

资源导刊 信息化 测 绘

国际标准连续出版物号：ISSN 1674-053X 国内统一连续出版物号：CN 41-1389/D

2025
第 11 期
总第509期

时空织就发展网 数据绘就新中原

——河南测绘地理信息数据赋能高质量发展全景透视

河南省测绘地理信息技术中心斩获 2025 年省部级大奖

ISSN 1674-053X



9 771674 053074



下半月 定价：10元

扫码关注我们

郭幸生在北斗应用与基准服务河南分中心揭牌仪式上强调 持续深化行业保障 释放数据要素价值



本刊讯 10月30日，自然资源部北斗应用与基准服务河南分中心揭牌仪式在河南省测绘地理信息技术中心创新基地举行。河南省自然资源厅党组成员、副厅长景志刚，河南省测绘地理信息技术中心党委书记、主任郭幸生参加揭牌仪式。

揭牌仪式上，景志刚对北斗应用与基准服务河南分中心正式揭牌表示热烈祝贺，他强调，一要深刻把握国家战略意图，充分认识河南分中心建设的时代价值。此次揭牌使河南省直接共享国家级基准服务资源，时空信息基础设施正式融入国家主框架，服务能力和可靠性得到质的飞跃。二要紧密结合省情发展需求，深刻理解河南分中心建设的现实意义。此次揭牌标志着河南省在构建现代化测绘基准服务体系、推动北斗规模应用上进入了新阶段，要在服务自然资源管理、赋能经济社会发展、保障国家安全方面为谱写新时代中原更加出彩的篇章注入强劲的“时空动力”。三要凝聚共识汇聚力，共同肩负河南分中心建设发展的历史使命。要强化协同联动、筑牢安全底线、推动开放共享，凝聚各方智慧与力量，确保河南分中心高效运行、发挥预期效益。

郭幸生在讲话中指出，建设北斗应用与基准服务河南分中心，既是落实国家重大战略部署的必然要求，也是推动河南高质量发展的现实需要，将有力保障北斗应用与基准服务“一张网”在河南的稳定运行，全面提升全省自然资源治理现代化水平，为谱写新时代中原更加出彩的绚丽篇章注入强劲动能。自启动建设

以来，河南分中心始终严格对标自然资源部要求，在河南省自然资源厅的统筹指导下，高效完成建设方案编制与备案，构建起“省厅统筹指导、技术中心协调推进、测绘院主责实施”的三级管理体系。河南省测绘院卫星导航定位服务中心作为核心依托单位，抽调精干力量组建专业化团队，并设立运维保障、技术服务、应用推广三大业务部门，明确职责分工，确保从诞生之初便具备高效运转的“四梁八柱”。

为承接好国家级分中心职能，郭幸生强调，河南省分中心将全力推进系统升级：一是在即将入驻的河南测绘创新大厦规划200平方米集成化办公区，按B级标准建设专业机房，为设备扩容、数据安全提供“硬支撑”。二是加速推动硬件扩容与软件迭代，新增国产服务器集群，搭建综合运维管理平台，推动核心数据库国产化替代，构建“稳定高效、自主可控”的技术底座。三是建立部省数据实时共享通道，实现与国家基础地理信息中心的数据同步更新，深度融入全省自然资源“一张图”建设，构建“上下贯通、左右协同”高效运转机制。此外，河南分中心还将推动“申请—受理—审核—反馈”全流程线上化，推动北斗高精度时空定位服务在自然资源管理、智能交通、现代农业、生态环保、应急指挥等领域规模化应用，持续深化行业保障，释放数据要素价值；聚焦团队能力建设，建强“管理+技术+服务”复合型队伍，通过常态化培训、实战化演练，确保团队能力与全省高质量发展需求同频共振。☑（王梓臣/文、图）

测绘地理信息数据赋能发展新篇章

◎ 本刊评论员

当古老的中原大地与前沿的时空信息技术相遇，会迸发出怎样的精彩？10月31日，一场测绘地理信息数据赋能高质量发展推介会，勾勒出一幅时空技术深度融入中原大地经济社会发展的生动图景。

近年来，河南省测绘地理信息事业以创新突破之姿，实现跨越发展，将精准的时空数据转化为驱动高质量发展的强大动能，在现代化河南建设的宏伟画卷上，描绘出愈发清晰的数字经纬，成为支撑高质量发展的新型基础设施。

这是一条以数据筑基的创新发展之路。没有坚实的基底，万丈高楼无从谈起。河南测绘地理信息工作始终坚持基础先行，建成了覆盖全省的卫星导航定位基准站网，实现高精度定位服务；“河南一号”卫星的成功发射，实景三维河南建设的扎实推进，如同为数字河南建设铺设了一条畅通无阻的“信息高速公路”，为各行各业的发展提供了统一的时空基底。

这是一条与产业同频的融合发展之路。在广袤的田野上，基于北斗系统的智能农机实现精准作业，卫星遥感助力作物长势监测；在现代化的工厂里，高精度定位服务赋能智能制造；在繁忙的物流网络中，时空数据优化运输路径，提升配送效率。测绘地理信息不再只是“画地图”，而是通过与产业场景的深度融合，催生出新业态、新模式，成为推动产业转型升级的“催化剂”，为现代化河南建设注入新的动力。

这是一条与民生共振的普惠发展之路。技术的价值，最终要体现在增进人民福祉上。在城市，“实景三维+AI算法”构建的“城市大脑”，让12345热线工单得以自动定位、智能派发，提升了响应速度；在乡村，农民扫码即可查询地块信息，减少了土地纠纷；在应急救援现场，“空天地”一体化测绘保障体系为救援决策提供精准支撑。测绘地理信息正在悄然改变我们的生活，让城市更智慧，让乡村更和谐，让服务更便捷，让群众更有获得感，绘就了一幅更有温度的民生画卷。

这是一条与生态共生的绿色发展之路。依托“空天地网”一体化监测体系，河南运用测绘地理信息技术守护绿水青山。通过高分辨率影像持续追踪黄河流域生态变化，精准识别污染源；利用北斗高精定位技术建立智能监管系统，支撑生态环境执法；通过实景三维动态推演生态修复进程，为生态保护红线划定提供科学依据。用数据说话，用技术监管，不仅守牢了生态保护红线，更为美丽河南建设提供了可量化、可追溯的“数字标尺”。

这是一条与文化互促的传承发展之路。作为华夏文明的重要发祥地，河南正借助现代测绘技术让文物“活”起来。通过近景摄影测量和激光扫描技术，为文物预防性保护提供支撑；构建“天上看、地上查、网上管”的文物安全防护网，有力守护文化遗产；通过“天地图·河南”平台，让公众足不出户即可720°全景游览知名景点。测绘地理信息不仅为文物保护穿上了“数字铠甲”，更让厚重的中原文化通过数字技术走向世界。

看似寻常最奇崛，成如容易却艰辛。河南测绘地理信息事业取得的每一点进步，都凝聚着广大测绘工作者的智慧与汗水。他们用脚步丈量山河，用技术描绘蓝图，以时空为笔、数据为墨，将论文写在中原大地。

凡是过往，皆为序章。当前，河南正锚定“两个确保”，持续实施“十大战略”，对测绘地理信息工作提出了更高要求。我们要清醒地认识到，测绘地理信息的数据供给能力仍需加强，应用场景有待进一步拓展，共享机制需要进一步完善。新征程上，我们要以服务保障“两高四着力”为总体目标和中心任务，继续夯实时空数据基底，深化数据融合应用，创新服务模式，拓展应用领域，让测绘地理信息在更多领域绽放异彩，让时空信息在谱写中原更加出彩的绚丽篇章中绽放更加璀璨的光芒，为推进中国式现代化建设河南实践作出新的更大贡献！



资源导刊 信息化测绘

2025年 下半月 第111期 总第509期

测绘资讯·政策解读
文化传播·技术交流

主管单位：河南省自然资源厅 主办单位：河南自然博物馆

编辑出版：《资源导刊》杂志社

国际标准连续出版物号：ISSN 1674-053X 国内统一连续出版物号：CN 41-1389/D

邮发代号：36-373 定价：10元 印刷单位：河南普庆印刷科技有限公司

地址：河南省郑州市黄河路8号《资源导刊·信息化测绘》编辑部

编辑部：0371-65941858 广告发行部：0371-65941854

投稿邮箱：xxhch2015@163.com QQ 通联群：185394654

顾问

王家耀 中国工程院院士
刘先林 中国工程院院士
李建成 中国工程院院士
龚健雅 中国科学院院士
邹友峰 河南理工大学教授
刘文锴 华北水利水电大学教授
李广云 中国人民解放军网络空间部队信息工程大学教授
王召东 河南省土木建筑学会理事长
杜清运 武汉大学资源与环境科学学院教授
姚宣斌 武汉大学教授
郭增长 河南测绘职业学院教授
毛忠民 河南省测绘地理信息技术中心原二级巡视员

河南省测绘地理信息技术中心编委会

主任 郭幸生
副主任 肖峰 武永斌 王军胜 陈政民 贺奕
成员 翟娅娟 赵海滨 赵立明 孙常建 李辉
寿燕翻 王明强 付治河 张向军 田耀永
朱志军 曹源 周学军

声明

本刊发表的文字、图片、光盘等的版权归《资源导刊》杂志社所有，未经本社书面授权，不得为任何目的、以任何形式或手段复制、翻印及传播，本刊保留一切法律追究的权利。

社长：刘立新
执行总编：肖峰
副社长：左金安
副总编：刘鹏飞
编辑部主任：王红闯
责任编辑：王敏
摄影总监：赵洪山
文字编辑：王敏 栗荣晓
陈庆贺
论文编辑：方乐道
美术编辑：宋珂
发行：丁翔

弘扬测绘正能量的宣传阵地
打造行业主流声音传播平台
孕育测绘工程师的理想摇篮

网站合作单位



目录

CONTENTS

卷首语

- 1 测绘地理信息数据赋能发展新篇章

国内要闻

- 4 全国卫星导航定位基准站“一张网”迈入协同服务新阶段 等8则

时政传递

- 6 《卫星导航定位基准站管理办法》发布
三方聚力推进焦作地理信息产业高质量发展
7 河南省测绘地理信息技术中心斩获2025年省部级大奖

政策解读

- 8 统筹全链条全环节管理 促进产业安全健康发展
——《卫星导航定位基准站管理办法》解读

特别关注

- 10 时空织就发展网 数据绘就新中原
——河南测绘地理信息数据赋能高质量发展全景透视

测绘广角

- 16 河南省测绘院荣获2025中国地理信息科技进步奖一等奖
中国中铁大桥局集团一公司桥梁测绘科技创新成果获奖
17 驻马店城市级实景三维模型顺利通过国家质检
“天眼+自然资源”焦作实践获全省推广

经天纬地

- 18 用脚步丈量国土 用技术点亮未来
——河南中安规划设计有限责任公司工作扫描

豫外传真

- 20 全国首笔“中葡”碳汇交易落地珠海
天津首次发布生产力地图
21 河北印发测绘项目备案管理办法
唐山实现矿产资源监管变革

发展研究

- 22 浅析测绘地理信息领域无人机安全风险及防范措施

技术应用

- 25 基于改进方法的船舶AIS时空大数据处理与应用研究
29 海上风电场风机安全监测技术与应用研究
33 黄河流域河南段生态环境空间格局变化及驱动因子研究
36 基于遥感影像的地表高程变化区域识别研究
39 BDS-3单频短基线随机模型适用性分析
42 基于Python的测绘数据处理辅助系统设计与实现
46 基于多源遥感影像的城市建筑三维建模方法研究
49 MEA优化BP神经网络在基坑变形预测中的研究与应用
52 基于三维激光扫描技术的地铁附属建筑外立面测量研究

人文地理

- 56 泰山：石与云的千年对话

文苑撷英

- 58 “携礼莫入”见风节
59 渭堤秋韵
60 大地秋思

艺术欣赏

- 62 罗小明摄影作品欣赏

合作单位

- 64 《资源导刊·信息化测绘》宣传合作单位

封面

栾间银河 康伟 / 供图

关注 全国卫星导航定位基准站“一张网”迈入协同服务新阶段

10月31日，自然资源部北斗应用与基准服务国家中心及各省市分中心集中授牌仪式在北京举行。此次授牌，标志着全国卫星导航定位基准站“一张网”正式从统筹建设阶段跨入协同服务阶段，成为我国北斗规模化应用与基准服务体系建设的里程碑。

北斗应用与基准服务中心是我国法定权威的北斗卫星导航定位“一张网”运维管理与应用机构，也是自然资源部提升全国统一基准服务能力、履行测绘法定职责的重要抓手。其中，国家中心负责跨省域公益性测绘基准及导航定位服务，分中心负责提供本行政区域测绘基准服务以及导航定位与位置服务。目前，“一张网”已整合扩充至6951座基准站，日定位服务超千万次，广泛应用于自动驾驶、灾害监测、城市建设等领域。

“十四五”期间我国北斗产业增长强劲

11月6日，《2025中国北斗产业发展指数报告》发布，截至2025年上半年，北斗产业综合指数达1579点，同比提升10.34%，较2020年增幅超60%，直观展现“十四五”期间我国北斗产业的强劲增长态势。

报告显示，北斗市场化、产业化、国际化指数加速攀升，产业景气度持续提升。截至同期，北斗终端设备（不含消费类电子）应用量超3300万台/套，同比增长22%，综合应用渗透率约90%；14个重点行业终端应用量超3000万台/套，同比增长27%，交通、通信、自然资源、应急、农业位列应用指数前五。大众消费领域，2025年上半年国内智能手机出货1.3亿部，超98%支持北斗，52款机型默认优先北斗；乘用车搭载北斗终端超1000万辆，北斗网络辅助公共服务平台日均活跃用户超1亿，同比增长75%。

我国首部超大城市国土空间规划地方立法于12月施行

12月1日起，全国超大城市首部国土空间规划地方立法《广州市国土空间规划条例》（以下简称《条例》）正式施行。

《条例》明确其作为地方城乡建设和空间规划领域“小母法”的基础性地位，构建总体规划、详细规划

与专项规划协同机制，首创专项规划“空间专章”，建设用地空间布局方案可直接纳入详细规划，实现无缝衔接。城市更新、城中村改造等相关专项规划统一归口自然资源部门编制，强化规划法定性与引导性。

《条例》创新空间治理模式，建立规划全流程贯穿式管理，合并规划选址与用地预审、建设用地规划许可与用地批准等审批环节，确立工业产业控制线法定效力。同时设立规划委员会议事机制，完善全过程公众参与和多元监督体系，构建不动产权利人防联控机制，推动空间治理向全要素、全周期转变。

科技 我国发布SAR多模态基础模型革新智能解译技术

近日，中国科学院空天信息创新研究院王超团队提出多模态对比预训练框架SARCLIP，相关成果发表于遥感领域中国科学院一区TOP期刊《Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing》(IF=12.2)，由博士研究生蒋朝为、研究员王超分别担任第一作者和通信作者，该研究获国家自然科学基金项目资助，为SAR智能解译提供新范式，赋能对地观测技术升级。

该模型针对性破解SAR影像散射噪声强、几何畸变复杂、语义标注缺乏的行业痛点，构建包含40万余对多分辨率、多传感器、多场景图文样本的SARCAP数据集，实现SAR影像与自然语言的语义联合表征学习。为适配SAR数据特性，团队创新设计噪声鲁棒编码模块(NRE)与分层文本引导模块(HPL)，分别强化模型抗物理扰动稳定性与跨尺度语义对齐能力。

经多项公开基准数据集验证，SARCLIP在跨模态检索、零样本分类、物体定位等下游任务中表现持平



或优于现有方法，在语义对齐、跨模态泛化与任务迁移方面实现显著突破，为 SAR 图像智能理解提供了高效技术路径，推动对地观测向更精准、智能的方向升级。

中国测绘地理信息科技成果展示交易平台 正式发布运行

日前，中国测绘地理信息科技成果展示交易平台正式发布运行。该平台由中国地理信息产业协会、中国卫星导航定位协会、德清县人民政府共同建设运营，是国内首个集展示、交易、交流、合作、共享于一体的全国性行业公益服务平台。

平台聚焦测绘地理信息领域，设“看成果、提需求、查交易、享服务、找案例、综合资讯”六大版块，同步开设“股权交易”信息发布与“中试服务”通道，还开发智能体实现科技成果与应用需求精准匹配，支持 PC 端、移动端及中英文切换，方便各类用户使用。

目前，平台已构建线上线下一体、科创转化便捷的新生态，将有效对接高校、科研机构与企业供需，推动地理信息领域产学研用深度融合，助力产业转型升级，同时搭建起行业服务辐射全国、走向世界的枢纽，为地理信息产业高质量发展注入新动能。

我国首颗海风海浪探测卫星被命名为“妈祖号”

11月2日，第十届世界妈祖文化论坛上，我国首颗海风海浪探测卫星正式命名为“妈祖号”。该卫星计划于2027年发射，将实现海洋风浪实时监测，为海洋与气象预报、海洋资源开发提供精准数据支撑，筑牢海洋防灾减灾技术屏障。

卫星命名寓意深远，既传承“东方海上女神”妈祖守护航海安全的文化内涵，更寄托着以科技守护航运、渔业安全的美好愿景。作为我国海洋立体观测体系的重要补充，“妈祖号”将突破传统海洋监测局限，实现多要素、大范围同步探测，大幅提升海浪灾害预报精度与时效，为海上丝绸之路沿线安全保障提供技术赋能。

此次命名是中华优秀传统文化与现代航天科技的深度融合，此前“妈祖·海浪”模式、“MAZU”全民早期预警方案已在国际推广，“妈祖号”卫星的研发发射，将进一步拓展海洋科技服务边界，为海洋强国建设注入新动能，向全球传递海洋治理的中国智慧。

11月6日，中国地理信息产业协会发布《中国地理信息产业发展报告（2025）》。报告显示，2024年我国地理信息产业总产值达8501亿元，增速4.8%；近5年复合增长率5.6%，近10年达11.0%，产业规模持续扩大。

截至2024年末，全行业从业单位约24.2万家，同比增长8.8%；从业人员近400万人，主营业务相关上市企业77家，其中73家内地企业总市值约6716.3亿元。民用遥感卫星领域成效显著，累计发射568颗，在轨工作544颗，2024年新增在轨民用遥感卫星101颗，占在轨工作卫星总数的18.6%。

地理信息公共服务平台已建成1个国家级节点、32个省级节点、300余个市县级节点。在线注册开发用户超过124万个，累计授权应用超100万个，日均地图服务接口访问量超过10亿次，支撑40多个行业或部门5400多个政府用户、约1.8万家企业和社会各界的应用，在线服务地理信息数据要素总量达3.3亿条，2米分辨率遥感影像覆盖全部陆地国土，优于1米分辨率遥感影像覆盖陆地国土的98%。

日前，从中国气象局获悉，我国气象探空系统已全面升级为自主研发的北斗探空系统，正式跻身国际先进行列，标志着高空气象观测实现里程碑式跨越。

该系统依托北斗卫星导航定位高精度解算，测风精度较原L波段雷达提升一个数量级，可稳定获取地面至3万米大气多要素垂直廓线数据。其首创“上升—平漂—下降”三段式观测模式，通过“云+端”地空物联传输模式，数据实时直传国家级平台，传输及应用时效提升8分钟。应用显示，同化北斗探空资料后，我国12~36小时降水预报准确率平均提高2%，长江中下游及华南地区成效显著。系统还简化了业务流程，降低运维成本，数据准确率达99.7%。目前，我国131个北斗探空站占全球总量12%，88个为全球资料交换站，共享资料占全球约11%。

该系统已广泛应用于天气预报、气候监测等领域，未来将为全民早期预警、全球应对气候变化、服务共建“一带一路”，以及全球航线规划、跨境灾害联防等需实时气象数据支撑的场景提供重要参考。☑

《卫星导航定位基准站管理办法》发布

自 2026 年 1 月 1 日起施行

◎ 刘超 吕苑鹃

为规范卫星导航定位基准站的建设和运行维护，促进卫星导航定位产业有序发展，维护国家地理信息安全，自然资源部近日公布《卫星导航定位基准站管理办法》（以下简称《办法》），自 2026 年 1 月 1 日起施行。

自然资源部相关司局负责人表示，过去卫星导航定位基准站建设管理主要是依据 2017 年修订的测绘法、2016 年施行的《卫星导航定位基准站建设备案办法（试行）》。为适应基准站建设和服务等发生的巨大变化，对全国基准站的建设和运行维护等进行全链条统一规范管理，自然资源部于 2022 年启动《办法》起草工作，并向国务院有关部门、地方自然资源主管部门、相关企业、专家和社会公众征求了意见。

《办法》共二十三条，从统筹全链条全环节管理的角度，对基准站的管理原则、监管职责、布局规划、建设条件、备案要求、运行维护、分类服务、数据管理、监督检查和法律责任等作出了明确规定，确保基准站建设、运行维护和相关数据管理纳入法治化轨道。

《办法》明确，卫星导航定位基准站的建设和运行维护实行统一规划、统一标准、统一监管，以“合理布局、依法备案、资源共享、保障安全”为原则，必须符合

国家有关法律法规、技术规范 and 标准。基准站建设应当符合国土空间规划，纳入国土空间规划实施监督信息系统。建设前，建设单位应当对观测环境、地质构造、安全防护等条件进行评估；需要办理用地手续的，应当按照土地管理有关法律法规的规定办理。

《办法》细化了基准站备案相关规定，要求卫星导航定位基准站开工建设时，建设单位应当向所在地省、自治区、直辖市人民政府自然资源主管部门备案；建设多个卫星导航定位基准站且跨两个以上省级行政区域的，应当向自然资源部备案。备案信息涉及国家秘密的，应当按照涉密信息管理要求提交。

《办法》明确，卫星导航定位基准站数据实行分类分级管理，并对建设单位、运行维护单位、使用卫星导航定位基准站数据的单位应当依法承担的数据安全保密责任进行了规定，对相关数据进行全流程安全保护。建设单位、运行维护单位要定期对数据安全开展风险评估，提供涉密数据时应当按照涉密测绘成果管理有关规定执行。为推进数据资源共享利用，建设单位可以依据国家有关规定开展卫星导航定位基准站相关数据产权登记、流通交易等活动。☑（摘编自《中国自然资源报》2025 年 11 月 19 日 1 版）

三方聚力推进焦作地理信息产业高质量发展

◎ 王红伟

10 月 28 日，河南省自然资源厅、焦作市政府、河南理工大学签署共同推进焦作地理信息产业高质量发展框架协议，支持焦作打造区域创新发展高地。河南省自然资源厅党组成员、副厅长景志刚，河南省测绘地理信息技术中心党委书记、主任郭幸生，河南理工大学副校长魏建平，焦作市政府副市长李瑞霞、赵海燕等参加签约仪式。

景志刚指出，近年来，河南省不断提升地理空间数据要素保障能力，加快推动测绘地理信息事业转型升级和产业发展，地理信息已成为现代化河南建设的

重要支撑。三方框架协议的签署将进一步凝聚共识、汇聚力量，在地理信息数据获取处理、应用开发、技术创新、成果转化等方面开展全方位、深层次的合作，共同打造地理信息产业创新发展新引擎。

根据协议，三方将聚焦共建创新平台、共推产业园建设、共筑成果转化体系、强化人才支撑等重点领域展开合作，发挥“1+1+1 > 3”效能，深化“政产学研用”融合发展，共同推动测绘地理信息技术在自然资源管理、智慧城市、生态环保、文化旅游等领域的深度应用。☑（作者单位：河南省自然资源厅）

喜报频传创佳绩 科技创新谱新章

河南省测绘地理信息技术中心斩获 2025 年省部级大奖

◎ 刘红俊

2025 年以来，河南省测绘地理信息技术中心所属单位深耕科技创新领域，持续突破关键技术，在行业奖项评选中捷报频传，成果丰硕。截至目前，河南省测绘地理信息技术中心所属单位 2025 年度累计荣获重要奖项 45 项，其中省部级大奖 6 项、厅局级荣誉 39 项。河南省测绘地理信息技术研发与应用水平实现跨越式提升，为服务全省经济社会高质量发展奠定了坚实的技术基础。

国家级奖项再攀高峰，4 项殊荣领跑行业。在国家级科技奖项评选中，河南省测绘地理信息技术中心所属单位成绩突出，斩获两项中国地理信息科技进步奖一等奖，技术成果达到国内领先水平：河南省测绘院凭借“全国产高精度卫星导航定位基准服务体系关键技术及应用”获奖，攻克多家厂商设备兼容、国产系统适配等难题，为省级基准服务系统北斗三号升级提供可复制推广的“河南经验”。河南省遥感院牵头完成的“主被动遥感粮食作物农保核查与估产关键技术及应用”获奖，构建作物农保遥感核查体系，推动农业保险向“数字核保”转型，累计节约财政补贴约 10 亿元。

此外，河南省遥感院的“全国产化国土空间规划‘一张图’关键技术与应用”获中国地理信息科技进步奖二等奖；河南省遥感院、河南省地理信息院联合参与的“全域土地综合整治工程全周期智慧管理关键技术及应用”获中国科技产业化促进会科学技术奖二等奖。

工程实践出彩，优质工程奖彰显实力。在工程实践领域，河南省测绘地理信息技术中心所属单位聚焦重大项目需求，打造一批高质量测绘工程，荣获国家级优质工程奖项。河南省遥感院承担的“河南省‘天眼’系统建设数字高清影像制作项目”，创新整合国产高分系列卫星与商业亚米级卫星数据，研发分布式云存储与金字塔切片加速技术，建成覆盖全省的高分

辨率影像库，实现 TB 级数据秒级响应，获评中国地理信息产业协会优质工程金奖。同时，由河南省遥感院参与建设的“智慧鹤壁时空大数据平台试点项目”，获 2025 年中国地理信息产业协会优质工程银奖。

厅局级奖项全覆盖，多领域成果亮眼。厅局级奖项评选中，河南省测绘地理信息技术中心所属单位成果覆盖实景三维建设、生态监管、文创地图、数据治理等多个领域。在实景三维建设方面，河南省测绘院“实景三维周口（一期）建设项目”获河南省地理信息产业优秀工程奖金奖，为全省实景三维建设提供示范案例；在生态监管方面，河南省遥感院“多模态数据融合的露天矿山智能监管关键技术及应用”获河南省优秀测绘工程奖金奖，助力河南省矿山生态修复精细化管理；在文创地图领域，河南省地图院“河南啥都有”系列文创地图，以生动形式展现河南文化与地理特色，获河南省地理信息创新应用优秀案例一等奖；在数据治理领域，河南省地理信息院“基于三维场景的自然资源综合监测分析”项目，实现自然资源数据智能化、三维化管理，获河南省地理信息创新应用优秀案例特等奖。

成果凝聚匠心，赋能发展再立新功。一系列殊荣的斩获，既是河南省测绘地理信息技术中心所属各单位深耕科技创新、聚焦实践应用的成效彰显，也是全省测绘地理信息行业高质量发展的生动缩影，更是全体测绘工作者践行“精准测绘、服务发展”理念的匠心答卷。

下一步，河南省测绘地理信息技术中心将持续聚焦北斗应用、遥感监测、实景三维、数据治理等核心领域，深化关键技术研发与成果转化，以高精度地理信息数据和智能化技术解决方案，为国家重大战略落地实施、河南现代化建设、自然资源精细化管理提供更坚实的测绘地理信息数据支撑，奋力续写行业创新发展新篇章。☑（作者单位：河南省测绘地理信息技术中心）

统筹全链条全环节管理 促进产业安全健康发展

——《卫星导航定位基准站管理办法》解读

◎ 刘超 吕苑鹃

日前，自然资源部发布《卫星导航定位基准站管理办法》（以下简称《办法》），自2026年1月1日起施行。

为什么要制定《办法》？《办法》有哪些主要亮点？下一步如何贯彻实施？围绕这些问题，自然资源部法规司、国土测绘司有关负责人接受了《中国自然资源报》记者采访。

制定《办法》是基于怎样的背景和考虑？

卫星导航定位基准站（以下简称“基准站”）是国家重要的空间基础设施，是北斗卫星导航系统落地应用的关键配套设施，不仅在维持国家测绘基准、提升北斗高精度定位能力、促进北斗产业发展中发挥着重要作用，还在自动驾驶、灾害监测、城市建设、低空经济等领域广泛应用。同时，基准站建设和运行维护属于测绘行为，事关国家地理信息安全，是测绘管理的重要内容。

2016年，基于加强基准站管理需要，原国家测绘地理信息局印发《卫星导航定位基准站建设备案办法（试行）》，对基准站备案程序作出规定。2017年，我国在修订测绘法时对基准站的建设备案、公共服务、数据安全和监督管理等作出规定，并明确了相应的法律责任。这些相关的法律法规对于规范基准站建设和应用发挥了重要作用。

近年来，基准站应用需求不断涌现，应用场景也不断扩展。我国站点数量从2015年的4000多座增加到现在的3.3万多座，建设主体由自然资源主管部门为主转变为商业化的经营主体占大多数，服务方式由提供测绘基准服务为主转变为测绘基准服务与社会化位置服务并重，应用对象从测绘活动为主扩大至交通、农业、大众消费、低空经济等各行各业。

伴随着基准站建设和应用蓬勃发展，重复建设、数据共享利用不充分、备案不规范、数据安全存在风

险隐患等问题逐渐显现。与此同时，数字中国建设、数字经济发展对时空信息、定位导航服务等新型基础设施提出了新的更高要求。为此，亟须制定部门规章，对测绘法有关规定进行细化，对全国基准站的建设和运行维护等进行全链条统一规范管理。

《办法》主要有哪些亮点？

《办法》从统筹全链条全环节管理的角度，对基准站的管理原则、监管职责、布局规划、建设条件、备案要求、运行维护、分类服务、数据管理、监督检查和法律责任等进行了系统梳理，以确保基准站建设、运行维护和相关数据管理纳入法治化轨道。总体来看，《办法》主要有五大亮点：

第一，明确了基准站建设和运行维护的原则。为贯彻落实党中央决策部署和测绘法有关规定，结合实践中反映比较突出的基准站重复建设、数据安全隐忧等问题，《办法》明确：基准站建设和运行维护实行统一规划、统一标准、统一监管，坚持合理布局、依法备案、资源共享、保障安全的原则，应当符合国家有关法律法规、技术规范 and 标准。

第二，明确了基准站规划建设要求。一是自然资源部会同有关部门制定全国基准站建设布局规划，引导基准站建设合理布局，避免重复和无序建设。全国基准站建设应当符合国土空间规划，纳入国土空间规划实施监督信息系统。二是明确基准站建设应当符合国家相关建设标准，并对观测环境、地质构造、安全防护等条件进行评估。需要办理用地手续的，按照土地管理有关法律法规的规定办理。三是明确了进行基准站建设的单位和运行维护单位的具体资质要求，进一步规范基准站建设和运行维护活动。

第三，规范了基准站建设备案工作。基准站建设备案是测绘法规定的建设单位应尽的法定义务。为规范备案管理，《办法》进一步细化了备案的原则、内

容和程序。一是明确备案时间，规定建设单位应在基准站建设时，向备案机关提交备案材料。管理实践中，建设单位要在基准站规划设计阶段提交备案材料。二是明确基准站实行属地备案。《办法》规定，建设单位应当向基准站所在地省级自然资源主管部门备案。同时，为了方便建设单位、避免多头备案，《办法》规定，跨省建设多个基准站的要向自然资源部备案。三是明确备案信息。《办法》规定，建设单位通过基准站备案管理信息系统提交备案信息，并明确了备案信息的具体内容。相较于《卫星导航定位基准站建设备案办法（试行）》（国测法发〔2016〕4号），《办法》减少了备案信息，降低了填报难度，可以有效减轻建设单位负担。四是明确备案程序。《办法》规定，建设单位提交完整规范的备案信息后，备案机关开展核查并出具备案文件。对不符合有关标准要求的，备案机关应当在备案文件中提出改正意见，建设单位则要及时改正并更新备案信息。同时，《办法》还对重新备案和注销备案作出了规定。

第四，强化了测绘基准服务的权威性和公益性。根据测绘法规定，从事测绘活动，应当使用国家规定的测绘基准和测绘系统。一是明确测绘基准服务的权威性。《办法》规定，各类测绘活动应当使用国家统一的测绘基准服务。二是突出测绘基准服务的公益性。《办法》明确，自然资源部和省级自然资源主管部门会同有关部门依托基准站，建立统一的卫星导航定位基准服务系统，提供国家统一的测绘基准服务。三是明确其他社会服务与测绘基准服务的关系。《办法》规定，提供其他社会服务应当以国家统一的测绘基准服务为起算依据并及时更新。

第五，提高了基准站数据安全防护和应用水平。为促进基准站数据共享和高效利用，同时兼顾数据安全，特别是加强向境外传输数据等行为的监管，《办法》主要作了以下规定：一是明确数据安全责任。《办法》规定，建设单位、运行维护单位、使用基准站数据的单位均应依法承担相应的数据安全保密责任。二是强化基准站数据保密管理。《办法》规定，建设单位、运行维护单位提供基准站涉密数据的，按照涉密测绘成果管理有关规定执行。对外提供涉密数据的，依法履行对外提供涉密测绘成果审批手续。三是强化基准站数据分类分级管理。《办法》规定了基准站重要数据的管控要求，以及向境外提供重要数据的出境安全评估要求。四是规范基准站数据共享应用。《办法》

规定，自然资源部和省级自然资源主管部门会同有关部门推进基准站数据资源共享利用。

如何将《办法》落到实处？

第一，做好宣传和培训。自然资源部将通过多种形式开展《办法》的解读宣传，推动全系统、全行业落实有关要求，规范基准站建设和运行维护。各级自然资源主管部门要加强对基准站建设和运行维护单位的政策指导和说明，促进北斗产业规模化发展。

第二，做好基准站规范化管理。各级自然资源主管部门要在统筹发展和安全的前提下，做好基准站管理工作。既要推进数据共享、扩大应用规模、拓展应用场景，也要明确安全要求、加强安全监管、保障国家安全。要认真贯彻落实测绘法及《办法》有关要求，提供好用易用的公益性测绘基准服务，推进基准站数据共享，推动北斗规模化应用，为经营主体营造良好发展环境。同时，要守好安全底线，会同有关部门加强对本行政区域内基准站的安全监管，切实保障国家地理信息安全。

第三，做好配套政策供给。一是制定基准站数据共享相关文件。结合国家“数据二十条”等相关文件要求，明确授权运营的原则和实施路径，推动基准站数据资源开发利用。二是制定基准站建设布局规划。以“全国卫星导航定位基准站一张网”为基础框架，充分考虑其他行业企业已建的基准站，科学规划基准站建设布局。三是会同有关部门制定加强基准站数据安全相关管理文件。以全国基准站安全摸底检查成果为基础，制定涵盖基准站数据收集、存储、使用、加工、传输、提供等全链条安全管理措施。四是制定强制性国家标准《基准站网安全管理要求》，明确基准站的安全管理技术要求，为各级自然资源主管部门开展常态化安全监管提供技术依据。☑（摘编自《中国自然资源报》2025年11月19日第2版）



