

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

2026

第 7 期

总第531期

锚定新坐标 赋能现代化

——河南测绘地理信息行业迈入全域融合发展新征程



自然资源部、国家林草局联合部署2026年度一体化调查监测工作

山河为卷 测绘“尖兵”织经纬

——中铁大桥局一公司精测队工作扫描

ISSN 1674-053X



中旬 定价: 10 元



扫码关注我们

河南省测绘地理信息技术中心 开展庆祝中国共产党成立105周年主题活动



本刊讯 7月1日，河南省测绘地理信息技术中心组织开展“七一”系列主题活动，全体党员干部通过集中宣誓、收听收看庆祝大会、观看红色影片等形式，庆祝中国共产党成立105周年。

当天上午，集中宣誓仪式正式开始，全体党员面向党旗庄严宣誓，重温入党誓词。仪式上，河南省测绘地理信息技术中心党委委员、副主任肖峰作致辞并提出要求：一是深刻认识入党誓词的重要意义，入党誓词是每名党员对党和人民作出的庄严承诺，必须做到终身坚守；二是坚定理想信念，增强“四个意识”，坚定“四个自信”，始终保持政治上的清醒和坚定，将理想信念转化为推动测绘事业发展的不竭动力；三是各级党组织要严格落实“三会一课”制度，认真开展主题党日等活动，持续抓好党性教育，做好党员的传帮带工作。

宣誓结束后，全体党员干部集中观看“七一”庆祝大会直播，全程见证党内最高荣誉“七一勋章”颁授仪式，认真聆听、深刻领会习近平总书记重要讲话

精神。河南省濮阳县西辛庄村党支部书记李连成获授“七一勋章”，其“当干部就应该能吃亏”的质朴话语感人至深。全体党员表示，将以李连成同志为榜样，学习他扎根基层、甘于奉献的崇高精神，把学习成果转化为实干担当的行动自觉。

下午，大家共同观看红色经典影片《四渡》，重温红军长征中四渡赤水的壮阔历史，感悟革命先辈不畏艰险、英勇顽强的斗争精神，进一步接受深刻的爱国主义教育。

活动期间，河南省测绘地理信息技术中心为困难党员送去组织的关怀及慰问金。此次主题活动共有中心在职党员、离退休党员和戊院社区代表等60余人参加。

此次“七一”系列活动既是一次党性教育，也是一次精神洗礼。河南省测绘地理信息技术中心将以此次活动为契机，持续加强党的建设，推动党建与业务深度融合，激励全体党员干部立足本职岗位，以实干实绩为测绘地理信息事业高质量发展贡献新的力量。

（周正 / 文 陈庆贺 / 图）

乘风筑梦“十五五”

◎ 本刊评论员

潮起中原，风满征帆。随着《河南省国民经济和社会发展第十五个五年规划纲要（2026—2030年）》正式落地，一幅制造、科教、数智、农业、文旅五大强省战略协同并进的宏伟画卷徐徐铺展。测绘地理信息行业迎来前所未有的黄金发展窗口期。站在时代交汇点，全体测绘人当抢抓政策、市场、技术多重机遇，以经纬为笔、以时空为卷，奋力书写赋能中原崛起的崭新答卷！

回望“十四五”，河南测绘人踏遍千里沃土，交出亮眼答卷：北斗基准站全域织网、遥感卫星守望良田、实景三维试点落地，用精准数据护航全省6.66万亿经济大盘、守护每年1300亿斤粮食产能、保障“米”字形高铁贯通南北。但与此同时，传统测绘已跟不上数智强省建设节奏，城乡发展不均衡、产业融合不深入、核心技术待突破等难题，亟待行业转型破局。而“十五五”顶层规划，恰好为我们打通转型堵点、打开增长空间，送来全方位、多层次的发展机遇。

政策红利加持。实景三维河南、北斗三号基准站“一张网”、时空大数据平台被纳入全省数字政府核心清单，测绘地理信息数据正式确立战略性生产要素定位。从省级顶层设计到市县落地项目，重大工程、产业园区、乡村振兴、生态治理全部配套空间地理信息刚需，曾经“按需服务”变成“必配底座”。数据产权交易、成果开放共享、社会资本参与等改革举措同步落地，政企协同、多元投入的发展格局全面成型，财政与政策双向加持。

市场蓝海奔涌。传统工程测绘根基稳固，持续增长。新兴赛道迎来爆发式增长：新能源汽车产业领跑全国，自动驾驶高精度地图需求持续走高；粮食产能冲刺1400亿斤目标，卫星遥感、无人机巡田撑起智慧农业千亿市场；“行走河南·读懂中国”品牌深耕，数字文旅遍地开花；低空经济乘风起飞，空域测绘、空中作业服务开辟全新增量。一刻钟便民圈、社区养老、智慧停车等民生场景持续下沉，地理信息服务走进千家万户，大众消费市场不断扩容，市场规模迎来跨越式增长。

技术迭代赋能。北斗三号规模化商用、省级遥感卫星组网运行，空天地一体化监测网络成型，数据获取成本大幅下降、效率成倍提升；人工智能深度融入实景三维建模、遥感智能解译；大数据、物联网实现多源数据融合分析，测绘从“出图制表”升级为“智能研判、辅助决策”。

产业生态聚能。河南坐拥全国统一大市场循环枢纽区位优势，测绘服务辐射鲁豫鄂皖多省，省际协同项目持续扩容；高校、职校持续输送测绘、大数据复合型人才；产业链上下游企业集聚，从卫星设备、智能传感器研发，到数据运营、行业解决方案全链条贯通。依托“空陆数海”四条丝绸之路，河南测绘技术、北斗应用、跨境位置服务迈出国门，测绘地理信息行业从“本土深耕”走向“内外双循环”。

机遇在前，重任在肩。蓝图已经绘就，关键在于实干。测绘地理信息从业者要锚定五大发展准则，拿出敢闯敢干的奋进姿态：坚持大局导向，主动嵌入全省各项重大战略，以时空数据服务制造、农业、文旅、生态全领域；坚持数智引领，聚力核心技术自主攻关，做强实景三维河南统一时空底座，打通跨部门数据共享壁垒；坚持全域服务，打造“数据+技术+平台+运营”一体化方案，城乡兼顾、政务民生同步发力；坚持底线思维，严守地理信息安全红线，规范新业态监管；坚持协同治理，营造公平有序的行业发展环境。

乘风而上，是时代赋予的航向；筑梦前行，是测绘人不变的担当。全省测绘地理信息从业者，手握北斗、眼观天地、脚踏中原，当以初心铸精度、以创新拓赛道、以实干担使命，紧紧锚定“十五五”发展坐标，用好时代赋予的宝贵机遇，用一组组精准坐标、一张张三维实景、一套套时空解决方案，为现代化河南建设注入源源不断的数字力量，书写属于测绘人的璀璨华章！

测绘资讯·政策解读
文化传播·技术交流



社 长：刘立新
执行总编：肖 峰
总 编：刘鹏飞
副 社 长：左金安
副 总 编：张中强
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：谢孟利
美术编辑：宋 珂
发 行：丁 翔

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
编辑部：0371-65941858
广告发行部：0371-65941854
投稿邮箱：xxhch2015@163.com
QQ 通联群：185394654
地址：河南省郑州市黄河路8号

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

资源导刊 信息化测绘

2026年 中旬 第7期 总第531期

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
主办单位：河南自然博物馆
编辑出版：《资源导刊》杂志社

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
姚宜斌 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 时统成
副主任 肖 峰 武永斌 王军胜
成 员 赵海滨 赵立明 刘 畅 孙常建 李 辉 许翔云
安玉琴 寿燕翻 卢 明 王明强 付治河 张向军
田耀永 朱志军 曹 源 周学军

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

东网空间地理信息有限公司
济源市自然资源技术保障中心
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
师梦勘测设计集团有限公司
中建国信大数据集团有限公司

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，未经本社书面许可，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。

网站合作单位



目录

CONTENTS

卷首语

1 乘风筑梦“十五五”

国内要闻

4 我国牵头制定的联合国自动驾驶全球技术法规获批发布 等8则

时政传递

6 自然资源部、国家林草局联合部署2026年度一体化调查监测工作
7 河南省测绘地理信息技术中心开展安全生产工作检查
《河南省地理信息产业蓝皮书(2026)》编撰工作会召开

特别关注

8 锚定新坐标 赋能现代化
——河南测绘地理信息行业迈入全域融合发展新征程

测绘广角

13 河南省遥感院一科研项目高分通过验收
邓州市完成农村沟渠水网数字化底数摸排
14 舞钢市“多测合一”信息服务平台建设项目通过验收
南乐县开展测量标志专项巡查保护工作

经天纬地

15 山河为卷 测绘“尖兵”织经纬
——中铁大桥局一公司精测队工作扫描

学术研究

17 “岗-技-德”三维融合: 高职《水利工程测量》课程思政体系的探索与实践

技术应用

20 基于多源数据的城市土地利用制图研究
25 基于层次分析法的河南省测绘产品质量影响因素研究
29 时序机载点云驱动的堆料区堆料量动态监测
32 LT-1在沙漠高原区形变监测的适应性分析
35 基于GIS与地理加权回归模型的鄂西地区耕地空间分异与驱动分析
39 基于改进型遥感生态指数的锡林浩特市生态环境质量评价

44 地面激光点云数据质量分析与评价
49 基于车载点云最优邻域多特征的道路边界提取方法
53 基于数值模拟的开采沉降预测研究
56 融合孪生网络的模型与高分数据的耕地“非农化”提取研究

文苑撷英

60 木业有专攻
61 又是粽艾飘香时
62 婚俗里的童年快乐时光
63 一江碧浪两岸花

封面

翠掩芳荷 陈棉 / 摄



关注 我国牵头制定的联合国自动驾驶全球技术法规获批发布

6月22日至26日，联合国世界车辆法规协调组织第199次全体会议在瑞士日内瓦召开，由中国与欧盟、英国、美国、加拿大、日本共同牵头制定的联合国自动驾驶系统全球技术法规（ADSGTR）经全体缔约方投票表决，正式获批发布。

作为全球首个自动驾驶领域的全球技术法规，该法规明确了自动驾驶系统核心技术指标，提出制造商层面的规范要求及配套审核评估方法，构建起覆盖产品全生命周期的完整法规框架，为全球自动驾驶技术安全有序落地提供统一遵循。2019年以来，中国在联合国相关工作组担任重要职务，工业和信息化部组织国内专业技术机构牵头法规核心内容编制，开展大量技术论证并提出数十项技术提案，为法规制定提供了有力支撑。目前，该标准已完成编制并进入报批程序，全面覆盖国际法规核心内容，同时结合国内产业实际提出了更为细化的安全管控要求。

北斗卫星短信应急通信服务上线

近日，针对汛期极端灾害易造成地面通信中断的情况，北斗卫星短信应急通信服务正式上线，为无地面网络信号环境下的应急联络提供可靠保障。

据介绍，只要手机具备北斗卫星短信功能，用户即可发送附带精准位置坐标的卫星短信，及时传递灾情信息、报送平安或发起救援请求。该项服务使用门槛低、操作便捷，无需下载任何第三方App，通过系统原生短信入口即可直接发送；用户只需在手机设置中开启北斗卫星短信功能即可使用，目前国内三大运营商均已支持该项服务。

资费采用按需计费模式，不使用不产生任何费用，发送按条计费，接收完全免费。同时，短信接收方无特殊终端限制，不具备北斗卫星短信发送功能的普通手机也可正常接收内容。该项服务的落地，进一步完善了我国应急通信保障体系，为汛期防灾减灾、野外应急救援等场景提供了坚实的通信支撑。

国内首款吨级重型共轴式无人直升机在广州发布

近日，全球首款吨级重型共轴式无人直升机F-1000在广州正式亮相发布。这是国内首款进入“吨

级时代”的共轴式无人直升机，标志着低空经济重载应用迈出关键一步。

F-1000采用共轴双旋翼气动构型，机身长3.4米，旋翼半径4米，整机体积较传统单旋翼构型缩小约30%，是目前全球同载荷级别中体积最小的吨级无人直升机，紧凑的机身结构大幅提升了场地适配性与部署灵活性。该系列机型最大起飞重量达2吨，有效任务载荷超1吨，实用升限可达6500米，最大航程覆盖500千米至1000千米，兼顾强劲重载能力与长距离续航表现，可适配高原、山地、近海等多种复杂作业环境。

该直升机配备模块化“快换”载荷系统，可快速切换消防吊桶、货运箱等不同任务模块，实现一机多用，能够广泛应用于高原物资运输、森林消防灭火、海上应急救援等多个重载作业场景，具备较高的实用价值与广阔的行业应用前景。

科技 我国星空地一体化碳监测关键技术取得重大进展

6月11日消息，市场监管总局组织国内优势科技力量开展集中攻关，在星空地一体化碳监测关键技术领域取得重大进展。

攻关团队针对我国温室气体监测计量领域星基、空基、地基主流监测装备与核心技术长期依赖进口，国家、区域及行业层面碳排放监测数据难以实现自主精准质控的行业痛点，成功突破高分辨率国产卫星CO₂、CH₄柱浓度与排放反演核心技术，打破国外在中尺度CO₂通量探测激光雷达浓度与风场同步探测领域的技术垄断，实现核心技术自主可控。

同时，团队成功研发中尺度激光雷达监测设施、



现场测量与计量物联网装置，以及区域与行业温室气体排放清单反演校验算法，形成多维度技术装备体系。相关成果可广泛应用于国家、省市行政区域及工业、能源、交通、居民生活等领域的温室气体排放监测计量，具备高精度、快响应的技术优势，为我国碳排放精准核算、“双碳”目标落地提供自主技术支撑。

我国成功发射微厘空间05组卫星

6月17日11时58分，快舟十一号遥十三运载火箭在酒泉卫星发射中心点火升空，成功将微厘空间05组卫星送入预定轨道，发射任务取得圆满成功。

此次发射的8颗小型低轨导航卫星，是微厘空间低轨导航增强星座的第三批组网卫星，将进一步充实我国低轨导航增强体系在轨力量。作为我国自主布局的低轨导航增强体系核心组成部分，微厘空间星座规划部署160颗低轨导航增强卫星。此次卫星成功入轨后，该星座在轨业务卫星数量已达28颗，标志着我国低轨导航增强星座批量组网进程持续提速。

据介绍，后续卫星完成在轨定点调试后将正式投入业务运行，依托低轨卫星低延时、高精度的技术优势，对北斗卫星导航系统进行全方位性能补强，可实现厘米级高精度、低延时实时动态导航定位，广泛赋能自动驾驶、地理测绘、智慧交通、应急救援等前沿领域，为高精度空间应用与智能产业发展提供坚实的航天支撑。

氢动力无人机完成河南首飞

6月14日，一架搭载氢燃料电池动力系统的无人机在郑州腾空而起，完成河南区域首次公开飞行测试。此次飞行全程实现零碳排放，在工业级无人机长续航技术路径上取得实质性突破，验证了氢动力方案在低空作业场景的工程可行性。

该氢燃料电池动力系统满载作业工况下，无人机可实现90分钟稳定续航，续航时长为同负载传统锂电无人机的1.5倍，有效破解工业级无人机续航短、补能频次高的行业痛点。机型配套快速换氢系统，仅需3分钟即可完成燃料补给，能够支撑全天候不间断作业，大幅提升连续作业效率与复杂场景适配能力。

依托长续航与快补能的核心优势，该机型可广泛应用于电力巡检、应急救援、全域测绘、环境监测等

各类长航时、高标准低空作业场景，可覆盖更大作业半径、支撑连续复杂任务需求，为河南低空经济场景拓展与作业效能升级提供绿色高效的技术支撑。

数字

2.47 亿平方千米

近日，北京市建成全国首个超高清卫星数据空间开放平台。该平台聚焦超高清遥感数据流通链路长、应用门槛高的行业痛点，打通了超大规模超高清遥感数据从获取到落地应用的全流通链条。

平台深度融合遥感技术与人工智能、大模型、空间计算等前沿技术，构建起一体化的数据服务能力底座。目前平台已建成覆盖全国及全球重点区域、总面积约2.47亿平方千米的七大类超高清高质量数据集，同步配套百万量级遥感AI样本库，为各领域应用提供充足精准的基础数据支撑。

在应用端，平台聚焦自然资源、生态治理、基层治理、数字孪生城市、智慧文旅、灾害应急六大领域打造示范应用场景；产业端已汇聚40余家生态合作伙伴，合力推动超高清遥感数据在多行业的深度融合应用，为各领域数字化治理、产业升级与高质量发展提供坚实的空间数据支撑。

0.5米

6月15日12时，我国首颗聚焦文物保护的定制遥感监测卫星“文物01星”在酒泉卫星发射中心成功发射，顺利进入预定轨道，填补了我国文物保护领域专用遥感卫星的空白，标志着文物保护天基监测能力迈上新台阶。

“文物01星”搭载高精度光学遥感载荷，全色分辨率优于0.5米，同步配置多光谱成像通道，可高效完成文物资源空间信息采集、三维建模、动态比对等专项任务，能够精准捕捉文物本体及周边环境的细微变化，充分适配文物保护场景的精细化监测需求。

卫星入轨后将与“吉林一号”星座130余颗卫星协同组网，依托规模化星座的高频重访优势，持续提供海量、精准、时序化的遥感数据，可实现对全国各级文物保护单位高精度、高频次、常态化全覆盖动态监测，为文物资源普查、执法督察、病害预警、保护修缮等核心工作提供稳定可靠的天基数据支撑。☑

自然资源部、国家林草局联合部署 2026 年度一体化调查监测工作

◎ 本刊记者 陈庆贺

近日，自然资源部办公厅、国家林业和草原局办公室联合印发《关于开展 2026 年度一体化调查监测工作的通知》（以下简称《通知》），围绕国土空间规划实施监测评估需求，统筹推进自然资源监测、国土变更调查与林草湿荒调查监测，动态更新国土空间规划“一张图”现状数据，推动调查监测数智化转型，切实减轻基层负担。

《通知》明确，2026 年度调查监测以支撑规划实施监测评估为核心，摸清自然资源家底与国土利用变化，重点掌握“三区三线”空间底线落实、主体功能区战略等国家重大战略实施及重大工程落地情况。深化科技创新，广泛应用人工智能、大数据技术，推动调查监测向一体化、日常化、数智化转变，提升整体效能。

《通知》要求常态化开展日常调查监测，不再组织集中调查。自然资源部紧扣“三区三线”管控核心需求，重点关注三类变化：一是农用地、建设用地、未利用地“三大类”转换及耕地变化；二是住宅、商业、工矿、公共管理与服务、交通运输等建设用地及其二级地类变化；三是森林、草原、湿地、荒漠资源变化。各地可结合实际细化监测指标，不搞“上下一般粗”，确保监测成果反映地表真实变化。

一体化协同方面，各级自然资源和林草主管部门落实两类调查监测协同机制，依托“一张图”国土调查云统一平台作业，避免重复调查，统一建设融合两类数据的自然资源调查监测数据库。部局层面统筹制作正射遥感影像，按季度开展监测并共享成果；省级可按需补充高分辨率影像，统筹市县调查，适时开展林草湿专项调查，保障数据现势性。同时完善“一张图”平台功能，整合规划、审批、权籍、执法等多源数据，支撑常态化动态更新。

2026 年度工作分步实施，重点推进三项调查监测。自然资源监测覆盖全国陆域，重点聚焦“三区三线”及区域重大战略实施，同步开展重大工程、开发区、红树林等专项监测，按需覆盖海域和无居民海岛开发

利用监测。国土变更调查以县级为单元更新国土利用数据，强化陆海统筹、动态调整海岸线；指导内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江四省（区）同步开展黑土地变化调查。林草湿荒调查监测以变化区域和固定样地为重点，掌握年度资源生态变化，东北内蒙古重点国有林区由相关省（区）林草部门会同森工企业实施。

调查监测成果直接支撑国土空间规划实施监测评估。国家层面形成全国“三区三线”及规划实施监测评估报告，对照省级及国务院审批城市国土空间总体规划出具年度评估成果。省级评估侧重协调性，聚焦规划目标、主体功能区战略和“三区三线”管控；市县评估突出实施性，侧重全域功能结构、中心城区用地结构和公共服务布局，衔接总体规划动态维护要求。依托“一张图”汇聚多源成果开展综合分析，强化趋势研判与风险预警，形成标准化数据产品，服务高质量发展。

保障措施上，《通知》要求强化科技赋能，推进人工智能、遥感智能解译、云计算等技术应用，加快建设天空地海网一体化监测网；工作经费按《土地调查条例》规定足额列入财政预算；落实《通知》“谁监测、谁负责，谁调查、谁负责，谁检查、谁负责”的质量责任制，全流程实行质量管控，杜绝弄虚作假和数据失真；加强数据全生命周期安全管理，压实保密责任，完善技术防控体系，严防数据丢失、泄露、篡改；坚守安全生产底线，强化外业调查、野外监测等关键环节安全防护。

时效安排方面，全年常态化开展监测并动态更新，2026 年 10 月 31 日前汇总阶段性成果，服务宏观经济决策；以 2026 年 12 月 31 日为统一时点，汇总全国年度成果数据；2027 年 2 月底前，完成林草湿荒调查监测及省市两级质量审核，向国家林草局报送成果。

《通知》同步印发《2026 年度一体化调查监测实施方案》，要求各地结合实际稳妥推进，坚决杜绝“一刀切”，重大问题由省级自然资源主管部门统一汇总后上报两部局。[Z]

河南省测绘地理信息技术中心开展 安全生产工作检查

○ 蒋达

6月19日，河南省测绘地理信息技术中心党委书记、主任时统成到河南省测绘院、省遥感院和测绘创新基地检查假期值班值守安全生产工作，调研全省农村集体“三资”清查整治技术支撑保障工作。

在值班室，时统成详细了解值班值守情况，要求落实好河南省委、省政府和河南省自然资源厅安全生产工作部署要求，严格实行领导带班制度，值班信息第一时间上报，紧急情况第一时间处置。外业项目部要落实安全生产责任制，密切关注天气预报和灾害预警信息，做好自身防护，确保安全生产。

在河南省测绘院研发中心和生产作业部门，时统

成实地查看全省农村集体“三资”监管大数据平台运行和军民融合项目生产情况，对假期仍奋战在一线的干部职工表示慰问。为扎实做好下一步工作，时统成指出，一要全力保障平台高效平稳有序运行，持续优化完善平台模块，总结推广工作经验。二要提高工作标准，保证产品质量，打造精品工程。三要充分发挥测绘地理信息技术优势，全面助力全省农村集体“三资”清查整治、保障军民融合发展。

河南省测绘地理信息技术中心办公室、基础测绘处、河南省测绘院等处室、单位负责同志及相关人员参加检查督导。☑（作者单位：河南省测绘院）

《河南省地理信息产业蓝皮书（2026）》 编撰工作会召开

○ 崔晓鑫

7月1日，河南省地理信息产业协会在郑州组织召开《河南省地理信息产业蓝皮书（2026）》（以下简称《蓝皮书》）编撰工作会。会议围绕文稿提质、产业数据归集两项重点工作，复盘前期组稿进展，梳理存在的堵点难点，明确完善举措、人员分工与阶段任务。

会议充分肯定《蓝皮书》组稿工作的阶段性成绩，讨论并确定《蓝皮书》整体框架和编写内容，明确产业发展环境、产业发展现状与年度亮点、技术创新与融合应用、产业发展趋势与挑战、发展建议与展望等章节撰写的人员分工，保障《蓝皮书》编撰工作稳步推进。

会议梳理出当前编撰工作存在的短板：一是行业量化数据储备不足、来源分散，标准化归集机制有待完善；二是各章节撰写深浅不一，企业经营、人才培养、产学研转化等内容分析不够深入；三是区域产业对比数据、配套图表素材欠缺。经现场优化方案，厘清工作思路，会议明确要紧扣数据完善、内容深挖、编审



规范三项重点工作，高标准完成《蓝皮书》编撰。

此次会议标志着《蓝皮书》编制正式从框架搭建、素材收集，转入提质打磨、集中定稿的攻坚阶段。下一步，河南省地理信息产业协会将发挥行业智库与政企纽带作用，依托产业研究成果，助力河南省地理信息产业向规模化、高端化、智能化转型升级。☑（作者单位：河南省第三地质勘查院有限公司）



锚定新坐标 赋能现代化

——河南测绘地理信息行业迈入全域融合发展新征程

○ 本刊特约记者 张永强

“十四五”圆满收官，“十五五”谋篇启航。2026年5月25日，河南省政府发布《河南省国民经济和社会发展第十五个五年规划纲要（2026—2030年）》，系统部署了产业升级、科技创新、城乡发展、对外开放、生态保护、民生改善等十七大任务，绘就未来五年中原发展总蓝图。作为数字经济的空间底座、数据基石、技术支撑，测绘地理信息行业看似隐匿在各行各业背后，实则深度嵌入全省发展的每一个环节。从城市楼宇到广袤田野，从交通枢纽到文旅胜地，从生态监测到应急保障，测绘地理信息以时空数据为纽带，串联起河南高质量发展的方方面面。

“十五五”新征程，河南聚力建设制造、科教、数智、农业、文旅五大强省，打造全国统一大市场循环枢纽与内陆开放新高地。发展布局全面革新之下，测绘地理信息行业彻底摆脱传统单一工程测绘模式，迎来技术迭代、场景扩容、产业升级、价值跃升的黄金机遇期。全省测绘地理信息行业立足全新方位，承接省级战略任务，抢抓时代发展红利，加速全域数字化转型，依托全域时空服务能力，全力支撑河南谱写中国式现代化出彩篇章。

立足时代方位：发展新格局赋予行业新使命

放眼“十五五”，世界百年变局加速演进，国内新质生产力培育、全国统一大市场建设深入推进；推动中部地区加快崛起、黄河流域生态保护和高质量发展两大国家战略纵深推进，河南区位优势、人口市场、产业体系、文化底蕴等传统优势持续放大，郑州都市圈、区域副中心城市建设提速，数智化转型、乡村全面振兴、高水平开放成为发展主线。破解创新能级不足、城乡发展差距、生态安全短板、民生保障薄弱等难题，离不开精准空间数据、全域地理信息、智能时空分析技术提供底层支撑。

测绘地理信息行业已从传统的工程测量、地形测绘、地图制作，被赋予更高的战略定位，成为全省数智强省建设的核心底座、新质生产力培育的重要载体、城乡融合发展的空间支撑、对外开放与市场联通的技术纽带。从省级顶层规划到市县落地项目，从产业园区到乡村田野，从生态保护到民生服务，测绘地理信息的应用边界持续拓宽，正式迈入全域应用、数智引领、产用融合、安全可控的全新发展阶段。

聚焦核心任务：对标省级战略构建全维度服务体系

紧扣河南省“十五五”规划部署，全省测绘地理信息行业围绕基础底座建设、产业升级、战略领域赋能、民生服务提质、安全监管筑牢、改革协同深化六大方向，搭建全链条地理信息服务体系，实现“全省战略部署到哪里，地理信息服务就跟进到哪里”。

夯实新型基础测绘，打造全省统一时空数字底座

建设新型基础测绘体系是“十五五”行业首要任务，推动传统测绘全面向实景三维、时空大数据、空天地一体化智能测绘转型。

一是持续升级全省现代测绘基准体系。优化北斗三号卫星导航定位基准站“一张网”布局与运维能力，实现全省亚米级、厘米级高精度定位服务全域覆盖，常态化开展测量标志巡查、维护与保护，严格推行2000国家大地坐标系统一应用，确保全省地理数据基准统一、标准一致，为跨部门、跨区域数据共享扫清技术障碍。

二是全面推进实景三维河南建设和应用。按照地

形级、城市级、部件级三级标准，分阶段完成全省实景三维模型采集、建模、更新工作，初步建成省、市、县多级实景三维在线与离线相结合的服务系统，为数字河南、数字政府和数字经济提供三维空间定位框架和分析基础。依托省内自主遥感卫星资源，构建空天地一体化遥感监测网络，实现全省亚米级遥感影像常态化获取、智能解译、动态更新，让卫星遥感成为耕地监测、生态巡查、灾害预警、城市治理等领域的“太空慧眼”。

三是深度整合各类空间数据资源。升级自然资源“一张图”平台，推动测绘地理信息数据与国土空间规划、土地利用、水利交通、生态环保、应急管理等行业数据互联互通，建成全省唯一、权威、通用的空间数据总门户，为政府科学决策、资源统筹配置提供统一的数据支撑。

拥抱数智转型，助力培育新质生产力与现代化产业体系

建设制造强省、数智强省是河南“十五五”产业发展的核心目标，而数字化、智能化转型离不开地理信息技术的深度赋能。行业立足技术创新，推动多领域技术跨界融合，助力传统产业升级、新兴产业壮大。

技术创新层面，聚焦自主可控开展核心技术攻关。针对实景三维智能建模、遥感影像自动解译、时空大数据分析、高精度定位算法等关键领域，鼓励省内科研院所、龙头企业组建产学研创新联合体，依托中原科技城、中原农谷等科创平台，研发自主软硬件产品，补齐技术短板，摆脱外部技术依赖。同时，推动传统测绘作业模式全面升级，以无人机、移动测量车、智能传感器替代人工外业，实现数据采集、处理、分析、应用全流程智能化。

产业融合层面，深度对接省内三大万亿级产业集群与优势制造业。提供厂区三维建模、地下管网探测、工业空间管控、园区智能规划配套服务；围绕新能源汽车、国产AI服务器等优势产业，开发高精度自动驾驶地图、车路协同位置服务，助推汽车、数字产业向高端智能方向升级。

抢抓低空经济全新赛道，为空域规划、无人机航线设计、低空飞行监管、空中作业测绘提供全套空间解决方案；依托全省物流网络升级，运用时空大数据优化物流节点布局、运输路线规划，持续降低社会物流成本，推动行业从单一的数据生产，向“数据服务、解决方案、平台运营”一体化转型。

深耕重点领域，全面服务全省重大战略落地见效。围绕农业强省、新型城镇化、文旅强省、美丽河南、统一大市场五大核心战略，匹配专属地理信息应用场景，成为重大战略落地不可或缺的基础支撑。

在乡村全面振兴与农业强省建设领域，锚定“2030年粮食综合生产能力达到1400亿斤”的目标，运用卫星遥感、无人机巡检、精准测绘技术，开展耕地动态监测，全天候严防耕地“非农化”“非粮化”；服务高标准农田、现代农业产业园、种业基地规划建设，依托空间数据优化农业生产布局；聚焦宜居宜业和美乡村建设，完成农村宅基地测绘、人居环境整治空间规划、乡村基础设施数字化建档，助力城乡要素双向流动，推动乡村治理精细化、数字化。

在新型城镇化与区域协调发展领域，保障郑州都市圈同城化及洛阳、南阳副中心城市建设，为城市规划、城市更新、老旧小区改造提供精准测绘成果；服务高速公路、内河港口、引江济淮、西气东输等重大基础设施工程，提供全生命周期测绘保障；加大县域地理信息资源供给，支持大中小城市、小城镇协同发展；为加快形成100个百亿级产业园区地标、20个千亿级市域产业集群、5个万亿级省域优势产业，争创国家新型工业化示范区提供测绘地理信息技术支撑。

在文旅强省与文化遗产领域，紧扣“行走河南·读懂中国”品牌建设，以三维激光扫描、倾斜摄影、实景三维建模技术完成殷墟等大遗址、古建筑、历史街区数字化存档、虚拟修复与永久数字保存，支撑全省大遗址保护走廊建设；为建成“黄河古都”“太行云天”“生态伏牛”“红色大别”等一号旅游公路，新打造5条以上精品旅游公路，做好测绘技术保障工作；依托地理信息搭建智慧景区、沉浸式文旅、线上虚拟游览新业态，推动文旅产业提质增效；配套特色商业街区、夜间经济、一刻钟便民生活圈空间规划，优化文旅消费空间布局。

在生态保护与美丽河南建设领域，构建全域生态监测体系，聚焦黄河流域生态保护、南水北调中线水源地守护等重点工程，利用空天地一体化监测网络，

对水体、大气、土壤、植被开展常态化动态监测，实时掌握生态环境变化；为开展黄河滩区国土空间综合治理，修复黄河干流沿线功能减弱、生境退化湿地，建设沿黄湿地生态保护修复带提供测绘技术支撑；强化地质灾害、暴雨洪涝等自然灾害应急测绘能力，建立快速响应机制，提升全省灾害防御、应急处置水平，筑牢全省生态安全屏障。

在全国统一大市场与高水平开放领域，依托空间数据完善县乡村三级物流配送体系，推进多式联运“一单制”“一箱制”，降低市场流通成本；配合市场监管、公平竞争治理，运用时空大数据规范市场主体布局、监管市场经营行为。立足“空陆数海”四条丝绸之路开放格局，为郑州—卢森堡“空中丝绸之路”、中欧班列、跨境电商等提供跨境位置服务、跨境物流测绘、国际商贸空间分析，助力河南打造内陆开放高地。

普惠民生服务，提升群众获得感

坚持人民至上，推动地理信息服务从政务领域走向大众生活，让测绘成果惠及千家万户。一方面，持续升级“天地图·河南”等公共地理信息服务平台，丰富便民导航、位置查询、政务空间检索、应急点位查询等功能，深度融入社区养老、托育、家政、休闲消费等民生场景，支撑一刻钟便民生活圈建设。另一方面，为老旧小区适老化改造、公共停车设施、充电网络布局等民生工程，提供精准空间规划与测绘服务。

同时，完善全省应急测绘保障体系，建立全天候、快速化应急响应机制，守护人民群众生命财产安全。简化基础测绘成果共享、查询、使用流程，推动公益类地理信息成果有序开放，降低中小企业、广大群众使用门槛，让地理信息成为便民利民的公共资源。

严守安全底线，规范行业监管与市场秩序

“十五五”时期，河南将地理信息安全摆在突出位置，构建全流程、全链条监管体系。严格落实地理信息数据分类分级保护制度，强化涉密测绘成果采集、生产、流转、使用、销毁全闭环管理，加强涉外测绘、跨境地理信息服务安全审查，严防地理信息失泄密风险。

优化行业市场监管体系，统一全省测绘市场监管



规则，推行“一业一查”、信用分级、非现场数字化监管新模式，集中整治无证测绘、超范围作业、成果数据造假、低价恶性竞争等行业乱象；健全测绘资质管理、成果质量抽检、行业信用奖惩机制，构建守信激励、失信惩戒市场环境。对标全国统一大市场建设要求，统一测绘数据标准、成果规范、服务准则，营造公平有序市场环境；结合河南地域实际完善测绘地方标准，围绕实景三维、北斗应用、遥感监测制定本土规范，推动省内技术、产品参与国家、行业标准编制。

深化改革创新，激活数据要素与协同发展活力

紧跟全省深层次改革步伐，推动测绘地理信息数据作为新型生产要素合规流通、价值释放。健全地理信息产权保护、市场交易、市场退出制度，搭建知识产权快速维权通道，激活数据要素市场活力。

加强跨部门、跨区域协同合作，推动测绘数据在政务、农业、交通、文旅、生态等部门高效共享；深化省际测绘合作，开展联合监测、数据共享、协同服务，助力省际区域一体化发展。同时优化营商环境，破除民间资本准入壁垒，鼓励社会资本参与实景三维建设、遥感应用、地理信息平台运营等项目，形成政府引导、市场主导、社会参与的多元发展格局。

明晰发展要求：以五大准则引领行业高质量前行

结合河南省“十五五”战略导向，立足河南测绘地理信息行业发展实际，确立大局、技术、服务、安全、管理五大发展准则，为行业长期发展划定清晰路径。

坚持大局导向，深度融入全省发展战略

行业发展始终对标全省“五个统筹推进”战略导向，兼顾扩大内需与供给升级、新旧动能转换、城乡融合发展、改革与开放、发展与安全，将测绘地理信息工作嵌入制造强省、农业强省、文旅强省、平安河南、美丽河南等各项建设任务之中，以行业发展服务全省现代化建设大局。坚持有效市场和有为政府相结合，公益类基础测绘由政府兜底保障，经营性地理信息服务全面推向市场，充分激发企业活力。

坚持数智引领，推动技术自主创新

全面完成传统测绘向数字化、智能化、三维化转型，将实景三维、时空大数据、北斗高精度应用作为技术发展主线。把科技自立自强放在核心位置，集中力量攻克关键核心技术，推动软硬件产品自主可控。



