引文格式：李璐,林昀,赵赛帅,等. 城镇地下空间资源调查监测体系研究[J]. 地理空间信息, 2024, 22(4): 30-33. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2024.04.008

城镇地下空间资源调查监测体系研究

李　璐[1]，林　昀[1*]，赵赛帅[1]，王芬旗[1]
（1. 宁波市测绘和遥感技术研究院，浙江 宁波 315042）

摘　要：新时期自然资源统一调查监测技术体系的构建与应用，为包括城镇地下空间资源在内的全空间、全要素自然资源调查监测工作提出了方向与任务。根据自然资源统一调查监测的顶层设计理念，以宁波市为例，提出了市级城镇地下空间资源调查监测总体思路与技术框架，促进建立城镇地下空间资源数据、技术、业务的协同实施机制，为国土空间规划编制与城市国土空间监测等工作提供底图底数，为各地城镇地下空间全要素统筹调查监测工作提供借鉴参考。

关键词：自然资源；城镇地下空间；调查监测；协同感知；场景管理；知识服务
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2024）04-0030-04

Research on Urban Underground Space Resources Surveying and Monitoring System

LI Lu[1], LIN Yun[1], ZHAO Saishuai[1], WANG Fenqi[1]
(1. Ningbo Institute of Surveying, Mapping and Remote Sensing, Ningbo 315042, China)

Abstract: In the background of new period, the construction and application of natural resource unified surveying and monitoring technological system indicate directions and tasks for the natural resource surveying and monitoring work of entire space and all features including underground space resources. According to the top-level design of natural resource unified surveying and monitoring, we presented the technical framework and implementation methods of urban underground space resource surveying and monitoring, with a case study of Ningbo, and promoted a way to establish collaborative sharing mechanism of data, technology and implementation, which could provide a base map for the territorial spatial planning formulation and territorial spatial monitoring, and provide references for other cities of urban underground space surveying and monitoring.

Key words: natural resource, urban underground space, surveying and monitoring, collaborative data acquisition, scene management, knowledge service

地表自然资源调查监测体系和路径已有较多探索和应用，然而，在地下空间资源方面，特别是对城镇地区的复杂地下空间与要素，尚未形成顶层衔接、全面完善的地下空间资源调查监测体系。以城镇地下空间资源为切口，完善、细化、衔接自然资源统一调查监测体系顶层框架，运用遥感、测绘地理信息、大数据、人工智能等技术，加强对地下空间资源的全空间、全要素、全过程调查监测，是自然资源调查监测重要研究课题之一[1-5]。

本文以宁波市为例，基于全空间全要素自然资源调查监测体系顶层设计，探索了城镇地下空间资源调查监测体系构建的总体思路、技术框架和多跨协同机制。

1　城镇地下空间资源开发利用现状与需求

1.1　城镇地下空间资源开发利用现状

我国地下空间开发利用规模发展呈快速增长态势，跻身全球地下空间开发利用大国行列[6]。2020年，我国城镇地下空间累计建设24亿m²[7]。我国城镇地下空间利用的深度已达地表以下50 m，局部特大工程深入地表以下70 m[8]。北京、上海等一线城市，地下空间开发规模和发展速度领先，开发利用深度地表30 m以内空间趋于饱和，并向地表30 m以下的深层次发展；南京、武汉、青岛、郑州等新一线城市地下空

收稿日期：2022-11-08。
项目来源：宁波市科技局软科学研究计划资助项目（2022R008）；浙江省自然资源厅2021年度科技项目；自然资源调查监测司自然资源调查监测技术体系构建第一批试点工作。
第一作者简介：李璐（1990—），硕士研究生，工程师，主要从事自然资源和规划调查监测、城市地下空间调查监测、地理信息服务与应用工作，E-mail：489559792@qq.com。
通信作者：林昀（1984—），硕士研究生，高级工程师，注册测绘师，从事自然资源和规划调查监测、城市地下空间管理、数字孪生城市空间底座建设等工作，E-mail：313343295@qq.com。

间开发类型从基础功能导向型逐渐转向地下轨道交通导向型发展模式；广州、深圳等城市随着轨道交通网的逐渐形成，其地下空间开发也进入了网络化开发利用阶段。同时，各大城市地下综合体建筑规模也呈巨大化、特大化发展[9]。社会资源、科创力量和资本市场、政策支撑、规划管理、空间治理水平、市场供需量等因素都是地下空间开发利用快速发展的重要驱动。

