

中国遥感实验与真实性检验的发展思考

闻建光^{1,10}, 柳钦火^{1,10}, 李增元², 李新^{3,10}, 刘绍民⁴, 肖青^{1,10},
高志海², 马明国⁵, 车涛^{6,10}, 刘良云^{1,10}, 方红亮^{7,10}, 阎广建⁴,
葛咏^{7,10}, 陈尔学², 张勇⁸, 马灵玲^{1,10}, 吴小丹⁹, 陈曦¹

1. 中国科学院空天信息创新研究院 遥感科学国家重点实验室, 北京 100101;
2. 中国林业科学院资源信息研究所, 北京 100091;
3. 中国科学院青藏高原研究所 国家青藏高原科学数据中心, 北京 100101;
4. 北京师范大学 地理科学学部 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875;
5. 西南大学 地理科学学院 重庆金佛山喀斯特生态系统国家野外科学观测研究站, 重庆 400715;
6. 中国科学院西北生态环境资源研究院, 兰州 730000;
7. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;
8. 中国气象局国家卫星气象中心, 北京 100081;
9. 兰州大学 资源环境学院, 兰州 730000;
10. 中国科学院大学 资源与环境学院, 北京 100049

摘要: 遥感实验与真实性检验始终在遥感科学与技术发展中发挥重要的作用, 遥感实验是真实性检验的基础, 真实性检验是遥感算法精度的重要保障, 是遥感产品质量提升的重要途径。中国遥感实验和真实性检验发展历经遥感应用实验、定量遥感机理研究实验以及真实性检验综合实验等3个主要发展阶段, 遥感系列实验有力推动了中国遥感真实性检验理论和方法的发展, 形成了从遥观测到像元“真值”的遥感产品真实性检验系统性技术链条, 发布实施了遥感真实性检验系列国家标准, 构建了中国算法测评与真实性检验平台。2022年11月4—6日, 中国举行了“首届遥感实验与真实性检验学术论坛”, 围绕遥感实验与真实性检验理论与实践、地面观测与不确定性、真实性检验实践与平台、遥感实验与真实性检验的未来发展等多个议题展开了热烈的交流与讨论。论文在总结和回顾中国遥感实验与真实性检验领域主要进展的基础上, 阐述中国遥感实验与真实性检验面临的问题与挑战, 文章最后对其发展前景进行了展望。

关键词: 遥感实验, 真实性检验, 优化采样, 尺度转换, 像元真值

中图分类号: P2

引用格式: 闻建光, 柳钦火, 李增元, 李新, 刘绍民, 肖青, 高志海, 马明国, 车涛, 刘良云, 方红亮, 阎广建, 葛咏, 陈尔学, 张勇, 马灵玲, 吴小丹, 陈曦. 2023. 中国遥感实验与真实性检验的发展思考. 遥感学报, 27(3): 573–583

Wen J G, Liu Q H, Li Z Y, Li X, Liu S M, Xiao Q, Gao Z H, Ma M G, Che T, Liu L Y, Fang H L, Yan G J, Ge Y, Chen E X, Zhang Y, Ma L L, Wu X D and Chen X. 2023. A review of the development of remote sensing field experiments and product validation in China. *National Remote Sensing Bulletin*, 27(3): 573–583 [DOI: 10.11834/jrs.20232673]

1 引言

近几十年来, 中国国产卫星和遥感载荷不断丰富, 发展自主的卫星遥感产品、提高遥感产品质量和精度迫在眉睫 (柳钦火等, 2023), 把遥感产品做的更加专业、更加量化、更加高质量。

然而, 遥感产品生成是一个复杂的系统性工程, 产品精度由卫星载荷性能、辐射定标误差、数据处理水平以及反演算法性能等系列误差累积决定 (Wu等, 2019)。因此, 迫切需要我们解决并持续研究遥感产品精度提升的问题。

遥感实验作为遥感产品真实性检验的基础,

收稿日期: 2022-12-16; 预印本: 2023-01-05

基金项目: 高分辨率对地观测系统重大专项(编号: 21-Y20B02-9003-19/22, 21-Y20B01-9001-19/22)

