

地下资源环境三维模型支撑城市空间大数据

王纯君¹ 何静¹ 刘予¹ 高莉¹ 周圆心¹ 何晗晗¹

李瑞杰¹ 韩子金¹ 李晋阳¹ 郭莉¹ 宋国玺²

1. 北京市地质调查研究所; 2. 北京超维创想信息技术有限公司

摘要:长期的传统地质调查工作我们已经积累了大量的基础地质、水文地质、工程地质、资源环境等地质资料数据。根据地质数据的特点和地质工作的需要研究和开发利用地质大数据是未来智慧地质发展的必经之路,也是大数据时代智慧城市的重要组成部分。如何将传统的地质资料转化为可视化的地质模型支撑城市空间大数据建设显得尤为重要。本文基于通州区城市地下资源环境三维模型建设成果介绍,将钻孔数据、剖面数据、测量数据等不同形式地质数据转化为三维可视化地质模型,并进一步探讨地下地质三维模型与地表三维实景模型的一体化应用前景,如何为保障城市地质安全、合理开发利用地质资源、科学保护地质环境、完善城市空间布局提供服务,分析地下资源环境三维数据如何支撑城市空间大数据建设。地质学与大数据的结合不仅极大拓展了地质学的认知空间,迎来了地质学的全新发展,同时也是城市空间大数据的重要组成部分,必将为城市规划建设注入新的活力。

关键词:地下资源环境; 三维建模; 智慧地质; 地上地下一体化; 城市空间大数据; 城市地质安全

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.11.043

引言

随着城市化进程加快,城市空间需求呈几何式增长,地面和地上空间开发利用日趋饱和,环境污染、交通拥堵等城市病日渐显现,向地下要地开发地下空间成为趋势,地下与地上三维一体化成为城市规划建设的新方向。地下空间开发首先涉及地质条件问题,地下资源环境决定了地下空间开发的难易程度与方式。弄清掌握城市地下资源环境现状不仅可以提高土地利用效率与承载力,更能从深部探索城市规划的思路。地下资源环境三维模型作为实现智慧地质的重要手段,同时作为城市空间大数据的必要组成部分,将成为建设资源节约型、环境友好型智慧城市的重要保障。

一、地下资源环境

地下资源即地质作用形成的、赋存于地表以下的、除地热和浅层地下水以外的金属和非金属矿产、地下水、地热等各种自然资源,绝大多数为不可再生资源,其数量随开发利用而逐渐枯竭^[1]。地下资源既包括当前经济技术条件下可以开发利用的物质,也包括具有潜在开发价值的物质。地下资源及其所处的地质环境即地下资源环境。

地下资源是不可或缺的物质生产资料,对生产力布局具重大作用和影响,一个国家蕴藏的地下资源数量多寡,很大程度上影响其经济发展状况。地下资源的开发利用活动是在地质环境中进行的,因此地质环境的状况对开发利用活动有制约作用,同样开发利用活动一定会造成地质环境的改变^[2]。不科学的开发利用会对地下资源环境造成严重污染破坏,由于地下资源环境的复杂性及不可逆性有时很难甚至是无法修复的。不合理的开发利用以及对地下资源开发的地质环境效应和地质安全监测认识不足导致的水土污染、地裂缝、地面塌陷、地面沉降等使人民群众的生命财产安全面临严重威胁。这就要求我们在开发利用地下资源时准确把握地下资源环境变化状态。

三维建模是当前展示分析与监测地下资源环境的一项综合性技术手段。城市的三维空间结构研究必须走在城市规划建设的前面,只有城市空间结构细化了,才能更好的细化治理与服务。城市空间的综合开发利用,必须从形成合理的城市空间结构出发,随着首都经济的不断发展对科学开发与高效利用地下空间资源提出了迫切需求。

二、空间大数据

21世纪以来,随着地球信息探测技术的日新月异,获取数据的能力不断提高,积累的地球观测数据呈指数级增长,预计到2020年全球数据总量将达到40ZB。大数据研究已成为继实验、推理和传统计算科学之后的新科学范式,大数据的发展与应用将极大助力学术研究的突破和文化经济等各领域的发展并有助于提升各种预测能力。