坚持空天地多源数据融合应用，缩短数据更新周期，实现数据实时采集、智能分析、动态调用，以技术创新驱动业态革新。

坚持全域服务，打造一体化服务模式

实现地理信息服务省、市、县、乡、村五级全域覆盖，兼顾城市与乡村、政务与民生、产业与生态。服务模式从单一提供测绘成果，转向“数据+技术+平台+运营”一体化解决方案，深度融入各行业业务流程。以精准、高效、动态的服务，满足不同场景、不同主体的多元化需求。

坚持底线思维，筑牢安全发展防线

始终把地理信息安全、网络安全、数据安全放在首位，严守国家秘密红线。针对低空经济、自动驾驶、跨境位置服务等新业态，同步配套安全监管规则，做到“新业态、新监管、新防护”。统筹发展和安全，实现行业发展与安全保障同部署、同推进、同落实。

坚持规范管理，构建协同高效治理体系

统一全省测绘基准、数据标准、监管规则，破除行政壁垒与市场分割，适配全国统一大市场建设要求。持续深化行政审批改革、监管模式创新，推行柔性执法、信用监管，营造稳定、公平、可预期的行业发展环境。强化部门协同、区域协同，形成上下联动、左右互通的行业治理格局。

抢抓时代机遇：多重红利叠加开启行业增长新空间

“十五五”时期，政策、市场、技术、产业、开放多重机遇集中释放，为河南测绘地理信息行业打开广阔发展窗口，行业发展潜力全面释放。

政策机遇：顶层设计加持，行业地位持续提升

河南“十五五”规划将数字基建、数据要素、新型基础设施作为重点建设内容。实景三维、北斗网络、遥感卫星、时空大数据平台作为新型基础设施的重要组成部分，将为全省数字政府、数智强省提供重要时空数据支撑。同时，全省大力培育数据要素市场，测绘地理信息作为基础性、战略性数据资源，迎来产权保护、交易流通、价值变现的政策红利。从省级到市县，各项重大规划、重点项目均明确要求配套空间地理信息服务，发展政策环境持续优化。

市场机遇：应用场景全面爆发，市场规模稳步扩容

随着全省重大交通、水利、城市更新、国土整治、生态治理等工程持续落地，传统工程测绘业务将会稳中有增；低空经济、智能网联汽车、数字文旅、智慧农业四大领域，成为行业增量核心引擎。河南新能源汽车产业规模稳居全国前列，自动驾驶高精度地图需求持续攀升；粮食产能提升目标推动智慧农业、遥感监测业务规模化发展；文旅强省建设带动文物数字化、数字景区、沉浸式文旅项目遍地开花；低空经济的快速布局，让空域测绘、无人机应用成为新的增长极，尤其是河南提出2027年低空经济规模达500亿元，安阳、郑州航空港区、焦作等地已启动低空数字底座建设，测绘单位可以为低空企业提供航路划设、三维建模、高精度地图、监管平台搭建等服务，将迎来千亿级低空产业链刚需配套的蓝海。与此同时，一刻钟便民生活圈、社区服务、养老托育等民生场景，推动地理信息服务向基层下沉，大众消费类地理信息市场持续扩容。

技术机遇：技术迭代赋能，转型升级提速增效

北斗三号系统规模化商用、省级遥感卫星稳定运行，让河南拥有自主可控的空天数据资源，数据获取成本大幅下降、效率显著提升。人工智能与实景三维、遥感解译深度融合，实现建模、解译全流程自动化，彻底改变传统人工作业模式，大幅降低生产成本。大数据、物联网技术推动多源数据融合分析，地理信息从“看图说话”升级为“数据分析、趋势预判、智能决策”，技术附加值大幅提升。成熟的技术体系，为行业业态创新、场景拓展提供了坚实支撑。

产业机遇：生态不断完善，集聚效应逐步显现

依托中原科技城、中原农谷、各类产业园区，测绘地理信息企业、科研机构、科创平台加速集聚，产学研用一体化格局基本形成。行业产业链不断延伸，

向上游拓展卫星设备、无人机、传感器研发，向下游延伸数据运营、行业解决方案、位置服务，全产业链发展模式逐步成型。同时，河南大力建设科教强省，高校、职业院校不断增设地理信息、大数据、测绘等相关专业，为行业持续输送复合型技术人才，人才短板逐步补齐，产业发展内生动力持续增强。

开放机遇：内外联通拓展市场边界

对内，河南作为全国统一大市场的循环枢纽，区位优势突出，测绘地理信息服务可辐射周边多省，省际合作项目持续增加，跨区域市场空间不断扩大。对外，依托“空陆数海”四条丝绸之路、自贸区、航空港、中欧班列等开放平台，河南测绘技术、北斗应用、遥感服务、地理信息产品加速走向国际市场，跨境物流、跨境电商配套地理信息服务需求持续增长，行业从“本土发展”迈向“内外双循环”。

展望未来：以数字之力赋能中原现代化新征程

回望发展历程，河南测绘地理信息行业从传统野外纸质测绘起步，逐步完成数字化、信息化迭代，当前正处在智能化深度转型、价值全面跃升的关键节点。站在“十五五”全新起点，未来五年将是行业全域融合、价值释放、品牌崛起的关键五年。

到2030年，河南将建成一体化、全覆盖、动态更新的实景三维空间底座，新型基础测绘体系全面成熟；测绘地理信息技术深度融入制造、农业、文旅、生态、民生各领域，产业规模、创新能力位居全国前列；数据要素市场化配置机制高效运转，地理信息数据价值充分释放；行业监管体系、安全防护体系更加完善，专业队伍全面建成。

届时，测绘地理信息将真正成为河南推进中国式现代化建设的数字基石、创新引擎、服务纽带。中原大地每一片农田、每一座城市、每一条道路、每一处景区，都将有精准的时空数据保驾护航；新质生产力的培育、城乡融合的推进、对外开放的深化、民生福祉的提升，都将依托地理信息技术实现提质增效。

站在新的历史起点，河南全体测绘地理信息从业者将紧扣全省“十五五”发展目标，以精准的空间数据、领先的数字技术、优质的全域服务，为中原大地奋力谱写中国式现代化建设新篇章，注入源源不断的数字时空力量。☑

河南省遥感院一科研项目高分通过验收

◎ 苏杭

6月10日，河南省自然资源厅在郑州组织专家评审组，对河南省遥感院承担的2023年度厅科研项目《自然资源要素遥感智能识别关键技术研究及业务化应用》开展结题验收。经严格评审，该项目以综合评分92分顺利通过验收，获评“优秀”等次。

据了解，该项目紧扣国家及省级自然资源调查监测、人工智能发展战略部署，聚焦遥感智能解译准确率偏低、标准化样本库缺失、分类体系与本土业务适配性不足等行业痛点，立足全省自然资源监测监管实际需求开展技术攻关。实施期间，项目团队结合河南自然资源禀赋特征，创新搭建本土化遥感智能解译分类体系，划分自然地表覆盖、人工目标、变化检测、农作物四大类别，弥补了通用标准难以适配本土业务的短板；同步构建大规模、多类型、多时相遥感解译样本库，自主研发样本采集移动端App与专用制作软件，整合多源历史监测数据，累计汇集全省主要农作物样本20余万条，形成全流程样本技术体系。

核心技术攻关方面，项目融合Transformer、自适应窗口网络、DexiNed边缘检测等前沿算法，重点

构建耕地“非农化”“非粮化”智能识别模型。其中耕地“非农化”识别模型预测准确率达97%，农作物分类模型精度优异，推动遥感解译从传统像素提取向场景认知升级，技术先进性获评审专家一致认可。同时项目选取开封市祥符区开展业务化示范应用，依托“河南一号”卫星影像常态化开展耕地动态监测，形成完整技术流程与监测成果体系，为地方耕地保护、国土空间监管提供有力技术支撑。

专家组经听取汇报、质询讨论与资料核查后一致认为，项目研究目标明确、技术路线科学、创新亮点突出，全面超额完成合同约定任务指标，取得2项国家发明专利、多篇核心论文等丰硕成果，实用性强，推广应用前景广阔。

该项目顺利结题，标志着河南省遥感院在遥感人工智能领域取得重要阶段性成果。下一步，该院将加快技术迭代与成果转化，推动遥感AI技术深度融入自然资源全业务场景，为全省自然资源精细化管理与生态文明建设提供坚实技术支撑。☑（作者单位：河南省遥感院）

邓州市完成农村沟渠水网数字化底数摸排

◎ 宋华营

“摸清沟渠底子，疏通损毁的排水沟，下大雨再也不怕淹庄稼了。”“通盘规划好，田间地头的坑塘小河都能连通起来，能排能浇。”6月26日，由邓州市规划服务中心牵头实施的邓州市农村沟渠水网“一张图”完善提升工作成果正式移交邓州市农业农村局，为全市农村沟渠系统治理提供了精准数字化支撑，获得当地群众普遍认可。

为破解农村沟渠底数不清、管护粗放等难题，邓州市规划服务中心发挥测绘与规划设计专业优势，以数字化手段重塑农村水利治理模式。该中心坚持高标准、严要求推进各项任务，邀请专家开展业务技术培训，对照相关规范文件，统筹专业技术力量与基层一线力量协同推进；成立专项工作领导小组和业务组，责任落实到人，实现工作全域覆盖，多点发力推进任务落地。

工作开展以来，外业队伍克服高温天气、野外作业条件艰苦等困难，逐段实地勘测全域水网，全面摸清乡村水利家底，确保图、数、地三者精准统一。内业人员结合外业勘测地理数据与群众生产生活实际需求，科学谋划沟渠疏浚、新开挖沟渠、设施改造等重点工程，优化形成完善的现状图库与规划图库。经系统勘测梳理，全市现状渠道总长1451千米、现状沟道总长12958千米；规划新增渠道99千米、规划整治沟道268千米，整套成果底数清晰、数据翔实，为全市沟渠互联互通、系统治理提供了坚实的数据支撑。

下一步，邓州市规划服务中心将持续做好技术支撑服务，以精准数字化成果赋能农村水网建设，为全市农业农村高质量发展、乡村全面振兴注入强劲水利动能。☑（作者单位：邓州市自然资源和规划局）

舞钢市“多测合一”信息服务平台建设项目通过验收

◎ 薛善超 张任武

6月12日，舞钢市自然资源和规划局在郑州组织召开“多测合一”信息服务平台建设项目验收会。经专家组评审，项目正式通过竣工验收，为舞钢市深化“多测合一”改革、优化营商环境夯实数字化基底。

此次验收，专家组由网络空间部队信息工程大学、河南省测绘地理信息技术中心、河南省地图院、河南城建学院、河南省水利勘测有限公司等单位的5位专家组成。会上，承建单位就平台建设背景、技术架构、功能模块及试运行成效作了详细汇报，并现场进行了系统演示。验收组严格按照评审程序，通过查阅项目资料、核验系统功能、开展现场质询、集中合议等方式，围绕平台建设内容、技术标准、数据准确性、功能完备性、运行稳定性、成果共享性等关键指标逐项核查。经质询与讨论，专家组一致认为：项目建设流程规范、技术资料齐全、系统功能完善，圆满完成合同约定的全部建设任务，同意通过竣工验收，同时就后续数据互通共享、功能迭代优化、日常运维保障等方面提出了指导意见。

“多测合一”改革是自然资源领域深化“放管服”改革、优化营商环境的重要举措，是精简审批环节、减少重复测绘、提升政务服务效能的关键抓手。自

2025年11月项目启动以来，舞钢市自然资源和规划局高度重视，与承建单位密切配合，全面梳理业务流程，科学规划平台架构与功能模块，完成需求调研、方案设计、系统开发、功能测试、数据对接、机制构建、业务培训和试运行等工作。目前平台已全面建成，初步实现测绘事项统一委托、统一受理、成果共享、线上流转等核心功能，为舞钢市实现“一次委托、联合测绘、成果共享”的改革目标奠定了坚实基础。

舞钢市自然资源和规划局相关负责人表示，“多测合一”信息服务平台是破解工程建设项目重复测绘、审批流程烦琐、数据壁垒等问题的重要数字化载体。平台建成投用后，将整合立项用地、工程规划、施工建设、竣工验收等全流程测绘事项，实现测绘业务线上申报、全程网办、成果共享、多方互认，大幅压缩测绘时限、降低企业办事成本。

下一步，舞钢市自然资源和规划局将以此次验收为契机，全面推进平台正式上线运行，常态化开展业务培训，持续优化平台功能、做好运维保障，加强与住建、人防等部门的协同联动，持续深化“多测合一”改革成果，为全市经济社会高质量发展提供坚实的测绘服务保障。□（作者单位：舞钢市自然资源和规划局）

南乐县开展测量标志专项巡查保护工作

◎ 王彦兵

近日，南乐县自然资源局严格落实《中华人民共和国测绘法》《中华人民共和国测量标志保护条例》及上级部门工作要求，扎实开展全县测量标志专项巡查保护工作，全面掌握点位现状，保障测绘基础设施安全稳定运行。

测量标志是维护国家测绘基准安全、服务经济建设、国防建设与生态文明建设的核心基础设施。此次巡查严格遵循“走到、看到、查到”的工作原则，对韩张法庭、Ⅱ东清16（19）、减店、Ⅰ馆清12等重点测量标志点开展拉网式排查。工作人员重点核查标石、保护井、标志盖等本体设施的完整性，排查是否存在移位、破损、锈蚀、掩埋等问题，清理点位周边砂石、

树叶、泥土等遮挡物，消除取土、挖沙、违规耕作、搭建违章建筑等潜在隐患，确保点位观测环境不受影响。同时，工作人员逐点详细记录现场情况，建立健全巡查台账，为后续管理维护提供准确依据。

该局坚持巡查与宣传同步推进，在巡查现场向周边居民普及测量标志保护知识，解读禁止损毁、擅自移动测量标志及在安全控制范围内从事危害活动的相关规定，明确破坏测量标志的法律责任，通过以案释法方式，引导群众认识到测量标志在国土空间规划、基础设施建设、国防安全中的重要作用，推动形成“保护测量标志人人有责”的社会共识。□（作者单位：南乐县自然资源局）

山河为卷 测绘“尖兵”织经纬

——中铁大桥局一公司精测队工作扫描

◎ 孙东勋 李付伟 汪君

在浪潮汹涌的杭州湾海面，一支由3名测量精英、6名高技能工人组成的精测突击队，用坚韧与精准长期保持着“零误差”的测绘纪录，奋力书写着测绘监测产业工人匠心筑桥、技能报国的时代新篇。

这支专业的精测队隶属于中铁大桥局集团第一工程有限公司（以下称“中铁大桥局一公司”），他们根植中原沃土，不忘初心、砥砺前行，充分发挥国家测绘甲级资质赋能精测队的专业优势，踏遍祖国万里河川，以快、准、稳的优良作风和零误差、零返工、零投诉的骄人业绩，全力保障多个桥梁建造类国家重点项目有序推进。

精兵强将“真本事”

作为桥梁工程测绘中的“尖兵”，中铁大桥局一公司精测队在新时代新征程中应运而生。“加入精测队要求非常严，既要有应知应会知识，还要有应用应变能力，是优中选优！”回想起自己加入精测队的情景，队员李存智感慨万千。

精测队选拔重德、重能、重勤，更重合作、协作。时下，产业工人队伍建设的春风，给精测队打了一针强心剂，他们正在完善体制机制、优化服务供给、推出多项举措，瞄准现代测绘领域急需、急用和长远高质量发展蓄力奋进。

精测队着重强化“党建引领+”机制，构建“党建引领+技能提升+协作攻坚”的队伍建设模式，提高团队整体协同力；打破职工与外协工身份界限，坚持“老带新、熟带生”，将实际表现与工作成果挂钩，让技能迅速提升的外协人员破格融入团队，形成核心战斗力；激发“劳模创新工作室”活力，“揭榜挂帅”，将新课题、新方法、新科技的广泛应用作为重要考核指标，不断提升团队竞争力，逐步打造出一支听指挥、本领强、肯吃苦、善攻坚的优秀团队。

精测队能够脱颖而出，源于多年一线的实践沉淀。

截至目前，团队累计发明专利工法70余项，斩获国家级、省部级和地方各类重大荣誉180余项。其中，全国优秀测绘工程金奖3项、银奖8项、铜奖2项，杭州湾大桥工程施工测量控制、蒙华铁路洞庭湖特大桥施工测量控制、郑济铁路站前工程郑州黄河特大桥精密施工控制测量项目均荣获金奖。《超大跨径悬索桥缆索精确线形控制测量技术》被中国施工企业管理协会授予“工程建造微创新技术大赛”一等奖；《跨海长桥桥墩绝对沉降量的测量方法及系统》荣获“工程建设行业高推广价值专利大赛”一等专利；宜昌夷陵长江大桥测量QC小组，被中国质量管理协会、中华全国总工会、共青团中央、中国科学技术协会授予“全国优秀质量管理小组”。

长期的火热实践，点亮了精测队成员的梦想征途。邱连义获评“全国五一劳动奖章”“火车头奖章”，门学刚荣获“全国青年岗位能手”等称号；李付伟、汪君等测绘技术领头人、专业精英，也成为诸多奖项的见证者与缔造者。

攻坚克难“真担当”

精测队是工程项目的“眼睛”，肩负项目控制网和重点项目精密控制测量服务重担，一切靠精准的数据说话。无声的召唤、团队的聚力、拼搏的姿态，哪里有需要，哪里就是精测队的战场。

4月的长白山飘雪冷寂，在沈白高铁和松长高速公路建设的深山密林里，精测队队员扛着沉重的测量仪器，蹬着没膝的积雪，深一脚浅一脚地奔波于山林野外，精准测量每一个控制点。雪水和汗水浸湿了鞋袜，耳朵脸颊被冻得通红，可他们没有丝毫退缩，依然坚守在测量一线，以严谨的态度和精湛的技能，确保每一组数据准确无误。

大海更是精测队队员磨砺的战场。在杭州湾跨海大桥运营监测中，队员们克服海风大、浪潮大、温差大、

天气多变、作业环境复杂的“凶险”，抢抓最佳测量窗口期，在大桥两岸搭起帐篷，连续三天三夜坚守一线，昼夜开展各项监测任务，为大桥的安全运营提供了可靠的数据支撑。

呼南高铁河南焦平洛阳黄河公铁大桥项目启动后，精测队闻令而动、迅速集结，第一时间赶赴施工现场，从控制点布设到数据采集分析，争分夺秒、高效推进，用最短时间完成前期测量工作，为项目顺利开工扫清了障碍。

春节过后首日，队员们挥手告别亲人，顶着凛冽寒风，踩着泥泞山路，在野外连续作业数十日，高效推进豫西深山架卢十几千米的线路精测，将满腔热情与精准数据刻画在大山的沟壑深处。

为完成西部山区复杂地势地貌条件下工程精密测量任务，精测队“揭榜挂帅”，边探索边学习边攻关。他们在山区工程项目中开展多星座 GNSS、单 GPS、单 BDS 的测量研究，经过设计、模拟、改进、演练、优化和总结的集中研究，成功研发单 BDS 系统实施精密控制测量、RTK 测量等技术方案，并制定技术性文件，获得中国中铁“科技进步一等奖”，为独立使用自主可控的精准测量服务提供可靠的技术和理论支撑，积累了丰富的实践经验。

精益求精“真英雄”

既要高原，更要高峰，是精测队的卓越追求与顶端逻辑。

郑州万滩黄河公铁大桥是郑州至济南高速铁路全线的关键控制性工程，是当时我国长度最长、跨度最大、设计时速最高的无砟轨道钢混叠合连续钢桁梁桥。该桥基础施工环境差、水上施工周期长、技术要求标准高，国内无同类施工经验，这给大桥施工建设和全周期控制测量精度都提出了全新考验。首次实施超千米的大跨度连续钢桁梁无砟轨道施工测量，无任何经验可循，监测难度大；国内最长无砟轨道钢桁梁主桁的制造和安装、合龙精度要求非常高，稍有差错，就会前功尽弃；公路预制预应力混凝土桥面板与钢桁梁间的接合工序复杂，施工难度大，控制精度要求高。

面对一系列挑战，测量团队迎难而上，学工艺、查资料、请专家、跑现场，一台一台仪器监测，一个一个数据比对，在摸爬滚打中逐渐掌握要领。为了保证钢梁测控精度，他们提前层层交底，熟悉各环节精度控制要求，按照先下弦、后上弦、再斜杆的安装顺



● 监测桥梁线形

序压实测量过程，严格监控钢梁杆件合龙、铁路桥面板安装关键工序动态监测，确保三主桁 9 个合龙点准确对位，成功实现无应力精准合龙，创造了长虹飞架、高铁飞驰奇迹。

重大工程的测控服务是对精测队科技攻关能力、过硬心理素质和团队扎实作风的全面检验。团队依托项目提炼总结的大跨度钢桁梁无轨道 CP III 高程“相对高差法”测量控制技术、长联大跨连续钢桁梁 CRTS-I 型无砟轨道施工测量技术等成果，荣获 2024 年“国家优秀测绘工程金奖”，填补了国内长桥大跨连续钢桁梁无砟轨道精密测量空白。

无独有偶，洛阳黄河公铁大桥基础施工中，精测队急现场之所急，发明和安装了以实时在线、液体静力水准、倾斜姿态、应力“四大监测系统”集成的智慧监测“天眼”，全方位对围堰结构的位移、沉降、倾斜和应力异变等进行高精度监测，为 4 座水中墩深基坑围堰施工的结构安全、高品质建设筑起一道安全质量防线。

“专家”“劳模”“工匠”“能手”是干出来的，也是赛出来的。近年来，精测队队员罗亚栋荣获“湖北工匠杯”桥梁行业测量技能大赛“冠军”，而团结协作、奋勇争先的精测队也斩获“团体一等奖”。

从初出茅庐的“新手”到独当一面的“能手”，从羞涩的测量员到团队的技术骨干，精测队的每一名队员在一次次完成控制网首次复测、专项测量、定期复测、关键结构抽检等各项任务中经历着成长与蜕变，在平凡的岗位上创造着不平凡的业绩，谱写了一曲曲新时代产业工人拼搏建功、实干奉献的青春赞歌！

（作者单位：中铁大桥局集团第一工程有限公司）

“岗—技—德”三维融合：高职《水利工程测量》课程思政体系的探索与实践

杜梦豪 高尚

(河南水利与环境职业学院, 河南 郑州 450000)

摘要：高职水利测量课程普遍存在“岗位需求与教学脱节、技能训练与思政分离、评价体系重技轻德”的“岗—技—德”三维断层问题，导致学生“会操作但不懂岗位、有技能但缺素养”。以《水利工程测量》为研究载体，紧扣《国家水网建设规划纲要》对“水利工匠”的素养要求，提出“岗德协同、技德融合、岗技对接”三大设计原则，构建“网—链—点”课程思政体系，创新“双导师三阶段七环节”实施路径，设计“三维一体”评价机制。通过挖掘水利特色思政元素，将“艰苦奋斗、严谨求实”精神嵌入“测—算—绘—用”全技能环节，实现“岗位对接—技能达标—素养养成”的协同育人目标。

关键词：高职教育；水利工程测量；课程思政；岗—技—德融合；双导师协同

1 引言

2024年《国家水网建设规划纲要》将“水利人才的工匠精神与责任担当”纳入国家水安全战略，教育部《高等学校课程思政建设指导纲要》进一步要求工学类专业“以工程伦理为纽带，实现职业技能与价值引领的统一”^[1-3]。与此同时，《“十四五”测绘地理信息科技发展规划》更将“智能测绘装备研发与应用”列为重点任务，低空经济、实景三维中国建设等行业新趋势，推动水利测量技术从“传统钢尺量距”向“无人机+GNSS”迭代^[4]，这不仅要求学生掌握新技术，更需建立“数据精准”的职业操守与“水利为民”的家国情怀，二者共同构成《水利工程测量》课程思政改革的核心动因。

研究的理论价值在于突破“思政元素简单叠加”的传统模式，构建“岗位需求锚定、技能训练承载、思政素养落地”的三维融合理论框架，丰富高职工程类课程思政的“职业性”理论内涵，以期为同类课程提供可复制的“问题诊断—体系构建—路径实施—评价优化”改革范式，解决“融不进、落不实、评不了”的核心痛点。研究目标聚焦三方面，即建立“岗位标准—技能指标—思政目标”的对应关系，以破解岗技脱节；创新“校企双导师协同”机制，以解决技德分离；设计“可量化、可改进”的三维评价体系，以弥补岗德断层。

2 “岗—技—德”三维融合的核心设计原则

针对“三维断层”困境，需从“岗位、技能、思政”三者的内在关联出发，提出具有针对性的设计原则，为后续体系构建提供理论支撑。

2.1 岗德协同原则：以岗位需求锚定思政方向

“岗德协同”的核心逻辑是：思政素养需匹配岗位核心素养，避免空泛化。水利测量员岗位的“数据严谨性、安全规范意识、应急责任担当”，与新时代水利精神高度契合，这为岗德协同提供了天然纽带。具体实践中需通过“岗位任务→思政元素→教学载体”的转化路径实现协同，使思政教育从“抽象概念”转化为“岗位行动准则”，解决“岗德断层”问题。

2.2 技德融合原则：以技能训练承载思政素养

“技德融合”的关键在于：将思政素养嵌入技能训练的全流程，避免“两张皮”。从技能目标设计到考核评价，需同步融入思政要求：技能目标设计时，明确“无人机测绘”需同时达成“完成库区建模”与“培养团队协作”；技能训练中，通过“跨组核验数据”“仪器三次校准”等操作，渗透“诚信求实”“精益求精”精神；技能考核时，将“数据真实性”“规范操作度”纳入评分标准，这种“练技能即育素养”的设计，让学生在实操中自然内化思政，破解“技德分离”问题。

2.3 岗技对接原则：以职业标准重构教学内容

“岗技对接”的本质是：将“岗位工作模块”转化

项目来源：河南省高等学校重点科研项目(No.24A570001)

作者简介：杜梦豪(1998—)，男，汉族，硕士，助教，研究方向：摄影测量与遥感技术。

为“课程教学项目”，解决“岗技脱节”。依据《工程测量员国家职业标准》，将课程重构为“水准测量、GNSS 控制测量、无人机测绘、水利工程应用”四大项目，每个项目均明确“岗位要求—技能指标—思政目标”的对应关系。通过这种“三位一体”的项目设计，确保教学内容与岗位要求同频共振。

3 “网—链—点”课程思政体系的构建

基于上述原则，构建“网—链—点”一体化体系，实现“岗—技—德”从理论原则向实践载体转化。针对覆盖不全、衔接不畅、融合不深的问题，构建“网、链、点”，“网”指课程群思政网络，“链”指技能—思政育人链，“点”指岗位思政切入点^[5-6]。

3.1 “网”的构建：课程群层面的三维覆盖

单一课程难以实现“岗—技—德”的全周期培养，需将《水利工程测量》纳入“水利工程专业群”统筹设计，形成“基础课筑基、专业课核心、实训课强化、实习课落地”的思政网络。课程网络设计依据学生“认知—实践—内化”的成长规律，通过“岗位难度递进、技能复杂度提升、思政深度深化”的协同，分层递进实现“岗—技—德”三维融合。

3.2 “链”的打造：技能—思政的全流程融合链

“链”的核心是解决思政元素零散化问题，通过“技能环节→思政元素→融合方式”的对应，将思政嵌入技能培养每一个环节，以无人机测绘技能模块为例，水利工程测量课程思政“链”如表 1 所示。这种技能环节与思政元素一一对应的链条设计，确保思政不会脱离技能空谈，而是成为技能提升的内在动力。

表1 水利工程测量课程思政“链”

技能环节	思政元素	融合方式
无人机组装：对接“设备维护”岗位要求	严谨细致	采用“教师示范+学生实操”方式，强调“螺丝拧紧度影响飞行安全”
航线规划：对接“依法飞行”岗位要求	法律意识	通过“某项目因未申请空域导致无人机被扣”案例，讲解《民用无人驾驶航空器系统管理暂行规定》
数据建模：对接“三维建模”岗位要求	科技自信	对比“国产大疆与进口无人机的建模精度”，讨论“国产技术替代的国家意义”
成果应用：对接“防洪调度”岗位要求	社会责任感	将“库区模型”用于“社区防洪预案制定”，让学生直观感受“测量技术的民生价值”

3.3 “点”的切入：岗位场景化的思政载体

“点”指针对具体岗位场景设计的思政切入点，是“网”与“链”的落地抓手。为避免思政元素与岗位脱节，

需基于“岗位要求—技能载体—思政目标”三维筛选标准，构建“四主题”思政元素库，确保每个“点”都能精准服务三维融合^[7]。水利工程测量课程“四主题”思政元素库如表 2 所示，每个思政元素都不是孤立的“案例”，而是“岗位场景—技能操作—思政素养”的有机整体，这种“场景化切入”能有效避免“贴标签”式思政，使三维融合更具感染力。

表2 水利工程测量课程“四主题”思政元素库（节选）

思政主题	岗	技	德	融合逻辑
测绘技术发展史	水利测量技术迭代 岗位需求	钢尺量距、GNSS 测量	创新精神、科技强国	通过“从依赖进口到国产自主”的技术变迁，让学生理解技能提升与国家发展的关联
榜样人物	数据核验、仪器校准 岗位规范	水准测量数据三次核验	爱岗敬业、诚信求实	以国测一大队“数据零误差”事迹为榜样，引导学生将“诚信”转化为“岗位操作习惯”
大国重器	重大水利工程测量 岗位任务	渠道测量、施工放样	民族自豪、责任担当	结合“南水北调测量支撑”案例，让学生认识岗位工作对国家工程的贡献
社会服务	应急测量 岗位任务	应急测量、地形测绘	奉献精神、责任担当	通过郑州“7·20”特大暴雨应急测绘、社区防洪设施测量，培养学生应急响应能力与责任担当

4 “双导师三阶段七环节”实施路径

体系构建后，通过可操作路径将“岗—技—德”转化为教学实践。基于校企双导师协同与学生认知规律，设计“课前—课中—课后”三阶段，嵌入“明目标、导案例、探方法、析知识、练技能、评成效、拓延伸”七环节，确保三维融合落地见效。以无人机测绘（水库库区三维建模）为例，教学环节设计如下：

4.1 课前明目标：建立三维认知

课前阶段的核心目标是让学生带着三维目标进入课堂，避免盲目学习，由双导师协同开展两项工作：

一是岗位认知与思政引导：企业导师展示“水库巡检中如何记录数据、处理异常情况”，同步讲解“测量数据与下游农田灌溉的关联”；校内教师推送“北斗系统建设历程”纪录片，回答“国产测量技术如何提升岗位效率”。通过“企业讲岗位、学校讲价值”的分工，帮助学生建立“岗—技—德”的初步关联。

二是任务驱动与承诺建立：双导师共同设计“水库大坝沉降监测”模拟任务，明确三维目标；要求学生分组签订“岗位思政承诺书”，将“三维目标”转化为“可执行的操作承诺”，这种“承诺式学习”能强化学生的责任意识，为课中实践奠定基础。

4.2 课中实践：深化三维融合

课中是三维融合的核心环节，需通过多环节层层递进，将“认知”转化为“实践能力与素养”。

导案例：引入“郑州‘7·20’特大暴雨中无人机测图助力救援”案例，播放“救援人员根据无人机地图转移群众”的画面，引导学生讨论“测量技术的岗位价值与社会意义”，激发学生的使命感。

探方法：学生分组探讨“无人机组装与航线规划方案”，企业导师分享国产无人机在南水北调巡检中的应用经验，对比“进口与国产仪器的性价比”，提问“为何要优先选用国产设备”，培养学生的创新思维与科技自信。

析知识：教师演示“无人机数据采集流程”，重点强调“飞行前空域申请、飞行中避开高压线、数据后处理三次核验”，穿插“某项目因违规飞行导致设备损毁”案例，培养学生法治意识，将“规范操作”转化为“岗位习惯”。

练技能：分组开展“库区建模”实操，校内导师考核技能熟练度，企业导师观察岗位规范遵守情况与团队协作表现，实时纠正“岗-技-德”偏差。

评成效：从“岗、技、德”三维度进行评价，模型是否符合防洪调度标准需求；数据准确率、操作规范度；团队协作、数据真实性。评价主体多元，教师点评“某组因数据核验不细致导致模型偏差，不符合岗位要求”，企业导师补充“工程中此类偏差可能导致防洪方案失误，危及群众安全”，让学生直观感受三维融合的重要性。

4.3 课后拓延伸：推动三维内化

课后阶段的核心是“让三维目标从课堂走向实践”，实现素养的长效内化，避免“课中学、课后忘”，主要通过以下活动实现：

岗位实践与社会服务：组织学生参与社区防洪设施测量志愿活动，模拟测量员岗位，为老旧小区绘制“雨水管网地形图”，帮助社区制定“防洪应急预案”，在服务中理解测量工作的社会价值。这种真实岗位场景的实践，让思政素养真正内化于心、外化于行。

反思总结与深度内化：要求学生提交“岗-技-德”三维融合实训日志，记录技能掌握情况、岗位规范遵守情况，反思“如何在岗位操作中体现思政素养”，如某学生记录“因未校准仪器导致数据偏差，今后必按岗位标准完成三次核验，坚守数据真实”；教师每周选取优秀日志在课堂分享，以同伴榜样促进共同成长。

5 “三维一体”评价体系设计

为客观评估“岗-技-德”三维融合的改革成效，需打破“教师单一评价”模式，引入企业、学生、社会三方评价主体，构建“岗-技-德”三维一体、“过程+结果+增值”评价机制，实现“全周期、可量化、闭环化”评价。

5.1 评价维度与指标量化

评价指标紧扣“岗-技-德”核心目标，基于《工程测量员国家职业标准》与企业反馈，制定三级评价指标体系，其中“岗”的权重30%、“技”的权重40%、“德”的权重30%，体现三者同等重要的理念。“岗-技-德”三维一体评价指标体系如表3所示。

表3 “岗-技-德”三维一体评价指标体系（节选）

一级指标	二级指标	三级指标（量化标准）	权重	评价主体
岗 (30%)	岗位规范	实训/实习中按岗位标准操作	15%	企业导师、教师
	遵守度	次数占比≥95%		
	岗位任务完成度	真实岗位任务（如水库巡检）完成质量≥98%	15%	企业导师
技 (40%)	技能操作熟练度	仪器操作时间≤15min/点，技能考核通过率≥95%	20%	教师、企业导师
	证书获取率	技能等级证书获取率≥90%，技能竞赛获奖率≥30%	20%	教师
	职业操守表现	数据造假次数=0，主动纠正操作错误≥2次/学期	15%	教师、学生互评
德 (30%)	社会责任感	思政实践时长≥10小时/学期，思政日志优秀率≥60%	15%	教师、社会反馈

从表3可见，每个指标均有明确的量化标准，如“岗位规范遵守度”通过“按标准操作次数占比”衡量，“职业操守表现”通过“数据造假次数”衡量，避免“模糊化评价”，使成效评估更具客观性。

5.2 评价方式协同组合

采用“过程性评价+结果性评价+增值性评价”的组合方式，覆盖“岗-技-德”培养的全周期：

过程性评价（70%）：贯穿课前、课中、课后，通过教学平台记录学生的“岗位认知问卷得分”“实训操作视频分析结果”“思政日志关键词提取”等数据，动态监测三维目标的达成情况。

结果性评价（30%）：聚焦三维融合的最终成效，包括“技能等级证书考核”“技能竞赛成绩”“企业岗位适配度调查”。

增值性评价：通过“入学-毕业”的纵向对比，评估“岗-技-德”的提升幅度。入学时开展职业认知与技能基础问卷，毕业前开展三维素养测评，对比“岗位认知度”“技能熟练度”“思政素养”的变化。

（下转第24页）

基于多源数据的城市土地利用制图研究

邓国威

(科学城(广州)土地资源开发有限公司, 广东 广州 510700)

摘要:精准的城市土地利用制图是国土空间规划和精细化治理的重要基础。以广东某市为例,选取面向对象的空间单元,融合GF-2高分辨率遥感影像与高德POI等多源数据开展土地利用制图。首先基于道路约束的多尺度分割获得对象单元,并提取光谱、纹理、SIFT及景观格局指标等特征;继而将“视觉词”与POI构建为输入,利用LDA模型获取高层语义特征,最后采用随机森林分类六类城市土地利用。结果表明,该方法总体精度约70%,Kappa系数接近0.8,多源语义特征(尤其POI与景观格局)对提升精度贡献显著,对象级单元在复杂混合功能街区的边界刻画和类型表达上具有优势,为大城市建成区精细土地利用制图提供了可推广的技术路径。

