

DOI:10.19948/j.12-1471/P.2023.03.06

基于粗糙集理论的雄安新区地下空间土体可利用属性重要性评价

韩博^{1,2}, 张曦³, 杜亚楠⁴, 夏雨波^{1,2*}, 马震^{1,2}, 郭旭^{1,2},
刘宏伟^{1,2}, 苗晋杰^{1,2}, 白耀楠^{1,2}, 李状^{1,2}

(1. 中国地质调查局天津地质调查中心(华北地质科技创新中心), 天津 300170; 2. 中国地质调查局
雄安城市地质研究中心, 天津 300170; 3. 河北雄安新区规划研究中心, 河北 雄安新区 071700;
4. 雄安城市规划研究设计院有限公司, 河北 雄安新区 071700)

摘要:地下空间的开发利用是新时代实现城市经济与社会、资源、环境可持续协调发展的必经之路。为了客观评价雄安新区土体可利用属性的重要性,基于粗糙集理论,探讨了雄安新区地下空间50 m以浅不同深度范围(0~5 m、5~30 m和30~50 m)内常见的工程类型以及土体可利用性的影响因素,并对土体可利用性的影响因素进行了重要性评价,得出了影响土体可利用属性的重要度和权重值。结果表明:(1)雄安新区地基土的工程地质性质总体良好,适宜大规模建设,但仍需关注人工填土层(杂填土、素填土)、软弱土层(淤泥质粉质粘土、软塑粉质粘土)、液化土层(粉土、粉细砂)、地下水位、坑塘等不良的工程地质特性;(2)得出了土体可利用属性的重要性排序:0~5 m依次为地基承载力、杂填土厚度、粉土层厚度、砂土层厚度、坑塘分布、地下水位,5~30 m依次为淤泥质层厚度、地下水位、粉土层厚度、砂土层厚度、地基土均匀性,30~50 m依次为地下水位、砂土层厚度、粉土层厚度;(3)粗糙集理论能够客观地评价雄安新区地下空间土体可利用性,从知识表达系统中挖掘影响因素之间的内在规律,得到客观可靠精细的重要度和权重值,为雄安新区地下空间土体的开发利用提供了评价依据。

关键词:粗糙集理论;雄安新区;地下空间;可利用性;重要性

中图分类号: P642.5; TU91; TU984.111*3

文献标识码: A

文章编号: 2097-0188(2023)03-0043-06

雄安新区作为疏解北京非首都功能、探索人口经济密集地优化开发新模式的国家级新区,是千年大计、国家大事。未来数十年,雄安新区将开展大规模的工程建设与地下空间开发利用。城市地下空间开发利用是新时代城市经济社会发展与城市空间发展的客观需要,是实现经济发展与社会人口、自然资源、生态环境可持续发展的有效途径^[1-7]。地下空间的开发利用既可以集约使用土地,缓解城市发展与土地、水等资源稀缺的矛盾;又可以改善城市生态环境,完善城市防灾减灾体系,缓解城市发展过程中出现的交通堵塞、环境污染、生态恶化等方面的诸多问题^[8-11]。

为了科学合理地开发利用雄安新区地下空间资

源,首先应对地下空间岩土体的可利用性进行分析评价。城市地下空间岩土体可利用性评价就是考虑现有地下空间的地层结构、岩土体的分布规律、工程地质性质、地下工程施工工艺、防灾减灾措施以及相应的法律法规等内容,综合分析城市地下空间岩土体的工程地质特性,对不同深度地下空间岩土体进行评价^[12]。对雄安新区地下空间岩土体可利用性进行评价可以辅助规划设计部门有效地利用工程地质性质良好的地层,避免地下空间资源的浪费,减少工程的重复修建以及由此带来的经济损失。

目前,针对复杂的不确定性问题的研究有很多方法,比如层次分析法、专家系统法、模糊数学法、神经网络法、灰色理论、可拓学理论等。这些方法在

收稿日期:2022-11-14

资助项目:中国地质调查局地质调查项目“雄安新区水土质量与地质调查评价(DD20189122)”、“京津冀协同发展区暨雄安新区资源环境承载能力监测评价(DD20211292)”

