所示.

评价结果显示,长江新城地下空间资源质量的主要限制性因素是现有地下构筑物.除此之外,西南侧海拔较低,覆盖层较厚,受长江影响,地下水作用强烈,岩土体工程质量较差,且在研究区西南角有岩溶发育,使地下空间开发难度增大,地下空间资源质量较差;东侧和北侧基岩埋深较浅,多为砂岩,围岩及地基稳定性良好,且较容易开挖,不良地质作用及地质灾害等不发育,地下空间开发难度较小,地下空间资源质量优.地下空间资源质量优良的地区,地下空间开发不仅能节约成本,而且可以减少工程事故和灾害,同等条件下,应优先布局;对于地下空间资源质量中等或差的区域,应首先弄清楚影响该区域的主要限制因

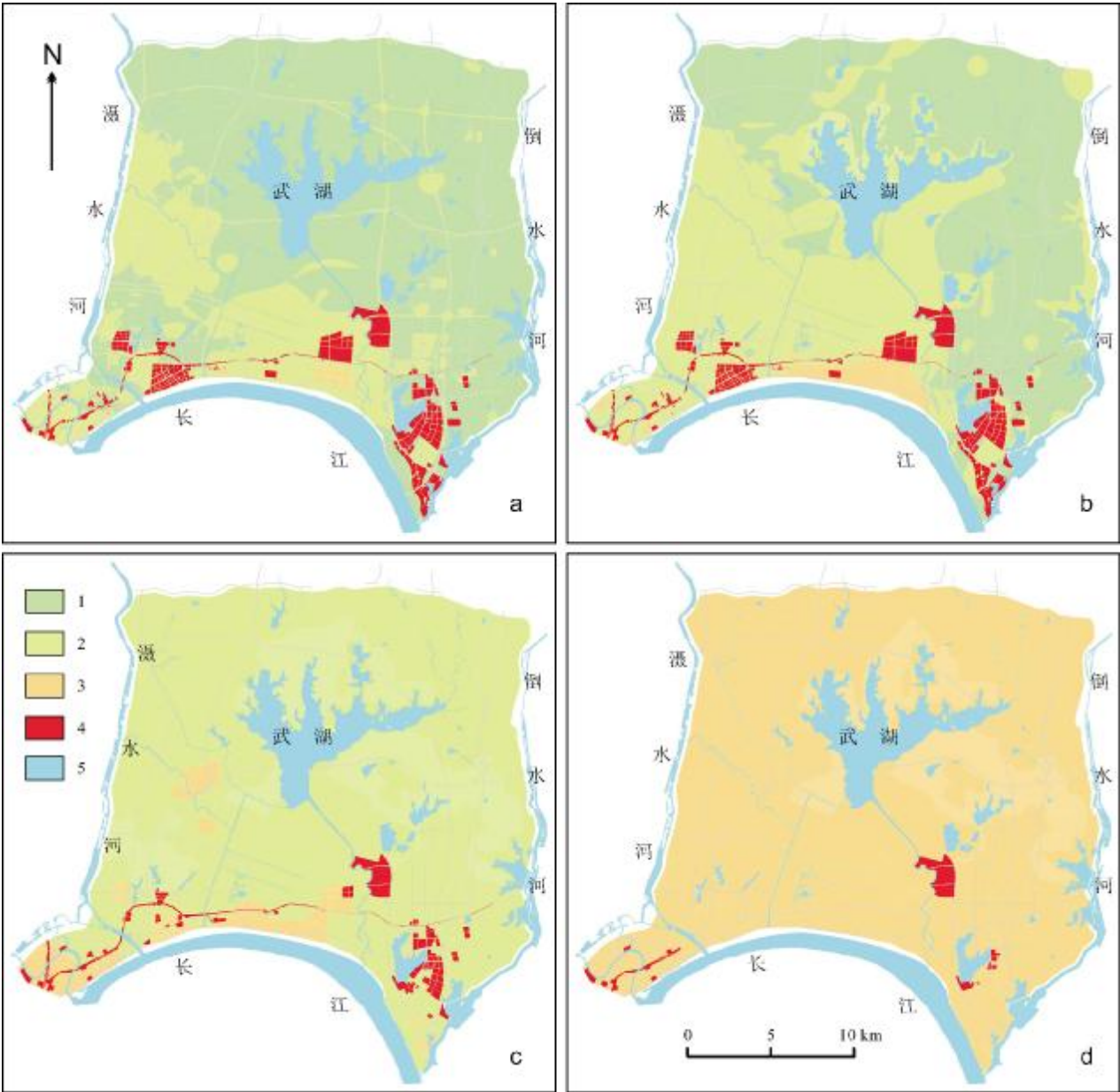


图 1 长江新城地下空间资源质量分区图

Fig. 1 Quality zoning map of underground spacer sources in Yangtze River Demonstration District

a—浅层(shallow level); b—次浅层(sub-shallow level); c—次深层(sub-deep level); d—深层(deep level); 1—优(excellent); 2—良(good); 3—中(medium); 4—差(poor); 5—水域(waters)

素;对于严重限制区应采取避让措施,对于深厚软土、岩溶等地质环境条件限制区域应合理开发并制定有效的工程措施. 各分层的地下空间资源特征及开发利用建议详见表 5.

4 结论与建议

本文在总结前人研究的基础上, 结合研究区实际情况, 充分考虑影响长江新城地下空间资源质量的各

种自身环境因素,开展地下空间资源质量评价,并进行资源质量等级划分. 评价结果反映研究区内地下空间资源质量情况, 揭示了地下空间开发过程中的主要限制因素, 研究成果可为长江新城地下空间的合理开发利用提供科学支撑.

需要指出的是, 要实现地下空间开发利用综合效益最大化,单纯地考虑地下空间资源质量是不够的,还应结合区位、人口密度、土地价格、用地类型、轨道交通

表 5 地下空间资源质量特征及开发利用建议