关键词:多源数据;面向对象;城市土地利用;语义分类

快速城市化推动土地利用形态与功能结构持续演变,准确获取城市土地利用格局已成为国土空间规划、用途管制和精细化治理的关键^[1]。传统依赖外业调查和统计资料的现状更新成本高、周期长,难以及时反映大城市用地结构的快速变化。随着高分辨率遥感影像和兴趣点(POI)等社会感知数据的大量获取,多源数据融合逐渐成为城市土地利用制图的重要发展方向。遥感影像在建筑、道路、水体和绿地等物理特征刻画上具有优势;POI等数据可从功能属性和人类活动侧面揭示城市空间使用方式,两者有明显互补性。

在此背景下,空间基本单元的选取直接关系到特征表达与制图精度。像元或规则网格虽便于处理,但难以贴合真实地物边界,容易产生“椒盐噪声”和功能混合模糊;面向道路的街区单元具备规划语义,却尺度偏粗,不利于刻画内部异质性^[2]。面向对象的方法通过对高分辨率影像多尺度分割,可在形态上紧贴地物轮廓,为多源特征在统一空间载体的融合提供条件^[3]。基于此,以广东某市为研究区域,以对象为基本单元,融合高分遥感影像与POI等多源数据,构建面向城市土地利用的特征体系与分类流程,形成一套适用于高密度建成区的精细土地利用制图技术路径,为大城市内部功能结构识别和国土空间规划提供参考。

1 研究区域与数据

1.1 研究区域概况

选取广东省某市作为研究区域,该区域面积约78.66km²,是典型的高密度、高强度建成区域。城市

化程度极高,商业办公、金融服务、行政管理、居住社区、城市村落以及大型公共设施在相对有限的空间内高度混合,呈现用地类型复杂、功能复合度高、景观碎片化明显的典型大城市内部结构特征。

研究区域内部地势相对平坦,东南部受山体影响形成一定生态空间,区内公园绿地分布较为均衡,中心区依托市政府及CBD区域形成高强度商务集聚。住宅小区主要分布在研究区中部和北部区域,大型城市村落仍保留了密集的传统街巷格局,具有显著的城中村形态特征。交通方面,拥有密集的主干路网及多条地铁线路,是城市功能流动的重要节点。整体而言,研究区域城市功能类型典型、区内空间差异明显,为开展基于多源数据的城市土地利用制图提供了良好的实验场景。

1.2 数据来源与预处理

研究综合使用遥感影像、兴趣点(POI)数据、道路数据以及土地利用数据等多类信息,构建多源数据融合的输入体系。

1.2.1 遥感影像数据

采用高分二号(GF-2)卫星影像作为主要遥感数据源,如图1所示。GF-2影像具备1m全色分辨率和4m多光谱分辨率,通过全色与多光谱融合可获得约1m分辨率的高空间精度影像,能够清晰表达建筑物轮廓、道路纹理、绿地结构等城市细部信息^[4]。研究区使用两景覆盖全区域的影像数据,获取时间分别为2024年秋冬季,纹理清晰、光照条件良好,有利于后续对象级分割和地物特征提取。

作者简介:邓国威(1990—),男,汉族,本科,助理工程师,主要从事用地报批工作。



图1 研究区域GF-2影像

影像预处理流程包括辐射校正、大气校正、几何校正和匀色处理，确保不同景影像在光谱一致性和空间精度上达到统一标准。随后对融合后的影像进行裁剪并拼接，使其完整覆盖研究区范围，为后续的多尺度影像分割奠定基础。

1.2.2 POI 感知数据

POI 数据来源于高德地图开放数据，时间约为2018年。数据包括地名、地址、经纬度以及详细的分类编码，涵盖餐饮、购物、居住、教育、医疗、行政办公、文体、交通枢纽等众多城市功能类型。POI 数据以其丰富的功能语义信息，在城市土地利用识别中能够弥补遥感影像在功能层面的不足。

为便于分析，研究对原始 POI 分类进行归并，将其整合为若干与城市土地利用密切相关的功能类别，例如住宅、商业、工业、教育、医疗、公共管理服务、休闲娱乐和交通设施等。在对象级空间单元上计算每类 POI 的数量、密度以及类型组合，用以反映不同区域的功能集聚强度和空间结构特征^[5]。

1.2.3 道路数据

道路数据来自开放街图 (Open Street Map)。原始道路数据经过拓扑检查、冗余线段删除和道路等级划分等处理后，用于生成研究区域的交通网络基础底图。道路数据在研究中有两方面用途：一是作为对象级分割的约束条件，使分割单元在空间上避免跨越主要道路，从而更符合城市街区边界特征；二是在土地利用分类中作为辅助参考，用于剔除道路区域并提取与建筑功能相关的空间结构信息。

1.2.4 土地利用数据

土地利用数据来源于规划部门发布的最新规划用地图层，用于训练样本选取与分类精度验证。利用其

明确的规划用途信息，可以在高分影像上选取具有代表性的纯样本区，确保训练数据的准确性和类别均衡性。同时，该数据也作为分类结果的对照基准，用以评估模型在不同用地类型上的识别能力与空间一致性。

2 技术流程

研究旨在基于多源数据构建对象级城市土地利用制图流程，整体框架包括：（1）对象级空间单元构建；（2）多源特征提取；（3）LDA 语义特征建模；（4）随机森林分类模型构建；（5）精度评价与特征重要性分析。

2.1 对象级空间单元构建

城市土地利用制图的基础在于合理的空间基本单元。与像元或规则网格相比，面向对象的方法能够更贴合真实地物边界，适用于精细尺度的城市解析。研究采用“影像多尺度分割+道路约束叠加”方式构建对象级空间单元。

2.1.1 多尺度影像分割

基于 GF-2 影像，采用区域生长与光谱形状综合的多尺度分割算法。在分割过程中设置光谱权重 w_s 、形状权重 w_{sh} 及分割尺度参数 S 。分割准则公式如下：

$$f = w_s \cdot h_{\text{spectral}} + w_{sh} \cdot h_{\text{shape}} \quad (1)$$

h_{spectral} 为对象内部光谱的均一性度量， h_{shape} 包括紧致度 (Compactness) 与光滑度 (Smoothness)。

通过不断试验，保证对象内部具有较高同质性、边界尽可能沿建筑、绿地、水体等真实边缘分布。根据城市市场景复杂程度，初始尺度设置为 200~300 像元，并结合样例区域手动调整。

2.1.2 道路网络约束与对象单元生成

影像分割完成后，将 OSM 道路数据进行缓冲区处理，设缓冲距离为不同等级道路的 3~15m，使道路区域与影像斑块剔除或切割，从而避免对象跨越街区。最终，去除过小斑块（面积 < 500m²），确保对象单元具有实际空间意义。对象单元集合如下：

$$\Omega = \{o_1, o_2, \dots, o_n\} \quad (2)$$

o_i 表示第 i 个对象，是后续特征提取与分类的基本单元。

2.2 多源特征提取

在每个对象单元叠加遥感影像与 POI 数据，提取如下三类特征：低层影像物理特征、POI 语义特征、景观格局特征。研究通过将低层特征转换为“视觉词”，为 LDA 建模奠定基础。

2.2.1 低层影像物理特征

低层影像物理特征指的是直接从原始遥感影像像元及其邻域中计算得到的、反映地表物理属性的基本量化指标。这类特征不涉及高层语义类别或复杂空间关系，而是基于影像的光谱响应、空间纹理与几何结构等底层视觉信息，用于描述对象的本质观测特性，主要包括光谱特征（如原始波段比值，光谱指数 NDVI、NDBI，几何形状特征等）、纹理特征、几何/形状特征^[6]。

(1) 光谱特征

对象的光谱均值与标准差为最基础的地物反射特征。四个波段（蓝、绿、红、近红外）对应的光谱矩阵如公式（3）和（4）所示。

$$\mu_b = \frac{1}{|o_i|} \sum_{x \in o_i} I_b(x) \quad (3)$$

$$\sigma_b = \sqrt{\frac{1}{|o_i|} \sum_{x \in o_i} (I_b(x) - \mu_b)^2} \quad (4)$$

其中， $I_b(x)$ 为像元 x 在波段 b 的灰度值， $|o_i|$ 为对象包含的像元数。

此外，为增强光谱表达，需计算 NDVI（归一化植被指数）、NDBI（归一化建筑指数）等指数，计算公式如下：

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}} \quad (5)$$

$$\text{NDBI} = \frac{\text{SWIR} - \text{NIR}}{\text{SWIR} + \text{NIR}} \quad (6)$$

(2) 纹理特征 (GLCM)

基于灰度共生矩阵 (GLCM)，计算角二阶矩 ASM、对比度 CON、相关性 COR 等指标，计算公式如下：

$$\text{ASM} = \sum_{i,j} P(i,j)^2 \quad (7)$$

$$\text{CON} = \sum_{i,j} (i-j)^2 P(i,j) \quad (8)$$

$$\text{COR} = \frac{\sum_{i,j} (i-\mu_i)(j-\mu_j)P(i,j)}{\sigma_i \sigma_j} \quad (9)$$

这些特征反映城市场景的粗糙度、重复性和结构性，用于区分高层建筑区与绿地等。

(3) SIFT 局部特征

对影像进行密集 SIFT 特征提取，得到每个局部区域的 128 维描述子。由于 SIFT 特征维度高、数量大，研究采用 K-means 聚类将其量化成视觉词，公式如下：

$$V_{\text{sift}} = \{v_1, v_2, \dots, v_{K_s}\} \quad (10)$$

其中， K_s 为 SIFT 词典规模，一般在 200~400 之间。每个对象内部的 SIFT 特征统计为：

$$h_{\text{sift}}(o_i) = (c_1, c_2, \dots, c_{K_s}) \quad (11)$$

其中， c_k 为对象内属于第 k 个词的局部特征数量。

2.2.2 POI 语义特征

对于每个对象，统计落在其内部或邻域缓冲区（如 30m）内的不同类别 POI 数量，构建 POI 词袋：

$$h_{\text{poi}}(o_i) = (p_1, p_2, \dots, p_j, \dots, p_m) \quad (12)$$

其中， p_j 表示第 j 类 POI 的数量， m 为 POI 类别数（住宅、商业、教育、医疗等）。

2.2.3 景观格局特征

基于对象级土地覆盖图，计算其景观格局指标，包括景观占比 (PLAND)、斑块密度 (PD)、破碎度指数等，公式如下：

$$\text{PLAND}_k = \frac{A_{i,k}}{A_i} \times 100\% \quad (13)$$

其中， A_i 为对象面积， $A_{i,k}$ 为类型 k 占据的面积。

景观多样性使用 Shannon 指数表示，公式如下：

$$\text{SHDI}(o_i) = -\sum_{k=1}^K p_k \ln p_k \quad (14)$$

2.3 LDA 语义特征建模

虽然多源特征在量纲和含义上各不相同，但其本质都可以抽象为对“局部模式”的计数。为缩减维度并增强可解释性，研究将光谱词、纹理词、SIFT 视觉词和 POI 功能词统一表示为“词袋”，并采用潜在狄利克雷分配 (LDA) 模型进行语义主题分析。

具体而言，将每个对象视为一篇文档，文档由不同来源的“词”构成，例如建筑密集区可能同时包含大量“高反射硬质面”词、“高密度建筑纹理”词和“办公、商业类 POI”词。LDA 模型假定每个对象可以由若干潜在主题混合而成，每个主题对应一定的词组合模式。通过模型推断，可以得到两类结果：一是每个主题在词空间的概率分布，可理解为某种典型城市功能或景观组合；二是每个对象在各个主题上的权重，即对象属于不同功能语义的概率。

在实际操作中，需要预先设定主题数和各类词典的规模。研究通过多组试验在精度与计算成本间进行折中，选取较为稳定的一组参数（主题数为 50、低层影像物理特征词典 1000 词，POI 语义特征词典 600 词、景观格局特征词典 400 词）。最终得到的主题权重向量作为对象的高层语义特征，既保留了多源信息，又在一定程度上实现从低层物理特征到功能语义的映射。

2.4 随机森林土地利用分类模型

在完成对象级空间单元构建和多源语义特征提取后，研究采用随机森林模型进行城市土地利用分类。

随机森林属于集成学习方法，通过构建多棵决策树并对其输出进行投票，具有对高维特征的鲁棒性和较强的非线性拟合能力，适合处理遥感与社会感知数据融合后的复杂特征空间。

首先，将 LDA 输出的语义特征、景观格局特征以及语义对象信息（如通过深度学习识别的操场等）进行拼接，形成统一的对象级特征向量。然后，在参考土地利用数据的基础上，选取分布均衡、内部同质且空间覆盖合理的样本对象作为训练集和验证集。在训练过程中，通过调整决策树数量、单棵树可用特征数等关键参数，在保证模型稳定性的前提下尽量提高分类精度。

随机森林的一个重要优势在于能够自动给出各特征的“重要性”指标，可用于分析不同数据源和不同特征类型在土地利用识别中的贡献程度，为后续数据采集与方法改进提供依据。

2.5 精度评价与特征重要性分析

为系统评价基于多源数据的对象级土地利用制图效果，研究采用混淆矩阵、总体精度和 Kappa 系数等传统定量指标，对制图结果与参考数据进行对比分析。总体精度反映所有类别整体分类正确的比例，Kappa 系数则综合考虑了随机一致性，是衡量分类结果可靠性的重要指标。与此同时，分别计算各土地利用类型的生产者精度和用户精度，分析不同类型的漏判与误判情况，识别容易混淆的用地组合，例如商业商务与公共管理服务、住宅与部分教育用地等。

3 结果与精度分析

在构建对象级空间单元、完成多源特征提取与融合后，研究基于随机森林模型生成了广东省某市土地利用分类结果，如图 2 所示，其中（a）为真实地图，

（b）为分类结果图。分类结果不仅呈现出较为清晰的整体空间结构，也在细尺度上揭示了城市功能的局部差异和混合特征。本节将从空间分布特征及典型区域分析、易混淆类型解析以及分类精度评价等方面对制图结果进行系统分析。

3.1 城市土地利用空间格局及典型区域分析

制图结果表明，研究区域土地利用空间结构整体清晰。商业商务和公共管理服务主要城市中心大道和中心区轴带集聚，高层建筑密集、硬质面比例较高，商业、办公、行政等 POI 高度叠加，形成典型的综合功能核心区。规划住宅用地多分布于研究区域中北

部，建筑组团规整、内部绿地均匀，居住及生活服务类 POI 占优势；城中村则集中在老城片区，主要表现为建筑极度紧凑、街巷狭窄、纹理粗糙且绿地稀少，生活服务类 POI 高密度集聚，使其在空间上呈现连续而边界清晰的团块。

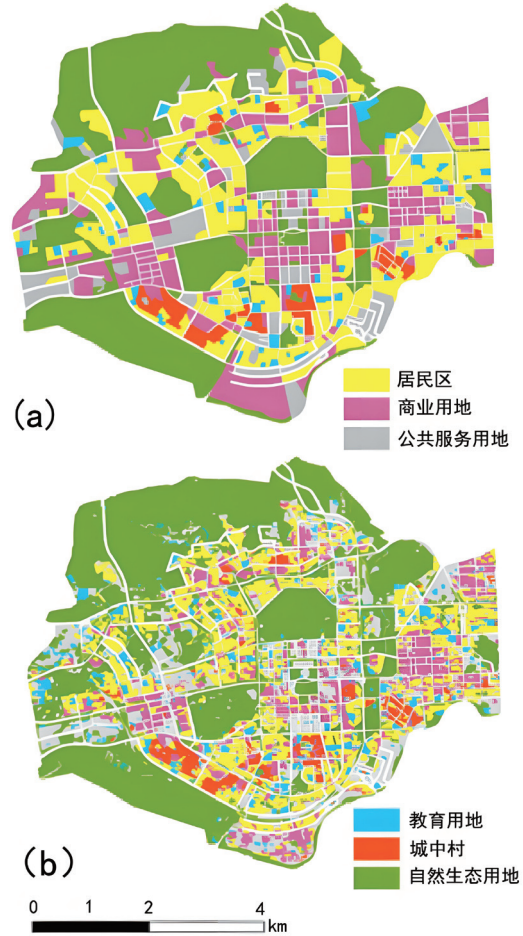


图2 土地利用分类结果

3.2 易混淆类型解析

自然生态用地主要由大型公园绿地和山体、水体构成，NDVI 较高、纹理均一，休闲娱乐类 POI 明显，边界完整性良好。局部放大对比显示，对象级制图能够在同一街区内区分办公楼、商业综合体、公共设施及周边绿地，不再出现整片街区被赋予单一类别的情况。但在高端住宅与教育科研、商业与部分公共服务等混合功能区域，仍存在一定误判和边界模糊，这是后续改进需要重点关注的类型。

3.3 精度评价

基于对象单元的多源数据融合分类，总体精度一般为 70%~75%，Kappa 系数在 0.75 左右，说明制图结果与参考数据具有较高一致性。各类用地中，自然生态用地和城市村落用地精度最高，得益于其在 NDVI、

纹理特征和 POI 类型上的明显差异,边界完整、空间格局清晰;住宅用地、商业用地、公共服务用地以及教育用地精度相对略低,主要受高密度建成区功能混合影响,在高端住宅与教育设施、商业与公共服务高度交织的区域存在一定混淆。

特征重要性分析表明,POI 语义特征和景观格局指标对精度提升作用最大,影像光谱与纹理特征更多起到辅助区分作用,验证了在对象级空间单元上引入多源语义信息的必要性与有效性。

4 结语

研究基于高分辨率遥感影像、POI 数据与景观格局指标,构建了以对象为基本单元的城市土地利用制图方法,并以广东某市为例进行了实证研究。研究表明,对象级空间单元能够更好地贴合真实地物边界,多源特征融合可显著提升城市土地利用类型的辨识能力,特别是在商业商务、城市村落和生态用地等典型场景,制图结果具有较好的空间表达性与细节刻

画能力。通过 LDA 模型提升多源特征的语义层次,并结合随机森林进行分类,使模型在复杂的高密度建成区依然保持相对稳定的精度表现。尽管在部分混合功能区域仍存在一定类别混淆,但整体分类精度达到可用于城市分析和规划管理的水平。

参考文献

- [1] 党薇.基于多模态机器学习的土地覆被遥感分类研究[D].成都:电子科技大学,2025.
- [2] 孙平,陈超,赵朋,等.基于遥感智能解译技术的土地利用时空变化特征及驱动因素分析[J].测绘通报,2025(S1):138-142,150.
- [3] 侯熠,许鑫,齐珂,等.复杂遥感场景下的土地利用分类与制图方法研究[J].测绘科学,2025,50(7):195-207.
- [4] 赵宇滨.历史样本支持的跨分辨率土地覆盖遥感制图方法研究[D].南京:南京信息工程大学,2024.
- [5] 谭宝琳,杨盼,林璐,等.高分辨率卫星遥感影像在土地利用分类中的应用[J].科技与创新,2025(12):225-228.
- [6] 刘成华,朴文渊.无人机遥感技术在土地违法监测中的应用研究[J].测绘与空间地理信息,2025,48(S1):41-43.

(上接第 19 页)

5.3 评价闭环与持续改进机制

为确保评价体系的动态优化,采用 PDCA 循环构建“评价—反馈—改进”闭环:依据《工程测量员国家职业标准》与企业年度反馈,制定《“岗—技—德”三维评价指标手册》,明确各指标的评分标准与数据来源;通过教学分析系统采集学生学习数据,生成个人“三维成长画像”,进行针对性提升;每学期召开校企三维评价研讨会,分析企业反馈,识别评价体系与教学实践的不足;根据检查结果优化评价指标与教学设计,同步更新思政案例库,通过闭环改进,确保“岗—技—德”融合持续适配行业需求与学生成长规律。

6 结语

研究针对高职《水利工程测量》课程“岗—技—德”三维断层问题,沿着“问题诊断—理论建构—实践设计—评价优化”路径构建课程思政改革框架,核心结论如下:问题诊断层面,明确“岗技脱节、技德分离、岗德断层”是思政育人失效根源,需建立“岗位—技能—思政”协同机制;理论建构层面,提出“岗德协同、技德融合、岗技对接”三大原则,为高职工程类课程思政提供职业性支撑,破解传统思政空泛化痛点;实践设计层面,“网—链—点”体系实现三维融合具象

化,“双导师三阶段七环节”路径确保目标落地,可操作性较强;评价保障层面,“三维一体”体系通过量化指标与闭环改进,破解思政素养难衡量问题,“过程性+增值性”评价关注长效成长。未来可拓展至“水利+测绘”专业群,构建思政资源共享平台、开发数字孪生思政实训系统,以差异化与数字化提升融合适配性,为国家工程事业培养“懂岗位、有技能、守操守”的高素质人才。

参考文献

- [1] 教育部.高等学校课程思政建设指导纲要(教高〔2020〕3号)[Z].2020.
- [2] 国家发展改革委,水利部.国家水网建设规划纲要[Z].2024.
- [3] 人力资源和社会保障部.工程测量员国家职业标准(2021年版)[Z].2021.
- [4] 陈军,刘建军.实景三维中国建设的基本定位与技术路径[J].武汉大学学报(信息科学版),2022,47(10):1568-1575.
- [5] 黄河水利职业技术学院.高职水利类专业“岗课赛证”融通的课程思政改革实践[J].职业技术教育,2023,44(14):56-60.
- [6] 张莉.高职工程测量技术专业“岗—课—赛—证”融合育人模式实践[J].职业技术教育,2022,43(26):38-42.
- [7] 王浩.新时代水利精神的内涵与践行路径[J].中国水利,2021(12):1-3.

基于层次分析法的河南省测绘产品质量影响因素研究

孙环 张德德 徐慧强

(河南省计量测试科学研究院, 河南 郑州 450000)

摘 要：测绘作为国民经济与社会发展的基础性工作，其产品质量直接影响重大项目决策与实施效果。河南省测绘产品质量对区域发展具有战略意义，但当前针对该省区域特征的系统性研究仍较为薄弱。研究采用定性与定量相结合的方法，整合 2024 年河南省测绘地理信息监督检查数据与全省测绘资质单位问卷调查结果，基于层次分析法构建三级评估体系，量化分析管理、技术、人员、设备四大准则层及 13 项具体方案层因素对测绘产品质量的影响权重。结果显示，影响河南省测绘产品质量的因素呈现以技术驱动、人员核心、管理补位、设备支撑的格局：准则层中技术因素权重最高；方案层中常规处理技术、人员素质、质量管理体系执行为核心影响因素。研究填补了河南省测绘产品质量区域研究空白，提出的差异化质量管理策略可为构建精准化区域测绘质量管理体系提供理论支撑，同时为黄河流域生态保护和高质量发展、数字河南建设等提供地理信息质量保障，具有重要的实践价值。

关键词：层次分析法；测绘产品质量；质量管理

测绘是国民经济和社会发展必不可少的一项前期性、基础性和公益性工作，其服务范围涉及与地理信息有关的国民经济和社会发展的各个领域和各个行业，并在各级政府决策、区域经济规划、国土资源开发利用与保护、农牧林业建设、水利建设、能源交通建设、环境保护等方面发挥重大作用。测绘产品质量是测绘工作的生命线，直接影响各类工程建设、城市规划、资源调查等重大项目的决策和实施效果。然而，测绘产品生产具有类型复杂、质量标准多元、操作方法多样、建设周期长等特点。在实际生产过程中，常受到工期紧张、预算有限、管理粗放等多重因素制约，导致质量控制面临严峻挑战。

河南省作为中部地区崛起战略的重要支点，承东启西，连南贯北，其经济社会发展对高质量的基础测绘成果提出了迫切需求。无论是黄河流域生态保护和高质量发展重大国家战略的落地实施，还是“中原城市群”建设的深入推进，抑或是现代化基础设施体系的构建，都需要精准、现势、权威的测绘成果作为决策依据。因此，提升河南省测绘产品质量整体水平，不仅关乎行业自身健康发展，更对区域经济社会高质量发展具有深远的战略意义。

尽管测绘质量的重要性已成共识，但现有学术研究与管理模式。针对河南省测绘质量管理的区

域性、系统性深入研究尚显不足，特别是缺乏基于大样本实证数据的影响因素量化分析。2024 年河南省测绘质量监督检查结果（以下简称“2024 年监督检查”）提供了观察这一问题的宝贵窗口。典型案例触目惊心：某市中心城区倾斜摄影测量项目，因高程基准采用错误、模型存在大量纹理缺失的技术设计失误，导致整批成果被判定为不合格；另一例某市五星水库项目，问题则出在源头，承担单位不具备相应测绘资质，属于严重的资质合规性缺失。这些鲜活案例深刻揭示了资质准入、技术设计、过程质量控制等环节的疏漏，将直接导致项目不合格，凸显了对影响因素进行系统性梳理和优先级判定的紧迫性。

为弥补这一区域研究空白，研究严格遵循层次分析法的经典研究范式，将理论分析与实证研究紧密结合。研究创新性整合了两类关键数据：一是权威的 2024 年监督检查结果，其中蕴含大量真实项目的质量缺陷信息，为识别关键风险因素提供了现实依据；二是针对全省范围内不同等级、不同类型的测绘资质单位开展的问卷调查数据，旨在获取质量管理体系运行现状、人员设备配置、生产过程控制等一手资料。在此基础上，研究旨在通过构建判断矩阵等定量化手段，精确拆解各影响因素对测绘产品质量的权重贡献，明确各影响因素的优先级排序，旨在填补区域研究空白，为构建精准化、差异化的测绘质量管理体系提供理论

作者简介：孙环（1989—），女，汉族，硕士，工程师，研究方向：测绘产品质量检验。

支撑与操作指南。

1 研究思路

测绘质量受多方面因素影响，且不易量化，研究采用定性与定量相结合的方法，系统分析测绘产品质量的影响因素，并提出质量提升建议。首先，基于文献研究、专家咨询，充分整合利用 2024 年监督检查工作的成果数据，通过多维度交叉分析，确定关键质量指标特征。其次，依据前期分析结果，设计科学的调查问卷，对全省测绘地理信息资质单位的质量管理体系建立和运行、生产能力、人员设备等现状进行充分调研。在此基础上，运用层次分析法建立递阶层次结构模型，通过构造判断矩阵计算各因素的权重值，最终确定影响测绘产品质量的主要矛盾及其优先级顺序。设计的调查问卷如图 1 所示。

关于测绘成果质量的调查问卷

您所属工作单位名称是:

1. 您所在行业的具体领域是什么?

☐ 测绘地理信息

☐ 建筑工程与施工

☐ 城乡规划与设计

☐ 地质勘查与矿产资源

☐ 环境监测与保护

☐ 教育与科研

其他, 请说明:

2. 您单位目前的质量管理体系是否全覆盖该单位测绘业务范围, 质量管理制度是否健全, 方针和目标是明确?

☐ 是

☐ 否

其他, 请说明:

3. 质量管理手册和作业指导书是否覆盖测绘资质证书核定的业务范围, 是否由法定代表人签发, 并能及时更新与完善?

☐ 是

☐ 否

其他, 请说明:

4. 生产组织准备有关制度及作业过程质量管理体系是否执行?

☐ 是

☐ 否

其他, 请说明:

5. 质量奖惩制度是否建立并执行?

☐ 是

☐ 否

其他, 请说明:

图1 测绘产品质量调查问卷

2 研究方法

2.1 评估体系建立

研究选用层次分析法结构建立评估体系，具体如表 1 所示。测绘产品质量为目标层，管理因素、技术因素、人员因素、设备因素四大影响因素作为准则层，13 项具体影响因素作为方案层。

表1 评估体系

目标层	准则层	方案层
测绘产品质量	管理因素	质量管理体系完善度
		质量管理制度执行
		质量奖惩制度执行
	技术因素	作业工期
		资质合规性
		技术设计
		常规处理技术
		动态检校技术
	人员因素	人员素质
		技术培训
	设备因素	设备维护和校准
		设备精度
		设备稳定性

2.2 评估体系计算方法

层次分析法是美国数学家萨蒂于 1980 年提出的多准则客观决策方法^[1]，是一种定性与定量相结合、系统化、层次化的评估方法^[2-4]，通过将问题分解为多层次结构，利用专家判断确定各因素权重，最终计算出各机构 / 组件的可靠性分配值，解决可靠性分配问题^[5]，并对质量影响因素进行定量分析^[6-7]，适用于目标结构复杂且数据较为缺乏的情况^[2-4]，已成功应用于建筑、制造、医疗和教育等领域^[8]。该方法尤其适用于评估具有多个评价指标的复杂问题，计算结果较为可靠，可减少主观判断带来的误差^[9-10]。经过数十年的发展与应用，该方法已在我国各行业领域得到广泛应用，展现出独特的优势和价值^[11]。层次分析法步骤具体如下：构建层次结构模型→构造判断矩阵→计算特征向量和最大特征值→一致性检验→综合评价^[12]。

研究邀请 45 位测绘行业的质量管理专家，采用普遍使用的 1~9 标度法评估指标间的相对重要性，并据此构建判断矩阵^[13]。对于 n 个元素来说，判断矩阵为： $P=(P_{ij})_{n \times n}$ ，必须满足： $P_{ij} > 0$ ， $P_{ij}=1/P_{ji}$ ， $P_{ii}=1$ 。1~9 标度准则的数值含义为：1 表示两个因素同等重要；3 表示因素 P_i 比另一因素 P_j 稍微重要；5 表示 P_i 比 P_j 明显重要；7 表示 P_i 比 P_j 强烈重要；9 表示 P_i 比 P_j 绝对重要；2、4、6、8 表示上述相邻判断的折中值^[14]。

为了将判断矩阵的偏差控制在一定范围内，还需对不同样本计算的各平均值或方差进行一致性检验。一致性比率（CR）为一致性指标（CI）和平均随机一致性指标（RI）的比值，当 CR 小于 0.1 时认为符合要求，反之认为不符合要求^[15]。

各层判断矩阵的权重计算结果如表 2 至表 6 所示。

表2 第一层判断矩阵

目标层	管理因素	技术因素	人员因素	设备因素	权重
管理因素	1	1/2	1/2	2	0.285
技术因素	2	1	2	3	0.392
人员因素	1	1/2	1	2	0.218
设备因素	1/2	1/3	1/2	1	0.105

一致性检验： $\lambda_{\max}=4.089$ ， $CI=0.030$ ， $RI=0.90$ ， $CR=0.033 < 0.1$ ，通过检验。

表3 第二层判断矩阵（准则层1）

准则层	体系完善	制度执行	奖惩制度	作业工期	资质合规性	权重
体系完善度	1	1/3	3	4	1/2	0.215
制度执行	3	1	4	5	2	0.458
奖惩制度	1/3	1/4	1	2	1/3	0.097
作业工期	1/4	1/5	1/2	1	1/4	0.032
资质合规性	2	1/2	3	4	1	0.198

一致性检验： $\lambda_{\max}=5.112$ ， $CI=0.028$ ， $RI=1.12$ ， $CR=0.025 < 0.1$ ，通过检验。

表4 第二层判断矩阵（准则层2）

准则层	技术设计	数据处理技术	动态检校技术	局部权重	权重
技术设计	1	1/3	1/2	0.185	0.285
常规处理技术	3	1	2	0.562	0.392
动态检校技术	2	1/2	1	0.253	0.105

一致性检验： $\lambda_{\max}=3.038$ ， $CI=0.019$ ， $RI=0.58$ ， $CR=0.033 < 0.1$ ，通过检验。

表5 第二层判断矩阵（准则层3）

准则层	人员因素	技术培训	局部权重	局部权重
人员因素	1	2	0.647	0.185
技术培训	1/2	1	0.353	0.253

一致性检验： $\lambda_{\max}=2.000$ ， $CI=0$ ， $CR=0 < 0.1$ ，通过检验。

表6 第二层判断矩阵（准则层4）

准则层	设备维护和校准	设备精度	设备稳定性	局部权重
设备维护和校准	1	2	3	0.587
设备精度	1/2	1	2	0.284
设备稳定性	1/3	1/2	1	0.129

一致性检验： $\lambda_{\max}=3.041$ ， $CI=0.021$ ， $RI=0.58$ ， $CR=0.036 < 0.1$ ，通过检验。权重计算结果如表7所示。

表7 计算结果

目标层	准则层	权重	方案层	局部权重	总权重	总排名
测绘产品质量	管理因素	0.285	质量管理体系完善度	0.215	0.059	8
			质量管理制度执行	0.458	0.130	3
			质量奖惩制度执行	0.097	0.028	10
			作业工期	0.032	0.009	13
			资质合规性	0.198	0.056	9
	技术因素	0.392	技术设计	0.185	0.072	5
			常规处理技术	0.562	0.220	1
			动态检校技术	0.253	0.099	4
	人员因素	0.218	人员素质	0.647	0.141	2
			技术培训	0.353	0.077	6
	设备因素	0.105	设备维护和校准	0.587	0.062	7
			设备精度	0.284	0.030	11
			设备稳定性	0.129	0.013	12

3 分析与讨论

基于层次分析法总权重计算结果，结合2024年监督检查结果的实际情况，河南省测绘产品质量影响因素形成人员核心、技术驱动、管理补位、设备支撑的清晰格局，各维度与实际质量问题的契合度显著。

3.1 人员因素：质量管控的核心抓手

人员素质以总权重0.141位居所有因素第二位，这一结果与2024年监督检查中“人员操作误差占比22%”的实际数据高度吻合。典型案例中，洛阳市某小区1[#]、2[#]、3[#]、9[#]及社区物业用房实测、竣工测量项目因作业人员未规范设置GNSS观测时段，导致点位高程偏差超±5cm，最终判定为局部不合格；与此相类似，某市农村房地一体测绘项目因人员对全站仪视准轴校准流程不熟悉，造成连续3个点位测量误差超限。技术培训以总权重0.077排名第六，问卷数据显示，15%的测绘单位技术培训呈现“零散化、滞后化”特征——仅开展基础仪器操作培训，未覆盖动态检校技术等关键内容，这直接导致2024年监督检查中“培训不足引发的操作失误占比18%”。

3.2 技术因素：质量提升的关键引擎

技术因素虽然在准则层权重最高，但内部子因素优先级需要结合实际应用场景进行区分。常规处理技术以总权重0.220排名第一，是质量问题的高发环节。2024年监督检查中，某市中心城区三维模型数据建设项目因技术问题，导致模型拼接处纹理断裂；某市中心城区倾斜摄影测量及实景三维建模因高程基准转换错误，直接被判定为批不合格，这两类问题占技术类不合格项目的65%。技术设计以总权重0.072排名第五，但问题发生率居高不下，2024年监督检查中“技术设计不规范占比38%”，均反映技术设计环节需强化标准化管控。

3.3 管理因素：质量底线的重要保障

质量管理制度执行以总权重0.130排名第三，是管理维度的核心短板。2024年监督检查中，8个项目存在“两级检查一级验收”执行不到位情况，占比33%。比如，某县中心城区大比例尺地形图测绘项目未留存内业检查记录，仅以“口头确认”替代书面审核；某区三维建模项目外业检查流于形式，未对10%的关键点位进行复测，导致设备精度偏差未及时发现。资质合规性作为新增指标，以总权重0.056排名第九，但影响不可忽视。某地市五星水库项目因“无测绘航

空摄影资质承接倾斜摄影业务”，违反《测绘资质管理规定》，最终判定为批不合格。质量管理体系完善度以总权重 0.059 排名第八，22% 的单位体系未覆盖新兴业务。

3.4 差异化质量管理策略

设备维护和校准以总权重 0.062 排名第七，2024 年监督检查中“设备精度问题占比 17%”：某市病险水闸除险加固工程项目全站仪视准轴误差超限，造成水准测量数据异常。问卷数据显示，仅 60% 的单位实现设备“每年校准 2 次及以上”，40% 的单位校准频次不足。案例均表明“重采购、轻维护”会直接导致设备精度下降。设备精度以总权重 0.030 排名第十一，权重虽低但属于基础性要求。设备稳定性以总权重 0.013 排名第十二，在复杂环境中影响凸显：豫西山地地区因地形复杂、信号干扰强，5% 的项目出现“无人机抗干扰能力不足导致数据丢失”“全站仪在强电磁环境下精度衰减”的问题。

3.5 行业特性与案例的关联性

结合 2024 年监督检查覆盖的不同项目类型，质量影响因素呈现显著的区域与业务差异化特征。

以某市病险水闸除险加固工程项目为代表的工程测量项目，质量管控重点集中在“人员操作规范性”与“制度执行刚性”。此类项目野外作业占比超 80%，人员素质与质量管理制度执行的综合影响占比超 40%。2024 年监督检查中，该项目因作业人员“水准测量记录手簿涂改”“点位复测漏项，仅复测 50% 关键点位”判定为局部不合格。

以某市三维模型数据建设项目为代表的新型测绘项目，对技术因素的依赖度显著高于其他类型。2024 年监督检查中，某市“LOD 层级划分未匹配应用场景”“纹理模糊结构变形”需全面整改。

4 结论

研究以河南省测绘产品质量为核心研究对象，结合 2024 年河南省测绘质量监督检查结果与 100 家测绘资质单位的问卷调查数据，通过层次分析法优化计算，系统识别并验证了影响测绘产品质量的核心因素及其优先级。结果表明，影响因素呈现技术驱动、人员核心、管理补位、设备支撑的整体格局。人员因素是质量管控的核心，其中人员素质为首要因素，与技术培训共同构成“素质—培训”双支撑体系；技术因素是关键引擎，其中动态检校技术与常规处理技术的高权重与

实际技术问题高发区高度吻合；管理因素中的制度执行是当前主要短板，而设备精度则是基础支撑中需优先保障的环节。

研究成果与 2024 年监督检查所呈现的不合格率下降趋势、技术应用实效及现行政策导向高度契合，验证了研究结论的科学性与合理性。研究所提出的策略体系不仅可直接服务于河南省测绘产品质量提升行动，也为黄河流域生态保护和高质量发展、新型城镇化建设及数字河南建设提供了精准、可靠的地理信息质量保障，具有重要的实践意义和推广价值。

参考文献

- [1] 徐明金.吐哈地区生态需水重要性分析[J].人民黄河,2025,47(S1):74-75.
- [2] 汪盛华,王书娟,闫明,等.利用层次分析法-基于指标相关性的权重确定方法与混料设计方法对通塞脉颗粒溶化性的改进[J].中国新药杂志,2025,34(12):1280-1288.
- [3] 李慧,刘其南,张丽,等.基于层次分析法及多指标正交试验优选炮制工艺[J].中草药,2016,47(16):2832-2837.
- [4] 张琳,周欣,闫丹,等.基于CRITIC-AHP权重分析法结合Box-Behnken设计-响应面法优选陈皮饮片炮制工艺[J].中草药,2018,49(16):3829-3834.
- [5] 周廷.基于层次分析法的悬臂式锚杆机构可靠性分配研究[J].煤矿机械,2025,46(7):60-63.
- [6] 王新利,杨树果.基于层次分析法的研究生教育质量影响因素研究[J].价值工程,2010(12):225-227.
- [7] 张海鹰.量化因果分析法在工程质量管理中的应用[J].工程建设,2006(1):22-25.
- [8] 杜栋,庞庆华.现代综合评价方法与案例精选[M].北京:清华大学出版社,2005.
- [9] 姚雪,赵凡,龙清红.基于层次分析法的广元千佛崖摩崖造像病害程度量化评价[J].文物保护与考古科学,2024,36(2):52-62.
- [10] 彭诚,王春振,张帅普,等.基于判断矩阵和层次分析法的河网连通性评价[J].中国农村水利水电,2024(9):38-44.
- [11] 杨兆生.基于层次分析法的K生活垃圾应急填埋场工程项目风险管理研究[D].贵阳:贵州大学,2024.
- [12] 孙德鹏,蒋举超,侯万万.三维GIS与AHP在森林无线传感器网络节点选址中的应用[J].计算机应用与软件,2022,39(4):160-163,248.
- [13] 黄彬惠.基于层次分析法的风力发电场安全综合评价方法研究[J].电气技术与经济,2025(6):288-290,294.
- [14] 杨辉山.测绘质量影响因素研究[J].地理空间信息,2011,9(4):170-172,194.
- [15] 黄遵乐,程坤,阮翔麟.基于层次分析法的城市综合管廊消防安全评估分析[J].城市建筑,2025,22(6):65-67.

