

# 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 3 期

总第519期

## 实景三维河南赋能高质量发展

——14个典型案例勾勒数字中原新图景

自然资源部部署 2026 年地质勘查和测绘行业安全生产工作

激活时空数据 赋能出彩中原

——河南省地理信息院创新发展纪实

ISSN 1674-053X



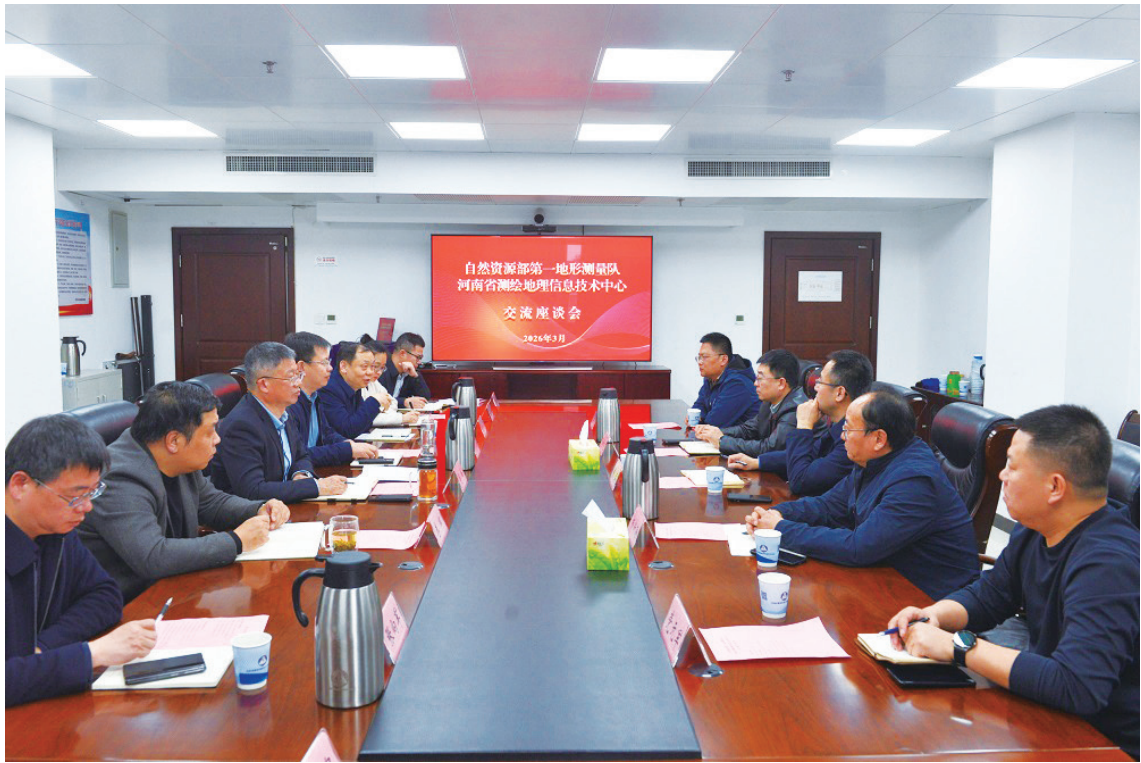
9 771674 053074



中旬 定价: 10 元

扫码关注微信

# 自然资源部第一地形测量队 到河南省测绘地理信息技术中心调研



本刊讯 3月11日，自然资源部第一地形测量队党委书记、队长陈真一行到河南省测绘地理信息技术中心调研交流。河南省测绘地理信息技术中心党委委员、副主任肖峰，中心相关处室、所属单位有关负责同志参加调研座谈。

肖峰对自然资源部第一地形测量队陈真一行到河南调研表示热烈欢迎。他介绍了河南省测绘地理信息技术中心所属单位河南省测绘院、河南省遥感院、河南省地图院、河南省地理信息院的发展情况。近年来，中心所属四院构建了包括自然资源部矿山时空信息与生态修复重点实验室、河南省时空地理信息院士工作站、河南省遥感大数据工程技术研究中心等在内的科技创新体系。围绕“北斗导航、遥感卫星、信息化建设、特色地图、地信领域自主创新”五大核心能力，中心打造出“一院一品一特色”的全业务服务团队。根据自然资源部第一地形测量队调研重点，肖峰还系统介绍了中心“三支撑、三服务”工作定位，以及持续实施“全面融入自然资源管理、开创军民融合新路径、

打造自主研发新局面”三步走战略部署等方面的主要做法与成效。

陈真结合自然资源部第一地形测量队的实际情况，重点分享了该单位在实景三维陕西建设、国土空间规划、地下空间测量、人才培养与科技创新等方面的实践经验和典型做法。

座谈会上，双方观看中心宣传片，围绕实景三维建设与应用、自主研发创新、军民融合发展及拓展市场任务等方面展开深入探讨与经验交流。此次跨省调研，不仅深化了豫陕两地在测绘地理信息领域的相互了解，更为双方共同探索测绘地理信息与数字（智）治理、低空经济、人工智能等新兴领域的融合发展提供了宝贵契机。

双方一致表示，将以此次调研交流为新起点，进一步建立常态化沟通协作机制，互学互鉴、携手并进，共同推动测绘地理信息事业迈上新台阶，为服务国家重大战略、支撑地方经济社会发展贡献更多测绘力量。

（张冠勳 屈万新 / 文 吴荒源 / 图）

# 以“实景三维”为笔 绘就数字河南新篇章

◎ 本刊评论员

数字浪潮奔涌向前，赋能发展生生不息。

当太行山深处的无人机将急救药品精准送达，当周口港的货轮在三维指令下高效装卸，当城市规划在720度全景图中接受市民审视——我们看到的，不仅是技术的革新，更是一个人口大省、经济大省拥抱数字时代的决心与智慧。河南省发布的14个实景三维河南创新应用典型案例，以其丰富性、深度与温度，清晰勾勒出数字技术与中原大地深度融合的生动图景，彰显着河南以数字化转型驱动高质量发展的坚定步伐，也为全国数字化建设贡献了宝贵的“河南方案”。

**这是一场治理模式的深刻变革。**从过去“跑断腿、看图纸”到如今“一屏统览、一键分析”，实景三维技术正推动政府治理从经验判断走向数据驱动。安阳防汛预警效率提升3倍，漯河低效用地摸排“一个下午完成研判”，焦作地下管线施工避免千万元损失——这些案例证明，三维数字底座让城市治理更精细、更科学、更主动。它打破了部门间的“数据孤岛”，构建起城市运行的“透明躯体”，让决策有据、管理有方、应急有力。这不仅是效率的提升，更是治理理念从被动响应到主动感知、从模糊管理到精准施策的跃升。

**这是一次产业动能的强劲激活。**实景三维不仅是“地图”，更是新型生产要素。它融入港口，使周口港通关效率提升40%；它赋能低空，为安阳构筑“空中生命线”，为林州破解山区物流困局；它搭建平台，让郑州航空港的医疗企业生态互联、协同创新。技术不再悬浮于实验室，而是深度嵌入产业流程，成为降本增效、模式创新的核心引擎。从“水陆空”物流的贯通到产业集群的数字化孵化，实景三维河南的创新应用典型案例表明，数字经济与实体经济深度融合的关键，在于找到像实景三维这样兼具基础性与赋能性的技术支点。

**这是一条普惠均等的温暖纽带。**技术的温度，在于其对人的深切关照。无论是为危重患者抢出输血时间，还是让山区老人免于奔波取药；无论是让市民直观参与城市规划，还是守护黄河滩区的绿水青山，实景三维的应用始终指向“人”的需求与福祉。它跨越地理阻隔，填平信息鸿沟，让偏远乡村共享发展成果，让生态保护有了精准抓手。科技向善，在这里不是口号，而是无人机每一次起降、平台每一次预警中蕴含的价值选择。

**这是一次自主创新的坚实突破。**亮眼成果的背后，是河南测绘人摆脱依赖、掌握核心的硬核攻关。河南自主研发基础软件，实现效率提升40%、成本降低50%，并建立全省统一标准。这揭示了一条关键路径：真正的数字赋能，必须建立在自主可控的技术底座之上。“边建边用、以用促建”的思路，确保了技术研发不脱离实际，成果转化快速有效，形成了创新与应用相互促进的良性循环。

数字兴则中原兴，三维强则发展强。当前，数字中国建设步入快车道。河南的实践表明，推进数字化绝非简单的技术叠加，而是一场涉及治理理念、产业形态、社会服务和技术根基的系统性重塑。它以空间信息为切入点，将散落的数据汇聚成可计算的城市，将分隔的领域连接成可协同的生态，将前沿的技术转化为可感知的福祉。

站在新的发展起点，随着实景三维全省域动态更新的实现，一个更加完整、鲜活、智慧的数字河南将跃然眼前。河南当继续以实景三维建设为突破口，持续强化技术创新、拓展应用场景、完善数据体系，让三维技术赋能数字政府、数字经济、数字社会、数字生态文明建设各领域，让数字红利惠及更多群众，让数字中原的美好蓝图在三维实景中徐徐展开，为高质量发展注入更加强劲的数字动能，在数字中国建设中贡献河南智慧、展现河南担当。

三维赋能绘新卷，数字中原启新程。高质量发展的数字之路，就在脚下，就在每一次精准的导航、每一次科学的决策、每一次温暖的送达之中。它属于现在，更定义未来。☑

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：李小勇  
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 交流群：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3期 总第519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  
姚宣斌 武汉大学教授  
郭增长 河南测绘职业学院教授  
毛忠民 河南省测绘地理信息技术中心原二级巡视员

### 河南省测绘地理信息技术中心编委会

主 任 郭幸生  
副主任 肖 峰 武永斌 王军胜 陈政民  
成 员 赵海滨 赵立明 孙常建 李 辉 许翔云  
安玉琴 寿燕翻 王红闯 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

### 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 以“实景三维”为笔 绘就数字河南新篇章

## 国内要闻

4 全球高分辨率森林扰动类型数据集发布 等8则

## 时政传递

6 自然资源部部署2026年地质勘查和测绘行业安全生产工作  
7 河南省测绘地理信息技术中心开展树立和践行正确政绩观学习教育专题学习

## 特别关注

8 实景三维河南赋能高质量发展  
——14个典型案例勾勒数字中原新图景

## 测绘广角

14 河南省测绘院顺利通过2026年度三体系认证审核  
南乐县部署2026年度测绘管理工作  
15 踏山越岭践使命 实干攻坚启新程  
——华中院高效完成陇电入川工程改线外业终勘定位任务

## 经天纬地

16 激活时空数据 赋能出彩中原  
——河南省地理信息院创新发展纪实

## 研究探索

18 地理信息安全监管的法律制度重构

## 技术应用

24 侧窗滤波与自适应阈值驱动的形态学优化边缘检测方法  
27 基于SBAS-InSAR技术的内蒙古某露天矿地表变形监测与分析  
31 “空天地一体化”遥感技术在国土变更调查监测中的应用  
——以罗江区为例  
34 基于小波去噪的变形监测预测模型优化研究  
38 基于PROSAIL与MLP模型的襄阳市冬小麦LAI反演  
41 基于SBAS-InSAR技术的某煤矿采空区地表沉降监测分析研究  
44 测量机器人在响水涧电站基准网复测中的应用  
49 基于激光扫描的邻近铁路滑坡体三维建模应用研究  
53 依托多源时空数据的博物馆空间分布特征及可达性分析

## 地图故事

56 在战火硝烟中诞生的测绘学校

## 文苑撷英

58 马年用好“千里马”  
59 春天的味道  
60 人间三月  
61 致谢老己  
长堤望

## 星绘中原

62 卫星视角瞰郑州 十年蝶变铸新城  
——从绿城到国家中心城市的时空答卷

## 封面

彩池争艳 杨建 / 摄



## 关注 全球高分辨率森林扰动类型数据集发布

近日，中国科学院空天信息创新研究院（空天院）团队在全球高分辨率森林扰动监测领域取得重要突破，发布了全球 30 米分辨率森林扰动类型数据集（GFD），为全球森林资源保护与生态治理提供关键数据支撑。

该数据集由空天院团队基于 Landsat 卫星遥感数据，结合多种算法和空间特征分析构建，实现 2000 年至 2020 年间全球 11 种森林扰动类型的高精度分类，各类扰动分类精度均达 85% 以上。数据显示，这 20 年间全球受扰动森林总面积达 12.47 亿公顷，占全球森林面积的 31%，其中人工林更新、轮垦和森林火灾是主导全球森林扰动的三大类型。

相较于现有数据集，GFD 数据集空间分辨率更高、分类体系更精细，且与现有数据集空间分布高度一致。该成果已发表于国际权威期刊《地球系统科学数据》，得到多项国家重点项目支持，将为全球森林碳核算、生态修复规划等提供重要支撑，也彰显了我国在全球森林监测领域的技术实力。

### 我国将对北斗卫星导航系统实施在轨升级

据中国卫星导航系统管理办公室消息，为进一步提升服务质量、满足全球用户日益增长的应用需求，北斗卫星导航系统将于近期实施在轨升级，重点对部分在轨卫星的工作状态、软件算法及信号结构进行优化调整。升级期间，将持续加强对系统在轨卫星的联调联试、服务性能的监测维护，全力确保用户体验。

北斗卫星导航系统作为建设成熟、功能完备、性能优越的全球卫星导航系统，目前在轨运行卫星数量已达 50 颗，空间信号精度优于 2 米，全球定位精度优于 10 米，测速精度优于 0.2 米/秒，授时误差小于 20 纳秒。通过精密单点定位服务信号，可实现定位水平精度优于 0.3 米、垂直精度优于 0.6 米。目前，北斗系统已深度融入国家经济社会发展大局，持续向各类用户提供高精度定位导航授时服务，成为支撑行业发展、服务百姓生活的科技先锋。

### 我国民用在轨遥感卫星数量稳居世界第二

近日，中国地理信息产业协会披露的最新数据显示，2025 年我国发射遥感卫星 120 余颗，民用在轨遥

感卫星数量已超过 640 颗，继续稳居世界第二位。

目前，我国民用遥感卫星体系日趋完善，覆盖光学、高光谱、红外及微波等多种类型，已实现全天候、全天时对地观测，为各行业发展提供有力数据支撑。与此同时，我国商业遥感卫星产业持续快速发展，在技术突破、星座组网和应用拓展等方面均取得显著进展。

2025 年，我国遥感卫星发射成果丰硕，多颗特色卫星成功入轨，包括我国空间分辨率最高的商业遥感卫星四维高景一号 03、04 星，首颗具备全极化业务化观测能力的商业 SAR 卫星，以及首颗地质行业高光谱遥感小卫星“地质一号”、首颗电力行业遥感卫星“电力工程号”，进一步丰富了遥感卫星应用场景，助力相关行业高质量发展。

## 科技 我国在量子传感领域取得重大突破

近日，我国研究团队在量子传感领域取得重大技术进展，相关成果发表于国际权威期刊《物理评论快报》。研究团队首次在非么正光子行走实验平台上观测到临界点增强的量子传感效应，为我国量子精密测量产业化发展提供了全新技术路径。

量子传感依托量子叠加、纠缠等特性实现物理参数超高精度测量，传统方案需制备系统临界稳态，存在耗时久、实验难度高的瓶颈。此次研究团队通过构建非厄米拓扑量子行走模型，引入可控光子损耗，实现一维非厄米哈密顿量动力学演化，成功规避这一瓶颈，并观测到“点能隙”与“线能隙”闭合时的临界现象。

实验证实，在两类能隙闭合临界点附近，经典 Fisher 信息呈现显著峰值，其随系统尺寸增长指数远



高于非临界状态，凸显量子临界性对传感精度的超强提升作用。该技术可应用于电场、磁场等物理量高精度测量，推动量子传感在环境监测、医疗成像等领域实用化，助力我国抢占量子精密测量产业赛道先机。

## 全球首颗面向城市可持续发展的人工智能大模型 卫星发射成功

近日，全球首颗面向城市可持续发展的人工智能大模型卫星——港中大一号卫星，由中国太原卫星发射中心在广东阳江附近海域使用捷龙三号运载火箭发射升空，顺利进入预定轨道，发射任务取得圆满成功。

港中大一号卫星由香港中文大学参与设计、研发及应用，搭载人工智能大模型，具备高解析度、多波段对地观测能力，核心定位为服务城市可持续发展。该卫星将与此前发射的“香港青年科创号”实验星组网，构建香港首个低轨卫星星座，进一步提升对地观测的精准度与覆盖面。

作为全球首颗该类型卫星，港中大一号卫星入轨后，将重点提供高精度对地观测数据，聚焦粤港澳大湾区及全球重点城市，为环境监测、智慧交通、灾害应急等领域提供核心地理信息支撑，助力可持续智慧城市建设，同时为智能遥感与空间信息应用相关技术研究提供实践载体。

### 全球每年仅1人！

#### 中国科学家获美国导航学会早期成就奖

2月25日，上海交通大学发布消息，该校航空航天学院杨溶副教授荣获美国导航学会（ION）2025年度早期成就奖。该奖项全球每年仅授予一人，杨溶成为该奖设立近三十年来亚洲第三位、中国内地第二位获此殊荣的学者。

据悉，该奖项旨在表彰对定位、导航与授时（PNT）技术发展产生显著影响的青年科技人才。1986年出生的杨溶，2019年加入上海交通大学，现为长聘副教授、博导，其团队长期深耕航宇与交通领域核心导航问题，主攻复杂城市环境下高精度、高可信导航等业界痛点。

杨溶主持参与多项国家级项目，相关技术已申请国内外专利10余项，成功应用于我国航空航天及民航安全领域。其主导开发的导航服务性能监测评估系统，已部署于上海浦东国际机场，为枢纽安全运行提供关

键支撑。目前，其团队正将研究成果拓展到低空经济领域，助力城市空中交通导航解决方案升级。

## 数字

### 1万亿元

3月6日，十四届全国人大四次会议经济主题记者会上，国家发展改革委主任郑栅洁明确表示，我国将继续实施北斗规模应用工程，推动北斗产业规模五年内突破1万亿元。

目前，北斗卫星导航系统已进入市场化、产业化、国际化快速发展阶段，产业基础日益坚实，预计2025年产业规模将达6200亿元。北斗的高精度服务也广泛应用于交通出行、物流快递、农机作业等多个领域，其短报文通信功能还为应急救援提供“永不失联”的保底通信保障，相关用户已超千万。

据介绍，“十五五”时期，我国将从三方面推动北斗产业发展：产业层面持续培育新技术和新产品，加快万亿级规模跨越；应用层面实施北斗规模应用重大工程，拓展其在民生服务以及智能机器人等新兴领域的应用；国际合作层面将进一步提高国际服务水平，为全球更多国家提供安全好用的公共服务。

### 10<sup>-19</sup>

3月5日，我国在时间精密测量领域的重大技术成果发表于国际计量领域核心期刊《计量学》。中国科学技术大学团队成功将铯原子光晶格钟的稳定度和不确定度指标全面突破10<sup>-19</sup>量级，相当于300亿年误差不超过1秒，标志着我国在该领域取得关键性突破。

光钟是当前最精密的时间频率标准，核心依靠原子内部能级跃迁产生的频率信号定义时间，其性能由稳定性和不确定度两大核心指标衡量。此次团队构建精密双钟比对系统，通过两台独立铯原子光晶格钟直接拍频比对，验证长期稳定度优于2.9×10<sup>-19</sup>；同时优化多种频移不确定度，使综合系统不确定度达9.2×10<sup>-19</sup>。

该技术精度较现有微波时间标准提升4个数量级，可支撑“秒”的重新定义，还能为卫星导航、精密测量等提供可靠的时间基准，同时为暗物质探测、地壳形变监测等前沿领域提供全新技术支撑，标志着我国在时间精密测量领域跻身国际最前列。☑

# 自然资源部部署 2026 年地质勘查和测绘行业安全生产工作

◎ 本刊记者 栗荣晓

日前，自然资源部办公厅印发《关于做好 2026 年地质勘查和测绘行业安全生产工作的通知》（以下简称《通知》），就扎实做好今年地质勘查和测绘行业安全生产工作作出部署。

2026 年是“十五五”开局之年，切实抓好安全生产工作至关重要。为全面贯彻党的二十大和二十届历次全会精神，深学笃行习近平总书记关于安全生产的重要指示批示精神，《通知》提出，要坚持以人民为中心的发展思想，进一步压实地质勘查和测绘行业单位安全生产主体责任，防范化解安全生产风险隐患，以行业安全形势持续稳定护航“十五五”良好开局。

《通知》指出，要提高政治站位，更好统筹发展和安全。各级自然资源主管部门要深入学习领会习近平总书记关于安全生产的重要指示批示精神，深刻认识安全生产工作的极端重要性，统筹发展和安全，坚持底线思维、极限思维，深入研判存在的突出风险，落实行业安全生产管理责任，把安全防范措施压实到行业单位，坚决堵住安全管理漏洞。扎实推进安全生产治本攻坚行动，举一反三加强重点领域、关键环节安全隐患排查整治，及时化解安全风险，坚决守牢安全生产底线。

《通知》要求，压实各方安全生产责任，推动各项安全措施落实到位。地质勘查和测绘行业单位主要负责人是本单位安全生产第一责任人，对本单位安全生产工作全面负责。行业单位主要负责人必须严格落实《中华人民共和国安全生产法》等法律法规，以及《自然资源部安全生产管理工作总体方案（试行）》相关要求，建立健全全员安全生产责任制，明确各岗位责任人员、责任范围和激励奖惩机制，确保责任措施压实到各个环节、具体岗位、具体人员。落实安全风险分级管控和隐患排查治理双重预防工作机制，督促检查本单位安全生产工作，及时消除生产安全事故隐患，确保安全生产。省级自然资源主管部门要认真落实“三管三必须”要求，加强组织领导，完善机制、明晰责任，持续紧盯行业单位主要负责人“关键少数”，加强对

行业单位安全生产指导监督，督促依法履行法定职责，加强教育培训，提高安全生产技能，增强事故预防和应急处理能力。

《通知》强调，要深入排查整治风险隐患，助推安全生产治本攻坚三年行动圆满收官。省级自然资源主管部门要坚决落实《国务院安委会办公室关于印发〈安全生产治本攻坚三年行动方案（2024—2026 年）〉子方案的通知》和《自然资源系统安全生产治本攻坚三年行动方案（2024—2026 年）》任务要求，在压实行业单位主体责任基础上，指导做好地质勘查和测绘行业安全风险隐患排查整改工作。要按照《自然资源部野外作业安全工作指引（试行）》《地质勘查和测绘行业安全生产重点检查事项指引（试行）》要求，组织专家力量，指导行业单位排查外业项目驻地安全、外业作业安全、交通安全、室内安全等重点领域安全风险，加强艰险地区安全防范、通信定位装备配备、钻探槽探作业施工、地下管线测量等关键环节隐患排查，强化老旧设备、危险化学品、放射源、无人机等安全管理，提升从业人员安全意识，深挖细查潜在风险，推动建立完善事故隐患内部报告奖励机制。

同时，地质勘查和测绘行业单位对排查出的风险隐患要建立问题隐患和整改措施“两个清单”，逐一明确责任人、工作措施和完成时限，促进安全生产与业务工作同推进、相融合，严格闭环整改，坚决防止隐患排查整改走形式、走过场。对 2025 年排查发现的风险隐患进行“回头看”，对反复出现的问题要举一反三，深入剖析问题根源，精准施策整改，从解决一项问题到治理一类问题，实现排查整治效果最大化。

《通知》强调，做好 2026 年地质勘查和测绘行业安全生产工作，任务艰巨，责任重大。省级自然资源主管部门务必高度重视，加强组织领导，细化工作措施，真正把“时时放心不下”的责任感转化为“事事心中有底”的行动力，狠抓各项工作落实，坚决守住安全生产红线底线，为行业高质量发展提供坚实的安全保障。☑

# 河南省测绘地理信息技术中心开展树立和践行正确政绩观学习教育专题学习

○ 周正 李华



3月12日，河南省测绘地理信息技术中心召开党委理论学习中心组（扩大）会议，开展以树立和践行正确政绩观为主题的专题学习，紧扣测绘地理信息行业实际，深学细悟核心要义，凝聚发展共识。河南省测绘地理信息技术中心党委书记、主任郭幸生作总结讲话，中心党委委员、副主任肖峰领学，中心党委委员、副主任武永斌作交流发言。

郭幸生从思想、实践、作风三个层面作出具体部署，为中心工作划定清晰路径。一是提高政治站位，深刻把握正确政绩观核心要义，筑牢测绘事业发展思想根基。要坚守为民造福初心，坚持显功潜功辩证统一，强化实干担当导向；注重数据整合，善于合并同类项、做好总结梳理，让测绘数据真正发挥作用，精准服务社会发展和群众需求。二是立足行业实际，以正确政绩观引领发展实践，推动测绘地理信息事业高质量发展。锚定“国之大者”，深度融入国家战略、省委重点工作，聚焦测绘“十五五”规划编制，切实把规划工作做细做实，夯实单位生存根基和长远发展基础；坚持创新驱动，抢抓低空经济发展机遇，提前研究谋划、系统部署，抢占行业发展先机，推动产业转型升级；

坚守精准底线，以精益求精的态度履职尽责，确保测绘数据、成果报告精准可靠，以高质量测绘服务支撑各项工作落地。三是锤炼过硬作风，以严的要求涵养正确政绩观，凝聚测绘事业发展奋进力量。以严实作风纠治顽瘴痼疾，筑牢廉洁自律防线；树立重实干、重实绩的选人用人导向，激励干部职工担当作为；强化党建引领，推动党建与测绘业务深度融合，把组织优势转化为发展动能，凝聚起事业发展的强大合力。

肖峰重点领学习近平总书记《让愿担当、敢担当、善担当蔚然成风》重要论述、《求是》杂志《以正确政绩观开创中国式现代化新局面》及《把做显功与做潜功统一起来》评论文章，要求全体干部职工将学习成果转化为履职实效，立足测绘本职践行正确政绩观。

武永斌结合工作实际交流体会，围绕“政绩为谁而树、树什么样的政绩、靠什么树政绩”三个核心，强调要坚守为民初心、锚定发展方向、强化实干担当，以务实作风做好各项工作。

中心机关人员、所属单位班子成员、省测绘学会和省地理信息产业协会党组织负责人等参加会议。☑  
(作者单位：河南省测绘地理信息技术中心)

# 实景三维河南赋能高质量发展

## ——14个典型案例勾勒数字中原新图景

◎ 本刊特约记者 张永强

当清晨的第一缕阳光掠过黄河岸线，周口港的无人装卸设备循着实景三维系统传输的精准地形数据，有条不紊地完成集装箱吊装；在郑州航空港区医谷云瞰平台上，三维可视化技术打破空间壁垒，为生物医药企业搭建起从研发到生产的全链条空间分析体系；林州太行山深处，搭载实景三维导航的无人机穿梭于崇山峻岭之间，将救命药品稳稳送达偏远山村群众手中……这一幕幕生动的数字化场景，正是实景三维河南建设赋能中原大地高质量发展的鲜活注脚，也是数字河南建设的生动实践。

2025年11月，河南省自然资源厅与河南省发展和改革委员会联合发布14个实景三维河南创新应用典型案例，覆盖自然资源管理、政府决策、数字经济、民生服务、数字生态文明、技术创新六大领域。从城市地下管线的智能巡检到露天矿山的动态监管，从应急救援的空中指挥到乡村物流的“最后一公里”突破，实景三维技术正以“数字基座”的姿态，深度融入河南经济社会发展各个环节，为中原崛起注入强劲的数字化动能，勾勒出一幅科技感与烟火气十足的数字中原新图景。



## 数字政府革新：三维赋能，让治理效能大跃升

“以前审批一个管线工程项目，光核査周边管线数据就要3天，反复对接多个部门、核对多套图纸，耗时又费力；现在通过三维系统自动比对、智能分析，6小时就能完成全部审查流程，效率提升了近12倍。”焦作市自然资源和规划局审批科负责人的感慨，道出了实景三维技术对政府治理模式的颠覆性改变。

此次发布的14个典型案例中，8个直接服务于自然资源管理与政府决策，依托实景三维技术构建起“可视化、可计算、可模拟”的数字化治理新范式，推动政府治理从“经验驱动”向“数据驱动”转型。

城市治理的“三维智慧大脑”，让精细管理触手可及

由河南省测绘院打造的“面向数字孪生城市的地理空间信息平台”，是数字政府建设的标杆项目。该平台深度整合自然资源、水利、交通、应急等十余个部门核心数据，在安阳建成区构建起厘米级高精度三维模型，形成统一高效的数字孪生底座，将物理城市的每一处细节精准“复刻”到数字空间。

2025年夏季，安阳遭遇极端强降雨，城区面临严重内涝风险。该平台通过模拟不同降雨强度下的内涝演进过程，精准预测积水深度、蔓延范围和影响区域，提前4小时发出预警，协助转移群众2300余人，较传统预警模式效率提升3倍。“借助这个平台，我们能清晰看到每一条街道的积水深度、排水路径，甚至精准定位受影响的地下管网节点，为防汛指挥提供了科学支撑。”安阳市应急管理局指挥中心主任介绍，目前该平台已在企业监管、应急指挥等场景常态化应用，实现政府对企业安全情况的整体把控监管。

作为河南省实景三维建设试点，河南省地图院打造的“实景三维漯河辅助决策系统”，为城市治理赋能增效。“建设中，我们打破‘数据孤岛’，运用多源数据融合技术，整合航空摄影测量等各类空间数据，构建厘米级高精度三维模型，全方位复刻城市风貌与基础设施。同时联动规划、住建等部门建立数据共享机制，为决策提供精准支撑。”河南省地图院副院长曹源介绍，系统还针对规划审批、违建治理等核心需求，定制专属功能模块，实现“一场景一方案”适配。

2025年，漯河市被列入全国低效用地再开发试点，该系统发挥关键作用。前期摸排阶段，工作人员将各区用地信息与三维成果、不动产数据叠加融合，仅用一个下午就完成20余宗土地“室内研判”，精准分析



● 林州山区无人物流配送

连片改造潜力、评估商业地块优势，推动低效用地再开发从“分散推进”走向“协同高效”。“三维应用彻底解决了传统摸排漏判、误判难题，让每一寸土地发挥最大价值。”漯河市自然资源和规划局有关负责人表示。2025年11月该系统正式投用，目前已广泛应用于自然资源管理、规划审批等领域，实现违建精准管控、审批提速。

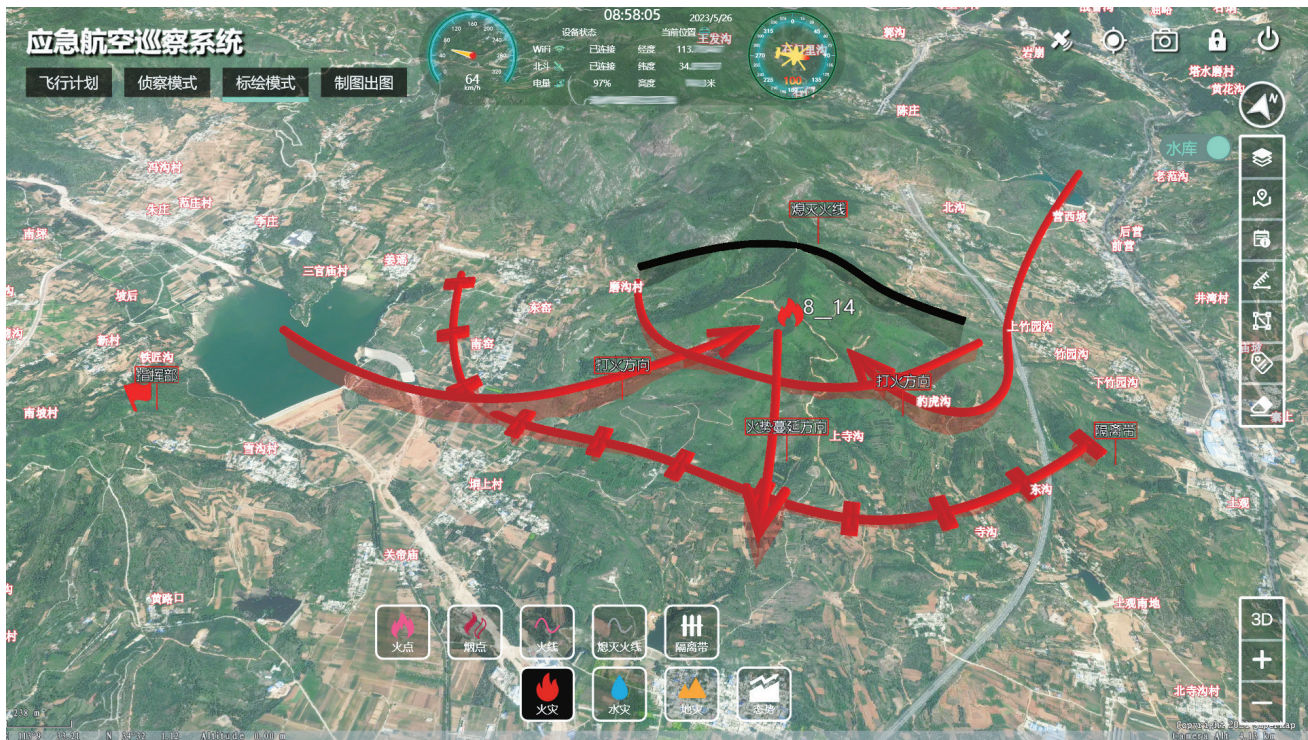
河南省地理信息院建设的“濮阳市三维地理信息应用管理系统”，将城市空间从平面蓝图转化为可透视、可分析的立体数字镜像。该系统汇聚城市“家底”数据，打造高质量三维数字基底，为城市精细化管理和智慧城市建设奠定坚实基础，相当于将物理城市完整“搬”进数字世界，让规划更科学、决策更精准。

焦作市“多维地下管线管理系统”亮点突出，集成地上实景三维模块与地下管线数据，构建起覆盖全市4257千米管线的“数字脉络”，让“看不见、摸不着”的地下管线变得“可查、可算、可管”。在中原路道路改造工程中，系统通过动态模拟开挖场景，精准预判施工对燃气、供水管线的影响，优化施工方案3处，避免经济损失超千万元，为城市建设筑牢“安全防线”。

自然资源管理的“立体监管网”，让资源保护更具精度

“以前审批项目，要跑多个部门调数据、看图纸，耗时费力且易出现数据不一致；现在打开国土空间基础信息平台，地形地貌、规划红线一目了然，审批效率大幅提升。”河南省地理信息院国土空间平台保障中心副主任宋碧波的话语，道出了实景三维建设的核心价值——打破数据壁垒，构建统一数字底座。

河南省地理信息院牵头打造的国土空间基础信息



平台，历经三年攻坚，形成覆盖全省的“三维立体自然资源‘一张图’”。该平台整合现状、规划、管理、社会经济4大类38个二级类数据，总量达13200余项，构建起“天上看、地上查、网上管”的监管体系，实现对土地、矿产等资源的全生命周期监管。在永久基本农田补划中，工作人员通过三维地形分析，可快速识别坡度大于25度的区域，精准筛选补划地块。截至目前，该平台已为全省18个省辖市、179个县（区）开通账户，日均服务访问量超30万次，成为数字政府的“核心中枢”。

三门峡露天矿山智慧监管平台，为生态保护装上“千里眼”。作为黄河岸边矿产资源大市，三门峡有23座露天矿山，以往每月需执法人员实地巡查，不仅危险且易有监管盲区。如今，该平台融合实景三维建模与卫星遥感技术，实现常态化全方位监测，可自动识别矿山开采边界、植被恢复情况，发现超采、越界等问题即时预警处置。2025年，该平台累计整改问题近50起，矿山生态修复面积较上年增加28%，推动生态保护从“被动整改”转向“主动防控”。