Table 5 Quality characteristics of underground space resources and development suggestions

开发深度	地下空间资源质量特征	建议
浅层 0~15 m	大部分地方地下空间资源质量优,受现有地下构筑物的影响,研究区东南及西南侧很多地方浅层地下空间已不具备开发利用条件;西南侧受软土、地下水等影响,地下空间开发难度相对较大;东部和北部,地下空间没有明显的限制性因素,资源质量优	浅层地下空间主要用于市政管网、地下商场、停车场、人行通道等便民生活设施,虽然限制性因素较多,但由于开挖深度浅,很多问题在工程技术上很容易解决,适合大量开发利用;规划上宜以开发需求为主,工程建设上做好软土的地基处理、坑壁支护及地下工程的防、排水工作即可
次浅层 15~30 m	近半数地方地下空间资源质量优,除受现有地下构筑物影响外,研究区西南大片区域覆盖层较厚,有利于施工开挖,所遇工程地质问题与浅层类似,但处理难度及成本要明显高于次浅层;东部和北部地下空间没有明显的限制性因素,资源质量优	次浅层地下空间主要用于地下公路、地铁等重大市政交通设施,所遇问题复杂且多样,开发利用前做好可行性研究工作;规划上要综合开发需求与地下空间资源质量进行论证,优先利用资源质量优良的区域;工程建设上要查明不良地质条件,因地制宜,制定经济可靠的工程方案
次深层 30~50 m	地下空间资源质量总体为差—良,该深度下绝大部分区域已揭穿覆盖层,地下空间开挖难度较大;除此之外,西南角的岩溶以及近江的防水问题是场地内地下空间资源质量的主要限制性因素	次深层地下空间主要用于地下公路、地铁、深隧污水系统等设施,多以地下隧道的形式进行开发利用,开发利用成本较高、难度较大,规划选址时应尽量避开岩溶区,避免因工程建设而引发岩溶塌陷;工程建设上要做好地下工程的防、排水工作,同时也要采取措施避免和减轻地下工程开发对周边环境的影响
深层 50~100 m	地下空间资源质量总体为差—中,该深度下地下空间侧壁及地基将全部由岩体组成,岩体性质是地下空间开发利用需要考虑的重要问题;地下空间资源质量除个别区域以外,其余地方总体差别不大	主要用于地下仓储、地下物流、深隧污水系统等设施,开发利用成本高、难度大,多为重大的战略性设施,开发利用时应根据拟建项目的特征,结合场地地质环境条件进行充分论证