1.2　城镇地下空间资源调查监测需求

综合各地发展来看，我国城镇地下空间利用的发展趋于综合化、深层化、人性化、规模网络化。一方面，现有基础数据无法满足地下空间快速建设发展的需要，地下空间闲置浪费、地下空间资源无序开发、利用粗放、职能管理多头或空白、权属不清、确权登记困难等一系列管理问题逐渐暴露。城镇地下空间资源规划、利用、管控，需要清晰完整的地下空间利用现状分布情况；另一方面，城镇地下空间开发利用的快速发展对地质环境精细探测提出了更高要求，需要更高精度、更大深度和更全覆盖的地质环境调查监测，包括地层结构、地下水特征、活动断层、特殊岩土、地下岩溶等关键工程地质要素的调查等，为地下工程施工、运营全流程事故灾害的预测、防治提供基础。

2　新时期城镇地下空间资源调查监测总体思路

根据《技术体系》自然资源统一调查监测顶层架构，地下空间资源、城镇土地空间分别是专项调查监测和城镇国土空间调查监测的组成部分（图1）。

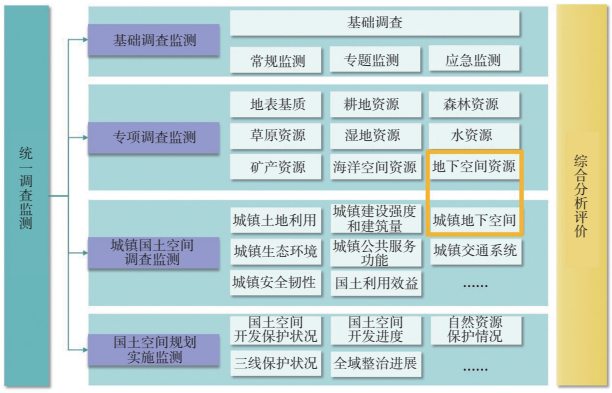


图1　自然资源调查监测技术体系总体架构

2.1　城镇地下空间资源调查监测对象

遵循自然资源在同一平面位置上立体空间分布的客观规律，城镇地下空间资源调查监测将自然地下空间资源和人工地下空间资源2类对象共同考虑[10]。按照“横向分类、纵向分层”原则，准确调查监测每个自然资源体和人工设施体的空间分布现状。

1）自然地下空间资源调查对象主要为地质、地下水等构成人工地下空间的地质环境背景，包含地表基质层，并向地底延伸。内容主要包括地形地貌、基础地质、工程地质、水文地质、填土软土等环境条件，以及地面沉降等对工程可能造成危害的不良地质作用。

2）人工地下空间调查的对象主要为地下建（构）筑物、地下管线等人工设施，内容主要为地下建（构）筑物和地下管线的空间信息及用途、功能、形式、权属等管理属性信息。

2.2　城镇地下空间资源调查监测分层

按照自然资源分层分类模型，结合地方市区地下空间专项规划和岩土工程勘察相关要求，城镇地下空间资源宜按照三维空间分层：地下0~15 m为浅层、地下15~30 m为中层、地下30~60 m以下为次深层，地下60 m以下为大深层，同时地下0~5 m为浅表层。本研究深度范围为地下0~120 m以内。城镇地下空间调查监测的分层，有利于纵向空间不同层次的利用规模、强度分析、环境适宜性评价、分层设权和规划分层管控。

2.3　城镇地下空间资源调查监测分类

自然地下空间资源分类方式参照现行地方岩土工程勘察行业标准规范要求执行，按照年代、层组、岩性划分。人工地下空间资源分类主要参照《国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南（试行）》（以下简称《用地用海分类》），按照用途划分[11]。针对现有地上用地类型不能满足当前城镇地下空间实际用途的情况，基于《用地用海分类》进行扩充细化，形成7个二级类和9个三级类。

人工地下空间资源分类需考虑地下空间国有建设用地管理方式，结合地上空间的建造形式和用途性质具体判断[12]。依法出让的国有建设用地的地下空间通常以结建形式建造为主，主要承载停车场、设备、商业等功能，地上地下用途一致，可根据所在地块的土地利用性质、规划审批、不动产登记等信息判断人工地下空间资源类型。以划拨方式出让的国有建设用地，道路、广场、绿地等公共开敞空间的地下空间，以地下单建形式建造为主，主要为地下轨道交通场站和区间、地下人行通道、地下综合管廊、地下管线等基础设施，地下与地上空间用途不同，根据住建、轨道交通等主管部门（单位）提供资料判断人工地下空间资源类型。

3 城镇地下空间资源调查监测技术框架

基于自然资源统一调查监测顶层设计的城镇地下空间资源调查监测技术体系主要由“地下快眼”协同式数据获取、多源多模态信息高效处理、数字孪生表达与精细化场景管理、智能化知识服务4个关联部分组成，根据相关技术规程、数据规定和指标体系，为建设选址、地下空间专项规划、地质灾害防治、地下空间分层设权、城市运行安全等工作提供全方位支撑。

