

沿海厚覆盖区城市地下空间资源调查评价 与应用——以上海为例

刘婷, 王寒梅, 史玉金, 司永峰, 陈大平

上海市地质调查研究院, 上海, 200072

关键词: 厚覆盖区; 地下空间资源; 调查技术; 评价方法

上海作为典型沿海松散层厚覆盖区, 其地质环境条件复杂且脆弱, 面临基底稳定性、地质结构变化、软土变形、地下水、饱和砂土等问题, 严重影响城市地下空间资源的安全开发与利用。借助物探、钻探、原位测试、室内试验、建模等多种方法与技术, 系统研究厚覆盖区地下空间地质结构和地质参数特征、多源数据地质建模、地下空间资源量评价、地下空间地质风险评估等关键技术与方法, 总结沿海厚覆盖区城市地下空间资源综合调查评价方法, 为城市地下空间资源开发利用做好理论支撑与技术储备。

1 厚覆盖区地下空间调查关键技术

1.1 厚覆盖区高分辨率浅层地震勘探技术

随着城市的快速发展, 采用常规钻探技术在城市化地区进行大规模勘探已经相当困难。为实现城市绿色、高效、精细化探测, 在上海进行了大量面波、纵波、横波反射等浅层地震勘探试验, 发现以粘、砂互层为主的厚覆盖层具备良好的横波地震地质条件, 横波勘探具有分辨率高、抗干扰能力强、波组连续性好等优势, 最适用于厚覆盖区的松散层地质结构探测。针对上海地下空间开发影响范围内地层的物性特点, 通过多年试验和应用, 归纳总结了合适的横波震源、观测系统和数据采集参数, 并创新采用以可控震源横波勘探和横波零偏移距垂直地震剖面相结合的方法, 得到高质量的探测剖面, 结合工程地质钻探的岩心柱进行了桥式标定, 准确识别和标定了地震剖面上反射波组与工程地

质层之间的对应关系, 建立了强反射波组标志性解释层位, 提出了适用于上海厚覆盖区勘探的高分辨率浅层地震勘探技术。

1.2 深部土层微观结构特征研究技术

土体的物理力学性质与其微观结构特征密切相关, 研究土体微观结构提出工程参数具有重要的科学意义(张士宽等, 2019)。目前关于上海深部土层的微观结构特征的研究相对贫乏, 针对上海深部地层复杂工程特性, 进行了室内原状土样常规固结试验、常规三轴试验、高压固结试验、应力路径三轴试验、测试 K0 三轴试验、真三轴试验、动三轴试验、压汞试验、电镜扫描试验、CT 扫描试验, 研究了上海 50 m 以深深部土层复杂应力条件下微观结构和力学响应特征。通过开展复杂应力路径三轴试验和电镜扫描—压汞试验, 给出了渗透压力驱动下原状试样和应力路径试验后试样的细观骨架结构和微观孔隙的演化规律, 并对深部土层的细微观结构进行了 CT 扫描和精细化描述。

1.3 多源数据建模及融合技术

基于钻孔、地质剖面、地震剖面、各类等值线图等点、线、面多源异构数据, 研究了多源数据建模方法和技术, 建立了符合不同勘察人员认可的地质模型。在三维地质模型的基础上, 通过利用已有的建构筑物基础数据, 导入地下构筑物模型, 开展地质结构模型与地下构筑物模型的融合及空间分析研究。以往未充分考虑到结合地下空间的多要素调查(王峰等, 2023), 针对不同数据源采取不同算法及方法, 突破了结构建模、属性建模和已有建构筑物融合关键技术, 开发了包括地下地质结构、地质属性、构筑物、融合、地下空间资源数量计算

注: 本文为中国地质调查局项目《上海济南等典型城市地下空间开发利用综合地质调查》(编号: DD20179611) 的成果。

收稿日期: 2023-12-10; 改回日期: 2024-01-09; 责任编辑: 李明。DOI: 10.16509/j.georeview.2024.sl.175