时空织就发展网 数据绘就新中原

——河南测绘地理信息数据赋能高质量发展全景透视

◎ 本刊特约记者 张永强

当今世界，数字化变革纵深演进，数据作为新型生产要素，已成为驱动经济社会发展的核心力量。而测绘地理信息数据凭借独特时空属性，架起物理世界与数字世界的桥梁，既是数字中国的空间基底，更是支撑高质量发展的新型基础设施。

地处中原的河南，承载着华夏文明的厚重底蕴，正以全方位姿态拥抱数字化浪潮。测绘地理信息在此被赋予全新时代内涵，不再局限于自然资源管理的“底图”、智慧城市运行的“坐标”，更成为生态保护、应急防灾、乡村振兴、文化遗产等领域的“耳目”。当“河南一号”卫星俯瞰中原、北斗信号覆盖田间地头、实景三维技术重构城乡肌理，一场以时空数据为核心的变革正在中原大地深度演进。

“测绘地理信息通过‘天地图’、国土空间基础信息平台、基础测绘成果服务等深度融入各领域，以精准时空数据赋能产业升级、社会治理与民生改善，正成为高质量发展的重要支撑力量。”10月31日，在河南省测绘地理信息数据赋能高质量发展推介会上，河南省自然资源厅党组成员、副厅长景志刚勾勒出一幅时空技术深度融入中原大地的生动图景。

从黄河流域生态保护到乡村振兴精准施策，从智能制造升级到文化遗产活化，测绘地理信息以“空天地网”一体化技术优势，渗透到经济社会发展每一个“神经末梢”，印证着“时空信息正成为驱动高质量发展的新型基础设施”的深刻论断，书写着河南以数据赋能“两高四着力”的生动实践。

技术筑基：构建“空天地网”一体化数据支撑体系

“以前找数据要跑多个部门，现在登录国土空间基础信息平台就能‘一站式’获取省市县自然资源数据，像用水用电一样方便。”推介会上，河南省地理信息院的专家向与会者展示河南省国土空间基础信息平台的作用和建设成果。技术创新始终是河南测绘地理信息事业破局的关键，“空天地网”一体化数据获取与服务体系的建成，为全省高质量发展筑牢了时空基底。

“河南一号”组网：太空视角下的中原监测

2022年8月10日，“河南一号”卫星成功入轨，这颗分辨率0.75米的遥感卫星，每张照片可覆盖289平方公里，能清晰辨别地面小汽车，每两个月即可完成全省全域覆盖。如今，它与108颗“吉林一号”卫星、20颗国家公益卫星组网，形成“1+20+108”卫星对地观测体系，让河南拥有了自主可控的“太空天眼”。

截至2025年9月底，河南省自然资源卫星应用技术中心已接收各类卫星影像6.84万景，“河南一号”累计获取原始数据36089景，生产全省影像“一张图”产品21期，总数据量超98TB。通过自主研发的卫星应用云服务系统，实现“一站式查询申请、共享分发、在线服务”，彻底解决“数据找不到、不好用、成本高”的痛点。在耕地保护领域，通过“日监测发现、周汇总分发、月通报结果”机制，形成“天上看、地上核”监管体系，让违法违规占用耕地行为无所遁形；在农业保险领域，基于深度学习算法和灾害监测模型，精准提取作物受灾信息，为财政资金精准投放提供支撑。

北斗组网：高精度定位赋能千行百业

在邓州市文渠镇李洼村，首邑农业的北斗植保机正沿着预设航线精准作业。“加装北斗导航后，机器走线直、不重喷，每天能作业400多亩，成本降了一半。”工作人员介绍。这背后，是246座基准站构成的河南省卫星导航定位基准服务系统，通过北斗三号厘米级差分信号，为300余台智能农机提供全天候定位服务。

该系统依托北斗三号全球组网优势，打造自主可控的高精度位置服务云平台，支持5星16频信号组合，卫星锁定速度更快、数据传输延迟更低，可提供全天候24小时厘米级定位服务。在地质灾害防治领域，联合武汉大学研发的“北斗+5G”地质灾害监测平台，全天候监测灾害点位移变化；在水利工程领域，北斗三号一体化变形监测系统通过5G和北斗短报文双通道传输数据，实现水库大坝形变实时预警。现代服务业同样受益，河南省测绘院打造的地理空间信息平台，



● 基于北斗定位服务国家重点工程

整合仓储、运输、配送全链条数据，结合北斗实时定位，实现货物调度“秒级响应”。

实景三维：数字孪生重构现实世界

在安阳城市治理中心，实景三维模型正实时更新城市动态。作为河南省测绘院入选国家级的创新案例，该平台整合十余个部门数据，实现内涝预警、违法用地监测等多功能一体化管理。从城市到乡村，从文物古迹到基础设施，实景三维技术正将现实世界1:1映射到数字空间。

在城市治理中，“实景三维+AI算法”构建的“城市大脑”，实现12345热线工单自动定位、热点问题智能匹配，大幅缩短响应时效；在乡村振兴中，封丘县通过实景三维技术绘制全县沟渠水系矢量图，19个乡镇570个村的渠道坐标、高程、流向一目了然，已累计整治疏通沟渠1367公里，打通阻水点2800余处；在文物保护中，近景摄影测量和激光扫描技术实现文物毫米级建模，精确记录每一道裂隙的位置与形变趋势，为预防性保护提供科学依据。

产业焕新：时空数据驱动产业体系升级

“测绘数据和技术创新与场景应用的结合，可以实现传统制造业、现代农业与新兴数字产业的深度融合。”景志刚在推介会上介绍。在河南，“时空信息+产业场景”的融合模式正在重塑产业形态，推动传统产业智能化升级，催生新兴业态，为建设现代化产业体系注入强劲动能。

赋能现代农业：从“会种地”到“慧种地”

“扫描‘田管家’二维码，就能查询地块性质、权属和惠农政策，有问题拍照上传，当天就能解决。”



新乡市封丘县鲁岗镇孙寨村村民曹庆云的体验，正是测绘赋能农业现代化的生动写照。作为农业大省，河南正通过测绘地理信息让农业生产更精准、高效、智能。

封丘县的“一图一册一管家”智慧管护模式，以沟渠水系矢量图为基础，以工作手册为指导，以智慧平台为支撑，实现田间水系“大动脉”到“毛细血管”的精准管理。在烟叶种植领域，北斗导航农机实现精准起垄、施肥，卫星遥感实时监测作物长势与墒情，减少农药化肥使用；在粮食生产中，“卫星遥感+无人机巡检”的组合拳，让耕地“非农化”“非粮化”监测无死角，为保障国家粮食安全提供技术支撑。

赋能先进制造业：智能化转型提速增效

“基于安阳数字孪生平台研发的烟草物流配送线路规划系统，让配送效率提升20%，运行成本大幅降低。”这是测绘技术赋能制造业物流环节的典型案例。在河南建设制造强省的进程中，测绘地理信息正成为智能制造的重要支撑。

在智能装备制造领域，北斗高精度定位技术为智能农机、无人机等提供核心导航支持，推动装备制造向高端化、智能化转型；在新能源领域，华能电力河南风电维护管理系统借助北斗定位，实现场站车辆安全智能管理；在汽车制造领域，实景三维技术用于工厂布局优化、生产流程模拟，数字孪生工厂实现生产全流程可视化监控。这种“时空技术+制造场景”

的融合，不仅解决了传统制造业的效率瓶颈，更推动产业向价值链高端攀升。

赋能现代服务业：创新服务模式拓展边界

测绘地理信息正以时空数据为纽带，重构现代服务业的服务模式和产业生态。在物流行业，北斗导航与地理信息系统（GIS）结合，实现运输车辆实时跟踪、路线动态优化，有效降低空驶率；在文旅行业，“天地图·河南”提供全省A级以上景区、红色旅游景区的精准查询，实现清明上河园等热门景区720°全景游览；在金融行业，卫星遥感技术用于农业保险定损，通过分析作物长势、受灾面积等数据，实现快速核查、精准理赔；在电商行业，基于时空大数据的消费需求分析，帮助商家优化仓储布局、精准匹配供需。

催生新兴业态：数字经济开辟新赛道

随着测绘与数字技术的深度融合，一批具有成长性新兴业态在河南加速崛起。在数字孪生领域，郑州、洛阳等城市正在构建数字孪生城市平台，整合国土空间、交通、市政、应急等多领域数据，实现城市全生命周期智能化管理；在元宇宙领域，开封清明上河园通过实景三维建模和虚拟交互技术，打造“元宇宙清明上河园”，实现传统文化与数字技术的创新融合；在空间信息服务领域，河南省自然资源卫星应用云服务系统不仅提供数据服务，还衍生出定制化监测分析、专题地图制作等增值服务，形成“数据-产品-

服务”的完整产业链。

民生改善：精准服务绘就幸福画卷

“测绘地理信息要让群众看得见、摸得着、用得上。”这是河南省测绘地理信息工作的价值导向。从城市精细化管理到乡村便民服务，从应急救援到权益保障，测绘地理信息数据正以“精准、智能、高效”的特质，融入社会治理的“神经末梢”，成为群众触手可及的“民生工具”。

实景三维筑“大脑”，城市治理更精细

在郑州市城市运行管理中心，巨大的电子屏上，郑州主城区的实景三维模型实时跳动——从道路车流、管网运行，到社区垃圾分类点的清运情况，每一个细节都清晰可辨。“这是我们依托‘实景三维郑州’平台，结合AI算法构建的‘城市大脑’，能实现12345热线工单的自动定位与智能派单。”该中心工作人员介绍。

以往，12345热线诉求平均响应时间超24小时，如今，借助实景三维地图的精准定位，系统能自动匹配责任单位，甚至预判问题类型，工单平均办结时长缩短至8小时，群众满意率提升至98.2%。这样的变化并非郑州独有：洛阳老城区“实景三维+文物保护”系统让古建筑修缮更精准；许昌依托全省统一地理空间框架，实现“违停抓拍—工单定位—拖车处置”全流程自动化，城区违停投诉量同比下降40%；焦作地下管网三维可视化系统减少施工挖断管网风险，保障城市正常运行。

扫码查地解民忧，乡村振兴添动能

“用手机扫一下这块地的‘二维码身份证’，地块性质、承包年限、能享受的种粮补贴，全都一目了然！”在商丘市夏邑县罗庄镇，县自然资源局工作人员向农户演示土地信息查询功能。这张“二维码身份证”，源于河南省农村集体土地确权登记成果的数字化应用——通过将测绘获取的地块坐标、权属信息与“豫农交”平台关联，农民无需跑部门，在家就能完成土地信息查询、流转备案等操作。

据夏邑县自然资源局工作人员介绍，过去因地块边界不清、权属不明引发的纠纷每年多达百余起；如今依托精准测绘数据与“扫码查地”服务，土地纠纷量下降了80%。在乡村振兴战略实施中，测绘地理信息更是基层治理的“好帮手”：信阳市光山县文殊乡通过无人机航拍与实景建模，制定“空心村”整治方案，

既保留乡村风貌，又盘活闲置土地；周口市商水县通过卫星遥感监测，确保高标准农田建设高质量落地。

“空天地”织救援网，应急响应更高效

2024年7月，新乡卫辉市遭遇强降雨，唐庄镇部分村庄被淹。接到指令后，河南省应急测绘保障中心迅速启动“空天地”一体化响应——无人机升空拍摄高清影像，“河南一号”遥感卫星调取灾区最新数据，地面测绘人员携带北斗终端赶赴现场，仅用1.5小时就完成了20平方公里灾区的三维建模与积水分析图。依据这份精准的“救援地图”，救援队伍快速转移200余名被困群众。

河南作为自然灾害多发省份，“空天地”一体化应急测绘保障体系正成为应急救援的“千里眼”和“指挥棒”。当突发事件发生时，“河南一号”卫星快速获取灾害现场高清影像，无人机第一时间采集实景三维数据，北斗定位为救援队伍提供精准导航，形成“天上看、空中拍、地上测”的立体监测网络。2024年河南共启动应急测绘保障12次，始终保持“1小时响应、2小时出成果”的高效节奏，为决策部署提供关键支撑。

生态守护：技术赋能美丽河南建设

“守护绿水青山，筑牢生态屏障，以测绘地理信息技术精准护航美丽河南建设。”景志刚在推介会上强调。依托“空天地网”一体化监测体系，河南正以“测绘+生态保护”“监管+数字技术”的协同模式，将高精度空间数据贯穿生态治理全链条，为重大国家战略提供坚实支撑。

精准监测守安澜，黄河生态有“天眼”

作为黄河流域生态保护核心省份，河南构建了“卫星遥感+无人机巡检+地面核查”的立体化黄河监测网络——“河南一号”“高分”系列卫星每月对黄河河南段800余公里岸线进行全覆盖拍摄，精准捕捉岸线侵蚀、滩区违建、非法采砂等动态变化；无人机团队对卫星发现的疑点区域进行低空航拍，获取厘米级影像；地面工作人员携带北斗定位设备现场核查，形成“发现—交办—整改—复核”的闭环管理。

在黄河新乡段，2024年以来通过测绘技术支撑，滩区生态修复面积达1.2万亩，植被覆盖率提升15%；在黄河三门峡库区，“空天地”监测数据被用于水质分析，卫星通过水体光谱反演技术监测水质参数，无人机采集水样，地面实验室同步分析，形成水质变化动态报告。截至2025年，河南省已通过卫星监测发



●地形级实景三维



●城市级实景三维



●部件级实景三维

现并整改黄河流域生态破坏问题 300 余起，有效守护了黄河生态安全。

实景三维绘蓝图，生态修复见实效

“点击鼠标，就能看到矿山修复前后的实景对比。”在洛阳市自然资源和规划局的屏幕上，栾川县钼矿修复前后的变化令人震撼：2023 年的裸露山体，2024 年已变成植被覆盖率 68% 的“绿色矿山”。这得益于“实景三维洛阳”监测体系，通过无人机倾斜摄影技术每季度获取矿山三维模型，动态推演修复进程。

依托实景三维模型，栾川县制定了“削坡整形—覆土绿化—配套水利”的修复方案，精准控制成本并预判雨水径流路径。如今，这座曾经的“荒山”已变成集生态观光、光伏发电于一体的“绿色矿山”，年接待游客 10 万余人次。南阳伏牛山生态廊道建设中，通过实景三维技术调整线路 3 处，保护珍稀植物栖息地 500 余亩。在生态保护红线划定工作中，通过“实景三维河南+生态环境保护”服务新模式，动态推演生态修复进程，辅助工作人员精准划定生态保护红线，为生态廊道建设、矿山修复等提供实景三维真实展示与治理成效量化评估，全方位筑牢中原生态屏障。

污染防治追源头，精准施策提效能

“以前找污染源像‘大海捞针’，现在有了卫星影像和定位技术，能精准锁定污染源头。”河南省生态环境监测中心工程师说。由河南省测绘地理信息技术中心研发的“污染源智能监管系统”，依托北斗三号高精定位技术，将全省 2.3 万个重点污染源纳入实时监控——一旦卫星遥感或无人机巡查发现疑似污染问题，系统会自动生成带北斗定位坐标的工单，推送至属地环保执法人员手机，执法人员可通过定位导航直达现场，精准追溯污染源头。

在焦作市工业集聚区，北斗定位与在线监测设备联动——企业排污口的流量计、水质传感器数据实时上传至监管系统，一旦超标，系统会立即触发警报，并通过北斗定位锁定排污口位置，执法人员 1 小时内即可抵达现场处置。“从‘人海巡查’到‘精准定位’，测绘技术让污染监管从‘被动应对’变成‘主动出击’。”河南省生态环境厅执法监督局负责人表示。

文化传承：数字技术激活文明活力

“中原文化博大精深，测绘地理信息为文化遗产保护和传承提供了全新路径。”景志刚在推介会上指出。作为中华文明重要发祥地，河南正以测绘技术为“数字触角”，通过“测绘+文物保护”“文旅+数字技术”双向赋能，将中原文化的时空信息转化为可感知、可传播的数字资产，让沉睡的文化遗产“活起来”。

毫米级建模，为文物装上“数字铠甲”

2012 年，龙门石窟研究院开始通过三维数字化扫描等技术，为龙门石窟建立“数字化档案”。2022 年，以数字孪生技术和时空 AI 技术为依托，全面融合景区全域时空大数据，建成“龙门石窟智慧文旅数字孪生平台”，打造了一个人人可以随时随地参观的数字化龙门石窟。同时，选择龙门石窟体量较大、气势恢宏、具有展示价值的整体洞窟，对造像进行 1 毫米级精度的三维模型数据采集，快速高效实现全方位、高精度、高保真度复原呈现。通过数字化技术展示、情景式带入和沉浸式互动体验，让“文化复活”“历史重现”，为游客带来深度穿越体验和震撼。

同样受益的还有安阳殷墟。2024 年，测绘团队对殷墟遗址内的 12 座商代墓葬进行三维扫描，生成的数字模型不仅为考古研究提供了精准的空间数据，还通

过“数字孪生”技术，在博物馆里还原了墓葬发掘过程，让观众直观感受商代文明的魅力。

全景漫游，让文旅体验“穿越时空”

“打开‘天地图·河南’的‘文旅专区’，点击清明上河园，就能720°全景游览，还能听智能讲解，仿佛真的站在北宋的汴河岸边。”郑州市民王女士边操作手机边感叹。2024年，河南省测绘地理信息技术中心对全省692家A级以上景区、89个红色旅游景区开展“全景采集”，累计拍摄照片23万张，构建的720°全景场景，不仅还原了景区风貌，还融入了历史文化解说、游览路线推荐等功能。

在兰考县焦裕禄纪念馆，“全景纪念馆”上线以来线上访问量突破500万人次，其中青少年群体占比达60%，成为红色教育的“线上课堂”。洛阳隋唐城遗址植物园将实景三维技术与AR技术结合，游客用手机扫描特定标识，就能在现实场景中“看到”隋唐时期的宫殿建筑，实现“古今同框”。

“空天地”联动，织密文物安全“防护网”

“卫星遥感监测发现，某古墓葬群周边有疑似施工活动，经北斗定位确认，位置在商丘市永城市芒砀山汉墓群保护区，立即通知当地文物部门核查！”在河南省文物安全监管平台，工作人员收到系统自动推送的预警信息后，迅速启动联动机制。这套监管平台整合“卫星遥感+无人机巡检+地面物联网监测”的“空天地”一体化资源——卫星每月对全省210处全国重

点文物保护单位进行全覆盖监测，无人机每周对重点区域开展低空巡查，地面布设的红外摄像头、振动传感器24小时值守。

这些实践，不仅为文化遗产保护提供了“数字铠甲”，更让中原文明通过数字技术走向全国、走向世界。

未来展望：时空赋能现代化河南新征程

从246座基准站构成的地面网络，到“河南一号”领衔的太空观测体系；从田间地头的精准作业，到城市治理的智能响应；从黄河生态的实时监测，到千年文物的数字重生，测绘地理信息数据已深度融入河南高质量发展的血脉。

“测绘地理信息数据和技术的广泛应用，不仅是我省在测绘地理信息事业发展中的创新，更是测绘地理信息事业发展迈向新阶段的重要标志。”景志刚在推介会上的话语，指明了未来方向。他强调，测绘地理信息事业要以服务保障“两高四着力”为目标，聚焦五大强省建设，深化数据融合、创新服务模式、拓展应用领域，为现代化河南建设提供坚实支撑。

在古老而又充满活力的中原大地上，测绘地理信息数据正以精准的坐标、鲜活的场景、创新的模式，书写着高质量发展的新篇章。正如河南省自然资源厅厅长陈治胜所言：“我们要让测绘技术从‘幕后’走向‘台前’，用时空数据织就幸福网，为中原大地推进中国式现代化贡献更多智慧和力量。”



河南省测绘院荣获 2025 中国地理信息科技进步奖一等奖

近日，中国地理信息产业协会公示 2025 地理信息科技进步奖评选结果，由河南省测绘院牵头完成的“全国产高精度卫星导航定位基准服务体系关键技术及应用”项目，荣获科技进步奖一等奖。

该项目由河南省测绘院联合中国人民解放军网络空间部队信息工程大学、中国测绘科学研究院等单位协同攻关，聚焦自主可控高精度时空基准建立、海量数据并发处理、复杂环境下测量精度提升等行业核心技术难题，创新解决了多厂商设备、多板卡类型数据兼容问题，实现国产操作系统与国产软件平台深

度适配，通过“微服务”架构融合大数据中间件、负载均衡技术，突破海量数据实时并发瓶颈；同时研发新算法模型，大幅提升模糊度固定成功率、基线固定率及大高差地区大气改正准确性，为省级基准服务系统北斗三号升级改造提供了可复制、可推广的“河南经验”。

在斩获全国大奖的同时，河南省测绘院多点开花，一批重点项目在省级评选中获得殊荣。其中，“机载点云实景三维测绘关键技术与应用”荣获省测绘科学技术特等奖，“矿产资源勘查开采综合监督管理信息系统关键技术创新及应用”夺

得省地理信息科技进步奖一等奖，“实景三维周口（一期）建设项目”“泌阳县山体保护规划项目”分别摘得省级地理信息产业优秀工程奖金奖、省优秀测绘工程奖金奖。

下一步，河南省测绘院将继续以创新作为转型升级的核心引擎，依托河南省北斗导航与位置服务工程研究中心等创新平台，整合技术、人才资源，聚焦北斗导航与位置服务等关键领域，推动科研成果向现实生产力转化，为交通、农业、应急、自然资源管理和全省经济社会高质量发展注入坚实测绘动能。☑（河南省测绘院 祁礼刚 许响）

中国中铁大桥局集团一公司桥梁测绘科技创新成果获奖

近日，第 10 届中国创新方法河南省大赛落幕，中国中铁大桥局集团一公司首次参赛便喜获佳绩——报送的“基于北斗定位的快速导向及复核的精密测量方法”科技创新成果斩获省赛区三等奖。

此次获奖成果，是中国中铁大桥局集团一公司多年工程实践与技术创新的积淀之作。该成果创新性融合北斗系统实时动态测量（BDS-RTK）与全站仪精测优势，将传统低效率的全站仪精密放样优化为“导向定位+精密坐标测量”两步法：针对 2 厘米以上偏差的导向定位，通过 BDS-RTK 快速完成，省去全站仪反复照准、调整棱镜的烦琐流程；针对 2 厘米以下偏差的精密测量，借助全站仪观测棱镜实现毫米级放样精度。这种“快准结合”的测量模式，既大幅提升了放样效



率，又通过 BDS-RTK 复核全站仪测量成果的双重校验机制，有效防范测量误差，确保工程质量，为交通基础设施建设提供了技术支撑。

据悉，作为深耕工程测绘检测领域的骨干企业，中国中铁大桥局集团一公司始终将创新成果转化应用作为核心发展方向，牢固树立“测

检先行、数字赋能、品质立企、创新创效”的管理理念，用“精心、精准、精品”的专业追求，架起一座座联通民生的交通枢纽。下一步，该公司将持续加大科技创新投入，为河南乃至全国交通事业贡献更多力量。☑（中国中铁大桥局集团一公司 孙东勋 汪君 李付伟）

驻马店城市级实景三维模型顺利通过国家质检

近日，作为全省第一批5个试点地市之一，驻马店市中心城区180平方千米城市级实景三维模型（LOD1.3）成果顺利通过国家级质量检验，实现城市空间的真实立体映射，标志着实景三维驻马店建设取得阶段性重大突破，为数字驻马店建设筑牢三维空间基底。

实景三维驻马店建设是落实数字中国、数字经济发展要求的重点工程，自2024年初启动以来，驻马店市自然资源和规划局强化组织领导，成立工作专班，制定《实景三维驻马店建设实施方案（2023—2025年）》，明确“0.05米分辨率城市级实景三维覆盖城镇开发边界、大比例尺数字线划图全域覆盖”

的核心目标。项目总投资1174.6万元，由河南省地理信息院与驻马店市规划设计研究有限公司联合承建，严格遵循“整体规划、分步实施，充分利旧、资源共享，统筹联动、协同实施，创新驱动、保障安全”的原则，避免重复建设，确保成果“无缝衔接、浑然一体”。

在完善的组织保障、清晰的实施方案和科学的建设原则指引下，项目迅速转入实质性推进阶段。项目团队以逐月推进计划为抓手，强化全程督导管控，高效完成前期数据测试校正、倾斜摄影与激光点云数据获取等基础工作。截至2025年10月底，不仅圆满完成180平方千米LOD1.3模型制作，还同步

推进1:1000数字线划图（DLG）生产165平方千米、180平方千米真正射影像精细化修饰及DEM/DSM精细分类，城市地理实体构建、重要地标建筑单体化等任务均按进度推进。

下一步，驻马店将持续推进部件级实景三维建设、物联感知数据接入融合等任务，深化模型在城市规划、应急管理、智慧政务等22大类场景的应用。同时建立“时序更新”机制，强化技术创新与数据安全，让实景三维成果充分赋能数字政府建设与数字经济发展，为驻马店高质量发展注入空间数据新动能。☑（驻马店市自然资源和规划局 董学军）

“天眼+自然资源”焦作实践获全省推广

近日，在全省自然资源系统执法业务培训会上，焦作市自然资源和规划局以《“天眼+自然资源”系统在焦作市自然资源管理工作中的探索与实践》为题作经验分享，全方位展示焦作在自然资源数智化监管领域的创新成果，为全省自然资源数智化治理提供实践样本。

作为破解自然资源监管难题的“关键抓手”，焦作市自然资源监测网络平台以构建“天地空”一体化监测体系为目标，秉持“边运行、边调试、边开发”的科学思路，持续完善“人防+技防”融合机制。平台不仅整合叠加了国土空间规划、土地供应、废弃矿山治理等核心数据，更创新融合自主研发的“农村耕地保护‘一码通’”“无

人机动态巡查监管”“实景三维数据管理”三大特色系统，打造出集监测预警、调度指挥、数据分析于一体的智慧监管中枢，为违法行为“早发现、早制止、严查处”筑牢技术防线。

在实际应用中，焦作市1187个视频监控点位（含493个“天眼”、694个蓝天卫士）实现全域覆盖，依托智能算法精准识别六大类违法场景，通过“自动抓拍+人工核查”闭环管理，让耕地保护线索处置“零延迟”；焦作市耕地保护“一码通”系统自2024年11月上线以来，已覆盖全市11县（市）区1791个行政村，以“一村一码”打通政策宣传、监管执法、群众举报的“最后一公里”，构建起“村干部带图

巡田、村民依图种地”的智慧耕保新模式；无人机巡查则针对地形复杂区域精准补位，通过定时、定点、机动巡查组合拳，破解人工巡查盲区难题；实景三维系统凭借高精度优势，为规划批后监管、生态保护等工作提供直观的数据支撑。

下一步，焦作将深化AI技术应用，引入先进算法模型提升违法行为识别精准度与自动化水平，降低人工研判成本；同时不断拓展平台应用功能，在现有耕地保护、矿山监管基础上，将地质灾害防治、生态修复等内容纳入监管体系，全面提升自然资源全领域监管质效，以科技赋能推动自然资源管理高质量发展。☑（焦作市自然资源和规划局 刘华）

2025年河南省地理信息产业20强和最具活力中小企业系列报道

用脚步丈量国土 用技术点亮未来

——河南中安规划设计有限责任公司工作扫描

◎ 本刊记者 栗荣晓 通讯员 陈志新

“一片甲骨惊天下”的安阳，不仅是文字之都，更是测绘技术传承与创新的沃土。从早期的手工测绘制图到如今无人机航测、AI 数据处理的广泛应用，本地测绘人用工具的迭代见证城市变迁。

作为工程建设的“眼睛”与城市发展的“导航仪”，河南中安规划设计有限责任公司（以下简称“中安规划”）始终是安阳基础设施建设、资源开发与空间规划的基石。近年来，中安规划秉承“守护资源、精耕细测、测绘为民”的宗旨，以毫米级精度勾勒发展蓝图，在安阳市率先开展了实景三维、多测合一、地下管网普查、城市国土空间监测，为安阳市“智慧城市”建设和自然资源管理提供了关键数据支撑。凭借卓越的技术实力与严谨的工作态度，中安规划连续两年获得河南省地理信息产业协会 20 强企业，并先后荣获省级测绘类奖项 30 余项。

攻坚克难，铸就精品工程

2022 年，城市国土空间监测工作首次在全国开展，安阳市是河南省首批 8 个试点城市之一。中安规划负责安阳市辖区（文峰区、北关区、殷都区、龙安区，总面积约 1218 平方千米）的城市国土空间监测及市级监测成果汇总工作。

安阳市城市国土空间监测项目要对市区范围内国土空间的现状、变化情况进行全面精准监测，为城市规划实施监督、资源管理提供科学依据。接到任务后，中安规划抽调技术人员成立项目组，迅速学习研讨技术方案，推演可能遇到的问题和相应的解决方案，最终确定了可行的技术路线。

项目启动以后，外业调查小组不顾严寒酷暑，穿梭于城市的大街小巷，对每一块土地的使用情况进行详细勘察记录。他们手持专业设备，仔细测量、认真标注，不放过任何一个细节。内业处理小组日夜坚守



● 河南中安规划设计有限责任公司董事长 徐跃华

在电脑前，对海量数据进行整理分析。面对复杂的数据和烦琐的流程，他们没有丝毫懈怠，反复核对、精准计算，确保数据的准确性和可靠性。

项目推进过程中，遇到数据格式多样、难以矢量化等技术难题。技术人员迎难而上，积极查阅资料、请教专家，经过数次的尝试和探索，成功解决相关问题。项目成果验收时正值欢度春节之际，全体成员毫无怨言，坚守现场加班加点，按时间节点顺利高质量完成成果验收。

城市国土空间监测是一项长期、复杂且重要的工作，每年都要对原有监测要素进行核实，对新增要素进行补充。特别是城区内建筑细化监测要素，项目组充分利用公司历年来承担安阳市基础测绘、工程联合测绘等优势，快速准确提取基础数据和属性信息，大大提高了工作效率。安阳市城市国土空间监测项目凭借精准数据、科学分析和实用成果，荣获 2025 年河南省优秀测绘工程奖银奖。

目前，安阳市城市国土空间监测数据已纳入《安阳市自然资源一张图系统》，并为《安阳市城市绿地系统规划》《安阳市环境卫生专项规划》《安阳市国

土空间规划城市体检评估》提供了包括公园绿地、环卫设施、学校教育、养老医疗、文体场所、交通网络等重要数据。下一步，中安规划将进一步完善数据共享机制，确保各部门能够及时、准确地获取所需数据。

夯实数据，守护城市生命线

地下管线作为城市基础设施建设的关键构成部分，是城市得以生存与发展的物质根基，是保障城市正常运行的“生命线”。为契合安阳县（示范区）规划与建设需求，精准把握城市地下管线的现状，合理开发并有效利用地下空间，提升城市基础设施的规划建设与管理水准，安阳县住房和城乡建设局委托中安规划承担城市地下管线普查任务，构建统一的地下管线信息管理系统。

从2022年10月开始，中安规划精心组织、周密部署，统筹推进地下管线普查工作，于2023年8月如期完成给水、排水、燃气、热力、电力、通信等各类管线共583千米普查任务。

城市地下管线普查是一项艰苦工作，需克服恶劣的工作环境。在普查过程中，技术人员利用多种测量手段现场定位地下管线走向，并在关键点位加密探测，精确记录每一条管线的空间坐标与属性信息，确保数据真实、完整、可追溯。同时，为查明管线的实际走向和分支情况，技术人员不顾井内积水和淤泥深入勘察，用激光测距仪精准测量管位，保证每一处数据都准确无误。即便在酷暑严寒中，普查队员们始终坚持普查标准不降、精度不减，用脚步丈量城市地下脉络，为智慧城市建设夯实数据基石。

在安阳县城市地下管线普查作业中，项目组人员团结协作，放弃节假日休息时间，进行外业数据采集、内业核查整理，最终高质量完成地下管线普查成果。目前，普查成果已全面融入安阳县（示范区）智慧城市建设体系，为城市地下空间规划、管线综合管理、道路建设改造及应急防灾提供精准数据支撑。

“感谢中安规划提供的地下管线普查数据成果，构建出覆盖全县建成区的地下管线动态更新体系，为安阳县城市生命线的高质量建设提供了精准数据支撑。”安阳县住房和城乡建设局相关负责人高兴地说。

创新驱动，探索技术前沿

近年来，随着信息化测绘技术的不断发展，实景三维和设计模型融合成为行业的新热点。中安规划敏

锐地捕捉到这一发展趋势，组织专业团队开展实景三维和设计模型融合研发项目。

项目伊始，团队成员面临着技术空白、经验不足等问题。但他们没有畏惧，而是以饱满的热情和昂扬的斗志投入研发工作，积极学习相关知识，与业内的专家同行深入探讨，不断反复实践、汲取经验。

在研发实践中，团队成员分工协作，密切配合。有的负责实景三维数据采集和处理，有的专注于模型的构建和优化，有的则致力于两者的融合研究。大家各司其职，又相互支持，遇到问题共同商讨解决方案。

2024年12月，为配合安阳市文明大道穿越京广铁路拟建立立交桥项目实施，更好地呈现拟建文明立交桥与现实周边地物和地形的关系，中安规划技术团队利用实景三维技术制作出该项目周边地物和拟建文明立交桥的三维模型，精准实现设计方案的可视化展示，更加直观地体现项目的实用性和可行性，为项目后续拆迁和施工提供基础数据支持。

实景三维技术重塑土地交易方式，将传统的“跑断腿选地”变为“指尖上的立体决策”。2025年3月，为配合安阳市举办商品住宅用地推介会顺利举办，中安规划技术团队将地块规划数据在实景模型中叠加融合，以三维技术模拟建筑的布局与形态，制作高精度实景三维模型，将安阳市CBD附近核心地块现状及周边环境数字化呈现，使参会单位和企业能够更直观、更便捷地掌握地块信息。

“未来，中安规划将积极推动业务转型升级，大力开拓新兴领域，构建高精度、智能化的时空信息基底，为智慧城市、数字治理提供强大支撑，形成‘技术驱动、多元协同’的发展新格局。”河南中安规划设计有限责任公司董事长徐跃华表示。☑



● 联合测绘野外数据采集

全国首笔“中葡”碳汇交易落地珠海

◎ 宗河

11月3日，全国首笔“中葡”碳汇交易暨粤港澳大湾区碳汇合作平台签约仪式在广东省珠海市举行。该笔交易以珠海金湾本土特色物种金滩柾柳碳汇与葡语国家国际认证碳汇为组合，在澳门国际碳排放权交易所成功挂牌交易。

