

新质生产力视角下的城市地下空间发展机遇与展望

周启暄^{1*}, 何 慧¹, 王 潇¹

(1.中国城市发展规划设计咨询有限公司, 北京市, 100120; *通讯作者, zhouqixuan95029@163.com)

摘 要:随着我国经济由高速增长阶段转向高质量发展阶段, 地下城市空间发展在城乡规划建设中的重要性日益凸显, 短期目标在于“扩容”, 旨在解决地面空间饱和的迫切问题, 长期目标在于“增质”, 旨在实现集约、绿色、智慧型、高韧性的高质量城市。新质生产力是我国现阶段社会经济发展的核心指导思想之一, 具有高科技、高效能和高质量三大内涵。新质生产力发展可以为城市地下空间提出新的有效需求, 同时也为地下空间开发提供高新科技支撑, 二者的协同发展有望催生出全新的未来城市构型, 对我国高质量发展产生积极促进作用。

关键词: 城市地下空间; 新质生产力; 城市规划; 建筑设计

引言

城市地下空间主要指城市中可用的地下空间资源, 包括道路、广场、绿地、水面和一般性建筑等的下方空间, 是重要的国土空间资源。随着我国城镇化率的持续攀升(2024年末已达67%), 城市地面空间开发趋于饱和, 城市承载力面临挑战, 交通拥堵、绿地缩减、碳排放增加、公共设施不足、抗灾能力不足、相关需求下滑等问题日益凸显。以此为背景, 城市地下空间开发旨在寻求空间资源新增量、探索高质量发展新路径, 得到了广泛的重视。

2024年国务院自然资源部明确提出:“推动具备地下空间开发利用自然条件, 且开发利用需求较大、管理水平较高的重点城市地下空间规划体系更加完善, 开发利用政策体系更加完备, 开发利用规模持续扩大, 开发利用过程更加安全, 国土空间保障能力不断提升, 为经济社会高质量发展和高水平安全提供更好的要素保障。”[1]城市地下空间发展的重要意义不仅在于“扩容”, 而且在于“增质”, 是推进中国式现代化、推动高质量发展的有效途径之一。

因地制宜发展新质生产力, 推动科技创新和产业创新融合发展, 塑造发展新动能新优势, 是我国现阶段社会经济发展的核心指导思想之一。新质生产力具有高科技、高效能和高质量三大特征, 通过技术革命性新、生产要素创新性配置、产业深度转型升级, 摆脱传统经济增长方式和生产力发展路径, 从而对高质量发展提供推动力和支撑力[2]。以此为指导思想, 人形机器人、脑机接口、6G通信、量子科技、深海空天开发等一系列新兴领域的发展迅速, 取得了一系列标志性成果。城市地下空间发展也应与新质生产力进行创新性深度融合, 一方面, 新质生产力能够提供城市地下空间发展的新增长点, 形成“新牵引”, 另一方面, 新质生产力能够促进城市地下空间发展走向“高质量”, 二者的协同发展有望催生新产业和新业态。

1. 新质生产力为城市地下空间发展提供“新牵引”

优化土地生产要素高效配置: 优质生产要素的高效率配置是实现生产力跃迁、形成新质生产力的必要条件。土地作为重要生产要素之一, 在新产业发展中扮演不可或缺的角色。地面交通、能源、物流、仓储等基础设施占用了大量的地面空间资源, 且面临拥堵、老旧和低效等问题。地下空间开发可以释放地面空间用于科技、金融等更高附加值的产业, 例如, 北京CBD是中国第一的商务中心区, 2024年其新地块建设规划包括地下5层, 从而将核心区地面空间资源应用于金融与商务等高端产业, 在资本合作、应用场景拓展以及创新科技公司与大公司的对接方面发挥重要作用, 服务于新质生产力的发展投资与业态构建[3-4]。例如, 在河北省辛集申科电子科技园, 地面空间饱和限制了产能扩大和新产线引进, 通过将变电站、重型设备等放置到地下空间, 以及加盖厂房, 获得更多地面空间用于扩大产能、增加产线, 实现“向地上要产能, 向地下要空间”, 使工业用地的容积率从不足1.0提高到2.47, 成为了节约集约用地、推动生产力跃迁的典范[5]。

