天津滨海新区地下空间开发适宜性评价

王兰化,马武明,李明明,张 莺,崔凯鹏
(天津市地质环境监测总站,天津 300191)

摘 要:依据现有研究成果,本文论述了天津滨海新区工程地质背景。选取淤泥质土厚度、20 m以浅粉砂土分布、第Ⅰ海相层底板埋深、地面沉降、地下水腐蚀性为评价因子,采用层次分析和综合评分数学模型,对滨海新区非明开挖及时支护的线性地下空间工程进行了适宜性评价。评价结果表明,区内东部沿海边一带地下空间开发适宜性较差,盾构施工及支护难度较大,占总面积的24%;西部、南部及北部地下空间开发适宜性较好,盾构施工及支护难度小,占总面积的46%;其余区域为一般区,盾构施工及支护难度中等,占总面积的30%。

关键词:天津滨海新区;工程地质;层次分析;地下空间开发
中图分类号: TU984.11+3;X141 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-4135(2015)03-0299-06

城市地下空间指城市规划区内地表以下的空间,包括地下管线、地下街、地下购物中心、地下娱乐设施、地下通道、停车场及人防工程等,是一种不可再生资源。城市地下空间作为一种新型资源,是立体化城市再开发的一种有效途径,在功能上可以成为地面空间的补充和完善。地下空间资源越来越多地利用于各种领域,已成为现代城市功能转入地下的重要载体。近些年,国内外学者针对地下空间开发利用中出现的的环境地质问题、影响因素及地下资源的综合评价,采用不同方法进行了综合研究和分析评价[1-7]。

天津滨海新区自被纳入国家总体发展战略后,其经济的快速发展和城市化进程不断加速。但滨海新区位于海河流域下游,自全新世以来,地层成因类型、空间分布受气候、古地理环境及海陆变迁的控制和影响。区内软土震陷,粉砂土液化、水土腐蚀等不良的工程地质现象,均会对地下空间开发起到制约作用。

以往天津滨海新区开展了大量的工程地质工作,但多数围绕城市建设进行城镇工业区、水利、铁路、工民建等工程地质勘探,研究成果以工程地质勘察为主,很少涉及地下空间的开发利用研究。

本文在中国地质调查局国土资源大调查项目研究成果基础上,结合前人资料,对天津滨海新区进行地下空间开发适宜性评价。

1 工程地质背景

1.1 研究区概况

天津滨海新区地处华北平原东北部,区内水系发育,海河水系和蓟运河水系均由本区入海。近海陆地主要为盐碱荒地和沼泽,陆地与海域之间为滩涂。区内地势低平,处在我国典型的淤泥质海岸岸段北部渤海湾西岸。陆域西部为海积、冲积低平原,由海侵层和河流冲积层交互形成;陆域临海的海积低平原沿海岸呈带状分布,主要由滨海盐滩、泻湖洼地构成,地表以淤泥质粘性土为主,土壤盐渍化严重。

1.2 工程地质层的划分

根据《中国地层表(2014)》规定,天津地质矿产研究所王强研究员建立了华北平原区第四系划分方案[8],天津滨海新区100 m以浅为中更新世中晚期以来的沉积地层,即:全新世[9]—天津组,晚更新世—塘沽组和中更新世晚期—佟楼组(表1)。

自新生代以来,天津滨海新区在构造上长期处于大面积沉降的背景下,经历了多次海陆变迁,沉积环境不断变化,促进堆积地貌的再改造,在河流冲积与海洋沉积交互作用下,历经沧桑巨变,沉积类型多种多样,工程层特性各异,形成独具特色的滨海地区工程地质条件。

勘察深度100 m以浅自上而下所揭露的地层为第四系全新统、上更新统和中更新统,包括河流冲积相、湖沼相、滨海相沉积,岩性以粘性土和砂性土互

收稿日期:2015-06-18
资助项目: 中国地质调查局国土资源大调查项目"天津滨海新区工程地质调查评价(1212011120090)";"天津滨海新区1/5万工程地质调查评价(12120114033701)"
作者简介: 王兰化(1963-),男,硕士,教授级高工,主要从事水文地质、环境地质调查研究工作,E-mail: hjdzs@126.com。

