

地下空间开发利用适宜性与资源量的应用研究^{*}

蒋旭¹, 王婷婷¹, 穆静²

(1.天津市勘察院,天津 300191;2.天津市地下空间规划管理信息中心,天津 300191)

摘要:以天津市中心城区为例,从地形地貌、水文、构造地质、工程地质、水文地质、不良地质作用和地质灾害、活动断裂和地震效应等角度,建立了地下空间资源开发利用地质条件适宜性评估指标体系,运用 Arcgis 地理信息系统软件,有针对性地分析评价综合地质条件对地下空间资源分布及其开发利用适宜性的影响,并结合已开发利用的地下空间资源现状,估算中心城区可开发利用的地下空间资源量,得到了较为准确的天津市中心城区地下空间开发利用适宜性和资源量评价结果。该成果成功指导了最新的《天津市城市地下空间开发利用总体规划》编制工作,并纳入了相关章节。

关键词:地下空间;综合地质;Arcgis;适宜性;资源量

中图分类号:TU984.16

文献标识码:A

文章编号:1673-0836(2018)05-1145-09

Research on the Application of Suitability and Resources in Underground Space Development

Jiang Xu¹, Wang Tingting¹, Mu Jing²

(1.Tianjin Institute of Geotechnical Investigation & Surveying, Tianjin 300191, P.R. China; 2. Tianjin Underground Space Planning & Management Information Center, Tianjin 300191, P.R. China)

Abstract: Taking the central city of Tianjin as an example, from the perspective of topography, hydrology, tectonic geology, engineering geology, hydrogeology, poor geological effects and geological disasters, active faults and seismic effects, the evaluation index system of geological condition suitability for the development and utilization of underground space resources is established. Using Arcgis geographic information system software, the paper analyzes the influence of comprehensive geological conditions on the distribution of underground space resources and its development and utilization suitability, and combines the developed underground space resources to estimate the underground development Space resources. The results of the evaluation and evaluation of the suitability and resources of the underground space in the central urban area of Tianjin are obtained. The results of the successful guidance of the latest "Tianjin urban underground space development and utilization of the overall planning" preparation work, and was adopted.

Keywords: underground space; integrated geology; Arcgis; suitability; resource

0 引言

地下空间的整体结构均处于地面以下的地质

体中,在对其进行前期规划、开发建设、后期运营及维护的全生命周期中,其地下结构与周边的地质体有着分不开的影响与作用。从维护地质环境稳定

^{*} 收稿日期:2018-02-01(修改稿)

作者简介:蒋旭(1987-),女,天津人,工程师,主要从事地下空间、环境地质相关方面工作研究。

E-mail:13821030630@139.com

基金项目:天津市重点规划编制指挥部项目

的方面分析,在地下空间的前期设计规划方面就要对不良地质作用加以考虑,在既确保了地下工程的经济、安全、持久、耐用的前提下,又可以做到减少由于地下工程的扰动而进一步恶化地质环境、诱发地质灾害的影响^[1]。相对于地面工程而言,地质条件是地下空间资源存在的物质环境,是影响资源最终价值实现难易程度和可能性的决定性因素。

目前,国内外有关地下空间开发利用适宜性和资源量的估算研究^[2-5]多数为对各指标因素的选取、评价方法和模型建立的研究,且多为理论性研究,不能很好地与各地区实际地下空间开发利用和未来规划情况相结合。柳昆等^[6]提出了新的地质评价和建设现状评价模型,对模型中各评价因子采用不同的数学方法进行评价,再对两组评价模型综合考虑,提出综合评价模型。彭建等^[7]选择多目标线性加权函数法数学模型,搭建了适用于某市地下空间开发利用适宜性分区的评价模型,并绘制了适宜性评价图^[8]。

本文在国内外研究的基础上,以天津市中心城区(面积约433 km²)为例,竖向深度为地表以下0~50 m,并依据开发利用特点将其划分为浅层地下空间(0~-10 m)、次浅层地下空间(-10~-30 m)以及次深层地下空间(-30~-50 m)三个竖向层次分别开展评估,从宏观层次上调查和评估天津市中心城区地下空间资源的基础信息和潜力,为天津市城市地下空间发展战略目标制定和地下空间开发利用总体规划提供基础数据和科学依据。

