

城市地下空间地质调查与矿产资源潜力综合评价

尤作军

临沂市自然资源开发服务中心 山东临沂 276000

DOI:10.12238/ems.v7i6.13814

[摘要] 城市地下空间开发利用是缓解土地资源紧张的重要途径,对城市地下空间地质调查和矿产资源潜力进行综合评价具有重要意义。通过对城市地下空间地质构造、岩土性质、水文地质条件进行系统调查,结合地球物理探测、钻探取样等手段,深入分析地下空间分布特征。采用地质信息系统和三维建模技术,构建城市地下空间地质模型,评估地下矿产资源储量与分布。运用多因素分析方法,对城市地下空间适宜性和矿产资源开发潜力进行分区评价,为城市地下空间规划和矿产资源合理开发提供科学依据。

[关键词] 地下空间地质; 矿产资源评价; 地质信息系统; 地球物理探测

随着城市化进程加快,地面空间资源日益紧张,充分利用地下空间成为城市发展的必然趋势。城市地下空间开发涉及地质条件、工程特性、资源分布等多个方面,需要通过系统的地质调查和综合评价,准确掌握地下空间结构和矿产资源分布特征。基于地球物理勘探、钻探取样等技术手段,采集地质信息数据,运用现代地质信息系统和三维建模技术,构建地下空间地质模型。通过多因素综合分析,评估地下空间适宜性和矿产资源开发潜力,为城市地下空间合理开发和矿产资源利用提供科学指导。

一、城市地下空间地质调查方法与技术

(一) 地质调查基本方法

地质调查基本方法主要包含野外地质调查和钻探取样两大类。野外地质调查需对城市地下空间进行实地踏勘,采集地层岩性、地质构造、地貌特征等基础数据。调查过程应用大比例尺地形图和卫星遥感影像,标注地质露头位置及地貌单元分布。钻探取样工作主要采用回转钻进方式,钻孔深度一般为50至300m,钻孔间距根据勘探区地质条件确定,一般为100至500m。岩心取样采用单动双管、三重管取样器,岩心采取率应达到85%以上。对采集的岩心样品进行详细编录,记录岩性特征、结构构造、岩层产状等信息。同时,在钻探过程中进行地层对比和地质剖面编制,为后续地质分析提供基础资料。样品采集完成后,送专业实验室进行物理力学性质试验和岩矿鉴定分析,获取岩土参数和矿物成分数据^[1]。

(二) 地球物理探测技术应用

地球物理探测技术在城市地下空间调查中发挥重要作用,常用的探测方法包括地震勘探、电法勘探和重力勘探。地震勘探采用人工地震波,通过检波器接收地层反射波和折射波,分析波形特征确定地下介质结构和物性参数,地震剖面分辨率可达5至10m,探测深度可达1000m。电法勘探利用地下介质电性差异,采用高密度电法和可控源音频大地电磁深探测技术,获取地下电性结构和分层信息。重力勘探基于不同岩层密度差异,采用高精度重力仪测量重力异常,分析地下密度结构和构造断裂带。地球物理综合勘探测线间距为50至200m,探测深度覆盖目标地层。探测数据采用多道叠加和三维成像技术进行处理,生成地下空间结构剖面和三维地质模型,为地质解译和评价提供依据。

二、地下空间地质特征与矿产资源分布

(一) 地质构造与岩土性质

城市地下空间地质构造主要受区域构造格局控制以褶皱和断裂构造为主。断裂构造形成于不同地质时期,规模和性质各异,主要发育张性断裂和压扭性断裂。褶皱构造多呈复

式背斜和向斜,轴向总体呈北东至南西走向,褶皱翼部倾角20至45度。岩土性质方面,地表覆盖层以第四系松散沉积物为主,包括冲积层、洪积层和残积层,厚度2至20m不等。基岩主要为沉积岩和变质岩,沉积岩以砂岩、页岩和灰岩为主,变质岩则以片岩和片麻岩为主,岩石强度随深度增加而提高,浅部风化带厚度一般为10至30m。岩土工程特性表现为上软下硬的分层结构,软土层以粘性土和粉土为主,天然孔隙比0.8至1.2,压缩模量4至8MPa,承载力120至180kPa。基岩层单轴抗压强度在30至80MPa之间,弹性模量8至25GPa,泊松比0.2至0.3,具有较好的承载性能^[2]。

