

数字化测绘技术在工程测量中的应用

席晓飞

北京水利水电学校 北京 100024

摘要：伴随国内基建行业向数字化、精细化方向转型，传统人工测绘模式已难以适配现代工程建设需求。数字化测绘依托高精度、高效率、数据可复用等优势，成为现阶段工程测量工作的核心技术手段。本文结合水利、建筑、市政、交通等多个工程领域的实际工况，围绕北斗定位、无人机航测、三维激光扫描、自动化监测、水下智能测绘等主流技术展开论述，分析该类技术在工程控制布设、场地勘察、施工放样、结构安全管控、水下地形探测以及多源数据协同中的落地路径。针对当前行业存在的智能设备普及率偏低、数据标准不统一、复杂工况适配性弱、专业技术人才储备不足、全周期数据利用率不高等现实问题，提出可行的改进策略，并对空天地一体化感知、BIM 融合应用、数字孪生、云端协同作业等行业发展方向进行预判。研究表明，数字化测绘能够切实提升测量作业质量与效率，为工程设计优化、施工过程管控、后期运维保障提供数据支撑，对推动工程测量行业高质量发展具备现实意义。

关键词：数字化测绘；工程测量；三维激光扫描；无人机测绘；BIM；技术；变形监测

引言

工程测量是贯穿项目前期规划、现场勘察、方案设计、现场施工、竣工验收及后期运维的基础性工作，测量成果的精准度直接决定工程建设的安全性、经济性与规范性。传统测量方式多采用水准仪、经纬仪、常规全站仪开展作业，依靠人工现场观测、纸质记录、人工核算完成数据处理，不仅外业劳动强度高、整体工期偏长，还易受操作人员专业水平影响产生人为误差。在山地、水域、城区密集建筑区等复杂环境中，传统测绘受通视、地形、气象条件制约明显，作业难度大、安全风险较高，难以满足大型工程项目三维化、动态化、高精度的测量要求。

在北斗系统全面商用、低空遥感、激光雷达、物联网与云计算技术快速普及的背景下，工程测绘行业迎来数字化转型机遇。数字化测绘并非单一设备或技术的简单叠加，而是通过多类测量装备、软件平台、数据算法融合形成的一体化作业体系，可实现空间信息自动化采集、智能化解算、三维建模与跨阶段共享，打通勘测、设计、施工、运维之间的数据壁垒。本文从技术构成、实际应用、现存问题、优化对策及发展趋势五个维度展开分析，为数字化测绘技术在工程领域的规范化应用提供参考。

1 数字化测绘主要技术构成

1.1 高精度卫星定位技术

该技术以我国自主研发的北斗三号系统为核心，兼容多星座卫星信号，依托网络 RTK、实时动态差分、

精密单点定位等算法，可快速获取厘米至毫米级三维坐标。相较于传统测量，北斗定位技术不受通视条件约束，具备全天候作业、点位布设灵活、精度稳定均匀等特点，可快速完成首级控制网、图根控制网及施工加密控制网布设，广泛应用于施工点位放样、构筑物位移监测、场地地形数据采集，是数字化测绘体系的空间基准基础。

1.2 无人机测绘技术

无人机测绘属于低空遥感作业范畴，可根据作业区域特征选用多旋翼、固定翼等机型，搭载可见光相机、激光雷达、倾斜摄影模块开展外业采集。针对高速公路、河道等大面积带状区域，采用固定翼无人机实现大范围高效测绘；针对场地狭小、地形破碎的施工现场，选用多旋翼无人机开展精细化采集。数据经空三解算、影像匹配、纹理映射后，可自动生成数字正射影像、高程模型、实景三维模型、断面图纸等成果，有效解决陡坡、悬崖、偏远区域人员难以抵达的测绘难题，大幅缩短前期勘察工期。

1.3 三维激光扫描技术

三维激光扫描依托高速激光测距原理，短时间内可采集海量空间点云数据，能够完整还原构筑物、基坑、隧道、山体等实体的空间形态，测量精度最高可达亚毫米级。该技术采用非接触式作业模式，无需测量人员靠近高危区域，适用于大坝、桥梁、异形钢结构、地下隧道等传统手段难以作业的场景。采集的点云数据可直接用于 BIM 建模、结构尺寸校核、施工偏差比对、长期变

形分析,是实现工程精细化管理的关键技术。

1.4 数字化成图与信息整合技术

依托 CAD、BIM、GIS 及专业点云处理软件,可对野外采集数据开展自动化解算、误差校正、图纸绘制与三维建模,替代传统人工内业模式,降低人为失误带来的数据偏差。通过统一空间基准、数据格式、编码规则与软件接口,实现卫星、地面、水下、传感器等多源数据标准化整合流转,达成“一次采集、全程复用、动态更新”的目标,减少重复测绘工作,降低项目综合成本,提升工程全流程数据协同效率。

