

城市地下空间开发强度预测模型研究^{*}

曾灿军^{1,2}, 陈卫忠^{1,3}

(1. 中国科学院武汉岩土力学研究所, 武汉 430070; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 山东大学 岩土与结构工程研究中心, 济南 250061)

摘要:城市地下空间属于城市空间资源的一个重要组成部分, 伴随城市人口密度的不断增长和社会经济水平的逐渐提高, 为了拓展城市空间以改善城市生活环境, 开发利用地下空间成为城市发展的必然趋势。笔者以国内 10 个城市(北京、上海、武汉、南京等)的地下空间开发作为研究对象, 分析了地下空间开发强度和表征城市地下空间需求的人口密度及表征地下空间开发能力的地均 GDP 之间的相关性, 并在此基础上提出了城市地下空间开发强度预测模型, 揭示了不同条件下影响城市地下空间开发强度的决定性因素。本研究有助于不同城市根据自身的发展情况因地制宜, 确定合理的地下空间开发强度和地下空间利用规划。

关键词:城市地下空间; 开发强度; 人口密度; 地均 GDP

中图分类号: TU98

文献标识码: A

文章编号: 1673-0836(2018)05-1154-07

A Forecasting Model of Urban Underground Space Development Intensity

Zeng Canjun^{1,2}, Chen Weizhong^{1,3}

(1. Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, P.R. China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, P.R. China; 3. Geotechnical and Structural Engineering Research Center, Shandong University, Ji'nan 250061, P.R. China)

Abstract: Urban underground space is an important part of urban spatial resources. With the continuous growth of urban population density and the gradual improvement of social and economic level, it is an inevitable trend to use urban underground space in order to expand urban space to improve urban living environment. On the basis of data from 10 Chinese urban (Beijing, Shanghai, Wuhan, Nanjing and etc.) underground space (UUS) development, the paper presents the correlation between underground space development intensity and population density that characterizes the demand of UUS and GDP that characterizes the ability to utilize UUS. Based on the analysis of the statistical data, the paper puts forward the forecasting model of urban underground space development intensity. It also reveals the determining factors that affect the development intensity of urban underground space under different conditions. This study contributes to formulation of a priority to develop certain UUS development intensity and reasonable function in different cities during different periods of the underground space development.

Keywords: UUS; development intensity; population density; GDP per square kilometers

^{*} 收稿日期: 2018-05-25 (修改稿)

作者简介: 曾灿军 (1991-), 男, 湖南双峰人, 硕士生, 主要从事地下空间利用规划设计方面的研究。

E-mail: zengcanjuni@126.com

通讯作者: 陈卫忠 (1968-), 男, 湖北武汉人, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事隧道及地下工程方面的教学与研究
工作。E-mail: wzchen@whrsm.ac.cn

0 引言

随着我国城市化进程的不断加快,越来越多的城市面临着空间资源紧缺、城市环境恶化等问题^[1]。根据国外城市发展的经验分析,合理开发利用城市地下空间资源是解决城市交通拥挤、完善城市功能、实现城市可持续发展的重要途径^[2-3]。

Bobylev^[2]指出,合理有序地利用城市地下空间资源,实现地下空间与地上空间的协调发展,是保证城市可持续发展的必然要求,并提议将地下空间规划纳入城市总体规划。近几年,北京、上海、杭州、深圳等城市均编制了城市地下空间规划大纲^[4],而在地下空间规划中首先要确定地下空间开发的功能以及开发的强度。目前,地下空间开发规划的强度预测主要有以下几种方法:①根据城市规划总人口数量以及人均地下空间需求面积,估算城市地下空间总需求量^[5-6]。②根据不同类型地下空间功能分别确定和预测地下空间需求量,然后汇总得出地下空间需求规模^[7]。③根据不同需求级别的分区面积和地下需求强度级别,计算每个需求分区的地下空间需求量^[8-9]。④利用城市的人口密度和人均 GDP 等指标,构建城市地下空间需求强度方程,从而推算出城市地下空间需求总量^[10-14]。

