

上海深层地下空间开发地质环境条件及适宜性评价

史玉金¹,张先林²,陈大平¹

(1.上海市地质调查研究院,上海 200072; 2.上海市规划和国土资源管理局,上海 200003)

摘要:随着上海市浅部和中部地下空间资源的不断消耗,地下空间开发利用将向深层发展和延伸。本文在对上海中心城区已有地质资料整理分析的基础上,分析了深层地下空间开发的地质环境条件,开展了工程地质条件分区,评价了开发利用中所面临的重大地质问题,最后分别针对深基坑工程和隧道工程进行了工程建设适宜性评价。结果表明,上海深层地下空间开发中的工程地质条件较为复杂,深基坑工程和深部隧道工程建设适宜性为基本适宜至适宜性差。该成果为深层地下空间开发规划和建设提供了科学依据。

关键词:深层地下空间;地质环境条件;工程地质分区;适宜性评价;基坑;隧道

中图分类号: TU984.11¹*3

文献标识码: A

文章编号: 1672-4135(2016)02-0130-06

进入21世纪以后,上海市地下空间开发数量和规模逐年增加,并呈现爆炸性的增长态势,同时,随着上海浅部和中部地下空间资源的不断消耗,城市发展、建设对地下空间资源需求的持续增大,地下空间开发利用正向深层发展和延伸,如上海长江隧道工程,过江隧道最大埋深达到江底55 m。而随着地下空间开发深度的不断加大,地下空间开发遭遇的地质环境问题愈加复杂,开发利用的难度和风险显著加大。地下空间资源具有不可再生性和不可转移性,因此必须科学、谨慎地规划和开发,在其规划和开发建设中需以地质环境条件和地质环境适宜性评价为依据,合理开发建设。本文通过对已有资料分析整理,分析了深层地下空间开发的地质环境条件,开展了工程地质条件分区,评价了开发利用中所面临的重大地质问题,最后分别针对深基坑工程和隧道工程进行了工程建设适宜性评价,为深层地下空间开发规划和建设提供了科学依据。

1 深部地下空间开发地质环境条件

上海地下空间开发实行分层规划和建设,将地下空间划分为浅层(0~15 m)、中层(15~40 m)和深层(40 m以下)三个层次^[1]。因此,40~100 m是深层地下空间开发的主要深度范围,该范围内水文地质条

件和工程地质条件对地下空间开发影响较大。

上海地区是典型的三角洲沉积平原,区内第四系覆盖层巨厚,浅层和中层地下空间开发影响范围内的40 m以浅主要由软黏性土与粉、砂性土组成^[2],不同地区地层结构差异较大,且承压水水头高,浅层和中层地下空间开发利用过程中的软土变形问题、粉土砂土的渗流液化问题、承压水引起的水土突涌问题、地面沉降问题以及浅层天然气问题等环境地质问题较为突出,而40~100 m深度范围内地质条件更为复杂,基底稳定性及基岩面起伏、水文地质和工程地质条件对地下空间开发影响更为突出。

1.1 基底稳定性及基岩面起伏情况

总体来说,上海地区属于地震活动频度低、强度不大的浅源少震区,区内基底相对比较稳定^[3],但基岩面起伏较大,中心城区基岩面埋深最浅为60 m,对深层地下空间开发有一定影响。

1.2 水文地质条件

上海地区含水层极为发育,根据地质时代、成因类型和水动力条件的差异,可将含水层划分为一个潜水含水层、一个微承压含水层和第一、二、三、四、五承压含水层,其中潜水含水层、第二、三、四承压含水层最为发育,富水性也最好,第四承压含水层基本为淡水,其它含水层以微咸水和咸水为主。地下水开

收稿日期: 2016-03-11

资助项目: 国土资源部地质调查项目“上海市三维地质结构调查及地下空间开发适宜性评价(1212010511102)”;上海市规划和国土资源管理局科研项目“上海深层地下空间开发地质环境适宜性及若干重大地质问题研究报告(Gtz2011012)”

作者简介: 史玉金(1976-),高级工程师,1999年毕业于中国地质大学(武汉),长期从事工程地质及环境地质调查研究工作, E-mail:shiyujin1976@163.com。

采层主要为第二、三、四、五承压含水层,以第三、四承压含水层开采量最大。近年来,随着地面沉降控制措施的不断加强,地下水开采量大幅减少。含水层地下水位埋藏浅,富水性好,对地下空间开发特别是深层地下空间开发影响巨大。