时序机载点云驱动的堆料区堆料量动态监测

李万刚 马威武 马林 刚淑成

(青海省柴达木综合地质矿产勘查院, 青海 格尔木 816000)

摘要: 针对高原盐湖地区堆料区堆料量精准、高效监管困难的问题, 研究提出一种基于时序机载点云数据驱动的堆料区堆料量动态监测方案。首先基于 PFH 算子 + ICP 算法实现时序点云数据配准, 然后采用迭代形态学滤波 + 克里金插值算法构建多期工程区 DEM 成果, 采用栅格差分法计算测区堆料量。结果表明, 测区两期 DEM 高程中误差 $\leq 0.034\text{m}$, 堆料量与企业实际入库台账相对误差为 1.75%, 堆料量核算误差小于相关规定的 $\pm 3\%$ 土石方工程允许误差, 符合露天散料堆场盘点通用精度要求, 成果可靠性高。该技术方案可为高原地区工业堆场土方常态化监测提供可靠的技术支撑。

关键词: 时序机载点云; 点云配准; DEM; 土方量动态监测

1 引言

高原盐湖区矿产资源丰富, 钾肥、钠盐等化工原料堆料较多, 堆料区范围广, 对堆料量的精准核算与定期监测是企业进行生产调度、资源管理、成本控制的重要环节。传统堆料量测算技术多采用人工 RTK 测点、全站仪测角、测距等方式, 测量效率低、观测范围有限, 误差较大, 尤其是盐湖地区风沙大、环境恶劣, 人工测量安全风险高, 难以满足大规模堆料区的监测监管。无人机机载雷达 (LiDAR) 技术可快速高效获取大场景地表高密度三维点云数据, 已在地形测绘、土方量量算以及自然资源调查等领域发挥重要作用^[1-3]。

研究选取青海察尔汗盐湖钾肥散料库作为工程实例, 基于无人机时序机载点云数据分析散料库地表形态变化, 进而计算堆料量。首先基于 PFH 算子 + ICP 算法实现时序点云数据配准, 结合滤波处理获取地表点云, 构建堆料前后数字高程模型 (DEM)。最后对两期 DEM 开展栅格差分计算, 根据地形体积变化得到最终堆料量数据。研究同步结合实测高程数据以及企业入库台账, 验证 DEM 以及堆料量统计精度。

2 项目概况

工程位于青海察尔汗盐湖区域, 开展对钾肥散料库堆料量时序监测与库存计量统计。工程区地表以盐壳、工业堆体为主, 受高原风沙、温差等环境影响, 传统人工测量方式效率低、作业风险高, 难以实现范围性监测, 且误差较大。为精准、快速获取散料库堆料量, 采用经纬 M300 RTK 无人机平台千巡翼 QX-

200XT 激光雷达系统, 快速实时采集散料库区域地表高精度激光雷达点云数据, 测区概况及点云特征如图 1 所示。

运用迭代形态学滤波算法分离地面点与堆体、杂点, 结合三角网构建与插值技术生成两期数字高程模型。采用栅格差分法完成堆料体积计算, 并结合物料密度核算资源总量。同时利用 CORS 系统布设大量检查点开展精度校验, DEM 高程误差符合 1:1000 测绘规范要求。整套技术流程实现堆料区堆料量自动化、高精度、高效率监测, 满足盐湖工业堆场入库量分析需求, 为同类高原堆料区堆料量监测提供技术实践范例。

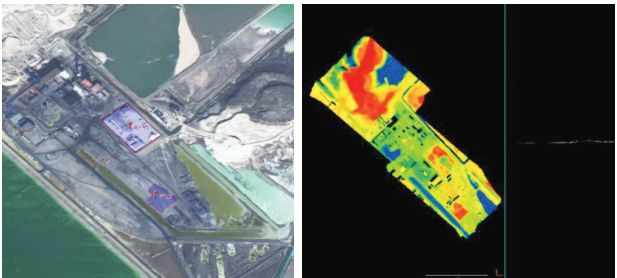


图1 测区概况及点云特征

3 数据及方法

3.1 PFH 算子 + ICP 算法时序点云数据配准

ICP 算法以最小二乘原理为核心, 首先从源点云中提取参考特征点作为固定基准, 再从待配准点中搜寻距离最小的参考点形成匹配点对, 基于此求解点对间刚体变换参数, 实现待配准点云的整体坐标转换^[4]。但 ICP 算法筛选匹配点对时, 需遍历源点云与待配准点点对, 迭代求解变换矩阵, 数据处理效率较低。为

作者简介: 李万刚 (1994—), 男, 汉族, 本科, 助理工程师, 主要从事工程测量工作。

解决此问题、提高数据匹配效率,研究引入 PFH 点特征直方图算子,提取源点云与待配准点云特征点,筛选高精度特征点集,精简运算量、优化算法运行速度。

PFH 算子通过定量计算方式,将查询点与邻域点的空间位置差异参数化,构建高维直方图模型,实现对采样点邻域几何特征的精细化描述^[5-6]。PFH 算子综合采样点与其邻域点空间位置分布、点对法线夹角关系挖掘采样点几何特征,具体计算如公式(1)到(3)所示。公式中各参数分别代表两点间欧氏距离与对应空间特征参数,通过四类核心参数即可构建完整的 PFH 特征描述子,相关效果如图 2 所示。

$$\begin{cases} u = n_s \\ v = u \times \frac{(p_t - p_s)}{\|p_t - p_s\|_2} \\ w = u \times v \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \alpha = v \times n_t \\ \alpha, \varphi, \theta, d \end{cases} \quad (2)$$

$$\theta = \arctan(w \times n_t, u \times n_t) \quad (3)$$

其中, d 是两点之间的欧氏距离, $d = \|p_t - p_s\|_2$, 利用 $\alpha, \varphi, \theta, d$ 四个元素可以构成 PFH 特征描述子。

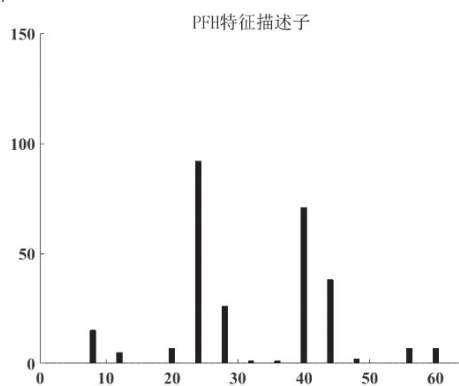


图2 PFH特征描述子

综合 PFH 算子与 ICP 算法优点,实现时序点云数据配准,具体步骤如下:

(1) 引入 PFH 算子,分别提取多时序点云特征并建立特征描述子,以筛选特征显著、辨识度高的 PFH 特征采样点,完成初始点对匹配。

(2) 将初始点对导入 ICP 算法模型,引入方向向量阈值约束,对初始点对进行筛选过滤,剔除错误匹配点对,优化匹配点集的精准度。

(3) 基于筛选后的高精度匹配点对,求解点云配准所需的旋转矩阵 R 与平移向量 T 。通过设定迭代计算收敛阈值 $\varepsilon = d_k - d_{k-1}$ 与允许最大迭代次数 $N_{\max}$,将求解获取的刚体变换矩阵作用于待配准源点云 P' ,生成

变换后的新点云 P'' ; 计算新点云 P'' 与基准点云 Q 的距离误差,当误差小于阈值 ε ,或迭代次数达到允许最大迭代次数 $N_{\max}$ 时,则停止迭代;若未满足收敛条件,则更新点集为 P'' 与 Q ,重复上述运算步骤,直至满足收敛标准,最终实现多期点云高精度配准,为后续 DEM 生产及堆料量精细化计算提供数据支撑。匹配点对连接效果如图 3 所示。

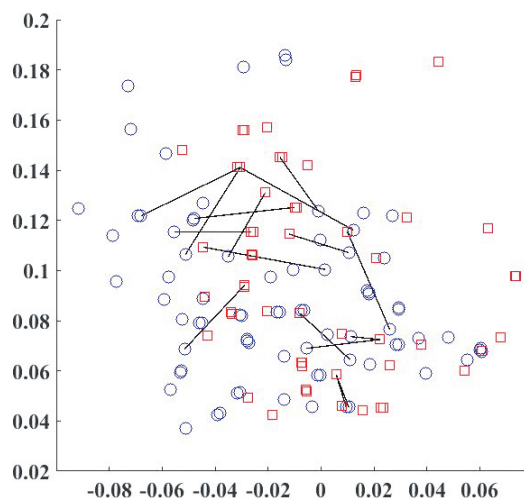


图3 点对连接

3.2 基于迭代形态学滤波法的数字高程模型构建

采用迭代形态学滤波算法对配准后的时序点云数据进行滤波并构建 DEM。首先,对工程区点云数据进行分块处理,提取区块内最低点作为初始地面种子点,构建稀疏三角网骨架,通过迭代扩张滤波窗口、调整高程阈值,逐步去除非地面点,保留微地形起伏。地面点提取完成后,基于滤波后的地面点集,采用克里金插值构建 1m 分辨率规则格网 DEM。克里金插值算法可依托局部变量理论,采用空间变异函数准确刻画地表自相关性,在最小方差约束下求解高程,精准还原堆体边坡特征,生成工程区两期 DEM,为后续两期 DEM 差分堆料量计算提供高精度数据基础。

4 结果分析

4.1 配准与 DEM 精度量化分析

完成 PFH-ICP 组合配准、迭代形态学滤波、克里金插值等数据处理后,依托 QHCORS 网络 RTK 系统在两大堆料分区均匀布设外业检核点,对时序点云及生成 DEM 开展高程精度定量检验,具体结果如表 1 所示。

由表 1 可知,钾肥散料库 1 布设 146 个检核点,DEM 高程中误差为 $\pm 0.029\text{m}$,单点最大高程偏差为 0.091m ;钾肥散料库 2 布设 246 个检核点,高程中误

差为 $\pm 0.034\text{m}$ ，单点最大高程偏差为 0.103m 。两个分区高程中误差与最大高差均远低于 0.20m 的规范限值。结果表明，PFH 特征辅助配准有效消除了多期点云空间偏移，迭代形态学滤波精准分离地面与堆体点，克里金插值完整还原地形细节，整套数据处理流程可靠性强，DEM 成果精度完全满足高原盐湖堆料区堆料量计算要求，可为后续时序堆料动态测算提供数据基础。

表1 各区域DEM高程精度统计

监测分区	检核点数	高程中误差/m	最大高差/m
钾肥散料库1	146	± 0.029	0.091
钾肥散料库2	246	± 0.034	0.103

4.2 时序数字高程模型堆料量计算

通过对两期点云数据进行配准、滤波，生成堆料前、后两期 DEM 成果，如图 4 所示。采用两期 DEM 栅格差分法实现堆料量精准计算，该方法是当前堆料堆场、渠道清淤等工程计量的主流技术路径，是通过统一基准下的地表高程差反演空间体积变化。在完成点云配准、滤波与克里金插值建模后，生成基准期与监测期 1m 分辨率规则格网 DEM，两者在同一坐标系的高程差值直接反映地表形态变化。单栅格高程差公式为：

$$\Delta H = \text{DEM}_2(i, j) - \text{DEM}_1(i, j) \quad (4)$$

其中， $\Delta H > 0$ 代表堆料填方， $\Delta H < 0$ 代表堆料挖方。全域总堆料量计算公式为：

$$V = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |\Delta H| \cdot S \quad (5)$$

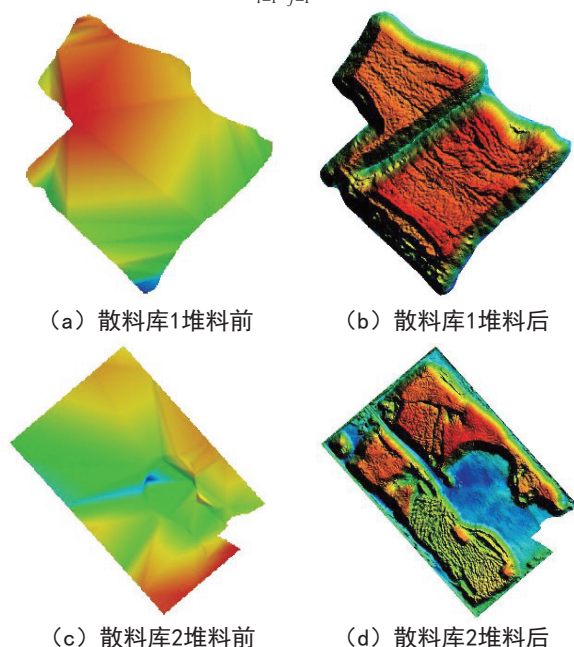


图4 散料库堆料前后DEM成果

通过 ArcGIS 填挖方工具批量计算并分区汇总挖方、填方体积，突破传统断面法、方格网法测点稀疏

的局限，可完整捕捉堆体边坡、渠底低洼等人工难测区域的高程变化，实现全域无漏算计量。两期 DEM 高程中误差均 $\leq 0.034\text{m}$ ，远优于 $1:1000$ 比例尺规范限值，为堆料量计算提供可靠基础；实测核算相对误差 $< 2\%$ ，满足工程验收计量精度要求。DEM 差分统计堆料填方统计结果如表 2 所示，散料库 1 堆料 72302.202m^3 ，散料库 2 堆料 42937.051m^3 ，合计共 115239.253m^3 ，钾肥堆积实测密度 $1.17\text{t}/\text{m}^3$ ，折算实物 13.48 万吨；企业地磅入库台账 13.72 万吨，相对误差 $1.75\% < 2\%$ ，满足化工原料盘点计量规范。场区局部零星回填盐堆料量不足千立方，统计时剔除，不影响主体核算。

表2 散料库填挖体积统计

散料库	散料库1	散料库2
填/挖方量/ m^3	72302.202	42937.051
面积/ m^2	24880.656	8697.260

5 结论

研究以青海察尔汗盐湖钾肥散料库为工程区，基于时序机载激光雷达点云技术进行高原盐湖堆料区堆料动态监测与堆料计量，以 PFH 算子+ICP 算法实现多期点云数据配准，基于迭代形态学滤波与克里金插值实现多期 DEM 构建，采用 DEM 栅格差分法量算堆料量。结果表明，测区两期 DEM 成果高程中误差分别为 $\pm 0.029\text{m}$ 、 $\pm 0.034\text{m}$ ，精度较高；依托高精度时序 DEM 开展栅格差分计算，散料库总堆料体积为 115239.253m^3 ，物料量约 13.48 万吨，与企业地磅台账相比相对误差仅 1.75% ，满足化工原料盘点与工程计量精度要求。该技术的非接触作业可有效规避盐湖风沙、恶劣环境带来的安全风险，显著提升作业效率。

参考文献

- [1] 祝瑞红,黄昶.基于快速点特征直方图的三维点云配准算法[J].长江信息通信, 2021(2):72-74.
- [2] 蒋风洋,刘永刚,陈智航,等.基于改进PPFH-ICP的车载激光雷达点云配准方法[J].重庆大学学报,2023,46(5):1-10.
- [3] 李莹莹,李笑娜,孙亮,等.基于机载LiDAR点云的DEM生成及海岸线提取分析[J].测绘通报,2026(2):74-80.
- [4] 卢成卓,吕杰,赵昌福,等.机载LiDAR点密度和插值方法对DEM的影响[J].激光与红外,2025,55(8):1215-1222.
- [5] 张之鹏.常见土方量计算方法适用性分析与研究[J].测绘科学技术,2025,13(3):179-186.
- [6] 李笑娜,信忠保.基于UAV-SfM点云数据特征的黄土高原小流域精细地形构建[J].水土保持学报, 2026,40(1):381-391.

LT-1在沙漠高原区形变监测的适应性分析

张金敏 杨潇潇 孙全 李晶

(中煤航测遥感集团有限公司, 陕西 西安 710199)

摘要: 为明确 LT-1 (L 波段) SAR 数据在复杂区域地表形变监测中的核心效能与应用价值, 以沙漠高原能源开采区为研究区, 采用 D-InSAR 技术, 将哨兵 (C 波段) SAR 数据作为对比参照, 系统开展 LT-1 数据的形变监测性能评估。研究结果表明: LT-1 凭借 L 波段长波长的低粗糙度敏感性、强穿透性及高相位稳定性, 可精准捕捉形变场梯度与量级, 完整还原集中沉降格局, 表现远超哨兵, 而哨兵数据形变场刻画不完整、精度衰减, 仅能满足定性识别; 研究证实, LT-1 可有效填补 C 波段数据在复杂区域 (松散地表、强扰动、大幅值形变区) 的监测空白, 其场景化适配策略可为同类研究的数据源选择与技术优化提供科学依据。

关键词: InSAR 技术; 地表形变监测; 地质灾害

1 引言

地表形变监测是矿区开采管理、地质灾害防控、国土空间规划与基础设施稳定性评估的重要手段。随着人类活动加剧、气候与生态环境变化, 大范围、高精度、持续的地表形变监测需求日益迫切^[1]。相较于传统观测方法, 合成孔径雷达干涉测量 (InSAR) 凭借不依赖地面控制点、全天候全天时观测、厘米至毫米级形变反演能力, 已成为国际地表形变与地质灾害监测的核心技术之一^[2-3]。

当前国际已形成完善的 InSAR 观测体系, 欧空局 Sentinel-1、德国 TerraSAR-X/TanDEM-X、日本 ALOS 系列卫星各具优势。为提升我国地灾防治与国土资源监测自主能力, 2022 年我国成功发射陆地探测一号 01 组 (LT-1A/1B) 星座, 这是我国首组以干涉应用为核心任务的 L 波段 SAR 卫星星座, 具备全天时、全天候、多极化成像能力, 在轨成像质量优异。现有研究初步验证了 LT-1 数据在复杂自然环境下的形变监测潜力, 但和其他数据源对比较少, 为此, 研究选取榆阳高原为研究区, 基于 2 期 LT-1 数据反演地表形变, 以同期 Sentinel-1A 升轨 InSAR 结果为对照, 评估 LT-1 隐患检出能力与形变反演精度, 明确其适用性、优势与不足, 为我国自主 SAR 卫星的工程化推广与业务化应用, 以及后续卫星任务设计、数据处理优化提供依据和参考。

2 研究区与数据

研究区位于陕西省榆林市榆阳区北部与内蒙古鄂尔多斯市乌审旗南部的交界区域 (地理坐标为北

纬 $38^{\circ} 05' \sim 38^{\circ} 30'$, 东经 $108^{\circ} 46' \sim 109^{\circ} 27'$), 这是鄂尔多斯高原东南部的毛乌素沙地边缘带, 海拔 $1100 \sim 1350\text{m}$ ^[4], 气候属温带大陆性半干旱气候, 年降水量 $280 \sim 350\text{mm}$ ^[5], 植被覆盖率为 $40\% \sim 55\%$, 沙地边缘存在局部人工固沙林。其中, 榆林市榆阳区金鸡滩镇、乌审旗图克镇是鄂尔多斯盆地煤炭-天然气复合开采区, 地表松散化程度高^[2], 存在矿区沉降与沙化扩张的叠加形变风险, 是验证 SAR 数据在“松散地表+能源开发区”监测适用性的典型区域。研究区范围如图 1 所示。

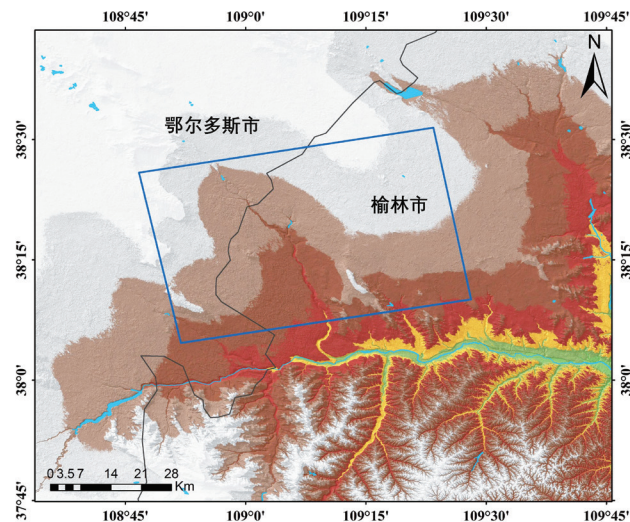


图1 研究区范围

2014 年欧空局发射了环境观测卫星 Sentinel-1A, 并对其实施免费开放政策。其搭载 C 波段 (5.6cm) 传感器, 采用新型循序扫描地形观测 (Terrain Observation with Progression Scans, TOPS) 成像

作者简介: 张金敏 (1995—), 女, 汉族, 硕士, 助理工程师, 主要从事 InSAR 地表形变监测、地质灾害监测、矿区安全监测等技术研究。

技术，重访周期短（12 天）、覆盖范围广，且存档数据丰富、数据免费并对地表形变敏感，成为研究滑坡和地震等形变监测的重要数据源。但其缺点是分辨率较低，穿透力弱，并且不接受编程预定。2022 年 1 月 26 日，陆探一号（LT-1）01 组 A 星成功发射，其搭载先进的 L 波段多极化多通道 SAR 载荷，具有全天时、全天候、多模式对地观测能力，具备多种成像模式，最高分辨率 3m，最大观测幅宽可达 400km；2022 年 2 月 27 日发射了陆探一号 01 组 B 星，组成双星星座，可开展跟飞、绕飞两种飞行模式，跟飞模式具备单星 8d、双星 4d 重复轨道观测能力，可应用于 InSAR 形变监测。L-SAR 卫星从 2023 年 6 月 22 日起以条带 1 模式进行全国数据业务化推扫，结合卫星观测能力，双星月度可完成全国陆域的基本覆盖。L-SAR 卫星分辨率最高为 3m，最大观测幅宽可达 400km，可应用于地质、土地、地震、减灾、测绘、林业等领域。

为保障对比结果的准确性与可靠性，研究选取飞行方向一致、时相基本同步的卫星影像开展对比分析，其中 Sentinel-1A 影像的时间基线控制为 24d，LT-1 影像的时间基线则控制为 28d；空间基线方面，LT-1 的空间基线为哨兵数据的 7.8 倍。此外，研究对 Sentinel-1A 与 LT-1 影像覆盖的相同区域进行统一裁剪处理（如图 1 所示），两类卫星传感器的核心参数以及实验所用影像的具体信息如表 1 所示。

表1 星载SAR传感器基本参数及特征

卫星	LT-1	Sentinel-1A
入射角/°	29.98	36.78
波长/cm	L (25)	C (5.6)
$\Delta T/\text{days}$	28	24
$B_{\perp}/\text{m}$	450	57.3
分辨率	1.66×1.74	2.32×13.97
主影像	20230814	20230820
从影像	20230911	20230913

3 方法

在二轨差分干涉测量中，雷达两次观测期间的目标地物形变信号，会被记录在干涉相位中。差分干涉相位的构成如公式（1）所示，主要包含平地相位、地形相位、形变相位，以及大气延迟噪声与随机噪声项。

$$\phi = \phi_{\text{flat}} + \phi_{\text{def}} + \phi_{\text{topo}} + \phi_{\text{atm}} + \phi_{\text{noi}} \quad (1)$$

二轨法可通过外部高精度 DEM 模拟去除地形相位，基于卫星轨道参数模拟去除平地相位，再通过相位滤波削弱噪声分量，最终可建立形变相位与地表形变量的定量关系。

$$\Delta d = -\frac{\lambda}{4\pi} \phi_{\text{def}} \quad (2)$$

4 结果与分析

研究基于 LT-1 与哨兵两种 SAR 数据，采用 D-InSAR 技术成功获取沙漠高原研究区（榆阳区-乌审旗交界）的地表形变结果，并将 LOS 方向的形变转为垂直向进行对比。在数据处理过程中，哨兵数据采用 4:1（方位向:距离向）多视比，滤波因子选择 0.7，滤波窗口选择 64，LT-1 采用 2:4（方位向:距离向）多视比，滤波因子选择 0.6，滤波窗口选择 32，解缠阈值均选择 0.3，解缠参考点选择位置一致。两种数据均精准识别出研究区与能源开采活动相关的重点沉降区域。

LT-1 D-InSAR 形变结果如图 2 所示，其中 A~E 五个区域分别在右侧放大展示，F 为形变值统计图。从整体形变场表现来看，LT-1 数据监测的形变信号清晰稳定，无明显大气干扰，完整呈现了研究区“单点式集中沉陷”的典型特征；其形变直方图统计结果也印证了这一特征，均值集中在 -0.0651mm，符合正态分布特性，整体数值范围为 -442.0076~198.5416mm，除沉降中心的高值外，还存在极端值分布，且此类极端值多分布于土地平整区域。

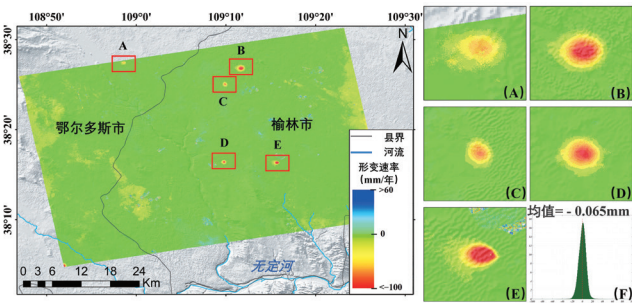


图2 LT-1 D-InSAR形变结果

Sentinel-1A D-InSAR 形变结果如图 3 所示，其中 A~E 五个区域分别在右侧放大展示，F 为形变值统计图。哨兵数据虽能有效锁定重点沉降区域的核心范围，但存在显著数据局限性：一是受局部大气延迟干扰，沉陷区边缘形变信号模糊，难以精准界定形变边界，在直方图上表现为均值出现轻微偏置，为 -12.6540mm，数据最小值附近离散度显著增加，无法通过数值范围界定真实形变边界；二是重点沉降区中心出现明显失相干现象，导致部分核心区域的形变信号无法有效提取，影响形变量化的完整性，其直方图也呈现出核心高幅值沉降极值缺失的特征（整体形变值范围为 -86.8896~31.4078mm）。

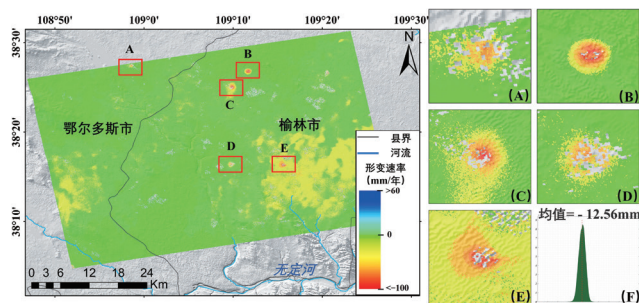


图3 Sentinel-1A D-InSAR形变结果

为进一步量化评估两种数据的监测能力,选取研究区典型区域B开展细化分析。研究反演了B区矿区的形变三维图和相干性三维图,如图4所示,其中(a)为LT-1形变结果图,(b)为Sentinel-1A形变结果图,(c)和(d)分别为LT-1和Sentinel-1A的相干性三维分布图。从研究区域B来看,LT-1数据在该区域保持极高相干性,成功获取完整形变场,监测到的最大形变量为-135.685mm,如图4(c)所示;形变呈漏斗状分布,形变量沿中心向边缘阶梯式递增,形变等值线连续完整,如图4(a)所示。而哨兵数据在该区域的相干性呈漏斗状分布,在沉降核心区相干性急剧下降,且相干性衰减程度与形变量呈正相关,如图4(d)所示;受此影响,哨兵数据仅能监测到沉降区边缘的形变量,形变场杂乱无章,等值线分布无规律可循,核心区域形变数据不具备参考价值,如图4(b)所示。

综上可知,哨兵数据(C波段)在沙漠高原区域,易受高强度能源开采扰动与地表松散特性的叠加影响,导致形变信息提取不完整;而LT-1数据凭借L波段对地表粗糙度的低敏感性及强散射稳定性,在能源开采扰动下的松散地表形变监测中表现更优,为同类干旱区矿区的形变监测提供了可靠的数据选择依据。

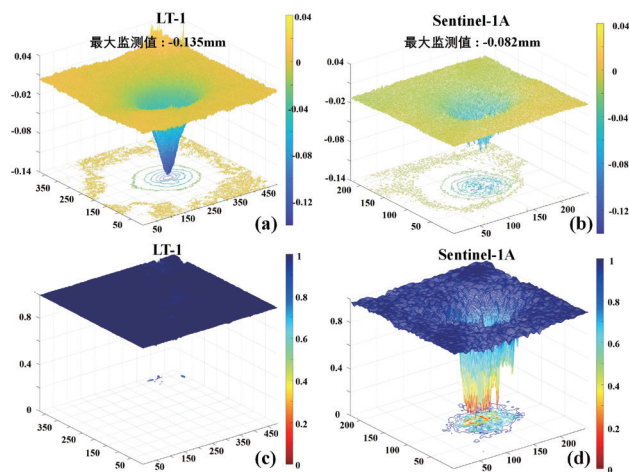


图4 单点形变三维分析

5 结语

以LT-1(L波段)SAR数据为核心研究对象,将哨兵(C波段)SAR数据作为对比参照,采用D-InSAR技术系统开展沙漠高原能源开采区的地表形变监测研究,核心目标是明确LT-1数据的监测效能、优势成因,为其在复杂区域形变监测中的推广应用提供科学依据与技术支撑。

LT-1数据的监测表现充分证明,在形变识别与反演精度的综合表现上,LT-1在不同区域均展现出优于哨兵数据的核心优势,沙漠高原区域两类数据均具备基础监测能力,但LT-1数据的性能优势尤为突出,其凭借L波段对松散地表的低敏感性与强散射稳定性,可精准捕捉地表形变场的空间梯度与量级特征,形变场聚焦性强、等值线完整,能清晰还原能源开采引发的集中沉陷格局;哨兵数据虽能识别基本形变,但受松散沙层散射不均匀性影响,形变场细节刻画能力弱于LT-1数据。

总之,LT-1数据可有效填补哨兵(C波段)SAR数据在复杂区域(高植被覆盖度、大幅值形变区)的监测缺陷。在缓坡区域,可直接采用LT-1单数据源开展精准定量监测,无需依赖其他数据辅助,降低监测成本与复杂度。后续将继续深化研究陆探数据升降轨补充监测的综合能力,将LT-1数据的监测方案推广至更广泛的应用场景,结合GNSS实测数据开展精度验证,建立LT-1数据在复杂区域形变监测的技术标准与参数手册,为其规模化应用提供支撑。

参考文献

- [1] Massonnet D, Feigl K L. Radar interferometry and its application to changes in the Earth's surface[J]. Reviews of Geophysics, 1998, 36: 441-500.
- [2] Rosen P A, Hensley S, Joughin I, et al. Synthetic aperture radar interferometry[J]. Proceedings of the IEEE, 2000, 88: 333-382.
- [3] Ferretti A, Prati C, Rocca F. Non linear subsidence rate estimation using permanent scatterers in differential SAR interferometry[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2000, 38: 2202-2212.
- [4] 王攀,董秋瑶,巩雪娇,等.黄土高原—毛乌素沙漠过渡带靖边地区全新世土壤元素地球化学特征及其环境意义[J].地球科学与环境学报, 2020, 42(5): 678-687.
- [5] 王晨,杨辽,李新虎,等.毛乌素沙地能源开发区地表形变InSAR监测与分析[J].测绘通报, 2022(S1): 187-191.