随着研究的不断深入,各种预测方法逐渐由定性的分析向定量的模型化发展^[15-16],一方面减少了预测中主观因素的影响,确保预测结果的科学性和一致性;另一方面简化了预测过程,提高了地下空间需求预测的可操作性和可靠性。尽管如此,现有的定量预测模型仍然存在较大的局限性,无法准确地反映地下空间开发强度与影响因素特征指标之间的关系。更关键的是,所有的预测方法并未揭示城市地下空间开发强度与开发需求和开发能力之间的相互关系。

为探讨城市地下空间开发强度与人口密度和

地均 GDP 之间的关系,分析了国内 10 个典型城市的地铁运营里程、核心区面积、人口、GDP 等数据,在此基础上提出了城市地下空间开发强度预测模型,并且揭示了不同条件下,影响城市地下空间开发强度的决定性因素,有助于不同城市在地下空间开发时,根据自身的发展情况因地制宜,确定合理的地下空间开发强度和地下空间功能布局。

1 地下空间开发强度影响因素分析

城市地下空间的开发利用是城市发展到一定阶段的结果,受城市发展的客观规律的支配。尽管各个国家和地区发展地下空间的功能和强度各不相同,但有一个共同点,就是在城市发展过程中,只有当城市扩展到较大规模,才会产生对地下空间利用的需求,并且只有当城市具有开发地下空间的经济能力和技术条件时,地下空间的开发利用才能成为现实。

城市地下空间开发强度受城市地下空间需求量和地下空间开发能力的影响,通过城市核心区的人口密度评估城市地下空间需求量,核心区人口密度越大,表明城市地下空间的需求量越大;通过核心区地均 GDP 评估城市地下空间开发能力,核心区地均 GDP 越大,表明该城市开发地下空间能力越强。

城市地铁在现有地下空间开发设施中最为普遍,并对区域的地下空间开发具有显著带动作用^[17]。本文利用城市已运营地铁里程数作为城市地下空间现有开发量的表征指标,城市运营地铁里程数越多,表明城市地下空间开发量越大,城市地下化程度越高。

本文选取了国内 10 个已运营地铁的城市作为研究对象,所选城市的规模和经济实力处于不同的发展水平。通过查阅各市、区的统计年鉴资料,详细数据及分析结果如表 1。

表 1 地铁运营里程数与核心区人口密度以及地均 GDP 的关系
Table 1 Relationship between subway operating mileage and population density and GDP per square kilometers of the city center

城市	里程/ km	面积/ km ²	人口/ 万人	GDP/ 亿元	人均 GDP/ (元/人)	人口密度/ (万人·km ⁻²)	地均 GDP/ (亿元·km ⁻²)
上海	617	80.8	254.2	3 980	156 570	3.15	49.26
北京	564	92.54	220.3	5128	232 783	2.38	55.42

续表1

城市	里程/ km	面积/ km ²	人口/ 万人	GDP/ 亿元	人均 GDP/ (元/人)	人口密度/ (万人·km ⁻²)	地均 GDP/ (亿元·km ⁻²)
深圳	286	157.41	241.62	4 687	193 991	1.54	29.78
南京	258	102.46	229.8	1 640	71 346	2.24	16.00
武汉	182	132.93	283.04	2665	94 156	2.13	20.05
成都	108	202.6	225.4	2 432	107 875	1.11	12.00
西安	92	243.26	315.41	2915	92 432	1.30	11.98
杭州	82	137	145.9	2056	140 910	1.07	15.01
沈阳	54	184	218.2	2190	100 389	1.19	11.90
福州	25	195	199	2002	100 602	1.02	10.27

注:1.面积为各市核心区域行政面积总和;人口为各市核心区域年末常住人口总和。

2.人口密度=人口/面积;地均 GDP=年度 GDP 总量/面积。

3.数据来源:各市、区 2015 年统计年鉴;各市地铁公司 2015 年年报。

1.1 地下空间开发强度单因素分析

1.1.1 城市核心区人口密度分析

人口密度是衡量城市地下空间需求量的决定因素之一,人口密度越大,表明城市空间的需求量越大^[12]。当城市人口密度过大时,城市无法提供足够的空间给人类活动,需要扩展地下空间或者开发新城区。但是由于城市资源的聚集需要较长的时间,将人口迁移到新城区往往效果并不理想。而扩展地下空间,提高人均空间面积占有率是改善城市人口密度过大的优选方案。

