

武汉城市地下空间开发利用与环境地质效应研究

钟洛加^{1,2}, 周衍龙^{1,3}, 沈贵文⁴, 王维芳³

(1. 中国地质大学, 湖北 武汉 430070; 2. 湖北省地质矿产勘查开发局, 湖北 武汉 430022; 3. 湖北省地质环境总站, 湖北 武汉 430051;
4. 湖北省地质学会, 湖北 武汉 430022)

摘要: 随着武汉城市建设进程加快, 地下空间的开发所引起的环境地质问题, 成为武汉城市工程环境地质效应的关键问题。利用武汉市现有勘察资料, 初步分析研究城市地下空间的物质载体及其空间组合关系, 从空间岩土工程地质性质和赋水条件入手, 对城市地下空间建设诱发的工程环境地质灾害的特点、生态环境建设等问题进行了探讨, 在此基础上进行地下空间利用区划, 指出各区在地下工程建设中需要重点防范的工程地质问题。

关键词: 地下空间; 环境地质效应; 开发利用; 生态环境

中图分类号: TU984.11⁺3; X141

文献标识码: A

文章编号: 1671-1211(2009)04-0406-06

0 引言

城市地下空间的开发和利用是城市经济发展和城市空间发展的客观需要。1991 年召开的城市地下空间会议通过了《东京宣言》, 提出了“21 世纪是人类开发利用地下空间的世纪”。

地下空间的概念: 在岩层或土层中天然形成或经人工开发形成的空间称为地下空间。天然形成的地下空间包括在石灰岩山体中由于水的冲蚀作用而形成的天然溶洞, 或土层中存在地下水的含水层; 人工开挖的地下空间包括利用开采后废弃的矿坑和使用各种技术挖掘出来的空间。根据中国《城市地下空间开发利用管理规定》, 城市地下空间是指城市规划区内地表以下的空间。

随着城市化水平的不断提高, 城市规模的急剧扩大, 使现代城市空间与城市功能之间的各种矛盾日益尖锐起来; 生态环境体系供给与承受能力同社会经济发展的需求之间存在巨大矛盾, 城市空间拥挤、交通堵塞、环境恶化、土地资源匮乏等“城市病”已在中国一些大城市出现, 并在一定程度上制约了城市的可持续发展。城市地下空间资源作为城市的重要自然资源, 在城市基础设施建设、民防工程建设、环境建设等方面具有重要意义, 因此, 地下空间开发已受到各级政府的日益关注。提高地下空间资源的规划水平、开发水平、管理水平成为衡量一个城市现代化水平的重要指标。而现代城市的发展必须呈立体化发展, 要求地上与地

下同步开发。发达国家的发展历史表明, 当城市人均 GDP 达到 500 美元就基本具备大规模开发利用地下空间的条件与实力, 若为 1 000 ~ 2 000 美元则达到了开发利用的高潮。2007 年武汉市人均 GDP 已达 4 700 美元, 大大超出这一标准, 可以预见利用地下空间资源向地下发展城市交通是未来城市建设的主旋律。

由城市地下空间开发引起的工程环境地质灾害具有突发性、潜在性、隐蔽性、社会性等特点, 已引起世界各国高度重视。如隧道推进产生的地面沉降及对周边建(构)筑物的影响、抽取地下水而引起地面沉降及对地下建(构)筑(包括地下空间、地下管线等)物的影响、沉桩挤土作用时对邻近建筑物的破坏作用、机器振动、地铁列车运行振动荷载、车辆荷载、波浪或地震力及剪切力反复作用下产生液化或大量震陷变形等。

目前长江上已建、在建、规划的公路、铁路桥梁有 6 座, 汉江上有 5 座, 长江隧道不久将在中心城区建成。从 2006 年开始加快城区轨道交通建设步伐, 并将规划中的轨道交通线网扩容至 7 条线路、220 km、设站 182 座。2007 年, 武汉轨道交通线网将扩容至 3 条市域快线和 9 条市区线路, 站点增至 309 座。按照新规划, 三镇主城区的地铁线网规模将达 333 km。同时, 地铁将全面延伸至武汉城市圈。在缓解城市交通压力的同时, 也暴露出阻碍航道和抬高江水位, 使泥沙淤积、河床变迁的弊端。

