

数字化技术在城市地下空间规划中的应用

文 / 唐菲 南京慧龙城市规划设计有限公司

摘要：随着城市化进程不断加快，地上空间日益紧张，开发利用城市地下空间已成为缓解城市空间资源压力的重要途径。数字化技术在城市地下空间规划中的应用日益广泛，为地下空间的合理开发和利用提供了有力支撑。文章分析了数字化技术应用在城市地下空间规划中的重要意义，总结了BIM技术、3S技术、虚拟现实技术、大数据技术等在城市地下空间规划中的应用现状，并从构建城市地下空间信息平台、开展城市地下空间资源评估、推进地下空间规划设计数字化、加强地下空间运维管理智慧化等方面，提出了数字化技术在城市地下空间规划中的应用策略，为城市地下空间高质量发展提供参考。

关键词：数字化技术；城市地下空间；规划；应用

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.19.048

引言

随着城市发展和人口集聚，地上空间资源日益紧张，开发利用城市地下空间已成为城市可持续发展的必然选择。当前，数字化技术飞速发展，将此应用到城市地下空间规划中，可以极大提高规划的精准性和科学性，优化地下空间资源配置，促进地上地下空间一体化发展。本文将系统分析数字化技术在城市地下空间规划中的应用意义、应用现状和应用策略，以期为城市地下空间规划数字化转型提供参考。

一、数字化技术应用在城市地下空间规划中的意义

（一）提高规划的精准性和科学性

城市地下空间规划是一项系统工程，涉及地质、水文等自然条件，环境、文物等资源保护，地下工程、市政管线等现状多种要素，具有信息量大、关联度高、专业性强等特点。传统的规划方法难以满足精细化、科学化的规划要求和诉求。数字化技术的应用，可以高效采集、处理、分析海量地下空间数据，为规划编制提供翔实的基础资料。利用3S技术可以实现地下管线、地质体等要素的精细化、一体化管理，辅助规划人员科学划定开发利用分区。利用大数据技术可以分析地下空间开发的资源环境承载力，合理确定开发强度，为规划的科学性提供强有力的支撑。

（二）优化地下空间资源配置

城市地下空间资源具有稀缺性、不可再生性的特点。传统规划往往基于经验，对资源环境约束考虑不足，难以实现地下空间资源的优化配置。而数字化技术可以定量评估不同规划方案的资源消耗和环境影响，筛选出资源利用效率最高、负面的外部性影响最小的方案。例如，利用多目标优化算法设计地下管廊线位，在满足敷设条件的前提下，最大限度提高管线集约化水平，节约宝贵的地下空间。利用大数据挖掘城市人口、经济、交通等数据，分析地下空间设施的供需匹配度，为功能布局优化提供决策参考。通过数字化技术的应用，优化地下空间资源配置，提高资源利用效率，实现人的和谐共生。

（三）促进地上地下空间一体化发展

城市地上、地下空间是一个有机整体，二者相互依存、相互影响。然而，受认识视角和专业分工的影响，传统规划往往割裂地上地下，缺乏系统性、整体性考虑，难以发挥地下空间的综合效益。数字化技术为打破地上地下二元对立、实现一体化规划提供了可能。例如，利用CIM(City Information Modeling)平台，将地上地下空间数据有机融合，构建城市信息一张图，便于规划人员统筹考虑地上地下设施的衔接与互动。利用数字孪生等技术，搭建地上地下一体化仿真系统，模拟评估不同规划方案的综合效果，优化功能布局、转换互通、安全疏散等。通过数字化技术促进地上地下一体化规划，有利于提升城市立体化水平，构建和谐宜居的现代化城市。

