

资源导刊 信息化 测 绘

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

2025
第 12 期
总第511期

创新为翼 智绘中原

——河南省测绘地理信息技术中心创新发展纪实

测绘地理信息数据赋能焦作市高质量发展推介会召开

ISSN 1674-053X



下半月 定价: 10元



扫码关注我们

肖峰到固始县茶棚村调研乡村振兴工作



本刊讯 近日，河南省测绘地理信息技术中心党委委员、副主任肖峰一行到对口帮扶的信阳市固始县黎集镇茶棚村，以慰问宣讲、党建联建、实地调研等形式，为乡村全面振兴注入强劲动力。固始县副县长吴亚超，固始县自然资源局副局长汪国华，黎集镇党委书记纪孝飞陪同调研。

“乡村振兴，党建是根、产业是脉、群众是本。”座谈会上，驻村第一书记扶彦详细汇报了茶棚村在基层党建、特色产业培育、人居环境整治等方面的工作进展与成效。肖峰认真倾听，对村“两委”和驻村工作队扎根基层、攻坚克难的实干精神给予高度评价。

结合学习贯彻党的二十届四中全会精神，肖峰为茶棚村下一步发展精准“把脉开方”。一是肯定成绩，认可付出。在巩固既有成果基础上，扎根基层实践，始终把满足群众对美好生活的向往作为工作出发点和落脚点。二是借鉴经验，聚力发展。坚持“扶贫先扶志”，引导群众凝聚“听党话、跟党走”的思想共识，同时依托测绘地理信息技术优势，通过卫星监测、全周期溯源等技术手段，挖掘本地自然资源禀赋，打造辨识度高、附加值高的特色农产品品牌，筑牢防返贫防线。三是聚焦重点，夯实根基。以科学规划优化乡村布局，以文明习惯涵养乡风文明，以真诚沟通化解矛盾纠纷，让乡村既有“颜值”更有“内涵”。四是强化担当，务求实效。加强党的全面领导，充分发挥基层党组织

的战斗堡垒作用和党员先锋模范作用，坚持因地制宜、精准施策，激发村民主体意识，共同建设宜居宜业和美乡村。

座谈会上，调研组向茶棚村党支部和驻村工作队赠送《党的二十届四中全会学习辅导百问》《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十五个五年规划的建议》辅导读本等理论学习书籍和实用读物，为基层党员干部群众“充电赋能”，助力乡村振兴事业获得坚实智力支撑。

肖峰一行还实地调研茶棚村的发展新貌，只见村内主干道拓宽，农家院落整洁美观，特色产业蓬勃兴起，处处涌动着干事创业的蓬勃生机，生动诠释基层工作者与群众想在一起、干在一起的深厚情谊。调研组还专程来到驻村工作队的住所，仔细察看生活设施，询问工作生活情况，并为大家送去慰问物资，切实把组织的关怀与温暖送到一线。肖峰对大家扎根基层、坚守基层的奉献精神表示衷心感谢，叮嘱他们劳逸结合、保重身体，以更加饱满的精神状态投身乡村振兴工作。

通过实地调研与深入交流，河南省测绘地理信息技术中心进一步摸清了茶棚村发展需求，凝聚了共建共识。下一步，将持续发挥测绘地理信息技术与资源优势，与茶棚村深化党建联建、强化合作联动，为推动乡村全面振兴、建设和美乡村注入更强劲动力。

（李华 / 文 吴荒源 / 图）

以创新之犁深耕测绘沃土

◎ 本刊评论员

以创新之犁，深耕测绘沃土；以创新之刃，破解发展困局。三年来，河南省测绘地理信息技术中心精准把握时代脉搏，以自我革命的魄力加压奋进，推动全省测绘地理信息工作实现从传统生产向技术创新、数据资源向数据资产、单一服务向多元赋能的跨越式转型，走出了一条传统测绘向新型测绘升级的蝶变之路。这段征程不仅铸就了令人瞩目的“河南速度”，更探索出极具启示意义的发展路径。

启示一：思想破冰是创新发展的先导。河南测绘的转型，始于一场深刻的“思想革命”。面对数字时代浪潮，中心党委清醒认知“不创新则无出路”，果断摒弃“重生产、轻研发”的传统思维，确立“三步走”战略，推动新型基础测绘项目占比从1/2跃升至2/3。这份自我革命的勇气，源于对时代脉搏的精准把握，更源于服务全省发展大局的使命担当。实践印证，唯有打破思维定式、走出舒适区，方能在变革中抢抓机遇、赢得先机。

启示二：自主攻坚是掌握发展主动权的关键。从实景三维软件基础体系打破国外垄断，到北斗三号基准服务系统实现完全自主可控；从“后土”大模型入选全国首批试点，到遥感智能监测技术累计节约财政资金超10亿元——河南测绘人以行动诠释了“核心技术买不来、讨不来”的深刻道理。面对“卡脖子”难题，他们集中优势力量攻坚克难，在关键领域树立“河南标杆”。这份坚持自主创新战略定力，正是推动事业从“跟跑”向“并跑”乃至“领跑”跨越的核心动力。

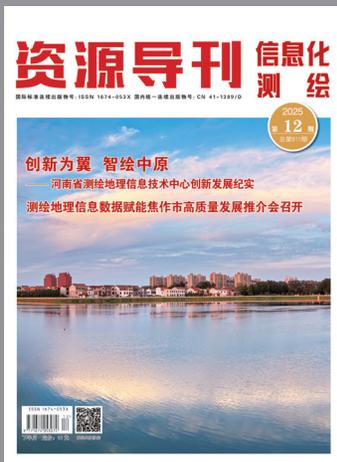
启示三：人才驱动是创新发展的第一资源。创新之道，唯在得人。河南测绘打破职称评审壁垒，组建专属评审委员会；打通上下交流渠道，选派干部下沉基层历练；搭建产学研融合平台，与高校共建研发基地。这些举措并非简单的政策调整，而是构建“引育用留”全链条人才生态的系统工程。更可贵的是，中心既给待遇、给平台，更给机会、给舞台，让青年人才在重大项目中挑大梁、当主角。正是这支结构合理、梯队完整的人才队伍，成为支撑创新发展的“最强大脑”。

启示四：需求牵引是成果转化的根本导向。创新的价值在于应用。河南测绘始终以服务全省高质量发展为己任，将技术创新与重大战略需求紧密对接。实景三维建设赋能城市规划决策，使周口项目决策精度提升40%；遥感监测技术筑牢粮食安全屏障，累计节约财政补贴约10亿元；“一码管地”平台打破政务壁垒，办事效率提升70%以上。这些成果之所以能快速转化、落地见效，根本在于坚守“从需求中来、到应用中”的导向，实现了科技创新与经济社会发展的同频共振。

启示五：制度保障是持续创新的坚实根基。修订完善51项规章制度，开创性推动《河南省测绘条例》《河南省测绘成果管理办法》同步修订，建立“月汇报、季总结、年考核”工作闭环……河南测绘深刻认识到，创新绝非一时之举，而是需要制度保障的持久工程。通过构建系统完备的制度体系，不仅破解了管理松散、流程不规范等积弊，更在全国树立了测绘法治化建设的新标杆。制度为创新划定轨道、提供保障，让创新之火得以持续燃烧。

河南测绘地理信息事业的实践昭示，创新发展是系统工程，需思想引领、技术攻坚、人才支撑、需求牵引、制度保障协同发力。当前，新一轮科技革命和产业变革加速演进，地理信息技术作为重要时空信息基础设施，战略价值愈发凸显。河南测绘的探索，既为全省高质量发展提供了坚实支撑，也为同类地区、同类行业推进创新驱动发展提供了宝贵经验。

“抓创新就是抓发展，谋创新就是谋未来。”河南测绘地理信息事业三年创新发展的生动实践，深刻印证了这一重要论断。在现代化建设新征程上，期待更多行业、更多领域从中汲取智慧力量，以创新为犁深耕发展沃土，共同绘就中原大地高质量发展的绚烂画卷！



资源导刊 信息化测绘

2025年 下半年 第12期 总第511期

测绘资讯·政策解读
文化传播·技术交流

主管单位：河南省自然资源厅 主办单位：河南自然博物馆

编辑出版：《资源导刊》杂志社

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

邮发代号：36-373 定价：10元 印刷单位：河南普庆印刷科技有限公司

地址：河南省郑州市黄河路8号《资源导刊·信息化测绘》编辑部

编辑部：0371-65941858 广告发行部：0371-65941854

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

顾问

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

河南省测绘地理信息技术中心编委会

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

声明

本刊发表的文字、图片、光盘等的版权归《资源导刊》杂志社所有，未经本社书面许可，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。

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

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

网站合作单位



目录

CONTENTS

卷首语

1 以创新之犁深耕测绘沃土

国内要闻

4 全国首个空天智能院士科普工作室在武汉成立 等8则

时政传递

6 测绘地理信息数据赋能焦作市高质量发展推介会召开

7 首届河南省“华测导航杯”智能测绘大赛成功举办

特别关注

8 创新为翼 智绘中原

——河南省测绘地理信息技术中心创新发展纪实

测绘广角

14 郑州市启动主城区D级测量标志网修复

许昌市积极宣传《河南省测绘条例》

15 濮阳市开展卫星导航定位基准站运维调研工作

实景三维舞钢建设项目迈入实质性推进阶段

经天纬地

16 思源时空：创新赋能行业发展

豫外传真

18 山东德州：数据“活”起来 服务更智能

19 卫星影像让秦岭违规穿越“无处遁形”

发展研究

20 刘经南院士：北斗服务智能驾驶大有可为

技术应用

23 基于遥感影像的区域土地利用变化及生态影响分析研究

27 基于实景三维的自然资源调查成果可视化监管研究

31 基于改进Apriori的不动产测绘数据库模糊检索研究

34 融合夜光遥感和兴趣点的城市建筑空置识别研究

38 基于GEE平台的广州市遥感生态指数时空变化研究

41 高层建筑沉降观测过程及数据处理与预测

45 基于无人机的单体滑坡危险性分析方法研究

48 三维倾斜模型单体化研究及智慧城市应用

51 无人机倾斜摄影测量技术在土方测算中的应用探讨

——以佛山市为例

地图故事

55 秦汉地图述评

文苑撷英

58 把日子过成“花”

59 数字经纬间的山水守望

60 家乡的石臼

61 赠予星辰

艺术欣赏

62 陈吴陆摄影作品欣赏

合作单位

64 《资源导刊·信息化测绘》宣传合作单位

封面

小浪底北岸灌区工程 曲帅超/摄

关注 全国首个空天智能院士科普工作室在武汉成立

11月21日，全国首个聚焦空天智能领域的院士科普工作室——“李德仁院士空天智能科普工作室”在武汉成立。

工作室由武汉市科协、中国航天基金会、航天科工火箭技术有限公司三方共建，由中国科学院院士、中国工程院院士李德仁领衔，汇聚航天科技领域专家力量，以“行走的航天思政课”为核心主题，融合科学普及与精神传承。其核心使命是通过多样化科普活动、科普作品开发等形式，传播航天知识、点燃青少年创新热情，搭建起连接国家战略、产业前沿与社会公众的沟通桥梁，助力全民科学素质的提升。

启动仪式上，相关方签署共建协议，同步开展科普讲座、互动交流等活动，让青少年近距离接触航天知识与精神，推动航天精神在青少年心中生根发芽，为航天强国建设培育坚实的后备力量。

民用无人机两项强制性国家标准发布

近日，市场监管总局（国家标准委）批准发布《民用无人驾驶航空器实名登记和激活要求》（GB 46761—2025）和《民用无人驾驶航空器系统运行识别规范》（GB 46750—2025）两项强制性国家标准，将于2026年5月1日起正式实施。

其中，《民用无人驾驶航空器实名登记和激活要求》规定了无人机实名登记和激活的工作流程，在登记主体、登记管理与查询、注销、数据交换接口等方面作出规定，明确要求无人机在激活前和取消激活后均不能具备飞行能力。《民用无人驾驶航空器系统运行识别规范》规定了无人机应在开机后和飞行全过程中主动向监管方报送自身身份、位置、速度、状态等信息，以便监管方全程实时掌握无人机的飞行状态。

两项强制性国家标准的发布实施，将从技术上解决无人机“谁能飞”和“谁在飞”等问题，为无人机行业安全有序发展提供了重要保障。

两款L3级自动驾驶车获准上路

12月15日，工业和信息化部正式公布我国首批L3级有条件自动驾驶车型准入许可，两款分别适配城市拥堵、高速路段的车型将在北京、重庆指定区域开

展上路试点。

据介绍，重庆这家汽车企业生产的纯电动轿车，可实现在交通拥堵环境下高速公路和城市快速路单车道内最高时速50公里的自动驾驶功能，目前该功能仅限在重庆市有关路段开启。而北京这家汽车企业生产的纯电动轿车，可实现高速公路和城市快速路单车道内最高时速80千米的自动驾驶功能，目前该功能仅限在北京市有关路段开启。

下一步，两款车型将在上述区域开展上路通行试点。相关部门将加强车辆运行监测和安全保障，不断健全智能网联汽车准入管理和标准法规体系，推动我国智能网联新能源汽车产业高质量发展。

科技

我国电力行业首颗遥感卫星“电力工程号”发射成功

12月10日，我国电力行业首颗遥感卫星“电力工程号”在酒泉卫星发射中心顺利升空。

“电力工程号”集成多项核心技术，性能优势突出。在观测精度上，卫星具备优于0.5米的高空间分辨率，能精准捕捉输电线路、杆塔等设备的结构状态；在观测效率上，突破传统卫星南北飞行模式，创新采用东西走向长条带连续观测设计，单次可覆盖超200公里输电通道，大幅提升“西电东送”等主干通道的监测时效性；在数据精准度上，通过“同轨多角度立体成像与智能融合处理”技术，实现快速分米级三维建模，为电网规划、施工运维等提供精确量化评估数据。

入轨后，“电力工程号”将与已建成的地面接收站、数据处理中心形成完整体系，构建“一星在轨、多星协同、天地一体”的电力遥感监测网络，可应用于特



高压工程建设管理等 19 类业务场景，为保障国家能源安全、构建新型电力系统注入强劲科技动能。

卫星体系，为实景三维中国建设、自然资源监管等提供高精度数据，助力国民经济发展。

我国发布四类航空遥感典型数据集

11 月 29 日，第二十三届中国遥感大会现场，我国四类航空遥感典型数据集正式发布，均具备多模态、高分辨率、高精度核心属性，将为地物分类、三维重建等多个领域提供关键数据支撑。

各数据集功能定位清晰，针对性极强。其中，高分辨率机载多维度 SAR 地物分类数据集可助力地物分类方法研究，显著提升分类精度；多波段全极化机载 SAR 农作物精细分类数据集凭借波段丰富等特点，验证了相关技术策略在农业遥感领域的可行性，支撑农业遥感深度应用。

值得关注的是，机载多角度光学图像与激光点云数据集为国内首个亚米级遥感新视角智能生成数据集，可提供高精度几何基准参考；典型场景高分光学与 SAR 全极化多模态特性数据集则是目前唯一基于全极化 SAR 的亚米级光学遥感图像生成数据集，可有效服务多源遥感图像修复工作，为相关领域技术创新与产业应用筑牢数据基础。

我国资源三号04星成功发射 提升立体对地观测能力

12 月 16 日，我国资源三号 04 星在太原卫星发射中心由长征四号乙运载火箭成功送入预定轨道，发射任务取得圆满成功。该星将与在轨的 02 星、03 星组建观测星座，对地重访周期缩短至 1 天，应急监测响应提速，影像覆盖能力增强。

资源三号 04 星是高分辨率立体测图业务卫星，继承前序卫星技术并优化升级，搭载三线阵测绘相机、多光谱相机及激光测高载荷，高精度立体测绘能力较前序卫星大幅提升。卫星采用三线阵立体成像体制，通过多视角同步成像直接生成立体影像，搭载的激光测高仪单点高程精度优于 1 米，可突破无地面控制点场景的测绘精度瓶颈，在复杂地形区域优势明显。该星可满足 1:5 万比例尺立体测图需求，推动自然资源监管从二维平面向三维精准观测跨越，为国土空间规划、地质灾害监测等提供有力支撑。

三星组网后，将完善我国民用高分辨率光学测绘

数字

2700 万元

近日，西安中科西光航天自主研发的“高光谱遥感卫星应用平台数据”完成确权、评估与入表，成为全国首单高光谱卫星数据资产入表实践，评估价值约 2700 万元，获八家全国主流数据交易机构认证。

此次入表的数据依托中科西光航天自主构建的“天-空-地”一体化数据采集体系与全链条技术平台，具备高空间、高时间、高光谱“三维高分辨率”协同优势，可精准赋予地表物质专属“光谱身份证”，在农业监测、环保双碳、防灾减灾等多个领域具备不可替代的应用价值。同时，此次入表成功打通了我国商业航天数据从“资源”向“资产”转化的核心路径，是对国家财政部相关会计处理规定的率先响应与实践。

这一标杆案例为各类数据资产化提供了可复制样本，不仅能增厚企业资产、拓宽融资渠道，更夯实了数据要素市场化配置基础，为数字经济高质量发展注入动能，对培育新质生产力具有重要示范意义。

25 颗

12 月 12 日，中国遥感卫星地面站漠河卫星数据接收站正式投入运行。该站具备全自动化卫星数据接收能力，承担资源系列、环境减灾系列、高分系列等共计 25 颗国家陆地观测卫星的数据接收任务。

漠河站位于黑龙江省大兴安岭地区漠河市以西约 2 千米，冬季最低温度可达到零下 53 摄氏度，是我国纬度最高的卫星数据接收站。该站于 2022 年 7 月启动建设，2023 年 10 月投入试运行。截至 2025 年 11 月底，漠河站已成功接收卫星数据 33411 轨，获取数据量超过 1658TB，数据接收成功率达到 99.79% 以上。

漠河站现建有 3 套卫星数据接收系统，具备 S/X 双频段、双极化数据接收能力，信道下行码速率最高达 2000 兆比特每秒，同时拥有接收数据的实时传输能力，关键技术指标达到国际先进水平。该站凭借独特的高纬度地理位置优势，可使极轨卫星每日接收时长增加 20% 以上，有效提升了卫星观测数据获取效率，成为我国陆地卫星接收站网的重要组成部分。☑

测绘地理信息数据赋能焦作市高质量发展推介会召开

◎ 本刊记者 栗荣晓



为积极推动河南省自然资源厅、焦作市人民政府和河南理工大学三方签署的“共同推进焦作地理信息产业高质量发展框架协议”落地见效，11月25日，河南省自然资源厅在焦作地理信息产业园组织召开测绘地理信息数据赋能焦作市高质量发展推介会，加快推动省市测绘地理信息数据成果最大化为政府决策、产业发展和人民群众美好生活服务。焦作市人民政府副市长李瑞霞参加会议并致辞，河南省自然资源厅测绘地理信息管理处处长、一级调研员王军胜主持会议。焦作市人民政府办公室副主任范文华，河南省自然资源厅测绘地理信息管理处二级调研员姚胜利，河南理工大学测绘与国土信息工程学院院长袁占良等领导、专家参加会议。

李瑞霞代表焦作市人民政府对河南省自然资源厅长期以来给予焦作的倾力支持和专业指导表示衷心感谢。她强调，此次会议是落实省、市、校三方合作协议的行动实践，旨在推动省市数据共享、技术协同。测绘地理信息数据是基础性、战略性资源，河南省自然资源厅在推介会上组织相关单位专家带来高价值数据成果与服务，为焦作破解“主管部门不知行业需求、行业部门不知数据供给”难题提供精准赋能，焦作市市直各单位要珍惜机遇、认真学习、主动对接，共同推动测绘地理信息数据在焦作市各行各业落地生根、开花结果。

会议介绍了省、市两级测绘地理信息数据的保障情况与应用前景。河南省测绘地理信息技术中心及相关技术单位专家就全省基础测绘成果、卫星遥感影像、北斗导航服务、“天地图·河南”、国土空间基础信息平台 and 实景三维河南建设等作了全面讲解，重点展示在自然资源管理、城市规划、生态保护、智慧农业、文化旅游、水利交通等多个领域的创新应用成果，并通过生动案例展现测绘地理信息数据赋能高质量发展的巨大潜力。会议还特邀河南理工大学专家，分享了农业定量遥感等产学研合作典型案例，为跨行业应用提供了清晰路径。

此次推介会为焦作市各行各业深化测绘地理信息数据应用、推动数据要素价值释放、服务经济社会高质量发展奠定了坚实基础。

焦作市自然资源和规划局相关负责人表示，此次推介会是焦作市激活数据要素价值的一次“先行先试”，通过系统性推介，全市各部门对省级数据资源的“家底”和应用方向有了全面认识。下一步，该局将牵头建立应用需求清单，成立跨部门工作专班，确保省级数据资源能快速落地、产生实效，力争形成一批可复制、可推广的“焦作应用案例”。

据了解，近年来，河南省测绘地理信息事业创新突破发展，“河南一号”高频次高分辨率卫星遨游太空，新一代卫星导航定位基准全面服务经济社会发展，实景三维河南建设稳步推进，空天地一体化数据获取与智能服务能力体系初步构建，测绘地理信息通过天地图、国土空间基础信息平台、基础测绘成果服务等深度融入各领域，以精准时空数据助力现代化产业体系建设、赋能民生改善与社会善治、精准护航美丽河南建设、创新推动中原文化传承发展。

河南省自然资源厅测绘地理信息管理处，河南省测绘地理信息技术中心所属单位，各省辖市自然资源和规划局测绘科，焦作市自然资源、发改、工信、财政、教育、交通、水利等30个市直单位，以及焦作市地理信息产业园相关企业等负责同志参加会议。☑

首届河南省“华测导航杯”智能测绘大赛成功举办

◎ 本刊记者 栗荣晓

为促进测绘地理信息技术智能化发展，进一步推动产学研用深度融合，11月28日至30日，由河南省测绘学会主办，河南理工大学承办，华北水利水电大学、河南城建学院、上海华测导航技术股份有限公司协办的第一届河南省“华测导航杯”智能测绘大赛在河南理工大学成功举行，河南省测绘学会理事长邹友峰、河南省测绘地理信息技术中心副主任肖峰参加开幕式。中国人民解放军网络空间部队信息工程大学、郑州大学、河南理工大学、河南科技大学等19所本科高校的170余名学生选手参加比赛。

开幕式上，邹友峰表示，智能测绘作为测绘地理信息产业发展的核心驱动力，其重要性日益凸显，通过大赛能够紧密对接行业前沿技术，充分展现河南测绘教育事业的蓬勃生机。希望各参赛队伍秉承“以赛促学、以练促能”的精神，在比赛中相互学习、彼此借鉴，展现新时代测绘学子的专业素养和精神风貌。

肖峰指出，第一届“华测导航杯”大赛紧密围绕测绘地理信息行业智能化发展趋势，聚焦现代测绘技术应用，是打破产教壁垒、推动科教融汇、培育智能测绘人才、深化校企合作的有效途径，对提升河南省测绘地理信息科技创新能力、加快行业转型升级、服务全省高质量发展具有重要意义。希望大赛组委会能够精心组织、办出品牌，不断总结经验，创新大赛形式和内容，努力将“华测导航杯”智能测绘大赛打造成河南省乃至全国有影响力的行业品牌赛事。

此次竞赛以“锤炼专业技能、推动智能创新、培育测绘人才”为核心，共设置实景三维地理实体提取、机载激光雷达地形成果制作、RTK放样与土方测量三个特色项目，涵盖当前测绘领域的核心技术，全面考察学生在新型测绘技术背景下的内业数据处理与外业实操能力。

比赛现场，参赛选手各展所长。在实景三维地理实体提取赛场，选手们分工协作，使用RS10手持SLAM设备，对指定区域进行精准扫描；通过CoProcess2025三维数据综合处理软件高效绘制地形

要素。在机载激光雷达地形成果制作赛场，选手们熟练完成点云分类、地形建模等核心操作。RTK放样与土方测量赛场更是精彩纷呈，选手们娴熟运用RTK设备精准采集坐标并测量土方。

“通过这场比赛，我们不仅巩固了课堂所学理论知识，更在实践中掌握了行业前沿技术的应用，这种‘真操实练’的经历，让我们对未来的职业发展充满信心。”来自河南理工大学的参赛选手表示。

中国人民解放军网络空间部队信息工程大学教授周杨代表裁判组进行技术点评：“本次大赛的赛项设置紧密贴合行业实际需求，实景三维地理实体提取赛项展现了‘手持设备采集+快速建模’的高效工作流程；机载激光雷达地形成果制作赛项中，选手们熟练操作点云分类、地形建模，成果符合行业规范；RTK放样与土方测量赛项则精准聚焦工程核心场景，有效检验了选手们的实操能力。”

大赛闭幕式上，竞赛总裁判长、中国人民解放军网络空间部队信息工程大学教授王同合宣布获奖名单，其中，实景三维地理实体提取赛项评出特等奖4名、一等奖8名、二等奖12名；机载激光雷达地形成果制作赛项评出特等奖5名、一等奖10名、二等奖15名；RTK放样与土方测量赛项特等奖4名、一等奖8名、二等奖12名；优秀指导教师12名、优秀团队组织奖2个。☑



创新为翼 智绘中原

——河南省测绘地理信息技术中心创新发展纪实

◎ 本刊特约记者 张永强

“抓创新就是抓发展，谋创新就是谋未来。”习近平总书记的深刻论断，为新时代测绘地理信息事业发展指明方向。自2022年9月以来，在河南省委、省政府和河南省自然资源厅党组的坚强领导下，河南省测绘地理信息技术中心（以下简称“中心”）深学笃行习近平总书记在豫考察重要讲话精神，聚焦“两高四着力”要求，以创新为翼，驱动思想破冰与行动突围；以机制为骨，激活内生发展动力；以人才为基，筑牢科创发展根基，带领所属单位河南省测绘院、省遥感院、省地图院、省地理信息院深耕科创赛道，交出了一份沉甸甸的创新答卷。

三年耕耘，硕果盈枝。中心实现从传统测绘向新型测绘的华丽转身，新型基础测绘项目占比从1/2跃升至2/3；自主研发突破“卡脖子”技术壁垒，节省财政资金超千万元；北斗三号省级系统成为全国标杆，卫星遥感使耕地执法效率提升70%；斩获45项省部级、厅局级大奖，其中6项省部级奖项彰显行业引领力；“后土”大模型、“一码管地”等创新成果落地生根，为数字河南、生态河南建设注入强劲测绘动能。

一串串亮眼数据的背后，是中原测绘人敢为人先的勇气、精益求精的匠心，更是日夜坚守的执着与不懈探索的赤诚。他们以脚步丈量中原大地，以智慧赋能高质量发展，在新时代的测绘画卷上，书写浓墨重彩的河南创新篇章。



战略破局：“三步走”重构转型新路径

“传统测绘思维必须打破，不创新就没有出路！”2022年，以郭幸生为班长的新一届中心党委班子审时度势，深刻洞察数字政府建设、自然资源精细化管理时代需求，果断掀起思想创新革命。结合四院优势，中心确立“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”的“三步走”战略，为河南省测绘地理信息事业转型升级锚定方向，形成“各有侧重、协同发力”的创新格局。

制度创新为战略落地保驾护航。中心历时数月修订完善51项规章制度，形成系统完备的《制度汇编》，彻底解决管理松散、流程不规范等问题；创新设立督查办、协调办，建立“月汇报、季总结、年考核”工作闭环，与35家省级单位建立紧密协作机制，工作质效倍增。尤为关键的是，历经8年打磨，《河南省测绘条例》于2025年12月正式施行，在国内率先增设“新测绘新应用”专章，将低空经济、智能网联汽车等新业态纳入测绘法治框架；将于2026年2月1日施行的《河南省测绘成果管理办法》以省政府令形式公布，作为国内首部全面修订的测绘成果管理地方性法规，填补了新时期行业管理的制度空白，确立了我省在全国测绘法治建设领域的领跑地位。中心开创性推动“条例”与“办法”同步修订，树立全国测绘法治化新标杆。“这两部法规不仅规范了测绘市场秩序，更明确了科技创新的法律地位，为自主研发、成果转化提供了坚实的法治保障。”中心党委书记、主任郭幸生介绍。

此外，中心积极参与行业标准制定，申报3项自然资源部行业标准、2项国家标准预研项目，推进7项团体标准编制，将创新实践上升为行业规范，提升在全国测绘行业的话语权。

三年来，“三步走”战略推动中心实现角色转型与能级跃升：从被动承接任务到主动对接需求，从技术跟跑到自主创新，从单一数据提供者到综合解决方案服务商，测绘地理信息工作全面融入全省经济社会发展大局，成为数字河南建设的“时空底座”和自然资源管理的“智慧大脑”。

技术攻坚：在关键领域铸就“河南标杆”

“核心技术买不来、讨不来，必须靠自己攻关！”郭幸生在科技创新推进会上的话语掷地有声。三年来，中心聚焦实景三维、北斗应用、遥感智能、自主软件等“卡脖子”领域集中攻坚，一批拥有自主知识产权



的核心成果相继问世，推动河南测绘技术跻身“全国第一梯队”。

实景三维建设：构筑数字中原“立体底座”

作为实景三维河南建设主力军，中心统筹四院力量，连续攻克多源数据融合、AI自动化建模、大场景轻量化等关键技术，提前超额完成自然资源部既定目标，进度稳居全国第一梯队。

“采用卫星影像、激光点云相结合的工艺生产LOD1.3级城市三维模型，能把传统生产路线几个月的工期压缩到1个月内。”河南省遥感院首席工程师余海坤介绍。团队创新采用软硬件一体化技术，优化空三加密等流程，让传统三维模型建模效率提高了4倍。

自主研发突破让河南掌握发展主动权。中心牵头构建的自主可控实景三维软件基础体系，彻底改变关键技术依赖进口的局面，不仅支撑省级实景三维生产，而且为18地市提供了数据管理与应用支撑，仅第一阶段研发就节省财政资金超1000万元。

如今，实景三维成果已广泛应用于城市防汛、招商引资、矿山监管等场景，支撑数字孪生城市建设，同时赋能商丘古城数字化保护、清明上河园沉浸式文旅等领域，推动文化遗产活化利用，真正实现“边建边用、以用促建”，为数字经济发展与治理能力提升筑牢空间数据支撑。



北斗与遥感：织密空天监测“智慧网络”

“耕地卫片执法线索发现效率提升70%以上，图斑核实率达90%！”这一成效，源于河南一号“1+20+108”颗卫星对地观测体系与北斗三号基准服务系统的协同发力。三年来，中心加快推进北斗三号数据共享服务体系，建成我国建站技术标准最高、站点数量最多、密度最大、完全自主可控的省级系统，为全省提供高精度时空基准服务。

河南省测绘院承担的北斗三号升级改造项目堪称技术攻坚典范。面对多厂商设备兼容、国产系统适配、海量数据并发等难题，项目团队创新采用“微服务”架构与大数据中间件技术，研发新算法模型提升模糊度固定成功率和基线固定率，相关成果《全国产高精度卫星导航定位基准服务体系关键技术及应用》荣获2025年度中国地理信息科技进步一等奖。这是该院首次以第一完成单位斩获全国地理信息领域最高奖项，为省级基准服务系统北斗升级提供了可推广的“河南方案”。

遥感监测领域同样捷报频传。河南省遥感院牵头完成的《主被动遥感粮食作物农保核查与估产关键技术及应用》，构建起作物农保遥感核查技术体系，推动农业保险从“经验核保”向“数字核保”转型，累计节约财政补贴约10亿元，荣获中国地理信息科技进步一等奖；《全国产化国土空间规划“一张图”关键技术与应用》研发云原生全栈适配方法，国产化环境适配效率达100%，推广至10个省份，节约建设成本5.25亿元，获中国地理信息科技进步二等奖；河南省“天眼”

系统建设数字高清影像制作项目，整合国产高分卫星与商业亚米级卫星数据，研发定制化分布式云存储技术，建成覆盖全省的高分辨率影像库，实现TB级数据秒级响应，获评中国地理信息产业优质工程金奖。

从耕地保护、矿山整治到生态修复，遥感与北斗技术应用场景不断拓展。黄河流域生态保护中，卫星遥感实现生态破坏问题“早发现、早制止、严查处”；农业保险领域，遥感核查技术精准识别种植面积，核减不实承保面积；矿山智能监管中，多模态数据融合技术实现跨界开采实时监测。空天一体的监测网络，让河南自然资源管理更智能、更高效。

AI与大数据：激活数据要素“核心价值”

“以前审查300多个矿山‘三率’报告，十几名专家要加班半个月，现在用DeepSeek模型辅助审查，能节省80%的人工文件查阅时间，精准度大幅提升！”河南省测绘院矿业监管项目组的工作场景，正是中心推动AI技术与业务融合的生动缩影。三年来，中心主动拥抱人工智能变革，率先探索行业大模型、智能数据分析等前沿领域，让沉睡的地理信息数据“觉醒”赋能。

2025年9月，河南省测绘院牵头申报的“后土”大模型入选全国自然资源行业首批试点，成为聚焦自然资源和空间对象的跨模态垂直行业大模型。“作为农业大省，河南保障国家粮食安全责任重大。‘后土’大模型将人工智能与耕地保护深度融合，构建耕地保护知识服务体系，提升耕地变化监测能力。”河南省测绘院项目负责人贾宝介绍。