据悉，珠海金湾企业迈科酒店通过购买碳汇组合，专项用于第十五届全运会低碳酒店项目，以国际化方式实现运营碳排放抵消。在金湾签约现场，珠海联港集团有限公司、澳门国际碳排放权交易所、广州碳排放权交易中心、横琴粤澳深度合作区澳门大学高等研究院、香港城市大学能源经济与环境管理研究室五方共同签署《碳汇研究合作框架协议》。

据悉，自然资源部南海生态中心系列蓝碳研究成果为本次交易顺利落地提供了重要支撑。自去年7月联合珠海市金湾区南水镇共建金滩柾柳蓝碳研究基地以来，南海生态中心聚焦南水镇独具特色的金滩柾柳

生态系统，持续开展生态系统修复技术攻关，积极组织碳汇计量方法学、碳汇机制和蓝碳交易机制研究，研发出滨海盐沼（灌木或小乔木）生态系统碳汇计量方法学，成功量化用于交易的金湾特色金滩柾柳碳汇量，有力地促成了本次交易。

今年9月，广东省土地学会权益管理与生态产品价值实现专业委员会首次将金滩柾柳纳入滨海盐沼碳汇计量与监测体系，推动金湾本土培育的特色生态产品加速实现市场价值转化。

本次交易的成功落地，为全国蓝碳资源市场化利用提供了“广东样板”，为因地制宜拓展生态产品价值实现渠道提供了鲜活案例。

“这一创新实践将为粤港澳大湾区乃至全国推进生态文明建设提供一条可测量、可报告、可核查的生态价值实现路径。”横琴澳门大学高等研究院常务副院长陈国凯表示。☑

天津首次发布生产力地图

◎ 段春祥 焦捷 张津诚

日前，天津市规划和自然资源局联合相关市产业主管部门共同组织编制了《天津市生产力地图（2025）》，成为天津首次发布的市级生产力地图。

《天津市生产力地图（2025）》对天津市现状产业布局与规划发展空间进行全面梳理与整合，形成了覆盖特色产业（海洋经济）、现代农业、现代工业、现代服务业4大类别，细分至共26小类（1+5+10+10）的重点产业发展体系，勾勒出各产业空间总体布局与区域特色。

该地图包括3大板块，共81张专题产业地图。其中，总体布局图4幅，宏观展现了城市总体规划图、现代工业布局图、现代服务业布局图、现代农业布局图；区域布局7幅，聚焦各区产业地图、城市重点区域布局图、产业重点区域布局图；行业地图70幅，详细展现了现代工业、现代服务业、现代农业、特色

产业以及各重点产业领域的具体分布与发展态势。

“智慧选址”功能是《天津市生产力地图（2025）》的一大亮点，充分融合了存量房产、存量土地、国土空间规划以及区域产业定位等内容，集中公开推介存量资源项目和产业项目。市场主体可根据行政区划、资源类型（土地/房产）、土地用途、产业方向等条件进行个性化检索和筛选，实现“智慧查询、一键选址”。此举有效打破了项目需求和存量资产之间的信息壁垒，为存量资源与社会资本搭建了高效、直接的沟通桥梁，将有效提升存量资源盘活质效。

后续，《天津市生产力地图》将根据市场主体使用和需求，结合天津各产业“十五五”规划编制，持续进行迭代升级，不断优化和完善，为广大用户提供更加便捷高效的服务体验。☑（作者单位：天津市规划和自然资源局）

河北印发测绘项目备案管理办法

○ 孙玉霞 姜慧婕

近日，河北省自然资源厅印发《河北省测绘项目备案管理办法》（以下简称《办法》），进一步加强全省测绘地理信息工作监督管理，规范测绘市场行为，强化测绘项目事后监管。

《办法》强调，跨设区市行政区域的测绘项目、跨本省行政区域的测绘项目、涉外测绘项目的备案工作由省级自然资源主管部门负责；其他测绘项目备案工作，由项目所在地设区的市、县（市、区）自然资源主管部门负责。其中，跨两个以上县（市、区）行政区域的测绘项目应当由设区的市自然资源主管部门负责备案。对备案材料齐全、符合法定形式的，自然资源主管部门应当及时办理。

在备案流程方面，《办法》明确，测绘单位应当在测绘项目实施前通过测绘项目备案系统申请备案；因自然灾害等特殊原因未能提前备案的，测绘单位应当向自然资源主管部门说明理由，并在原因消除后3个月内申请备案。《办法》明确，对备案材料符合要

求的，自然资源主管部门应在5个工作日内作出受理决定；对备案材料不齐全、不符合法定形式的，应在5个工作日内一次性告知补正要求。自受理之日起，自然资源主管部门应在5个工作日内作出是否准予备案的决定；不予备案的，应当告知理由。

在备案监管方面，《办法》将测绘单位的测绘项目备案情况纳入测绘地理信息行业信用管理和测绘行业监督检查内容。未依法履行备案义务的测绘单位将被计入不良信用记录，同时列为监督检查重点对象；提供虚假材料或者采取其他欺骗手段完成测绘项目备案的，将撤销其项目备案决定并告知其所在地省级自然资源主管部门。《办法》明确，测绘单位若存在违反测绘资质管理有关规定、测绘成果质量不合格、泄露国家秘密等违法违规行为，需自行承担相应法律责任和损失。对自然资源主管部门及其工作人员存在违法违规行为的，也将依法追究相应责任。☑（作者单位：河北省自然资源厅）

唐山实现矿产资源监管变革

○ 杨梅荣 徐盈

在矿产资源丰富的河北省唐山市，昔日依赖“人海战术”的传统模式，如今已被高效精准的“智慧治理”新模式所取代。面对私挖盗采监管难度大等长期挑战，唐山市创新构建矿产资源综合监管平台，整合五大技术手段，织就“空天地人机”一体化的立体监测网络，为守护绿水青山注入强劲的科技动能。

据介绍，该平台深度融合无人机巡查、遥感航测、AI智能识别、舆情监测与用电分析，实现监管能力质的飞跃。无人机群如“空中卫士”般24小时巡航，敏锐捕捉异常动态；遥感航测生成高精度三维模型，使土石方量变化一目了然，让非法盗采行为无处遁形；AI算法通过持续学习，能精准甄别正常生产与违法活动；舆情监测系统实时扫描网络信息，有效防范潜在风险；电力大数据分析则通过异常用电波动，精

准锁定可疑目标。多项技术协同发力，构筑起“早发现、快制止、严查处”的全链条监管机制，推动矿产资源管理从被动响应向主动预警、精准防控根本转变。

目前，唐山已在8个涉矿县区部署107座无人机巢，动态监控着286座持证矿山、1062个生态修复项目及1308个盗采易发重点区域。数据显示，截至目前，每架无人机日均飞行不少于4架次，平台已累计发现疑似线索352条，查实违法违规问题21起，抓获犯罪嫌疑人4名，查扣盗采设备52台，矿山领域违法违规发生率显著下降，形成了强大震慑力。

据悉，该平台生成的电子档案实现了所有违法证据的永久保存与历史回溯，为落实监管责任、乃至推动“终身追责”提供了坚实的数据基石。☑（作者单位：河北省唐山市自然资源和规划局）

浅析测绘地理信息领域无人机安全风险及防范措施

○ 何雨 王红伟

当前，全球正迎来低空经济发展的战略机遇期。我国将低空经济明确列为新兴经济增长引擎，其在地理信息领域的深度融合，特别是无人机测绘技术的应用，已展现出巨大的发展潜力和广泛的赋能效应。无人机测绘技术有机融合了遥感探测、地理信息系统（GIS）、全球导航卫星系统（GNSS）以及先进传感器技术，实现地理空间信息从采集、处理到分析应用的全链条数字化、智能化升级。在新型基础测绘、国土空间规划、城市实景三维建设、自然资源调查监测、应急救援保障等诸多领域，无人机测绘技术正发挥着不可替代的核心作用，有效弥补了传统测绘手段在效率、精度和成本方面的短板。

从产业发展态势看，无人机测绘已进入高速增长通道。依据中国地理信息产业协会及相关市场监测数据，2022年至2024年间，我国测绘地理信息领域无人机作业市场规模年均增长率高达35%，至2024年整体市场规模已突破80亿元人民币，在工业级无人机应用市场占比约30%，作业量占比已全面超越传统测绘方式，达到总量的60%以上。

然而，行业的繁荣背后潜藏着不容忽视的安全隐患。规模化、普及化应用使安全风险从潜在的、局部的技术问题，演变为系统的、全局性的治理挑战。国家安全部于2025年2月公开发布警示，明确指出无人机非法航拍测绘活动已成为危害国家安全的新兴隐患。这标志着无人机测绘安全已超越单纯的行业管理范畴，上升至国家安全战略层面。因此，系统识别、科学评估、有效防控测绘地理信息领域的无人机安全风险，不仅关乎地理信息产业的健康可持续发展，更是筑牢国家安全屏障、保障低空经济行稳致远的迫切要求。

测绘地理信息领域无人机测绘安全风险

一是数据安全风险。数据安全风险贯穿于采集、

传输、存储、使用、共享全流程，每个环节都存在安全挑战。在数据采集及传输时，市场上一部分无人机未配备强制加密功能，部分设备为追求传输效率，默认采用明文传输方式，使得原始数据极易被第三方设备拦截窃取，导致大量高精度地理信息数据外泄；在数据存储环节，部分单位将涉密数据存储于未加密的服务器或移动硬盘，甚至通过云存储平台（如公共云盘）存储，存在存储设备丢失、云平台被攻击导致数据泄露的风险；在数据使用与共享中，部分单位没有建立数据使用审批制度，工作人员可随意拷贝数据，或者为合作便利将数据违规共享给无资质第三方，进一步扩大数据泄露风险。同时，数据篡改风险也不容忽视，近年来已发生多起因数据篡改造成重大损失的案例。比如，在某城市规划项目中，黑客通过技术手段篡改了无人机测绘获取的道路坐标数据，导致道路施工与设计图纸出现1.5米偏差，直接经济损失超过200万元。更为严重的是，个别测绘单位为了项目验收或经济利益，故意修改不符合有关规范要求的数据，这种行为不仅造成经济损失，更会误导政府决策，影响公共利益。

二是违规操作风险。根据《中华人民共和国测绘法》《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》《测绘资质办法》等法律法规要求，使用民用无人驾驶航空器从事测绘活动的单位和个人应当依法取得相关的资格证书，在操控无人驾驶航空器实施飞行活动前，也应当依法取得有关许可证书、证件等。根据国家航管局数据显示，我国截至2024年底，全行业无人机拥有者注册用户161.9万个（同比增长80.4万个），其中，个人用户152.1万个，企业、事业、机关等法人登记用户9.8万个；注册无人机共217.7万架，比上年底增长98.5%；共颁发无人机操控员执照27.33万本，其中，有效执照24.73万本；全年无人机累计飞行2666.7万

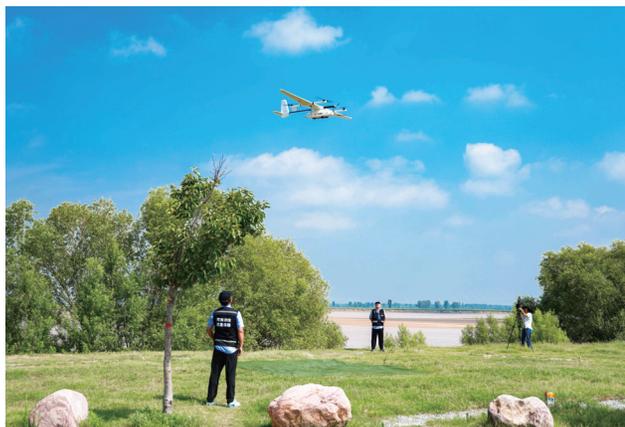
小时，同比增长 15.4%。据自然资源部数据统计，截至 2024 年底，行业内无人机测绘装备共 21643 台（同比增长 6.8%），拥有相关资质的单位 4298 个（同比增长）。

但是，随着民用无人机和开源测绘软件商业化应用越发普及，测绘航空摄影专业技术门槛逐渐降低，大量非专业从业者开始涌入，国家安全部公布了多起无人机非法测绘相关案例。目前，市场上普遍存在无相应资质的企业或个人，通过挂靠、转包等违规方式承接测绘项目；或是一些企业虽有资质，但无人机操控人员并未同时具备合格的飞行技能、扎实的测绘专业知识与必要的安全管理意识，“飞行操作+测绘专业+安全管理”三位一体的综合能力严重欠缺；有些测绘单位与操作人员为追求效率或抱有侥幸心理，未向空管部门申请空域，擅自飞行，或超出审批的空域范围、高度进行作业，甚至利用技术手段擅自破解或解除无人机系统内置的“电子围栏”限制，对国家空防安全、航空秩序及地理信息安全构成直接威胁。

安全风险背后主要原因

一是法律法规不健全。当前，我国在无人机领域已经出台了一系列法律法规，但随着无人机技术的不断创新，新型无人机不断涌现，功能和应用场景也日益复杂，法律法规的更新滞后于无人机技术和应用的发展速度。对于无人机测绘数据（如军事管理区周边 10 千米内三维数据、重要基础设施坐标数据）没有制定具体界定标准，导致部分测绘单位对“哪些数据属于涉密范畴”认知不清，存在无意泄露风险；对于无人机测绘数据采集、处理、共享的技术标准（如数据加密格式、传输安全协议）尚未完善，不同单位的数据处理流程不统一，安全风险隐患较大；对于无人机非法测绘行为的处罚多以“罚款+没收设备”为主，罚款金额多在 1 万元至 10 万元，与非法测绘可能带来的国家安全损失相比，处罚力度较弱，难以形成有效震慑。

二是监管体系不完善。无人机测绘监管涉及“飞行空域审批、测绘资质审核、数据安全监管”等多个环节，每个环节涉及的监管部门不同。按照《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》要求，管制空域主要包括真高 120 米以上空域、空中禁区、空中限制区及周边空域、军用航空超低空飞行空域、机场及周边区域、军事禁区、重要革命纪念地等。如需在管制空域



范围内进行测绘活动，需向对应飞行管制分区的空中交通管制机构提出申请。目前，大多数无人机测绘活动在 120 米以下作业能够满足要求，但在部分地区建筑物 120 米以上作业时，需向空中交通管制机构提出申请，由于审批时长原因，部分测绘单位为赶工期，存在未经审批擅自飞行的现象。同时，测绘地理信息主管部门并未掌握或共享相关申请和审批信息，对相关无人机测绘活动是否合规无法有效辨别，这也给基层执法和无人机测绘活动监管带来一定困难；无人机测绘监管职责分散于多个部门，民航部门及空管单位主要负责空域管理与飞行安全审批，自然资源部门（测绘地理信息主管部门）负责测绘资质管理与地理信息数据安全监管，公安部门负责查处危及公共安全的无人机飞行行为，目前各部门之间缺乏常态化的信息共享、联合执法与案件移交机制，而且在实际监管过程中，各部门之间的职责划分也存在模糊地带。在无人机非法测绘事件中，民航部门、公安部门和测绘地理信息主管部门可能都认为该事件属于其他部门的监管范畴，从而出现监管空白。例如，测绘地理信息主管部门在发现疑似非法测绘行为后，往往需要经过复杂的内部上报和跨部门协调程序，才能将线索移交公安部门立案侦查，整个查处周期平均长达 15 至 30 个工作日，极易错失最佳取证时机，导致违法主体趁机转移或销毁数据证据，大大削弱了执法效能。此外，对于无人机测绘违规查处难度较大，由于无人机测绘活动的灵活性和隐蔽性，测绘地理信息主管部门在监管时存在一定难度，难以全面及时地掌握所有无人机测绘活动的情况，使得一些违规行为难以被及时发现和制止。

三是行业自律未形成。无人机测绘行业内部缺乏有效的自律机制，一些企业相关意识淡薄，为追求经

济利益，违规操作，例如雇用无资质人员、使用不合格设备，甚至在禁飞区非法作业。同时，在数据处理上简化加密等安全措施，这些行为不仅触犯法规，更对地理信息安全和公共安全构成严重威胁。而行业协会在推动行业自律方面的作用并未充分发挥。一些行业协会的规章制度不够完善，对会员企业的约束力不足，无法有效规范企业行为。行业协会在开展安全培训、技术交流等方面的工作也不够深入，导致从业者的安全意识和专业水平难以得到有效提高。

探索安全风险防范机制

一是完善法律法规体系。针对无人机测绘领域，应加快完善相关法律法规，明确各方在无人机测绘活动中的责任和义务；细化无人机测绘数据的采集、存储、传输和使用过程中的安全管理规定，要求测绘单位必须采用加密技术存储和传输数据，明确数据存储的介质要求和访问权限设置标准。无人机测绘数据在存储时，应使用符合国家标准的加密算法，存储介质应具备高可靠性和安全性，定期进行数据备份，防止数据丢失。在数据传输过程中，应采用专用网络或加密公共网络，确保数据的完整性和保密性。

加大对违法行为的处罚力度，提高违法成本。对于无资质测绘、非法数据传输、违规飞行等行为，除了现有的罚款、没收违法所得等处罚措施外，还应根据情节轻重，增加吊销相关许可证、限制从业资格等更为严厉的处罚。对于情节严重、构成犯罪的，依法追究刑事责任。对于多次进行无资质测绘的单位或个人，除了经济处罚，可吊销其相关营业执照或从业证书，禁止其在一定期限内从事测绘相关活动；对于非法传输重要地理信息数据、危害国家安全的行为，应依法追究刑事责任，通过严厉的法律制裁，形成强大的法律威慑力，有效遏制违法行为的发生。

二是强化全链条监管能力。积极构建“多部门协同+全流程覆盖”的监管机制。由于无人机管理涉及多个领域和行业，应建立相应的协调机构，如无人机监管协调机构等，明确各部门在“事前审批一事中监控一事后查处”全流程中的具体职责与衔接程序，以便对违法无人机使用行为进行协同执法，避免出现执法盲区和重复执法等情况。同时，建立信息交流和共享机制，畅通无人机空域管理的信息交流和沟通渠道，实现信息实时共享和协同监管，提升监管效率和水平。

大力推进监管科技创新与应用。加大投入，综合

利用雷达、无线电频谱探测、光电识别、声学传感等多种技术手段，构建“星-空-地”一体化的低空无人机监测网络。积极运用大数据、人工智能、区块链等先进技术，提升监管平台的智能化水平。例如，利用AI算法对海量飞行轨迹数据进行智能分析，自动识别异常飞行模式（如敏感区域盘旋、夜间超低空飞行等）并及时预警；利用区块链技术实现飞行计划、审批记录、监管日志的不可篡改和可追溯。同时，强制推广和升级“电子围栏”技术，确保无人机在出厂前即内置最新版的禁飞区、限飞区地理围栏数据，并对任何试图破解或屏蔽“电子围栏”的行为向监管平台发送实时警告，从技术上遏制擅自闯入敏感空域的行为。

三是健全行业自律体系。推进并完善行业信用评价体系，建立覆盖所有从业单位的无人机测绘安全信用评价模型。定期对企业的资质合规、安全投入、操作规范、数据管理、事故记录、投诉举报等情况进行综合评价，并将评价结果向社会公开。对信用等级高的企业，在项目承揽、空域申请、资质延续等方面给予绿色通道等激励；对信用等级低下且存在严重安全隐患的企业，采取行业警告、通报批评、重点监管等措施，直至建议主管部门暂停或吊销其资质，以引导企业珍视声誉、自觉遵守法规。

加强常态化普法宣传与安全教育培训。行业协会、主管部门要利用“8·29”测绘法宣传日、国家安全教育日等重要节点，组织开展形式多样的普法宣传活动，深入解读无人机测绘相关法律法规和安全要求。鼓励并支持行业协会面向企业负责人、技术主管和一线操作人员定期组织专业技能与安全培训班，重点强化空域管理法规、数据保密知识、安全操作流程及应急处突能力的培养与考核。推动将安全培训合格作为从业人员上岗的必要条件，全面提升全行业的安全素养与责任意识。

无人机测绘技术的蓬勃发展是时代进步的必然趋势，但其伴生的安全风险不容小觑。无人机测绘的安全治理，必须摒弃“头痛医头、脚痛医脚”的碎片化模式，转向“系统治理、综合治理、源头治理”的新范式。通过持续不断的制度创新、管理创新与技术创新，在充分释放无人机测绘技术巨大潜能、助力低空经济腾飞的同时，有效防范化解各类安全风险，牢牢守住国家地理信息安全与公共安全底线，为实现高质量发展和高水平安全的良性互动奠定坚实基础。□（作者单位：湖北工业大学）

基于改进方法的船舶AIS时空大数据处理与应用研究

唐享¹ 何华熙¹ 党蕊蓉¹ 张辉²

(1. 广州海洋地质调查局三亚南海地质研究所, 海南 三亚 572000; 2. 广州海洋地质调查局海洋信息研究所, 广东 广州 511458)

摘要: 针对南海海域船舶自动识别系统(AIS)数据量大、噪声干扰强、轨迹完整性差及存储查询效率低等问题, 以南海大范围2024年至2025年10万余艘船舶350亿余条AIS时空大数据为研究对象, 提出集“数据过滤、轨迹抽稀、缺失填补、高效存储”于一体的处理方案, 通过移动时间窗口实现异常与重复数据过滤, 引入动态阈值与拐点计算改进道格拉斯抽稀算法, 采用LSTM神经网络补全缺失数据并预测航迹, 结合InfluxDB时序数据库优化存储查询, 研究表明: 该方法能提升船舶异常数据识别率、轨迹抽稀压缩率, 改善数据缺失问题并进行补全, 提升船舶存储查询效率。研究成果和方法能为南海船舶监管、航行安全保障提供更高质量的数据和高效的信息服务支撑。

关键词: 船舶轨迹; AIS数据处理; Douglas Peucker; LSTM; InfluxDB

南海作为全球航运核心水域, 每日有大量船舶通行, 产生海量船舶AIS(自动识别系统)时空数据。这些数据包含船舶位置、航速等关键信息, 是海上船舶交通监管与安全保障的核心支撑^[1]。根据研究AIS船舶数据源统计, 南海区域日均产生AIS动态数据超8600万条, 涉及渔船、货船、油船、拖轮、客船、公务船等多类型船舶, 数据呈“高并发、强噪声、易缺失、效率低”等特征^[2], 现有船舶AIS数据处理方法存在明显局限: 在数据过滤方面, 传统固定阈值法仅通过航速范围筛选异常点, 未考虑船舶运动连续性, 误判率较高; 轨迹抽稀领域, 经典Douglas Peucker(D-P)算法采用固定空间阈值, 易丢失转向、变速等关键节点; 数据填补多依赖线性插值, 无法捕捉轨迹时序关联性, 填补误差较大; 存储查询方案缺乏针对船舶AIS数据的时序优化, 存储效率低。研究针对南海船舶AIS数据特征和数据处理存在的局限性, 提出四方面改进, 优化船舶AIS处理方法: (1) 构建移动时间窗口过滤机制, 融合航速连续性与航向一致性判定异常数据; (2) 设计动态阈值改进D-P算法, 结合船舶平均航速与航向偏差调整抽稀精度; (3) 采用LSTM长短时记忆神经网络实现缺失数据填补与短期航迹预测, 利用南海船舶历史轨迹优化模型参数; (4)

基于InfluxDB设计分区存储与索引优化策略, 提升数据读写效率。研究还通过南海真实船舶AIS数据验证, 发现该方法在数据质量与处理效率上均优于传统方案。

1 相关技术概述

1.1 船舶AIS数据过滤技术

船舶AIS数据过滤的核心是识别并剔除噪声与重复数据。Pu^[3]提出的 3σ 规则, 通过计算经纬度残差与标准差删除异常数据, 虽实现简单, 但仅适用于正态分布噪声, 对南海复杂环境下的非对称船舶AIS噪声适配性差, 易误删有效数据。白响恩等^[4]提出的DS证据融合+Bi-LSTM多层网络, 通过异常数据归一化处理实现高精度修复, 但模型训练与推理耗时较长, 难以满足实时数据处理需求。

1.2 船舶AIS轨迹抽稀技术

船舶AIS轨迹抽稀旨在减少数据冗余并保留关键特征。研究者提出多种适用于AIS数据抽稀压缩算法, 如基于D-P算法的轨迹压缩方法, 能将压缩率提高到97.19%, 显著减少数据存储量。史祺等^[5]提出基于机器学习的深度学习模型压缩方法, 能学习数据的紧凑表示, 实现高效压缩。许婉初等^[6]采用时空欧式距离替代传统几何距离, 设置固定阈值提升D-P算法压缩效果,

基金项目: 中国地质调查局广州海洋地质调查局局长基金项目“南海感知预警平台船舶轨迹数据自动处理分析研究与实现”(项目编号: 2023GMSJZJJ00020)、“基于多源遥感的海南红树林快速评价与监测方法研究-以临高县为例”(项目编号: 2023GMSJZJJ00024), 以及“海南岛东南海域海洋专项地质调查”(项目编号: DD20230404)。

作者简介: 唐享(1990—), 男, 汉族, 硕士研究生, 工程师, 注册测绘师, 主要从事陆海多源地理信息时空大数据融合处理、产品研制及应用系统研发工作。

通信作者: 何华熙(1998—), 男, 汉族, 本科, 助理工程师, 主要从事海洋测绘、地理信息数据融合处理及系统研发工作。

但阈值缺乏动态调整机制,面对船舶变速、转向等复杂轨迹易失真。舒田伦等^[7]结合滑动窗与转向角自适应分割方法实现D-P算法阈值动态调整,但仅考虑轨迹几何特征,未结合船舶航速、航向等运动特性,对高速船舶的短距离急转向轨迹仍存在特征保留不完整问题。

1.3 船舶 AIS 缺失数据填补技术

对于信号遮挡或者抽稀不合理等导致的船舶 AIS 缺失数据填补需恢复轨迹连续性。苏俊杰等^[8]提出的样条卡尔曼(SK)算法,结合分段插值与卡尔曼滤波实现修复,在低缺失率场景效果优异,但无法满足高缺失场景需求。阚泽屹^[9]提出DE-LSSVM模型,通过检索相似历史数据训练预测模型,虽提升了高缺失率下的稳定性,但相似轨迹检索依赖全局数据遍历,耗时较长,无法适应实时填补需求。

1.4 船舶 AIS 时序数据存储技术

船舶 AIS 数据的时序特性要求高效存储方案。传统采用 MySQL 传统数据库进行 AIS 数据存储管理,在存储和查询具有明显时间序列特征的船舶数据时,存在一些局限性,对大范围的超量船舶 AIS 数据存储查询适应性不强^[10],Evmides 等^[11]设计的智能框架(哈希表存储+索引优化),虽提升了单机船舶 AIS 数据存储效率,但受限于单机硬件资源,当 AIS 数据日增量过大时,易出现存储瓶颈,且不支持分布式扩展。

2 研究方法

2.1 总体框架

研究改进的 AIS 数据处理方法分为四个方面:(1)数据预处理:多线程拉取南海 AIS 数据,按 MMSI 分类排序并过滤重复数据;(2)异常过滤:基于移动时间窗口,通过航速连续性与航向一致性判定异常点;(3)轨迹优化:改进 D-P 算法抽稀数据,LSTM 填补缺失并预测航迹;(4)存储查询:InfluxDB 批量写入、分区存储与索引优化。

2.2 数据预处理

(1)多线程数据拉取:通过 AIS 数据供应商 HTTP 接口,启动 5 个线程(默认)并行拉取数据,每秒请求 1 次,单线程处理 2 万余艘船舶数据,避免单线程时效性不足。拉取数据暂存 Redis 数据库缓存,缓存容量设为 10 万条,防止内存溢出。

(2)分类与排序:按 MMSI(船舶唯一标识码)分组,每组数据按时间戳升序排序。采用插入排序修正延迟数据,若同一 MMSI 存在相同时间戳数据,直接剔除重

复项,重复数据剔除率达 100%。

2.3 移动时间窗口异常过滤

采用 1min 滑动窗口,逐窗口处理单船数据,逐个遍历数据,通过航速与航向双重判定过滤异常:

(1)航速异常判定:设窗口内连续数据点 $A_1(x_1, y_1)$ 、 $A_2(x_2, y_2)$,其中 x_1 和 y_1 表示该点的经纬度,基于两点的经纬度计算两点距离:

$$D = 2 * \arcsin\left(\sqrt{\sin^2\left(\frac{y_2 - y_1}{2}\right) + \cos(y_1) * \cos(y_2) \sin^2\left(\frac{x_2 - x_1}{2}\right)}\right) * 6371$$

根据公式计算 A_1 到 A_2 的距离 $D_{1,2}$ (单位:km),因为 AIS 数据携带时间戳及当前航速信息,那么可计算得到 A_2 的平均速度为 $V_2 = \frac{D_{1,2}}{T_2 - T_1}$,若计算得到 A_2 点的平均速度和 AIS 上报的速度差别太大 $\left(\frac{|V_2 - V_2^{AIS}|}{V_2^{AIS}}\right) \geq 0.5$,其中 V_2^{AIS} 表示 A_2 点在 AIS 数据中上报的当前航速信息,则表明 A_2 点数据存在问题,直接剔除 A_2 点。

具体流程为:假设待处理的数据序列是 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 ……,首先基于 A_1 和 A_2 判定 A_2 航速是否异常,如 A_2 符合预期,则继续判定 A_2 和 A_3 ,如此反复。如 A_2 航速异常,则丢弃 A_2 ,然后判定 A_1 和 A_3 ,如此反复。

(2)航向异常判定:计算 A_1 与 A_2 的航向角 $Angle_2$ (以北为基准):

$$Angle_2 = (\arctan^2(\sin(x_2 - x_1) * \cos(y_2), \cos(y_1) * \sin(y_2) - \sin(y_1) * \cos(y_2) * \cos(x_2 - x_1))) + 360) \% 360$$

如果计算得到 A_2 点的航向角和 AIS 上报的航向角差别太大(差异超过 0.5 度或对应弧度值),则表明 A_2 点数据存在问题,丢弃 A_2 点。然后逐个遍历,排查航向角异常的船舶 AIS 点。

经过航速、方向角等因素判断,会将大部分异常点数据信息剔除掉,得到初步清洗后的数据。

2.4 改进的 D-P 轨迹抽稀

(1)滑动窗口划分:仅对航行状态数据(航速 > 1 节, AIS 状态码 0:即正常航行)抽稀,按数据量动态划分窗口:设航行段数据量 CurCnt,最小窗口 MinWin=1000(约 30min 航行数据)。假设船舶从停泊到航行,再到停泊中间状态的数据为 CurCnt 个,若 $CurCnt < 2 * MinWin$,划分为 1 个窗口;否则按 $\frac{CurCnt}{MinWin}$ (向下取整)个划分。

(2)拐点检测:设窗口起点是 A_1 、终点是 A_{MinWin} 。将 A_1 和 A_{MinWin} 连成一条线,逐个遍历 $[A_2, A_{MinWin-1}]$,计算到线段 A_1 和 A_{MinWin} 的垂直距离 VerLen(通过垂足公式计算,忽略南海小范围地球曲率),筛选垂直距离最大点为拐点。

(3) 动态阈值判定：动态阈值 Delt 计算公式为：

$$\text{Delt} = \text{BaseDelt} * (1 + \alpha * \left| \frac{V_i - V_{\text{aver}}}{V_{\text{aver}}} \right| + \beta * \left| \frac{\text{Angle}_i - \text{Angle}_{\text{aver}}}{\text{Angle}_{\text{aver}}} \right|)$$

公式中，BaseDelt=0.1km(默认)， $\alpha=\beta=0.5$ (权重)， V_{aver} 、 $\text{Angle}_{\text{aver}}$ 为窗口平均航速与航向。若 VerLen > Delt，保留拐点并递归分割窗口；否则保留首尾点，剔除中间点。经统计核实改进后抽稀压缩率 72.3%，轨迹空间偏差 < 45m，关键拐点保留率达 92%。

2.5 LSTM 数据填补与航迹预测

(1) 数据填补：对于信号遮挡或者抽稀不合理等导致的船舶 AIS 缺失数据填补需恢复轨迹连续性，研究采用 LSTM 神经网络做轨迹预测，具体是遍历船舶 AIS 数据，将数据点的“时间戳-经度-纬度-航速-航向”作为 LSTM 神经网络输入，输出 5~10 个填补点(按需动态调整)。LSTM 模型参数：输入层 5 节点，输出层 2 个节点(经纬度等信息)，每层 150 神经元，使用均方根误差 (RMSE) 衡量经纬度偏差、RMSE 损失函数，训练数据 MMSI 为 351917000 的船舶在 2024-11-27 期间轨迹信息，填补 RMSE 0.0012°，较线性插值降低 66.7%。

(2) 航迹预测：输入时间戳、经度、纬度、航速、航向等 5 个输入变量信息到 LSTM 神经网络，输出未来 10~20 个位置，预测轨迹用虚线绘制，实时数据更新后迭代优化模型，预测误差随数据量增加降低。

2.6 InfluxDB 存储优化

(1) 批量写入存储：缓存 1 天 AIS 数据，后批量写入 InfluxDB，减少 IO 次数；写入失败时重试 20 次，仍失败则存储本地文件，故障恢复后补写，数据完整性达 99.9%，实验将南海 7377.539 万条船舶数据记录导入 InfluxDB，耗时约 59 分。

(2) 分区与索引查询：按每月分区存储，使数据在物理存储上按时间有序分布，减少查询扫描范围；在 InfluxDB 自动索引(时间戳、MMSI)基础上，增加“航速-航向”组合索引，设 2 年保留策略，保留 2 年实时数据。通过以上优化策略，查询南海某个时间段一条船舶轨迹信息的响应时间从 8.5s 缩短至 836ms。

3 实验与结果分析

3.1 实验数据

实验采用南海区域 2024 年 3 月至 2025 年 4 月船舶 AIS 数据，日均 8600 万条船舶 AIS 数据记录，平均每秒产生 1000 余条，涉及 107700 余艘船舶，其中渔

船 33700 余艘，货船 10400 余艘，油船 1800 余艘，工作船 1300 余艘，拖轮 960 余艘，客船 830 余艘，客船 810 余艘，其他类型船舶合计约 57900 余艘。同时数据属性包括 MMSI、IMO、呼号、船舶名称、船舶类型、船舶长度、船舶宽度、经度、纬度、航迹向、船艏向、航速、航行状态、预到时间、吃水、目的地、AIS 类型、国家代码、接收时间、数据来源等。测试场景为：异常过滤(岛礁密集区，异常率 7.8%)、轨迹抽稀(繁忙航道，数据量 3 万余条/船)、数据填补(信号遮挡区，缺失率 22%)、存储查询(全量数据，约 350 亿条)。

