

# 城市地下空间开发中的工程测量技术探究

苏宇航

北京水利水电学校 北京 100024

**摘要：**随着城市发展向地下延伸，地下空间开发成为缓解土地资源紧张的重要途径，工程测量作为核心支撑技术，直接决定开发安全与质量。本文阐述城市地下空间开发特点及工程测量核心要求，分析控制测量、施工放样、变形监测等核心技术应用要点，探讨其在勘察设计、施工、运维各环节的实践，指出当前技术、管理、人员层面的问题并提出优化策略，展望其智能化、集成化、精准化发展趋势，为相关技术应用提供参考。

**关键词：**城市；地下空间开发；工程测量技术

引言：当前我国城市地下空间开发规模持续扩大，地铁、地下管廊、地下商场等开发形式日益多样，但地下地质复杂、施工空间受限、精度要求严苛等问题，对工程测量技术提出更高挑战。工程测量为地下空间开发全流程提供精准空间数据支撑，是规避施工风险、保障工程质量的关键。基于此，本文围绕相关工程测量技术展开探究，梳理应用要点、分析现存问题并给出优化方案。

## 1 城市地下空间开发与工程测量相关基础理论

### 1.1 城市地下空间开发概述

(1) 城市地下空间是指在城市地面以下，用于满足城市功能需求而开发利用的空间，是城市空间的重要组成部分。按使用功能可分为交通类、市政类、商业类等，开发形式多样，其中地铁是缓解城市交通拥堵的核心地下交通设施，地下管廊可实现市政管线集约化管理，地下商场则能拓展城市商业空间，此外还有地下停车场、地下仓储等多种形式，共同完善城市功能布局。

(2) 城市地下空间开发具有地质条件复杂、施工空间受限、精度要求高的核心特点。地质层面，地下岩土体性质多变，易出现坍塌、涌水等隐患；空间上，施工区域狭窄，大型设备作业难度大；精度方面，地下结构衔接、管线铺设等需严格控制误差，否则会影响工程安全与使用功能，这些也构成了开发过程中的主要技术难点<sup>[1]</sup>。

### 1.2 工程测量技术核心内涵与基本要求

(1) 工程测量技术是运用测量仪器、工具和方法，对工程建设相关的地形、地质、建筑物等进行精准测量、记录与分析的技术，核心任务是为工程规划、设计、施工及运营提供精准的空间数据支持。其发展历程从传统手工测量，逐步升级为数字化、智能化测量，目前已广泛应用于地下空间开发等各类工程领域。(2) 地下空间开发中，工程测量需满足精度、时效性、安全性三大基本要求。精度是核心，需严格控制测量误差，保

障地下结构定位、管线铺设等精准无误；时效性要求及时提供测量数据，配合施工进度，避免延误工期；安全性则要求测量过程中规避施工风险，同时通过精准测量提前预判地质隐患，保障工程施工安全。

## 2 城市地下空间开发中的核心工程测量技术

### 2.1 控制测量技术

(1) 地面控制测量中，GNSS静态测量技术应用广泛，核心参数需根据工程精度要求设定，包括采样间隔5-15秒、截止高度角 $15^{\circ}$ - $20^{\circ}$ ，观测时长不少于45分钟，确保数据稳定性。实施要点为选取视野开阔、无电磁干扰的观测点，严格对中整平仪器，同步记录观测数据，事后进行数据解算与误差分析，保障地面控制网的精准度，为地下测量提供基准。(2) 联系测量是连接地面与地下控制网的关键，采用陀螺经纬仪定向与精密水准测量组合应用。陀螺经纬仪定向需完成仪器整平、定向观测、数据校正等步骤，控制定向中误差不超过 $\pm 5''$ ；精密水准测量需遵循二等水准测量规范，控制前后视距差，减少仪器误差，通过双向观测消除系统偏差，实现地面与地下坐标、高程的精准传递<sup>[2]</sup>。(3) 地下控制测量以导线测量为主，施测标准需符合相关规范，采用三级导线测量，测角中误差不超过 $\pm 8''$ ，边长测量采用光电测距，往返观测较差不超过边长的 $1/20000$ 。地下控制网布设需结合地下施工空间，采用分级布设、逐步加密的技巧，避开施工干扰区域，设置牢固的观测点，确保控制网的稳定性和实用性。

### 2.2 施工放样测量技术

(1) 全站仪极坐标法放样是地下施工常用方法，仪器参数需设置测角精度 $\pm 2''$ 、测距精度 $\pm(2\text{mm}+2\text{ppm})$ ，操作流程为设站定向、输入放样坐标、瞄准目标放样，放样完成后进行精度验证，通过往返测量核对点位偏差，确保偏差值控制在规范允许范围内，保障施工点位