作者简介:韩博(1984-),男,博士,高级工程师,主要从事水工环地质及城市地质调查与研究, E-mail: hanbo1984@126.com; *通讯作者:夏雨波(1982-),男,博士,高级工程师,主要从事水工环地质及城市地质调查与研究, E-mail: sosodragon@163.com。

<http://hbdz.org.cn>

评价时均涉及到权重值,而基于粗糙集理论确定的权重值避免了主观因素的影响,不需要先验的知识。对于复杂问题,粗糙集理论不仅能保持分类不变,还能进行知识约简,减少了计算的复杂性。同时,它还对不完整信息、不确定信息以及模糊信息作出令人满意的评价结果^[11]。

本文以雄安新区地下空间50 m以浅土体为研究对象,综合探讨了不同深度(0~5 m、5~30 m和30~50 m)范围内常见的工程类型以及土体的工程地质特征,分析了工程建设中影响土体可利用性的因素。基于粗糙集理论,对土体可利用性的影响因素进行了重要性评价,得出了影响土体可利用性因素的重要度和权重值。

1 粗糙集理论

粗糙集理论是由波兰数学家 Pawlak Z. 教授于1982年提出的研究不完整、不确定知识和数据的表达、学习、归纳的一种理论方法,是一种处理模糊和不确定性问题的数学工具^[13-18]。其中心思想是保持分类能力不变的条件下,利用系统中已知的信息,通过知识约简,来表示不精确或不确定问题的信息和数据^[19-21]。该理论可以有效地分析处理不确定因素和不完备信息,找到信息间隐含的知识和潜在的规律。目前,粗糙集理论已经被广泛应用于模式识别、机器学习、决策分析、过程控制、决策支持、知识获取和数据挖掘等领域^[22-26]。

1.1 知识和知识库

粗糙集理论是基于论域研究其等价关系。将我们感兴趣的对象组成的非空有限集合称为论域,用 U 表示。根据某种属性对论域进行分类,得到关于论域的一个划分,称为关于论域的某种属性的知识,相应的属性称为等价关系^[10]。知识即为在等价关系 R 下对论域 U 的划分,可记为 U/R 。知识库即为属于等价关系中所有可能的关系对论域的划分,可表示为: $K=(U,R)$ 。

1.2 上近似和下近似关系

在一个知识库 $K=(U,R)$ 中,对属于 U 的任何子集 X 和属于知识库的等价关系 R ,定义了两个子集:

$$\underline{R}X = \{x \in U\} \quad (1)$$

$$\overline{R}X = \{x \in U\} \quad (2)$$

分别称为 X 的 R 下近似值和上近似值。 $\underline{R}X$ 为由根据知识 R 判断肯定属于 X 的 U 中元素组成的集

合。 $\overline{R}X$ 为由根据知识 R 判断可能属于 X 的 U 中元素组成的集合。

1.3 决策属性支持度和重要性

设知识表达系统可表示为 $S=(U,A,V,f)$,其中 U 为研究对象的非空有限集合,即论域, A 为属性的非空有限集合,可表示为 $A=C \cup D$, C 称为条件属性集, D 称为决策属性集, $C \cap D = \emptyset$ 。具有条件属性和决策属性的知识表达系统 S 称为决策系统或决策表。

若 $\frac{U}{C} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, $\frac{U}{D} = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$, 则决策属性支持度为:

$$k = \gamma_C(D) = \frac{1}{U} \sum_{i=1}^m |\gamma_C(D_i)| \quad (3)$$

决策属性 D 依赖于条件属性 C , $\gamma_C(D)$ 为 D 对 C 的依赖度。当 $k=1$ 时, D 完全依赖于 C ;当 $0 < k < 1$ 时, D 粗糙依赖于 C ;当 $k=0$ 时, D 完全独立于 C 。

在决策表中,不同的属性具有不同的重要性,从表中去掉一些属性,能够观察没有该属性后分类的变化情况。如果去掉该属性后,分类变化较大,则说明该属性的重要性高,反之,则重要性低。

去掉条件属性集对决策属性集的支持度可表示为:

$$\gamma_{C-C_i}(D) = \frac{1}{U} \sum_{i=1}^m |\gamma_{C-C_i}(D_i)| \quad (4)$$

条件属性 C_i 关于决策属性 D 的重要程度可表示为:

$$\sigma_{CD}(C_i) = \gamma_C(D) - \gamma_{C-C_i}(D) \quad (5)$$

其中: $\sigma_{CD}(C_i)$ 为去掉属性子集 C_i 后对决策属性集的影响程度。 $\sigma_{CD}(C_i)$ 值越大,表明条件属性 C_i 在整个条件属性集中重要性最高,对决策属性越重要。