1 地质条件及适宜性评估

1.1 工程地质条件

天津地处华北平原东部,第四系沉积厚度达千米左右,市区100 m以上地层以第四系全新统及上更新统的海陆交互沉积细颗粒土为主。20 m以上第四系全新统为主,20~80 m为上更新统,80 m以下为上中更新统,均为海陆交互层。由于河道、古沟坑分布较多,浅部地层岩性复杂多变,工程地质条件较差。工程性质较差的地层主要有填土(杂填土、素填土、冲(吹)填土)、新近古河道沉积土、软土等^[9]。

1.2 水文地质条件

对地下空间开发利用有影响的地下水主要分为上层滞水、潜水和微承压水。

1.2.1 上层滞水

水位埋深为0.5 m左右,主要以松散的人工填土层为含水层,下部新近沉积层($Q_4^{3N}al$)和第I陆相层(Q_4^3al 和 Q_4^3l+h)中粘土层为相对隔水层。部分地段与地表坑塘水体连通,接受大气降水和地表水体的补给。稳定水位受季节性变化影响极其明显,仅分布在天津市局部地区。

1.2.2 潜水

地下水位埋深一般为0.5~2.5 m,年平均地下水位埋深为1.6~1.8 m,年变化幅度的多年平均值约为0.8 m。高水位期出现在雨季后期的9月份,低水位期出现在干旱少雨的4~5月。潜水主要依靠大气降水入渗和地表水体入渗补给,故地下水位的波幅变化较大,赋存于人工填土层(Q_{ml})、第I陆相层(Q_4^3al 和 Q_4^3l+h)及第I海相层(Q_4^2m)的相对含水层中,以下部陆相层(Q_4^1al)的粉质粘土为相对隔水底板。潜水层一般埋深为12~15 m。

1.2.3 微承压水

赋存于下部陆相层(Q_4^1al)及以下粉砂和粉土中。以下部陆相层的粉质粘土为相对隔水顶板,含水层厚度较大,分布相对稳定,水位埋深一般3.0~5.0 m左右,水位受季节影响不大,但受人类工程活动影响大。接受上层潜水的越流补给,同时以渗透方式补给深层地下水。

中心城区微承压水含水层实测水位标高一般在大沽标高0.00~1.00 m左右,但近年内由于基坑工程建设影响,水位有持续下降趋势。

1.3 不良地质作用和地质灾害

天津市中心城区的主要不良地质作用及地质灾害是指地面沉降。地面沉降又称为地面下沉或地陷。引起地面沉降的原因可归纳为两大类型:自然因素及人为因素。自然因素包括构造活动、软弱土层固结;人为因素主要是过量开采地下水、地下热水及油气资源,地表修建大型建筑物以及工程降水等。天津市中心城区的地面沉降主要是由于过量开采深层地下水引发。地面沉降具有生成缓慢、持续时间长、影响范围广、成因机制复杂和防治难度大等显著特点。

1.4 活动断裂和地震效应

1.4.1 构造断裂

根据天津市地震局相关资料,天津市中心城区

的断裂构造主要包括海河断裂、天津北断裂以及大寺断裂等。

1.4.2 饱和粉(砂)土地震液化

中心城区主要分布的液化土层有人工堆积冲填土、全新统中组海相液化土层、全新统新近组故河道及河漫滩液化土层。根据《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)及《中国地震动参数区划图》(GB 18306—2015)(2016 年 6 月 1 日正式实施)进行液化判定,在地震烈度较原先规范提高一度设防后,天津市中心城区饱和粉(砂)土液化区面积有所增大,广泛分布于市区中东部,以轻微液化、中等液化为主,在河道及河漫滩液化区出现严重液化。其中河道及河漫滩液化主要是围绕海河、北运河、南运河等河道,还存在其他小的古河道液化区。海河河道及河漫滩液化区主要在望海楼一

带、北安桥至解放桥一带、光华桥下游至外环线一带存在液化。液化区内,粉土顶板埋深一般在 2.00~7.00 m,粉土厚度一般为 2.00~8.00 m,粉土层主要以粘质粉土为主,同时含少量砂质粉土。