第一作者简介: 闻建光, 研究方向为定量遥感。E-mail: wenjg@aircas.ac.cn

两者相辅相成。真实性检验是利用能够视作地表“真值”的参考数据（如经过质量控制、尺度转换等系列处理的地面实测数据和机载数据等）评价遥感产品的不确定性，给出确切精度指标的过程，这是提高遥感产品精度、改善遥感产品质量的重要依据（闻建光等，2022）。遥感实验在遥感科学与技术研究中具有重要的地位，贯穿了遥感科学研究整个过程，并在以下3个不同阶段起重要作用：通过观测可得到对真实世界的客观认识，使用恰当的数学与物理方法形成模型，以及针对模型和遥感产品进行验证（柳钦火等，2019）。

2022年11月4至6日，中国“首届遥感实验与真实性检验学术论坛”召开，来自国内相关领域60余家科研院所和企事业单位的1000余名专家、学者和学生以线上线下相结合的方式，围绕遥感实验与真实性检验理论与实践、地面观测与不确定性、真实性检验实践与平台、遥感实验与真实性检验的未来发展等多个议题展开了热烈的交流与讨论，对中国遥感实验与真实性检验过去的科研成果进行了总结，对目前存在的主要问题进行了剖析，并对未来的发展提出了建设性的意见和展望。

本文通过回顾中国在遥感实验与真实性检验方面的发展历程，结合首届遥感实验与真实性检验学术论坛专家观点，分别从遥感实验与真实性检验理论框架和方法体系、地面观测与数据标准化处理、地表异质性与尺度转换、产品真实性检验、系统平台与数据共享等方面阐述中国在该领域面临的问题与挑战，最后文章对中国遥感实验与真实性检验的发展前景进行展望。

2 中国遥感实验和真实性检验主要发展历程

纵观中国遥感实验与真实性检验的发展历程，有3个主要发展阶段。第1个阶段为遥感应应用实验阶段，1978年开始的云南腾冲航空遥感试验开启了中国独立自主进行遥感应应用试验的先河（陈述彭和周上盖，1986；童庆禧等，1999），与1980年组织的天津—渤海湾环境遥感实验和二滩水能开发遥感实验，被誉为中国遥感事业起步的“三大战役”（顾行发等，2016）。在此基础上，大概历经15年，中国各部门、地区结合专业特点，陆续开展了南京资源环境综合试验、安徽国土资源综

合试验及上海综合遥感调查等以资源调查为主的实验（闻建光等，2015）。

第2个阶段为定量遥感机理实验阶段，该阶段以1999年山东禹城定量遥感实验作为开端，开始了中国以定量遥感研究为目标综合实验（李小文等，2001）。2001年开始了以定量遥感机理及在农业中的定量应用为目标的北京顺义遥感综合实验（Liu等，2002）及其后续的2002、2004、2005年以地表通量定量遥感研究为目标的北京小汤山遥感观测实验（张仁华，2009），2005年开展了以小麦和森林定量遥感研究为目标的江西千烟洲遥感综合实验。北京顺义实验在中国遥感实验史上开创了定量遥感星—机—地同步观测、以像元为核心的尺度转换、像元亚像元不同尺度不同下垫面强化观测、以及航空和地面同步的多角度观测等4个首次，为遥感模型的发展和算法的验证积累了大量宝贵的数据（李小文，2006）。

第3个阶段为定量遥感机理和真实性检验综合实验阶段，在综合实验方面最具代表性的2007年开始的黑河遥感实验，历经“黑河综合遥感联合试验 WATER”（李新等，2008；Li等，2009）和“黑河生态水文遥感试验 HiWATER”（Li等，2013；Liu等，2018）两个阶段，以多尺度观测方法创新、定量遥感和生态水文应用为特色。2016年，在内蒙古根河市大兴安岭森林生态系统野外科学观测站区域内开展了以面向复杂地形的遥感信息动态分析与建模试验，为复杂地表模型验证、时空尺度扩展方法验证、森林生态系统关键参量反演方法验证提供有效的数据支持（Zhang等，2019）。2018—2019年遥感科学国家重点实验室组织开展了闪电河—滦河遥感综合实验，试验以观测和模拟结合，以实现辐射收支、碳循环、水循环和人类活动重要过程的认识（阎广建等，2021；赵天杰等，2021）。