基于GIS与地理加权回归模型的鄂西地区耕地空间分异与驱动分析

罗盼 吴昌文 万姣姣

(武汉壹时空科技有限公司, 湖北 武汉 430000)

摘要: 为揭示鄂西地区耕地空间分异特征及驱动机制, 研究以鄂西各县区为基础研究单元, 基于 GIS 空间分析技术与地理加权回归 (Geographically Weighted Regression, GWR) 模型, 揭示耕地空间分布特征, 探析其空间分布异质性驱动机制。结果表明: 鄂西地区耕地全局自相关分析 Moran's I 指数为 0.728, 存在显著空间正自相关, 局部主要以高高 (HH)、低低 (LL) 集聚, 零星分布高低 (HL)、低高 (LH) 异常单元, 不同区域内耕地分布差异化较大; GWR 模型因子驱动机制分析表明: 坡度、高程、年均降水、人口密度、路网密度为主要驱动因子, 各因子影响强度与方向存在明显空间分异。

关键词: 鄂西地区; 耕地空间分异; 空间自相关; 地理加权回归

1 引言

耕地是粮食生产的核心载体, 是保障区域粮食安全与生态稳定的关键资源^[1]。鄂西作为湖北西部生态屏障与粮食生产边缘区, 人均耕地少、基础地力偏低, 耕地地块零散, 耕地质量退化。开展鄂西地区耕地空间分布及空间分异驱动分析, 厘清鄂西地区耕地空间分异规律及其驱动机制, 对推动区域耕地可持续利用、遏制耕地抛荒、严守耕地红线具有重要作用。

基于此, 以鄂西为研究区, 采用 GIS 空间自相关模型分析耕地集聚特征, 以鄂西各区县为基础研究单元, 引入 GWR 模型, 量化自然因子 (地形、年均降水、年均气温等) 及人文因子的驱动效应, 探究不同区域主导驱动因子差异, 为鄂西各区县耕地保护分区管理、耕地资源优化配给、农业可持续发展提供理论支持。

2 研究区概况与数据来源

2.1 研究区概况

鄂西指湖北省西部, 涵盖十堰、恩施土家族苗族自治州、宜昌、神农架林区、襄阳、荆州、荆门、随州等 8 个地市, 是湖北省山地地貌集中分布与耕地空间异质性最为突出的典型区域。鄂西整体处于巫山、武陵山及大巴山三大山系交汇地区, 地貌主要以山地、丘陵为主, 河谷盆地相间分布, 具有典型“八山半水分半田”的山地格局, 地势起伏大、海拔差异显著, 具有典型的地形梯度特征。是湖北省西部重要的生态

安全屏障, 也是区域特色农业主产区, 生态保护、粮食安全保障与农业产业发展矛盾交织。鄂西地区范围如图 1 所示。

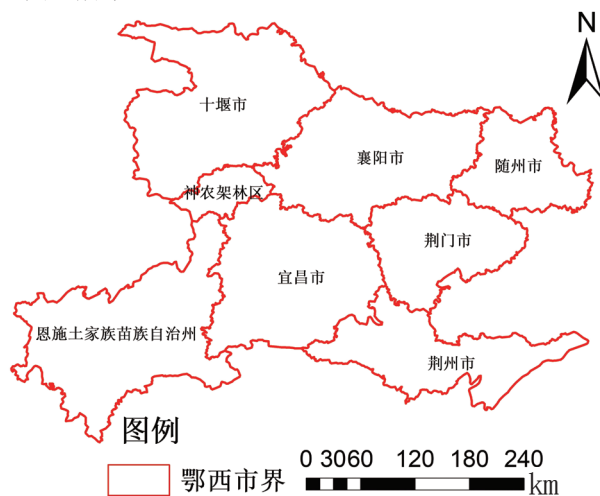


图1 鄂西地区范围

2.2 数据来源与处理

研究采用 2024 年 Landsat-9 数据实现鄂西地区用地信息提取; 自然因子坡度、高程等数据来源于地理空间数据云; 年均降水、年均气温等数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心; 人文因子 GDP、人口密度等数据来源于国家青藏高原数据中心; 道路数据来源于 Open Street Map 数据平台。所有数据统一为 CGCS2000 投影坐标系, 通过 ArcGIS 平台完成重采样、归一化与空间匹配处理, 以确保数据分析精度与结果的可靠性。

作者简介: 罗盼 (1990—), 男, 汉族, 本科, 工程师, 主要从事 GIS 软件开发、遥感影像解译、大模型在 GIS 领域的应用等工作。

3 研究方法

3.1 空间自相关分析

空间自相关分析是定量揭示地理要素空间集聚特征、定位热点冷点、支撑空间建模与决策的核心统计方法，可在一定程度上解决传统统计“忽略空间位置”的缺陷^[2-3]。空间自相关分析分为全局和局部空间自相关两类：全局空间自相关（Global Moran's I）用于分析地理要素整体空间集聚或离散特征；局部空间自相关（LISA）主要识别地理要素的区域差异与空间异质性特征。

（1）全局空间自相关：衡量鄂西地区耕地空间分布的整体集聚或离散程度，公式如下：

$$I = \frac{n}{S_0} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \quad (1)$$

式中， n 为研究单元数； I 为全局莫兰指数，衡量耕地分布的整体空间自相关程度； x_i 、 x_j 分别为第 i 和第 j 个研究单元的耕地面积占比； $\bar{x}$ 为所有研究单元耕地占比均值； w_{ij} 为空间权重矩阵元素，是第 i 和第 j 个研究单元的临接关系； S_0 为空间权重矩阵所有元素之和，用于标准化计算。 I 取值范围为 $[-1, 1]$ ， $I > 0$ 为空间正相关（集聚）， $I < 0$ 为空间负相关（离散）， $I=0$ 为随机分布。

（2）局部空间自相关：识别耕地局部集聚类型，分为高高（HH）、低低（LL）、高低（HL）、低高（LH）4 类，公式如下：

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

式中， I_i 是第 i 个空间单元的 LISA 指数值， S^2 是所有单元观测值的方差，其余符号含义同上。

3.2 地理加权回归（GWR）模型

地理加权回归（Geographically Weighted Regression, GWR）是一种局部空间回归模型，实现了空间分析从全局平均向微小地理尺度分析的进步，可定量解释地理要素空间分异驱动机制、解析区域差异，实现空间可视化表达与规划决策^[3-5]，公式如下：

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_k \beta_k(u_i, v_i) x_{ik} + \varepsilon_i \quad (3)$$

式中， y_i 为第 i 个县域耕地面积占比， (u_i, v_i) 为第 i 个县域地理坐标， $\beta_0(u_i, v_i)$ 为截距， $\beta_k(u_i, v_i)$ 为第 k 个驱动因子的回归系数， x_{ik} 为第 i 个县域第 k

个驱动因子值， ε_i 为随机误差项。

3.3 驱动因子选取

结合鄂西地区自然地理特征与经济社会发展现状，参考相关研究成果，从自然、人文两大维度选取 8 个驱动因子：高程（X1）、坡度（X2）、年均降水（X3）、年均温（X4）、人口密度（X5）、农村居民点密度（X6）、路网密度（X7）、GDP（X8），具体的驱动因子及说明如表 1 所示。

表1 鄂西地区耕地空间分异驱动因子及说明

维度	因子	符号	说明
自然因子	高程/m	X1	地势高低，决定水热条件与耕地分布上限
	坡度/°	X2	地表倾斜程度，影响耕地开垦难度
	年均降水/mm	X3	年平均降水量，影响耕地水源条件
	年均温/℃	X4	年平均气温，决定农作物生长热量条件
人文因子	人口密度/（人/km ² ）	X5	单位面积人口数量，反映人类活动强度
	农村居民点密度/（个/km ² ）	X6	单位面积农村居民点数量，体现农业生产集聚度
	路网密度/（km/km ² ）	X7	单位面积道路长度，反映交通通达性
	GDP/（万元/km ² ）	X8	单位面积GDP，表征经济发展水平

4 结果与分析

4.1 鄂西地区耕地空间分异特征

4.1.1 空间分布格局

鄂西地区耕地空间分布具有显著的区域异质性，如图 2 所示，整体呈现东密西疏、平原集聚、山地破碎的格局，受地形地貌、水文条件与人类活动的综合约束。从宏观格局来看，耕地集中连片分布于鄂西地区东部的荆州、荆门、襄阳、随州以及宜昌东部的江汉平原西缘、襄阳盆地等平缓地带，以大面积规则斑块为主，连通性较强，构成区域核心耕地分布区；而西部的恩施州、十堰市以及神农架林区，耕地占比极低，仅在河谷阶地、山间缓坡呈条带状或零散小斑块分布，破碎化程度较高，与林草用地交错镶嵌。耕地分布主要受地形限制，地势平缓区域耕作条件优越，耕地连片分布；山地、丘陵地形起伏较大，耕作条件较差，耕地分布较少且较为零散。耕地与水域高度耦合，大多沿长江干流、湖泊及支流周边分布，体现了对水源条件的强依赖性；建筑用地则大多镶嵌于耕地集中区内部，反映了城镇扩张与耕地的空间重叠，人

类活动对耕地分布的改造作用显著。综上所述，鄂西地区耕地空间分异格局清晰，是自然条件与人为活动共同作用的结果。

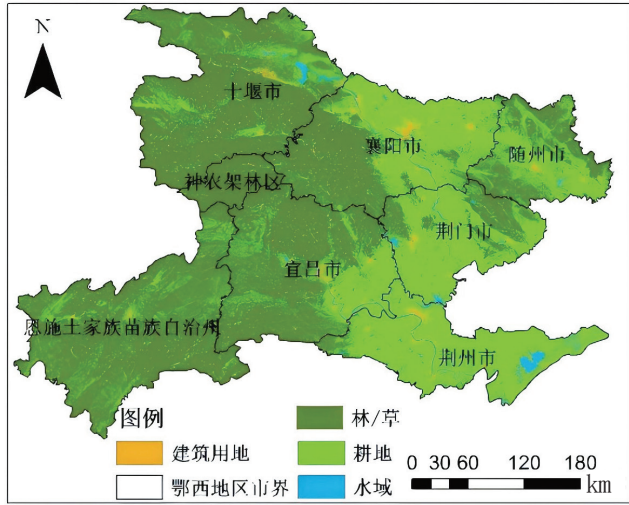


图2 用地数据空间分布

4.1.2 空间自相关特征

全局空间自相关分析结果显示，2024 年鄂西地区耕地面积占比的全局 Moran's I 指数为 0.728，Z 值为 8.35 ($P < 0.01$)，通过 1% 显著性水平检验，表明鄂西地区耕地空间分布存在显著强正自相关，即耕地高值区与高值区集聚、低值区与低值区集聚的分布格局。

鄂西地区局部空间自相关分析结果如图 3 所示，由图可知，研究区耕地的高高(HH)集聚区集中分布于东部江汉平原西缘与襄阳盆地，涵盖襄州区、枣阳市、钟祥市、沙洋县、荆州区、监利市等区域；该类单元自身耕地占比较高，周边单元耕地占比亦处于高水平，呈现典型的空间正自相关，是鄂西耕地资源的核心连片分布区。低低(LL)集聚区则集中于西部秦巴山地、武陵山区及神农架林区，包括郧西县、房县、保康县、利川市、鹤峰县等区域；这类单元耕地占比普遍偏低，周边单元同样以低值为主，构成耕地低值连片格局，与山地、丘陵区林草主导的生态格局高度吻合。空间负自相关的异常区呈零散分布：高低(HL)异常区点状分布于秭归县、宜都市等区域，多为山地河谷地带的局部优质耕地；低高(LH)异常区仅在竹山县局部出现，反映出地形过渡带的空间破碎性。综合分析，鄂西地区耕地的空间关联格局受地形地貌主导，东西分异显著，高高(HH)与低低(LL)集聚区的分界线与山地-平原地貌界线高度吻合，体现了自然条件对耕地空间集聚的控制作用。

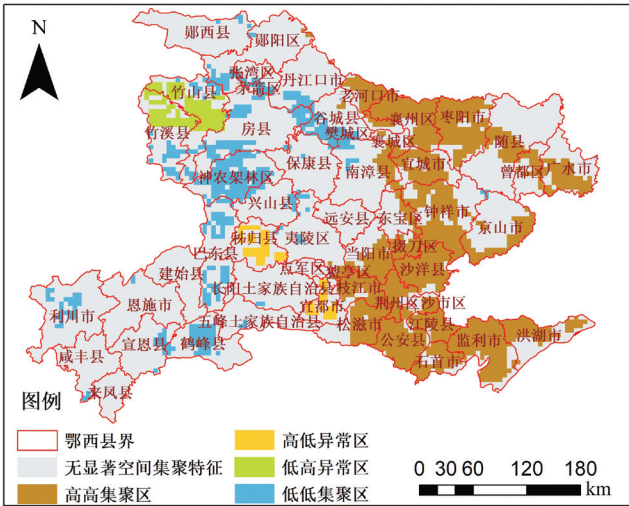


图3 局部空间自相关分析结果

4.2 耕地空间分异驱动因子空间异质性分析

4.2.1 自然因子驱动效应

各自然因子对鄂西地区耕地空间分布分异存在影响，各因子对应的回归系数如图 4 所示。

结果表明：

(1) 高程(X1)：回归系数介于 -0.721 ~ -0.276，高程越高，耕地分布越少，影响强度呈“中部强、南北弱”格局。高影响区 (< -0.6) 位于神农架林区、巴东、兴山，高程 $> 1200\text{m}$ ，热量不足，耕地分布上限低，且地形起伏较大，耕作条件差；低影响区 (> -0.4) 分布于汉江谷地、清江沿岸，高程 $< 800\text{m}$ ，水热条件优越，抑制作用较弱。

(2) 坡度(X2)：回归系数介于 -0.785 ~ -0.298，坡度越大，耕地条件越差，对耕地开发利用呈抑制作用。高影响区 (< -0.6) 集中在十堰西部、神农架北侧，地形陡峭；低影响区 (> -0.4) 分布于恩施南部，坡度较缓，坡耕地改造难度小，耕作条件相对优越，有利于耕地开发利用。

(3) 年均降水(X3)：回归系数介于 0.276 ~ 0.689，降水有利于作物灌溉，耕作条件较好，因此对耕地占比空间分布呈正向作用，降水越丰富，耕地占比越高，其中，高影响区 (> 0.5) 集中在恩施州(鹤峰、宣恩、咸丰)，年均降水达 1400 ~ 1600mm，水源充足，适宜水田发育；低影响区 (< 0.4) 分布于十堰北部，年均降水 800 ~ 1000mm，降水偏少，影响较弱。

(4) 年均温(X4)：回归系数介于 0.123 ~ 0.356，对耕地占比空间分异的影响强度空间差异较小。高影响区位于宜昌南部、恩施东部，气温适宜，作物一年两季，有利于耕地集约利用；低影响区位于神农架林

区、十堰西部,地形坡度大、植被茂密,影响作物光照等,年均温偏低,对作物生长促进作用较弱。

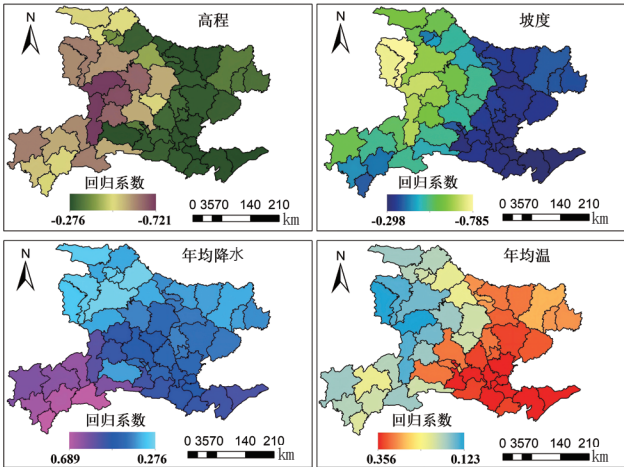


图4 自然因子

4.2.2 人文因子驱动效应

各人文因子对鄂西地区耕地空间分布分异存在影响,各因子对应的回归系数如图5所示。

结果表明:

(1)人口密度(X5):回归系数介于0.321~0.756,人口密度越大,农耕活动越密集,对耕地的开发利用越高。高影响区集中分布于房县、夷陵、恩施,人口集聚,农业劳动力充足,耕地分布集中;低影响区位于神农架林区、巴东、鹤峰,人口稀少,劳动力短缺,促进作用较弱。

(2)农村居民点密度(X6):回归系数介于0.215~0.543,影响强度空间差异较小。高影响区分布于汉江谷地、清江沿岸,农村居民点密集,耕地碎片化但分布广泛;低影响区为中高山区,居民点稀少,耕地零星分布。

(3)路网密度(X7):回归系数介于0.289~0.712,全域呈显著促进作用,路网密度越高,交通通达性越好,耕地开发与利用效率越高。高影响区(>0.6)位于十堰、宜昌北部,路网密集,有利于农产品运输与耕地规模化经营;低影响区(<0.4)位于恩施南部、神农架林区,路网稀疏,耕地开发难度大,促进作用较弱。

(4)GDP密度(X8):回归系数介于-0.189~0.256,促进与抑制并存,空间分异显著。比如,宜昌市区、恩施市区、丹江口市区,经济发展带动农业基础设施完善,促进耕地集约利用;五峰、鹤峰、竹山,经济发展比较落后,城镇化扩张占用优质耕地,GDP密度增加抑制耕地扩张。

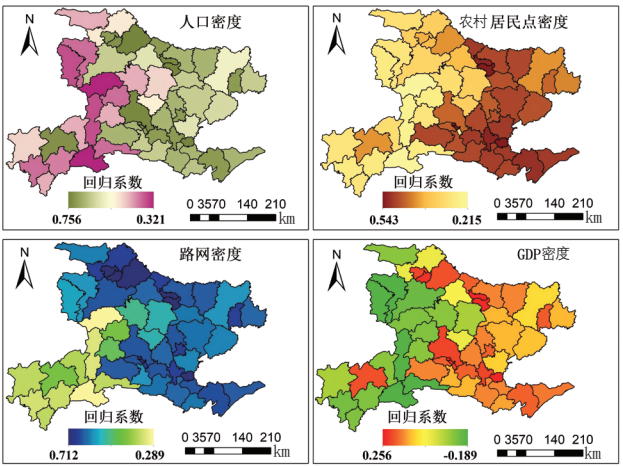


图5 人文因子

5 结论

研究基于GIS空间分析与地理加权回归模型(GWR),探究鄂西地区耕地空间分异特征及因子驱动机制。研究表明:鄂西地区耕地空间分布呈显著差异化分布特征,耕地主要集中于东部地区,呈平原聚集、山地破碎的分布格局。通过空间自相关分析发现,耕地全局Moran's I指数为0.728,呈现显著的强空间正自相关特征,局部以高高(HH)集聚、低低(LL)集聚为主,空间聚类分异与山地平原地貌界线高度契合。GWR模型回归结果表明,各驱动因子对耕地空间分布影响存在明显空间异质性;坡度、高程全域为显著抑制作用,年均降水、人口密度及路网密度呈显著正向驱动,年均温正向作用偏弱,GDP密度正负影响空间并存。研究明确了鄂西地区耕地空间分异的主导驱动差异,可为区域耕地提质增效及国土空间优化分区管控提供科学参考与数据支撑。

参考文献

[1] 何鑫,钟九生,林双双,等.岩溶槽谷区耕地“非粮化”空间分异特征及驱动机制:以贵州铜仁万山区为例[J].地理科学,2022,42(12):2207-2217.

[2] 董秀茹,周新雨,杨帆,等.沈阳市耕地“非粮化”空间分异特征及影响因素研究[J].土壤通报,2025,56(4):933-940.

[3] 白永刚,刘学录,刘星雨.黄土丘陵区县域耕地时空格局变化及驱动因素分析:以天水市武山县为例[J].国土与自然资源研究,2025(1):8-13.

[4] 杨振,彭壮壮,张蓓蓓,等.耕地秋季作物种植结构特征与影响机制探究[J].地理空间信息,2025,23(5):56-58,62.

[5] 刘洪彬,杜欣雨,董秀茹.东北黑土区耕地非粮化时空分异特征及其驱动机制研究[J].沈阳农业大学学报,2025,56(4):44-55.

基于改进型遥感生态指数的锡林浩特市生态环境质量评价

杨尚东

(珠海市测绘院, 广东 珠海 519050)

摘要: 基于 GEE 云计算平台, 研究构建了具有锡林浩特市本土优势的改进型遥感生态指数 (MRSEI), 并对 2016 年至 2024 年 MRSEI 进行了长时序遥感监测。结果表明, MRSEI 能够有效融合五个生态因子的特征, 准确反映生态环境质量变化。与传统遥感生态指数 (RSEI) 相比, MRSEI 在解决图像噪声和图斑破碎问题方面具有明显优势, 尤其在复杂地形和人类活动频繁区域。时空分布分析显示, 西北部和中部地区生态环境质量较差, 东南部则较好。尽管 MRSEI 均值呈轻微下降趋势, 但生态环境的稳定性有所增强, 表明生态修复措施在持续发挥作用。研究为锡林浩特市生态环境监测提供了有效工具, 建议加强生态修复工作。

关键词: 改进型遥感生态指数; 评价; 生态环境质量

1 引言

随着全球气候变化加剧, 土地退化问题在世界各地日益严重, 尤其是干旱和半干旱地区的生态环境质量受到显著影响^[1-2]。作为内蒙古自治区的重要组成部分, 锡林浩特市位于典型草原生态区, 近年来面临日益严峻的沙化和荒漠化问题^[3]。草原生态系统退化不仅影响生态环境的稳定性, 也对当地农业生产、社会经济和人民生活产生深远影响^[4-5]。为有效应对这一问题, 准确评价和监测生态环境质量显得尤为重要。

传统生态环境质量评价方法多依赖地面调查和单一生态指数, 虽然能提供一定的参考信息, 但由于数据获取的局限性和时效性问题, 往往无法实时、全面反映生态环境变化的动态特征^[6-8]。因此, 遥感技术逐渐成为生态环境监测的重要手段, 通过提供广域、高时效的观测数据, 有效弥补传统监测方法的不足。近年来, 遥感生态指数 (RSEI) 作为衡量生态环境质量的重要工具, 已被广泛用于各类生态环境研究。然而, 现有遥感生态指数在某些特定区域, 尤其是土壤退化和沙化较为严重地区, 评估精度和适应性仍有待提高。

为了提高遥感技术在该类区域生态环境监测中的适用性, 研究提出基于改进型遥感生态指数 (MRSEI) 的新方法, 在传统遥感生态指数基础上, 引入表土粒度指数这一因子^[9]。表土粒度是描述土壤粒度组成的关键指标, 对于植被生长与分布具有显著影响。锡林浩特市作为典型的干旱-半干旱地区, 表土粒度变化

与沙化、荒漠化进程密切相关, 特别是在气候变化的背景下, 其变化对生态环境的影响愈加显著。

2 研究区与数据

2.1 研究区

锡林浩特市处于内蒙古中段, 位于草原-沙漠过渡带, 地理坐标介于北纬 42° 30' ~ 43° 40'、东经 116° 00' ~ 117° 20' 之间^[10], 研究区范围如图 1 所示。研究区地貌主要以沙质草原为主, 生态系统对气候波动和人类干扰表现出高度敏感性, 季节差异显著。该地区的自然植被主要由草原组成, 以多年生草本植物为主, 植被的生长和分布受到多重因素的交叉影响, 地表荒漠化和沙化问题日趋严重。

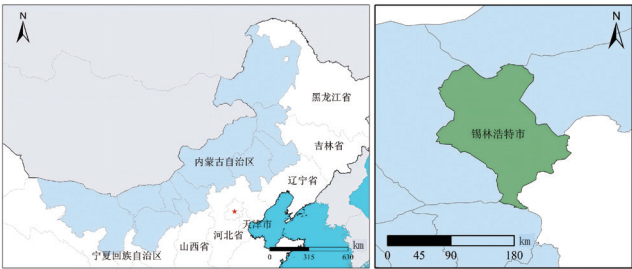


图1 研究区范围

2.2 数据信息

研究所需数据包括遥感影像数据、土地利用数据、行政边界数据^[11], 具体数据信息如表 1 所示。遥感影像数据的下载、去云等预处理, 以及各个生态指标的计算均基于 GEE 云计算平台实现^[11]。土地利用数据用

作者简介: 杨尚东 (1996—), 男, 汉族, 本科, 注册测绘师, 主要从事测绘专业技术工作。

于计算遥感生态指数时掩膜水体，以及判别不同土地利用类型下不同遥感生态指数分布的合理性。

表1 数据信息

类型	名称	来源	备注
遥感影像	Landsat系列影像	GEE云计算平台 (https://code.earthengine.google.com/)	栅格/30m
		GEE云计算平台 (https://code.earthengine.google.com/)	
土地利用	Dynamic World数据	国家基础地理信息中心 (http://www.ngcc.cn/ngcc/)	栅格/10m
行政边界	行政边界	国家基础地理信息中心 (http://www.ngcc.cn/ngcc/)	研究区边界

3 技术方法

3.1 生态因子计算

3.1.1 绿度指标

归一化植被指数 (NDVI) 是一种对植被生长状况敏感的植被指数，用于监测植被的生长动态与覆盖状况^[12]，因此选用 NDVI 代表 RSEI 指数的绿度，公式为：

$$NDVI = \frac{Nir - Red}{Nir + Red} \quad (1)$$

式中，Red 为红色波段的反射率，Nir 为近红外波段的反射率。

3.1.2 湿度指标

采用缨帽变换中的湿度成分来反映地表植被和土壤的水分特征^[13]，公式为：

$$WET = \omega_1 \cdot Blue + \omega_2 \cdot Green + \omega_3 \cdot Red + \omega_4 \cdot Nir + \omega_5 \cdot Swir1 + \omega_6 \cdot Swir2 \quad (2)$$

式中，Blue、Green、Red、Nir、Swir1、Swir2 分别为蓝、绿、红、近红外、短波红外 1、短波红外 2 波段的反射率。对于 OLI 影像，系数 ω_i ($i=1, 2, \dots, 6$) 取值分别为 0.1511、0.1973、0.3283、0.3407、-0.7117、-0.4559。

3.1.3 热度指标

研究选用地表温度代替热度指标^[11]，公式为：

$$L = gain \cdot DN + bias \quad (3)$$

$$T = K_2 / \ln \left(\frac{K_1}{L} + 1 \right) \quad (4)$$

$$LST = \frac{T}{\{1 + [(\lambda \cdot T) / \rho] \cdot \ln \varepsilon\}} \quad (5)$$

式中，L 为 TM/TIRS 热红外波段的辐射亮度，DN 为像元灰度值，gain 和 bias 分别代表该波段的增益系数和偏移量，均可自影像元数据中提取，T 为传感器入瞳处的亮温值，由上述参数计算得到。 K_1 和 K_2 为定标参数，TM6 波段为 $K_1=607.76W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$ ，

$K_2=1260.56K$ ，TIRS10 波段 $K_1=774.89W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$ ， $K_2=1321.08K$ ， λ 为 TM6 波段中心波长 ($11.5\mu m$) 和 TIRS10 波段的中心波长 ($10.9\mu m$)， ρ 的取值为 $1.438 \times 10^{-2}mK$ ， ε 表示地表比辐射率，由 NDVI 阈值法估算。

3.1.4 干度指标

取建筑指数 (IBI) 与裸土指数 (SI) 的平均值表征研究区干度指标^[14]，即干度指数 NDBSI，公式为：

$$NDBSI = \frac{(SI + IBI)}{2} \quad (6)$$

$$IBI = \left\{ \frac{2 \times Swir1}{(Swir1 + Nir)} - \left[\frac{Nir}{(Nir + Red)} + \frac{Green}{(Green + Swir1)} \right] \right\} \quad (7)$$

3.1.5 表土粒度指数

表土粒度指数 (TGSI) 的计算公式为：

$$TGSI = \frac{Red - Blue}{Red + Green + Blue} \quad (8)$$

式中，Blue、Green、Red 分别表示蓝色、绿色和红色波段的反射率^[9]。

3.2 改进型遥感生态指数构建

主成分分析 (PCA) 是常见的数据降维方法，可将多种指标耦合到一种遥感生态指数中，还可综合所有指标的信息，研究均选择主成分分析法的第一主成分 (PC1) 构建遥感生态指数，命名为 MRSEI。

$$MRSEI = f(NDVI, WET, LST, NDBSI, TGSI) \quad (9)$$

式中，NDVI 表示植被指数 (绿度)，WET 代表地表湿度，LST 反映地表温度 (热度)，NDBSI 表征干燥程度，TGSI 为表层土壤粒径指数。

3.3 改进型遥感生态指数变化趋势分析

为降低异常值干扰，趋势分析采用 Theil-Sen 中值斜率法，该方法对离群点不敏感，适用于长时间序列的稳健趋势估计^[15]。与传统最小二乘法回归方法不同，Theil-Sen 方法通过计算数据对中位数的斜率 (Sen 斜率) 来评估趋势变化。

$$S_{ET} = \text{median} \left(\frac{ET_j - ET_i}{j - i} \right) \quad \text{for } i < j \quad (10)$$

式中， ET_i 和 ET_j 分别表示时间序列中不同时间点的 NDVI 值，Sen 为中位数斜率。若 Sen 斜率为正，说明 NDVI 在研究期内整体抬升，且数值愈大，增速愈快；若 Sen 斜率为负，则表明植被指数持续下降，绝对值越大，下降幅度越显著。

为了验证 MRSEI 变化的显著性，研究采用 Mann-

Kendall 显著性检验 (MK 检验) 法对 MRSEI 趋势进行显著性分析, 实现锡林浩特市 MRSEI 恢复状况评价。

$$S = \sum_{j=1}^n \sum_{i=j+1}^n \text{sgn}(ET_j - ET_i) \quad (11)$$

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, (S>0) \\ 0, (S=0) \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, (S<0) \end{cases} \quad (12)$$

采用显著性水平 $\alpha = 0.05$ 进行显著性检验, 即 $Z \geq 1.96$ 时, MRSEI 呈显著改善变化趋势; $Z \leq -1.96$ 时, MRSEI 呈显著退化变化趋势; $-1.96 < Z < 1.96$ 时, MRSEI 不显著变化。 n 为样本年数, y_i 为第 i 年像元的 MRSEI 值, $\hat{y}_i$ 为第 i 年像元 MRSEI 的拟合值, $\bar{y}$ 为监测分析年份所有像元的 MRSEI 均值。

4 结果与分析

4.1 MRSEI 的适用性分析

基于 5 个生态因子构建的 MRSEI 指数的第一主成分分析结果如表 2 所示。各年份第一主成分的特征值均值可达 0.208, 表明 MRSEI 指数能够有效综合 5 个生态因子的特征。第一主成分贡献率最高为 83.71%, 均值为 75.76%, 可见第一主成分包含了 MRSEI 指数 5 个生态因子的大部分信息。总体来看, MRSEI 指数通过第一主成分较好地融合了 5 个生态因子的特征, 能够有效捕捉到生态环境的主要动态变化。

表2 第一主成分分析结果

年份	特征值	贡献率/%
2016	0.182	75.61
2017	0.148	65.57
2018	0.263	73.37
2019	0.219	83.71
2020	0.192	76.01
2021	0.180	71.86
2022	0.311	81.24
2023	0.185	75.73
2024	0.199	78.72

4.2 MRSEI 与 RSEI 对比分析

为进一步揭示 MRSEI 与 RSEI 的差异, 以 2024 年为例, 选取研究区 4 种典型地表覆盖类型进行局部细节对比, 结果如图 2 所示。总体来看, RSEI 图像噪声较大且图斑破碎, 在部分区域存在明显条带, MRSEI 在一定程度上缓解了这一问题。从细节看, MRSEI 更能客观表征锡林浩特市生态环境质量, 如: (1) 在大面积草地地区, MRSEI 在不同区域表现基本一致, 不

存在生态环境质量跳跃式变化, 同时能很好表征地面的草地地块分布特征; (2) MRSEI 在地势较为复杂区域如山地, 能很好表征区域生态环境质量, 而 RSEI 影像存在大量条带; (3) MRSEI 在耕地区域表现出良好特征, 能刻画一块区域内部不同地点的生态环境质量, 各地块生态环境质量过渡合理; (4) 对于工业区, MRSEI 能较好地区分小范围内不同区域的生态环境质量, 如在工业区边坡开展绿化养护工程, 而边坡台阶有频繁的工业活动, 二者生态环境质量形成鲜明对比。

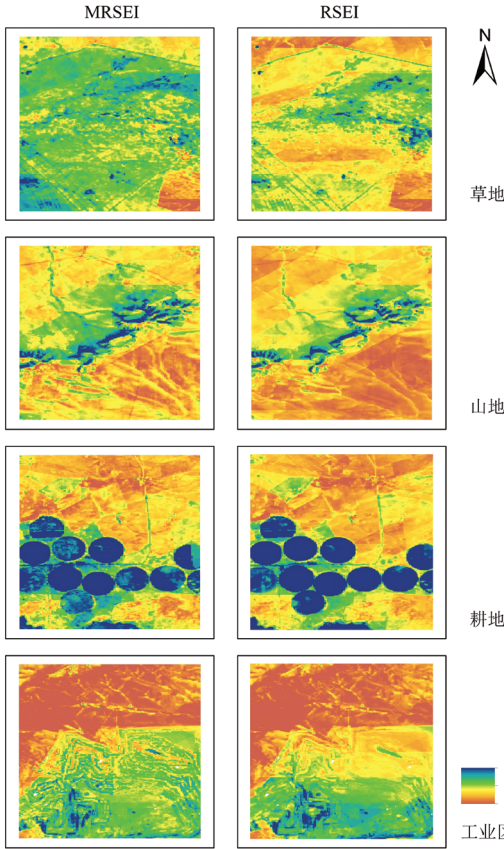


图2 MRSEI与RSEI局部细节对比

4.3 基于 MRSEI 的生态环境质量时空分布特征

锡林浩特市 2016 年至 2024 年 MRSEI 等级空间分布如图 3 所示。研究区大部分区域生态环境质量分布较为明显, 西北部、中部主要表现为差和较差, 东南部主要表现为优。生态环境质量自西北部向东南部逐渐变好。结合研究区土地利用数据可知, 研究区西北部地区以草地为主, 大量放牧活动对生态环境质量的影响不可忽视。长期过度放牧导致草地退化、土壤压实及水土流失现象加剧, 在一定程度上破坏了良好的生态环境。同时, 研究区中部及北部矿产开采导致土地破坏、植被破坏和土壤污染, 工业化进程中产生的大气污染、水污染及噪声污染进一步加剧了生态退化。

在多重因素影响下，西北部表现出差的生态环境质量。而东南部地势相对较高，受人为等因素干扰较少，植被、土壤等保护较好，生态环境质量相对较好。

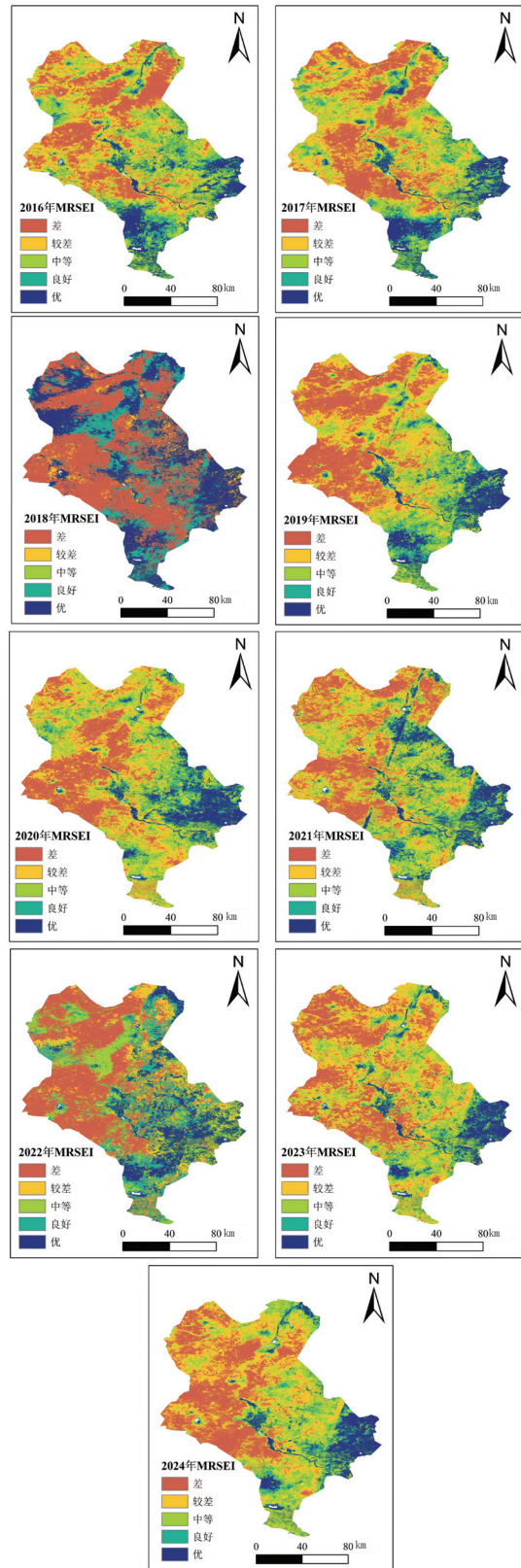


图3 2016年至2024年MRSEI等级空间分布

2016年至2024年锡林浩特市MRSEI变化趋势及分级结果如图4所示，从年际变化趋势上看，研究区生态环境质量呈改善趋势（Slope > 0）的区域占39.55%，其中显著改善（无统计显著性）区域面积最大，占37.58%，生态环境质量改善区域集中分布于研究区东北部及东南部区域。生态环境质量退化区域面积较大，占53.93%，其中研究区西北部及南部地区呈现出显著退化（有统计显著性）。