1.4.3 地震烈度

天津市中心城区区为地震烈度大部分地区为Ⅷ度区,仅西青李七庄街道为Ⅶ度区。

1.5 适宜性评估

通过上述对地形地貌、水文、工程地质、水文地质、不良地质作用和地质灾害、活动断裂和地震效应等影响因素的分析,从地质的角度构建本次地下空间开发利用地质条件适宜性评估指标体系,并从中判别和选择天津市中心城区地下空间资源评估要素和评估指标体系因子,如表 1 所示。

表 1 天津市地下空间资源开发利用地质条件适宜性评估指标体系
Table 1 Tianjin underground space resources development and utilization of geological conditions suitability evaluation index system

序号	一级因子	二级因子	序号	一级因子	二级因子
1		地形形态	8		腐蚀性
2	地形地貌	地面坡度	9	水文地质	基坑底下第一微承压含水层抗渗流稳定性系数
3	水文	水系水域	10		含水层累计厚度
4		侧壁土体稳定性	11	不良地质作用和地质灾害	地面沉降
5	工程地质	地基承载力	12		地震液化
6		古河道深度	13	活动断裂和地震效应	活动断裂
7	水文地质	潜水埋深	14		地震烈度

根据《城乡规划工程地质勘察规范》(CJJ 57—2012)附录 D:工程建设适宜性评价因子的定量标准,对指标体系中各项二级因子进行量化,如表 2 所示。

竖向深度层次是指地下空间所在地层的竖向深度位置,一般可划分为浅层、次浅层、次深层等若干层次。各层次与地表距离的不同,在开发难度和使用上产生明显差异。因此,在地下空间资源开发难度评价中,对地下空间资源位置深度的影响评价采用折减系数法^[10]。

随着地下空间开发深度的增大,工程难度及造价相应增大。城市地下空间资源的开发深度,在未来相当长的时间内很难超过地下 150 m,故假定地下 150 m 处难度最高,取其分数值为 0,且假定工程难度随着深度的增大发生线性变化,故随深度的折减系数计算公式为

$$d = 1 - h/150$$

根据计算结果,并结合实际工程经验,最终地下空间竖向深度各层次折减系数如表 3 所示。

表 2 评价因子量化标准表
Table 2 Quantification standard of evaluation factors

序号	一级因子	二级因子	$1 \leq x < 3$ (差)	$3 \leq x < 6$ (中)	$6 \leq x < 8$ (良)	$8 \leq x \leq 10$ (优)
1	地形地貌	地形形态	地形破碎,分割严重,非常复杂	地形分割较严重,复杂	地形变化较大,较完整	地形简单,完整
2		地面坡度	$i \geq 50\%$	$25\% \leq i < 50\%$	$10\% < i < 25\%$	$i \leq 10\%$
3	水文	水系水域	跨区域防洪标准行洪、泄洪的水系水域	区域防洪标准蓄滞洪的水系水域,城乡防洪标准行洪、泄洪的水系水域	城乡防洪标准行洪、泄洪的水系水域	防洪保护区
4	工程地质	侧壁土体稳定性	稳定性差	基本稳定	较稳定	稳定
5		地基承载力	$< 80 \text{ kPa}$	$80 \sim 150 \text{ kPa}$	$150 \sim 200 \text{ kPa}$	$\geq 200 \text{ kPa}$
6		古河道深度	$> 15 \text{ m}$	$10 \sim 15 \text{ m}$	$5 \sim 10 \text{ m}$	无
7		潜水埋深	$< 1.0 \text{ m}$	$1.0 \sim 3.0 \text{ m}$	$3.0 \sim 6.0 \text{ m}$	$> 6.0 \text{ m}$
8	水文地质	腐蚀性	强	中等	弱	微
9		基坑下第一微承压含水层抗渗漏稳定性系数	0.0	$0.0 \sim 0.5$	$0.5 \sim 1.05$	> 1.05
10		含水层累计厚度	含水层累计厚度占 10%	含水层累计厚度占 25%	含水层累计厚度占 50%	含水层累计厚度占比大于 50%
11	不良地质作用和地质灾害	地面沉降	$> 50 \text{ mm}$		$20 \sim 50 \text{ mm}$	$< 20 \text{ mm}$
12	活动断裂和地震效应	地震液化	严重液化		中等、轻微液化	不液化
13		活动断裂	强烈全新活动断裂	微弱、中等全新活动断裂	非全新活动断裂	无活动断裂
14		地震烈度	> 9 度	9 度	7 度、8 度	6 度