河南省遥感院牵头申报的自然资源遥感智能解译样本及光谱数据库建设项目，是首批自然资源部部省合作试点项目，旨在构建覆盖全省的500万条以上大规模遥感智能解译样本库和地物光谱库。科研团队合力攻坚，目前已建成覆盖全省的百万级遥感智能解译样本库，基于“飞浆”深度学习平台自主研建遥感影像超分辨率重构系统、智能解译系统，可实现遥感影像成果从2米分辨率到1米、0.5米的超分重构，形成地物分类、目标识别等5类人工智能遥感智能解译模型，产出地表要素变化监测图斑、主粮作物种植分布等监测产品，大幅提升卫星遥感服务高效能治理的能力。

数据治理与应用方面，河南省地图院通过“数字资产统计”工作，对数据资源进行规模化、规范化盘点；优化升级的“天地图”河南省级节点，新增自然保护区、旅游资源等特色板块，建立常态化数据更新机制，成为便民服务重要窗口。

河南省地理信息院研发的矿业权综合审批管理系统实现“权证分离”，2025年10月颁发全省首本矿业权电子证照；自主开发的“沿黄生态廊道区域航空摄影数据（三门峡段）”，2025年11月在郑州数据交易中心完成登记确权并成功挂牌交易，成为河南省首例在地理信息领域实现场内交易的数据产品；土地二级市场交易监管系统累计完成交易78宗、金额超12亿元，有效盘活存量土地；补充耕地占补平衡动态监管系统，以地块为单元建立“流入一流出”全过程管控机制，为耕地保护提供技术支撑。一系列创新系统，推动自然资源管理从“经验决策”向“数据决策”转变，治理效能显著提升。

人才赋能：打造创新发展“智力引擎”

“创新的核心是人才，没有高素质创新人才队伍，再好的蓝图也无法实现。”郭幸生强调。三年来，中心党委将人才培养作为创新发展根本大计，通过机制创新、平台搭建、待遇保障，打造“人才济济、人人创新”的生动局面，让干事创业的“一池春水”持续涌动。

打破壁垒：构建人才成长“绿色通道”

“以前做技术晋升渠道单一，现在到市县局挂职锻炼，既开阔视野，又能把基层需求带回来，让技术创新更接地气。”作为中心首批下挂锻炼干部，河南省地理信息院赵艳坤深有感触。中心首次打通与河南省自然资源厅人才交流渠道，择优选派5名副处级以上干部到市县局挂职，搭建起“上下联动”的人才培

养桥梁。

职称评审实现历史性突破。2024年，中心成功组建河南测绘专业副高级职称评审委员会，高标准完成年度评审，219人申报、108人通过，通过率60.3%，既提升了行业专业性和权威性，也为人才成长搭建了平台。“以前评高级职称要跑外单位，现在家门口就能评审，标准更贴合工作实际，成长路径更清晰了。”一位通过评审的青年技术骨干坦言。

选人用人机制改革激活队伍活力。中心树立“能者上、优者奖、庸者下”导向，三年来选任处级干部29名、科级干部88名，选派柔性援疆干部2名、驻村第一书记2名，形成“有为者有位、能干者能上”的良好氛围。2024年，中心被省政府表彰为“省技能人才高地建设工作先进集体”。“这既是肯定更是鞭策，我们将持续深化改革，让更多优秀人才脱颖而出。”郭幸生表示。

搭建平台：让人才“有用武之地”

“中心搭建的联合研发、学术交流平台，让我们能和高校专家、行业顶尖人才共攻难题，成长特别快。”河南省遥感院青年工程师周俊利参与多项省部级科研项目后，已成长为技术骨干。中心积极推动“政产学研用”协同创新，与武汉大学、信息工程大学、郑州大学等高校建立长期合作，共建研发平台、联合培养人才。

河南省测绘院积极搭建多维平台拓展干部培养渠道，采用内部培养与外部交流相结合方式，与武汉大学、河南大学、河南理工大学等共建博士工作点，定期开展重大科研项目联合研究，推动高层次人才团队建设，逐步形成稳定的技术研发梯队；河南省遥感院与郑州大学、河南城建学院共建的“河南省研究生联合培养



工作站”，通过河南省教育厅立项审查，成为高端技术人才培养基地；河南省地图院建立内部科技创新人才培养机制，通过多种方式提升团队成员的技术水平和创新能力，团队成员张欢在测绘技能比赛河南赛区选拔赛中荣获一等奖；河南省地理信息院依托院士工作站，深化与北京师范大学、河南大学合作，参与多项国家级科研项目。近年来，各单位定期组织技术交流会、学术沙龙，邀请行业专家授课，累计开展内部培训超百场，培训职工数千人次。

科研项目成为人才成长的“练兵场”。中心鼓励青年人才牵头承担重大项目，在实践中锤炼本领。河南省测绘院“北斗三号升级改造项目”团队平均年龄不足35岁，已攻克多项核心技术；河南省遥感院青年研发小组在农业保险遥感核查技术研发中表现突出，成果荣获省部级一等奖。一批青年人才在创新实践中脱颖而出，成为推动测绘事业发展的中坚力量。

优化环境：厚植人才发展“沃土”

“中心既在工作上支持，又在生活上关怀，让我们能安心搞创新。”这是技术人才的共同感受。中心完善科技创新激励机制，在职称评定、职务晋升、薪酬待遇等方面向创新人才倾斜，对获重大科技奖项、取得核心专利的团队和个人重奖；建立容错纠错机制，鼓励大胆探索、宽容失败，营造“崇尚创新、勇于突破”的文化氛围。

硬件保障持续加强。中心加大科研投入，购置先进测绘仪器设备，搭建高性能计算平台，为技术研发提供坚实支撑；改善工作环境，建设创新工作室、学术交流室，让人才舒心工作。

三年来，中心人才队伍结构持续优化，高层次、复合型人才不断涌现，博士、硕士占比大幅提升，一批技术骨干获评自然资源部高层次科技创新人才、河南省科普专家，形成“老中青”梯次合理、专业互补的人才队伍，成为推动事业创新发展的核心力量。

赋能中原：以创新成果服务高质量发展

“测绘工作的价值，最终体现在服务经济社会发展的实践中。”三年来，中心坚持“服务大局、服务社会、服务民生”宗旨，将创新成果转化为现实生产力，为数字河南建设、生态环境保护、粮食安全保障等重大战略实施提供有力支撑，彰显测绘人的责任与担当。

生态环境保护一线，测绘技术化身“生态卫士”。中心构建的生态保护监测体系，整合卫星遥感、GIS、

无人机等多源技术，实现对自然保护区、山体、河流等生态要素的动态监测。河南省测绘院编制的《驻马店市山体保护规划》，通过无人机倾斜摄影、GIS分析等技术，完成全市山体资源普查与三维建模，划定保护控制线，推动植被覆盖率显著提升，水土流失率下降35%。河南省遥感院“多模态数据融合的露天矿山智能监管技术”，已应用于平顶山、济源等地，为矿山生态修复提供数据支撑。在黄河流域生态保护中，卫星遥感实现生态破坏问题“早发现、早制止、严查处”，同时精准赋能自然保护地、生态保护红线监测监管等工作，为全省生态环境安全筑牢科技防线。

粮食安全保障方面，创新技术发挥关键作用。河南省遥感院的主粮作物遥感监测技术，实现作物识别、长势监测、产量预估全流程智能化，既支撑耕地“非农化”“非粮化”监测，又为农业保险核查提供技术支撑，累计节约财政补贴超10亿元；“北斗+多模态遥感协同监测技术”提升无人农用机械定位精度，为智慧农业发展提供保障。

文物保护领域，科技赋能成效显著。河南省遥感院依托“河南一号”等卫星覆盖广、时空连续性强的优势，为全省国保、省保单位筑牢精准监测防线，破解传统人工巡查耗时耗力、偏远遗址群监管难度大等难题，精准捕捉文物保护范围及建设控制地带动态变化，用科技力量守护河南千年文脉。

数字政府与智慧城市建设中，成果让城市治理更智能。实景三维河南建设为郑州、开封、周口等城市提供高精度数字底座，支撑规划编制、应急救援、城市管理等工作。“天地图·河南”省级节点年访问量超百万人次，成为便民服务重要窗口；河南省地理信息院的国土空间基础信息平台，整合184项各类数据，实现规划编制、审批、监管全流程数字化。数字技术与城市治理的深度融合，推动治理体系和治理能力现代化。

应急保障战场上，测绘力量挺身而出。中心紧扣“防风险、保安全”核心需求，构建规范化、专业化应急测绘保障体系，圆满完成2023年至2025年河南省应急防汛综合演练；在台风“杜苏芮”应急响应中，为北京房山供电公司提供20千米线状高清影像，获省防汛抗旱指挥部通报表扬；汛期为部队抗洪抢险提供1.72万平方千米地形图成果，全力保障武警第一机动总队任务，获得省军区领导高度认可并致信感谢。

重大项目建设现场，测绘服务精准给力。从河南自贸区、郑州航空港区建设，到高速公路、铁路及水

利工程实施，测绘技术人员奋战一线，提供高精度地理信息数据支撑。三年来，中心累计为全省数千个重大项目提供测绘服务，节约建设成本数十亿元。

初心如磐：测绘人的使命与担当

“我们测绘人，脚下是大地，心中是祖国，肩上是责任。”这是一代代河南测绘人的座右铭。在创新发展道路上，无数测绘人扎根基层、默默奉献，用汗水和智慧诠释“精准测绘、服务发展”的初心使命。

周口实景三维建设现场，测绘队员顶着烈日酷暑穿梭街巷，每日徒步10余千米布设地面控制点采集数据，皮肤被晒伤、衣物被汗水浸透成为常态；内业建模人员连续熬夜调试模型参数，确保纹理贴合精准、数据融合无误。“只要能拿出高质量成果，再苦再累都值得！”这是他们最朴实的心声。

实验室里，研发团队为攻克技术难题通宵达旦、反复试验。河南省测绘院北斗三号升级改造项目团队，为解决多厂商设备兼容问题，查阅上千篇文献、开展上百次试验，最终形成成熟技术方案；“后土”大模型研发团队放弃节假日，加班加点优化模型，只为早日实现技术突破。正是这种精益求精、攻坚克难的精神，推动河南测绘技术不断迈上新台阶。

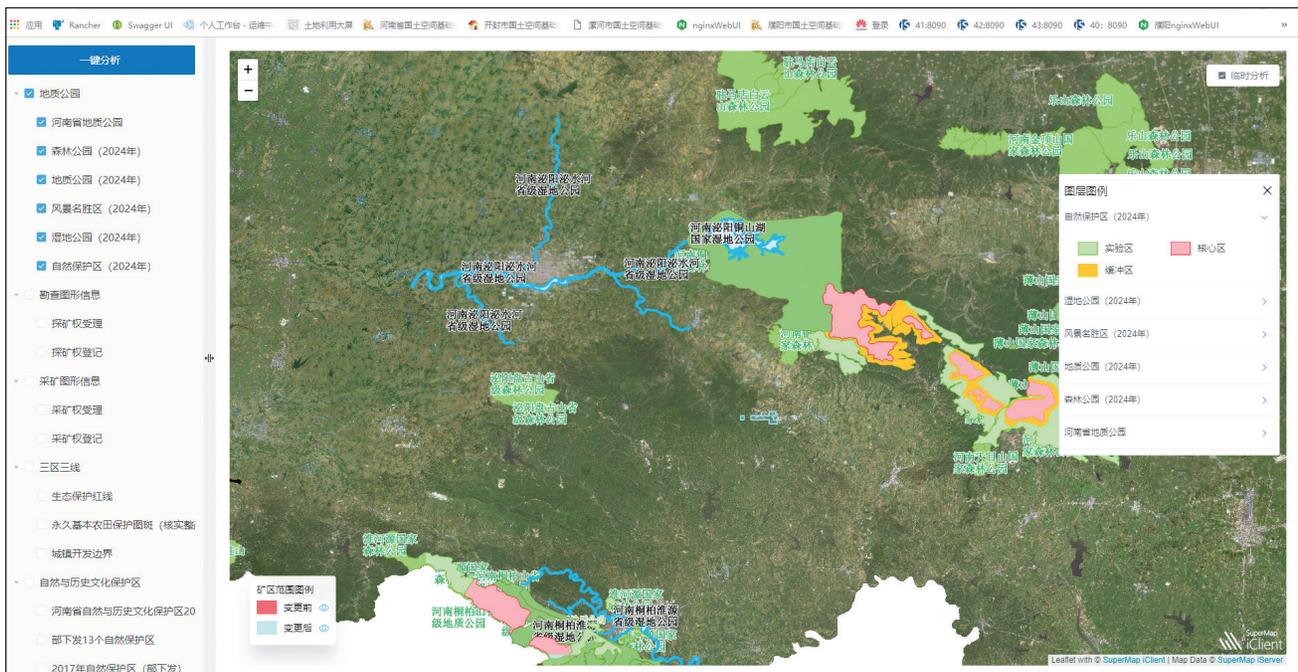
基层服务一线，测绘人用专业技术解决群众急难愁盼。河南省地图院“河南啥都有”系列文创地图，生动展现河南文化地理特色；不动产“暖民心”网站

优化升级，让群众办事更便捷；乡村振兴战场上，测绘技术为村庄规划、农田建设、生态保护提供精准支撑，助力乡村发展。

三年来，河南测绘人用脚步丈量中原每一寸土地，用仪器记录时代每一个瞬间，用智慧绘制高质量发展蓝图。他们不畏严寒酷暑、不惧艰难险阻，在深山密林与城市乡村留下奋斗足迹，用实际行动谱写河南测绘事业创新发展的壮丽篇章。他们的故事或许平淡无奇，但点滴坚持与奉献，汇聚成推动事业前进的磅礴力量；他们的名字或许不为人知，但中原大地的每一条路、每一座桥、每一栋建筑，都见证着他们的付出。

站在新的历史起点，河南省测绘地理信息技术中心的创新之路越走越宽。三年创新实践，不仅推动全省测绘地理信息技术研发与应用水平跨越式提升，更锤炼出一支敢打硬仗、善打胜仗的创新队伍，为未来发展奠定坚实基础。

“创新之路没有终点，只有连续不断的新起点。”郭幸生表示，下一步，中心将持续坚持创新驱动发展战略，聚焦北斗应用、实景三维、人工智能大模型等核心领域，深化关键技术研发与成果转化；完善人才培养机制，打造高素质创新型人才队伍；加强产学研用协同创新，构建开放合作的创新生态，以更高精度的地理信息数据、更智能的技术解决方案，为河南经济社会高质量发展、奋力谱写中原大地推进中国式现代化新篇章贡献更大测绘力量！



郑州市启动主城区 D 级测量标志网修复

为贯彻落实河南省自然资源厅关于测量标志保护和修复工作的部署要求，全面提升测绘基准管理能力，确保市域测绘坐标系统精准可靠，11月起，郑州市自然资源和规划局正式启动市本级主城区 D 级 GNSS 大地控制点网修复工作。

此次修复以全省测量标志普查成果为基础，严格遵循河南省自然资源厅《关于加强全省测量标志修复和保护工作的通知》精神，结合主城区测绘基准实际需求推进实施。郑州市自然资源和规划局统筹安排 2025 年和 2026 年基础测绘地理信息经费共计 180 万元，通过一

次性招标确定项目实施单位，保障修复工作规范有序开展。此次修复范围覆盖郑东新区、高新区、经开区等区域，计划修复新建 D 级点位 60 处。修复完成后，郑州市主城区 D 级 GNSS 大地控制点总数将达 121 处，可有效满足城市测绘基准和坐标系统稳定运行的核心需求。

为保障修复工作质量，此次修复严格遵循技术规程、分阶段推进。首先制定详细技术设计书，同步开展现场踏勘、点位选定、测量标志埋设及点之记绘制等工作；随后开展外业 GNSS 测量与四等水准测量，精准完成数据处理及平差分析；最

后委托省级测绘质量检测机构开展成果质量核查，经专家验收合格后按程序向省自然资源厅汇交成果，构建起全流程闭环质量保障体系。

此次修复工作的启动，对维护测绘基准稳定、提升城市空间信息服务能力具有重要意义。下一步，郑州市自然资源和规划局将持续履行测量标志管理职责，深化测量标志清查与修复工作，健全长效保护机制，不断提升测量标志管理规范化、专业化水平，为维护国家安全、支撑城市高质量发展提供坚实的测绘地理信息保障。☑（郑州市自然资源和规划局 李碧云）

许昌市积极宣传《河南省测绘条例》

12月1日，新修订的《河南省测绘条例》（以下简称《条例》）正式施行。为切实做好《条例》的学习宣传贯彻工作，当日，许昌市自然资源和规划局在市规划展览馆举办以“依法测绘，赋能未来”为主题的宣传活动。

此次宣传活动形式多样、内容贴近民生，通过图文展板展示、测绘仪器装备展览、成果应用视频展播及现场答疑等多种方式，向过往市民全方位、直观解读新《条例》。活动重点普及了《条例》的出台背景、意义、主要亮点、制度与机制创新等关键信息，生动展现了测绘地理信息技术成果在经济建设、政府决策、乡村振兴、防震减灾、社会治理等多个领域的应用成效，让市民沉浸式感受测绘地理信息服务与日常生活的紧密关联，打破了大众对测绘行业的认知壁垒。



据了解，新修订的《条例》不仅是贯彻落实《中华人民共和国测绘法》的重要举措，更是结合全省测绘事业发展实际，对上位法的进一步衔接与细化，为规范全省测绘活动、推动行业高质量发展提供了坚实的法治保障。

下一步，许昌市自然资源和规

划局将持续加大测绘地理信息法治宣传力度，通过多渠道、多层次的宣传活动，凝聚起全社会依法测绘共识，不断提升全市测绘地理信息法治工作能力与水平，为全市测绘地理信息事业高质量发展筑牢法治根基。☑（许昌市自然资源和规划局 朱倩丽）

濮阳市开展卫星导航定位基准站运维调研工作

12月3日至5日，濮阳市自然资源和规划局对全市11座卫星导航定位基准站开展现场调研。

调研组深入各基准站现场，通过实地查看、台账核查、现场询问等多种方式，全面排查基准站运维现状。现场核查过程中，调研组重点查看了基准站的基础设施完好情

况、核心仪器设备运行状态及观测环境维护质量，详细了解站点通信网络传输稳定性、电力供应保障机制落实情况，仔细查阅了站点日常维护日志、故障处理记录，深入核实定期巡查制度、安全保密制度的执行情况，确保调研工作不留死角、不走过场。

经全面排查，濮阳市11座卫星导航定位基准站整体运行态势平稳，通信网络传输畅通无阻，电力供应持续可靠，日常运维台账记录规范，定期巡查与安全保密制度均得到有效落实。同时，针对个别站点存在周边环境整治不到位、观测室环境有待优化等问题，调研组现场明确整改要求与时限，强调要进一步压实主体责任，细化运维管理措施，及时协调解决环境整治、设施完善等问题，确保各站点始终处于高效安全运行状态。

下一步，濮阳市自然资源和规划局将进一步完善卫星导航定位基准站长效运维管理机制，强化日常监管与技术指导，定期开展运维技能培训，为濮阳市经济社会高质量发展、自然资源精细化管理提供坚实可靠的测绘地理信息保障。

☑（濮阳市自然资源和规划局 孟勇奇）



实景三维舞钢建设项目迈入实质性推进阶段

12月17日，舞钢市自然资源和规划局组织召开实景三维舞钢建设项目实施方案及专业技术设计书评审会。与会专家经过质询与讨论，认为项目方案内容完整、技术路线合理可行，符合舞钢实际建设需求，一致同意通过评审。

据悉，实景三维舞钢建设项目是舞钢市落实平顶山市“十四五”期间基础测绘工作要求、践行本地“十四五”基础测绘规划的重要举措，核心目标是构建城市实景三维数字底座，为舞钢市数字化转型提供核心空间基础设施支撑。该项目覆盖舞钢市城区管辖范围约

56.81平方千米，城镇开发边界范围约30平方千米，将获取0.03米分辨率倾斜航空摄影影像，构建LOD1.3级城市三维模型，更新制作1:1000数字线划图（DLG）、0.1米分辨率真正射影像（TDOM）、0.5米格网数字高程模型（DEM），并搭建三维可视化展示系统。

评审会上，舞钢市自然资源和规划局详细介绍了项目背景、覆盖范围及建设意义，项目承建方汇报了技术设计方案，重点阐述了无人机倾斜摄影等关键技术的应用及核心任务实施路径，并展示了试点成果。会议明确要求，承建方需根据

专家意见迅速优化完善方案细节，严格把控项目质量与建设进度，确保按期优质完成各项建设任务；各相关单位要强化协同配合，压实数据安全主体责任，确保实景三维舞钢建设项目顺利推进。

下一步，舞钢市自然资源和规划局将督促承建方完善建设方案，高标准推进项目实施，全力打造精准、高效的实景三维空间数据资源体系，努力为舞钢市城市规划、国土空间治理、产业发展等提供全方位空间信息支撑，有力推动城市数字化、智能化转型发展。☑（舞钢市自然资源和规划局 张任武）

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

思源时空：创新赋能行业发展

◎ 本刊记者 栗荣晓 通讯员 赵涵

思源时空科技（河南）有限公司（以下简称“思源时空”）起步于2016年，是一家专业提供新型时空数字信息服务和地理信息软硬件解决方案的科技公司。作为国家高新技术企业，思源时空拥有多项行业资质，连续多年被评为河南省地理信息产业20强、中国测绘地理信息行业百强商家等。思源时空始终本着“专一·专注·专业”的精神，面向各行业需求提供实景三维建设、生态环境保护、时空数据治理、二三维可视化、数字孪生应用、低空行业应用等解决方案。

筑牢雨水情监测智能防线

近年来，思源时空积极实施战略聚焦和业务升级，凭借全国12家分公司和子公司战略布局，构建起东北、华北、华东、华中、华南、西南、西北等重要区域的测绘地理信息服务网络，在自然资源、水利水文、生态环保等领域深度服务，形成“总部推进+区域应用”的高效协同机制。

2022年7月，思源时空承担建设辉县市保障小型水库安全运行项目，实现与省级监测平台数据互联互通，实时监测小型水库坝体的位移、渗压、渗流等变化情况，筑起雨水情监测智能防线。

思源时空总经理宁朝阳高度重视，抽调技术骨干，充分发挥专业技术优势，对建设中遇到的重难点问题一一破解。在酷热的夏天，技术人员扛着沉重的测绘仪器，每天跋山涉水数千米，在每座小型水库坝顶布设测点，在坝肩山体稳定区建设基点，建立高精度GNSS控制网，实时测定和预报坝体位移等变化情况。

与此同时，对全市小型水库的相关数据进行采集、汇聚、分析、整理，将建成的平台数据纳入省级监测平台实现互联互通，通过“空天地人”一体化感知网络，有效提升水库大坝监测感知能力和安全监管效率，为洪水灾害防御、水资源管理与调配相关决策提供技



● 思源时空科技（河南）有限公司总经理 宁朝阳

术支撑。

在项目建设中，思源时空坚持“突出重点、兼顾全面、实用和高效”的设计原则，创新性采用“一库一图”设计模式，实现信息的全局共享与高效应用，大幅提升了施工质量与效率，加快了平台项目的建设进度。

经过3个月的艰苦奋战，辉县市保障小型水库安全运行项目顺利通过验收，筑牢了水库大坝安全防线，提升了水库运行安全保障能力，为人民群众生命财产安全提供了坚实保障。该项目荣获2025河南省地理信息产业优秀工程铜奖。

“2022年以来，监测平台实现水库水位、降雨量等关键数据的自动采集与报送，水利部门信息化管理能力显著提升，也为防汛抗旱调度方案和应急预案制定提供了精准数据支撑。”辉县市水利部门工作人员表示。

创新驱动领航发展

“我们坚持在技术创新上大胆尝试，即使失败也不放弃，因为每一次创新都可能带来突破性进展。”宁

朝阳表示。

2024年7月，信阳市节约用水事务中心委托思源时空承建NB-IoT窄带物联网技术节水一体化智慧监管平台项目。思源时空以数字孪生技术为核心、以地理信息系统为支撑、以高效协同为保障，构建起全域感知、智能分析、精准管控的智慧节水体系，交出了一份高质量的技术创新答卷。

项目建设中，思源时空建模团队携带无人机、RTK定位设备，利用高精度地理信息采集技术，获取园区地形地貌、管网走向、设备坐标等核心地理数据，为数字底座构建奠定基础；施工团队避开用水高峰时段，利用间隙窗口期高效推进多参数水质在线分析仪、电磁流量计、压力变送器等终端感知设备的安装；研发团队全力投入平台功能模块开发、系统集成与测试等环节，完成平台的全流程闭环。

为打造兼具真实性与精准度的数字孪生底座，研发团队创新采用“卫星影像+倾斜摄影+手工建模”融合方案：以全球卫星影像为基础地理底图，对供水管网、水泵站、水处理设备等核心设施，采用1:1手工精细化建模，精准复刻设备外观、安装位置、接口参数及管网拓扑关系；整合GIS地理信息数据，将管网埋深、管径规格、材质类型、阀门位置等属性与地理坐标精准关联，实现“物理世界—数字空间”的一一映射。

从数字底座的技术方案论证，到倾斜摄影的实景建模，从地理信息的数据校准，到数字孪生的功能优化，无论是面对复杂的管网环境、严苛的技术标准、紧张的项目工期还是创新技术的应用难题，团队成员从未退缩。他们积极钻研数字孪生、地理信息、物联网等前沿技术的融合应用，用专业知识破解管网定位难、模型精度低、数据协同慢等问题，用执着态度追求每一个数据的精准、每一个模型的逼真、每一个功能的实用。思源时空深刻把握委托方对用水数据实时性、准确性与决策实用性的迫切需求，构建了“感知层采集—传输层互联—数字底座整合—应用层赋能”的全流程协同机制。该项目荣获2025河南省地理信息创新应用优秀案例二等奖。

思源时空建成的智慧监管平台，以“地理精准、数据精准、决策精准”的鲜明特质，为信阳市水资源精细化管理提供技术支撑，有效降低水资源损耗，提升水资源利用效率，赢得了委托方“技术先进、服务高效、成果实用”的高度评价。

低空应用赋能行业发展

随着城市运维、工业养护需求的不断升级，无人机清洗与喷涂凭借“高效、安全、低成本”的优势，成为解决高空作业难题的重要技术手段。

9月16日，在郑州圆方集团总部大厦外，由思源时空技术指导，搭载“双系留技术”的无人机自主完成了“AI污渍识别—三维路径规划—高压精准清洗”全流程作业，展现出稳定的飞行性能、高效的清洁效率和彻底的清洁效果，令参观者对“科技替代人工”有了更加直观和深刻的认识。技术融合不仅将作业效率提升至传统人工的5倍以上，更从根本上消除高空坠落风险，使“零伤亡”作业成为可能。

地理信息技术是无人机清洗的“大脑”，思源时空总经理宁朝阳表示，“从空间数据采集到清洗路径优化，再到作业效果评估，每一步都离不开地理信息技术的精准支撑。我们的目标不仅是替代人工，更是推动行业向安全化、标准化、智能化升级。”

在行业应用无人机技术领域，思源时空率先引进了美国和丹麦的无人机，应用于大比例尺地形图测绘，尽管在早期探索阶段遭遇了多次挫折，但公司坚持不懈，最终成功通过了省级质量检验。

在低空经济快速发展的背景下，思源时空创新性地将地理信息技术与无人机低空应用深度融合，推出了无人机管理平台，并成功应用于公安、应急、消防、矿山等领域。

为提升矿山领域智能化水平，2023年至今，思源时空联合洛钼集团，在其旗下三道庄钼矿、上房沟钼矿、炉场沟尾矿库、涩草湖尾矿库及三道沟尾矿库布设了无人机自动化机场，依托“GIS+无人机+AI”技术闭环，无人机可按计划定时定点自动飞行，实现了露天矿山和尾矿库的智能化巡查。通过无人机管理平台在线监控现场，远程随时查看现场实时状况，及时发现影响尾矿库正常运行的各类问题，排除隐患。

“无人机机场智能化巡查，解决了人力巡视过程中因环境、时间限制而产生的效率低、问题发现不全、溯源能力较弱等问题。”洛钼集团相关负责人说。

九年的发展历程，思源时空用实践证明了技术创新对企业成长的强大动力。未来，思源时空将以数据为核心、以科技为驱动，继续深耕数字化转型和低空经济领域，致力于为客户创造更多价值，为行业注入更大活力。正如宁朝阳所言：“每一次创新都可能带来突破性进展，我们相信未来充满无限可能。”

山东德州：数据“活”起来 服务更智能

◎ 王龙春

从规划街区的绿地，到守护乡村的农田；从极端天气提前预警，到刑侦案件空间线索；从城市管理的数字化服务，再到人们日常使用的智能导航——这些现代科技正悄然改变着我们的生活，其背后都离不开基础地理信息技术的支撑。

近年来，山东省德州市大力推进基础地理数据资源共建共享，着力打破部门信息壁垒，推动数据“活起来”，用科技为城市高质量发展注入动能，为地方经济社会高质量发展提供坚实支撑。

集成海量数据，城市有了“数字大脑”

交织成网的道路、随处可见的公园、鳞次栉比的建筑……在德州市自然资源局，工作人员轻点鼠标打开智慧德州时空大数据平台，中心城区的部分实景三维模型便跃然屏上。

“可以说，德州的每一寸土地，几乎都能在这里‘看得见、读得懂’。”该局正高级工程师刘红英这样形容，“这就像是给城市装上了一颗‘数字大脑’。”

作为国家基础性、战略性资源，地理信息数据系统建设非一日之功。

早在2013年，德州市国土资源局（现德州市自然资源局）以全市国土资源底图为基础，建成了数字德州地理空间框架，涵盖中心城区遥感影像图和地形图。2019年，该局升级“数字德州”地理空间框架平台，建立了云平台服务构架，扩展了多种应用服务场景，丰富了全市基础测绘地理信息资源；2023年，该平台又进一步升级为基于实景三维的智慧德州时空大数据平台，构建起全市实景三维数据库管理系统，形成二维三维一体化信息平台。至此，智慧德州时空大数据平台逐步实现从平面到立体、从静态到动态的跨越。

该平台负责人赵洪强介绍，智慧德州时空大数据平台具有高精度、全覆盖、全要素、多层级等特征，集成了2012年至今全市1:1万、1:500比例尺的测绘数据现状图，广泛应用于各项测绘、规划图纸制作和审查；涵盖分辨率为0.03米、0.2米、0.5米的遥感影像，让城市道路、建筑物等清晰可见；新集成了建成区内分辨率0.03米的实景三维数据及0.2米全市

域实景三维数据，让整个德州市立体展现在人们眼前。平台还集成了地名地址数据、控制点数据、数字高程模型、地理省情等基础地理信息数据，空间化人口、法人、医疗、教育等27大类近2000万条专题数据以及国土、规划等6大类规划数据。“近两年，平台又充分整合接入了环保、气象等9类实时感知数据，通过统计分析、空间分析及数据挖掘，可辅助领导相关事务的决策及规划制定等工作。”赵洪强说。

数据“用起来”，城市治理“灵起来”

在德州市数字化城市服务中心，大屏幕上实时跳动着路灯、井盖、水位等城市运行数据。“城市哪个路灯坏了、哪个井盖位移，不用再派人去现场查看，通过系统可第一时间获知，实现了快速发现、快速响应。”该中心高级工程师王志伟说。

城市运管服平台是德州市城市治理的核心平台。以智慧德州时空大数据平台的基础地理信息数据为支撑，德州市搭建起中心城区城市管理基础空间数据系统，通过与园林、市政、环卫等城市管理业务数据的融合，实现城市运行管理服务状况的实时监测、动态分析、统筹协调、指挥监督、综合评价等全流程管理，进一步提升了城市管理的精细化、智能化水平。王志伟介绍，去年，他们在城市运管服平台开发了城市防汛模块，导入最新的基础地理数据，并将市区泵站、管线及易积水点等位置进行叠加，完成了中心城区排水防涝预警系统建设。“通过数据的融合，使水位预警更精准，处置更有效，2025年汛期成功预警15次。”王志伟说。

数据的共建共享，也让公安、气象等部门如虎添翼。德州市公安局通过将警情、人口数据与实景三维地图结合，实现从“经验办案”向“数智办案”的转型，为他们在警务决策、犯罪打击、社会治理等方面提供了全方位的数据支撑。例如，通过将地形、影像、实景三维等基础地理信息与人口、案件、警力等公安业务数据进行空间关联和整合，不仅能辅助公安人员在案件侦办中熟悉地形地貌，便于开展走访调查以及实施抓捕，同时也方便社区民警对辖区人口、房屋进

卫星影像让秦岭违规穿越“无处遁形”

◎ 苏梓璇 刘玲玲

为有效遏制秦岭区域违规穿越探险行为、筑牢秦岭生态安全屏障，自然资源部陕西基础地理信息中心主动对接陕西省渭南市发展和改革委员会（秦岭办）需求，编制渭南市秦岭区域违规穿越探险路线卫星影像图，为当地开展专项整治工作提供“一张图”可视化支撑。