综合来看，研究区的生态环境质量在整体上呈现出改善与退化并存的格局。东北部和东南部的生态环境质量得到改善，可能是由于近年来相关生态保护措施的有效实施。而西北部和南部区域生态环境质量的显著退化，反映了人类活动（如矿产开采和过度放牧）对生态系统的深远影响。

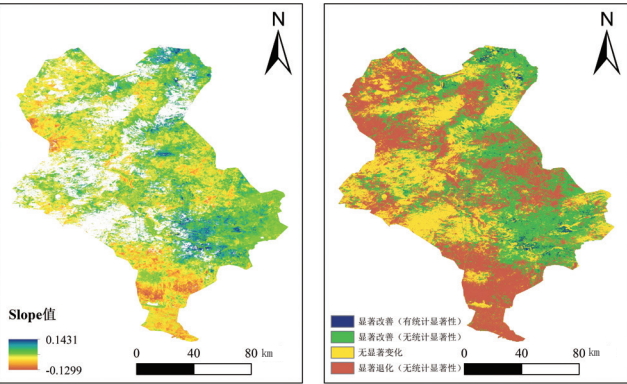


图4 2016年至2024年MRSEI变化趋势及分级

4.4 基于MRSEI的生态环境质量的持续性分析

2016年至2024年锡林浩特市MRSEI均值及标准差的年际变化如图5所示。

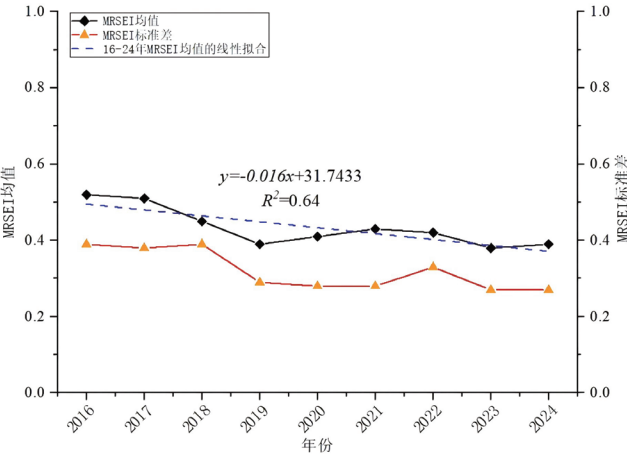


图5 2016年至2024年MRSEI均值年际变化

由图5可知，基于长时序遥感监测数据分析，整体上，2016年至2024年锡林浩特市MRSEI均值呈现轻微下降趋势，下降速率为-0.016/年。在此期间，

标准差呈现出较为平稳的变化,尤其是在2020年以后,数值波动性有所减小,表明生态环境的整体稳定性逐渐增强。2018年和2022年标准差出现短期上升,这可能与某些突发的自然或人为扰动因素相关,如极端天气或局部片区生态修复不稳定。

综合各项数据来看,生态修复措施的持续推进有效减少了波动,促进了生态系统的逐步恢复。因此,即使MRSEI均值有所下降,但总体表现出一定的稳定性和改善趋势,表明生态修复工程逐渐取得成效,生态环境得到有效恢复。

5 结论与展望

研究基于GEE云计算平台,构建了具有锡林浩特市本土优势的改进型遥感生态指数(MRSEI),并对锡林浩特市2016年至2024年MRSEI进行长时序遥感监测,详细论述了MRSEI的适用性、相较于传统遥感生态指数(RSEI)的优势,同时结合研究区生态本底信息开展了生态环境质量时空分布特征与持续性分析,得出结论如下:

(1)研究构建的生态环境质量指数MRSEI第一主成分贡献率均值达75.76%,能够有效融合5个生态因子的特征,可较为准确地反映研究区生态环境质量的整体变化,适用于锡林浩特市及类似地区的生态环境评价。

(2)将MRSEI指数与传统遥感生态指数(RSEI)对比分析发现,MRSEI在解决图像噪声和图斑破碎等方面具有明显优势,尤其在复杂地形和人类活动频繁区域表现出更强的生态环境质量表征能力。MRSEI能够更好地识别草地、山地、耕地和工业区等地表类型的生态质量差异,为锡林浩特市生态环境监测提供了更精确的工具。

(3)从2016年至2024年的时空分布分析结果来看,锡林浩特市生态环境质量存在明显的区域差异,西北部和中部地区生态环境质量较差,而东南部地区的生态环境质量较好。这一现象与当地的自然条件、土地利用方式(如过度放牧和矿产开采)及生态修复措施的实施情况密切相关。总体来看,西北部和南部地区的生态环境质量退化趋势较为严重,表明人类活动对生态环境造成了深远的负面影响,而东南部地区则受益于较少的干扰和良好的生态保护措施,生态环境质量相对较好。

(4)虽然锡林浩特市2016年至2024年间MRSEI

均值呈现轻微下降趋势(下降速率为 $-0.016/\text{年}$),但标准差的变化趋势表明,生态环境的稳定性有所增强。2018年和2022年标准差出现短期上升,这可能与局部的生态修复不稳定或突发的自然因素(如极端天气)有关。

总体来看,生态修复措施的持续推进有效减少了生态环境波动,表明锡林浩特市的生态环境正在逐步恢复和稳定,未来仍需保持生态修复和保护力度,进一步提升生态环境质量。

参考文献

- [1] 毕银丽,彭苏萍,杜善周.西部干旱半干旱露天煤矿生态重构技术难点及发展方向[J].煤炭学报,2021,46(5):1355-1364.
- [2] 汪云甲.矿区生态扰动监测研究进展与展望[J].测绘学报,2017,46(10):1705-1716.
- [3] 宋美杰,罗艳云,段利民.基于改进遥感生态指数模型的锡林郭勒草原生态环境评价[J].干旱区研究,2019,36(6):1521-1527.
- [4] 胡振琪,肖武.关于煤炭工业绿色发展战略的若干思考:基于生态修复视角[J].煤炭科学技术,2020,48(4):35-42.
- [5] 刘伟,尹勤瑞,刘祥宏.煤矿区生态自然修复及其人工促进模式探讨[J].煤田地质与勘探,2023,51(4):110-124.
- [6] Li F L S. Landsat-8 and Gaofen-1 image-based inversion method for the downscaled land surface temperature of rare earth mining areas[J]. Infrared physics and technology,2021,113(1).
- [7] 徐涵秋.区域生态环境变化的遥感评价指数[J].中国环境科学,2013,33(5):889-897.
- [8] 徐涵秋.城市遥感生态指数的创建及其应用[J].生态学报,2013,33(24):7853-7862.
- [9] 朝力格,兴安,阿如罕,等.基于改进型遥感生态指数的干旱区生态环境评价:以阴山北麓内蒙古武川县为例[J].应用生态学报,2024,35(7):1907-1914.
- [10] Ghulam A, Qin Q, Teyip T, et al. Modified perpendicular drought index (MPDI): a real-time drought monitoring method[J]. Isprs Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 2007,62(2):150-164.
- [11] 王丽春,焦黎,来凤兵,等.基于遥感生态指数的新疆玛纳斯湖湿地生态变化评价[J].生态学报,2019,39(8):2963-2972.
- [12] 王杰,马佳丽,解斐斐,等.干旱地区遥感生态指数的改进:以乌兰布和沙漠为例[J].应用生态学报,2020,31(11):3795-3804.
- [13] 张伟,杜培军,郭山川,等.改进型遥感生态指数及干旱区生态环境评价[J].遥感学报,2023,27(2):299-317.
- [14] 包妮沙,李秋玥,杨天鸿,等.耦合多因子的地表生态状况指数在干旱半干旱区露天矿的应用效果评价[J].金属矿山,2023(1):40-54.
- [15] 陈兵兵,盖迎春,王生棠,等.基于改进遥感生态指数的干旱区生态质量评价:以石羊河流域为例[J].遥感技术与应用,2025,40(2):472-484.

地面激光点云数据质量分析与评价

刘晓光^{1,2} 李群^{1,2} 张磊^{1,2}

(1. 河南省测绘院, 河南 郑州 450003; 2. 河南省自然资源科技创新中心(北斗高精度定位与应用关键技术研究), 河南 郑州 450003)

摘要: 针对三维激光扫描应用中数据质量难控、精度评价缺乏统一标准等问题, 以 VZ-400 地面三维激光扫描仪为对象, 开展实际点位精度研究, 对比多种靶标中心提取算法, 为精密测量应用提供支撑。研究采用 VZ-400 采集点云数据, 运用重心法、凸包结合抗差最小二乘、matlab 球面拟合等算法提取平面圆靶标与球靶标中心坐标, 以点位中误差评定精度。结果表明: 平面圆靶标以凸包 + 抗差最小二乘拟合最优, 平均中误差为 0.0062m; 球靶标以 matlab 球面拟合最优, 平均中误差为 0.0017m。VZ-400 正常环境下点位精度可达 0.0051m, 与标称精度 0.005m 一致; 优良环境精度更高, 较差环境略有降低, 为三维激光扫描技术在精密测量、工程测绘、实景三维建模等高精度应用提供可靠的算法选型与精度控制依据。

关键词: 三维激光扫描仪; 点位精度; 中心提取; 质量分析; 点云数据

1 引言

测绘技术革新是推动空间信息获取与应用向高精度、智能化、全域化发展的核心动力, 三维激光扫描技术是继 GNSS 空间定位技术之后测绘领域的又一重大技术突破^[1-3], 凭借快速、非接触、高密度、高精度优势, 广泛用于战场测绘、工程建设、文物保护等领域, 可弥补传统测量在复杂场景效率低、数据稀疏^[4-6]等问题, 成为现代测绘与三维重建的核心支撑技术。但受仪器误差、环境等因素影响, 实际应用中设备标称精度很难反映真实作业精度, 且缺乏统一规范的点云质量评价体系, 现有研究多聚焦单一误差修正或局部算法改进, 存在明显不足。针对上述问题, 研究以地面三维激光点云点位精度为核心, 以 VZ-400 扫描仪为实验设备, 以徕卡 MS60 全站仪观测值为真值, 布设圆靶标与球靶标开展比对实验, 构建全流程系统性研究框架, 分析不同条件下坐标偏差与分布规律, 完成点云质量综合评定, 旨在形成可推广的精度分析与质量评价方法, 明确设备误差水平与适用范围, 为其在精密测量等领域的规范化应用提供理论与技术支撑。

2 研究概况

地面三维激光扫描以脉冲法和相位法为主要测距方式, 分别通过激光往返时间差与相位差解算距离, 测角依靠伺服马达驱动反射棱镜实现; 实际测量过程中, 受仪器、环境、目标、扫描布设及数据处理等综合影响, 设备标称精度难以反映真实

作业精度, 且缺乏统一的点云质量评价体系。为此, 研究以点云点位精度为核心, 采用 VZ-400 三维激光扫描仪与徕卡 MS60 全站仪, 构建双靶标实验, 系统分析各类误差对数据质量的影响, 构建一套完整的技术体系, 以期提出一套严谨、通用的点云精度评定方案, 为地面三维激光扫描技术在高精度测量场景的标准化、工程化应用提供理论依据与技术保障。

3 整体技术路线

研究围绕 VZ-400 三维激光扫描仪的精度验证展开, 形成“实验布设—多源采集—预处理—坐标提取—精度评定”的完整闭环。首先, 在实验室均匀布设平面圆靶标与球靶标, 开展多源数据采集: 一方面利用 VZ-400 扫描仪获取靶标点云数据, 经去噪、冗余剔除、密度均衡等预处理后, 分别采用多种算法(RiSCAN PRO、Geomagic Studio、重心法、凸包 + 抗差最小二乘拟合)提取平面靶标与球靶标(Geomagic Studio、matlab 球面拟合)中心坐标; 另一方面通过徕卡 MS60 全站仪采集靶标精确坐标作为真值基准。其次, 通过布尔莎七参数模型将点云提取坐标统一转换至 MS60 坐标系, 消除系统差异。最后, 通过计算点位中误差, 定量分析不同算法的提取精度, 筛选出平面靶标中凸包 + 抗差最小二乘拟合、球靶标中 matlab 球面拟合的最优方案, 综合评定 VZ-400 扫描仪在不同环境的点位精度, 最终输出算法选型建议与扫描仪精度特性, 为精密测量应用提供支撑。整体技术路线如图 1 所示。

作者简介: 刘晓光(1989—), 男, 汉族, 本科, 工程师, 主要从事外业航测、外业踏勘采集、内业制图处理等工作。

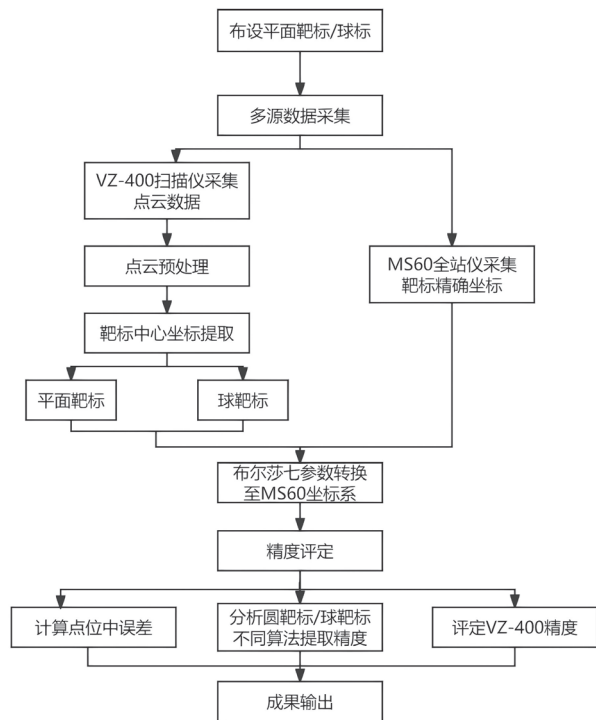


图1 整体技术路线

4 质量评价体系

为了对点位精度进行定量分析,研究采用点位中误差来比较点位精度和各种因素对数据精度的影响,中误差越大,点位精度越低,反之则点位精度越高,通过如下公式计算中误差、平距离、垂直角等数值,并分析与点位精度之间的关系。

$$\sigma_p = \sqrt{(X_i - \bar{X})^2 + (Y_i - \bar{Y})^2 + (Z_i - \bar{Z})^2} \quad (1)$$

其中, X_i , Y_i , Z_i 为通过点云数据提取出的中心坐标, $\bar{X}$, $\bar{Y}$, $\bar{Z}$ 为靶标精确坐标。

$$L = \sqrt{\bar{X}^2 + \bar{Y}^2 + \bar{Z}^2} \quad (2)$$

$$\theta = \arcsin\left(\frac{\bar{Z}}{L}\right) \quad (3)$$

$$\alpha = \arctan\left(\frac{\bar{Y}}{\bar{X}}\right) \quad (4)$$

5 研究内容

5.1 数据获取与处理

5.1.1 三维激光点云数据采集及处理

在实验室均匀布设平面圆靶标与球靶标,采用 VZ-400 三维激光扫描仪与徕卡 MS60 全站仪开展对比实验。平面圆靶标借助 RiSCAN PRO 软件的高反射率识别功能完成粗扫与精扫;球靶标通过手动选取区域进行精细扫描,导出坐标。点云预处理阶段,对圆靶标按反射率阈值剔除冗余数据,提取有效点云;对球靶标通过

点云分割去除无关点云,为靶标中心提取奠定基础。

5.1.2 平面圆靶标点云数据中心位置获取

平面圆靶标具有几何规则、边缘清晰、便于识别与量测的特点,是地面三维激光扫描精度验证最常用的标准几何靶标,点云数据中心位置的准确获取直接决定坐标对比的可靠性与最终精度评定结果的可信度。然而,受点云密度、噪声、局部遮挡及扫描角度等因素影响,不同提取方法得到的圆心坐标往往存在差异,为保证中心定位的稳定性与准确性,研究使用四种方法提取平面圆靶标点云数据中心位置,通过多种算法对比分析,筛选最优提取策略,为后续坐标转换与点云精度评定提供精确、可靠的基准坐标。

(1) RiSCAN PRO: 在识别平面圆靶标时,利用 VZ-400 扫描仪的配套软件 RiSCAN PRO,直接获取平面圆靶标中心坐标,结果如表 1 所示。

表1 利用RiSCAN PRO获取平面圆靶标中心坐标

点号	X	Y	Z
点001	4.696	1.401	-0.102
点002	4.173	3.367	-0.032
点003	3.117	4.406	0.726
点004	4.029	3.502	1.399
点005	4.911	2.634	-0.268
点006	2.500	5.013	1.425
点007	2.026	-3.343	0.353
点008	2.026	-3.346	0.053
点009	-0.868	3.141	-0.335
点010	4.339	-0.980	0.123

(2) Geomagic Studio: 利用 Geomagic Studio 软件提取平面圆靶标中心,圆靶标点云数据侧视图如图 2 所示,获得的平面圆靶标数据并非一个圆面,而是拥有一定厚度的物体。因此,相对于把点云数据拟合成一个圆形平面,更适合将点云数据拟合成圆柱。使用 Geomagic Studio 软件的剔除粗差功能,去除点云数据的粗差,然后选择特征功能,使用圆柱拟合,选择最佳拟合选项,拟合结果如图 3 所示。获得该拟合圆柱体中心,作为平面圆靶标中心,结果如表 2 所示。

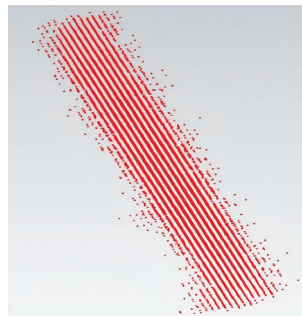


图2 平面圆靶标点云数据

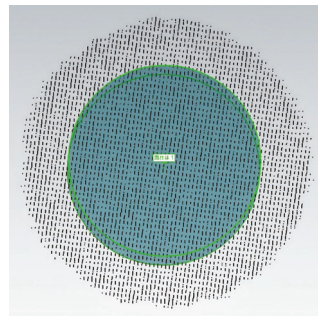


图3 平面圆靶标中心坐标

表2 利用Geomagic Studio获取平面圆靶标中心坐标

点号	X	Y	Z
点001	4.707	1.404	-0.102
点002	4.178	3.368	-0.026
点003	3.120	4.411	0.728
点004	4.036	3.507	1.400
点005	4.915	2.638	-0.268
点006	2.503	5.021	1.427
点007	2.043	-3.373	0.354
点008	2.043	-3.376	0.053
点009	-0.876	3.176	-0.343
点010	4.388	-0.994	0.107

(3) 重心法：鉴于平面靶标点云数据量大，且分布较为均匀，可近似将点云数据的平均位置视作点云数据中心位置。因此，求取所有点云坐标的平均值，将其作为平面圆靶标中心位置。首先将点云数据投影至靶标最佳平面，其平面表达式为：

$$aX+bY+cZ+d=0 \tag{5}$$

其中， a 、 b 、 c 为法向量元素。当 $a^2+b^2+c^2=1$ 时，可认为公式(5)的最小特征根所对应的特征向量，是多个靶标拟合的靶标最佳平面单位法向量。

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n \Delta X_i^2 & \sum_{i=1}^n \Delta X_i \Delta Y_i & \sum_{i=1}^n \Delta X_i \Delta Z_i \\ \sum_{i=1}^n \Delta X_i \Delta Y_i & \sum_{i=1}^n \Delta Y_i^2 & \sum_{i=1}^n \Delta Y_i \Delta Z_i \\ \sum_{i=1}^n \Delta X_i \Delta Z_i & \sum_{i=1}^n \Delta Y_i \Delta Z_i & \sum_{i=1}^n \Delta Z_i^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} \tag{6}$$

式中， $\Delta X_i = X_i - \bar{X}$ ， $\Delta Y_i = Y_i - \bar{Y}$ ， $\Delta Z_i = Z_i - \bar{Z}$ ， $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$ ， $\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n}$ ， $\bar{Z} = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i}{n}$ ，靶标最佳平面的中误差为：

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n-3}} \tag{7}$$

当 $|d_i| > 2\delta$ 时，将该点视为粗差点，从数据中剔除。利用重心法，选取剔除完粗差点云数据的平均坐标位置，作为靶标中心位置，结果如表3所示。

表3 重心法获取平面圆靶标中心坐标

点号	X	Y	Z
点001	4.7070	1.4047	-0.1027
点002	4.1792	3.3669	-0.0262
点003	3.1216	4.4110	0.7281
点004	4.0362	3.5072	1.3997
点005	4.9159	2.6378	-0.2684
点006	2.5043	5.0207	1.4268
点007	2.0423	-3.3712	0.3545
点008	2.0426	-3.3719	0.0534
点009	-0.8760	3.1755	-0.3429
点010	4.3879	-0.9927	0.1063

(4) 凸包算法与抗差最小二乘拟合：研究采用凸包算法与抗差最小二乘拟合法求解平面圆靶标中心坐标：首先剔除点云粗差，将点云投影至最佳平面以消除厚度干扰；然后用凸包算法提取点云边缘（圆靶标凸包点即边缘点），通过抗差最小二乘法拟合边缘求取靶标中心点。

除此方案外，还可采用另一种方法：剔除粗差后投影点云至最佳平面，旋转该平面至 XOY 平面转化为二维数据；抗差拟合边缘完成后，将中心旋转回原始平面，最终得到圆靶标中心坐标，结果如表4所示。

表4 凸包算法与抗差最小二乘法获取平面圆靶标中心坐标

点号	X	Y	Z
点001	4.7070	1.4044	-0.1022
点002	4.1791	3.3669	-0.0263
点003	3.1216	4.4110	0.7278
点004	4.0362	3.5073	1.3997
点005	4.9158	2.6376	-0.2682
点006	2.5043	5.0207	1.4267
点007	2.0416	-3.3710	0.3544
点008	2.0425	-3.3718	0.0534
点009	-0.8757	3.1755	-0.3427
点010	4.3878	-0.9923	0.1063

5.1.3 球靶标点云数据中心位置获取

球靶标适配性强，其点云数据中心位置的精准提取是精度校准关键，研究采用两种方法提取，以验证其稳定性。

(1) Geomagic Studio 拟合球面

使用Geomagic Studio软件将点云数据进行封装，剔除粗差的同时，将点云数据变成一个三角组成的面，然后选择特征功能，使用球拟合，选择最佳拟合选项，拟合结果如图4所示。获得该球体的中心坐标，将其作为球靶标中心坐标，结果如表5所示。

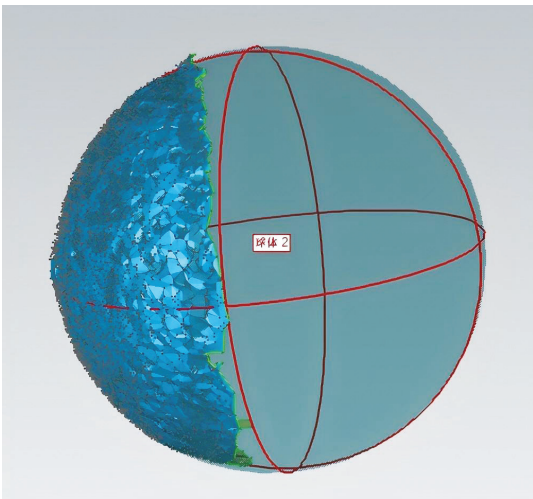


图4 利用Geomagic Studio拟合球面

表5 利用Geomagic Studio拟合球面获取球靶标中心坐标

点号	X	Y	Z
球001	3.1444	0.8713	-0.3026
球002	-1.4286	2.9177	-0.3294
球003	0.8852	-4.2076	-0.5906
球004	-3.6972	-2.1517	-0.6140
球005	1.5354	2.0723	-0.5996
球006	-0.1736	2.3914	0.2337
球007	-2.2769	3.2908	-0.3362
球008	-4.7409	-2.2007	0.2733

(2) matlab 球面拟合

设球靶标表达式为 $(a-X)^2+(b-Y)^2+(c-Z)^2=r^2$ ，利用 matlab 球面拟合法来获取点云球心坐标，拟合结果如表 6 所示。

表6 利用matlab球面拟合获取球靶标中心坐标

点号	X	Y	Z
球001	3.1443	0.8713	-0.3025
球002	-1.4283	2.9172	-0.3294
球003	0.8850	-4.2066	-0.5905
球004	-3.697	-2.1515	-0.6138
球005	1.5340	2.0705	-0.5991
球006	-0.1735	2.3906	0.2336
球007	-2.2767	3.2906	-0.3362
球008	-4.7404	-2.2004	0.2733

5.1.4 全站仪获取靶标精确坐标

由于 MS60 全站仪精度远高于 VZ-400 三维激光扫描仪，可将 MS60 全站仪获得的坐标视为靶标精确坐标，其中，圆靶标为标识有中心的小圆片，可通过 MS60 全站仪直接获得平面圆靶标中心坐标。而球靶标无法直接获得中心精确坐标，因此利用球棱镜辅助测量，通过测量 6 个与球靶标表面相切的球棱镜中心坐标，拟合出球靶标中心坐标，拟合方法为：

设球靶标表达式为 $(a-X)^2+(b-Y)^2+(c-Z)^2=r^2$ ，利用 matlab 球面拟合法获取点云球心坐标，拟合结果如表 7 所示。

表7 球靶标中心精确坐标

点号	X	Y	Z
球001	3.1263	0.9178	-0.3520
球002	-1.4654	2.9138	-0.1884
球003	0.9107	-4.1702	-0.7712
球004	-3.6905	-2.1653	-0.6034
球005	1.4972	2.1096	-0.5635
球006	-0.1916	2.3804	0.3231
球007	-2.3174	3.2780	-0.1600
球008	-4.7104	-2.2580	0.3071

采用 MS60 全站仪获得平面圆靶标中心精确坐标，具体结果如表 8 所示。

表8 平面圆靶标中心精确坐标

点号	X	Y	Z
点001	4.6652	3.4450	-0.2257
点002	4.1557	5.3977	0.0263
点003	3.1542	6.3857	0.9196
点004	4.1032	5.4335	1.4649
点005	4.8711	4.6867	-0.3140
点006	2.5858	6.9437	1.6986
点007	2.0027	-1.3460	0.0476
点008	1.9848	-1.3247	-0.2522
点009	-0.9101	5.2394	0.0150
点010	4.3441	1.0401	-0.1731

5.2 精度评定

将 VZ-400 三维激光扫描仪与 MS60 全站仪采集的坐标转换到统一坐标系，由于 MS60 全站仪测量精度最高，因此研究采用 MS60 坐标系作为统一基准。若要对两个不同的坐标系进行转换，需要获取转换参数，该参数一般是利用同一点在两个坐标系下的不同坐标值，结合数据模型来计算，当重合点数量不少于 3 个时，采用布尔莎七参数完成坐标转换，最后利用转换后的数据进行精度评定。

5.2.1 平面圆靶标点位中误差

以徕卡 MS60 全站仪实测的靶标中心坐标作为高精度真值，将不同算法提取的激光点云靶标中心坐标与真值逐点作差，分别得到平面 X、Y 方向的坐标残差。依据误差理论，对各方向残差求平方和、取平均值再开平方，最终计算出不同提取方法下靶标中心坐标的中误差，以此定量评价各算法的点位精度与稳定性，同时反映点云数据质量对靶标中心提取结果的影响程度，相关计算结果如表 9 所示。

表9 多种方法获取平面圆靶标中心坐标的点位中误差

点号	RiSCAN PRO	Geomagic Studio	重心法	凸包算法和抗差最小二乘拟合	平均中误差
点001	0.0149	0.0063	0.0057	0.0059	0.0082
点002	0.0116	0.0045	0.0044	0.0046	0.0062
点003	0.0088	0.0047	0.0031	0.0031	0.0049
点004	0.0120	0.0040	0.0036	0.0035	0.0058
点005	0.0122	0.0068	0.0067	0.0069	0.0081
点006	0.0085	0.0061	0.0050	0.0049	0.006
点007	0.0322	0.0075	0.0072	0.0066	0.0133
点008	0.0301	0.0065	0.0064	0.0063	0.0123
点009	0.0227	0.0144	0.0140	0.0140	0.0163
点010	0.0500	0.0073	0.0060	0.0056	0.0172
平均中误差	0.0203	0.0068	0.0063	0.0062	0.0099

结合表 9 数据，综合分析四种平面圆靶标中心坐标提取方法，结果显示，RiSCAN PRO 软件自动提取法操作简便，可快速获取靶标概略坐标，但精度最差，

其点位中误差最小值为 0.0085m、最大值为 0.0500m、平均中误差为 0.0203m，处于厘米级，远高于四种方法的最终平均精度，无法满足精密测量需求。其中点 007、点 010 中误差异常偏大，源于靶标扫描时存在遮挡、点云数据质量偏低；点 009 中误差较小，但因点云反射率低、数据量不足，其余三种方法提取精度均较差。

Geomagic Studio 软件提取法精度较高，点位中误差最小值为 0.0040m、最大值为 0.0144m、平均中误差为 0.0068m，达到毫米级，但提取过程需较多人工干预，参数设置差异对结果影响显著，操作复杂且效率较低。

重心法、基于凸包算法与抗差最小二乘拟合方法精度均较高，其中重心法原理简单、易于实现、计算高效，精度略低于后者，仅在点 001、点 002、点 005 的提取结果优于后者，其余点位两者精度差距较小，但重心法应对低质量点云、靶标遮挡的能力较弱，稳定性不足；基于凸包算法与抗差最小二乘拟合方法虽计算速度略慢于重心法，但稳定性优良，能有效解决靶标遮挡、点云数据质量差等问题，在点 007、点 010 提取中表现突出，在四种方法中精度最高、适应性最强。

5.2.2 球靶标点位中误差

球靶标中心坐标中误差计算，以徕卡 MS60 全站仪实测的球靶标中心坐标作为高精度真值，分别将 Geomagic Studio 球面拟合法与 matlab 球面拟合法提取的激光点球靶标中心坐标，与该真值进行逐点比对，计算得到空间 X、Y、Z 三个方向的坐标残差；随后依据误差理论，对各方向坐标残差求平方和、取平均值后开平方运算，最终分别得到两种球靶标中心提取方法的中误差，以此定量衡量两种方法提取球靶标中心的点位精度，反映 VZ-400 三维激光扫描仪采集球靶标点云数据的可靠性，相关计算结果如表 10 所示。

表10 多种方法获取球靶标中心坐标的点位中误差

点名	Geomagic Studio	matlab球面拟合	平均中误差
球001	0.0021	0.0021	0.0021
球002	0.0019	0.0013	0.0016
球003	0.0036	0.0026	0.0031
球004	0.0015	0.0017	0.0016
球005	0.0014	0.0011	0.0012
球006	0.0015	0.0011	0.0013
球007	0.0021	0.0018	0.0019
球008	0.0012	0.0017	0.0015
平均中误差	0.0019	0.0017	0.0018

结合表 10 数据，对两种球靶标中心坐标提取方法进行综合分析，结果显示，Geomagic Studio 球面拟合法与 matlab 球面拟合法的平均中误差相差不大，精度均达到毫米级，总体平均精度基本持平，但两者在稳定性、操作效率及适用场景上存在明显差异。其中，Geomagic Studio 球面拟合法需人工干预整个提取过程，其最大中误差为 0.0036m、最小中误差为 0.0012m，而 matlab 球面拟合法的最大的中误差为 0.0026m、最小中误差为 0.0011m，可见 matlab 球面拟合法的稳定性显著优于 Geomagic Studio 球面拟合法。操作层面上，Geomagic Studio 球面拟合法流程较为复杂，无法实现自动提取，不适合批量数据处理，但可用于少量数据的精细处理；而 matlab 球面拟合法稳定性好、效率高、速度快、精度高，更适用于批量数据处理。

此外，两组数据中球 003 的提取精度最低，两种方法提取的中心坐标精度均不及其他球靶标，经分析可知，该现象源于球 003 位于实验室暗处，球体反射效果较差，点云数据包含较多粗差，尽管两种方法均具备一定的粗差剔除能力，但无法将粗差完全剔除，进而导致提取精度下降。

5.2.3 靶标点位精度评定

结合平面圆靶标与球靶标的中误差数据，对 VZ-400 三维激光扫描仪点位精度进行综合分析，结果显示，平面圆靶标四种提取算法的平均中误差为 0.0099m，均未达到仪器标称精度 0.005m，其中 RiSCAN PRO 算法提取数据的中误差处于厘米级，最大为 0.0332m、最小为 0.0088m，误差较大可全部剔除；剔除该算法数据后平均中误差降至 0.0064m，仍未达标，进一步剔除点云质量较差的点 007、点 009、点 010 后，平均中误差为 0.0051m，与标称精度相符。球靶标两种提取算法的中误差分别为 0.0019m 和 0.0017m，平均中误差为 0.0018m，所有点的中误差均小于 0.005m，点位精度远超标称精度。

综合来看，VZ-400 三维激光扫描仪的点位精度与观测环境密切相关，观测环境较差时，点位精度约为 0.0064m，略低于标称精度；观测环境正常时，点位精度可达 0.0051m，与标称精度一致；观测环境极好时，点位精度可远超标称精度，达到 0.0018m。整体而言，该扫描仪正常使用时的点位精度完全能达到标称精度 0.005m，仅在观测环境较差的情况下，点位精度会出现明显下降。

(下转第 52 页)

基于车载点云最优邻域多特征的道路边界提取方法

宁志勇

(太原市国土空间规划测绘院(太原市城市雕塑研究院), 山西 太原 030002)

摘要: 基于车载移动激光扫描仪可实现道路及周边点云信息获取, 为道路结构分析、道路部件提取提供数据支撑。基于车载激光扫描系统获取市区某街道点云数据, 研究提出一种基于点云局部最优邻域多特征估算的市区道路边界线提取方法, 首先利用渐进加密三角网滤波出地面点, 实现地面点滤波; 其次分析局部最优邻域估算采样点维度特征, 最后联合多维度特征实现道路边界信息提取。结果表明, 该方法在直行、弯曲道路等代表性道路环境均取得较好的结果, 对扩展研究车载激光扫描技术在道路场景中的应用具有重要价值。

关键词: 车载激光扫描; 最优邻域; 道路边界; 多特征联合

1 引言

道路边界是划定车辆行驶范围的重要结构, 边界信息精确提取可为高精度地图导航、辅助无人驾驶车辆自动定位、感知与行驶规划提供重要信息。车载激光扫描技术能有效获取大范围内目标物的高精度、高密度三维空间信息, 采集道路各类部件形态与空间分布特征, 详细描述目标形态, 在道路信息提取方面有明显优势, 能为道路边界信息提取提供数据支撑^[1-3]。目前, 已有相关学者开展三维激光点云道路结构信息提取研究, 如文献[3]通过计算点云邻域的高程突变特征提取边界; 文献[4]将激光扫描数据分割为扫描线形式, 通过移动窗口算法统计邻域点云的高程差、点密度与坡度值等参数, 分析点云分布特征, 构建路肩模型, 提取道路边界信息; 文献[5]利用回波强度信息构建强度图, 采用直线检测(Linear Structure Detection, LSD)提取道路边界。以上已有研究算法均能实现道路边界线准确提取, 但大都固定邻域导致特征失真, 且较多算法采用单一特征, 适应性较差^[6-8]。

研究提出一种基于点云局部最优邻域多特征估算的市区道路边界线提取方法, 利用高精度车载激光扫描技术获取道路高精度三维点云数据, 通过分析点云数据, 综合考虑点云特征信息, 采用渐进加密三角网进行点云滤波, 实现地面与非地面点分离, 并以实地数据为例进行算法精度检验, 证明了该方法的可行性。

2 研究技术路线

城市道路环境复杂, 车载激光扫描技术会无差别地采集目标与非目标物的三维信息。道路边界与路面、

附属物在结构和材质上的差异, 体现在点云的空间分布和反射强度特征中。这些特征为点云分类和边界提取提供了重要依据。基于此, 研究提出的道路边界线提取方法主要包括如下流程:

(1) 依据航迹线精简数据, 减少运算量。

(2) 采用迭代不规则三角网(Triangulated Irregular Network, TIN)加密算法滤波, 去除附属物干扰^[9-11]。

(3) 利用目标点邻域构建特征向量, 融合回波强度初步提取道路边界信息。

(4) 通过聚类剔除误提取数据, 细化结果。

3 最优邻域特征估算

在道路点云数据处理过程中, 微分几何属性的估算结果直接影响邻域点云的关联性, 科学选取邻域范围对构建点云几何特征非常重要。传统点云特征提取算法多采用固定邻域范围筛选邻近点, 以完成点云几何特征的计算。点云法向量估算在起伏较大区域容易产生偏差, 影响后续目标提取与滤波等操作精度。综合考虑现有方法存在的问题, 研究基于峭度分析法向量突变特征, 实现点云法向一致性评估。