第 i 个条件属性的权重系数可表示为:

$$\alpha_i = \frac{\sigma_{CD}(C_i)}{\sum_{i=1}^m \sigma_{CD}(C_i)} \quad (6)$$

2 雄安新区土体可利用属性分析

雄安新区位于太行山东麓冲洪积平原前缘地带,属堆积平原地貌。地势由西北向东南逐渐降低,地面高程多在5~26 m,地面坡降小于2‰^[26]。根据雄安新区千年大计的总体规划要求,地下空间利用层的下限一般标高在-90 m。该空间范围内的物质构成主要是第四系沉积物,根据研究区内496个钻孔所揭露的50 m范围内地层情况,按沉积时代、土体类型、岩性特征三个要素对50 m以浅的地层进行划分,自上而下分别

为第四系全新统(Q_h)人工填土、稍密-中密粉土、可塑粉质粘土、软塑-可塑有机质粉质粘土、稍密粉细砂,上更新统(Q_3)可塑-硬塑粉质粘土、稍密-中密粉土、稍密-中密粉细砂,中密中砂(图1)。

从宏观上看,雄安新区地基土的工程地质性质总体良好,承载力适中,压缩性较低,适宜大规模建设。但人工填土层(杂填土、素填土)、软弱土层(淤泥质粉质粘土、软塑粉质粘土)以及液化土层(粉土、粉

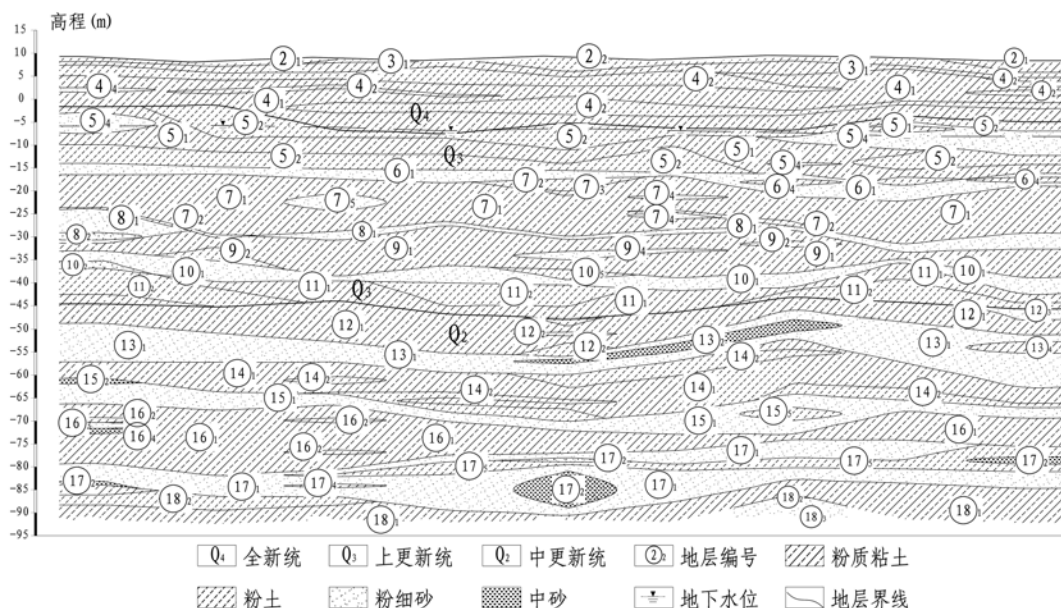


图1 雄安新区地下空间开发利用层标准工程地质层组(局部)^[27]

Fig.1 Standard engineering geological strata of underground space in Xiongan New Area (Partial)

