

青岛主城区地下空间开发利用地质因素的影响评价及适宜性分区

夏伟强^{1,3,4)}, 董杰^{1,2,4)}, 何鹏^{1,3,4)}, 解永健^{1,3,4)}

- 1) 青岛地质工程勘察院, 山东青岛, 266071; 2) 中国海洋大学环境科学与工程学院, 山东青岛, 266100;
3) 青岛地矿岩土工程有限公司, 山东青岛, 266071;
4) 山东省地矿局城市地质与地下空间资源重点实验室, 山东青岛, 266071

内容提要:根据青岛市主城区的工程地质特征以及工程建设经验,综合分析岩土体的特征、地下水、地质构造及软土等主要约束地下空间开发利用的地质因素的发育分布特征,并采用模糊综合评判法对主城区地下开发适宜性进行评价,将主城区地下空间开发适宜性划分为适宜区、基本适宜区和适宜性差区,并进行了分区评价,适宜区占主城区总面积的79%,适宜地下空间开发;基本适宜区占主城区面积的13%,地下空间适宜性一般,地下空间开发时应着重注意加固及防水措施;适宜性差占主城区面积的8%,地下空间开发时因尽量避免。

关键词:地下空间; 工程地质; 适宜性

随着青岛市经济的快速发展,城市化进一步加快,各类城市问题日益凸显,城市空间资源日益短缺,城市空间容量严重不足,地下空间开发利用问题成为亟需解决的问题。近年来,随着地铁、胶州湾隧道、地下商业设施、市政综合管沟等地下工程建设规模的不断增大,标志着青岛市已正式进入浅层地下空间开发阶段,逐步走上了由平面二维外延向三维立体空间拓展的可持续发展轨道。

地下空间的整体结构均处于地面以下的地质体中,地下空间以岩土体为介质和环境,与以空气为介质的地面、上部空间存在根本差别,是地下空间开发成本高、技术难度大的主要因素(Liao Jiansan et al., 2006),同时地质条件也是对地下空间开发的安全起决定性的作用。

青岛市主城区地貌按成因类型可分为构造剥蚀地貌、山麓斜坡堆积地貌、河流侵蚀堆积地貌和滨海堆积地貌,青岛市浅层地下空间开发主要处在第四系松散沉积层及风化层内,根据青岛市主城区的岩土体特征,结合近年的各类工程事故突发原因和防治经验,可确定影响青岛主城区浅层地下空间开发

利用的主要地质因素为第四系岩土体特性、地下水、断裂构造、软土等。

1 青岛主城区工程地质条件

青岛主城区工程地质条件受地形、地貌、地层岩性、地质构造、水文地质条件等因素的控制。不同地区上述因素存在明显的差异。

一级分区以地貌单元特征和成因为依据,将青岛主城区分为构造侵蚀剥蚀区(I区)、山麓斜坡区(II区)、河流侵蚀堆积区(III区)、滨海堆积区(IV区)。I区以中等强度的构造作用及长期的侵蚀剥蚀地质作用为主,地貌上以中度切割的中山,浅切割的低山及丘陵、准平原为特征;II区主要以山谷、山前冲洪积作用为主,地貌上以山前平原和山间凹地为特征;III区主要以河流冲积作用为主,地貌以现代河床河漫滩和一级阶地为特征;IV区以海水沉积作用为主,地貌以滨海沼泽带和滨海潮滩为特征。

依据岩石的组合特征、力学性质及土的成因和地貌特征的差异,在一级分区的基础上,将I区、II

收稿日期:2019-07-23;改回日期:2019-08-28;责任编辑:周健。

作者简介:夏伟强,男,1989年生。工程师,长期从事水工环地质方向研究。Email:280410964@qq.com。通讯作者:董杰,男,1981年生。高级工程师,主要从事水工环地质及海洋地质勘查工作。Email:mousedong2008@163.com。

引用本文:夏伟强,董杰,何鹏,解永健. 2019. 青岛主城区地下空间开发利用地质因素的影响评价及适宜性分区. 地质学报, 93(s1): 233~240, doi: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2019233.
Xia Weiqiang, Dong Jie, He Peng, Xie Yongjian. 2019. Evaluation and suitability zoning of geological factors affecting the development and utilization of underground space in the main urban area of Qingdao. Acta Geologica Sinica, 93(s1): 233~240.