长期的传统地质调查工作我们已经积累了大量的基础地质、水文地质、工程地质、资源环境等地质资料数据。不同于一般意义的大数据来源不稳定,地质大数据是具有稳定专业来源的海量数据,但是由于地质研究的时空性与复杂性,这些数据一般是以不同专业不同形式相对独立存在的,具有混合性、抽样性、因果性、多时相、多尺度、时空性、多态性和多源性等特点。只有运用大数据手段将这些海量数据进行整合分析才能发挥其最大潜力,将这些多源大量的扁平化二维分散数据转化为三维空间大数据,进而一目了然甚至是实时动态监测城市地质状况,科学确定城市资源环境承载力,保障城市地质安全。

地质大数据的开发利用应以建立“数据库”“模型

库”和“方法库”为目标。以便有针对性地做到获取、分析、研究和应用地质大数据，使地质研究由定性向定量转变。地质学与大数据的结合不仅极大拓展了地质学的认知空间，迎来了地质学的全新发展，同时为地质学支撑的能源矿产调查、工程建设、环境资源合理利用以及防灾减灾等社会生产和公共服务提供了创新活力，是城市空间大数据的重要组成部分，必将为城市规划建设注入新的活力。

三、三维建模

所谓三维地质建模即运用计算机技术将地质学与大数据相结合，用于地质研究的一门新技术。将地学统计、地质解译、空间分析和预测、实体内容分析、空间信息管理以及图形可视化等工具在三维环境下结合起来。三维地质模型由三维地质结构模型和三维地质属性模型组成，主要是对地表及地下地层和地质构造的三维表达，并在相应的空间位置赋予地质属性信息。

目前我国地下三维建模主要集中在大中城市，且以50m内浅层为主，30m以浅为重点开发对象。北京是国内最早开展地质三维模型建设的城市之一，近几年开展了“北京市城市地下空间资源调查评价及关键技术研究”“北京市城市地下资源环境三维模型建设（通州区）”等项目，搭建了北京五环地区（750km²）的三维地质模型和通州区城市地下资源环境三维模型，其中通州区城市地下资源环境三维模型包含工程层三维模型、砂土液化三维模型、地下空间三维模型、地下水模型、地下水质量三维模型、地面沉降三维模型、浅表层（地表以下20cm范围）土壤地球化学模型、浅层地温能三维模型8套专业三维模型。

四、地下资源环境三维模型可支撑城市空间大数据建设

地下资源环境三维模型具有确定的时间和空间属性，作为构成城市空间大数据的重要部分，可以通过统一的城市空间大数据服务平台为城市规划建设、资源管理以及应急管理等部门提供必要的基础数据支撑（图1），快速直观展现工程建设层条件、地下水环境、地面沉降、土壤地球化学质量等基础地质环境，以及地下空间资源、地下水资源、浅层地温能等地下资源。

五、地下资源环境三维地质模型实例及用途

（一）通州区地下资源环境三维地质模型概况

通州区作为北京市第一个建成城市地下资源环境三维结构模型的地区，运用Creatar三维建模软件立体、清晰地展示出通州区工程建设层、砂土液化、地下空间资源、地下水资源、地下水质量、地面沉降、土壤地球化学等相关信息的空间分布。在保障城市地质安全、合理开发利用地质资源、科学保护地质环境、完善城市空间布局提供服务，分析地下资源环境三维数据如何支撑城市空间大数据建设方面积累了宝贵经验，同时为地下