由图 1 可以明显地看到,当城市核心区人口密

度大于 10 000 人/km² 时,城市开始修建地铁。因此,当一个城市的人口密度达到 10 000 人/km² 的最小临界值之后,开始出现开发地下空间的需求。开发地下空间的需求量由该区域的人口密度决定。

同时,当城市地均 GDP 足够大时,如上海、北京和深圳。城市地铁运营里程数随人口密度的增加而增加,此时地下空间开发量与人口密度成线性相关的关系,并且人口密度越大,地下空间的需求量越大。尤其在城市经济发展水平较高时,人口密度直接影响城市地下空间开发量的需求。

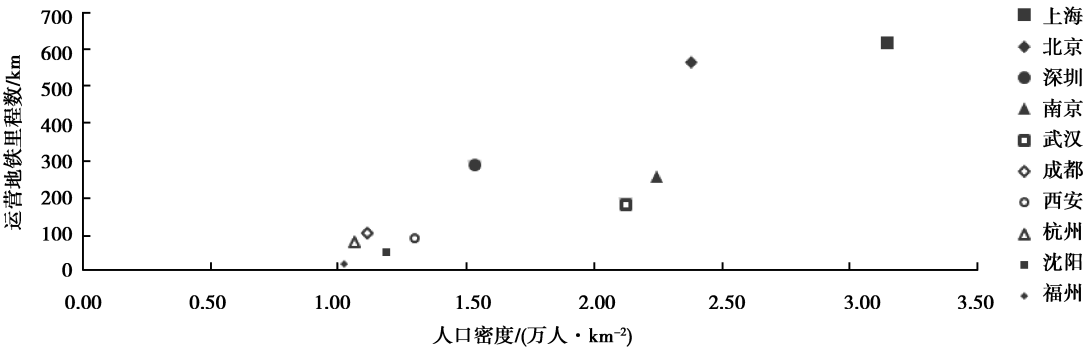


图 1 地铁运营里程数与人口密度的关系

Fig.1 Relationship between subway operating mileage and core population density

1.1.2 城市核心区地均 GDP 分析

地下空间的开发往往具有投入大、收益小的特点,因此,地下空间的实际开发量需要有强大的经

济能力作为基础,而地均 GDP 正是衡量一个区域经济实力的关键指标^[7]。尽管地下空间项目的开发引进了各种投融资模式,但是政府投资依然是主

要的资金来源。城市的地均 GDP 越大,政府财政收入越多,投入到地下空间基础设施建设中的比重就越大^[18]。因此,地均 GDP 是衡量城市地下空间开发能力的决定性因素。

由表 1 可以看出来,当城市核心区地均 GDP 大于 10 亿元/km² 时,城市开始修建地铁,地均 GDP 为 10 亿元/km²,表征城市利用地下空间经济实力的最小临界值。

如图 2 所示,北京和武汉、深圳和西安以及杭州和福州这 3 组城市的人口密度差距较小,但是地铁建设里程数存在较大差异,主要原因是城市的地均 GDP 不同。当城市核心区的人口密度相同时,对地下空间开发的需求是相同的,但实际开发能力由城市的地均 GDP 决定,核心区地均 GDP 越大,表征城市开发地下空间的能力越强,城市地下空间的开发强度就越大。