区、Ⅲ区、Ⅳ区分别划分为两个亚区,详见主城区工程地质分区表(表 1)。

表 1 青岛市主城区工程地质分区综合特征表

Table 1 Comprehensive characteristics of engineering geological zoning in main urban area of Qingdao		
工程地质分区	工程地质亚区	工程地质条件及评价
构造侵蚀剥蚀区	坚硬侵入岩亚区	工程地质条件较好。岩性较复杂,岩体风化强烈,节理、裂隙发育,风化面起伏,岩性接触带岩体破碎,岩体完整性及均匀性较差
	较坚硬砂岩火山碎屑岩亚区	
山麓斜坡堆积区	山前平原亚区 山间凹地亚区	工程地质条件较复杂,主要为粉质黏土、粗砾砂等,力学性质良好
河流侵蚀堆积区	一级阶地亚区 现代河床河漫滩亚区	工程地质条件较复杂。地层主要为中、粗砂、粉质黏土等,地下水较丰富。岩土体物理力学性质随含水量变化而变,第四系分布相对复杂,稳定性较差
滨海堆积区	滨海潮滩亚区 滨海沼泽带亚区	工程地质条件较复杂。地层为第四系全新统海相沉积含有机质粉质黏土、砂类土等。地下水较充沛,分布不均,稳定性差

2 地质因素对地下空间开发影响分析

2.1 第四系岩土体特征

青岛市第四系均形成于晚更新世中期以后,其成因多样,主要为陆相冲洪积、陆相沼泽化、海相沉积、海相沼泽化及人工堆积。其中陆相冲洪积层主要分布在当代河流的河床、河漫滩、河流阶地及沧口、城阳冲积平原顶部,海相沉积层主要分布在环胶州湾区域及周边的滨海沙滩,市南区、崂山区的滨海区域沙滩,海蚀-堆积阶地。

青岛市市域范围内绝对标高 100m 以下的第四系的分布面积约 500km²,青岛市第四系共划分为 14 层(Shao Wanqiang et al., 2006),详见青岛第四系标准地层表(表 2)。

表 2 青岛市第四系标准地层表

Table 2 Quaternary standard stratigraphy of Qingdao		
第四系标准层序	人工填土层(Q ₁ ^{ml})	①人工填土
	全新统海相层(Q ₁ ^m)	②中砂—砾砂 ⑧中砂—砾砂
	全新统陆相洪冲积层(Q ₁ ^{pl+al})	③粉土—粉质黏土 ⑤含黏性土中砂—砾砂 ⑦粉质黏土 ⑨中砂—砾砂
	全新统海相沼泽化层(Q ₁ ^{mh})	④含淤泥粉砂—粗砂 ⑥淤泥质—含有机质粉质黏土
	上更新统晚期陆相沼泽化层(Q ₃ ^h)	⑩含有机质粉质黏土
	上更新统晚期陆相洪冲积层(Q ₃ ^{pl+al})	粉质黏土—黏土 砾砂—角(圆)砾—卵(碎)石 粉质黏土—黏土 砾砂—角(圆)砾—卵(碎)石

依据青岛市第四系标准地层的划分结果,第④层和第⑥层是青岛“软土”的组成部分,其主要分布在胶州湾内部,滨海潮滩、浅滩、河口三角洲,环胶州湾海岸,市南区、崂山区的滨海平原(见图 1)。其主要的工程力学性质如下表 3 和表 4。

综合分析青岛主城区软土的常规物理力学性质指标、原位测试成果及现场踏勘资料,可确定青岛地

表 3 青岛市第四系第④层原位测试及室内试验结果统计表

Table 3 In-situ test and laboratory test results of layer 4 of Quaternary in Qingdao			
统计项目		最大值	最小值
休止角(°)	水上	38	35
	水下	33	31
标准贯入试验 N	实测(击)	9	3

表 4 青岛市第四系第⑥层原位测试及室内试验结果统计表

Table 4 In-situ test and laboratory test results of layer 6 of Quaternary in Qingdao			
统计项目		最大值	最小值
天然含水率 ω(%)		58.70	22.60
密度 ρ(g/cm ³)		2.01	1.48
干密度 ρ _d (g/cm ³)		1.61	1.03
比重 G _s		2.76	2.69
孔隙比 e ₀		1.68	0.69
饱和度 S _r (%)		100.00	63.00
液限 ω _L (%)		62.50	24.60
塑限 ω _p (%)		33.40	14.10
液性指数 I _L		2.09	0.21
塑性指数 I _p		14.80	9.40
压缩系数 a ₁₋₂ (MPa ⁻¹)		2.12	0.29
压缩模量 E _{SI-2} (MPa)		10.14	2.00
固快(C _q)	c(kPa)	9.80	2.10
	φ(°)	14.60	3.00
标准贯入试验 N(击)	实 测	5	1

区软土主要具有大孔隙比、不均匀、欠固结、强度低、压缩性高、灵敏度高、触变性、流变性等不良工程特点,软土层承载力低,在进行地下空间开发利用和工程建设过程中具有极大的安全隐患。软土层不宜直接作建(构)筑物基础,桩基设计时应考虑其对桩基产生负摩阻力的影响,必要时进行土体换填。软土地区的工程地质问题主要表现为以下几个方面:

(1)沉降与变形:在附加应力作用下会产生固结

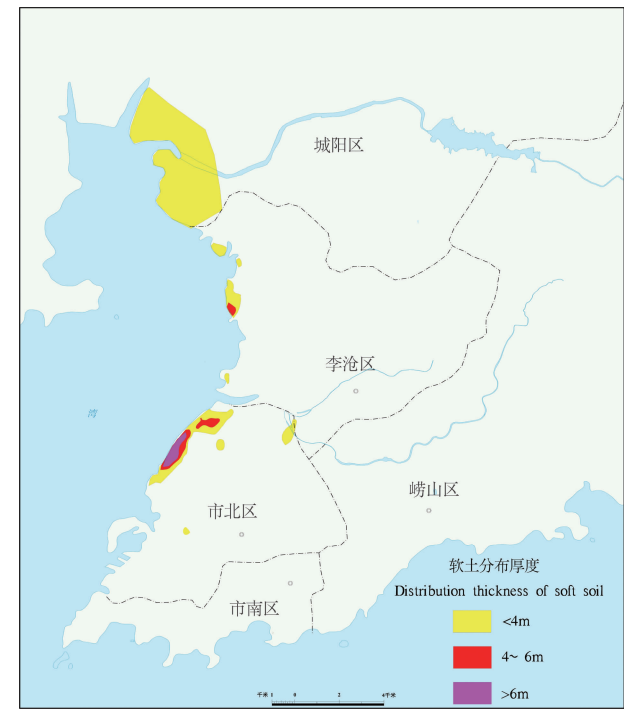


图 1 青岛市软土分布图

Fig. 1 Soft soil distribution map of Qingdao

沉降变形,导致和加大地面下沉,损失地面标高;在较强地震作用下,软土地基会产生震陷和不均匀沉降,对建筑物安全与使用会造成不良影响和危害。

(2)基坑失稳、滑移或坑底隆起等现象:土层的蠕动流动还会造成开挖面失稳,坑底隆起等现象,软土的触变性易使土体结构受到破坏,在振动荷载作用下,易产生侧向滑动。

(3)桩基础的负摩阻力、桩位偏移、缩颈等:桩周围软土因自重固结、场地填土、地面大面积堆载、降低地下水位、大面积挤土沉桩等原因产生的沉降大于桩基沉降时,应分析桩负摩阻力对基桩的影响(建筑桩基技术规范)。软土地区成桩会造成预制桩接头被拉断、桩体侧移和上涌,沉管灌注桩发生端庄、缩颈等。软土还存在震陷隐患,位于软土层中的各类桩抗水平地震力的能力较差,在强震作用下对桩基础的建筑物也会产生不良影响和危害。

(4)盾构掘进困难:淤泥质土的粘性高,易粘着盾构设备或造成管路堵塞,给掘进带来困难。

软土的不良工程地质特征,会给地下空间施工带来不利影响,造成施工难度大,增加工程建设费用。

2.2 地下水

2.2.1 主要含水岩组划分

青岛主城区可划分为松散岩类孔隙水、碎屑岩

类孔隙裂隙水、喷出岩类孔洞裂隙水及块状岩类裂隙水等几个含水岩组(图 2)。

松散岩类孔隙水含水岩组:为区内重要的含水岩组,主要分布于白沙河—墨水河、张村河—李村河等大小河流中下游河谷平原,含水岩组主要由第四系冲积、冲洪积层不同粒径的砂及砂砾石组成,厚度一般 5~15m。单井出水量可达 1000m³/d 以上,水位埋深一般 2~4m,水力性质基本属于孔隙潜水,局部地段在高水位时具弱承压性。

喷出岩类孔洞裂隙水含水岩组:主要分布于城阳区惜福镇,含水岩组为青山群安山岩,孔洞和裂隙比较发育,深度一般为 30~50 m,富水性较强,单井出水量为 500~1000m³/d。

碎屑岩类孔隙裂隙水含水岩组:主要分布于城阳区西部,含水岩组为白垩系莱阳群、王氏群砂岩、砂页岩及凝灰质砂页岩,由于其孔隙和裂隙均不发育,透水性、富水性均很弱,单井出水量一般小于 50 m³/d,供水意义不大。

块状岩类裂隙水含水岩组:主要分布于主城区东南部,含水岩组为花岗岩、花岗闪长岩等。风化带深度一般不超过 30 m,富水性弱,单井出水量小于 30 m³/d,局部构造裂隙密集带比较富水,单井出水量可大于 100 m³/d,最大可达 500 m³/d。