当分析道路点云空间分布特征时, 依据峭度指标趋于平缓, 即为特征计算最优邻域; 据此利用主成分分析(Principal Components Analysis, PCA)估算采样点最优几何特征, 公式如下:

$$\begin{cases} C = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (p_i - \bar{p}) \times (p_i - \bar{p})^T \\ C \times \bar{v}_j = e_j \times \bar{v}_j, j \in \{0, 1, 2\} \end{cases} \quad (1)$$

作者简介: 宁志勇(1983—), 男, 汉族, 本科, 工程师, 主要从事工程测量、摄影测量、地理信息系统等工作。

平面性为:

$$P_v = (V_2 - V_3) / V_1 \quad (2)$$

式中, V_1 、 V_2 、 V_3 为局部特征向量, P_v 为平面性值。

各向异性为:

$$G_v = (V_1 - V_2) / V_1 \quad (3)$$

式中, G_v 为各向异性值。

法向量为:

$$C = (V_1, V_2, V_3) \quad (4)$$

式中, C 为分曲率变化值。

邻域高程差为:

$$h = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_A - Z_{pi})^2}{n-1}} \quad (5)$$

式中, h 为邻域高程方差值, Z_A 为待检测点高程值, Z_{pi} 为邻域内点高程值。

以上公式中, N 表示目标点邻域内点数量, p_i 为第 i 个点的质心, $\bar{p}$ 表示邻域中所有点的质心, e_j 是协方差矩阵的第 j 个特征值, $\bar{v}_j$ 表示第 j 个特征向量。对求取的协方差矩阵 C 的 3 个特征值从大到小进行排序: $V_1 \geq V_2 \geq V_3 > 0$, V_1 、 V_2 分别表示局部特征向量方向的偏离度, V_3 表示法线方向的偏离度。

根据 PCA 算法原理, 三个主成分特征值即可描述局部邻域特征, 根据相关研究, 用线性、平面性、各向异性、曲率变化共同分析采样点空间分布特征。点云局部邻域特征计算完成后, 为准确描述局部点云的空间分布特征, 根据峭度分析理论检验采样点局部邻域信息法向一致性, 法向一致性测度公式如下:

$$\sigma(p_i, n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k \left(\frac{\varphi_i - \bar{\varphi}}{\sigma_\varphi} \right)^4 \quad (6)$$

$$\varphi_i = \arccos \frac{|\langle \bar{v}^{i-1}, \bar{v}^i \rangle|}{|\bar{v}^{i-1}| \times |\bar{v}^i|} \quad (7)$$

公式中, $\bar{v}^{i-1}$ 、 $\bar{v}^i$ 分别表示相邻两个邻域大小求取点云的法向量, φ_i 为峭度指标。

分析公式 (6) 和 (7) 可知, 峭度指标 φ_i 会随着采样点邻域范围内各点法向量的变化而变化, 选取邻域范围内点云分布, 特征越相似, 法向越接近, 则会稳定于一定范围, 此时为采样点维度特征估计的最优邻域, 所估算的局部邻域维度特征值更能表达目标物点云的空间维度分布信息。最优邻域判定时, 设定邻域搜索半径范围为 $[0.05\text{m}, 0.15\text{m}]$, 步长为 0.01m 。采用 PCA 计算采样点特征值, 并基于信息熵函数求取局部峭度指标 φ_i 。比较不同半径下的峭度值 φ_i , 取趋

于平缓时对应的半径作为最优邻域, 进而分析目标点云空间分布特征, 计算采样点特征值, 峭度分析结果如图 1 所示。

由图 1 可知, 随着邻域尺度半径扩大, 峭度指标发生改变, 在 $0.05 \sim 0.09\text{m}$ 邻域范围内变化尤为激烈, 表明该范围内邻域点数量较少, 且空间分布特征较为散乱。随着邻域尺度增大, 峭度指标趋向一致, 当邻域范围变大, 由于加入过多非特征点, 突变信息被平滑, 至邻域半径为 0.11m 时, 峭度指标趋于稳定, 因此采样点最优邻域半径设定为 0.11m , 并基于此计算采样点维度特征。

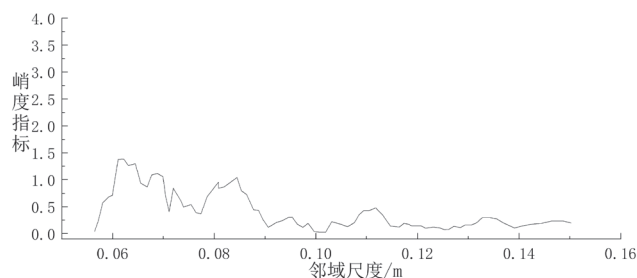


图1 峭度分析

4 联合特征构建

研究充分挖掘点云数据空间维度特征, 融合点云局部空间维度特征, 构建邻域特征向量集。基于市区道路各部件高程、坡度、形态等多维度特征的差异性, 进行点云数据的分类提取。考虑市区道路边缘路缘石特有的结构特征, 基于峭度分析确定采样点最优邻域, 选取平面性特征、各向异性特征、法向量特征以及高程方差四个维度特征, 构建联合特征集, 并综合设置分割阈值, 达到提取道路边界信息的目的。路边石与路面空间结构特征如图 2 所示。

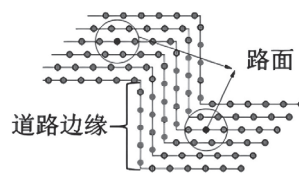


图2 路边石与路面空间结构特征

5 结果分析

5.1 实验数据

为验证研究算法在道路边界提取的性能与有效性, 选取两段城市典型道路的车载激光扫描数据。实验采用国产 AS900-HL 移动扫描系统, 该系统包含彩色相机、惯性导航系统、全球定位系统、 360° 点云采集系统。车速控制在 30km/h 左右, 尽量避让大型车辆, 确保高

密度点云完整性,两路段均存在低矮植被、行道树、路灯杆及交通指示牌,实验数据如图3所示。

图3(a)路段1(直线型):坡度较大、路宽规则,长度约300m,含3,758,943个点云点;

图3(b)路段2(弯曲型):坡度较小、路宽变化,长度约330m,含3,895,341个点云点。

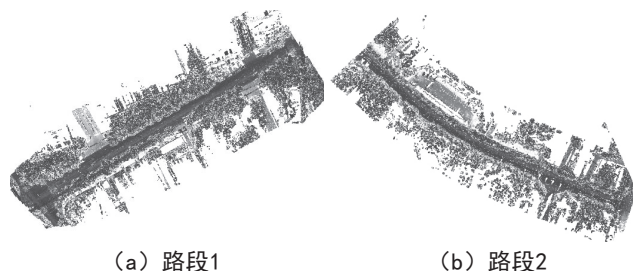


图3 实验数据

5.2 数据预处理

城市道路路面较为平整,路面点云空间显示排列较为规则,各点之间高差较小。而道路路面的附属设施,诸如路灯、绿化行树、花坛等路面以上附属设施的点云呈现不规则形状,导致点云呈现离散性;同时,附属物在垂直方向(Z方向)具有分层结构,与路面点云特征差异较为显著。因此,需要对点云进行滤波以精简数据。

研究采用迭代 TIN 加密滤波算法^[5](一种基于三角高程算法的改进方法)开展点云去噪处理:首先将点云数据进行网格划分,选取网格内最低高程点作为种子点,构建初始三角网;随后依据有关规则,将剩余点判定为地面点加入,逐步加密三角网直至条件满足,地面点滤波结果如图4所示。滤波后成功分离了道路附属物与路面,保留了关键的路缘石信息,为后续边界提取奠定了基础。



图4 地面点过滤结果

5.3 道路边界提取结果分析

综合分析实验区道路结构,基于最优邻域挖掘点云多维度特征,联合多特征提取道路边界信息,并与文献[8]、文献[9]已有方法进行对比分析。以直线段与曲线段分别处理,不同方法的提取结果如图5与图6所示。



图5 不同方法的直线路段边界提取结果



图6 不同方法的弯曲路段边界提取结果

为比较与评价点云道路提取算法的正确率与完整程度,以准确率AR、完整率CR和F-Measurer指标 F 对比分析。准确率AR计算公式如下:

$$AR = l_s / (l_s + l_e) \times 100\% \quad (8)$$

式中, l_s 为点云中提取道路边界长度, l_e 为点云中未能准确提取道路的长度。完整率CR计算公式如下:

$$CR = l_s / L \times 100\% \quad (9)$$

式中, L 为实际道路边界长度。F-Measurer指标 F 计算公式如下:

$$F_a = \frac{(a^2 + 1)AR \times CR}{a^2 \times AR + CR} \quad (10)$$

式中, a 为参数,研究设置 $a=1$ 。 F_a 的值越高,说明实验算法提取越有效。

基于两条代表性路段实验中,各条路 F_a 的数值均高于95%以上,表明研究算法顾及多特征联合,可有效提取道路边界信息。但市区内道路受到外界环境影响,两侧常常停放车辆,绿化植被遮挡,直接影响提取的完整程度。如果以上情况均不存在,或者路段条件良好,适合道路边界提取,那么道路提取的完整性会达到一个满意程度。研究对两条代表性道路提取边界的成果进行统计,总体精度定量分析如表1所示。

表1 道路边界提取精度统计

类型	L_s/m	L_e/m	L/m	AR/%	CR/%	$F_a/%$
直行道(路段1)	298.21	2.82	302.03	99.01	98.7	97.1
弯道(路段2)	93.73	3.73	98.51	96.2	95.1	95.6

在两条代表性道路点云数据中,选取有代表性的20个道路边界点作为检核点,评价研究道路边界提取的准确程度。计算20个检核点与各算法提取的道路边界的垂直距离,精度检测结果如表2所示。其中,研究方法不管是最大距离还是平均距离,均优于其他两种方法,表明研究顾及路缘石结构的点云提取方法具有较大优势。

表2 道路边界线精度检测（单位：cm）

	方法	直线路段	弯曲路段
最大距离	文献[8]方法	0.029	0.030
	文献[9]方法	0.027	0.028
	研究方法	0.027	0.029
平均距离	文献[8]方法	0.028	0.029
	文献[9]方法	0.026	0.028
	研究方法	0.026	0.027

6 结论

研究针对复杂市区道路环境，提出一种基于点云局部最优邻域多特征估算的道路边界线提取方法。通过车载激光扫描获取高精度点云数据，采用迭代 TIN 加密滤波有效分离地面与非地面点，保留关键路缘石结构；创新性引入梯度分析法动态确定最优邻域半径（0.11m），联合平面性、各向异性、法向量及高程方差四维特征，构建几何特征描述子，显著提升边界特征表达能力。实验表明，该方法在直行道、弯道等典型场景均表现良好，直行道提取准确率达 99.01%（ F 值 97.1%），弯道 F 值达 95.6%，验证了多特征联合提取的可行性与有效性。但该算法仍存在局限性，高度依赖路缘石结构的完整性，在车辆遮挡或植被覆盖区域易出现边界漏提（弯道完整率仅 95.1%）。

（上接第 48 页）

6 结论

研究利用 Reigel VZ-400 三维激光扫描仪获取室内实验室平面圆靶标与球靶标点云数据，采用多种方法提取靶标中心坐标，并与徕卡 MS60 全站仪精确坐标对比，分析不同算法精度及 VZ-400 点云点位精度。

平面圆靶标采用 RiSCAN PRO 提取法、Geomagic Studio 提取法、重心法、基于凸包算法与抗差最小二乘拟合四种方法，其中 RiSCAN PRO 提取法操作简便、效率高但精度差；Geomagic Studio 提取法精度较高，但需人工干预、效率低，且参数依赖性强；重心法简单高效、适合批量处理，但低质量点云下稳定性差；基于凸包算法与抗差最小二乘拟合复杂度与耗时略高，但稳定性好，可应对遮挡、变形及低质量数据，更适配批量数据处理。球靶标采用 Geomagic Studio 球面拟合与 matlab 球面拟合方法，二者精度相近，前者需人工干预、稳定性与批量处理能力弱，后者效率与稳定性更优、适合批量处理；综合中误差数据可知，

参考文献

[1] 张开洲,马瑞峰,贾鑫.基于语义分割网络和特征匹配的复杂山区高速公路路面线性要素智能提取方法[J].测绘通报,2025(4):164-169.

[2] 张富杰,王留召,钟若飞,等.基于车载激光点云的路灯提取方法[J].测绘通报,2025(3):46-51.

[3] 孙秒.基于车载激光点云的道路标线提取[D].徐州:中国矿业大学,2024.

[4] 张晓鹏,刘如飞,谢永强,等.最小二乘角度约束的激光点云标线边界特征提取方法[J].遥感信息,2025,40(1):165-172.

[5] 刘如飞,刘梦雅,赵庆鑫,等.融合路面边缘信息的城市道路边界提取方法[J].遥感信息,2025,40(1):34-41.

[6] 王泽华.基于车载点云的道路边界精细提取方法[J].北京测绘,2024,38(12):1699-1704.

[7] 叶帆.基于车载点云数据的城市道路标线提取方法[J].北京测绘,2024,38(11):1639-1644.

[8] 董啸.城市车载LiDAR点云道路边界提取方法研究[D].阜新:辽宁工程技术大学,2024.

[9] 兰丽景,毛洪孝,徐晓新.基于三维激光雷达的道路边界提取方法[J].北京测绘,2024,38(4):538-543.

[10] 蒋华兵.基于车载点云数据的道路边界点提取方法[J].北京测绘,2023,37(9):1243-1247.

[11] 董啸,王竞雪,张成龙.扫描线局部特征约束的车载LiDAR点云城市道路边界提取方法[J].地球信息科学学报,2023,25(8):1546-1558.

VZ-400 三维激光扫描仪在适宜环境下点位精度可达标称精度 0.005m 甚至 0.002m，受干扰导致点云质量下降时，精度降至 0.006m 及以下。不同靶标提取算法在精度、效率、稳定性与适用场景上存在显著差异。

参考文献

[1] 侯忠伟.多摄影测量融合三维激光扫描技术在不可移动文物建筑测绘中的应用[J].炎黄地理,2024(11):89-92.

[2] 肖聪.三维激光扫描技术在工程测绘中的应用[J].建筑工程技术与设计,2017(15):1437-1437.

[3] 富成海.倾斜摄影测量技术在不动产测绘中的应用策略研究[J].工程建设,2020,3(5).

[4] 赖培均.数字化测绘技术在工程测量中的运用探讨[J].科海故事博览, 2025(35):22-24.

[5] 尹宝田.倾斜摄影与三维模型单体化技术在工程测量中的融合应用[J].测绘通报,2025(S1):93-96.

[6] 杨兵.无人机倾斜摄影测量在矿山测绘中的实际运用分析[J].地矿测绘,2020,3(1):96-97.

基于数值模拟的开采沉降预测研究

谢福利

(广东佛山地质工程勘察院, 广东 佛山 528000)

摘要: 煤炭等地下矿产的开发, 不可避免会造成地下亏空, 从而导致地面沉降乃至塌陷等情况出现。当前, 针对开采沉降的监测技术已日趋成熟, 而对于开采沉降进行有效预测的需求也越来越迫切。针对开采沉降预测的研究现状和实际需求, 研究提出一种基于概率积分的数值模拟方法, 对开采过程中的垂直沉降值、水平位移值、水平变形值、地表曲率变形值和地表倾斜变形值进行模拟预测。研究以某煤矿开采集中分布区为实验对象, 将预测值与实测值进行对比, 预测误差控制在厘米级, 完全满足工程要求。结果表明, 研究提出的方法, 实施效率及预测精度较高, 在工程中具备一定的推广应用价值。

关键词: 开采沉降; 概率积分; 数值模拟; 预测模型

1 引言

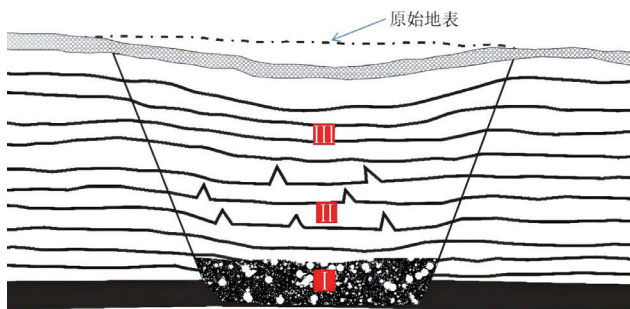
近年来, 由于地下水消耗以及煤炭等矿产开采原因, 地表沉降乃至塌陷现象频频发生, 由此造成的损失也在逐年增加, 因此, 对重点区域的地表沉降情况进行有效预测和周期监测是十分重要且必要的^[1]。其中, 开采沉降的数值模拟预测是近年来的一个重点研究方向^[2]。若能对沉降趋势和规模进行有效预测, 就可提前掌握沉降的基本特性和危害程度, 不仅对灾害预防和治理提供科学指导, 也能为地下资源开发方式的合理调整提供科学依据。

虽然开采沉降是一个复杂过程, 受到地质构造、岩性分布、开采规模和推进速度等多重因素影响, 但是导致开采沉降的根本原因是原始地层的受力平衡被打破, 地层发生一系列连续和非连续的变形和沉降, 直到再次达到新的受力平衡状态。因此, 对开采沉降进行模拟预测, 本质就是一个“平衡—平衡打破—再平衡”的过程。针对沉降预测研究, 已有不少学者开展了大量工作, 有学者采用费尔哈斯模型对地表移动变形进行预测^[3]; 有学者采用双参数时间模型对沉降过程进行模拟^[4]; 也有学者运用流变力学模型构建时间—沉降值函数^[5]等。

针对开采沉降的研究现状和实际需求, 研究采取概率积分方法对沉降过程进行数值模拟, 主要思路是通过建立时间—沉降规模的模型对沉降情况进行预测, 然后以一处煤矿开发区为例进行实验对比验证, 结果表明, 该方法预测误差控制在厘米级, 具有较强的实用性和一定的工程借鉴价值。

2 研究原理

开采沉降是由于地下矿产或地下水资源等被大面积采空后, 其上覆岩层由于重力作用而发生沉陷乃至塌陷, 表现为上覆岩层(或土层)的变形、断裂和垮落, 一般情况下, 由下而上可分为垮落带、断裂带和变形带, 如图1所示。



I - 垮落带; II - 断裂带; III - 变形带

图1 地层沉降原理

2.1 地层沉降特征分析

一般情况下, 随着地下采空区不断增大, 上覆地层形变会在一定程度内逐渐增加, 不仅表现为垂直方向的沉降和形变, 也表现为水平方向的断裂和位移。在不考虑支护的条件下, 形变基本原理如图2所示, 图中I~V期表示水平方向的开采距离(以煤矿为例), L1~L5表示相对应的地表形变特征。由图可看出, 随着开采平面的不断向前推进, 地层在垂直方向的形变规模越来越大。当开采结束以后, 通常还需要再过一段时间, 地层受力才能重新达到再次平衡, 此时地层及地表形变才真正结束, 在图中表现为形变曲线滞后于开采平面。

作者简介: 谢福利(1989—), 男, 汉族, 本科, 工程师, 主要从事工程测量、房产测绘、地籍测绘等工作。

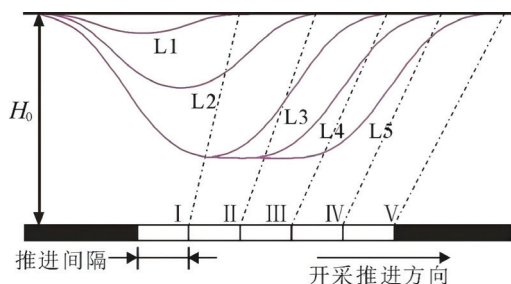


图2 地表沉降变化过程

在此过程中, 需要重点考虑的参数是沉降速度, 设 v 和 $v_{\max}$ 分别为瞬时沉降速度和最大沉降速度, 计算公式如下:

$$v = \frac{D_i - D_{i-1}}{t} \quad (1)$$

$$v_{\max} = K \times \frac{D_{\max} \times v'}{\bar{h}} \quad (2)$$

式中, D_i 为第 i 次测得的沉降值, t 为两次测量的时间间隔, K 为沉降速度系数, $D_{\max}$ 为最大沉降值, $\bar{h}$ 和 v' 分别为平均开采深度和开采面推进速度。

通过沉降速度的特征分析, 可以将地层沉降分为三个阶段: (1) 初始阶段: 此阶段的沉降规模随开采平面的推进而急剧增大, 沉降速度相对较大; (2) 稳定阶段: 该阶段沉降速度和沉降规模逐渐趋稳; (3) 衰减阶段: 随着开采平面的继续推进和开采结束, 地层的沉降速度显著降低, 并最终减少为零, 但最终归零的时间要滞后于开采结束时间。

2.2 预测模型建立

掌握沉降的基本特征后, 选取对沉降情况进行量化评价的指标, 研究设定 5 个评价指标: (1) 垂直方向的变化指标, 即垂直沉降值; (2) 水平方向的变化指标, 包括水平位移值和水平变形值, 即两点水平移动路径值和水平距离的比值; (3) 地表形变指标, 包括曲率变形值和倾斜变形值。

通过分析开采沉降特征, 可以看出沉降过程随着时间推移表现出明显阶段性, 因此, 采用概率积分法对该过程进行预测分析是可行的。研究基于概率积分方法, 构建时间-沉降规模的模型, 对沉降过程进行数值模拟研究。设沉降剖面上任意一点 x , 其在时间 t 的沉降值用公式 (3) 表示。其中, $L(x)$ 和 $f(t)$ 分别表示沉降稳定后的剖面函数和该点沉降的时间函数。

$$L(x, t) = L(x) \times f(t) \quad (3)$$

基于基本原理, 首先建立时间-垂直沉降值的数值模拟模型, 公式如下:

$$L(x, t) = \frac{L_0}{2} \left\{ \operatorname{erf} \left(\sqrt{\pi} \times \frac{x}{r} \right) + \operatorname{erf} \left[\sqrt{\pi} \times \frac{v(t-t')-x}{r} \right] \right\} \quad (4)$$

式中, 概率积分函数 $\operatorname{erf} \left(\sqrt{\pi} \times \frac{x}{r} \right) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\sqrt{\pi} \times \frac{x}{r}} e^{-u^2} du$; $\operatorname{erf} \left[\sqrt{\pi} \times \frac{v(t-t')-x}{r} \right] = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\sqrt{\pi} \times \frac{v(t-t')-x}{r}} e^{-\lambda^2} d\lambda$, r 为影响半径, L_0 为静态下沉值, t 为之后的任意一时刻。

以此为基本思路, 建立 5 个评价指标的预测模型, 对剖面上任意一点的变形情况进行数值模拟, 垂直沉降值、水平位移值、水平变形值、地表曲率变形值和地表倾斜变形值的数值模型如下:

$$L(x, t) = [L^0(x, t) - L^0(x - vt_1, t)] + [L^0(x - vt_1, t - t_1) - L^0(x - 2vt_1, t - t_1)] + \dots [L^0(x - (i-1)vt_1, t - (i-1)t_1) - L^0(x - ivt_1, t - (i-1)t_1)] \quad (5)$$

$$S(x, t) = [S^0(x, t) - S^0(x - vt_1, t)] + [S^0(x - vt_1, t - t_1) - S^0(x - 2vt_1, t - t_1)] + \dots [S^0(x - (i-1)vt_1, t - (i-1)t_1) - S^0(x - ivt_1, t - (i-1)t_1)] \quad (6)$$

$$S'(x, t) = [S'^0(x, t) - S'^0(x - vt_1, t)] + [S'^0(x - vt_1, t - t_1) - S'^0(x - 2vt_1, t - t_1)] + \dots [S'^0(x - (i-1)vt_1, t - (i-1)t_1) - S'^0(x - ivt_1, t - (i-1)t_1)] \quad (7)$$

$$p(x, t) = [p^0(x, t) - p^0(x - vt_1, t)] + [p^0(x - vt_1, t - t_1) - p^0(x - 2vt_1, t - t_1)] + \dots [p^0(x - (i-1)vt_1, t - (i-1)t_1) - p^0(x - ivt_1, t - (i-1)t_1)] \quad (8)$$

$$k(x, t) = [k^0(x, t) - k^0(x - vt_1, t)] + [k^0(x - vt_1, t - t_1) - k^0(x - 2vt_1, t - t_1)] + \dots [k^0(x - (i-1)vt_1, t - (i-1)t_1) - k^0(x - ivt_1, t - (i-1)t_1)] \quad (9)$$

基于以上原理, 此次研究的整体流程如图 3 所示。

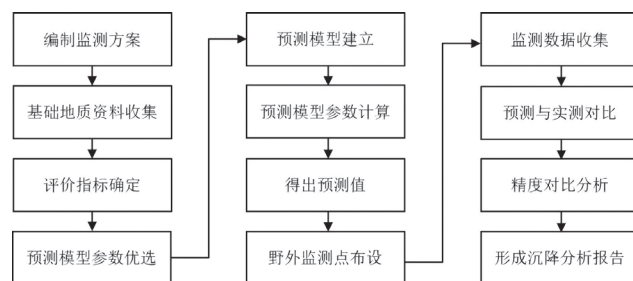


图3 研究流程

3 工程应用

3.1 研究区概况

研究对象为某煤矿开采集中分布区, 平均海拔 127m, 构造上位于华北地台的北缘。研究区煤炭开采产业十分发达, 但经过多年开采, 原始地质地貌环境发生较大改变, 根据区域地质资料及煤矿开发数据, 统计出研究区地下采空区达到 $11.65 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。自 2010 年初至 2021 年 10 月, 研究区出现面积超过 1 km^2 的地面沉降多达 21 处、塌陷 2 处。选取研究区东北部一开采平面 (L102 平面) 作为验证对象。该层位煤矿位于侏罗系地层, 上覆及基底地层的岩性以砂岩和粉砂岩为主。开采区平均埋深 421m, 海拔高度 -343m, 煤层厚度 2.8~3.2m, 开采平面走向长 912m, 倾角 6.2° , 开采时间为 2020 年 11 月 9 日至 2021 年 10 月 22 日, 实际开采天数 337d, 平均推进速度为 2.71m/d。

3.2 数值模拟预测

在对研究区沉降情况进行预测时,选用间隔步长20m,预测开采平面推进至40m、160m、320m、480m、640m、800m、960m时的剖面变形情况。依据预测模型,得出垂直沉降值模拟预测情况,如图4所示。由图可以看出,沉降值随着开采平面的推进,沉降速率先增大后减小,且最大沉降值落后于开采推进面一定距离,且当开采距离足够长的时候,各点最大沉降值逐渐趋于稳定,呈现出“平底”现象,沉降曲线基本位于采空区正上方,其拐点有向采空区偏移的趋势。当开采推进面施工至220m时,最大垂直沉降值已基本趋于稳定,即随着开采平面的继续推进,最大沉降值不再增加。

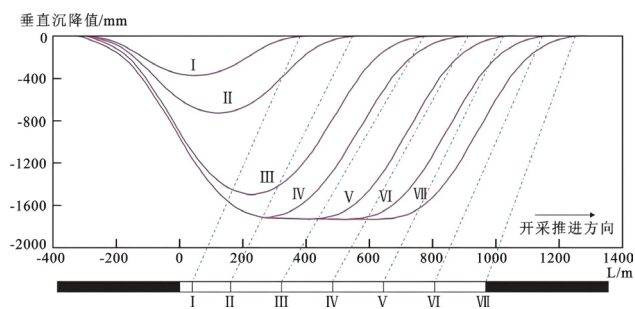


图4 垂直沉降值模拟情况

对水平位移值进行模拟,结果如图5所示。随着开采平面的不断推进,水平位移值不断增大,各曲线相对于最大沉降点基本呈现出对称分布特点,而沉降凹陷中央仅有一个零点;两个最大水平位移值分别位于开采面上方和初始开采边界上方,最大沉降左侧和右侧的水平位移值分别为正位移和负位移,即分别向开采方向或初始开采界面方向移动。与垂直沉降值相似,最大水平位移值同样落后于开采推进面。

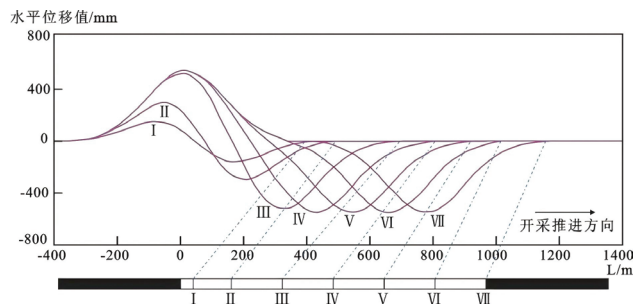
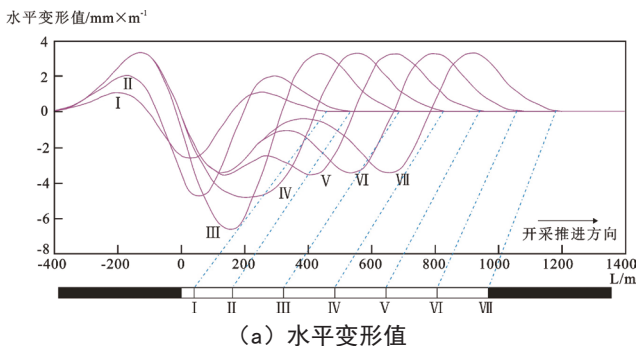


图5 水平位移值模拟情况

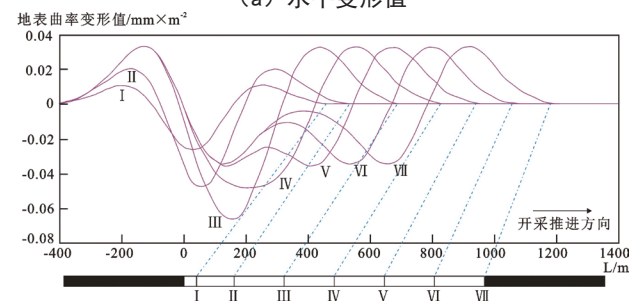
同理,可对其余3个指标进行模拟计算,水平变形值、地表曲率变形值和地表倾斜变形值如图6所示。

分析剩余3个模拟结果的基本特征:对于水平变形值,最大沉降点处水平变形值为零,最大变形值位于最大沉降值与拐点之间,且变形幅度最大区域位于采空区上方;对于地表曲率变形值,具有2个最大值

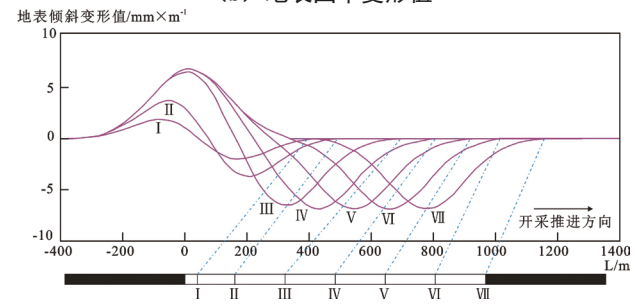
和1个最小值,曲率值为正的两部分之间为曲率值为负的部分,其曲线特征与水平变形值曲线相似;对于地表倾斜变形值,基本以最大沉降值的中心呈对称分布,其特征与水平位移值特征相似,左侧沉降凹陷向右侧偏斜,而右侧沉降凹陷向左侧偏斜。



(a) 水平变形值



(b) 地表曲率变形值



(c) 地表倾斜变形值

图6 模拟计算结果

4 精度分析

为验证预测精度,在开采中对该平面沉降情况进行全过程监测。在开采前布设监测点,布设平行和垂直于开采平面的观测线各1条,分别命名为LP观测线和LV观测线。LP线共有观测点32个(LP1~LP32),全长1022m;LV线有观测点27个(LV1~LV27),全长1263m,如图7所示。

收集汇总监测数据后,与预测值逐一对比,分析误差情况,验证研究方法的可靠性。在开采沉降监测中,一般采用中误差和相对误差验证预测精度。基于以上模拟预测和实测数据,得出误差结果,如表1所示。

(下转第59页)

融合孪生网络的模型与高分数据的耕地“非农化”提取研究

袁豹

(苏州市测绘院有限责任公司, 江苏 苏州 215000)

摘要: 针对现有耕地“非农化”遥感监测中时序特征挖掘不充分、细小变化检测精度不足的问题, 提出一种基于改进稠密连接孪生网络(SNUNet-CD)的变化检测模型, 通过双时相特征拼接与多尺度跳跃连接提取时空特征, 引入残差卷积块增强局部表达, 并结合集成通道注意力模块(ECAM)细化语义特征。实验结果表明, 该模型在耕地“非农化”提取任务中表现优异, 总体精度(OA)、生产者精度(PA)、用户精度(UA)和 F1 分数分别达到 92.42%、87.54%、90.52% 和 90.69%。该研究有效提升了复杂场景下的耕地变化检测精度, 可为耕地保护提供技术支撑。

关键词: 孪生网络模型; 耕地“非农化”; 高分数据; 耕地保护

1 引言

耕地是保障国家粮食安全的核心战略资源, 其数量稳定与质量安全直接关系经济社会可持续发展与生态系统平衡。随着城镇化进程加速、产业结构调整与人口增长, 耕地“非农化”现象日益突出, 大量优质耕地被转为建设用地、工业用地等非农业用途, 导致耕地面积持续缩减、空间布局破碎化, 对国家耕地保护红线与粮食安全底线构成严峻挑战^[1-2]。精准、高效提取耕地“非农化”区域, 掌握时空演变规律, 是科学制定耕地保护政策、实现土地资源优化配置的前提。

近年来, 深度学习技术凭借强大的特征自动提取与非线性拟合能力, 在遥感影像变化检测领域得到广泛应用, 为耕地“非农化”提取提供了新的技术路径。孪生网络(Siamese Network)作为一种特殊的深度学习模型, 通过共享权重的双分支结构对双时相影像进行同步特征提取, 确保多维度特征对齐, 增强双时相特征的关联性与差异性表达^[3-5]。基于此, 研究提出了一种融合改进孪生网络与高分数据的耕地“非农化”提取模型。该模型以稠密连接孪生网络(SNUNet-CD)为骨干架构, 引入基础残差单元(Conv-block)以强化局部特征提取能力, 并设计集成通道注意力模块(ECAM)自适应地重校准特征通道权重, 从而在抑制无关背景噪声的同时突出关键变化特征, 旨在通过多层级特征的深度交互提升检测精度, 同时采用混合损失函数策略以缓解正负样本不平衡问题, 实现端到端的像素级精准分类。

2 研究方法

2.1 高分耕地“非农化”样本集

鉴于现有公开数据集难以适配四川省复杂的种植结构与环境差异, 依据《土地利用现状分类》(GB/T 21010—2017)标准, 研究构建了双时相高分遥感数据集。结合监测需求, 构建二分类识别模型进行提取分析, 把影像像素分为耕地与包含建设用地、水体、林地等转化类型的“非农化”耕地。为克服单一判读的局限性, 标注过程采用人工交互模式, 对边界模糊区域辅以光谱与纹理特征分析, 保证像素级的真值精度。最终, 经滑动窗口裁剪生成 5250 组 512×512 样本对, 涵盖耕地转建筑、道路等复杂场景, 典型样本如图 1 所示。

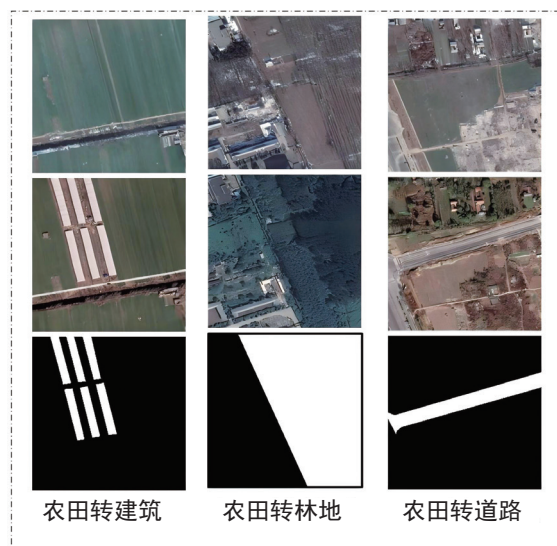


图1 样本集部分样例

作者简介: 袁豹 (1988—), 男, 汉族, 硕士, 测绘工程师, 注册测绘师, 主要从事工程测量、摄影测量与遥感生产等应用研究工作。

2.2 孪生网络模型

为实现对耕地“非农化”区域的像素级精准识别，研究构建了一种端到端的深度学习提取模型，该模型通过双时相特征的精准对齐、定向增强与差异提取，形成“特征输入—特征提取—特征增强—变化输出—损失优化”的闭环流程，模型结构如图2所示。