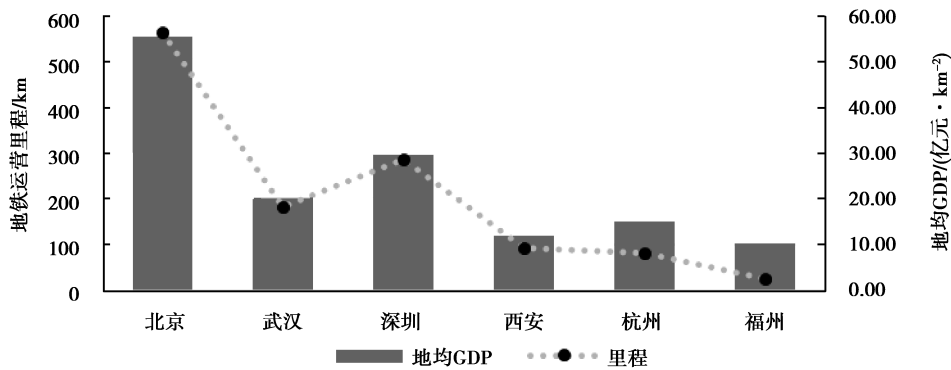


图 2 地铁运营里程数与地均 GDP 的关系

Fig.2 Relationship between subway operating mileage and GDP per square kilometers

1.2 地下空间开发强度双因素分析

如表 2 所示,人口密度和地均 GDP 共同作用下,城市地下空间开发强度有如下特点:

表 2 城市地下空间开发强度影响因素定性分析

Table 2 The qualitative analysis on the influential factors of UUS development intensity

城市地下空间开发强度		人口密度/(万人·m ⁻²)	
		高	低
地均 GDP/ (亿元·km ⁻²)	高	大(需求大, 开发能力强)	中(需求小, 开发能力强)
	低	中(需求大, 开发能力弱)	小(需求小, 开发能力弱)

(1)人口密度和地均 GDP 都较高的情况下,地下空间的开发量大。

城市人口密度达到一定的临界值时,城市产生了开发地下空间的需求。同时,城市的经济能力能够满足地下空间开发的能力的时候,城市的地下空间开发将获得快速发展。因此,只有城市人口密度和地均 GDP 值都达到了较高水平,才能实现地下空间的开发利用。两者匹配度越高,城市地下空间的开发速度越快。

(2)城市的人口密度或者地均 GDP 较低的情况下,开发地下空间的条件不足,地下空间的发展受到限制。

当城市的经济实力强时,可以为城市地下空间开发提供充足的建设资金。但如果城市区域面积很大或者人口规模较小,整个区域内的人口密度并不高,城市地面空间足够为人们的生活提供舒适的空间,依然没有开发城市地下空间的需求。在这种情况下,地均 GDP 总量高,但人口密度很低,并不需要开发大量城市地下空间。

当城市的人口密度大,但由于当地的财政收入不足,或者是投融资能力太弱时,均无法支撑地下空间的大规模开发。因此,即使城市由于人口的大量聚集,出现了严重的城市人口、资源以及环境问题,依然无法通过开发利用地下空间来改善城市问题。这样的情况下,城市的地下空间开发量依然较少。

(3)城市人口密度和地均 GDP 都较低的情况下,城市地下空间开发强度小。

当城市经济实力不强,而且人口密度不高的时候,既没有开发地下空间的需求,又没有开发地下空间的能力。这样的情况下,开发城市地下空间对一个城市来说是完全没有必要的选择。

2 城市地下空间开发强度预测模型

将城市地下空间开发强度定义为 Q_{DUUS} (地下空间开发面积与地面面积的比值)、人口密度定义为 PD (万人/ km^2)、地均 GDP 定义为 GDP (亿元/ km^2)。

假设当城市核心区域的人口密度为 m 时,开始有地下空间开发的需求,当地均 GDP 达到 n 时,有开发地下空间的能力(即 m, n 为两者的最小临界值)。当人口密度达到 M 、同时地均 GDP 达到 N 时,地下空间开发恰好达到最优开发条件,此时 Q_{DUUS} 达到最大值 L 。各个参数值存在表 3 所示边界关系。

表 3 城市地下空间开发强度分析参数表

Table 3 Parameters of Q_{DUUS} development analysis

	Q_{DUUS}	$PD/$ (万人· km^{-2})	地均 GDP/ (亿元· km^{-2})
Max	L	M	N
Min	0	m	n

2.1 预测模型

根据分析,城市人口密度是城市地下空间需求分析的决定因素,地均 GDP 是城市地下空间开发能力的决定因素。城市地下空间不同阶段的实际开发量由城市地下空间的需求以及城市地下空间的开发能力共同决定。城市地下空间开发强度为人口密度和地均 GDP 的相关函数,三者之间的关系如图 3 所示。在一定范围内,地下空间开发强度与人口密度或者地均 GDP 成线性增长关系^[12]。

