

# CIM 技术在城市地下空间建设管理中的应用

周 鑫, 傅嘉炜, 高荣杰, 王 丽, 李 萍, 乔冠中  
(宝略科技(浙江)有限公司, 浙江宁波 315000)

**摘要:** 地下空间的开发利用作为城市发展的重要组成部分, 实施数字化管理必然需要更加精细的测绘技术运用。CIM技术作为横跨智慧城市与数字孪生的高度集成技术, 要求在数字化建设伊始有着更加清晰明确的思路和框架。本研究旨在探讨CIM技术在地下空间的平台搭建思路与具体运用, 为促进城市地下空间的开发与维护提出一些意见。

**关键词:** 城市地下空间; CIM技术; 建筑信息模型

## Application of CIM technology in urban underground space construction management

ZHOU Xin, FU Jiawei, GAO Rongjie, WANG Li, LI Ping, QIAO Guanzhong  
(Popsmart Technology (Zhejiang) Co., Ltd, Ningbo 315000, China)

**Abstract:** The development and utilization of underground space is an important part of urban development, and the implementation of digital management will inevitably require more sophisticated mapping technology. CIM technology, as a highly integrated technology spanning smart cities and digital twins, requires a clearer idea and framework at the beginning of digital construction. The purpose of this study is to explore the idea and specific application of CIM technology in underground space platform construction. Some opinions are proposed to promote the development and maintenance of urban underground space.

**Key words:** Urban underground space; CIM technology; Building information model

### 1 项目背景

随着城市建设的不断发展, 地下空间的资源也被开采利用。地下空间有恒温、抗震性能好、隐蔽性好、节约用地等特点, 对城市的未来起着重要的作用。但目前我国地下空间缺乏总体规划、利用总体水平不高<sup>[1]</sup>, 特别是地下空间的用途、面积、防护级别、使用单位等信息资料不能全面及时掌握<sup>[2]</sup>。由于城市建设的重要性和迫切性, 需要对地下空间进行普查, 从而促进城市地下空间综合开发利用, 推动城市地下空间资源的规划组织和协调利用<sup>[3]</sup>。合理开发利用城市地下空间, 是优化城市空间结构和管理格局, 增强地下空间之间以及与地面建设有机联

系, 促进地下空间与城市整体同步发展, 缓解城市土地资源紧张的必要措施, 对于推动城市由外延扩张式向内涵提升式转变, 改善城市环境, 建设宜居城市, 提高城市综合承载能力具有重要意义。而实现这一切管理的基础便是对地下空间信息进行系统化、体系化的模型建设, 选择合适的测绘方法作为数据底座则是一项具有挑战性的任务。

本文结合已有的地下空间实施经验, 通过充分利用飞马系列无人机与手持SLAM设备, 试图探讨开发建立一套城市地下空间CIM管理平台的可行性论述, 以此为合理开发利用城市地下空间提供有效管理手段。开展地下空间普查工作, 能够全面准确掌握现有地下空间的现状及开发利用情况, 有

**基金项目:** 宁波市重大科技攻关项目(2021Z050); 浙江省自然资源厅科技项目(2020-16)

**作者简介:** 乔冠中(1998—), 男, 硕士, BIM工程师, 主要研究方向为智慧城市、SLAM方向。E-mail: joehitsugaya@163.com

利于推进地下空间的统一规划、合理开发和科学管理的有效实施,促进城市管理智慧化水平和城市治理能力提升。城市管理者通过建立健全的管理制度,可以加速构建城市地下空间公共信息管理平台,并合理利用大数据、云计算、人工智能等手段推进城市治理现代化、空间利用最大化,将城市发展从以往的平面外扩式升级为立体空间纵向发展,探索将综合管理信息平台与CIM基础平台深度融合,扩展完善实时监控、模拟仿真、事故预警、管理决策等功能。