3.2 评价指标

南海船舶 AIS 数据处理分析评价指标如表 1 所示。

表1 南海船舶AIS数据处理分析评价指标

模块	评价指标	定义
异常过滤	异常识别率	正确识别异常数/实际异常数×100%
	误判率	误判正常数/实际正常数×100%
轨迹抽稀	压缩率	(1-抽稀后数据量/原始数据量)×100%
	轨迹偏差	抽稀轨迹与原始轨迹的Hausdorff距离/m
数据填补	MAE (平均绝对误差)	填补经纬度与真实值的平均绝对偏差/°
	RMSE (均方根误差)	填补经纬度与真实值的均方根偏差/°
存储查询	写入吞吐量	单位时间写入数据量/(条/s)
	查询响应时间	单条MMSI7天轨迹查询耗时/s

3.3 实验结果

3.3.1 异常过滤结果

南海 AIS 数据异常过滤对比结果如表 2 所示。研究采用的基于移动时间窗口异常过滤方法结合航速与航向判定，异常识别率较固定航速阈值法提升 16.2 个百分点，误判率降低 12.4 个百分点，虽处理耗时略有增加，但仍满足南海实时处理需求。

表2 南海AIS数据异常过滤对比

方法	异常识别率/%	误判率/%	处理耗时 (s/3万条)
固定航速阈值法	82.3	15.6	0.8
移动时间窗口异常过滤	98.5	3.2	1.5

3.3.2 轨迹抽稀结果

南海船舶轨迹 AIS 数据抽稀对比结果如表 3 所示。研究采用的基于改进的 D-P 轨迹抽稀算法通过动态阈值匹配船舶运动状态，压缩率较经典 D-P 提升 7.1 个百分点，轨迹偏差降低 38.9%，拐点保留率提升 24.2 个百分点，能有效保留船舶转向、变速等关键节点。

3.3.3 数据填补结果

南海船舶 AIS 缺失数据填补对比结果如表 4 所示。LSTM 方法利用南海历史轨迹训练，在高缺失率(22%)下 MAE 仅 0.0015°，较三次样条插值降低 53.1%，体

现长时序依赖捕捉优势，满足南海信号遮挡区轨迹连续性需求。

表3 南海船舶轨迹AIS数据抽稀对比

方法	压缩率/%	轨迹偏差/m	拐点保留率/%
经典D-P算法	65.2	82.7	68.3
自适应阈值D-P算法	68.5	65.3	85.1
改进的D-P算法	72.3	43.8	92.5

表4 南海船舶AIS缺失数据填补对比

方法	缺失率 10%MAE/°	缺失率 22%MAE/°	缺失率 10%RMSE/°	缺失率 22%RMSE/°
线性插值	0.0021	0.0048	0.0028	0.0065
三次样条插值	0.0015	0.0032	0.0020	0.0041
LSTM方法	0.0008	0.0015	0.0011	0.0019

3.3.4 存储查询结果

南海 AIS 数据存储查询对比结果如表 5 所示。通过批量写入与分区索引，InfluxDB 写入吞吐量较 MySQL 提升 2.47 倍，查询响应时间缩短约 69%，存储占用降低 70%，有效解决南海 AIS 数据存储瓶颈。

表5 南海AIS数据存储查询对比

方法	写入吞吐量 (条/s)	查询响应时间/s	存储占用 (GB/月)
MySQL	8400	2.7	1550
优化的InfluxDB	20780	0.84	460

4 讨论

研究针对南海船舶 AIS 时空大数据特点的改进成效显著，但仍有局限：（1）LSTM 模型训练依赖大量船舶 AIS 历史数据，对于新船舶（无历史轨迹）填补精度下降约 15%，可引入迁移学习，利用同类船舶轨迹优化初始模型；（2）异常过滤未融合电子海图信息，在南海禁航区、锚地等区域，误判率有优化空间，可结合海图地理约束降低误判；（3）InfluxDB 分区按月划分，在南海船舶密度峰值时段（如台风后恢复通航），单分区数据量骤增，查询效率下降，需动态调整分区粒度。在实际应用中，基于改进的船舶 AIS 轨迹大数据处理方法已在南海感知船舶智能监管平台进行应用试点：通过异常过滤识别非法采砂船航速跳变行为，准确率达 91%；改进 D-P 抽稀后，监管网页终端轨迹加载时间从 15s 缩短至 0.8s；LSTM 预测为碰撞预警提供 10min 提前量，预警响应时间缩短 40%；InfluxDB 存储节省约 71%，数据写入性能快 140%，能较好满足船舶监管多维度数据高效存储分析需求。

5 结语

针对南海 AIS 数据“高并发、强噪声、易缺失、

效率低”问题，在传统 AIS 时空数据处理方法基础上优化改进提出一体化处理方法，通过南海真实船舶 AIS 数据测试验证，得出以下结论：该方法利用移动时间窗口结合航速-航向判定，船舶 AIS 异常识别率达 98.5%，误判率 3.2%，能有效过滤南海岛礁区域 AIS 噪声数据；动态阈值改进 D-P 算法，压缩率 72.3% 时轨迹偏差 < 45m，关键拐点保留率 92.5%，平衡数据冗余与轨迹精度；LSTM 神经网络在 22% 缺失率下填补 RMSE 0.0019°，未来 10~20min 航迹预测误差稳定，提升轨迹完整性；InfluxDB 优化后写入吞吐量 20780 条/s，船舶轨迹查询响应时间 0.8s，能有效解决南海大数据存储查询瓶颈。该方法能为南海船舶海事智能监管、航行安全保障提供技术支撑，后续可融合多源数据（如雷达、卫星数据）进一步提升处理精度。

参考文献

- [1] 张圣,王列辉.船舶自动识别系统数据在港口地理学研究中的应用与展望[J].大连海事大学学报,2023,49(3):61-73.
- [2] 陈焱明,陈奕恒,崔越,等.一种基于AIS数据质量优化的船舶轨迹重建方法:CN202411579608.4[P].CN119088896B[2025-09-12].
- [3] Tianyu Pu.Mining and Analysis of the Traffic Information Situation in the South China Sea Based on Satellite AIS Data[J].International Journal of Data Warehousing and Mining (IJDWM),2023,19(4):1-25.
- [4] 白响恩,方明权,徐笑锋,等.复杂环境下的窄口段水域AIS轨迹重塑方法研究[J].中国航海,2024,47(3):106-113.
- [5] 史祺,范亚琼,张丹普,等.基于轨迹图片特征距离的船舶轨迹聚类[J].舰船电子工程,2024,44(6):30-35.
- [6] 许婉初,杨春,胡勤友.船舶徘徊轨迹Douglas Peucker算法提取及其深度学习分类[J].中国航海,2024,47(2):1-7.
- [7] 舒田伦,刘奕,刘敬贤,等.基于改进DP算法的船舶轨迹自适应压缩方法[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2024,48(5):1005-1010.
- [8] 苏俊杰,兰培真.基于样条卡尔曼算法的AIS数据修复[J].集美大学学报:自然科学版,2022,27(6):524-530.
- [9] 阚泽屹.面向内河AIS数据的清洗与修复算法研究[D].大连:大连海事大学,2023.
- [10] Ma H, Wen Y, Zhou H, et al. Research on Massive AIS Ship Data Storage Method Based on HBase and Elasticsearch[C]//2024 5th International Conference on Geology, Mapping and Remote Sensing (ICGMRS).0[2025-09-12].
- [11] Evmides, N., Odysseos, L., Michaelides, M., et al. An Intelligent Framework for Vessel Traffic Monitoring Using AIS Data[J]. In 2022 23rd IEEE International Conference on Mobile Data Management (MDM),2022.

海上风电场风机安全监测技术与应用研究

姚君健^{1,2} 江天豪^{1,2}

(1. 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 311100; 2. 浙江华东工程咨询有限公司, 浙江 杭州 311100)

摘要: 华能大连市庄河海上风电场项目通过选取单桩基础风机作为典型监测机位, 系统实施了倾斜、振动、应力及冰压力等多维度结构安全监测。监测数据显示: 振动加速度有效值最大为 0.037m/s^2 , 无显著增大趋势; 倾斜角度波动范围为 $-1.425^\circ \sim 1.059^\circ$, 未超限且无恶化趋势; 钢板应力在 $-34.43\text{MPa} \sim 91.52\text{MPa}$ 间波动, 未超过钢材设计强度; 冰压力波动范围为 $-5.424\text{MPa} \sim 4.481\text{MPa}$, 变化平稳。综合分析表明, 风机运行状态正常, 结构安全性符合要求。研究为海上风电结构安全监测提供了实践范例, 验证了监测方案的可行性。

关键词: 海上风电场; 风机; 安全监测

1 引言

随着全球能源结构向清洁化、低碳化转型, 海上风电作为规模化开发可再生能源的重要途径, 其装机规模与单机容量持续攀升^[1]。然而, 由于海洋环境特有的风浪流耦合荷载、盐雾腐蚀、冰载荷冲击等复杂工况^[2-4], 对风机支撑结构的长期安全性和耐久性提出了严峻挑战。据统计, 海上风电结构失效案例中约30%由基础疲劳损伤或极端荷载累积引发^[5], 突显结构监测在预防重大事故、延长服役寿命中的关键作用。华能大连市庄河海上风电场项目选取单桩基础风机作为典型机位, 依据《海上风力发电机组结构安全监测技术规范》(NB/T11085-2023), 设计了涵盖倾斜、振动、应力及冰压力的综合监测方案^[6]。监测布置遵循“突出重点、兼顾全面”原则, 其中, 基础与塔筒的倾角及振动监测采用分层布设策略, 旨在捕捉结构变形与动态荷载的传递规律; 桩顶钢板应力计对称布置则结合主风向特征, 解析交变应力对钢结构的潜在损伤机制; 冰压力监测进一步填补了寒区海域冰振耦合作用的数据空白。研究通过分析监测数据, 评估风机结构状态, 旨在为同类项目提供技术参考。

2 工程应用

2.1 项目概况

华能大连市庄河海上风电场 IV2 (200MW) 项目位于辽宁省大连市庄河市海域, 场址东西跨度约 8.5km, 南北跨度约 4.0km, 场址中心离岸距离约 26.7km, 水深 19~22m, 具体位置如图 1 所示。海上风电场共

安装 25 台 8.0MW 风力发电机组, 项目配套建设 1 座 220kV 海上升压站及 1 座陆上集控中心, 风电机组发出电能通过 7 回路 35kV 集电海底电缆接入海上升压站, 升压后通过 1 回路 220kV 海陆电缆接入陆上集控中心。项目全容量并网后, 将与庄河 II 项目、IV1 项目共同构成装机容量为 850MW 的北方最大海上风电集群, 风电场全貌如图 2 所示。项目投入运营后, 为掌握风电设施安全状态, 需要定期实施结构安全监测^[7]。项目选取 1 台单桩基础风机 (4#) 作为典型监测机位进行倾斜、振动、应力、冰压力等方面的监测。



图1 风电场位置



图2 风电场全貌

作者简介: 姚君健 (1984—), 男, 汉族, 本科, 高级工程师, 主要研究方向为新能源项目管理。

通信作者: 江天豪 (1999—), 男, 汉族, 本科, 助理工程师, 主要研究方向为新能源项目管理。

2.2 结构监测

海上风电场风机结构主要包括叶片、塔筒、基础、连接段等多个部分，其中，基础与塔筒部分稳定是风机安全的关键^[8]。开展基础与塔筒倾斜监测时，需要在监测风机基础顶部（也可选择基础内平台略上的桩体内壁上）和塔筒内壁3个高程各布置1套双向倾角仪，合计布设4套动态双向倾角仪；开展基础与塔筒振动监测时，在监测风机基础顶部和塔筒内壁3个高程各布置1套双向振动加速度计，合计布设4套双向振动加速度计；开展基础应力监测时，在监测风机桩顶附近内表面以主风向为基准方位，沿环向对称布置4支钢板应力计，共计布设4支钢板应力计；开展基础冰压力监测时，在典型监测风机基础外套笼上冰层厚度范围内各布置2支冰压力计，共计布设2支冰压力计。风机监测布置如图3所示，风机监测设备安装情况如表1所示。

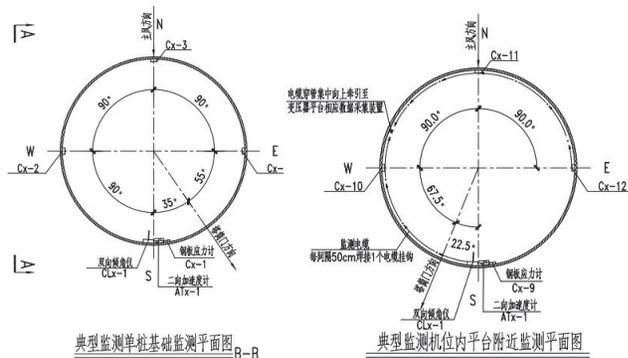


图3 风机监测布置

表1 风机监测设备安装情况

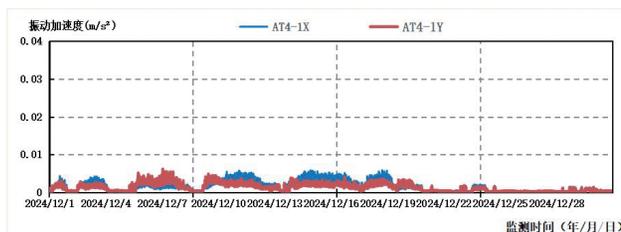
序号	设备名称	仪器编号	安装位置
1	双向倾角仪	CL4-1	风机基础内平台法兰下EL. 11. 25m
2	双向倾角仪	CL4-2	风机二段塔筒法兰下EL. 51. 83m
3	双向倾角仪	CL4-3	风机三段塔筒法兰下EL. 87. 49m
4	双向倾角仪	CL4-4	风机顶端塔筒顶部法兰下方EL. 122. 24m
5	二向加速度计	AT4-1	风机基础内平台法兰下EL. 11. 25m
6	二向加速度计	AT4-2	风机二段塔筒法兰下EL. 51. 83m
7	二向加速度计	AT4-3	风机三段塔筒法兰下EL. 87. 49m
8	二向加速度计	AT4-4	风机顶端塔筒顶部法兰下方EL. 122. 24m
9	钢板应力计	C4-1	风机基础内平台法兰下EL. 11. 25m
10	钢板应力计	C4-2	风机基础内平台法兰下EL. 11. 25m
11	钢板应力计	C4-3	风机基础内平台法兰下EL. 11. 25m
12	钢板应力计	C4-4	风机基础内平台法兰下EL. 11. 25m
13	冰压力计	B4-1	风机基础套笼平均海平面EL. 0. 04m
14	冰压力计	B4-2	风机基础套笼平均海平面EL. 0. 04m

2.3 监测结果

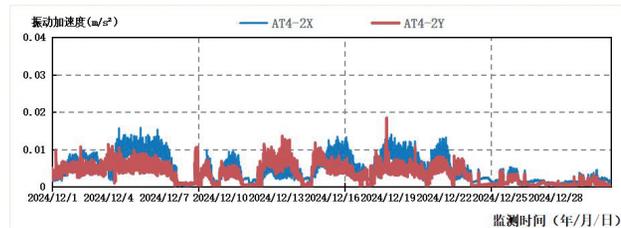
实施监测时，风电各监测项目均接入自动化系统，实现自动化监测。监测仪器数据自动化采集并传输至服务器，通过监控主机上的监测信息管理系统完成监测数据的管理、分析等工作，具体监测结果如下：

2.3.1 振动监测

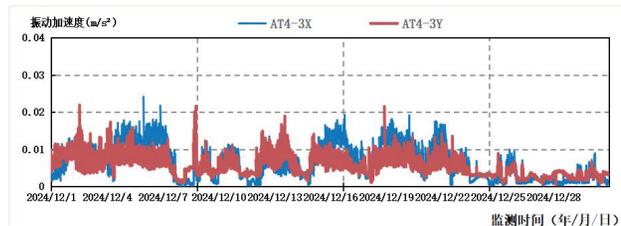
风机共布设4套二向加速度计，基础结构振动监测获取的变化情况过程线如图4所示。



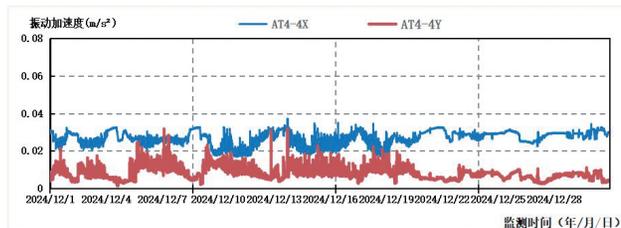
(a) 风机振动加速度计AT4-1测值过程线



(b) 风机振动加速度计AT4-2测值过程线



(c) 风机振动加速度计AT4-3测值过程线



(d) 风机振动加速度计AT4-4测值过程线

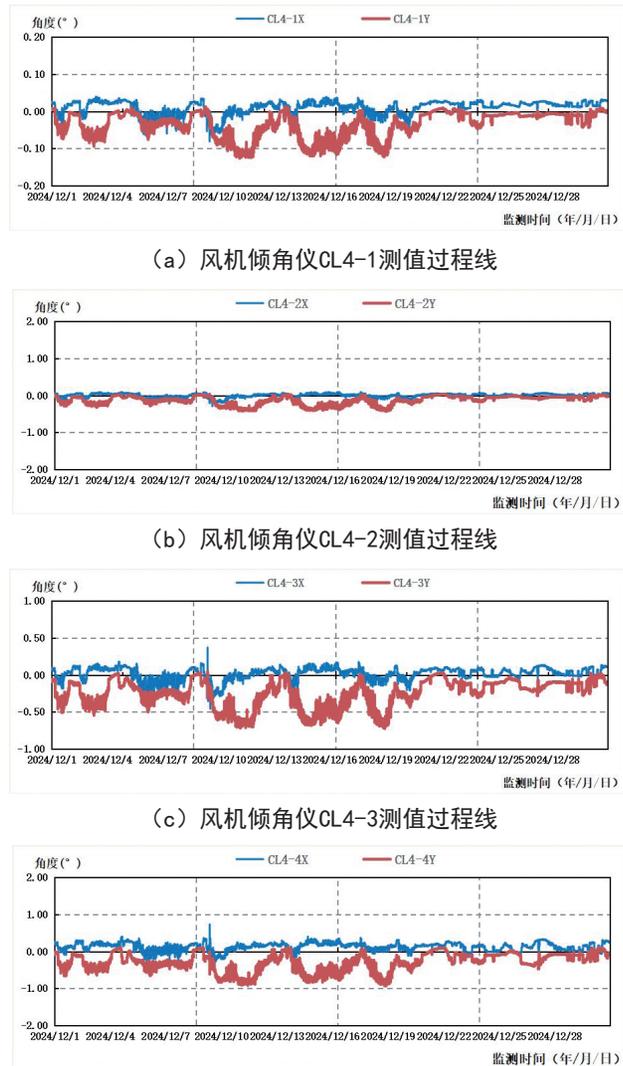
图4 风机振动加速度计测值过程线

根据图4可以发现，AT4-1风机主风向振动加速度有效值最大值为0.006m/s²，垂直于主风向振动加速度有效值最大值为0.006m/s²，风机主风向和垂直主风向振动加速度有效值均无明显增大趋势；AT4-2风机主风向振动加速度有效值最大值为0.016m/s²，垂直于主风向振动加速度有效值最大值为0.018m/s²，风机主风向和垂直主风向振动加速度有效值均无明显增大

趋势；AT4-3 风机主风向振动加速度有效值最大值为 0.024m/s^2 ，垂直于主风向振动加速度有效值最大值为 0.022m/s^2 ，风机主风向和垂直主风向振动加速度有效值均无明显增大趋势；AT4-4 风机主风向振动加速度有效值最大值为 0.037m/s^2 ，垂直于主风向振动加速度有效值最大值为 0.032m/s^2 ，风机主风向和垂直主风向振动加速度有效值均无明显增大趋势。

2.3.2 倾斜监测

风机布设的 4 套双向倾角仪基础和塔桶结构倾斜监测变化情况过程线如图 5 所示。



(a) 风机倾角仪CL4-1测值过程线

(b) 风机倾角仪CL4-2测值过程线

(c) 风机倾角仪CL4-3测值过程线

(d) 风机倾角仪CL4-4测值过程线

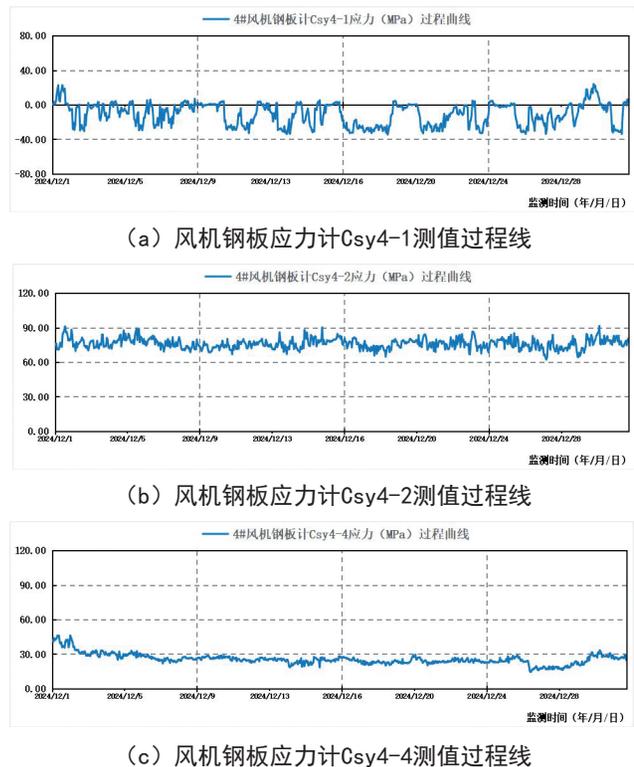
图5 风机倾角仪测值过程线

根据图 5 可以发现，倾角仪 CL4-1X 测值在 $-0.081^\circ \sim 0.039^\circ$ 之间波动，月平均测值为 0.009° ；CL4-1Y 测值在 $-0.126^\circ \sim 0.013^\circ$ 之间波动，月平均测值为 -0.036° 。倾角仪 CL4-2X 测值在 $-0.290^\circ \sim 0.090^\circ$ 之间波动，月平均测值为 -0.002° ；CL4-2Y 测值

在 $-0.428^\circ \sim 0.037^\circ$ 之间波动，月平均测值为 -0.137° 。倾角仪 CL4-3X 测值在 $-0.457^\circ \sim 0.369^\circ$ 之间波动，月平均测值为 0.015° ；CL4-3Y 测值在 $-0.722^\circ \sim 0.051^\circ$ 之间波动，月平均测值为 -0.253° 。倾角仪 CL4-4X 轴测值在 $-0.474^\circ \sim 0.730^\circ$ 之间波动，月平均测值为 0.124° ；CL4-4Y 轴测值在 $-0.931^\circ \sim 0.114^\circ$ 之间波动，月平均测值为 -0.299° 。可以发现，倾斜测值无明显超限情况。

2.3.3 结构应力监测

风机钢板应力计监测具体情况过程线如图 6 所示，具体为：钢板应力计 Csy4-1 测点测值在 $-34.43\text{MPa} \sim 23.99\text{MPa}$ 之间波动；钢板应力计 Csy4-2 测点测值在 $62.41\text{MPa} \sim 91.52\text{MPa}$ 之间波动；钢板应力计 Csy4-3 测点测值本月监测数据异常，数值不可信，待下月进行数据分析；钢板应力计 Csy4-4 测点测值在 $14.49\text{MPa} \sim 46.20\text{MPa}$ 之间波动。可以发现，风机桩基础结构应力测值过程线变化规律基本一致。



(a) 风机钢板应力计Csy4-1测值过程线

(b) 风机钢板应力计Csy4-2测值过程线

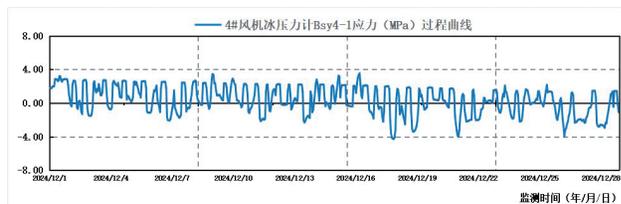
(c) 风机钢板应力计Csy4-4测值过程线

图6 风机钢板应力计测值过程线

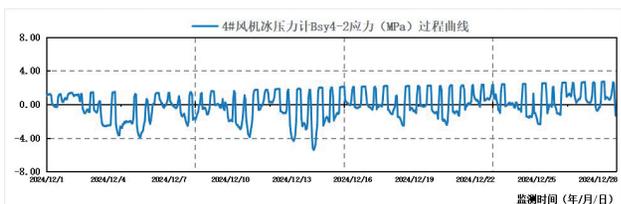
2.3.4 冰压力计监测

风机基础冰压力计监测变化情况过程线如图 7 所示，具体为：冰压力计 Bsy4-1 测点测值在 $-4.320\text{MPa} \sim 3.531\text{MPa}$ 之间波动；冰压力计 Bsy4-2 测点测值在 $-5.424\text{MPa} \sim 2.844\text{MPa}$ 之间波动；冰压力计 Bsy4-3 测点测值在 $-4.151\text{MPa} \sim 3.328\text{MPa}$ 之间波

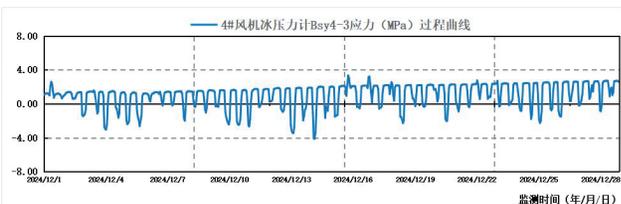
动；冰压力计Bsy4-4测点测值在-4.820MPa~2.834MPa之间波动。可以发现，风机冰压力计测值过程线变化规律基本一致。



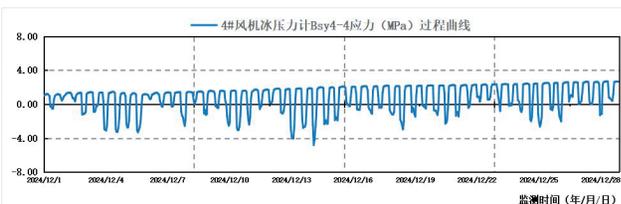
(a) 风机冰压力计Bsy4-1测值过程线



(b) 风机冰压力计Bsy4-2测值过程线



(c) 风机冰压力计Bsy4-3测值过程线



(d) 风机冰压力计Bsy4-4测值过程线

图7 风机冰压力计测值过程线

2.4 结果分析

(1) 振动监测：风机振动测点振动加速度有效值最大值在 $0.002\text{m/s}^2 \sim 0.037\text{m/s}^2$ 之间波动，振动加速度有效值无明显增大趋势，根据风机振动监测规范，当振动加速度超过 0.15m/s^2 （经验阈值）时才需触发保护策略。当前风机振动加速度有效值处于极低水平且无恶化趋势，说明未出现如轴承磨损、叶片裂纹等引发振动加剧的潜在故障，可判定为正常运行。

(2) 风机倾斜监测：风机倾斜测点最大倾斜角度在 $-1.425^\circ \sim 1.059^\circ$ 之间波动，平均倾斜角度在 $-0.752^\circ \sim 0.469^\circ$ 之间波动，风机的倾斜角度波动在合理范围内。倾斜角度的趋势性变化是判断结构安全的关键，当前数据“无明显增大趋势”，表明风机基础未发生沉降或偏移等潜在问题。

(3) 风机结构应力监测：风机结构应力测点测值在 $-34.41\text{MPa} \sim 91.52\text{MPa}$ 之间波动，风机桩基础结构应力测值过程线变化规律基本一致，应力变化平稳，单桩结构在无地震时应力峰值为 130MPa （风速 11.4m/s ），当前结构处于安全状态，未超出钢材强度设计值。

(4) 风机冰压力计监测：风机冰压力计测值在 $-5.424\text{MPa} \sim 4.481\text{MPa}$ 之间波动，未超过设计允许的冰力极值，风机冰压力测值过程线变化规律基本一致，表明冰载荷处于可控状态，无明显增大趋势。

综上所述，可判定风机本月运行正常。

3 结语

华能大连市庄河海上风电场监测项目聚焦全生命周期结构安全，通过构建多维度监测体系，实现环境荷载与结构响应的动态耦合分析。监测结果表明，华能庄河海上风电场 4# 风机在倾斜、振动、应力及冰压力等指标上均处于安全阈值内，结构性能稳定，未发现异常趋势。监测数据的规律性波动与海洋环境荷载特性相符，验证了监测布设方案的有效性。研究结果为单桩基础风机的安全阈值标定提供实测依据，也从工程实践角度验证了监测方案的可行性。未来将进一步优化数据异常识别机制（如 Csy4-3 应力计数据异常需持续跟踪），扩大典型机位监测比例以提升代表性。此外，可结合远程自动化技术实现实时预警，为海上风电全生命周期安全管理提供更高效的技术支撑。

参考文献

- [1] 周胡,和法利,宋虹,等.海上风电多源同步监测数据挖掘分析[J].中国海洋大学学报(自然科学版),2025,55(4):148-156.
- [2] 杨黎军,刘念武,刘帅.风浪作用下海上风机桩筒复合基础动力响应研究[J].水利规划与设计,2025(4):115-122.
- [3] 孙铭阳,袁长春,夏瑞林,等.海洋环境下腐蚀后钢管桩材料性能退化研究[J].建筑钢结构进展,2024,26(10):66-73,87.
- [4] 宜亚丽,向健,张东飞,等.冰载荷下不锈钢复合板挠度特性分析[J].计算力学学报,2020,37(4):476-485.
- [5] 《中国公路学报》编辑部.中国桥梁工程学术 Research 综述·2024[J].中国公路学报,2024,37(12):1-160.
- [6] 张凤阳.海上风电安全监测技术及评估方法研究[J].水电站机电技术,2021,44(11):32-37,65,109.
- [7] 魏静梅.海洋风电项目对海洋生态环境的影响[J].环境与发 展,2020,32(5):189-190.
- [8] 张振利,马会超,贾克勤,等.既有风机基础改造方法及其地震响应研究[J].低温建筑技术,2024,46(11):95-99.