针对秦岭区域人工巡查覆盖范围有限、违规穿越问题发现处置滞后等监管难点，该中心综合运用卫星遥感等技术手段，创新制作高精度卫星影像图，清晰呈现违规穿越路线分布、人类活动热点区域及人员聚集点，有效提升秦岭生态保护监管效能。卫星影像图以最新高分辨率卫星影像为基础，集成秦岭三区、建设控制地带、保护单元等管理数据，并叠加多类地理要素数据进行编绘，覆盖范围不仅包括渭南市秦岭生

态保护区，还延伸至西安市蓝田县灞源镇、商洛市洛南县洛源镇的部分区域。

依托这一地理信息成果，当地执法部门可精准开展整治行动，科学布设管控卡点，实现“精准识别+高效监管”的双重提升。同时，该中心通过系统建立梳理违规路线台账和动态更新监测数据库，形成标准化、可视化数据成果，为生态修复、重点区域管控、政策优化及长效机制建设，提供持续可靠的数据保障与技术支撑。

下一步，该中心将持续深化地理信息技术创新与融合应用，推动地理信息从支撑保障向赋能引领转型升级，为政府科学决策、应急管理和精细化治理提供更加坚实、精准、高效的地理信息服务支撑。☑（作者单位：自然资源部陕西基础地理信息中心）

行精细化管理。

精准的气候可行性论证，离不开现代天气预报与基础地理信息的协同。德州市气象局则借助地理信息数据，实现对气象灾害影响的空间精细化评估，为防灾减灾、国土空间规划提供科学依据。德州市气象局业务科技科科长尚建设说：“我们将降雨、雷电等气象监测数据，与高程、水体、关键设施等地理信息叠加融合，在空间上实现对气象灾害影响的精细化评估，为探测环境保护、气象灾害风险防御、国土空间规划提供精准支撑。”

“今年以来，我们以市县一体化的地理信息协同服务模式，向城管、水利、市场监管、生态环境、民政等30多个政府部门、企事业单位提供统一的地理信息在线服务。近2个月，访问频次达7714次。”刘红英说。

从平面到立体，城市规划“眼见为实”

“过去看平面图，总感觉缺了点什么，决策时难免心里没底。”刘红英坦言。而现在，通过实景三维平台，整个城市可以用人视、鸟瞰、环视等多角度呈现，山水林田湖草“一屏尽览”，自然资源家底一目了然。

从平面到立体，实景三维数据库的建成进一步提高了政府治理效能。城市三维可视化，让规划决策者

更直观地把握各片区及整个城市发展风貌，为规划编制和实施管理提供重要辅助参考，为建设项目从用地选址到方案评审的全过程提供服务。

正在规划中的东七便民市场，坐落于天衢新区东风东路南部，建成后将彻底改变该区域无大型综合商超的现状，覆盖周边10余个商住小区，将大大提升居民生活质量。最初，这座便民市场还规划了一座高层建筑，十分雄伟大气。然而，把整个设计方案整合到片区三维模型中呈现时，从多个视角分析，便会发现这座“庞然大物”与周边环境不协调。为此，经与企业沟通，结合市场调研情况，相关部门决定在东七便民市场不再规划建设该高层建筑。“对比前期规划，新规划方案业态简单，功能明确，更贴合片区实际需求。”德州市自然资源局城市规划科工作人员王壮说。

“未来，我们希望从‘政府用’到‘全民用’，从部门共享到全民共用，从城市治理到百姓生活。如今，数据正以前所未有的方式‘活起来’，也让我们的城市变得越来越智慧、越来越贴心。”该局副局长李新生说。下一步，该局将继续深化智慧德州时空大数据平台的建设与应用，推进定制化地理信息服务，赋能城市建设、管理与治理全过程。☑（作者单位：山东省德州市自然资源局）



刘经南院士： 北斗服务智能驾驶大有可为

◎ 范俊劼

智能驾驶是世界性战略性新兴产业的重要组成部分，也是世界新一轮经济与科技发展的战略制高点之一。中国工程院院士刘经南在第二届中国测绘地理信息大会上提出了充分发挥北斗精准时空基准服务作用，立足中国国情和现有条件，走出一条中国特色的智能驾驶发展之路的具体设想。

智驾领域的融合发展趋势

刘经南院士首先从4个方面谈到了智能网联汽车产业融合发展的大趋势。

一是领域融合。当前，以汽车五化（轻量化、电动化、智能化、网联化、共享化）为特征的交通变革正在全球兴起，汽车制造业、汽车服务业、能源、交通运营服务、互联网、信息服务、智能交通等行业的跨领域融合发展是大势所趋，也为积极稳妥推进碳达峰、碳中和提供了新机遇。

二是技术融合。在智能时代，天地一体化网络、

窄带物联网、北斗卫星导航及其增强系统、5G-A/6G天地融合通信、人工智能、智能制造、新材料、新能源、大数据等众多新技术在智能交通领域加速融合。

三是基础设施融合。交通工具向移动智能终端、储能单元和数字空间转变，带动了能源、交通、信息通信基础设施改造升级，形成了自主可控的交通新型基础设施。

四是出行服务模式融合。交通出行服务的理念被明确写入《交通强国建设纲要》，也印证了泛在、绿色、民本、可信、共享、智能的交通出行服务融合发展，必将带来出行服务人本化、数智化的新业态、新模式。

产业的趋势，在碳达峰、碳中和的背景下，正在向实现“零事故、零堵塞、零污染”的智能交通愿景发展。

刘经南院士还谈到了交通新基建的发展趋势。

一是“智网”融合。当前，智能化、网联化融合成为重要技术路径。中国启动了智能网联汽车“车路

云一体化”应用试点，20个试点城市组织开展了规模化建设和应用，正在探索车、人、网、设施（路侧设施、信号灯）的信息互联共享。从发达国家的情况来看，2024年8月，美国交通运输部发布了《网联拯救生命：加速车联网部署计划》，提出了车辆和基础设施部署目标。而早在2022年2月，欧盟就发布了《网联、协作和自动化出行线路图》，明确了车联网顶层规划，旨在加速推动车联网规模部署，可见国际智驾趋势仍是智能网联的车路人协同。

二是汽车成熟供应链助力低空经济。低空出行产业与新能源汽车形成了高度产业链重合，现有汽车产业链中的卫星导航、自动驾驶、电池技术、激光传感器、轻量化材料、网联化基础设施等关键环节只需要微调和复用，就能助力低空出行新产品尽快量产，通过规模化生产有效降低产品成本。电动垂直起降飞行器（eVTOL）将在2025年实现年增速约2300%的爆发式增长，低空出行产业即将迎来新一轮增长。

三是北斗时空智能基础设施赋能智能网联汽车及数字交通基础设施。北斗/GNSS作为全球性、高精度时空位置服务基础设施能给移动互联网赋能，还能使5G移动互联具有室内外定位无缝一体功能，可较好地满足交通类新型数字基础设施建设需求。此外，北斗有着星间和星地双向通信功能，还有目前在亚太地区、未来可扩展至全球的亚分米、10纳秒级星际精密单点定位和时间同步服务，可直接为智能网联汽车和路边车联网赋能，支持车路协同，将派生出各种智能驾驶和交通设施融合创新应用的新机遇。

四是时空智能叠加交通流所产生的数据赋能城市建设与管理。北斗/GNSS为不同行业的时空位置服务提供了重要海量时空位置信息流，并在数据智能基础上，对它们赋予时空智能。卫星定位地基增强基准站网络（CORS）能提供精确流式数据服务，从而形成了5个方面的结果：交通流，位置服务提供了道路交通流量、出行信息及其瞬间变化和趋势；人流，流量信息反映个体、群体行为和迁徙时空规律；物流，生产、运输、存储、销售实现了全过程、全时空监控；信息流，通过了解信息流在网络主节点、支节点上的位置时间，可捕捉特定信息流行为；资金流，包括全国性不同银行、各网点运钞车的监控，以及互联网上资金流进流出的精密时间监管。

五是“北斗+智能网联汽车”融合赋能交通新基建。我国正走在“车路协同+单车智能”双轮发展的道路

上，自主可控的北斗高精度导航定位、5G通信、AI、大数据等高新技术将得到充分发展，为世界提供自动驾驶的中国方案。车路协同通过路端的“北斗+5G”智能基础设施，将充分赋能智慧交通，让聪明的车、智慧的路、强大的云、可靠的网、精鲜的图多方协同，一起促进自动驾驶产业的跨越式发展。

北斗服务智驾的挑战和思路

刘经南院士重点谈到了北斗服务智能驾驶最核心的挑战，即复杂场景下的定位难题。当前，卫星导航定位还存在一些问题和短板。比如在城市峡谷，全球导航卫星系统存在脆弱性，特别是信号遮挡的问题，卫星信号容易受到干扰和欺骗，导致定位失效。在路、桥、隧道方面，多源融合定位自适应和一致性差，定位源变化时，重新定位时会出现跳变现象。在地下空间里，难以构建与北斗时空基准一致的新型地下空间时空基准，定位的精度难以得到准确评价。

现有自动驾驶测试场的场景设计，尚未充分考虑上述复杂场景。针对以上问题，刘经南院士指出，要构建“北斗+5G”地基增强基础设施，提供广域协同、车路协同的高精度时空位置服务。

一是采取“智能网联车+车联网+高精地图”三大关键技术协同的思路建设新型城市交通基础设施。这三大技术包括：集成北斗系统时空定位、场景感知认知技术的时空智能；“北斗+5G”构成道路车联网，提供云、边、端协同，形成人、车、路、环境信息联动的实时性交流智能基础设施；AI和大算力中心汇聚行进车辆的路线场景环境，为动态高精地图赋予交通环境认知智能，保障行驶决策的精准可靠。这种“聪明的车+智慧的路+随动的图”智能驾驶模式，用户分担成本最低、科技进步效果最好、总体经济效益和安全性最高，该技术方案正在成为国际共识。

二是支持拥有北斗定位、高精地图、遥感测绘、5G/5G-A通信特色优势技术的科研院所，开展通感融合关键基础技术攻关，分区在高速路网两侧构建“北斗+5G”通、导、遥一体时空基准和路况感知新型数字基础设施，向道路网提供精准气象预报，构成智驾交通环境与设施的实时服务体系。

三是规模化建设路侧端“北斗+5G”地基增强网络，提供北斗地基增强高精度时空信息数据服务、车路协同感知服务、环境感知服务，以路边为视角提供边一端、边一云协同信息数据服务和车辆运控辅助决策服务。

在有条件或特定区域构建基于 5G-A 的人、车、路、云高度协同的互联环境，可以申报国家智能网联汽车“车路云一体化”全域开放示范区，构建基于 5G-A 的智能网联汽车与智慧交通服务体系。例如，湖北省规划在武汉、襄阳建设“5G-A+北斗+智能网联汽车”试验与检测基地。

四是在高速路网、隧道两侧交错布设 5G 通信距离可达 200 米的微基站，给各 5G 微基站信号相位中心赋以北斗时空系统和相应位置坐标，给微基站赋予通信载波调制微测距码，实现隧道内的北斗系统时空位置精准定位。

五是给智能网联汽车配置场景感知、车路协同的相应设施和装备。

两种发展路径的对比和选择

刘经南院士强调，2021 年 9 月以来，华为、高德、千寻位置等公司，开展基于北斗的车道级导航应用，是我国在全球卫星导航领域开创先河、贡献中国特色智能交通方案的重要里程碑，在部分城市开展了先行先试，取得积极成效。

他指出，以高精地图为中心，人车路、云边端协同融合的自动驾驶发展路径最近遇到了特斯拉的 FSD，即端到端商业化规模销售的挑战，中国一些车商甚至许多专家也打算或主张放弃中国模式，转向 FSD 模式。这是一个值得探讨的问题。客观来说，特斯拉的 FSD 模式有其优势，毕竟它是第一个真正实现数据驱动并开始量产的智驾模式。从技术方面说，FSD 的算力、数据、算法、软硬件有先发优势。但是，FSD 模式也有其不足之处。一是 FSD 这类端到端数据驱动大模型还是基于数据概率模型训练，不可避免的问题是对于比较简单、容易描述的场景，它的输出反而没有那么精确，安全保障令人忧虑，而简单规整的场景又是大量的。二是特斯拉 FSD V12.3 推出后，声称下一步要推出 L5 级无人驾驶产品，但美国公路管理部门和美国业界专家认为严格意义上目前还只是满足 L2+ 级的产品。三是智驾大模型由于受到车端算力的限制，参数较大的模型无法直接部署在车端，只能部署在云端。所以，智驾大模型无法像 ChatGPT 一样，通过通用类大模型解决所有实时自动驾驶的控制指令传输问题。它会受制于网络传输延时，要从多个维度赋能和管控云一边一端协同，耗费时间，数据驱动模式需要超大算力，耗能过于惊人，对于庞大的参数规模和训

练要求，车端芯片计算能力和存储能力几乎无法支持。这种模式一定会被“类脑智能+混合人工智能”模式替代。

刘经南院士强调，我们应该坚定不移地走以融合为特色的智能驾驶发展之路。对于必须具备高安全和高可靠性的自动驾驶（L3 级及以上）而言，融合模式中高精地图依然是必不可少的技术组件，它提供的不受天气、距离、传感器性能所影响的高精度、高丰度、高鲜度信息安全性是纯数据驱动不可比拟的，车联网交互模式减少单车配置要求，有利于分担用户成本，提供全局超视距服务，安全性更高。应大力推动和鼓励中国企业以路侧网络为时空基准，结合场景多源感知雷达融合、实时动态高精地图、车联网云边端协同的多类专业化小模型的研究，大力降低对算力的要求，走绿色发展之路。

在平台建设方面——将低轨卫星具备的距离近、传输时延小、链路损耗低、发射灵活、应用场景丰富、制造成本低等优势应用到车路云协同中，低轨卫星能够形成天地一体化网络，解决海洋、沙漠、极地及其他偏远地区通信覆盖难等问题，并为车辆提供远程信息服务，实现更为完善的车联网通信解决方案，推进商业航天发展。在关键技术创新方面——2023 年完成科技部抗干扰、防欺骗、软硬件自适应协同技术重点研发专项验收，实质上是北斗时空智能化芯片开发，已攻克多项新型智能芯片技术难题，并帮助国内多家芯片企业升级，改进锁星信号跟踪等“卡脖子”问题。

刘经南院士总结道，目前我国“北斗+智能交通”应用蓬勃发展，北斗高精度定位已在桥梁边坡形变监测等方面取得突破。下一步，一是要将北斗系统提升为赋能基准，实现全路段、多模态数据的“面”上融合。二是要大力建设“北斗+5G+AI+大算力（云中心）”，将北斗系统的时空基准延伸到隧道、管廊等各类地下空间，为传统交通基础设施提供地上、地下与北斗系统一致的时空基准服务。三是时空智能技术要不断开拓交通发展新领域，如为未来高速磁悬浮列车路网的设计、建造及运维提供精准、实时、可靠的定位、导航和通信服务，实现全线路智能驾驶、指挥调度和安全监控。再如探索通用航空新领域，为低空空域提供精准管理服务，对空域内的无人机、通航飞机甚至未来空水地三栖飞行汽车等各类飞行器进行实时监测、识别、跟踪，以提高低空空域的容量和安全性。☑（摘编自《中国测绘》杂志 2025 年第 11 期）

基于遥感影像的区域土地利用变化及生态影响分析研究

方毅^{1,2}

(1. 江西省地质局第三地质大队, 江西 九江 332000; 2. 江西核地勘测设计有限公司, 江西 九江 332000)

摘要: 为揭示长三角生态敏感区土地利用变化规律及其对生态系统的影响, 以该区域 2000 年、2005 年、2010 年、2015 年、2020 年五期遥感影像为数据源, 采用改进 U-Net++ 模型实现高精度土地利用分类, 结合 GIS 空间分析与生态系统服务价值 (ESV) 评估模型, 量化 20 年间土地利用与生态服务的时空演变特征。结果表明: 研究区土地利用整体呈建设用地扩张、生态用地波动减少格局, 建设用地 20 年总增幅达 61.77%, 2005~2010 年为变化最剧烈期, 耕地是建设用地扩张的主要来源; ESV 演变与土地利用高度耦合, 呈现前期波动下降、后期小幅恢复特征, 2005~2010 年 ESV 降幅最显著, 水域 ESV 是区域生态功能的关键缓冲; 2015 年之后, 生态修复政策推动耕地、林地 ESV 恢复, 区域 ESV 趋于稳定, 生态系统抗干扰能力较强。

关键词: 遥感影像; U-Net++ 模型; 土地利用变化; 生态系统服务价值

1 引言

受全球变化与人类活动叠加作用影响, 区域土地利用格局正经历快速重构^[1]。传统土地利用变化信息获取多采用地面实地调查方法, 周期长、成本高、覆盖范围小, 难以满足大区域、长时间序列监测需求。卫星遥感技术为土地利用动态监测提供了新手段, 凭借覆盖范围广、时间序列长、数据获取周期短等优势, 成为揭示区域土地利用变化规律的重要技术支撑^[2]。现阶段, 基于遥感影像的土地利用变化监测多采用目视解译、监督分类、面向对象分类等方法, 虽能有效识别地类边界与变化区域, 但在复杂地貌或光谱混淆场景仍存在误判率较高、分类精度受限等问题。近年来, 深度学习技术为遥感影像分类提供了新路径, 卷积神经网络 (CNN)、循环神经网络 (RNN) 等模型在处理高维遥感数据方面展现出强大能力, 能自动提取多层次空间特征并优化分类边界^[3], 特别是 U-Net、U-Net++、DeepLab 等基于 CNN 的语义分割网络, 在土地利用精细分类与变化检测中显著提升了精度与效率。

以长三角某典型生态敏感区为研究对象, 在 U-Net++ 网络架构基础上优化改进, 实现土地利用变化信息的自动提取与精准识别, 并采用 GIS 空间分析、转移矩阵等方法分析土地利用时空演变特征, 基于土地利用/覆被变化 (Land-Use and Land-Cover Change, LUCC) 及生态系统服务价值 (Ecosystem

Services Value, ESV) 模型, 量化土地利用变化对区域生态功能的影响, 揭示人类活动与生态保护政策交互作用下的景观格局响应机制, 为区域可持续发展与生态安全格局构建提供科学依据。

2 研究区概况

2.1 区域概况

选取长三角某典型生态敏感区为研究对象, 该区位于长江与重要支流交汇地带, 总面积约 5.62 万 km², 湿地资源丰富, 生物多样性较高, 是区域生态屏障的关键组成部分。区域内地势平坦, 河网密布, 湖泊众多, 水系连通性较好, 具有典型的江南水乡地貌特征。近年来, 受城市化进程加快与生态保护政策并行实施的影响, 土地利用格局发生变化, 建设用地扩张与生态用地保护的矛盾日益突出。研究区属亚热带季风气候, 四季分明, 降水充沛, 植被覆盖周期性强, 为遥感时序分析提供了良好的自然条件。研究区下垫面类型多样, 涵盖水体、林地、耕地、建设用地及人工湿地等地类, 土地利用变化呈高强度、多尺度和空间异质性特征, 在城乡交界带, 农田向城镇用地快速转化与生态修复工程并存, 形成复杂的景观镶嵌格局。

2.2 数据源

选取研究区 2000 年、2005 年、2010 年、2015 年、2020 年共五期影像为数据源, 分析 20 年间土地利用演变过程, 数据类型及参数如表 1 所示。

作者简介: 方毅 (1985—), 男, 汉族, 本科, 高级工程师, 注册建造师, 研究方向: 测绘地理信息、地下管网检测等。

表1 数据类型及参数信息

数据时间	数据类型	空间分辨率	数据来源
2000年	Landsat-7 ETM+	30m	USGS
2005、2010年	Landsat-5 TM	30m	USGS
2015年	Landsat-8 OLI	30m	USGS
2020年	Sentinel-2A MSI	10m、20m	ESA哥白尼数据开放平台

研究采用 ENVI 软件对 Landsat-7 ETM+、Landsat-8 OLI 等多时相遥感影像进行辐射定标、大气校正与图像融合处理, Sentinel-2 数据采用 Sen2Cor 工具进行大气校正, 获取地表反射率; 以 2020 年高分辨率 Sentinel-2 影像为基准, 对前期影像进行几何精校正与重采样, 确保各期数据空间位置一致性与光谱可比性。

3 研究方法

3.1 土地利用变化监测

3.1.1 改进 U-Net++ 模型

U-Net++ 模型是在经典 U-Net 架构基础上引入深度监督与嵌套跳跃连接的改进网络, 通过多层级特征融合增强分割精度, 适用于高分辨率遥感影像中复杂地物边界的识别。为提升遥感影像土地利用分类的准确性与边界提取精度, 在 U-Net++ 模型编码器部分引入新的 1×1 卷积层, 以调整特征图的通道注意力分布, 增强对关键地物特征的感知能力; 同时在解码器部分引入挤压-激励 (Squeeze-and-Excitation Networks, SE-Net) 模块、三重态注意力 (Triplet Attention Mechanism) 模块以及 S^2 空间位移多层感知器注意力机制 (Sparse-to-dense Multi-level Percep-tron, S^2 -MLP2), 构建改进 U-Net++ 网络模型, 以充分挖掘遥感影像中光谱与空间关联特征^[4], 提升复杂地类边界的识别能力, 准确获取土地利用分类结果。改进 U-Net++ 网络结构如图 1 所示。

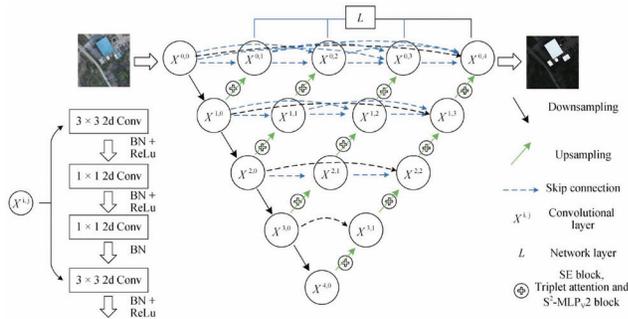


图1 改进U-Net++网络结构

3.1.2 土地利用变化提取

采用人工标注样本与高分辨率遥感影像解译相结合, 标注耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利

用地六类土地利用类型样本, 构建训练与验证数据集, 确保每类样本在空间分布与光谱特征上具有代表性; 通过随机水平 / 垂直翻转、旋转、高斯噪声添加、亮度调整等进行数据增强, 扩充样本集, 避免模型过拟合。将增强后的样本集输入改进 U-Net++ 模型进行端到端训练, 采用 Adam 优化器设置初始学习率为 0.001, 批量大小 16, 总迭代 100 个 epoch, 训练中引入余弦退火学习率调度策略, 并结合交叉熵损失与 Dice 损失构成复合损失函数, 增强对小目标地物的分割能力。

利用训练好的模型对五期遥感影像进行土地利用分类, 生成不同时期高精度土地利用分类图, 然后采用逐像元比较法提取土地利用变化信息, 识别各地类间的转换类型与空间分布特征, 获取 2000 ~ 2020 年 20 年间土地利用变化的时空演变规律与驱动机制, 为国土空间规划与生态环境管理提供科学依据。

3.1.3 土地利用变化分析

为综合分析研究区土地利用变化, 选择地类变化动态度、地类变化转移矩阵等维度, 量化不同时段、不同地类变化差异。

(1) 地类变化动态度: 包含单一地类动态度和综合地类动态度, 前者用于衡量某一地类在特定时间段变化的频繁程度, 后者则反映区域整体土地利用变化的活跃程度^[5], 计算公式如下:

$$K = \frac{S_b - S_a}{U_a T} \times 100\%$$

$$L_c = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta LS_{i-j}|}{2 \sum_{i=1}^n LS_i T} \times 100\%$$
(1)

公式 (1) 中, S_a 、 S_b 分别表示研究时间期初与期末某种地类面积, LS_i 表示第 i 类土地利用类型期初面积, $|\Delta LS_{i-j}|$ 表示研究时段内土地利用类型面积变化绝对值, T 为研究时段。

(2) 地类变化转移矩阵: 主要用于描述不同土地利用类型之间的相互转换情况, 通过构建行列表明各地类在不同时期的转入与转出关系, 直观反映各类用地演变的来源与去向^[6], 矩阵表达式如下:

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & \cdots & S_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{m1} & \cdots & S_{mn} \end{bmatrix}$$
(2)

公式 (2) 中, S_{ij} 表示第 i 类地类在研究期内向第 j 类地类转变的面积, n 表示地类总数。

3.2 生态影响评价

采用生态系统服务价值评估方法，量化研究区2000~2020年土地利用变化对生态系统服务功能的影响。依据谢高地等提出的中国陆地生态系统服务价值当量因子表，结合研究区实际情况，对耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用地等土地利用类型的生态系统服务价值系数进行本地化调整修正，获取研究区ESV当量因子，结果如表2所示。

表2 研究区ESV当量因子 单位：元/hm²

生态系统服务功能	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
供给服务						
食物生产	3144.14	670.44	878.51	1849.49	0.00	0.00
原料生产	208.07	1525.83	1294.64	531.73	0.00	0.00
水资源供给	-6080.21	786.03	716.68	19165.36	0.00	0.00
气体调节	2566.17	5016.75	4554.37	1780.14	0.00	46.24
调节服务						
气候调节	1317.76	15027.13	12044.82	5294.17	0.00	0.00
净化环境	393.02	4461.90	3976.41	12830.85	0.00	231.19
水文调节	6288.27	10958.24	8831.33	236365.12	0.00	69.36
土壤保持	23.12	6126.44	5548.48	2150.03	0.00	46.24
支持服务						
维持养分循环	439.25	462.37	416.14	161.83	0.00	0.00
生物多样性	485.49	5571.60	5039.87	5895.26	0.00	46.24
文化服务						
美学景观	208.07	2450.58	2219.39	4369.43	0.00	23.12

根据修正后的ESV当量因子，结合各土地利用类型面积转移矩阵，计算不同时期ESV总量及其时空变化特征，公式如下：

$$ESV = \sum_{i=1}^n A_i \times V_C$$

$$V_C = \sum_{h=1}^j EC_h \times E_\alpha$$

$$E_\alpha = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^k \frac{m_i \times p_i \times q_i}{M}$$
(3)

公式(3)中， ESV 为生态系统服务价值总量， A_i 为第*i*种用地类型面积， n 为区域土地利用类型数量， V_C 为单一土地利用类型ESV当量因子， EC_h 为土地利用类型第*h*种ESV当量值， j 为区域生态系统服务类型数量， E 为单位面积生态系统所提供食物生产服务的经济价值， k 为区域粮食作物种类， m_i 为第*i*种粮食实际种植面积， p_i 为研究区第*i*种粮食市场价格， q_i 为第*i*种粮食单位面积产量， M 为区域耕种总面积。

为检验ESV评估结果的可靠性，采用弹性系数(Coefficient of Sensitivity, CS)分析ESV对当量因子的敏感程度^[7]，计算公式为：

$$CS = \left| \frac{(ESV_2 - ESV_1) / ESV_1}{(V_{C2} - V_{C1}) / V_{C1}} \right|$$
(4)

公式(4)中， ESV_1 、 ESV_2 表示调整前及调整后

的ESV值， V_{C1} 、 V_{C2} 表示调整前及调整后的ESV系数。若 $CS > 1$ ，表明ESV对该当量因子敏感，结果需谨慎解读；若 $CS < 1$ ，表明结果稳定可靠。

4 结果分析

4.1 土地利用变化分析

4.1.1 时空变化特征分析

采用改进U-Net++模型及GIS空间分析方法获取研究区2000~2020年不同土地利用类型面积信息，结果如表3所示，空间分布情况如图2所示。

表3 研究区2000~2020年不同土地利用类型面积统计

土地利用类型	2000年		2005年		2010年		2015年		2020年		总变化率/%
	面积/km ²	占比/%									
耕地	21886.24	38.40	21763.33	38.18	21206.24	37.20	20850.70	36.58	20883.17	36.64	-4.58
林地	25149.40	44.12	25152.58	44.13	25077.20	44.00	24987.54	43.84	25017.96	43.90	-0.52
草地	4523.24	7.94	4519.93	7.93	4490.55	7.87	4463.56	7.83	4476.19	7.85	-1.04
水域	3609.29	6.33	3644.37	6.39	3662.19	6.43	3662.40	6.43	3654.13	6.41	-1.24
建设用地	1824.88	3.20	1913.61	3.36	2557.53	4.49	3025.27	5.31	2952.13	5.18	61.77
未利用地	4.23	0.01	4.23	0.01	4.68	0.01	8.17	0.01	9.88	0.02	133.57

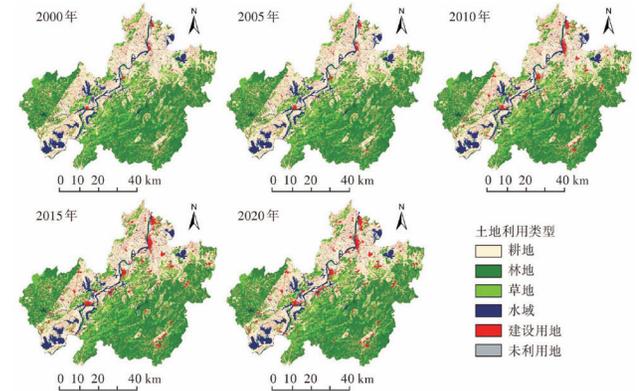


图2 土地利用类型空间分布

分析表3可知，2000~2020年研究区土地利用结构总体稳定，但变化趋势差异显著。耕地、林地、草地和水域面积呈波动减少趋势，分别减少4.58%、0.52%、1.04%和1.24%，反映出生态用地与农业用地面临一定压力；而建设用地大幅增加61.77%，未利用地增长133.57%，表明城市化进程加快，部分区域开发向边缘地带扩展。由图2可知，研究区土地利用总体空间格局变动相对较小，林地主要分布在研究区南部及西部山地丘陵区，植被覆盖良好，空间连续性较高；耕地沿长江干流沿线及北部平原区呈片状分布，与河流水系密切相关，农业种植条件优越；草地分布零散，多见于丘陵缓坡与林地交错地带，植被覆盖度较低；水域沿河网展布，形态以条带状为主。

4.1.2 地类变化动态度分析

为定量描述土地利用类型变化程度,统计研究区2000~2020年各土地利用类型单一动态度,结果如表4所示。2000~2020年,研究区各土地利用类型单一动态度有明显差异,其中2000~2005年土地利用变化整体平缓,综合动态度仅0.044%,除建设用地外,其余地类单一动态度相对较低;2005~2010年土地利用变化最为剧烈,综合动态度0.232%,建设用地单一动态度3.28%,显著高于其他地类,表明此阶段城市扩张最为迅猛;2010~2015年综合动态度回落至0.166%,建设用地扩张速度放缓但仍保持高位,面积增加467.74km²,耕地、林地持续减少但幅度下降,表明城市化扩张对生态与农业用地的侵占有所减缓;2015~2020年综合动态度进一步下降至0.028%,建设用地首次出现负增长,表明城市扩张趋于饱和,土地利用进入调整优化阶段,耕地、林地、草地呈恢复态势,生态修复与国土整治初见成效,未利用地增速放缓,整体呈现生态保护优先、土地利用向优化调整转型的特征。

表4 研究区土地利用动态度统计

土地利用类型	2000~2005年		2005~2010年		2010~2015年		2015~2020年	
	面积变化/km ²	K/%						
耕地	-122.91	-0.11	-557.09	-0.51	-355.54	-0.34	32.47	0.03
林地	3.18	0.00	-75.38	-0.06	-89.66	-0.07	30.42	0.02
草地	-3.31	-0.01	-29.38	-0.13	-26.99	-0.12	12.64	0.06
水域	35.08	0.19	17.82	0.10	0.21	0.00	-8.28	-0.05
建设用地	88.73	0.97	643.92	6.73	467.74	3.66	-73.15	-0.48
未利用地	0.01	0.04	0.45	2.13	3.48	14.87	1.71	4.19

4.1.3 土地利用转移矩阵分析

利用 ArcGIS 空间叠加分析工具构建土地利用转移矩阵,量化各时段不同地类间的转化方向与强度。由于研究区2005~2010年土地利用变化最为剧烈,重点分析该时段,转移矩阵如表5所示。2005~2010年研究区土地利用转移呈耕地主导转出、建设用地主导转入特征,耕地转出面积最大,85.5%转向建设用地,是该时段建设用地扩张的最主要来源,反映城镇化对耕地的高强度侵占;林地转出面积148.49km²,主要转向耕地和建设用地,体现局部区域毁林开荒与城镇侵占林地的双重压力;草地转出面积51.45km²,主要转向林地和建设用地,反映草地修复与开发侵占的矛盾。从转入看,建设用地转入量最大,除耕地外,林地是第二大来源;耕地转入面积84.56km²,主要来自林地,显示部分林地被开垦为耕地;林地转入面积72.93km²,

主要源于耕地和草地,体现局部退耕还林与草地造林的生态修复作用。整体而言,研究区2005~2010年土地利用转移以生态用地与耕地向建设用地转化为主,凸显城镇化进程对区域土地利用格局的重塑。