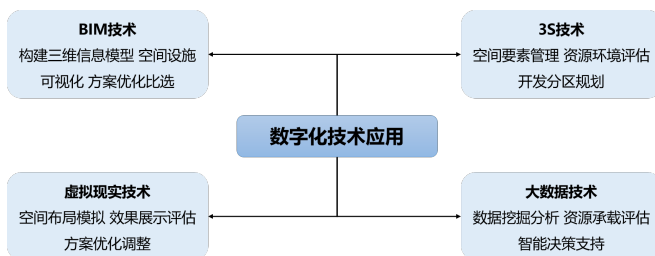


图1 数字化技术在城市地下空间规划中的应用框架图

二、数字化技术在城市地下空间规划中的应用现状

（一）BIM技术的应用

BIM(Building Information Modeling)是一种基于三维模型的信息化技术，通过数字化手段集成工程项目各阶段、各专业的信息，为设计、施工、运维等提供可视化的信息支持。一方面，利用BIM构建地下管线、地下建筑、地下交通等三维模型，直观展示地下设施的空间信息、属性信息、关联信息等，便于规划人员掌控地下空间开发利用现状。另一方面，基于BIM平台开展虚拟设计，在投资、进度、安全等约束条件下优化地下空间布局，提高规划效率和质量。此外，将BIM与物联网、移动计算等技术深度融合，可实现地下空间全生命周期管理，为后续建设运营提供信息支撑。

表 1 BIM 技术在城市地下空间规划中的应用

BIM 技术应用	典型案例
构建地下设施三维模型	武汉市地下管线三维化管理平台
辅助地下空间规划设计	上海轨道交通车站 BIM 规划设计
支撑地下空间全生命周期管理	香港地铁 BIM 资产管理系统

（二）3S 技术的应用

3S 技术是指遥感（RS）、地理信息系统（GIS）、全球定位系统（GPS）三种技术的集成应用。3S 技术以

表 2 3S 技术在城市地下空间规划中的应用

3S 技术应用	典型案例
地下空间资源与环境调查评价	武汉市地下空间资源三维调查评价
地下设施精准定位与数据库构建	北京市地下管线三维地理信息系统
地下空间开发适宜性分区	重庆市主城区地下空间开发适宜性评价

（三）虚拟现实技术的应用

虚拟现实（Virtual Reality, VR）是利用计算机模拟产生三维环境，为用户提供身临其境的沉浸式体验。将 VR 技术引入城市地下空间规划，可以直观展示规划方案，提高规划成果的表现力和感染力。规划人员利用 VR 眼镜或 CAVE 等设备，可以在虚拟环境中漫游地下空间，考察地下设施的布局、出入口、防灾疏散等，及时发现潜在问题。利用 VR 设备向政府部门、社会公众展示地下空间规划方案，可以提高规划的透明度和参与度，促进公众理解和认同。同时，VR 技术还可用于地下工程施工模拟、应急演练等，优化施工方案，提高安全性。

（四）大数据技术的应用

城市地下空间规划所涉及的数据具有海量、多源、动态、高维等特点，传统数据处理方法难以适应。大数据技术为地下空间规划提供了新的工具和视角。一方面，利用大数据采集与融合技术，可整合规划、建设、运营等各阶段数据，并与经济社会、自然环境等数据关联，构建地下空间一体化数据库，夯实规划基础。另一方面，运用大数据分析挖掘技术，可深度发掘地下空间数据的内在规律和关联特性，为资源评估、规划决策、风险预警等提供智力支持。例如，利用机器学习算法对海量地质钻孔数据进行训练，可准确预测地层分布、岩土性质等，辅助评估地下空间开发适宜性。利用图计算、社交网络分析等方法挖掘人流、物流数据，可揭示城市活动规律，优化地下交通、物流节点布局。

三、数字化技术在城市地下空间规划中的应用策略

（一）构建城市地下空间信息平台

信息平台是城市地下空间规划数字化应用的基础。应加快建设覆盖地下空间全生命周期的一体化信息平台，为规划、建设、管理提供系统支撑。平台应具备数据汇聚、

其强大的数据采集、空间分析、动态监测等功能，在城市地下空间规划中发挥着越来越重要的作用。利用高分辨率遥感影像解译城市用地现状，可掌握地下空间潜力分布。利用 GPS 实现地下管线、空间、设施等的精确定位，构建“一张图”数据库。利用 GIS 强大的空间分析功能，对地质条件、水文特征、工程适宜性等进行综合评价，划定地下空间开发分区。基于三维 GIS 平台整合地上地下、室内外数据，为地下空间规划提供多维视角。