## 2 研究现状与问题

### 2.1 国内外研究

对于城市地下空间的研究国内外均有大量文献和研究对现代都市的地下空间发展做过定性与定量分析。国内学者如刘艺与朱良成在研究上海市城市地下空间时便运用了定性描述的方法对上海的地下空间总体概况与面临的发展方面的不足进行了描述,其中最主要的便是规划成果缺乏有效的管控导致可操作性不够强,以及由于精细化设计的水平不够高导致的管理缺乏长效机制与基础信息做支撑<sup>[4]</sup>。谭飞等学者在研究城市地下空间适宜性评价时也尖锐的指出了精细化城市地质模型的可视化与监管平台拥有适宜性评价指标对于科学合理的城市立体规划决策的重要性<sup>[5]</sup>。此外,通过对比中外学者在地下空间适宜性评估的模型的建设思路与评价条件,某种程度上再次在定性分析层面论证了地下空间的可视化模型作为精细化管理的基础。譬如国外学者Sterling and Nelson (1982)在对Minneapolis - St.Paul做地下空间规划时,根据研究区域的地质条件,通过综合考虑岩体条件、水文地质、地形坡度等因素的影响,应用了综合叠加法建立了Minneapolis地下空间开发适宜性的指标体系。而上述所提到的数据均使用了可视化模型作为量化分析的基础依据<sup>[6]</sup>。

城市地下空间测绘作为地下空间研究的一个分支方向,是地下空间规划管理中不可或缺的支撑和保障,同时也是智慧城市和数字孪生的重要基础<sup>[7]</sup>。城市地下空间测绘有着全空间一体化、目标对象隐蔽且密集、目标对象变化快等特点。展开来说,全空间一体化的规划管理需要提供不同尺度空间对象的数据融合与表述,大到城际级别的卫星遥感(GIS)影响,小到描述单个构件的单体建筑信息模型(BIM)以及其它辅助的数据集成与影响的

融合表达。现阶段的地下空间测绘由于我国城市化水平密度大、立体分布、种类多等特点,导致不同建筑群之间存在相互遮挡的关系,因而在实际的测绘服务中会根据业务需求选择更加灵活先进的测绘技术以此来规避时空间限制,进而确保测绘成果的高精度与完整度。最后则是由于城镇化的高速变化导致的土地利用类型与建筑本身的不断翻新,导致测绘目标不断增加、消除或发生形变。因而在后期的数据维护过程中需要定期通过同等或更高级的测绘手段对原有的数据进行更新和调整,防止因数据实时滞后导致的管理问题<sup>[8-10]</sup>。

### 2.2 现存问题与创新

从整体看,城市地下空间开发管理的主要问题为缺乏统一的量化数据模型导致难以进行统一的归并,而多源数据的获取与整合又恰恰是地下空间测绘在日益复杂的城市环境下被迫转向新技术与新思路的重点与难点。传统的地下空间管理应用通常采用RTK、全站仪导线测量设备用以获取空间内部的结构与位置信息。实际上受限于设备本身的素质以及建筑本身的年代与管线不统一等问题,其物理与几何信息非常难以表达,而数据的缺失则会阻碍后续的管理应用的维系。因此业内会选择新型基础测绘体系进行破局,即通过北斗卫星增强系统服务,加上激光三维扫描与倾斜摄影等方式对地下空间的点云数据进行精确化收集,最终建立包含完整信息的数字化模型,为后续的管理打下基础。其中典型的包括深圳飞马机器人科技有限公司旗下的固定翼无人机与3D移动测量等产品,使得传统测绘公司拥有对地下空间全面信息采集的能力。模块化的无人机通过不断更换定制化的机载模块可以最大程度避免城市空间复杂的进行地上空间的快速建模,辅助以手持的3D移动测量设备SLAM100的辅助,该扫描仪(如图1所示)通过全方位的旋转云台可在低亮度无GPS信号的特殊环境下获取 $270^{\circ} \times 360^{\circ}$ 且绝对精度仅有5cm的三维点云数据。而120m的最大测距与 $3 \times 500$ wpxs的分辨率也基本上可以覆盖现阶段大多数场景的采集需求。待收集完毕后将二者的数据通过自带的平台或第三方软件进行编辑与合并。