等需求性因素,评价地下空间开发的综合效益。因此,综合地下空间资源质量和地下空间需求预测的适宜性评价方法是下一步亟待解决的课题。

参考文献(References):

[1]钱七虎. 开发地下空间要深谋远虑[N]. 中国国防报, 2017-06-20(003).

Qian Q H. The development of underground space needs foresight[N]. China National Defense News, 2017-06-20(003). (in Chinese)

[2]林良俊, 马震, 郭旭, 等. 城市地质学基础理论探讨[J]. 中国地质, 2020, 47(6): 1668-1676.

Lin L J, Ma Z, Guo X, et al. Research on basic theory of urban geology[J]. Geology in China, 2020, 47(6): 1668-1676.

[3]洪增林. 西安市地下空间可持续开发利用评价[J]. 西安石油大学学报(社会科学版), 2019, 28(3): 1-9, 15.

Hong Z L. Evaluations on the sustainable exploitation and utilization of urban underground space in Xi'an [J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Social Science Edition), 2019, 28(3): 1-9, 15.

[4]李华, 王亮, 韩浩东, 等. 红层地区城市地下空间膏盐富集层探测新方法——以成都市国际生物城为例[J]. 中国地质, 2020, 47(6): 1793-1803.

Li H, Wang L, Han H D, et al. A new method for detecting gypsum mineral salt enriched layer of urban underground space in red bed area: A case study of Chengdu International Biological City [J]. Geology in China, 2020, 47(6): 1793-1803.

[5]姜华, 唐晓华, 杨利亚, 等. 基于土地资源的市县级多要素国土空间开发适宜性评价研究——以湖北省宜昌市为例[J]. 中国地质, 2020, 47(6): 1776-1792.

Jiang H, Tang X H, Yang L Y, et al. Suitability evaluation of land space development based on land resources: A case study of Yichang City in Hubei Province[J]. Geology in China, 2020, 47(6): 1776-1792.

[6]中华人民共和国住房和城乡建设部. GB/T 51358—2019 城市地下空间规划标准[S]. 北京: 中国计划出版社, 2019.

Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. GB/T 51358—2019 Standard for urban underground space planning[S]. Beijing: China Planning Press, 2019.

[7]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.

Liao J S, Peng W P, Lin B H. Analysis and partition evaluation of geological factors affecting space development and utilization of shallow underground in Guangzhou City[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(S2): 3357-3362.

[8]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(S1): 16-21.

Wu B H, Zhang S J, Xu P L, et al. Geological environment suitability assessment of underground space development in Ningbo City[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2017, 13(S1): 16-21.

[9]郝爱兵, 吴爱民, 马震, 等. 雄安新区地上地下工程建设适宜性一体化评价[J]. 地球学报, 2018, 39(5): 513-522.