3.1 “地下快眼”协同式数据获取

以历史档案资料为基础，结合全域变化监测和“多测合一”综合测绘改革，利用3D SLAM（同步定位与制图）移动空间信息采集、互联网大数据泛在信息发现采集、遥感智能解译等方法，形成“地下快眼”协同式数据获取技术，实现城镇地下空间从规划、设计、建设、运营、拆除，再利用的全程监测和精准观测。

“地下快眼”协同式数据获取在以上调查监测路径基础上，需获取自然和人工地下三维立体地层、设施的准确空间信息和属性信息，还需涵盖地质探测和人工地下空间测量技术作为数据获取体系的重要组成。

3.2 多源多模态信息高效率处理

面向多源城镇地下空间数据格式、精度、时态不一等特征，在多源档案资料融合的基础上，结合广域时间序列影像目标识别、大数据清洗分析、3DSLAM点云处理技术等技术，构建多源多模态信息高效处理技术，实现城镇地下空间数据“一数一策”和智能高效融合处理。

对获取的档案资料、“多测合一”报建资料，按照“评估-矢量化-配准-提取”流程进行统一预处理。针对提取的地质调查、地质钻孔位置、深度、岩性、成因、地层年代等信息，通过标准化转换和分层分区插值法拟合，结合数字地表高程模型（DEM）、地面沉降监测成果构建模型，形成自然地下空间资源二三维数据成果。针对人工地下空间，通过多源异构数据治理融合，解决信息缺失、重复、矛盾和空间拓扑问题，实现地下轨道交通、地下停车场、地下商业、地下人防、地下附属设施等人工地下空间的平面位置、高程、楼层等空间信息与用途、功能、权属、建造方式、经营性质等属性的分层分类组织入库，通过自动化建模等方法，形成与二三维互相映射的人工地下空间资源数据。

利用广域时间序列影像目标识别技术、互联网大数据清洗挖掘技术，检测发现工程项目开挖目标，识别分析新建设和新连通人工地下空间及其功能用途。实地调查数据是补充资料缺失的准确数据来源，也是变化监测发现后续步骤。利用三维激光点云数据处理技术，对实地采集的激光点云数据进行自动化拼接配准、坐标系转换、降噪与抽稀，分层分块处理形成空间数据，结合实地人工判读、问询、照片采集、专家分析等方式获得属性信息，监测信息处理建模建库后，进一步融合衔接形成全空间全要素城镇地下空间资源底图。

3.3 精细化管理场景

位于地表以下的城镇地下空间难以在二维平面直观展示管理。以实景三维为地理空间基底，结合数字孪生底座和自然资源立体时空数据库，研究在三维场景下地上地下全空间全要素融合表达和精细化管理场景构建。基于构建自然地下空间三维模型、人工地下空间三维模型，研发一系列三维体布尔运算工具，利用二三维一体化集成、BIM、LOD等技术，实现地质环境、地下管线、地下人防设施、地下交通设施、地下商业综合体等地下空间要素三维模型的无缝融合；以项目范围所在地表为基准面，将地上-地表-地下空间要素模型进行锚定和衔接，可叠加规划、土地利用、不动产登记等管理信息，实现地上地下全空间、全要素、全过程信息的映射关联和统一表达，为自然资源和国土空间规划管理提供立体化管理方式和场景。

3.4 需求导向的智能化知识服务

随着城镇地下空间资源调查监测的试点开展和未来全面实施，调查监测成果将从传统的数据信息服务走向知识服务，对提升地上地下空间资源开发利用时空规律认知、支撑规划管控、保障城市运行管理服务有重要意义。通过国土空间基础信息平台和市域空间治理数字化平台等资源共享设施，提供城镇地下空间资源数据共享服务。城镇地下空间开发利用的范围、深度、形式很大程度受到先天的自然地质环境所制约[13]，基于调查监测数据，基于“单一要素-多要素-全局”评价的思路，建立科学的城镇地下空间资源分析评价指标体系，结合城镇地下空间深度模型、城市冰山线、地质环境适宜性等空间分析，开展综合分析和系统评价，掌握地下空间开发利用和自然资源禀赋和潜力，为国土空间科学决策、合理布局、集约节约集约利用和分级、分层、分类管理提供智能化知识支撑。

4　多跨协同实施机制

建立自然资源调查监测和多方面业务的多跨协同机制，有利于推进城镇地下空间资源调查监测技术体系的应用实施。通过宁波市试点技术验证和应用，初步实践了城镇地下空间资源调查监测与城市地质环境监测、“多测合一”综合测绘改革、城市地下市政基础设施普查、新型基础测绘和实景三维建设四方面在数据、技术、业务上的协同，进一步加大城镇地下空间数据、业务统筹力度，促进调查监测信息高效互通共享。