### 数字经济赋能：技术创新，激活产业转型新动能

实景三维作为新型生产要素，正与低空经济、港口物流、医疗健康等产业深度融合，成为产业转型升

级的“加速器”。14个创新应用典型案例中，有5个直接助力数字经济发展，从周口港智慧航运转到郑州航空港三维产业生态，从无人机物流“空中通道”到项目审批“极速高效”，实景三维技术正在激活中原产业发展新活力。

**智慧物流：打通“空中通道”与“水上动脉”，提升流通效率**

在周口港中心港区，满载集装箱的货轮靠岸后，岸桥、场桥与无人集卡协同作业，全流程高效有序。这背后，是实景三维与BIM技术深度融合的智慧港口解决方案在发挥作用。周口市自然资源和规划局基于数字孪生技术，构建了覆盖港区及周边20平方千米的实景三维模型，打造的智慧港口平台，已成为港口高效运转的“大脑”，实现船舶调度、货物装卸等全流程数字化。

“以前船舶进港需提前24小时申报，工作人员手动核对泊位、航道信息，效率低下；现在通过平台可实时查看相关信息，系统自动规划最优靠泊路线，通关效率提升40%。”周口港务集团运营部经理介绍，2025年1~10月，周口港货物吞吐量达3200万吨，同比增长18%，其中实景三维平台对物流效率提升的贡献率超过30%。

低空经济领域创新亮点纷呈，河南云洹网联无人

机科技有限公司的两项典型案例——安阳市无人机智能血站运输与林州山区无人机物流配送，共同构建起覆盖城乡的“空中物流网络”。在安阳，基于实景三维与5G-A通感一体技术的血液配送网络，覆盖1200平方千米城市空域，日均配送50余架次，将配送时间从40分钟压缩至15分钟，效率提升60%。“对于紧急输血患者，每一分钟都至关重要。”安阳市中心血站站长表示，该系统已累计完成应急配送1.2万次，保障300余例危重患者救治，成为守护百姓生命健康的“空中生命线”。

林州山区无人机物流项目，破解了偏远山区物资运输的“最后一公里”难题。通过实景三维规划最优航线，无人机可将药品、生活用品精准送达山区村落，配送成本降低50%，实现“上午下单、下午送达”，惠及林州12个山区乡镇8万余名群众。“我患有高血压，以前每个月都要让儿子请假陪我去县城拿药，现在在家门口就能收到，太方便了。”林州市石板岩镇村民王大娘说。

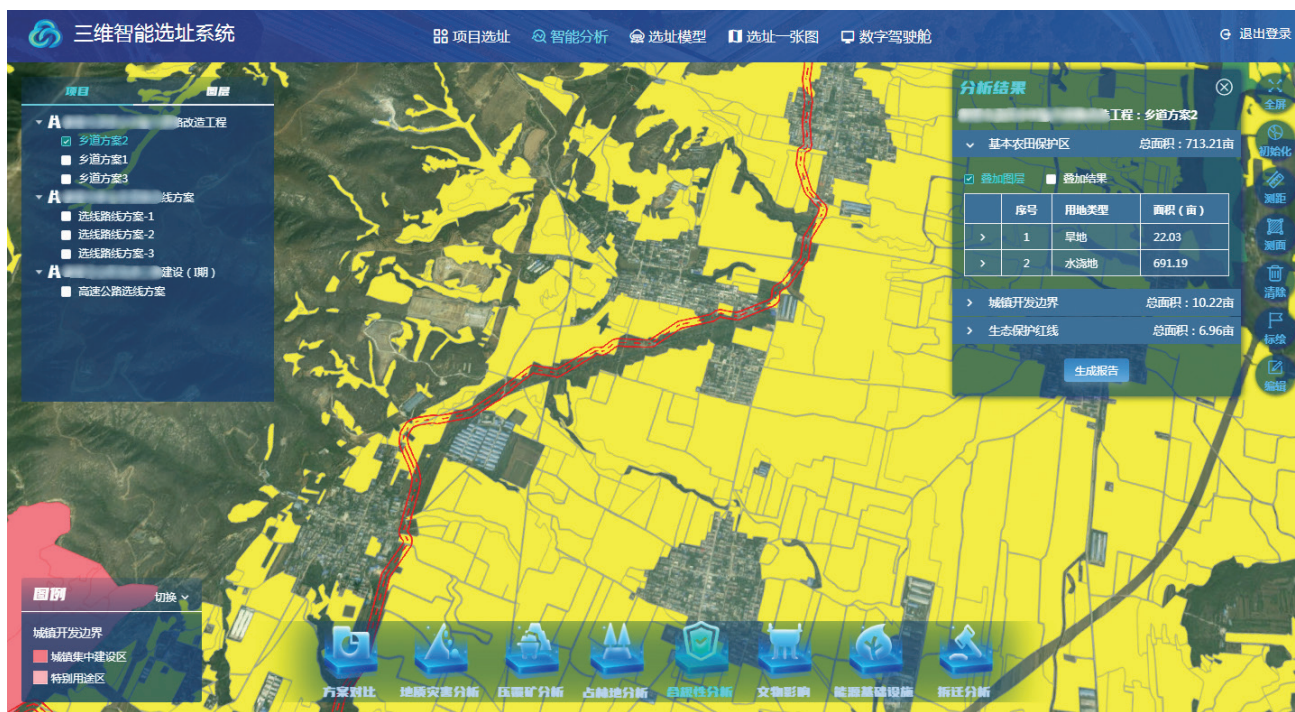
**产业生态：构建三维数字化载体，推动产业集群发展**

郑州航空港经济综合实验区的“医链云枢·三维产业生态平台（医谷云瞰）”，为产业园区数字化转型提供了样本。该平台以实景三维为基础，整合医疗

企业、科研机构、物流配套等资源，构建“空间+产业+服务”的三维产业生态，打破产业发展的空间和资源壁垒。

在平台上，企业可通过三维模型直观查看园区布局、配套设施，在线完成选址、注册、审批等全流程手续，大幅缩短落地周期；科研机构可共享实验数据与设备，与企业协同创新；物流企业可实时调度物资，实现供应链精准对接。“我们通过平台找到3家上下游配套企业，还与郑州大学医学院达成产学研合作，项目落地周期缩短6个月。”入驻园区的某医疗科技企业负责人表示。据统计，截至2025年11月，该平台已集聚医疗相关企业120余家，促成合作项目37个，带动产值增长超20亿元。

河南省遥感院打造的“实景三维助力全省项目用地预审与选址”项目，实现审批流程的革命性变革。依托全省地形级三维场景，开发了用地适宜性分析、合规性审查等智能工具，将传统数周的预审流程压缩至3个工作日内，审批效率提升70%以上。某新能源汽车产业园项目通过该系统，仅用两天就完成地形分析、红线划定等全部流程，为项目落地投产争取了宝贵时间。据介绍，该系统自2025年初投用以来，已累计服务全省重点项目5100余个，有效支撑数字经济高质量发展。



● 选址方案展示基本农田避让情况

## 数字社会升级：科技向善，守护民生幸福温度

“技术创新的最终目的，是让老百姓生活更便捷、更安全、更幸福。”河南省测绘地理信息技术中心党委书记、主任郭幸生的这句话，在多个典型案例中得到生动诠释。

14个典型案例中，6个直接服务于百姓美好生活，从医疗急救到城市规划，从应急救援到乡村服务，实景三维技术正以“润物细无声”的方式，提升民生保障水平。

应急救援的“生命防线”，以科技守护生命安全

“过去，航空巡察依赖经验判断位置，精准度不足，易影响救援效率；如今，借助‘实景三维+北斗’应急航空巡察系统，定位精度大幅提升，处置效能实现质的飞跃。”河南省应急管理厅森林航空消防站负责人深有感触地说。

河南省遥感院研发的三维航空巡察平台，以实景三维为核心数字底座，融合“河南一号”卫星遥感数据，整合全省实景三维场景、路网水系、应急取水点等多类专题数据，实现应急地理信息一体化整合与可视化呈现，打造空地协同的应急救援预警支撑体系，推动航空巡察从“模糊判断”迈入“精准定位”新时代。截至目前，该系统已成功辅助山西省森林火灾救援、林州太行山林火处置等多类应急任务，显著提升了航空救援的决策能力和响应效率。

城乡服务的“均等化桥梁”，让民生服务更有温度

驻马店市自然资源和规划局的“人工仿真三维模型及航拍720°全景图”应用，让城市规划更贴近民生。在市委规委会审议某小区建设方案时，通过720°全景图，参会人员 and 群众代表可直观查看小区与周边学校、医院的距离，以及建筑高度、采光等细节，打破传统平面图纸的局限性。

“以前规划方案普通人看不懂，现在通过全景图，大家能清晰了解项目情况，提出的意见更具针对性。”该局规划科负责人表示，该应用已服务32个重点项目审议，收集群众意见156条，其中89条被采纳，实现“开门做规划”。

林州山区无人机物流配送、安阳无人机智能血站运输项目，不仅破解了物流和医疗配送痛点，更搭建起城乡服务均等化桥梁。林州山区群众无需再为取药、购物奔波几十公里，安阳市周边县域医院也能快速获取应急血液，基层医疗服务能力显著提升，让偏远地

区群众也能享受与城市居民同等便捷的服务。

## 数字生态文明：三维绘就，擦亮绿色发展底色

生态文明建设是高质量发展的重要内涵，14个典型案例中，4个聚焦数字生态文明建设，通过实景三维技术实现生态保护精准化、环境治理科学化，为河南绿色发展注入科技力量，助力黄河流域生态保护和高质量发展。

生态监测的“精准利器”，守护生态环境安全

河南省地理信息院的“三维立体自然资源‘一张图’应用”，在生态保护中发挥核心支撑作用。该平台整合全省森林、湿地、河流等生态资源数据，构建全方位三维生态监测体系，实现生态资源实时监测、动态分析和精准管控。在黄河河南段生态保护治理中，通过三维模型可实时监测河道演变、滩区植被覆盖情况，及时发现违规采砂、侵占河道等问题。

“以前巡查黄河滩区，需工作人员驾车或徒步，效率低且有安全隐患；现在通过三维平台可‘足不出户’巡查，发现问题即时派单整改，大幅提升了生态保护的效率和精度。”黄河水利委员会河南河务局相关负责人表示，2025年通过该平台累计整改生态环境问题78起，黄河滩区植被覆盖率提升至82%。

三门峡市通过实景三维技术，实现矿山生态“逆袭”。作为矿产资源大市，该市曾面临矿山开采带来的生态破坏问题。如今，“三门峡露天矿山智慧监管平台”综合运用数字底座、卫星遥感等“六位一体”手段，对全市露天矿山进行可视化、精细化监管，实现矿山开采、生态修复全流程动态跟踪。

在“春霖行动”等专项行动中，该平台发挥了核心支撑作用。技术人员通过三维地形分析，精准规划“剃头+束腰+垫脚”高陡边坡修复方案，结合“蜘蛛人”高空植绿技术，累计治理矿山面积12.45万亩，植树830余万棵，实现存量矿山生态问题基本清零。昔日“矿山疤痕”如今变成绿色屏障，为黄河流域生态保护交出亮眼答卷。

绿色发展的“决策支撑”，从源头守护生态环境

河南省遥感院的“实景三维助力全省项目用地预审与选址”项目，通过将三维模型与生态保护红线、永久基本农田等数据叠加分析，可自动识别生态敏感区域，已否决不符合生态要求的项目23个，调整选址117个，从源头遏制生态破坏，守护生态环境。

周口港智慧化应用实现经济效益与生态效益双赢。

该案例将实景三维技术与港口生态保护深度融合，通过三维模型模拟港口运营对周边环境的影响，优化码头布局与装卸工艺，减少污染物排放。“我们调整船舶航线避开鱼类繁殖区，采用电动起重机替代燃油设备，降低污染。”周口港务集团环保部负责人介绍，2025年周口港船舶尾气排放较上年减少35%，港口周边水质达到Ⅲ类标准。

### 技术创新筑基：自主研发，破解“卡脖子”难题

亮眼成就的背后，是河南在实景三维技术领域的持续创新与自主突破。河南省测绘地理信息技术中心作为核心支撑单位，编制完成《新型基础测绘体系自主研发技术方案》，搭建起实景三维生产、服务、应用全流程技术框架，实现自主可控实景三维基础软件从无到有的突破，打破对商业软件的依赖。

“以前依赖商业软件建模，成本高且存在数据安全风险，核心技术受制于人。”河南省测绘地理信息技术中心技术研发部负责人介绍，自主研发的省级基础地理实体转换生产软件，2024年完成全部开发目标，利用该软件超额完成省级基础实体生产任务，数据处理效率提升40%，成本降低50%。截至2025年年底，河南已实现地形级实景三维全省域覆盖，为技术广泛应用奠定坚实基础。

在数据标准建设方面，河南立足省情制定实景三维数据产品标准，推动全省数据互联互通。同时坚持“边建边用、以用促建”，提前谋划应用场景，推动

技术成果快速转化。“我们建设实景三维的最终目的，是赋能发展、惠及民生。”河南省自然资源厅党组成员、副厅长景志刚表示，河南将持续推进实景三维成果在各领域的应用，为数字中国建设贡献河南智慧。

### 实景三维绘就高质量发展新蓝图

从黄河之滨到太行深处，从繁华都市到偏远乡村，实景三维技术正重塑河南发展格局。14个典型案例如同14颗珍珠，串联起实景三维河南建设的璀璨成果，彰显了数字技术赋能高质量发展的强大力量。

在数字中国建设浪潮中，河南正以实景三维为基底，推动数字空间与现实空间深度融合，朝着2027年实现实景三维模型全省域动态更新的目标稳步迈进，让数字技术成为中原崛起的强劲动力。

河南省自然资源厅相关负责人表示，下一步将以典型案例为示范，推动实景三维技术深度应用。在数字政府领域，完善国土空间基础信息平台，提升治理效能；在数字经济领域，培育新兴产业，打造数字产业园区；在民生服务领域，拓展无人机物流、智慧医疗等场景，惠及更多群众；在生态保护领域，构建全域三维生态监测体系，擦亮绿色发展底色。

从城市到乡村，从产业到民生，从生态到治理，实景三维技术正以不可阻挡的势头，重塑河南高质量发展空间格局。随着数字中国建设深入推进，实景三维河南建设将不断书写创新应用新篇章，为谱写新时代中原更加出彩的绚丽篇章，提供坚实数字支撑。☑



## 河南省测绘院顺利通过 2026 年度三体系认证审核

3月9日至12日，华信创（北京）认证中心专家组进驻河南省测绘院，开展2026年度质量管理体系、环境管理体系、职业健康安全管理体系（以下简称“三体系”）认证审核工作。在末次会议上，专家组正式宣布，河南省测绘院顺利通过此次三体系认证审核，其管理体系运行的规范性、有效性获得权威认可，标志着河南省测绘院规范化管理水平再上新台阶。

此次认证审核严格遵循国家相关标准，全面覆盖河南省测绘院核心工作全流程，涉及7项核心业务板块、3个已完工及2个在建项目，涵盖12个职能与业务科室，审核过程分三个阶段有序推进。审核前期，专家组提前制定详细计划，明确审核目的、范围及时间安排，核对体系覆盖范围、人员配置等基础信息，结合测绘行业特点梳理标准条款、确定审核重点，为现场审

核做好充分准备。审核中期，专家组采取资料核查与现场核验相结合的方式，全面检验管理体系落地实效。资料核查环节，专家组重点查阅体系文件、质量记录、环境监测报告、安全培训记录等，核对文件与实际工作的一致性；现场核验环节，专家组深入河南省测绘院安阳外业项目部，实地查看一线测绘作业流程、仪器设备校准情况，核查环境保护、废弃物处理及安全管控等实操环节，通过与一线人员访谈掌握体系运行实情，并对发现的细节问题现场沟通、提出初步改进方向；同时，还抽查各职能科室职责履行情况，确保审核无死角。

为保障审核高效推进，河南省测绘院高度重视、全力配合，采取多项举措做好保障工作。成立由院领导牵头、各部门负责人及业务骨干组成的工作小组，明确分工、统筹协调；各科室提前梳理归档相关

资料，开展自查自纠，确保资料真实合规；组织相关人员开展三体系培训，安排骨干人员全程陪同审核，及时解决各类对接问题；提前整治外业及办公现场，完善相关设施，为专家组做好服务保障。

据了解，三体系是检验单位规范化管理水平的重要途径，核心在于搭建系统化、标准化管理框架，实现“内部提效”与“外部赋能”双重目标，既是对管理体系运行实效的全面检验，也是推动单位从粗放管理向精细化管理转型的关键抓手。此次三体系审核的顺利通过，是河南省测绘院持续推进规范化管理的重要成果。下一步，河南省测绘院将紧扣专家组反馈意见逐项整改优化，持续强化三标一体管理水平，夯实全流程管理基础，建立长效改进机制，持续为全省测绘地理信息事业高质量发展奠定坚实基础。☑（河南省测绘院 方乐道）

## 南乐县部署 2026 年度测绘管理工作

为进一步规范测绘地理信息市场秩序，强化测绘成果质量与安全保密管理，近日，南乐县自然资源局召开全县测绘管理工作部署会，全面总结2025年度测绘管理工作成效，对2026年度重点工作进行安排部署。

会议强调，一是夯实基础测绘，筑牢数据根基。按时完成基础地理信息数据更新，确保数据现势性、准确性。严格落实测量标志巡查管护，明确责任、健全台账、定期巡检、及时维护，确保测绘基准安全稳定。二是严格市场监管，规范行业秩序。

强化测绘资质单位动态监管，联合县市场监管局开展“双随机、一公开”监督检查。严格执行测绘项目备案制度、成果汇交制度，实现全过程可追溯。依法严肃查处无资质测绘、超范围测绘、成果造假等违法违规行为，形成有效震慑。三是狠抓成果质量，守住生命线。牢固树立质量第一意识，落实“谁生产、谁负责，谁使用、谁把关”。加大对不动产测绘、工程测绘等重点领域成果质量抽检力度。健全质量管控机制，强化流程管理、技术把关、审核验收，坚决杜绝不合格成果流

入使用环节。四是严守安全底线，确保涉密测绘绝对安全。严格执行涉密测绘成果领用、保管、使用、传递、销毁全流程闭环管理。定期开展保密自查、风险排查、业务培训，强化人员保密意识和技能。坚决杜绝涉密测绘成果擅自复制、传播、上网，严防失泄密事件发生。五是强化地图监管，维护国家主权安全。持续开展“问题地图”专项整治，加强对市场、网络、新媒体等地图使用监管。借助测绘法宣传日等活动，提升全社会国家版图意识。☑（南乐县自然资源局 王彦兵）

# 踏山越岭践使命 实干攻坚启新程

## —— 华中院高效完成陇电入川工程改线外业终勘定位任务

春回大地启新程，实干争先正当时。2026年新春开工以来，中国电建集团华中电力设计院有限公司（以下简称“华中院”）甘肃巴丹吉林沙漠基地送电四川特高压直流工程（以下简称“陇电入川工程”）团队迅速切换至奋斗模式，以起步即冲刺、开局即决战的姿态，全力以赴推进线路改线外业终勘定位各项工作，最终在一周内按时完成全部任务，奋力夺取全年工作“开门红”，为工程高质量推进筑牢根基。

陇电入川工程是国家“十四五”电力规划重点项目，也是推进沙漠、戈壁、荒漠大型风电光伏基地建设的重要组成部分。该工程起点为甘肃酒泉，终点为四川资阳，线路全长1459.7千米，建成后将有效保障四川电力供应，进一步优化全国能源资源配置，精准服务成渝地区双城经济圈建设，对甘川两省推进经济高质量发展和能源低碳转型具有重要意义。

此次线路改线工作，源于机场评估相关要求，涉及华中院负责的榆中县部分线路，改线长度约20千米。看似不长的线路，却承载着重重考验：改线路径全程穿越山地区域，海拔落差悬殊，介于1500米至2500米之间，其中5千米路段地处人迹罕至的“无人区”，地形崎岖、沟壑纵横，风沙频发、气候多变，不仅给现场作业带来极大不便，更对勘测人员的体力与意志提出了严峻挑战。与此同时，受评审日期限制，改线段外业终勘定位工作必须在7天内完成，工期紧、任务重、风险高，一场与时间赛跑、



与困难较量的攻坚之战就此打响。

“困难面前不退缩，使命在肩勇担当。”面对多重挑战叠加的复杂局面，华中院陇电入川工程项目团队毫不畏惧、迎难而上，提前谋划、周密部署，为高效推进工作筑牢坚实基础。团队结合改线区域地形地貌特点，反复优化技术方案，细化安全防控措施，配齐无人机、高精度测量仪等专业设备，组建20人专项作业队伍，明确分工、压实责任，形成“上下联动、协同作战”的工作格局，确保各项工作有序衔接、高效推进。

作业过程中，项目团队严格遵循特高压线路建设标准，有序开展线路复测、塔位放样、断面测绘、地形采点等工作。他们坚持“一测一核、当日闭环”原则，以毫米级精度确保每一组数据真实可靠、每一个点位精准无误。在无人区路段，作业人员需徒步穿行，克服无水无信号、地形复杂等困难，饿了就啃干粮、渴了就喝随身带的水，凭借

坚韧不拔的毅力，一步步踏遍改线全程的每一个角落，用脚步丈量责任，用实干践行使命。

经过7天的奋战，项目团队圆满完成全部外业终勘定位任务，各项工作均按计划保质保量落地：累计完成线路定位20千米、塔基地形图测量32基、交叉跨越测量10处、房屋测量12处、林木调查15处，数据准确率达到行业标准，为工程后续改线设计、施工建设奠定了坚实基础，用实际行动诠释了“特别能吃苦、特别能战斗、特别能奉献”的电建铁军精神。

下一步，华中院工程团队将继续坚守岗位、再接再厉，以更加饱满的热情、更加务实的作风、更加专业的能力，攻坚克难、奋勇争先，持续做好工程后续设计、施工配合等各项工作，用精准数据架起甘肃至四川的电力“黄金通道”，为我国能源大动脉建设贡献坚实的电建力量。☑（中国电建集团华中电力设计院有限公司 徐铭添）

2025年河南省地理信息产业20强和最具活力中小企业系列报道

# 激活时空数据 赋能出彩中原

——河南省地理信息院创新发展纪实

◎ 本刊记者 栗荣晓 陈庆贺

清晨，当第一缕阳光掠过三门峡沿黄生态廊道，无人机穿梭在黄河两岸，将山川林草的细微变化转化为一组组精密的坐标数据。而在郑州，河南省地理信息院“智慧大脑”大屏上，这些数据通过实时交汇，勾勒出一个立体而鲜活的“数字河南”。

从盘活数据资产的“破冰之旅”，到透视地下1万米的“攻坚之战”，再到支撑千家万户不动产登记“民生之诺”，河南省地理信息院近年来锚定“三支撑、三服务”工作定位，在测绘地理信息转型升级的征途中，用创新之笔书写了一份沉甸甸的答卷。

## 激活“沉睡”宝藏：一场数据要素的市场化破冰

在数字经济时代，数据与土地、资本、技术并列是关键生产要素。然而，如何让“沉睡”在数据库的海量测绘成果真正流动起来、产生价值，一直是行业面临的难题。

2025年11月7日，一个平常的日子，却在河南测绘地理信息发展史上留下了特殊印记。由河南省地理信息院自主生产的“沿黄生态廊道区域航空摄影数据（三门峡段）”产品，在郑州数据交易中心完成登记确权并成功挂牌交易。这是全省首例在地理信息领域实现场内交易的数据产品，实现从“零”到“一”的历史性跨越。

这笔交易看似只是一小步，实则是河南省地理信息院探索数据要素市场化配置改革的一大步。为了让这笔交易顺利落地，团队构建了涵盖分析框架、技术路线、生产标准、成果交付形式及交易定价机制的全流程工作方案，同时对数据进行了脱敏与分析处理。

能够实现这一突破，底气正来自于河南省地理信息院作为全省基础测绘成果“保管库”的深厚积淀。坐拥海量时空数据资源，河南省地理信息院不断健全分发服务体系，让数据不仅“存得下”，更能“流得



● 河南省地理信息院党委书记、院长 朱志军

动”。过去一年，该院共接收河南省测绘地理信息技术中心所属各院汇交的各类测绘成果近187TB，更新资源目录服务系统1:1万基础地理信息成果目录6044条，办理成果目录汇交网上审核82批次。

这些数据的流动，正在为经济社会发展注入实实在在的动能。据统计，河南省地理信息院2025年共提供各类测绘成果134批次，其中4D产品合计13万余幅、遥感影像覆盖面积合计近580万平方千米。按测绘生产成本定额价值估算，仅此一项就为财政节约重复投资经费约5.75亿元。

“数据作为新型生产要素，正在重塑经济社会发展的格局。我们不仅要当好全省时空数据的‘保管员’，更要做好数据价值释放的‘驱动器’。通过激活海量时空数据潜能，让测绘地理信息成果深度融入数字河南建设全局，为高质量发展注入源源不断的数智动能。”河南省地理信息院党委书记、院长朱志军表示。

## 透视山河肌理：从“地表测绘”到“全空间建模”

“你看，这里上周还是空地，今天系统就自动标出‘地表变化疑似违建’。”在河南省地理信息院，技

术人员指着电脑屏幕上的红色预警区域向记者演示。随着鼠标轻点，卫星遥感影像与无人机航拍数据叠加对比，变化图斑的位置和面积一目了然。

这套由河南省地理信息院建设的自然资源综合监测系统，能够对地表变化进行快速精准识别。屏幕上，“空天地网”全链条数据实时涌动，一个三维立体的自然资源“数字孪生”世界尽收眼底，为自然资源基本情况监测、生态保护与修复评估提供了科学依据。

然而，要真正“看透”山川，远不止于地表。当接到构建三维地质模型的任务时，项目组成员感到了前所未有的压力。

对于长期聚焦地表要素测绘的团队而言，基于虚拟钻井数据和地质图信息构建三维地质模型，无异于从零开始的探索。项目研发初期，接连的挫折几乎让人气馁。但他们没有放弃——每天泡在办公室逐字研读文献，梳理虚拟钻井数据中的地层信息，对照地质图反复调整模型参数。经过三个多月的反复打磨、数十次的模型重构，当清晰的三维地质模型终于呈现在屏幕上，地下数千米的空间分布和结构特征直观可见时，办公室里响起了欢呼声。

这一攻坚成果，正是基于“地理实体”的概念和规则，对各类数据进行实体化改造，最终集成整合了80余种自然资源监测数据，构建起自然资源三维立体时空数据库，实现多源数据的空间分层、时间分期和业务逻辑关联。

“九层之台，起于累土。”这套能够“透视山河肌理”的技术体系，正是河南省地理信息院多年来坚持科技创新的厚积薄发。从三维地质建模的“从零探索”，到多源数据融合的技术突破，每一项成果背后，都是科研攻关的持续投入和创新团队的不懈奋斗。

2025年，河南省地理信息院荣获中国科技产业化促进会科技创新等各类科技奖8项，在省级以上核心期刊发表学术论文8篇，获得国家版权局登记的软件著作权8项。三个“8”勾勒出河南省地理信息院创新能力的持续跃升，也为测绘地理信息事业转型升级积蓄了坚实底气。

### 筑基数字政府：一张“图”绘出民生温度

无论是数字政府还是数字经济，时空信息正像水、电一样渗透进经济社会发展的点点滴滴。由河南省地理信息院牵头建设、具体运维的河南省国土空间基础信息平台，正是这样一座连接技术与应用的“桥梁”。

这座“桥梁”的搭建，并非一蹴而就。过去，由于各业务系统建设时序不同、技术标准各异，自然资源领域一度存在数据和系统互不兼容的痛点。

承担河南省自然资源信息化建设工作以来，河南省地理信息院牢固树立“主动对接、精准服务、全力保障”的工作理念，始终将服务河南省自然资源厅党组中心工作、支撑各处室业务高效开展作为根本定位。项目团队以统一数据底板、完善支撑能力为抓手，逐一破解系统互不兼容的“卡脖子”难题，将原本分散的业务系统逐步集成到国土空间基础信息平台上，构建起自主研发、自主可控的信息化支撑体系。

如今，河南省国土空间基础信息平台集成省市县三级自然资源数据13000余项，为27个业务应用系统提供日均超40万次的数据服务。从“各自为政”到“同台唱戏”，集成融合带来的效能提升，正在一个个应用场景中显现：

——2024年10月，河南省深化整治不动产“登记难”系统上线运行。这是一项直接回应群众关切的民生工程。截至目前，系统累计收集群众反映的登记难线索超过12.4万条，形成化解数据34.9万条，有效推动了历史遗留问题的化解。

——2025年5月，河南省土地二级市场交易监管系统上线运行。截至目前，已完成84宗土地交易合同备案，涉及面积2277.88亩，合同金额25.61亿元，初步实现了对全省二级市场交易的动态监管。

与此同时，矿业权审批、耕地占补平衡等一批业务系统也相继上线，其中全省首本不动产权证书（采矿权）与采矿许可证同步颁发，耕地保护实现“天上看、地上查、网上管”的立体监管。

一串串数字背后，是测绘地理信息工作从幕后走向台前、从支撑管理走向赋能治理的生动实践。从“数据烟囱”到“统一底图”，从“业务支撑”到“价值创造”，河南省国土空间基础信息平台正在成为数字政府建设的坚实底座。

2026年，新征程，新挑战。河南省地理信息院的每一位工作者深知，手中的每一幅地图、每一个坐标，都将承载着中原更加出彩的梦想。

“站在‘十五五’规划谋篇布局的关键节点，我们将始终胸怀‘国之大事’，以实景三维河南为基底，在服务国家重大战略、造福亿万河南人民中找准坐标、展现作为，为谱写中国式现代化河南篇章贡献更加坚实的测绘力量！”朱志军的话语铿锵有力。□

# 地理信息安全监管的法律制度重构

安漾

(河南财经政法大学, 河南 郑州 450000)

**摘要:** 我国以《测绘法》为核心的地理信息安全监管法律体系作为总体国家安全的重要组成部分, 虽已初步形成, 但在实践中面临严峻挑战。完善地理信息安全监管法律制度, 必须实现立法理念的根本转型, 确立安全与发展并重的监管哲学, 建立定期评估、及时调整的动态定密机制, 构建政府监管、行业自治、企业自律的多元共治格局。在制度层面, 应推动定密标准的科学化与解密机制的法定化, 为公众版测绘成果提供制度保障; 构建审批程序细化、安全评估制度化、国际合作规范化的跨境数据流动法治闭环; 对自动驾驶地图、智能网联汽车、实景三维等新型测绘活动提供精准适配的规则供给。通过上述体系化重构, 在维护国家地理信息安全的前提下充分释放地理信息作为基础性战略资源的经济社会价值, 实现高质量发展与高水平安全的良性互动。

**关键词:** 地理信息安全; 监管法律制度; 动态平衡; 定密制度; 新型测绘活动

## 1 引言

面对地理信息技术快速迭代、应用场景持续拓展、安全风险日益复杂的新形势, 我国地理信息安全监管法律制度的完善已不再是局部的技术性调整, 而是一场涉及立法理念、制度设计、权力配置与实施机制的系统性变革。重构地理信息安全监管法律体系的根源在于静态保密理念与动态发展现实之间的根本性张力, 在于单一管制模式与多元治理需求之间的结构性错位。从理念革新、制度重构、规则供给等维度系统阐述地理信息安全监管法律制度的体系化重构路径, 力求在维护国家安全与促进产业发展之间实现动态平衡。

## 2 确立动态平衡的监管哲学

任何法律制度的完善, 首先有赖于立法理念的根本性转变。地理信息安全监管制度的体系化重构, 必须以监管哲学的革新为先导。现行监管体系的诸多困境, 深层根源在于立法理念上长期奉行的安全优先原则, 以及由此衍生的静态保密思维和单一管制模式。确立动态平衡的监管哲学, 意味着从三个维度实现理念的根本转型。

### 2.1 将促进地理信息产业健康发展纳入监管目标

我国测绘地理信息立法长期秉持安全优先的价值取向。1992年颁布的《测绘法》以规范测绘活动、保障测绘事业健康发展为基本宗旨, 对地理信息安全的关注相对有限。2002年首次修订时, 鉴于测绘成果的保密属性日益凸显, 立法开始强化对涉密测绘成果的

保护。2017年第二次修订则将维护国家地理信息安全正式写入总则, 标志着地理信息安全上升为法律明确保护的核心法益。这一演进历程反映了立法者对地理信息战略价值认识的不断深化, 具有充分的历史正当性。然而, 安全优先的立法理念在实施中逐渐暴露出局限性。现行测绘法律法规体系“重技术、轻管理和法律”的发展轨迹, 使得安全监管与产业发展之间形成了制度性张力<sup>[1]</sup>。当测绘应用领域从基础层急速扩张至次心层、扩展层、泛在层, 乃至波及层时, 将传统的基础层安全管制标准简单适用于新兴产业领域, 必然导致安全泛化与利用不足并存的悖论。

将促进地理信息产业健康发展纳入监管目标, 并非否定安全的重要性, 而是强调安全与发展应当形成良性互动而非零和博弈。《测绘法》修订工作按照加强地理信息规范监管和促进广泛应用并举的总要求, 既强化安全监管, 又明确国家鼓励发展地理信息产业, 推动地理信息产业结构调整和优化升级。这一立法思路为确立安全与发展并重的监管哲学提供了权威注脚。从行政法学的角度审视, 监管目标的双重性要求监管权力的行使必须遵循比例原则, 监管措施应当与风险程度相适应, 避免以过度牺牲产业发展为代价换取绝对安全。

### 2.2 建立定期评估、及时调整的定密机制

静态保密是安全优先理念在定密制度上的集中体现。其基本特征是, 定密标准模糊导致定密决策主观化, 保密期限缺乏明确规定导致一密定终身, 解密机制缺

作者简介: 安漾(2000—), 女, 汉族, 硕士, 主要研究方向为法理学。

失导致大量数据被封存而无法利用。这种静态化的定密模式，既无法适应安全风险动态变化的客观规律，也无法回应经济社会发展的用图需求。

美国通过《国家空间信息基础设施提供地理信息中的有效安全指南》建立了科学定密的标准化流程<sup>[2]</sup>，包括14个决策步骤，帮助相关机构采取合适的措施评估敏感信息，评价因信息限制导致的利益损失<sup>[3]</sup>，选择合适的方法保护数据安全。这种科学定密的核心在于其动态性，定密不是一次性决定，而是基于风险变化持续评估、及时调整的过程。

近年来，我国在地方立法层面已开始探索定密机制的动态化转型。《河南省测绘条例》第三十三条规定：测绘成果的秘密范围和秘密等级，应当依照保密法律、行政法规规定，按照保障国家秘密安全、促进地理信息共享和应用的原则确定并及时调整、公布。这一规定明确引入“及时调整”的要求，体现了从静态保密向动态定密转变的立法取向。其法理逻辑在于国家秘密的存续应当以国家安全风险的实际存在为前提，当风险因技术发展、国际环境变化或时间流逝而降低或消失时，原有密级就应当相应调整或解除。

### 2.3 政府监管、行业自治、企业自律的协同共治

传统的地理信息安全监管模式以政府为单一监管主体，以行政许可、行政处罚为基本监管手段，呈现出鲜明的“命令—控制”型管制特征。这一模式在计划经济时期形成并延续至今，虽然在规范测绘市场秩序方面发挥了一定作用，但其局限性日益明显：政府监管资源有限与监管对象庞大的矛盾日益突出，“看得见的管不着，管得着的看不见”的执法困境难以破解<sup>[1]</sup>，对新业态、新模式的快速响应能力严重不足。