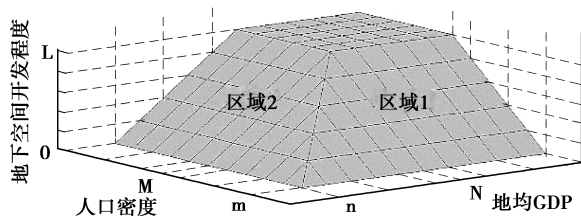


图 3 城市地下空间开发强度预测模型

Fig.3 The forecasting model of urban underground space development intensity

根据预测模型,可以将城市地下空间开发强度预测分为以下 4 种情况:

(1) 人口密度或者地均 GDP 小于最小临界值, $Q_{DUUS} = 0$ 。

(2) 人口密度位于最小临界值和最大临界值之间,且人口密度对城市地下空间开发强度预测起决定性作用。(模型中区域 1 所示)

$$Q_{DUUS} = \frac{L}{M - m} \times (PD - m) \quad (1)$$

(3) 地均 GDP 位于最小临界值和最大临界值之间,且地均 GDP 对城市地下空间开发强度预测起决定性作用。(模型中区域 2 所示)

$$Q_{DUUS} = \frac{L}{N - n} \times (GDP - n) \quad (2)$$

(4) 人口密度和地均 GDP 均大于最大临界值, $Q_{DUUS} = L$ 。

2.2 参数分析

(1) 根据上文分析可知,当城市的人口密度超过 1 万人/ km^2 时,城市空间资源开始紧缺,城市地面交通逐渐拥堵,具有开发地下空间的需求。因此, m 值为 1 万人/ km^2 。当城市地均 GDP 超过 10 亿元/ km^2 时,城市具有开始修建地铁以及地下工程的能力,此时的 n 值为 10 亿元/ km^2 。

(2) 根据国内外学者研究,城市地下空间开发利用的极限深度约为 100 m,分浅层、中层、深层进行分层开发^[7-8],则地下空间开发极限强度约为 3。因此,地下空间的开发强度 L 为 3。

(3) 当城市地下空间资源开发达到极限时,地面人口密度也将达到极限值。此时人均地下空间面积为 30 m^2 /人^[5],则极限 M 值为 $3 \times 10^6 \text{ m}^2/\text{km}^2 \div 30 \text{ m}^2/\text{人} = 10 \text{ 万人}/\text{km}^2$ 。城市地下空间开发总的建设成本与地下空间的建筑面积有关,当达到极限地下空间开发量的时候,地均 GDP 约为初始阶段的 10 倍^[18],地下空间开发投入的资金达到最大值,此时的 N 值为 100 亿元/ km^2 。

2.3 城市地下空间开发强度预测模型

基于以上分析,将参数代入得到方程式(3),即为城市地下空间开发强度预测模型。其中 PD 为城市核心区人口密度,单位为(万人/ km^2); GDP 为城市核心区年度地均 GDP,单位为(亿元/ km^2)。

$$Q_{DUUS} = \begin{cases} 0, & PD < 1 \text{ 或 } GDP < 10 \\ \frac{1}{2} \times (PD - 1), & GDP \geq 10 \times PD \text{ 且 } 1 \leq PD < 10 \\ \frac{1}{30} \times (GDP - 10), & GDP < 10 \times PD \text{ 且 } 10 \leq GDP < 100 \\ 3, & PD \geq 10 \text{ 且 } GDP \geq 10 \end{cases} \quad (3)$$

3 讨论

3.1 城市地下空间开发强度预测

利用地下空间开发强度预测模型,分析表 1 中 10 个城市的地下空间开发情况,根据上海市实际地下空间开发面积为 6 000 万 m²,由此推算,得到分析结果如表 4 所示。从分析结果可以看出,预测获得的开发强度与实际地下空间发展情况吻合。上海、北京、深圳 3 个城市的经济实力强,城市地下空间的开发强度主要受人口密度影响。杭州市的