黄河流域河南段生态环境空间格局变化及驱动因子研究

何自杨 周瑾钰

(中色蓝图科技股份有限公司, 北京 101300)

摘要: 植被是生态系统的核心组成部分, 对维持生态平衡、调节气候、保护生物多样性以及提供生态系统服务等方面发挥着不可替代的作用。利用 GEE 平台研究 1995~2020 年黄河流域河南段归一化植被指数 (NDVI) 空间格局变化及驱动因子, 结果表明: (1) 黄河流域河南段生态环境质量整体向好发展; (2) 生态环境驱动因子影响大小为人类活动>温度、湿度、高程, 但温度、湿度、高程影响的重要程度不能确定; (3) 温度、高程与生态环境在近 30 年间呈负相关, 湿度与生态环境在近 30 年间呈正相关。研究结论可为黄河流域河南段水土保持提供参考。

关键词: 黄河流域; 植被指数; 河南段; 驱动因子

1 引言

黄河流域河南段因大量泥沙长期淤积, 河床持续抬升, 逐渐形成“地上悬河”。这一特殊地貌不仅致使洪水发生频次显著增加, 还极大加剧了洪涝灾害的危害程度。从历史记载看, 黄河流域河南段曾多次出现决口泛滥, 给沿岸百姓的生命财产带来巨大损失。植被在陡坡和易侵蚀地区发挥着截留降水、调节地表径流、增加土壤蓄水能力等作用, 有助于保持河流流量稳定。国内诸多学者对生态环境开展了大量研究, 张竞予^[1] 针对河北平原开展归一化植被指数 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 时空异质性研究, 发现地下水埋深与 NDVI 值呈显著负相关; 宋小龙等^[2] 针对西北干旱地区开展 NDVI 时空变化特征及驱动力研究, 发现气温、潜在蒸散发、高程呈负向效应, 降水量、土壤类型、夜间灯光指数呈正向效应; 黎雨萍等^[3] 针对黄河流域巴彦淖尔段开展 NDVI 变化特征及时空变化、驱动因素分析, 研究结果表明黄河流域巴彦淖尔段近年来植被覆盖显著改善, 其驱动因素包括气温、降水、人类活动、土地覆盖类型、地形等, 但这些因素在不同区域的影响具有异质性, 而人类活动会显著影响区域植被覆盖变化, 甚至超过相关自然因素的影响; 赵大鹏等^[4] 针对甘肃省开展了 NDVI 时空演变及气候驱动力分析研究, 在气温和降雨综合作用下, 气温对 NDVI 的影响强于降雨、气候对区域植被动态的显著作用。以上研究发现, 不同驱动因子对当地生态环境影响存在显著差异, 而

黄河流域河南段地处“地上悬河”段, 目前该地区生态环境及驱动因子研究处于空白。

利用 GEE 平台 (landsat5/7/8 数据) 计算黄河流域河南段近 30 年归一化植被指数 (NDVI)、土地利用、数字高程模型 (DEM)、气候 (温度、湿度) 等数据, 以 ArcGIS 10.8、GeoDa 1.20、Excel 365 软件为数据支撑分析平台, 分别基于 1km×1km 评价单元格网对 1995 年至 2020 年每 5 年 NDVI、温度、湿度等相关性变化关系进行研究, 为黄河流域水土保持提供参考。

2 数据来源与研究方法

2.1 研究区概况

黄河流域河南段西起灵宝市, 东至台前县, 流经三门峡、洛阳、济源、郑州、焦作、新乡、开封、安阳、濮阳等 9 个省辖市, 其范围如图 1 所示。河南段地处暖温带大陆性季风气候区, 四季分明, 降水集中于夏季, 年降水量为 500~900mm, 降水的年际变化较大。黄河流域河南段地势西高东低, 自西向东依次为山地、丘陵、平原。植被类型多样, 西部山区以森林、灌丛为主, 东部平原以农田植被为主。近年来, 随着生态保护力度的加大, 沿黄生态廊道建设成效显著, 植被覆盖率有所提高, 生态环境得到改善。

2.2 数据来源与处理

黄河流域河南段近 30 年归一化植被指数、土地利用、DEM、气候等栅格数据基于 GEE 平台 (landsat5/7/8 数据) 计算获得, 行政区矢量数据以全国地理信息资源目录服务系统 (<https://www.webmap.cn/>) 行政区

作者简介: 何自杨 (1991—), 男, 汉族, 本科, 工程师, 主要研究方向为测绘工程、三维扫描、遥感信息。

划为准。用黄河流域河南段矢量数据对栅格数据进行裁剪,对NDVI、土地利用数据进行分级、重分类处理,并用莫兰指数对NDVI与DEM、气候进行空间自相关分析。通过ArcGIS10.8软件对生态环境指数进行分类分级处理,对土地利用数据进行重分类处理;对NDVI、温度、湿度等进行渔网创建等预处理,将研究区划分为1km×1km评价单元网格,以格网为单元研究近30年NDVI与温度、湿度时空变化及相关性。

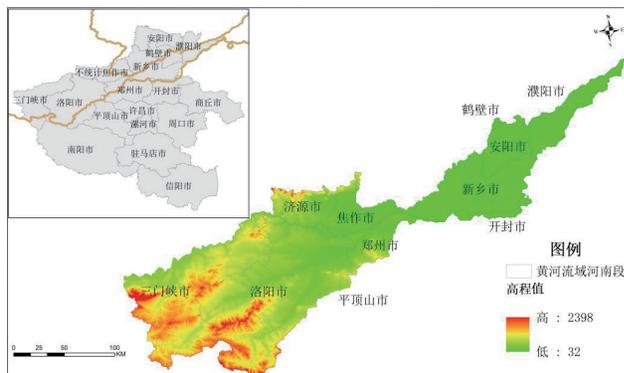


图1 黄河流域河南段

2.3 研究方法

2.3.1 归一化植被指数

归一化植被指数^[5,6](NDVI)是一种通过分析植被对不同波长光的反射特性来评估植被覆盖和生长状况的遥感指数,其计算公式为:

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red) \quad (1)$$

公式(1)中,NIR是近红外波段的反射率,Red是红光波段的反射率,NDVI分级分类如表1所示。

表1 NDVI分级分类

NDVI范围	植被覆盖等级	典型地表类型
-1.0 ~ 0.1	无植被覆盖	水体、冰雪、裸地、城市建筑等
0.1 ~ 0.2	极低植被覆盖	荒漠、稀疏草地、干燥土壤
0.2 ~ 0.3	低植被覆盖	灌木、农田早期生长期
0.3 ~ 0.5	中等植被覆盖	农作物成熟期、混合植被区
0.5 ~ 0.7	高植被覆盖	茂密森林、热带雨林、旺盛生长期植被
0.7 ~ 1.0	极高植被覆盖	极度茂密植被(如原始森林)

2.3.2 双变量空间自相关分析

为探究生态环境与地理环境、气候环境空间自相关特征,采用GeoDa1.20软件基于全局自相关系数Moran's I^[7,8]指数将完成计算的生态环境与地理环境、气候环境进行空间自相关分析。Moran's I指数公式为:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (\bar{x} - \bar{x})^2} \quad (2)$$

公式(2)中,n为要素个数, x_i 和 x_j 是第i和第j个要素的属性值, \bar{x} 是属性值的平均数, w_{ij} 是第i和第

j个要素之间的空间权重。空间自相关系数(莫兰指数)取值范围为[-1, 1],当取值大于0时,表示空间正相关;当取值小于0时,表示空间负相关;当取值接近于0时,表示空间随机分布,不呈现相关性。

3 结果与分析

3.1 黄河流域河南段生态环境变化分析

用ArcGIS10.8、Excel365软件平台对黄河流域河南段NDVI进行分级处理,分级标准如表1所示,生态环境变化如图2所示。无植被覆盖区主要集中在水域或者人类建设用地区域,且在30年间该部分生态环境极低植被覆盖、低植被覆盖面积较小;极低植被覆盖、低植被覆盖主要集中在三门峡市东部、济源市西部、洛阳市中西部,且极低植被覆盖在近30年有向好发展趋势,中等植被覆盖为黄河流域河南段占比最大,涵盖整个区域,且在30年间该部分生态环境有向高植被覆盖转变趋势;高植被覆盖、极高植被覆盖区在近30年由无到面积不断扩大,整体来看黄河流域河南段生态环境质量整体向好发展。

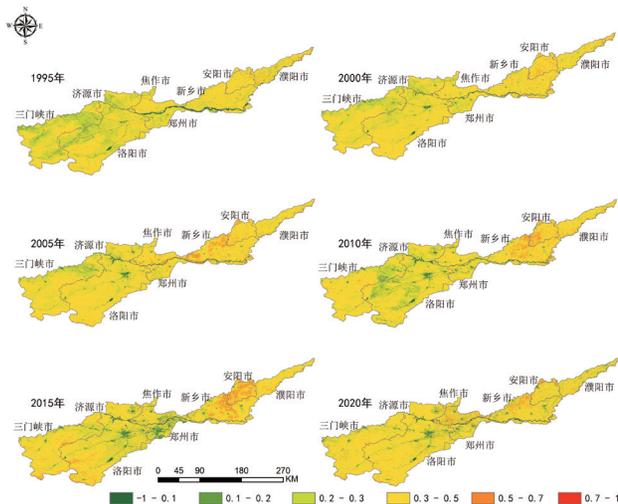


图2 黄河流域河南段生态环境变化

3.2 黄河流域河南段生态环境影响因子分析

3.2.1 人类活动对生态环境影响

用ArcGIS10.8软件对土地利用数据进行分类处理,土地分为耕地、林地、草地、水域、未利用地、建设用地,由图2、图3对比分析可知,近30年间黄河流域河南段林地、建设用地面积不断增加,草地、耕地、未利用地面积不断减少,林地面积占比最大,其次为耕地>建设用地>草地>水域>未利用地。在高程、气候不变的自然生长情况下,建设用地面积对应的NDVI值明显低于其他地类的值,随着建设用地面

积不断增大, 该区域对应的 NDVI 值也在不断变大。

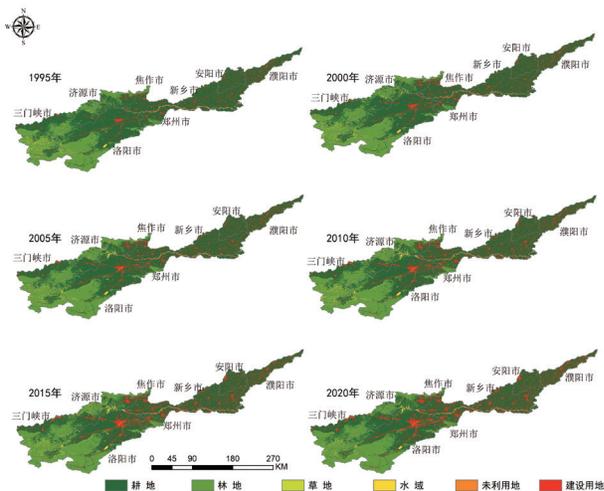


图3 黄河流域河南段土地分类变化

3.2.2 地理环境对生态环境影响

用 ArcGIS 10.8 软件处理地理环境数据, 由图 1、图 2 可知, 黄河流域河南段地势西南高、东北低。结合生态环境变化情况可知, 地势最高区域近 30 年生态环境由无植被覆盖或极低植被覆盖转变为中等植被覆盖, 地势较高区域近 30 年生态环境由极低植被覆盖或低植被覆盖转变为中等植被覆盖, 地势较低区域近 30 年生态环境由中等植被覆盖转变为高植被覆盖或极高植被覆盖, 由此可知地理环境对生态环境有积极影响。

3.2.3 气候环境对生态环境影响

基于 GeoDa1.20、Excel365 软件, 引入 Moran's I 指数研究温度、湿度对生态环境的影响, 结果如表 2 所示。研究发现温度与生态环境相关性 1995 年为 -0.124, 2000 年为 -0.108, 2005 年为 -0.105, 2010 年为 -0.204, 2015 年为 -0.208, 2020 年为 -0.102, 温度与生态环境在近 30 年间呈负相关; 湿度与生态环境相关性 1995 年为 0.12, 2000 年为 0.011, 2005 年为 0.214, 2010 年为 0.103, 2015 年为 0.003, 2020 年为 0.028, 湿度与生态环境在近 30 年间呈正相关。由此可知, 气候(温度、湿度)对植被生长具有不同影响, 可增加湿度以促进植被生长。

表2 生态环境与温度、湿度相关性

指标	Moran's I 指数					
	1995a	2000a	2005a	2010a	2015a	2020a
温度	-0.124	-0.108	-0.105	-0.204	-0.208	-0.102
湿度	0.12	0.011	0.214	0.103	0.003	0.028

3.3 结果分析

随着当地政策的落实和人类对生态环境的重视, 近 30 年间生态环境从极低植被、低植被覆盖持续向中

等植被覆盖转变, 高植被、极高植被覆盖面积不断变大, 且主要分布在黄河流域河南段下游。结合土地利用、高程、温度、湿度数据分析, 高植被、极高植被覆盖面积不断变大, 主要分布在低海拔平原、耕地且湿度较大、温度较小区域, 但随着时间的推移, 部分高海拔林地尽管温度低、湿度小, 也出现生态环境质量好的区域; 极低植被、低植被覆盖在黄河流域河南段分布最广, 人类活动区域尽管地势和温度较低、湿度较高, 但植被覆盖仍较低。由此可知, 影响植被生长的驱动因子由大到小为: 人类活动>温度、湿度、高程, 但温度、湿度、高程影响的重要程度不能确定。

4 结语

通过 ArcGIS 10.8、GeoDa1.20、Excel 365 软件研究了 1995~2020 年 NDVI 变化趋势及人类活动、地理环境、气候环境等驱动因子分析。结果表明: (1) 黄河流域河南段生态环境质量整体向好发展; (2) 生态环境驱动因子影响大小为人类活动>温度、湿度、高程, 但温度、湿度、高程影响的重要程度不能确定; (3) 温度、高程与生态环境在近 30 年间呈负相关, 湿度与生态环境在近 30 年间呈正相关。研究没有对生态环境变化及人类活动、地理环境、气候环境驱动进行定量分析, 也未对温度、湿度、高程影响的重要程度进行分析, 下一步将对上述两个方面进行研究。

参考文献

- [1] 张竞予.河北平原区地下水与植被指数 (NDVI) 的时空变异性研究[J].水利技术监督,2025(3):42-44.
- [2] 宋小龙,李陇堂,任婕,等.西北干旱生态地理区NDVI时空变化特征及其驱动力[J].干旱区地理,2025,48(6):951-962.
- [3] 黎雨萍,吴田军,张深林.巴彦淖尔黄河流域NDVI时空变化及其驱动因素分析——以2000~2020年为例[J].农业与技术,2025,45(4):96-102.
- [4] 赵大鹏,王方雄.甘肃省植被NDVI时空演变及其气候驱动力分析[J].绿色科技,2024,26(24):39-45.
- [5] 张琳,朱大明,韩杨,等.基于NDVI和SIF的云南植被变化及预测研究[J].环境监测管理与技术,2025,37(1):28-35.
- [6] 崔云鹏,邢丽珠.基于MODIS的枣庄市NDVI时空变化特征及驱动因子分析[J].安徽农业科学,2025,53(3):187-192,201.
- [7] 贾艳艳,唐晓岚,任宇杰.长江流域安徽段生态系统服务价值与景观生态风险时空演变及其关联分析[J].南京林业大学学报(自然科学版),2022,46(3):31-40.
- [8] 朱润苗,陈松林.1980—2020年福建省景观生态风险与生态系统服务价值的空间关系[J].应用生态学报,2022,33(6):1599-1607.

基于遥感影像的地表高程变化区域识别研究

黄煜昊

(广州市自然资源测绘有限公司, 广东 广州 510000)

摘要: 研究以高分七号卫星遥感影像为基础, 获取数字地表模型 (DSM), 采用差值法、比值法等基于像素的变化检测方法对不同时相的 DSM 数据进行分析, 提取高程变化信息, 然后通过设置面积阈值、图形复杂度等方法降低噪声影响, 保障结果的准确性, 并利用历史测绘数据对提取结果进行检验分析。结果表明: 差值法高程变化信息提取效果更好, 平原和丘陵区域提取准确率均在 80% 以上, 作业效率高, 能快速准确提取大面积范围内高程变化信息, 为实景三维动态更新提供可靠的数据支撑。

关键词: 高分卫星; DSM; 高程变化信息; 差值法; 比值法

1 引言

随着城镇化建设及数字城市的快速发展, 城乡实景三维模型建设需求逐渐增大。实景三维作为一种直观、立体且具备时间属性的数字化空间数据信息产品, 能够全方位直观反映人类生产、生活以及生态环境的空间特征及纹理信息, 是现代化基础地理信息数据底座建设的重要数据资源^[1]。现阶段, 在实景三维模型构建生产过程中, 普遍存在实景三维模型现势性维护更新问题, 为提高实景三维数据底座现势性, 需对变化区域的地物要素进行快速采集, 及时更新三维模型数据, 保障实景三维产品的准确性及可靠性。

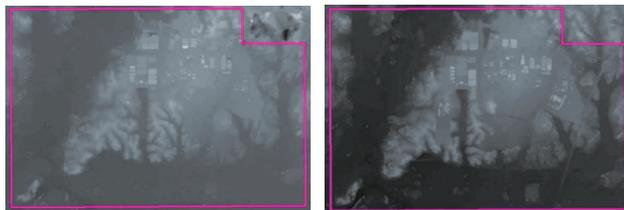
现代化测绘技术为地物要素数据采集和三维模型动态更新提供了便捷高效的方法, 多种技术均可实现地物要素平面坐标数据的精确采集^[2], 但采集精度不太理想。随着卫星遥感技术的发展, 影像分辨率及定位精度越来越高^[3]。高分七号卫星数据成果具有较高的时间及空间分辨率, 空间定位精度较高^[4]。研究表明, 以高分七号卫星遥感影像为基础, 获取数字地表模型 (Digital Surface Model, DSM) 数据成果, 高程中误差相对较小, 满足实景三维相关规范中二级精度指标要求, 更能直观反映地貌特征。以基于高分七号卫星影像生产的 DSM 数据为基础进行研究, 通过对不同时相的 DSM 数据进行分析处理, 提取区域高程变化信息, 为实景三维高程数据动态更新提供数据支撑。

2 高程变化区域识别研究

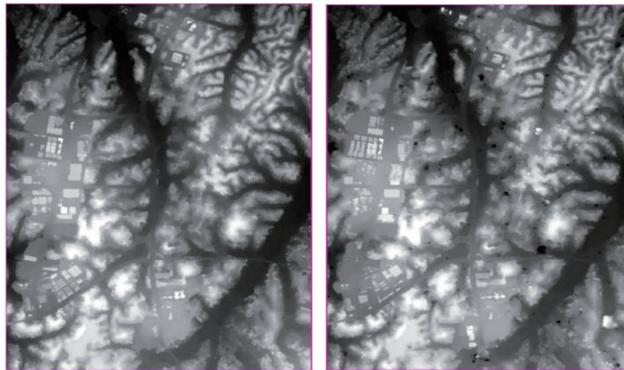
2.1 数据源

为分析高分七号卫星遥感影像提取高程变化数据

成果的可靠性, 分别选择平原和丘陵区域不同时相遥感影像作为数据源, 保障数据样本的多样性; 同时尽量选择无云雾遮挡、地物特征丰富的影像数据。研究以某地区 2022 年 3 月和 2022 年 11 月的高分七号卫星遥感影像为数据源, 采用 PhotoMatrix 软件对影像数据进行点云提取、滤波等数据处理, 自动生成研究区网格间距为 2.0m 的高精度 DSM 数据, 如图 1 所示。



(a) 平原2022年3月DSM数据 (b) 平原2022年11月DSM数据



(c) 丘陵2022年3月DSM数据 (d) 丘陵2022年11月DSM数据

图1 研究区不同时相DSM数据

2.2 高程变化区域初步提取

采用基于像素的变化检测方法分析处理不同时相的 DSM 数据, 初步提取高程变化信息数据。常用的检测方法有差值法和比值法^[5]。差值法是将经过配准处理的不同时相 DSM 数据进行叠加, 对相同位置的像素

作者简介: 黄煜昊 (1995—), 男, 汉族, 本科, 工程师, 主要研究方向为测量数据分析与处理。

进行差值运算，获取存在一定高程差异信息的全新影像数据；然后利用预先设定的阈值对高程变化区域进行分类^[6]，超出阈值区域表示发生了显著高程变化，未超出阈值则表示高程变化相对较小，视为未发生高程变化。利用差值法对 DSM 影像数据进行高差变化信息提取，首先对 DSM 数据进行转换，分解为多个单分量，然后对像素进行逐个差值运算^[7]，如公式（1）所示。

$$Dx_{ij}^k = x_{ij}^k(t_2) - x_{ij}^k(t_1) \quad (1)$$

公式（1）中， Dx_{ij}^k 表示 DSM 影像像素差值运算结果， $x_{ij}^k(t_1)$ 表示 t_1 时刻获取的 DSM 数据中单分量， $x_{ij}^k(t_2)$ 表示 t_2 时刻获取的 DSM 数据中单分量， i, j 表示像素坐标， k 表示波段。

比值法与差值法作业原理相似，同样是对 DSM 数据进行叠加分析，对相同位置的像素进行比值运算处理，当计算结果与 1 较为接近时，表明该区域高程变化相对较小；当计算结果与 1 相差较大时，则表明该区域高程变化相对较大，计算过程如公式（2）所示。

$$Gx_{ij}^k = \frac{x_{ij}^k(t_2) + 1}{x_{ij}^k(t_1) + 1} \quad (2)$$

在 DSM 数据配准过程中，由于需要对影像数据进行平移、旋转等处理，边缘区域像素容易产生过大或过小现象^[8]。为保障高程变化信息提取结果的准确性，在运用比值法提取高程变化信息过程中，往往需要对公式（2）进行变换，变换结果如公式（3）所示。

$$Gx_{ij}^k = \frac{x_{ij}^k(t_2)}{x_{ij}^k(t_1)} \quad (3)$$

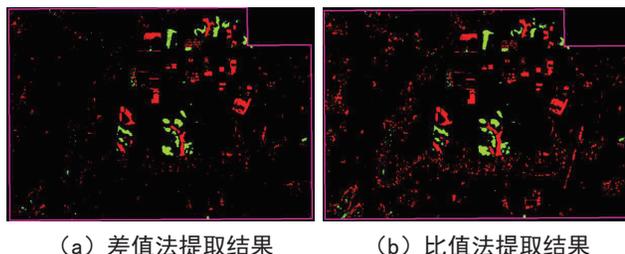
同样可通过设定阈值对高程变化程度进行分类提取，利用窗口法对某区域像素平均值进行分析计算，对比分析高程变化，如公式（4）所示。

$$Gx_{ij}^k \leq T_l \text{ 或 } Gx_{ij}^k \geq T_h \quad (4)$$

公式（4）中， Gx_{ij}^k 表示 DSM 影像像素比值运算结果， T_l 、 T_h 分别表示设定的低、高阈值。

研究分别采用差值法和比值法对平原 DSM 数据进行高程变化信息提取，结果如图 2 所示，其中红色部分表示该时间周期内高程升高区域，绿色部分表示该时间周期内高程降低区域。

分析图 2 可知，利用差值法和比值法均可对不同时相 DSM 数据进行高程变化信息提取，获取研究区存在高程变化的位置区域，但两种方法的提取结果均存在较多噪声影响，尤其是比值法提取结果，噪声影响更大。因此需要剔除高程变化信息初步结果中的噪声，为高程变化特征分析提供准确数据。



(a) 差值法提取结果 (b) 比值法提取结果
图2 不同检测方法高程变化信息初步提取结果

2.3 识别结果噪声处理

由于研究区高程变化信息初步提取结果存在较多噪声影响，通过将提取结果与高分二号卫星遥感影像数据进行对比分析，发现高程变化信息提取结果中的噪点多为小面积图斑，此类区域实际地形高程变化相对较小，对于区域高程信息统计而言可忽略不计。为提高研究区高程变化信息提取结果的可靠性，通过设置面积阈值对小面积图斑进行过滤，结果如图 3 所示。

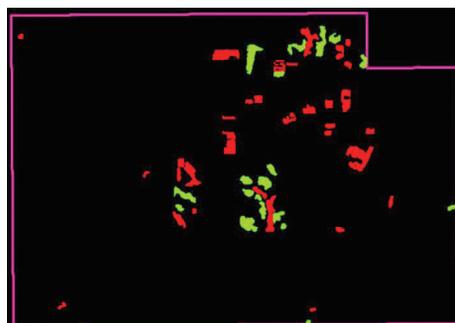
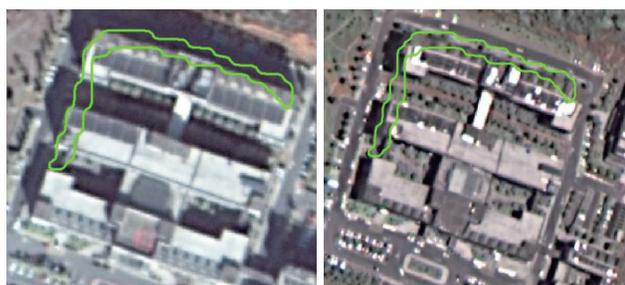


图3 剔除小面积图斑后的高程变化信息

由图 3 可知，剔除小面积图斑后的研究区高程变化信息噪声影响显著降低，但某些狭长图斑依旧存在连续噪声影响区域，该类图斑多为建筑物边缘区域，如图 4 所示。由于较多建筑物存在边缘区域修缮，同时一些建设中的建筑物逐渐完工等，导致建筑物边缘狭长区域存在一定高程变化，但不属于真实变化，因此将此类区域定义为伪变化区域进行剔除。

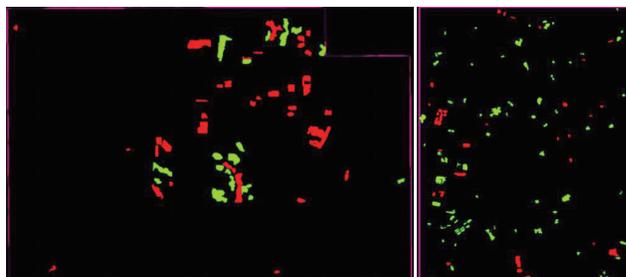


(a) 2022年影像数据 (b) 2023年影像数据
图4 建筑物边缘位置狭长伪变化图斑

由于建筑物边缘高程信息伪变化区域图形较为复杂，具有面积小但周长大的几何特征^[9]，因此研究通过图形复杂度对其进行识别剔除，如公式（5）所示。

$$a = \frac{C^2}{S} \quad (5)$$

公式(5)中, a 为识别图斑的图形复杂度, S 为识别图斑的图形面积, C 为识别图斑的周长。在图形复杂度计算中, a 计算结果越大, 表示该突变图形复杂程度越高, 为伪变化区域的可能性越大, 故需要剔除, 获取高程信息真实变化区域图斑结果, 如图5所示。



(a) 平原区域 (b) 丘陵区域
图5 剔除伪变化区域后的高程变化图斑

3 识别结果分析

研究在平原区域共提取出 58 个高程显著变化区域, 其中有 38 处区域高程有所升高, 20 处区域高程有所降低; 在丘陵区域共提取出 114 个高程显著变化区域, 其中有 32 处区域高程有所升高, 82 处区域高程有所降低。但由于研究区丘陵区域水域分布较为密集, 对应的 DSM 数据精度相对较差, 导致高程变化信息提取结果存在水域影响, 共有 41 处提取图斑为水域, 采用人工识别方法将其剔除, 不参与提取结果的精度评定分析。采用公式(6)对研究区高程变化信息提取结果的正确率进行分析评定。

$$P = \frac{T}{T+F} \times 100\% \quad (6)$$

公式(6)中, P 表示提取结果正确率, T 表示研究区被正确识别提取的图斑数量, F 表示研究区被错误识别提取的图斑数量。

以研究区历史测绘数据为基础, 对检测提取的高程变化信息图斑的准确性进行分析判断, 统计图斑高程变化正确与错误数量, 如表1所示。

表1 研究区高程变化区域提取统计

高程变化 区域类别	平原区域		丘陵区域	
	高程升高	高程降低	高程升高	高程降低
检测提取图斑总数	38	20	21	52
正确提取数量	36	19	20	43
错误提取数量	2	1	1	9
提取正确率	94.7%	95.0%	95.2%	82.7%

由表1可知, 研究提取的高程变化信息正确率较高, 平原区域高程升高和高程降低以及丘陵地区高程

升高图斑提取准确率均在 90% 以上, 丘陵地区高程降低图斑提取准确率为 82.7%, 略有降低, 但整体提取正确率较高, 能为研究区实景三维模型高程信息现势性维护提供可靠数据。通过对错误提取的高程变化图斑分析可知, 错误图斑普遍为纹理较为单一的地物类型, 如彩钢屋顶、大棚等, 此类地物在阳光下纹理特征相对较差, 降低了 DSM 数据成果生产精度, 影响高程变化信息提取准确度。但整体提取准确率相对较高, 能在短时间完成大区域范围内高程变化信息提取, 相较于传统人工目视判别方法, 作业效率大大提升。

4 结语

研究以高分七号卫星遥感影像为基础, 进行 DSM 数据成果生产作业, 采用差值法、比值法对不同时期 DSM 数据进行分析处理, 初步提取高程变化信息, 并通过设置面积阈值、图形复杂度等方法剔除噪声影响, 然后以研究区历史测绘数据为基础对高程变化信息提取结果进行检验, 获得较好结果。但提取结果仍存在少量错误图斑, 普遍为纹理特征较为单一的地物类型, 后续可通过改进 DMS 数据成果生产方法, 提高 DSM 数据精度, 为高程变化信息提取作业提供准确的基础数据。

参考文献

- [1] 孙畅, 初启凤, 武建秀. 高分七号卫星 1:100000 立体测图精度验证——以东北地区为例[J]. 测绘与空间地理信息, 2022, 45(S1): 124-126, 129, 132.
- [2] 张欢, 李弘毅, 李浩杰, 等. 基于机载 LiDAR 的高寒山区遥感高程数据精度评估[J]. 遥感技术与应用, 2021, 36(6): 1311-1320.
- [3] 赵宗泽, 方明源, 高钊, 等. 融合高程信息的低空遥感影像 SLIC 分割和区域合并方法[J]. 测绘通报, 2023(4): 35-40.
- [4] 张煜星, 王雪军, 刘明博. 基于无人机遥感影像的 DSM 及遥感数据林分平均高提取[J]. 林业资源管理, 2017(2): 23-27, 52.
- [5] 张力, 孙钰珊, 杜全叶, 等. 多源光学卫星影像匹配及精准几何信息提取[J]. 测绘科学, 2019, 44(6): 96-104, 132.
- [6] 高开强, 徐泮林, 赵晓旭. 监督分类在矿区土地复垦后生态评估的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2020, 43(6): 219-221, 224.
- [7] 张松浩, 吴长悦. 数字表面模型高程点的 ArcGIS 提取方法[J]. 现代矿业, 2019, 35(1): 143-146.
- [8] 韩富圆, 孙瑞祺, 刘跃. 基于高分七号卫星影像数据源生产数字高程模型技术路线探究[J]. 测绘与空间地理信息, 2023, 46(S1): 153-155.
- [9] 王子明. 基于局部高程差异的建筑物提取算法[J]. 地理空间信息, 2019, 17(5): 73-74, 80.

BDS-3单频短基线随机模型适用性分析

潘金宝 李军涛 刘拓

(中铁城市规划设计研究院有限公司, 安徽 芜湖 241000)

摘要: 针对随机模型在北斗卫星导航系统三号 (BDS-3) 短基线相对定位中的适用性问题, 采用一组短基线多天实测数据, 确保对不同随机模型的评估具有足够的广度和代表性。研究介绍了定位模型, 分析了包括高度角、信噪比、等权在内的三种随机模型对 BDS-3 单频短基线相对定位的影响。结果表明, BDS-3 短基线相对定位性能优异, 不仅 B1C、B1I 和 B3I 信号的定位精度能够达到毫米级别, 而且模糊度固定率甚至可达 100%。采用高度角作为随机模型时, 定位结果最为理想; 而基于信噪比的随机模型次之, 等权随机模型最低。这意味着在实际应用中, BDS-3 可提供极高的精确度, 对于需要高精度定位的场合, 尤其在工程测量和科学研究中, 具备重要价值和潜力。

关键词: BDS-3; 单频; 短基线; 随机模型

1 引言

北斗三号 (BDS-3) 相比北斗二号 (BDS-2) 实现了显著的技术升级, 增强了稳定性和可靠性, 扩展了适用场景^[1]。通过增加 B1C 和 B2a 两个新频率, BDS-3 系统的服务频段扩展至四个频率, 提高了导航信号的抗干扰能力与精度, 增强了与其他全球导航卫星系统 (如 GPS、GLONASS 和伽利略系统) 的兼容性与互操作性^[2]。多频信号的支持使得短基线相对定位技术在复杂环境的应用更加灵活, 尤其在城市峡谷和高山区等地形复杂地区, 有效克服传统定位技术的多路径效应和信号遮挡问题^[3], 通过优化和选择如高度角或信噪比随机模型, 将定位精度从厘米级提升到毫米级, 可广泛用于精细农业、自动驾驶、地质监测等领域^[4]。此外, BDS-3 在时间同步和授时精度方面的提升, 为国防建设和重大工程等提供了坚实的技术保障。

目前, 专家学者在 BDS-3 定位研究领域取得显著进展。王宴会等^[5]通过对比分析随机模型, 探讨对 BDS-3 伪距和精密单点定位性能的影响, 发现高度角+信噪比随机模型性能最优, 而高度角和信噪比各有优劣。孙国辉等^[6]分析了随机模型对 BDS/GPS 伪距单点定位的影响, 发现高度角解算的 BDS/GPS 伪距单点定位精度最优, 信噪比次之, 等权最低。祖国^[7]分析了随机模型对 B1C、B2a 短基线定位的影响, 发现高度角解算的 B1C、B2a、B1C/B2a 短基线定位精度最优, 信噪比次之, 等权最低。蒋欠欠^[8]等分析了三种随机模型对 BDS、GPS 及组合系统伪距单点定位的影响, 发现 Helmert 方差分量随机模型解算定位精度最优, 高度角次之,

等权最低。基于当前针对随机模型对 BDS-3 定位性能影响的研究进展, 结合一组短基线实测数据, 对高度角、信噪比及等权三种随机模型在 BDS-3 单频短基线相对定位中的性能影响进行了对比分析。

2 基本观测方程

在短基线相对定位中, 双差模型是常用的定位模型, 能有效消除或削弱一些定位误差, 提升短基线相对定位精度, 其公式表示如下^[9]:

$$\begin{cases} \Delta\nabla P_{rs}^{pq} = \Delta\nabla \rho_{rs}^{pq} - \Delta\nabla T_{rs}^{pq} - \Delta\nabla I_{rs}^{pq} + \Delta\nabla \epsilon_{rs}^{pq} \\ \Delta\nabla \Phi_{rs}^{pq} = \Delta\nabla \rho_{rs}^{pq} - \Delta\nabla T_{rs}^{pq} - \Delta\nabla I_{rs}^{pq} - \lambda \Delta\nabla N_{rs}^{pq} + \Delta\nabla \zeta_{rs}^{pq} \end{cases}$$

公式中, r, s 表示地面接收机编号, p, q 表示卫星编号; $\Delta\nabla$ 表示双差算子, P 为双差伪距观测值, Φ 为双差载波相位观测值, ρ 为卫星至接收机的双差几何距离, T 为双差对流层延迟误差, I 为双差电离层延迟误差, λ 为频率波长, N 为双差整周模糊度, ϵ 为双差伪距观测值未模型化误差和观测噪声, ζ 为双差载波相位观测值未模型化误差和观测噪声。

3 试验分析

3.1 试验处理策略

为对比分析随机模型对 BDS-3 单频短基线相对定位影响, 选取由国内 MGEX 跟踪站组成的一组短基线数据, 两个站点分别为 WUH2 和 JFNG, 基线长度约 13 千米, 观测时间覆盖 2022 年第 211 天至第 215 天, 数据采样间隔 30 秒。解算基于通过 RTKLIB 编译实现的软件, 采用的随机模型包括高度角、信噪比及等权, 参与解

作者简介: 潘金宝 (1986—), 男, 汉族, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向为城市日照分析工程测绘。

算的 BDS-3 频率覆盖 B1C、B1I、B2a 和 B3I。

3.2 单天定位性能分析

将解算的单历元结果与 IGS 周解算坐标作差，得到采用不同随机模型解算的 BDS-3 单频相对定位单天精度 (RMS)，如图 1~图 4 所示。在 B1C、B1I 和 B3I 单频短基线相对定位中，采用三种随机模型解算的定位精度均在厘米级，且等权解算定位精度相比高度角和信噪比较低。在 B1C 频率定位中，E、N 和 U 方向精度分别优于 3cm、4cm 和 5cm。在 B1I 频率定位中，E 方向精度整体优于 4cm，N 和 U 方向定位精度分别优于 5cm 和 7cm。B3I 频率短基线相对定位 E、N 和 U 方向整体定位精度分别优于 2cm、2cm 和 3cm。与其他三个频率相比，B2a 频率短基线相对定位精度较差，N 方向整体定位精度优于 10cm，E 和 U 方向部分天数定位精度在分米级。