共享开放、分析决策等功能，实现多源异构数据的集成管理和按需服务。在数据采集上，要充分利用物联网、移动互联网等新技术手段，实时感知地下空间运行状态。在数据治理上，要建立地下空间数据标准规范，提高数据质量和互操作性。在数据应用上，要为规划、建设、运营等提供个性化、场景化服务，提升数据价值。同时，加强平台安全防护，保障数据和系统安全。纽约市建立了综合的地下空间信息平台，集成了地质、地形、管线、监测等多源数据。通过三维可视化，直观呈现地下空间的空间格局、设施分布等，并提供地下空间规划、建设、管理等全流程的数字化服务。比如，规划人员可以在平台上进行用地适宜性分析、开发强度模拟等，极大提高了规划的精准性和效率；管理人员可实时掌握地下设施运行状态，及时处置突发事件。平台的应用提升了纽约市地下空间治理的精细化、智能化水平。新加坡政府同样高度重视地下空间信息化建设。其开发的地下空间信息管理系统 SIRUS，囊括了全市地下空间数据，并与规划、建设、管理等业务系统深度融合。

（二）开展城市地下空间资源评估

资源评估是城市地下空间规划的重要基础。在数字化时代，资源评估应充分运用 3S、大数据等技术，提高评估的精度和时效。一是构建评估指标体系。从资源禀赋、需求潜力、开发条件等方面，构建全面反映地下空间资源特征的定量化指标体系。二是开展潜力分区评价。在全面调查地质、水文等本底条件的基础上，综合考虑城市发展、工程条件等因素，运用 GIS 空间分析、多准则评价等方法，划定地下空间开发利用的适宜性分区。三是预测资源需求变化。运用系统动力学、智能预测等方法，科学预测人口、经济、交通等关键因素的变化，分析地下空间资源需求的动态演变，为规划提供前瞻性指引。

武汉市充分运用大数据和GIS等技术,构建了由资源环境、工程地质、规划管控等31项指标组成的地下空间资源潜力评价体系,实现了全市范围内的精细化评估。通过综合集成地质、水文、管线等数据,分析地下空间的埋深、物性、含水性等本底特征,并结合经济社会、人口分布等因素,利用GIS的空间分析功能划定了地下空间开发的适宜性分区,形成分区规划方案。评估成果为武汉市地下空间规划编制提供了科学支撑,并指导地下空间开发强度控制和功能布局优化,有力促进了地下空间资源的合理配置和高效利用。重庆市则创新应用了多源大数据,开展了全市地下空间资源需求预测。通过采集人口、经济、建设、交通等数据,利用深度学习算法建立了资源需求预测模型,模拟分析了不同情景下的地下空间资源需求变化。预测结果为重庆市超前谋划地下空间开发利用提供了前瞻性指引。这些城市的实践表明,创新运用现代信息技术开展资源评估,不仅可以摸清资源“家底”,还能准确把握资源需求动态,是编制科学合理的地下空间规划的重要基础,值得在更大范围推广应用。