细砂)的工程地质特性不良,同时,新区地表分布着大大小小的坑塘720个,都会对地下空间的安全带来不利的影响。其中,人工填土属于高压缩性土,不应作为持力层,施工时必须进行清除或换填;全新统范围内的粉土、粘性土层承载力一般,属中等压缩性土,荷载超过130 kPa时可产生压缩变形,应谨慎用作天然地基;同时,雄安新区浅层地下水位埋深一般在15~40 m,粉土层在汛期高水头压力作用下,易产生散浸、管涌等渗透变形以及振动液化问题等;粉细砂层与中粗砂层压缩性小,承载力高,是良好的桩基持力层,但砂层施工易产生“流沙”及砂土震动液化等问题;白洋淀周边湖积相淤泥质粘土呈软塑-可塑状态,具高-中等压缩性,承载力差异较大,作天然地基使用时,应了解下卧土层工程地质特征^[27-30]。

考虑到雄安新区对浅层、次浅层、次深层地下空间开发利用的规划不同,需分别探讨不同深度处土体的可利用性影响因素。根据雄安新区地下空间开发利用的规划情况,结合地下空间土体的分布状态及工程地质性质,分别对地表以下0~5 m、5~30 m、30~50 m深度区域内的土体进行分析。

(1)雄安新区地表以下0~5 m主要建设工程为

道路工程、市政工程、工民建浅基础和综合管廊工程等,一般采用明挖法工艺施工。该空间范围土层多为杂填土、素填土、粉土、粉质粘土等,影响该深度范围内工程建设的因素主要有填土的分布、粉土的厚度、地下水、地基承载力以及坑塘。

(2)雄安新区地表以下5~30 m为工程建设利用地下空间最多的区域,主要的工程建设有仓储购物、生活娱乐、地下停车场、民防工程、垃圾处理站、地铁等工程。一般采用盾构法、深基坑开挖法、非开挖和桩基础等工艺施工。该深度范围内的土层多为可塑粘性土(粉质粘土、粘土)、稍密-中密粉细砂、靠近白洋淀含有软塑粉质粘土或淤泥质粉质粘土等,影响该深度范围工程建设的因素主要有液化砂土和粉土厚度、淤泥质粉质粘土分布厚度、地基土的不均匀沉降、地下水以及坑塘。

(3)雄安新区地表以下30~50 m的地下空间,多用于地下快速交通、地下物流、地下市政设施、深层储藏设施、高压变电站、水处理中心等建设空间等工程,一般采用非开挖、盾构法为主的施工方法。该深度范围内的土层多为可塑-硬塑粘性土(粉质粘土、粘土)、中密-密实粉土、中密-密实粉细砂等,影响该

深度范围内工程建设的因素主要有粉土层和砂层厚度以及地下水。

3 雄安新区地下空间土体可利用属性离散化

基于雄安新区综合地质调查基础地质资料,选取了覆盖全域的496个钻孔数据,根据《岩土工程勘察规范》(GB 50021-2001)(2009版)及《工程地质手册(第五版)》中的相关规定,对雄安新区地下空间土体的可利用性连续属性进行划分,将可利用性连续属性划分为差、较差、较好和好四个区间,并分别赋值1、2、3、4。再根据地下空间土体可利用性的影响因素进行分类,得到雄安新区地下空间土体属性可利用性的离散区间表(表1)。根据表1的分类方法,将已知的496个钻孔样本数据进行划分,得到雄安新区地下空间0~5 m、5~30 m、30~50 m土体可利用性知识表达系统,如表2所示(部分数据)。

4 雄安新区地下空间土体可利用属性重要性评价

根据雄安新区地下空间土体的可利用性影响因素,基于粗糙集理论,利用Rosetta软件对地下空间不同深度范围(0~5 m、5~30 m、30~50 m)内土体可利用性影响因素的重要度进行了评价。将表2土体可利用性知识表达系统中的数据以excel的.xlsx格式导入Rosetta软件中,采用遗传算法进行属性约简命令计算。根据式(3)~(6),可计算出雄安新区地下空间土体可利用性影响因素的重要度和权重值,如表3所示。

根据雄安新区土体可利用属性的重要性评价结果可以看出,地下空间0~5 m深度范围内,对土体可利用性影响最大的因素是地基承载力,其次是杂填土厚度、粉土层、砂土层厚度、坑塘分布,地下水位埋深影响最小;地下空间5~30 m深度范围内,对土体可利用性影响最大的因素是淤泥质层(软塑粉质粘土、淤泥质粉质粘土)厚度,地下水和粉土层、砂土层厚度影响次之,而地基土的均匀性影响相对较小;地下空间30~50 m深度范围内,对土体可利用性影响最大的是地下水,砂土层、粉土层厚度影响次之。