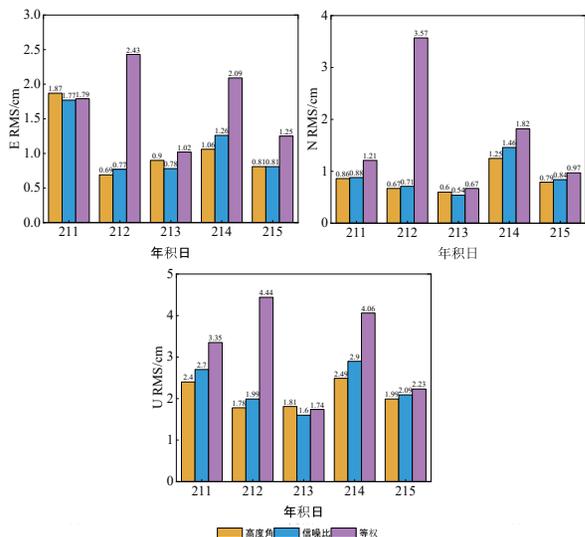


图1 不同随机模型解算的BDS-3 B1C频率短基线单天精度

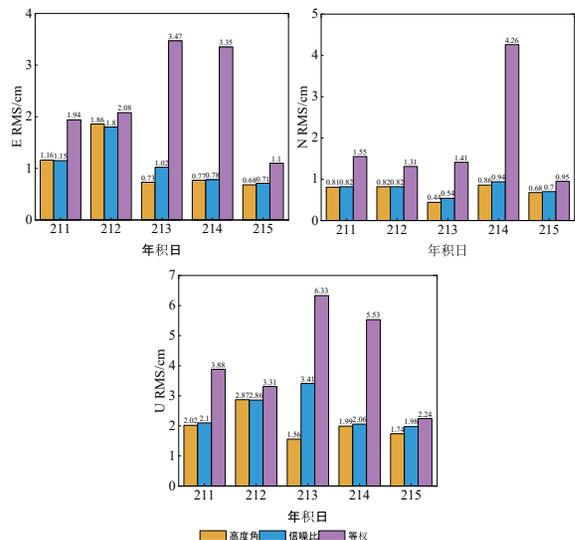


图2 不同随机模型解算的BDS-3 B1I频率短基线单天精度

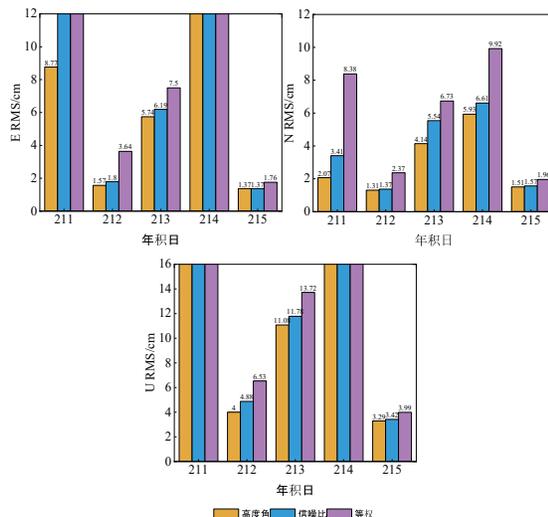


图3 不同随机模型解算的BDS-3 B2a频率短基线单天精度

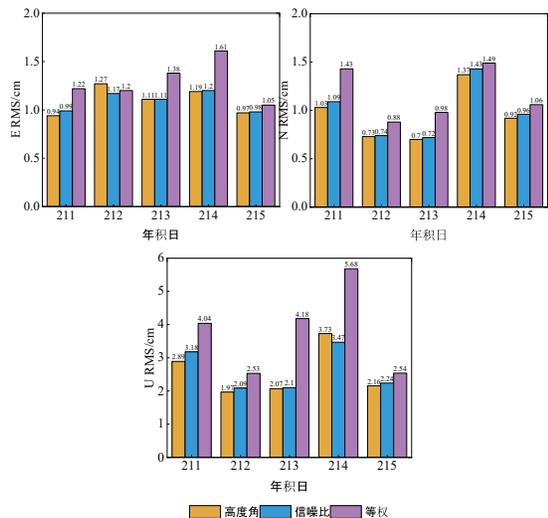


图4 不同随机模型解算的BDS-3 B3I频率短基线单天精度

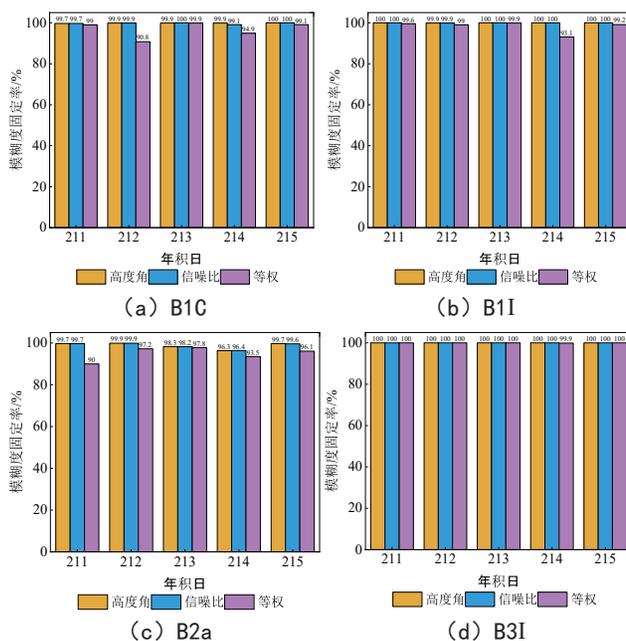


图5 不同随机模型解算的BDS-3单频短基线单天模糊度固定率

采用不同随机模型解算得到的BDS-3单频短基线相对定位整周模糊度固定率如图5所示。采用高度角和信噪比解算得到的B1C、B1I和B3I单频短基线相对定位整周模糊度固定率接近100%，采用等权解算得到的整周模糊度固定率除个别天数较低外，其余均高于99%。采用高度角和信噪比解算得到的B2a单频短基线相对定位整周模糊度固定率整体高于99%，采用等权解算得到的整周模糊度固定率整体高于90%。

3.3 多天平均定位性能分析

为直观对比不同随机模型对BDS-3单频短基线相对定位性能的影响，统计了BDS-3单频短基线相对定位多天平均精度和整周模糊度固定率，在统计B2a精度和整周模糊度固定率时，去除定位性能过差天数的结果，具体如表1所示。

从表1可以看出，在B1C频点的短基线相对定位试验中，使用高度角和信噪比进行解算时，E方向的定位精度优于1.5cm，N方向优于1cm，U方向优于2.5cm，整周模糊度固定率高于99.5%。而在使用等权解算时，E、N方向的定位精度均优于2cm，U方向的定位精度优于3.5cm，整周模糊度固定率超96.5%。

表1 不同随机模型解算得到的BDS-3单频短基线相对定位多天平均定位性能

频率	随机模型	定位精度/cm			整周模糊度固定率/%
		E	N	U	
B1C	高度角	1.07	0.83	2.09	99.88
	信噪比	1.08	0.89	2.26	99.74
	等权	1.72	1.65	3.16	96.74
B1I	高度角	1.04	0.72	2.04	99.98
	信噪比	1.09	0.76	2.48	99.98
	等权	2.39	1.90	4.26	98.16
B2a	高度角	2.89	2.32	6.12	99.30
	信噪比	3.12	2.83	6.69	99.23
	等权	4.30	3.69	8.08	97.03
B3I	高度角	1.10	0.95	2.56	100.00
	信噪比	1.09	0.99	2.62	100.00
	等权	1.29	1.17	3.79	99.98

对于B1I频点短基线相对定位，采用高度角和信噪比解算后，E方向定位精度优于1.5cm，N方向优于1cm，U方向优于2.5cm，整周模糊度固定率超99.9%；而采用等权解算时，E方向定位精度优于2.5cm，N方向优于2cm，U方向优于4.5cm，整周模糊度固定率超过98%。

在B2a短基线相对定位中，采用高度角解算的E方向和N方向定位精度优于3cm，U方向定位精度优于6.5cm，整周模糊度固定率高于99%；采用信噪比解算时，

E方向定位精度优于3.5cm，N方向优于3cm，U方向优于7cm，整周模糊度固定率超99.9%。在使用等权解算时，E方向定位精度优于4.5cm，N方向优于4cm，U方向优于8.5cm，整周模糊度固定率超过97%。

在B3I频率短基线相对定位中，采用高度角与信噪比进行解算，E方向定位精度优于1.5cm，N方向优于1cm，U方向优于3cm，且整周模糊度固定率达到100%。而采用等权进行解算时，E、N方向的定位精度均优于1.5cm，U方向定位精度优于4cm，整周模糊度固定率超过99.9%。

4 结论

通过多天短基线实测数据，研究设计了三种试验方案，对比了三种随机模型对BDS-3单频短基线相对定位性能的影响，结论如下：

(1) B1C、B1I和B3I单频短基线相对定位精度较优，E方向定位精度最优可达1cm左右，N方向定位精度最高优于1cm，U方向定位精度最高2cm，整周模糊度固定率最高100%。

(2) B2a短基线相对定位精度略差，但最高仍能达到3cm以内，模糊度固定率最高超过99%。

(3) 采用高度角随机模型解算得到的BDS-3单频短基线相对定位精度最优，信噪比次之，等权最低。

参考文献

- [1] 刘明亮,安家春,王泽民,等.BDS-3多频伪距定位性能分析[J].武汉大学学报(信息科学版),2023,48(6):902-910.
- [2] 胡主宽,范斌斌,周颖熙,等. BDS-3/BDS-2/GPS短基线RTK性能对比分析[J].测绘地理信息,2023,48(3):14-19.
- [3] 魏书恩,邓健,王华银,等.基于实测数据信噪比随机模型的智能手机相对定位性能分析[J].测绘工程,2024,33(6):49-55,61.
- [4] 赵岩,李丰翔.BDS-3卫星在超高层变形监测中的应用分析[J].测绘与空间地理信息,2023,46(12):151-153.
- [5] 王宴会,田茂强,赵永辉.随机模型对BDS-3新频率单点定位影响分析[J].测绘与空间地理信息,2023,46(12):59-62.
- [6] 孙国辉,罗军,吴彬彬.随机模型对BDS/GPS伪距单点定位精度影响分析[J].测绘与空间地理信息,2023,46(9):100-102.
- [7] 祖国.适用于B1C和B2a短基线随机模型对比研究[J].测绘与空间地理信息,2023,46(S1):176-178,185.
- [8] 蒋欠欠,郭英,于杰.BDS/GPS组合系统在不同随机模型下的精度分析[J].海洋测绘,2019,39(1):70-74.
- [9] 贾亚军,都林婷,邹长明,等.BDS-3单频短基线相对定位性能初步评估[J].地理空间信息,2023,21(2):46-49.

基于Python的测绘数据处理辅助系统设计及实现

朱昆

(浙江南联土木工程科技有限公司, 浙江 杭州 300014)

摘要: 随着测绘技术的不断发展, 测绘数据处理的工作量和难度日益增加。为提高测绘数据处理效率和精度, 设计了基于Python的测绘数据处理辅助系统, 该系统使用Python语言开发, 实现测绘数据输入、预处理、分析计算和成果输出等功能。通过实际数据测试, 结果表明, 该系统能有效提高测绘数据处理效率和精度, 具有一定的实用价值。

关键词: Python; 测绘数据处理; 辅助系统; 自动化

1 引言

近年来, 测绘数据处理的复杂性和数据量的快速增长对处理效率和精度提出了更高要求, 测绘数据的精确处理对于土地规划、城市建设、资源勘探等众多领域具有重要意义^[1]。然而, 传统的数据处理方法存在效率低下、易出错、难以应对大规模数据等问题, Python语言以简洁、灵活和强大的功能, 在数据处理领域展现出巨大优势^[2]。基于此, 研究设计并实现一个基于Python的测绘数据处理辅助系统, 充分利用Python丰富的库和工具, 实现对测绘数据的高效读取、清洗、分析和可视化管理。通过开发该系统, 期望能够提高测绘数据处理的自动化程度和准确性, 为测绘工作提供更加便捷和高效的数据处理工具, 进而推动测绘领域的技术进步和应用拓展。

2 Python语言及测绘数据格式概述

2.1 Python编程语言及数据处理库

Python是一种高级编程语言, 具有语法简洁、易读易懂的特点, 强调代码的可读性, 使用缩进表示代码块, 减少了编程中的语法错误。Python跨平台性强, 可在Windows、Linux、Mac等系统运行, 支持面向对象、函数式和过程式编程范式, 为开发者提供了多样的编程选择^[3]。在数据处理方面, Python拥有众多强大的库, 如NumPy库能高效处理大规模数值型数据, 通过多维数组操作和数学函数加速计算; Pandas库擅长数据的读取、清理、整合和分析, 提供了丰富的数据结构和函数; Matplotlib库是出色的数据可视化工具, 可将复杂数据转化为直观图表; SciPy库用于科学计算和优化, Scikit-learn库用于机器学习中的数据处理等^[4]。这些数据处理库功能各异、相互协作, 便于

解决测绘数据处理中的各种问题, 极大地提高了数据处理效率和灵活性, 降低了编程的复杂性。

2.2 测绘数据格式

测绘数据格式多样, 最常见的有CAD常用的DWG和DXF格式, 包含图形元素信息。文本格式如CSV格式以逗号分隔数据, 结构规整; TXT格式简单通用, 数据排列灵活; Shapefile格式常用于地理信息系统, 能存储地理要素的属性和空间数据; LAS格式专注于激光雷达数据, 精度较高。不同格式有独特的数据结构和编码方式, 适用于不同的测绘应用场景^[5]。

3 系统设计

3.1 需求分析

在功能需求方面, 基于Python的测绘数据处理辅助系统具备高效的数据读取能力, 能兼容常见的测绘数据格式, 如CSV、TXT等, 同时应支持对大量数据的快速处理, 包括数据清洗、筛选、排序等, 以去除噪声和无效数据。在精度需求方面, 系统在处理 and 计算测绘数据时, 必须保证结果的高精度, 满足测绘行业的严格标准, 确保数据处理的准确性和可靠性。在性能需求上, 系统要具备快速响应能力, 在短时间内完成复杂的数据处理任务, 减少用户等待时间, 提高工作效率。在用户界面需求方面, 设计简洁直观, 操作方便, 便于工作人员快速上手, 减少学习成本; 同时应提供清晰明确的操作提示和错误反馈信息。此外, 系统还需具备良好的可扩展性和兼容性, 以便后续轻松集成新的功能模块, 处理更多类型的测绘数据格式。

3.2 系统总体架构设计

系统采用分层架构设计, 主要有数据采集层、数据处理层、数据分析层和结果展示层。数据采集层负

作者简介: 朱昆(1992—), 男, 汉族, 本科, 工程师, 主要从事基坑监测、工程测量、界线与不动产测绘、地理信息数据处理等工作。

责从各种数据源获取测绘数据，包括传感器、文件导入和数据库读取等方式。数据处理层是系统的核心，运用 Python 强大的库和算法对数据进行清洗、筛选、转换和校准等，通过编写高效代码，实现对噪声数据的去除、缺失值的处理及数据格式的统一转换。数据分析层基于处理后的数据，运用统计分析、空间分析和机器学习等手段，挖掘数据中的潜在信息和规律，例如，通过聚类分析发现数据的分布特征，或利用回归分析建立数据间的关系模型。结果展示层以直观、清晰的方式将分析结果呈现给用户，可采用图表（如折线图、柱状图、热力图等）、地图和报表等形式，帮助用户快速理解和解读数据处理成果。各层之间相互协作，形成一个有机整体，共同实现测绘数据处理的高效性和准确性，系统总体架构如图 1 所示。

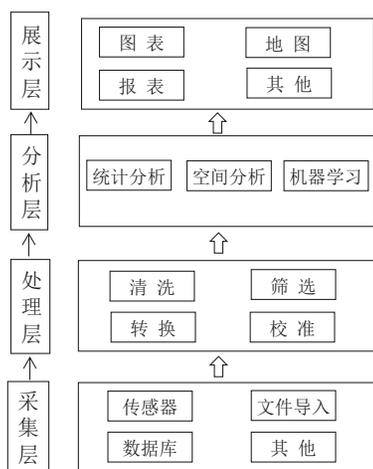


图1 系统总体架构

3.3 功能模块设计

(1) 数据输入模块

数据输入模块负责接收各种来源的测绘数据，支持多种数据格式，如 CSV、TXT、Shapefile 等，用户可以通过直观界面选择要导入的数据文件，或者通过连接数据库直接获取数据。同时，该模块具备数据格式自动检测和转换功能，能将不同格式的数据统一转换为系统内部的标准格式，确保后续处理顺利进行。

(2) 数据预处理模块

数据预处理模块主要对输入的数据进行清洗和优化，包括去除重复数据、处理缺失值、纠正异常值等操作，通过使用 Python 的数据处理库，如 Pandas，能高效完成这些任务。此外，该模块还能对数据进行坐标转换、投影变换等，适应不同的分析需求。同时，具备数据筛选和分类功能，用户可根据特定条件对数据进行筛选和分类，为后续的分析计算做好准备。

(3) 分析计算模块

分析计算模块是系统的核心功能之一，提供了丰富的测绘数据分析算法和工具，包括地形分析、距离测量、面积计算、体积计算等。利用 Python 的科学计算库，如 NumPy 和 SciPy，能快速准确执行计算，支持用户自定义分析算法和参数，满足个性化的分析需求。该模块还能对多组数据进行对比分析和相关性分析，帮助用户发现数据的隐藏关系和规律。

(4) 成果输出模块

成果输出模块负责将分析计算结果以清晰、直观的方式呈现给用户，支持多种输出格式，如 Excel 报表、PDF 文档、图片（PNG、JPEG 等）及地理信息系统（GIS）格式文件等，用户可按需选择合适的输出格式。该模块能生成详细的数据报告，包括数据概况、处理过程、分析结果和结论等，同时具备地图绘制功能，将分析结果在地图上进行可视化展示，使用户直观理解数据的空间分布特征，系统功能模块如图 2 所示。

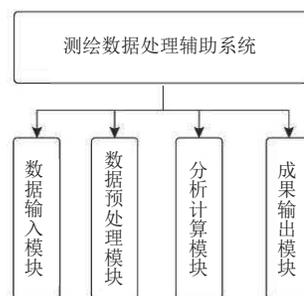


图2 系统功能模块

4 系统实现

4.1 开发环境搭建

系统开发选择 Python 3.x 编程语言，为方便管理依赖库，使用 pip 命令行工具进行库的安装和管理，选用的集成开发环境（IDE）PyCharm，提供了智能代码补全、调试工具和项目管理功能，大大提高了开发效率。通过安装用于数据处理的 NumPy、Pandas 和用于绘图的 Matplotlib，以及与测绘数据处理相关的特定库 GDAL 等，配置数据库连接环境，安装 MySQL 数据库，并通过相应的驱动程序与 Python 连接。

4.2 系统界面

系统界面是用户与系统交互的重要环节，直接影响用户的使用体验和工作效率。系统采用 Python 的 Tkinter 库进行界面设计，Tkinter 是 Python 自带的标准 GUI 库，具有简单、易用、跨平台等优点。系统界面主要包括菜单栏、工具栏、数据显示区、状态栏

等部分。菜单栏提供了文件操作、数据处理、数据分析、图形绘制等功能。工具栏提供了常用的操作按钮，如数据输入、数据预处理、分析计算、成果输出功能，如图3所示。数据显示区用于显示测绘数据的坐标、高程、距离、角度等信息。状态栏用于显示系统的当前状态信息，如操作提示、错误信息等。系统界面简洁、直观、易用，用户可通过菜单和工具栏快速完成各种操作，同时数据显示区和状态栏可实时反馈系统运行状态和操作结果，方便用户进行交互和控制。



图3 系统界面

4.3 关键代码实现

(1) 数据输入

在数据输入部分，系统可提供多样化且便捷的数据获取方式，对于常见测绘数据格式，如CSV、TXT文件用Pandas库读取，DWG文件通过提取图层名读取，SHP文件则借助Geopandas库读取，从而实现多格式数据的输入，读取文件的示例代码如下：

```
import pandas as pd
import geopandas as gpd
import ezdfx
def input_data(file_path):
    try:
        ext = file_path.split('.')[-1].lower()
        if ext == 'csv': return pd.read_csv(file_path)
        elif ext == 'txt': return pd.read_csv(file_path, sep=',')
        elif ext == 'dwg': return [layer.name for layer in ezdfx.readfile(file_path).layers]
        elif ext == 'shp': return gpd.read_file(file_path)
```

此外，系统还支持从数据库中获取数据，通过

Sqlalchemy库与数据库建立连接，并执行查询操作获取所需数据。

(2) 数据预处理

数据预处理是确保数据质量的关键，在这一环节，系统实现多种处理功能，首先是数据清洗，去除重复记录和无效数据，去除重复行的代码示例如下：

```
import pandas as pd
def remove_duplicates(data):
    data.drop_duplicates(inplace=True)
    return data
```

处理缺失值也是重要一环，系统提供了多种填充策略，如使用均值、中位数或特定值进行填充。

```
import pandas as pd
def fill_missing_values(data, column, strategy='mean'):
    if strategy == 'mean':
        mean_value = data[column].mean()
        data[column].fillna(mean_value, inplace=True)
    elif strategy == 'median':
        median_value = data[column].median()
        data[column].fillna(median_value, inplace=True)
    # 其他策略...
```

return data

此外，系统还包括数据标准化和归一化处理，使不同量级和量纲的数据具有可比性。

(3) 分析计算

在分析计算方面，系统实现一系列针对测绘数据的特定算法和分析功能，例如，计算两点之间的距离：

```
import math
def calculate_distance(point1, point2):
    x1, y1 = point1
    x2, y2 = point2
    return math.sqrt((x2-x1)**2+(y2-y1)**2)
```

对于地形数据，计算坡度和坡向：

```
def calculate_slope(elevation_data):
    # 具体的坡度计算算法
    pass
def calculate_aspect(elevation_data):
    # 具体的坡向计算算法
    pass
```

同时，系统还支持诸如面积计算、体积计算等常见的测绘分析操作。

(4) 成果输出

成果输出模块旨在将处理分析后的结果以清晰、直观的方式呈现给用户，系统可使用 Matplotlib 库绘制各种图表，如折线图、柱状图、散点图等，以可视化数据分布和趋势。

```
import matplotlib.pyplot as plt
def plot_data(data, plot_type='line'):
    if plot_type == 'line':
        plt.plot(data)
    elif plot_type == 'bar':
        plt.bar(data.index, data)
    # 其他类型的绘图...
    plt.xlabel('X 轴标签')
    plt.ylabel('Y 轴标签')
    plt.title('绘图标题')
    plt.show()
```

除了图形输出，还能将数据以 CSV、Excel 等格式导出，方便用户进一步使用和分享。

```
import pandas as pd
def export_data(data, file_path, file_type='csv'):
    if file_type == 'csv':
        data.to_csv(file_path, index=False)
    elif file_type == 'excel':
        data.to_excel(file_path, index=False)
    # 其他导出格式...
```

通过上述四方面功能的实现，成功构建了基于 Python 的测绘数据处理辅助系统，为测绘数据处理分析提供了高效、便捷工具。

5 系统测试与应用

5.1 测试数据

为全面测试系统性能，选取某工业园区基础测绘项目作为案例进行探究。该项目涵盖地形测绘、基础地理信息数据库建设等多方数据，数据格式丰富，包含大量 CSV 格式的水准测量数据、TXT 格式的控制点记录、DWG 格式的设计图纸和 SHP 格式的地理信息图层，数据量高达 12GB，覆盖区域约 30km²，具有显著的复杂性与多样性，能充分考验系统对不同类型、大规模测绘数据的处理能力，具体数据统计如表 1 所示。

表1 某工业园区基础测绘数据统计

数据类型	格式	数据量	覆盖区域
水准测量数据	CSV	约500MB	约20km ²
控制点记录	TXT	300MB左右	同水准测量数据覆盖区域
设计图纸	DWG	10个文件共10GB左右	重点建设区域约5km ²
地理信息图层	SHP	约800MB	整个工程规划区30km ²

5.2 测试结果

在对该工业园区基础测绘项目测试中，系统展现出卓越的性能，数据输入时，CSV、TXT 文件读取迅速，平均耗时 3~5 秒；DWG 和 SHP 文件在 2~3 分钟内完成加载；数据预处理模块有效去除了噪声和异常值，填补了缺失数据；分析计算模块的结果与已知的标准算法和工具相比，具有高度的准确性和一致性；在处理大规模数据时，系统性能较好，响应时间在可接受范围内，未出现明显的卡顿或崩溃现象。

5.3 实际应用

目前，该系统已在多个实际测绘项目中得到应用。在城市规划项目中，系统能精确分析地形起伏状况，为建筑布局提供依据；在道路建设项目中，系统能准确计算出土方量，优化工程设计；在水利工程项目中，系统可对河流流域的地形进行详细测绘和分析，为防洪和水资源管理提供支持。实际应用结果表明，系统显著提高了测绘数据处理效率和质量，为工程项目节省了时间和成本，得到用户的高度认可。

6 结语

研究实现基于 Python 的测绘数据处理辅助系统，该系统具有高效、准确、便捷等优点，能大大提高测绘数据处理效率和质量。未来将继续优化完善系统，更好地满足用户需求，同时积极探索 Python 在其他领域的应用，为推动测绘技术的发展做出更大贡献。

参考文献

- [1] 王友昆,余章蓉,时盛春.基于GDAL库和Teigha库的坐标转换系统设计与实现[J].测绘地理信息,2020,45(6):141-144.
- [2] 周渝森,胡川,范小猛,等.测绘数据处理辅助系统设计与Python实现[J].测绘与空间地理信息,2024,47(1):123-125.
- [3] 王蕾,郭琪.基于Python语言的微博网络数据可视化系统设计与应用[J].电脑编程技巧与维护,2023(11):101-104.
- [4] 李瑞洋,周全兴.基于Python+SQLite的文件整理软件设计与实现[J].现代信息技术,2024,8(1):28-31.
- [5] 朱建军,宋迎春,胡俊,等.测绘大数据时代数据处理理论面临的挑战与发展[J].武汉大学学报(信息科学版),2021,46(7):1025-1031.

基于多源遥感影像的城市建筑三维建模方法研究

梁菲 任彤欣

(山东省国土测绘院, 山东 济南 250102)

摘要: 针对地级市大尺度城市建筑三维建模工作量大、效率低、耗时久的问题, 利用多源遥感影像, 充分发挥光学遥感影像高分辨率特性和干涉合成孔径雷达的高程可测量优势, 开展城市建筑三维建模。以济南市为例, 分析了该方法的技术方案, 重点阐述核心技术, 并对建筑轮廓提取和高度反演精度进行了评价。实践表明, 基于多源遥感影像的城市建筑三维建模方法满足精度需求, 节省了大量人力和时间成本, 推动了城市建筑三维建模的自动化进程。

关键词: 数字城市; 光学遥感影像; 干涉合成孔径雷达; 建筑物三维建模

1 引言

2024年5月, 国家发展改革委、国家数据局、财政部和自然资源部联合印发《关于深化智慧城市发展推进城市全域数字化转型的指导意见》^[1], 2025年济南市政府工作报告专章部署“聚力深化数字赋能, 推动数字济南建设全面提升”工作。在此背景下, 研究城市建筑快速三维建模方法, 提供细节层次(Level of Detail, LOD) 1.2 甚至 1.3 级别的建筑白模, 具有重大现实意义。

从面向范围角度出发, 城市建筑物三维建模方法主要有传统人工方法、基于倾斜摄影测量的方法^[2]、基于三维激光雷达的方法^[3]和基于卫星遥感影像的方法^[4]。传统人工方法基于图纸和实测数据, 由专业人员使用 3D Max、Maya 等软件进行单体建筑物高精度建模; 基于倾斜摄影测量和三维激光雷达方法多以无人机为载体, 通过多视摄影/扫描、特征点匹配、三维重建和面片生成过程, 实现单体或较小范围建筑物建模^[5]; 基于卫星遥感影像的方法则使用单目影像^[6]、双线阵影像^[7], 或干涉合成孔径雷达(Interferometric Synthetic Aperture Radar, InSAR) 技术^[8], 对大范围建筑物进行三维建模。考虑到面向地级市的大尺度数字城市建筑建模需求, 多源遥感影像适用性更强, 能及时生成 LOD1.2 级别建筑物白模, 为城市规划与设计、城市管理、公共安全及智慧交通等提供有效支撑。

2 城市建筑三维建模方法

针对地级市场景的建筑三维建模任务, 使用多源异构卫星遥感影像获取建筑物位置和高度信息。光学

遥感影像可提供精确的位置信息, 并基于建筑物阴影反演高度信息, 但受季节、光照和建筑物周边地物影响较大; InSAR 影像则可以提供较好的高度反演结果。

2.1 基于光学遥感影像的建模

在建筑物定位方面, 以高分辨率遥感影像作为输入, 可使用成熟的深度学习算法实现建筑物轮廓提取, 如 Mask R-CNN、YOLO 系列网络, 得到建筑物轮廓锚框, 且此类方法对异形复杂建筑的处理也具有较好效果。在建筑物高度计算方面, 受成像时太阳高度角的影响, 光学遥感影像中建筑物存在不同长度的阴影, 构建遥感成像过程中太阳、建筑物、阴影和卫星的几何关系模型, 即可实现建筑物高度的估计。

2.2 基于 InSAR 技术的建模

InSAR 测量技术不受天气、光照等外部条件影响, 一般用于地表形变监测。我国发射了一系列 SAR 卫星, 如涪城一号、海丝一号等, 结合现有高分辨率 SAR 图像获取手段, 如 Sentinel-1、TerraSAR-X 等, 多基线 InSAR 技术得以应用。为获取城市建筑物的高度结果, 需解决相位解缠问题。在 SAR 影像中, 像素间的高程差异较大时, 相邻像素的相位差异大, 无法满足常规解缠方法对相位连续性的假设。使用短基线干涉数据可以缓解相位跳变问题, 但易导致高程模糊数增大, 引入有限差分连接构网的短基线解缠方法, 可实现对建筑物高度的较高精度估计。

3 数字城市应用案例

3.1 项目简介

山东省济南市高度重视数字城市建设, 将其作为推动经济社会高质量发展的关键举措。随着数字城市

作者简介: 梁菲 (1986—), 女, 汉族, 硕士研究生, 副高级工程师, 研究方向为摄影测量与遥感。

通信作者: 任彤欣 (1997—), 女, 汉族, 硕士研究生, 工程师, 主要从事地理信息数据处理工作。

建设进程的不断推进，及时获取大尺度范围下的建筑物三维模型，可保障数据及时更新。作为省会级地级市，济南市建成区面积达 865.6km²，使用光学遥感影像和 InSAR 测量技术相结合，快速获取城区建筑三维模型，为后续应用提供坚实的数字底座。

3.2 技术路线

基于多源遥感影像的城市建筑三维建模技术路线包括数据输入、建筑物定位、建筑物高度反演和成果融合与输出四个步骤，第二、第三步为主要技术难点，具体流程如图 1 所示。

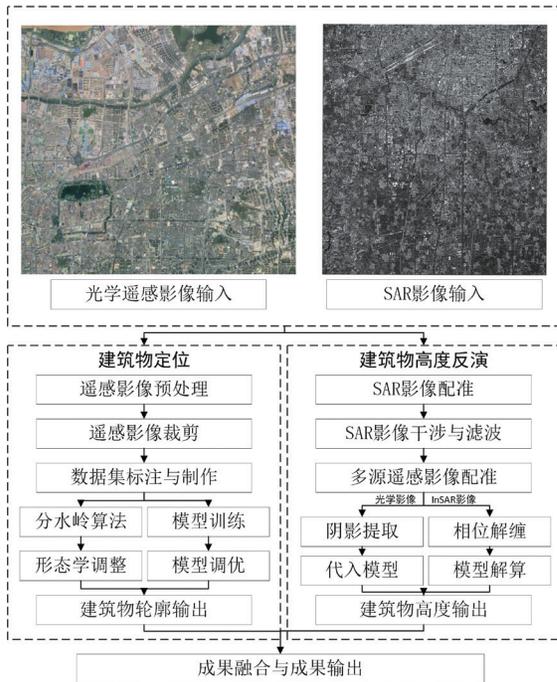


图1 技术路线

3.3 数据处理

3.3.1 基于光学遥感影像的建筑物定位

使用国产高分 7 号 (GF-7) 影像进行建筑物定位，通过传统手段和 Mask R-CNN 网络提取建筑物轮廓。

(1) 传统方法

分水岭算法是一种传统分割方法，将临近像素之间的灰度关系作为分割依据。考虑到像素在空间关系的相似性和封闭性，该方法对影像连续封闭目标的边界轮廓提取效果较好。结合影像尺度与任务需求，分割尺度参数设为 80，合并系数参数设为 40，并对梯度函数增加微小变化分割阈值，保留变化较大的边缘。

(2) 深度学习方法

R-CNN 系列网络是率先将深度学习应用到目标检测的算法之一，基于卷积神经网络 (CNN)、支持向量机 (SVM) 等方法实现图像的目标检测与分割。考虑到

遥感影像的尺度过大，需将影像裁剪后送入网络；建筑物轮廓不一定与图像坐标平行，R-CNN 系列的候选框无法准确描述建筑物范围，故引入旋转框检测方法。

使用 LabelImg 软件将裁剪后的光学遥感影像进行标记，作为真实标签数据。按训练集、测试集、验证集 7:2:1 的比例进行训练。计算机配置如下：处理器为 Intel Xeon Gold 6133，GPU 为 12 块 Nvidia GeForce RTX 3080；超参数设置如下：batch_size 设置为 8，学习率设置为 0.0001，训练轮数为 100。

3.3.2 基于光学遥感影像的高度反演

根据太阳、卫星和遥感影像上阴影的几何特征，计算建筑物高度值，高度反演模型如图 2 所示。其中， H 为建筑物高度， S_R 为建筑物的实际阴影长度， S_I 为建筑物在遥感影像上的阴影长度， $S_D=S_R-S_I$ 为阴影长度差， α 为太阳高度角， β 为卫星高度角，不考虑卫星和太阳的方位角对结果的影响时，光学遥感影像的高度反演公式如下：

$$H = \frac{S_I \tan \alpha \tan \beta}{\tan \alpha - \tan \beta} \quad (1)$$

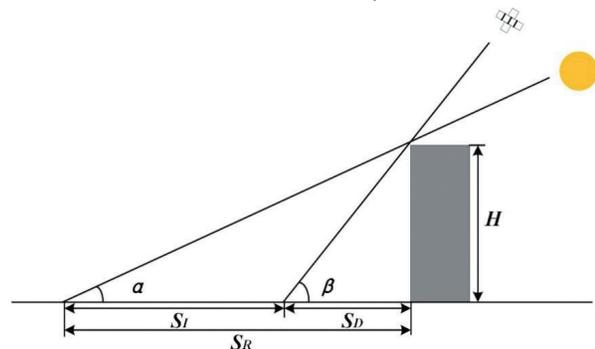


图2 光学影像高度反演模型

3.3.3 基于 InSAR 技术的高度反演

从 InSAR 干涉影像中提取建筑物高度值的数据处理方法包括影像配准、影像干涉、数据滤波与去噪、相位解缠、模型计算。根据时空基线生成短基线干涉数据集，依据测区目标的高程分布情况给定基线阈值，再利用最小费用流 (MCF) 算法进行相位解缠，得到组合干涉图解缠结果 W_c 。将 W_c 与原始干涉数据中质量较好的相位解缠结果 W_o 同时代入多基线 InSAR 模型，如公式 (2) 所示，即可计算建筑物高度。

$$\begin{bmatrix} \frac{4\pi}{\lambda} \frac{B_i}{\sin \gamma} \frac{1}{R_i} & \frac{4\pi}{\lambda} t_i \\ \vdots & \vdots \\ \frac{4\pi}{\lambda} \frac{B_m}{\sin \gamma} \frac{1}{R_m} & \frac{4\pi}{\lambda} t_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta H \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_i \\ \vdots \\ W_m \end{bmatrix} \quad (2)$$

公式 (2) 中， λ 为波长， γ 为入射角， B_i 是第 i 幅数据的垂直基线， R_i 为卫星与目标的距离， t_i 为时间

基线, ΔH 为高度差, V 为变形速率, W_i 为第 i 幅数据的相位解缠结果; $i=1, 2 \dots m$ 是数据序号; m 是数据总数。

3.4 建筑物模型展示

将计算结果以矢量数据 (.shp) 格式存储, 便于在 ArcGIS、QGIS 等软件中浏览与展示。其中, 轮廓数据以矢量线和节点进行保存, 建筑物白模结果则以矢量面或多边形进行保存。图 3 是经过研究方法处理的济南市建筑白模在 ArcScene 软件中浏览的结果。