与地下空间开发有关的环境地质问题, 关系到整

收稿日期: 2009-06-03; 改回日期: 2009-07-13

基金项目: 湖北省地矿局科研基金项目(鄂地矿科[2004]2号, 编号: KY2004-7)。

作者简介: 钟洛加(1960-), 男, 教授级高级工程师, 博士, 研究方向: 地学信息工程。E-mail: billzlj@126.com

个工程的质量、投资和进度,因此其重要性已越来越多的被人们所认识。从 21 世纪城市建设可持续发展的角度来考虑,深入研究与人类活动关系密切的城市地下空间开发产生的综合效应及城市工程环境地质问题,对地下工程潜在的环境地质作用的研究,合理开发利用地下空间资源,使有限的资源、脆弱的生态环境支持武汉城市圈“两型社会”(即:资源节约型、环境友好型)的建设显得非常必要,而且意义重大。

1 自然地理与地质环境

1.1 自然地理

武汉市地处鄂东南丘陵与江汉平原东缘向大别山南麓低山丘陵过渡地带,中间低平、南北丘陵、岗垄环抱,北部低山林立。市区地貌属丘陵—平原地貌形态,地貌形态的分布轮廓是:一为挽近期构造运动以前形成的构造剥蚀低丘陵地貌形态;二为挽近期构造形成的剥蚀堆积—堆积地貌形态。低山区主要分布于市境内北部黄陂石门山、木兰山及新洲道官河一带;剥蚀丘陵在市境内各区零星分布;垄岗地区主要分布于黄陂、新洲北部和蔡甸、江夏中南部;平原区主要分布于市区中部的长江、汉江两岸。

1.2 地质构造

武汉市大地构造上处于淮阳山字型弧顶西侧与新华夏系第二沉降带的复合部位。襄(樊)—广(济)断裂以北构造特征表现为一系列北西向向斜、背斜,并发育规模不等的 NW、NE 向断裂,受断裂控制,燕山期岩浆岩活动强烈,双峰尖、夏店和研子岗岩体侵入背斜构造之核部。襄广断裂以南大都第四系覆盖,志留系—三叠系地层构成了走向近东西向的线状褶皱,一般向斜窄、背斜宽,并发育 NWW、NW、NE 三组断裂。同时受襄广断裂和麻(城)—团(风)断裂控制,发育有两个凹陷,即新洲凹陷和梁子湖凹陷。

1.3 工程地质

武汉市岩土体划分为岩体和土体两大类。岩体根据其工程地质岩类分为岩浆岩、碎屑岩、碳酸盐岩和变质岩四类,再根据其岩石强度、结构和岩性划分岩组,共分 8 个岩组;土体按成因和岩性特征划分为 4 个岩组^[1]。

1.3.1 岩浆岩工程地质岩类

(1) 坚硬块状侵入岩岩组 该岩组以燕山晚期花岗岩^[3]为主,分布于大悟顶和双峰尖一带,岩石坚硬,抗压强度 200 MPa 以上,透水性差,抗水性能强,软化系数 > 0.75。

(2) 坚硬—较坚硬块状喷出岩岩组 该岩组由凝

灰岩、流纹岩等构成,分布于贺站、湖泗等地。

1.3.2 沉积碎屑岩工程地质岩类

(1) 坚硬—较坚硬块状、层状以砂砾岩为主的岩组 该岩组岩性以砂岩、砾岩为主,地层包括 S_2 、 D_3w 和 $(K_2 - E) d_n$ 等,分布于区南部地段,砂岩和砾岩干抗压强度 30.31 ~ 76.67 MPa,石英砂岩强度高,干抗压强度 95.4 ~ 172.0 MPa。

(2) 软硬相间层状砂岩泥岩互层岩组 该岩组岩性为砂岩、泥质粉砂岩、泥质粉砂岩夹页岩、泥岩等,地层包括 T_2 、 J_1 、 J_2 等,分布于江夏区等地,岩性复杂,岩石强度具有明显差异,含水透水性差,易风化破碎。