表1 华北平原第四纪地层系统

Table 1 Quaternary stratigraphic system in North China Plain

地层代号	底界年代(Ma)	天津市	河北省	山东省	河南省	北京市
Qh*t*	0.0117	天津组	岐口组 高湾组 （13 ka杨家寺组）	小沙组 黄金寨组 下河组	濮阳组	
Qp^3ta	（0.10） 0.126	塘沽组	欧庄组	惠民组	太康组	
Qp^2to	0.781	佟楼组		临清组	开封组	翟里组
Qp^1y	1.806	杨柳青组	杨柳青组	无棣组	武陟组	夏垫组
	2.588		固安组			
N*m*	3.06	明化镇组		明化镇组		顺义组
	5.50		明化镇组			

表2 滨海新区各工程地质层分布特征

Table 2 Distribution characteristics of the engineering geoloey layers in Binhai New Aera

地层编号	地质时代	成因类型	岩性特征	分布范围
Ⅰ	Q*ml*	人工填土层	杂填土、素填土及冲积土三类	分布广泛
Ⅱ	Qh^3t	全新统上段古河道洼淀冲积/河床–河漫滩相沉积层	黄、黄褐、黄灰色粘性土为主，局部夹少量粉土透镜体，坑塘洼地含坑底淤积物	局部分布
Ⅲ	Qh^2t	全新统中段滨海相沉积层	深灰色淤泥质粘性土、淤泥、粘性土，粉土在东部沿海一带及河流附近分布广泛，粉砂零星分布	基本遍布
Ⅳ	Qh^1t	全新统下段湖沼、河床–河漫滩相沉积层	以粘性土为主，砂性土呈透镜体状零星分布	基本遍布
Ⅴ	Qp^3ta^5	上更新统5段河床–河漫滩相沉积层	褐黄–棕红色粉质粘土、粉土及粉砂	广泛分布
Ⅵ	Qp^3ta^4	上更新统4段滨海相沉积层	黄褐色–灰色粘性土、粉土、粉砂	基本遍布
Ⅶ	Qp^3ta^3	上更新统3段河床–河漫滩相沉积层	黄色–褐黄色粉质粘土、粉细砂及粉土	广泛分布
Ⅷ	Qp^3ta^2	上更新统2段滨海相沉积层	灰、灰黄色粉砂、粉土为主夹粘性土，含少量海相化石	基本遍布
Ⅸ	Qp^3ta^1	上更新统1段河床–河漫滩相沉积层	黄色–褐黄色，粘性土可塑–硬塑，含大量姜石；粉土、粉砂呈密实状态，局部分布有细砂	普遍分布
Ⅹ	Qp^2to^3	中更新统3段河湖相沉积层	绿黄色、灰黄色粉砂及粉质粘土，局部有细砂、中砂	普遍分布
Ⅺ	Qp^2to^2	中更新统2段河湖相沉积层	黄褐色–灰褐色粘土、粉质粘土及粉土粉砂	未揭穿

层为主要特征。根据其地质时代、成因类型、岩性特征、沉积规律，将其划分为Ⅺ个工程地质层（表2）。

2 地下空间开发适宜性评价

从工程施工角度来分析，地下空间开发可分为两类：一类是非明开挖及时支护的线性工程；比如：城市交通隧道、隧洞和地铁线网，城市管网设施等，采用盾构导向开挖是最常见的一种施工方式。另一类是明挖支护的点工程；比如：地下广场，地下商场，步行街，地下停车场，防空洞，地下掩体等，类似于基坑的开挖。部分工程需要在浅层开挖，比如地下广场、地下停车场等，部分工程需要在深层开挖，比如地下储藏设施，人防工程等。

本文主要针对滨海新区非明开挖及时支护的线性地下空间工程进行分析评价。根据滨海新区的实际情况和工程地质条件选用盾构法进行非明开挖类工程施工方法，依据《地铁设计规范（GB50157 -2013）》[10]规定：盾构法施工的区间隧道的覆土厚度不宜小于隧道外径轮廓直径，即起始开挖计算深度为10 m。隧道影响范围为3倍隧道直径。考虑不均匀沉降对工程施工安全的影响，隧道评价底界深度一般不超过第一海相层底板埋深20 m。