(三) 推进地下空间规划设计数字化

规划设计是城市地下空间开发利用的指南。应以数字化重塑规划设计流程,提高规划的科学性和精细化水平。一是夯实数字化设计基础。运用BIM技术构建地下设施、地下管线的三维模型,直观表达设计意图,实现可视化管理。二是创新规划设计方法。运用参数化设计、生成式设计等方法,在功能、交通、管线等约束条件下优化地下空间形态和布局,提高设计效率和质量。三是加强多专业协同。基于CIM平台,实现地下空间规划与地上规划、交通规划、管线规划等的一体化协同,统筹解决专业交叉问题。四是强化规划模拟评估。运用虚拟现实、数字孪生等技术,模拟地下空间环境,评估规划方案的科学性、安全性、宜居性,优化完善规划设计。上海市在徐家汇商圈地下空间开发中,充分运用BIM和CIM等数字化技术,构建了地下空间及周边地上地下设施的信息模型,在虚拟环境中优化地下空间的功能布局、空间组织和衔接设计,并进行地下交通、管线等专项规划的可视化校核,强化了规划的协同性和可实施性。同时,通过虚拟现实等技术模拟地下空间的采光、舒适度等,从人的视角评估优化规划设计,创造了高品质的地下公共空间。上海的实践表明,数字化设计工具和方法不仅可提高规划设计的效率和精度,更能优化空间品质和体验,值得在地下空间规划设计中大力推广。

(四) 加强地下空间运维管理智慧化

运维管理是城市地下空间规划落地的关键。应充分发挥物联网、大数据、人工智能等新技术优势,推动地下空间运维管理向智慧化转型。一是构建全周期智慧管理平台。整合规划、建设、运维数据,实现地下空间全

生命周期信息化管理,为政府监管、企业运维、公众服务提供一站式解决方案。二是加强动态监测预警。布设各类传感器,对地下空间环境、结构、设施等进行实时监测,利用机器学习算法智能识别异常,及时预警风险隐患。三是创新智慧化服务。运用人脸识别、室内定位等技术,为地下空间使用者提供导航引领、信息查询、应急疏散等智慧化服务,提升体验感和安全感。四是优化调度指挥。建立地下空间智能调度指挥系统,对客流、环境、安保等进行实时监控分析,智能调配资源,快速处置突发事件,提高调度指挥的精准性和时效性。新加坡政府开发了城市地下空间全生命周期智慧管理平台,实现了对地下空间规划、建设、运维的全流程数字化管控。平台汇聚了规划、审批、施工、运维等各环节数据,并与城市其他信息系统互联互通,构建了地下空间“一张图”。利用物联网、大数据等新技术,平台可实时采集地下空间环境参数、设施状态等运行数据,并通过机器学习算法分析,实现对突发事件的超前预警和智能处置。新加坡的智慧管理实践充分彰显了数字化技术的赋能效用,是提升地下空间治理水平、优化公共服务的可行路径,对我国城市具有重要启示意义。

结语

城市地下空间是缓解城市空间资源紧张、提升城市综合承载力的重要途径。数字化技术的飞速发展,为城市地下空间规划插上了腾飞的翅膀。将BIM、3S、虚拟现实、大数据等新技术深度融合到地下空间规划全过程,可极大提高规划的科学性、精准性和智能化水平。但同时也应看到,当前地下空间规划数字化仍处于起步阶段,数据壁垒、技术瓶颈、人才短缺等问题亟待破解。未来,应继续加大创新力度,加强部门协同、校企合作,加快人才培养,推动地下空间规划从数字化向智慧化跃升,为城市高质量发展提供坚实支撑。

参考文献

- [1] 易树平,方铖,刘君全,等.地下水环境智慧监管技术集成与平台应用研究[J].中国环境监测,2024(001):040.
- [2] 周鑫,傅嘉炜,高荣杰,等.CIM技术在城市地下空间建设管理中的应用[J].测绘通报,2023(S1):80-83,97.
- [3] 唐奕伦.“疏+防”为主,“控+导”相辅——浅谈数字化绿色建筑在中共一大纪念馆项目地下空间防水设计中的应用[J].2023(4):281-283.
- [4] 本刊编辑部.杭州市:地下空间数字化治理“新篇章”[J].中国建设信息化,2023(5):46-49.
- [5] 王柘文/图.三维探地雷达在城市地下管线普查中的应用[J].中国测绘,2023(3):50-53.

作者简介:唐菲,1981.10,女,汉,江苏镇江,本科,高级城乡规划师,地下空间规划设计及研究、人防工程规划。