(二) 水文地质条件分析

城市地下水系统由潜水和承压水组成,具有多含水层结构特征。潜水主要赋存于第四系松散层中,含水层厚度5至15m,水位埋深2至8m,单井出水量100至500m³/d。承压水主要赋存于基岩裂隙和岩溶发育带中,含水层厚度20至50m,水位埋深30至80m,单井出水量500至2000m³/d。地下水补给来源包括大气降水入渗、地表水体渗漏和侧向径流补给,地下水动态受季节性变化影响明显,丰水期水位上升幅度1至3m。水质类型以重碳酸钙型为主,矿化度0.5至1.5g/L, pH值7.2至7.8。地下水化学特征表现为垂向分带性,浅层地下水易受人类活动影响,深层地下水水质相对稳定。地下水运移规律受地质构造和地形条件控制,总体由高地势向低洼地带运移,径流模数2至5L/s·km²。

(三) 地下空间分布特征

城市地下空间在垂直方向上具有明显的分层特征,依据深度可划分为浅层、中层和深层三个区域。浅层地下空间位于地表至20m深度范围,主要为第四系松散层,发育孔隙和裂隙结构,空间连通性较好。中层地下空间位于20至100m深度范围,岩性以变质岩和沉积岩为主,局部发育岩溶和裂隙构造,形成天然溶洞和裂隙发育带。深层地下空间位于100m以下,岩体完整性好,裂隙发育程度减弱,空间分布较为均匀。在平面分布上,地下空间受地质构造控制明显,断裂带和褶皱构造形成天然的空间分隔带,造成地下空间分布不均匀性。岩溶区地下空间发育程度较高,溶洞和溶蚀裂隙密集分布,单体溶洞体积可达数千立方米。基岩区地下空间以构造裂隙为主,裂隙密度随深度增加呈递减趋势,裂隙宽度一般为0.1至5mm。

(四) 矿产资源类型识别

城市地下空间蕴藏多种类型矿产资源,按成因类型可分为沉积型、岩浆型和变质型。沉积型矿产以煤炭、石灰岩和砂石料为主,呈层状或透镜状分布,矿体厚度变化较小。煤层倾向15至40度,单层厚度0.8至3m,灰分15至35%,

发热量 20 至 26MJ/kg。石灰岩矿体呈似层状产出, 厚度 30 至 80m, CaCO_3 含量 85 至 95%。岩浆型矿产主要为花岗岩、玄武岩等建筑用石材, 矿体呈岩株状或岩床状产出, 岩石致密性好, 抗压强度 120 至 180MPa。变质型矿产以大理岩和片麻岩为主, 矿体呈层状或似层状, 具有较好的物理力学性质, 适合作为建筑装饰材料^[3]。

(五) 矿产资源赋存规律

矿产资源赋存规律受地质构造演化和成矿条件控制, 表现出明显的空间分带性和构造控制性。在垂直方向上, 浅部以非金属矿产为主, 中深部则主要为能源矿产和金属矿产。构造控制作用主要表现在断裂带和褶皱构造对矿体形态和产状的影响, 大型断裂带往往是重要的成矿带。成矿时代主要集中在古生代至中生代, 部分非金属矿产形成于新生代。矿体规模具有分级性, 大型矿体多分布在主要构造部位, 小型矿体则分散分布在次级构造带。矿产共生组合具有区域性特征, 煤系地层常伴生优质粘土和铝土矿, 岩浆岩体边部常发育各类非金属矿产。成矿深度从地表延伸至数百米, 随深度增加矿石品位和矿体规模总体呈递减趋势。

三、地下空间与矿产资源潜力评价

(一) 地质信息系统构建

地质信息系统构建以地质调查数据为基础, 采用 GIS 技术建立空间数据库。数据库包含地层信息、构造信息、岩性信息、水文地质信息和矿产资源信息等多个子系统。地层信息记录地层层序、岩性组合和地层界面特征, 构造信息包括断裂、褶皱等构造要素的空间展布和几何参数。岩性信息记录岩石类型、结构构造和物理力学性质, 水文地质信息包括含水层分布、地下水位和水质特征, 矿产资源信息记录矿体位置、规模、品位和开采条件。数据格式采用矢量数据和栅格数据相结合的方式, 矢量数据用于表达地质边界和构造线, 栅格数据用于表达连续变化的地质要素。数据分辨率根据调查精度确定, 一般采用 1:5000 至 1:10000 比例尺。系统采用分层管理模式, 实现地质信息的分类存储和快速检索, 支持数据的实时更新和动态维护^[4]。

(二) 三维地质模型建立

三维地质模型建立采用地质建模软件, 将地质信息系统中的二维数据转化为三维空间实体, 建模过程采用多源数据融合方法, 整合钻探、物探和地质调查数据。地层建模采用界面法, 根据钻孔揭露和地球物理解译结果确定关键层位, 运用三角网格和 NURBS 曲面构建地层界面。构造建模采用断层网络法, 将主要断层作为骨架构建断层格架, 次级断层和褶皱构造作为约束条件进行局部调整。岩体建模采用体素法, 将研究区划分为规则网格单元, 每个单元赋予岩性属性和物性参数。模型分辨率随深度逐级降低, 浅部网格尺寸 5 至 10m, 深部网格尺寸 20 至 50m。模型精度采用交叉验证方法评估, 关键层位误差控制在调查精度范围内, 模型具有可视化 and 属性查询功能, 支持任意剖面切割和体积计算。