精准。(2)激光导向系统主要应用于盾构施工,可实现实时放样与姿态校正。系统通过激光发射器发射激光,配合接收装置捕捉盾构机位置信息,实时反馈盾构机的偏移量和姿态偏差,操作人员根据反馈数据调整盾构机推进方向和高程,确保盾构施工沿设计轴线推进,减少施工偏差<sup>[3]</sup>。(3)放样复核与校正采用闭环控制流程,放样后先进行自检,再由第三方复检,形成“放样-复核-校正-再复核”的闭环。偏差调整方法需根据偏差大小采取对应措施,小偏差直接调整施工点位,大偏差需重新放样,同时分析偏差原因,优化放样流程,避免偏差累积。

### 2.3 变形监测技术

(1)垂直位移监测结合二等水准测量与静力水准仪自动化监测,二等水准测量用于定期人工监测,严格控制观测精度,往返闭合差不超过 $\pm 4\sqrt{L}\text{mm}$ (L为测段长度);静力水准仪自动化监测可实现24小时实时监测,自动采集高程数据,及时反馈沉降变化,适用于地下结构沉降的动态监测。(2)水平位移监测采用北斗智能监测系统与视准线法结合,北斗智能监测系统可实现远程实时监测,定位精度达毫米级,适用于大范围地下结构水平位移监测;视准线法操作简便,通过设置基准点和观测点,定期观测点位偏移量,用于小范围、高精度的水平位移监测。(3)裂缝监测采用电子裂缝观察仪与振弦式测缝计,电子裂缝观察仪用于人工定期观测裂缝宽度,精度达0.01mm,记录裂缝变化趋势;振弦式测缝计可嵌入裂缝内部,实时采集裂缝开合数据,数据解读需结合施工进度,分析裂缝发展速度,判断是否存在安全隐患。

### 2.4 辅助测量技术

(1)无人机航测与GNSSRTK补测用于地下空间开发前期地形测绘,无人机航测可快速获取大范围地形数据,生成高精度地形图,效率高、覆盖面广;GNSSRTK补测用于无人机航测盲区,实时获取点位坐标,弥补航测精度不足,确保地形测绘数据的完整性和精准度。

(2)探地雷达(GPR)主要应用于地下管线探测与不良地质勘察,通过发射高频电磁波,接收地下介质反射信号,根据信号特征判断地下管线的位置、走向和埋深,同时可探测地下溶洞、断层等不良地质,为地下施工提供地质参考,规避施工风险。

## 3 工程测量技术在城市地下空间开发各环节的应用实践

### 3.1 勘察设计阶段的工程测量应用

(1)地形测绘与地下管线探测是勘察设计的基础,数据采集采用无人机航测与探地雷达(GPR)结合的方

式,无人机航测快速获取地表地形数据,GPR探测地下管线的位置、走向及埋深,同步用GNSSRTK补测盲区。精度控制需保证地形测绘高程误差 $\leq \pm 5\text{cm}$ ,管线探测定位误差 $\leq \pm 10\text{cm}$ ,为设计提供精准的基础数据。(2)地质勘察点放样以GNSSRTK技术为主,操作时先设置基准站、输入勘察点坐标,流动站实时接收信号定位,快速完成放样。点位精度保障需提前校准仪器、避开电磁干扰,放样后人工复核,确保勘察点位置偏差 $\leq \pm 3\text{cm}$ ,保障地质勘察数据真实有代表性<sup>[4]</sup>。(3)三维建模依托勘察测量获取的地形、管线、地质等数据,通过专业软件构建地下空间三维模型,清晰呈现地下地质、管线分布及地形特征。借助模型可直观排查设计冲突,优化地下结构布局、管线走向及施工方案,提升设计科学性与合理性,降低施工风险。

### 3.2 施工过程中的工程测量应用

(1)基坑开挖阶段,需对周边土体位移与基坑变形进行动态监测,采用北斗智能监测系统与静力水准仪组合,实时采集位移、沉降数据,监测频率随开挖进度调整。通过数据实时分析,及时发现异常变形,提前预警,避免基坑坍塌、周边建筑物沉降等安全隐患。(2)主体结构施工中,模板、钢筋骨架的精准放样采用全站仪极坐标法,输入设计坐标完成点位放样,确保模板安装、钢筋布设的位置偏差符合规范要求。尺寸校验需采用钢尺量测与仪器复核相结合的方式,重点检查结构标高、轴线间距,及时校正偏差,保障主体结构施工质量。(3)盾构掘进阶段,激光导向系统实时监测盾构机姿态,同步采集轴线偏移量、高程偏差等数据,操作人员根据反馈数据实时调整掘进参数,控制轴线偏差不得超过 $\pm 5\text{cm}$ 。同时配合陀螺经纬仪定向复核,确保盾构机沿设计轴线掘进,避免出现管片错台、轴线偏移等问题。