2.2.2 地下水对地下空间开发的影响

在地下空间施工过程中,可能产生流砂、管涌、底鼓、侧壁变形、坍塌等不良现象。地下水对地下结构产生巨大的浮托作用,如防水不当或抗浮措施不当,可能造成地下工程结构破坏,影响安全运营(Guan Shanyou et al., 2008)。当地下水位在基础下压缩层范围内发生变化:水位上升时,浸湿、软化地基土,使其强度降低、压缩性增大,建筑物就可能产生较大的沉降变形,尤其是对结构不稳定的土层更严重;水位下降时,土体自重应力增加,可能引起地基基础的附加沉降,如果土质不均或水位突然下降,也可能使建筑物发生变形、破坏。在地下咸水分布区,由于毛细作用和蒸发作用,使盐分在土层中积聚形成盐渍化,从而改变岩土原来的物理力学性质和潜水的化学成分,地下水矿化度增高,增强了水对建筑材料的腐蚀性。

2.3 地质构造

根据区域地质资料显示,青岛主城区较大的断层主要为以下 3 条:

(1)朱吴-店集断裂:该断裂自海阳朱吴,经即墨店集至沧口,全长约 170km,走向呈北东 40°~45°,

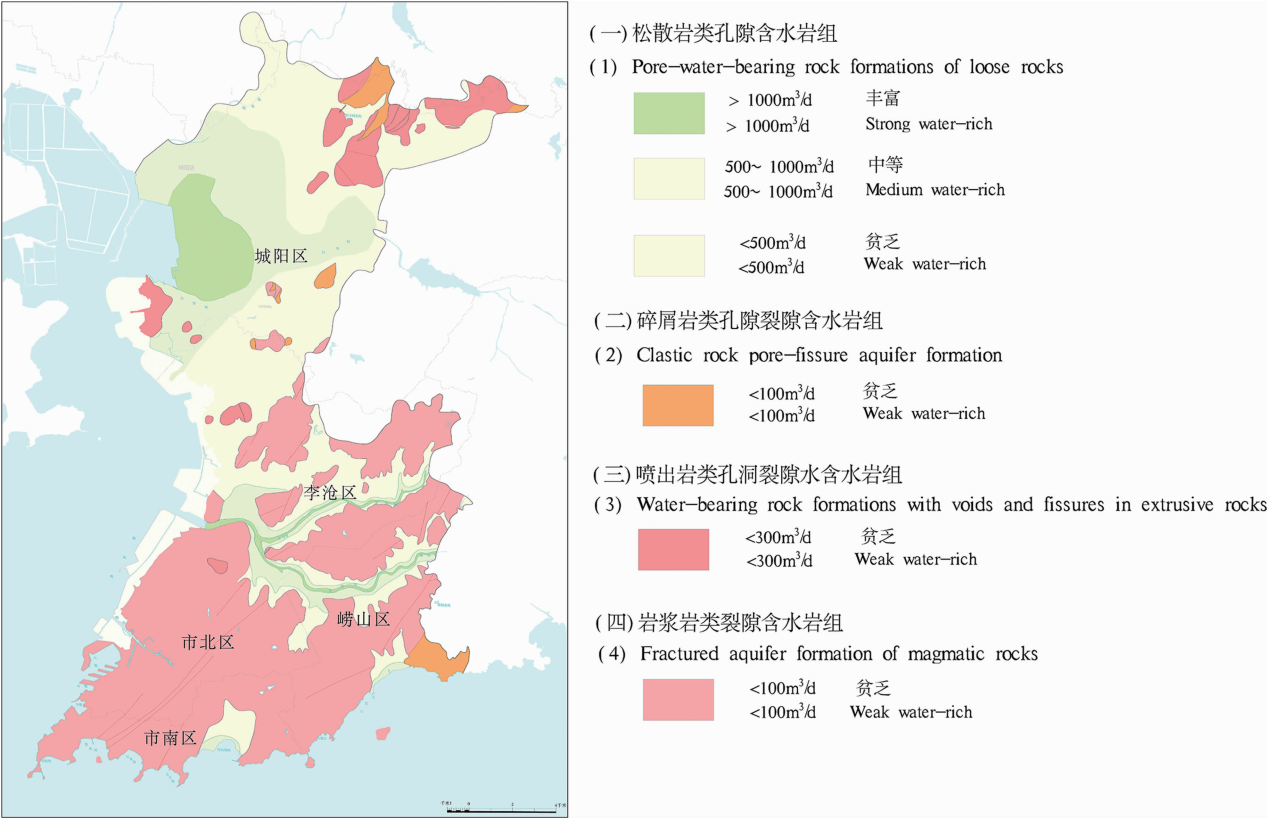


图 2 青岛市水文地质图
Fig. 2 Hydrogeological map of Qingdao

总体向南东倾斜,局部为北西,倾角 70°~85°,断裂带中糜棱岩、断层泥、构造透镜体发育,断裂上盘为燕山晚期崂山花岗岩,下盘为青山群火山岩系。根据沧口-温泉断裂展布地带的区域地貌特征,第四系剖面以及青岛地区地震活动的空间分布,结合断裂活动的绝对年龄资料,特别是根据覆盖于断裂之上的沉积物绝对年龄和表现的完整性,足以证明沧口断裂自晚更新世以来,构造活动趋向于稳定状态,不具备晚第四纪活动断层的特征(Luan Guangzhong et al., 2001)。