1.5 自动化结构监测技术

自动化监测技术融合传感设备、物联网传输、云端预警系统,针对深基坑、高边坡、桥梁、隧道、大坝等构筑物布设沉降、位移、裂缝、应力监测点位,实现全天候无人值守的数据采集^[1]。系统可实时传输监测数据、智能分析变形趋势,当数值超出规范阈值时自动预警,及时排查结构安全隐患,减少高空、高危环境下的人工监测频次,提升工程运维阶段的安全管理水平。

1.6 水下智能测绘技术

水下智能测绘是数字化测绘在涉水工程中的专项应用,以无人测量船、多波束测深仪、侧扫声呐为核心设备,适配河道、库区、港口、涉水基坑等场景,可全自动完成水下地形扫描、水深测量、淤积厚度监测、水下障碍物排查。该技术有效弥补传统人工水下测量风险高、精度不足、数据覆盖不全的短板,为河道整治、防洪调度、水工基础施工、城市水环境治理提供可靠的水下空间数据。

2 数字化测绘在工程测量中的实际应用

2.1 在控制测量中的应用

控制测量是工程测绘工作的基础环节,控制网布设精度直接决定后续所有测绘成果的可靠性。传统导线、水准测量流程繁琐、受地形制约大、易产生累积误差。数字化测绘以北斗定位技术为核心,搭配全站仪复测、水准校核,可快速搭建全域平面与高程一体化控制网,适配长距离线性工程与城市密集施工场景^[2]。依托网络 RTK 可实现现场快速定点,无需布设传统中转导线,测绘成果可直接对接设计与测量设备,从源头保证项目整体数据统一精准。

2.2 在地形测绘与勘察中的应用

工程前期勘察需要全面、真实的场地地形、地物、高程数据,是方案设计与造价测算的重要依据。数字化测绘采用无人机航测、地面激光扫描、水下无人船

协同作业模式,实现地上、地表、水下空间信息全覆盖采集。在建筑市政项目中,可快速生成场地三维模型,为场地平整、管线规划、土方测算提供支撑;在水利工程中,精准核算库容、淤积量与淹没范围,辅助坝址选址与防洪设计;在交通工程中,获取沿线地形、边坡数据,支撑线路选线、桥隧布设,整体勘察效率与数据完整性显著优于传统人工测绘。

2.3 在施工放样与精准定位中的应用

施工放样是衔接设计图纸与现场施工的关键环节,放样精度直接影响工程施工质量。传统人工放样依靠人工计算、现场对点、多次校核,容易出现计算失误、点位偏差等问题。数字化放样依托 RTK 设备、智能全站仪、BIM 放样机器人,直接导入设计三维坐标,实现自动解算、实时定位、偏差自动校核,可精准完成建筑轴线、桩基点位、隧道开挖轮廓、管线井位等关键点位放样,大幅减少人工干预,将点位误差控制在毫米级,保障施工合规性。

2.4 在结构变形与安全监测中的应用

工程结构受施工荷载、地质条件、水文环境影响会产生持续变形,变形量超出规范范围易引发安全事故。数字化测绘采用自动化实时监测结合定期激光扫描复测的方式,对基坑边坡沉降滑移、隧道围岩收敛、桥梁线形、大坝结构变形进行全过程管控^[3]。监测数据实时上传云端平台,异常情况自动预警,通过不同周期三维模型比对精准提取变形量,实现安全隐患早发现、早处置,筑牢施工与运维安全防线。

2.5 在河道与水下测量中的应用

涉水工程测量环境复杂、人工作业风险较高,传统测量难以实现全域数据覆盖。数字化无人船测绘可自动规划航线,完成水下地形全域扫描,生成高精度水下三维模型,精准测算河床高程、淤积厚度、河道断面参数,为清淤施工、防洪调度、水工基础建设、水环境隐患排查提供完整数据,推动涉水测绘从高危人工作业向智能无人作业转型。

2.6 在数字化成果与设计协同中的应用

数字化测绘摒弃传统纸质图纸、零散数据的交付模式,以三维模型、BIM 数据、监测数据库为核心成果,打通勘测、设计、施工、竣工、运维全流程数据链路。测绘成果可直接用于方案比选、管线碰撞检测、施工模拟与工程量核算;施工阶段可通过实测模型与设计模型比对及时纠偏;竣工阶段完成数字化验收归档;运维阶段依托数字孪生平台,实现工程全生命周期数