与深部地下空间开发范围(40~100 m)相关的有第一、二承压含水层,部分地区第二与下伏的第三承压含水层(埋深一般为100~120 m)沟通,未沟通区第二承压含水层下部为厚约10 m的粘性土弱透层。根据以往承压含水层地下水年龄测试结果,第一、二、三承压含水层地下水基本为封存水,尚未得到现代降水或地表水源等的补给,与现代降水之间及地表水之间不存在补给关系。但承压含水层存在人类活动包括地下水开采、降排水作用等引发相邻弱透层中地下水的补给,尤其是相邻黏性土层中的地下水极为缓慢的越流补给。区域上,地下水总体径流方向为由北向南、由西向东径流,漏斗影响范围地区为其邻近地区向漏斗中心方向径流^[4]。

近年来,随着地下水开采量进一步压缩,人工回灌量逐渐增加,全市第二、三、四、五承压含水层地下水位较以往同期均有不同程度抬升,尤其是第四、五承压含水层地下水位较上年同期普遍抬升0.1~3.8 m(图1)。通过我院各承压含水层地下水位监测数据可知,2014年,中心城区第一、二、三承压含水层地下水位分别为3~-1 m、1~-4 m、2~-4 m。第一承压含水层地下水位平面上南、北差异较大,北部的宝山大场-虹口提篮桥-浦东高行镇一线以北地下水位较高,普陀桃浦-黄浦外滩-浦东金桥一线以南地下水位低;第二承压含水层地下水位呈北高南低的态势,

由北部宝山吴淞-高桥一带的高水位区向南逐渐过渡至低水区,总体水力坡度较小。

在深层地下空间开发及运营期间,竖井(基坑)及隧道底部均将承受较大的承压水头压力,第一、二、三承压水均将对100 m以浅竖井(基坑)开挖和隧道掘进施工产生直接影响,易产生水土突涌、流砂、地面沉降等地质灾害。

1.3 工程地质条件

上海地区是第四系厚覆盖区,且处于长江、东海、杭州湾交汇区,工程地质条件变化较大。40 m以浅主要为软粘性土和砂性土(土层序号为①~⑦层),而深部地下空间开发范围内(40~100 m)则以砂土、粘夹砂性土为主(第⑦~⑩层)(图2),在古河道切割区(缺失上海典型的第一硬土层(⑥层区),有可能分布有⑤3、⑤4粘夹砂性土层。⑦层为砂土层,亦为第一承压含水层,中心城区仅在古河道深切地区缺失。正常区埋深一般为24~31 m,古河道区埋深从35 m到50 m不等;厚度上,中心城区西北部一般为2~10 m,东部10~30 m,南部厚度最大,一般均大于36 m。⑦层压缩性低,强度高,隧道掘进施工时阻力较大,且饱水,水头较高,深层地下空间开发过程中易引起基坑突涌和流砂问题。⑧层为粘夹砂性土,分布也较为广泛,在第一、二含水层沟通区缺失,上部⑧1层高压缩性,强度较低,⑧2层为中-高压缩性土,强度一般,隧道掘进施工时阻力一般较小,且其自稳性一般较好,有利于基坑边坡及隧道工作面的稳定。⑨层粉砂层分布广泛且稳定,埋深一般为60~70 m左右,厚度一般30~50 m,为第二承压含水层,⑨层压缩性低,强度高,饱水,隧道掘进施工