1.3.3 碳酸盐岩工程地质岩类

(1) 坚硬块状、层状以碳酸盐岩为主岩组 该岩组岩性以灰岩、白云质灰岩、白云岩等为主,地层为 C_2h 、 P_1q ,分布于武汉市汉南—江夏、黄石、大冶一带。岩石坚硬,抗风化能力强,湿抗压强度 50 ~ 104.0 MPa,但岩溶发育,易引起环境地质问题,如地面塌陷等。

(2) 坚硬—软弱块—片状碳酸盐岩与碎屑岩互层岩组 该岩组岩性以泥灰岩、灰岩夹页岩、砂岩硅质岩互层为主,地层为 P_1g 、 T_1d 等,分布于洪山、土桥、金水闸等地段。

1.3.4 变质岩工程地质岩类

(1) 坚硬块状以混合岩、片麻岩为主岩组 该岩组以混合岩、片麻岩为主,地层包括 $P_1t - P_1fh$,分布于新洲东北缘,岩石坚硬,干抗压强度 130 ~ 190 MPa,湿抗压强度 90 ~ 120 MPa,软化系数 0.47 ~ 0.73,岩石风化强烈,风化层厚度一般 10 ~ 30 m。

(2) 坚硬—较坚硬层状—片状以片岩为主的岩组 该岩组主要由白云岩石英片岩、钠长片岩、石英片岩等构成,地层包括 $P_1q - P_1m$ 、 P_{1km} ,分布于黄古石、木兰山等地,岩石强度差异较大。

2 城市地下空间工程环境地质效应

通过多年的勘查研究和大量的工程实践,武汉地下空间工程环境地质问题包括地下空间开发引起的地面沉降、软土层中沉井与盾构法施工隧道引起的工程环境地质问题、打桩施工对地下空间工程环境的影响、隧道工程施工中化学灌浆对工程环境地质的影响,以及由于地下空间开发引起的粉砂性土层液化等。

2.1 地下水开采与施工排水对地下空间工程环境的影响

武汉城区地势低洼,地表水丰富,周边水系多汇流于此,为地下水提供了足够的补源。主要赋存在全新统、上更新统下部砂砾(卵)石层、砂层中和下伏褶皱岩

表 1 地下水含水岩组水文地质特征

Table 1 Hydrological feature of the groundwater-bearing bed

含水岩组介质	地下水类型	含水层厚 / m	顶板埋深 / m	水位埋深 / m	单井涌水量 / ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	渗透系数 / ($\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$)	影响半径 / m
全新统顶部粉土、粉质粘土	孔隙潜水	3.5 ~ 6.0		0.05 ~ 4.7		0.26 ~ 0.67	
全新统下部砾石、粉细砂	孔隙承压水	3.2 ~ 44.9	1.9 ~ 32	0.08 ~ 5	37.39 ~ 3 314.18	2.64 ~ 87.08	81.2 ~ 466.6
上更新统下部砾石、中粗砂	孔隙承压水	1.6 ~ 33.2	20 ~ 49	8 ~ 26	23.92 ~ 1 007.87	0.8 ~ 47.24	44.6 ~ 343.7
上第三系砂砾岩、粗砂岩	裂隙孔隙承压水	4.7 ~ 26.4	10.1 ~ 58.4	1.2 ~ 6	92.9 ~ 744	4.2 ~ 15.64	67 ~ 508
白垩系—下第三系砂砾岩	裂隙承压水		57 ~ 84.4	2.2	1.07 ~ 30.15	0.027 ~ 0.217	
志留系—三叠系碳酸盐岩	裂隙岩溶水	221.8 ~ 281	9.2 ~ 137.7		65.6 ~ 5 182	0.15 ~ 3.09	
二叠系下统—上统硅质岩、长石砂岩	裂隙水				641.78	0.72	
泥盆系上统石英砂岩、砾岩	裂隙水				5 ~ 600		

体的向斜核部碳酸盐岩中,上第三系砂岩、砂砾岩较厚的地段也有可观的水量(表1)。

地下空间岩土体中通常发育有不同性质的空隙,依空隙率的大小不同程度地赋存了地下水,使水体与岩土体一起成为地下空间的物质载体。不同的是这种载体不是固定不动的,而是具有流动性质的,因此更需要引起关注。不同岩土体中的地下水,通常有一定的成生关系,相互之间多有某种水力联系,因此地下工程在使用地下空间时,通常是将整个地下水系统一并研究。