表5 研究区2005~2010年土地利用转移矩阵 单位: km²

项目	类型	2010年各土地利用类型面积						转出
		耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	
2005年各土地利用类型面积	耕地	—	54.39	6.13	32.63	548.58	0.04	641.77
	林地	53.77	—	14.75	1.49	77.85	0.63	148.49
	草地	7.12	15.99	—	0.91	27.42	0.01	51.45
	水域	8.19	1.38	0.77	—	7.29	0.05	17.68
	建设用地	15.48	1.14	0.27	0.34	—	0.00	17.23
	未利用地	0.00	0.03	0.01	0.24	0.00	—	0.28
转入		84.56	72.93	21.93	35.61	661.14	0.73	—

4.2 ESV 时空演变特征分析

对研究区2000~2020年不同土地利用类型ESV时空变化特征进行统计,结果如表6和图3所示。2000~2020年研究区ESV时空演变与土地利用变化高度耦合,整体呈前期波动下降、后期小幅恢复特征,且不同地类对ESV贡献差异显著;2000~2005年水域ESV大幅增长10.19亿元,有效抵消了耕地、草地ESV损失,区域ESV整体保持稳定;2005~2010年ESV降幅最为显著,耕地、林地、草地三类生态用地ESV同步大幅下降,虽水域正向增长5.18亿元,但增速减半,区域ESV整体呈下滑趋势,与该时段建设用地高速扩张、大量生态用地被侵占的土地利用特征直接相关;2010~2015年,ESV负向变化态势有所收敛,耕地、林地、草地ESV降幅均较上一时段收窄,水域ESV近乎持平,反映土地利用变化强度回落对ESV的影响减弱;2015~2020年,区域ESV呈恢复态势,耕地、林地、草地均实现ESV正向增长,仅水域小幅下降2.41亿元,与该时段生态修复政策实施、耕地林地保护加强的土地利用优化趋势一致。结合图3区域ESV空间分布可知,ESV高值区长期集中于水域、林地密集的生态核心区,ESV低值区则随建设用地扩张向城镇周边蔓延,2015年后ESV恢复的热点区与耕地、林地修复区域高度重合,形成核心高值稳定、边缘低值收缩的空间格局。此外,经计算可知,研究区ESV评估结果弹性系数小于1,表明生态系统服务价值对土地利用变化的响应较为稳定,未出现剧烈波动,反映出区域生态系统的抗干扰能力较强;尽管建设用地扩张导致局部生态用地减少,但水域与核心林区的持续保护有效维系了关键生态功能,缓冲了整体ESV的下降趋势。

(下转第30页)

基于实景三维的自然资源调查成果可视化监管研究

周洪保^{1,2}

(1. 江西省地质局第三大队, 江西 九江 332000; 2. 江西核地勘测设计有限公司, 江西 九江 332000)

摘要: 自然资源调查数据成果具有类型多、来源广、数据量大等特征, 为提升调查数据管理及利用效率, 以实景三维、大数据、可视化等技术, 设计搭建自然资源综合管理系统, 详细梳理自然资源调查数据类型及具体内容, 采用分布式数据库进行高效存储管理; 同时设计搭建系统总体框架及核心功能, 利用数据中台、服务中台以及三维“一张图”等功能模块对自然资源调查数据进行综合治理、深度分析及可视化呈现, 并详细论述了系统构建的关键技术, 有效增强系统的实用性和可靠性, 为自然资源调查数据综合可视化监管提供了高效可靠、智能便捷的工具。

关键词: 实景三维; 自然资源调查; 可视化; 综合管理系统

1 引言

自然资源是人类生存和社会发展的重要物质基础, 具有种类多、分布广、储量大等特性, 为实现自然资源高效开发利用, 需采用专业技术方法对自然资源空间分布、数量质量及变化趋势进行全面、准确的调查监管^[1]。传统自然资源调查多采用实地勘查、抽样调查等方式, 通过人工实地踏勘、样地/样点/样线测量等, 获取自然资源空间分布储量信息, 调查成果直观准确, 但效率低、成本高、覆盖面有限。无人机倾斜摄影、三维激光扫描、物联传感网、卫星遥感等测绘技术的发展, 为自然资源调查提供了新的技术手段。其中, 无人机倾斜摄影技术通过多角度拍摄, 能够迅速获取大面积区域地表地物三维信息, 构建地表地物实景三维模型, 直观展示自然资源空间分布情况^[2]; 三维激光扫描技术利用激光测距原理, 对目标区域进行高密度扫描, 获取高精度三维点云数据, 为分析自然资源空间分布提供可靠依据^[3]。新型测绘技术有效提高了自然资源调查效率, 但同时也产生了较多不同类型的调查数据成果, 存在数据量大、格式多样、空间参考不一致等问题, 较难实现自然资源调查成果的高效利用。为提升多源异构自然资源调查成果监管利用效率, 研究利用实景三维、大数据、云计算、可视化等技术, 构建自然资源三维立体“一张图”, 利用可视化综合管理系统对自然资源调查成果进行高效整合、分析、展示与监管, 利用便捷交互界面实现自然资源空间分析、变化趋势预测等, 直观呈现自然资源的空间分布及时空变化情况, 为自然资源监管与决策分析提供强有力的技术支持。

作者简介: 周洪保(1984—), 男, 汉族, 本科, 高级工程师, 注册测绘师, 主要从事实景三维应用、地下管网建模、工程变形监测工作。

2 自然资源调查数据分析

为提高多类型自然资源调查数据利用效率, 详细梳理了常见自然资源调查数据成果类型及内容, 划分不同数据层级, 如表1所示。针对不同层级数据成果, 采用分布式数据库管理系统存储管理, 构建自然资源调查成果本底数据库, 为三维可视化监管奠定基础。

表1 自然资源调查数据成果分类统计

序号	数据层	主要数据内容
1	基础数据层	基础地理数据
2		DEM、DOM、DSM成果
3		遥感影像数据
4		实景三维模型数据
5	地表覆盖层	土地利用专题数据
6		森林、湿地、水资源等专题数据
7		监测数据
8	地表基层层	岩石、砾质、土质、泥质调查数据
9		矿产资源调查数据
10	地下资源层	岩石、断裂层分布
11		城市地下空间利用数据
12		地下管网调查数据
13	其他数据层	永久基本农田
14		生态保护红线
15		行政区划数据

针对自然资源调查数据成果类型多、来源广、表现形式复杂多样等特征, 采用模块化设计思路, 将不同类型调查成果进行分布式独立存储管理, 降低多源调查成果之间的相互影响, 如图1所示。

3 基于实景三维的自然资源综合管理系统

3.1 系统框架设计

研究基于Cesium平台进行二次开发, 结合自然资源调查数据特点和管理应用需求, 设计并搭建自然资

源综合管理系统，实现多源异构自然资源调查成果的三维可视化监管利用。Cesium 平台具有强大的三维地理信息处理能力和丰富的 API 接口，通过集成多种数据源，支持数据的统一管理和高效访问，可直观、立体呈现自然资源，为决策提供科学依据。系统总体框架自下而上包括基础设施层、数据层、服务层、应用层，各层级核心内容如图 2 所示。

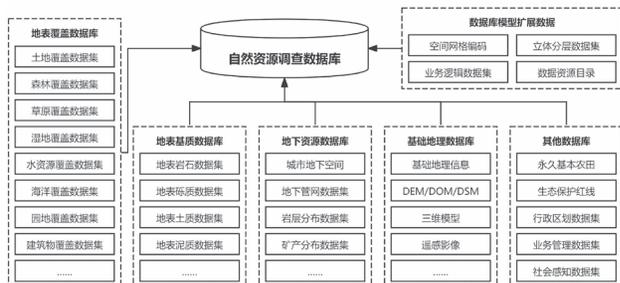


图1 自然资源调查成果分库管理

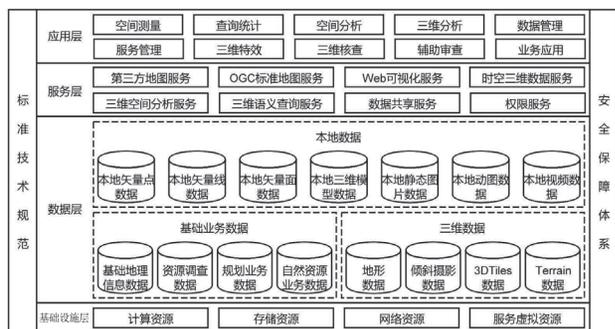


图2 总体框架设计

(1) 基础设施层：基础设施层主要包括计算资源、存储资源、网络资源及服务虚拟资源等，为自然资源综合管理系统正常运行提供必要的基础支撑。

(2) 数据层：数据层以数据库管理系统为基础，对多源异构自然资源调查成果进行在线存储、更新维护，主要有基础业务数据、本地数据、三维数据、互联网数据等多个子模块，可为自然资源调查成果分析利用提供数据服务。数据层充分考虑自然资源调查数据的多样性和复杂性，利用分布式数据库管理系统实现多源异构数据的高效管理^[4]，同时提供数据访问接口和数据交换机制，便于管理人员快速查询浏览调查成果及接口调用。

(3) 服务层：服务层是自然资源综合管理系统的核心层级，利用多元化服务组件，分析处理数据层的多源异构自然资源数据成果，包括第三方地图服务、OGC 标准地图服务、Web 可视化服务，以及三维空间分析、三维语义查询等三维服务，形成标准化数据接口，为应用层数据分析利用及数据共享提供技术支撑。

(4) 应用层：应用层与用户直接交互，从自然资源调查成果管理利用需求出发，设计构建空间测量、查询统计、空间分析、数据管理等功能模块，同时结合实景三维模型可视化特性，提供三维特效、三维分析、三维核查等功能，辅助用户审查自然资源调查成果，为不同业务应用提供准确直观的自然资源数据服务。

3.2 系统功能实现

自然资源综合管理系统以实景三维模型为基础，通过汇聚、整合地形数据、影像数据、权属数据、模型数据等自然资源多源异构调查成果，利用多元化服务组件进行数据分析处理，实现自然资源调查成果的规范化统一监管；利用三维“一张图”进行可视化呈现，辅助监管人员直观获取自然资源分布及变化情况，为自然资源管理和决策提供科学依据。该系统主要包括数据中台、服务中台、三维“一张图”等，实现自然资源数据成果的综合管理、专业分析、可视化应用等全生命周期监管，提高自然资源调查成果利用效率。

3.2.1 数据中台

数据中台是自然资源综合管理系统的基础，主要负责自然资源数据成果的搜集、汇聚、清洗、转换、存储、管理等，如图 3 所示。针对自然资源调查数据来源广、类型多样等特征，数据中台提供标准化数据模型，高效整合多源异构自然资源数据成果，统一时空基准，保障数据质量。



图3 自然资源数据全生命周期管理

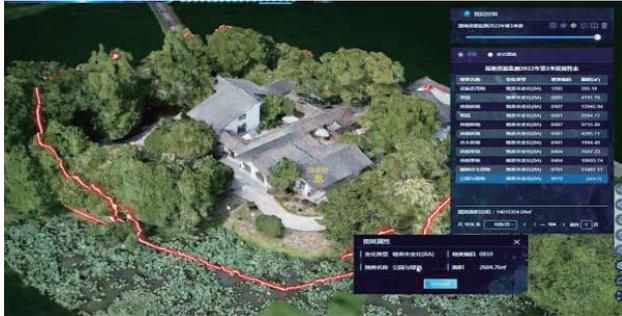
3.2.2 服务中台

服务中台是以数据中台整合的自然资源数据成果为基础，采用多元化服务组件进行数据分析处理，通过 API 接口、Web 服务、数据推送等多种方式，为自然资源管理部门、科研机构、社会公众等提供高效、便捷的数据访问和应用服务，满足不同用户及应用场景数据需求。自然资源综合管理系统服务中台的核心内容为三维分析及可视化服务，以实景三维场景为基础，集成多源异构自然资源调查数据，利用分析工具在三维场景进行统计分析，直观获取自然资源空间分布、时空变化规律、短期或长期变化趋势等信息；利用 Web 可视化服务对统计分析结果进行可视化呈现，实现自然资源数据的直观展示；服务中台还支持数据定制服务，根据用户需求，提供个性化的数据分析和

可视化解决方案，进一步提升自然资源管理效率。

3.2.3 三维“一张图”

自然资源调查成果三维“一张图”以实景三维场景为基础，集成多源、多维度、多时态自然资源数据，在统一的三维地理空间框架进行可视化分析及综合展示，如图4所示。



(a) 变化监测



(b) 专题分析

图4 自然资源调查成果三维“一张图”

自然资源调查成果三维“一张图”具体功能如下：

(1) 多尺度场景展示：三维“一张图”支持地形级宏观概览、城市级精细模型、部件级单体化建筑等多尺度三维场景加载，通过图层控制面板动态显示土地利用现状、生态红线、矿产资源分布等数据成果，采用多元化分析组件进行统计分析及可视化呈现。

(2) 空间分析与决策支持：三维“一张图”提供空间分析与决策支持功能，以及通视分析、视域分析、剖面分析、日照阴影模拟、坡度坡向与填挖方计算等工具，支持动态叠加规划方案至实景三维场景，自动识别建设用地与生态保护红线、永久基本农田空间重叠，生成冲突报告并提示规避路径，便于优化调整规划方案，辅助科学决策。

(3) 自然资源变化监测：三维“一张图”支持自然资源变化监测及可视化展示，通过叠加处理多时态数据，对比分析同一地区不同时间自然资源数据，揭示自然资源时空变化规律，动态监测土地利用、森林覆盖、矿产资源等自然资源变化情况，并生成变化报告，

与规划方案对比分析，及时发现并预警自然资源滥用或非法开采行为，为自然资源管理提供有力支持。

4 关键技术

4.1 实景三维及多源数据融合技术

研究以实景三维技术为核心，构建高质量三维场景，融合基础地理数据、遥感影像、矢量数据、属性数据等，实现对多源异构自然资源数据的全面整合及高效管理。基于坐标配准工具，将LiDAR点云、倾斜摄影模型、BIM模型等统一到同一空间坐标系，消除数据偏移；同时利用空间关联规则将矢量属性数据绑定到三维实体，实现自然资源调查数据语义化展示，为自然资源规划管理和保护利用提供基础数据。

4.2 大规模数据存储与管理技术

自然资源调查数据及三维模型数据具有类型多、数据量大等特征，研究采用混合多态存储模型及分布式存储技术对海量多源异构数据进行存储管理，基于云计算架构实现海量三维模型分布式存储，支持横向扩展，以应对不断增长的数据需求，确保数据高效访问和快速检索。借助分布式管理数据库，将数据分散存储于多个节点，同时利用数据压缩和去重技术，减少大规模数据的存储空间占用，为自然资源调查数据的实时更新和动态管理提供有力支持。

4.3 可视化渲染与动态交互技术

自然资源数据三维可视化渲染与动态交互是系统的核心内容，研究利用图形渲染引擎和LOD (Level of Detail) 动态调度技术，根据用户视角距离自动加载不同细节模型，动态调整模型精细度，保证视觉效果，降低GPU计算负荷，确保复杂场景帧率稳定；基于时空数据库存储多期模型，通过WebGL帧动画机制实现时间轴滑动时的实时渲染切换，对自然资源的动态变化过程进行可视化渲染^[5]，实现自然资源变化可追溯、趋势可预判。Web端采用轻量化部署，通过Cesium引擎实现浏览器端无插件渲染，支持监管人员通过网页实时查看调查成果；利用直观易用的用户界面，支持用户通过拖拽、缩放、旋转等操作自由浏览三维场景，结合空间查询和属性查询功能，辅助用户快速定位自然资源对象，获取详细数据信息，提高用户体验和数据分析效率。

4.4 调查数据语义化分析与智能监管技术

为实现自然资源调查数据的深度分析及业务应用，研究将可视化技术与监管业务深度融合，采用时空变

化检测、语义变化识别、空间分析与监管规则引擎等对自然资源调查数据进行统计分析,实现异常识别、变化追踪等^[6]。通过构建自然资源调查数据语义模型,对数据进行语义化标注,使数据的语义信息更为丰富,便于理解和应用。同时基于监管规则引擎,将监管规则与数据语义模型相结合,为自然资源自动监管、环境保护、灾害预警等提供准确可靠的数据支撑。

5 结语

研究以实景三维为基础,结合大数据、可视化等技术,设计并搭建基于实景三维的自然资源综合管理系统,利用数据中台、服务中台、三维“一张图”等实现自然资源调查数据的统一管理、可视化分析,便于监管人员直观获取自然资源分布、变化及利用状况,辅助科学决策。同时对系统涉及的实景三维及多源数据融合、大规模数据存储与管理、可视化渲染与动态交互、调查数据语义化分析与智能监管等关键技术进

行详细分析,有效提升了自然资源调查数据管理效率,增强了多源数据分析利用能力,为自然资源监管提供强有力的技术支撑。

参考文献

- [1] 闫昶,朱益虎,马克委.实景三维在自然资源调查成果可视化中的应用[J].测绘与空间地理信息,2024,47(6):129-132.
- [2] 王巍,刘恒,伍百发,等.基于实景三维的自然资源立体一张图建设研究[J].城市勘测,2025(S1):222-228.
- [3] 刘骁,李婉,姚鹏,等.湖北省自然资源三维立体“一张图”试点工程研究与应用[J].地矿测绘,2024,40(3):32-36.
- [4] 王超,蔡足根,任志勇.自然资源三维立体“一张图”建设研究[J].地矿测绘,2024,40(1):37-40.
- [5] 马楚,王奕涵,周军元,等.构建自然资源三维数字空间模型的探索与应用[J].地理空间信息,2025,23(2):74-77.
- [6] 张宏飞.省级三维立体自然资源“一张图”建设方案研究与应用——以新疆为例[J].测绘与空间地理信息,2023,46(7):111-113,116.

(上接第 26 页)

表6 研究区不同土地利用类型ESV变化统计

土地利用类型	2000~2005年		2005~2010年		2010~2015年		2015~2020年	
	变化量/亿元	变化率/%	变化量/亿元	变化率/%	变化量/亿元	变化率/%	变化量/亿元	变化率/%
耕地	-1.11	-0.56	-5.01	-2.56	-3.20	-1.68	0.29	0.16
林地	0.17	0.01	-4.00	-0.30	-4.76	-0.36	1.62	0.12
草地	-0.15	-0.07	-1.34	-0.65	-1.23	-0.60	0.58	0.28
水域	10.19	0.97	5.18	0.49	0.06	0.01	-2.41	-0.23
建设用地	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0
未利用地	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0

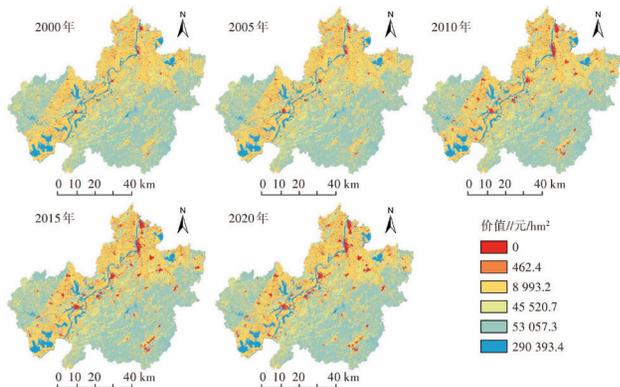


图3 区域ESV空间分布

5 结语

研究利用改进 U-Net++ 模型对遥感影像进行土地利用分类,获取 2000~2020 年土地利用时空变化数

据,有效解决了复杂地貌下的光谱混淆问题,提升了土地利用分类的精度与效率,为中小尺度区域长时间序列土地利用监测提供了科学可靠的方法。研究还结合 GIS 空间分析及 ESV 模型评估区域生态系统服务价值 (ESV) 时空演变特征,揭示了研究区土地利用—生态服务的耦合关系,为类似区域可持续发展提供了可复制的技术路径。

参考文献

- [1] 谷亨勇.高分影像特征识别下的土地利用动态遥感监测[J].测绘与空间地理信息,2025,48(4):115-118.
- [2] 廖超明,李宥儒,卢燕,等.基于Landsat卫星数据的上林县土地利用变化监测研究[J].农业与技术,2025,45(1):76-81.
- [3] 贾康,左涛,刘恒,等.鉴于RSEI与InSAR的彬州市生态质量时空评估[J].地理空间信息,2025,23(6):23-26.
- [4] 赵孟琪,李京,王子尧.土地利用情景对北京市生态系统服务价值及景观生态风险的影响[J].北京林业大学学报,2025(7):129-141.
- [5] 刘恒,左涛,贾康,等.PIE-Engine平台下土地利用变化对生态质量影响的遥感评估与时空分析[J].测绘通报,2024(9):28-31,37.
- [6] 巨涵,周乐乐,梁晓盈,等.绵阳市土地利用类型与生态系统服务价值时空变化研究[J].地理空间信息,2024,22(10):66-69.
- [7] 黄振妥,谢武强.基于深度学习的土地综合整治及国土生态修复关键技术研究[J].测绘与空间地理信息,2024,47(11):85-88.

基于改进Apriori的不动产测绘数据库模糊检索研究

卢文文

(梅州市测绘与地理信息中心, 广东 梅州 514071)

摘要: 现有数据库检索方法通过哈希映射、标签匹配或机器学习分类等方式处理数据查询, 侧重快速定位和结构化匹配。然而, 在处理不动产测绘数据的模糊性和复杂关联时, 这些方法的检索结果准确性较低。因此, 提出基于改进 Apriori 的不动产测绘数据库模糊检索方法。首先, 将不动产测绘数据库的空间、属性及关联数据进行模糊化处理, 转化为“属性-标签-置信度”三元组结构。利用改进 Apriori 算法, 将三元组数据转换为模糊事务集, 计算模糊支持度并生成频繁项集, 进而提取有效模糊关联规则。最后, 解析用户模糊查询条件生成查询项集, 计算其与规则前件的匹配度。结合规则扩展查询后, 按综合得分排序输出检索结果。试验结果表明, 在 5 组不同数据规模(5000 至 25000 条)的测试中, 该方法查准率始终最高且下降幅度最小, 显著提升了不动产测绘数据库模糊检索的精度。

关键词: 改进 Apriori 算法; 不动产测绘数据库; 模糊检索; 关联规则; 规则匹配

1 引言

随着城市化进程的深入推进, 不动产交易量呈现爆发式增长, 不动产测绘数据库积累了海量的空间坐标数据、多样化的属性信息以及复杂的关联关系数据。现有的数据库检索方法在应对此类数据时存在显著短板, 基于哈希学习的方法可实现数据的快速映射与定位, 但缺乏对不动产数据间语义关联和模糊特性的有效考量^[1]。基于 XML 技术的检索依赖固定的标签结构, 难以灵活适配多维度、多类型的模糊查询需求^[2]。基于机器学习分类的方法可处理部分数据不确定性, 但在挖掘数据深层复杂关联方面表现不足。当数据规模扩大时, 检索精度会明显下降^[3]。不动产测绘数据具有独特复杂性, 包括空间邻近关系、属性描述模糊性及数据间复杂关联。传统检索方法无法精准捕捉这些特性, 导致检索效率低下、偏差较大。因此, 研究构建了一种能够适配不动产测绘数据特性的模糊检索方法, 并结合实际应用场景开展测试分析。

2 基于改进 Apriori 的不动产测绘数据库模糊检索方法设计

2.1 不动产测绘数据库模糊化处理

将不动产测绘数据库的空间、属性及关联数据转化为可支持模糊匹配的结构化形式, 首先采用坐标区间映射与标签化结合的方式进行空间数据模糊化, 对于平面坐标数据, 将连续坐标转换为离散模糊标签 $S_{i,j}$, 如公式(1)所示。

$$S_{i,j} = \left[\frac{x-x_{\min}}{\Delta x} \right] \cdot M + \left[\frac{y-y_{\min}}{\Delta y} \right] \quad (1)$$

公式(1)中, (x, y) 表示不动产的平面坐标值, (x_{\min}, y_{\min}) 表示数据库坐标的最小值; Δx 和 Δy 表示区间划分步长, M 为横向区间总数。通过标签编码规则确保相邻区间能进行近似匹配, 使空间上接近的不动产数据被归为相似模糊类别。依据数据类型差异采用不同策略进行属性数据模糊化处理, 面积、精度等数值型属性利用梯形隶属度函数转换, 如公式(2)所示。

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x < b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c < x \leq d \\ 0, & x > d \end{cases} \quad (2)$$

公式(2)中, $\mu(x)$ 表示数值 x 隶属某一模糊区间的隶属度, a 和 d 分别为区间的下界和上界, b 和 c 分别为区间的核心下界和核心上界。通过该函数, 数值在核心区间 $[b, c]$ 内时隶属度为 1, 在边缘区间 $[a, b)$ 和 $(c, d]$ 内时隶属度随距离核心区间的远近线性变化, 从而完成数值型属性的模糊化处理。

文本型属性通过语义相似度计算实现模糊化, 先构建不动产领域的语义词典, 将含义相近的文本词汇归为同一语义族, 计算任意两个词汇的语义相似度, 将相似度大于设定阈值的词汇划分到同一语义族, 并赋予相同模糊标签^[4]。关联数据模糊化重点在于量化

作者简介: 卢文文(1991—), 女, 汉族, 本科, 助理工程师, 主要从事测绘地理信息生产与研究工作。

不动产间关系的模糊程度。时序关系通过时间窗口划分实现模糊化,根据不动产测绘数据的时间跨度将时间轴划分为若干连续且存在重叠的时间窗口,每个窗口对应一个模糊标签,处于窗口边缘的时间点同时隶属于相邻两个窗口,隶属度按距离窗口中心的远近分配,以实现时序关系的模糊化。所有经过模糊化处理的数据最终整合成“属性-标签-置信度”的三元组结构,为改进 Apriori 算法提供标准化的输入数据。通过上述步骤,完成不动产测绘数据的模糊化处理。

2.2 基于改进 Apriori 挖掘模糊关联规则

首先,将三元组数据转换为模糊事务集,每条事务由多个模糊标签构成且每个标签附带对应的置信度值,作为改进 Apriori 算法输入的基础数据形式。然后计算模糊支持度,如公式(3)所示。

$$Sup(X) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\prod_{j=1}^k \mu_{x_j}(i))^{\frac{1}{k}} \quad (3)$$

公式(3)中, $Sup(X)$ 表示包含 k 个模糊标签的项集 X 的模糊支持度, N 表示模糊事务集中的总事务数量, $\mu_{x_j}(i)$ 表示第 i 条事务中第 j 个模糊标签的隶属度。该公式通过几何平均值计算项集的整体支持度,考虑各标签联合出现情况的同时又平衡了不同标签隶属度的差异。

其次,利用改进后的 Apriori 算法生成频繁项集,扫描模糊事务集,计算每个单一模糊标签的支持度,将支持度不低于预设最小支持度阈值 Min_{sup} 的标签纳入 1-频繁项集 L_1 ,再将 L_{k-1} 的项集进行自连接,生成候选 k -项集 C_k ,依据“若候选集的任一子集不在 L_{k-1} 中,则该候选集必为非频繁项集”的原则进行剪枝,保留可能成为频繁项集的候选集^[5]。之后计算 C_k 中每个项集的模糊支持度,筛选出支持度 $\geq Min_{sup}$ 的项集作为 k -频繁项集 L_k ,直至无法生成新的频繁项集。在获取所有频繁项集后,提取模糊关联规则。将每个包含至少两个标签的频繁项集 X ,拆分为前件 A 和 B ,通过模糊置信度公式计算规则可信度,如公式(4)所示。

$$Conf(A \rightarrow B) = \frac{Sup(A \cup B)}{Sup(A)} \quad (4)$$

公式(4)中, $Conf(A \rightarrow B)$ 表示规则“ $A \rightarrow B$ ”的模糊置信度。进一步设定最小置信度阈值 Min_{Conf} ,当 $Conf(A \rightarrow B) \geq Min_{Conf}$ 时,将“ $A \rightarrow B$ ”视为有效模糊关联规则。通过上述步骤挖掘出能够反映不动产测绘数据模糊标签之间内在关联的模糊关联规则,为后续的模糊检索匹配提供核心依据。

2.3 关联规则匹配输出检索结果

在获取模糊关联规则后,进行关联规则匹配,输出检索结果,实现从模糊查询条件到精准结果的映射。首先对用户输入的模糊查询条件进行解析,将自然语言描述转换为结构化的模糊查询项集,每个查询项对应上述定义的模糊标签类型,通过隶属度函数量化查询项的模糊程度^[6]。然后计算查询项集与规则前件的匹配度 $Match(Q, A)$ 。对于匹配度高于设定阈值的规则,将其后件作为扩展查询条件补充至检索逻辑中,实现“查询项+规则扩展”的联合检索。综合考虑规则匹配度与结果置信度对检索结果进行排序,综合得分计算如公式(5)所示。

$$Score(R) = \alpha \cdot Match(Q, A) + (1 - \alpha) \cdot Conf(A \rightarrow B) \cdot C_R \quad (5)$$

公式(5)中, $Score(R)$ 表示检索结果 R 的综合得分, α 为权重系数, C_R 表示结果 R 自身的置信度。对综合得分高于阈值的结果进行筛选,剔除重复或低关联度记录,并将筛选后的结果按得分降序排列^[7]。输出包含不动产核心信息、匹配的关联规则及各项得分指标的检索结果。通过上述步骤,完成从用户模糊查询到精准结果输出的全流程检索,实现模糊条件下的高效数据匹配。至此,基于改进 Apriori 的不动产测绘数据库模糊检索方法设计完成。

3 实验

3.1 实验数据

从某地区不动产登记系统的测绘数据库选取了近三年不动产测绘记录作为实验数据,共包含 50000 条有效数据。数据类型涵盖经纬度、坐标、地块边界等空间数据,面积、用途、建筑结构等属性数据以及相邻关系、历史变更记录等关联数据。其中 15% 左右的数据存在属性描述不完整、坐标精度偏差等情况,模拟实际应用中数据模糊性场景。将数据按 7:3 比例划分为训练集(35000 条)和测试集(15000 条),训练集用于改进 Apriori 算法挖掘模糊关联规则,测试集用于验证检索方法的性能。

3.2 实验环境

为全面评估基于改进 Apriori 的不动产测绘数据库模糊检索方法的性能,搭建了一个综合实验环境,涵盖具备强大计算与存储能力的硬件配置,采用 Intel Xeon Platinum 8358 CPU 提供并行计算支持,配备 128GB DDR4 ECC 内存确保高效数据交换,使用 2TB NVMe SSD 固态硬盘加速数据读写,还预留 NVIDIA

Tesla V100 显卡以备未来并行计算扩展。同时，软件环境基于稳定高效的 Ubuntu 20.04 LTS 系统构建，选用 Python 3.8 作为主要编程语言，结合 PostgreSQL 13 数据库管理空间数据，并利用 Pandas 1.2.4、NumPy 1.20.1、SciPy 1.6.2 等库进行数据处理与分析，Matplotlib 3.4.2 和 Seaborn 0.11.1 实现数据可视化。此外，通过 Python 实现改进的 Apriori 算法，可精确控制流程并优化性能，灵活调整参数挖掘模糊关联规则。将原始数据保存于 PostgreSQL 数据库，确保完整性与可查询性，数据处理则加载至 Python 环境以 Pandas DataFrame 形式进行，便于后续模糊化处理、关联规则挖掘及检索性能评估。

3.3 实验参数设置

结合不动产测绘数据的模糊性特点及前期预实验结果，对研究提出的基于改进 Apriori 的不动产测绘数据库模糊检索方法（以下简称“研究方法”）的相关参数进行设置，如表 1 所示。

表1 参数设置

序号	参数名称	参数值
1	最小支持度阈值	4%
2	最小置信度阈值	55%
3	匹配度阈值	0.55
4	综合得分阈值	0.35
5	综合得分权重系数	0.65

基于表 1 参数展开对比实验，对比方法分别为方法 A（基于哈希学习的数据库目标数据检索方法）、方法 B（基于 XML 技术的数据库智能检索方法）和方法 C（基于加权随机森林的数据库检索方法）。

3.4 检索结果对比分析

使用查准率指标对检索方法在处理不同数据规模查询时的结果准确性进行评估。按数据规模梯度设置 5 组实验，每组实验数据量依次为 5000 条、10000 条、15000 条、20000 条、25000 条，每组数据对应 30 条包含空间、属性及关联条件的混合查询语句。将这些查询语句分别输入研究方法及三种对比方法，统计各方法返回结果中与查询条件真正相关的记录占比，即查准率，具体对比结果如图 1 所示。

查准率反映检索结果中准确关联记录的占比，值越高表示检索方法的结果准确性越高，能有效减少无关记录混入。由图 1 可知，随着数据规模的增大，四种方法的查准率均有不同程度下降，但研究方法的下降幅度最小且整体保持最高水平，表明研究方法具有更高的检索精度，这主要因为研究方法利用改进

Apriori 算法挖掘的模糊关联规则能深度捕捉不动产数据的内在关联，即使数据规模扩大仍能依托规则精准定位相关记录，融合语义相似度与隶属度计算规则匹配度减少了数据规模增长带来的匹配偏差，从而在不同数据规模下均能保持较高的检索准确性。

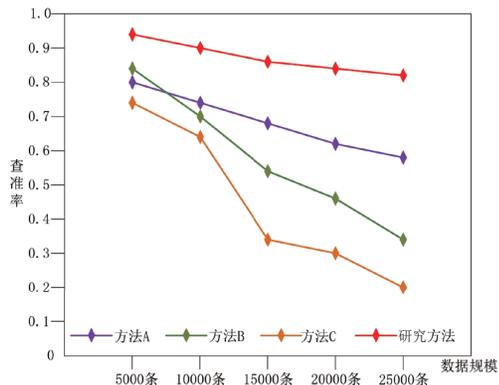


图1 不同数据规模下各检索方法的查准率对比

4 结语

围绕不动产测绘数据库的模糊检索需求，研究设计了基于改进 Apriori 算法的检索方法，通过数据模糊化处理、关联规则挖掘与规则匹配的协同设计，实现模糊查询场景下的高效数据检索。该方法突破传统检索对精确匹配的依赖，通过模糊标签转换与关联规则扩展，有效适配了不动产数据的空间邻近性、属性模糊性及关联复杂性特征。后续研究可进一步优化区间划分策略与语义相似度计算模型，增强该方法对多源异构测绘数据的适配能力，同时探索动态更新关联规则机制，以适应不动产数据库的时序性变化需求。

参考文献

- [1] 许自龙,方小平.基于哈希学习的舰船网络数据库目标数据检索方法[J].舰船科学技术,2023,45(17):182-185.
- [2] 石琳.基于XML技术的电子信息资源数据库智能检索方法[J].中国新技术新产品,2025(1):51-54.
- [3] 马秀梅.基于加权随机森林的Web数据库检索结果智能分类方法[J].现代计算机,2024,30(16):25-29.
- [4] 陈云云,梁达鹏,张婷婷.基于关联规则的改进Apriori算法在行为挖掘中的应用分析[J].电子技术,2025,54(4):108-111.
- [5] 张恩静,房建东,赵于东.基于改进Apriori算法的草地生态关联规则挖掘[J].计算机与数字工程,2024,52(11):3212-3217.
- [6] 曾科.模糊逻辑下数据库智能检索方法[J].信息与电脑(理论版),2024,36(9):149-151.
- [7] 衣天龙,邵琦,李秋元.基于优化覆盖算法的异构多模态信息检索方法[J].计算机仿真,2024,41(10):493-496,506.