(三) 地下空间适宜性评价

地下空间适宜性评价基于多因素分析方法, 将岩土工程条件、水文地质条件、地质构造稳定性作为主要评价指标。岩土工程条件评价包括岩土强度、变形特性和稳定性分析, 采用工程地质分级方法, 将地下空间划分为适宜、较适宜和不适宜三个等级。适宜区岩体完整、强度高, 岩体基本质量等级 I 至 II 级, 地基承载力大于 300kPa。较适宜区岩体较破碎, 岩体基本质量等级 III 级, 地基承载力 150 至 300kPa。不适宜区发育软弱夹层或溶洞, 岩体基本质量等级 IV 至 V 级,

地基承载力小于 150kPa。水文地质条件评价重点考虑地下水对工程的影响, 涌水量小于 100m³/d 的区域适宜开发, 涌水量 100 至 500m³/d 的区域较适宜开发, 涌水量大于 500m³/d 的区域不适宜开发。

(四) 矿产资源储量估算

矿产资源储量估算采用地质块段法, 依据钻探工程控制范围划分地质块段。矿体边界根据工业指标圈定, 采用最小可采厚度和夹石剔除厚度作为圈定标准。矿石品位采用克里格法进行空间插值, 计算各块段平均品位, 体重采用实测数据确定, 未测区域采用类比法估算。可靠程度分级采用控制程度和工程间距指标, 勘探线间距 100 至 200m 为探明储量, 200 至 400m 为控制储量, 400 至 800m 为推断储量。储量计算采用断面法和水平投影法, 各块段储量采用面积乘厚度乘体重方法计算。储量可靠性采用变异系数评价, 变异系数小于 40% 为可信储量, 40 至 80% 为较可信储量, 大于 80% 为低可信储量^[5]。

(五) 开发潜力分区评价

开发潜力分区评价综合考虑地质条件、资源储量和开发条件三个方面因素。地质条件评价包括构造稳定性、岩层产状和地下水活动性, 将研究区划分为地质条件好、中等和差三类区域。资源储量评价依据矿体规模和品位指标, 储量规模大于 1000 万吨且品位达到工业指标要求的区域划为高潜力区, 储量规模 500 至 1000 万吨的区域划为中等潜力区, 储量规模小于 500 万吨的区域划为低潜力区。开发条件评价主要考虑埋藏深度、水文地质条件和工程地质条件, 埋深小于 200m、地质条件稳定的区域具有较好的开发潜力。最终将评价区域划分为高潜力区、中等潜力区和低潜力区三个级别, 为地下空间开发和矿产资源利用提供分区指导。

四、结语

通过系统的城市地下空间地质调查, 采用地球物理探测、钻探取样等多种手段, 全面掌握地下空间地质特征和矿产资源分布规律。基于地质信息系统和三维建模技术, 构建城市地下空间地质模型, 对地下空间适宜性和矿产资源开发潜力进行综合评价。研究成果为城市地下空间开发和矿产资源合理利用提供重要参考, 对促进城市空间资源高效利用具有重要的现实意义。

[参考文献]

- [1] 唐鑫, 龚绪龙, 许书刚, 等. 苏南都市圈城市地下空间资源开发利用现状与地质调查对策[J]. 地质论评, 2022, 68 (02): 593-605.
 - [2] 刘婷, 王寒梅, 史玉金, 等. 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[J]. 地质论评, 2024, 70 (S01): 335-336.
 - [3] 张茂省, 董英, 孙萍萍, 等. 城乡融合与地上地下空间协同探测评价的理论与方法——以关中平原城市地质调查评价为例[J]. 西北地质, 2023, 56 (03): 153-168.
 - [4] 张培兴, 韩健健, 靳天禄, 等. 综合地质与经济因素的城市地下空间开发潜力探析[J]. 价值工程, 2025, 44 (02): 80-82.
 - [5] 彭红明, 刘长礼, 袁有靖, 等. 高寒峡谷城市地下空间资源评价及利用方略[J]. 地下空间与工程学报, 2024, 20 (06): 1778-1789+1797.
- 作者简介: 尤作军 (1989.05-), 男, 汉族, 山东临沂人, 硕士, 自然科学研究助理研究员, 研究方向: 地质勘查。