(2)劈石口-浮山所断裂:该断裂自三标山南经崂山张村至浮山所,全长约 28km,断裂带走向 40°~45°,倾向北西,倾角约 80°。上下盘均为崂山期花岗岩,沿断裂带发育煌斑岩及正长岩岩脉。断裂宽几米至几十米,以断层角砾岩、碎裂岩为主,可见糜棱岩,是海阳-劈石口断裂南延部分。断裂的最后一次活动在中更新世中晚期。

(3)王哥庄-山东头断裂:该断裂自王哥庄,经汉河村至山东头,全长约 30km,走向 40°~45°,断裂带主要由断层角砾岩、碎裂岩组成,上下盘均为崂山期花岗岩,是区域上乳山-留格庄断裂南延部

分。断裂最后一次断错地表的活动中更新世中晚期。

断裂带处的岩土体受构造影响发生不同程度的变形和位移,使原有的岩土体的整体性和完整性受到破坏,并形成碎裂岩、糜棱岩等,断裂带处岩体破碎,节理裂隙密集发育,为地下水的流通提供了通道,易形成软弱的结构面,地下空间开发时如支护不当易发生坍塌、掉块以及涌水等工程事故,严重的可影响地下空间开发的施工安全及后期运营维护。

3 地下空间开发地质适宜性评价

3.1 评价原则

根据目前掌握的地质资料的精度和评价结果的实用性,采用定性分析和定量预测相结合的方法,定性分析评价是以青岛市主城区地质背景条件为基础,依据影响地下空间开发利用的地质因素,对地下空间开发作出直观、初步的预测;定量分析是基于模糊数学理论,采用层次分析方法,对地质环境条件优劣数值进行计算,进而获得对地下空间开发地质适宜性预测结果。将定性评价和定量评价预测结果相

结合,对地下空间开发地质适宜性进行全面合理的分区评价。

3.2 评价方法

首先筛选地质因素的影响指标体系,在采用层次分析法确定各指标因素权重的基础上,在运用综合指标模型,综合考虑各因素对地下空间开发适宜性的影响,从而获得一个定量的综合评判结果。

目标层为青岛市主城区地下空间开发利用地质适宜性的结果,根据精度和实用性,将适宜性划分为4类,即适宜区、基本适宜区、适宜性差区和不适宜区。

根据青岛市主城区的基础地质、工程地质、水文地质及环境地质等相关资料,对青岛市主城区的地质环境特征进行了全面的分析研究,影响主城区地下空间开发适宜性的主要因素为地形地貌、工程地质、水文地质、不良地质作用及人为因素。地形地貌选取地貌单元和地形坡度作为评价因子;工程地质选取岩土体类型、地基承载力和侧壁稳定性作为评价因子;水文地质选取地下水富水性和地下水腐蚀性作为评价因子;不良地质作用选取软土厚度、砂土液化、断裂构造和地质灾害作为评价因子;人为因素选取既有建构筑物的影响作为评价因子。

由于以上指标的隶属度大部分不能直接计算,一般根据经验进行取值。根据青岛市主城区工程地质条件,以上评价指标的隶属度分析如下表5。

根据指标体系指标层对地下空间开发利用的影响程度,根据经验或专家打分法确定各指标的权重。地下空间深埋于地表之下,地下工程的建设将改变区域的地下水边界和岩土体的应力分布(Guan Shanyou et al.,2008)。青岛市浅层地下空间开发主要位于第四系松散堆积层和风化层中,地下空间开发主要涉及岩土体的支护与加固,地下水的防治等(Ma Zhongzhen et al.1999; Wang Youwei et al.,2000;Hou Xueyuan et al.,2005)。因此,岩土体类型、地下水、断裂构造以及软土所占的权重较大,经过一致性检验,各层次的评价因子指标权重见表7。

根据模糊运算,得到评判向量: $B=W\times R$
式中: W 为指标层的层次总排序权重; R 为所有指标的隶属度建立的模糊关系矩阵; $\times$ 为模糊运算。根据评判向量 B 计算值,按最大隶属度原则,按向