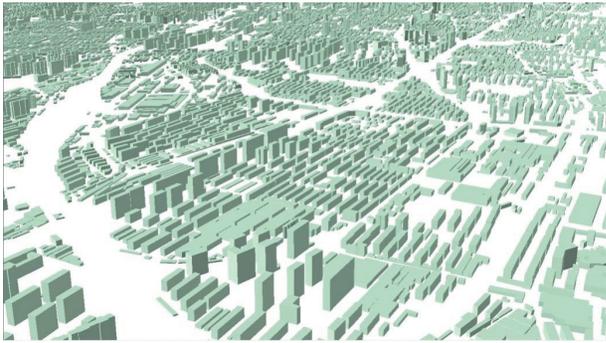


图3 济南市建筑白模

3.5 精度分析

从建筑物轮廓提取和高度反演维度对提取结果进行精度分析与评估。其中, 轮廓提取结果使用查全率 P_R 、查准率 P_P 和 F_1 指标进行评价, 计算方式如公式(3)所示; 高度反演结果使用测量误差 E_R 和测量结果的内符合误差 E_I 进行评价, 计算方式如公式(4)所示。

$$\begin{cases} P_R = \frac{TP}{TP+FN} \\ P_P = \frac{TP}{TP+FP} \\ F_1 = \frac{2P_R P_P}{P_R + P_P} \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} E_R = V_M - V_R \\ E_I = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (V_{Mj} - \bar{V}_M)^2} \end{cases} \quad (4)$$

公式中, TP 是预测为真实为真的样本数量, FN 是预测为假实际为真的样本数量, FP 是预测为真实实际为假的样本数量, V_M 是测量值, V_R 是真实值, n 是样本数量, V_{Mj} 是序号为 j 的测量值; \bar{V}_M 是测量值的均值。查全率 P_R 是分类正确的建筑轮廓占有所有建筑轮廓的比例, 查准率 P_P 是分类正确的建筑轮廓占有所有预测为建筑的轮廓比例, F_1 是二者的调和指数。研究方法在建筑物轮廓提取方面的定量评价结果如表 1 所示。

测量误差 E_R 表示建筑高度反演结果与参考值的偏差, 内符合误差 E_I 则表示算法在建筑物高度提取方面的稳定性。研究方法在建筑物高度反演方面的定量评价结果如表 2 所示。

表1 建筑物轮廓提取结果评价

方法	$P_R/\%$	$P_P/\%$	$F_1/\%$
分水岭+形态学	67.29	58.82	62.77
Mask R-CNN	91.06	84.67	87.75

表2 建筑物高度反演结果评价

方法	E_R/m	E_I/m	$F_1/\%$
光学影像	2.175	2.392	62.77
InSAR技术	1.758	2.803	87.75

结果表明, 在城市建筑三维建模应用中, 深度学习方法优于传统分水岭与形态学结合方法, 建筑提取结果的查全率 P_R 为 91.06%, 查准率 P_P 为 84.67%, F_1 指数为 87.75%, 满足大尺度遥感影像目标提取的精度要求; 基于光学遥感影像的建筑物高度反演的平均测量误差 E_R 为 2.175m, 高度反演结果的内符合误差 E_I 为 2.392m; 基于 InSAR 技术的平均测量误差 E_R 为 1.758m, 高度反演结果的内符合误差 E_I 为 2.803m, 在可接受范围内提高了城市建筑三维建模的自动化程度。

4 结语

多源遥感影像可应用于数字城市建设中的三维建模任务, 充分发挥光学遥感影像高分辨率特性和干涉合成孔径雷达图像在高程方向的可量测性, 可实现地级市城市建筑 LOD1.2 级别的三维建模, 同时减少外业测绘工作量, 提高人力和时间效率。利用好成规模的国家级智能算力平台, 推动数字基础设施建设进程, 对数字城市、智慧城市发展具有重大意义。

参考文献

- [1] 深化智慧城市发展推进城市全域数字化转型[J]. 中国信息界, 2024(7):13.
- [2] 姜宁, 马健, 杨永崇, 等. 倾斜摄影的单体精细化三维建模技术[J]. 遥感信息, 2020, 35(6):44-48.
- [3] 陈洋. 利用机载LiDAR/ADS 80影像实现城市三维建模的方法研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2021, 44(12):202-204, 209.
- [4] 赵晨晨, 曹鑫, 石峰, 等. 基于Geo Eye-1立体像对影像提取建筑物高度的方法研究[J]. 时空信息学报, 2023, 30(1):25-32.
- [5] 李平山. 影像RTK与无人机相结合的融合建模在历史建筑测绘中的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2024, 47(2):170-172, 176.
- [6] 李洋, 胥海燕, 颜青松, 等. 单张卫星影像的建筑自动化三维重建[J]. 测绘科学, 2024, 49(1):132-142.
- [7] 罗恒, 贺彪, 郭仁忠, 等. 高分七号双线阵影像建筑三维建模方法研究[J]. 测绘地理信息, 2023, 48(3):111-115.
- [8] 任旭. 基于多基线InSAR技术的城市建筑物高度重建研究[D]. 西安: 长安大学, 2023.

MEA优化BP神经网络在基坑变形预测中的应用

钟燕 黄虎跃

(珠海市测绘院, 广东 珠海 519050)

摘要: 基坑变形是一个由多种复杂因素共同作用的非线性过程, BP神经网络能够处理复杂、不确定的非线性问题, 被广泛应用于基坑变形预测中。BP神经网络中权值和阈值选择对其在基坑变形预测中的精度具有较大影响, 针对这一问题, 提出基于思维进化算法优化BP神经网络的基坑预测模型。利用思维进化算法优势优化BP神经网络的权值和阈值。通过实例数据对比分析优化前后模型预测结果。结果表明, 基于思维进化算法优化的BP神经网络预测模型具有更好的预测效果, 预测精度有明显提高。

关键词: 基坑; 变形预测; 思维优化算法; BP神经网络

1 引言

随着我国经济社会的迅猛发展, 城市用地越来越紧张, 为了实现有限土地的最大利用, 合理开发利用地下空间已成为改善城市建设现状的主要措施^[1]。在城市建设中, 地下空间利用逐渐增多, 例如地下停车库、地下医院、地下车站、地下仓库、高层建筑多层地下室以及地下商场等^[2]。这些地下设施的不断建设, 必然产生诸多基坑工程, 同时随着城市建筑的增高, 基坑工程施工环境越来越复杂, 施工难度日益加大^[3,4]。

基坑作为承载建筑结构的重要组成部分^[5], 其稳定性好坏直接影响上部结构和周边建筑的安全^[6], 因此基坑变形预测是建筑工程施工面临的重点难题, 具有高度的复杂性与系统性, 是提高工程质量、减少工程事故的重点^[7]。BP神经网络(Back Propagation)具有较强的自我学习和适应能力, 能处理复杂、不确定的非线性问题, 已逐步应用于基坑变形预测领域^[8]。但是, BP神经网络算法多是基于梯度, 收敛速度慢, 权值和阈值容易陷入局部最优, 严重影响其在基坑变形预测中的应用^[9,10]。基于此, 研究利用思维进化算法优化BP神经网络的预测模型结构、权值和阈值, 并分别建立MEA-BP和BP的预测模型进行对比分析, 验证基于思维进化算法优化的BP预测模型的精准性。

2 基坑变形预测模型

2.1 基于BP神经网络的基坑地表变形预测模型

BP神经网络是一种常见的前向网络, 由输入层、

隐含层以及输出层三部分组成。BP神经网络算法的实现主要依赖信息的正向传播及误差的反向传播。样本信息由输入层输入、隐含层加工、输出层输出结果, 这是BP神经网络的正向传播过程。反之, 若最终的输出值不在给定的接受范围内, 则会进入误差反传播过程, 即输出值与期望值之差会沿着负梯度方向逆向传播, 此时各层神经元的连接权值被不断修正, 然后重新进入正传播过程。如此反复循环, 权值被不断修正, 输出最终预测结果。BP神经网络因超强的自学习能力和计算能力、易于实现等特点被广泛使用, 其网络结构如图1所示。

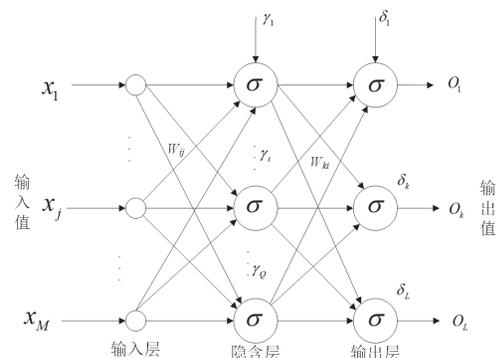


图1 BP神经网络结构

图1中, x_j 和 O_k 为输入层、输出层的值, W_{ij} 为隐含层到输入层的权值, W_{ki} 为输出层到隐含层的权值, δ_k 和 γ_i 为输出层、隐含层的阈值, σ 表示隐含层和输出层的激励函数。

$$\sigma(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (1)$$

基于BP神经网络的基坑预测模型步骤如下:

作者简介: 钟燕 (1989—), 男, 汉族, 本科, 工程师, 研究方向: 测绘工程。

(1) 设定原始的基坑位移监测值为:

$$x = (x_1, x_2, x_3 \cdots x_{n-2}, x_{n-1}, x_n) \quad (2)$$

公式中, n 为监测期数, x_i 为第 i 期的监测值。

(2) 对原始监测数据进行归一化处理, 使原始数据限制至 $[0, 1]$ 。

$$x' = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (3)$$

x' 是输入数据, x_{\max} 、 x_{\min} 分别为原始数据 x 的最大值和最小值。

(3) 网络拓扑结构确定。确定 BP 神经网络输入层、隐含层、输出层的节点数 M 、 Q 、 L , 对三层神经元之间的连接权值和阈值进行初始化。

(4) 隐含层输出。隐含层第 i 个节点的输出 y_i :

$$y_i = \sigma \left(\sum_{j=1}^M w_{ij} x_j + \gamma_i \right) \quad (4)$$

(5) 输出层输出。输出层第 k 个节点的输出 O_k :

$$O_k = \sigma \left(\sum_{i=1}^Q w_{ki} y_i + \delta_k \right) \quad (5)$$

(6) 误差计算。根据网络预测输出和期望输出 O_k , 计算网络预测误差:

$$e_k = O_k^i - O_k \quad (6)$$

若网络预测误差满足要求, 输出预测结果; 若不满足, 则重新调整权阈值, 计算输出值。

2.2 基于 MEA 优化 BP 神经网络的基坑变形预测模型

思维进化算法 (Mind Evolutionary Algorithm, MEA) 是以遗传算法为基础改进的一种新算法, 因此也沿用了其中一部分基本概念, 如“群体”“个体”等。但作为一种改进方法, MEA 算法同时也拥有一些遗传算法所没有的概念, 如公告板、趋同及异化等。MEA 算法拥有超强的全局搜索能力和超高效率。基于 MEA 优化 BP 神经网络的基坑地表变形预测模型具体流程如图 2 所示。

(1) 对原始变形监测数据进行标准化治理, 得到标准化数据, 并将其分为训练集和测试集两组数据。

(2) 根据数据集特点, 搭建 BP 神经网络的网络拓扑结构, 初始化权值、阈值、学习速率等网络参数。

(3) 对 MEA 算法的种群规模、临时子种群、优胜子种群、迭代次数等参数进行设置, 生产优胜子种群和临时子种群, 对其进行编码, 执行种群趋同计算, 基于趋同结果执行异化计算, 根据异化计算结果, 补充新的子群体。

(4) 判断种群是否达到最优, 若是, 则输出全局

最优解; 若否, 则重新对种群的趋同和异化进行计算。

(5) 根据编码规则, 对全局最优种群进行编码和解析, 得到对应的 BP 神经网络的最优权值和阈值, 然后利用训练集样本对 BP 神经网络进行训练。

(6) 根据训练之后的 BP 神经网络, 输出预测结果, 将其与 BP 神经网络预测结果进行对比, 验证优化后的 BP 神经网络预测模型精度。

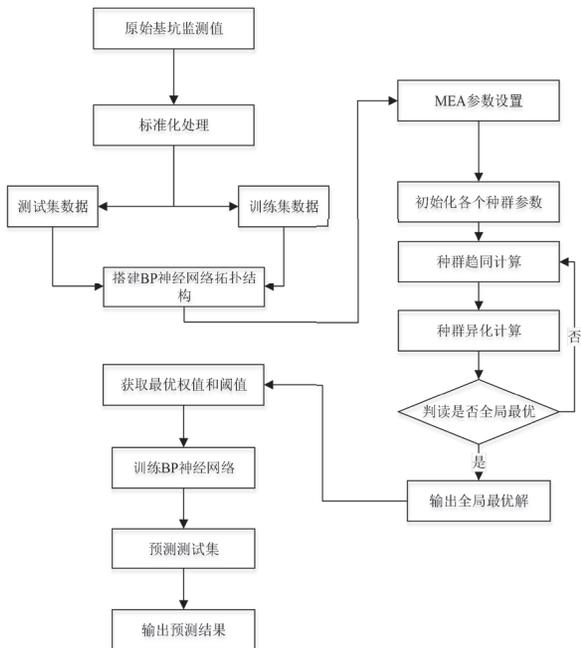


图2 基于MEA优化BP神经网络的基坑变形预测模型流程

3 实验分析

将基坑监测点位布设在基坑重点部位, 监测基坑垂直变形位移, 监测频率为 1 次 / 天。采用 Trimble DiNi 数字水准仪, 进行监测点位测量, 共采集 120 期数据, 其中前 100 个数据作为训练集, 后 20 个数据作为测试集。原始的基坑监测数据如图 3 所示。

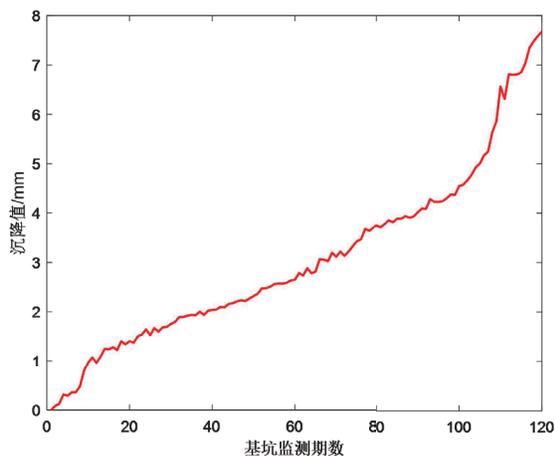


图3 原始基坑监测时间序列

从图3可以看出,基坑变形值随着时间不断增加。研究将MEA的参数设置为:种群规模为50,临时子种群为10,优胜子种群为10,迭代次数为100,通过训练学习得到优化后的基坑变形预测模型,同时和BP神经网络模型预测结果进行对比,优化前后两种预测模型收敛情况如图4所示。

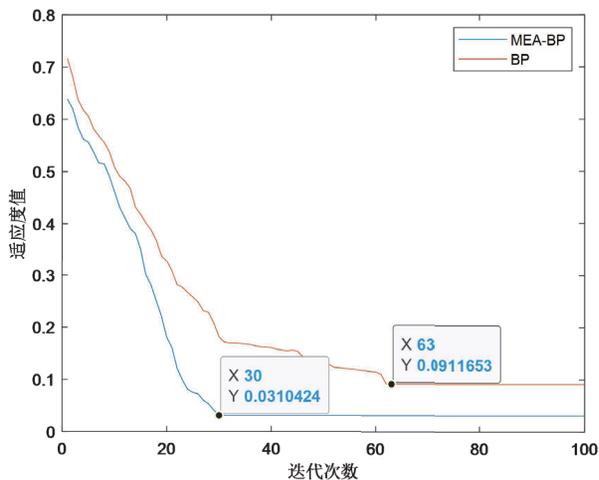


图4 两种预测模型的适应度值收敛变化趋势

从图4可以看出,MEA优化的BP神经网络和未优化的BP神经网络分别第30和63次迭代时,适应度值降到最低,达到收敛条件。MEA优化的BP神经网络比未优化的BP神经网络的收敛速度更快,两种基坑模型预测结果如图5所示。

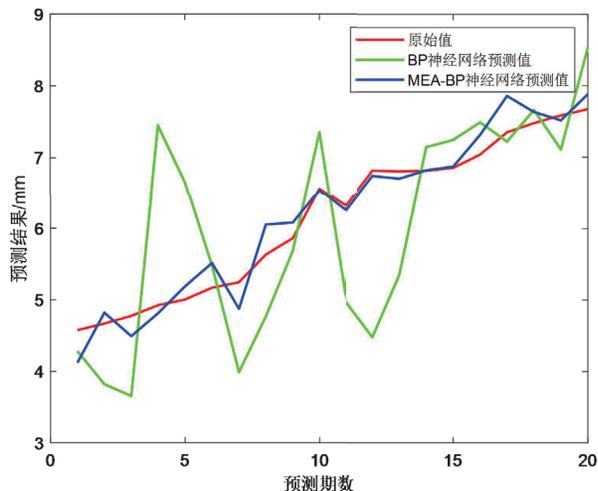


图5 两种基坑模型预测结果对比

从图5可以看出,两种基坑预测模型和原始监测值存在一定偏差,但MEA优化BP神经网络预测结果更加贴合原始监测值。采用均方根误差(Root Mean Square Error, RMSE)、平均绝对百分误差(Mean Absolute Percentage Error, MAPE)来定量评价两种模型的预测效果,结果对比如表1所示。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\hat{y}_i - y_i|^2} \quad (7)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{\hat{y}_i - y_i}{y_i} \right| \times 100\% \quad (8)$$

表1 优化前后BP神经网络模型的预测结果对比

预测模型	RMSE/cm	MAPE/%
BP神经网络	1.1192	15.41
MEA-BP神经网络	0.2993	4.01

从表1可以看出,运用MEA优化后的BP神经网络的RMSE比BP神经网络降低了0.8199cm,MAPE降低了11.40%。实验结果表明,与传统BP神经网络相比,基于MEA优化BP神经网络对基坑变形有更好的预测能力。

4 结论

基坑变形预测是确保深基坑工程安全的关键环节。为提高模型预测精度和稳定性,通过分析BP神经网络基坑变形预测模型,针对BP神经网络收敛速度慢、初始权阈值易陷入局部最优等缺陷,引入MEA算法对BP神经网络进行优化,并将改进模型用于基坑变形预测。通过RMSE和MAPE两种指标定量评价预测结果,结果表明,基于MEA-BP的基坑预测方法具有较高的准确性,提高了预测精度,在工程上具有一定的参考价值。

参考文献

- [1] 刘函仲.全站仪三角高程测量在基坑沉降监测中的应用[J].城市勘测,2023(3):176-179.
- [2] 刘欢欢,魏新锦,欧立强.GPS技术在建筑基坑变形监测中的应用[J].工程建设与设计,2023(16):101-103.
- [3] 李经宇,于英霞,代均德,等.超大深基坑支护结构综合选型及变形规律研究[J].河南大学学报(自然科学版),2023,53(6):718-728.
- [4] 赵宏安.超高层建筑物深基坑支护施工及监测技术研究[J].中国高新科技,2023(22):39-41.
- [5] 贾永安.基于监测技术的基坑变形与支护方案分析[J].安徽建筑,2024,31(8):134-136.
- [6] 王艳,潜成胜,曹得宇.组合模型在基坑变形监测中的应用研究[J].江西测绘,2022(4):8-10,20.
- [7] 安隆齐.基坑变形监测及稳定性分析[J].科学技术创新,2024(15):103-106.
- [8] 赵焕平.改进思维进化算法优化BP神经网络的瓦斯涌出量预测研究[J].南阳理工学院学报,2023,15(4):35-39.
- [9] 吕栋,欧吉坤,于胜文.基于MEA-BP神经网络的卫星钟差预报[J].测绘学报,2020,49(8):993-1003.
- [10] 时豪,范辉,李建辰,等.基于MEA-BP神经网络的压力传感器误差补偿算法[J].水下无人系统学报,2023,31(2):252-258.

基于三维激光扫描技术的地铁附属建筑外立面测量研究

尤朋

(上海浦海测绘有限公司, 上海 200000)

摘要: 地铁附属建筑的部分外立面位于高空或复杂地形环境, 导致数据获取困难, 部分外立面信息缺失或不准确。研究基于三维激光扫描技术提出一种地铁附属建筑外立面测量方法, 首先利用三维激光扫描技术采集关键数据, 建立点云模型; 然后结合卫星定位技术, 采集卫星轨迹数据并建模计算, 得到地铁附属建筑外立面的各角度数值; 最后对用户接收机与基准站接收机之间的误差、卫星信息误差与卫星信号空间传播误差分别进行校正。实验结果表明, 该方法使测量精度提升 40% 以上, 测量时间缩短 25~40min, 为地铁附属建筑外立面测量提供了更高效、更可靠的解决方案。

关键词: 三维激光扫描技术; 地铁附属建筑; 建筑外立面; 外立面测量; 测量方法

1 引言

随着数字经济和信息化浪潮的深入推进, 三维激光扫描技术作为一项空间信息获取手段, 在各行各业逐渐得到广泛应用。例如, 建筑工程领域的建筑物三维模型建立、文物保护领域的数字化重建、工业制造领域的零件设计和质量检测等, 均可利用三维激光扫描技术实现精准测量和数据采集。在地铁附属建筑外立面图绘制工作中, 三维激光扫描技术主要用于建筑物的外立面测量。通过设置扫描路线和采样密度, 激光扫描仪可自动捕捉建筑物的形状和结构信息, 进而生成高密度点云数据, 为后续三维建模和数据处理提供坚实基础。

地铁是现代交通的重要组成部分, 其附属建筑包括出入口、风道、风亭等。开展高效的地铁附属建筑外立面测量方法研究, 对保障地铁安全运营具有重要意义。地铁附属物外立面结构复杂, 测量工序烦琐, 目前我国已投入大量科研力量对地铁附属物外立面进行测量, 并取得一定成果^[1,2]。现有方法中, 基于倾斜摄影测量技术的地铁附属建筑外立面测量方法利用三维模型提取特征点并保证测量精度, 但测量耗时较长, 需要借助的设备庞大复杂, 操作不便; 基于 BIM 技术的方法利用 Revit 建立地铁建筑模型进行测量, 但需采集过多信息而难以有效实际应用^[3,4]。因此, 为克服上述方法的不足, 研究基于三维激光扫描技术, 提出一种新的地铁附属建筑外立面测量方法, 以期为

地铁设施智能化运维提供技术支撑。

2 基于三维激光扫描技术的外立面图绘制

地铁附属建筑外立面往往结构复杂, 如大量装饰线条、不同材质拼接, 以及广告牌、树木等遮挡物。三维激光扫描技术能够以非接触方式获取复杂结构的三维信息, 避免传统接触式测量可能导致的损坏或误差。通过调整扫描参数和角度, 可确保各类细节都被精确捕捉。三维激光扫描技术通过发射激光束并接收反射回来的信号, 获取被测物体的三维坐标, 具有快速、准确、全面的特点, 能够快速获取大量点云数据, 为后续建模和数据处理提供丰富的原始资料。在地铁附属建筑外立面测量中, 通过设置扫描路线和采样密度, 激光扫描仪能自动捕捉建筑物的形状和结构, 生成高密度点云数据, 准确反映建筑物的几何特征和细节, 为后续三维建模奠定坚实基础。

首先制定并审核外业测量方案, 确定合理的扫描路线, 综合分析采样密度、基点数量、扫描与测量间距等参数。三维激光扫描时结合卫星定位技术进行同步观测, 有助于更好地覆盖设置点前后的标靶, 提高测量精度^[5,6]。基于三维激光扫描技术的测量流程如下:

- (1) 尽量选择在晴朗无风的天气进行测量。
- (2) 扫描位置应合理布设, 间距不宜过大, 避免因距离导致测量误差。
- (3) 扫描时需将倾斜角度控制在合理范围内, 倾斜角度增大会降低数据准确性。

作者简介: 尤朋 (1995—), 男, 汉族, 大专, 助理工程师, 主要从事测绘工程研究。

(4) 两个相邻基点之间至少应设置三个标靶，且不能在同一直线。

(5) 基点数量要尽量多，确保全面覆盖地铁附属建筑物外立面。

随后进行点云数据采集^[7]。将扫描仪固定于某一工作基点，该位置仅能获取部分建筑数据，因此需多点移动采集完整数据。在采集过程中，要详细勘查地铁附属建筑及周边环境，合理布设扫描设备和反射装置，确保建筑被完整扫描。为提高测量精度，初始阶段宜选择较少扫描位置，若使用两台以上扫描仪，则至少设置四个不在一条线的公共标靶。在扫描某一方向时，应先进行大范围粗扫，使扫描区域涵盖尽可能多的反射片^[8,9]。完成大体扫描后，再进行精确扫描，依据标靶位置确定精确坐标，细化粗扫范围内的目标，获取精扫图。扫描标靶入射角度、测量距离与靶心反应强度之间的关系如图1所示。

根据图1可知，当入射角度小于50°时，提靶能力更强，扫描精度更高。

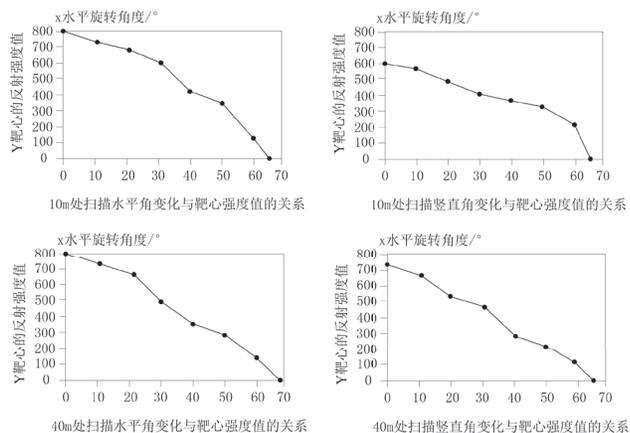


图1 扫描标靶入射角度、测量距离与靶心反应强度关系

三维激光扫描仪工作时，由一台高速马达驱动扫描头转动，激光发射器同步向目标物体发射激光束。激光经过待测物体表面反射后返回扫描系统，被激光接收器接收。激光接收器根据激光往返时间 t 、水平向扫描角度 α 和竖向扫描角度 β 、信号强度等信息，计算出扫描仪到目标物体的距离 S ，再结合扫描仪自身的位置信息，即可反演得到目标物体表面的三维坐标及反射强度。基于上述三维激光扫描仪工作原理，目标物体的坐标 $(X、Y、Z)$ 计算公式如下：

$$\begin{cases} X = S \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta \\ Y = S \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta \\ Z = S \cdot \sin \beta \end{cases} \quad (1)$$

三维激光扫描系统的核心是激光测距原理，公式

(1) 中距离 S 就是根据激光测距原理计算得到的。具体而言，首先测量扫描仪发射与接收激光信号间的无线电波相位延迟，然后根据调制激光的波长计算相位差 Φ ，由此获取扫描仪到目标物体的距离 S ：

$$S = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \frac{\Phi}{2\pi f} \quad (2)$$

公式(2)中， c 表示光在空气中的传播速度， f 为激光脉冲频率。

对地铁附属建筑物的关键数据进行测量并汇总测量结果，建立点云数据模型^[10]。地铁附属建筑外立面图绘制过程如图2所示。

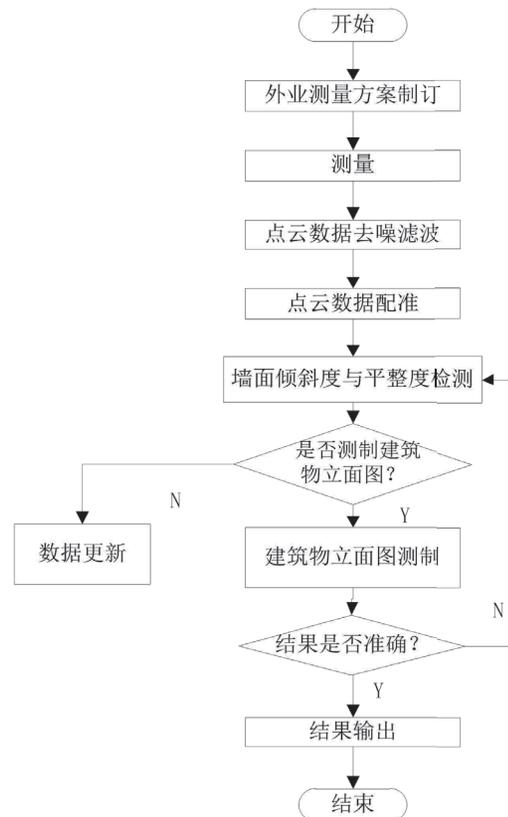


图2 地铁附属建筑外立面图绘制过程

基于上述步骤获取地铁附属建筑外立面的三维激光数据后，首先对原始数据进行滤波处理，以降低噪声干扰，提高测量数据的准确性。在扫描过程中，各站点云数据相对独立，为确保所有扫描数据位于同一坐标系下，可采用多种配准方式进行点云配准^[11,12]。其次，将统一坐标系下的离散点云整合为三角网格模型，根据点的分布方式复刻地铁附属建筑物的表面形状。考虑到地铁附属外立面并非绝对平滑，需通过数据合成确定建筑物位置，并计算其与地面的夹角。然后进一步对比建筑物与标准平面，结合色谱定量值进行平整度评估：在允许范围内的数据为平整度合格，

反之则为不合格数据。根据上述步骤，最终可生成清晰准确的立体测绘展示图。

3 地铁附属建筑外立面测量

基于最终生成的立体测绘展示图，设置4个基点用于测量不同斜边距离；基于斜边距离之和，计算高差与长度纵向比，得到地铁附属建筑物外立面的长度，然后对地铁附属建筑物外立面进行纵向剖面分析，如图3所示。

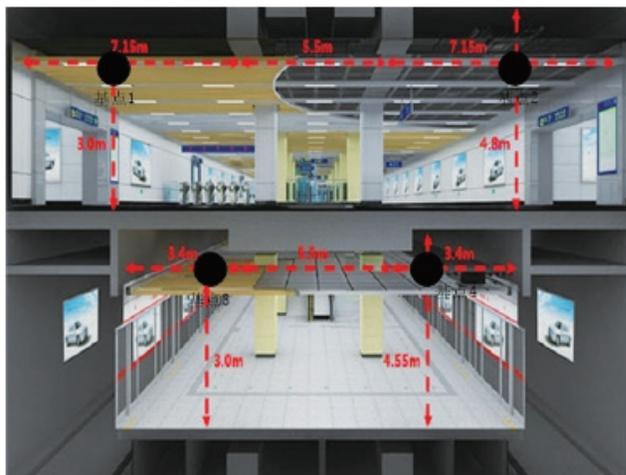


图3 地铁附属建筑物外立面剖面分析

由图3可知，4个基点分别位于不同区域。基于此，对地铁附属建筑外立面进行测量。从待拟合的点云数据中随机选取4个不共线的基点，计算4个基点所在平面（初始平面）方程： $m=ax+by+cz+l$ ，以及其他各点到初始平面的距离 d_i 和 d_i 的标准偏差 σ ， \bar{d} 为各点到初始平面距离的平均数。

$$d_i = \frac{|ax_i + by_i + cz_i + l|}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2 + 1}} \quad (3)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n-1}}, \bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i \quad (4)$$

采用 2σ 作为阈值，当 $d_i < 2\sigma$ 时，判定该点为内点，否则判定为外点，重复此过程直到全部点云判定结束，完成一次迭代。如此重复迭代，直到迭代次数达到阈值 K 时结束，每一次迭代结束后记录内点总数和模型的值 [13]。然而，计算会存在误差，需要进行误差校正，误差校正过程如图4所示。

首先，校正激光接收器存在的误差，确保激光接收器对不同强度的激光信号均能准确响应，避免因灵敏度不一致导致测量误差 [14,15]。通过技术手段降低或消除接收器内部的电子噪声，避免对测量结果产生干扰。

其次，校正激光信号在空间传播中的误差，利用气象仪器采集现场温度、湿度、气压等大气参数，并据此校正激光信号的传播路径。

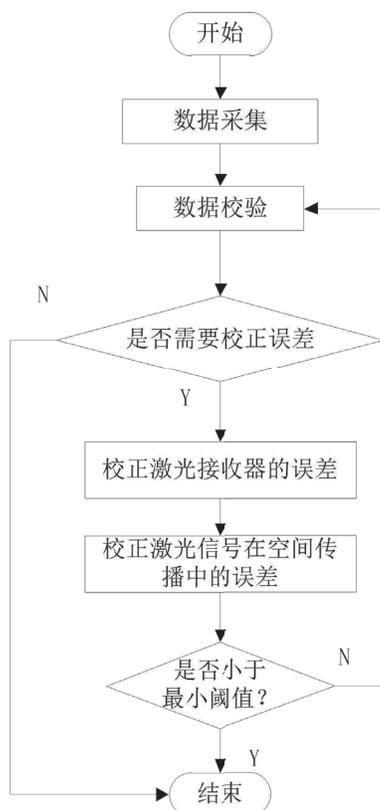


图4 误差校正过程

4 实验研究

为验证基于三维激光扫描技术的地铁附属建筑外立面测量方法的有效性，将其与基于倾斜摄影测量技术、基于BIM技术的地铁附属建筑外立面测量方法进行实验对比。实验参数设定如表1所示。

表1 实验参数

项目	参数
工作电压	100V
工作电流	50A
操作系统	Windows10
测量重复次数	10次

根据上述参数，采用三维激光扫描仪（如Faro Focus S350，点位精度 $\pm 1\text{mm}$ ）对建筑物外立面进行多站、多视角的重复测量，并通过累加模型表面三角面片或投影法提取外立面总面积，经误差校正后输出最终结果。将传统方法与研究方法在测量时间和测量精度两方面进行对比实验，选用建筑物面积、长度、角度与高程作为测试参数，得到的测量精度实验结果

如图 5 所示。

由图 5 可知，随着测量建筑物面积的增加，测量精度不断下降，研究方法的测量精度高于传统测量方法。当测量建筑面积低于 100m^2 时，传统方法的测量精度低于 80%，但研究方法的测量精度始终高于 84%；当测量建筑长度为 30m 时，研究方法测量精度为 93%，传统方法的测量精度低于 60%；当测量建筑角度为 30° 时，研究方法测量精度为 86%，传统方法的测量精度低于 50%；当测量建筑高程为 4m 时，研究方法测量精度为 91%，传统方法的测量精度低于 70%。由此可见，研究方法测量能力较强，即使测量面积在 800m^2 ，测量精度也能得到保证。

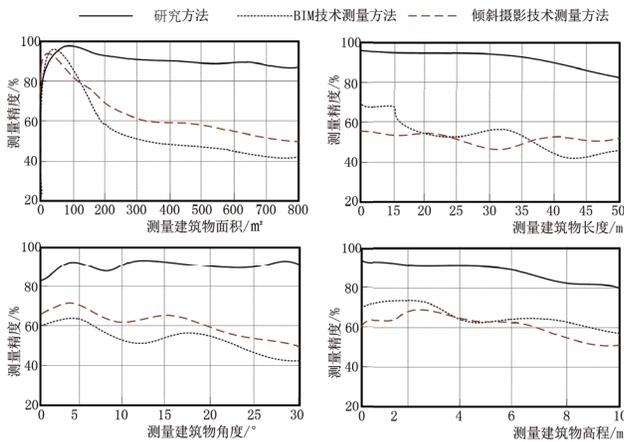


图5 测量精度实验结果

在确定测量精度后，对测量时间进行验证。研究进行了 10 次实验，结果如表 2 所示。

表2 测量时间实验结果

实验次数	测量时间/min		
	倾斜摄影测量技术	BIM技术	研究方法
1	60.25	80.44	21.32
2	70.39	72.55	19.36
3	78.44	74.58	18.27
4	63.25	71.36	19.22
5	69.44	70.84	18.49
6	68.27	73.82	19.71
7	66.33	71.25	18.44
8	62.58	71.44	17.69
9	64.14	70.09	20.85
10	65.23	72.58	21.36

在 10 次实验中，基于 BIM 技术的测量方法耗时最长，始终在 70min 以上，而基于倾斜摄影测量技术的测量方法耗时在 60min 以上，而研究方法仅需约 20min。结果表明，研究方法能够显著缩短测量时间，

有效提升地铁附属建筑外立面测量效率，且测量精度和测量时间都优于传统测量方法，具有良好的实际测量效果，更适合应用于地铁建筑测量工作中。

5 结论

基于三维激光扫描技术的地铁附属建筑物外立面测量方法，能够拓展可测量区域，精度较高且操作简单，有助于提高地图绘制、外立面测量及误差分析与优化等工作效率，降低人力成本，增强外立面测量方法的可靠性与实用性。然而，该方法在误差校正方面，特别是对卫星信号空间传播过程的误差处理尚显不足，后续将重点对此开展研究，进一步提高工作效率。

参考文献

- [1] 刘江,蔡伯根,王剑,等.基于轮轴测速辅助的列车卫星定位压制干扰检测方法[J].铁道学报,2020,42(10):80-90.
- [2] 康婷婷,张磊,王跃佟,等.基于卫星定位的网约车计程计时检测技术研究[J].计量学报,2020,41(3):369-373.
- [3] 刘永吉,任伟,孙喜彬.基于倾斜摄影测量技术的曲面建筑立面图测绘方法[J].建筑技术,2019(5):605-607.
- [4] 侯思乐.基于BIM技术的地铁精细化建筑设计方法研究[J].智慧城市,2019,5(16):61-62.
- [5] 李杰.基于组合定位的下一代列车自主定位系统研究[J].城市轨道交通研究,2020,23(11):101-103.
- [6] 吴轩,张超,邵会兵,等.基于DTMB系统的定位算法研究[J].电视技术,2019,43(4):36-39.
- [7] 葛山运.地铁安全监测中基于三维激光扫描技术的隧道变形分析方法[J].城市轨道交通研究,2020,23(5):68-71.
- [8] 赵娟,白春,胡亚辉,等.基于北斗卫星的船载无人机惯性导航定位系统[J].舰船科学技术,2020,42(8):143-145.
- [9] 周海波,张文君.基于星间激光测距的高轨卫星定位技术研究[J].激光杂志,2020,41(3):77-81.
- [10] 刘学敏,路林海,韩林,等.基于合成孔径雷达差分干涉测量技术的济南轨道交通1号线地表沉降监测[J].城市轨道交通研究,2020,23(6):40-43,47.
- [11] 章国勇,陆佳政,李波,等.电网山火同步卫星监测影像快速投影定位方法[J].高电压技术,2019,45(2):410-417.
- [12] 秦红磊,谭滋中,丛丽,等.基于ORBCOMM卫星机会信号的定位技术[J].北京航空航天大学学报,2020,46(11):4-11.
- [13] 王健伟,王磊.北斗卫星定位技术在边坡位移监测中的应用[J].铁道建筑,2020,60(1):90-93.
- [14] 胡盛斌,杜国平,徐国元,等.基于声纳渗流技术的地铁联络通道涌水探测应用研究[J].中国安全生产科学技术,2019,15(2):51-56.
- [15] 赵宁宁,吴伟,王勇.基于三维激光扫描技术的地铁隧道结构变形监测应用研究[J].中国矿业,2020,29(6):176-180.