多元治理理念的引入，为破解上述困境提供了新思路。社会公权力是与国家公权力相对应的权力形态，行业组织是承载社会公权力的重要主体，能够在行业治理中发挥不可替代的作用。测绘行业组织基于行业利益一致的驱动，急需在行业内或行业间形成大批统一的技术标准和要求，硬法和软法相互配合，从行业自律走向行业自治，才能全面促进测绘管理和测绘技术工作的规范化<sup>[1]</sup>。政府监管、行业自治、企业自律的协同共治，并非简单地将监管责任从政府转移给社会，而是构建一个分工明确、优势互补、相互支撑的治理网络。政府负责底线安全的守护、基本规则的制定和违法行为的查处；行业协会负责技术标准的制定、行业自律规范和纠纷调解机制的运行；企业负责内部

管理制度的健全、员工安全意识的培养和合规义务的履行。

## 3 定密制度的精细化重构

定密制度是地理信息安全监管的逻辑起点。定密过宽，则国家安全面临风险；定密过严，则产业发展受到抑制。现行定密制度的根本缺陷在于粗放——定密标准模糊、解密机制缺失、公众版成果供给不足。精细化重构的核心，是通过制度设计使定密决策更加科学、更加精准、更加透明，实现该保的坚决保住，该放的坚决放开。

### 3.1 制定地理信息定密分级分类指引

定密标准的科学化是定密制度精细化重构的基础。现行保密法规对测绘成果定密的规定较为原则，实践中主要依靠定密人员的经验判断。这种经验定密模式的弊端在于：不同定密人员对同一信息的敏感性可能作出不同判断，导致定密尺度不一；定密人员倾向于就高不就低，以避免因定密过低而被追究责任；缺乏对信息利用价值的系统评估，定密决策与产业发展需求脱节。

美国科学定密的实践经验值得借鉴。美国制定的《国家空间信息基础设施提供地理信息中的有效安全指南》为负责地理信息生产和分发的机构提供了一套标准程序，包括流程图，用于确定地理信息是否含有存在安全风险的敏感信息，以及在重新评估地理信息的安全度时，重新审核敏感信息的内容。该指南帮助相关机构采取合适的措施来评估敏感信息，评价因信息限制导致的利益损失，选择合适的方法来保护数据安全。采用标准化的方法确定空间数据中的敏感信息并进行保护，可提升各个机构的决策一致性，有助于相关机构采取合理措施确定敏感信息，避免采取过度限制措施，影响空间数据的公共服务<sup>[4]</sup>。

借鉴美国经验，我国应制定《地理信息定密分级分类指引》，作为定密决策的操作规范。该指引应包含以下核心内容：第一，建立敏感信息识别清单，明确哪些具体要素属于国家安全敏感信息（如军事禁区坐标、重要基础设施精确位置等），避免将一般地理信息泛化为敏感信息。第二，引入风险评估机制，要求定密前评估信息泄露可能造成的实际损害，以此作为定密依据。第三，设置利益权衡程序，要求定密时评估保密造成的利益损失（如产业发展受阻、公共服务受限等），确保保密措施与安全风险相适应。第四，

建立技术脱敏评估标准,对于可以通过技术处理降低敏感性的信息,明确脱敏的技术要求和脱敏后的定密等级。

### 3.2 推动非涉密成果社会化应用

解密机制是定密制度的“出口”。没有健全的解密机制,定密制度就成了“只进不出”的单行道。现行制度下,涉密测绘成果的解密缺乏明确的法律规定,实践中极少主动解密,导致大量本可公开的数据长期被封存。测绘法律责任以行政处罚为主,而解密机制的缺失使得大量测绘成果无法进入社会化应用渠道,造成资源闲置和浪费。

解密机制的法定化,核心是明确三个要素:解密条件、解密程序、解密周期。

第一,解密条件应当具体化。根据《保守国家秘密法》的规定,国家秘密的保密期限届满后自行解密<sup>[5]</sup>;在保密期限内,因情况变化不再需要保密的,应当及时解密。这一原则性规定需要在测绘领域具体化,明确哪些情况变化可以作为解密事由,如技术发展使得原有保密措施失效、国际形势变化使得特定信息敏感性降低、信息已通过其他渠道公开等。

第二,解密程序应当规范化。应建立定期复审与依申请解密相结合的程序机制。定期复审是指定密单位每隔一定周期(如3~5年)对涉密测绘成果进行复审,评估保密必要性,作出维持密级、变更密级或解除密级的决定。依申请解密是指数据生产者、使用者可以向定密单位提出解密申请,定密单位应当在一定期限内作出决定并说明理由。借鉴俄罗斯经验,密级确定、密级升降和解密程序必须严格,应制定完备的信息保密(密级升降和解密)申请、审议和审批等程序<sup>[6]</sup>。

第三,解密周期应当明确化。可借鉴著作权保护期限的思路,为不同密级的测绘成果设定最长保密期限,期满自动解密,除非经过特别程序延长。这既符合《保守国家秘密法》关于保密期限的规定,也为数据的社会化应用提供了可预期的制度通道。

### 3.3 强制编制和加工公众版成果

公众版测绘成果是连接国家安全与公共需求的重要桥梁<sup>[7]</sup>。通过技术处理将涉密数据转化为可公开使用的公众版成果,既确保核心敏感信息的安全,又满足社会公众的基本用图需求,是实现安全与发展平衡的有效途径。余井泉早前就提出,应制定测绘数据公开和保密政策,采取公布数据标准接口等方式,逐步

扩大测绘空间数据公开范围和应用领域,让更多用户使用测绘空间数据,避免数据重复采集,减少浪费<sup>[6]</sup>。

《河南省测绘条例》第四十四条明确规定:县级以上人民政府测绘地理信息主管部门应当组织编制和加工多尺度、多类型的公众版测绘成果,推动测绘地理信息数据安全有序开放和高效流通,促进测绘地理信息在位置服务、精准农业、低空经济、平台经济、智能网联汽车等新业态中应用<sup>[8]</sup>。这一规定为公众版测绘成果的制度化供给提供了地方立法先例,其核心价值在于:将编制和加工公众版成果确立为政府部门的法定义务,而非可选择的自由裁量事项;明确公众版成果的多尺度、多类型特征,以适应不同应用场景的需求;将数据开放与产业发展直接关联,体现安全与发展的制度融合。

在中央立法层面,应将公众版测绘成果制度纳入《测绘法》或《测绘成果管理条例》的修订内容<sup>[9]</sup>。具体制度设计应包括:第一,明确公众版成果的技术处理标准,规定坐标偏移、要素综合、精度降低等技术要求,确保在安全可控的前提下满足公众需求。第二,建立公众版成果与基础测绘成果的同步更新机制,确保公众版成果的现势性。第三,规定公众版成果的免费使用原则,降低社会用图成本。第四,建立公众版成果的质量监管机制,确保公开数据的准确性和可靠性。

## 4 跨境数据流动的法治闭环构建

地理信息的跨境流动是经济全球化和信息技术发展的必然产物。“一带一路”倡议的深入推进、国际合作项目的广泛开展、跨国企业的运营需求,都对测绘成果的跨境流动提出了现实要求。然而,地理信息的基础性和敏感性决定了跨境流动必须受到严格规制,构建跨境数据流动的法治闭环,既要确保国家安全不受威胁,也要为合法合规的国际合作提供规范通道。

### 4.1 审批程序的细化

对外提供涉密测绘成果的审批程序,是跨境数据流动监管的第一道关口。现行《测绘法》规定,对外提供属于国家秘密的测绘成果,应当按照国务院和中央军事委员会规定的审批程序执行。《河南省测绘成果管理办法》第三十条进一步明确:“对外提供涉密测绘成果应当按照国务院和中央军事委员会规定的审批程序,报国务院测绘地理信息主管部门或者省人民政府测绘地理信息主管部门审批,测绘地理信息主管

部门在审批前应当征求军队有关部门的意见。”这一规定确立了审批的基本框架，但申请条件、审查标准、时限要求等具体要素仍有待细化。

首先，申请条件细化，旨在明确申请人应当提交的材料和符合的条件<sup>[10]</sup>。申请人应具备相应的资质和保密条件；申请应明确对外提供测绘成果的目的、范围、对象、方式和期限；应提交拟提供成果的清单、密级证明和保密审查意见；应说明接收方的保密能力及其所在国的信息安全法律环境。这些条件的设定，既要确保审批机关获得充分的决策信息，又要避免过度增加申请人的负担。

其次，审查标准细化，是确保审批决定科学、公正的关键。审查机关应当综合考虑以下因素：拟提供成果的密级和敏感程度；接收方及其所在国对我国的国家安全态度；国际合作项目的重要性和紧迫性；是否存在替代性方案；信息泄露可能造成的风险以及风险控制措施的有效性。韩国《测绘法》规定，除总统令规定的情况外，如无建设部部长的许可，任何人不得将基础测绘成果中的地图、海岸带基本图、测绘用影像运送国外<sup>[3]</sup>。这一严格规定体现了对外提供测绘成果的审慎态度，我国在细化审查标准时应当充分借鉴。

最后，时限要求明确，是保障审批效率的制度保障。审批机关应当在法定期限内作出决定，逾期未作决定的视为同意或视为不同意应有明确规定。对于紧急情况下的国际合作需求，应当设置快速审批通道。俄罗斯规定，被列入国家机密的信息在有国家机密保护委员会提交转交该信息可能性的鉴定结论的情况下，根据俄罗斯联邦政府决定方可转交<sup>[3]</sup>。这一规定虽未明确具体时限，但鉴定结论的要求为时限设定提供了程序基础。

#### 4.2 安全评估的制度化

数据出境安全评估是《网络安全法》《数据安全法》确立的重要制度。《河南省测绘成果管理办法》第三十条明确规定：“在本省收集和产生的重要地理信息数据应当在境内存储，确需向境外提供的，数据处理者应当通过国家网信部门数据出境安全评估。”这一规定将《数据安全法》的普遍要求具体适用于测绘地理信息领域，但其有效实施仍有赖于安全评估制度的进一步细化。

安全评估主体明确是制度运行的前提。根据《数据安全法》的规定，国家网信部门负责统筹协调数据

出境安全评估工作。测绘地理信息主管部门作为行业主管部门，应当在安全评估中发挥专业支撑作用。《河南省测绘成果管理办法》规定测绘成果管理遵循“统筹管理、统一标准、充分汇聚、共享利用、保障安全”的原则，这一原则同样适用于数据出境安全评估——测绘主管部门应当向网信部门提供关于数据敏感性、技术规范、行业风险等方面的专业意见，协助作出科学评估。

安全评估程序规范是制度公正的保障，程序设置应当包括：申请受理、材料初审、专业评估、综合评审、决定作出、结果送达等环节。每个环节的时限、要求和责任主体应当明确。俄罗斯规定，被列入受限发布信息的，须经过俄罗斯联邦国防部和俄罗斯联邦测绘局的批准<sup>[3]</sup>。这种多部门联合评估机制值得借鉴，但必须明确各部门的职责分工和协调机制，避免程序空转和责任推诿。法律责任的强化是制度权威的支撑，未经安全评估擅自向境外提供重要地理信息数据的，应当依法承担相应的法律责任。《测绘法》《数据安全法》均规定了相应的行政处罚和刑事责任，但在具体适用中仍需明确：违法行为的构成要件、处罚种类的适用条件、违法所得的计算标准、情节严重的认定标准等。印度规定，违反地图许可规定的，罚款最少为数据成本价格的2倍，最高可达成本的10倍，并可承担刑事法律责任。这种重罚严惩的做法对我国具有警示意义。

#### 4.3 国际合作的规范通道

“一带一路”倡议的深入推进，对我国测绘地理信息服务提出了国际化要求。为中国“一带一路”沿线国家提供测绘地理信息服务，急需要建立国际化的测绘法律法规和测绘地理信息标准<sup>[6]</sup>。这意味着，跨境数据流动监管不能简单地以禁止为导向，而应在确保安全的前提下，为合法合规的国际合作提供规范通道。

规范通道的构建，需要从以下方面着手。第一，建立国际合作项目清单管理制度。对纳入国家战略的国际合作项目，可适用专门的审批程序和标准，提高审批效率。第二，推动与主要合作伙伴签订测绘成果跨境流动双边或多边协议，明确数据保护标准、信息共享范围和争议解决机制。第三，探索建立“数据出境安全港”制度，对接收方所在国具有完备数据保护法律体系的，可适用简化审批程序。第四，鼓励采用技术手段降低数据敏感性，如对出境数据进行脱敏处理、采用可追溯的数字水印技术、建立数据使用监控

机制等。

美国《商业遥感政策》规定，美国工业界在向外国政府和商业用户提供空间遥感产品和能力的竞争中获得成功，符合美国国家安全、对外政策和经济利益。因此，对于美国商业空间遥感出口的许可申请，只有在符合上述利益并在现行有关法律、规定允许的情况下，才予以积极考虑<sup>[3]</sup>。这一政策体现了在维护安全的前提下支持产业国际竞争的立场，对我国处理国际合作中的数据出境问题具有参考价值。

## 5 新型测绘活动的规则供给

技术变革是推动法律发展的重要动力。自动驾驶、智能网联汽车、实景三维、无人机等新技术的广泛应用，催生了新型测绘活动的蓬勃发展，也对现行监管规则提出了严峻挑战。规则供给的速度和质量，直接影响新业态的发展空间和安全保障水平。面对新型测绘活动，既不能因噎废食、一概禁止，也不能放任自流、疏于监管，而应当在深入把握技术特征和风险规律的基础上，提供精准、适配的规则供给。

### 5.1 自动驾驶地图的监管创新

自动驾驶地图（也称高精地图）是智能网联汽车的核心支撑技术，其精度要求达到厘米级甚至毫米级，更新频率要求达到“日更新”甚至“时更新”，采集方式主要依赖车载传感器的众包采集。这些技术特征与传统测绘成果存在本质差异，使得传统的事前审批、静态监管模式难以适应。若严格适用传统保密规定，自动驾驶产业将无法获得所需的地图数据；若放松监管，则可能造成大规模地理信息泄露，危及国家安全。

“分类分级+沙盒监管”的新型监管模式，正是针对上述困境提出的创新思路。分类分级的核心是根据自动驾驶地图的应用场景、技术特征和安全风险，适用差异化的监管规则。从应用场景看，L3级以上高度自动驾驶地图与L2级辅助驾驶地图对精度的要求和依赖程度不同，监管要求可以有所区别。从数据要素看，可借鉴美国科学定密的经验，通过标准化流程识别敏感信息：绝对禁止采集的数据（如军事禁区）、脱敏后可用的数据（如坐标偏移处理后）、可公开的数据（如一般道路信息），分别适用不同的处理要求。从车辆类型看，商用车与私家车采集数据的处理要求可以差异化设计。沙盒监管（Regulatory Sandbox）源自金融科技领域，是指在限定范围和期限内，允许创新主体在真实市场环境中测试新产品、新服务，同时豁

免部分现有监管要求，但需接受监管部门的全程监督和风险评估。将其引入自动驾驶地图监管，核心要素包括：限定试点区域、试点企业、试点期限；在试点期内对部分传统监管要求予以有限豁免；监管部门全程跟踪数据采集、处理、应用全过程；建立风险预警和应急处置机制；试点结束后将成熟经验上升为正式监管规则。

从行政法学角度审视，“分类分级+沙盒监管”模式体现了比例原则和试验性立法的法理逻辑。比例原则要求监管措施与风险程度相适应，避免以过度牺牲产业发展为代价换取绝对安全。试验性立法理论主张在不确定领域先行先试，通过实践检验规则的有效性，为正式立法积累经验。这一模式也与宋超智总结的《测绘法》修订经验相契合，能够将实践证明行之有效的经验做法及时上升为法律制度，通过法治建设凝聚改革共识<sup>[11]</sup>。

### 5.2 智能网联汽车测绘活动的法律定性

智能网联汽车是否属于测绘活动的主体？其所采集的空间坐标、影像、点云数据是否属于测绘成果？这一问题长期处于法律模糊地带，给监管实践带来了巨大困扰。一些企业主张其仅为汽车制造商而非测绘单位，所采集数据仅为车辆运行所需而非测绘成果，以此规避测绘资质管理和安全监管要求。

《河南省测绘条例》第二条对此作出了明确回应：本条例所称测绘，是指对自然地理要素或者地表人工设施的形状、大小、空间位置及其属性等进行测定、采集、表述，以及对获取的数据、信息、成果进行处理和提供的活动；使用智能网联汽车以及其他智能设备对自然地理和地表人工设施的空间坐标、影像、点云及其属性信息进行测定、采集、处理、表述和提供的行为属于测绘活动。这一规定具有重要的法律意义，它从法律上明确了智能网联汽车测绘活动的性质，将智能网联汽车纳入测绘活动主体范畴，将车载传感器采集的数据纳入测绘成果范畴，为安全监管提供了法律依据。

法律定性只是第一步，便捷化的备案制度是确保规定落地实施的关键。如果对所有智能网联汽车及其采集的数据都适用传统的测绘资质管理和成果汇交要求，将给产业带来难以承受的合规成本，最终导致法律被规避或产业被扼杀。因此，需要在定性为测绘活动的前提下，设计符合产业特点的便捷化监管方式。备案制度的核心内容包括：智能网联汽车生产企业向

测绘地理信息主管部门备案其车辆型号、传感器配置、数据采集范围、数据处理方式等信息；定期报送数据采集的总体情况而非具体数据内容；接受主管部门对数据安全管理制度和技术防护措施的监督检查；在发生重大安全事件时及时报告。

### 5.3 实景三维与无人机测绘的安全规制

实景三维是真实、立体、时序化反映人类生产、生活和生态空间的时空信息成果，已成为新型基础测绘的核心产品。无人机测绘以其机动灵活、成本低廉、精度适中等优势，在测绘领域得到广泛应用。然而，实景三维数据包含丰富的细节信息，无人机测绘具有隐蔽性强、难以监管的特点，二者都给地理信息安全带来了新的风险。

实景三维与无人机测绘的安全规制，应当贯穿数据采集、处理、应用的全过程。在采集环节，重点规制采集主体资质和采集行为边界。从事实景三维采集和无人机测绘的单位，应当具备相应的测绘资质；采集活动应当遵守飞行管制规定，避免进入禁飞区；对于涉及军事管理区、国防科技工业重要设施的，应当按照国务院和中央军事委员会有关规定执行。在处理环节，重点规制数据处理的安全保障。实景三维数据的处理应当在安全可控的环境进行，涉密数据的处理系统应当与互联网物理隔离；数据处理的受托方应当具备相应的保密条件；对处理后的数据产品，应当重新评估密级。

在应用环节，重点规制数据使用的合规性。实景三维成果的使用应当符合申请时明确的利用目的和范围；利用目的实现后，应当按照国家有关规定及时销毁或者交回测绘成果和载体<sup>[12]</sup>；需要对外提供涉密实景三维成果的，应当履行审批程序。美国《国家图像与绘图局法》规定了图像、图表和大地测绘数据的公共利用和免除条款，这一思路可供借鉴——在确保安全的前提下，明确哪些实景三维数据可以公开使用，哪些需要限制使用。

全程监管的实现，有赖于技术手段与法律手段的有机结合。技术手段包括：对实景三维数据植入可追溯的数字水印，对无人机测绘活动实施实时监控，对数据处理系统进行安全测评等。法律手段包括：完善资质管理、备案登记、监督检查、行政处罚等制度，确保监管要求具有法律约束力。建立地理信息安全管理和技术防控体系，加强对地理信息安全的监督管理，能够为全程监管提供法律基础<sup>[12]</sup>。

## 6 结语

立法理念的更新、定密制度的精细化重构、跨境数据流动法治闭环的构建、新型测绘活动精准规则的供给，共同指向一个更具回应性和适应性的监管体系，其核心逻辑在于，国家安全是地理信息产业发展的底线保障，产业发展是国家安全的物质基础，二者绝非此消彼长的零和博弈，而是相辅相成的共生关系。唯有通过科学定密释放数据价值，通过规范通道促进国际合作，通过创新规则适配技术变革，方能维护国家地理信息安全，充分释放地理信息的经济社会价值。

“法与时转则治，治与世宜则有功。”面对地理信息技术日新月异、应用场景持续拓展、安全风险动态演变的新形势，地理信息安全监管法律制度的完善必须保持开放性与回应性，在坚守安全底线的同时，为技术创新和产业发展预留制度空间。唯有如此，方能构建国家安全有效维护、产业发展健康有序、公共利益充分保障的地理信息安全监管新格局，为实现高质量发展与高水平安全的良性互动提供坚实的法治保障。

## 参考文献

- [1] 张静,宇超群,范百兴,等.测绘管理与法律法规体系的建设与完善:以良法善治推动测绘地理信息行业的健康发展[J].测绘与空间地理信息,2023,46(2):131-134.
- [2] 张雅杰.T市S局测绘类国家秘密信息保护机制研究[D].天津:天津大学,2019.
- [3] 周鸿昌,吕雁华.国外地理信息安全政策和法律建设研究[J].测绘通报,2015(11):115-118,128.
- [4] 钱宁峰,李芸.美国地理信息安全立法经验与借鉴[J].世界经济与政治论坛,2015(6):52-61.
- [5] 谢倩.国防专利解密法律制度研究[D].成都:西南交通大学,2020.
- [6] 余井泉.关于测绘政策环境与法制建设问题探讨[J].测绘通报,2006(3):70-72.
- [7] 周伟,陈盛银,梁一,等.福建省公众版测绘成果服务现状与对策研究[J].测绘与空间地理信息,2025,48(1):12-14,22.
- [8] 殷福忠.全面激活数据要素价值纵深推进“十五五”转型升级[J].中国测绘,2025(1):24-27.
- [9] 李海涛.执法视角下的测绘法律责任设定的实证研究[D].上海:上海交通大学,2016.
- [10] 张瑞.“放管服”背景下我国行政许可告知承诺制的法律问题研究[D].济南:济南大学,2024.
- [11] 宋超智.完善法治推改革凝心聚力促发展:《测绘法》修订立法工作回顾与展望[J].中国测绘,2017(4):32-37.
- [12] 李娟.测绘成果著作权的限制[J].科技资讯,2014,12(26):40,42.

# 侧窗滤波与自适应阈值驱动的形态学优化边缘检测方法

刘洋洋 郝亚茜 赵盟 李想

(河南省测绘院, 河南 郑州 450003)

**摘要:** 在测绘地理信息领域, 高精度边缘信息提取(如地物边界、道路网络、土地利用分类边界)至关重要。针对 canny 算法提取边缘信息时存在边缘完整性和细节边缘提取能力不足等问题。研究提出一种结合侧窗滤波、canny 算法、自适应阈值与形态学优化的边缘检测算法, 引入侧窗滤波算法实现边缘保护性滤波增强, 有效抑制噪声并保护边缘锐度; 采用自适应阈值与形态学优化, 填充断裂消除噪声, 提升边缘连续性。实验结果表明: 相比于中值、高通滤波和 canny 算法的边缘检测组合方法, 该算法在多类遥感影像上提取的边缘结果更完整, 细节信息更丰富, 验证了其在提升测绘地物边缘提取精度方面的有效性和研究价值。

**关键词:** 侧窗滤波; canny 算法; 边缘检测; 滤波增强; 形态学优化

## 1 引言

高精度边缘信息提取是测绘地理信息生产中的基础性关键环节, 直接影响地物边界定位精度和变化检测结果的可靠性。传统的 canny 边缘检测算法因其良好的噪声抑制和定位精度, 在边缘检测中被广泛应用<sup>[1-4]</sup>。然而, 高分辨率遥感影像、航空摄影影像或近景测量影像常具有地物背景复杂、椒盐噪声干扰及弱边缘(如田间小路、细小沟渠)等特点, 使得传统 canny 算法面临边缘断裂丢失<sup>[5-6]</sup>、细节纹理模糊以及噪声敏感性<sup>[7]</sup>等挑战。

针对这些挑战, 研究者们提出了改进滤波算法、图像灰度变换增强或增加自适应阈值等多种改进方案, 在特定场景下取得了一定效果, 但是兼顾边缘保护、抑制噪声影响并精细化边缘细节, 以及适用于复杂场景的能力仍存在不足。

侧窗滤波算法(Side Window Filtering, SWF)作为一种新兴的边缘保护滤波技术, 优势在于抑制噪声的同时, 最大程度保护了边缘锐度, 为解决影像地物边缘检测的痛点提供了一定帮助。但是该技术在测绘领域的边缘检测应用研究中尚不充分。

因此, 针对测绘地理信息行业对高保真、全要素、自动化边缘提取的迫切需求, 基于 canny 算法边缘检测, 结合侧窗算法, 实现高效降噪的同时严格保护地物边缘和细节纹理; 融入自适应阈值与形态学优化方法, 动态适应影像不同区域的梯度分布, 有效解决固

定阈值导致的弱边缘丢失问题以及边缘连续性问题, 为地类边界提取或变化检测工作提供一种更精确的边缘检测方法。

## 2 研究方法

### 2.1 侧窗滤波方法

侧窗滤波算法<sup>[8]</sup>是近年来提出的一种新型边缘保护滤波技术, 主要是在传统算法滤波跨越边缘时, 采用抑制滤波操作的领域范围, 实现去噪并最大程度保留边缘锐度。计算侧窗滤波的方法如下:

$$I_{SWF}(x, y) = \sum_{(i, j) \in B_{d^*}} K_{d^*}(i, j) I(x+i, y+j) \quad (1)$$

$$d^* = \arg \max_{d \in \beta} \left| I(x, y) - \sum_{(i, j) \in B_d} K_d(i, j) I(x+i, y+j) \right| \quad (2)$$

### 2.2 自适应阈值

采用边缘检测算法提取图像特征物体边缘信息后, 结合自适应阈值与形态学优化方法, 既可以增强边缘结构、抑制噪声, 又能根据图像局部特征动态调整阈值, 实现精准分割, 从而抑制过分割或欠分割。研究基于 Otsu 算法<sup>[9]</sup>最大化类间方差, 自动计算全局自适应阈值。

$$T = \arg \max_T \sigma^2(T) \quad (3)$$

$$\sigma^2(T) = \alpha_1(T) \beta_2(T) [\mu_1(T) - \mu_2(T)]^2 \quad (4)$$

式中,  $\alpha_1$  和  $\beta_2$  表示两类像素占比,  $\mu_1$  和  $\mu_2$  表示均值。

### 2.3 形态学优化

形态学优化<sup>[10]</sup>是一种利用结构元素  $S$  对滤波图

**作者简介:** 刘洋洋(1991—), 女, 汉族, 本科, 工程师, 主要从事遥感变化监测和遥感算法应用研究。

像  $I(x, y)$  进行膨胀、腐蚀、开闭运算，达到增强或抑制特定图像几何特征的图像处理方法，基本操作主要包括：

(1) 膨胀。扩大图像两区域，填充空洞或断裂边缘，即计算结构元素  $S$  覆盖区域内像素的最大值，计算方法为：

$$(I \oplus S)(x, y) = \max_{(i, j) \in S} I(x + i, y + j) \quad (5)$$

(2) 腐蚀。缩小图像中亮区域，去除细小噪声和孤立点，即计算结构元素  $S$  覆盖区域内像素的最小值。计算公式为：

$$(I \ominus S)(x, y) = \min_{(i, j) \in S} I(x + i, y + j) \quad (6)$$

(3) 开运算是先腐蚀后膨胀，用于消除细小噪声并平滑边缘。

$$I \circ S = (I \ominus S) \oplus S \quad (7)$$

(4) 闭运算是先膨胀后腐蚀，用于填充小孔和连接断裂边缘。

$$I \bullet S = (I \oplus S) \ominus S \quad (8)$$

## 2.4 评价指标

实验综合采用峰值信噪比<sup>[11]</sup> (Peak Signal-to-Noise Ratio, PSNR)、结果相似性指数<sup>[12]</sup> (Structural Similarity Index, SSIM)、边缘保持率 (Edge Preservation Ratio, EPR)、边缘噪声率 (Edge Noise Ratio, ENR) 对滤波算法结果进行定量评价：

(1) PSNR 是基于滤波图像对比原始图像，通过计算均方根误差衡量图像之间的像素差异，实现图像质量评价，其数值越高则图像质量越好。

(2) SSIM 通过贴合人眼感知，从亮度、对比度和结构三个维度比较图像的相似性，数值范围 [0, 1]，越接近 1，图像结构越相似。

(3) 边缘保持率是一种基于原始图像和滤波图像的边缘信息，通过衡量滤波算法在降噪的同时保留边缘信息能力的评价指标。该指标能够直接反映边缘保持能力，使其对去噪算法评价具有一定的重要性。取值范围 [0, 1]，越接近 1，表示边缘保持越好。

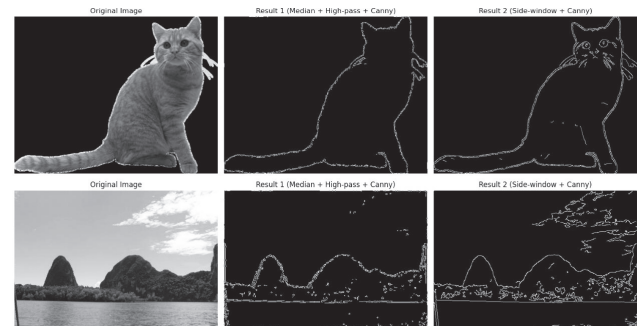
(4) 边缘噪声率是提取边缘邻域内噪声能量与原始边缘能量的比值，用于评估滤波图像边缘信息邻域内的噪声残留程度，实现边缘邻域内噪声抑制效果的量化。ENR 越小越好，理想值为 0。

## 3 实验结果与分析

### 3.1 边缘检测结果对比

为验证研究算法的边缘检测效果，实验按照背景单一内容复杂图像、背景和背景复杂图像三种类别搜

集了两张图像作为实验对象。通过定性评价方法对比结果，判断改进后的 canny 算法边缘提取价值。实验结果如图 1 所示。



(a) 原始图像 (b) MF+HPF+canny算法 (c) SWF+canny  
图1 实验结果

分别选择  $960 \times 476$ 、 $650 \times 500$  随机范围的两张图像作为实验对象，基于 python 编程语言，实现算法应用。首先采用中值滤波 (Median Filter, MF) + 高通滤波 (High-Pass Filter, HPF) +canny 算法的边缘检测方法提取边缘信息。该算法先后通过中值滤波去噪、高通滤波图像增强、canny 提取边缘信息，实现边缘信息提取，如图 1 (b) 所示。

然后采用结合侧窗滤波的 canny 边缘检测算法提取边缘信息。该算法使用侧窗算法代替中值滤波和高通滤波算法，先实现侧窗滤波算法处理图像、canny 算法边缘提取，最后采用自适应阈值与形态学优化方法，对 canny 算法提取边缘信息做进一步处理，获取最终边缘信息，如图 1 (c) 所示。

分析两种方法的边缘提取结果可知：中值滤波 + 高通滤波 +canny 算法的边缘检测相较于侧窗滤波 +canny 算法的提取结果较差，细节边缘丢失严重，边缘信息完整性欠佳，这说明侧窗滤波算法对边缘信息的保护和去噪能力更强，同时，通过自适应阈值改善 canny 算法固定双阈值方式，结合形态学优化方法，得到的边缘信息完整性更好，细节部分的边缘提取能力得到加强，提取结果更符合图像物体的轮廓表达。

### 3.2 评价指标计算

分别计算 a、b 两幅图像的滤波评价指标，通过定量评价方式分析侧窗滤波算法结合 canny 算法的优势。基于指标计算理论，采用 python 编写计算实验图像的滤波评价指标程序，计算结果如表 1 所示。

实验分别通过中值滤波、高通滤波、canny 算法、侧窗滤波四种算法，将实验图像进行滤波，然后基于滤波图像计算评价指标。观察表 1 可知：(1) 四种指标计算结果和变化趋势存在共性。四种指标中侧窗滤

波计算值最高，且随着图像复杂度升高，四种指标值呈下降趋势，表明侧窗滤波算法具有一定优势。（2）EPR（代表边缘保持率）和 ENR（代表边缘噪声率）指标计算结果表明，侧窗滤波算法在边缘保持和降噪能力上更佳。

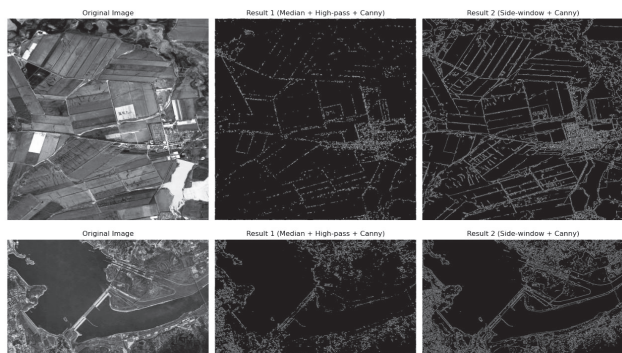
表1 基于实验数据的指标计算

图像编号	滤波算法	PSNR	SSIM	EPR	ENR
a图像	中值	12.8757	0.8059	0.9974	0.0019
	高通	12.6438	0.7737	0.9975	0.00013
	canny	10.4841	0.7138	0.9987	0.0005
	侧窗	14.3838	0.8465	0.9996	0.0004
b图像	中值	16.2497	0.8355	0.9969	0.0027
	高通	15.9408	0.8722	0.9970	0.0011
	canny	12.9284	0.8373	0.9987	0.0006
	侧窗	18.7695	0.9425	0.9997	0.0004

综合分析可知，侧窗滤波算法的应用、自适应阈值与形态学优化的引入在一定程度上改善了canny算法的边缘检测效果，提高了边缘信息的完整性和局部边缘信息的提取能力。

### 3.3 应用效果分析

为证明算法的实用性，将研究算法应用于高分辨遥感图像的边缘检测中。实验分别选择耕地信息丰富的单一地物图像和植被、水体以及建筑丰富的多地物图像，分别提取边缘，测试应用效果。应用结果如图2所示。



(a) 原始图像 (b) MF+HPF+canny算法 (c) SWF+canny算法  
图2 应用结果

根据应用结果，第一幅影像提取结果中，研究算法提取的耕地边界较为完整，局部细小且不明显的边缘信息提取能力得到加强；在水资源丰富的遥感图像边缘信息提取中，水体边界被明显区别于陆地信息，边界完整性良好。

因此，针对某一地物的信息提取或土地利用分类的遥感信息提取，将结合侧窗算法的canny边缘检测方法用于遥感图像处理，具有一定的可用性，应用价值值得进一步研究。

## 4 结论与不足

为研究侧窗滤波与自适应阈值驱动的形态学优化边缘检测算法，提出了一种边缘提取完整性更佳和局部细节边缘提取能力增强的边缘检测方法。通过实验图像和遥感图像对比，得出了以下结论：

(1) 结合侧窗滤波算法和canny算法的自适应阈值与形态学优化的边缘提取方法，能更好地提高边缘信息提取的完整性，并增强局部细节边缘提取能力。

(2) 侧窗滤波算法降低了算法结构的复杂性，加强了图像边缘信息的保护及滤波降噪能力。同时结合自适应阈值与形态学优化方法，更好地解决了canny固定双阈值的局限性，提高了边缘信息的提取效果。

综上所述，研究提出的边缘检测算法相较于传统算法表现出明显优越性，具有一定的研究价值和应用价值。但是该算法在提取效率和面对复杂地物背景的遥感图像时效果欠佳，有待进一步改善。因此，未来将对此做进一步研究与探索。

### 参考文献

- [1] 徐龙,夏建华,丁冀琦,等.基于Canny+HSV的水电站排水泵进水滤网结垢堵塞检测研究[J].中国农村水利水电,2025(5):86-89,96.
- [2] 陆红飞,毛涵宇,周豪,等.基于Canny-Hough的灌溉渠道边界快速检测算法研究[J].灌溉排水学报,2025,44(5):47-56.
- [3] 陈志,方春华,江全才,等.基于Canny算法和图像处理的10 kV电缆中直接头典型施工缺陷识别[J/OL].高压电器,1-9[2025-06-25].
- [4] 尹小琴,罗启强.理想直方图匹配与Canny边缘的水下图像增强[J].传感技术学报,2024,37(12):2071-2077.
- [5] 包启龙,景会成,张靖轩,等.一种改进Canny算子的图像边缘检测方法[J].现代电子技术,2024,47(23):36-42.
- [6] 李强,赵峰,许中平,等.基于改进Canny算子的电气设备红外图像边缘检测算法[J].武汉大学学报(工学版),2024,57(12):1759-1765.
- [7] 桂昕,袁柳洋,迟晓妮.基于自适应边缘检测的图像椒盐噪声滤波算法[J/OL].数学的实践与认识,1-15[2025-06-25].
- [8] 黎明清,王宇庆,孙海江.基于侧窗滤波改进的神经网络非均匀性校正算法[J].液晶与显示,2023,38(11):1567-1579.
- [9] 包启龙,景会成,张靖轩,等.一种改进Canny算子的图像边缘检测方法[J].现代电子技术,2024,47(23):36-42.
- [10] 蔡致贫,刘占,汪龙,等.基于形态学优化处理的标记分水岭矿石图像分割[J].科学技术与工程,2020,20(23):9497-9502.
- [11] 李积英,刘洁,刘钰.基于FPGA的改进Canny边缘检测算法(英文)[J/OL].Journal of Measurement Science and Instrumentation,1-13[2025-06-25].
- [12] 王晶晶,杨俊杰.改进Canny算法在绝缘子串红外图像边缘检测中的应用[J].电瓷避雷器,2022(3):179-185.