表 3 地下空间资源竖向深度层次影响及折减系数
Table 3 The influence of vertical depth on underground space resources and the reduction factor

地下空间资源竖向区位分类	对地下空间资源开发的影响	折减系数
浅层区域	不利影响小	0.95
次浅层区域	不利影响中等	0.85
次深层区域	不利影响大	0.75

2 资源量估算

城市空间建设和利用的现状、城市空间的规划发展与布展是决定地下空间资源分布及其可开发利用程度的主导因素。城市空间现状和空间规划包括城市现有地上和地下空间利用状态,以及城市规划确定的待发展和待更新空间。

2.1 地面空间状态对地下空间资源的影响评价

城市地面空间由不同的空间利用形式和空间类型组成。从利用形态看,地面空间利用类型包括:建筑物、构筑物、道路、广场、绿地、水域、河流、公园、市政及交通设施场地、城市新增建设用地及特殊用地等。各空间类型对潜在的地下空间资源开发利用的影响方式和程度不同,如表 4 所示。地面空间中已建成的建筑的基础对城市地下空间开发利用的影响较为明显,建筑物和大型建筑以筏板

基础为主,多层和大型建筑以桩基为主,基础埋深对地下空间占用深度较大^[11],如图 1 所示。

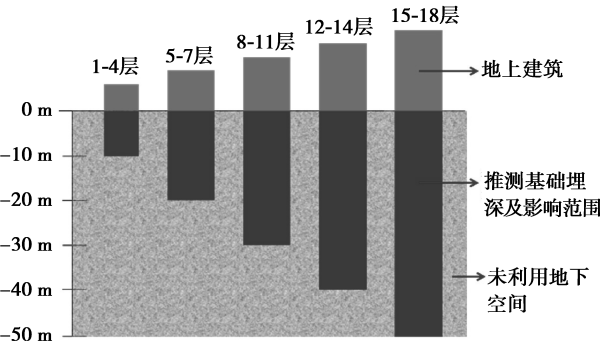


图 1 地面建筑物高度与地基基础埋深及影响范围示意图

Fig.1 Sketch map of the height of the building and the depth of the foundation and influence

表 4 地面建筑物高度与地基基础埋深及影响范围关系

Table 4 Relationship between the height of ground and the depth of foundation and the influence scope

建构筑物层数	推测基础形式	推测基础埋深及影响范围/m	推测地下建筑层数	备注
1—4	筏板	1.5~10	0~1	
5—7	筏板或短桩	10~20	0~1	
8—11	短桩	30	1	建筑物层数的 2~3 倍;随高度逐渐递减至 1 倍
12—14	桩基	40	1~2	
15—18	桩基	50	2~3	
18 层以上	桩基	50~100	≥3	

2.2 已开发利用地下空间对地下空间开发的影响评价

已开发利用的地下空间是城市地下空间资源部蕴藏量中已被开发和使用的部分,是保护和保留

整合、完善的对象,多数将继续使用,不计入潜在的资源范围。在规划中,应对现有的地下空间的完善、整合和继续利用提出总体策略和利用方向。地上地下空间类型与地下空间资源分布影响参数如表 5 所示。

表 5 地上地下空间类型与地下空间资源分布影响参数表

Table 5 The influence parameters of underground space type and underground space resources

空间类型	空间亚类	可能的基础形式	基础或影响深度/m	地基应力扩散及生态保护敏感范围
地下埋藏物	水资源、矿物资源、地热、油气、地下文物	无	根据埋深	基础底面以下
已开发利用的地下空间	地下建筑	桩基	5~20	基础底面以下
	市政管线	无	1.5~10	基础底面以下
	交通设施	路基		基础底面以下