表 5 青岛市地下空间开发适宜性指标量化表
Table 5 Quantitative table of suitability indicators for underground space development

准则层	指标层	指标量化	隶属度优	隶属度良	隶属度中	隶属度差
地形地貌	地貌类型	构造剥蚀地貌 (剥蚀残丘、剥蚀缓坡等)	0.9	0.1	0	0
		山前平原、山间凹地	0.2	0.6	0.2	0
		现代河床河漫滩、一级阶地	0	0.2	0.6	0.2
		滨海潮滩、滨海沼泽带	0	0	0	1
	地形坡度	小于 10°	0.9	0.1	0	0
		10°~25°	0.2	0.6	0.2	0
		25°~50°	0	0.2	0.6	0.2
		大于 50°	0	0	0	1
工程地质	地基承载力	大于 300kPa	0.9	0.1	0	0
		160~300 kPa	0.1	0.7	0.2	0
		80~160 kPa	0	0.2	0.6	0.2
		小于 80 kPa	0	0	0	1
	侧壁稳定性	稳定	0.9	0.1	0	0
		较稳定	0.2	0.6	0.2	0
		基本稳定	0	0.2	0.6	0.2
		稳定性差	0	0	0	1
水文地质	富水性	富水性好	0	0	0.1	0.9
		富水性中等	0	0.2	0.6	0.2
		富水性差	0.1	0.7	0.2	0
	地下水腐蚀性	微	0.9	0.1	0	0
		弱	0.1	0.8	0.1	0.2
		中	0	0.1	0.8	0.1
		强	0	0	0	1
不良地质作用	软土厚度	无软土	1	0	0	0
		软土厚度<4m	0	0.2	0.6	0.2
		软土厚度 4~6m	0	0	0.4	0.6
		软土厚度>6m	0	0	0	1
	砂土液化	不液化	1	0	0	0
		轻微	0	0.2	0.6	0.2
		中等	0	0	0.4	0.6
		严重	0	0	0	1
	断裂构造	一般性断裂>100m 或 活动性断裂>500m	0.8	0.2	0	0
		一般性断裂 50~100m 或 活动性断裂 250~500m	0.2	0.6	0.2	0
		一般性断裂 10~50m 或 活动性断裂 50~250m	0	0.2	0.6	0.2
		一般性断裂<10m 或 活动性断裂<50m	0	0	0	1
人为因素	建筑物影响	主干路、铁路	0	0.2	0.4	0.4
		历史保护建筑	0	0	0.6	0.4
		高层建筑、立交桥、高架路	0	0	0.2	0.8
		机场	0	0	0.2	0.8
		电厂、油库、炼油厂	0	0.1	0.3	0.6
		一般城镇建筑物	0.6	0.2	0.2	0
		其他	1	0	0	0

表 6 评价因素层次总排序权重值

Table 6 Weight values of assessment factor hierarchy total sorting

一级评价因子		二级评价因子		
准则层	权重	指标层	权重	层次总排序权重
地形地貌	0.051	地貌单元	0.875	0.045
		地形坡度	0.125	0.006
工程地质	0.332	地基承载力	0.081	0.027
		侧壁稳定性	0.188	0.063
		岩土体类型	0.731	0.243
水文地质	0.252	涌水量	0.833	0.210
		地下水腐蚀性	0.167	0.042
不良地质作用	0.332	软土厚度	0.315	0.105
		砂土液化	0.265	0.088
		断裂构造	0.375	0.124
		地质灾害	0.045	0.015
人为因素	0.033	建筑物影响	1.000	0.033

量 B 中最大元素值 $b_j (1 \leq j \leq 4)$ 对应位置确定评判结果。

3.3 评价结果及适宜性分区评价

利用 MapGis 的空间分析功能,将青岛市主城区各层次范围内的各个评价指标图层进行空间相交分析、合并,最后得到评价结果。依据评价结果将青岛市地下空间开发地质适宜性分为三个大区:Ⅰ区为适宜区,Ⅱ区为基本适宜区,Ⅲ区为适宜性差区

(图 3)。

适宜区面积约 287.23km²,占主城区总面积的 79%,主要分布在市南、市北、李沧、崂山及城阳区的北侧;基本适宜区面积约 48.56 km²,占主城区面积的 13%,主要分布在张村河、李村河及白沙河沿岸及三条区域性断裂的两侧;适宜性差区面积约 27.20 km²,主要分布在张村河、李村河、白沙河、墨水河等现代河流的河床河漫滩范围内及河流入海口位置。分区评价详见下表 7。