可以采用粗糙集理论对雄安新区地下空间土体的可利用属性的重要性进行评估,其评价结果具有

表1 雄安新区地下空间土体可利用性连续属性离散区间表
Table 1 Discrete interval table of soil mass availability in underground space of Xiongan New Area

研究深度/m	影响因素	离散区间			
		1	2	3	4
0~5	地基承载力/kPa	≤100	100~150	150~200	≥200
	杂填土厚度/m	≥5	3~5	1~3	≤1
	粉土、砂土层厚度/m	≥5	3~5	1~3	≤1
	坑塘深度/m	≥5	3~5	1~3	≤1
	地下水位埋深/m	≤1	1~3	3~5	≥5
	淤泥质层厚度/m	≥5	3~5	1~3	≤1
	粉土、砂土层厚度/m	≥5	3~5	1~3	≤1
5~30	地基土均匀性	很不均匀	不均匀	均匀	很均匀
	地下水位埋深/m	≤5	5~15	15~30	≥30
	坑塘深度/m	≥30	15~30	8~15	≤8
	粉土层厚度/m	≥5	3~5	1~3	≤1
30~50	砂土层厚度/m	≥5	3~5	1~3	≤1
	地下水位埋深/m	≤30	30~50	≥50	≥50

注:地基土均匀性可根据《高层建筑岩土工程勘察规程》(JGJ/T 72—2017)中地基土的均匀性相关规定确定

表2 雄安新区地下空间土体可利用性知识表达系统
Table 2 Knowledge expression system of soil availability in underground space of Xiongan New Area

样本	属性												
	0~5					5~30					30~50		
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13
a1	2	4	2	4	4	4	1	2	3	4	1	2	1
a2	2	3	3	3	4	4	2	3	4	2	1	2	1
a3	2	4	3	1	4	4	2	2	4	3	1	2	2
a4	2	2	4	2	4	4	1	3	4	3	2	3	2
a5	2	4	2	1	4	4	1	3	4	2	1	2	1
a6	2	3	3	4	4	4	1	3	3	2	2	2	1
a7	2	4	2	3	4	4	2	2	3	4	2	1	1
a8	1	3	3	1	4	3	2	2	3	2	4	2	1
a9	2	4	2	2	4	3	1	2	3	2	2	2	1
...													
a496	1	4	2	4	3	2	3	3	2	4	3	3	1

表3 雄安新区地下空间土体重要性评价结果
Table 3 Significance evaluation results of soil mass in the underground space of Xiongan New Area

深度范围/m	影响因素	重要度	权重
0~5	地基承载力	0.52	0.31
	杂填土厚度	0.45	0.26
	粉土、砂土层厚度	0.37	0.24
	坑塘深度	0.29	0.12
	地下水位埋深	0.18	0.07
	淤泥质层厚度	0.51	0.31
	粉土、砂土层厚度	0.36	0.21
5~30	地基土的均匀性	0.21	0.09
	地下水位埋深	0.47	0.27
	坑塘深度	0.25	0.12
	粉土层厚度	0.36	0.30
30~50	砂土层厚度	0.49	0.33
	地下水位埋深	0.53	0.37

客观性,与专家系统法、层次分析法等方法相比,排除了人为等主观因素的影响,从知识表达系统中挖掘出了各参数之间具有的内在规律,能反映各影响因素之间的权重差异,可为雄安新区地下空间开发利用提供评价依据。

5 结论

(1)雄安新区地基土的工程地质性质总体良好,承载力适中,压缩性较低,适宜大规模建设。但人工填土层(杂填土、素填土)、软弱土层(淤泥质粉质粘土、软塑粉质粘土)以及液化土层(粉土、粉细砂)的工程地质特性不良,以及分布的坑塘,都会对地下空间的安全带来不利影响。

(2)雄安新区地下空间0~5 m范围内,影响土体可利用性的因素主要有填土的分布、粉土层和砂土层厚度、地下水、地基承载力以及坑塘;5~30 m范围内影响土体可利用性的因素主要有粉土层和砂土层厚度、淤泥质粉质粘土分布厚度、地基土不均匀沉降、地下水以及坑塘;30~50 m范围内影响土体可利用性的因素主要有粉土层和砂层厚度以及地下水。