全新统、上更新统孔隙承压水主要分布于—、二级阶地,两者水力联系紧密,后者因过量开采形成降落漏斗,一般是江水补给一级阶地全新统孔隙承压水,尔后再补给二级阶地上更新统孔隙承压水。有时枯水期全新统孔隙承压水也有向长江短时径流排泄。一级阶地全新统顶部粘性土中一般含有少量的孔隙潜水,主要是大气降雨由土壤包气带带入渗补给,常有透镜状的上层滞水分布。

上第三系裂隙孔隙承压水自阶地后缘向前缘含水层由薄变厚,顶、底板由浅变深。接受北西孝感方向本层水的侧向补给和上覆全新统、上更新统孔隙承压水的越流补给,向东南方向径流排泄,侧向补给或越流排泄于上更新统孔隙承压水。白垩系—下第三系裂隙承压水,因渗透性差,水量极其贫乏,可看成是其它地下水体的隔水岩体。

志留系—三叠系岩层形成的褶皱构造中,向斜部位碳酸盐岩富含裂隙岩溶水,翼部泥盆系砂岩含少量裂隙水,背斜部位志留系页岩则构成了向斜带以裂隙岩溶水为主体的地下水的两侧和底界隔水边界。残丘高地,大气降水通过翼部出露地表的石英砂岩、硅质岩裂隙、断层,向向斜深部裂隙岩溶水入渗补给;临江地

带,因长江切割了裂隙岩溶水含水层,汛期江水通过河床中的砂卵石孔隙,侧渗补给裂隙岩溶水;一级阶地,全新统孔隙承压含水层直接覆盖于碳酸盐岩之上,上部孔隙承压水也可通过岩溶裂隙直接补给下伏碳酸盐岩裂隙岩溶水。这些补给源沿岩溶裂隙汇聚到向斜核部一定深度后,再沿向斜轴部水平岩溶管道由东向西运动。裂隙岩溶水的排泄主要以人工开采及枯水期向长江、湖泊排泄为主,向斜谷地也有通过风化裂隙和覆盖层空隙以上升泉形式排泄于地表的。

据钻孔资料统计,石炭系—二叠系碳酸盐岩岩溶率一般为10%~30%,主要发育在15~2.5 m、-4.5~-12 m、-25~-31 m三个标高段,部分向斜核部-95.4~-110.4 m的深部还发育15 m高的溶蚀空间;三叠系碳酸盐岩岩溶率一般为1%~10%,主要发育在1.5~0.85 m、-10~-17 m两个标高段,溶蚀高度一般<1 m,个别2~3 m。

岩溶地面塌陷不仅与下伏碳酸盐岩岩溶发育程度有关,还与上覆松散盖层的工程性质及裂隙岩溶水、孔隙承压水、地表水三者的循环有关,循环的结果导致上部土体的吸蚀、潜蚀破坏,最终使地面塌陷。过量开采地下水,尤其是开采裂隙岩溶水,以及江水位的陡涨陡落、地面渍水下渗等,都能加剧“三水”的循环运动。武汉市城区历史上发生的几起严重的地面塌陷,如1977年9月中南轧钢厂塌陷、1983年7月阮家港塌陷、1988年5月陆家街塌陷、1998年4月汉口清芬路塌陷、2000年4月烽火村塌陷,都与此有关。因此,容易发生塌陷的部位主要是临江一级阶地赋存下伏裂隙岩溶水、上覆全新统孔隙承压水,且地势低洼的地带。

在地下工程施工中,不可避免地要进行地下水的降水、排水活动,加快“三水”转化的速度,从而加大了地面塌陷的可能性。因此在施工设计地下工程时,包

提高高层建筑的地下室工程、城市地下交通工程、一般地下硐室工程等,均应首先考虑岩溶地面塌陷的可能性,一是保证地面其它建筑设施安全的需要,再是保证硐室自身稳定的需要。

2.2 软土层中沉井与盾构法施工隧道引起的工程环境地质问题

城市地下空间的利用(如建造沉井、隧道工程等)主要是在 0.00 ~ 40.00 m 浅层软土层中,不论采用盾构、沉井或基坑法,均会扰动土层,产生软土层蠕动、饱水砂性土的管涌、地面沉降、土体变形等工程地质和环境地质问题。