# 基于SBAS-InSAR技术的内蒙古某露天矿地表变形监测与分析

赵福全

(锡林郭勒盟蒙东矿业有限责任公司, 内蒙古 锡林浩特 026000)

**摘要:** 露天矿区在持续开采过程中, 常出现不同程度的地表沉降和滑坡等地质灾害, 威胁生产安全和环境稳定。以内蒙古某露天矿区为研究对象, 利用 SBAS-InSAR 技术处理 2020~2025 年共 86 景 Sentinel-1A 升降轨影像, 获取了矿区视线向 (LOS) 变形信息, 并结合水准观测数据进行验证。随后通过二维分解获得了东西向与垂向变形特征, 并分析了其时空演化规律及影响因素。结果表明: (1) 矿区最大 LOS 沉降速率在升轨和降轨分别达到  $-42.1$  mm/a 与  $-114.0$  mm/a; (2) SBAS-InSAR 与水准观测结果相关系数达 0.938, 验证了方法可靠; (3) 二维分解显示最大东西向与垂向变形速率分别为  $-103.4$  mm/a 与  $-189.2$  mm/a, 东南壁与坑底为主要沉降区。研究成果可为矿区安全管理和灾害防控提供技术支持。

**关键词:** 内蒙古露天矿区; SBAS-InSAR; Sentinel-1A; 二维分解; 地表变形

露天开采在保障煤炭资源供应的同时, 也带来了严重的地质环境问题。矿区地表变形不仅会破坏道路、建筑及电力设施, 还可能诱发地面塌陷、滑坡等灾害, 危及工人生命安全和生态环境。传统监测方法如人工测量、水准测量和 GNSS, 虽然精度较高, 但存在覆盖范围有限、工作量大和费用高的问题。

近年来, 合成孔径雷达干涉测量 (InSAR) 凭借大范围、全天候和高精度等优势, 逐渐成为矿区地表变形监测的重要技术<sup>[1]</sup>。其中, 小基线集 (SBAS-InSAR) 方法通过选择时间和空间基线较小的干涉对, 显著减少了时空去相关与大气延迟的影响, 能够获取毫米级的变形信息。

已有研究表明, SBAS-InSAR 已成功应用于国内外多处矿区, 如蒙古奥尤陶勒盖铜矿、山东三山岛金矿等。尽管如此, 现有工作多集中于沉降研究, 对矿坑底部隆起现象及多因素综合分析关注不足。

## 1 研究区概况

研究区位于内蒙古东部草原地带, 属典型温带大陆性气候, 冬季寒冷干燥, 夏季炎热多雨, 年均气温一般为  $6\sim 8$  °C, 年降水量  $350\sim 450$  mm, 主要集中于  $6\sim 9$  月, 占全年 80% 以上。研究区地势总体平缓, 矿坑区域为人工挖掘形成的盆地状洼地, 周边为低山丘陵与冲洪积平原过渡带, 地貌以剥蚀低山、侵蚀沟谷与风积沙地为主。矿区开采深度约 280m, 总面积近

$10\text{km}^2$ , 是自治区重要的褐煤生产基地, 年产能逾 1000 万吨, 对区域能源保障具有重要意义。

地层以新生界沉积岩为主, 下部为三叠系灰岩及砂岩, 上覆含煤层及泥岩, 局部夹杂粉砂质页岩。煤层埋藏浅、厚度大, 具备露天开采条件, 但也导致岩层结构破碎、力学性质差。研究区断裂构造发育, 主要呈北东-南西向与北西-南东向展布, 部分断裂贯穿矿区边坡, 控制了煤层厚度变化及地下水赋存与运移。夏季集中性强降雨与断裂、软弱泥岩相互作用, 极易诱发边坡失稳与地表沉降。

此外, 矿区开采历史较长, 形成了大规模采空区和废石堆场, 局部存在地下水位升降频繁、地表径流汇集等现象, 加剧了地表变形风险。近年来, 随着开采深度和范围的不断扩大, 边坡安全与生态环境问题日益突出, 急需借助高精度的 InSAR 遥感监测手段开展持续跟踪, 以便为矿区的安全生产和灾害防控提供技术支持。

## 2 研究数据

选取 Sentinel-1A 卫星雷达影像作为数据源, 时间为 2020 年 1 月至 2025 年 5 月, 共计 86 景, 其中升轨与降轨各 43 景。数据成像模式为干涉宽幅模式 (IW), 极化方式为 VV, 平均入射角分别为  $41.86^\circ$  (升轨) 和  $33.37^\circ$  (降轨)。此外, 引入 30m 分辨率的 ALOS 数字高程模型 (DEM) 以消除地形相位影响, 使用精密轨道

**作者简介:** 赵福全 (1998—), 男, 汉族, 本科, 助理工程师, 主要从事露天煤矿矿区监测工作。

数据 (POD) 进行轨道校正, 并利用 GACOS (全球大气校正服务) 修正大气延迟误差。外业数据包括矿区布设的水准点实测位移, 用于验证 InSAR 结果精度。同时收集 2020~2025 年逐月降水资料及矿区 1:1 万环境地质图和 1:5 万区域地质图, 为成因分析提供支撑。

### 3 技术流程

为全面监测内蒙古某露天矿区的地表变形特征, 基于小基线集干涉合成孔径雷达技术 (SBAS-InSAR) 构建了完整的数据处理流程。该流程包括数据预处理、干涉对构建、干涉处理与相位解缠、LOS 形变获取、精度验证、二维分解、分区变形特征提取以及成因分析八个主要步骤。通过逐步剥离误差项、反演位移时序, 并结合外业与环境数据, 形成了一套适用于露天矿区的高精度监测体系。

#### 3.1 数据预处理

对 2020~2025 年获取的 Sentinel-1A 升轨与降轨 VV 极化影像进行配准与裁剪, 统一覆盖范围; 引入 POD 精密轨道产品修正轨道误差; 利用 30m 分辨率 ALOS DEM 去除地形相位; 采用 GACOS 栅格修正大气延迟条纹。该环节确保了干涉条带的空间与时间一致性, 为后续时序反演奠定基础。

#### 3.2 小基线干涉网络构建

在影像序列中, 按照“空间基线 $\leq 150\text{m}$ 、时间基线 $\leq 45\text{d}$ ”的约束条件, 选取相干性较好的干涉对, 构建时空连通网络。若有  $N+1$  景影像, 则可形成  $M$  个干涉对, 观测方程可写为:

$$\delta\phi_j = \frac{4\pi}{\lambda} [d(t_B) - d(t_A)] + \Delta\phi_{residual}^j \quad (1)$$

公式 (1) 中,  $\lambda$  为雷达波长,  $d(t)$  为时刻  $t$  的 LOS 位移,  $\Delta\phi_{residual}^j$  表示残余大气、轨道与噪声项。

#### 3.3 干涉处理与相位解缠

通过差分干涉生成干涉图, 采用 Goldstein 滤波抑制噪声, 以最小费用流 (MCF) 算法进行相位解缠; 同时结合 DEM 与 GACOS 数据进一步消除残余相位。解缠后的相位序列通过奇异值分解 (SVD) 方法联合反演, 得到像元级的 LOS 累积位移与年平均速率<sup>[2]</sup>。

#### 3.4 LOS 形变获取与时序反演

SBAS-InSAR 技术通过选择时空基线较短的干涉图, 有效降低了时空失相干及地形误差的影响。它使用奇异值分解 (SVD) 来获取相干点的变形速率及其时间序列累积变形量, 数学原理如下<sup>[3]</sup>:

获取覆盖同一区域的  $N+1$  景 SAR 图像, 按获取时间顺序排列为  $t=[t_0, \dots, t_N]^T$ 。选择其中一景作为主影像, 并将其余 SAR 图像配准到该主影像。该主影像必须能与至少另一景 SAR 图像生成干涉图。如果可以生成  $M$  个多主影像干涉图, 则满足以下关系:

$$\frac{N+1}{2} \leq M \leq N \left( \frac{N+1}{2} \right) \quad (2)$$

对于由时间  $t_A$  和  $t_B$  (其中  $t_B > t_A$ ) 获取的 SAR 图像生成的第  $j$  幅差分干涉图, 某个方位角坐标  $x$  和距离向坐标  $r$  的像素干涉相位可表示为:

$$\delta\phi_j(r, x) = \phi_B(x, r) - \phi_A(x, r) \approx \frac{4\pi}{\lambda} [d(t_B, x, r) - d(t_A, x, r)] + \Delta\phi_{topo}(x, r) + \Delta\phi_{atm}(x, r) + \Delta\phi_{orbit}(x, r) + \Delta\phi_{noise}(x, r) \quad (3)$$

公式 (3) 中,  $j \in (1, \dots, M)$ ,  $\lambda$  是雷达波长,  $d(t_B, x, r)$  和  $d(t_A, x, r)$  分别是在时间  $t_B$  和  $t_A$  相对于参考时间  $t_0(d(t_0, x, r))$  在雷达 LOS 方向的变形量。 $\Delta\phi_{topo}(x, r)$  代表差分干涉图中的残余地形相位;  $\Delta\phi_{atm}(x, r)$  表示大气延迟相位;  $\Delta\phi_{orbit}(x, r)$  表示由轨道误差引起的相位;  $\Delta\phi_{noise}(x, r)$  表示噪声相位。

然后, 在去除轨道误差、残余地形相位、大气延迟相位和噪声效应后, 即可得到单个像素的干涉相位。随后, 利用奇异值分解 (SVD) 算法对  $M$  幅差分干涉图进行分解, 进而计算相位时间序列, 最终获取变形时间序列。所有这些过程均通过 SARscape 软件实现<sup>[4]</sup>。

研究使用 SARscape 软件处理 Sentinel-1A 遥感影像, 采用两步反演法得到在斜距坐标系的 LOS 向位移结果, 即 LOS 向时间序列累积位移和年平均变形速率。

#### 3.5 精度验证

以矿区布设的水准点作为外部参考, 在同位置提取 InSAR 位移值进行对比<sup>[5]</sup>。采用皮尔逊相关系数 ( $\rho$ ) 和均方根误差 (RMSE) 进行统计分析:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (d_{Li} - \bar{d}_L)(d_{hi} - \bar{d}_I)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (d_{Li} - \bar{d}_L)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (d_{hi} - \bar{d}_I)^2}} \quad (4)$$

公式 (4) 中,  $d_{Li}$  为水准实测位移,  $d_{hi}$  为 InSAR 监测位移。若结果显示二者高度一致, 则表明监测结果可靠。

#### 3.6 二维分解

由于 LOS 位移仅是地表运动在卫星视线方向的投影, 研究进一步采用升、降轨联合反演方法, 将 LOS 位移分解为东西向与垂向分量:

$$\begin{bmatrix} d_{asc} \\ d_{desc} \end{bmatrix} = \mathbf{G} \begin{bmatrix} d_E \\ d_U \end{bmatrix} \quad (5)$$

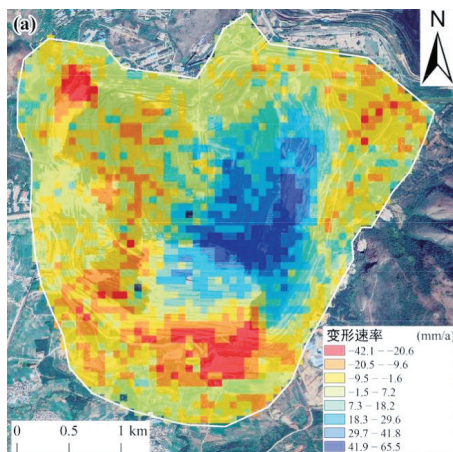
公式(5)中,  $d_{asc}$ 、 $d_{desc}$  为升轨、降轨 LOS 位移,  $d_E$  和  $d_U$  分别为东西向与垂直向分量,  $G$  为几何投影矩阵。该方法能够更准确地揭示边坡沉降与坑底隆起的差异<sup>[6]</sup>。

## 4 结果

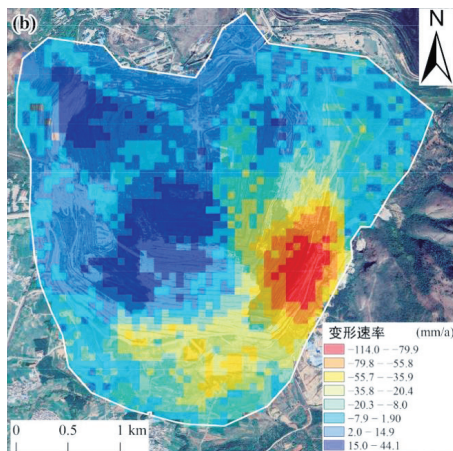
首先得到基于 SBAS-InSAR 技术获取的矿区雷达视线向地表变形速率结果, 利用现场水准测量数据对 InSAR 监测结果的准确性与可靠性进行了严格验证, 通过二维形变分解模型, 成功提取更能反映露天矿变形机制的东西向和垂直向变形信息。

### 4.1 LOS 向变形速率结果

LOS 向变形是雷达卫星直接观测到的地表沿传感器指向方向的变形量, 是后续分析的基础。在整个监测期内(2020 年 1 月至 2025 年 5 月), 布沼坝露天矿基于升降轨 Sentinel-1A 数据解算得到的年平均 LOS 向变形速率场如图 1 所示。



(a) 升轨变形速率



(b) 降轨变形速率

图1 LOS向变形速率场

(1) 升轨结果分析: 从图 1 (a) 升轨结果可以看出, 矿区的地表变形在空间上呈现出显著的不均匀性。

沉降变形主要集中分布在矿坑两部及南部区域。这些区域的沉降中心变形速率较大, 表明该区域的地表正处于持续的不稳定状态。经量化统计, 矿区内最大的年沉降速率达到  $-42.1\text{mm/年}$ 。值得注意的是, 在矿坑东部区域, 观测到大范围的抬升变形(图中以冷色调表示), 最大抬升速率高达  $65.5\text{mm/年}$ 。这种大范围的抬升现象在露天矿并不常见, 其成因值得深入探究。

(2) 降轨结果分析: 图 2 (b) 降轨结果揭示的变形格局与升轨结果既有相似, 也存在明显差异。沉降变形在矿坑东南部边坡表现得尤为剧烈和集中, 该区域的年变形速率极值高达  $-114.0\text{mm/年}$ , 远高于升轨观测到的最大沉降速率, 表明这是矿区最不稳定、变形最强烈的区域。而矿坑其他大部分区域在降轨数据中主要呈现为抬升变形, 最大抬升速率为  $44.1\text{mm/年}$ 。

升降轨结果在空间格局的差异主要源于不同的成像几何。雷达对东西向和垂直向变形的敏感度不同, 导致同一变形体在升降轨数据中有不同的量值和符号。如矿坑东南部在降轨中表现出极强的沉降, 而在升轨中信号相对较弱, 这表明该处变形并非单纯的垂直下沉, 而是有显著的东西向水平运动。这凸显出仅依赖单一轨道 LOS 向变形信息的局限性, 以及进行多维变形分解的必要性, 以真实还原地表变动的三维特征。

### 4.2 SBAS-InSAR 监测结果的精度与可靠性验证

为评估 SBAS-InSAR 技术在研究区地表变形监测中的准确性, 收集了由矿务局提供的现场水准观测数据作为真值进行对比验证。这些水准点监测时段与 SBAS-InSAR 数据存在重叠。

在相同时间段, 9 个水准点的累积位移量与 SBAS-InSAR 监测结果的对比如表 1 所示。从数据可以看出, 两者在数值上非常接近。如水准点  $D_1$  的观测值为  $-13\text{mm}$ , 而 SBAS-InSAR 结果为  $-11\text{mm}$ ;  $D_4$  观测值为  $14\text{mm}$ , SBAS-InSAR 结果为  $13\text{mm}$ 。为量化评估两者的一致性, 根据公式(4)计算了所有对比点的相关系数( $\rho$ )。计算结果显示, 相关系数高达 0.938, 远大于通常认为可靠性较高的阈值 0.7。这一极高的相关系数充分证明 SBAS-InSAR 监测结果具有很高的可信度。

表1 SBAS-InSAR与水准测量结果比较

水准观测点	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$D_4$	$D_5$	$D_6$	$D_7$	$D_8$	$D_9$
水准测量/mm	-13	-6	2	14	-12	-3	2	-7	-20
SBAS-InSAR/mm	-11	-2	2	13	-17	-1	8	-2	-15

为更直观地展示时间序列上的一致性, 绘制了  $D_2$  和  $D_3$  两个水准点的累积位移随时间的变化趋势, 并

与 SBAS-InSAR 结果进行对比, 可以清晰看到, 尽管在绝对的位移量值上存在毫米级的微小差异, 但 SBAS-InSAR 监测曲线与水准观测曲线在变化趋势上高度吻合。两者都捕捉到了相同时间段内的沉降或抬升过程, 进一步印证了 SBAS-InSAR 技术在捕捉地表变形动态过程方面的有效性和可靠性。

### 4.3 二维形变分解结果

#### 4.3.1 东西向与垂直向变形结果

基于升降轨 LOS 向变形结果和成像几何参数, 通过二维形变分解模型, 成功分离并获取了矿区地表在东西向和垂直向的变形信息。分解后得到的东西向和垂直向年平均变形速率场如图 2 所示。

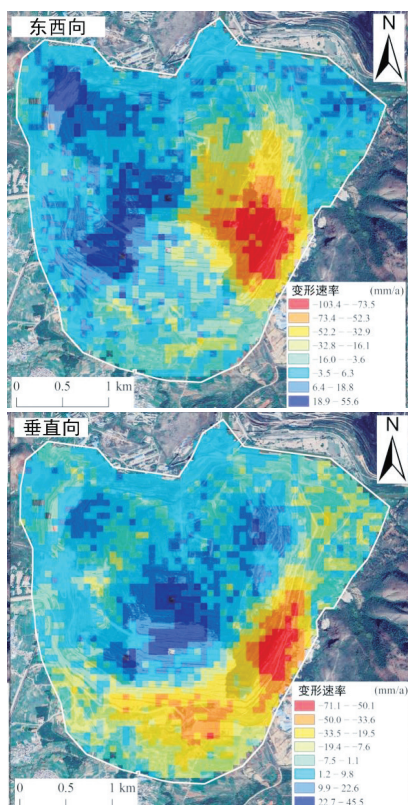


图2 东西向和垂直向变形速率

分解结果揭示, 矿坑东南部边坡区域存在极其显著的东西向变形, 最大东西向变形速率达到  $-103.4 \text{ mm/年}$  (负值表示向西运动), 其累积变形量高达  $-317.7 \text{ mm}$ 。这表明该边坡整体正在发生向西的大规模水平滑动, 构成严重的滑坡风险。此外, 在矿坑其他区域, 东西向变形相对较小, 且方向不一。

显著的垂直沉降同样主要集中在矿坑东南部和南部边坡, 最大沉降速率为  $-71.1 \text{ mm/年}$ , 累积沉降量达  $-189.2 \text{ mm}$ 。这与 LOS 向观测到的强烈沉降信号相互印证。一个非常值得关注的现象是, 在矿坑底部区域,

分解结果清晰显示出一片明显的垂直抬升区。这种抬升现象可能与采矿活动引起的应力释放、卸荷回弹或深部地质构造活动有关。

对比东西向和垂直向的变形速率可以发现, 在变形最强烈的东南部, 东西向的变形量级明显大于垂直向。这表示, 该区域的变形机制以水平剪切滑移为主导, 而非单纯的压密沉降。这一关键认识对于精准判断边坡的破坏模式并制定有针对性的防治措施至关重要。

#### 4.3.2 二维形变分解结果的可靠性验证

为验证二维分解后垂直向变形结果的准确性, 再次与水准观测数据进行比较。9 个水准点分解得到的垂直位移与水准测量值的对比结果如表 2 所示。计算得到的相关系数  $\rho$  为 0.926, 依然远高于 0.7 的可信度阈值。 $D_2$  和  $D_3$  点分解后的垂直累积位移与水准观测值在时间序列上具有高度一致性。这充分证明, 研究采用的二维形变分解方法有效且可靠, 结果准确可信。

表2 垂直形变结果与水准测量观测结果对比

水准观测点	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$D_4$	$D_5$	$D_6$	$D_7$	$D_8$	$D_9$
水准测量/mm	-10	-6	-2	8	-8	-7	0	8	20
垂直形变/mm	-4	-1	-3	7	-9	-6	2	3	28

## 5 结语

利用 SBAS-InSAR 技术对内蒙古某露天矿区 2020~2025 年的地表形变进行了系统监测。结果表明, 矿区整体呈现“边坡下沉—坑底隆起”的耦合格局, 东南边坡沉降最为显著, 最大沉降速率达  $-114.0 \text{ mm/a}$ ; 通过水准监测数据验证了 SBAS-InSAR 的地表变形监测与分析方法, 能够可靠反映地表变形的时空演化, 可为矿区安全管理和灾害防控提供有效技术支撑。

## 参考文献

- [1] 谷海波, 李敏. 基于 InSAR 的矿山变形监测与参数反演研究进展分析[J]. 中国矿业, 2025, 34(6): 233-243.
- [2] 杨小鸽. InSAR 大尺度变形监测关键方法研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2023.
- [3] 江克贵. 基于 InSAR 技术的矿区地表三维变形动态监测方法及废弃矿井采矿时空特征探测方法研究[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2021.
- [4] 梁思语. 基于 SBAS-InSAR 技术的煤矿区残余移动变形监测研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2022.
- [5] 马丙太, 吴昊, 周一文, 等. 基于 IPTA 和 SBAS-InSAR 的闭坑矿地表残余变形监测[J]. 能源与环保, 2025, 47(3): 123-128.
- [6] 林超赢. 基于 SBAS-InSAR 的大亮山隧道变形监测及特征分析[J]. 山西建筑, 2024, 50(8): 152-156.

# “空天地一体化”遥感技术在国土变更调查监测中的应用——以罗江区为例

赵燕

(四川省地质测绘院有限公司, 四川 成都 610000)

**摘要:** 国土变更调查监测是夯实自然资源管理底数、保障粮食安全与生态安全的基础工作。研究以罗江区 2024 年度国土变更调查为例, 充分发挥“空天地一体化”遥感技术中卫星遥感、航空遥感、地面调查的互补优势, 依托多维度、高精度、全覆盖的技术特性, 构建调查监测体系并开展应用实践。结果表明, 该技术体系可实现地类精准判别, 有效提升调查质量、降低数据错误率, 同时显著缩减调查成本, 为精准化、高效化开展县域尺度国土变更调查监测提供技术参考与实践借鉴。

**关键词:** 空天地一体化; 遥感技术; 国土变更调查; 罗江区; 精准监测

## 1 引言

国土变更调查是精准掌握国土空间利用动态变化的核心手段, 其成果是自然资源管理、国土空间规划、耕地保护等工作的重要底数与底版。随着自然资源管理精细化要求的不断提升, 传统以人工实地调查为主的模式逐渐暴露出效率低下、覆盖范围有限、数据时效性差、劳动强度大等弊端, 难以满足新时期国土变更调查“精准、高效、全面”的工作要求<sup>[1-2]</sup>。“空天地一体化”遥感技术通过融合卫星遥感、航空遥感、地面实地调查的技术优势, 构建起多尺度、多源数据协同的调查监测体系, 实现从宏观覆盖到微观核查的全链条数据支撑, 已成为国土变更调查监测的核心技术支持<sup>[3]</sup>。

四川省德阳市罗江区作为成都平原东北边沿丘区的典型县域, 地形以丘陵为主, 地势西南高东北低, 地类涵盖耕地、林地、建设用地、水域等多种类型, 变更图斑分布较为分散且特征复杂, 给国土变更调查工作带来诸多挑战。2024 年度罗江区国土变更调查工作严格遵循国家与省级相关技术规范, 全面应用“空天地一体化”遥感技术开展调查监测, 取得了良好成效。基于此, 以罗江区为研究案例, 深入探讨“空天地一体化”遥感技术在国土变更调查监测中的应用流程、技术要求与实践效果, 旨在总结可复制、可推广的县域尺度技术应用模式, 推动国土变更调查监测技术的迭代升级与广泛应用。

## 2 罗江区国土变更调查概况

### 2.1 区域概况

罗江区介于德阳与绵阳之间, 总面积 447.88km<sup>2</sup>, 属亚热带湿润季风气候, 水文兼具沱江与嘉陵江水系特征。截至 2023 年末, 罗江区常住人口 20.8 万人, 城镇化率 54.93%, 2024 年 GDP 达 202.4 亿元。区域国土利用类型丰富, 耕地为核心地类, 建设用地稳步增长, 年度变更集中于耕建转换、林地恢复等, 图斑分布分散、类型多样, 对调查技术精准度与效率要求较高。

### 2.2 调查目标

依据国家及四川省相关通知要求, 罗江区 2024 年度国土变更调查核心目标为: 按照统一技术标准, 运用先进技术掌握年度国土利用变化, 更新数据库形成高精度成果, 支撑自然资源管理、国土空间规划等工作; 主要任务包括采集遥感影像、制作外业底图、实地勘查举证、增量更新数据库, 接受市、省、国家三级核查并整改完善。

## 3 “空天地一体化”遥感技术在罗江区的应用实践

### 3.1 技术应用总体流程

结合罗江区 2024 年度国土变更调查任务要求, 遵循“数据获取—预处理—内业提取—外业核查—数据更新—成果验收”的全流程闭环, 总体技术流程如图 1 所示。

**作者简介:** 赵燕 (1990—), 女, 汉族, 本科, 工程师, 主要从事自然资源调查监测等工作。

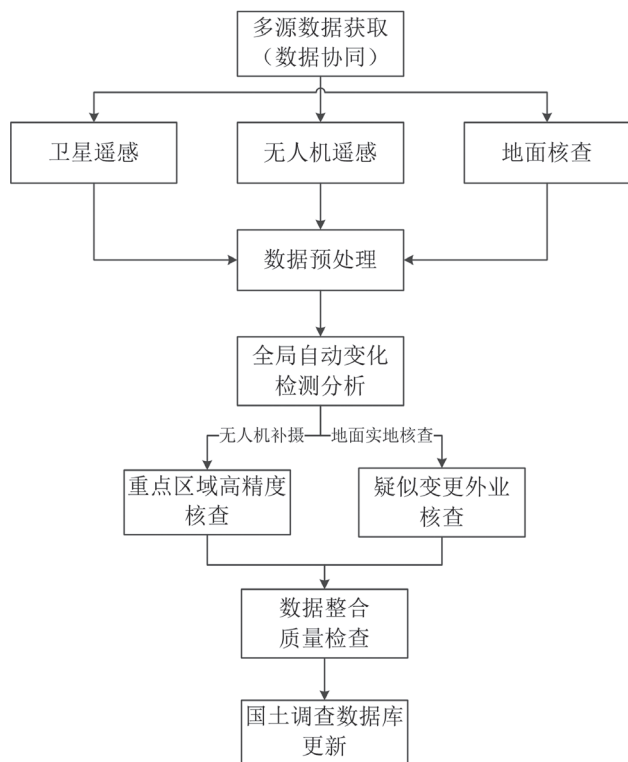


图1 技术流程

首先，通过卫星遥感与无人机遥感获取全域及重点区域的影像数据，并对影像数据进行辐射校正、几何校正等预处理，整合各类管理数据，制作调查底图；其次，基于预处理数据通过内业判读提取变化信息，生成疑似变更图斑，然后通过无人机航拍与地面移动举证对疑似图斑进行实地核查与验证；最后将核查后的有效数据用于更新国土调查数据库，形成调查成果并接受各级核查验收。该流程实现“空、天、地”三类技术的无缝衔接与协同发力，确保调查工作的精准高效推进。

### 3.2 基于卫星遥感开展全域基础数据获取与变化识别

卫星遥感可为罗江区国土变更调查提供全域数据支撑，联合智能化变化检测技术完成全域用地变更图斑提取。数据源选用自然资源部下发的高分二号卫星影像，搭配省级 2023 年度土地利用现状数据库等基础数据，保障现势性与参照基准。然后融合变化检测技术，通过比对不同时期影像的光谱、纹理特征差异，自动捕捉建设用地新增、耕地变化、林地增减等动态变化，精准识别疑似变更图斑并标记核心信息。结合罗江区地形地貌与用地分布特点，经人工交互修正优化，实现全域变更图斑的高效筛查，有效提升图斑识别的针对性与可靠性，为后续精细判读与外业调查提供精准指引。基于卫星遥感开展国土变更调查监测实

例如图 2 所示。

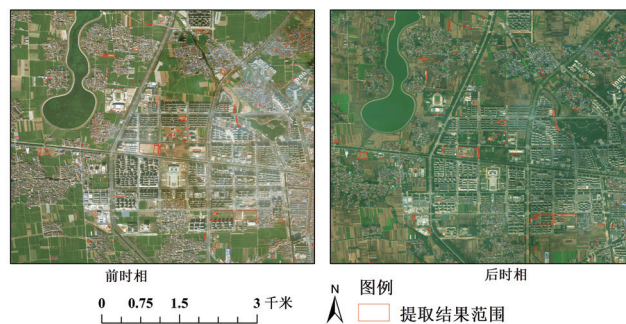


图2 基于卫星遥感开展国土变更调查监测

### 3.3 基于无人机遥感开展重点区域精细化监测与复杂地形核查

无人机遥感作为“空天地一体化”技术体系的中低空核心手段，凭借机动灵活、分辨率高、起降便捷等优势，在罗江区国土变更调查监测中重点用于复杂地形区域、小面积变更图斑、重点工程项目区的精细化监测与核查，弥补了卫星遥感在微观尺度识别上的不足。

研究结合罗江区地形特征与变更图斑分布情况，确定无人机遥感监测的重点区域，主要包括：山地、植被覆盖茂密等人工难以到达的区域；城镇区域内无法进入的大型建筑工地或拆建区域（如城区扩展片区）；大型线型公路建设用地（如区域内主要交通廊道）；超大型变更图斑（人工举证需拍摄大量照片的区域）；卫星影像判读模糊、难以确定地类的疑似变更图斑区域。

基于高精度数据，开展精细化变化信息提取与图斑边界优化：（1）对卫星遥感初步识别的疑似变更图斑进行精准边界勾勒，提升图斑范围的准确性；（2）对卫星影像判读模糊区域进行精细判读，明确地类类型（如区分旱地与园地、林地与草地）；（3）全面监测重点工程项目区增减挂钩、土地综合整治等项目，核实项目实施范围与地类变化情况。

### 3.4 地面调查实地验证与移动举证

地面调查是“空天地一体化”技术体系的最终验证环节，通过“移动终端举证+人工实地核查”方式，确保变更信息的真实性与准确性，在罗江区国土变更调查中主要承担疑似变更图斑的实地核实、属性采集、举证照片拍摄等任务。

调查人员依据内业制作的外业调查底图，携带设备开展实地勘查，实现外业调查与举证：

（1）点位定位：通过 GPS 接收机精准定位至疑似

变更图斑位置，核实图斑实际范围。

(2) 地类核实：对照底图标注的初步地类信息，实地核查图斑的实际地类、用途、权属等信息，若与底图存在差异则及时修正。

(3) 信息采集：详细记录图斑面积、地类代码、权属单位、利用状况等属性信息。

(4) 举证照片拍摄：按照国家统一标准，从三个以上方向拍摄举证照片，确保照片清晰反映图斑实地现状、周边环境及地类特征，对于设施农用地、物流仓储用地等特殊地类，还需拍摄能反映地物内部特征的照片。

(5) 数据上传：通过“天府调查云”平台将举证照片、调查信息实时上传至省级调查举证平台，确保数据的即时性与可追溯性。

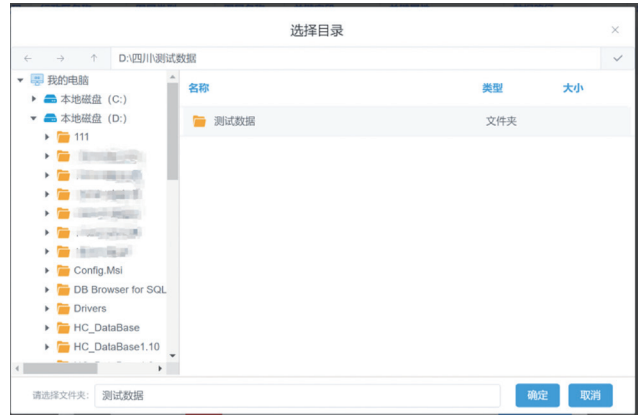
针对新增建设用地、耕地变化、生态保护红线内变化等重点图斑，开展专项核查，深入调查图斑的审批手续、项目实施情况，收集相关证明材料，确保图斑变化的合法性与合规性。对于人类难以到达的图斑、因极端天气等不可抗原因暂时无法开展外业举证的图斑，采用承诺举证的方式，明确时限与责任，后续及时补充核查。

### 3.5 多源数据融合与数据库更新

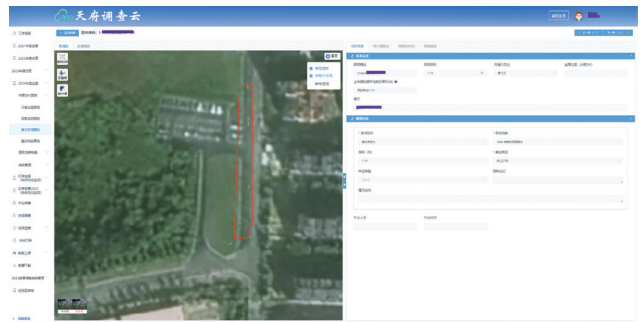
多源数据融合与数据库更新是“空天地一体化”遥感技术应用的核心成果输出环节，通过整合卫星遥感、无人机遥感、地面调查的多源数据，实现罗江区国土调查数据库的精准更新。具体应用如下：

(1) 将卫星遥感提取的宏观变化信息、无人机遥感获取的精细化图斑数据、地面调查采集的属性信息与举证照片进行整合。对影像数据与矢量数据进行套合比对，优化图斑边界，确保“图、数、实地”三者一致。同时，提取变化图斑要素，建立“图斑边界—属性信息—举证照片”的关联关系，形成完整的变化信息数据集。

(2) 以2023年度国土调查数据库为基础，依据整合后的变化信息数据集，采用增量更新方式完善罗江区国土调查数据库。依据《国土调查数据库更新数据规范》要求，对土地利用类型、地类图斑及其他相关要素的属性和图形进行更新，生成2024年度变更调查更新数据增量包，并严格遵循“变更前图斑总面积与变更后图斑总面积一致”“未涉及变更图斑面积不得改变”的原则，确保数据库准确与完整。内业数据处理及数据库更新如图3所示。