1）与城市地质环境监测协同。紧扣城市运行安全风险防控需求，基于试点区域技术探索成果，共同谋划自然地下空间监测技术标准，开展自然资源和规划、住建、轨道交通等部门建设的地质构造、工程勘察档案、地下水和地面沉降监测网点信息集成共享，不断完善由地质钻孔、地下水监测井、水准网、基岩标与分层标组、InSAR空间观测系统组成的地面沉降综合监测体系，完善城市地质安全风险监测网络。通过城市空间治理数字化平台和应用场景，建立城市地质信息管理服务应用，为宁波城市安全提供全方位地质基础支撑，提升调查监测和地质工作协同支撑服务城市治理体系和治理现代化的能力。

2）与“多测合一”综合测绘改革协同。将人工地下空间调查监测的相关技术标准规程，与“多测合一”综合测绘改革数据标准、技术规程相结合，探索明确工程建设项目规划核实竣工测量中地下空间设施的数学精度、精细度、成果格式等具体技术要求、方法，验证相关技术路线，可进一步补充完善综合测绘地下空间有关内容。

3）与城市地下市政基础设施普查协同。以人工地下空间调查监测技术经验、数据资料融合模式为重要基础，综合住建、综合执法等部门管理需求，制定普查实施方案、技术规程和数据库标准，全面查清建成区范围内公共区域的地下市政基础设施现状，建立城市地下市政基础设施数据库及其动态更新机制，掌握地下市政基础设施基本情况，保障城市安全高效运行。

4）与新型基础测绘和实景三维宁波建设协同。以人工地下空间为核心，与地表宗地–院落实体、地上建筑物–房屋实体相关联，以数字孪生空间底座建设为目标，构建地下设施模型+地上院落、房屋实景三维模型一体化表达、管理、展示方式，逐步建立地下空间实景三维模型建设技术路线和实施统筹协同。

5　结　语

以宁波城镇地下空间调查监测试点工作技术成果和经验为基础，将分散在地质环境、交通、住建、规划、人防等业务部门的自然与人工地下空间相关的调（普）查、监测和管理等资源，由点及面、串联成线，通过深度融合与系统性重塑，提出了市级城镇地下空间资源调查监测技术路径与实施方法，促进建立城镇地下空间资源数据协同共享机制，为各地城镇地下空间全要素统筹调查监测、城市地下空间规划、国土空间监测等工作提供借鉴参考。

参考文献

[1] 陈根良，郭双仁，全思湘，等. 湖南省自然资源调查监测体系构建[J]. 测绘通报，2021(6):139-142

[2] 段松江，肖邓，范文武. 重庆市自然资源变化遥感监测体系构建初探[J]. 地理空间信息，2020，18(7):70-71

[3] 阮明，钱婷. 城市地下空间三维可视化平台研究[J]. 地理空间信息，2020，18(4):34-37

[4] 黄露，王爱华，陈君，等. 自然资源管理中的测绘地理信息技术支撑[J]. 地理空间信息，2020，18(7):114-115

[5] 谢鸣，任建福，李新东，等. 天空地网一体化技术服务自然资源调查监测[J]. 地理空间信息，2022，20(9):32-35

[6] 许杰. 中日地下空间防灾比较研究[J]. 山西建筑，2021，47(18):193-195

[7] 中国工程院战略咨询中心，中国岩石力学与工程学会地下空间分会，中国城市规划学会. 2021中国城市地下空间发展蓝皮书(公共版)[R/OL]. (2021-12-26)[2022-11-08]. http://www.planning.org.cn/news/view?id=12092

[8] 赵镨，姜杰，王秀荣. 城市地下空间探测关键技术及发展趋势[J]. 中国煤炭地质，2017，29(9):61-66

[9] 程光华，王睿，赵牧华，等. 国内城市地下空间开发利用现状与发展趋势[J]. 地学前缘，2019，40(3):226-233

[10] 李相然. 城市地下空间资源的类型与特点[J]. 自然资源学报，1996，11(2):193-195

[11] 自然资源部办公厅. 国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南(试行)[EB/OL]. (2020-11-17)[2022-11-08]. http://wwwgovcn/zhengce/zhengceku/2020-11/22/content_5563311.htm

[12] 史平平，张军连，杨燕敏. 我国城市地上地下土地权利的设立:以中关村西区为例[J]. 自然资源学报，2010，25(10):1 639-1 648

[13] 赵团芝，侯艳声，胡新锋. 宁波市地下空间开发利用地质环境适宜性评价[J]. 城市地质，2016，11(4):88-93