(1) 志留系—三叠系海相沉积盖层受南北向应力强烈挤压形成岩层高倾的线性紧密褶皱,向斜核部为石炭系—三叠系中厚—厚层状、弱—中等岩溶碳酸盐岩夹薄—中厚层状碎屑岩与硅质岩,背斜核部为志留系薄层状砂、页岩,翼部为泥盆系中—厚层状石英砂岩。向斜核部大部分岩石较坚硬—坚硬,少数软弱(表 2);背斜核部大部分岩石较软弱,少数坚硬;翼部石英砂岩极其坚硬,抗风化力强,地面残丘常为此岩。

表 2 岩体强度特征值

Table 2 Feature value of the rock mass intensity

地下空间载体	构造部位	地层	代表性岩石	干抗压强度 / MPa
志留系—三叠系海相沉积盖层	背斜核部	志留系	泥质页岩	19.1 ~ 73.1
			粉砂岩	38.8 ~ 91.5
	翼部	泥盆系	石英砂岩	95 ~ 159.4
	向斜核部	石炭—三叠系	石灰岩	86.1 ~ 172.1
			硅质岩	100
白垩系—下第三系红层	褶皱盖层之上	白垩—下第三系	砂岩	18.3 ~ 44.3
			砂质泥岩	2.0 ~ 17.0
上第三系沉积—堆积盖层	红层盖层之上	上第三系	砂岩	0.9 ~ 1.5
			砂质泥岩	11.8 ~ 12.6

(2) 白垩系—下第三系红层为中厚层状,钙质或泥质胶结,由较坚硬的砂岩、砂砾岩和较软弱的泥岩组成,因此强度差异较大。泥岩遇水后易泥化形成软弱夹层,使岩体整体强度及稳定性降低。赋存于红层中的块状玄武岩、凝灰岩强度明显高于围岩。

(3) 上第三系沉积—堆积盖层为泥质半胶结,结构松散,强度极低,整体属于软弱—较软弱岩类。

(4) 中更新统是良好的隔水层,可塑—硬塑状,承载力高(表 3),但有弱—中等膨胀性。

(5) 上更新统下部砂砾(卵)石层与粗砂层压缩性小,承载力高,是良好的桩基持力层。上部粘性土层

承载力较高,但夹有透镜状的淤泥类土,天然含水量 39% ~ 55%,孔隙比 1.081 ~ 1.313,荷载超过 100 kPa 时可产生压缩变形,应谨慎用作天然地基。

表 3 土体力学特征指标

Table 3 Mechanics characteristic indicators of the soil bodies

地下空间载体	代表性土体	压缩系数 / MPa	粘聚力 / kPa	内摩擦角 / (°)	容许承载力 / kPa
中更新统	粘土	0.08 ~ 0.21	45 ~ 100	18 ~ 32	260 ~ 530
	砂砾(卵)石				>300
上更新统	中细砂				110 ~ 210
	淤泥质土	0.69 ~ 0.82	13 ~ 20	7 ~ 1	100
	粘土	0.05 ~ 0.17	32 ~ 104	8 ~ 28	140 ~ 430
	粉细砂				200 ~ 250
	粉土	0.17 ~ 0.42	9 ~ 47	17.3 ~ 34	90 ~ 210
全新统	粉质粘土	0.25 ~ 0.52	5 ~ 32.1	12.5 ~ 28	110 ~ 260
	淤泥质土	0.70 ~ 0.94	4 ~ 14	3.8 ~ 11.9	75 ~ 105
	淤泥	1.06 ~ 1.98	2 ~ 13	2 ~ 10	20 ~ 78

(6) 全新统中、下部土体与上更新统具有类似的工程地质性质,不同的是砂层颗粒变细,易产生“流沙”及砂土震动液化,淤泥类土具有更高的压缩性。上部粘性土呈软塑—可塑状态,具中等压缩性,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;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。