融合夜光遥感和兴趣点的城市建筑空置识别研究

尹璐

(江苏省地质测绘大队, 江苏 南京 211100)

摘要: 在现阶段存量空置住房调控中, 高效感知住房空置现象具有重要意义, 目前住房空置率评估存在尺度较大、精度较低和时效不够的问题。基于夜间灯光遥感卫星数据和城市兴趣点等城市感知数据, 对江苏省南京市主城区进行建筑空置识别, 并通过夜间街景实地信息采集进行了精度验证。结果表明: (1) 构建的基于夜间灯光遥感卫星数据和城市兴趣点的城市建筑空置识别方法, 通过精度分析, 均方根误差为 0.21, 说明估算模型有效; (2) 研究区内住房空置情况总体占比为 24.17%, 其中建成区内占比为 7.14%, 非建成区内占比为 17.03%; (3) 住房空置现象空间自相关分析表明, 2015 年以来重点开发的高新技术开发区内住房空置现象相对严重, 且呈现高度聚集效应。研究成果可为城市住房调整和管理工作提供数据参考和建议。

关键词: 住房空置; 夜光卫星; 城市兴趣点; 动态感知

1 引言

根据中国统计年鉴数据, 全国城市建设用地指标从 2010 年的 42.82 万 hm^2 增长至 2022 年的 76.63 万 hm^2 , 总体增长达 78.9%, 平均年增长率超过 6.57%, 能量化评估城市扩张速度和人口增长平衡度指标的城市建设用地扩张弹性系数从 0.71 增长至 1.85, 远高于国际合理阈值 1.12, 增长速率也远高于建设用地增长态势, 数据统计映射出, 我国城市规划和建设存在较大的土地资源浪费和资源闲置问题^[1]。自 2019 年开始, 国家发展改革委在《2019 年新型城镇化建设重点任务》中, 首次明确提出“收缩型城市”概念, 要求收缩型中小城市要严控建设用地增量、盘活存量土地资源及减少空置房屋资源错配^[2]。

目前, 我国并无系统全面的建筑空置核算监管体系, 关于房屋空置的研究主要使用调查问卷或统计数据, 集中在小区域尺度, 缺乏普适性^[3]。遥感技术在城市景观观测中具有显著优势, 其重访特性、广泛性及客观性等特征在城市空置住宅观测中起到显著作用^[4]。张栋等按卫星监测建筑高度划分为高层区、低层区和非建成区住房, 并进行空置率分区块估算, 结果表明从全局角度上非建成区的建筑空置情况多于建成区, 空置建筑却远低于建成区^[5]。贺蕾等基于夜光遥感和土地覆盖监测成果空间识别建筑空置现象, 得出 2013 年地州市区域房屋空置率均值为 27.3%, 东部建筑空置情况少见, 而中西部建筑空置显著, 尤其体现在中小型城市^[6]。厉飞等利用珞珈一号融合兴趣点

(Point of Interest, POI) 提出了 NTL&POI 综合指数, 利用阈值法提取建成区, 并与年度土地监测成果的建成区进行对比分析, 相较于可见光红外成像辐射仪夜光数据 (National Polar-orbiting Partnership Visible Infrared Imaging Radiometer, NPP VIIRS), 该方法在识别建成区边界和描述细节信息方面表现更优^[7]; 董磊磊等以全国范围内 295 个地州市区域为基本单元, 利用 NPP-VIIRS 夜光遥感影像、土地利用数据, 提出鬼城指数, 并采用空间统计分析方法, 揭示地州市区域“鬼城”现象的空间格局^[8]。

基于夜间灯光遥感卫星数据和城市兴趣点等城市动态感知源, 对住房空置现象进行高精度识别提取, 并以江苏省南京市主要城区为识别监测区域, 精准提取单体尺度的建筑空置情况, 分析区域内空置现象的空间聚集效应, 为城市存量房管理和闲置用地现象管控工作提供定量数据参考。

2 研究区和数据

2.1 研究区概况

以江苏省南京市本级主要建成区为研究区, 包括雨花台区、建邺区、玄武区、秦淮区、栖霞区、鼓楼区、浦口区、江宁区 8 个主城区, 具体如图 1 所示。

2.2 数据源

通过地理空间数据云平台 (<http://www.gscloud.cn/>) 采集 2022 年 3~5 月夜间灯光遥感卫星数据、城市兴趣点, 并进行数据清洗和预处理。基础地理信息

作者简介: 尹璐 (1993—), 女, 汉族, 本科, 工程师, 研究方向: 地理信息系统。

数据涵盖交通路网、中心城区建筑物轮廓、基础卫星影像以及行政区划等数据,其描述与用途如表1所示。

“吉林一号”视频3星(JL1-3B)是我国自主研发的夜间灯光遥感卫星,空间分辨率达到0.92m,能够借助光谱曲线识别地表地物种类。

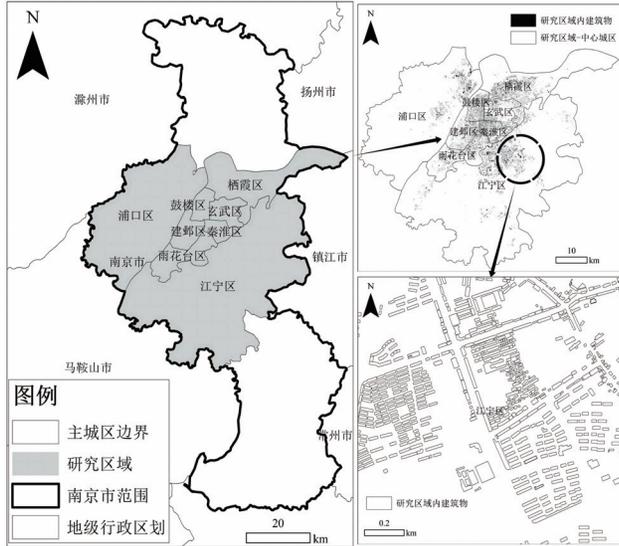


图1 研究区地理范围和典型区建筑物情况

表1 研究数据信息

类别	数据名称	描述	用途
夜间灯光遥感卫星数据	JL1-3B	2022年3~5月	计算夜间建筑区空置情况
城市兴趣点	POIs	2022年3~5月	辅助分析建筑物空置情况
基础地理数据	行政区划、建筑物矢量、高分一号卫星影像、OSM交通路网	2022年度更新数据	辅助计算和制图分析

3 研究方法

3.1 研究框架

研究构建一套基于夜间灯光遥感卫星数据和城市兴趣点的城市建筑空置识别方法。研究框架如图2所示,共分为四个环节:

(1) 数据预处理。基于数据清洗规则对研究区内夜间灯光遥感卫星数据、城市兴趣点等城市感知数据来源进行预处理,并对基础地理信息数据开展统一时空参考校正和处理清洗。

(2) 基于平均值法构建 NTL-POI 耦合指数,剔除道路等非居住类建筑因素对建筑空置识别的影响,划分建成区和非建成区。

(3) 计算房屋满置下的数字值(Digital Number, DN),识别网格尺度下的空置建筑。

(4) 对研究区内住房空置率进行估算,并对住房空置情况开展空间自相关分析,绘制建筑住宅空置率空间分布图。

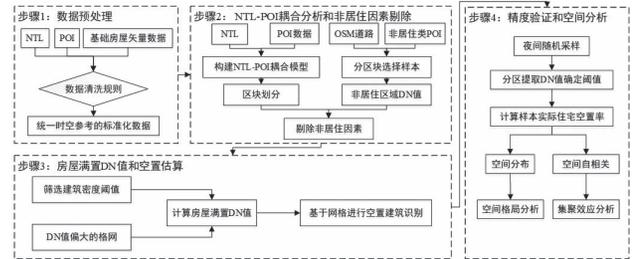


图2 研究框架

3.2 NTL&POI 耦合指数模型

基于夜光卫星影像灰度值和 POI 核密度值的权重相同理论,通过均值合并可保留夜光卫星遥感监测结果的可视性,缓解夜光卫星影像的亮度饱和与溢出效应^[9]。因此,使用平均值法构建 NTL-POI 耦合指数 INP,实现对研究范围内建成区的提取:

$$I_{NP} = \sqrt{(I_{NTL} \times K_i)} \quad (1)$$

公式(1)中, I_{NTL} 、 K_i 分别是归一化后夜光卫星影像数据灰度值和 POI 核密度值。

3.3 建成区域非居住范围识别

研究对象为居住类建筑,但建筑物不仅包含居住类建筑,还包括工厂厂房、商业建筑等类型,因此需要对建筑物进行非居住区的识别和剔除^[10]。在随机抽样的样本区域计算非居住类建筑及道路的夜光卫星影像数据灰度值,公式如下:

$$U_N = \text{avg}(\sum_{j=1}^n U_{N,j}) \quad (2)$$

$$R_N = P_N - \frac{S \times U_N}{T} \quad (3)$$

公式中, U_N 为非居住区域每平方米的 DN 值, $U_{N,j}$ 为第 j 个样本非居住区域每平方米的 DN 值, R_N 为某网格区域内居住建筑的 DN 值, P_N 为某网格区域内未剔除非居住区的原始 DN 值, S 为某网格区域内非居住区的面积, T 为网格面积。

3.4 房屋满置状态分析

为提升城市建筑空置识别精度,需确定建成区和非建成区范围内满置房屋状态下 DN 值的阈值^[11]。由于建成区和非建成区建筑物密度有较大差异,因此需设置不同的建筑物比例阈值,以选择出满足阈值的网格,并定义高 DN 值网格作为满置状态样本,公式如下:

$$U_M = \text{MODE}(\sum_{j=1}^n \frac{U_j}{S_j}) \quad (4)$$

公式(4)中, U_M 为满置房屋每平方米的 DN 值, U_j 为第 j 个样本区域的 DN 值, S_j 为第 j 个样本区域面积。

3.5 建筑空置率测算

基于房屋空置识别模型, 根据计算的网格居住建筑 DN 值及房屋满置状态下的 DN 值, 对研究区建筑空置率进行估算, 公式如下:

$$E_i = 1 - \frac{U_j}{U_M \times S_j} \times 100\% \quad (5)$$

公式(5)中, E_i 为第 i 个格网的住房空置率, U_j 为第 j 个样本居住区域的 DN 值, S_j 为第 j 个样本居住区域的面积。

3.6 精度检验

基于街景记录设备, 按照 500m 间隔采集研究区 45 处商品住宅、居民楼、商业楼、工业园区等典型区域的夜间街景, 时间范围是 20:00 至 24:00。然后对每个样本采集点附近的房屋建筑进行连续 4h 的街景拍摄, 记录街景数据样本属性, 并根据房屋建筑的实际空置情况统计和设立空置 DN 值的阈值, 计算每个采样点周边建筑房屋的空置率, 将识别方法得到的空置情况与上述计算过程进行精度对比和验证^[12], 公式如下:

$$E_{i,j} = \text{avg} \left(\sum_{D=1}^n E_{i,j,d} \right) \quad (6)$$

公式(6)中, $E_{i,j}$ 是第 i 个采样点周边第 j 个建筑物的实际住房空置率, $E_{i,j,d}$ 是第 d 天第 i 个采样点周边第 j 个建筑物的住房空置率。

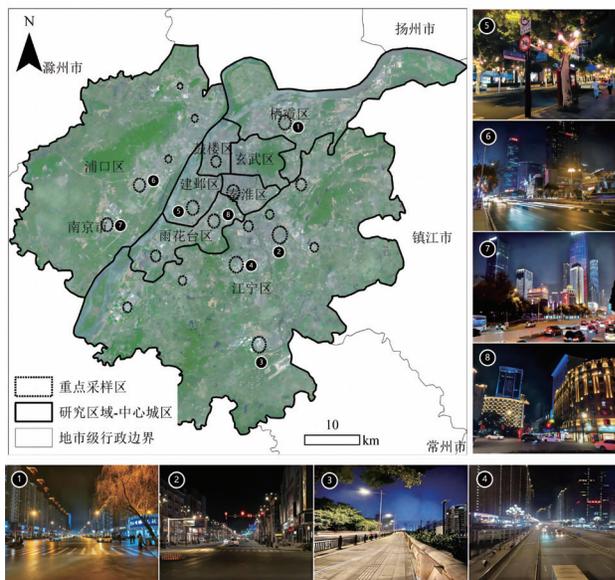


图3 重要夜间街景采样点和影像

研究基于随机抽样原则, 选择商品住宅、居民楼、商业楼、工业园区等 45 个典型区域的夜间街景点, 以 500m 为间隔获取百度街景一般路段的夜光卫星, 依据

POI 分类, 着重采集了住宅、商业、公司企业、公共服务、交通、公园绿地等九类夜光地物, 具体如图 3 所示。

4 结果和分析

4.1 建成区识别

为提升住房空置的识别精准性, 将研究区划分为建成区和非建成区, 然后将建成区进一步划分为高层区和低层区, 按照分类估算住宅空置率, 划分结果如图 4 所示。

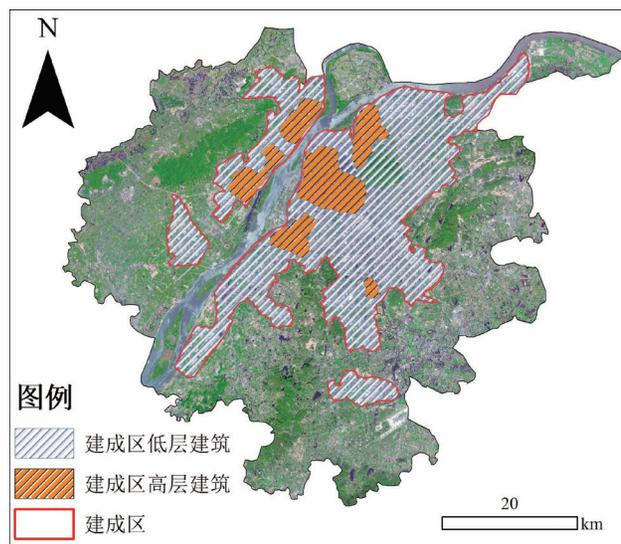


图4 研究区划分结果

4.2 建筑空置估算和分析

研究将建筑空置率分为 5 个层级, 其中, 0 为满置状态, 100 为完全空置, 数值越高代表区域建筑空置情况越严重, 各区建筑住宅空置率估算和空间分布如图 5 所示。

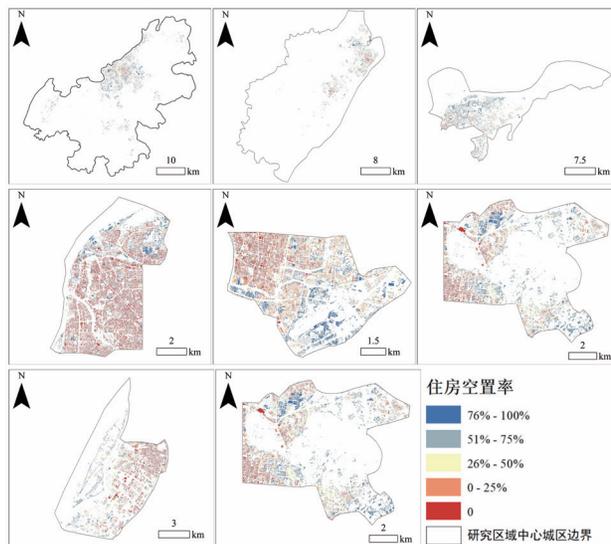


图5 各区建筑住宅空置率估算和空间分布

由图5可以看出,研究区内空置房屋建筑主要集中在南京市雨花台区、栖霞区、秦淮区及江宁区等行政区内。由空置统计结果可知,研究区内住房空置总体占比为24.17%,其中,建成区内占比为7.14%,非建成区内占比为17.03%,经精度计算,均方根误差为0.21,说明估算方法有效。研究区非建成区内住房空置严重程度较之建成区更甚,低层住宅建筑的总体空置率低于高层住宅建筑。研究区内总体满置率为63.82%,非建成区满置率为58.66%,建成区满置率为78.68%。

4.3 空置住房空间自相关分析

通过局部莫兰指数对研究区内住房空置现象进行空间自相关分析,对于区域内空置现象的空间聚集效应进行探索。通过计算,按照街道级尺度对空间聚集关联性进行可视化,分为“高-高”、“低-低”以及“不显著相关”三类情况。其中,“高-高”代表建筑本身与其周围建筑的空置率均高,建筑之间存在正相关性;“低-低”代表特定建筑物与其周边一定范围内的建筑物空置率均较低,建筑之间存在负相关性;“不显著相关”代表建筑本身与周边建筑不显著相关,住宅空置空间集聚LISA如图6所示。

由图6可知,“高-高”区域主要集中在南京市雨花台区、栖霞区、秦淮区及江宁区等2015年以来重点开发的高新技术开发区,区域内住房空置现象相对严重,且呈现高度聚集效应;“低-低”区域主要集中在南京市传统意义上的中心城区,包括鼓楼区、玄武区、秦淮区及建邺区等,这些区域住房空置率偏低,且具有较低的集聚空间关联效应。

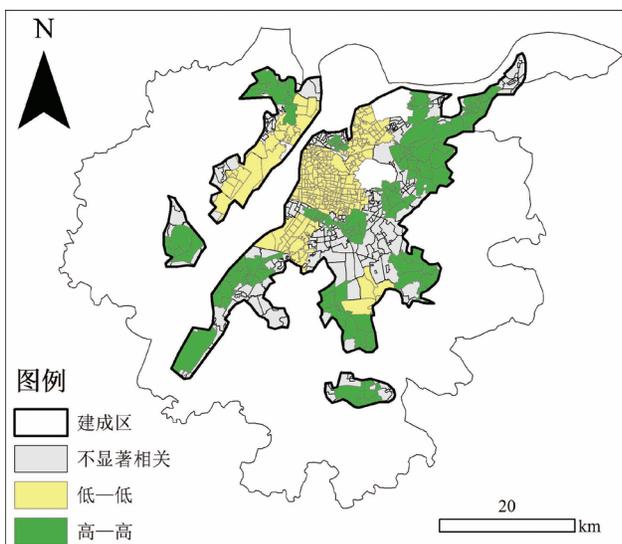


图6 住宅空置空间集聚LISA

5 结语

研究利用夜光遥感卫星数据、城市兴趣点以及基础地理信息数据,对江苏省南京市中心城区建筑空置现象进行识别提取,并对空置建筑的空间聚集效应进行分析。研究表明:研究区内住房空置情况总体占比为24.17%,其中,建成区内占比为7.14%,非建成区内占比为17.03%,且精度验证科学有效。通过局部莫兰指数对研究区内的住房空置现象进行空间自相关分析,结果发现建筑空置“高-高”聚集区域主要出现在南京市雨花台区、栖霞区等重点开发的高新技术开发区,住房空置现象相对严重,且呈现高度聚集效应,这与区域内集中连片开发强度较高有较大关联;“低-低”区域主要集中在南京市传统意义上的中心城区,包括鼓楼区、玄武区、秦淮区及建邺区等,这些区域住房空置率偏低,且具有较低的集聚空间关联效应。

参考文献

- [1] 魏建飞,李强,安子琪,等.中国建设用地利用效率与经济发展水平的空间格局演进分析[J].地理与地理信息科学,2021,37(3):82-88.
- [2] 龙瀛,吴康,王江浩.中国收缩城市及其研究框架[J].现代城市研究,2015(9):14-19.
- [3] 张欣,潘竟虎.房屋空置的研究现状、热点与趋势:基于文献计量法和知识图谱分析[J].西华师范大学学报(自然科学版),2023,44(1):56-63.
- [4] 许玲丽,颜梅春.多源信息多尺度视角的南京市街道级人口模拟研究[J].测绘通报,2019(2):71-75.
- [5] 张栋,李德平,周亮,等.利用高分影像和珞珈一号数据进行住房空置率高精度空间估算[J].测绘通报,2021(1):41-46,52.
- [6] 贺蕾,潘竟虎,董磊磊.基于遥感和微博签到数据的住房空置空间识别[J].遥感技术与应用,2020,35(4):820-831.
- [7] 厉飞,闫庆武,邹雅婧,等.利用夜间灯光POI的城市建成区提取精度研究:以珞珈一号01星和NPP/VIIRS夜间灯光影像为例[J].武汉大学学报(信息科学版),2021,46(6):825-835.
- [8] 董磊磊,潘竟虎,冯娅娅,等.基于夜间灯光的中国房屋空置的空间分异格局[J].经济地理,2017,37(9):62-69,176.
- [9] 张栋,李德平,周亮,等.高精度住房空置率的地理空间影响因素定量研究[J].测绘通报,2022(2):100-105.
- [10] 陈佐旗.基于多源夜间灯光遥感影像的多尺度城市空间形态结构分析[D].上海:华东师范大学,2017.
- [11] 杨鹏飞,潘竟虎.基于多源数据和机器学习的住房空置空间格局识别[J].测绘科学,2023,48(10):147-158.
- [12] 黄浩,赵慧敏.基于吉林一号夜光影像的高精度住房空置率测度与影响因子研究[J].上海城市规划,2023(2):101-108.

基于GEE平台的广州市遥感生态指数时空变化研究

张子沛

(广州市城市更新规划设计研究院有限公司, 广东 广州 510000)

摘要: RSEI是一种基于遥感技术的生态环境质量综合评价指数, 研究利用GEE平台计算广州市绿度、湿度、干度、热度、PCA等数据, 以ArcGIS10.8、Excel 365软件为支撑平台, 研究2013~2023年广州市遥感生态指数(RSEI)时空变化。结果表明: 广州市生态环境最差的区域为荔湾区, 最好的为从化区; 广州市生态环境呈恶化趋势的面积为3559.03km², 呈改善趋势的面积为3874.97km², 在2021~2023年间总体呈改善趋势; 2013~2023年广州市生态环境变化率“好”的有83.86%, 变化率“较好”的有-28.67%, 变化率“一般”的有-11.59%, 变化率“较差”的有13.59%, 变化率“差”的有-29.22%。

关键词: 广州市; RSEI; 时空变化; 生态环境

1 引言

植被作为陆地生态系统的核心组成部分, 在碳循环、气候调节及水土保持中发挥着不可替代的作用。遥感生态指数(Remote Sensing Ecological Index, RSEI)是一种基于遥感数据的综合指数, 通过整合植被覆盖、湿度、地表温度和土壤裸露等指标, 反映生态环境的整体状况, 评估区域生态环境质量。广州市作为我国南方经济与人口的核心枢纽, 复杂的人地关系与独特的亚热带气候对植被变化产生深刻的交互影响。RSEI能够识别出广州市不同区域的生态环境差异, 通过长期监测RSEI变化, 可清晰了解广州市生态环境的整体状况及动态变化。研究广州市RSEI生态指数时空变化趋势和空间分布特征, 可为广州城市空间规划提供重要参考。

2013年, 徐涵秋提出RSEI指数^[1], 许多学者采用该指数开展了大量研究。魏泽锋等^[2]针对“呼包鄂”城市群开展生态环境质量时空演变及驱动因素分析, 结果表明20年间研究区生态环境质量整体退化, 呈现中部高、西部和北部低的分布特征; 李琪等^[3]以阿拉善左旗为例研究了生态环境质量时空变化及驱动力, 结果表明近30年来阿拉善荒漠区生态环境质量得到逐步改善, 腾格里沙漠北缘局部地区生态环境质量显著提升, 人类活动尤其是飞播造林工程起到关键作用; 黄炜宏等^[4]针对福建省开展生态环境质量变化特征研究, 结果表明福建省生态环境质量呈下降趋势; 李朋轩等^[5]针对黄河流域开展生态环境质量对气候变化的

响应及其与水沙变化的关系, 结果表明气候变化背景下黄河流域生态环境质量总体呈改善趋势。广州市遥感生态指数研究仍处于空白, 因此, 本研究以广州市为研究区探讨遥感生态指数的时空变化特征。

研究利用GEE(Landsat8数据)平台, 以ArcGIS10.8、Excel 365软件为支撑平台, 计算2013年、2015年、2017年、2019年、2021年、2023年的广州市遥感生态指数空间分布情况, 以及2013~2023年时空变化分析, 并对该时段各间隔年份的指数变化开展定量分析, 为广州城市空间规划提供重要参考。

2 数据来源与研究方法

2.1 研究区概况

广州位于广东省中南部、珠江三角洲北缘, 是粤港澳大湾区的核心城市之一, 地理坐标为东经112°57'~114°3', 北纬22°26'~23°56', 总面积约为7434km², 东连惠州市博罗、龙门两县, 西邻佛山市的三水、南海和顺德区, 北靠清远市区、佛冈县及韶关市新丰县, 南接东莞市和中山市, 隔海与香港、澳门特别行政区相望, 具体区位如图1所示。广州辖11个市辖区, 包括越秀区、海珠区、荔湾区、天河区、白云区、黄埔区、花都区、番禺区、南沙区、从化区、增城区, 属于亚热带季风气候, 具有温暖多雨、光热充足、夏季长、霜期短的特点, 年平均气温约22℃, 最热月(7月)平均气温28.7℃, 最冷月(1月)平均气温9~16℃, 年降水量一般为1700~1900mm, 降水集中在4~9月, 冬季降水较少。

作者简介: 张子沛(1996—), 女, 汉族, 本科, 工程师, 主要研究方向: GIS空间数据处理与运用。



图1 广州市区位

2.2 数据来源与处理

栅格数据基于GEE平台(Landsat8数据)计算广州市绿度(Greenness)、湿度(Wetness)、干度(Dryness)、热度(Heat)、PCA等数据,矢量行政区数据以全国地理信息资源目录服务系统行政区划(<https://www.webmap.cn/>)为准。研究用广州市矢量数据对栅格数据进行裁剪,对遥感生态指数(RSEI)进行时空趋势分析,并用莫兰指数对RSEI进行空间自相关分析。通过ArcGIS10.8、Excel 365软件对RSEI进行分类分级处理、一元线性趋势分析、定量分析。

2.3 研究方法

2.3.1 遥感生态指数构建

RSEI是一种基于遥感技术的生态环境质量综合评价指数^[6],以第一主成分为基础,计算初始生态指数RSEI₀,并通过正规化处理得到最终的RSEI值。RSEI值范围为0到1,值越高表示生态质量越好。

RSEI由四个指标构成:(1)绿度(Greenness):通常用归一化植被指数(NDVI)表示,反映植被覆盖程度和植被类型;(2)湿度(Wetness):通过缨帽变换的湿度分量(Wet)计算,反映生态环境的含水程度;(3)干度(Dryness):用建筑裸土指数(NDBSI)表示,反映生态系统的干旱程度和水分利用效率;(4)热度(Heat):用地表温度(LST)表示,反映环境温度状况。

遥感生态指数(RSEI)中绿度(Greenness)、湿度(Wetness)、干度(Dryness)、热度(Heat)等指标的计算公式详见包妮沙等^[7]耦合多因子的地表生态状况指数在干旱半干旱区露天矿的应用效果评价。

2.3.2 一元线性趋势分析

采用一元线性回归分析,逐像元拟合近年间遥感影像每个栅格RSEI的斜率Slope,得到多年RSEI的变化趋势,当Slope > 0时,说明植被情况得到改善;反之表示植被情况恶化,可综合分析流域多年植被覆盖变化方向和速率^[8],具体公式见马炳鑫等^[9]1982~2019年中国西南地区植被变化归因研究。

3 结果与分析

3.1 广州市RSEI评价结果空间定性分析

基于GEE平台、ArcGIS10.8、Excel 365软件,将广州市2013~2023年RSEI按照[0, 0.2)为“差”、[0.2, 0.4)为“较差”、[0.4, 0.6)为“一般”、[0.6, 0.8)为“较好”、[0.8, 1]为“好”进行分级分类,分类结果如图2所示。RSEI为“差”的区域主要分布在广州市荔湾区、白云区、海珠区、番禺区、花都区南部;RSEI为“较差”的区域主要分布在花都区、白云区、越秀区、荔湾区、海珠区;RSEI为“一般”的区域分布在除荔湾区以外的全市各县,RSEI为“较好”的区域主要分布在从化区、增城区、黄埔区西北部、白云区西南部、花都区北部;RSEI为“好”的区域主要分布在从化区、增城区。生态环境最差的为荔湾区,最好的为从化区,这是因为荔湾区为城区,处于人类活动区,从化区西北部为丘陵山地,植被较为茂盛。

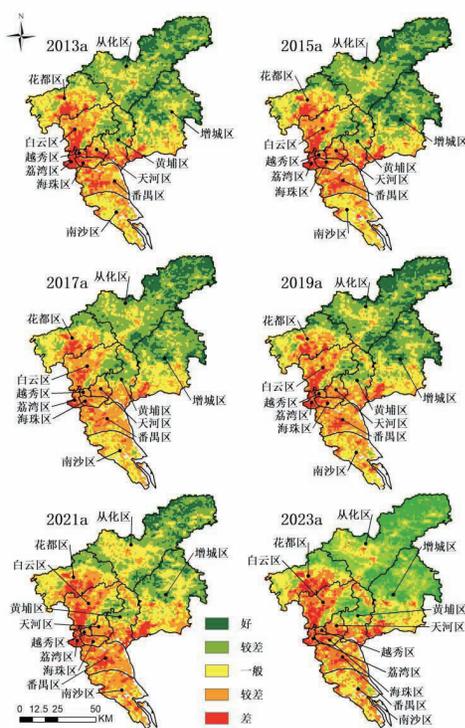


图2 2013~2023年遥感生态指数空间分布

3.2 广州市 RSEI 时空变化定性特征

选取 2013~2023 年间隔年 RSEI 数据, 研究广州市生态环境时间变化分析, 采用一元线性趋势分析, 斜率 Slope > 0 表示生态环境持续改善, 斜率 Slope < 0 表示生态环境持续恶化。研究发现, 广州市生态环境质量呈恶化趋势的区域面积达 3559.03km², 呈改善趋势的区域面积达 3874.97km², 在 2021~2023 年间生态环境整体呈改善趋势, 荔湾区、越秀区处于人类活动密集区, 生态环境较差, 但时空变化呈持续改善趋势; 白云区北部、南沙区北部及从化区东北部生态环境持续恶化; 从化区、海珠区、番禺区、花都区、黄埔区、白云区等都有不同程度的改善和恶化, 具体情况如图 3 所示。广州市应重点关注生态恶化区域, 采取针对性措施, 保护生态环境。

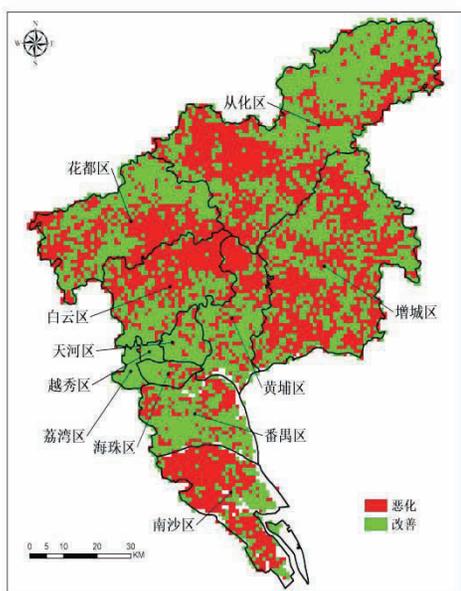


图3 2013~2023年RSEI时空趋势分布

3.3 广州市 RSEI 评价结果时空定量分析

按照 [0, 0.2) 为“差”、[0.2, 0.4) 为“较差”、[0.4, 0.6) 为“一般”、[0.6, 0.8) 为“较好”、[0.8, 1] 为“好”进行分类分级。计算 RSEI 各年份不同级别的面积, RSEI 面积占比分布如图 4 所示, RSEI 增长变化率如图 5 所示。2013 年广州市生态环境“差”的面积为 521.68km², “较差”的面积为 1500.76km², “一般”的面积为 1957.23km², “较好”的面积为 2655.26km², “好”的面积为 899.17km²; 2023 年广州市生态环境“差”的面积为 369.22km², “较差”的面积为 1704.66km², “一般”的面积为 1730.38km², “较好”的面积为 1893.86km², “好”的面积为 1653.22km²。在近 20 年间, “好”的生态环境面积由 899.17km² 变为 1653.22km²,