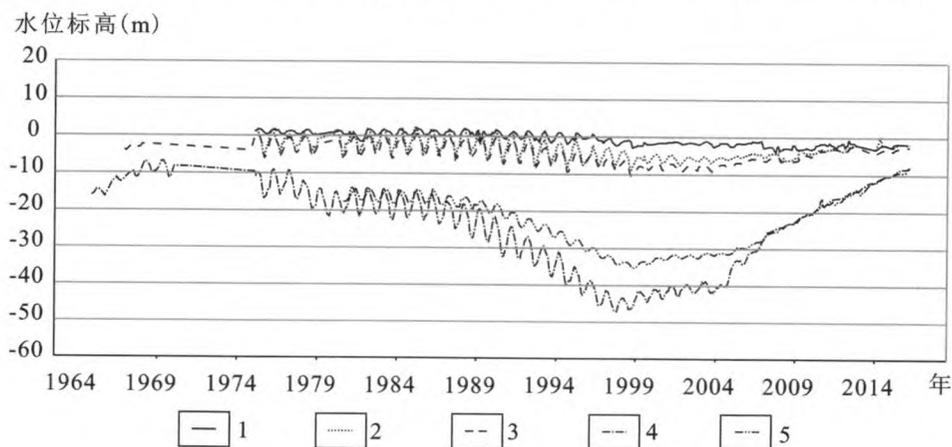


图1 中心城区各承压含水层地下水位变化曲线图

Fig.1 Dynamic variety curve of every confined water level in Shanghai downtown area
1.普010-03F(一含);2.010-02F(二含);3.普010-01F(三含);4.宝001-015(四含);5.宝223-01C(五含)

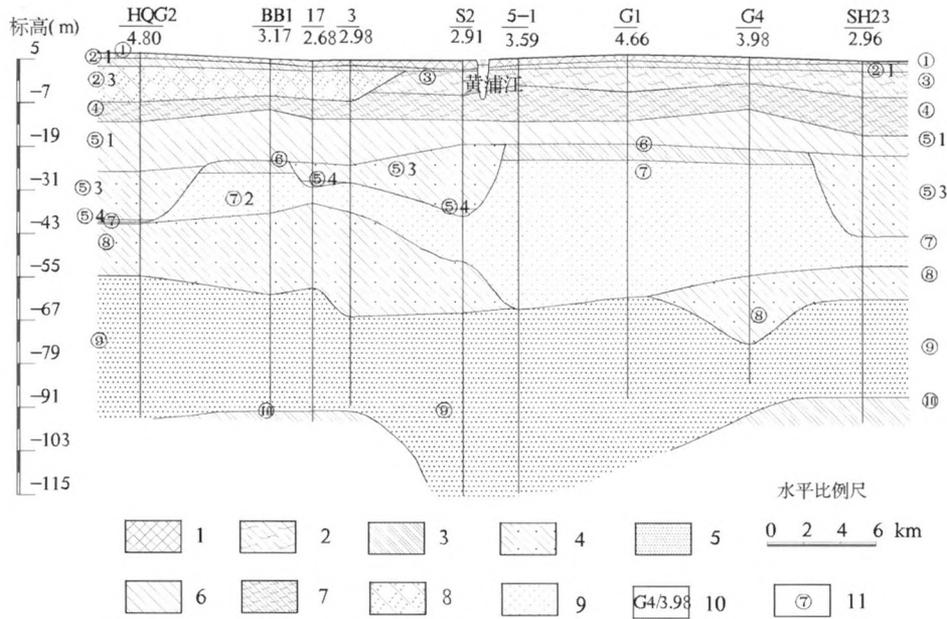


图2 中心城区工程地质剖面示意图

Fig.2 The sketch map of engineering geological profile in Shanghai downtown area
 1.填土;2.淤泥质粉质粘土;3.粉质粘土;4.粉质粘土与粉砂互层;5.粉细砂;6.粘土;7.淤泥质粘土;
 8.砂质粉土;9.粉砂;10.孔号及标高;11.土层序号