与综合性遥感实验同步发展的，还有很多以台站为基地的常规观测实验和科研人员组织的特定遥感实验。台站常规观测实验通常结合台站的定位和科研发展需要，多年来通过对某一地物目标开展的定点持续观测，较为典型的包括中国科学院真实性检验台站网络、中国科学院生态系统研究网络等野外观测站的观测。2008年—2010年开展了以地表蒸散发遥感产品真实性检验为目标的海河流域（馆陶、密云、大兴站）多尺度地表

水热通量观测实验 (Liu 等, 2013; Jia 等, 2012)。2010 和 2014 年在中国科学院怀来遥感综合实验站开展了全波段多尺度遥感机理综合试验, 是国内首次以支持遥感辐射传输机理与建模、多源遥感协同反演与真实性检验等重大科学问题研究为目标的综合遥感精细观测实验。2012 年, 在国家 863 计划重大项目“星机地综合定量遥感系统与应用示范”支持下, 中国真实性检验站网逐步发展, 由河北怀来、甘肃黑河、东北净月潭、内蒙古呼伦贝尔、以及江苏太湖等野外观测台站构成了中国遥感产品真实性检验台站网络原型 (称为中国科学院真实性检验台站网络) (Ma 等, 2015)。针对某一科研需要组织的特定遥感实验不计其数, 如十多年来持续开展的全国典型地物波谱测量实验 (钟守熠 等, 2020), 东北农田结构参数测量实验 (方红亮, 2020) 等。这些常规观测和特定观测实验具有明显的地域和学科特色, 获取了时空覆盖广泛的数据, 是定量遥感研究和产品真实性检验的重要组成部分。

2019 年中国高分辨率对地观测重大专项启动了国家真实性检验系统建设, 针对中国复杂地表分布广泛的特征 (贺敏 等, 2022), 分别在河北怀来、重庆北碚、甘肃黑河、云南普洱以及内蒙古根河 5 个区域针对复杂地表开展了星机地综合实验, 重点围绕高分卫星产品真实性检验中地面优化采样和尺度转换等关键技术进行了攻关, 中国学者也提出了遥感产品真实性检验基准台站网络建设的建议 (方红亮 等, 2021)。随着高分辨率对地观测重大专项和国家民用空间基础设施的实施, 依据不同生态功能分区, 分别构建了国家高分真实性检验网络 42 个台站, 以及国家民用空间基础设施真实性检验网络 48 个台站, 形成了服务于中国遥感产品真实性检验的场站网。

系列遥感实验推动了中国真实性检验理论与方法研究工作的日渐成熟。从第 2 个阶段关注的地面关键参量单点观测, 快速发展到第 3 个阶段的像元“真值”多尺度组网观测, 逐渐发展了多尺度嵌套、通量观测矩阵、无线传感器网络等地面观测 (Liu 等, 2011, 2018; Jin 等, 2014; Wu 等, 2016)、地表异质性度量和样点优化采样 (Ge 等, 2015, Wu 等, 2021; Liu 等, 2022)、尺度效应和尺度转换 (Liu 等, 2016; Ge 等, 2019; Wu 等, 2020; Li 等, 2021)、像元“真值”估算和不确定性评价 (Wu 等, 2019; Wen 等, 2022; Zhang