变化率为 83.86%; “较好”的面积由 2655.26km² 变为 1893.86km², 变化率为 -28.67%; “一般”的面积由 1957.23km² 变为 1730.38km², 变化率为 -11.59%; “较差”的面积由 1500.76km² 变为 1704.66km², 变化率为 13.59%; “差”的面积由 521.68km² 变为 369.22km², 变化率为 -29.22%。广州市生态环境为“好”的区域增长率最快为 83.86%, 生态环境为“差”的减少率为 -29.22%。由此可知, 虽然“较好”“一般”“差”的区域面积有所下降, 但“好”的区域远大于其他区域, 面积占比整体上升区域主要分布在“较差”区域, 面积占比先下降后上升区域主要分布在“好”的区域。在近 10 年城市快速扩张背景下, 广州市仍将环境质量放在首位, 这得益于广州市“免处罚免强制+公开道歉承诺+执法观察期+规范裁量权”全链条执法模式的构建。

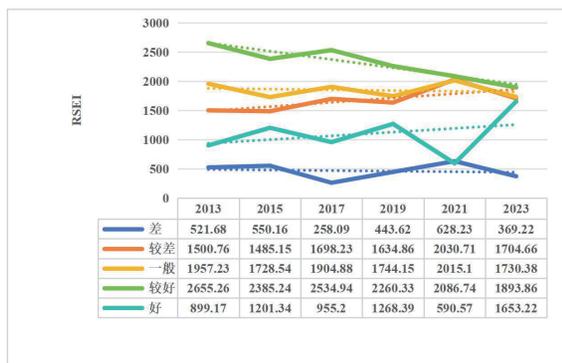


图4 2013~2023年RSEI面积占比分布

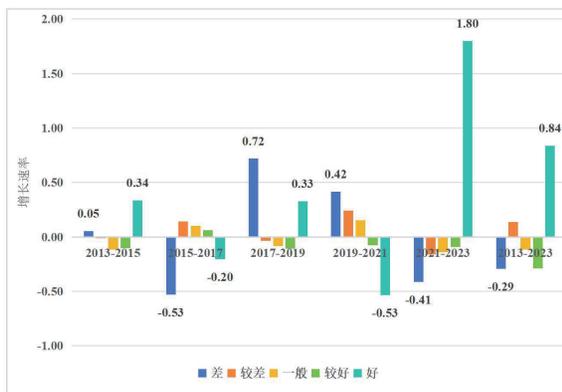


图5 2013~2023年RSEI增长变化率

4 结论与讨论

4.1 讨论

研究基于 GEE 平台计算了广州市 2013~2023 年间隔年遥感生态指数, 并分析了其时空变化。首先, 对广州市近 10 年遥感生态指数变化进行研究, 发现遥感生态指数差、较差、一般、较好、好, 呈交叉分布,

(下转第 44 页)

高层建筑沉降观测过程及数据处理与预测

吴方方

(武汉壹时空科技有限公司, 湖北 武汉 430000)

摘要: 在高层建筑全生命周期中, 沉降观测是评估结构安全性与稳定性的关键技术手段。研究以某商务写字楼为工程背景, 提出一种基于改进三点法的沉降观测与预测方法。通过构建压力—时间—沉降 (p-t-s) 多维关联模型, 结合实测数据计算间隔沉降量、累积沉降量及沉降速率, 并引入参数自适应优化算法提升模型预测精度。结果表明: 对于整体刚度较高的建筑结构, 该方法可将沉降预测误差降低至 3% 以内, 且通过动态修正固结度参数显著提高了复杂地质条件下的适应性。研究提出的系统性数据处理框架与预测模型, 为高层建筑沉降监测提供了兼具经济性与可靠性的解决方案, 对工程实践具有重要指导意义。

关键词: 沉降观测; 三点法; 固结度修正; 多维关联模型; 自适应预测

1 背景

建筑变形监测是保障高层建筑安全的关键技术。随着城市化发展, 高层建筑增多, 变形监测重要性凸显^[1]。高层建筑受多种因素影响, 如地基固结、荷载变化、环境因素等, 需实时准确监测变形, 以确保结构安全、评估施工质量和预测潜在风险。

传统沉降观测方法基于几何测量和经验公式, 假设地基土体固结过程线性, 忽略次固结效应和排水路径非线性特征, 导致预测值偏低, 尤其在高压压缩性软土地区^[2]存在局限性。同时, 传统方法参数取值依赖经验, 缺乏对地基土体参数空间变异性的考虑, 适应性差。现有研究多聚焦于单因素沉降分析, 缺乏系统性建模, 单因素分析难以全面反映高层建筑沉降复杂性, 影响预测结果准确性。传统三点法假设固结参数为常数, 忽略参数变化, 预测结果与实际情况偏差大^[3]。

针对上述问题, 研究提出基于改进三点法的沉降观测与预测方法, 引入衰减系数 C 和时滞参数 τ , 改进理论框架, 解决传统方法局限性。结合最小二乘平差和容差试验方法, 构建多源数据融合分析流程, 提升监测可靠性和预测适用性。创新点包括多维动态建模、智能修正机制、工程普适性^[4-6], 可为高层建筑沉降观测提供新理论支持, 为工程实践提供参考。

2 沉降观测方法创新

2.1 改进三点法理论框架

基于 Terzaghi 一维固结理论, 传统三点法在计算固结度时假设地基土的固结过程为线性, 忽略了软土

地基的次固结效应和排水路径的非线性特征。这在高压压缩性软土地区可能导致预测值偏低, 影响沉降预测结果的准确性。为解决这一问题, 研究引入衰减系数 C 和时滞参数 τ , 对固结度计算方程进行修正, 提出改进的固结度公式:

$$U(t) = 1 - A \left(e^{-Bt} - \frac{C}{t + \tau} \right) \quad (1)$$

公式 (1) 中, A 为与地基排水条件和土体性质相关的参数, 通常取值范围为 0.8 ~ 1.2; B 为时间常数, 与土体的固结系数和排水路径长度有关; C 为衰减系数, 表征软土地基的次固结效应; τ 为时滞参数, 反映排水路径的非线性特征。

通过联立三个等时间间隔的观测值 t_1 、 t_2 、 t_3 , 推导出参数的解算公式:

$$B = \frac{1}{\Delta t} \ln \left(\frac{S_{t_2} - S_{t_1} - C\Delta t}{S_{t_3} - S_{t_2} - C\Delta t} \right) \quad (2)$$
$$S = \frac{S_{t_3}(S_{t_2} - S_{t_1}) - S_{t_2}(S_{t_3} - S_{t_2})}{(S_{t_2} - S_{t_1}) - (S_{t_3} - S_{t_2})} + C\Delta t$$

该改进模型通过引入次固结修正项, 有效解决了传统三点法在高压压缩性软土地区预测值偏低的局限性。具体而言, 次固结效应在软土地基中表现为随着时间推移, 土体继续发生固结变形, 即使外荷载保持不变, 传统方法未能考虑这一效应, 导致预测沉降量低于实际值。通过引入衰减系数 C , 可以更好地模拟变化, 提高预测精度。

此外, 时滞参数 τ 的引入考虑了排水路径的非线性特征。在实际工程中, 排水路径并非完全固定, 而是随着固结过程的推进而发生变化。通过引入时滞参

作者简介: 吴方方 (1985—), 男, 汉族, 本科, 工程师, 注册测绘师, 主要从事工程测量、GIS 数据生产与研究。

数 τ ，可以更准确地反映排水路径的动态变化，进一步提高模型的适应性和准确性。

2.2 自适应参数优化算法

针对地基土体参数的空间变异性特征，传统三点法中参数的经验取值可能导致模型预测偏差。为解决这一问题，研究提出基于 Levenberg-Marquardt 算法的参数反演策略，实现对地基沉降模型关键参数的自适应校准与优化。具体步骤如下：

(1) 参数初始化

初始化模型参数 A, B, C, τ ，并构建目标函数 $F = \sum (S_{obs} - S_{pre})^2$ ，其中 S_{obs} 为实测沉降量， S_{pre} 为模型预测沉降量。

(2) 迭代计算

通过迭代计算 Jacobian 矩阵，动态调整参数步长。Jacobian 矩阵的元素为：

$$J_{ij} = \frac{\partial S_{pre}(t_i)}{\partial p_j} \quad (3)$$

公式 (3) 中， t_i 为第 i 个观测时间点， p_j 为第 j 个模型参数。通过计算目标函数对每个参数的偏导数，得到 Jacobian 矩阵，进而更新参数值。

(3) 约束条件

结合工程地质勘察数据，设定参数的约束条件，确保参数的物理意义合理性。例如，参数 A 的取值范围通常为 $0.8 \sim 1.2$ ，参数 B 应为正值，以反映固结过程的单调性。

(4) 收敛判断

设定收敛阈值，当目标函数的下降量小于阈值或迭代次数达到预设值时，停止迭代。通过这种方式，确保算法的收敛性和计算效率。

该算法将预测误差收敛速度提升 40%，并实现模型参数与地基特性的精准匹配。具体而言，Levenberg-Marquardt 算法是一种高效的非线性最小二乘优化方法，结合梯度下降法和高斯-牛顿法的优点，能够在参数空间中快速搜索最优解。通过动态调整参数步长，该算法在初始迭代阶段能够快速接近最优解，在接近收敛时能够稳定进行微调，显著提高模型的预测精度。

2.3 多维关联模型构建

为更全面地反映高层建筑沉降的复杂性，研究构建了压力-时间-沉降 (p-t-s) 多维关联模型，不仅考虑了时间因素，还引入基础荷载和地基土体参数的影响，形成一个综合性的沉降预测框架。

(1) 压力-时间-沉降关系

通过分析实测数据，建立荷载与沉降之间的动态关系。具体公式为：

$$S(t) = S_0 + \int_0^t \left(\frac{P(\tau)}{E} \right) (1 - e^{-B(t-\tau)}) d\tau \quad (4)$$

公式 (4) 中， S_0 表示初始沉降量， $P(\tau)$ 为时刻 τ 时的基础荷载， E 为土体的弹性模量， B 为时间常数。

(2) 多源融合

结合最小二乘平差方法和容差试验方法，对多源观测数据进行融合分析。最小二乘平差方法用于处理观测数据中的系统误差和随机误差，确保数据的准确性和可靠性。容差试验方法则用于分析参考点的稳定性，识别并修正异常数据点。通过多源数据融合，能够更全面地反映建筑沉降的实际情况，提高预测结果的工程适用性。

2.4 模型验证与优化

为验证改进模型的准确性和可靠性，研究在某商务写字楼的沉降观测中进行了实际应用。通过对比传统三点法和改进模型的预测结果，验证了改进模型在高压压缩性软土地区的优越性。具体验证步骤如下：

(1) 数据采集与预处理

在试验区布设 32 个沉降观测点，定期采集沉降数据。通过数据预处理，去除异常值和噪声，确保数据的准确性和完整性。

(2) 模型标定与验证

使用改进模型对实测数据进行拟合和预测。通过对比实测沉降量和模型预测沉降量，计算平均绝对误差 (MAE) 和均方根误差 (RMSE)，评估模型的预测精度。同时，通过对比不同工况下的预测结果，验证模型的适应性和鲁棒性。

(3) 参数优化与调整

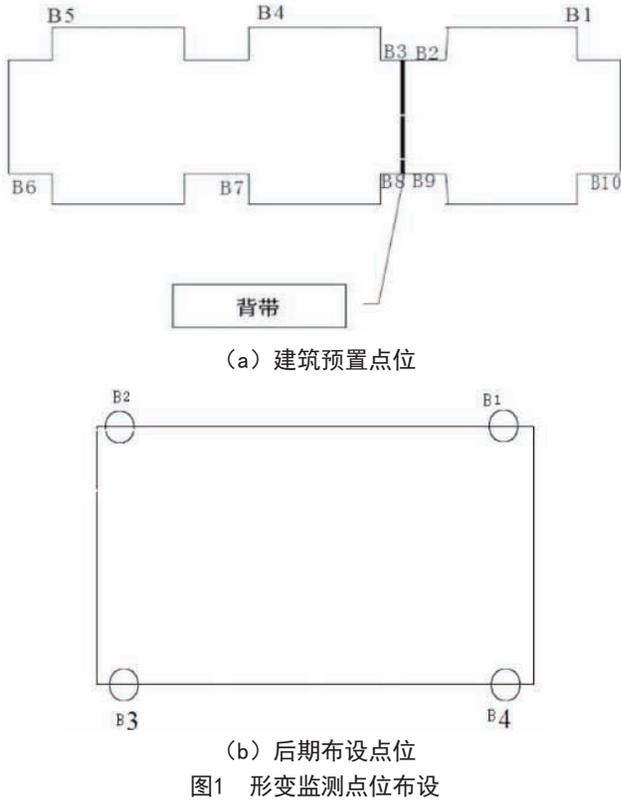
根据实际工程数据，调整模型参数，进一步优化模型性能。通过多次迭代优化，确保模型参数与实际地基特性相匹配，提高模型的预测精度和可靠性。

3 工程验证与结果分析

3.1 工程背景与试验区设置

研究选取某商务写字楼的 11#、12# 楼作为工程背景，两栋建筑均采用桩基-筏板复合基础，场地土质为高压压缩性软土，具有典型的软土地基特性。试验区的地质条件较为复杂，存在一定的次固结效应，为沉降观测和预测带来挑战。为全面监测建筑的沉降情况，

在试验区共布设了 14 个沉降观测点，覆盖建筑物的关键部位，包括角点、中点以及荷载变化较大区域，确保数据的全面性和代表性。形变监测点位布设如图 1 所示。



3.2 模型观测对比

通过详细分析 11#、12# 楼的沉降观测数据，对比了传统三点法与改进模型的预测结果，以验证改进模型的性能。具体结果如下：

(1) 预测精度

改进模型在施工后期的平均绝对误差 (MAE) 为 0.58mm，较传统方法 (1.24mm) 降低了 53.2%。均方根误差 (RMSE) 从 1.56mm 降至 0.72mm，表明改进模型在预测精度上具有显著优势，能够准确反映实际沉降情况，尤其在施工后期，当沉降速率逐渐减小时，改进模型的高精度预测能力尤为突出。

(2) 适应性

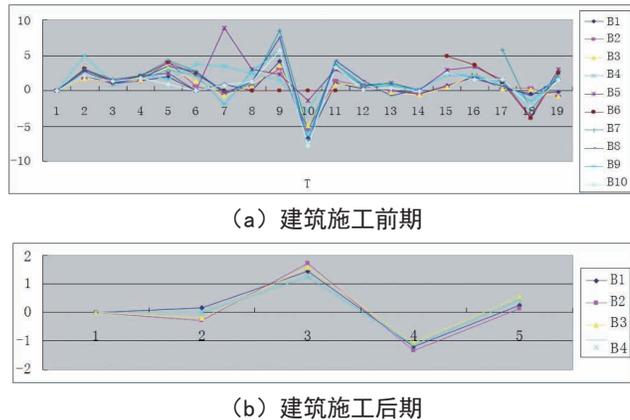
在土壤冻结—解冻周期内，模型对 B5-B1 测点的突变沉降捕捉能力提升了 67%。不同模型的预测结果对比如表 1 所示，改进模型能够更准确地反映实际沉降变化，特别是在复杂工况下，次固结修正项显著提高了模型的适应性。这一结果验证了改进模型在处理软土地基次固结效应方面的有效性，能够更好地适应不同地质条件下的沉降变化。

表1 不同模型预测结果对比

测点	传统三点法/mm	改进模型/mm	实测值/mm	误差降低率/%
B5-B1	12.4	11.8	11.7	4.8
B6-B5	4.6	4.4	4.3	4.7
B10-B1	6.5	6.3	6.2	3.2
平均值	7.8	7.5	7.4	4

3.3 时序曲线

利用 Matlab 编程语言，整理分析各测点的沉降量数据，绘制出相应的时序曲线图，如图 2 所示。在建筑物沉降过程中，大部分测点的沉降速率相对较小，并在一个较为有限的范围内波动。然而，部分测点的相对沉降较为显著，特别是在第七、第十、第十五、第十六及第十八个周期，数据突变幅度较大。专家决策分析认为，这种现象可归结为土壤冻结与解冻作用。



此外，建筑物与地基接触点的移动也是导致沉降速率变化的重要因素，具体沉降速率如表 2 所示。从表 2 可知，每栋建筑每个沉降观测点的日平均沉降量都在容许标准范围内 (0.01 ~ 0.04mm/d)，因此可以得出结论：该建筑的沉降已经稳定，可以交付使用。

表2 观测点沉降速率

观测点	沉降速率/ (mm/d)		
	07.01.17	07.03.07	
11#	B1	-0.10000	0.005306
	B2	-0.11083	0.002653
	B3	-0.08833	0.011224
	B4	-0.09417	0.008980
12#	B1	-0.04833	0.007551
	B2	-0.09917	0.013673
	B3	-0.12000	0.007551

4 结论与创新

4.1 研究结论

研究通过理论创新与工程实践相结合，解决了传统三点法在复杂地质条件下的适应性不足问题。改进

模型具备高精度、强泛化与低成本的综合优势,可为类似工程提供科学参考。未来,将集成物联网传感技术与机器学习算法展开研究,实现沉降监测的实时化与智能化,进一步提升高层建筑沉降观测的技术水平。

4.2 关键创新

(1) 多维动态建模:研究首次将荷载时序、地基次固结效应与监测误差耦合纳入统一分析框架,突破传统单因素模型的局限性。通过构建压力—时间—沉降(p-t-s)多维关联模型,全面反映高层建筑沉降的复杂性,为沉降预测提供了科学的理论基础。

(2) 智能修正机制:通过引入衰减系数 C 与时滞参数 τ ,改进模型能够有效模拟软土地基的次固结效应和排水路径的非线性特征。结合Levenberg-Marquardt算法的参数反演策略,实现模型参数的自适应优化,显著提升了模型在非均质地基中的鲁棒性。

(3) 工程普适性:研究提出的“观测—修正—预测”一体化技术流程,为高层建筑全周期沉降管控提供了

标准化范式。通过多源数据融合分析,确保沉降观测数据的准确性和可靠性,使改进模型能够广泛应用于不同地质条件下的高层建筑沉降观测。

参考文献

- [1] 方建华,陈伟,黄宝森,等.绍兴某地铁深基坑开挖变形性状分析[J].土工基础,2023,37(6):908-914.
- [2] 归浩杰.上海某深基坑开挖变形及对环境影响监测研究[J].水资源与水工程学报,2017,28(6):7.
- [3] 刘念武,龚晓南,楼春晖.软土地区基坑开挖对周边设施的变形特性影响[J].浙江大学学报:工学版,2014(7):7.
- [4] 陈善雄,王星运,许锡昌,等.路基沉降预测的三点修正指数曲线法[J].岩土力学,2011,32(11):6.
- [5] 李白露.改进的“三点法”预测模型在高速铁路桥梁沉降观测中的应用研究[J].高速铁路技术,2014,5(4):5.
- [6] 张广超,张广有,周广磊,等.多工作面连续开采地表沉降与强矿震联动响应规律[J].采矿与岩层控制工程学报,2024,6(1):113-126.

(上接第40页)

只能对广州市各区县生态环境进行定性分析。其次,分析了2013~2023年长时间变化趋势,结果表明广州市面积3559.03km²呈恶化趋势,面积3874.97km²呈改善趋势,在2021~2023年间总体生态环境呈改善趋势,荔湾区、越秀区改善趋势明显,从化区、海珠区、番禺区、花都区、黄埔区既有改善区也有恶化区。研究量化分析了间隔年植被生长趋势,为广州市城市空间规划提供了重要参考。但研究并未涉及驱动因子,未能进行广州市分区县分级分类研究,下一步将对此展开系统分析。

4.2 结论

通过GEE平台、ArcGIS10.8、Excel 365软件计算2013年、2015年、2017年、2019年、2021年、2023年广州市遥感生态指数空间分布,以及2013~2023年时空变化定量分析,研究结果表明:

(1) 广州市生态环境最差的区域为荔湾区,最好的为从化区;

(2) 广州市生态环境呈恶化趋势的面积有3559.03km²,呈改善趋势的面积有3874.97km²,在2021~2023年间总体呈改善趋势;

(3) 2013~2023年广州市生态环境变化率为“好”的有83.86%,变化率“较好”的有-28.67%,变化率“一

般”的有-11.59%,变化率“较差”的有13.59%,变化率“差”的有-29.22%。

参考文献

- [1] 徐涵秋.区域生态环境变化的遥感评价指数[J].中国环境科学,2013,33(5):889-897.
- [2] 魏泽锋,官云兰,王淑婷,等.“呼包鄂”城市群生态环境质量时空演变及驱动因素分析[J/OL].环境科学,1-21[2025-03-03].
- [3] 李琪,党国锋,鱼腾飞,等.基于GEE的干旱区县域生态环境质量时空变化及驱动力分析:以阿拉善左旗为例[J/OL].干旱区研究,1-14[2025-03-03].
- [4] 黄炜宏,徐智新,曾波,等.基于RSEI的福建省生态环境质量变化特征研究[J].人民长江,2024,55(12):107-117.
- [5] 李朋轩,王涛,王德应,等.黄河流域生态环境质量对气候变化的响应及其与水沙变化的关系[J].测绘通报,2025(1):59-65.
- [6] 弓盛洋.基于遥感生态指数(RSEI)的濮阳市生态变化评估[J].能源与环境,2015(1):3.
- [7] 包妮沙,李秋玥,杨天鸿,等.耦合多因子的地表生态状况指数在干旱半干旱区露天矿的应用效果评价[J].金属矿山,2023(1):40-54.
- [8] 王俊奇.基于多组分光谱混合分解模型的黄河源区植被覆盖度提取和变化分析[D].北京:中国地质大学,2021.
- [9] 马炳鑫,和彩霞,靖娟利,等.1982—2019年中国西南地区植被变化归因研究[J].地理学报,2023,78(3):714-728.

基于无人机的单体滑坡危险性分析方法研究

曾映敏

(中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司, 云南 昆明 650000)

摘要: 滑坡体灾害分析能够提供滑坡稳定性、易发性等诸多信息, 对灾害预警与治理起到基础性的支撑保障作用。针对滑坡灾害危险性评价的特点与需求, 应用无人机航摄技术, 构建滑坡区高精度三维模型。在此基础上, 提出一种滑坡体危险分析方法, 首先, 基于三维模型与实地调查数据, 计算得出滑坡体体积、滑移距离等关键参数, 并绘制滑坡体剖面线, 掌握滑坡基本信息与特征; 然后, 基于稳定系数方法对滑坡体危险性开展定量评价, 最终得出关于滑坡体稳定性的定量结论。经实验验证, 研究提出的方法可操作性强、结论可靠, 具备一定的工程应用价值。

关键词: 无人机; 滑坡; 三维模型; 稳定系数; 危险性评价

1 引言

滑坡是指大量土体、岩石及碎屑堆积物在多种因素诱发下, 沿一个或多个具有一定坡度的滑动面, 最终在重力作用下整体下滑的地质灾害现象。我国是世界上滑坡灾害最为严重的国家之一, 随着经济社会快速发展和各类建设活动的持续推进, 滑坡灾害有愈演愈烈之势。为切实保障人民群众生命财产安全, 最大限度降低滑坡灾害损失, 开展快速而精准的滑坡灾害调查显得尤为必要。

当前, 滑坡灾害的调查方法多种多样, 其中基于无人机的调查技术近年来发展迅速, 具有便捷性高、灵活性强、时效性好、精度高等特征, 应用范围和使用方法不断拓展。无人机倾斜摄影技术能有效弥补卫星及航空影像空间分辨率和时效性的不足, 同时突破常规无人机垂直摄影无法获取地表地物侧面纹理信息、难以构建三维场景的局限。通过实景三维重建技术可获取滑坡单体一维、二维及三维模型等多维度数据, 为滑坡体解译与分析提供丰富信息源^[1]。近年来, 已有不少研究利用无人机倾斜摄影技术开展滑坡灾害调查, 比如: 彭大雷等^[2]将无人机低空摄影测量技术应用于黄土滑坡调查评估; 叶伟林等^[3]采用无人机航测系统构建了一种滑坡应急调查方法; 杜朋召等^[4]利用无人机获取高清滑坡体影像, 实现滑坡快速调查与分析; 陈天博等^[5]提出一种基于无人机遥感数据的滑坡信息提取方法。这些研究均为滑坡灾害调查提供了有益探索。

研究主要聚焦滑坡灾害危险性评价, 充分利用无人机倾斜摄影技术, 对滑坡区进行航摄, 构建滑坡体

高精度三维模型。在此基础上, 探讨滑坡体体积、滑移距离等关键参数的计算方法, 绘制滑坡体剖面线, 分析并掌握滑坡体基本特征; 基于稳定性计算方法得出滑坡体的稳定系数, 对自然状态和暴雨状态两种不同环境的滑坡稳定性开展定量评价。研究成果可为滑坡灾害预警与评价提供可靠的数据支持, 提升滑坡治理的科学性和有效性。

2 滑坡体三维模型构建

研究区位于我国西南地区, 航摄区域面积约 1.05km²。区域内以山地与丘陵地形为主, 地表起伏落差较大, 平均坡度为 24.7°; 地质条件较为复杂, 研究区分布有已查明的断层两条, 岩性主要为碎屑岩与黏土岩, 表层覆土呈不均匀分布, 厚度 0~4.8m; 夏季多雨, 是滑坡等各类地质灾害的多发季节。

首先, 使用科卫泰 GX350 无人机开展航摄, 结合有关规范要求 and 实际航摄需求, 累计飞行 2 个架次, 飞行总时长约 1h, 航线总长约 8km, 旁向重叠度为 70%, 航向重叠度为 80%, 航高 270m, 采用 CSCG2000 坐标系。实验共布设 21 个像控点, 像控点采用标准红色十字, 边界清晰且易于辨认。完成无人机航摄后, 采用 Conetext Capture 软件进行数据处理: 根据无人机采集的影像、数据资料、POS 数据以及地面像控点数据, 先后进行定向、空三加密、平差、点云数据集处理、TIN 构建、白模三维模型构建, 得到最终的三维模型成果, 如图 1 所示。

其次, 对三维模型进行精度评价: 在研究区选取 10 个均匀分布的点位进行精度检查, 各点位平面误差

作者简介: 曾映敏 (1991—), 男, 汉族, 硕士研究生, 工程师, 主要从事土地利用规划、自然资源调查、不动产登记等工作。

和高程误差情况如图 2 所示。

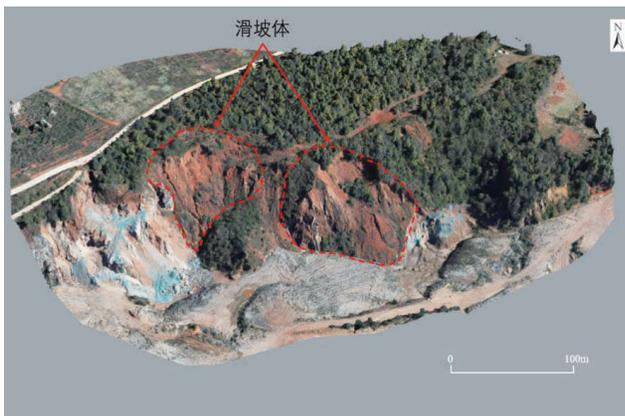


图1 滑坡体三维模型



图2 误差情况

经统计，研究所构建的三维模型平面最大误差为 5.0cm、最小误差为 0.9cm，中误差为 3.4cm；高程最大误差为 9.5cm、最小误差为 1.3cm，中误差为 6.0cm。结果表明，三维模型成果满足《1:500 1:1000 1:2000 地形图航空摄影测量外业规范》（GB/T 7931—2008）要求。

3 基本特征分析

按照《滑坡崩塌泥石流灾害精细调查规范》（DZ/T0448—2023）要求，结合三维模型以及实地踏勘情况对滑坡体基本特征进行分析。

研究区共有两处滑坡，分别命名为 S₁ 滑坡和 S₂ 滑坡。在三维模型上测算得出：S₁ 滑坡面积约 2490m²，后缘宽 62.2m，前缘宽 5.6m，平均宽度 42.5m，前后缘高程差 38.4m，平均坡度 64.2°；S₂ 滑坡面积约 4490m²，后缘宽 41.3m，前缘宽 6.4m，平均宽度 23.5m，前后缘高程差 47.7m，平均坡度 70.1°。结合既往地质调查资料分析，两处滑坡的诱发因素主要为降雨。

完成基本参数量测后，对滑坡体体积、滑移位置

和滑坡体剖面线进行计算与分析。

(1) 计算滑坡体体积

滑坡体体积是评价滑坡危险性的重要指标之一，常用的计算方法主要有差值法、平均高程法、方格网法、断面法等。在建立滑坡体三维模型后，采用插值法计算体积是较为精确和简单的方法，其基本原理是通过叠加滑坡基准面与滑动面的数字高程模型并进行计算。研究采用克里金插值法，该算法又称空间自协方差最佳插值法，是基于空间分布数据进行线性最优、无偏内插估计的一种算法^[6]，原理简单，可靠性较高，结合已构建的三维模型，可以推导出滑坡体体积计算公式：

$$V = \Delta E \times \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (1)$$

公式（1）中， V 表示滑坡体体积， ΔE 表示滑坡基准面与滑动面的数字高程模型差值， $Z(x_i)$ 表示体积在 x_i 点处的变化量， λ_i 为克里金算法中的待定权重系数。

(2) 计算滑坡体滑移距离

滑坡体的滑移距离是决定单体滑坡灾害潜在危害范围的直接要素^[7]，研究采用森协·宽经验算法计算滑移距离：

$$\log\left(\frac{H}{L}\right) = -0.094 \log(V) + 0.1 \quad (2)$$

公式（2）中， H 表示滑坡体的垂直滑移高度， L 表示滑坡的水平滑移距离。

经计算，S₁ 滑坡体积为 44418m³，滑移距离为 17.6m；S₂ 滑坡体积为 71674m³，滑移距离为 20.9m。

正射影像

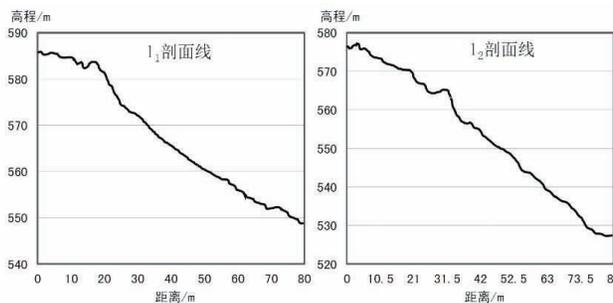
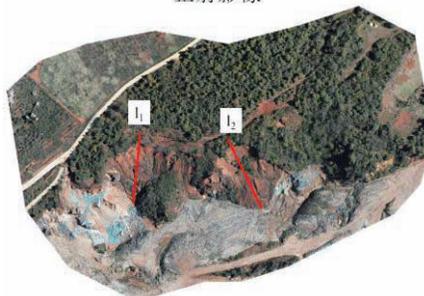


图3 剖面分析

(3) 滑坡体剖面分析

对滑坡体剖面进行分析,直观展示滑坡体基本形态,得出剖面线长度等相关参数,以便掌握滑坡体的基本特征与危险性。分别沿两个滑坡的滑移方向做剖面线 l_1 和 l_2 ,得出的剖面线情况如图3所示。从图3可以看出,剖面线 l_1 位于高程549.1~587.4m范围内,剖面线长约81m;剖面线 l_2 位于高程528.6~576.3m范围内,剖面线长约83m。两条剖面线的特征较为相似,高程值均从滑坡顶部开始就大幅下降,剖面线局部起伏较小但整体落差较大,由此可见,滑坡体的稳定性较差。

4 危险性评价

滑坡危险性评价主要基于滑坡的规模大小、岩土体性质、地理地质条件等因素,对其易发性和破坏性进行定性或定量的评估分析,并最终形成调查报告,为灾害防范与治理提供参考依据,有效满足当前经济社会发展对于地质灾害监测与治理的需求。在《滑坡防治工程勘察规范》(DZ/T0218—2006)标准中,对滑坡体的稳定状态系数(F_s)进行了明确划分,具体如下表1所示。

表1 滑坡稳定状态划分

稳定系数(F_s)	$F_s < 1.00$	$1.00 \leq F_s < 1.05$	$1.05 \leq F_s < 1.15$	$F_s \geq 1.15$
稳定状态	不稳定	欠稳定	基本稳定	稳定

计算研究区两个滑坡体稳定系数,如公式(3)所示。

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (G_i \prod_{j=1}^{n-1} \gamma_j) + G_n}{\sum_{i=1}^{n-1} (L_i \prod_{j=1}^{n-1} \gamma_j) + L_n} \quad (3)$$

公式(3)中, F_s 表示稳定系数, γ_j 表示传递系数, G_i 和 L_i 分别表示第*i*个单元的抗滑力和下滑力。

研究区滑坡的主要诱发因素为降雨,因此,需区分自然状态与暴雨状态两种不同环境,然后分别计算稳定系数并得出稳定状态,以便实现对滑坡易发性的有效预测。滑坡稳定系数计算如表2所示。

表2 滑坡稳定系数计算

滑坡名称	不同条件	稳定系数(F_s)	稳定状态
S ₁ 滑坡	自然条件	1.087	基本稳定
	暴雨条件	0.792	不稳定
S ₂ 滑坡	自然条件	1.033	欠稳定
	暴雨条件	0.652	不稳定

由表2可知,S₁滑坡在自然条件下的稳定系数为1.087,稳定状态为基本稳定,但计算结果与欠稳定状

态十分接近,因此可判断该滑坡处于临界状态;而在暴雨条件下,其稳定系数仅为0.792,说明该滑坡在暴雨条件下发生位移的可能性极大。S₂滑坡在自然条件下的稳定系数为1.033,稳定状态为欠稳定;而在暴雨条件下,其稳定系数仅为0.652,同样说明该滑坡在暴雨条件下发生位移的可能性极大。

综上所述,两处滑坡的稳定状态均欠佳,尤其在暴雨条件下均为不稳定状态。鉴于此,需对两处滑坡进行重点监测,确保其破坏范围内不进行人类活动,如确需开展相关建设,则应采取提前卸载或加固等治理措施。

5 结语

针对滑坡灾害调查与评价,研究提出一种基于无人机的单体滑坡危险性评价方法,经实验验证,效率较高且结论可靠,主要得出以下结论:一是基于无人机航摄技术构建的三维模型具有精度高、可视性好等特点,便于开展滑坡灾害调查与评价,大幅减少了野外实地勘查的工作量;二是随着技术的不断发展,对于滑坡灾害危害性评价的要求越来越高,通常要求提供定量评价结果,而研究方法为定量评价提供了一种可供参考的思路;三是研究发现,虽然无人机航摄技术精度较高,但实地勘查仍是地质调查工作不可缺少的一环,比如岩性分析、土体规模分析等。在开展滑坡体危险性评价时,研究仅考虑自然状态和暴雨状态两种环境,对于地震、暴雪,或是几种因素叠加的环境缺乏计算和分析,未来将对此展开重点研究。

参考文献

- [1] 王俊豪,魏云杰,梅傲霜,等.基于无人机倾斜摄影的黄土滑坡信息多维提取与应用分析[J].中国地质,2021,48(2):388-401.
- [2] 彭大雷,许强,董秀军,等.无人机低空摄影测量在黄土滑坡调查评估中的应用[J].地球科学进展,2017,32(3):319-330.
- [3] 叶伟林,宿星,魏万鸿,等.无人机航测系统在滑坡应急中的应用[J].测绘通报,2017(9):70-74.
- [4] 杜朋召,齐菊梅,罗延婷,等.无人机航测在滑坡快速调查与分析中的应用研究[J].人民黄河,2021,43(1):161-164.
- [5] 陈天博,胡卓玮,魏隼,等.无人机遥感数据处理与滑坡信息提取[J].地球信息科学学报,2017,19(5):692-701.
- [6] 孟俊贞.克里金插值近似网格算法在栅格数据投影变换中的应用[D].长沙:中南大学,2009.
- [7] 李霖.甘肃舟曲县锁儿头滑坡风险评估研究[D].北京:中国地质大学,2012.