2.1 非明开挖及时支护工程的工程地质问题分析

综合国内工程研究资料，我国沿海城市地下隧道多建在软弱土层中，容易出现沉降过大或流砂现象。

（1）工程地质问题

城市地下隧道所遇到的工程地质问题与施工方法有关,当采取暗挖法时,主要为围岩稳定、支护或衬砌的安全性及地表沉降。

(2)水文地质问题

当隧道穿越江、河底时,防止地下水渗漏的问题则尤为突出。地下水问题可分为两个方面:一方面为渗入地下水量大,影响工作,恶化围岩稳定性;另一方面是水位降幅过大,致使周围建筑物沉降过大而遭到破坏。

2.2 评价因子的选择

盾构施工及隧道的安全与隧道影响深度范围内土体岩性组合有关,隧道上部土体岩性组合反映了地面沉降的问题,隧道中部土性组合反映开挖的难易程度和隧道开挖安全问题,隧道下部土性组合反映了下部土体在开挖时应力释放和荷载作用下的变形问题,可以等同于20 m以浅粉(砂)土分布情况,第一海相沉积层底板埋深、淤泥质土厚度和20 m以浅是否存在粉(砂)土反映了隧道运营期隧道的变形和差异沉降问题。地下水开采引起的地面沉降对运营期隧道地基变形影响极大;滨海新区100 m深度内地下水含盐量高,对地下结构混凝土和建筑材料的腐蚀性会影响隧道安全。

针对非明开挖类工程的特点,根据研究区的地质环境条件,充分考虑各种不良地质环境因素对地下空间开发的制约,选择淤泥质土厚度、20 m以浅粉砂土分布、第Ⅰ海相层底板埋深、地面沉降、地下水腐蚀性作为非明开挖类工程的评价因子。

(1)淤泥质土厚度

淤泥质土主要赋存在全新统(Qh)第I海相层中,滨海地区软土广泛分布,仅东部与河北接壤地区及大港西部钱圈水库附近缺失。软土底板埋深17.65~18.90 m,一般厚度2.5~5.0 m,轻纺经济区,塘沽天津港一带软土厚度最大超过10 m(图1)。

(2)20 m以浅粉砂土分布

20 m以浅广泛发育全新统3段古河道、洼淀沉积层、全新统2段海相沉积层(第Ⅰ海相层)和全新统1段陆相冲积层(第Ⅱ陆相层),上述地层中普遍发育粉砂土沉积层,由于其沉积时代新,压实作用不充分,加之区内地下水位较浅,因此,普遍具有松散、饱水的特点,是饱和粉砂土地震液化的主要发生层位。绝大多数地区粉砂土厚度小于6 m,粉砂土厚度大于10 m的区域主要位于蓟运河、海河入海口,大港南部、汉沽东南部有少量分布;北塘水库以北、东丽湖附近、开发区西区西部、塘沽盐场中南部等地饱和粉砂土厚度较小,平均厚度在1 m以下(图2)。