地下空间开发强度预测值较低,虽然杭州核心区域地均 GDP 较高,但由于杭州市的人口密度较低,决定了杭州地下空间的需求量较少。武汉市预测得到的地下空间开发强度比南京市要高,但实际武汉市地下空间开发强度比南京市要低,这主要是因为武汉市对于地下空间的利用相对滞后,近年来武汉市的地下空间开发得到了快速发展,这也是与武汉市对于地下空间开发的基本需求和建设能力相匹配的。

表 4 城市地下空间开发强度预测

Table 4 The forecasting of urban underground space development intensity

开发强度	上海	北京	深圳	南京	武汉	成都	西安	杭州	沈阳
预测值	0.715	0.460	0.178	0.200	0.335	0.038	0.066	0.022	0.062
实际值	0.745	0.593	0.176	0.244	0.133	0.051	0.036	0.058	0.028

根据武汉市国土资源和规划局资料,自 2007 年以来,武汉市地下空间年均增长约 300 万 m²,至 2015 年底,武汉市主城区地下空间规模约 2 300 万 m²。根据模型预测,武汉市地下空间开发规模将达到 4 453 万 m²。由此推算武汉市地下空间开发存在 2 153 万 m² 的缺口,预计在未来 8~10 年内,武汉市地下空间开发将得到快速发展。

3.2 影响城市地下空间开发强度的决定性因素

城市核心区人均 GDP 是分析城市地下空间开发强度预测决定性因素的判断条件。

城市核心区的地均 GDP 与人口密度的比值,表示为城市核心区的人均 GDP。根据方程式(3)中的判断条件,当 $GDP/PD \geq 10$ (即人均 GDP 大于 10 万元)时,人口密度对城市地下空间强度预测起决定性作用。当 $GDP/PD < 10$ (即人均 GDP 小于 10 万元)时,地均 GDP 对城市地下空间强度预测起决定性作用。

如表 1 中所分析的 10 个城市,上海、北京、深圳、成都、杭州、沈阳和福州的核心区人均 GDP 均大于 10 万元,这 7 个城市的地下空间开发强度主要由人口密度决定,人口密度越大,地下空间开发强度越大。而南京、武汉和西安的核心区人均 GDP 小于 10 万元,因此这 3 个城市的地下空间开发强度由地均 GDP 决定,地均 GDP 越大,地下空间开发强度越大。

4 结论

通过分析国内 10 个典型城市核心区的人口密度、地均 GDP、人均 GDP 等指标对城市地下空间开发强度的影响,主要得到以下几个结论:

(1)城市地下空间开发强度受城市核心区人口密度以及地均 GDP 影响。人口密度反映了城市发展对地下空间的需求程度,地均 GDP 反映了城市开发地下空间的经济实力。

(2)以核心区人口密度以及地均 GDP 为自变量,建立城市地下空间开发强度预测模型。通过计算分析,得到不同状态下城市地下空间开发强度的预测模型。

(3)当城市人口密度和地均 GDP 处于较高水平时,城市地下空间开发得到快速开发。当人均 GDP 大于 10 万元时,人口密度是影响城市地下空间开发强度的决定性因素;当人均 GDP 小于 10 万元时,地均 GDP 是影响城市地下空间开发强度的决定性因素。

(4)根据城市地下空间开发强度预测模型,结合城市社会经济现状的分析,可以有助于不同城市在地下空间开发时,根据自身的发展情况因地制宜,确定合理的地下空间开发强度和地下空间利用规划。

参考文献(References)