4 结语

(1)青岛市主城区是青岛市城市建设重点区域,青岛市浅层地下空间开发主要位于第四系松散堆积层和风化层中,第四系岩土体特性、地下水、断裂构造及软土是影响主城区浅层地下空间开发的主要地质因素,并影响地下空间施工工法和工程建设投资。

(2)采用模糊综合评判方法将青岛市地下空间开发地质适宜性分为三个大区:Ⅰ区为适宜区,适宜地下空间开发;Ⅱ区为基本适宜区,地下空间适宜性一般,地下空间开发时应着重注意加固及防水措施,Ⅲ区为适宜性差区,地下空间开发时因尽量避免。

表 7 青岛市地质因素适宜性分区评价表

Table 7 Subarea evaluation for suitability of geological factors in Qingdao

适宜性分区	岩土体特征及不良地质作用	水文地质特征	适宜性评价	
			适宜性	地下空间开发需注意的问题
适宜区	基岩出露区、上更新统晚期陆相冲洪积层粉质黏土和粗砾砂,岩土体的承载力较高,压缩性较低,抗剪强度较高,工程性质较好,不良地质作用不发育	地下水较贫乏,表层人工填土层含季节性上层滞水,粗砾砂层水量一般,主要接受大气降水补给	地质条件良好,地下水水量一般,适宜地下空间开发	(1)地下水分布不均匀,岩土体随含水量的变化物理力学性质会发生较大变化 (2)工程施工过程中,由于地下水的下降,可能造成上部地基的不均匀沉降 (3)岩体风化强烈,风化面起伏较大,节理、裂隙发育,地基承载力差异较大
基本适宜区	区域性断裂通过区域以及覆盖全新统冲洪积层粉质黏土和砂土层,地基承载力较低,压缩性较低,工程性质一般	地下水水量较大,富水性好,砂层中含水量具一定的承压性,地表水与地下水水力联系密切,主要接受大气降水补给	地质条件一般,地下水含水量较大,需采取措施加固岩土体及防治地下水,地下空间开发适宜性一般	(1)砂层含水量较大,在动水压力下易产生涌水、涌砂、边坡坍塌现象 (2)地下水受工业用水及生活用水的污染,对混凝土及钢筋具有一定的腐蚀性 (3)施工遇较厚砂层时,施工机械震动易导致砂土层液化,影响施工安全及管线安全 (4)破碎带及岩性接触带,节理裂隙十分发育,地下水水量可能较大,具有一定的施工风险
适宜性差区	覆盖第四系全全新统海相的砂土、含有机质粉质黏土等,地基承载力低,压缩性高,工程性质差	地下水主要为孔隙潜水、砂层腐蚀性好、由海水渗流或涨潮补给,矿化度高,水质差,具腐蚀性	地质条件差,地下水含水量较大,具高腐蚀性高矿化度,地下空间开发适宜性差	(1)受潮汐、海流影响,该区地下水动态变化明显,地下水、地表水及海水水力联系十分复杂,施工交叉干扰大,风险高 (2)地下水含盐量受海水影响呈波动状态,对混凝土及钢筋构件具有一定的腐蚀性 (3)地下水丰富,地层透水性强,给施工带来一定难度,施工时应重视视排水工作 (4)施工机械震动易导致砂土层液化,影响施工安全和地下管线安全及周边建筑物的稳定性