(3)第Ⅰ海相层底板埋深

全新世海侵始自9 Ka.B.P,大约在7~5 Ka.B.P海侵达到最大范围、几乎覆盖了天津市中南部的广

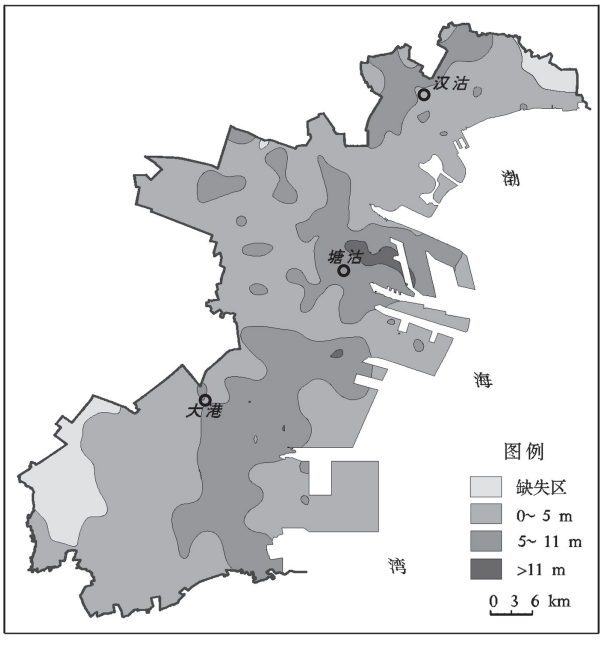

图1 滨海新区淤泥质土厚度分区

Fig.1 Thickness zoning of mucky soil in Binhai New Area,Tianjin

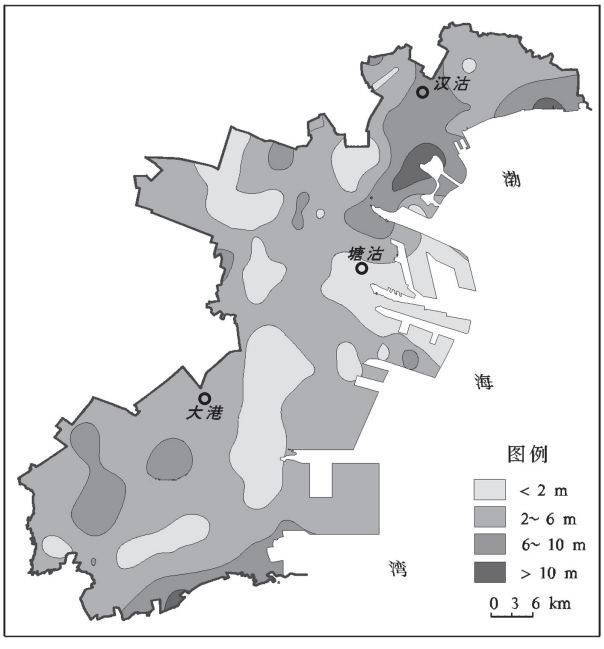

图2 20 m以浅粉砂土厚度分区

Fig.2 Thickness zoning of unconfined aquifers whose depth are less than 20 m

大平原区，所形成的第Ⅰ海侵层洽如一楔状物插入陆地，研究区底板埋深西部及西南部13～14 m，向东逐渐增加至19 m左右，在天津新港一带超过20 m（图3）。

（4）地面沉降

1986年以后，滨海新区充分利用引滦水等外调水源，大力压缩地下水开采量，地面沉降逐渐减少。近5年平均沉降速率20～30 mm/a所占的区域最大，包括塘沽大部分地区、大港水库附近、汉沽蔡家堡到大田一线；平均沉降速率小于20 mm/a的区域主要分布在黄港水库、生态城、汉沽开发区附近及大港水库南部地区；平均沉降速率小于10 mm/a的区域仅在大港南部与河北接壤的地区分布；滨海新区西部受津南区地下水开采的影响，平均沉降速率超过30 mm/a。

（5）地下水腐蚀性

滨海新区地下水位随季节变化，地下水中Cl^-离子含量高。研究区内地下水腐蚀性以强腐蚀为主，部分地区为中等腐蚀，仅在西部民航大学附近、茶淀及潮白河永定河局部地区为弱腐蚀。地下水腐蚀性有明显分带性（图4）。

2.3 评价方法

非明开挖类地下空间开发适宜性评价框图（图5）。

定权采用层次分析法[11]，确定不同层组的评价判断矩阵；然后通过各组的指标项形成构造判断矩阵，采用最优矩阵传递法对群体判断矩阵进行计算，最终得到明挖支护类工程各评价因子的权值（表3），综合划分区间与等级划分（表4）。