承载“AI+”新型信息基础设施：人工智能（AI）技术在近十几年飞速发展，信息产业从“互联网+”走向“AI+”，AI成为新质生产力的重要引擎，是未来经济发展的关键驱动力[6]。以ChatGPT和DeepSeek为代表的语言大模型，展示出了“智能涌现”能力，对人机交互、网络搜索、电脑办公、机器人、无人驾驶等众多领域产生革命性影响。常规服务器的算力和数据规模已无法满足现有AI模型的训练和推理，所以需要建立智算中心和数据中心等新型信息基础设施。此类新型信息基础设施具有两个特点：第一，属于高价值设施，具有大量的高性能显卡集群、宝贵的行业数据等，被破坏后造成严重经济损失和安全问题；第二，属于高耗能设施，智算中心被称为“不冒烟的钢厂”，AI计算不仅消耗大量电能，而且会产生大量热量，需要配套散热制冷装置，进一步增加耗电量。将新型信息基础设施建设在城市地下空间，可以保护高价值信息基础设施免于受到自然灾害和人为攻击的破坏。在地下水、山体水、河水或海水等水资源可用的条件下，循环水冷结合地下恒温性可以减少散热制冷系统的能耗。此外，地下信息基础设施所产生的计算余热，可用于提供城市供暖或生活热水。

助力高水平科技创新：科技创新是发展新质生产力的核心要素，是实现生产力跃迁和推动产业创新的“源头活水”。科技创新不仅依赖于密集的高水平科技人才，也依赖于工作环境和设施平台的有力保障。科技人才聚集的“科技高地”，往往位于城市核心地区，经常存在人均办公面积小、配套运动休闲场地匮乏、实验室空间不足、实验环境要求难以满足等问题。这些问题可能导致高科技从业人员的工作环境难以保证其发挥出最佳的创造力和执行力，例如，工位密集可能导致缺少安静独立的思考空间，缺少运动休闲场地可能导致身心状态和工作效率的下降。通过城市地下空间的开发，可以有效提供核心地区的空间增量，既可以通过向地下空间转移从而释放出更多地上办公空间，也可以利用地下空间建设健身房、球场、田径场等运动休闲设施。近年来，人形机器人技术在本体硬件和运动控制上取得重要突破，成为了新质生产力最具代表性的成果之一，但在智能化和自主化方面仍需开展长期研发，地下空间可为人形机器人的自主运行实验提供宽敞和多样化的测试场景，积累大量实际运行的真实数据，加速人形机器人发展。脑机接口是国家重点发展的未来产业，涉及微纳柔性器件和半导体芯片等先进技术，地下空间可用于部署光刻、刻蚀、薄膜沉积、测试与封装等设备，提供超洁净、隔振等高精密制造所需的环境。对于生物医药产业，地下空间也具有密闭性好、污染区可隔离等优势，有利于避免生物样本外泄、实现实验废液和废气的无害化地下处理，利用高度自动化和智能化的样本处理设备，可实现“黑灯实验室”，用于24小时不间断科研实验[7]。

2. 新质生产力为城市地下空间发展提供“新支撑”

探测与调查是城市地下空间开发的先行环节，旨在全面准确获得城市地质水文、市政设施、人防工程和文物分布的现有情况，评估地下空间的承载能力和开发适宜性的指标，为科学开发提供依据。遥感技术可以捕捉大量现有建筑物、道路、管线、绿地、水体等要素，形成多模态海量数据，进一步利用多模态遥感AI基础大模型，可以基于地学知识引导的遥感影像智能解译算法，以及面向遥感基础大模型的地学知识挖掘与推力，可生成城市地下空间可利用资源规模、质量和三维空间布局的详细报告[8]。微重力探测技术可根据地下介质间差异的测量结果来探查城市地下空间的浅部空洞、隧道、管廊、岩溶等构造，具有快速高效、环保绿色、受人文活动干扰小等优势[9]。三维重建技术采用摄像机或激光雷达获取环境外观信息，可通过计算机视觉算法重建出人防工程、隧道灯既有地下空间的高精度静态三维结构，具有效率高、非接触、范围广的优势，测量结果可作为改造和租售的定量依据。