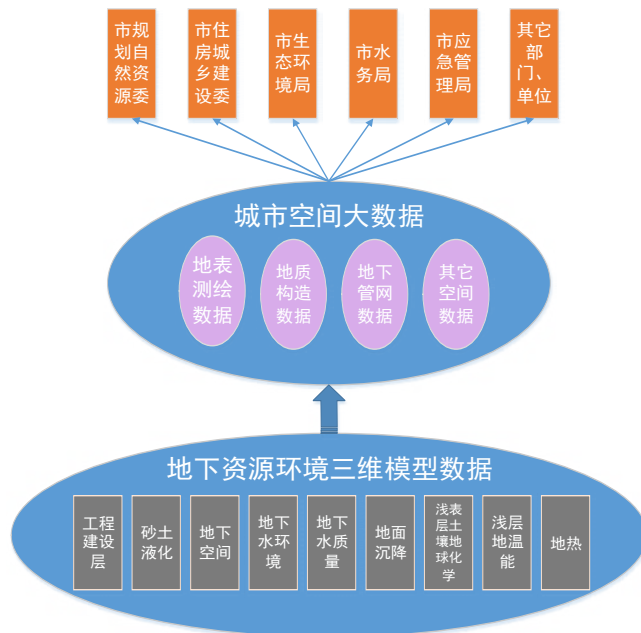


图1 数据支撑体系图

地质三维模型与地表三维实景模型的一体化应用前景提供了可能。

（二）工程建设层三维模型

通过收集整理通州区重要工程钻孔1515个，绘制出77条横纵向标准地质剖面，建立了通州全区与核心区浅部（50m以浅）松散层的三维地质模型。可形象展示区内浅部地层的空间分布及各层力学参数特征，也可实现诸如地层剖面等地质结构的查询，岩土层比重、密度、天然孔隙比等属性参数值的导出。

该三维模型的建立，以三维角度分析、评价和研究了50m以浅工程层地层结构、物理力学性质，对土体压缩模量进行了分区评价，可为修建建筑的高度以及桩基类型提供地学建议，为城市规划、建设管理和预测工程建设与地质环境的相互影响等提供技术支持。

（三）砂土液化三维模型

通州地区不同等级液化区整体上呈北西南东向展布，液化层液化体主要岩性为砂和粉土，液化层主体为粉砂、细砂、中砂，其次为粉土、砂质粉土、黏质粉土，砂液化层（体）分布范围比粉土液化层（体）广，液化厚度也更厚。通过对1145个工程钻孔液化数据的判别分析，按照钻孔建模方法，在准确无误的地层界面基础上，根据地层沉积韵律，通过不断的细化、分析和调整，最终完成如所示的砂土液化三维结构模型。

建设部门可依据此砂土液化等级分区图和砂土液化三维模型了解通州不同地方的砂土液化条件，为工程建设规划提供工程地质依据。

（四）地下空间资源三维模型

按照地下空间资源开发利用层次及地质结构分层特

点,依次对地下0-10m、10-17m、17-25m、25-30m、30-40m和40-50m六个层次进行综合评价,划分出地下空间资源质量等级,同时将地下空间开发利用影响较大的断裂因素纳入评价体系中,建立了地下空间三维模型。

地下空间地质适宜性综合评价成果的三维可视化,能够清晰展示地下空间开发利用的空间分布及断裂影响带范围,可为城市规划提供地下空间开发范围和资源量等相关地学信息。从本模型成果看,通州区80%以上区域,地下空间资源质量等级都为一级,适宜开展地下空间资源开发利用,但是在重大工程规划建设时应避让或采取工程措施以减少断裂上下两盘的运动而造成水平及垂直位移带来的影响,同时地下0-10m深度范围进行地下空间资源开发利用还需要注意新近系沉积土的影响。

(五) 地下水资源三维模型

为方便相关部门对通州区地下水资源的综合管理,需建立更加有效、快捷、方便的地下水三维可视化模型,可用于钻孔、地层、含水层、地下水流场、地下水资源等数据的查询和管理。

第一含水层组底板埋深基本上在40-50m左右,第二含水层组底板深度80-100m,第三含水层组底板埋深150-180m,第四含水层组底界埋深在300m,局部地区在700m左右。根据水文地质条件和前人工作,给出了水文地质参数分区,为建立水文地质数值模型奠定了基础。