评价模型为：$Z=\sum_{i=1}^{n}a_i m_i$

式中：Z为综合评分值；a_i为第i因素的权重；m_i为对第i因素的评分。

2.4 评价结果

评价结果（图6）表明：区内西部、南部及北部地

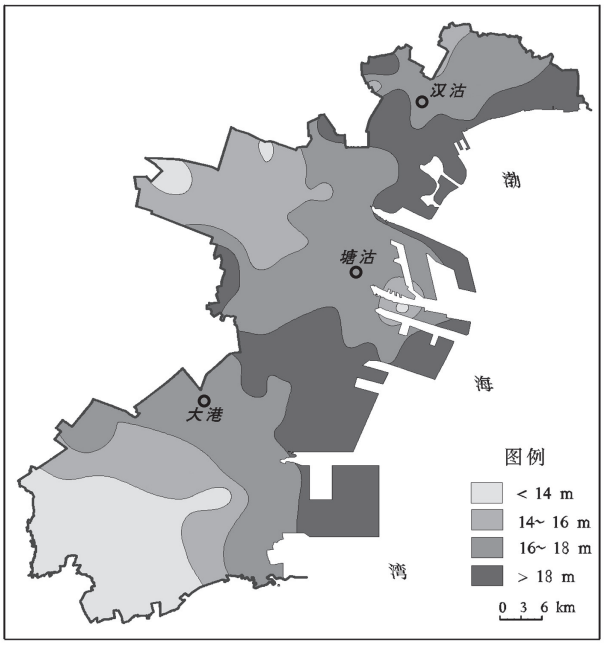

图3 第Ⅰ海相层底板埋深分区

Fig.3 Buried depth zoning of the bottom plate (The first marine beds)

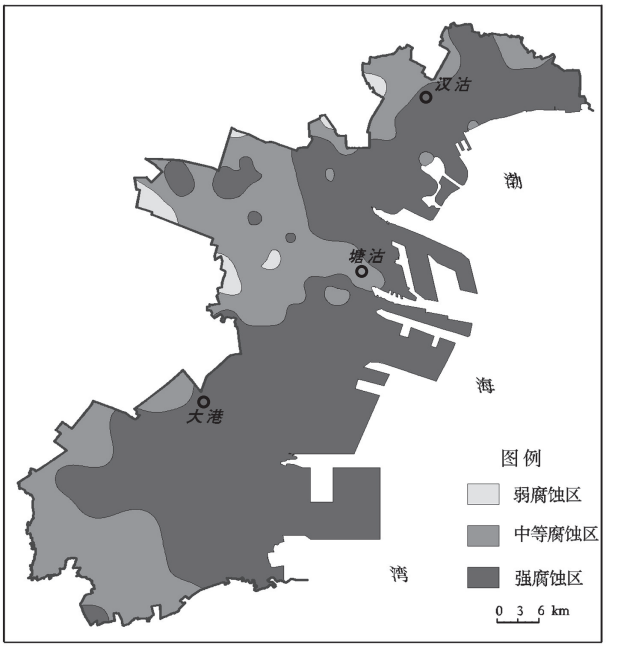

图4 地下水腐蚀性（干湿交替）分区

Fig.4 Groundwater corrosion zoning (Alternate Drying–Wetting)

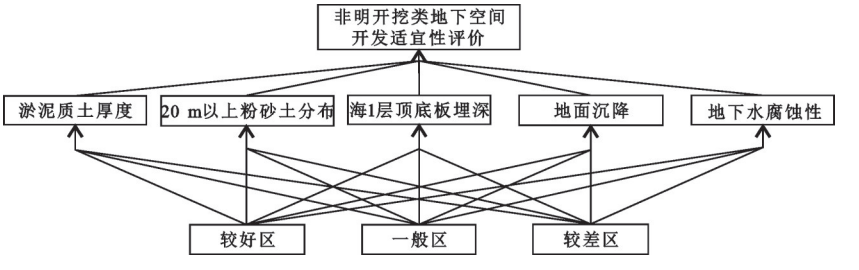

图5 非明开挖类地下空间开发适宜性评价框图

Fig.5 Suitability evalunation for the utility tunnel construction of underground space development

表3 非明挖类(隧道)评价指标的权重及评价标准分值
Table 3 Weight value and evaluation standard value for utility tunnel construction