(a) 任务矢量导入矢量选择



(b) 数据填报上报模块

图3 内业数据处理及数据库更新

### 3.6 质量监督体系

数据库更新完成后，采用全国统一质量检查软件全面开展质量检查，检查内容包括数据完整性、逻辑一致性、空间定位准确度、属性数据准确性、数据汇总一致性等。针对检查发现的问题及时整改，整改完成后形成初步调查成果。随后接受市级、省级、国家级多轮内、外业核查及数据库质量审查，根据各级核查反馈意见进一步整改完善，最终形成罗江区2024年度准确、现势性强的国土调查更新数据库。

为保证核查人员的作业质量，依据“核查—复核—监理”制度要求，针对需要人机交互检查的质量控制内容，设置复核环节，对相应核查结果进行抽样复核<sup>[4-5]</sup>。在此基础上，为提高复核效率，依据相应核查成果质量，开展差异化复核。首先确定复核图斑核查人员应抽查比例，计算表达式为：

$$C_i = 0.8 \times \frac{B_i - B_{\min}}{B_{\max} - B_{\min}} + 0.2 \quad (1)$$

公式(1)中， $C_i$ 为各核查人员应抽查比例， $B_i$ 为前一日核查人员核查差错率， $B_{\max}$ 为前一日所有核查人员中的最大核查差错率， $B_{\min}$ 为前一日所有核查人员中的最小核查差错率。结合工作实际情况，为避

(下转第37页)

# 基于小波去噪的变形监测预测模型优化研究

刘聪

(浙江南联土木工程科技有限公司, 浙江 杭州 310000)

**摘要:** 针对变形监测数据含噪导致预测精度不足的问题, 研究提出基于小波去噪的变形监测预测模型优化方法, 通过离散小波变换对原始数据进行多尺度分解与重构, 有效滤除高频噪声, 提升数据质量, 再将去噪后的数据分别引入灰色模型和神经网络, 构建融合小波去噪的优化模型(W-GM、W-BP)。工程案例表明, 优化后的模型在变形趋势捕捉与预测精度上显著优于传统模型, 有效提升了变形趋势预测的准确性与可靠性, 为工程安全评估提供了可靠的技术方案。

**关键词:** 小波去噪; 变形监测; 预测模型; 灰色模型; 神经网络模型

## 1 引言

变形监测在土木工程、地质灾害防治、矿山开采等领域具有重要意义, 通过对建筑物、岩土体等对象的变形进行长期观测和分析, 能够及时掌握变形趋势, 为工程安全评估和灾害预警提供关键依据。然而, 在变形监测过程中, 由于受到测量仪器精度、环境干扰、数据传输等因素影响, 监测数据往往包含大量噪声, 降低数据质量, 导致传统预测模型出现偏差, 影响变形趋势分析和预测结果的准确性。小波去噪作为一种有效的信号处理方法, 能够在保留有用信号特征的同时, 去除数据中的噪声成分, 将小波去噪应用于变形监测数据处理, 并对预测模型进行优化, 有助于提高变形监测数据的可靠性和预测模型的精度, 从而更好地保障工程安全, 减少潜在灾害损失<sup>[1]</sup>。因此, 深入研究基于小波去噪的变形监测预测模型优化方法, 对于提高工程安全监测水平、降低灾害风险具有重要的理论价值与现实意义。

## 2 基本理论

### 2.1 小波变换基本原理

小波变换是一种时频局部化分析方法, 通过将信号分解成不同尺度和频率的小波系数, 实现对信号的多分辨率分析, 与传统的傅里叶变换相比, 小波变换在时域和频域都具有良好的局部化特性, 能够更好地捕捉信号的局部特征<sup>[2]</sup>。

设  $f(t) \in L^2(R)$  为待分析信号, 连续小波变换定义为:

$$W_f(a, b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi^*\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (1)$$

公式(1)中,  $a$  为尺度参数,  $b$  为平移参数,  $f(t)$  为母小波函数,  $\psi^*(t)$  为共轭函数, 通过调整  $a$  和  $b$  的值, 可以在不同尺度和位置对信号进行分析。

### 2.2 变形监测预测模型

#### (1) BP神经网络模型

人工神经网络凭借强大的非线性映射能力, 在复杂变形监测数据预测中展现出显著优势<sup>[3]</sup>, 其中, 反向传播神经网络模型是应用最广泛的类型, 通过多层神经元的连接与权重调整, 实现输入数据到输出预测值的非线性转换, 其核心计算过程可简化为隐含层输出公式:

$$h_j = f\left(\sum_{i=1}^m w_{ij} x_i + b_j\right) \quad (2)$$

公式(2)中,  $h_j$  为隐含层第  $j$  个神经元的输出,  $x_i$  为输入层第  $i$  个神经元的输入,  $w_{ij}$  为输入层到隐含层的连接权重,  $b_j$  为隐含层神经元的偏置,  $f(\cdot)$  为激活函数。该公式描述了数据从输入层传递到隐含层时, 通过加权求和与非线性激活的特征提取过程, 后续经输出层计算得到预测值, 并通过反向传播算法调整权重, 使得预测误差最小化。BP神经网络能够自适应学习变形数据的复杂特征, 适用于受多因素耦合影响的变形预测场景, 如桥梁振动、隧道收敛监测等。

#### (2) 灰色模型(GM)

灰色模型(GM)是一种适用于小样本、贫信息数据的预测方法, 在变形监测领域因对数据量要求低、建模简便而广泛应用<sup>[4]</sup>, GM(1, 1)模型作为灰色模型的基础形式, 通过累加生成弱化原始数据的随机性,

**作者简介:** 刘聪(1989—), 男, 汉族, 本科, 工程师, 主要从事工程测量、不动产测绘和摄影测量、地理信息测绘处理等工作。

构建一阶微分方程实现趋势预测，其核心建模公式为白化微分方程：

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = u \quad (3)$$

公式(3)中， $x^{(1)}$ 为原始数据序列； $a$ 为发展系数，反映序列变化趋势； $u$ 为灰作用量，表征外部因素影响，通过最小二乘法估计参数向量，求解微分方程得到预测值。该模型尤其适用于变形趋势单调的数据，能够快速捕捉数据的长期变化规律，在建筑物沉降、边坡位移等监测场景发挥重要作用。

### 3 基于小波去噪的变形监测预测模型优化

#### 3.1 小波去噪处理

基于小波去噪的变形监测预测模型优化的数据处理流程主要分为5个步骤，如图1所示。

(1) 数据预处理：收集原始变形监测数据，对数据进行格式转换、异常值剔除等预处理操作，异常值检测可采用 $3\sigma$ 原则，即当数据偏离均值超过3倍标准差时视为异常值。

(2) 小波分解：选择合适的小波基函数和分解层数，对原始数据进行离散小波变换，通常根据数据特征和经验选择3~5层分解，将原始信号分解为不同尺度下的近似分量和细节分量。

(3) 阈值去噪：采用软阈值或硬阈值方法对小波系数进行处理，根据数据特性选择阈值计算方法，常用的有固定阈值、启发式阈值等。

(4) 系数重构：对处理后的小波系数进行逆小波变换，然后重构得到去噪后的数据序列，该序列有效抑制了原始数据中的噪声干扰，更能反映真实的变形趋势。

(5) 数据验证：对比去噪前后的数据特征，通过可视化分析和统计指标（如均方误差、信噪比）评估去噪效果，确保数据质量满足后续预测需求。

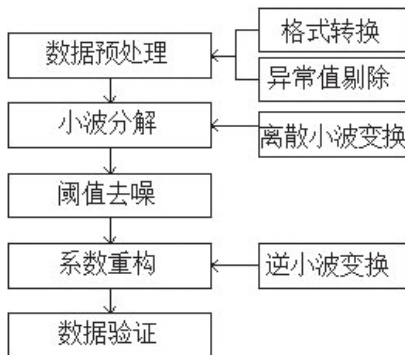


图1 小波去噪处理流程

#### 3.2 模型构建与优化

##### 3.2.1 基于小波去噪的灰色模型优化 (W-GM)

基于小波去噪后的变形监测数据，灰色模型通过数据变换、参数估计和模型构建实现优化。

(1) 数据变换：对去噪后的数据序列进行一次累加生成，弱化数据的随机性。

$$x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i), k = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

公式(4)中， $x^{(1)}$ 为原始数据序列 $x^{(0)}$ 的一次累加序列， $k$ 为监测周期。

(2) 参数估计：利用最小二乘法估计模型参数向量，计算公式为：

$$\hat{\alpha} = (B^T B)^{-1} B^T Y \quad (5)$$

公式(5)中， $\hat{\alpha}$ 为模型参数， $B$ 为构造的数据矩阵， $Y$ 为原始序列经处理后的向量。

(3) 模型构建：求解白化微分方程得到预测模型：

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = (x^{(0)}(1) - \frac{u}{a})e^{-ak} + \frac{u}{a} \quad (6)$$

公式(6)中， $\hat{x}^{(1)}(k)$ 为一阶累加生成序列的预测值， $\hat{x}^{(0)}(k)$ 为原始序列预测值，通过累减生成获取原始序列预测值，有效提升模型对变形趋势的拟合能力。

##### 3.2.2 基于小波去噪的神经网络模型优化 (W-BP)

W-BP模型通过前向传播、误差计算和反向修正实现优化。

(1) 前向传播：将去噪后数据作为输入，隐含层神经元输出经加权求和与激活函数计算：

$$h_j = f(\sum_{i=1}^m w_{ij}x_i + b_j) \quad (7)$$

公式(7)中， $w_{ij}$ 为输入层到隐含层权重， $b_j$ 为偏置， $f()$ 为激活函数。

(2) 误差计算：定义均方误差函数，计算公式为：

$$E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n y_k - \hat{y}_k)^2 \quad (8)$$

公式(8)中， $E$ 为误差函数， $y_k$ 为第 $k$ 个真实值， $\hat{y}_k$ 为对应预测值。

(3) 反向修正：基于梯度下降法更新权重，计算公式为：

$$\Delta w_{ij} = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{ij}} \quad (9)$$

公式(9)中， $w_{ij}$ 为矩阵权重， $\eta$ 为学习率， $E$ 为误差函数。通过迭代训练，去噪后数据使W-BP模型更精准捕捉变形特征，提升复杂趋势预测性能。

#### 3.3 精度验证

采用均方根误差(RMSE)、平均绝对误差(MAE)和决定系数( $R^2$ )作为模型精度评价指标，均方根误

差计算公式为：

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (10)$$

公式(10)中， $n$ 为样本数量， $y_i$ 为实际监测值， $\hat{y}_i$ 为模型预测值。MAE反映预测值与实际值的平均误差程度， $R^2$ 用于衡量模型拟合优度，其值越接近1表明模型精度越高，通过对比不同模型在各指标的表现，全面评估基于小波去噪的变形监测预测模型优化效果。

## 4 案例分析

### 4.1 工程概况

选取某高层建筑的沉降监测数据作为研究对象，该建筑在施工及运营过程中采用高精度水准仪进行定期沉降监测，共获取50期监测数据。由于施工环境复杂、测量误差等因素影响，监测数据存在一定噪声，需要对数据进行处理并建立预测模型，以掌握建筑沉降趋势，保障建筑安全。

### 4.2 小波去噪处理

选择离散小波变换作为小波基函数，对50期原始沉降数据进行5层离散小波分解，采用软阈值去噪法对小波系数进行处理，阈值选取采用启发式通用阈值，去噪前后的监测数据如表1所示。

表1 小波去噪前后监测数据对比

观测期数	实测沉降值/mm	去噪后的沉降值/mm	残差/mm
1	2.31	2.25	-0.06
2	2.67	2.79	0.12
3	2.79	2.83	0.04
4	2.91	2.82	-0.09
5	3.13	3.27	0.14
...	...	...	...
50	13.38	13.37	-0.01

### 4.3 不同模型预测分析

#### (1) 小波去噪前后BP神经网络模型预测分析

分别利用传统BP神经网络模型和基于小波去噪的神经网络模型(W-BP)进行变形预测。利用前40期已知数据对后10期数据进行预测，对比两种模型的预测精度，以均方根误差(RMSE)、平均绝对误差(MAE)和决定系数( $R^2$ )为评价指标，统计结果如表2所示。

表2 预测精度对比

模型类型	RMSE	MAE	$R^2$
传统BP神经网络模型	2.13	1.87	0.82
基于小波去噪的神经网络模型(W-BP)	1.21	1.03	0.95

从表2统计数据可知，传统BP神经网络模型因未处理原始数据中的噪声干扰，预测误差相对较高；而

基于小波去噪的神经网络模型(W-BP)通过自适应调整小波分解层数与阈值，有效去除数据噪声，RMSE和MAE较传统模型分别降低43.2%和44.9%， $R^2$ 值达0.95，表明优化模型拟合效果更优。

为更加直观地展示预测效果，绘制两模型预测值与实际值的对比曲线，如图2所示。其中，基于小波去噪的神经网络模型(W-BP)预测曲线与实际变形曲线贴合度最高，尤其在变形波动较大阶段，仍能精准捕捉趋势变化；而传统BP神经网络模型的预测曲线在部分监测点出现明显偏离，预测误差较大。

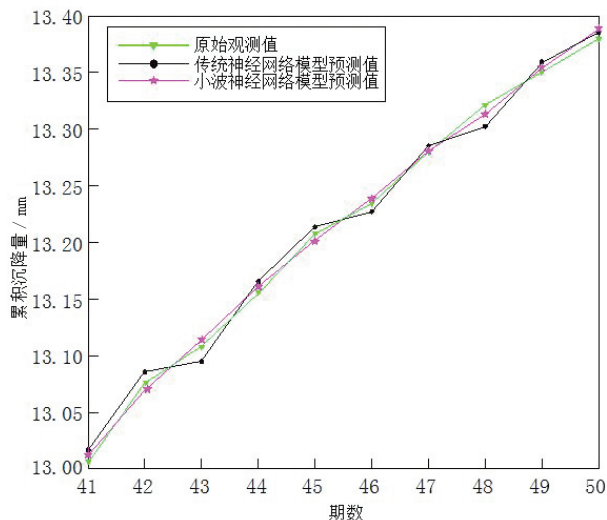


图2 小波去噪前后BP神经网络模型预测曲线

#### (2) 小波去噪前后灰色模型预测分析

分别采用传统灰色预测模型(GM)和基于小波去噪的灰色模型(W-GM)进行变形预测，方案同前，预测精度结果如表3所示。

表3 预测精度对比

模型类型	RMSE	MAE	$R^2$
传统灰色预测模型(GM)	1.96	1.68	0.85
基于小波去噪的灰色模型(W-GM)	1.23	1.05	0.96

从表3统计数据可知，传统灰色预测模型(GM)因未处理原始数据中的噪声干扰，预测误差相对较高；而基于小波去噪的灰色模型(W-GM)，RMSE和MAE较传统模型分别降低37.2%和37.5%， $R^2$ 值达0.96，表明优化模型拟合效果更优。

绘制两模型预测值与实际值的对比曲线，如图3所示。其中，基于小波去噪的灰色模型(W-GM)预测曲线与实际变形曲线贴合度最高，尤其在变形波动较大阶段仍能精准捕捉趋势变化；而传统灰色预测模型(GM)的预测曲线在部分监测点出现明显偏离，验证了基于小波去噪的优化模型在复杂变形场景的有效性。

综上所述,基于小波去噪的变形监测预测模型在精度和稳定性上显著优于传统预测模型,为工程变形监测提供了可靠的技术方案。

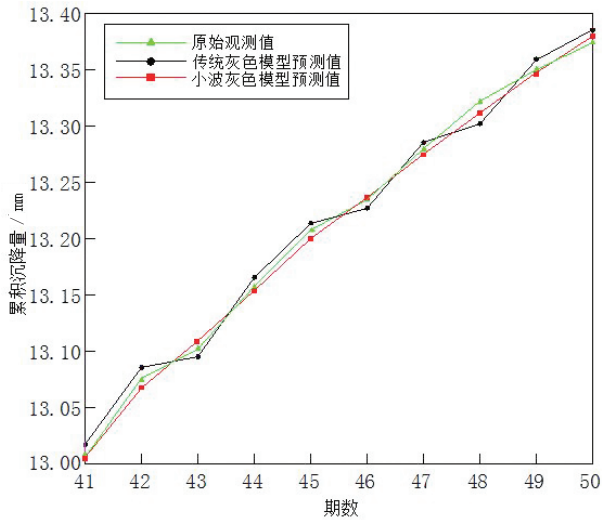


图3 小波去噪前后灰色模型预测曲线

## 5 结语

研究将小波去噪技术与变形监测预测模型进行深

度融合,通过对原始数据的多尺度分解与噪声抑制,构建了优化预测模型,有效提升了预测精度。实验结果表明,与传统方法相比,优化后的模型在处理复杂变形数据时,预测精度和稳定性均有提升,能够更准确地捕捉变形趋势。研究成果为变形监测数据处理提供了新思路,未来可进一步探索自适应小波基选择、多模型融合等技术,推动变形监测预测技术向智能化、实时化方向发展,为工程安全评估提供更可靠的技术支撑。

## 参考文献

- [1] 张广强.基于小波去噪和PSO-BP神经网络模型的煤矿边坡变形预测[J].经纬天地,2023(1):4-7.
- [2] 王超,蔡足根,毛龙栋.基于小波去噪及优化极限学习机的城市轨道交通沉降预测[J].北京测绘,2024,38(7):986-991.
- [3] 方筠,庞旭卿.考虑数据去噪分解的滑坡位移组合预测研究[J].中国安全生产科学技术,2022,18(3):168-174.
- [4] 欧斌,张才溢,陈德辉,等.基于改进EMD-LSTM的混凝土坝变形预测模型[J].水利水电科技进展,2024,44(6):93-99.

(上接第 33 页)

免核查人员因抽查比例为 0,导致不存在复核图斑的情况,在差错率指标归一化基础上,将最低应抽查比例定为 20%。

其次,确定核查人员复核图斑数量,表达式为:

$$E_i = A \times C_i \quad (2)$$

公式(2)中, $E_i$ 为各核查人员分到的复核图斑数量, $A$ 为复核图斑总数, $C_i$ 为各核查人员应抽查比例。

## 4 结论与展望

以罗江区 2024 年度国土变更调查为研究案例,系统探讨了“空天地一体化”遥感技术的应用实践,得出以下结论:

(1)“空天地一体化”遥感技术在罗江区的应用取得显著成效,调查成果精准支撑了罗江区耕地保护、国土空间规划等自然资源管理工作;(2)技术应用过程中仍存在复杂场景适配不足、多源数据融合效率低、技术门槛高、数据安全隐患等问题,需通过强化技术适配、构建标准化平台、加强人才培养、完善安全体系等路径优化提升。

基于“空天地一体化”遥感技术获取的罗江区 2024 年度国土变更调查成果,已成功应用于当地多项

自然资源管理工作:(1)为耕地保护提供精准数据支撑,精准识别耕地“非农化”“非粮化”图斑 23 个,面积 12.3 公顷;(2)服务于国土空间规划,清晰反映城镇村建设用地扩展情况,为罗江区城市开发边界优化、村庄规划编制提供了现势性数据;(3)支撑生态保护工作,准确识别生态保护红线内变化图斑 8 个,面积 3.5 公顷,保障了生态安全;(4)辅助土地整治项目管理,核实增减挂钩项目拆旧区、土地综合整治项目新增耕地等成果,确保项目实施成效。

## 参考文献

- [1] 郭锦标.郑州市上街区首次启用无人机助力国土变更调查[J].资源导刊,2022(2):19.
- [2] 刘依扬,吕勇.基于高分遥感影像与面向对象的林地识别分类提取研究[J].湖南林业科技,2025,52(1):24-30.
- [3] 王建锋,陈美,王峰,等.举证照片智能检核技术在国土变更核查中的应用[J].中国土地,2024(4):54-55.
- [4] 江深.3S技术集成在萍乡国土变更调查中的应用实践[J].农业工程技术,2025,45(23):65-66.
- [5] 刘加枚,徐英,李传勇.地理信息系统在国土变更调查数据管理中的应用[J].区域治理,2025(15):160-162.

# 基于PROSAIL与MLP模型的襄阳市冬小麦LAI反演

吴昌文 罗盼 万姝姝

(武汉壹时空科技有限公司, 湖北 武汉 430000)

**摘要:** 精准估算冬小麦叶面积指数, 对于田间管理及精准农业实施具有重要意义。针对目前冬小麦叶面积指数(LAI)反演研究中存在精度低、普适性差等问题, 以湖北省襄阳市为研究区, 基于Sentinel-2多光谱影像, 结合地面实测数据, 通过PROSAIL模型与多层感知机(MLP)构建混合神经网络模型反演研究区小麦LAI, 并利用实测值进行精度验证。结果表明: 混合模型反演的小麦LAI精度较高, 决定系数 $R^2$ 为0.883, 均方根误差RMSE为0.095, 实测与反演值线性关系明显。混合反演模型可为冬小麦LAI反演研究及精准农业提供思路与方法。

**关键词:** 冬小麦; 叶面积指数; PROSAIL; MLP; 多光谱影像

## 1 引言

叶面积指数(Leaf Area Index, LAI)作为表征植被冠层生理与生化特性的核心指标, 也是反映植被冠层最突出特征的关键参数之一<sup>[1]</sup>。准确获取LAI的时空分布特征, 对于科学评估小麦生长状况以及进行农业宏观调控具有重要的数据支撑作用。

传统的冬小麦LAI估算为野外实地测量<sup>[2]</sup>, 该方法具备局部测算精度高的优势<sup>[3]</sup>, 能保障单点数据的准确性, 但大规模开展测量时投入成本较高且耗费大量时间与人力<sup>[4]</sup>。物理模型基于电磁波辐射传输机理构建LAI反演模型, 通过量化太阳辐射在大气、植被冠层及土壤系统中的传输、散射等过程, 建立遥感观测值与LAI的确定性关联。其反演结果源于机理模拟, 普适性和物理可解释性更强, 能明确区分不同组分对遥感信号的贡献, 并通过调整参数满足不同植被类型、气候及生长阶段的反演需求。典型代表如PROSAIL模型, 由PROSPECT叶片模型与SAIL冠层模型耦合而成。因此, 借助PROSAIL反演LAI的方法提升了一定的反演精度与效率<sup>[5]</sup>, 如贾智乐<sup>[6]</sup>等利用PROSAIL模型反演青岛地区玉米LAI, 反演结果较好。高瑞<sup>[7]</sup>等利用PROSAIL模型结合随机森林(RF)、反向传播人工神经网络(BP-ANN)和支持向量回归(SVR)等机器学习方法反演冬小麦LAI, 取得了较高的反演精度。

由此可见, 物理模型结合神经网络模型将是LAI反演的一个重要研究方向, 因此, 研究提出一种结合PROSAIL与MLP的混合神经网络模型, 反演襄阳市冬小麦LAI, 并结合实测数据, 论证物理模型混合神经网络模型的反演精度。

## 2 数据获取及研究方法

### 2.1 研究区概况

襄阳市地处湖北省西北部, 地理坐标介于 $32^{\circ} 38' N \sim 33^{\circ} 56' N$ ,  $111^{\circ} 00' E \sim 113^{\circ} 10' E$ 之间, 属典型的暖温带大陆性季风气候, 四季分明, 地貌以黄土高原和丘陵地带为主, 年平均气温一般为 $15.0 \sim 16.0^{\circ}C$ , 农业生产普遍采用冬小麦—夏玉米轮作体系, 其中冬小麦一般在10月中下旬种植, 来年6月上中旬收获。研究区位置如图1所示。

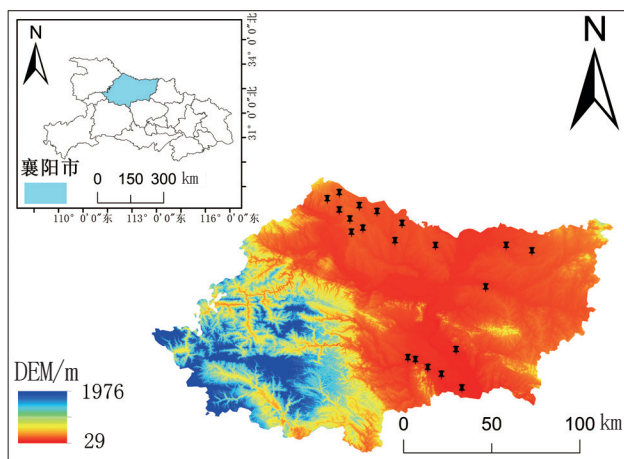


图1 研究区位置、高程数据及采样点分布

### 2.2 地面实测数据与遥感数据

采用LAI-2000型植被冠层分析仪开展研究区内冬小麦叶面积指数的地面实测工作, 实测时间选定为2024年4月20日9:00至11:00。采用随机抽样法在研究区均匀布设20个采样点, 采样点分布如图1所示, 借助北斗定位系统完成各采样点的精确定位与标记。在每个采样点处随机进行3次重复测量, 以3次

**作者简介:** 吴昌文(1985—), 男, 汉族, 本科, 工程师, 主要从事GIS算法、遥感影像分析算法研究工作。

测量结果的平均值作为该采样点的最终 LAI 实测值，在 GEE (Google Earth Engine) 平台下载与野外采样时间一致的襄阳市 20m 分辨率 Sentinel-2 影像，并开展预处理工作。影像采用 UTM-WGS84 投影坐标系，数据输出格式为 TIFF。预处理流程基于 ENVI 5.6 与 ArcGIS 软件完成，具体包含辐射定标、大气校正、几何校正、重采样及影像裁剪等步骤。

### 3 模型与方法

#### 3.1 PROSAIL 模型

PROSAIL 是植被遥感领域的经典耦合模型，其思路在于将 PROSPECT 叶片尺度光学模型与 SAIL 冠层尺度辐射传输模型进行层级化整合，从而实现从叶片生理属性到冠层光学反射特性的精准模拟<sup>[8]</sup>。PROSAIL 模型基于叶片的生物物理参数驱动，通过输入叶绿素浓度、类胡萝卜素浓度、叶片干物质含量、等效水厚度等指标，结合叶片的多层散射理论，可定量计算出植被叶片在可见光至近红外波段范围内的双向反射率与透射率，为冠层尺度的辐射传输模拟提供高精度的叶片光谱输入项；SAIL 模型聚焦于冠层结构与外部环境的耦合作用，综合考量叶面积指数、叶片倾角分布函数、冠层分层结构、土壤背景反射率及太阳—冠层—传感器几何观测角度等要素，依据辐射传输理论构建冠层内光子的散射、吸收与透射过程方程，然后将 PROSAIL 模型输出的叶片光谱数据作为冠层单元的基础光谱属性，进一步模拟不同光照条件下冠层的半球反射率与方向反射率，最终生成连续波段、兼具生理与结构特征的完整植被冠层反射光谱。其模型表达式为：

$$p(\lambda) = \text{PROSAIL}(N_s, C_{ab}, C_{ar}, C_w, C_m, C_{\text{brown}}, V_{\text{LIDF}}, V_{\text{LAI}}, H, \theta_s, \theta_r, \varphi_v, \rho_y) \quad (1)$$

公式 (1) 中， $p(\lambda)$  为植被冠层光谱反射率， $N_s$  为叶片结构参数， $C_{ab}$  为叶绿素浓度， $C_{ar}$  为红色叶绿素浓度， $C_w$  为叶片等效水厚度， $C_m$  为叶片干物质浓度， $C_{\text{brown}}$  为叶片棕色物质浓度， $V_{\text{LIDF}}$  为叶片倾斜分布函数， $V_{\text{LAI}}$  为叶面积指数， $H$  为冠层高度， $\theta_s$  为太阳入射角， $\theta_r$  为叶片相对倾角， $\varphi_v$  为太阳辐射方位角， $\rho_y$  为背景反射率。

#### 3.2 MLP 神经网络模型

回归神经网络 (Multi-Layer Perceptron Regressor, MLP) 是一类基于多层感知器架构、适用于非线性回归预测任务的人工神经网络模型，其网

络拓扑结构由输入层、至少一个隐藏层与输出层三层神经元结构层级串联构成，层间神经元采用全连接拓扑连接方式。该模型引入 ReLU (Rectified Linear Unit) 非线性激活函数作为层间信息传递的核心映射函数，解决线性模型无法拟合复杂非线性数据分布的问题。运算流程遵循加权求和一偏置修正—激活映射—逐层传递的递进逻辑，先将预处理后的特征数据 (如遥感影像光谱特征、植被生物物理参数等) 映射为维度匹配的神经元输入向量，向量经层间连接权重矩阵加权求和后，叠加对应神经元的偏置项，得到隐藏层神经元的净输入值；再将净输入值通过 ReLU 激活函数进行非线性变换，抑制负向输出并保留正向特征响应，生成隐藏层的高维特征表达向量；隐藏层输出向量经输出层权重矩阵与偏置项的线性映射，直接输出连续型预测值，完成从输入特征到目标变量的非线性回归建模过程。公式如下：

$$\text{net}(i) = \sum_{j=1}^n X_j + \mu \quad (2)$$

公式 (2) 中， $\text{net}(i)$  为该神经元的加权输入， $W_j$  为权重， $X_j$  为该神经元的输入， $\mu$  为偏置。激活函数  $F$  作用于该加权输入，以生成该神经元的输出：

$$H_i = f(\text{net}(i)) \quad (3)$$

MLP 通过最小化误差函数来优化网络权重，公式为：

$$E = \frac{1}{2} \sum (Y_i - O_i)^2 \quad (4)$$

训练时通过梯度下降法迭代更新权重与偏置，使误差最小化，实现模型对 LAI 数据的拟合。

研究采用 PROSAIL 模型开展冬小麦冠层光谱模拟。在模拟与反演前，首先对遥感影像进行系统预处理。完成预处理后，结合冬小麦的光谱响应特征，从 Sentinel-2 影像中选取 Band3、Band4、Band7、Band8、Band11 和 Band12 作为输入波段用于 LAI 估算。上述波段能够较好表征冬小麦冠层在可见光、近红外与短波红外区域的吸收与反射差异，从而有效捕捉与植被生长状态及光合作用相关的关键光谱信息。PROSAIL 模型通过模拟叶片与冠层光学特性，生成 LAI 与波段反射率的查找表 (LUT)。研究将该查找表作为输入，与 MLP 耦合构建混合辐射传输模型。评估 PROSAIL 模型反演的 LAI 结果的可靠性，采用决定系数 ( $R^2$ ) 和均方根误差 (RMSE) 作为评价指标。

$$\left. \begin{aligned} R^2 &= 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - J_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \\ \text{RMSE} &= \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - J_i)^2} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

公式(5)中,  $O_i$  为预测值,  $J_i$  为实际值,  $\bar{O}$  为预测值的均值,  $n$  为样本数。  $R^2$  值越接近 1, 表示模型反演效果越好; RMSE 值越小, 表明反演误差越低, 精度越高。

#### 4 结果分析

研究面向查找表数据构建 MLP 回归模型用于 LAI 反演, 数据按 8:2 划分为训练集和测试集, 预测结果如图 2 所示。图 2 (a) 为 MLP 模型训练集精度, 图 2

(b) 为 MLP 模型测试集精度, 其中横轴为模拟 LAI, 纵轴为模型预测 LAI, 红色虚线表示理想条件下的 1:1 参考线。两类数据的散点均集中分布于参考线附近, 呈现显著的正相关关系, 表明 MLP 模型能够较好地捕捉输入特征与 LAI 之间的映射规律。从定量评估指标来看, 训练集与测试集的决定系数 ( $R^2$ ) 均达到 0.81,  $R^2$  值接近 1, 表明模型模拟值与预测 LAI 值之间的线性相关程度极高, MLP 模型对 LAI 变化的解释能力较强, 能够有效表征不同植被生长状态下 LAI 的整体变化趋势, 不会因数据分布差异出现解释力衰减的情况。训练集与测试集的均方根误差 (RMSE) 均为 0.97, 误差值在两类数据集之间保持一致, 未出现测试集误差显著高于训练集的过拟合现象, 说明 MLP 模型的误差水平整体较低, 预测精度稳定可靠, 且具备良好的泛化能力, 能够有效适配未参与训练的新数据场景。MLP 模型在 LAI 预测任务中表现出优异的拟合精度、稳定性与泛化性能, 能够满足植被 LAI 定量反演需求, 可为后续小麦 LAI 反演提供模型支撑。

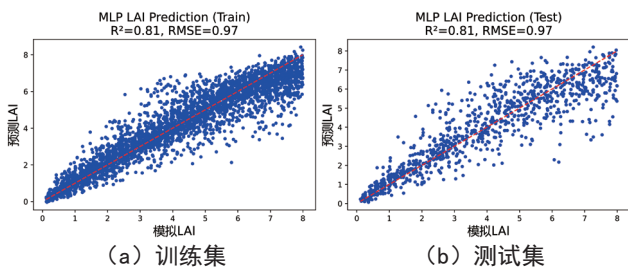


图2 MLP模型精度

基于 PROSAIL 辐射传输模型生成的查找表, 结合 MLP 神经网络模型, 完成襄阳市冬小麦 LAI 反演计算, 生成 4 月中下旬冬小麦 LAI 空间分布图, 如图 3 所示。空间分布特征上, 由于襄阳市西部及西南部主要以山区为主, 西部大部分及东部城市、道路、河流地区 LAI 值接近于 0。小麦种植地区主要以襄阳市东北部为主。整体上襄阳市小麦 LAI 呈现西低东高格局, 4 月中下旬小麦 LAI 数值主要集中在 2.8~3.7, 此时正

值小麦拔节至孕穗期, 是植株生长旺盛、叶面积快速扩张的关键阶段。混合模型生成的 LAI 反演图在空间格局上与襄阳市小麦种植格局相对应。通过 PROSAIL 结合 MLP 神经网络模型模拟得到的叶面积指数与采样点进行回归分析, 并进行精度验证。结果表明, 模型模拟的叶面积指数与实测值之间的相关性  $R^2=0.883$ , RMSE=0.095, 线性关系显著, 说明混合模型能从输入数据中自动学习到有效的特征表示, 精度较高且线性关系明显, 表明 MLP 算法具有较好的数据模拟能力。

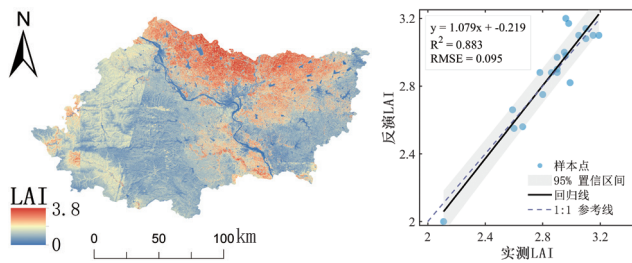


图3 襄阳市冬小麦LAI反演图和单点精度

#### 5 结论

研究构建的混合反演模型在襄阳市冬小麦 LAI 反演中取得较高精度, 可有效解决单点测量费时费力 and 传统单一模型精度低、分辨率差等问题。LAI 反演图与襄阳市冬小麦空间种植分布契合。单点验证显示, 实测点与反演值存在偏差但整体拟合效果良好; 反演结果与实测数据相关性较高 ( $R^2=0.883$ , RMSE=0.095)。MLP 模型可从输入数据中自动学习到有效的特征表示, 提高预测精度和算法的运行速度。

#### 参考文献

- [1] 汪彦龙,王钧,崔婷.基于PROSAIL模型的青贮玉米叶面积指数反演[J].农业机械学报,2024,55(8):205-213.
- [2] 徐雯靓,王少军.PROSAIL模型模拟下的植被指数土壤调节能力比较与适用环境分析[J].遥感学报,2014,18(4):826-842.
- [3] 李淑敏,李红,孙丹峰,等.PROSAIL冠层光谱模型遥感反演区域叶面积指数[J].光谱学与光谱分析,2009,29(10):2725-2729.
- [4] 苏伟,邹佳昱,王新盛,等.基于Sentinel-2影像与PROSAIL模型参数标定的玉米冠层LAI反演[J].光谱学与光谱分析,2021,41(6):1891-1897.
- [5] 于沂卉,杨贵军,王崇倡.地面高光谱和PROSAIL模型的冬小麦叶绿素反演[J].测绘科学,2019,44(11):96-102,136.
- [6] 贾智乐,豆喜朋,贾路.无人机多光谱数据反演叶面积指数方法研究[J].地理空间信息,2022,20(2):64-66,129.
- [7] 高瑞,封文杰,张钧泳,等.基于Sentinel-2数据和机器学习的冬小麦叶面积指数反演[J/OL].山东农业科学,1-15[2026-01-14].