(3)雄安新区地下空间0~5 m深度范围内,对土体可利用性影响最大的因素是地基承载力,其次是杂填土厚度、粉土层、砂土层厚度、坑塘分布,地下水最小;地下空间5~30 m深度范围内,影响最大的因素是淤泥质层(软塑粉质粘土、淤泥质粉质粘土)厚度,地下水和粉土层、砂土层厚度次之,而地基土的均匀性相对较小;地下空间30~50 m深度范围内,影响最大的是地下水,砂土层、粉土层厚度次之。

(4)粗糙集理论能够客观地评价雄安新区地下空间土体的可利用性,排除了人为等主观因素的影响,从知识表达系统中挖掘各影响因素之间具有的内在规律,能反映影响因素之间的权重差异,为雄安新区地下空间土体的可利用性提供了评价依据。

参考文献:

- [1] 中共中央国务院. 中共中央国务院关于支持河北雄安新区全面深化改革和扩大开放的指导意见[N]. 中华人民共和国国务院公报, 2019-02-20.
- [1] 钱七虎. 迎接我国城市地下空间开发高潮[J]. 岩土工程学报, 1998, 20(1):112-113.
- [2] SANJA D. The future of underground space[J]. Cities, 1999, 16(4):233-245.
- [3] GOEL R K, DUBE A K. Status of underground space utilization and its potential in Delhi [J]. Tunneling and Under-

- ground Space Technology, 1999, 14(3):349-354.
- [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.
- [5] 谢连平,钟洛加,周衍龙.武汉城市地下空间开发利用与环境地质[J].环境科学与技术,2009,32(12):209-214.
- [6] 李于辉,张季超,丁晓敏,等.广州地下空间开发利用的环境岩土工程问题[J].地下空间与工程学报,2009,5(S2):1455-1458.
- [7] 韩文峰,谌文武,宋畅.城市地下空间开发利用的工程地质与岩土工程[J].天津城市建设学院学报,2000,6(1):1-5.
- [8] 杨振茂.郑州市地下空间开发利用的岩土工程安全问题[J].中国安全科学学报,2006,(2):12-16+147.
- [9] 李晓红,王宏图,杨春和,等.城市地下空间开发利用问题的探讨[J].地下空间与工程学报,2005,1(3):319-322,328.
- [10] 史玉金,张先林,陈大平.上海深层地下空间开发地质环境条件及适宜性评价[J].地质调查与研究,2016,39(2):130-135.
- [11] 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.
- [12] GIDEON S GOLANY, TOSHIO OJIMA. Geo-Space Urban De-sign [M]. China Architecture and Building Press, 2005.
- [13] PAWLAK Z. Rough sets[J]. International Journal of Computer & Information Sciences, 1982, 11(5):341-356.
- [14] 刘清. Rough集及 Rough推理[M]. 北京:科学出版社, 2001.
- [15] 张文修,吴伟志.粗糙集理论介绍和研究综述[J].模糊系统与数学,2000,14(4):1-12.
- [16] 张文修,吴伟志,梁吉业,等.粗糙集理论与方法[M]. 北京:科学出版社, 2001.
- [17] WU C D, YUE Y, LI M X. The rough set theory and applications[J]. Engineering Computations, 2004, 21(5-6):488-511.
- [18] 姜云,吴立新,车德福,等.基于粗糙集和GeoMo-(3D)的城市岩土参数重要性评估与可视化[J].地理与地理信息科学,2005,(6):19-21+36.
- [19] 薛祥,孙宏伟,沈滨,等.岩土工程中的数据挖掘和知识发现探讨[J].工程勘察,2007,(10):11-16,28.
- [20] 黄静莉,王清.基于粗糙集的地下空间岩土体属性重要性评估[J].地下空间与工程学报,2015,11(3):547-550+556.
- [21] HUANG JINGLI. Analysis and evaluation of the available rock and soil mass in underground space in Changchun, China. Geochimica Et Cosmo Chimica Acta, 2009, 73(13): A558-A558.
- [22] 沈雪平,袁艺博.粗糙集理论在地下工程风险管理中的应用[J].石家庄铁路职业技术学院学报,2019,18(2):44-49.
- [23] 王帅伟,于少将,李绍康,等.基于RS-PCA-GA-SVM的砂土液化预测方法研究[J].地震工程学报,2019,41(2):