等, 2022) 等关键技术, 系统性形成了从遥感观测到像元“真值”的遥感产品真实性检验技术链条, 显著促进了中国遥感实验与真实性检验的发展。

从第 3 个阶段开始, 中国逐步强调了遥感实验和真实性检验系列标准规范的建设。自 2012 年开始, 历经 10 年, 中国先后发布实施了《遥感产品真实性检验导则》(GB/T 36296—2018) (国家市场监督管理总局等, 2019)、《陆地定量遥感产品真实性检验通用方法》(GB/T 39468—2020) (国家市场监督管理总局等, 2020)、陆地遥感产品真实性检验地面观测场的选址和布设 (GB/T 41540—2022) (国家市场监督管理总局等, 2023d) 等 3 项总体标准, 以及植被指数遥感产品真实性检验 (GB/T 40038—2021) (国家市场监督管理总局等, 2021c) 等 12 种单项产品真实性检验国家标准 (如表 1); 2019 年高分辨率对地观测重大专项国家真实性检验系统任务启动后, 中国将真实性检验标准体系进一步扩展, 形成了包括地基和无人机野外观测数据获取、高分共性产品真实性检验与高分共性产品生产 3 类 126 项标准, 这无疑为中国遥感实验与真实性检验的规范化发展提供了重要保障 (柳钦火 等, 2023)。

实际上, 在第 2 个阶段末期, 中国已开始着手研制遥感产品真实性检验系统。基于中国科学院遥感产品真实性检验站网原型观测数据, 研制了中国首个定量遥感产品真实性检验系统 (Lin 等, 2018)。2019 年, 基于高分辨率对地观测重大专项全国 42 个观测台站数据, 集成观测数据质量控制和尺度转换关键技术, 进一步将遥感产品真实性检验系统扩展成为算法测评与真实性检验平台 (闻建光 等, 2022)。当前该平台具备了 25 种遥感产品算法测评和真实性检验能力。

随着中国遥感实验与真实性检验技术的发展, 特别是第 2 阶段的定量遥感机理实验逐步推动了中国遥感领域的发展。第 3 阶段的黑河遥感实验, 促使了中国在遥感实验和真实性检验领域的整体研究水平显著提升。图 1 是截止到 2022-11-30 在 Web of Science 数据库中, 依据主题“remote sensing AND (field experiment* OR campaign* OR truth Or situ) AND validat*”进行检索, 发现自 2014 年以来, 在遥感实验和真实性检验领域, 中国学者在国际上发表的英文期刊论文每年近 300 篇以上, 在该领域占据了近半壁江山。

表1 遥感实验与真实性检验国家标准列表
Table1 National standards of remote sensing experiments and validations

序号	标准名称	标准号	起草人
1	遥感产品真实性检验导则	GB/T 36296—2018	吴骅等 (国家市场监督管理总局等, 2018)
2	陆地定量遥感产品真实性检验通用方法	GB/T 39468—2020	葛咏等 (国家市场监督管理总局等, 2020)
3	陆地遥感产品真实性检验地面观测场的选址和布设	GB/T 41540—2022	马明国等 (国家市场监督管理总局等, 2023d)
4	植被指数遥感产品真实性检验	GB/T 40038—2021	闻建光等 (国家市场监督管理总局等, 2021c)
5	叶面积指数遥感产品真实性检验	GB/T 40034—2021	李静等 (国家市场监督管理总局等, 2021b)
6	植被覆盖度遥感产品真实性检验	GB/T 41282—2022	穆西晗等 (国家市场监督管理总局等, 2022c)
7	地表反照率遥感产品真实性检验	GB/T 41279—2022	游冬琴等 (国家市场监督管理总局等, 2022a)
8	光合有效辐射遥感产品真实性检验	GB/T 41281—2022	李丽等 (国家市场监督管理总局等, 2022b)
9	地表温度遥感产品真实性检验	GB/T 41534—2022	李召良等 (国家市场监督管理总局等, 2023d)
10	地表发射率遥感产品真实性检验	GB/T 41538—2022	唐伯惠等 (国家市场监督管理总局等, 2023e)
11	土壤水分遥感产品真实性检验	GB/T 40039—2021	晋锐等 (国家市场监督管理总局等, 2021d)
12	地表蒸散发遥感产品真实性检验	GB/T 40033—2021	刘绍民等 (国家市场监督管理总局等, 2021a)
13	积雪面积遥感产品真实性检验	GB/T 41537—2022	郝晓华等 (国家市场监督管理总局等, 2023c)
14	土地覆盖遥感产品真实性检验	GB/T 41536—2022	冉有华等 (国家市场监督管理总局等, 2023b)