# 基于SBAS-InSAR技术的某煤矿采空区地表沉降监测分析研究

李晶 杨潇潇 李欢 孙全 张金敏

(中煤航测遥感集团有限公司, 陕西 西安 710199)

**摘要:** 煤矿开采引发的地表沉降问题是工程重点关注的热点之一。基于2022年1月2日至2025年2月27日期间的Sentinel-1A数据, 利用SBAS-InSAR技术监测某煤矿地表沉降变形, 沿工作面走向提取剖线及特征点分析煤矿采空区地表沉降规律, 并将Path84和Path11两个轨道的InSAR监测结果进行对比验证。研究表明, 研究区最大沉降量达214mm; 地表沉降范围随工作面推进而扩大, 且沉降量随时间推移而增加; Path84和Path11形变监测结果回归系数为0.9612, 差值直方图总体呈现正态分布, 可证明SBAS-InSAR技术监测煤矿区地表沉降位置、确定沉降影响范围的可靠性, 研究可为采矿区地表沉降安全评估提供参考。

**关键词:** SBAS-InSAR技术; 煤矿采空区; 地表沉降; 变形监测

## 1 引言

作为我国能源主体, 煤炭在国民经济和社会发展中扮演着不可或缺的角色, 在能源供应中发挥着“压舱石”和“稳定器”作用, 短期内我国以煤为主的能源结构难以根本改变<sup>[1-2]</sup>。在大规模、高强度开采煤炭资源的过程中往往会引发一系列严峻的生态环境与地质安全问题, 其中由地下采空导致的地表沉降是较为典型且普遍存在的工程问题。煤矿采空区地表沉降过大会造成道路、桥梁等基础设施损坏, 直接影响矿区地表建筑物安全, 导致村镇居民房屋开裂甚至倒塌, 严重危及人民群众的生命财产安全。因此, 对煤矿采空区地表沉降进行精准、高效、连续的监测, 掌握其时空演化规律, 对于科学评估开采影响、指导矿山安全生产、制定灾害防控措施、开展矿区生态修复具有重要的实际意义。

传统测量手段存在耗时耗力、空间分辨率低、受地形和气候限制等诸多局限性, 难以满足大范围、长时序、高密度的矿区地表沉降监测需求。而合成孔径雷达干涉测量(Interferometric Synthetic Aperture Radar, InSAR)技术通过测量地表的相位差来获取地表形变信息, 具有高精度、全天候、全时段优势, 能够提供高时空分辨率的大范围和长周期地表形变监测数据<sup>[3-4]</sup>。众多研究人员采用InSAR技术开展地表形变监测、地质灾害隐患早期识别及预警等工作<sup>[5-6]</sup>, 证实InSAR技术的可靠性与准确度。

基于此, 利用SBAS-InSAR(小基线集合成孔径雷达干涉测量)对某煤矿采空区地表进行沉降监测, 处理2022年1月2日至2025年2月27日的升轨哨兵1号A星(Sentinel-1A)数据, 获取煤矿采空区地表形变数据; 对比分析Path84和Path11两个轨道的形变结果, 验证SBAS-InSAR技术在监测煤矿采空区地表沉降方面的可靠性, 为类似煤矿采空区地表沉降监测提供技术指导和参考。

## 2 研究区概况

### 2.1 研究区背景

研究区位于陕西省北部, 属于陕北侏罗纪煤田, 附近交通十分便利, 有多条铁路及公路贯穿其中, 北可通达鄂尔多斯、包头, 向南可达延安、西安, 向西可达银川, 向东过黄河可达晋北各地, 为煤矿建设提供了便利条件。InSAR监测期间, 研究区覆盖了4个开采工作面, 其中, 1号工作面自东向西回采, 回采时间为2021年12月至2023年5月; 2号工作面自西向东回采, 回采时间为2022年8月至2023年11月; 3号工作面和4号工作面均为自东向西回采, 分别于2023年12月和2024年9月开始回采。

### 2.2 实验数据

实验收集了覆盖研究区两个轨道的欧空局(European space agency, ESA) Sentinel-1A SAR数据、精密轨道数据(Precise Orbit Ephemerides, POD)以及30m分辨率的SRTM DEM数据。其中, Path84时

**作者简介:** 李晶(1998—), 女, 汉族, 硕士, 助理工程师, 主要从事InSAR技术应用研究。

间范围为2022年1月2日至2025年2月27日, Path11时间范围为2022年1月9日至2024年6月15日。SAR数据参数如表1所示。

表1 Sentinel-1A数据参数

轨道编号	轨道方向	方位向分辨率×距离向分辨率/m×m	数据覆盖时间
84	升轨	9.32×13.97	2022-01-02~2025-02-27
11	升轨	9.32×13.97	2022-01-09~2024-06-15

### 3 数据处理方法

SBAS-InSAR由Berardino于2002年提出,是一种可高效获取地表连续形变的短基线差分干涉测量方法。其核心思路是依照一定的时空基线,将全部SAR影像分成多个短基线子集,然后对各个子集开展差分干涉处理,并采用最小费用流解缠法进行解缠,最后通过奇异值分解法(Singular Value Decomposition, SVD)求解最小范数解,从而反演得到时间序列形变。该方法通过将数据组合成若干个子集,集合之间保持较小的时空基线,而子集之间基线距离较大,是一种基于短基线干涉实现地表形变估算的InSAR时序分析方法,目前已被广泛用于地表形变监测。

针对覆盖同一区域、按时间序列获取的N+1景SAR影像,可选取其中一幅作为主影像完成配准,再通过设置合理的时空基线阈值,完成干涉对组合和构网,并对生成的各组影像对进行差分干涉处理,最终得到M幅干涉图,且M满足如下关系:

$$\frac{N+1}{2} \leq M \leq \frac{N(N+1)}{2} \quad (1)$$

假设在不同时刻 $t_A$ 、 $t_B$  ( $t_B > t_A$ )获取两组SAR影像,并以 $t_B$ 时刻影像为主影像进行差分干涉处理,则在干涉生成的第j幅干涉图中,某个像素点对应的干涉相位可表示为:

$$\delta\varphi_j = \varphi(t_B) - \varphi(t_A) \approx \delta\varphi_j^{def} + \delta\varphi_j^{topo} + \delta\varphi_j^{atm} + \delta\varphi_j^{noise} \quad (2)$$

公式中, $\delta\varphi_j$ 为某一点的干涉相位, $\varphi(t_A)$ 和 $\varphi(t_B)$ 分别是 $t_A$ 、 $t_B$ 时刻对应于 $t_0$ 时刻的相位, $\delta\varphi_j^{def}$ 为 $t_A$ 、 $t_B$ 时刻视线向的形变相位, $\delta\varphi_j^{topo}$ 为该像素点的地形相位, $\delta\varphi_j^{atm}$ 为大气相位, $\delta\varphi_j^{noise}$ 为噪声引起的相位信息。

公式(2)可进一步表示为:

$$\delta\varphi_j^{def} = \frac{4\pi}{\lambda} [d(t_B) - d(t_A)], \forall j = 1, 2, \dots, M \quad (3)$$

$$\delta\varphi_j^{topo} = \frac{4\pi}{\lambda} \cdot \frac{B_{\perp} \Delta h}{r \sin \theta} \quad (4)$$

$$\delta\varphi_j^{atm} = \varphi_{atm}(t_B) - \varphi_{atm}(t_A) \quad (5)$$

公式中, $d(t_A)$ 、 $d(t_B)$ 分别表示 $t_A$ 、 $t_B$ 时刻相对于参考时间 $t_0$ 在雷达视线方向的累计形变量, $\lambda$ 表示

雷达波长, $r$ 为雷达到地面观测点的斜距, $\theta$ 表示入射角, $B_{\perp}$ 为垂直基线, $\Delta h$ 为DEM高程差。

采用奇异值分解法估算各相干像素点的形变速率,再通过时域积分得到对应的形变时间序列。SBAS-InSAR技术流程如图1所示,具体为:

(1) 获取覆盖研究区的N+1景Sentinel-1遥感影像,从中选取一幅作为主影像,并将其余N幅影像与主影像进行影像配准。

(2) 利用轨道数据对SAR影像进行精密定轨,并利用外部DEM数据与主影像进行配准,去除SAR影像中的地形相位。

(3) 根据SAR影像质量设置合适的时空阈值,生成足够数量的高质量干涉对,并选取相干性较好的像素作为解缠参考点,对全部差分干涉图进行相位解缠。

(4) 基于干涉相位和时空基线信息,分别估算线性形变、DEM误差和残余地形相位,对分解结果依次采用空间域高通滤波、时间域低通滤波,分离得到大气相位与非线性形变相位;将线性形变和非线性形变结果叠加,得到最终时序结果和LOS向形变速率图。

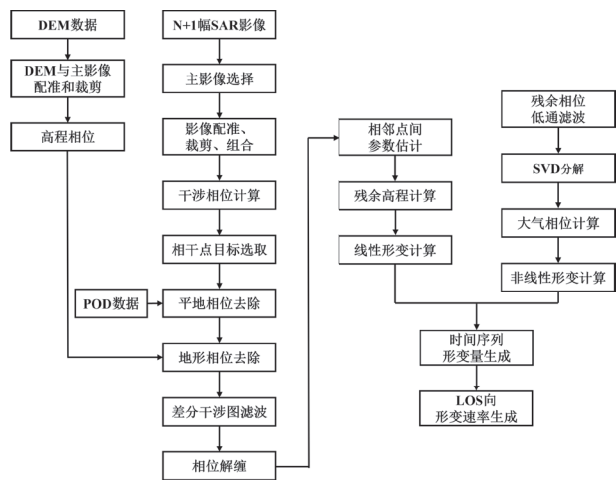


图1 SBAS-InSAR技术流程

## 4 结果分析

### 4.1 InSAR 监测结果分析

基于2022年1月至2025年2月的Sentinel-1A数据,利用SBAS-InSAR技术监测研究区煤矿地表形变,共发现4处沉降漏斗,在空间上与矿区工作面分布较为一致,4处沉降漏斗分别位于矿区1号至4号开采工作面,最大沉降量214mm。考虑到3号、4号工作面SAR数据覆盖时间不完整,因此,分别从剖面、特征点方面详细分析1号、2号工作面的开采沉陷规律。

对于1号工作面地下开采导致的地表形变,沿工

作面走向绘制时序剖面,如图2所示。由开采资料可知,1号工作面回采时间为2021年12月至2023年5月,回采方向为自东向西。图2中,2022年2月19日至2023年5月9日,沉降中心自东向西移动;2023年5月9日至2024年7月14日,沉降中心位置不再发生移动,最大沉降值持续增大,这一沉降规律与煤矿开采进程较为吻合。值得一提的是,由于Sentinel-1A卫星2022年7月25日至2022年11月22日数据拍摄中断,导致该时间段未监测到地表沉降,使得剖面中部偏东处沉降量值几乎为0。为深入分析其时序累计沉降规律,在1号工作面选取6个特征点,如图3所示。2022年1月至2023年6月,6个特征点均处于加速下沉阶段;2023年6月至2025年2月,下沉速度逐渐趋于平缓,最终达到稳定阶段,该规律同样与煤矿开采进程较为吻合。

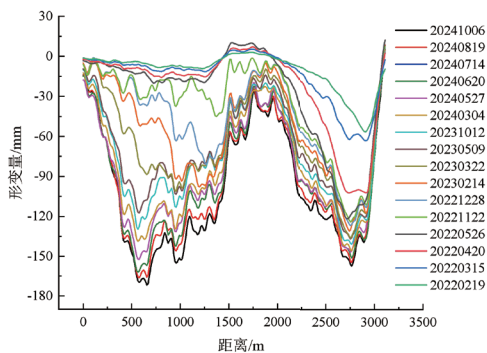


图2 1号工作面时序下沉剖面

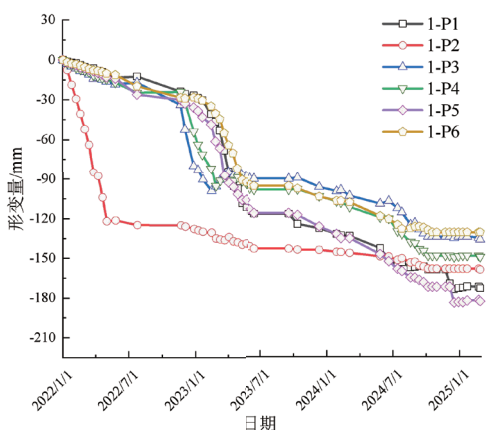


图3 1号工作面特征点时序沉降曲线

对于2号工作面地下开采导致的地表形变,绘制时序下沉剖面图,如图4所示。根据已知资料,2号工作面回采时间为2022年8月至2023年11月,回采方向为自西向东。图4中,2022年11月22日至2023年12月11日,沉降中心自西向东移动;2023年12月11日至2024年10月6日,沉降中心位置不再发生移动,最大沉降值持续增大,这一沉降规律与

煤矿开采进程较为吻合。与一号工作面类似,由于Sentinel-1A卫星2023年6月14日至2023年9月18日数据拍摄中断,导致该时间段未监测到地表沉降,使得剖面中部偏东处沉降量值几乎为0。同样,在2号工作面选取6个特征点,分析其时序累计沉降规律,如图5所示。2022年1月至2022年7月,特征点几乎未发生下沉;2022年7月至2023年7月均处于加速下沉阶段;2023年7月至2025年2月下沉速度逐渐趋于平缓,最终达到稳定阶段。

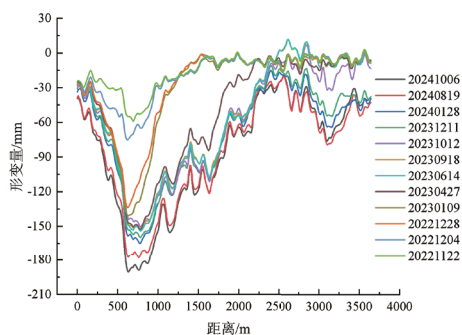


图4 2号工作面时序下沉剖面

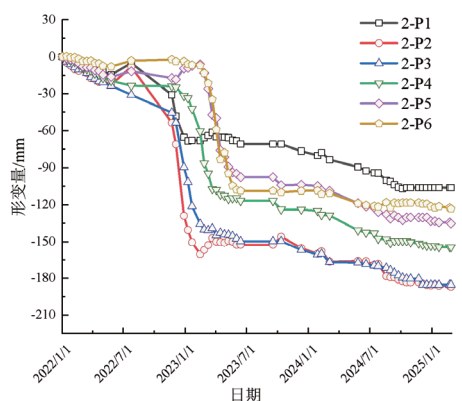


图5 2号工作面特征点时序沉降曲线

#### 4.2 精度验证

为验证实验结果的准确性和可靠性,将Path11和Path84两个轨道的InSAR监测结果进行验证。由于两组Sentinel-1A数据卫星入射角度不同,且数据覆盖时间不一致,将两组解算结果均投影至垂直方向并选取2022年1月至2024年6月监测结果进行验证。选择两组数据公共特征点进行累计沉降结果对比,如图6所示,回归系数为0.9612,表明监测时间段内,两组监测结果沉降趋势几乎一致。为客观分析SBAS-InSAR监测结果的可靠性,截取公共形变区域,对两组数据的差值进行统计,如图7所示,差值直方图总体呈正态分布,差值主要集中在0值附近。这证明利用SBAS-InSAR技术监测煤矿区地表沉降是可靠的。

(下转第48页)

# 测量机器人在响水涧电站基准网复测中的应用

张鹏博 王保雷 丁高峰

(河南省地质矿产勘查开发局第三地质勘查院, 河南 郑州 450000)

**摘要:** 徕卡 TS60 高性能精密全站仪, 凭借自动目标识别与自动跟踪技术的卓越应用, 大幅提升了基准网复测的技术水平, 极大地简化了操作流程。在安徽响水涧抽水蓄能电站的基准网复测项目中, 研究采用 TS60 全站仪的自动观测技术, 并对成果精度进行了深入分析。研究结果表明, TS60 测量机器人在响水涧电站基准网复测工作中满足基准网精度监测需要, 可为电站的稳定性分析提供技术支持。

**关键词:** 响水涧抽水蓄能电站; 测量机器人; 基准网观测; 数据处理; 复测

## 1 引言

在全球能源体系从高碳向低碳多元结构转变进程中, 新能源的规模化开发与利用, 已成为各国维护能源安全、保护生态环境、应对全球气候变化的重要举措。然而, 新能源类别中的风能、太阳能具有显著的波动性和间歇性, 给电力系统的安全、稳定与高效运行带来严峻挑战。作为一种成熟、可大规模应用的储能方式, 抽水蓄能电站可有效解决新能源发电存在的不稳定问题, 在提高电网运营的安全性和稳定性、平衡电力供需等方面发挥着重要作用。

对大坝开展持续、全面的安全监测, 确保大坝安全稳定运行, 是抽水蓄能电站日常管理的重要内容。而科学的监测方法、先进的仪器设备, 可显著提升大坝安全监测工作效率。为提高响水涧抽水蓄能电站基准网复测效率, 研究从基准网变形监测需求出发, 以 TS60 测量机器人为载体, 依托实际项目, 基于连续性、稳定性、实时性较高的自动化监测系统<sup>[1]</sup>, 采用同一平差模型进行解算, 并对比历年复测成果, 利用数理统计原理对点位进行稳定性分析<sup>[2]</sup>, 总结监测点变形规律, 更准确地反映电站各部位监测点的变化特征, 可为电站日常监测及后续复测工作提供依据。

## 2 TS60 全站仪及机载自动监测软件

### 2.1 TS60 全站仪

瑞士 Leica 公司的 TS60 全站仪搭载 ATRplus 自动照准技术, 标称精度为一测回方向中误差  $\pm 0.5''$ ; 测距中误差  $\pm 0.6\text{mm} + 1\text{ppm}$ 。ATRplus 功能可在 1500m 范围内识别圆棱镜, 以及 1000m 内的  $360^\circ$  棱镜。

TS60 全站仪运用创新光斑分析法, 对棱镜验证技术进行优化升级, 可在超远距离范围内, 自动学习并识别目标棱镜, 有效筛选出有效棱镜, 同时剔除灯光、水气、日照等干扰因素及无效目标, 显著缩短了人工手动对焦时间, 大幅提升了自动测距的准确度与效率, 有效减轻了工作人员的劳动负担。在马达驱动下, 望远镜可沿螺旋或矩形轨迹持续搜索目标, 实现目标的自动识别、精确跟踪锁定、正倒镜自动观测及数据自动采集等功能, 因而被称为第五代测量机器人。在测量员软件的操控下, TS60 全站仪能够自动完成全流程观测任务<sup>[3]</sup>。

### 2.2 TS60 机载自动监测软件

TS60 机载自动监测软件与全站仪协同工作, 提升了测量机器人的智能化和自动化水平。

该软件的主要特点有: (1) 支持多端数据同步, 实现数据共享, 极大地提升协同工作效率; (2) 内置丰富的计算功能, 简化计算过程, 大幅缩短计算时间; (3) 支持联机全站仪测量, 让测量工作更加便捷、高效且节省时间; (4) 可随时随地提供数据管理功能, 实现移动办公, 显著提高工作效率; (5) 详尽记录所有工作信息, 便于查询, 同时有效降低工作失误率; (6) 实时监控项目进展, 确保能迅速掌握项目最新动态<sup>[4]</sup>; (7) 系统自动检核各项观测限差, 一旦发现超出规定范围, 将自动补测或重测; (8) 同测站多测回有效观测时间短, 很大程度上减少外界因素影响。将该方法应用于响水涧抽水蓄能电站大坝监测, 能有效削弱外界因素干扰, 提高监测精度和工作效率, 降低作业难度和项目成本<sup>[5]</sup>。

**作者简介:** 张鹏博 (1986—), 男, 汉族, 本科, 工程师, 主要从事测绘地理信息相关工作。

**通信作者:** 王保雷 (1987—), 男, 汉族, 本科, 工程师, 主要从事测绘地理信息相关工作。

### 3 基准网布置概况

安徽响水涧抽水蓄能电站位于安徽省芜湖市弋江区峨桥镇响水涧村，距离繁昌区政府约 25km，距芜湖市市区约 30km。该电站为日调节型纯抽水蓄能电站，属于大型 II 等工程，装机容量达 1000MW（由 4 台各 250MW 的机组组成），运用可逆式水泵水轮机与发电电动机组。电站主要建筑物包括上水库、输水系统、地下厂房系统、开关站及下水库等，其主体结构均按照二级建筑标准设计。水电站鸟瞰图如图 1 所示。



图1 水电站鸟瞰图

上水库坐落于浮山东部的凹陷地带，主要建筑物包括主坝、南副坝、北副坝、库盆等设施。主、副坝均采用混凝土面板堆石结构建造，主坝高 88m，坝顶长度 520m，坝顶宽度 8m；南副坝高 62m，坝顶长度 353m，坝顶宽度 8m；北副坝高 53.5m，坝顶长度 174m，坝顶宽度 8m。主坝上水库设置一条专用二等平面监测网，共 8 个网点，编号为 S1~S3、S5~S9，网点布于水库周边山坡及山顶。

下水库坐落于浮山东侧泊口河内的洼地，地面高程介于 5.5m 到 7m，水库由均质土坝圈围而成，库底高程为 -0.05m~0.95m，主要建筑物为围堤和充水涵闸等。下库设置一条专用二等平面监测网，共 5 个网点，编号为 X1~X5。其中 X1~X3 布置在库区周边山体上；X4~X5 布置于库区周边回填区域，为钢筋混凝土浇筑的观测台。为便于分析，研究以下水库为例进行数据分析，下水库基准网如图 2 所示。

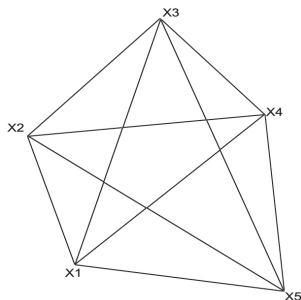


图2 下水库基准网

### 4 基准网观测

#### 4.1 限差设置

按照工程规模与具体监测要求，监测基准网采用 5 座带强制对中标志的钢筋混凝土观测墩构建三维控制网，平面与高程精度均为二等<sup>[6]</sup>。外业观测限差，要严格遵循《水利水电工程测量规范》（SL 197—2013）专用二级控制网的精度标准，具体参数如表 1 所示<sup>[7]</sup>。

表1 基准网复测外业观测限差

类别	项目	限差要求
水平角观测	测回数	9
	两次照准读数差	±3.0"
	半测回归零差	±5.0"
	一测回2C互差	±9.0"
	同方向各测回间方向值互差（测回差）	±5.0"
	三角形闭合差	±3.5"
	按菲列罗公式计算的测角中误差	0.7"
天顶距观测	测回数	6
	两次照准读数差	≤3.0"
	一测回指标差互差	≤6.0"
边长观测	测回间天顶距互差	≤4.0"
	测回数	6
	每测回观测边长	4次
	温度最小读数至	0.2℃
	气压最小读数至	0.5hPa
	一测回边长较差	≤±2.0mm
测回之间边长中数较差	≤±2.5mm	
往返测较差	≤2√(a+b×D×10 <sup>-6</sup> ) mm	

注：（1）当观测方向的垂直角 > 3° 时，同一时段内各测回间的 2C 互差进行对比检核；（2）分别量测测站点与镜站点的温度、湿度和气压，取其均值作为气象改正参数，并在测站点与镜站点分别量取仪器高和棱镜高，读至 0.5mm。

根据《水利水电工程测量规范》（SL197—2013）专用二级控制网的精度指标，确定水平角和垂直角均观测 9 测回，边长测量进行 6 测回 24 测次，所有边长在不同时段进行对向观测并人工记录数据。

#### 4.2 水平角观测

水平角观测采用全圆观测法，共观测 9 测回，照准目标使用徕卡反射棱镜（圆棱镜 GPR1 型）。9 测回观测必须在同一最佳时段完成；观测严格按照现行规定，执行一测回操作程序及读盘配置设定；采用正倒镜分别照准目标 2 次，取观测平均值作为盘左和盘右观测成果。观测时，应选择有利的观测时机，严禁在大风、雨、雾、雪等恶劣天气下作业。只有在大气清晰且成像稳定的条件下观测，才能确保野外观测数据的准确性与可靠性。

观测前，需将仪器静置一段时间，使仪器温度与

外界环境基本一致。观测过程中，应采取遮阳措施，防止阳光直射对测站和镜站造成影响；另外，方向观测的补测、重测、成果取舍及其他观测要求，均遵照《国家三角测量规范》相关规定执行。2019~2023年，基准网经过5次独立观测，涵盖全网共10个三角形，三角形闭合差和测角中误差均符合限差要求。

### 4.3 垂直角观测

将两点间斜距归算为水平距离时，需要有足够精度的天顶距。由于各点均有水准高程，即可根据水准高差，将所测斜距归算为水平距离，且精度优于由天顶距推算的结果。因此，此次天顶距观测主要起检核作用，观测实施仍严格遵循《水利水电工程测量规范》要求。天顶距观测采用中丝法，观测6测回，目标采用徕卡反射棱镜（圆棱镜GPR1型）。垂直角与水平角同步观测，观测前后分别量测仪器高与镜站高，每次量测至1mm，两次读数差不超过2mm。下水库基准网高程采用几何水准测量，以S II 09为起算点，与监测基准网点组成闭合线路往返观测。

### 4.4 边长观测

边长观测均采用对向观测，往返各观测6测回，每测回读数4次。温度估读至±0.2℃，气压估读至±50Pa，同步记录好测站与镜站的温度、气压、湿度。2019~2023年，对基准网共实施5次独立观测，全网共10条对向边。

## 5 数据处理与精度统计

### 5.1 平差计算

外业观测数据验算合格后，采用中铁四院的工程测量平差数据处理软件SYADJV4.2.3进行平差处理，平差方法采用间接平差。借助该软件可对外业观测数据实施预处理，并将其自动转化为适配平差运算的数据文件格式。该软件支持经典平差与秩亏型平差模型，能够满足监测网稳定性分析需求<sup>[8]</sup>。

### 5.2 精度统计

2019年度下水平面监测网三角形闭合差绝对值最大为1.50"（X3-X4-X5），满足≤±3.5"的要求；按照菲列罗公式计算出的测角中误差为±0.59"，满足≤±0.7"的精度指标。

2020年度下水平面监测网三角形闭合差绝对值最大为1.54"（X3-X1-X4），按照菲列罗公式计算的测角中误差为±0.51"，均满足相应要求。

2021年度下水平面监测网三角形闭合差绝对值

最大为1.81"（X3-X1-X2），按菲列罗公式计算的测角中误差为±0.65"，均满足相应要求。

2022年度下水平面监测网三角形闭合差绝对值最大为1.67"（X3-X2-X5），按菲列罗公式计算的测角中误差为±0.63"，均满足相应要求。

2023年度下水平面监测网三角形闭合差绝对值最大为2.16"（X3-X2-X5），按菲列罗公式计算的测角中误差为±0.62"，均满足相应要求"。

历年复测计算结果均满足规范限差要求，外业观测质量符合技术指标。历年方向观测精度统计结果如表2所示。

表2 历年方向观测精度统计

年度	三角形名称	最大三角形闭合差绝对值	平差后方向中误差	测角中误差	备注
2019	X3-X4-X5	1.5"	±0.54"	±0.59"	
2020	X3-X1-X4	1.54"	±0.32"	±0.51"	
2021	X3-X1-X2	1.81"	±0.19"	±0.65"	
2022	X3-X2-X5	1.67"	±0.15"	±0.63"	
2023	X3-X2-X5	2.16"	±0.14"	±0.62"	
限差		±3.5"	±0.7"	±0.7"	

观测边长经测距仪加常数、乘常数、周期误差，以及温度、气压、二差与倾斜改正后，统一归算至测区平均高程面118.3m，二等测距边长往返测较差均满足限差要求<sup>[9]</sup>。考虑到10条对边数据量较大，研究以X1-X3边为分析对象，历年边长观测计算成果如表3所示。

表3 历年边长观测计算统计

年份	边名	斜边/m	改正后斜边/m	改正后边长/m	投影后边长/m	改正前后斜边较差/mm	投影前后边长较差/mm
2019	X1-X3	1618.8581	1618.8489	1618.72593	1618.74804	9.2	-22.11
	X3-X1	1618.8421	1618.8497	1618.72669	1618.74881	-7.6	-22.12
2020	X1-X3	1618.8369	1618.8429	1618.71998	1618.74209	-6	-22.11
	X3-X1	1618.8453	1618.8475	1618.72416	1618.74628	-2.2	-22.12
2021	X1-X3	1618.8481	1618.8400	1618.71706	1618.73917	8.1	-22.11
	X3-X1	1618.8447	1618.8439	1618.72098	1618.74310	0.8	-22.12
2022	X1-X3	1618.8504	1618.8496	1618.72668	1618.74879	0.8	-22.11
	X3-X1	1618.8495	1618.8487	1618.72585	1618.74797	0.8	-22.12
2023	X1-X3	1618.8118	1618.8412	1618.71826	1618.74038	-29.4	-22.12
	X3-X1	1618.8201	1618.8467	1618.72382	1618.74594	-26.6	-22.12

由表3数据可知，对斜边进行加常数、乘常数及气象校正后，与未校正的斜边存在明显差异，差值最小为0.8mm，最大可达29.4mm；而在平距投影前后，边长的整体变化趋势基本一致。结果表明，各类校正措施对边长计算结果影响较大，在平面控制网边长观测与数据解算过程中，需严格保证加常数、乘常数、温度、湿度、气压及投影面高程等关键参数的准确性。

平面控制网以X1为坐标起算点，其中X1-X3边为

起算方位边，将边长在高程面 118.3m 处进行投影，并按照一点一方位的独立网进行数据处理。历年最弱点及最弱边精度统计如表 4 所示。

表4 历年最弱点及最弱边精度统计

年份	点名	最弱点点位误差			最弱边	最大边长比例误差
		$M_x/mm$	$M_y/mm$	$M_r/mm$		
2019	X5	1.42	1.03	1.75	X3-X4	1/695797
2020	X5	0.99	0.76	1.24	X3-X4	1/916559
2021	X5	1.37	1.23	1.84	X3-X4	1/699952
2022	X5	0.80	0.72	1.07	X3-X4	1/1202030
2023	X5	0.75	0.68	1.01	X3-X4	1/1278630
限差				$\pm 2.5$		1/250000

由表 4 可知，2019~2023 年，基点网复测结果显示，最弱点平面点位中误差最小为  $\pm 1.84mm$ ，优于平面点位中误差不超过  $\pm 2.5mm$  的精度要求；历年最弱边边长比例误差最大为 1/695797，均优于设计要求。

### 5.3 稳定性分析

为分析监测网各点坐标分量变化的原因，采用统一平差模型对平差结果进行对比分析。依据历年网点的观测点位精度，计算两期观测坐标分量变化的允许值，并以此为衡量指标，对网点稳定性进行初步判定。

$$\text{即: } \begin{aligned} dx &= x_2 - x_1 & dy &= y_2 - y_1 \\ m_{dx} &= \pm \sqrt{m_{x1}^2 + m_{x2}^2} & m_{dy} &= \pm \sqrt{m_{y1}^2 + m_{y2}^2} \end{aligned}$$

$$\text{得出: } \Delta_x \leq 2 \times m_{dx} = \pm 2 \times \sqrt{m_{x1}^2 + m_{x2}^2}$$

$$\text{同理, } \Delta_y \leq 2 \times m_{dy} = \pm 2 \times \sqrt{m_{y1}^2 + m_{y2}^2}$$

将两期成果同精度考虑时， $\Delta_x \leq 2\sqrt{2} \times m_x$   $\Delta_y \leq 2\sqrt{2} \times m_y$

公式中， $\Delta_x$ 、 $\Delta_y$  为两期观测坐标分量差值， $m_{dx}$ 、 $m_{dy}$  为两期观测坐标分量差值的中误差， $m_{x1}$ 、 $m_{y1}$  为前期观测成果坐标分量中误差， $m_{x2}$ 、 $m_{y2}$  为复测成果坐标分量中误差。

当点位各坐标分量变化值满足上述要求时，可认为坐标变化由监测网观测误差所致，反之，则可能是监测网点受外界因素影响而产生，需结合现场干扰因素综合判定。基于数理统计结果，检验起算点或基准点的稳定性，判断其他工作基点和测点的稳定性。

变形分析以两期观测成果为基础，分为两组进行计算：一组是首期观测成果与本期观测成果对比；另一组是上期观测成果与本期观测成果对比。两组计算采用相同的计算方法和参数<sup>[10]</sup>。

#### 5.3.1 平面起算点稳定性分析

为确保起算数据稳定可靠，需对起算点开展稳定性分析，采用起算点间边长对比分析法。根据往期监测报告及已有资料综合分析，起算点 X1、X3 较为稳定。历年起算边长变化如表 5 所示。

表5 历年起算边长变化

边名	2018年 边长/m	2019年 边长/m	2020年 边长/m	2021年 边长/m	2022年 边长/m	2023年 边长/m
X1-X3	1618.7443	1618.7484	1618.7442	1618.7411	1618.7484	1618.7432
边名	较18年 差值/mm	较19年 差值/mm	较20年 差值/mm	较21年 差值/mm	较22年 差值/mm	限差/mm
X1-X3	-1.1	-5.2	-1.0	2.1	-5.2	$\pm 8$

注：以 2 倍测距中误差为限差。

由表 5 可知，近 5 年来起算点边长变化均在限差内，因 X1-X3 为长边，受仪器测量精度影响，边长变化在限差内即视为基本稳定，因此控制点 X1、X3 基本稳定。以 X1 为起算点，以 X1-X3 方位角为固定方向进行平差较为可靠。

#### 5.3.2 平面控制点稳定性分析

经典平差工作完成后，需将平差结果与之前复测结果进行对比分析，筛选出坐标变化，全面分析监测网每个点的变化原因。要选择适宜的平差方法，最大限度消除误差影响，从而客观反映监测点的实际变化<sup>[11]</sup>。考虑原坐标涉密问题，所有坐标均经过脱密处理。本期坐标平差成果与往期成果对比如表 6 和表 7 所示。

表6 基准点坐标成果对比

点名	2023年坐标		2022年(相邻期)坐标		坐标分量差		位移量/mm
	X/m	Y/m	X/m	Y/m	$\Delta X/mm$	$\Delta Y/mm$	
X1	443929.51860	23458.27780	443929.5186	23458.2778	0.00	0.00	0.00
X2	444760.86443	23280.00527	444760.8688	23280.0051	-4.37	0.17	4.37
X3	445516.00874	23779.80752	445516.0141	23779.8086	-5.36	-1.08	5.47
X4	444894.00842	24175.83190	444894.0132	24175.8334	-4.78	-1.50	5.01
X5	443760.47639	24249.76095	443760.4788	24249.7653	-2.41	-4.35	4.97

表7 基准点坐标成果对比

点名	2023年坐标		2011年(首期)坐标		坐标分量差		位移量/mm
	X/m	Y/m	X/m	Y/m	$\Delta X/mm$	$\Delta Y/mm$	
X1	443929.51860	23458.27780	443929.5186	23458.2778	0.00	0.00	0.00
X2	444760.86443	23280.00527	444760.8622	23280.0085	2.23	-3.23	3.93
X3	445516.00874	23779.80752	445516.0048	23779.8068	3.94	0.72	4.01
X4	444894.00842	24175.83190	444893.9966	24175.8211	11.82	10.80	16.01
X5	443760.47639	24249.76095	443760.4699	24249.7511	6.49	9.85	11.80

注：以 2 倍设计的最弱点中误差 ( $\pm 5.0mm$ ) 作为位移量限差。

由表 6 和表 7 可知，与 2011 年初始结果相比，2023 年复测结果中，X4、X5 两点发生显著位移；2023 年与 2022 年观测结果基本一致。受理设基础条件影响，X4、X5 存在不同程度的点位变化；X1、X2、X3 地质基础稳定，历年复测结果均表明三点整体较为稳定，2023 年复测结果进一步验证了该结论，且与 2022 年结果基本一致。

综合分析可知，X1、X2、X3 已经趋于稳定，X4、X5 仍存在轻微变动，但年度变化量值已逐步减小。

## 6 结语

实践表明,测量机器人具备高度智能化和自动化水平,可有效解决外界环境对响水洞抽水蓄能电站大坝监测的干扰问题,在提高监测精度和工作效率的同时,降低作业难度和项目成本。通过对该电站基准网历年复测结果的分析可知,外业观测质量符合设计要求,精度可靠,满足电站基准网监测需求,可为同类抽水蓄能电站安全监测项目提供参考与借鉴。

### 参考文献

[1] 李湧.深基坑全站仪自动化监测系统设计研究[J].地矿测绘,2024,40(3):41-46.  
 [2] 陈昌耀.水电站控制网复测与点位稳定性分析[J].水利水电快报,2024,45(1):28-32.  
 [3] 张文雅.TCA2003测量机器人在水库大坝基准网测量中的应用[J].