图1 扫描仪外观图

### 3 应用探讨

#### 3.1 管理平台的构建思路

地下空间数据种类庞杂，其中包括地质、地下管线、地下管廊、地下停车场和人防空间、地下轨道交通等不同类型。因而平台的建设需要获取BIM技术、SLAM技术、倾斜摄影测量、贴近摄影测量技术，获取大量地下空间多源异构数据，并基于GIS技术实现多源数据的融合与管理。而平台则通过CIM技术整合上述数据，以“1+1+N”构架为建设思路，构建城市地下空间数据资源中心和地下空间CIM管理应用平台，实现地下空间的“一图统览”。同时基于地下空间数据，实现地下空间的“人防空间智慧化管理”、“地下市政管线的精细化管理”、“地下空间的有序开发管理”和“智能化物联感知管理”，管理平台框架如图2所示。



图2 地下空间管理平台框架

#### 3.2 地下空间测绘方案与核心应用

##### 3.2.1 新型测绘技术应用

为了实现地质、城市地下市政管线、地下停

车场、地下人防、地下廊道和地下交通枢纽等重要地下空间基础设施的三维可视化集成管理，并建立城市地下空间二、三维数字化档案和地上地下一体化的三维可视化管理系统，需要对BIM数据、

SLAM点云数据、倾斜摄影测量和贴近摄影测量数据进行整合并形成对应的数据底座。其中，以无人机为重要摄影测量与遥感传感器的搭载平台因其经济高效、操作门槛低等优势在城市地下空间模型的建立中得到了广泛的应用，无地面控制数字航空摄影测量为城市大比例尺高精度地形图测绘任务缩短了作业周期、降低了生产成本。其次，多平台融合激光雷达测量生成的点云或倾斜摄影测量生成的Mesh模型数据通过聚类分割等算法进行单体化、对象化和特征矢量化，实现非结构化测绘成果的结构化处理。此外，智能全站仪的广泛使用在某种程度上使得作业人员通过地面作业补足了数据精细度与准确度。最后，将所有收集到的包括DEM、DSM、卫星及航空影像、DOM、Mesh模型，点云数据等表面特征数据通过结构语义信息的添加，使之成为计算机可进行提取分析的数据，逐渐加工为地理实体数据。该步骤的实现可经由飞马的多旋翼无人机D20与D2000S以及混合翼无人机V10进行协同采集。可互换的模块经过更换可以同时满足倾斜摄影与实景三维模型的搭建。辅助以网络RTK及PPK解算服务，可以最大程度的通过互联网随时取用数据以减少外业的工作量。一些特殊场景由于地形与飞行政策的调整与管控则会被限制飞行高度与采集时间，因而多旋翼和混合翼不同的起飞模式可以被用来应对各类限制条件复杂的测绘工作。

### 3.2.2 人防空间的可视化与战时管理

人防工程建筑作为地下空间的特殊组成部分，其中的机电设备、防护设备、战时通风设备、内部环境调节设备、门禁、照明、电视监控、综合布线的集成用来实现人防区域的隐患的排查无疑是数字化平台在地下空间管理的一项重要项目，借由BIM技术和AR技术，平台可以实现人防平时和特殊时期的动态变化对比，从而保障战时、突发事件和人防防灾抗灾的应急使用。利用SLAM技术，获取人防空间信息，包含但不限于人防功能分区、人防地下出入口位置、重点人防设备分布等多种信息。地下人防空间三维可视化的表达有效地弥补了二维矢量数据无法三维分层表达的弊端。而平战转换模拟是通过BIM、热力图、VR等技术，进行平战转换的同屏对比，可以通过平时状态的人防BIM模型和战时状态的BIM模型，对平战转的空间调整、管线拆改、物质调配等信息有一个全面的了解，实现人防平战转换的精细化管理。最后，通过人防工程物联网设备的接入，包含高清摄像头、停

车位感应管理、出入口状态等，实时获取人防工程的感知数据，从而对战时的状态进行一定的预判。利用BIM模型，可以进行人防空间的人员疏散模拟，有效判断该人防区域的疏散能力。通过人防出入口高清摄像头人脸识别能力，精准统计进入该人防单元的人员数量，有效调配周围人员在战时状态下的隐蔽分区等，真正实现人防战时智慧管理工作。