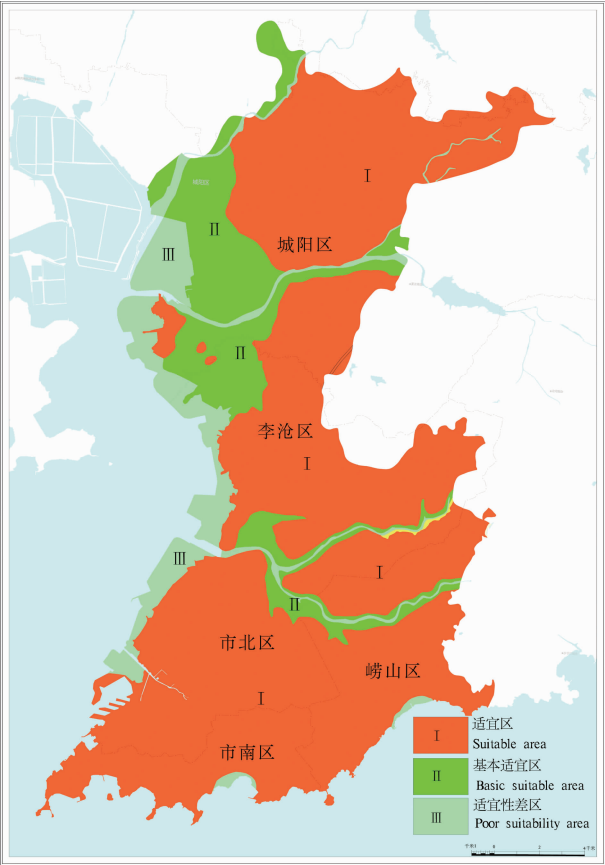


图 3 青岛市地质适宜性分区图

Fig. 3 Partition of geological adaptation of Qingdao

(3)青岛市主城区地下空间开发适宜区及基本适宜区占主城区面积约 90%，浅层地下空间开发潜力巨大，地下空间开发适宜性差区的主要影响因素为地下水和软土等因素。

(4)由于条件限制，与地下空间开发有关的社会、经济等因素未考虑，在进一步研究中将进行完善。

References

Guan Shanyou, Zhu Rui, Gao Zhenyu. 2008. The influence of geological conditions on the development of underground space in Wuhan and its zoning evaluation. Geotechnical Investigation & Surveying, (9):6~10 (in Chinese with English abstract).

Hou Xueyuan, Liu Kun. 2005. Theory and applications of modern urban underground space planning. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 1(1):7~10 (in Chinese with English abstract).

Liao Jiansan, Peng Weiping, Lin Benhai. 2006. Analysis and partition evaluation of geological factors affecting space development and utilization of shallow underground in Guangzhou city. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 25(S2): 3357~3362 (in Chinese with English abstract).

Luan Guangzhong, Zhang Haiping. 2001. Plane geometry and modern activity of the qingdao cangkou-wenquan fault. Seismology and Geology, (1): 63~68 (in Chinese with English abstract).

Ma Zhongzhen, Hou Xueyuan. 1999. A study on pattern of research and development of shield for soft soil areas. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 19(1): 80~84 (in Chinese with English abstract).

Shao Wanqiang, Lu Xiaoyan, Zhang Jinzhi. 2006. Division of quaternary stratigraphic sequence in the urban area of Qingdao. Marine Geology Letters, 22(1):5~8 (in Chinese with English abstract).

Wang Youwei, Xia Jinhua. 2000. Discussion on design and construction technique of urban underground space utilization. Building Science, (3): 1~6 (in Chinese with English abstract).

参 考 文 献

官善友, 朱锐, 高振宇. 2008. 地质条件对武汉市地下空间开发的影响及分区评价. 工程勘察, (9):6~10.

侯学渊, 柳昆. 2005. 现代城市地下空间规划理论与运用. 地下空间与工程学报, 1(1):7~10.

廖建三, 彭卫平, 林本海. 2006. 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, 25(S2): 3357~3362.

栾光忠, 张海平. 2001. 青岛沧口-温泉断裂的空间展布及现代活动性研究. 地震地质, (1):63~68.

马忠政, 侯学渊. 1999. 关于软土地区盾构研制开发模式的探讨. 地下空间与工程学报, 19(1):80~84.

批准部门中华人民共和国住房和城乡建设部. 2008.《建筑桩基技术规范》. 岩土力学, (11):3020~3020.

邵万强, 陆晓燕, 张敬志. 2006. 青岛市市区第四系层序的划分. 海洋地质前沿, 22(1):5~8.

王有为, 夏靖华. 2000. 城市地下空间开发利用设计施工技术若干问题的讨论. 建筑科学, (3):1~6.

Evaluation and suitability zoning of geological factors affecting the development and utilization of underground space in the main urban area of Qingdao

XIA Weiqiang^{1,3,4)}, DONG Jie^{*1,2,4)}, HE Peng^{1,3,4)}, XIE Yongjian^{1,3,4)}

- 1) Qingdao Geo-engineering Exploration Institute, Shandong Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources, Qingdao, Shandong, 266071;
 - 2) College of Environmental Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao, Shandong, 266100;
 - 3) Qingdao Geologic and Mineral Geotechnical Engineering CO., Ltd, Qingdao, Shandong, 266071
 - 4) Key Laboratory of Urban Geology and Underground Space Resources, Shandong Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources, Qingdao, Shandong, 266071
- * Corresponding author: mousedong2008@163.com

Abstract

Based on the engineering geological characteristics and engineering construction experience in the main urban area of Qingdao City, the characteristics of rocks and soil mass, groundwater, geological structure and soft soil are comprehensively analyzed. The suitability of underground development in the main urban area is evaluated using fuzzy comprehensive evaluation, and the suitability of underground development in the main urban area is divided into suitable area, basic suitable area and poor suitable area. The zoning evaluation is also carried out. The results show that the suitable area accounts for 79% of the total area of the main urban area and is suitable for underground space development; the basic suitable area with general suitability accounts for 13% and reinforcement and waterproofing measures should be paid attention to in the development of underground space; the poor suitability accounts for 8% and should be avoided for further underground space development as much as possible.

Key words: underground space; engineering characteristic; adaptation