武汉市城区拟规划建 3 条过江隧道,其施工方法主要采用盾构法施工(每向前掘进 2 m,即机械安装一预制环管片构筑),由于主体工程两端进出口处在城区,工程所处地段均为第四系松散堆积层,其中夹粉细沙、淤泥质软土等不良土体分布较广泛,工程地质条件复杂,在该地层中开挖隧道,不论采用何种方法(盾构、沉井、基坑等),通常均会扰动土体,产生软土变形、饱水砂性土的管涌,从而可能会产生不同程度的环境工程地质问题,特别是在松软饱和含水不稳定的淤泥质粘土层的浅覆隧道中,这种现象尤为明显。

如何保持淤泥质粘性土层中地下工程施工时开挖边坡的稳定性,以及防止淤泥质软土层中沉井与盾构法施工隧道引起的工程环境地质问题,这是岩土工程界研究的主要任务之一。

2.3 沉桩施工对地下空间工程环境的影响

沉桩对地下空间开发的影响主要来自于沉桩的挤土作用。影响作用的大小取决于桩型、桩间距、沉桩方法以及地基土的类型等因素。

其中尤以在饱和土层中沉入大量密集型的实腹型

群桩的影响最为严重。在饱和软土中沉桩时,桩身被“刺入”时,桩周土体中的原有力平衡遭到破坏,产生非常高的超孔隙水压力,造成土体的垂向隆起与水平向的位移。由于饱和粘土的渗透系数很小,因此,在此类土层中沉桩形成的超孔隙水压力消散速度很慢,由此造成的地基土的垂向隆起与水平向位移的大小,及由此而造成的对超孔隙水压力影响范围内的地下建筑物损坏程度就越严重。

灌注桩施工易对地下水、土环境造成不同程度变异和环境污染,如汉口汉正街某高层建筑灌注桩施工中,当其中一灌注桩浇注混凝土时,其在桩井内所形成动水压力立刻向四周传递,表现在临近的水位观测井地下水位即刻上涌,由井口漫出灰黄色浑水^[2]。目前,灌注桩施工所引起废水(浆)污染地下水和场地环境已引起人们的注意与重视。

2.4 隧道工程施工中化学灌浆对生态环境的影响

地下施工往往要挖出大量的岩石和土体,堆积于隧道顶部或门口附近,有的可高达六七米,不仅对周围环境有影响,而且若弃土超荷,还可能引起隧道下沉。基坑开挖使大量地面裸露,在开挖或运输过程中,如不及时围护和采取车辆密闭运输,容易造成城市的扬尘污染。特别是有机高分子化合物(环氧树脂、乙二胺、苯酚)毒性复杂,不论在制备、配制,还是在施工灌浆中,作业人员都要接触这些有毒物。此外浆液注入构筑物裂缝与地层空隙后,通过溶滤、离子交换、复分解沉淀、聚合等反应,不同程度污染地下水乃至造成公害。因此,城市环境的污染必将引起周围更广泛的生态环境的污染,如何防止地下空间开发中化学注浆对环境的污染,不仅关系到施工者、场地附近居民的工作和生活条件,而且对保护环境特别重要。

2.5 高层建筑或重要工程基础施工对地下空间工程环境的影响

武汉市区建设的高层建筑或重要工程,越来越多地需要利用地下空间,所采用的方法一般是基坑开挖。开挖基坑的深度一般是在6.0~12.0 m,有的则达到16.0 m,而建成的阳逻长江大桥之南锚锭基坑开挖深度为41.0 m,北锚锭深度则达46.5 m。在城区内一级阶地范围,出露为第四系全新统、上更新统地层,其上部由厚约10~15 m粘土、亚粘土组成,且大部分地区夹有淤泥类土。因此,当基坑开挖到一定深度,含水量大,且具有触变性的淤泥类土等易失稳成“流沙”涌入基坑,从而导致基坑边坡稳定、基坑底板变形及突水等环境工程地质问题。

3 结论

未来武汉城市利用地下空间应重点解决三大工程地质问题:注意岩溶地面塌陷,解决岩土体稳定问题;注意地下水作用,解决施工过程中降水、透水问题;注意软土分布,解决空间形成后围土变形问题^[3]。