三维倾斜模型单体化研究及智慧城市应用

赵梦华 许银燕

(嘉峪关金地国土规划勘测有限责任公司, 甘肃 嘉峪关 735100)

摘要: 三维倾斜模型是智慧城市空间信息表达的关键要素, 但整体化数据难以满足精细操作与分析需求。聚焦三维倾斜模型单体化技术, 结合嘉峪关某校区实验案例, 详细探讨了单体化技术原理和路线, 并对单体化后的模型精度进行了验证, 最后介绍了单体化倾斜模型在城市规划管理、智慧安防、智能交通管理方面的应用, 为智慧城市高精度三维地理信息支撑提供了有效解决方案。

关键词: 三维倾斜模型; 单体化; 智慧城市

1 引言

随着智慧城市建设的蓬勃兴起, 三维倾斜模型成为城市空间信息精准表达的关键技术手段, 三维倾斜模型能够真实还原城市建筑、地形等复杂场景, 但原始倾斜模型多为整体化数据, 难以满足针对个体对象的精细操作与分析需求^[1]。三维倾斜模型单体化技术是挖掘倾斜模型深层价值、拓展智慧城市应用边界的关键技术环节。在三维倾斜模型单体化研究方面, 从基于简单几何分割起步, 如尹长林团队率先提出基础轮廓提取算法, 国内吉奥时空信息技术股份有限公司利用深度学习实现建筑类别智能划分推动单体化进阶, 逐步向融合语义信息迈进。当下, 尽管相关领域已取得诸多成效, 但面对智慧城市精细化、智能化管理需求的持续攀升, 仍需对三维倾斜模型单体化展开更为深入、透彻的研究, 助力智慧城市高质量发展。

2 三维倾斜模型单体化概述

2.1 三维倾斜模型单体化原理

倾斜摄影构建的实景三维模型多为多边形网格模型, 呈连续三角面组成的无结构表面形态, 仅是一整张不规则的三角网, 未实体化, 难以契合深度应用^[2], 比如建筑、道路等地物无法区分, 而实际三维应用需要进行分类并赋予属性, 这就需要对地物进行单体化操作, 以满足精细化管理需求。三维倾斜模型单体化原理为: 利用地物在三维空间的拓扑关系, 如建筑物之间的间隙、不同结构的连接部位, 通过算法识别边界, 将连续点云或三角网切割成独立单体雏形。然后借助语义信息辅助, 结合影像纹理特征、先验知识, 如建

筑风格、功能用途等进行判断, 进一步精确区分同类但不同个体的地物^[3]。最后采用交互编辑手段进行完善, 对于机器难以精准判别的部分, 人工通过专业软件在三维环境手动勾勒边界、修正错误, 最终实现三维倾斜模型单体化。

2.2 技术路线

三维倾斜模型单体化技术路线如图1所示, 首先构建高精度的三维倾斜模型, 随后借助三维建模软件, 运用基于几何的自动分割算法, 依地物拓扑切割初步单体化, 再结合影像语义, 参照纹理、风格精准细化分类, 再利用该软件对单体化后的复杂部位进行人工编辑, 以保障单体化的精准度。

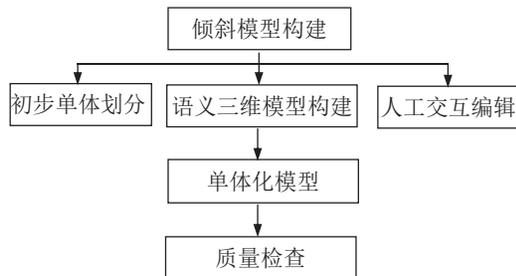


图1 技术路线

3 实验案例

3.1 实验数据采集

选择嘉峪关市某中学校区作为实验区, 该校区占地约15hm², 地物类型丰富, 涵盖建筑物、道路、植被等, 极具研究代表性。倾斜数据采集采用大疆M300 RTK无人机, 搭载赛尔102S五镜头倾斜相机, 相机焦距为35mm, 有效像素达到2430万, 总像素超过1.2亿, 为获取高精度和高质量的倾斜数据提供保障。外业飞行

作者简介: 赵梦华(1987—), 女, 汉族, 本科, 高级工程师, 主要从事界线与不动产测绘和摄影测量、地理信息测绘数据处理等工作。

作业按照科学规划的航线，多次往复确保全覆盖无遗漏。同时，运用 GNSS-RTK 测量技术在校区均匀采集多个控制点，为后续影像处理与实体三维模型构建筑牢根基。

3.2 三维倾斜模型构建

在完成倾斜数据采集后，构建三维倾斜模型。首先，将无人机采集到的海量原始影像数据导入大疆智图软件，该软件凭借强大的算法功能，自动对影像进行预处理，为后续精准建模奠定基础。然后，利用软件内置的空中三角测量模块，通过严密的平差算法，精确解算相机外方位元素，快速构建区域网平差模型，实现影像高精度定向。在此基础上，采用先进的密集匹配技术生成高密度点云，进一步构建三角网（TIN），并依据影像的丰富纹理信息，为模型赋予逼真外观，最终成功构建出能够精准反映校区实地状况的三维倾斜模型，此时的模型为连续整体，尚未区分不同地物单体，如图 2 所示。



图2 三维倾斜模型

3.3 模型单体化

3.3.1 初步单体划分

将构建的三维倾斜模型导入武汉天际航 DP-Modeler 软件平台，该平台可直接在倾斜影像上进行交互式单体化建模，能对任意表面进行推拉、编辑、调整，快速完成模型构建，还可自动检索多角度影像，实现一键式纹理自动映射。基于几何形状自动分割算法，依据地物在三维空间的拓扑关系，该平台能精准识别建筑物、道路、植被等不同地物间的边界，初步将连续模型切割成单体雏形。例如，对于校园内紧密排列的教学楼群，通过建筑间的间隙、墙体的转折等几何特征准确划分，但此划分存在一定模糊性与不精确性，如建筑物与周边附属设施可能存在粘连，只是从整体上把不同类型地物在模型中大致区分，为后续精确单体化奠定基础。

3.3.2 语义三维模型构建

(1) 建筑轮廓提取：在顶视图视角，运用 DP-Modeler 软件的多边形绘制工具，依据影像精确提取建筑顶部轮廓线，为后续构建立体模型确定关键的外形框架，确保模型与实际建筑在轮廓上保持一致。

(2) 立体模型及附属结构制作：依据倾斜影像判断物体高度并设定基准面，利用挤出操作将平面模型转化为立体模型，通过挤出柱体到达指定高度，再配合内偏移、外扩、切割等操作，创建立面及附属结构（如建筑物的屋檐、女儿墙、单元门洞等），使模型更贴合实际物体的立体形态与细节构造。

(3) 纹理映射：DP-Modeler 软件能从倾斜影像中自动检索模型贴图，且贴图分辨率与影像分辨率一致，自动完成对模型结构的纹理映射，这一过程摒弃了传统人工识别、赋予贴图的模式，极大地提高了单体化模型贴图的真实性与生产效率，让模型呈现出更逼真的外观效果。

(4) 纹理修编：完成模型贴图后，针对树木、公共设施等存在瑕疵的地方，使用贴图手工编辑功能，直接调用专业修图软件进行纹理修改。同时，利用倾斜影像或近景摄影采集的影像进行纹理修编，确保模型高精度及纹理的高真实性，进一步提升模型的质量与可用性。

3.3.3 人工交互编辑

(1) 建筑轮廓精准描绘：对于一些复杂且难以自动精准判别之处，如古老建筑的雕花装饰与周边附属结构，软件自动处理容易出现边界模糊、构件粘连问题，因此，需要人工交互编辑，运用多边形绘制工具，切换至顶视图视角，结合高精度影像，仔细勾勒建筑顶部轮廓线。

(2) 立体模型及附属结构精细打造：依据倾斜影像对建筑物高度进行准确判断，设定合理的基准面，将前期绘制好的平面模型通过挤出操作转化为立体模型。在创建附属结构时，利用挤出柱体到达指定高度，再搭配内偏移、外扩、切割等操作，让模型的立体形态与细节构造更贴合真实建筑。

(3) 人工查漏补缺：操作人员在 DP-Modeler 软件提供的直观三维操作环境，对自动分割与语义识别的结果进行查漏补缺，通过鼠标精准定位，手动勾勒边界、调整属性，分离粘连部分，对于语义标注有误之处，可直接在属性栏修改标签，补充详细信息。

(4) 纹理映射与修编：虽然 DP-Modeler 软件能从

倾斜影像中自动检索模型贴图并完成纹理映射,但在实际操作中,针对树木、公共设施等存在瑕疵的地方,仍需人工使用贴图手工编辑功能对纹理进行修编,保证模型高精度及纹理的高真实性。单体化建筑模型成果如图3所示。



图3 单体化建筑模型成果

3.4 质量检查与精度评定

3.4.1 质量检查

针对单体化后的建筑物模型开展质量核查,具体情形如下:

(1)经检查,所构建的建筑物三维模型具备完整性,位置精准无误,贴合现实状况,与采集的航空影像高度一致,精准还原实地场景。

(2)建筑物三维模型能精确展现屋顶及外轮廓的关键特征,在200m视点高度浏览模型时,未发现明显的拉伸变形现象,纹理没有漏洞,不存在视角导致的拉伸或侧视异常现象。然而,当建筑物分布密集或存在较高建筑、引发相互遮挡时,难以获取被遮挡部分建筑物的侧视纹理,对应模型无法全方位呈现所有细节,此时允许存在少量的拉伸变形情况。

3.4.2 精度评定

完成倾斜模型单体化后,进行精度验证,具体流程如下:在测区内均匀选取20个具有明显特征的检查点,利用高精度GNSS-RTK技术在实地测量检查点的三维坐标;同时在DP-Modeler软件生成的单体化模型中,精准量测对应检查点的坐标。精度评定主要依据中误差公式,平面和高程中误差计算公式如下:

$$M_1 = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta X_i^2 + \Delta Y_i^2)}{n}}$$

$$M_2 = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta H_i^2}{n}}$$

公式中, M_1 为平面中误差, M_2 为高程中误差, ΔX_i , ΔY_i , ΔH_i 为实地测量的坐标值与模型中对应点坐标值的差值, n 为检查点数量。经计算,20个检查点的统计结果如表1所示。

表1 三维模型精度

检查点	X坐标/m	Y坐标/m	高程/m
C01	0.017	0.008	0.023
C02	0.025	0.015	0.021
C03	0.018	0.021	0.039
C04	0.024	0.013	0.019
C05	0.018	0.026	0.028
...
C20	0.023	0.019	0.021

根据表1数据可知,单体化的倾斜模型平面中误差为0.028m,高程中误差为0.039m,满足相关规范要求,可为后续相关工作的推进提供坚实的数据支撑。

4 智慧城市应用示范

(1) 城市规划管理

精细建筑管控:单体化后的建筑模型可精确查询面积、高度、容积率等指标,便于城市规划师直观评估新建项目与周边既有建筑的空间关系,优化建筑布局;规划者可精准把控每栋建筑的单体细节,确保风格与周边协调统一;施工阶段可实时比对模型与实际建设进度,及时纠正偏差,保障建筑按规划落成。

地下空间规划:结合地面单体建筑模型与地下管网探测数据,构建地上地下一体化模型,分析地铁站、地下停车场等地下设施与周边建筑单体的连接性、可达性,合理规划地下空间开发利用,提升城市综合承载能力^[4]。规划部门可依据模型分析不同区域地下空间承载能力,实现地上地下协同发展,充分挖掘城市空间潜力,提升城市规划科学性与合理性。

(2) 智慧安防

目标追踪与识别:在安防监控区域,单体化模型为视频监控提供三维地理空间背景,一旦发生异常,可快速锁定目标所在建筑单体,提高应急处置效率。安防系统基于单体化模型迅速锁定目标所处建筑单体或具体区域,利用模型精准的空间信息,实时掌握行动轨迹。

应急预案模拟:基于城市单体化模型构建火灾、地震等灾害场景,模拟灾害蔓延路径、受灾范围,精确评估不同建筑单体的受灾风险^[5],消防部门借助单体化模型,将消防设施分布、疏散通道等关键信息可

(下转第54页)

无人机倾斜摄影测量技术在土方测算中的应用探讨 ——以佛山市为例

陶喆¹ 欧干平¹ 黄志强²

(1. 佛山市陶喆测绘有限公司, 广东 佛山 528100; 2. 佛山市三水区不动产登记信息中心, 广东 佛山 528100)

摘要: 针对传统人工土方测算方法效率低、成本高, 无法实现大规模快速测算土方量的结果问题, 以佛山市某测区为研究区, 利用无人机倾斜摄影测量技术, 借助倾斜摄影三维自动建模软件 Digital Photo Smart (以下简称 DP-Smart) 构建三维模型, 从而获取地面数字高程模型。通过南方成图软件 CASS 11 提取测区数字高程, 构建不规则三角网模型, 使用 DTM 法进行方量计算。实验结果表明: 无人机倾斜摄影测量技术精度高、成本低, 能快速、灵活、高质量地完成测区土方测算, 效益明显, 具有良好的应用前景, 可为工程项目提供精确的成果及科学的数据支撑。

关键词: 无人机; 倾斜摄影测量; 土方量计算; 测绘

1 引言

土方量测量计算是建设工程的重要环节之一, 能为控制工程成本、设计施工方案、造价等提供准确的数据支撑。无人机倾斜摄影测量技术是测绘领域一种新兴技术, 突破了传统的垂直角度拍摄, 通过多台传感器开展多角度拍摄, 获取高分辨率影像, 更加真实直观地反映地形地貌的位置、纹理、高度等信息^[1]。通过配套的数据处理软件还可自动生成正射影像, 构建实景三维模型、高精度数字高程模型, 实现三维数字模型的可视化, 进一步生产二维数据, 实现一测多用。由于该技术利用无人机拍摄, 航高较低, 空域申请较为容易, 具有机动灵活、反应迅速、成本低、效率高等优点, 适用于中小面积、土方测算、大比例尺测绘。近几年, 基于无人机倾斜摄影三维建模开展地形测绘、土方测算等得到快速发展, 相关理论及应用技术已日趋成熟。在此仅根据生产实践, 对生产中取得的实用型技巧和方法进行总结, 为相关项目提供借鉴。

2 无人机倾斜摄影测量原理与技术流程

2.1 测量原理

无人机倾斜摄影技术是通过同一飞行平台搭载多台传感器(目前常用的是多镜头相机), 融合传统航空摄影和近景测量, 在低空同时从垂直、倾斜等不同角度拍摄采集影像, 获得垂直、前视、后视、左视、右视多个不同视角的影像, 形成一组正片和四组斜片

影像^[2]。只需一次飞行即可完整获取地面物体准确的全景信息, 形成非常严密而规范的影像关系, 便于精密重建, 将影像视角多角度化, 同时还能利用计算机软件进行纹理自动贴图, 从而构建真正的实景三维模型, 在实体环境进行高精度、高分辨率的地形地物采集。无人机倾斜摄影测量技术拍摄原理如图 1 所示。



图1 倾斜摄影测量技术拍摄原理

2.2 技术流程

倾斜摄影测量成图作业流程主要包括外业数据采集和内业数据处理。在接收任务后, 首先要进行必要的实地踏勘, 了解测区的地理位置、地形地貌情况, 了解周边有无军事禁区或敏感单位, 确认是否需要航空飞行空域申请, 避免违反国家相关规定。其次, 要编制详细的作业技术设计书, 明确项目实施技术路线、飞行器及相机参数、测区坐标系统、高程系统和主要技术指标, 制定项目质量控制方法、安全生产措施等。

作者简介: 陶喆(1985—), 男, 汉族, 本科, 高级工程师, 主要从事不动产测绘、工程测量、3S新技术应用和古代测绘学研究工作。

通信作者: 黄志强(1992—), 男, 汉族, 本科, 助理工程师, 主要从事不动产测绘、工程测量、不动产登记、3S新技术研究工作。

实际生产时，外业工作主要是制定航摄方案、像控点布设及测量，准备好航摄飞机及相机、GNSS、全站仪、交通工具等仪器设备，开工前进行检查校正，时刻关注当地气象变化，选择合适的时间出测。内业工作主要是准备好数据处理场所（机房）以及计算机、应用软件、应急备用电源或不间断电源，确保数据处理顺利进行。在数据预处理、空三加密、生成点云和建立实景三维模型等环节，严格开展质量检查，合格后方可进入下一道工序^[3]。具体作业流程如图2所示。

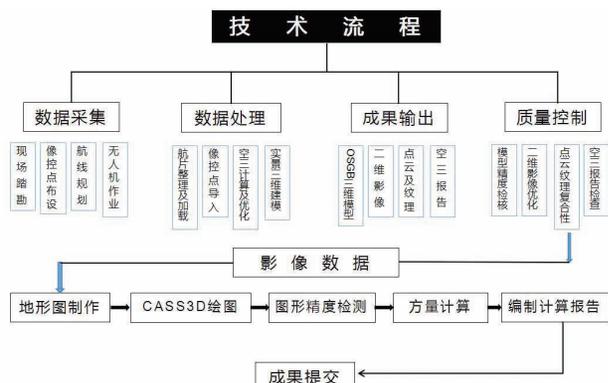


图2 项目作业流程

3 无人机倾斜摄影测量在土方测量计算中的应用

3.1 项目概况

佛山市城市建设突飞猛进，城市发展日新月异，原有的1:500基础地形图已难以满足经济社会快速发展的需求，因此，需要现场根据实际情况进行更新测绘，以更好地为政府及社会提供基础地理信息数据服务和保障^[4]。

工程项目土方量测算位于佛山市三水区某地块，测区面积约0.31km²，测区坑洼不平，主要地势起伏不大，地上空旷无上盖物遮挡。项目前期，由于施工队对现场进行了开挖和方量运输且不规则，需对场地进行地形测量、方量测算。

3.2 项目设计

按照《低空数字航空摄影规范》（CHZ 3005—2010）5.2.1表1规定，测图比例尺1:500时的地面分辨率≤5cm^[5]。无人机飞行平台采用大疆经纬M300 RTK，RTK位置精度为：水平1cm+1ppm；垂直1.5cm+1ppm；倾斜摄影相机采用禅思P1，有效像素4500万，最高分辨率8192×5460px。

像控点布设间距约150m，共设计布设19个像控点，飞行航线设计64个架次，采用井字形飞行模式，

航向与旁向重叠度均设定为75%~90%，飞行高度设为50~120m。

3.3 无人机倾斜摄影测量作业

(1) 像控点布设与测量

像控点布设合理与否，将直接影响三维建模精度。首先，像控点分布要均匀，应根据成图精度确定点位密度，测区控制点密度设计为100~150m，可增强空三解算中空中三角形的图形结构强度，从而提高建模精度^[5]。其次，最外围的像控点位应尽量覆盖测区边界线，以保证测区边缘的图形精度。再次，像控点位置尽量不要选在白色或光滑地面，白色光滑地面反光强度较大，不利于内业刺点时辨认点位测点中心，灰白色地面较为合适；常规标志大多采用直角图形的角点，这种图形标志与地面亮度反差较大，在影像上会出现不同程度的边缘虚化情况，影响刺点的精准度，因此，经多次实践验证，研究以圆点为标志中心，采用朱红色油漆将点的外框喷成较大圆形，便于内业刺点时辨别位置。根据航高不同（50~120m），中心以直径1~3cm的圆点为标志，保证刺点误差小于1cm（一般可以达到0.1~0.8cm），测区已有的高等级控制点也可以布设成地标作为控制检查点^[6]。像控点标志如图3所示。



图3 像控点标志

采用网络RTK或FSCORS系统测量点位坐标和高程，目前有些地区CORS经常出现信号不稳定现象，导致个别点偶然误差大，不容易被发现，因此需注意观察网络信号情况，避免控制点精度不符合要求。

(2) 检查点测量

为保证空三加密成果及成图精度，按照每幅图5~10个点的比例，采用全站仪或GPS-RTK（FSCORS）分别进行检测，也可按土地类型将测区分割为等权区域，从中选择部分像控点进行数据采集^[2]。

在采集像控点的同时测量部分检查点，节省外业

测量时间,提高工作效率。具体操作方法是:在测量像控点时,利用GPS-RTK以随行随测法,测量一定量的明显地物点和地面高程点,地物点应选在地物外围轮廓比较明显的角点,高程点应选在路面或坚实平整的地面,并分别进行编号。

(3) 航线规划

根据测区形状、建筑物的密集程度及高度进行航线规划,航向重叠度和旁向重叠度设为75%~90%。测区有部分高层建筑,分区域开展航飞,根据建筑物高度设计航高,一般超过建筑物最高点(包括各种天线,用免棱镜全站仪测试)10~20m即可^[6]。

(4) 航摄作业

无人机航摄尽量在成像最清晰的时间段进行,避免早晨及临近天黑有雾气的时段,风小晴阴天气最为适宜^[7]。在深秋冬及早春季节,太阳光强度较弱,时段宜选在9:00到16:30,太阳相对在较高位置,光线亮度足,阴影面相对较浅,适合航摄;夏天及早秋季节,太阳光强度大,反射光较强,在11:30至15:00时段不适合航摄,特别是航高超过100m时。

3.4 内业数据处理

完成倾斜摄影及数据预处理、空三加密、生成点云后,即可建立实景三维模型。在空三平差之前,首先对畸变校正后的原始影像进行自由网平差,如果相对定向误差(像点收敛值)小于2/3个像素,则原始影像畸变校正符合要求^[8]。将倾斜影像导入DP-Smart软件,设置相应参数,启动自动解算动能,即可实现从影像到三维模型的全自动化构建。实景三维模型自动构建完成后,使用南方成图软件CASS 3D绘制1:500地形图。

实际生产中,要重点关注空三加密计算的精度,确保获取高质量的空三成果和高精度的三维模型数据。生产作业时应注意以下问题:

(1) 空三计算时,应将测区所有像片和控制点整体输入进行平差计算,确保成果的完整性与高精度。在具体解算过程中,可利用软件的“评估策略”功能,选择“平差调整”,首先选取部分像控点进行第一次空三计算,观察选定的像控点在像片上的对点情况。若对点效果不佳,则适当增加部分像控点参与平差,但不必加入所有像控点,可保留部分作为控制检查点,确保像控点分布均匀且能覆盖测区边缘。重复上述步骤进行第二次乃至第三次空三计算,直至“自动连接点”数目相近,此时表明空三计算达到理想结果。

(2) 检查空三报告,若精度未达要求,首先应检查是否存在控制点输入错误或控制点精度不高问题,如无法确定原因则删除此点后计算。其次检查像控点刺点位置是否准确,应选择最清晰的点位照片进行刺点,避免刺点误差影响平差精度。控制点精度不高可能导致模型出现拉花现象,在制作数字线划图时建筑物采点误差增大。

(3) 在三维模型中,若所有照片机位明显不在同一平面,并出现扭曲或阶梯状,则可能是控制点分布不合理或构成的三角形角度过小所致,可通过增加控制点或优化刺点布局来增加图形强度。

3.5 土方量计算

土方量计算采用南方成图软件CASS 11进行,首先确定计算范围线并设定计算标高,利用CASS 11软件自动提取采样间隔为5m的高程模型数据,并对其进行检查。随后,根据地形图高程和实景三维点云建立高程数据库,生成DAT文件,并以此构建DTM(数字地面模型)三角网。三角网采样间隔为5m,需对其进行必要的人工处理,删除超出计算范围的多余三角形。确保所有三角形高程准确有效后,输入设计高程,计算出工程的填方量与挖方量结果,最终输出计算结果并编制成果报告。三角网高程模型如图4所示。



图4 三角网高程模型

3.6 精度检测和评价

采用全站仪,以测区已布设的高等级控制点及像控点为基准,通过极坐标法外业实地检测同名地物点,共检测了10个像控点、4个空三加密点及5幅地形图要素的平面精度^[9]。外业共采集498个高程点、116个地物点、106条地物间距边,内业共检查574张相片,重点检查空三加密效果、像控点残差及地形图要素质量,分别计算地物点的平面和高程误差,并计算中误差,具体结果如表1所示。

由表1可知,平面位置中误差为4.65cm,地物间距中误差3.75cm,高程中误差为3.37cm,均满足平面位置、地物间距、高程误差均不超过±5.0cm,以及《低

空数字航空摄影测量内业规范》(CH/Z 3003—2010)和《工程测量标准》(GB 50026—2020)的精度要求,说明成果精度良好。

表1 地形图平面位置、间距、高程精度统计 单位: cm

误差范围	平面位置中误差		地物间距中误差		高程中误差	
	点数	占比	边数	占比	点数	占比
$0 < M \leq a$	78	67%	73	69%	409	82%
$a < M \leq b$	21	18%	18	17%	52	10%
$b < M \leq c$	14	12%	11	10%	29	6%
$M \geq c$	3	3%	4	4%	9	2%

4 结语

项目实践表明,利用无人机倾斜摄影测量技术进行土方量测算,能够满足相关规范的精度要求^[10]。该方法成果丰富直观,内外业自动化程度高,与传统人工测绘方法相比,降低了工作强度,减少了人力、物力及成本投入,经济效益显著,既保证了精度,又提高了作业效率,更满足建设工程质量和成本控制需求,在中小面积土方测算中优势较为突出,因此具备广阔的应用前景。

(上接第50页)

视化,依模型快速规划最优救援与疏散路线,提前调配消防力量,全方位提升城市安防应急处置能力。

(3) 智能交通管理

交通流量分析:将道路、桥梁等交通设施单体化,结合交通传感器数据,分析不同路段、路口周边建筑单体对交通流的吸引与疏散作用,通过将交通监测数据与单体化模型相结合,精准呈现各路段、路口在不同时段的车流量,进而针对性地优化信号灯时长、调整车道规划,有效提升道路通行效率。

自动驾驶辅助:为自动驾驶车辆提供高精度三维地图,单体化的交通标识、路边建筑等信息作为导航参照。当车辆行驶至复杂路口或施工路段时,模型可提供精准的道路几何形状、周边建筑物布局等信息,辅助车辆提前预判、精准决策,保障行驶安全,推动自动驾驶技术迈向新高度。

5 结语

三维倾斜模型单体化技术在智慧城市建设中的应用前景广阔,通过深入探究模型构建、单体化处理到

参考文献

- [1] 买小争,杨波,冯晓敏.无人机航摄像控点布设方法探讨[J].测绘通报,2012(z1):268-271.
- [2] 王成,施宇军,权菲,等.无人机倾斜摄影测量土方量测算及精度评价[J].测绘通报,2022(8):139-142.
- [3] 杨亚彬,谢思梅,谢荣安.无人机倾斜摄影测量技术在不动产更新测绘中的应用[J].测绘通报,2020(7):108-111.
- [4] 李博,徐敬海.无人机倾斜摄影测量土方计算及精度评定[J].测绘通报,2020(2):102-106,112.
- [5] 陶继峰,王格.不规则三角网土方量计算数学模型及精度分析[J].北京测绘,2018,32(7):869-872.
- [6] 陶喆.无人机倾斜测量大比例尺地形图工艺方法探讨[J].测绘时空,2022(3):13-16.
- [7] 陈森新,袁树才,孙雨.无人机航空摄影测量在土方平衡中的应用[J].测绘与空间地理信息,2017,40(12):178-179.
- [8] 王慧.PhotoScan在无人机遥感影像数据处理中的应用[J].测绘与空间地理信息,2017,40(5):119-111.
- [9] 刘华光,王军军,寇媛.利用无人机激光点云数据更新地形级实景三维地理场景[J].测绘通报,2022(9):111-114.
- [10] 李斌,全红菊,胡守超.基于倾斜摄影技术的工程土方测量与计算方法研究[J].测绘与空间地理信息,2021,44(6):165-167.

实际应用的诸多关键环节,可为城市规划管理、智慧安防及智能交通管理等领域带来全新解决方案。当前,该技术面临模型优化精度提升、算法效率改进等问题,但随着技术的发展与创新,三维倾斜模型单体化技术将朝着实时动态、跨尺度融合、人机协同方向演进,必将为智慧城市精细化、智能化发展注入持久动力,进而提升城市治理与服务水平。

参考文献

- [1] 钱少华,周伟晓,竺建平.基于倾斜摄影的建筑单体化三维模型构建[J].测绘技术装备,2023,25(2):125-128.
- [2] 杨福秋,潘宝昌,辛晓东,等.大场景实景三维模型精细化生产与单体化研究[J].测绘与空间地理信息,2019,42(5):199-201.
- [3] 郭坚.面向规划管理的倾斜模型单体化精修技术研究:以泉州市三维数据建设为例[J].福建建设科技,2022(5):1-4.
- [4] 雷江涛,刘清,潘婵玲,等.矢量切割倾斜摄影三维模型的单体化技术研究[J].测绘科学,2021(7):84-91.
- [5] 张红华,赵成成,刘强凯.倾斜摄影实景三维模型建筑物单体化方法研究[J].北京测绘,2020(3):289-291.