### 3.3 运营维护阶段的工程测量应用

(1)建立常态化监测体系,监测点布设需覆盖地下结构关键部位、周边建筑物及管线,采用隐蔽式布设方式,避免影响运营。数据传输采用无线传输模式,实现监测数据实时上传、存储与分析,确保监测数据的时效性和连续性,为运维提供实时数据支持。(2)结构变形长期监测重点关注地下结构沉降、水平位移及裂缝变化,结合自动化监测与定期人工复核,解读监测数据,分析变形规律。建立分级安全预警机制,根据变形量设置预警阈值,出现异常时及时发出预警,提醒工作人员采取防控措施。(3)测量成果为运维决策提供重要依据,通过分析长期监测数据,精准排查地下结构隐患部位及严重程度,指导结构维护施工。同时,结合测量成

果优化运维方案,合理安排维护周期与内容,延长地下空间使用寿命,保障运营安全<sup>[5]</sup>。

#### 4 工程测量技术应用中的问题与优化策略

##### 4.1 当前工程测量技术应用中的主要问题

(1) 技术层面存在明显短板,复杂地质条件下,地下岩土体不均匀、地下水丰富等易干扰测量信号,导致测量精度不足,影响施工质量。同时,GNSS、全站仪、自动化监测等各类测量技术应用独立,融合度不够,无法充分发挥综合效能,难以满足复杂地下空间开发对高精度、高效率的需求。(2) 管理层面漏洞较多,数据管理缺乏统一规范,测量数据的采集、存储、分析、共享等环节混乱,易出现数据丢失、重复录入、误差累积等问题。此外,工程测量涉及多专业,各专业数据标准不统一、沟通不畅,导致协同难度大,影响工程进度与测量成果利用率。(3) 人员层面能力不足,部分技术人员专业素养欠缺,对复杂地质条件下的测量技术要点掌握不熟练,难以应对突发问题。且随着智能化测量设备的普及,部分人员缺乏设备操作技能,无法充分发挥设备优势,制约了测量效率与精度的提升。

##### 4.2 工程测量技术应用的优化策略

(1) 技术优化方面,推广“GNSS+全站仪+自动化监测”综合测量方案,将各类测量技术有机融合,实现优势互补。针对复杂地质条件,优化测量参数,采用抗干扰技术,提升测量精度;同时引入先进测量算法,优化数据解算流程,提高测量数据的准确性与可靠性。

(2) 管理优化方面,建立统一的数据标准,规范测量数据的采集、存储、分析与共享流程,搭建一体化数据管理平台,实现数据实时共享与高效利用。强化工程测量全过程管控,明确各环节责任,加强各专业间的沟通协调,建立协同工作机制,降低协同难度,提升工作效率。(3) 人员优化方面,加强专业技术培训,结合工程实际需求,开展复杂地质测量、智能化设备操作等专项培训,提升技术人员的专业素养与实操能力。建立考核机制,定期对技术人员进行技能考核,激励人员主动学

习,同时引进高素质专业人才,补齐人员能力短板。

##### 4.3 工程测量技术的发展趋势展望

(1) 智能化发展成为主流, AI技术将深度融入工程测量,实现测量数据的智能分析、异常预警与辅助决策,减少人工干预。无人化测量技术(如无人机航测、无人值守监测站)将广泛应用,大幅提升测量效率,降低人工劳动强度与安全风险。(2) 集成化发展趋势明显, BIM与GIS技术深度融合,实现地下空间三维模型与地理信息的联动,为工程设计、施工、运维提供全生命周期的技术支持。数字孪生平台的构建,将实现测量数据与工程实体的实时映射,助力工程精细化管理。(3) 精准化水平持续提升,高精度测量设备与技术将不断迭代升级,测量精度将向毫米级、亚毫米级突破。同时,抗干扰技术的优化,将解决复杂环境下的测量难题,进一步满足城市地下空间开发对测量精度的严苛要求。

##### 结束语

工程测量技术是城市地下空间开发不可或缺的核心支撑,贯穿勘察设计、施工实施、运营维护全生命周期,其精度与效率直接关系工程安全、质量与效益。本文系统探究了核心测量技术的应用与实践,针对现存问题提出的优化策略具有较强实操性。未来,随着智能化、集成化技术发展,工程测量将实现更高精度突破,为地下空间高效安全开发提供有力保障。

##### 参考文献

- [1]王小斌,李杰.城市地下空间开发利用的现状、问题与对策研究[J].城市建筑,2022,17(30):45-48.
- [2]李晓东.地下工程在城市可持续发展中的作用[J].地下空间与工程学报,2023,15(S2):679-684.
- [3]赵阳,刘伟.地下空间环境控制技术的研究进展与展望[J].地下空间与工程学报,2021,17(01): 287-294.
- [4]李俊峰.城市地下空间开发利用的环境影响及应对策略[J].环境科学与管理,2023,45(3):154-158.
- [5]姜婷.北京市海淀区地下空间开发地质环境适宜性评价[J].四川建筑,2022,39(06):136-138.