作者简介: 刘婷, 女, 1991 年生, 硕士, 工程师, 主要从事城市地下空间资源调查评价工作; Email: liuting582@163.com。

及质量评价、地下空间地质风险评价为一体的地下空间全要素建模及互动分析系统,为地下空间的透明化展示与分析提供了数字化技术支撑。

2 地下空间资源评价方法

2.1 地下空间资源数量统计分析

根据城市地下空间开发利用类型,在收集整理了上海地下建构筑物 and 桩基的基础上,进行地下空间资源数量统计。与地上建构筑物不同,任何形式的地下建构筑物影响的都不只是自己所占用的部分空间,考虑到工程建设需求,仅仅除去已有地下建构筑物 and 桩基是远远不够的。在进行地下空间资源数量统计分析时,必须考虑已建建筑的影响区域,为可能发生的影响预留空间,以免随时间而受到破坏,研究提出并设定了不同类型建构筑物应力应变影响区域,分层分类统计分析了上海地下空间资源数量。

2.2 地下空间资源质量评价

通过系统收集上海基岩地质、工程地质、水文地质和地面沉降资料及地下空间已有构建筑物等资料,分析了厚覆盖区上海地下空间开发主要的地质环境问题,发现对地下空间开发影响较大的主要为岩土体性质、古河道是否发育、地下水问题与地面沉降等因素,随着地下空间开发深度的改变,各项因素的影响程度亦发生改变,通过识别关键影响因素,建立了上海地下空间资源质量分层评价体系。以城市地下空间资源质量为目标层,选择基岩条件、工程地质条件、水文地质条件、不良地质问题、地下空间开发现状等主要影响因素为准则层,将各因素中的若干影响因子作为指标层,基于层次分析法(AHP)分层构建地下空间资源评价的层次结构模型,并通过建立模型指标结构、确定判断矩阵、层次单排序及一致性检验确定各层次研究因素的权重,通过模糊综合评价法(FUZZY)分层评价了上海地下空间资源质量。

2.3 地下空间地质风险评价

地下空间开发主要是地下工程(基坑工程和隧道工程)的建设,通过梳理地下工程施工过程中发生的灾害案例,地下工程建设中产生的许多事故往往是由于未能正确认识到地质环境(土和地下水)中的风险源引起。针对地下空间开发特点与地质风

险特点,分析研究了上海地区地下空间开发基坑工程和隧道工程的地质风险因素,分别对上海基坑工程和隧道工程构建了基于 AHP-FUZZY 综合评价的地下空间地质风险评价体系,进行了地质风险分区评价,并提出合理可行的地质风险管理与规避方法。

3 应用案例

通过对沿海厚覆盖区城市地下空间资源调查评价方法系统总结,结合实际情况,主要有 3 个方面的应用:

厚覆盖区高分辨率浅层地震勘探应用:归纳总结了沿海厚覆盖区的观测系统和数据采集参数,提出适应城市地下地质结构精细探测的技术方法组合,为开展绿色勘查保护环境、提升上海城市地下空间综合调查程度提供技术支撑。

深部土层微观结构特征研究应用:通过各类试验研究,查明深部地基土的物理力学性质及工程特性,对场地稳定性和工程建设提供必要的参数。例如,通过三轴试验,为上海深部地下开发过程中地连墙厚度设计,盾构施工中盾构开挖与支护以及支护结构设计提供技术参数;通过高压固结试验为上海深部地下开发过程中估算有关构筑物沉降量及历经不同时间的固结度提供必备的计算参数等。

调查评价成果综合应用:基于地下空间资源调查评价,摸清上海地下空间资源家底,并开展基于地质环境条件地下空间开发用途管制分区研究,将上海市地下空间开发划分为禁止开发区、限制开发区和适宜开发区,支撑《上海市地下空间开发利用和保护专项规划》和《临港新片区国土空间规划》。

参 考 文 献 / References

- 王峰, 姜杉钰, 樊笑英, 张凤仪, 杜雪明. 2023. 我国城市地质工作政策评估与思考. 地质论评, 69(5): 1892~1898.
- 张士宽, 刘婷, 陈大平, 兰立信. 2019. 上海深部原状粘性土微观结构特征研究. 上海国土资源, 40(3): 52~58.

LIU Ting, WANG Hanmei, SHI Yujin, SI Yongfeng, CHEN Daping: Survey, evaluation and applications of urban underground space resources in coastal thick coverage areas: A case study of Shanghai

Keywords: thick coverage areas; underground space resources; survey technique; evaluation methods