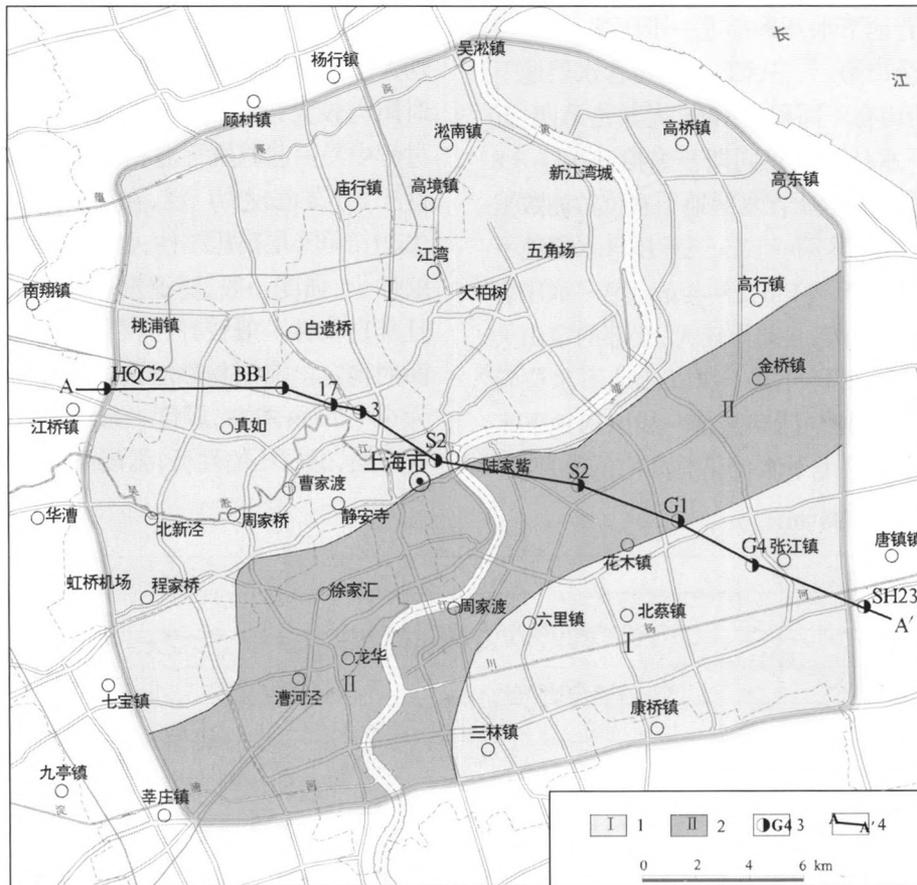


图3 中心城区深层地下空间开发工程地质条件分区示意图

Fig.3 The sketch map of engineering geological condition divisions for deep underground space development in Shanghai downtown area

1.工程地质条件较好区;2.工程地质条件较差区;3.工程地质剖面利用工程地质钻孔及编号;4.工程地质剖面线及编号

时阻力大,且水头较高,渗透性强,深层地下空间开发过程中易引发基坑突涌和流砂问题。

根据40~100 m深度范围内工程地质层特征,可对中心城区进行深层地下空间开发的工程地质条件分区(图2、图3)^[6]。第I工程地质区,总体上对大深度竖井(基坑)工程及深埋隧道工程施工及地下水控制有利。第II工程地质区地下空间开发工程地质条件较差,施工难度和风险大。

2 深部地下空间开发中重大地质环境问题

上海深层地下空间开发中主要面临地下水、流砂、地面沉降以及基岩稳定性与基岩面起伏等四大典型问题。

2.1 地下水问题

地下水问题包括深层地下水对地下空间开发的不利影响以及深层地下空间开发对深层地下水的影响两个方面。

在深层地下空间开发建设及运营期间,竖井(基坑)及隧道底部均将承受较大的承压水头压力,第一、二、三承压水均将对100 m以浅竖井(基坑)开挖和隧道掘进施工产生直接影响。当基坑开挖超过一定深度,坑底下地基土不足以抵抗承压水水头压力时,有产生坑底突水、涌土的可能^[6];隧道掘进施工时,若盾构机土舱压力小于承压水水头压力,可能发生渗水、喷水、冒砂现象,造成严重工程事故。承压含水层渗透性的不同,对深层地下空间开发影响程度也有差异,通过抽水试验取得的渗透系数数据表明,中心城区第一承压含水层渗透系数分区与工程地质分区基本一致,第I工程地质区渗透系数为5~10 m/d,第II工程地质区为10~20 m/d。而第二承压含水层渗透系数变化不大,为10~20 m/d。第三承压含水层也基本在10~20 m/d之间,仅东北部局部稍大。地下水水质也会对地下构筑物产生腐蚀影响,第I承压水对混凝土具微腐蚀性,对钢结构具有中腐蚀性,第二承压含水层地下水对混凝土具微腐蚀性,对钢结构具有弱-中腐蚀性。

深部地下空间开发对地下水流场和地下水水质均会产生一定影响。深基坑工程以及维护结构、止水帷幕等将切断和破坏含水层,人工降水也将导致地下水位的“漏斗式”下降,从而改变地下水渗流场。施工中为提高土体的防渗性能和增强土体的强度所

进行的化学注浆会对地下水水质产生影响^[7]。

2.2 流砂问题

上海地区深层地下工程施工中揭遇砂土层时,若设计施工不当,可能会出现流砂现象。流砂形成初期往往不易被察觉,直到坑底出现大量涌砂、涌水才能被施工人员发现,此时已造成大量土体流失,引发大面积的地基变形和地面塌陷^[7]。2003年发生的轨道交通4号线施工引发的地面塌陷就是由于⑦层的流砂问题所致。