从本模型成果看出,通州区第四系地下水总体为严重超采,已经形成大范围的降落漏斗,并引发了较严重的地面沉降问题,建议限制开采,而岩溶地下水有较为丰富的水资源储量,可进行合理开采来缓解通州区第四系地下水超采情况。本模型可为相关部门合理开采利用通州区地下水资源提供必要数据支撑,形象展示地下水资源现状。

(六) 地下水质量三维模型

根据地下水水质、地下水污染评价成果分区范围,用地下水层位模型进行分割,分别建立了通州区地下水水质、地下水污染三维模型,形象展示了通州区地下水质量的分布特征。四个含水层组中由上至下水质逐渐向好,其中第四含水层组的水质最好,未出现超标区。

从本模型成果看出,通州大部分地区第一、二含水层地下水以Ⅳ类水为主,可用于农业灌溉以及部分工业用水;通州大部分地区第三、四含水层地下水以Ⅲ类水和Ⅱ类水为主,适用于生活饮用。本模型可为相关部门科学利用分层地下水提供数据支撑,禁止混层取水,减少浅层地下水对深层地下水的污染。

(七) 地面沉降三维模型

以地下水模型为基础,结合地面沉降数据,建立了通州区地面沉降三维可视化模型,可实现查询地面沉降相关数据的查询。

通过此模型展现的地面沉降发展现状,可为重大工

程尤其是线性工程的选址提供基础地学参考,重点开展地面沉降对工程影响的勘察与研究,提高防控设计指标,并在运营维护阶段实施相应的监测措施。

(八) 土壤地球化学三维模型

针对不同土地利用类型土壤环境质量进行等级评价,将评价结果数据赋值到地理图斑要素,建立表层土壤地球化学三维模型实现三维可视化。通州区土壤环境综合质量总体为一级,在局部地区存在土壤环境综合质量为三级和四级污染情况。

依据通州区表层土壤地球化学三维模型,可为土地资源合理利用及生态环境保护等提供依据,在土地利用规划前对规划用地的适宜性进行评估,企业用地尽量远离周围土地利用类型为水田、旱地、水浇地等种植农作物的土地,对土壤污染地块进行土壤环境监测和农产品协同监测。

(九) 浅层地温能资源三维模型

利用水文地质资料数据和浅层地温能动态监测数据,对通州区浅层地温能进行静态储量评价、可开采资源量评价,并建立了通州区浅层地温能三维可视化模型。通州区大部分地区是地理管地热泵条件适宜区,各乡镇浅层地温能静态储量、可利用资源量较丰富。

依据通州区浅层地温能三维可视化模型,可查询各乡镇浅层地温能的开采资源量和静态储量,以及展现浅层地温能的空间分布,能够规划部门科学部署浅层地温能资源科学开发利用提供基础参考数据。

结束语

1. 运用计算机大数据手段把地下资源环境三维模型数据纳入城市空间大数据的管理体系,建设成为一种持久且动态更新的数据源,将有效辅助城市建设运行的全方位一体化管理,为城市规划建设注入新的活力。

2. 城市地下资源环境三维模型的建设,可以为城市合理开发利用地质资源、完善城市空间布局、科学保护地质环境提供基础数据。建议在北京全市范围内持续开展地下资源环境三维模型的建设,提供覆盖面更全的基础数据。

3. 运用三维建模技术搭建的地下资源环境三维模型,立体、清晰地展示出工程建设层、砂土液化、地下空间资源、地下水资源、地下水质量、地面沉降、土壤地球化学等相关信息的空间分布,同时融合了专业应用分析评价成果信息,实现了对空间中任意位置地质属性信息的快捷查询。

参考文献

- [1] 于光远, 经济大辞典[M]. 上海辞书出版社, 1992, 1.
- [2] 蔡向民, 何静, 白凌燕, 刘鸿. 北京市地下空间资源开发利用规划的地质问题[J]. 地下空间与工程学, 2010, 6(6): 1105-1111.