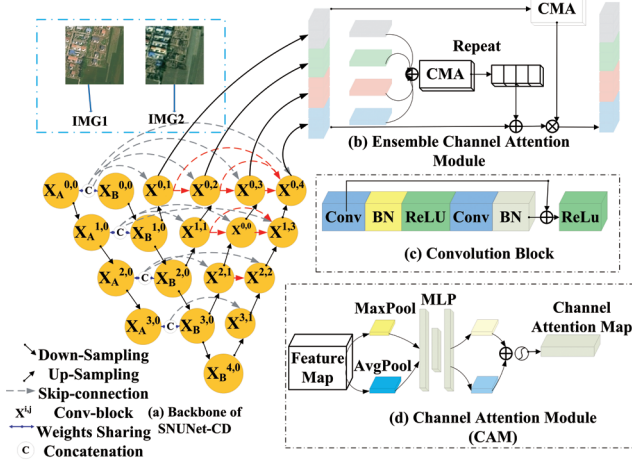


图2 模型结构

作为特征提取的核心，该模型首先采用共享权重的双分支孪生结构处理双时相高分影像。两个分支保持结构一致且卷积核权重共享，既大幅减少了参数冗余并降低过拟合风险，又确保双时相特征在同一特征空间的规则一致性。在特征提取阶段，每个分支均包含由卷积层、池化层、BN层、Relu激活层构成的四个层级，同步生成多尺度特征图，从而兼顾浅层纹理细节与深层语义信息的捕获。该模型还设计了跨尺度分层融合策略以挖掘时空差异信息。针对不同层级的特征属性，该策略对浅层特征采用元素相加操作，保留空间细节的强关联性，对深层特征则采用串联方式，以整合高维语义信息，并结合跳跃连接机制弥补下采样过程中的空间信息损失，再辅以 1×1 卷积进行降维处理，从而在保障特征有效性的同时平衡计算效率。

为强化对耕地“非农化”关键特征的表达能力，模型在融合特征后引入集成通道注意力（ECAM）模块与基础残差单元（Conv-block）。ECAM模块通过并行的全局平均池化与最大池化，捕捉特征图的整体响应与局部显著性，利用多层感知机（MLP）自适应生成通道权重，通过重校准机制抑制背景噪声干扰并聚焦耕地“非农化”变化区域。同时，基础残差单元利用Shortcut连接构建“卷积—归一化—激活”的残差路径，有效缓解深层网络的梯度消失问题并增强非线性表达，最终基于增强后的融合特征输出高精度的耕地

“非农化”变化检测结果，并由混合损失函数驱动全流程的参数优化。

3 实验结果与分析

3.1 模型训练

3.1.1 混合损失函数

为解决样本不平衡问题，提升模型对小面积耕地“非农化”区域的识别能力，研究采用交叉熵损失（Cross-Entropy Loss, CE）与Dice损失相结合的混合损失函数（Hybrid Loss），优化模型训练过程^[5]。交叉熵损失能够有效衡量预测概率与真实标签之间的差异，其计算公式为：

$$L_{CE} = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n [y_i \log(p_i) + (1 - y_i) \log(1 - p_i)] \quad (1)$$

其中， N 为样本像素总数， y_i 为第 i 个像素的真实标签（1表示“非农化”耕地，0表示耕地）， p_i 为第 i 个像素的预测概率。

Dice损失能够有效缓解样本不平衡带来的影响，聚焦于前景区域（“非农化”耕地）的识别精度，其计算公式为：

$$L_{Dice} = 1 - \frac{2 \sum_{i=1}^N y_i p_i + \epsilon}{\sum_{i=1}^N y_i^2 + \sum_{i=1}^N p_i^2 + \epsilon} \quad (2)$$

其中， ϵ 为极小值（ $1e-5$ ），用于避免分母为0。

混合损失函数可表达为：

$$L_{Hybrid} = \alpha L_{CE} + (1 - \alpha) L_{Dice} \quad (3)$$

其中， α 为权重系数，经实验验证设置为0.6，既保证了整体分类精度，又提升了对小面积耕地“非农化”区域的识别能力。

3.1.2 数据增强与训练

对所构建的高分耕地“非农化”样本集中的5250组样本，按6:2:2比例划分为独立的训练集、验证集和测试集。为提高模型泛化性、避免过拟合现象，在训练过程中汇总采用动态增强技术，提升样本的丰富性，主要包括采用随机水平翻转（概率0.5）、垂直翻转（概率0.5）、旋转（ 0° 、 90° 、 180° 、 270° ）、缩放（0.8~1.2倍）及高斯噪声添加（方差0.01）等方法扩充样本数量，最终得到有效样本15750个。通过欠采样与过采样结合的方式，将训练集中耕地与“非农化”耕地样本的比例调整为1:1，避免模型因样本不平衡偏向多数类地物的识别。引入总体精度（OA）、生产者精度（PA）、用户精度（UA）与F1分

数四项常用的遥感变化检测评价指标^[2-4]，量化衡量模型分类识别效果，模型训练中各指标变化曲线如图3所示。至40轮次时达到收敛，模型训练收敛后，总体精度(OA)与F1分数均稳定在0.93，用户精度(UA)达到0.92，表明模型整体分类性能优异，对大部分地物类型的识别与预测具有较高的可靠性；生产者精度(PA)为0.88，略低于其他指标，说明模型对部分类别样本的漏检现象仍有优化空间，整体解译精度可满足研究需求。

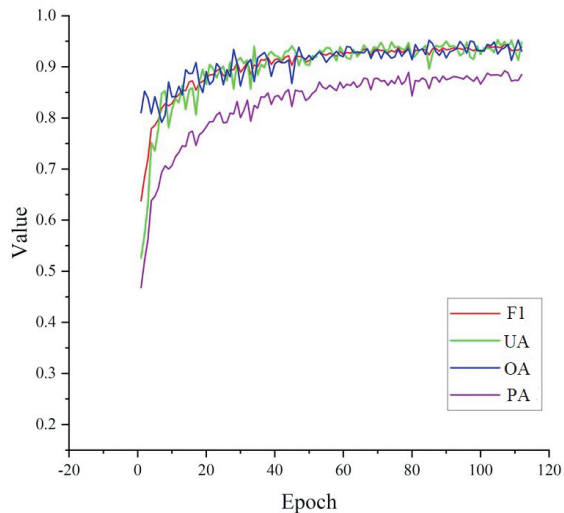


图3 模型指标变化曲线

3.2 实验分析模型整体性能对比

3.2.1 模型整体性能对比

各模型精度对比如表1所示，由表1数据可知，深度学习模型的提取精度显著高于传统变化检测方法，说明深度学习能够有效挖掘遥感影像的深层特征，提升耕地“非农化”识别能力。其中，研究采用SNUNet-CD模型在各项评价指标上均表现最优：总体精度(OA)达到92.42%，较深度学习模型中的STANet、CD-DLinkNet分别提升1.74、5.05个百分点；生产者精度(PA)与用户精度(UA)分别为87.54%与90.52%，较STANet分别提升3.19、3.76个百分点；F1-score达到90.69%，较STANet、CD-DLinkNet分别提升2.75、5.27个百分点。

表1 各模型精度对比

模型	总体精度 (OA)	生产者精度 (PA)	用户精度 (UA)	F1-score
CD-DLinkNet	88.93	81.26	82.71	85.42
STANet	90.68	83.12	86.76	87.94
SNUNet-CD (研究)	92.42	87.54	90.52	90.69

STANet、CD-DLinkNet自注意力侧重全局语义关联，对局部细节捕捉较弱，缺乏对多尺度特征的融合，且

特征降维/池化会损失边缘、小面积变化的精细信息。研究采用SNUNet-CD模型通过共享权重孪生分支实现双时相特征精准对齐，双分支分层融合策略整合多尺度特征，ECAM模块增强关键通道特征，Conv-block单元深化特征提取，同时结合混合损失函数解决样本不平衡问题，各模块协同作用显著提升了提取精度。

3.2.2 不同模型提取结果可视化分析

为了直观评估模型的实际提取性能，选取研究区内包含多种地物类型的典型区域进行可视化分析。不同模型在局部细节的提取结果对比如图4所示，图中绿色区域代表准确提取结果，红色区域代表耕地“非农化”真实标签。

通过横向对比可以发现：STANet模型虽然在识别大面积块状变化方面表现尚可，但对边缘细节的把控能力较弱，存在明显的误检（将耕地误判为变化）与漏检（遗漏小型建设用地）现象，导致边界锯齿感较强。相比之下，研究提出的SNUNet-CD模型不仅能有效捕获显著的耕地“非农化”变化，对细微尺度的地物演变也表现出较高的敏感度，模型提取结果与真实标签（Ground Truth）高度吻合。得益于ECAM模块对特征的细化，该模型能够精准识别零星分布的建设用地斑块等小目标，且提取边界平滑、贴合度高，显著降低了误报率与漏报率，充分体现了在空间细节恢复与背景噪声抑制方面的优势。

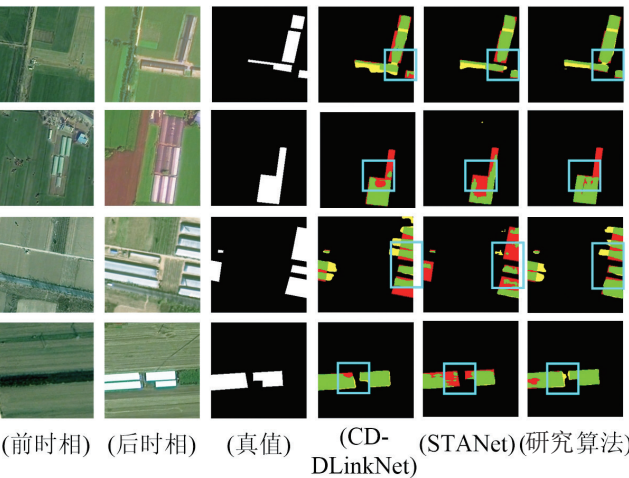


图4 实验区提取结果及细节对比分析

4 结论

针对现有耕地“非农化”监测存在双时相特征时空挖掘不充分、细微变化漏检等难题，研究提出了一种融合改进孪生网络与高分辨率遥感数据的变化检测模型。该模型以稠密连接孪生网络（SNUNet-CD）为

基础架构，通过引入基础残差单元与集成通道注意力（ECAM）模块，构建了一种端到端的特征提取与优化链路，有效解决了深层网络的梯度衰减问题，并显著增强了模型对耕地“非农化”关键语义特征的聚焦能力。同时，混合损失函数（Cross-Entropy+Dice）的应用，也成功缓解了变化检测任务固有的样本不平衡问题。

实验结果表明，改进后的模型在总体精度（OA）、F1 分数等关键指标上均优于 STANet 与 CD-DLinkNet 等主流方法。特别是在处理零星分布的小面积耕地“非农化”图斑及边界模糊区域时，该模型表现出了更强的注意力和精细度，有效降低了误检率与漏检率。研究验证了深度学习技术在高精度耕地保护监测中的应用潜力，不仅揭示了耕地时空演变规律，更为国土资

源精准监管与耕地红线保护提供了可靠的技术支撑与决策依据。

参考文献

[1] 张拙,周煜明,董杰谋,等.中国耕地非农化与非粮化时空分异及其治理策略[J].干旱区研究, 2025,42(2):372-383.

[2] 潘晓东.耕地“非农化”遥感变化检测初探：基于多层语义结构模型的耕地“非农化”变化检测[J].华北自然资源,2025(3):110-114.

[3] 张兰兰,王红雷.基于深度学习的耕地非农化遥感监测与时空分析：以开阳县为例[J].测绘通报,2024(3):13-18.

[4] 马惠,刘波,杜世宏.多任务学习孪生网络的遥感影像多类变化检测[J].国土资源遥感, 2024(1):9.

[5] 杜俊翰.基于孪生网络与注意力机制的遥感影像变化检测[D].上海:华东师范大学,2022.

（上接第 55 页）

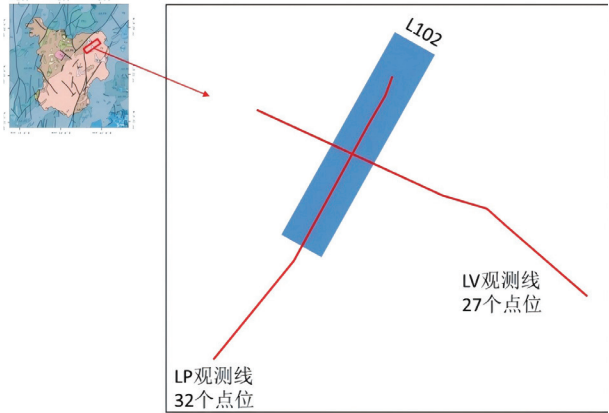


图7 开采平面观测线布设情况

表1 预测误差统计

分类		垂直沉降值	水平位移值
LP观测线	(1) 最小误差值/mm	±0.01	±0.01
	(2) 最大误差值/mm	±62	±59
	(3) 中误差/mm	±33.21	±26.37
	(4) 相对中误差/%	±4.7%	±3.2%
LV观测线	(1) 最小误差值/mm	±0.01	±0.02
	(2) 最大误差值/mm	±78	±42
	(3) 中误差/mm	±45.17	±18.29
	(4) 相对中误差/%	±5.0%	±2.7%
合计	(1) 最小误差值/mm	±0.01	±0.01
	(2) 最大误差值/mm	±78	±59
	(3) 中误差/mm	±39.42	±22.32
	(4) 相对中误差/%	±4.9%	±2.9%

通过将预测值与实测值进行对比，可以看出，对于垂直沉降值和水平位移值，最大误差分别为 ±78mm、±59mm；中误差分别为 ±39.42mm、±22.32mm，而相对中误差的绝对值控制在 5% 以内。整体来说，绝对误差控制在厘米级，相对误差的绝对

值控制在较低水平，说明预测值与实际值实现较好拟合，能够满足实际应用要求。

5 结论

针对开采沉降的研究现状和实际预测需求，在应用概率积分法基础上，研究提出了基于数值模拟的开采沉降预测方法，得出如下结论：一是由于开采沉降具有明显阶段性，概率积分法对其具有良好的适用性；二是通过建立数值模拟模型，能够较为准确地预测出地表沉降的基本情况，实验验证表明，误差控制在厘米级；三是该方法实施效率较高，获取的数据也较为全面，能够快速准确得出预测结果。总体来说，研究提出的方法能有效预测开采沉降情况，不仅为开采沉降预防与治理提供可靠的数据支持，同时也提供了一种高精度、高效率的预测手段，具有一定的现实意义。

参考文献

[1] 张童康,师芸,王剑辉,等.InSAR和改进支持向量机的沉陷预测模型分析[J].测绘科学,2021,46(11):63-70.

[2] 王晓蕾,姬志岗,魏慷,等.煤层开采地表沉陷监测及预测技术现状及发展趋势[J].科学技术与工程,2020,20(24):9696-9706.

[3] 李德海.费尔哈斯模型预测地表移动变形[J].煤炭科学技术,2004(3):58-59.

[4] 彭小沾,崔希民,臧永强,等.时间函数与地表动态移动变形规律[J].北京科技大学学报,2004(4):341-344.

[5] 刘文涛,贾喜荣.开采沉陷动态预计流变模型及应用[J].太原理工大学学报,2004(4):491-494.

术业有专攻

◎ 陈鲁民

前些时候，我住院做手术。护士站帮我请了一个大学生护工，说是很抢手，要排队，今天恰好有档期。护工来了，姓马，三十多岁年纪，戴着眼镜，文质彬彬，像个白面书生，我心里不禁打鼓：他行吗？可一上手，他的动作十分熟练，一招一式都显得内行老到。不仅护理到位，认真负责；而且还会按摩，动作舒缓适宜；帮我打的病号饭也颇有科学讲究。更难得的是，他还善于心理疏导，术前劝我放松心情，从容面对；术后安抚我耐心静养，既来之则安之。我夸他是“金牌护工”，他自信一笑说：无非是术业有专攻罢了。

“术业有专攻”，出自唐代韩愈《师说》，意即学问技艺各有专门研究与擅长领域。人生苦短，精力有限，最忌四面出击，“样样通、样样松”，无论任何专业，只有专注深耕才能精通自如，成为行家里手。就说韩愈吧，一生专攻古文，苦心孤诣，“焚膏油以继晷，恒兀兀以穷年”，终成唐代古文运动领袖、唐宋八大家之首，被誉为千古文宗。其“文起八代之衰”的功绩，深刻影响了中国文学与思想的走向，无疑就是术业有专攻的最好注解。

古代传说中的扁鹊行医、鲁班造器、庖丁解牛、纪昌学射、造父学御、匠石运斤、梓庆为鐻等，皆

为各行业“大拿”，技艺无不出神入化，炉火纯青，是古人术业有专攻的典型范例，至今仍传为美谈。

放眼当下，术业有专攻者就更多了。先往小里说，当初我装修房子时，请了一位阮师傅贴瓷砖。他干这个活已有二十多年，经验丰富，技术高超，还特别认真负责，口碑很好，虽然每平方米要比别的师傅贵两元钱，但找他的人还是排成长队。说话间二十多年过去了，阮师傅贴的瓷砖一片也没脱落，看起来还是那样整齐划一，完美无瑕，令人赏心悦目。

再往大里说，那些名闻天下的大国工匠，更是技艺超群，贡献巨大，令人敬仰。中国航天科技集团一院焊工高凤林，被誉为“火箭心脏焊接师”。为长征系列火箭、“神舟”飞船的发动机焊接关键部件，他能把焊接误差控制在0.1毫米内，攻克了大推力火箭氢氧发动机喷管焊接等无数技术难关，保障了多型火箭发射成功。南车青岛四方机车车辆股份有限公司的首席研磨师宁允展，打磨的转向架，保障了高铁以380千米/小时高速平稳运行；凭借极致手感与经验，攻克了转向架稳定性的核心工艺难题，助力中国高铁成为世界标杆。这样的“牛人”还有很多，他们堪称术业有专攻的当代典范。

相反，也有一些人，平时不爱

钻研专业技术，打牌、下棋、唱歌、跳舞都很精通，就是对专业没有兴趣，因而不学无术，要啥没啥，一问三不知，看似也在干活，实际是在混日子，工作上三心二意，边干边玩，对付凑合，摆烂糊弄。结果是领导看不上，同事瞧不起，考核不达标，最后肯定是一事无成，早晚要被社会淘汰。

清代思想家魏源有句名言：“技可进乎道”，可称为术业有专攻的升级版，意思是说，当技艺达到巅峰后，再进一步便能领悟并契合事物的“道”，即本质规律，实现从技术到精神、从实践到哲理的升华。那些大国工匠无疑就达到了这种境界，他们人越多，贡献越大，我们的事业就越兴旺，日子就越红火。很多人都在朝这个方向努力，依我所见，护工小马也在这个行列之中。

半个月后，我病愈出院时，小马拿了一包东西让我看，说是他在护理过的几百个病人中，筛选出一百个护理案例的经验体会和注意事项，写成一本书稿，书名叫《做个有温度的护工》。听说我在大学教书，想请我写序，我欣然应允，并衷心希望这些“术业有专攻”的护工越来越多，以他们的技艺与温度造福更多患者。□（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）

又是粽艾飘香时

◎ 王红闯



下班走出地铁口，路过风景秀丽的东风渠，一阵淡淡的清香扑面而来。抬眼望去，桥头有人拉着一车新鲜嫩绿的艾草售卖，我心里忽然一动：又到端午节了！清浅的艾香，瞬间将我拉回儿时的记忆！

有一种习俗，生长在灵魂处，任凭岁月流转，依然不改当初模样。记忆深处最温暖的时光里，满是父母的身影。年纪尚幼时，我并不知何为端午，家乡人都叫这天“五月当五”，只知道这天能吃上母亲亲手包的粽子，在经济条件不好的年代，能吃上粽子实属奢望。母亲还会缝制香包，说戴上能防蚊虫叮咬，香料是母亲精心挑选的小茴香、大香与上年留存的艾草，碾碎后缝进香包，那淡淡的清香沁人心脾、久久不散，仿佛从未走远。而父亲会从地里割来艾草，挂在家门口“辟邪”。至于其中寓意，年幼的我从未深究。

门前悬挂的艾草，都是父亲从村里沟边割来的。回想老家地头沟边，一丛丛茂盛的野艾，不用耕种、浇水、施肥，自在蓬勃生长。它没有娇艳的花朵，也没有香甜的果实，但田野间、阳光下，那一抹浓绿随风摇曳，是儿时一道难忘的风景，时常浮现眼前。

后来到县城读书，我才了解端午的由来和屈原的故事。从此端午于我而言，成了缅怀先贤的节日，心底总会生出一丝淡淡的忧伤。端

午节，又称端阳节、龙舟节，是集拜神祭祖、祈福辟邪等于一体的民俗大节，是中国四大传统节日之一。它不仅是历史的传承、文化的盛宴，更饱含浓厚家国情怀和深厚精神内涵。端午，最早源于我国南方百越民族的龙图腾崇拜。百越先民以水为生，奉龙为守护神，每年五月初五举行祭祀仪式，划龙形木舟竞渡，祈求风调雨顺、平安丰收。这一古老习俗后来与中原文化相融，吸收纪念屈原、伍子胥、曹娥等内容，慢慢形成如今的端午节。

屈原不仅是端午节的文化象征，更是中华民族精神的代表。他有政治家的骨气，主张“彰明法度，举贤授能”，在楚国朝政腐朽、君主昏聩之时，仍坚守理想，不愿同流合污；他有诗人的情怀，流放期间写下《离骚》《九歌》《天问》等千古名篇，其中“路漫漫其修远兮，吾将上下而求索”，成为后世追求理想的精神信条；他有以身殉国的悲壮，国家危亡之际，他以死明志，用生命践行“虽九死其犹未悔”的爱国情怀，这种精神至今仍激励着无数国人。读懂屈原、溯源端午，既能更好地领会中国传统节日的文化底蕴，也能从中汲取直面困境的勇气与坚持。

一个节日，因承载伟大诗人的高洁灵魂而内涵充溢。这便是端午独有的意义。时光不停向前，明天变成今天，再化作昨日，最终成为

记忆里平淡的过往，我们都在不知不觉间被岁月推着前行，而传统节日便成了心中珍贵的回忆。这种溯流而上的文化追源，恰如诗人余光中所说：“蓝墨水的上游，是汨罗江。”道尽满腔家国赤诚。

可在我的心中，始终记着儿时那个清晨：暖阳温柔洒在小小的窗棂，微风拂动树枝，鸟儿叽叽喳喳叫着，我尚在朦胧睡意中，母亲用围裙揣着温热的熟鸡蛋和粽子，轻声说今天是五月当五；而父亲正抱着艾草，迈步跨进门帘。

感谢屈原，让我们铭记这个日子，既能追溯千年文化，又能启迪后人；感谢端午，让文化传承化作人生美好的回忆与向往。愿这朵传统文化之花，在中华大地绽放得愈加绚烂，更愿每逢端午，我们不忘亲情、不忘亲人、不忘本真的自己，情系粽香，代代相传。如此，节日带给我们的，便不只是思念的热泪与淡淡感伤，更有幸福的感悟、岁月相逢的美好期许。

毋庸讳言，国家与民族的强盛，总以文化兴盛为支撑，而传统文化是历史积淀，是中华民族的精神命脉。流传两千余年的端午民俗，走过浩瀚历史的烟云，承载着歌唱民族和爱国诗章的文化气韵，在风雨岁月的洗涤中，如一道绚丽长虹，映照出源远流长的华夏古老文明。☑（作者单位：河南省测绘地理信息技术中心）

婚俗里的童年快乐时光

◎ 王伟灿



豫北老家的婚俗中，听房、压床、闹洞房曾是我们寻找快乐的地方，一个个童年里的逸闻趣事，犹如汨汨流淌的清泉，不时在脑海里泛起记忆的涟漪。

小时候，村里只要有人结婚，一到晚上生性顽皮的孩子们，总会聚集起来赶去听房，一拨又一拨人翻墙越院，在房檐下、窗户前听得津津有味、乐不思蜀，搞得新人既尴尬又气恼。

有一年春节前，村里的七叔结婚了。晚上，我和依军几人赶到七叔家时，只见院门紧闭，隔着并不高的围墙朝里看，婚房里还亮着微弱的灯光，我们等啊等啊，站在冰凉的地面上脚都冻麻了。

“灯吹啦！”小伙伴们立即来了精神，翻过低矮的土墙，高抬腿轻落脚，慢慢向七叔婚房摸去。“小心点，这边有粪坑！”我走在前面，提醒大家。在窗前，我踮起脚尖，用唾沫在窗户纸上捅个洞，把耳朵贴了上去，一段“甜蜜情话”从房间里传了出来。七叔说：“俺家兄弟多，家里穷，结婚也没给你买件像样的衣裳，亏欠你了。”过了一会儿，七婶叹了口气，轻描淡写地说：“俺不在乎。俺家姊妹也多，陪送的嫁妆也不多。”说罢，七婶又宽慰七叔：“咱年轻，只要好好干，往后啥都会有的。”随后，婚房里又陷入一片寂静。

“快下来，让俺听听。”小伙伴们开始催促，我却意犹未尽，没

有“让位”的意思。他们一把将我拽到一边，争抢起来。这时，房门咣当一声打开了，只见七叔披着棉大衣，拎着一把笤帚冲了出来：“臭小子，听上瘾了是吧，看我把你们的屁股打两瓣！”我们心里一慌，撒腿就跑，刚跑两步脚下一滑，扑腾扑腾掉进了院中的粪坑，脏水弄湿了半条裤子。大家不顾一切，奋力爬出，一路狂奔逃回家里……

家乡的婚俗还有一项压床。结婚前夜，要在晚辈中选定一名未婚青年或幼童在新床上睡卧，目的是为一对新人带来福气和好运，愿早生贵子、人丁兴旺，体现了人们对传宗接代、延续香火的重视。

那一年，依军的四叔结婚，压床之事自然落在了他身上。当年，依军只有五六岁，村里一向爱搞恶作剧的大斌，便打起了他的主意。他悄悄把依军拉到一个房间，低声说：“小军，你知道压床都有啥规矩吗？”依军摇了摇头。大斌一本正经地说：“压床规矩可多了，最主要的就是你要在床上撒尿。”依军一听，头摇得像个拨浪鼓：“俺不敢，怕四叔揍俺。”大斌吓唬道：“如果你不尿床，以后你四叔家要闹鬼，过日子不会安生。”一听这话，依军一下子不知所措。大斌见时机成熟，当即倒了一碗红糖水，胡诌起来：“压床的规矩就是睡前喝碗红糖水，这样既能淹死小鬼，日子还能越过越甜。”当时，红糖是个稀罕东西，加上依军平时最爱吃甜

食，看见满满一碗红糖水，他实在禁不住诱惑，端起大瓷碗咕嘟咕嘟一饮而尽。半夜时分，依军耳边响起了四叔炸雷似的喊声：“快起来！快起来！憋小子咋尿床了？”依军坐了起来，揉揉惺忪眼睛，看到崭新的床单上湿了一大片，他真怕挨揍，就如实交代了大斌让他尿床、喝糖水的事情，四叔气乐了。

那时，家乡的闹洞房婚俗遵循“三日无大小”“闹喜闹喜，越闹越喜”的原则，人们为了嬉笑逗乐，常常使出千奇百怪的招数，把一对新人闹得哭笑不得。

而国勤叔结婚却是个例外。那天晚上，我和哥哥挤进人群，国勤叔满脸堆笑，绕着前来闹洞房的人们，送上喜糖，递上喜烟，捧上茶水。有人高喊：“今天是你大喜之日，俺们可不会饶你，大伙要看看你会不会来事。”国勤忙不迭地点着头，答应着：“中，大家想听快板、戏曲，还是歌曲，俺都能满足。”

“先来段快板吧！”话音刚落，国勤叔变戏法似的拿出一副竹板，即兴表演起来：“今天大伙来俺家，该吃吃该喝喝，吃好喝好听我说。人群里二狗嫂最好看，苗条身材最耐看，看得二狗三天不吃饭；石头长相也不孬，一天相亲两个姑娘瞧，瞧得石头晚上睡不着……”一段诙谐幽默的快板，把闹洞房的人们逗得笑声连连。

洞房里安静后，又有人提议：“唱首歌让俺们听听吧。”国勤叔

一江碧浪两岸花

◎ 孙东勋



浅夏的东北，山花漫灿，鸭绿江渐次涨水，长白山上融化的冰雪，缓缓汇入江流，浩浩荡荡冲向下游。

站在岸边，水波逐浪，欢快流淌，江畔水柳抽出淡淡绿芽，枝梢随风舞动，湿润的水汽挂在枝头回眸凝望，水灵，机警，风大时它便藏起来，过后又露出滑溜溜的小脑袋赏玩。芦苇荡沿江铺展，绿苇轻拂水面，黄茎隐隐退却，悄然披上的绿装平淡而温暖。生命有独属自己的旅程，可生活并非孤军奋战，它在四季轮回中完成优雅蜕变。

白山与朝鲜工业之城金正淑郡隔江相望，江水姿意奔泻，如迷宫一般，钻入一道沟，绕过一个湾，出奇不意奉上小惊喜，时不时开启幸运盲盒，让人在饱览山河壮丽之余徒增几分感慨。

远望，那一丛丛金达莱，开在山冈上、红松旁，或在田堰怒放，或踟蹰于江畔，如暗夜海面星星点

点的渔火，明艳动人，为青灰山脊染上鲜亮色泽，寄予坚守者希望与力量。作为朝鲜国花，它是两国人民友谊常青的象征，饱含浓烈的和平胜利气息。若遇上成片花开，姹紫嫣红，妩媚百生，如云霞染遍天际，铺展五彩缤纷的独特景致与别样风情。

江水的奔腾并非一个旋律，遇到鹅卵石浅滩，便平缓舒畅，流淌一首首抒情诗。若碰撞火山岩石，却分外硬气，浪花飞溅，波涛汹涌，踏浪千万层，你追我赶，互不相让，仿佛狭路相逢的亮剑勇士，争先恐后中彰显千军万马的不屈不挠与勇往直前。

在中朝边境线临江城外，被誉为吉林秘境的国道 331 公路蜿蜒而过，江水意外开辟出一片绿洲，河汉丛生，河道宽畅，沿江杨柳依依，梨花素白如雪，蜂蝶流连忘返，热闹异常。往昔，四保临江战役在此浴血打响；今朝，山河锦绣，万物

向荣，滋养着一代代共产党人的初心与使命。

归巢的燕子穿梭屋檐，黑色倩影忽而落足江滩梳理羽翼，忽而啄叨新泥修缮爱巢，它们用智慧与勤劳筑建新家、繁衍不息，在绿水青山间谱写一曲曲新的生命乐章。

山坡上的野山桃最是惹人怜爱，眼下正开得热烈。花瘦但朵密，山风穿涧而过，落英簌簌成雨，与青草野花相映成趣。片片桃花漂入溪涧，随江流奔赴远方，把山间芬芳送往彼岸。劝君莫惜五月花，踏雨归来仍少年。暂别并非不相见，送走烂漫春花，自有夏蝉高歌、秋稻丰稔、冬雪漫山。此番惜别，终将化作绵长思念，等待下一场相逢。

一池碧浪，两岸花香，从雪山之巅一路奔腾不息的鸭绿江，经此万里长风，定阅尽人间无数。（作者单位：中铁大桥局集团第一工程有限公司）

稍加思考，浑厚的歌声响了起来：

“红岩上红梅开，千里冰霜脚下踩，三九严寒何所惧，一片丹心向阳开……”那天晚上的闹洞房成了一场文艺晚会，新郎唱得尽兴，大家听得开心。这时有人说：“国勤不愧是乡文艺宣传队的，人家唱歌就是好听。”一阵掌声后，有人高喊“你媳妇也是宣传队的，让她来个啥节目呀？”

国勤从床上站起来，落落大方地走到大家面前，莞尔说道：“大家都爱听戏，俺两口就给大家唱段《朝阳沟》吧。”随后，乡亲们打开了场地，吃着喜糖，嗑着瓜子，开始欣赏“双上山”唱段。那天晚上，夫妻二人节目表演了一个又一个，没有音乐伴奏，没有舞台灯光，红红的烛光把满屋映照得一片祥和，甜美、浑厚的嗓音暖透了寒

冷的冬夜。

那些年，不管是听房还是压床、闹洞房，人们制造点笑话，搞点恶作剧，就是图个乐活。眼下，随着时代的变迁，人们的生活节奏快了，娱乐形式多了，精神层面丰富了，听房、闹洞房的事情渐渐消失了。但那时婚俗所带来的欢乐，永远飘荡在我们的记忆里。（作者单位：河南省资源环境调查二院有限公司）

深耕铁路勘测 全链条高精度测绘服务

——东网空间地理信息有限公司



简介

东网空间地理信息有限公司成立于2014年9月，注册资金5100万元，河南省高新技术企业，河南省地理信息协会（河南省测绘学会）理事单位、河南省市场信用评价AAA级单位、2024年地理信息产业最具活力中小企业、铁路运输行业产教融合共同体理事单位、安徽商会理事单位、郑州市管城区明星企业。

履行实力

专业资质：甲级测绘资质，严格执行铁路工程测量规范，成果可直接用于立项、设计、施工、验收。

落地经验：长期服务地方铁路、城投基建、铁路运营单位，累计完成多条铁路全线勘测及复测项目，现场经验成熟、适配铁路现场作业要求。

团队设备：自有专职铁路外业团队、高精度GNSS/徕卡设备、监测成套仪器，可承接急单、外勤驻场、夜间及天窗作业。

服务优势：踏勘快、出图快、配合现场施工、可配合招标投标资料、免费现场踏勘与技术方案答疑。



核心业务 主营铁路测绘全业务

- 新建地方铁路、市域铁路、专用线初测、定测、带状地形测量
- 既有铁路复测、大修改造测量、大修设计
- 铁路桥涵、路基、边坡变形监测、沉降观测
- 铁路控制点布设、静态测量、全线控制网复测
- 铁路沿线管线探测、限界测量、技改专项测绘
- 数据成图、成果整理、报审归档、技术交底一站式交付

可加急出成果 | 可驻场服务 | 招投标项目优先对接

合作热线：0371-60972558 办公地址：河南·郑州

河南省测绘地理信息技术中心助力 茶棚村基建升级促振兴



本刊讯 近日，由河南省测绘地理信息技术中心定点帮扶的信阳市固始县茶棚村庙坎至谢庄段道路拓宽工程全面竣工。该工程是河南省测绘地理信息技术中心 2026 年基础设施重点帮扶项目，建成投用后能有效改善村民出行条件，补齐村级基础设施短板，为茶棚村全面推进乡村振兴筑牢硬件根基。

河南省测绘地理信息技术中心定点帮扶茶棚村以来，始终将完善村级基础设施作为帮扶工作的基础性抓手，紧盯群众生产生活中的现实难题谋划实施帮扶项目，持续补齐民生配套短板。此次完工的道路总长约 1000 米，原有路面仅 3.5 米宽，道路狭窄、会车困难，不仅制约村民日常通行、农资农机运输，还存在较大交通安全隐患。此次工程对道路两侧各拓宽 0.5 米，从根本上解决路段会车难题，大幅提升道路通行能力与安全系数，切实惠及沿线群众生产生活。

据悉，该项目由省派驻村第一书记专项资金提供

保障。道路拓宽工程实施期间，驻村工作队严格落实河南省测绘地理信息技术中心帮扶工作安排，紧盯施工节点、严把工程质量，常态化开展现场督导，及时协调化解施工过程中的各类问题，确保项目保质、保量、按期完工，用心用情把帮扶项目打造为群众满意的民心工程。

除道路拓宽工程外，河南省测绘地理信息技术中心 2026 年对茶棚村的基础设施帮扶项目还包含水塘清淤等民生工程，统筹补齐村内交通、水利设施短板，持续优化茶棚村农田灌溉条件、改善村庄人居环境，全面提升村级综合服务保障水平。

下一步，河南省测绘地理信息技术中心将持续聚焦村民急难愁盼，统筹各类帮扶资源，加快推进民生项目落地实施，全力推动各项帮扶举措走深走实，持续为茶棚村乡村振兴高质量发展注入强劲动能。

☑（扶彦 / 文、图）



● 武功山 滑晓晖 / 摄