据高效复用。

3 应用现状与技术优势

当前,北斗定位、无人机航测、激光扫描等数字化技术已在大中型水利、建筑、交通、市政工程中广泛应用,国产测绘设备技术日趋成熟、性价比不断提升,逐步向中小基建项目推广普及。对比传统测绘模式,数字化测绘优势突出:测量精度稳定可控,可满足精细化施工需求;自动化作业大幅压缩工期,显著提升作业效率;不受复杂地形、气象条件限制,实现全域立体采集;成果可视化程度高、可多次复用;大幅减少高危人工环节,提升作业安全性;能够形成全周期数据闭环,助力工程数字化管控升级。

4 当前应用存在的主要问题

4.1 智能装备普及不均衡

部分中小型测绘、施工单位受资金、技术认知限制,仍以传统测量设备为主,高端激光扫描、无人船、自动化监测设备普及率偏低,复杂工况下仍依赖人工补测,数字化技术应用深度不足。

4.2 多源数据标准不统一

不同设备、软件输出的测绘数据格式、空间基准、编码参数存在差异,勘测、施工、运维各环节数据难以互通共享,形成数据孤岛,降低测绘数据的综合利用率。

4.3 复杂场景适配能力不足

在密闭地下空间、城区信号遮挡区域、高浊度水域、强电磁干扰环境中,设备信号稳定性、数据采集精度下降,自动化作业受限,仍需人工干预处理。

4.4 复合型技术人才短缺

现有从业人员多擅长传统外业测量,在数据处理、BIM建模、智能设备操作、监测数据分析等方面能力不足,难以满足数字化测绘高质量应用需求^[4]。

4.5 全周期数据应用机制不完善

多数项目仅在勘察、施工阶段使用测绘数据,竣工与运维阶段数据更新滞后,测绘数据资产未能有效沉淀,数字孪生、智慧运维等高阶应用落地难度较大。

5 优化措施与未来发展趋势

5.1 优化应用措施

一是加大国产智能测绘设备推广力度,降低中小企业设备升级成本,逐步淘汰传统落后测量模式;二是统一行业测绘数据标准,规范数据格式、编码与交付要求,搭建数据共享平台,破除数据壁垒;三是完善人

才培养体系,通过校企合作、在岗培训,培育兼具测绘实操、软件应用、数据分析能力的复合型人才;四是优化多设备协同作业方案,针对复杂工况优化采集算法,提升自动化作业适配能力;五是建立外业采集、内业处理、成果审核全流程质量管控体系,保障测绘成果精准可靠^[5]。

5.2 未来发展趋势

第一,测绘作业向智能化、自主化升级,人工智能深度融入数据处理、模型生成、成果质检环节,无人化测绘作业逐步成为主流;第二,空天地一体化感知体系持续完善,卫星、低空、地面、水下测绘技术深度融合,实现工程空间信息无死角采集;第三,测绘数据与BIM、数字孪生技术深度融合,构建工程全生命周期可视化管控底座;第四,依托5G、云计算实现云端协同作业,数据可实时传输、远程解算、多方协同办公;第五,全周期数据服务常态化,测绘数据贯穿项目全过程,形成可更新、可复用的数据资产;第六,行业技术标准持续完善,数字化测绘作业更加规范,技术门槛不断降低,实现全行业普惠应用。

结束语

数字化测绘技术彻底改变了传统工程测量粗放化、人工化、二维化的作业模式,推动行业向智能化、精细化、三维化、全周期化方向转型。该技术有效提升测量精度与作业效率,为工程设计优化、施工质量管控、结构安全运维提供稳定数据保障,是基建行业数字化升级的重要基础。当前数字化测绘应用仍存在设备普及不足、数据融合度低、人才储备有限、复杂场景适配弱等短板。未来,伴随人工智能、空天地一体化感知、数字孪生等技术持续迭代,数字化测绘将不断突破技术瓶颈,全面赋能建筑、水利、交通、市政等工程领域,助力我国工程测量行业实现高质量、智能化可持续发展。

参考文献

- [1] 工程测量规范(GB 50026-2020)[S].北京:中国计划出版社,2020.
- [2] 水利水电工程测量规范(SL 197-2013)[S].北京:中国水利水电出版社,2013.
- [3] 王解先.现代工程测量技术发展与应用创新研究[J].测绘通报,2022(05):1-5.
- [4] 刘彦芬.数字化测绘在水利工程测量中的实践应用[J].水利技术监督,2023(02):112-115.
- [5] 张海涛.多源测绘技术在工程测量中的融合与创新[J].测绘科学,2024(01):89-94.