地下水,2014,35(6):153-155.  
 [4] 王洪.TCA测量机器人在大坝变形监测中的应用[J].测绘与空间地理信息,2010,33(3):22-25.  
 [5] 虞世华,马江河.测量机器人在宝瓶河水电站大坝变形监测基准网中的应用[J].水利技术监督,2020,6:63-66.  
 [6] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.国家一、二等水准测量规范:GB/T 12897—2006[S].北京:中国标准出版社,2006.  
 [7] 中华人民共和国水利部.水利水电工程测量规范:SL 197—2013[S].北京:中国标准出版社,2013.  
 [8] 张浚,翟洁,张毅.十三陵抽水蓄能电站上水库变形监测控制网及复测成果分析[C]//中国水力发电工程学会电网调峰与抽水蓄能专业委员会2020年学术交流会,2020.  
 [9] 梁国.惠州中洞抽水蓄能电站施工控制网的建立设计与复测分析[J].广东水利水电,2023,4:89-93.  
 [10] 杜强.小湾大坝变形监测与分析研究[D].西安:长安大学,2015.  
 [11] 刘源,甄龙,余信江,等.泰安抽水蓄能电站变形监测数据处理分析[J].抽水蓄能电站工程建设文集,2020,48(7):69-73.

(上接第43页)

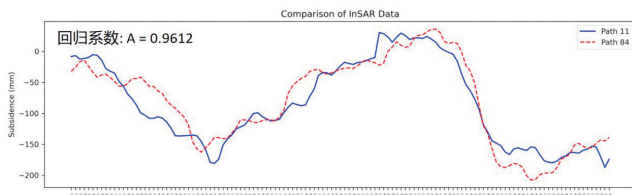


图6 Path11和Path84特征点累计沉降对比

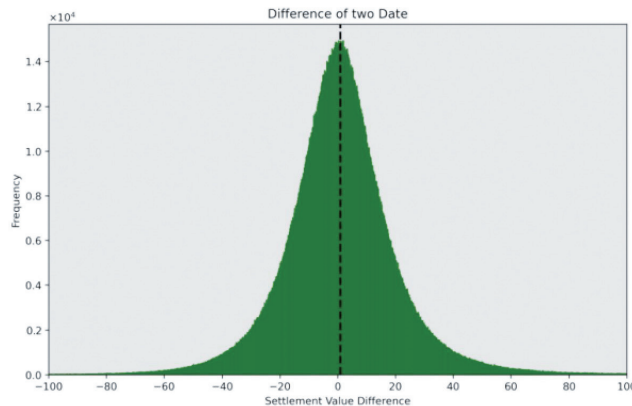


图7 Path11和Path84差值分布统计

## 5 结语

研究基于 Sentinel-1 卫星影像,采用 SBAS-InSAR 技术提取了 2022 年 1 月至 2025 年 2 月期间某煤矿地表形变信息并进行分析,得到以下结论:

(1) 该煤矿监测到 4 处沉降漏斗,分别位于矿区 1 号至 4 号开采工作面,在空间上与矿区工作面分布较为一致,最大沉降量达 214mm。(2) 研究区 1 号工

作面 2022 年 2 月 19 日至 2023 年 5 月 9 日地表沉降中心自东向西移动,2 号工作面 2022 年 11 月 22 日至 2023 年 12 月 11 日地表沉降中心自西向东移动,两处地表形变规律均与工作面回采时间、方向一致,表明 SBAS-InSAR 技术可用于确定地下开采导致的地表形变空间分布位置及影响范围,为矿山地面沉降等地质灾害预防提供参考。(3) 监测时间段内,Path11 和 Path84 监测结果沉降趋势几乎一致,两组数据形变监测结果回归系数为 0.9612,差值直方图总体呈正态分布,证明 InSAR 技术监测煤矿区地表沉降是可靠的。

### 参考文献

[1] 王国法,任世华,庞义辉,等.煤炭工业“十三五”发展成效与“双碳”目标实施路径[J].煤炭科学技术,2021,49(9):1-8.  
 [2] 袁亮.我国煤炭主体能源安全高质量发展的理论技术思考[J].中国科学院院刊,2023,38(1):11-22.  
 [3] 李振洪,朱武,余琛,等.雷达影像地表形变干涉测量的机遇、挑战与展望[J].测绘学报,2022,51(7):1485-1519.  
 [4] 李晶,朱武,张关龙,等.基于InSAR和热点分析技术的黄土高原地质灾害隐患识别[J].工程地质学报,2025,33(3):970-986.  
 [5] 许强,董秀军,李为乐.基于天-空-地一体化的重大地质灾害隐患早期识别与监测预警[J].武汉大学学报(信息科学版),2019,44(7):957-966.  
 [6] 张勤,赵超英,陈雪蓉.多源遥感地质灾害早期识别技术进展与发展趋势[J].测绘学报,2022,51(6):885-896.

# 基于激光扫描的邻近铁路滑坡体三维建模应用研究

刘炳

(广州市自然资源测绘有限公司, 广东 广州 510075)

**摘要:** 针对滑坡体危险性大、测量困难等问题, 以某高铁隧道口的滑坡体为研究对象, 采用 RiEGL VZ-2000i 三维激光扫描仪进行扫描测量, 获取滑坡体高密度点云成果及全景影像, 通过点云拼接、去噪及纹理贴附等, 构建滑坡体高质量三维模型; 利用实测检核点对三维模型精度进行分析评定, 验证了模型平面及高程中误差均满足要求, 可为滑坡土方量预估及施工加固提供准确可靠的基础数据, 保障铁路运营安全。

**关键词:** 三维激光扫描; 滑坡体; 扫描点云; 三维模型

## 1 引言

铁路作为国家重要的交通基础设施, 在促进区域经济发展和保障人民出行安全等方面具有重要作用, 尤其是山地丘陵地区, 有效提升了居民出行便捷性。但山地区域地形条件较为复杂, 铁路沿线普遍存在较多边坡, 一旦发生滑坡灾害, 会严重威胁铁路的运营安全<sup>[1]</sup>。因此, 需采用专业技术方法对铁路沿线、路基、隧道口等构筑物周边滑坡体进行灾害监测, 及时发现灾害隐患, 并进行针对性治理防护。滑坡体一般具有隐蔽性强、突发性高、破坏力大等特征, 多处于复杂地形区域, 传统基于全站仪、RTK 仪器设备的测量方法易受地形限制, 往往难以准确全面采集滑坡体基础数据<sup>[2]</sup>, 同时数据成果多为二维形式, 无法直观展示滑坡体形态特征。

近年来, 三维建模技术发展较快, 尤其是无人机倾斜摄影、三维激光扫描等技术日益成熟, 在保障三维模型精度质量的同时, 大幅降低了三维模型生产成本。无人机倾斜摄影测量具备高效、快速、灵活等优势, 在大范围滑坡体隐患点识别中具有较高适用性, 结合深度学习技术能够快速准确检测铁路沿线滑坡灾害隐患点<sup>[3]</sup>; 三维激光扫描技术具有高精度、高效率、非接触式测量等特征, 能迅速获取滑坡体的三维坐标及丰富纹理信息, 生成高精度三维模型, 直观、全面地展示滑坡体的形态特征<sup>[4]</sup>, 从而为滑坡体灾害评估、方案设计、施工治理等提供准确直观的基础数据, 助力灾害科学防控与风险预警。

以某高速铁路隧道出口处滑坡体加固项目为研究对象, 采用地面三维激光扫描测量系统进行滑坡体扫描测量, 快速获取滑坡体高密度点云数据, 通过点云

拼接、点云去噪、纹理贴附等处理, 构建高精度三维模型, 辅助技术人员进行滑坡灾害监测及稳定性分析, 保障高速铁路安全运行。

## 2 三维激光扫描测量

### 2.1 系统构成

三维激光扫描测量是一种通过主动发射激光并接收被测对象表面反射信号, 快速获取被测目标三维点云及纹理信息的非接触式测量技术方法, 具有高密度、高精度、全要素采集等技术优势<sup>[5]</sup>。地面三维激光扫描系统主要包括扫描头、控制器、计算机等核心模块, 如图 1 所示。

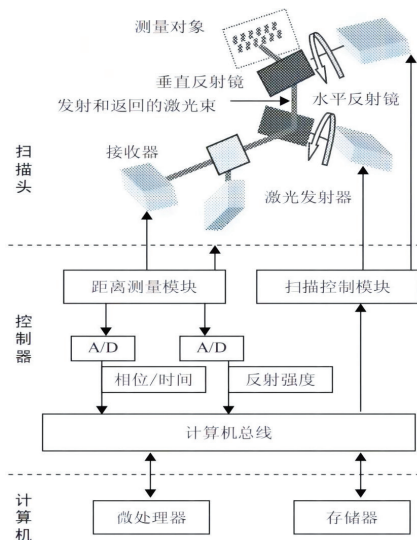


图1 地面三维激光扫描系统

图 1 中, 扫描头集成激光发射器、接收器等传感器, 负责向被测目标发射激光束并接收反射信息, 同时可集成全景相机, 获取被测目标真彩色影像, 便于后续纹理贴附; 控制器包含距离测量、扫描控制等模块,

**作者简介:** 刘炳 (1993—), 男, 汉族, 本科, 工程师, 主要从事工程测绘、规划、房产等工作。

控制扫描头按照设定参数进行旋转及激光发射，确保激光束能均匀覆盖被测区域；计算机负责处理接收到的反射信号，通过计算激光束的发射和接收时间差或相位差等信息，精确计算被测目标的三维坐标，并进行数据存储。

### 2.2 基本原理

三维激光扫描测量是以激光测距原理为基础，扫描仪通过发射激光脉冲并计算信号往返时间或相位差，获取目标点与扫描仪空间距离，公式如下：

$$S = \frac{1}{2} c \cdot \Delta t \quad (1)$$

公式(1)中， $\Delta t$ 为激光束传播时间差， $c$ 为光速。

扫描仪内置精密伺服电机驱动激光发射装置旋转，同步记录扫描仪横向及纵向扫描角度 $\alpha$ 、 $\beta$ ，再结合观测距离可推算目标点的三维坐标 $P(X_p, Y_p, Z_p)$ ，公式如下：

$$\begin{cases} X_p = S \times \cos \beta \times \cos \alpha \\ Y_p = S \times \cos \beta \times \sin \alpha \\ Z_p = S \times \sin \beta \end{cases} \quad (2)$$

## 3 项目应用研究

### 3.1 项目概况

研究的滑坡体位于高速铁路隧道出口位置，由于地质结构较为复杂，长期受雨水侵蚀和列车运行震动影响，导致山体出现不同程度的滑坡现象，严重威胁高速铁路运行安全。因此，项目采用RiEGL VZ-2000i三维激光扫描仪对滑坡体进行非接触扫描测量，获取滑坡体高密度、高精度三维点云数据，直观展示滑坡体形态特征，为后续灾害治理和防范提供科学依据。

RiEGL VZ-2000i三维激光扫描仪具有2500m超长测程，测距精度为5mm，结合1.2MHz激光频率和50万点/秒的数据采集能力，能快速完成大面积区域点云数据高精度采集；同时集成全波形雷达技术，支持多回波分析，在植被覆盖、沙尘或雾霾等干扰环境仍能穿透障碍物，获取真实地表数据<sup>[6]</sup>；然后利用高分辨率数码相机采集地物全景影像，为点云纹理贴附提供高质量影像资料。RiEGL VZ-2000i三维激光扫描仪基本参数如表1所示。

项目扫描测量过程中，要特别注意天气条件，确保在光照充足且风力较小时开展作业，最大程度减少外部环境对数据采集质量的影响。同时为保证数据采集的完整性，对滑坡体的各个角落和关键部位均进行了细致扫描和拍摄，确保不遗漏任何可能影响滑坡体

稳定性分析的关键信息。

表1 RiEGL VZ-2000i三维激光扫描仪基本参数

参数类别	参数名称	参数值
扫描特性	激光发射频率	1.2MHz (1200kHz)
	测距精度 / 重复精度	5mm (1 $\sigma$ ) / 3mm (1 $\sigma$ )
	最大测量距离	2500m (标准反射率目标)
	最小测量距离	1m
扫描特性	垂直视场角	100° (+60° 至 -40°)
	水平视场角	360°
	数据采集速率	500000点/秒
传感器与定位	定向传感器	内置三轴加速度计、陀螺仪、磁罗盘、气压计
	GNSS接收机	内置L1频段，支持GPS、GLONASS、北斗系统
	激光对中器	内部集成 (精度 $\pm 0.008^\circ$ )
	波形输出	可选数字化回波信息 (支持多目标识别)
数据处理	在线自动拼接	后台实时点云配准 (精度 $\pm 3$ mm)
	云数据存储	支持Amazon S3、FTP、Microsoft Azure

### 3.2 外业扫描测量

为降低外业工作量，提高扫描测量效率，项目依据现场实际情况预设扫描测站，精心选取视野较好、地质稳定区域作为扫描测站点，并采用高精度RTK采集扫描测站点三维坐标，通过已知点设站扫描形式进行外业扫描，迁站时无需再次布设控制标靶，通过两测站间重叠区域点云进行拼接配准，有效提升了滑坡体扫描测量效率。滑坡体外业扫描测量技术流程如图2所示。

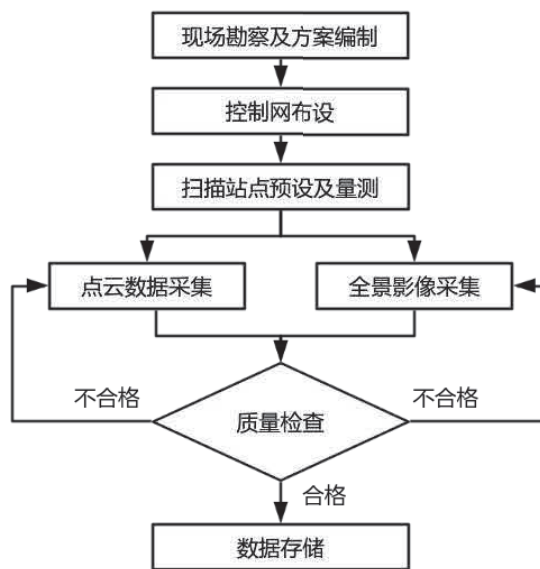


图2 滑坡体外业扫描测量技术流程

在充分考虑现场作业环境及滑坡体点云密度的前提下，项目共布设12个扫描测站点，各相邻扫描测站点点云重叠度均在40%以上，为后续点云拼接配准提供

了可靠保障。

### 3.3 扫描点云处理

外业扫描测量完成后，需对扫描点云进行内业处理，一般包括点云拼接、点云去噪、纹理贴附等流程，如图3所示。其中，点云拼接是利用相邻扫描测站间的公共点云将多个扫描测站点云成果进行拼接配准，形成滑坡体完整点云模型；由于滑坡体现场环境复杂，扫描点云成果中容易存在飞鸟、浮尘等非目标点云，同时受仪器设备、扫描环境等多因素影响，也存在一些误差较大的点云及噪点，需进行滤波处理，提高点云整体质量；纹理贴附则是利用高分辨率相机获取的全景影像，提取丰富纹理信息，映射到点云模型中，进一步提高三维激光扫描成果的可读性。

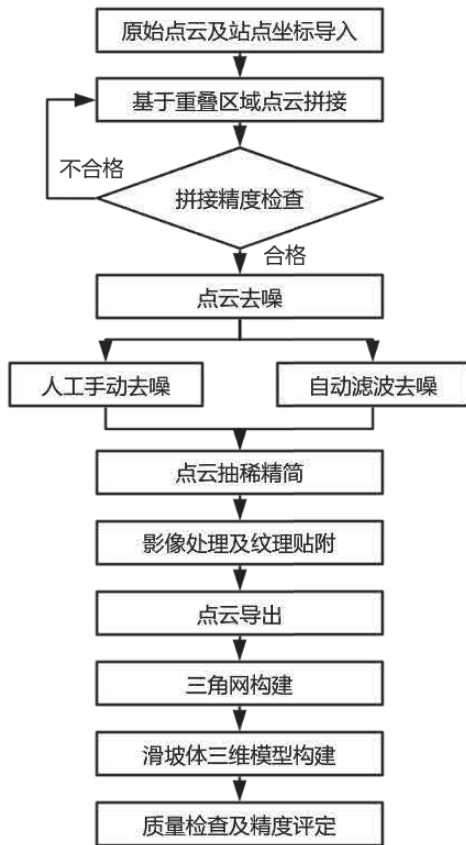


图3 三维激光扫描点云处理流程

#### 3.3.1 点云拼接

项目采用两扫描测站间重叠区域点云进行点云拼接配准，本质是以两个点云集合间重叠区域点云为基础，通过视图平移、旋转等变换，将重叠区域完全重合，从而实现点云拼接配准。现阶段多采用迭代最近点 (Iterative Closest Point, ICP) 算法进行两点云集合拼接，以最小二乘原理为基础，计算变换关系，通过不断迭代使最近点误差之和最小<sup>[7]</sup>，确保拼接结

果的准确性，具体步骤如下：

(1) 分别在待配准点云集合  $P$ 、 $Q$  中选取点云  $p_i$  ( $p_i \in P$ ) 以及与  $p_i$  重合的点云  $q_i$  ( $q_i \in Q$ )，令  $\|q_i - p_i\| = \min$ ;

(2) 构建同名点对，然后利用多个同名点对计算变换关系，即旋转、平移矩阵  $[R|t]$ ;

(3) 利用  $[R|t]$  对  $p_i$  进行变换处理，获取变换后点云集合  $p_i' = Rp_i + t$ ,  $p_i \in p$ ;

(4) 计算与  $q_i$  之间距离均值  $d = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \|q_i - p_i'\|^2$ ，并设定距离阈值  $\varepsilon$  及最大迭代次数;

(5) 若  $d < \varepsilon$  或达到最大迭代次数，停止迭代运算，完成点云拼接配准；否则返回步骤 (2) 进行重复迭代计算，直至满足收敛条件。

#### 3.3.2 点云去噪

由于环境因素、设备精度以及扫描中的各种干扰，扫描得到的点云数据往往包含大量噪声点，不仅增加后续点云处理的工作量，还对滑坡体三维模型的精度产生较大影响，因此需要进行点云去噪处理。点云去噪方法比较多，较为常用的有统计分析、自动滤波及人工手动删除等。项目利用 RiSCAN PRO 软件对拼接配准后的点云成果进行去噪处理，首先手动删除人员走动、悬浮物等显著噪点，然后采用中值滤波方法对人工难以区分的噪点进行过滤，剔除因设备误差、环境因素等导致的异常点或噪声点，提高滑坡体点云成果质量。

#### 3.3.3 纹理贴附及三维建模

为获取滑坡体表面纹理信息，项目采用三维激光扫描仪搭载的高分辨率相机自动采集滑坡体影像数据，每扫描测站均采集了 18 张影像，剔除质量较差影像，然后对质量较高的影像进行预处理，调整对比度、曝光度、饱和度等，确保滑坡体影像清晰度及准确性。影像预处理完成后，即可进行纹理贴附处理，通过计算点云模型与滑坡体影像间的配准关系，计算点云每个点在纹理图像上对应的纹理坐标，但由于点云数据具有离散性，纹理映射过程中容易出现个别点云无法与影像像素点匹配现象，需通过插值算法来计算点云纹理值，然后将纹理值赋给对应点云，完成纹理贴附。纹理贴附完成后，需对贴附成果完整性、连续性和准确性等进行检查和评估，确保纹理贴附的质量符合项目要求。

滑坡体扫描点云真实纹理贴附完成后，即可进行三维模型构建，通过点云封装构建三角网格，通过点

云数据的空间位置关系，构建滑坡体基本三维框架；根据纹理信息对三维框架进行细化，进一步提升滑坡体三维模型的几何精度和纹理质量，确保模型能够准确反映滑坡体真实情况。项目构建的滑坡体三维模型如图4所示。



图4 滑坡体三维模型

### 3.4 精度评定

滑坡体三维模型是滑坡安全治理的基础数据，精度较高。项目在滑坡体范围内布设了50个检核点，采用测角精度为0.5"的Leica TM50智能全站仪进行实地测量，获取检核点高精度三维坐标，对基于三维激光扫描测量构建的滑坡体三维模型精度进行综合评定，计算三维模型成果中误差，公式如下：

$$\begin{cases} m_x = \pm \sqrt{\frac{[\Delta_x \Delta_x]}{n}} \\ m_y = \pm \sqrt{\frac{[\Delta_y \Delta_y]}{n}} \\ m_z = \pm \sqrt{\frac{[\Delta_z \Delta_z]}{n}} \\ m_s = \pm \sqrt{m_x^2 + m_y^2} \end{cases} \quad (3)$$

公式(3)中， $m_x$ 、 $m_y$ 、 $m_z$ 为滑坡体三维模型X、Y、Z方向中误差， $m_s$ 为滑坡体三维模型平面中误差， $\Delta$ 为真误差， $n$ 为检核点数量。

在滑坡体三维模型中提取与检核点对应点三维坐标，与实测三维坐标进行对比分析，平面及高程坐标较差统计分别如表2和表3所示。

表2 滑坡体三维模型平面精度评定

较差区间	$\Delta \leq 1\text{cm}$	$1\text{cm} < \Delta \leq 3\text{cm}$	$3\text{cm} < \Delta \leq 5\text{cm}$	$\Delta > 5\text{cm}$	平面中误差/cm	允许限差/cm
检核点数量	6	15	27	2	4.52	$\pm 5.0$
占比	12%	30%	54%	4%		

表3 滑坡体三维模型高程精度评定

较差区间	$\Delta \leq 2\text{cm}$	$2\text{cm} < \Delta \leq 5\text{cm}$	$5\text{cm} < \Delta \leq 10\text{cm}$	$\Delta > 10\text{cm}$	高程中误差/cm	允许限差/cm
检核点数量	2	12	32	4	6.74	$\pm 10.0$
占比	4%	24%	64%	8%		

由表2和表3可知，项目采用RiEGL VZ-2000i三维激光扫描仪构建的滑坡体三维模型平面中误差为4.52cm，平面坐标较差普遍分布在3cm~5cm区间，仅有2个检核点超过允许限差要求；高程中误差为6.74cm，高程坐标较差普遍分布在5cm~10cm区间，仅有4个检核点超过允许限差要求。

结果表明，项目生产的滑坡体三维模型精度满足滑坡安全治理基础数据要求，可为后续滑坡土方量预估及施工加固提供准确可靠的底数据，有效辅助技术人员进行防护方案设计。

## 4 结语

以某高速铁路隧道口滑坡体加固项目为研究对象，采用RiEGL VZ-2000i三维激光扫描仪进行高密度点云采集，通过拼接配准、滤波去噪、纹理贴附等处理，构建贴合实际的滑坡体三维模型，并利用实测检核点进行精度评定。结果表明，三维模型平面及高程中误差分别为4.52cm、6.74cm，精度较高，完全满足滑坡安全治理基础数据要求，有效验证了三维激光扫描在滑坡体基础数据采集生产中的实用性与可靠性，为滑坡土方量预估及施工加固等提供了准确可靠的可视化数据支撑。

## 参考文献

- [1] 邹芳,袁振江.铁路边坡地质灾害监测系统建设方案研究[J].铁路通信信号工程技术,2024,21(8):52-58.
- [2] 林益新.三维激光扫描技术在滑坡变形监测中的应用[J].经纬天地,2022(6):19-21,26.
- [3] 陈宇,高攀.三维激光扫描技术在滑坡灾害监测中的应用[J].中国高新科技,2024(2):138-139,142.
- [4] 付晨,张新伟,丁桂伶,等.三维激光扫描与倾斜摄影测量的滑坡隐患点三维建模[J].测绘与空间地理信息,2023,46(11):180-182,189.
- [5] 王德军,万田宝,孙晓东,等.基于三维激光扫描的植被覆盖边坡监测[J].测绘通报,2023(12):112-115.
- [6] 邓钟尉,张鹏.基于三维激光扫描的高陡边坡勘查与支护设计[J].路基工程,2024(2):123-130.
- [7] 杨斌,庞正辉,王伟,等.三维激光扫描技术在岩质边坡变形监测中的应用分析[J].测绘技术装备,2024,26(1):187-192.

# 依托多源时空数据的博物馆空间分布特征及可达性分析

周志诚

(马鞍山市自然资源和规划局慈湖高新区分局慈湖高新区自然资源和规划管理所, 安徽 马鞍山 243000)

**摘要:** 博物馆是精神文明、物质文明传承的重要载体, 是传播历史与文化精神的助推器。分析博物馆的空间分布可评估是否覆盖对应人群及判断是否合理, 以南京市为研究区域, 依托兴趣点数据、交通路网数据, 利用 GIS 空间分析方法, 从核密度分析、可达性分析进行探索, 剖析了南京市 2011~2021 年博物馆的空间分布特征及可达性变化。结果表明: (1) 2011~2021 年, 全市博物馆总数量增加 36 个, 其中玄武区增加 11 个, 秦淮区增加 8 个; (2) 从核密度分析角度看, 空间上博物馆总体呈现核心高密度聚集, 其他区则呈现分散布置特征, 时间上高密度组团的面积和范围越来越大; (3) 南京市全域博物馆总体可达性水平良好, 在 2021 年超过 62% 的区域能在 30min 内到达附近博物馆, 整体水平呈现核心高、边缘低的态势。

**关键词:** GIS 空间分析; 空间分布; 交通可达性分析; 多源时空数据

## 1 引言

博物馆是城市必不可少的公共文化设施, 可体现政府对保护历史文化遗产的重视程度<sup>[1]</sup>。习近平总书记明确指出, 博物馆是保护和传承人类文明的重要场所, 搞历史博物展览, 为的是见证历史、以史鉴今、启迪后人, 要求“守护好、传承好、展示好”中华文明优秀成果。博物馆的空间布局在一定程度上体现了城市公共文化设施布局, 因而, 研究博物馆空间分布特征能为城市公共文化设施的合理布局、优化完善提供决策支持。业内专家主要从三方面对博物馆展开研究: 一是将博物馆作为公共文化设施的一部分, 对空间分布特征或影响因素进行研究, 如全国博物馆、重点地区的博物馆等<sup>[1]</sup>; 二是将博物馆作为一种旅游资源, 研究其在旅游中的作用<sup>[2]</sup>; 三是将博物馆看作一个实体或机构, 对其选址及影响进行研究<sup>[3]</sup>。除研究对象角度不同, 也有专家对博物馆的研究方法和内容进行探索, 如博物馆的时空格局演变<sup>[4]</sup>、博物馆的 PM2.5 分布影响<sup>[5]</sup>、博物馆的演变成因<sup>[6]</sup>等。这些研究往往只单一考虑博物馆的影响, 而没有从人的角度考虑, 如到达博物馆的时间、覆盖的人群数等。

基础设施建设往往需要考虑人的因素, 为量化评估交通成本(可达性所消耗时间成本), 通常可从时间、距离、运输(乘坐)方面考虑<sup>[7]</sup>。国内外专家对于交通可达性的研究仍集中于可达性的空间格局、

综合性评价及相关影响, 涉及高速道路等<sup>[8]</sup>, 且主要侧重于理论实践, 对数据源精确程度的研究不多。

为进一步分析博物馆的空间分布特征及可达性程度, 选择南京市为研究区, 通过搜集 2011~2021 年全市博物馆的兴趣点数据、交通路网数据、统计数据及其他基础地理信息数据, 利用 GIS 空间分析方法, 从核密度分析、可达性分析等角度探析空间分布特征, 旨在为南京市的博物馆布局优化提供决策支持。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 研究区概况与数据来源

南京市位于江苏省的西南部、长江下游, 地处 118° 22' E~119° 14' E, 31° 14' N~32° 37' N, 东西最大横截距离约 70km, 南北最大纵距约 150km, 市域平面南北狭长、东西较窄, 面积约 6587.04km<sup>2</sup>; 下辖玄武、秦淮、鼓楼、建邺、浦口、栖霞、雨花台、江宁、六合、溧水、高淳等 11 个市辖区。研究搜集了兴趣点、基础地理信息、统计年鉴等数据, 具体如下表 1 所示。

表1 数据来源

序号	数据	格式	来源
1	统计数据	统计数据	.xls格式 南京市统计局(多年份)
2	基础地理信息数据	行政区划数据 道路矢量数据 (2021年)	.gdb格式 .gdb格式 地理国情监测数据
3	兴趣点数据	博物馆兴趣点数据 (2011年、2016年、2021年)	.gdb格式

**作者简介:** 周志诚(1997—), 男, 汉族, 本科, 助理工程师, 主要从事地理信息工程。

## 2.2 研究方法

### 2.2.1 核密度分析方法

核密度分析方法，即通过计算各要素（Point 点或 Polyline 线）在周边邻域的具体密度，分析出各要素在空间上的具体分布特征，因而，一般采用计算要素在单位面积上的具体量值来拟合为连续分布的密度栅格数据，以进一步分析各类要素的具体空间分布（格局）规律，具体计算公式如下：

$$P(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n k\left(\frac{|x-x_i|}{h}\right)$$

公式中，空间位置  $x$  处的核密度计算函数用  $P(x)$  表示， $h$  表示距离衰减的阈值， $n$  用于统计与空间位置  $x$  的距离符合阈值  $h$  的要素数量， $k$  表示空间权重函数，即随距离空间位置  $x$  越远越小，直至降为 0。

### 2.2.2 可达性分析方法

可达性是从空间维度引申的概念，用于测度空间实体进行跨距离交流的难易程度，与空间尺度、空间相互作用等紧密关联<sup>[9]</sup>。研究利用软件网络分析模块的服务区分析功能，即通过计算研究区矢量数据网络，结合博物院的具体地理位置和道路长度，划定博物院的服务范围，从而分析出博物院的可达性。

首先，整理研究区的道路网络，构建道路网络数据集，计算网络数据集中的道路实际长度作为路长；其次，根据道路分级，分别进行理想情况下赋值，即设置高速及快速路为 100km/h，城市主干道 60km/h，城市次干道 40km/h，城市支路 30km/h，内部道路 20km/h；最后，利用路程与各道路类型的速度求解所需时间，具体计算公式如下：

$$T = \left(\frac{l}{v}\right) * 60$$

其中，道路长度用  $l$  表示，各道路类型的理想速度用  $v$  表示，具体所需时间则用  $T$  表示。

研究首先搜集研究区数据，然后对 2011~2021 年博物馆数据进行清洗、空间序化，结合行政区划数据进行整理，最后依托核密度分析、可达性分析进行具体的特征分析。研究路线如图 1 所示。

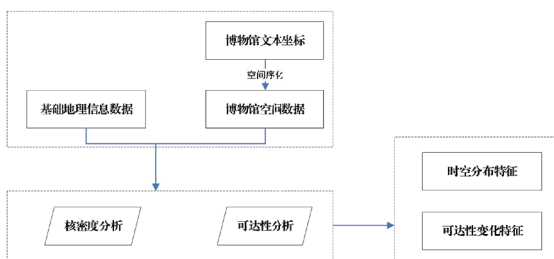


图1 研究路线

## 3 成果分析

### 3.1 空间分布统计

#### 3.1.1 空间统计

对搜集的数据进行统计可知，2011 年南京市博物馆总数 27 个，2016 年博物馆总数增长为 48 个，2021 年博物馆总数增长为 63 个。

从区县统计情况看，2011 年博物馆数量最多的为玄武区，其次为秦淮区，分别为 9 个、7 个，鼓楼区博物馆数量为 5 个，说明这三个区具有充分的自然、历史文化资源，吸引了越来越多的人口聚集，而建邺和雨花台区没有博物馆。2016 年博物馆数量最多的仍是玄武区，达到 15 个；其次为秦淮区，增加 2 个，总数达到 9 个；江宁区则增加 6 个，总数达到 7 个，增幅为所有区县中最高。2021 年，玄武区、秦淮区分别为 20 个、15 个，占比超过全市总数的 50%，排在全市区县前两位，栖霞区、浦口区、溧水区、建邺区等 4 区仍只有 1 个。南京市博物馆分区数量统计如图 2 所示。

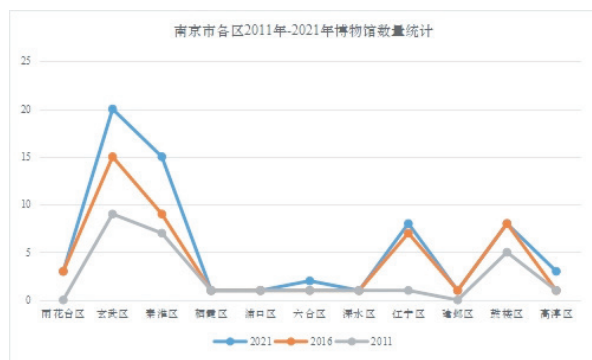


图2 南京市博物馆分区数量统计

#### 3.1.2 核密度分析

利用 ArcGIS 核密度分析工具分析南京市博物馆的核密度具体结果，博物馆的总体分布呈现核心高密度聚集，其他区县则相对呈现分散布置的特征。

从空间分布来看，南京市各区县的博物馆数量与集聚程度差异较大，博物馆高密度区主要集中在玄武区、秦淮区，次密度区主要集中于鼓楼区，其余区县分布相对较为零散。玄武区、秦淮区、鼓楼区作为南京主城区，拥有较多历史文化资源，特别是囊括生活艺术、文物、民俗等主题的长江路博物馆集群聚落，共汇集 15 座博物馆，从侧面反映了“一条长江路、半部金陵史”的文化内涵。除享誉盛名的南京博物院、六朝博物馆，还有红色文化载体梅园新村纪念馆、商业中心的德基美术馆、高校内的东南大学校史馆等，均坐落于玄武区。总体而言，南京主城区博物馆分布

密度较高,随着与老城区距离的增加,集聚程度逐步降低,在一定程度上反映了城市的资源积累与历史积淀,也体现了研究周期内南京城市发展的重点与方向。

从时间演变看,南京市博物馆高密度组团的面积和范围越来越大,特别是以玄武区、秦淮区为中心,逐渐带动周边城区新建博物馆,不仅数量有所增长,空间分布也更为密集、覆盖范围更广。而与主城区高密度组团相比,高淳、溧水区的博物馆集聚程度尚不明显,但数量同样呈明显上升趋势。

### 3.2 空间可达性分析

研究通过利用空间分析工具,求解南京市各博物馆可达时间内的服务范围,理想化假定道路条件未发生明显变化。研究分别对2011年、2016年、2021年的博物馆空间位置进行空间可达性计算与分析。结果表明,南京市博物馆整体可达性水平良好,2021年已有超过62%的区域可在30min内到达附近博物馆,空间分布整体呈现核心高、边缘低态势。

2011年到2021年,玄武区博物馆可达性变化较为显著,全区覆盖时间从25min缩短到14min,2021年列入名录的博物馆数量有20个,为全市最多。秦淮区博物馆可达性次之,全区覆盖时间从2011年的30min缩短到2021年的22min。建邺区和雨花台区在2011年尚无博物馆列入名录,因此,可达性变化幅度较大,2021年建邺区博物馆可达性为32min,雨花台区博物馆可达性为26min。南京市各区博物馆可达性的变化趋势与核密度分析结果表现一致,博物馆数量增加一方面体现了人民群众对传统文化的需求日益增长,另一方面也折射出政府对文化基础设施建设的加强,以及南京市政府经济发展的重心所在。

从分析结果看,南京市博物馆建设与发展水平稳步提升,博物馆已成为民众切身感受南京历史文化底蕴的重要窗口之一。未来,一方面,应聚力打造创新文化品牌,整合长江路、钟山风景区等博物馆群落进行集中展示,以创新带传统、以大馆带小馆的方式,塑造新的南京特色文化品牌;另一方面,应聚焦孵化“新类型”博物馆,在现有的昆虫博物馆、抗日战争博物馆、药学博物馆、指纹博物馆、货币博物馆等基础上,进一步梳理蜜蜂文化、盐水鸭文化等展馆,充分挖掘现有资源和优势,着力打造一批类型多样、特色鲜明的新型博物馆,为南京“博物馆之城”建设夯实基础,让市民与游客更好地感知南京厚重的历史积淀和独特的人文魅力。

## 4 结语

为更好地剖析南京市博物馆空间分布特征及相关可达性程度,研究搜集了2011~2021年南京市列入名录的博物馆数据及交通路网数据,依托GIS空间分析方法,从核密度分析、可达性分析等角度进行特征挖掘。研究结果如下:

(1) 2011~2021年,南京市博物馆总数增加63个,增幅达233%,其中玄武区增加11个,秦淮区增加8个,相较2011年增幅均超过100%。

(2) 从核密度分析角度看,在空间上,南京市博物馆总体呈现核心高密度聚集,其他区则呈现分散布置特征,特别是玄武区博物馆集聚较为明显;时间上,高密度组团的面积与范围越来越大,这与博物馆数量增加、辐射范围扩大相一致。

(3) 南京市博物馆整体可达性水平良好,2021年超过62%的区域可在30min内到达附近博物馆,整体水平呈核心高、边缘低态势。2011年到2021年,玄武区博物馆可达性变化较为明显,从25min到14min可以覆盖全区。2021年建邺区的博物馆可达性为32min,雨花台区的博物馆可达性为26min。

2011~2021年南京市博物馆的空间分布特征及空间可达性分析结果,能为南京市城市更新、国土空间治理、历史文化普及提供重要的基础地理信息支撑。

### 参考文献

- [1] 马会丽,王宏志,李细归,等.中国博物馆空间分布特征的多尺度分析[J].人文地理,2017,32(6):8-11.
- [2] 韩瑛,贾林雨,张成莉,等.山西省古建筑文化旅游资源空间分布特征及影响因素研究[J].干旱区资源与环境,2021,35(1):7-11.
- [3] 胡珂,莫多闻,毛龙江,等.无定河流域全新世中期人类聚落选址的空间分析及地貌环境意义[J].地理科学,2011,2(4):34-39.
- [4] 庄良,田娜,赵彪.上海市博物馆时空演变特征及其影响因素[J].热带地理,2020,40(3):539-550.
- [5] 李华,胡塔峰,高原,等.秦兵马俑博物馆陶器库内夏季PM2.5的分布特征及来源[J].地球环境学报,2012,3(5):6-13.
- [6] 刘海龙,刘美彤,呼旭红,等.中国博物馆时空演变特征及成因分析[J].热带地理,2023,11(3):1-6.
- [7] 张莉,陆玉麒.基于陆路交通网的区域可达性评价:以长江三角洲为例[J].地理学报,2006(12):1235-1246.
- [8] 孟田田,张晶.北京城区就医可达性评价及空间特征分析[J].地理空间信息,2017,15(3):62-65.
- [9] 翟石艳,何新新,孔云峰,等.基于最优供需分配的公共设施空间可达性分析[J].地理学报,2022,77(4):11-17.