续表5

空间类型		空间亚类	可能的基础形式	基础或影响深度/m	地基应力扩散及生态保护敏感范围
地面建筑空间		建、构筑物	筏板、短桩、桩基	1.5~100	基础底面以下
开敞空间	一般开敞空间	道路、广场、空地	无	0	无影响
	生态开敞空间	水面	隔水层	隔水层厚度	生态厚度以下
		生态效应显著的绿地	植物根系	根系深度	生态厚度以下
特殊空间		仓储物流、军事设施、对外交通场站、墓地	场地基础		不考虑资源分布
自然和人文资源保护空间		历史风貌保护区	根据层数	根据层数	基础底面以下

3 评估结果

3.1 地质条件适宜性评估

根据评估指标体系及评估模型,以地形地貌、水文、工程地质、水文地质条件、不良地质作用和地质灾害、活动断裂和地震效应条件作为评估单项指标,评估区内各层次(浅层、次浅层以及次深层)地下空间资源按工程开发难度分为 4 个等级,评估计算结果见图 2~4。

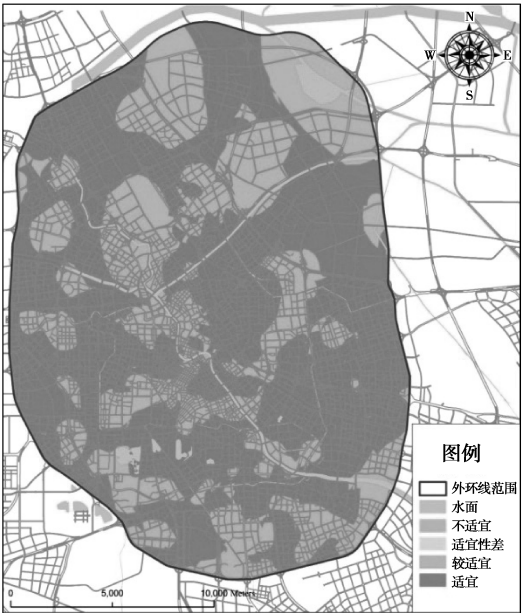


图 2 中心城区浅层地下空间资源(0~10 m)开发利用地质条件适宜性分区图

Fig.2 Suitability zoning map of shallow underground space resources (0~10 m) in central city



图 3 中心城区次浅层地下空间资源(-10~-30 m)开发利用地质条件适宜性分区图

Fig.3 The suitability zoning map of subsurface shallow space resources (-10~-30 m) in central city

(1)适宜:以浅层地下空间资源(0~-10 m)为主,在长虹公园周边、天拖生活区东部、文化中心片区、中山门、程林庄、张贵庄周边地区、南京路商业街片区、北宁公园周边、北辰城区等范围内较为集中和显著。

(2)较适宜:在浅层地下空间资源(0~-10 m)范围,在西沽公园附近、向阳路街、水上公园地区、李七庄南部、海河古河道沿线、宜兴埠一带较为集中和显著。在整个中心城区次浅层地下空间资源

(-10~-30 m) 范围较为集中,如表 6 所示。在次深层地下空间资源(-30~-50 m) 范围,在卫国道周边地区、仁爱花园片区一带较为集中和显著。

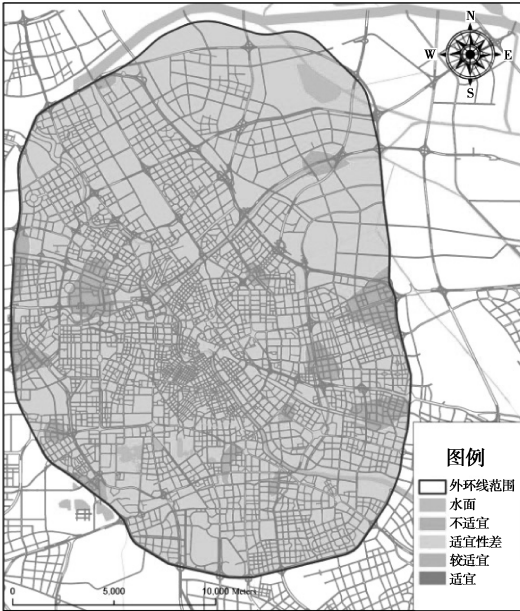


图 4 中心城区次深层地下空间资源(-30~-50 m) 开发利用地质条件适宜性分区图

Fig.4 The suitability zoning of geological conditions for the development of sub deep underground space resources (-30~-50 m) in central city