- [1] 钱七虎. 城市可持续发展与地下空间开发利用[J]. 地下空间, 1998, 18(2): 69-74. (Qian Qihu. Urban sustainable development and exploitation of underground space[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 1998, 18(2): 69-74. (in Chinese))
- [2] Bobylev N. Mainstreaming sustainable development into a city's master plan: a case of urban underground space use[J]. Land Use Policy, 2009, 26(4): 1128-1137.
- [3] Hunt D V L, Makana L O, Jefferson I, et al. Liveable cities and urban underground space[J]. Tunnelling & Underground Space Technology Incorporating Trenchless Technology Research, 2016, 55: 8-20.
- [4] Zhao J W, Peng F L, Wang T Q, et al. Advances in master planning of urban underground space (UUS) in China[J]. Tunnelling & Underground Space Technology Incorporating Trenchless Technology Research, 2016, 55: 290-307.
- [5] 陈立道, 陶一鸣. 上海市地下空间需求预测[J]. 地下空间, 1990, 10(1): 9-11. (Chen Lidao, Tao Yiming. Demand forecast of underground space in Shanghai[J]. Underground Space, 1990, 10(1): 9-11. (in Chinese))
- [6] 陈立道, 朱雪岩. 城市地下空间规划理论与实践[M]. 上海: 同济大学出版社, 1997. (Chen Lidao, Zhu Xueyan. Theory and practice of urban underground space planning[M]. Shanghai: Tongji University Press, 1997. (in Chinese))
- [7] 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. (Tong Linxu, Zhu Wenjun. The evaluation and development planning of urban underground space resources[M]. China Architecture & Building Press, 2009. (in Chinese))
- [8] 陈志龙. 城市地下空间总体规划[M]. 南京: 东南大学出版社, 2011. (Chen Zhilong. Master plan of urban underground space[M]. Nanjing: Southeast University press, 2011. (in Chinese))
- [9] 陈志龙, 伏海艳. 城市地下空间布局与形态探讨[J]. 地下空间与工程学报, 2005, 1(1): 25-29. (Chen Zhilong, Fu Haiyan. Probing at urban underground space layout and form[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2005, 1(1): 25-29. (in Chinese))
- [10] 罗兰. 地铁站域地下空间开发与交通—土地特征相关性研究[D]. 北京: 清华大学, 2008. (Luo Lan. A correlation research between underground space development and transport-land features of subway station areas[D]. Beijing: Tsinghua University, 2008. (in Chinese))
- [11] 刘俊. 城市地下空间需求预测方法及指标相关性实证研究[D]. 北京: 清华大学, 2009. (Liu Jun. An empirical and methodological study on demand forecasting for urban underground space[D]. Beijing: Tsinghua University, 2009. (in Chinese))
- [12] He L, Song Y, Dai S, et al. Quantitative research on the capacity of urban underground space—the case of Shanghai, China[J]. Tunnelling & Underground Space Technology, 2012, 32(11): 168-179.
- [13] Li X Z, Xu H, Li C, et al. Study on the demand and driving factors of urban underground space use[J]. Tunnelling & Underground Space Technology, 2016, 55: 52-58.
- [14] 徐辉, 李晓昭, 车晶. 不同阶段地下空间开发的功能配比研究[J]. 地下空间与工程学报, 2016, 12(3): 573-580. (Xu Hui, Li Xiaozhao, Che Jin. A research on the function matching of underground space development in different stages[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2016, 12(3): 573-580. (in Chinese))
- [15] 赵超阳, 孔军. 用量化方法确定地下空间的合理开发项目[J]. 地下空间, 1996, 16(4): 209-217. (Zhao Chaoyang, Kong Jun. To determine the reasonable development of underground space by using quantitative method[J]. Underground Space, 1996, 16(4): 209-217. (in Chinese))
- [16] 郭建民, 祝文君. 基于层次分析法的地下空间资源潜在价值评估[J]. 地下空间, 2005, 1(5): 655-659. (Guo Jianmin, Zhu Wenjun. Potential value evaluation of underground space resource based on AHP method[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2005, 1(5): 655-659. (in Chinese))
- [17] 曹小曙, 林强. 世界城市地铁发展历程与规律[J]. 地理学报, 2008, 63(12): 1257-1267. (Chao Xiaoshu, Lin Qiang. Development course and law of the world city subway[J]. Acta Geographica Sinica, 2008, 63(12): 1257-1267. (in Chinese))
- [18] 王璇, 陈寿标. 市场经济条件下我国地下空间投资的若干问题[J]. 地下空间与工程学报, 2004, 24(增1): 626-630. (Wang Xuan, Chen Shoubiao. Some problems of underground space investment under the condition of market economy[J]. Underground Space, 2004, 24(Supp.1): 626-630. (in Chinese))