分析评价区域	参评指标项	权重指标	评价标准(分)		
			1	2	3
20 m浅层区域	淤泥质土厚度	0.0875	>9 m	5.0 ~ 9.0 m	<5 m
	20 m内粉(砂)土厚度	0.5956	>7 m	5.0 ~ 7.0 m	<5 m
	海Ⅰ层底板埋深	0.1439	>20	17 ~ 20	<17
	地面沉降速率	0.1227	>50	30 ~ 50	<30
	地下水腐蚀性	0.0503	强	中	弱

注:判断矩阵一致性检验:0.0695

表4 地下空间利用非明挖类(20m以浅)难易程度划分区间与评价
Table 4 Interval division of difficult degree and evaluation for utility tunnel construction of underground space development

划分区间	>2.5	1.8 ~ 2.5	<1.8
判定等级	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
难易程度	较好区	一般区	较差区

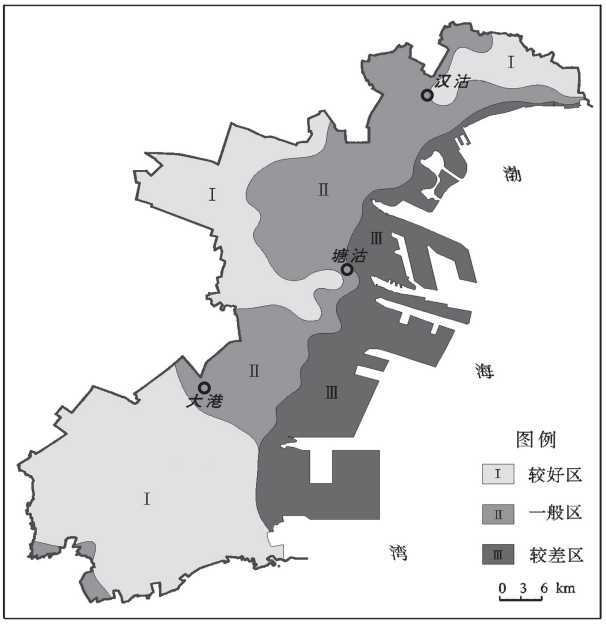

图6 天津滨海新区地下空间开发适宜性评价分区
Fig.6 Suitability evalunation zoning of the underground space development in Binhai New Area,Tianjin

下空间开发适宜性较好(Ⅰ类区),占总面积46%;中部为一般区(Ⅱ类区);占总面积的30%,东部靠近海边为较差区(Ⅲ类区),占总面积24%。

Ⅰ区:主要分布于东丽、大港、官港水库西北部、塘沽西部、汉沽东北角至高庄一带;该区20 m以浅粉砂土厚度多数小于6米;第Ⅰ海相层底板埋深一般小于14 m;受津南区地下水开采影响,局部地区地面沉降年沉降速率较大;淤泥质土层厚度一般小于5 m,局部有缺失区。该区为地下空间开发适宜性较好区,盾构施工及支护难度小。

Ⅱ区:主要分布在区内的中部;该区20 m以浅粉砂土厚度一般小于6 m;淤泥质土厚度在5 m ~ 9 m。第Ⅰ海相层底板埋深一般大于16 m;除局部地区,地面沉降年沉降速率一般小于30 mm;地下水腐蚀性为中等 ~ 强腐蚀。该区在地下空间开发中可能遇到涌水、变形或侧壁失稳等工程地质问题,为地下空间开发适宜性一般区,盾构施工及支护难度中等。

Ⅲ区:主要分布于区内东部沿海一带;该区20 m以浅粉砂土厚度一般小于4 m,北部大于6 m;淤泥质土厚度大于9 m。第Ⅰ海相层底板埋深一般大于18 m;因海岸线附近处于地下水禁采区,地面沉降年沉降速率一般小于30 mm;地下水腐蚀性为强腐蚀。该区在地下空间开发中可能遇到涌水突泥、管涌、变形或侧壁失稳等工程地质问题,为地下空间开发适宜性较差区,盾构施工及支护难度较大。

3 结语

采用层次分析和综合评分数学模型,对滨海新区非明开挖及时支护的线性地下空间工程进行了适宜性评价。结果表明:区内东部沿海边一带地下空间开发适宜性较差,盾构施工及支护难度较大,占总面积的24%;西部、南部及北部地下空间开发适宜性较好,盾构施工及支护难度小,占总面积的46%;其余区域为一般区,盾构施工及支护难度中等,占总面积的30%。