- Hao A B, Wu A M, Ma Z, et al. A study of engineering construction suitability integrated evaluation of surface-underground space in Xiongan new area[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2018, 39(5): 513–522.
- [10] 徐定芳, 何阳, 范毅, 等. 地下空间开发利用地质环境适宜性评价——以长株潭城市群核心区为例[J]. *矿业工程研究*, 2019, 34(1): 70–78.
- Xu D F, He Y, Fan Y, et al. Suitability evaluation of geological environment for development and utilization of underground space: A case study of the core area of Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration[J]. *Mineral Engineering Research*, 2019, 34(1): 70–78.
- [11] 黄玉田, 张钦喜, 孙家乐. 北京市中心区地下空间资源评估探讨[J]. *北京工业大学学报*, 1995, 21(2): 93–99.
- Huang Y T, Zhang Q X, Sun J L. The evaluation of the resource of the underground space of downtown Beijing[J]. *Journal of Beijing Polytechnic University*, 1995, 21(2): 93–99.
- [12] 齐波, 张一飞. 天津市中心城区地下空间资源开发利用适宜性评价探讨[J]. *城市地质*, 2010, 5(2): 1–5.
- Qi B, Zhang Y F. Investigation on the appropriateness of development and utilization of underground space in Tianjin City[J]. *Urban Geology*, 2010, 5(2): 1–5.
- [13] 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.
- Zhang L, Zhang G C, Wu J P, et al. Evaluation on the suitability of underground space exploitation and utilization in a city[J]. *Journal of Guilin University of Technology*, 2014, 34(3): 488–494.
- [14] Zhu H H, Huang X B, Li X J, et al. Evaluation of urban underground space resources using digitalization technologies[J]. *Underground Space*, 2016, 1(2): 124–136.
- [15] 秦品瑞, 高帅, 徐军祥, 等. 济南市城市地下空间资源开发利用适宜性评价[J]. *山东国土资源*, 2019, 35(6): 56–66.
- Qin P R, Gao S, Xu J X, et al. Suitability evaluation of development and utilization of underground space resources in Ji'nan City[J]. *Shandong Land and Resources*, 2019, 35(6): 56–66.
- [16] 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(S1): 1093–1099.
- Pan L Z, Li C B, Zhu W J. Underground space exploitation planning of Qingdao City[J]. *Chinese Journal of Underground Space and Engineering*, 2006, 2(S1): 1093–1099.
- [17] 吴文博. 苏州城市地下空间资源评估研究[D]. 南京: 南京大学, 2012.
- Wu W B. Research on the evaluation for underground space resource in Suzhou urban planning area[D]. Nanjing: Nanjing University, 2012.
- [18] 蒋旭. 天津市滨海新区地下空间资源评估[D]. 天津: 天津大学, 2016.
- Jiang X. Evaluation of underground space resources in Tianjin Binhai new area[D]. Tianjin: Tianjin University, 2016.
- [19] 解智强, 翟振岗, 刘克会. 城市地下空间规划开发综合评价体系研究[J]. *城市勘测*, 2018(S1): 5–9.
- Xie Z Q, Zhai Z G, Liu K H. Research on comprehensive evaluation system of urban underground space planning and development[J]. *Urban Geotechnical Investigation & Surveying*, 2018(S1): 5–9.
- [20] 辛韞潇, 李晓昭, 戴佳铃, 等. 城市地下空间开发分层体系的研究[J]. *地质前缘*, 2019, 26(3): 104–112.
- Xin Y X, Li X Z, Dai J L, et al. Study on the stratified system in urban underground space development[J]. *Earth Science Frontiers*, 2019, 26(3): 104–112.
- [21] 童林旭, 祝文君. 城市地下空间资源评估与开发利用规划[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009: 73–73.
- Tong L X, Zhu W J. The evaluation and develop planning of urban underground space resources [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2009: 73–73.
- [22] 周爱国, 周建伟, 梁合诚, 等. 地质环境评价[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2008: 8–8.
- Zhou A G, Zhou J W, Liang H C, et al. Review of geological environment [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2008: 8–8. (in Chinese)
- [23] 彭苗枝, 秦先燕, 何苗. 基于 GIS 和 AHP 的灰色评估法在工程建设适宜性评价中的应用——以黄山市中心城区为例[J]. *地质与资源*, 2019, 28(1): 85–89.
- Peng M Z, Qin X Y, He M. Application of gray evaluation method in engineering construction suitability evaluation based on GIS and AHP: A case study of the downtown Huangshan City [J]. *Geology and Resources*, 2019, 28(1): 85–89.