- (3)适宜性差:在整个中心城区的次深层地下空间资源(-30~-50 m) 范围较为集中。
- (4)由于天津市中心城区特殊的综合地质条件,在评估区范围内并无绝对不适宜开发资源的存在,如表 6。在较适宜和适应性差的范围内进行地下工程建设时,需针对具体工程特点和国家相应规范,采取适当的结构形式和技术措施来减缓和消除地质条件带来的影响及风险。

表 6 天津市中心城区地下空间适宜性分区

Table 6 The suitability zoning of urban underground space in Tianjin

深度/m	适宜性评价	比例/%
0~-10	适宜	51
	较适宜	46
	适宜性差	3
	不适宜	0
-10~-30	适宜	1
	较适宜	92
	适宜性差	7
	不适宜	0
-30~-50	适宜	0
	较适宜	68
	适宜性差	32
	不适宜	0

3.2 可利用地下空间资源量估算

本次地下空间资源评估范围是天津市中心地区,其中由于北部新城建设量较小,资源量暂不计入此次评估范围,如表 7 所示。评估范围总占地面积为 334 km²,可供开发地下空间资源量为 227.5 km²,约占中心城区总面积的 83%。按照本次地下空间开发利用总体规划编制坚持社会效益、经济效益与环境效益相结合的指导思想要求,将可开发利用的地下空间资源划分为公益性和市场性地下空间,允许市场性开发利用地下空间约 185.5 km²,占中心城区总面积的 56%;限制公益性开发利用地下空间约 91.9 km²,占中心城区总面积的 28%。

表 7 天津市中心城区地下空间开发利用资源统计

Table 7 Statistics of underground space development and utilization in Tianjin

资源分类		地下空间用地投影 面积/km ²	占中心城城区用地比重/%
无 资 源	12F 及以上地上建筑	50.1	15.0
	重点地区	6.5	1.9
	汇总	56.6	16.9

续表7

资源分类			地下空间用地投影 面积/km ²	占中心城区用地比重/%
市场性	立即可用	空地	13.8	4.1
		棚户区改造	0.3	0.1
	有条件利用	1~6F 地上建筑	135	40.4
		7~11F 地上建筑	36.4	10.9
公益性	汇总		185.5	55.5
	道路用地(浅层)		19.8	5.9
	铁路用地		7.7	2.3
	地铁用地		11.9	3.6
	公园水域绿地		52.5	15.7
	生态红线范围		0	0.0
	汇总		91.9	27.5
	总 计		334.0	100.0

天津市中心城区地下空间可开发利用资源分布如图 5 所示。

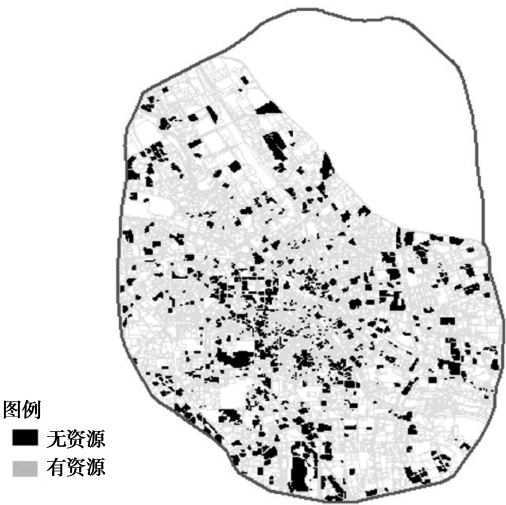


图 5 天津市中心城区地下空间可开发利用资源分布图

Fig.5 Underground space development and utilization of resources in Tianjin city center

4 结论与建议

4.1 结论

(1)天津市中心城区规划范围内地表以下的全部地层空间是城市地下空间资源天然蕴藏的总体范围,根据工程地质的研究表明,该范围内无不适宜开发利用区域,地质条件适宜和较适宜地下空