- 445-453.
- [24] 张田田, 杨为民. 基于 AHP-RS 组合模型的砂土液化趋势预测—以 1976 年唐山地震扰动区为例[J]. 人民长江, 2020, 51(10):167-172.
- [25] 马邦闯, 谭飞, 焦玉勇, 等. 基于粗糙集与 AHP 的地下空间开发地质适宜性评价模型构建方法研究[J]. 安全与环境工程, 2020, 27(6):153-159.
- [26] 马震, 黄庆彬, 林良俊, 等. 雄安新区多要素城市地质调查实践与应用[J]. 华北地质, 2022, 45(1):58-68.
- [27] 韩博, 夏雨波, 裴艳东, 等. 雄安新区地下空间工程地质特征及环境地质效应[J]. 工程勘察, 2020, 48(3):1-8.
- [28] 白耀楠, 马震, 张竞, 等. 廊坊北三县工程建设适宜性评价[J]. 地质调查与研究, 2019, 42(2):117-122.
- [29] 杜东, 柳富田, 刘宏伟. 河北曹妃甸岛区工程地质环境稳定性评价研究[J]. 地质调查与研究, 2019, 42(4):299-304.
- [30] 柳富田, 方成, 杜东, 等. 曹妃甸滨岸带砂土液化分布特征研究[J]. 地质调查与研究, 2019, 42(1):45-48.

Significance evaluation on available properties of soil mass in underground space in Xiongan New Area based on rough set theory

HAN Bo^{1,2}, ZHANG Xi³, DU Yanan⁴, XIA Yubo^{1,2*}, MA Zhen^{1,2}, GUO Xu^{1,2},
LIU Hongwei^{1,2}, MIAO Jinjie^{1,2}, BAI Yaonan^{1,2}, LI Zhuang^{1,2}

(1. Tianjin Center, China Geological Survey (North China Center for Geoscience Innovation), Tianjin 300170, China;
2. Xiongan Center of Urban Geological Research, China Geological Survey, Tianjin 300170, China; 3. Planning Research
Center of Xiongan New Area, Xiongan New Area Hebei 071700, China; 4. Xiongan Urban Planning and Design
Institute Co., Ltd, Xiongan New Area Hebei 071700, China)

Abstract: The development and utilization of underground space is the only way to realize the sustainable and coordinated development of urban economy, society, resources and environment in the new era. In order to objectively evaluate the importance of soil mass in Xiongan New Area, according to the engineering geological characteristics of shallow soil mass 50 meters underground space in Xiongan New Area, the common engineering types and the factors affecting the availability of soil mass in different depths (0 ~ 15 m, 15 ~ 30 m and 30 ~ 50 m) are discussed. Based on the rough set theory, the importance of the factors affecting soil exploitability was evaluated, and the importance and weight of the factors affecting soil exploitability were obtained. The results showed that: (1) The engineering geological properties of foundation soil in Xiongan New Area are generally good and suitable for large-scale construction. However, attention should be paid to artificial filling soil (miscellaneous fill soil and plain fill soil), soft soil (silty clay and soft plastic silty clay), liquefied soil (silty soil and fine sand), groundwater, pit-ponds and other undesirable engineering geological characteristics. (2) The importance order of available soil properties is obtained: 0 ~ 15 m is the bearing capacity of foundation, the thickness of mixed fill, the thickness of silt soil layer, the thickness of sand soil layer, the distribution of pit, and the groundwater level, 15 ~ 30 m is the thickness of silt layer, the groundwater level, the thickness of silt soil layer, the thickness of sand soil layer, and the uniformity of foundation soil, and 30 ~ 50 m is the groundwater level, the thickness of sand soil layer, and the thickness of silt soil layer. (3) Rough set theory can be used for objectively evaluating the availability of soil mass in the underground space in Xiongan New Area, excluding the influence of subjective factors. The internal laws of influencing factors are explored from the knowledge expression system, which provides an evaluation basis for the development and utilization of soil in the underground space in Xiongan New Area.

Key words: rough set theory; Xiongan New Area; underground space; availability; significance