图3 人防BIM平战转换

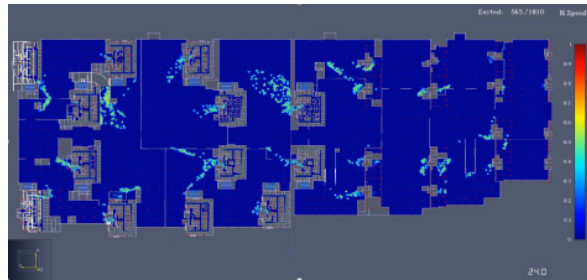


图4 基于BIM技术的人防空间疏散模拟

### 3.2.3 地下管网与物联感知

城市地下管线作为城市的“生命线”，是城市基础设施的重要组成部分，同时是城市能量输送、物质传输及信息传递的重要载体，更是城市管理及决策的重要基础。利用城市地下空间CIM管理平台，针对现有的管线库资料，对地下管线进行三维可视化表达。在日常的管理中，建立相应的管线更新机制，保证管线数据的准确性。CIM管理系统全方位涵盖了管线普查、综合规划、方案设计、动态更新、应急决策等内容，管线的更新需要落实各方市政管线设施管理单位的责任，加强城市地下市政基础设施全生命周期管控，建立信息动态更新机制，确保CIM管理信息平台数据的实时更新。

城市地下空间的状态，可通过集成智慧化的物联传感设备进行实时感知，使得地下空间开发利用效率大幅度得到提升。近年来，在现有的地下空间开发建设中，加大了智能化的投入，通过各种智能设备的接入，可以有效管理地下空间。例如通过接入停车场管理系统，对城市地下停车数量进行实时监测，有效引导城市车辆停车；通过城市地下综

合管廊内的温度监测设备,有效感知电缆温度防止火灾;通过温、压、流监测设备,实时感知管道水流、水压、流向和液位等多种数字,有效避免喷漏。多样化的IOT设备,使得更多的地下空间感知数据实现了同步及远端控制,以达到对地下空间管理决策更科学,管理更有效,城市更智慧的目的。

## 4 结论与展望

在城市数字孪生,智慧化管理改革的大背景下,通过运用技术创新、技术融合的方式解决城市地下空间管理的痛点和难点将是有序提升城市核心竞争力的重要途径。利用CIM技术、BIM技术、SLAM、倾斜摄影测量、AI、物联网、云服务等多种技术融合应用,形成了一整套全生命周期城市地下空间动态管理解决方案。如飞马机器人公司在硬件上协助开发者打造了一个管理集成化、服务精益化、运营智能化、预警可视化的城市地下空间管理的样板案例,实现了地下空间的有效管理,为城市地下空间规划、建设、运行提供了全面高效的技术服务与支撑。硬件能力的跨越式进步允许在高精度测绘、高精度三维建模以及遥感测绘等不同领域进行全行业的采集能力升级,为我国地下空间的管理与数字化建设给予了一定程度的赋能,也为行业未来的发展方向做了有参考性的指示。

## 参考文献:

- [1] 蔡明豪.BIM技术在城市地下空间管理中的应用研究[J].中国建设信息化,2022(18):73-75.
- [2] 谭勇.城市地下综合体人防工程防护设计研究——以广州金融城地下综合体项目为例[J].房地产世界, 2022(18): 43-45.
- [3] 朱毅萱, 张文辉,王冰洁, 等.城市产业园区的地下空间利用设计研究——以青岛国际院士港生命药洲项目为例[J].城市建筑, 2022(18): 106-108.
- [4] 刘艺,朱良成.上海市城市地下空间发展现状与展望[J].隧道建设.2020(07): 941-952.
- [5] 谭飞,汪君,焦玉勇,等.城市地下空间适宜性评价研究国内外现状及趋势[J].地球科学, 2021(05): 1896-1908.
- [6] STERLING,R.L.& NELSON,S. Planning the Development of Underground Space[J]. Underground Space, 1982(7): 86-103.
- [7] 耿丹,王丹,李丹彤.城市及地下空间测绘技术体系构建的几个问题[J].北京测绘2020(12):1672-1676.
- [8] 王丹,耿丹,李丹彤.(2020)从新型智慧城市建设看城市测绘发展[J].北京测绘,2020,34(1):1-5.
- [9] 王丹, 耿丹. 城市测绘标准化新发展——兼论国家标准《城市测绘基本技术要求》[J].城市勘测,2018(2):5-9.
- [10] 王丹,耿丹,江贻芳.城市地下空间测绘及其标准化探索[J].测绘通报,2018,97-100.