(1) 地下工程应尽量避免沿向斜轴布置,在高程上也应尽量避免岩溶发育段,减少与碳酸盐岩岩溶管道遭遇的机会,降低岩溶透水事故发生率。对于浅部地下工程,一般采取降低地下水位的办法来达到施工的目的。降水过程中可能出现的工程地质问题主要是岩溶地面塌陷问题、硐室或基坑围土稳定问题。在非岩溶地区具体表现在基坑的边坡坍塌、裂缝,坑壁上层滞水的突水突沙,硐室顶板侧壁的冒顶偏帮、流土流沙等方面。

(2) 松散松软土体区浅部地下工程进行降水时,除降低下伏孔隙承压水外,还要对上覆孔隙潜水,尤其是透镜状产出的上层滞水进行疏干。对于深部地下工程,一般采取施工防渗墙形成地下隔水空间或采用盾构法来达到施工目的。施工过程中应注意局部防渗漏洞而导致的坑道透水突沙事故。在志留系—三叠系褶皱岩体中施工时,应特别注意穿过向斜部位时裂隙岩溶水的透水事故的发生。

(3) 在地下空间载体中,全新统和上更新统土体中较普遍地隐埋着一层3~7 m厚的淤泥类土,是地下工程施工中需要密切注意的问题,处理不好也会极大地影响工程质量与进度。

(4) 淤泥类土顶板埋深一般为2~10 m,部分湖边裸露于地表,浅部地下工程施工中经常遇到。它具有天然含水量高、孔隙比大、压缩性高、强度低、渗透系数小的特点,一般呈流塑状态,因此具有触变性、高压缩性、流变性而对工程产生不利影响。在地下工程中,当基坑或硐室开挖后,淤泥类土失去侧限,将发生塑流挤出变形,从而导致基坑的边坡坍塌、裂缝,硐室顶板侧壁的冒顶偏帮,甚至埋陷等。

(5) 做好城市地下工程开发地质灾害的评价、监测,预测城市地下空间开发地质灾害分为自然地质灾害(如地震)和城市人类活动诱发的人与自然结合型地质灾害(如地面塌陷、沉降、裂缝和砂土液化等)。突发性、直下型的自然地质灾害会给城市带来很大的危害。因此,应查明城区的地质环境背景和地质灾害活动史,综合评价出城区未来地质灾害的危险性。同时,应预测城区在人为活动影响下可能产生新的地质作用的趋势和强度,以便在城市建筑中采取相应的对

策,为当地政府制定地下空间防灾减灾预案提供科学依据。

新一轮城市地质调查应加强对地下空间的调查研究,解决岩溶地面塌陷、地下水作用、软土变形三大问题,为武汉市地下工程建设提供更多更先进的理论与方法。

参考文献:

[1] 计升平,邹安权,郭海生,陈金国. 武汉城市圈(武汉市)地质环境

评价报告[R]. 武汉:湖北省地质环境总站, 2005.

[2] 郭海生,周衍龙,林彬,等. 武汉市地下工程的若干环境地质负效应[J]. 资源环境与工程, 2007(21): 61 - 62

[3] 姜华君,王宏,夏车,等. 地质信息可视化的应用——城市环境地质研究之发展方向[J]. 中国地质, 2002, 29(3): 330 - 334.

Study on Urban Underground Space Development and Utilization and Environmental Geological Effect in Wuhan City

ZHONG Luo^{1,2}, ZHOU Yanlong^{1,3}, SHEN Guiwen⁴, WANG Weifang³

(1. China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430070; 2. Hubei Exploration and Development Bureau of Geology and Mineral Resources, Wuhan, Hubei 430022;

3. Hubei Geological Environment Station, Wuhan, Hubei 430051; 4. Hubei Geological Institute, Wuhan, Hubei 430072)

Abstract: With the accelerated process of the Wuhan Urban Construction, environmental geological problems caused by the development of underground space, are key issues of engineering environmental geological effect in Wuhan city. In this paper, the authors preliminary analyze combined relations between the carrier and its space of urban underground space by existing survey data in Wuhan City, starting from the nature of space geotechnical engineering geology and water-bearing conditions, discuss characteristics and the construction of ecological environment of environmental geological disasters induced by the construction of urban underground space, claim that the use of the underground spatial should be divided into districts, finally point out various engineering geologic problems that need to be on guard.

Key words: underground space; environmental geological effect; development and utilization; ecological environment