泰山：石与云的千年对话

◎ 贺斌 / 文 赵洪山 / 图

泰山，是一部矗立在齐鲁大地上的立体史书，每一块岩石都是凝固的文字，每一缕云雾都是流动的注脚。泰山藏着延续了千年的对话：一方是沉默的石，一方是流动的云；一边是历史与自然的声音，一边是心灵与自然的碰撞。

那满山的花岗岩，是泰山最古朴的骨骼，是刻满时光的稿纸。它们在寒武纪的海洋里沉淀，在燕山运动的伟力下隆起，历经亿万年的风化、剥蚀，才成了今日这般棱角分明的模样。你看那些题刻石，“仰观俯察”的雄浑，“擎天捧日”的苍劲，文字嵌进岩石的肌理，恰似人文与地质的榫卯，严丝合缝地咬合在一起。郭沫若的诗刻在石上，笔锋流转处，石纹也似有了墨香；

“五岳独尊”的碑石前，游人举着纸币比对，那是现代与历史的奇妙叠印，让泰山的石头有了更鲜活的温度。那些被游人磨得发亮的阶面，凑近了能看见细密的纹理，像老人手背暴起的青筋，记录着亿万年的沧桑。十八盘的石壁最是壮观，刀削斧凿般的崖体上，嵌着古人题刻的字迹，有的早已被风雨侵蚀得模糊不清，只余下深浅不一的刻痕，如同石的年轮，但笔画间的力道却穿透了千年，仿佛能听见当年刻碑人挥毫落墨时，凿子与石头碰撞的清脆声响。

这些石从太古代走来，见证过孔子“登泰山而小天下”的喟叹，承载过秦皇汉武封禅时的威仪，也亲历过杜甫“会当凌绝顶”的豪情。

即便到了现代，石依然是泰山的底色——碧霞祠的铜瓦盖在石砌的殿宇上，经石峪的《金刚经》刻在石坪上，就连山间的小庙，也是用石块垒起的院墙。石是沉默的，却比任何语言都更有力量，它把千年故事都藏在纹理中，等着云来翻阅。

雾，是泰山最灵动的衣衫，它是从山坳里漫出来的——像被揉碎的棉絮，贴着嶙峋的石缝轻轻漫溯，漫过“孔子小天下处”的碑亭，掠过“雄峙天东”的石坊，将那些坚硬的岩石温柔包裹，仿佛怕惊扰了沉睡的山石与那一抹深绿。有时，雾浓得像化不开的牛乳，把山峦变成了写意的泼墨画，只留几棵松树的梢头在雾外，像是天地间的标点；有时，又淡得像缕轻纱，给

陡峭的山岩笼上一层朦胧，让“低云近日”的题刻有了具象的诠释。雾是大气的呼吸，是水循环的具象化，它让泰山的冷峻多了几分婉约，也让地质的沧桑有了诗意的留白。

而云，则是泰山的魂。它不像平原上的云那样飘在高空，而是贴着山体游走，时而轻盈如纱，时而厚重如棉。清晨的云最是温柔，从山谷里缓缓升起，漫过中天门的牌坊，绕过探海石的棱角，把整座山都裹进一片朦胧里。此时站在玉皇顶，脚下是翻滚的云海，远处的山峰只露出尖尖的顶，像浮在海上的小岛，让人分不清是在人间还是仙境。正午的云则多了几分灵动，一阵风吹来，云便顺着山脊奔跑，掠过石刻时，会留下短暂的阴影，仿佛在石上写下转瞬即逝的诗行。我举起手机拍照，云却不慌不忙，慢悠悠地漫过我的肩头，留下一丝凉意。那一刻我忽然明白，云与石的

对话，从不是单向的倾诉，而是双向的奔赴——石给了云停靠的港湾，云给了石流动的生机。

站在玉皇顶，我想起古人的一句话：“山无云则不秀。”泰山的石，因云而有了灵气；泰山的云，因石而有了根基。它们一个沉默千年，一个流动不息，却在岁月的长河里，达成最完美的默契。就像那些刻在石上的字迹，虽历经风雨却从未消散；就像那些飘过山间的云，虽转瞬即逝却从未缺席。

在 1545 米的山巅，看云雾在石峰间奔涌，听松涛在峡谷里呼啸，我明白了泰山的魅力，正在于它的双重性——它是地质的奇观，岩层的褶皱里藏着地球演化的密码；它是人文的圣殿，题刻的文字中载着华夏文明的基因。石的坚硬与云的柔软，历史的厚重与现代的鲜活，让每一个登临者，都能在石与云的千年对话里，找到属于自己的那一

段共鸣。

云雾在四季的对话里，有着不同的模样。春天，云带着春雨洒在石上，唤醒了石缝里的草芽，嫩绿的叶片贴着青石生长，像是石写给云的回信；夏天，云常常聚在山顶，形成厚重的积雨云，雨珠砸在石上，发出“噼里啪啦”的声响，那是云与石最热烈的交谈；秋天，云变得稀薄，像一层透明的纱，缠绕在红叶满枝的山间，石上的题刻在云的映衬下，多了几分诗意；冬天，云凝结成雪，落在石上，把整座山都变成了白色，石在雪下沉默，云在雪中静立，仿佛在进行一场无声的告别，却又期待着来年的重逢。

这场千年的对话，还在继续，而每一个来到泰山的人，都是这场对话的见证者，在石的沉默里读懂历史，在云的流动里感受诗意，这是一种震撼而无法言说的美。☑（作者单位：义乌市自然资源和规划局）



“携礼莫入”见风节

◎ 陈鲁民

1987年10月，“导弹司令”杨业功调任某导弹旅旅长。为约束自己、告诫他人，他写下“携礼莫入”4个醒目大字贴在家门上。起初，有人以为这不过是做做样子。一年春节，一名干部提着土特产敲响杨业功的家门，杨业功坚决把他挡在门外。又有一次，部队某重大工程项目招标前，一位包工头带着礼物上门找杨业功“通融”。他勃然大怒，将来人赶走，又交代竞标必须遵守规则。杨业功曾在一次大会上动情地说：“吃点喝点拿点怎能不算大事？把优良传统吃没了，把党的形象喝丢了，把群众的信任拿走了，还是小事？”

“携礼莫入”，一尘不染，既是当代共产党人坚守的高风亮节，也是中国传统廉政文化的重要内容，古代先贤有很多拒受礼品的动人故事，耐人寻味，也启迪人生。

春秋战国时，宋国有人得了块美玉，价值连城，想送给当权的大官子罕。子罕拒收说：“我以不贪为宝，你以玉为宝。我若是收下你这块玉，我们都失去了自己的宝，还不如各人留着各自的宝物好啊！”

唐代宰相姚崇也赞同这个观点，他曾三度为相，素以清廉刚正闻世，从不接受任何礼物与金银，并专门写了一篇《辞金诫》，语曰：“尔以金玉为宝，吾以廉慎为师；尔以夜昏可纳，吾将暗室不欺。若尔有赠，吾今取之，尔则丧宝，吾

则怀非。”

说到“暗室不欺”，就不能不联想起东汉著名的“四知太守”杨震，他在赴任途中经过昌邑县，夜里，曾受过杨震提携的县令王密怀揣十斤黄金，悄悄来到杨震住处。杨震坚决拒收，王密说：“深更半夜，无人知道。”杨震说：“天知，神知，我知，你知，怎能说是无人知道！”王密羞得无地自容，慌忙收起黄金离去。

为何不收礼呢？明代官员张津在县衙大堂屏风中亲笔写道：“宽一分，民受赐一分；取一文，官不值一文。”清代官员张伯行也在福建巡抚任上，特地撰写了一篇《却赠檄文》，张贴于居所院门及巡抚衙门。语曰：“一丝一粒，我之名节；一厘一毫，民之脂膏。宽一分，民受赐不止一分；取一文，我为人不值一文。”那些送礼者见此犀利檄文，不敢自讨没趣，知难而退。这篇檄文后来不胫而走，广为传诵，被视作为政清廉的“金绳铁矩”。

不收礼，也是今天人民公仆自觉遵守的铁律。周恩来曾给自己和身边工作人员规定了“三不沾”：“私人的事不坐公车，不沾国家的便宜；亲属来机关探亲，就餐自己买票，不沾集体的财富；不得以总理的名义接待或收受礼品，不沾机关和他人的利益。”

彭德怀屡立战功，贡献巨大，却从不居功、不谋私，他曾教育部下说：“第一自己不贪，第二别人

不送，第三敢把厚脸皮、熟人挡回去。有这么三条，才能保持一个‘公’字。”因而，没人敢给他送礼，没人敢请他赴宴，也没人敢找他跑官要官，因为廉洁无私，心地光明，他在军内外享有崇高威信。

吉林省水利厅原厅长汪洋湖喜爱吃鱼，但他自从到水利厅工作后，就决定不吃鱼了。因为他知道，水利厅管着几十个水库，逢年过节，这些水库可能会往家里送鱼，收了就会败坏风气。于是他就多次宣称自己不吃鱼、忌口。在水利厅厅长任上12年，他不仅不收鱼，也不收其他礼品，身教加言教，带出了水利厅干部廉洁奉公的好风气。

“位不在高，廉洁则名。权不在大，为公则灵。斯是公仆，惟吾德馨。”是杨业功《公仆铭》里的自励箴言。他一生成功坚守了两个阵地：一个是为国仗剑的导弹阵地，一个是清正廉洁的气节阵地。他常说：“平时不能廉洁自律，战时怎能身先士卒？平时不能秉公用权，战时如何指挥千军万马？”我们每个人也有两个阵地，一个是自己的工作阵地，要兢兢业业，勤勤恳恳；一个是清正廉洁的气节阵地，要以不贪为宝，居暗室而不欺。只有两个阵地都守得好，坚如磐石，无懈可击，方可堂堂正正，光明磊落，上不愧天，下不疚地。

☐（作者系中国人民解放军网络空间部队信息工程大学原教授、中国作家协会会员）

渭堤秋韵

◎ 孙东勋



泾渭分明的泾水与渭水在三秦大地相遇，以刚柔并济的风骨成为中华灿烂文明海洋中的一粟。

穿过山谷关隘，一路呼啸的渭河在关中平原乖巧了许多，气势不大，水流平缓，或许是夹杂的泥沙迟缓了前行脚步，抑或总要为奔腾不息的岁月寻觅一个诉说沧桑的理由。无论如何，对渭河的好感与羡慕我都十分称意。

渭南这座小城点缀在渭水之滨，沃野土塬，凉热宜人，物阜粮丰，是川流不息的渭水造就的一段奇妙旅程，而渭堤可谓“点睛之笔”。

渭堤沿渭水两岸修建，起伏绵延，错落有致，五颜六色的无名小花在青青坡草怀抱中如约绽放，粉似霞，黄赛金，白如冰，蓝像海，被秋风拨弄出摇头晃脑的模样活泼可爱。而此时的我喜欢凉风乍起，独坐静赏此起彼伏的微微草浪，心儿随着层层叠叠的涟漪荡漾出无限美好与憧憬！

堤上林木成行，黄绿交织，轻轻飞舞的落叶，或飘落肩头，或抚摸额头，每一帧画面都那么美、那么净、那么柔软，仿佛开启一场与秋天的情愫物语。时光滑至深秋，当一抹银杏的明黄撞入眼帘，从天而降的果实历经颗颗摔打，被大地母亲怜揽入怀，温暖中闪耀着时间的光华与厚重，兴奋之余犹有感恩。自古逢秋悲寂寥，我言秋日胜春朝。这是一年中丰收的图景，也是大自然在这金秋节气与大地的深

情相拥，莫名地平添几分敬意与感动，多了几层凝重与思考。时光的匆匆而过，为每个人留下了痕迹，也让平凡的人生增添了多重际遇。

往往高出农田与村庄的堤顶，所到之处多与地方干道、城市道路融为一体，串连城镇、村落、厂矿与田畴，实现生态优势与交通功能的叠加，成为当地老乡出行的首选。便捷安全的路网，给物流插上了翅膀，也转动着生命的成长与轮回，令经受时间考验的渭堤更加迷人多彩。

西北高大的白杨排列于堤内，吮吸着渭水母亲河的甘甜乳汁，身姿魁梧，挺拔干云，向蓝天白云投去片片问候，长成一道道亮丽风景线，为四季的河堤遮风挡雨。棵棵白杨，枝叶高擎，从不畏高、畏寒，似乎命运早已为它们埋下伏笔，唯有向上、向上，永远向上。夕阳涂抹下的杨树，戴上了一顶顶皇冠，是一天中最美的时候，托举着迟暮的彩霞，用枝叶护佑脚下每一寸生生不息的土地。

堤外的油槐镇沿渭堤棋布，不远的巷道与河堤如经络连接千家万户，源源不断地输送着民生日常。渭堤经过的村庄，红瓦绿树，鸡鸣犬吠，门前屋后挂满的青红柿子压弯枝条，田间地头的花椒粒结出串串红，断垣矮墙边枣树上水灵灵的大枣一个个争先恐后集结枝头……地里生长的大豆、玉米、花生、红薯等农作物，展现出丰腴身段与熟

稔笑脸，无一不在用饱满和香甜向秋日发出诚挚邀请，映衬着农人们的笑脸与自信。

一场绵绵秋雨的到来，让堤内外的草丛、树梢、花蕊挂满了晶莹水珠，处处湿漉漉的。此时的渭堤像抹泪的黛玉，凄美动人而又生出淡淡忧愁，月朦胧，水朦胧，勾勒出静谧祥和的田原夜色。

古老的渭河流淌万年，在八百里秦川蜿蜒流动，是上天赐予人间的一条生态之河、幸福之河。穿梭在原野的一列列火车，跨过渭堤，飞越渭河，用桥与路的纽带将包西铁路紧紧相牵，也带着我们的思念与祝福驶向远方。

秋日之美，美在遍野金黄的丰饶，更美在心心念及沉甸甸的收获。熟落的核桃自头顶坠落，不偏不倚，恰似时光赠与的美好信物，又如岁月更迭中悄然珍藏的福袋。静默光阴里，它们守望本分、各自生长，将月光流淌的故事娓娓书写，也把西北汉子的豪迈与旷达，深深扎进厚实的黄土里。

一段渭堤，一段旅程，一段人生感悟。我与渭堤的邂逅，从夏入秋，成了我在包西铁路张何三四线工地上驻点的一段难忘记忆。走在深秋的渭堤上，我不由被宁静与旷趣所占据，充盈在心间，滋养在骨里。☑（作者单位：中国中铁大桥局集团一公司）

大地秋思

◎ 孙利芳

玉壶光转，岁月缱绻。不知不觉间，一丝丝凉风悄然拂过脸颊，秋天披着斑斓的盛装，携着独有的诗意，从青山、绿水间款款而来，广袤大地上，飘荡着光阴悄悄酝酿了一季的思绪。

逶迤群山中，秋花正灿烂。

淡黄色的桂花在枝丫间悄然绽放，掩盖不住浓郁的香气四处飘散，空气里满是清雅的芬芳。清可绝尘，清可润心，清可养神，清可销魂。那甜蜜而又绵长的清香穿越高高的山岗，香飘云天外。

黄色的野菊花随风摇曳，把整个山坡都渲染成一片金黄。菊香绕过一条又一条山沟，飞越千沟万壑。凝润了香气的清露，悄悄打湿游人的裙裳。

薰衣草宛若娇羞的仙子，披着粉紫浪漫的羽裳，柔柔蔓蔓，仙气飘飘，如云似雾，瞬间编织出一个如梦似幻的粉色云海。粉影笼轻纱，纤弱透坚强。那抹浅浅淡淡的粉紫拽着人的裙角不放，让人心里酥酥的、绒绒的、痒痒的，荡漾着一抹别样的浪漫与幻想。

金黄的栾花更是惊艳了整个秋天，一串串精巧的栾花手牵着手，热热闹闹盛放枝头，小巧的花瓣、

长长的花蕊，灵动精致，妙不可言。就连飘落姿态都那么纷纷扬扬美不胜收，从天而降的金色花瓣雨，飘飘悠然于天地之间，怎一个潇洒浪漫了得？花落之处，栾夹如一串串红灯笼挂满枝头，碧叶、黄花、红果，交织缠绵，如诗如画。

芦花在秋风的吹拂下，跳着轻盈的舞蹈，曼妙的身姿洋溢着惬意、随遇而安的淡然。或雪白，或淡粉，或红褐，或卵青，不知是仙鹤的羽毛跌落凡间，还是轻盈的精灵重返人间？

这些美丽的秋花，用独有的色彩、飘逸的仙姿，装扮着五彩斑斓的浪漫之秋。

悠悠碧水间，秋叶正斑斓。

秋天，不单单有肥嘟嘟的果实，娇艳艳的花朵，就连普普通通的叶子也奋不顾身激情燃烧，迫不及待隆重登场，走向极致，占尽芳华。

银杏叶摇着金黄色的镶边小扇送走了夏日的绿意，摇呀摇，把满树小扇摇成满目金黄。一夜秋风来，满地黄金甲。银杏叶像一只只金色的蝴蝶，飘飘脱离母亲，叶落归根。满地的银杏叶美得如一地金色繁花，让人恍惚间步入一个金色的梦幻世界，灵动，和谐，壮丽，辉煌。

和金黄呼应唱和的，是一棵棵红枫。三角枫、五角枫、七角枫、九角枫，赶趟似的，先后羞红了脸，染得满树红彤彤、喜盈盈、俏生生。“染得千秋林一色，还家只当是春天。”红色精灵在枝头飞舞，在林间旋转，在大地盘旋，点燃一季的绚烂。

黄栌叶也被霜染成浅红深红，恰似羞涩的少女，娇羞脸颊，憨态可掬，欲说还休，似乎正对面遥遥相望的银杏少年倾诉满腹满腔的相思和爱恋。

红叶在秋风中犹如九仙女洒下的红色花瓣，如火如荼，熠熠生辉，艳丽无比，流光溢彩，含羞带露，不仅有“霜叶红于二月花”的绚丽，更有“洒向千峰秋叶丹”的豪迈，渲染出层林尽染万山红的惊艳，也写满枫林红透相思浓的缠绵。

苍茫天地间，秋思正百转。

在感伤诗人眼里，秋天是寂寥的、孤独的、悲苦的。“乱声千叶下，寒影一巢孤”。风也萧瑟，花也凋零，叶亦飘落，万物萧条。淡淡的忧伤，浅浅的愁苦，孤单别离，黯然神伤，思念怅然。“树初黄叶日，人欲白头时”。秋天和人生映照，时光无情，暮年落寞。



康伟 / 摄

在豁达诗人心里，秋天是宁静悠然的。“空山新雨后，天气晚来秋”的清新宁静；“蒹葭寒带水，蟋蟀静吟秋”的寒凉清冷；“小筑瞰清流，人闲境更幽”的清雅致远；“采菊东篱下，悠然见南山”的闲适悠然。

在游子心里，秋天是怀念思乡的。“秋思乡愁两苦辛，每临西北望秋云。此生更老情终在，谁为寄声千里人。”秋思、乡愁、痛苦、衰老、孤独、无助、艰辛，彻骨铭心，思乡的情凝望在无尽的秋云里。

在乐观诗人眼里，秋天别有一番韵味。“落霞与孤鹜齐飞，秋水共长天一色”的壮美辽阔；“自古逢秋悲寂寥，我言秋日胜春朝”的独具一格；“看万山红遍，层林尽染；漫江碧透，百舸争流”的豪迈激情；“一年一度秋风劲，不似春光。胜似春光，寥廓江天万里霜”的恢宏开阔、哲学辩证……

在我眼里，秋天是丰收喜悦的，是朴实饱满的，是斑斓多姿的，是宁静高远的，是睿智豁达的，恰如人生的中年。

春华秋实。收获、收割、收成、收入、收集、收拾、收益、收取、收回、丰收、收支、收藏、收缴、

收看、收录，无数的“收”似乎都与秋有着丝丝缕缕的关联。

春种一粒粟，秋收万颗子。经历了春夏的辛勤汗水、万般劳累，凝聚成累累硕果，喜悦在农人的脸上流淌，丰收的欢歌在大地上飞翔。

晨雾迷离中，漫步秋天的原野，秋色流畅奔放。秋高气爽，天气湛蓝，澄澈高远，淡淡的清凉，让人爽心、豁达、开朗。

眺秋山之高远，层林尽染；赏秋花之烂漫，色彩斑斓；望秋叶之燃烧，漫山红遍；思秋天之眷恋，感慨万千。拥一丝秋风入怀，清爽惬意；品一粒秋果入唇，满腹甘甜；插一朵秋花入瓶，芳香四溢；拾一片秋叶入书，诗情弥漫；携一缕秋思如梦，梦亦阑珊。

秋叶在枝头巧笑嫣然，虽有别离伤感，更是收获与希望。鸟儿归巢，叶落归根，是秋天对大地的怀念、感恩、依恋。一叶落，情深深。落下的不仅仅是消沉、死亡、背离，更是澎湃、高亢、燃烧、回报，是生命的轮回、灵魂的涅槃、未来的重生，是宏大的秋思和感悟。

秋花灿灿、秋叶飘飘、秋果累累、秋韵悠悠，就这样紧紧与我拥抱，款款走进我的心间，让思绪如

飘飘秋叶纷飞如蝶，让我在流逝的时光中，感悟四季更迭的魅力。绿色的畅想，金色的赤诚，红色的鲜艳，岁月的万般色彩、千般绚烂，在秋天肆意绽放。

如此绚丽的美、厚实的美、悲壮的美，在广阔大地上，在巍巍群山中，在悠悠碧水间，喷薄而出，喷涌而来，浩浩荡荡，波澜壮阔，层层叠叠，连绵起伏，错落有致，层林尽染。

可爱的秋哦！让大地无限饱满，让季节多彩绚烂，让自然如此惊艳，处处凝聚着深厚、冷静、沉稳的秋思。秋呼唤，秋的馈赠，秋的色彩流淌，这大自然的画笔哦，让再挑剔的画家也无可挑剔。

行走在大地的绵绵秋思中，千般情思，万般思绪，涌上心头。秋天是静谧的，又是热闹的；秋天是悠然的，又是丰收的；秋天是悲伤的，又是喜悦的；秋天是隐逸的，又是繁华的。

秋天，从容，淡然，深沉，成熟，斑斓，热烈，美丽。挚爱这大地之秋、岁月之秋。秋花如画，秋果如蜜，秋叶如诗，秋色如歌，秋韵如酒，秋思如潮，绵绵不绝。☑（作者单位：汝州市地质矿产保护发展中心）

罗小明摄影作品欣赏

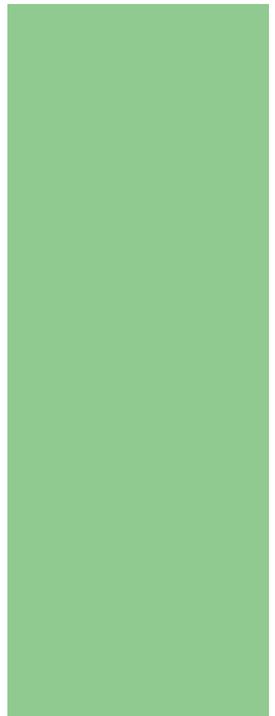


罗小明，江西省自然资源厅退休职工。退休后，他学习摄影，以镜头为笔，在自然与城市的画卷上勾勒出诸多动人图景。

荷塘边，他蹲守多时，让荷花的粉白与雀鸟的棕褐在画面里相遇，那些鸟儿或立在花苞上似在聆听花语，或掠过莲叶间似在与涟漪共舞，每一次按下快门，都是对生命灵动瞬间的珍藏；向日葵花田旁，他捕捉金翅雀群在花盘间的种种模样，它们啄食、跳跃、嬉戏，把田野的生机与雀鸟的活泼都锁进画面；还有斑鸠在花丛中低头觅食的专注，不知名的小鸟在枝丫间振翅的轻盈，以及城市里那片片花海的绚烂、别致的景观建筑与远方天际的呼应，他都以细致的观察和用心的构图，将这些景致的韵味一一留存。

他的作品里，有花草的芬芳，有鸟儿的欢鸣，有城市景观的绚烂，每一幅都是他对生活的深情凝视。







《资源导刊·信息化测绘》

宣传合作单位

主管单位

河南省自然资源厅

承办单位

河南省测绘地理信息技术中心

核心型宣传合作单位

河南省测绘学会

河南省地理信息产业协会

河南测绘职业学院

河南省测绘院

河南省遥感院

河南省地图院

河南省地理信息院

河南省中纬测绘规划信息工程有限公司

友谊型宣传合作单位

思源时空科技（河南）有限公司

东网空间地理信息有限公司

河南卓越科技发展有限公司

焦作市基础地理信息中心

河南省润泰工程管理有限公司

河南恒旭力创测绘工程有限公司

河南豫西路桥勘察设计有限公司

灵宝市土地与矿产勘查测绘中心

河南蓝通实业有限公司

河南省时代测绘技术有限公司

安阳市房产测绘中心

安阳市国土资源调查规划与测绘院

河南广盛信息科技有限公司

郑州天迈科技股份有限公司

河南信大测绘科技有限公司

黄河水利委员会三门峡库区水文水资源局

郑州市规划勘测设计研究院

新郑市新房测绘队

河南建岩信息工程有限公司

河南中豫勘测规划技术有限公司

郑州市交通规划勘察设计研究院

河南中联建设有限公司

郑州超图地理信息技术有限公司

河南省瑞兴工程咨询有限公司

河南省启沃土地咨询有限公司

河南数字城市科技有限公司

郑州经开规划勘测有限公司

中科宏图勘测规划有限公司

河南省国源工程咨询有限公司

郑州众益信息科技有限公司

河南省恒信工程技术服务有限公司

河南中信测绘地理信息有限公司

中建国信大数据集团有限公司

郑州市水利建筑勘测设计院

郑州郑房测绘有限责任公司

河南省水利勘测设计研究院有限公司

郑州华程测绘有限公司

开封市金源测绘有限公司

航天宏图信息技术股份有限公司

中铁七局集团郑州工程有限公司

河南三维勘测设计有限公司

河南八度土地规划设计有限公司

河南中徕测绘服务有限公司

河南天宇伟业测量仪器有限公司

河南德瑞普测绘仪器有限公司

中电云科信息技术有限公司

河南省地质科学研究所

聚鑫信息工程有限公司

荥阳市规划建筑设计室

河南省海翔测绘工程有限公司

河南智联时空信息科技有限公司

开封市祥和测绘服务有限公司

河南省中工设计研究院集团股份有限公司

河南豫兴测绘有限公司

济源市正祥房地产测绘有限公司

济源市自然资源技术保障中心

南阳空间测绘有限公司

郑州市郑土测绘服务有限公司

河南微图信息科技有限公司

《资源导刊·信息化测绘》杂志征订单

《资源导刊·信息化测绘》杂志（ISSN1674-053X/CN41-1389/D）是经国家新闻出版管理部门批准，由河南省自然资源厅主管、河南省测绘地理信息技术中心承办的国内外公开发行的科技类综合期刊。

杂志内容丰富，图文并茂，具有权威性的工作导向、高品位的学术理论、现代化的科技信息、浓郁的市场特色、新颖活泼的编排风格，是广大读者了解测绘地理信息行业法律法规、信息动态、工作经验、科研成果、学术理论的重要平台。

杂志为国际流行的大16开本，月刊，全彩印刷，每期10元，全年120元。全国各地订户可直接向杂志社订阅。

地址：河南省郑州市黄河路8号《资源导刊·信息化测绘》编辑部

邮编：450003 电话：0371-65941854 65941858

《资源导刊·信息化测绘》杂志征订单

订阅单位		订阅份数	份
订 阅 起止月份	2026年1月至2026年12月（共12期）		10.00元/期
合计金额	（大写） 万 仟 佰 拾 元整 （小写）		

.....请将下表填写完整后拍照或扫描后发至 xxhchfx@126.com.....



《资源导刊·信息化测绘》杂志征订单

订阅单位		联系人	
通信地址			电子邮箱
纳税人识别号			联系电话
订阅份数	订 阅 起止日期	2026年1月至2026年12月（共12期）	
合计金额	（大写） 万 仟 佰 拾 元整 （小写） 元		

邮局汇款

单位名称：《资源导刊》杂志社

地址：河南省郑州市黄河路8号《资源导刊·信息化测绘》编辑部 邮政编码：450003

联系电话：0371-65941854 65941858

银行汇款

单位名称：《资源导刊》杂志社

开户行：中国银行郑州黄河南路支行

账 号：2546 4929 7642

备 注：汇款时请在备注栏中注明单位名称，并将汇款凭证拍照发至 xxhchfx@126.com



欢迎订阅

《资源导刊·信息化测绘》

《资源导刊·信息化测绘》（ISSN1674-053X/CN41-1389/D）是经国家新闻出版管理部门批准，由河南省自然资源厅主管、河南省测绘地理信息技术中心承办的国内外公开发行的科技类综合期刊。

本刊以党中央、国务院关于全国测绘地理信息工作的政策、方针为指导，以繁荣测绘地理信息文化事业、引导和推动测绘地理信息行业转型升级、加强测绘科学技术人员的学术和业务经验交流为宗旨，面向全国测绘地理信息行业和公众公开发行。

这是一份属于测绘地理信息人的杂志，全面展示河南省乃至全国的测绘地理信息动态、经验、文化与最新的学术成果。杂志设有《国内要闻》《时政传递》《特别关注》《测绘广角》《经天纬地》《技术应用》《地图故事》《人文地理》《文苑撷英》《艺术欣赏》等栏目。

测绘资讯·政策解读
文化传播·技术交流

银行汇款

单位名称：《资源导刊》杂志社
开户行：中国银行郑州黄河路支行
账号：2546 4929 7642

邮局汇款

单位名称：《资源导刊》杂志社
地址：河南省郑州市黄河路8号
邮政编码：450003

地址：河南省郑州市黄河路8号《资源导刊·信息化测绘》编辑部 邮编：450003 电话：0371-65941854 65941858