间开发,适宜性较差地区多出现在-30 m 以下空间,总体来看地下空间资源相对丰富。

(2)天津市中心城区地下空间资源综合质量主要受到城市经济空间布局 and 交通可达性影响。城市整体优良区位较多,辐射力较强,地下空间资源综合质量整体水平较高,分布均匀。

(3)天津市中心城区是城市建设的主要区域,在地下空间开发建设过程中要注重对不良地质作用的影响。因此,中心城区地下空间资源开发利用规划应遵循自然条件的特点,在实际施工过程中有针对性地采取相应的工程技术措施,避免造成不利影响。

4.2 建议

(1)加强地下空间资源开发与生态环境之间相互关系研究,加强资源供给与需求关系研究,从自然资源战略的高度认识地下空间资源的整体性,从而实现资源系统的整体保护和开发,实现城市空间的可持续发展。

(2)加强深层地质条件的勘察研究,为大规模、大深度地下空间资源的开发利用做好信息储备。

(3)进一步研究城市地下空间资源的有效开发比例问题,建立地下空间资源开发控制指标体系。

参考文献(References)

- [1] 沈小克,王军辉,韩焯,等.北京市地下空间开发中主要地质风险及控制对策[A]//全国工程安全与防护学术会议[C].2010:137-145.(Shen Xiaoke, Wang Junhui, Han Xuan, et al. Beijing city underground space development in the main geological risk and control strategy of [A]//National Security and Protection Engineering Conference[C].2010:137-145.(in Chinese))
- [2] Boivin D J. Underground space use and planning in the Quebec City area [J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 1990, 5(1-2):69-83.
- [3] Ronka K, Ritola J, Rarhala K. Underground space in land use planning [J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 1998, 13(1):39-49.
- [4] 官善友,朱锐,高振宇.地质条件对武汉市地下空间开发的影响及分区评价[J].工程勘察,2008(9):6-10.(Guan Shanyou, Zhu Rui, Gao Zhenyu. Influence of geological conditions to the development and utilization of underground space in Wuhan and the subarea evaluation[J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2008(9):6-10.(in Chinese))
- [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.(Ou Xiaoduo, Yang Rongcai, Zhou Dong, et al. Application of AHP to geological environment suitability assessment in Nanning underground development [J]. Journal of Guilin University of Technology, 2009, 29(4):474-480.(in Chinese))
- [6] 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.(Liu Kun, Peng Jian, Peng Fangle. Evaluation model for the suitability of underground space resources exploitation and utilization [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2011, 7(2):219-231.(in Chinese))
- [7] 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.(Peng Jian, Liu Kun, Zhen Futao, et al. Evaluation for the suitability of underground space exploitation and utilization based on AHP [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2010, 6(4):688-694.(in Chinese))
- [8] 胡学祥,刘干斌,陶海冰.基于 ArcGIS 宁波市地下空间开发适宜性评价研究[J].地下空间与工程学报,2016,12(6):1439-1444.(Hu Xuexiang, Liu Ganbin, Tao Haibing. Research on evaluation suitability for the development of underground space in Ningbo City based on ArcGIS [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2016, 12(6):1439-1444.(in Chinese))
- [9] 蒋旭,王婷婷.天津市中心城区地下空间资源评估专项——地下空间资源开发利用地质条件适宜性评价分项[R].天津市勘察院,2016.(Jiang Xu, Wang Tingting. The evaluation of underground space resources in Tianjin city center—the suitability evaluation of geological conditions for the exploitation of underground space resources [R]. Tianjin Institute of Geotechnical Investigation and Surveying, 2016.(in Chinese))
- [10] 童林旭.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, Guo Wenjun. Urban underground space resource evaluation and exploitation and utilization planning [M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2009.(in Chinese))
- [11] 穆静,郭鹏.天津市中心城区地下空间资源评估报告[R].天津:天津市地下空间规划管理信息中心,2016.(Mu Jing, Guo Peng. Evaluation report of Tianjin underground space resources [R]. Tianjin: Tianjin Underground Space Planning and Management Information Center, 2016.(in Chinese))