参考文献:

[1] 张弛,姜芸.成都市地下空间开发规划研究[J].城乡规划与环境建设,2008,28(1): 24–26.
[2] 王永立.天津市中心城区地下空间资源评价[J].地球科学与环境学报,2008,30(2):166–171.
[3] 劳金秀,魏乃颐,于俊杰,等.江苏泰州市区地下空间利用综合评价. 资源调 查与环境,2013,34(3):165–171.
[4] 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.理论探讨,2010,5(2).
[5] 吴文博,曹亮,刘健,等.苏州地下空间开发地质环境因素的分析评价.防灾减灾工程学报,2013,33(2):131–139.
[6] 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.岩石力学与工程学报,2006,25(增2):3357–3362.
[7] 施亚霖.上海深基坑工程环境地质问题及防治对策.上海国土资源,2011,32(2):92–98.
[8] 王强,田国强.第四纪年代地层学研究的启示[A].《第三届全国地层会议论文集》编委会编:第三届全国地层会议论文集[C].北京:地质出版社.2000,366–369.
[9] 赵长荣,胥勤勉,袁桂邦,等.天津滨海新区全新世沉积特

征和沉积过程.人民黄河,2012,(8):48–53.
[10] 中华人民共和国住房和城乡建设部.2013.《地铁设计规范》(GB50157–2013).中国建筑工业出版社.
[11] 王兰化,张莺.层次分析–熵值定权法在城市建设用地适宜性评价中的应用.地质调查与研究,2011,34(4):305–312.

Suitability Evaluation for Underground Space Development in Binhai New Area,Tianjin

WANG Lan-hua, MA Wu-ming, LI Ming-ming, ZHANG Ying, CUI Kai-peng

(Tianjin Monitoring stations of Geological environment,Tianjin 300191,China)

Abstract: Based on previous research results, this paper discusses the engineering geological background in Binhai New Area,Tianjin. We assess underground space suitability evaluation in Binhai New Area by selecting mucky soil thickness, silty soil distribution(<20 m), aquifer bottom plate depth of the first marine beds, land subsidence, groundwater corrosion as evaluation factors and applying analytical hierarchy process and mathematical model. The results show that eastern coastal area,making up 24% of the total area, experiences poor evaluation results with difficulty in shield construction and foundation pit support. North,west and south of the area,making up 46% of the total area, experiences good evaluation results and is easy in shield construction and foundation pit support. Other parts of the area is general area with normal difficulty in shield construction and foundation pit support.

Key words: Binhai New Area; engineering geology; analytical hierarchy process; underground space development

---

Migrating and Transforming Rule of Nitrogen in Unsaturated Zone in Guanzhong Basin Based on HYDRUS –1D Model

WANG Xiao-dan[1], FENG Wei[2], WANG Wen-ke[3], CAO Yu-qing[4], XIA Yu-bo[1]

(1.Tianjin Centre, China Geological Survey, Tianjin 300170, China;
2. China Institute of Geo-Environmental Monitoring, Beijing 100081, China;
3.School of Environmental Science and Engineering, Changan University, Xi'an 710064, China;
4. College of Environment and Resources, Jilin University, Changchun 130026, China)

Abstract: In this paper, we built soil moisture transform model, the crop root water absorption model and the solute transport model with using HYDRUS-1D software, and then, simulated the transportation and transformation of the nitrogen in unsaturated zone at Guanzhong basin in Shaanxi province. The results indicate: 1)The rule of crop root adsorbing water and nitrogen is consistent, and the main absorption of ammonia nitrogen, the absorption rate is 35%; 2)the nitrate nitrogen and nitrate are more likely to be leaching into groundwater, and are mainly composed of nitrate nitrogen; 3)Different unsaturated zone lithology has a great influence on migration rate and amount of nitrogen.

Key Words: nitrogen; unsaturated zone; migration and transformation; HYDRUS-1D; Guanzhong basin