在城市地下空间的规划设计阶段，AI大模型的应用具有很大的拓展空间。当前AI大模型的核心优势是千亿级大规模参数量和海量知识的融会贯通，通过对特定领域知识的微调学习可以形成垂直大模型，结合联网实时搜索功能，可用于资料收集、方案生成、客观评估、数据推演、权属关系界定、多媒体内容生成等规划设计相关任务，帮助城市规划设计人员提高工作效率和质量。具体来说，AI大模型可以挖掘大量城市社会经济、交通运输与地质水文相关的历史数据和实时指标，结合现有政策指导和条件约束，对城市地下空间的承载能力和开发适宜性做出智能评估，自动生成地下空间开发的初步方案，包括开发目标、布局指引、抗灾要求、可持续利用计划等，对开发功能、开发强度、开发深度、开发边界与建设规模做出科学研判和精准配置，对城市地下空间开发利用相关专项规划编制工作起到辅助增强作用。AI大模型与城市信息模型（CIM）集成，城市地下空间形态可以进行量化分析，一定程度上避免人为主观偏好和随意决策[10]。

在城市地下空间的施工建设方面，安全可靠、成本控制和绿色环保是核心考量因素。盾构机是地下施工的典型关键设备，在具有超窄、超深等特点的地下空间开发方面仍面临一定挑战。利用先进AI技术，可以进一步提高盾构机的三维路径姿态精度、掘进参数动态自适应能力，有效预测并降低地面沉降风险[11]。为了践行“绿水青山就是金山银山”理念，应尽量减少原料生产、施工过程和废料处理对环境的消耗和破坏，可采用新型的止水帷幕、全预制地下连续墙、喷涂速凝防水涂料、可回收支护、3D打印混凝土、泥浆分离处理等技术[12-15]。此外，利用地下空间恒温特性和低洼位置，可以减少地下建筑在供暖制冷上的能耗，并更好地

利用天然雨水资源。基于建筑信息模型（BIM）的碰撞检测可以识别和解决地下空间设计方案中的潜在冲突，对于施工效率和建筑可靠性起到重要作用，结合AI算法可进一步提高复杂BIM的建模与优化能力[16]。

在城市地下空间的全周期监测和管理方面，数字化、智能化、机器人等高新技术扮演重要角色。利用分布式传感器、视频监控和物联网技术，可实现对地下空间的24小时的多维度实时监测，例如人流、车流、空气质量、温湿度、沉降、渗漏、火情、水位等情况，并对电力、通风、排水等地下设备运行故障与剩余寿命、以及洪涝、地震与火灾等灾情做出精确预测和及时报警，对于保障地下空间环境安全可控具有重要意义[17]。固定传感器和摄像头的监测范围有限，所以对于需要动态巡检的任务，例如地下管道缺陷巡检，可采用搭载有传感器和摄像头的智能巡检机器人，通过机器人的灵活移动能力实现动态巡检[18]。数字孪生技术可通过全域物联感知将物理地下空间的状态数据映射到孪生数字地下空间模型中，进行仿真、识别、预测、优化、决策等智能化操作，最终将最优策略反馈到物理地下空间中，实现闭环运维，实现节能减排、最优调度、风险预警、应急响应等目标[19]。此外，通过裸眼3D、虚拟现实、实景显示等先进可视化技术，可以提高城市地下空间的导航与展示效果，解决公众对地下空间不熟悉导致的出行不方便和心理排斥等问题。对于地下空间无法接收卫星导航定位信号所带来的问题，可采用5G室内分布通信技术，结合北斗卫星导航信号，实现大范围、高精度的地下空间导航[20]。

3. 新质生产力与城市地下空间发展的“协同融合发展”

从未来长期发展看，新质生产力与地下城市间的深度融合，可以催生出全新的立体复合城市构型，显著提高城市的集约紧凑性、绿色低碳性、安全宜居性、智能化程度等核心指标，本文总结以下协同融合发展畅想：（1）城市地下物流系统不断健全，显著减少地面交通压力，与地面物流、低空物流、铁路快运高度集成、无缝衔接，形成立体高效的物流网络；（2）探索地下自动驾驶交通模式，利用更加结构化的道路环境，实现自动驾驶电动汽车的高速运行；（3）构建“空—天—地面—地下”一体化监测系统，融合卫星遥感、无人机巡检、地面与地下传感器数据，实现对城市状态的立体全域感知；（4）推进市政设施地下化，推广地下仓储、能源、蓄水、垃圾处理和污水处理等市政设施的建设应用，大幅度提高城市承载力和抗涝韧性；（5）攻克城市深层地下空间的工程技术难题和开发成本限制，充分利用深层地下空间的有强隐蔽性、强防护性、隔音、恒温、恒湿等优势；（6）创造更加宜人的城市地下空间，利用新型采光、照明、通风、通信技术和AI自动化运维能力，解决地下空间阴凉潮湿、信号屏蔽等问题给人员带来的不适应不方便感受。