# 在战火硝烟中诞生的测绘学校

◎ 郭群长

解放战争时期，在战火硝烟中诞生的东北民主联军总司令部测绘学校，一面抓紧培养测绘人才，一面突击制印军用地图，为夺取解放战争胜利、建立中华人民共和国作出了历史性贡献。2026年，值东北民主联军测绘学校创办80周年之际，特撰此文以作纪念。

## “打仗离不开地图，测制地图就得有测绘人才”

抗日战争胜利后，根据中共中央“向北发展，向南防御”的战略部署，中央军委迅速从各战略区抽调10万大军进军东北，成立了东北人民自治军（1946年1月改称东北民主联军），执行创建东北根据地的战略任务。

东北人民自治军成立时，既要反击国民党军的进攻，又要清剿东北各地匪患，迫切需要各种军用地图。初期，东北人民自治军总司令部找来几个日本人绘制地图，也向战后暂留东北的苏军指挥部借地图，但仍无法满足作战需要。此时，中央军委下达在各战略区组建各类军事学校的指示，作战处副处长石敬平向东北民主联军副政委罗荣桓建议：创办测绘学校，自主培养测绘人才、制印地图，以解决用图急需。罗荣桓很快批准了这一建议。

1946年5月5日，东北民主联军总司令部测绘学校（对内称“地图科”）在长春正式成立。学校成立后，从部队抽调一批具有初中文

化的年轻干部和战士，并在地方招收青年学生，共121人编为学员队。5月下旬，四平失守，长春告急，6月初学校迁往哈尔滨。8月1日，学校在哈尔滨正式举行开学典礼，东北民主联军参谋长刘亚楼指出：“测绘学校是在战争年代诞生，为战争服务的。人民军队为人民打仗，打仗离不开地图，测制地图就得有测绘人才。我们要以最大努力培养出自己的人才，满足作战需要。”

测绘学校创办后，中共中央东北局和东北民主联军领导给予极大支持。当时，东北局宣传部拟抽调测绘学校的印刷设备和人员印刷宣传画报。对此，罗荣桓指示：“没有地图打不好仗，宣传什么？印地图，暂不印画报。”测绘学校成立后经费紧张，东北局书记兼东北民主联军政委彭真指示财经委书记李富春划拨办学经费。

学校成立之初，就牢固确立“直接为解放战争服务，最大限度满足作战部队测绘保障急需”的办学方针，在短时间内培养了一批部队急需的测绘专业人才，成为解放战争时期一支重要的测绘保障力量。

## “部队打到哪里，我们就印哪里 的地图”

测绘学校成立后，就提出“部队打到哪里，我们就印哪里”的战斗口号。当前方部队急需地图时，就组织学员昼夜突击制印，全力保障部队作战用图。

1946年9月，测绘学校迁往环境相对安定的黑龙江勃利县，开展测绘训练工作。此时，国民党军调集8个师的兵力，分三路进攻南满根据地，企图将南满地区的东北民主联军部队歼灭于安东地区。南满军区司令员兼政委肖华将敌军诱入通化以西的新开岭地区，将其歼灭。接到制图任务后，测绘学校迅速组织学员，突击翻印作战区域的1:5万地形图，为南满军区部队取得新开岭战役、歼敌一个师的胜利提供了精准的地图保障。

1946年12月，国民党军调集10万兵力，向吉林省临江地区的东北民主联军部队发起进攻。测绘学校组织学员昼夜突击作业，制印了该地区1:5万地形图，并标绘作战要图，提供给西满、东满、南满军区参战部队，有力保障了“三下江南四保临江”战役的实施，为歼敌4万余人、夺取十余座县城作出了贡献。

1947年夏，为彻底扭转东北战局，打通南满、北满两个解放区的联系，策应关内解放军作战，经中央军委批准，东北民主联军相继发起夏、秋、冬三次攻势。在夏季攻势中，联军部队围攻四平市，急需该市防卫图和街区图。总司令部派人乘飞机将有关资料送到测绘学校，要求两天内完成地图制印。测绘学校迅速组织骨干力量，连续奋战20小时成功完成任务，及时将地图送交总司令部，切实保障了前

线作战用图需求。

1948年1月，东北民主联军测绘学校更名为东北军区测绘学校。同年2月，为做好辽沈战役战前准备，东北军区司令部指示测绘学校尽快制印该地区1:5万地形图。接到任务后，副校长蒲锡文带队四处采购制印地图所需纸张和各种材料，抽调绘图技术骨干学员组建制图区队，于4月初启动制印工作，连续奋战5个月，圆满完成地图制印任务。

1949年1月，东北野战军正式更名为第四野战军。为保障野战军主力南下作战，东北军区司令部向测绘学校下达任务：制印冀、豫、鄂、湘、粤等10个省1100余幅1:5万地形图。这批地图数量多，时间紧、任务重。为确保按期完成，测绘学校改良制印设备，提高制印速度。1月下旬开工后，全体制印人员不分昼夜、加班加点，地图完成一批便向前线运送一批，保障了第四野战军南下作战的用图需要。

据不完全统计，从1946年到1949年中华人民共和国成立，测绘学校依靠简陋的制印设备，组织学员制印各种军用地图共400多万份，印图消耗的纸张达3200余吨。

### “前方需要什么样的人才，我们就培养什么样的测绘人才”

测绘学校成立后，便确立“前方需要什么样的人才，我们就培养什么样的测绘人才”的教育原则。课程设置上，除开设大地测量、地图制图等测绘基础课外，还重点突出识图用图、地图绘制、要图标绘和简易测图等实用内容，加速培养部队作战急需的测绘保障人才。

在战争年代，学校教学器材缺乏，办学条件艰苦，学员文化程度



▲ 1947年秋，测绘学校学员在驻地进行小平板仪测图实习

也参差不齐。针对实际情况，测绘学校紧扣实用教学内容，采用灵活高效的教学方法。讲授地图绘制课，从各类字体书写、地物地貌符号绘制，到小块地图编绘，再到整幅地图制作循序渐进；野外实习则重点开展地形略图测绘、行军路线图和部队宿营图绘制。同时，加强地图缩放、战术标图和简易沙盘堆制等测绘保障技能训练。

当前方作战急需地图时，测绘学校便迅速组织学员，投入紧张的地图制印工作。1948年2月，为保障东北境内的最后决战，部队急需东北地区1:5万地形图。测绘学校从部队选调220名学员，组成两个制图训练队，边学习边作业，保障了作战部队用图需要。1949年1月，为制印第四野战军主力南下作战所需的10个省份地图，测绘学校对150名在校学员及从辽南军区调来的78名学员开展突击培训，历时半年多顺利完成地图制印任务，保证了部队南下作战用图。

当部队急需测绘保障人员时，

测绘学校便及时输送学员。1947年，东北民主联军发起夏、秋、冬三季攻势，急需加强战地测绘保障力量。自5月起，测绘学校陆续将121名学员分配到部队担任测绘员。1948年9月，辽沈战役发起总攻前，为强化作战测绘保障，测绘学校又派出116名学员补充至各部队。1949年1月，平津战役胜利后，测绘学校先后抽调112人，随第四野战军南下执行战地测绘保障任务。

从1946年建校到1949年中华人民共和国成立，该校共招收学员869人，毕业299人。这些毕业学员均成为解放战争时期测绘保障的骨干力量。

1949年12月，东北民主联军测绘学校改编为解放军测绘学校，1953年7月更名为解放军测绘学院，同年11月从沈阳迁至北京。此后，这所学校成为培养全军测绘专业人才的摇篮，为中华人民共和国国防和军队建设作出了重要贡献。☐（作者系61206部队退休高级工程师）

# 马年用好“千里马”

◎ 陈鲁民



欣逢马年，行行业业万马奔腾，人人渴望马到成功，千军万马都在拼搏事业，开疆拓土。那些“千里马”，更是一马当先，腾云驾雾，风驰电掣，势不可挡，成为不同领域的领军人物，发挥了重要作用。

“得人才者得天下”，如何用好“千里马”，在人才竞争中赢得先机，拔得头彩，为发展奠定雄厚的人才基础，无疑是马年的重头戏。

用好“千里马”有三部曲，环环相扣，缺一不可。识才是第一步，体现的是魄力与见识。在人才问题上首先要有魄力，既要有超前的意识、敏锐的眼光、开阔的胸襟，还要有敢于担当的精神、不怕负责任的态度，做到谋事在先，动作要快，格局要大，措施要实。其次，要有见识，头脑清醒，方寸不乱，不追风起哄。要明白人才不能乱请，要给需要的人才准确定位，知道急需哪种人才，目标明确，按图索骥，有的放矢。人才分高中低三类，并不是学历越高、职称越高、名头越大就越好，关键要适合自己，来了就要用得上，以避免大材小用或小

材大用的尴尬局面。因而，招揽人才一定要从实际出发，所在省市处于经济发展的哪个阶段，薄弱环节和发展方向是什么，最需哪类人才，都要心里有数，绝不能眉毛胡子一把抓，捡到筐里都是菜。

会养“千里马”是第二步，体现的是襟怀与肚量。昔日，春秋战国四大君子争相养士，招徕各路人才，其中孟尝君养士三千。这些人要吃要喝要过日子，还一个个脾气挺大，动不动就撂挑子，可孟尝君始终小心翼翼养着他们，这些人才也没辜负他，或薛地市恩，或鸡鸣狗盗，都在关键时刻帮了大忙。而今，养人才的意义也不可小觑。人才辛辛苦苦请来了，原先许诺的条件就要兑现，不能打折扣，不能缩水，不能口惠而实不至。要养好人才，就要以待遇养人，以事业养人，以情感养人。具体来说，工资收入要合情合理，住房要有相应保障，生活要十分便捷；在工作中能使上劲儿，发挥才干，价值得到充分体现；领导对人才要问寒问暖，排忧解难，有浓浓的人情味，使他们处

处感到温暖，觉得自己来对了地方，值得在这里大干一场。

善用“千里马”是第三步，也是最关键的，体现的是智慧与水平。当年，殷纣王手下有很多人才，微子、箕子、比干皆是人中龙凤、治国大材，但他皆不用，还逼得死的死、逃的逃、疯的疯，最后没有逃脱亡国命运。韩信、陈平，原来都是项羽手下的人才，未得重用，后来跑到刘邦那边，成了刘邦与项羽争夺天下的得力助手。今天亦如此，“千里马”辛辛苦苦请来了，花钱费力养得也不错，下一步就要把人才用好，做到物尽其用，人尽其才。

要用好“千里马”，首先要知人善任。千里马拉磨不如驴，犁地不如牛，人才就是用对地方的人，因而伯乐要用人之长，避人之短；其次要搭台子，平场子，蹚路子，配班子，让英雄有用武之地，天高任鸟飞，海阔凭鱼跃；再次，要为人才做好后勤服务，免除后顾之忧，让他们心无旁骛，聚精会神地干事业、创奇迹。在知识经济时代，用好一个人才，救活一个厂子，激活一个产业，带动一个地区，都很常见，你为人才的每一笔付出，都会得到数倍数十倍、百倍回报。

“等闲识得东风面，万紫千红总是春”，成千上万的“千里马”大显身手，各尽所能，必然会一顺百顺，迎来方方面面的繁花似锦、无限春光，迎来人民幸福富裕的美好生活。☞（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）

# 春天的味道

◎ 张延伟

如果说大自然是个神奇的食材库，春天就像一位手艺娴熟的厨师，为我们烹调出各种美味，带来味蕾的无限满足与享受。

春天的味道是香的。阳春三月，春意盎然，杏花、桃花、梨花、海棠花……都赶趟似的盛开，风里面都洋溢着香气。香椿树枝头的嫩芽伸展开来，摘一把拿来凉拌热炒，料谁也抵挡不住它的诱惑。十香菜也从土里探出头来凑热闹，掐几枝和姜蒜一起捣碎，加入水或醋搅和成汁，用来调菜或拌面条，那种浓香定让你食欲大开、欲罢不能。还有小茴香、藿香、白蒿（茵陈）等，更是亦菜亦药，香味袭人。

春天的味道是甜的。淡紫色的泡桐花开了，像一嘟噜一串的小喇叭。去掉花蒂，用嘴对着喇叭口儿轻轻吮吸一下，喉咙里顿时充满丝丝甜蜜。盛开在田间地头的野地黄花，粉红颜色，小巧精致，我们叫它“蜜蜜罐儿”，顾名思义，一样能够在吮吸中带给我们甜蜜的体验。嫩榆钱儿、洋槐花，地下的白茅根，塞进嘴里咀嚼起来甜丝丝的，无不让你感受到大自然的慷慨与神奇。

春天的味道是酸的。园地里匍匐生长的马齿苋，传说受过汉光武帝刘秀敕封而号称“晒不死”，茎叶肥厚，常用来焙菜饼或凉拌着吃，既充饥又治病，那种淡淡的酸味令人口舌生津、胃口大开。河边生长着一种“酸浆草”，我们叫它

“酸唧唧”，叶片酸爽可食，嚼碎了敷在伤处还能消炎止痛、活血化瘀。谷雨前后，杏树枝头挂满指头肚儿大小的青果儿，哪怕酸得龋牙咧嘴倒了牙，淘气的孩子也要隔三岔五地摘几个来尝尝。

春天的味道是辣的。山旮旯里长着一种山韭菜，茎叶不及园子里种的韭菜肥硕，辛辣的味道却要胜过韭菜好几倍。坡地河畔、田间地头常有丛生的翟蒜苗（薤白），晶莹透亮的小蒜头儿看着诱人，咬一口却辣得舌头“跳舞”，连根带叶切碎了，可替代葱或韭菜来摊煎饼、包饺子或蒸包子。

春天的味道是苦涩麻酥的。树上的柳芽、杨叶，沟堰上的枸杞芽，还有刚从土里长出来的“刺角芽（小蓟）”“猪耳朵棵（车前草）”等，经滚水焯后加佐料凉拌，吃起来略

显苦涩却清热凉血，早些年搭配着主食充饥，如今却成了走俏城乡的保健菜肴。河边的薄荷叶、紫苏叶，入嘴麻酥酥的，味道独特，凉拌是美食，泡茶是良药，既提神醒脑，又疏散风热、利咽止咳，如今都成为人们的最爱。

春天的味道还是杂糅融汇的。传说农历二月二这天吃“十样儿菜”饺子能够祛邪除晦、百病不生，于是餐桌上就有了荠菜、面条菜、蒲公英、翟蒜苗、白蒿、马齿苋等各色野菜，随性搭配，用这样的馅料包饺子，味道妙不可言，备受人们青睐。

我们的生活就像春天，甜酸苦辣咸五味俱全。只要用心感受，快乐生活，我们的世界就如春天一样生机盎然。☑（作者单位：禹州市自然资源和规划局）



# 人间三月

◎ 李学玲

“三月桃花浪，江流复旧痕”“画堂三月初三日，絮扑窗纱燕拂檐”。若再用直白的笔墨，刻意描摹眼前的三月，反倒少了几分余味。华丽的词藻，对三月而言，反而是一种亵渎。这清新雅致的时节，本就该轻轻呵护，只在心底，安然种下属于自己的暖阳。

茅芽，又叫茅针，学名谷荻。吃它，最好的时节，正是三月。紫红色的茅芽，从黄茅草的根间悄悄冒出，嫩生生的芽叶紧紧相拥，像一根根清润的绿针。剥开那层青绿，里面雪白绵软的部分，便是旧时孩童梦寐以求的清甜。老家有句俗语：“三月三，茅芽尖。”从这天起，乡下孩子才算真正踏入舌尖上的春天。茅芽、毛毛根、椿头菜、洋槐花，还有各式各样的野菜，一一登场，次第入腹。童年的时光里，便满满都是清鲜、脆嫩、带着泥土气息的味道。

我一直固执地认为：春天是个动词。它一年一度归来，带着欢喜，带着力量。一入三月，东风渐软，花忙着结苞，草急着蔓延。我蹦跳着，去采那半拊高的茅芽；母亲则挎上竹篮，去野地里剜面条菜。

面条菜，叶片修长，边缘齐整，多藏在青青麦田之下。年前悄悄发芽，一入春，便肆意生长。三月的面条菜，最是清香鲜嫩。洗净，等面条将熟时下锅，撒一把盐，滴几滴麻油。白生生的面，绿油油的菜，

一锅热气腾腾的香，就这样被我们呼哧呼哧，吃进肚里。

每到三月，我还会陪着母亲，去田野里挖荠荠菜。择净、洗净、剁碎，一半拌鸡蛋，一半和肉末，两种馅，两般滋味，都是家的味道。吃荠菜饺子的傍晚，满屋子都是人间烟火。那是一场属于春归的盛宴：一家人，把春天含在嘴里，咽进心底，一半是美味，一半是幸福。

如今母亲不在了。荠菜饺子，我依旧会做，可面条菜，却渐渐被遗忘在故乡的原野上。我也曾学着母亲的样子，给孩子煮一碗放了面条菜的汤面，他们却不愿多尝。我心里明白，那菜并非来自乡野，而是长在大棚里，少了山野灵气，多了几分蔫黄的单薄。

后来，我常常安慰自己：总会有一个春天，我能守着一方竹篱小院，再用最地道的野面条菜，煮一锅清鲜如初的热汤面。


我有一位朋友，辞了城里的工作，在离城不远的东南山里，安了一个小院。种菜、喂鸡、读书、写字。春风一到，她便对着门前小溪，弹琴歌唱。她记得山中第一朵花开的时间，听得懂布谷鸟在窗前叫了三声，知道第一枚熟透的浆果，被哪只鸟儿啄开两个小洞。明媚春光映着她明朗的眉眼，她说：“人间三月赛仙境，每天和大山一起睡去，再一起醒来，真的好补啊！”

这话，我曾在周华诚的《江南

三书》里读过，却从未真切体会。直到看见她，我才真正相信。原来，世间最补的，从不是什么珍馐良药，而是安稳的睡眠与澄澈的心；原来，无论世间如何沧桑变迁，“美好”永远是我们理解这个世界最好的方式。只要心中装着万千温柔与明媚，便可行至山水间，坐看云起时。即便关上一扉柴门，生活本相也会在方寸之间缓缓显现。隔着尘世喧嚣，自守心安。

我羡慕朋友的山居岁月，因此一到春天，便格外向往那方自在小院。只是眼下，我大多时候仍在小城的街巷里慢行，静静感受春天。生活本就粗粝烟火，不必事事精细，不必样样圆满。三月，有太多不期而遇的美好，也有太多无法预料的遗憾。就算等不到想见的人，我们也要走出去，与春风相见。

北国小城，春来偏晚。但是三月到了，紫叶李与桃花，便开得热热闹闹，马路边、公园里，随处可见。早时朦胧的烟柳，已褪去轻烟，抽出碧绿修长的枝条，在繁花间轻轻摇曳，明亮又张扬。站在一个草长莺飞的路口，总会被春风轻轻唤醒，心底涌起一阵温柔的感动。这份感动，足以冲淡人世的琐碎与疲惫。有花可看，有春可待，有风可依，这样的人生，便足够让人眷恋。

这，大概便是三月里最朴素、最高级的享用吧！（作者单位：方城县自然资源局）

# 致谢老己

◎ 孙东勋

旧岁即逝，风起雪落飘飘洒洒；新年首日，曙光初现朦朦胧胧。

无疑，正是堂前那束光，劈开阴霾，温暖四季，照进现实，绽放美丽。

雨雪晴阴天知，吉凶祸福自洽。诚顺其自然而遵其道，顺应天时而从其心，乃万事可期。

曾记否，中朝边境，深山密林，长白山下，皑皑白雪封山阻路车难上，鸭绿江畔达子花开繁似锦，墩如雨后春笋立，梁似船行帆满张，桥跨山涧隧穿壁仞段段路涵挺向前。便道九曲，山高路险，披荆斩棘向天歌，不负青春好年华。

曾记否，南国潮涌，红林白鹭，铁山港旁，海滩沉浅潮涨潮落晨暮风，海上星空月圆月缺灯如昼，栈桥弯弯曲线避鲨绿色施工涵生态。众志成城，争先恐后，挥汗如雨正当时。

曾记否，胭脂坝上，江畔微熹，浪花奔腾，江心主塔护筒围堰内平外澜定乾坤，橘柚盈枝香甜入腑丰

收好年景。虎踞龙骧，天时地利，沿江高铁勇争先。

曾记否，关中原，秦岭山下，渭河缓淌，包西铁路一路穿梭白杨耸立干风云，老线加固新桥将立青青麦垄起新秧。雪落渭城，夕阳山下，秦俑古城立新功。

人爱己，健康第一莫忘本。生命诚可贵，健康最宝贵。无健康不心悦，无心悦不快乐，无快乐不成长。山高水长，爱你老己，奔赴山海，不觉其远，蓄势积力花铺前路满芬芳。


仁修为，遵规守矩励心志。智者不惑，仁者无忧。起于垒土，溃于蚁堤，一切从零始，万物毁一隙。内心从其规而不逾矩，言行有其束而不随意。修为养志，修心养神，静可守心，难可攻坚，不空不乱不移不松不迷茫。

忍藏锋，荣辱不惊扛住天。树欲静而风不止，小不忍则乱大谋。泰山崩于前而色不变，河流归于海而志不移。君子以忍为上，人生用

忍扛事。风雨不变，我心永恒，隐忍莫测，前路光明，忍讽忍谤忍逆忍悖忍天地。

认得法，掌握要令出色干。千里之行，始于足下，锐始者必图其终，成功者先计于始。夯基垒台，立柱架梁，择其大者略天下，抓取关键求真经。细节决定成败、影响人生，天下大事必作于细、成于细。认清形势，认领任务，认识规律，环环相扣提纲契领抓本质。

韧功夫，志在千里笃行远。前路漫漫，阔步韧行。有韧有余，坚持不懈。细水长流滋心田，日积月累德自处。风高浪急有定力，急事难事显担当。壮阔征程，坚韧不拔，韧劲十足，久久为功，一路踏波逐浪行八方乾坤可定。

我本我，我从我，我尊我，我怜我，从不为己放歌，爱我老己偶乐，不任性，不矫情，以小我逐大我，聚萤光拢炬火，此诚势不可挡也！（作者单位：中铁大桥局集团一公司）

## 长堤望


◎ 罗明军

蜿蜒的两条长龙，牵着河水入江  
多少次在河中不偏地徜徉  
堤上岸下是撒欢儿的奔跑，麦苗儿在茁壮

村庄炊烟，老汉斗烟盘旋  
门前的河柳弯腰，亲吻着远行的戎装  
执手行囊，我在长堤不舍地回望

春风舞动着新柳嫩杨  
石渣红泥铺陈，在长堤柏油塑胶路下淹没  
岸边的花儿，恣意怒放

千里万里啊  
在四季流光里，长长的河堤上那两个身影  
仍时时不停在打望

（作者单位：郑州市自然资源和规划局）

# 卫星视角瞰郑州 十年蝶变铸新城

## ——从绿城到国家中心城市的时空答卷

卫星瞰绿城，岁月谱新章。从2014年到2025年，河南省遥感院利用“河南一号”等卫星，以高空视角定格郑州十年蝶变。这片承载商都古韵的土地，褪去工厂民居旧影，生长出现代楼宇与公共空间，让生态之美与都市活力相拥，乡愁记忆与时代锋芒共生。

商城遗址巍然矗立，见证古韵新景交融；奥体中心拔地而起，彰显城市地标崛起；陈砦华丽转身，书写老城焕新答卷；蝶湖生态复苏，铺就宜居底色……每一组影像对比，都是郑州作为国家中心城市的成长印记，是中原大地蓬勃发展的生动缩影。本期《星绘中原》以卫星为笔、时光为墨，带您俯瞰十年耕耘，见证城市新生与荣光。



● 2014年奥体中心周边（历史航空影像）



● 2025年1月奥体中心周边（“河南一号”卫星影像）



● 2014 年郑州火车站 (历史航空影像)



● 2025 年 11 月郑州火车站 (“河南一号” 卫星影像)



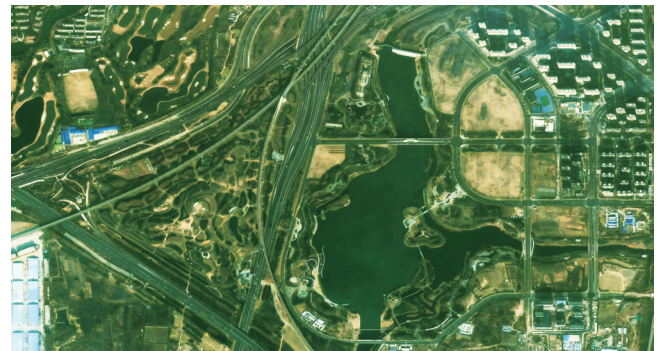
● 2017 年 5 月商城遗址 (高分二号影像)



● 2025 年 11 月商城遗址 (“河南一号” 卫星影像)



● 2014 年蝶湖 (历史航空影像)



● 2025 年 1 月蝶湖 (“河南一号” 卫星影像)



● 2014 年陈砦 (历史航空影像)



● 2025 年 3 月陈砦 (“河南一号” 卫星影像)

# 《资源导刊·信息化测绘》 征稿启事

《资源导刊·信息化测绘》(ISSN1674-053X/CN41-1389/D)是经国家新闻出版管理部门批准,由河南省自然资源厅主管、河南省测绘地理信息技术中心承办的国内外公开发行的科技类综合期刊。本刊所发论文可作为河南省测绘地理信息专业中高级职称申报评审材料,是测绘地理信息从业者职称评审的重要学术支撑。为进一步汇聚行业智慧、推动测绘科技成果转化,现面向广大测绘地理信息领域科研工作者、工程技术人员、高校师生及相关行业从业者公开征稿,有关事宜如下:

## 一、征稿栏目

本刊常设两大核心栏目,精准覆盖测绘地理信息领域研究与应用方向,贴合职称评审学术成果要求:

1. 学术研究:刊载测绘地理信息领域前沿理论研究、基础学科探索、新技术研发等具有创新性和学术价值的论文;
2. 技术应用:收录测绘工程实践、技术推广应用、行业解决方案、实际案例分析等具有实用价值的技术成果类论文。

## 二、来稿规范要求

来稿务求论点明确、论据充分、数据可靠、逻辑严密、层次分明、文字精练,同时需严格遵循以下格式规范:

1. 文章题目:要简洁、准确概括研究核心,一般不超过20字。
2. 正文标题:文内各级标题题号一律顶格书写,标题题号分级采用1;1.1;1.1.1等标注形式,结构层次以二级或三级为宜,避免层级过多。
3. 论文摘要:以提供文献内容梗概为目的,不加评论和补充解释,简明、确切记述文章重要内容;避免使用“本文”“作者”等作为主语,字数不超过250字。
4. 关键词:选取3~5个意义明确的专业术语,准确反映研究方向、领域及研究地点,词与词之间用分号“;”分隔。
5. 首页注脚:在首页脚注处注明:基金资助项目需注明基金名称及编号;第一作者简介,包含姓名、出生年份、性别、民族、学历、职称、从事的主要工作。
6. 正文要求:含摘要、图、表、参考文献在内,总篇幅以4000~6000字为宜,内容需完整包含研究背景、方法、结果、结论或讨论等核心部分;文中量和单位使用中华人民共和国法定计量单位最新标准,地质符号、公式字母及符号需准确标示大/小写、正/斜体,上下角标字符位置高低区分明显,标点符号使用规范准确。
7. 图表规范:文中仅附必要图表,图件为JPG格式并单独拷贝原图另发;文稿中需明确标注图表位置,图框下注明图号、图题和图注,表格统一使用三线表,表名置于表格上方;图表文字需清晰、字体规范,若存在文字不清、字体过小问题,需重新制作,确保印刷清晰。
8. 参考文献:引用他人资料和结论需按《著作权法》规范著录,采用顺序编码制(按文中出现先后次序编码),仅列出与本文相关的公开发行人文;多次引用同一著者文献仅编一个号,正文中标注首次引用的文献序号。

## 三、注意事项

1. 投稿需将论文电子文档+查重报告(万方、知网检测均可)发送至编辑部邮箱,论文重复率须控制在15%以内,严禁一稿多投;
2. 论文文末请单独附上作者的通信地址、联系电话等有效联系方式,便于编辑部沟通对接;
3. 稿件文责自负,编辑部有权对来稿进行文字和技术性删改,对稿件实质性内容的修改,将提前征求作者同意;
4. 编辑部在收到来稿后2个月内答复录用结果,若2个月未接到本刊采用通知,作者可自行处理稿件;
5. 本刊拥有印刷版、光盘版、网络版等电子版本,稿件一经采用,所有版本的版权即由作者转让给本刊,论文发表后将作为作者赠送2本样刊。

## 四、投稿方式

欢迎广大测绘地理信息领域从业者踊跃投稿,本刊将以专业的编审标准、高效的处理流程,为广大作者搭建优质的学术交流平台。

投稿邮箱:xxhch2015@163.com

联系电话:0371-65941858

# 《资源导刊·信息化测绘》编辑部 召开高质量发展座谈会



本刊讯 为深入贯彻落实测绘地理信息行业高质量发展要求，进一步提升杂志办刊质量、宣传水平和行业影响力，日前，《资源导刊·信息化测绘》编辑部在郑州组织召开高质量发展座谈会，积极探讨测绘行业期刊未来发展趋势。河南省测绘地理信息技术中心党委委员、副主任肖峰到会指导，中心直属单位党委负责同志，中心所属单位审稿专家、编辑部人员参加会议。

肖峰强调，一要扎实推动新时代行业杂志高质量发展。编辑部采编人员要增强责任感、紧迫感和危机感，明确杂志发展定位，聚焦主责主业，推动杂志创新发展，努力向一流行业期刊建设目标迈进。二要严把论文质量关，持续提高学术研究水平。审稿专家在论文审核中，要严把质量关，缩短审稿周期，坚决杜绝问题论文出现；要坚持发挥专业技术特长，推进技术跨界融合、数据融合应用，为行业高质量发展提供丰富的数据要素。三要做好地理信息数据和地图审查，维护地理信息安全，为构建新安全格局严守测绘地理信息管理底线。四要强化服务意识，提质增效。要增强品牌意识，积极开展采访报道，服务测绘地理信息行业发展；要对外拓展，对内结合，积极对接河南省

测绘学会、省地理信息产业协会、高校科研机构，对标行业核心期刊，守正创新、提质增效，推动杂志工作再上新台阶。

座谈会立足高质量发展主题，共同探讨媒体融合背景下测绘行业期刊发展的新思路、新方法、新举措，紧密围绕《资源导刊·信息化测绘》杂志定位与发展目标、品牌栏目建设、学术论文审核、高质量发展探索实践等内容展开讨论。与会专家结合各自专业领域和审稿经验，围绕办刊方针、稿件质量、审核标准等内容，对新时代学术期刊高质量发展各抒己见。专家们表示，要严格把握论文质量，坚决杜绝问题论文；要注重选题价值、重视文字表达、夯实理论基础；要创新刊物传播方式，设置特色栏目，走新媒体融合道路，挖掘行业技术亮点，提升刊物的知名度和影响力。

据了解，根据河南省人力资源和社会保障厅有关文件精神，本刊所发论文可作为河南省测绘地理信息专业中高级职称申报评审材料，是测绘地理信息从业者职称评审的重要学术支撑。下一步，《资源导刊·信息化测绘》将切实把与会领导和专家的智慧结晶运用好、转化好，逐步向一流行业期刊杂志品牌目标挺进。

☑ (栗荣晓 / 文、图)