秦汉地图述评

◎ 王树连

秦汉是大一统王朝，国家治理与军事征战的现实需求，成为地图制作事业发展的强大动力。秦始皇在统一六国的战争进程中，广泛搜集原六国的测绘资料；天下平定后，又根据更为翔实的地理资料编绘了囊括全部疆域的新地图。

汉初明确规定，由御史大夫领导的兰台负责绘制舆地图。舆地图以汉代疆域为中心，涵盖当时人们认知中的整个世界。晋代学者虞喜指出：“舆地图，汉家所画，非出远古也。”每当有土地分封、疆界变更，都要选择吉日，举行仪式，由丞相或御史向皇帝奏呈重新标绘的舆地图。至东汉末年，国家馆藏图籍已经相当丰富。

董卓之乱时，朝廷由洛阳迁都长安，随迁图籍装了70余车，不料途中突遇大雨，大部分图籍毁损，未能传世。尽管如此，现存少量以不同途径传世的地图实物足以佐证，秦汉时期是中国古代由示意性制图向相对精细化制图的过渡阶段，这为晋代制图学家裴秀提出代表中国制图传统的“制图六体”奠定了基础。

对中国科学技术发展有深入研究的英国学者李约瑟博士认为，秦汉时期是中国古代“制图学的肇始时期”，制图水平走在世界先进行列，出土的西汉墓帛地图比古罗马托勒密（公元99年—168年）在《地理学指南》中的地图要早300多年。本文从制图材料、地图比例尺、色

彩运用、数学精度、要素表示等方面，评述秦汉地图的水平。

制图材料

制图材料的选择是反映制图水平的重要标志。远古时期，古人曾用青铜铸造了《九鼎图》。青铜地图便于保存，但难以精细，所以《九鼎图》更具有象征意义。在竹简上书写文字的战国时期，出现了在木版上绘制的放马滩地图，证明了用木版绘图是可行的。木版地图便于悬挂，但是不方便收藏。

秦汉时期，丝织品成为制图材料的重要突破。当时中国已经是丝绸大国，丝绸经过丝绸之路远销中东与欧洲。马王堆汉墓出土的地图绘于帛上，帛是丝织品的总称，质地细密柔软，绘出的线条清晰光滑，涂描的色彩鲜艳，用帛绘图在秦汉时期已经是成熟技术。《周髀算经》所载的《七衡图》是绘在缙上的，缙也是丝织品的一种。丝织品便于绘画、展示、保存与传递，是当时理想的绘图材料，用丝织品绘图堪称制图材料选择上的一场革命。

1986年9月，甘肃省天水市放马滩汉墓出土了一幅纸质地图的残片，残片长5.6厘米，宽2.6厘米，纸质柔软光滑，上面绘着山脉、河流、道路等地理要素。放马滩汉墓为文景时期（公元前179年—公元前143年）遗址，比蔡伦改进造纸术早200余年，因此放马滩纸质地图是迄今发现最早的纸张实物，

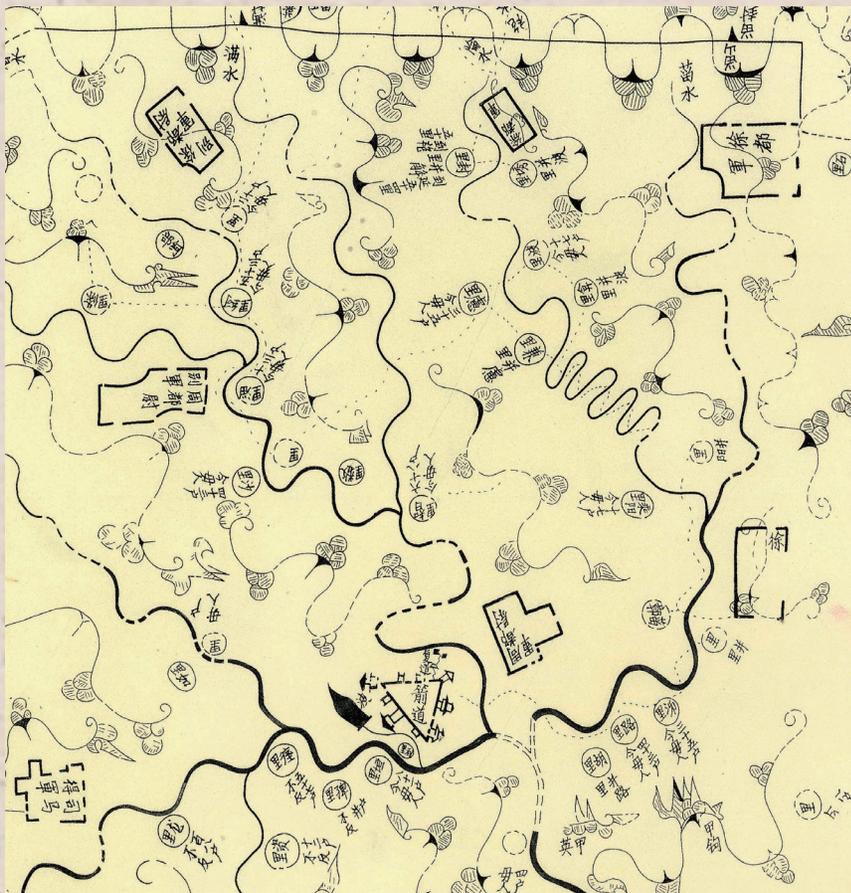
也是世界上最早的纸质地图。至此，汉代已经经历了古代制图材料的主要发展过程。

地图比例尺

先秦时期，就已经有了比例尺的概念。出土的战国放马滩木版地图上，注记着里程，实地距离远，图上线段就长，反之距离近则线段短，这说明制图者已具备清晰的相似比意识。出土的战国《兆域图》更是较为科学地应用了比例尺，经测定，其比例尺为1:500。至秦汉时期，按比例尺绘制地图应该已是制图领域的常识。

有专家对马王堆出土的地形图和驻军图作了考证，确认驻军图的比例尺为1:8万~1:10万，地形图的比例尺为1:17万~1:19万。按照汉代的长度量值（1里相当于1500尺）作相应换算，图上1寸相当于实地10里。但是，同一幅地图的比例尺应用并不均匀，这可能与测量条件有关，即地图的中心地区经过实地勘测，而边缘部分多为估测。

《周髀算经》亦有关于应用比例尺的记载：“七衡图，凡为此图，以丈为尺，以尺为寸，分一千里。凡用缙方八尺一寸。今用缙四尺五寸，分为二千里。”这段文字描述了《七衡图》应用比例尺的情况：如果图上1分代表实地1000里，绘制直径为81万里的太阳轨迹图要用缙8.1尺；如果图上1分代表



▲驻军图墨线图(局部)

实地2000里,绘图用4.5尺缙即可。至于当时确定比例尺的方法,推测为用划平行线和方格网的方法,即后世所说的“计里画方”法,依据是东汉科学家张衡所著的《算罔论》。经英国科技史学者李约瑟考证,张衡是采用矩形格网制图方法的先驱。

色彩运用

秦汉地图有单色图,也有多色图。单色图一般为黑色,是当时比较流行的品种,如马王堆汉墓出土的地形图。而西汉墓出土的驻军图和城邑图则是色彩鲜艳的多色图,均是用黑色、红色和蓝色三种颜色绘制。驻军图为了突出特殊用途,用醒目的红色表示驻军名称、设防位置、防区界限、城堡、要塞、烽

燧等核心要素,部分区域如大本营则用黑色和红色的套色表示,同时用浅淡的蓝色表示山脉、河流等。这种配色,层次分明,在淡色背景下突出军事主题内容。

马王堆城邑图是一个县城平面图,整体呈四方形,布局合理,街区主次分明,绘有城垣、城门、城堡、街道、宫殿、庭院等,且用不同的色彩标绘。城墙的亭阁用蓝色绘制,街坊庭院用红色双线绘制。这说明,秦汉时期已经掌握了彩绘技术,色彩运用比较得当。

数学精度

地图的数学精度取决于测量精度和绘图水平。通常而言,根据实测数据并采用科学方法绘制的地图,数学精度较好。有专家用今测

地图与马王堆汉墓出土的地形图进行套合比较,证明地形图中心部分的精度已经相当高。

首先是平面位置准确。主要居民地如营浦、南平等位置与今测图极为接近。其次是地貌、地物形态相似。河流骨架与今测图大体一致,比如图面上最大水系的平面轮廓、河流走向、迂回弯曲形态、主要交汇处等,均与今测图基本相同,有的地方甚至完全套合。山脉的走向、九嶷山的峰峦位置也与今测图大体相符,驻军图情况与地形图相近。由此推断,秦汉军事地图绘制应该是以实测结果为基础。史籍中有关于田地、国土、疆界测量以及军事地形调查与勘测的记载,也有关于王莽时期朝廷组织“晓知地理图籍者”校勘地图的记录,再结合当时测量学的发展水平,足以支撑这种推断。但是该地形图的边缘部分特别是邻邦区域不够准确,可能是未能取得实测结果所致。

尽管秦汉地图的数学精度分布不均,但秦汉地图已经脱离远古地图的写意化特征,向着基于一定实际测量的精细化制图方向跨出了具有里程碑意义的一步。

要素表示

总体看,地图要素的表示,基本采取符号、色彩及注释相结合的方式,已经具备后世地图符号系统的雏形。

地貌以闭合曲线和地形符号表示。西汉墓出土的地形图处于峰峦叠嶂的湘南地区,以闭合曲线表示山脉的形状及走向,用不同疏密和方向的晕线表示峰峦起伏的特征,用多条嵌套的曲线或柱状符号表示主要山峰。如九嶷山主峰区绘有9个柱状符号,表示9座矗立的山峰,

符号旁边是层叠交错的环形曲线，表示这一地区山峦起伏的形态。驻军图则以单线表示山体的走向，以品字形、吕字形、三角形等带晕线的曲线表示山体形状或山峰位置。用闭合曲线表示地貌是制图学史上的重大突破，已知用等高线（连接高程相同点形成的闭合曲线）表示地貌的方法始于19世纪初，且沿用至今。秦汉地图上的闭合曲线已具有等高线的雏形，这说明中国是最早用等高线表示地貌的国家。用曲线辅之以符号（如晕线、柱状体）的表示方法，至今仍在用，如裂缝、陡坎符号与曲线配合来表示特殊地貌，这说明秦汉表示地貌的思路和方法已经比较先进。

水系以粗细不等的曲线和专用色彩表示。湘南地区河流纵横且长短宽窄不一，制图者以线条粗细区分：较宽河段用粗线，较窄河段用细线。地形图上最大的河流潇水，其线条由源头向下游逐步变粗，由0.1毫米递增至0.8毫米。主流使用粗线，支流使用细线，作为主流的潇水线条明显粗于其他河流，清晰区分水系主次关系。西汉墓出土的地形图共绘有30多条河流，走向弯曲自然，交汇处成锐角，合乎自然现状，且主要河流注有名称，有的还在源头注有“源”字。驻军图用蓝色绘制河流与湖海，这与今天在多色图上用蓝色表示水系是一样的。可见，秦汉制图人员绘制水系的理念与现代颇为相近。

居民地用不同形状、大小的符号（如矩形、圆形符号）表示。在地形图上，凡是县级居民地（共8个）都用矩形，乡里级（约74个）则用圆形。同级的居民地，面积大或人口多的用相对大的符号，如营浦县（今湖南道县）的符号面积比

南平大3~4倍。居民地注记放在符号里面。如今，在小比例尺地图上也是用符号表示居民地（如大城市），这种比较科学的方法在汉代就已出现。

道路根据不同类别，分别用虚实曲线表示。马王堆出土的地形图上，可以判读的道路有30多条，县城和乡镇之间用实线表示，乡间小路用间断的虚线表示。驻军图上道路则用红色虚线表示。此种用实线表示大道、用虚线表示小路的方法沿用至今。

军事要素使用专用符号、图形、色彩和注记来表示。比如马王堆西汉墓出土的驻军图上，防线前沿哨所、通报敌情的烽燧用实心三角形表示；前线指挥部用不规则长方形表示；大本营符号为等边三角形城堡式，城堡上有城垣和城楼用黑红双色绘制。从图形分析，大本营可能设在一个三角形城堡内，有5座城楼或岗楼分设周围，此符号设计可能采用的是写实手法。专用符号的出现为军事标图方法的发展开辟了道路，今天表示军事要素的方式之一仍然是使用符号，只不过符号设计得更科学、更精细。

此外，为区别相同符号的不同含义，制图者又辅以文字注记加以

说明。比如隘口、关卡用“鄣”标明，对防线上的7处烽燧除了用三角形符号表示外，在旁边还注有“留封（烽）”“袍封”“昭封”等字样。从地图的标绘情况看，在正面40千米、纵深50千米区域内，依托3条山谷，进行了梯次布防。兵力前后分为两个梯队，组成两条防线，扼守着咽喉道路和战略要点。第一线兵力是徐都尉（郡国级武官）的三支部队。第二线兵力是周都尉的两支部队和徐都尉的一支部队，部署在3条山谷里，距一线部队约15~20千米不等。大本营设在防区的中央，处于4条河流的交汇处，距前沿阵地约30千米。指挥部的左后方，配置有司马得军的两支部队作为预备队，并与友军桂阳军靠拢。防御方向相当明确，即长沙国南临的南越国。整个防区的纵深梯次配置在图面上一目了然。驻军图把布防情况标示得如此清楚，说明秦汉时期军事地图绘制技术已达到较高水平。

综上所述，秦汉地图的制作水平达到了空前高度，为中国古代以“制图六体”为核心的制图传统作出了历史性贡献，更成为当时国家治理及军事征战不可或缺的地理资料。☐（作者单位：西安测绘研究所）



▲驻军图色彩

把日子过成花，换言之就叫“花样年华”，这个话题并不算新鲜。因为佛家早有“一花一世界，一草一天堂”之妙解，如同醍醐灌顶，启人心智；泰戈尔则有“生如夏花之绚烂，死如秋叶之静美”之金句，历来为人所推崇，被视为人生最高境界。

世界上花有多少种，无从统计，光是兰花就有两万多种，如果将所有花的种类都统计出来，估计得是个天文数字。老话说“天上一颗星，地下一个丁”；抑或可以说，

做人也是一样，没有谁会轻而易举获得成功、不经磨难取得胜利。蝉联三年中国首富的钟睒睒创业之初，惨淡经营，开局不利，缺钱缺人缺技术缺项目，左支右绌，捉襟见肘，可是他咬牙顶住了，最终闯出了自己的一片天下，开出了鲜艳夺目的成功之花。潘建伟团队研制的量子通信，起步困难，阻力重重，非议四起，唱衰声声。但他们不为所动，坚定不移走自己的路，筚路蓝缕，宵衣旰食，粉碎一个个障碍，战胜一个个险阻，稳步走向自己的

人，也有辛勤度日的贩夫走卒。只要各自都在奋斗进取，自强不息，都在尽其所能奉献社会，创造美好，在人格上就是公平的、精神上的是等高的，理应获得同等尊重。

退一步说，即便你我无法达到钟睒睒、潘建伟的高度，难以傲然群芳，始终都是一朵默默无闻的野花小草，既不引人注目，更无人喝彩，也可以执著开放，骄傲展示，把生活装点得丰富多彩，秀美如画。可以通过辛勤劳动，艰苦奋斗，把事业做到最佳，在自己的一亩三分地里翻飞腾挪，耕耘收获，把自己最美的瞬间，毫无保留地绽放给这个世界。人生在世，如果做不了大富大贵的牡丹，那就做个朴实无华的草花吧！

“花无百日红，人无千日好”，谁都不要忘了，花开自有花落日，该开时就抓住时机，盛开怒放，香飘天外，开个大红大紫；该败时也别恋恋不舍，纠结哀怨，要急流勇退，服从自然规律，“挥一挥手，不带走一片云彩”。人生也是如此，在位时就要红红火火大干一场，建功立业，燕然勒功，修身、齐家、治国平天下，“赢得生前身后名”；该退时也要潇潇洒洒，利利索索，“捧一颗心来，不带半根草去”，绝不恋栈犹豫，迟迟不走，让人笑话嘲讽。

“年年岁岁花相似，岁岁年年人不同”。岁月如梭，逝者如斯，年年都有新花盛开，岁岁都有新人登场，“愿你有一个灿烂的前程，愿你有情人终成眷属，愿你在尘世获得幸福”，把日子过成花，过成诗，过成童话，“面朝大海，春暖花开”。（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）

把日子过成“花”

◎ 陈鲁民



“地上花一朵，世间人一个”。花有多少种，人的活法就有多少种，花有百花争艳，万紫千红；人则百人百态，千人千面。花中贵有牡丹，艳有桃李，香有金桂，凌霜有金菊，傲雪有红梅，清高有兰花；也有不起眼的狗尾巴花，小如米粒的苔花，臭如腐尸的魔芋花，就看你想把日子过成哪种花？

“不经一番寒彻骨，怎得梅花扑鼻香”，哪一朵花的开放，都不是随随便便，轻轻松松，都要经历盛夏的煎熬，秋风的洗礼，冬雪的考验，才能换来春天的尽情绽放。

目标，开出了姹紫嫣红的胜利之花，让墨子号遨游太空，中国量子通信领跑世界。

大千世界，芸芸众生，犹如百花齐放，争奇斗艳，既有牡丹的国色天香，雍容华贵，也有草花的朴实无华，貌不惊人，大自然赋予它们同样生存的权利，它们都有资格展示自己的光鲜形象。人也一样，有三教九流，分士农工商，既有含着金汤勺出生的贵胄子弟，也有家徒四壁的贫贱孩儿；既有腰缠万贯的富二代，也有靠打工闯天下的草根阶层；既有呼风唤雨的达官贵

数字经纬间的山水守望

◎ 李月华



作为一名测绘人,我的故事里,没有太多翻山越岭、风餐露宿的惊险传奇。十余年的职业生涯,我的舞台更多是方寸屏幕之间的数字世界,我的笔墨是代码,我的画卷是系统界面。我曾以为,自己与“山水林田湖草沙”的壮阔和生动隔着一层冰冷的玻璃。直到我亲手用代码编织起守护它们的数字经纬,才恍然惊觉,我与它们的故事,早已在每一个跳动的字符里悄然生长。

我的故事,始于内业处理时那密密麻麻的坐标与影像。当外业同事带回一手数据,我的工作便是让这些沉默的数字开口说话,勾勒出大地的真实面貌。那时,我看到的山水,是等高线描绘的起伏;看到的林田,是色块分明的图斑。这是一种理性的认知,精准,却似乎缺少一丝温度。

转变发生在我投身研发之后。当接到开发河南省测量标志动态管理信息系统的任务时,我开始领悟到一种基础而深远的守护。那些遍布中原大地的测量标志,是一切测绘工作的根基,是所有地理信息的源头。它们如同大地上沉默的星辰,构成了描述我们生存空间的基准坐标系。确保每一座标志的完好与精确,就是守护我们认知山河、规划建设、管理资源的“度量衡”。这个系统,让我关注的焦点从宏大的生态图景,回归到最基础、最微小的“大地印记”。我意识到,对每一座测量标志的数字化追踪与呵护,就是对“山水林田湖草沙”进行精细化、科学化管理的最坚实底座。它或许不像治理一片沙漠、修复一片湿地那样直观动人,但这份于细微处对精准的坚持,正是我们所有宏大叙事得以成立的基石。

而河南省矿产资源勘查开采监

督管理信息系统的构建,让我对“守护”的理解变得更加深切。我第一次如此强烈地感受到,我的代码将与一片山川的“呼吸”紧密相连。那不是简单的数据入库和查询,而是要构建一个能感知矿山脉搏、预警生态风险的“数字哨兵”。每一处矿权界线的精准标定,都是为了划定开发底线;每一次巡查检查的线上记录,都是为了确保监管无死角;每一个问题的上传与精准下发,都是为了实现快速响应与闭环管理;每一级监管权责的清晰界定,都是为了织就“省-市-县”三级联动的严密守护网;每一次整改审批的在线完成,都是为了见证问题得到切实解决。我的代码,成为约束人类向大地索取行为的规则化身,它让我守护的,不仅是矿产资源数据,更是那片山水不被惊扰的宁静和可持续的未来。如今,

当我再次凝视屏幕上的河南地图,看到的已不再是冰冷的线条和色块,而是通过系统正在被有序管理的矿山,是那被精准守护、作为一切空间数据原点的测量标志网络。我的山水故事,是键盘敲击出的0和1的河流,是算法构建的守护森林与田地的栅栏,是数据库里安放的一粒沙的数字坐标。

我未曾用双脚丈量过河南的每一寸土地,但我的代码,我的系统,却仿佛延伸了我的感知。它们7×24小时不间断运行,如同我安置在数字世界的眼睛和臂膀,持续、沉默,却又无比坚定地守望并守护着这片土地上的山、水、林、田、湖、草、沙。这就是我的故事,一个测绘研发人员与“山水林田湖草沙”的独特故事——我们用数字经纬,编织守护自然的永恒契约。☑ (作者单位:河南省测绘院)

家乡的石臼

◎ 张延伟

周末回乡下，发现原来位于桥头大杨树底下的石臼已被移至小广场外侧的空地，一位大嫂正用它加工辣椒面儿，小孙女在一旁凑热闹，沉闷而有节奏的“咚咚”声，把我的思绪拉回从前。

这个大石臼已有上百年历史。据老人讲，清末村里有位名叫太华的中医，其祖传膏药在方圆百里堪称一绝。当时他以一斗小麦的价钱，请人凿制了这个集臼窑和墩座于一体的大石臼，放在诊室外供自家和乡邻使用。这年农历三月十二，“山北（今新密市一带）”有人来买膏药，恰逢太华出诊。乡人候医时下起大雨，就撑开油布伞蹲在石臼上躲避。雨后那人取了膏药离去，村民发现臼窑里滴水未沾，齐称“祥瑞”，便撺掇太华联合几户有钱人“请”戏谢神，议定每年三月十二起会。两年后山北那人又从村里路过，误会澄清，庙会却沿袭下来。大石臼几经迁移，成为迄今村里唯一一个保存相对完好的“古董”。

在家乡，这种大而笨重的石臼俗称“碓碓”“碓谷窑儿”，多属公用设施。上古时候，民众茹毛饮血，黄帝命雍父发明了臼和杵，教民舂谷去皮、煮米为饭，自此臼杵成为人类生活不可缺少的工具。在碌状圆石中间凿出深度适中的窑坑儿，称为“臼”；“杵”则是与之配套使用的装有木柄的“倒窝头”状石锤。看似普通的物件，却是我国古代劳动人民勤劳智慧的象征。



20世纪七八十年代，人们用自己捆扎的高粱笤帚打扫卫生，布置婚房更需大量红皮高粱秆织席和搭建顶棚，冬天还用秆草（谷子秸秆）铺床增暖或织成苫帘挂在门口挡风。于是，乡亲们就在田间套种高粱、谷子等产量低的杂粮作物，目的之一就是积攒秸秆以备不时之需。麦口几天打场、“馏场”筛选出“麦余子（瘪而带壳的麦粒）”，惜粮如金的老农也不舍得扔掉。只是高粱、谷粒和麦余子不必像“焦麦炸豆”时那样赶趟儿似的即刻拾掇干净，去除糠皮的任务多交由妇女或老人，如随意打发空闲时光一般，借助石臼不疾不徐地完成。

桥头杨树底下的大石臼敦实稳固，臼窑容量大，加工物料时能骑坐在上面以减轻劳动强度，因而广受青睐。每年腊月至春节前，是石臼最热闹、使用最频繁的时候。只要天气晴好，前来排队加工辣椒粉、“五料面儿”的人群络绎不绝，成为冬日里一道独特的风景。

腊月里加工的调料经久不坏，装在塑料袋或陶瓷罐里能从春节吃到来年夏天。辣椒、花椒、芝麻、茴香等原料是自家地里产的，乡亲们差不多都会倾尽所有，提前在家里将原料炒焦、焙干，整盆整簸箕地端到这里来，“你方用罢他登场”地围着石臼转。臼杵碰撞发出的“咚咚”声仿佛迎接新年的锣鼓，会同桥下小河的淙淙流水声、村内零星的鞭炮声、男女老少的欢声笑语，以及被辛辣气息呛出的阵阵喷嚏声，组成一曲美妙的交响乐，再加上空气中弥漫着调料的浓郁芳香，令人陶醉不已。

我小时候最爱吃的玉米仁，也是母亲在这儿加工的。母亲先往石臼里掺半瓢温水泡过的玉米粒，然后骑坐在墩座上，手握杵锤开始推捣，我和二弟分立两旁，自告奋勇地抓着杵柄帮忙，两只胳膊随着杵锤有节奏地抬落，看似忙得不亦乐乎，其实还是母亲在发力。推玉米仁也有诀窍，母亲说，起初玉米粒是囫圇个儿，用杵锤砸的力度可适当大些，等玉米粒有了裂纹时，则需放慢速度匀力研磨，确保胚粒在似碎非碎的状态下与种皮分离开来。

煮玉米仁是农忙时午间备好的晚饭。母亲趁我们“歇晌”的工夫，在锅里添满水，放入适量玉米仁，先用大火煮三四十分钟，再用文火煮半个钟头，等玉米仁“开花”且汤水呈乳白色时，用和好的煤饼封住火口，拿火杵捅出一个透气孔，

赠予星辰

◎ 孙东勋

黄昏的港湾静谧恬淡，晚霞飞上云端，云儿轻轻悠悠，被夕阳描摹的云彩美轮美奂，暮色正在悄悄靠近。一阵微风拂过沙滩，暗香浮动，花儿簌簌飘落，盛满了冬日的喃喃花语。

伴着星星与月光，踩着铿锵有力的节拍，挑灯夜战的勇士们踏上了夜的征程。没有豪迈的宣言，只有星空下挥舞的臂膀。一切都是那么平静，却以争分夺秒和追求卓越定格一个个永恒瞬间，一点一滴上演建桥报国的奔跑接力。

工地上灯火辉煌，吊机伸出巨臂稳稳抓举钢梁，背负着混凝土的罐车来回穿梭，声声哨音与夜虫吟唱抑扬顿挫，在浩瀚星空下演奏出恢宏雄浑的奋进交响曲。飞檐走壁

的蜘蛛人将安全绳束在腰间，微荡曲蹲接过彩钢板，手持工具迅速定位铆实，在钢铁密林间用精确与匠心建起尺寸之功。“小林，辛苦了！”工长温暖如春的关怀直抵心间，消解了冬夜的点点寒意，露出的皓齿让他的笑容更加迷人。

飞溅的焊花像夜空绽放的烟花五彩斑斓，闪烁出追梦人幸福与自信的光芒。一道道电弧宛若挂在笑脸上的阳光，写下奋斗者绚烂人生的美好诗行。测绘人王博士扎下仪器，瞄准远方，尽情遨游在测控数字海洋，用零误差的智慧织就精益求精的经纬人生。集料大罐如盛开的牡丹优雅鹤立，紧紧聚拢成一个焦点，花开吉祥而又坚守如常。来自大自然的无数颗粒微石在这里找

到新家，往后他们将踏上浴火重生之路，浇筑灵魂的自由高度与坚强的不屈脊梁，高高托起彩虹展翅的擎天梦想。

刻在骨子里的坚韧，滋养永不干涸的初心，每一位建设者将梦想托付星辰，用奋斗书写华章，从未犹豫过、胆怯过、退缩过，总能顶风冒雨、昂首挺胸，在风雨人生路上迈出走向成功的坚实步伐。

划过夜的安宁，过往在时光罅隙中流淌；畅想着明天的理想，点点星光闪烁璀璨的人生画卷。手执星辰，遥问太白，人间烟火，何来精彩？愿每一位与时代同行、用实干奔跑的追梦人成为闪闪发亮的那颗星。☑（作者单位：中铁大桥局集团第一工程有限公司）

再把锅煽在灶上。下午放学后，我撂下书包就一头扎进灶屋。揭开锅盖，焖得烂熟的玉米仁特有的清香扑面而来，锅里的汤水仍透着温热的气息，我捞上满满一大碗，狼吞虎咽地吞进肚里，要多惬意有多惬意。等父母从地里干活回来，我还会再吃一通，直把肚皮撑得溜圆儿……

除了公用的碓谷窑儿，几乎家家户户灶屋里还备有一个小巧的蒜臼。蒜臼高不盈尺，直径五六寸，上粗下细且中有腰线，类似于宋钧“出戟尊”的造型，摆放在灶台一

角方便使用。

那时的三餐都比较简单，早晚饭是玉米糝糊涂就玉米面或红薯面饼，午饭以面条为主，佐料除了腌好的酱豆、韭花、芥丝等咸菜，家庭主妇们常把焙焦的芝麻和盐粒放在蒜臼里捣碎，做成孩子们喜爱的“芝麻盐”；或是在蒜臼里放入蒜瓣儿、姜块儿，掺点辣椒或“食香菜”捣成糊，再用自制的柿子醋调成汁儿，偶尔奢侈地滴几滴香油。这样抹在面饼上或拌在面条里吃，足以让容易满足的孩子们大快朵颐。于是，当村子上空升起袅袅炊烟，“梆

梆梆”的捣蒜臼声穿越灶间在大街小巷荡漾开时，无论是田间劳作的成年人还是在外面疯跑的孩子，都像不约而同接到“开饭”的号令一般，陆陆续续往家赶了。

岁月流转，时代变迁，石臼的功能已被机械化设备完全取代，各种调味品都能从超市买到，但少了参与体验的过程和烟火气息的熏染，总觉得味道打了折扣。家乡的石臼与人们的生活渐行渐远，偶尔响起的臼杵声仍会勾起我对过往时光的美好回忆和无限留恋。☑（作者单位：禹州市自然资源和规划局）

陈吴陆摄影作品欣赏



陈吴陆，1981年3月生于河南郸城，毕业于华北水利水电学院，现供职于郸城县自然资源局，兼任周口市青联委员，政协郸城县第九、十、十一届委员，被评为郸城县第十一批专业技术拔尖人才。其摄影作品多次获奖并在《中国自然资源报》刊登。

作为一名执着于光影艺术的摄影人，陈吴陆始终怀揣对摄影的深切热爱与敏锐感知，不断在镜头语言中探索创新，捕捉生活中的精彩瞬间，将寻常景物转化为充满情感与生命力的艺术画面。

其作品风格多元，涵盖写实、写意与抽象等多种表现手法。尤其善于驾驭光线与色彩，营造独具韵味的视觉氛围，使作品兼具强烈的视觉张力与艺术感染力。无论是自然风光、人文纪实还是人物肖像，都能透过他的镜头，展现出独特而深刻的审美表达。





《资源导刊·信息化测绘》

宣传合作单位

主管单位

河南省自然资源厅

承办单位

河南省测绘地理信息技术中心

核心型宣传合作单位

河南省测绘学会

河南省地理信息产业协会

河南测绘职业学院

河南省测绘院

河南省遥感院

河南省地图院

河南省地理信息院

河南省中纬测绘规划信息工程有限公司

友谊型宣传合作单位

思源时空科技（河南）有限公司

东网空间地理信息有限公司

河南卓越科技发展有限公司

焦作市基础地理信息中心

河南省润泰工程管理有限公司

河南恒旭力创测绘工程有限公司

河南豫西路桥勘察设计有限公司

灵宝市土地与矿产勘查测绘中心

河南蓝通实业有限公司

河南省时代测绘技术有限公司

安阳市房产测绘中心

安阳市国土资源调查规划与测绘院

河南广盛信息科技有限公司

郑州天迈科技股份有限公司

河南信大测绘科技有限公司

黄河水利委员会三门峡库区水文水资源局

郑州市规划勘测设计研究院

新郑市新房测绘队

河南建岩信息工程有限公司

河南中豫勘测规划技术有限公司

郑州市交通规划勘察设计研究院

河南中联建设有限公司

郑州超图地理信息技术有限公司

河南省瑞兴工程咨询有限公司

河南省启沃土地咨询有限公司

河南数字城市科技有限公司

郑州经开规划勘测有限公司

中科宏图勘测规划有限公司

河南省国源工程咨询有限公司

郑州众益信息科技有限公司

河南省恒信工程技术服务有限公司

河南中信测绘地理信息有限公司

中建国信大数据集团有限公司

郑州市水利建筑勘测设计院

郑州郑房测绘有限责任公司

河南省水利勘测设计研究有限公司

郑州华程测绘有限公司

开封市金源测绘有限公司

航天宏图信息技术股份有限公司

中铁七局集团郑州工程有限公司

河南三维勘测设计有限公司

河南八度土地规划设计有限公司

河南中徕测绘服务有限公司

河南天宇伟业测量仪器有限公司

河南德瑞普测绘仪器有限公司

中电云科信息技术有限公司

河南省地质科学研究所

聚鑫信息工程有限公司

荥阳市规划建筑设计室

河南省海翔测绘工程有限公司

河南智联时空信息科技有限公司

开封市祥和测绘服务有限公司

河南省中工设计研究院集团股份有限公司

河南豫兴测绘有限公司

济源市正祥房地产测绘有限公司

济源市自然资源技术保障中心

南阳空间测绘有限公司

郑州市郑土测绘服务有限公司

河南微图信息科技有限公司

《资源导刊·信息化测绘》杂志征订单

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

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

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

地址：河南省郑州市黄河路8号《资源导刊·信息化测绘》编辑部

邮编：450003 电话：0371-65941854 65941858

《资源导刊·信息化测绘》杂志征订单

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

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

《资源导刊·信息化测绘》杂志征订单



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

邮局汇款

单位名称：《资源导刊》杂志社

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

联系电话：0371-65941854 65941858

银行汇款

单位名称：《资源导刊》杂志社

开户行：中国银行郑州黄河南路支行

账 号：2546 4929 7642

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



欢迎订阅

《资源导刊·信息化测绘》

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

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

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

测绘资讯·政策解读
文化传播·技术交流

银行汇款

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

邮局汇款

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

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