4. 总结

发展城市地下空间既是当下解决地面空间承载力不足的有效手段，也是未来建设集约化、立体化、智能化、绿色化城市的长期趋势。新质生产力是在高新科技驱动下寻求高质量发展的核心要素。本文以新质生产力为视角，分别探讨了新质生产力发展对于城市地下空间发展的牵引性需求和新技术支撑，并对二者的深度融合和协同发展作出多维度展望，为城市地下空间的发展方式起到一定指导性作用。同时，相对于城市地上空间发展，城市地下空间发展也面临技术难度大、成本高昂、回报周期长、自然采光通风缺乏、空间辨识度不足、新老地下设施整合难等现实挑战，需要开展多专业、部门的协同攻关，共同推进城市地下空间与新质生产力的高质量发展。

参考文献

- [1] 自然资源部. 自然资源部关于探索推进城市地下空间开发利用的指导意见: 自然资发〔2024〕146号 [Z]. 2024-07-31.
- [2] 求是网. 发展新质生产力是推动高质量发展的内在要求和重要着力点 [EB/OL]. (2024-05-31) [2025-06-05] http://www.qstheory.cn/dukan/qs/2024-05/31/c_1130154174.htm.
- [3] 蔡明. 统筹与整合——北京CBD核心区地下空间设计策略 [J]. 建筑实践, 2023, (11): 90-97.
- [4] 舒朝普. 新质生产力赋能北京CBD场景创新 [J]. 中国外资, 2024, (13): 86-87.
- [5] 吴新光, 张嘉琪. 河北辛集: 建设新园区, 节地又扩能 [N]. 长城网. 2021-10-25.
- [6] 王娜, 赵根澍. 大模型技术赋能新质生产力发展: 理论逻辑与实现路径 [J]. 经济纵横, 2025, (1): 100-109.
- [7] 赵鹏. 城市副中心出了个黑灯实验室 [N]. 北京城市副中心报, 2025-03-20(001).
- [8] 张永军, 李彦胜, 党博, 等. 多模态遥感基础大模型: 研究现状与未来展望 [J]. 测绘学报, 2024, 53(10): 1942—1954.
- [9] 路瀚, 孙岩, 周明霞, 等. 微重力探测城市地下空间试验及正演模拟分析 [J]. CT理论与应用研究, 2022, 31(5): 543-556.

- [10] 姜伟波, 马军. CIM+AI大模型在新区数字孪生城市一体化应用与趋势探讨 [J]. 建设科技, 2024, (17): 87-90. DOI: 10.16116/j.cnki.jskj.2024.17.022.
- [11] 刘玉英. 基于深度学习的大直径盾构掘进参数预测与智能优化研究 [D]. 齐鲁工业大学, 2024. DOI: 10.27278/d.cnki.gsdqc.2024.001047.
- [12] 朱旻, 孙晓辉, 陈湘生, 等. 地铁地下车站绿色高效智能建造的思考 [J]. 隧道建设, 2021, 41(12): 2037-2047.
- [13] 王飞, 张亮, 龚晓南, 等. 潜孔冲击高压旋喷桩在基坑止水帷幕中的应用 [J]. 施工技术, 2020, 19(49): 12-26.
- [14] 董艳辉, 油新华. 双碳背景下地下工程永临结构一体化技术实践 [J]. 工程地质学报, 2022, 30(1): 265-269.
- [15] 叶建荣, 黄照南. 再生块体—骨料混凝土在地下综合管廊工程中的应用研究 [J]. 建筑施工, 2023, 45(7): 1430-1432+1439. DOI: 10.14144/j.cnki.jzsg.2023.07.041.
- [16] 李波. BIM技术在地下空间开发中的应用 [J]. 智能城市, 2024, 10(05): 87-89. DOI: 10.19301/j.cnki.zncs.2024.05.027.
- [17] 顾剑峰. 基于物联网的地下空间综合监管平台设计与实现 [J]. 电子技术, 2024, 53(3): 78-80.
- [18] 王建, 郑立宁, 杜浩然, 等. 综合管廊自动巡检系统研究 [J]. 特种结构, 2021, 38(3): 112-116.
- [19] 刘雨轩, 何子卓. 数字孪生技术在地下空间开发建设中的应用研究 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2025, (4): 126-129. DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2025.04.039.
- [20] 许艳艳, 康紫祎, 郭晶璇. “北斗+室分”为雄安“地下城”精准导航 [N]. 河北经济日报, 2024-08-01.