另外,大深度地下工程建成运营期间,位于深部砂、粉性土中的竖井和隧道工程若结构出现裂缝,在巨大的承压水头差作用下,也会出现流砂现象,引发周边大面积的地基变形和地面塌陷。

2.3 地面沉降问题

大深度竖井(基坑)工程施工中,因承压水水头高,为使工程建设顺利进行,将不得不大规模地降排承压水,大幅度的降低承压水水位将会引发大面积的地基变形和沉降,特别当降水无法完全隔断降水目的层时,引发的地面沉降及其影响范围将更大。大规模的降水会形成地面沉降漏斗,产生不均匀地面沉降,进而威胁到深层地下工程本身、地面已有建(构)筑物、浅层及中层地下空间中的地铁车站、地下车库以及地铁隧道等工程的正常使用及安全运营,对周围环境造成明显影响甚至破坏^[8]。

2.4 基岩面起伏问题

中心城区基岩面埋藏深度一般大于160 m。但在徐汇区第六人民医院附近存在基岩隆起,基岩面最浅处距离地面约60 m左右,当该区域深层地下空间开发深度大于60 m时,不论是基坑开挖还是隧道掘进施工均将变得十分困难。

3 深部地下空间开发中地质环境适宜性分区

目前,深层地下空间开发利用的形式主要为基坑和隧道两种,适宜性评价主要针对这两种不同施工方法的工程进行。由于第二承压含水层(工程地质第⑨层)平均埋深65 m,是否揭遇该土层对深层地下空间开发地质环境适宜性将产生较大影响,因此分40~65 m和65~100 m两个深度进行分区和评价。

3.1 基坑工程地质环境适宜性分区与评价

中心城区40~65 m深度基坑工程地质环境适宜性可分为基本适宜和适宜性差两个区(图4)。II区

下空间开发中主要的地质问题为地下水问题、流砂、地面沉降以及基岩稳定性与基岩面起伏;对深基坑和隧道两种主要的深部地下工程,其建设地质环境适宜性为基本适宜至适宜性差,工程建设中应做好地质安全评估和地质灾害防治。由于文章所用资料有限,建议随着深层地下空间开发的深入实施,进行更为详尽的调查评价,确保深层地下空间开发的地质安全。

参考文献:

- [1] 顾承兵.上海市地下空间概念规划简介[J].上海城市规划.2005(2):33-35.
- [2] 严学新,史玉金.上海市工程地质结构特征[J].上海地质.2006(4):19-24.
- [3] 魏子新,翟刚毅,严学新,等.上海城市地质[M].北京:地质出版社,2010.
- [4] 唐益群,周念青,王建秀,等.软土环境工程地质学[M].北京:人民交通出版社,2007.
- [5] 张文龙,史玉金.上海市工程地质分区问题[J].上海地质.2013(1):5-9.
- [6] 姚天强,石振华.基坑降水手册[M].北京:中国建筑工业出版社,2006.
- [7] 严学新,方正,曾正强,等.上海地下空间开发环境地质问题分析[J].上海地质.2004(1):1-5.
- [8] 沈德耀,陆良.上海地铁站域地下空间开发的分析[J].北京规划建设.24(1):28-32.

Geo-environmental condition and feasibility assessment of the deep underground space in Shanghai city

SHI Yu-jin¹, ZHANG Xian-lin², CHEN Da-ping¹

(1. Shanghai Institute of Geological Survey, Shanghai 200072, China;

2. Shanghai municipal planning, land and resources administration, Shanghai 200003, China)

Abstract: In Shanghai downtown area, most of the shallow and middle underground spaces have been used, and the development and utilization of underground space will develop and extend to the deep level. Based on analyzing the existing geological results, this paper evaluates the geo-environmental conditions during deep underground space development, and makes out divisions of the engineering geological condition. Also this paper assesses the major geological problems faced by deep underground space utilization. And finally, this paper assesses the feasibility of deep excavation project and tunnel project. The results indicate that engineering geological conditions are complicated for the deep underground space development, and the feasibility of deep excavation and tunnel project is arranged from basic suitability to bad suitability. These results can provide scientific basis for deep underground space plan and building.

Key words: deep underground space; geo-environmental condition; feasibility assessment; excavation; tunnel