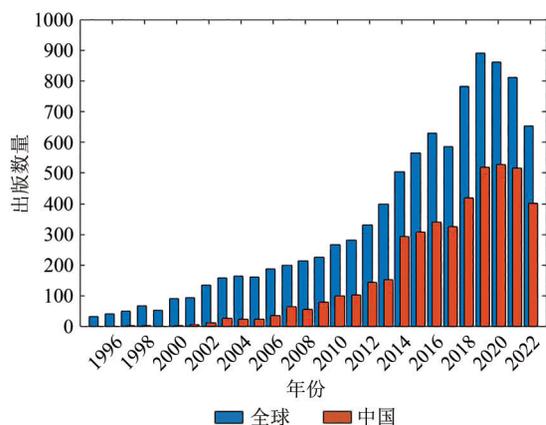


图1 中国和全球年度发表的遥感实验与真实性检验英文期刊文章

Fig. 1 Annual publications of remote sensing experiments and validation in China and the world

3 中国遥感实验与真实性检验面临的问题与挑战

围绕遥感实验与真实性检验的关键问题, 下面分别从遥感真实性检验理论框架和方法体系、地面观测技术与设备人员保障、地表异质性与尺度转换、产品真实性检验、系统平台与数据共享等5个方面进行讨论。

3.1 遥感真实性检验理论框架和方法体系

遥感产品真实性检验理论和技术框架已初步建立, 一个完整的遥感产品真实性检验技术流程

通常涉及场地遴选、地表异质性度量、样点优化采样、高精度原位观测、数据质量控制、时空尺度转换和真实性检验方法选择。该技术流程框架的核心是为了获取与待检产品时空一致的像元“真值”。为了获取像元“真值”, 科学家们针对每个技术环节系统性地开展了研究, 通过评价真实性检验中的不确定性 (Wu 等, 2019), 力求将各技术环节不确定性降到最低。均质地表的真实性检验实践已经相对成熟并已形成国家标准。近几年来, 中国科学家开始关注异质地表像元“真值”获取及其不确定性评价, 提出只有在不确定性小于某一阈值的像元“真值”才能被用于真实性检验的准则, 可保障真实性检验结果的可靠性。检验覆盖的地表既包含均质地表, 也没有放弃异质地表, 以更加开放的思路重视和丰富了真实性检验的理论创新和方法改进, 进一步优化和完善了真实性检验理论框架。

中国已逐步重视遥感产品真实性检验的基础性理论研究, 运用数学方法解决真实性检验中的核心问题, 如代表性误差定义、像元“真值”定义、尺度转换、地表异质性度量、像元“真值”不确定性评价等。由于影响像元“真值”的误差由观测误差、优化采样误差、几何匹配误差、尺度转换误差等综合而成, 如何定量描述各环节误差以及像元“真值”的综合误差, 如何量化真实性检验过程的误差和不确定性并提高真实性检验

过程和结果的可靠性仍是值得深入研究和讨论的基础性问题。遥感产品真实性检验属于一个斤斤计较的领域，将各个环节的误差降到最低是关键。

在遥感产品真实性检验框架下，真实性检验应成为遥感产品质量和行业应用效益提升的重要支撑。真实性检验成果既可为算法研发者提供建议，是遥感产品精度提升的重要依据，也为应用用户选择遥感产品提供依据。随着中国物联网技术的发展，如何将实时获取的地面观测数据、像元尺度真值和真实性检验结果，与遥感产品的生成进行准实时对接并进行产品校正，将是提升遥感产品质量的重要研究课题之一。

3.2 地面观测技术与设备人员保障

地面原位 (*in situ*) 观测是遥感实验和真实性检验的基础。中国多数台站采用了国外购置的设备进行观测，然而很多时候环境条件无法满足测量要求，导致与地面手工观测的真值相差较大，进而增加像元“真值”的不确定性。因此，中国应破解国外观测设备垄断的困境，大力发展新的测量技术和新的测量仪器，并利用像元“真值”对观测设备进行严格的标定，提高原位测量精度，真正解决测量数据是否准确的问题。

设备研发的另一问题是针对卫星像元或模型网格等具有遥感特色的面元尺度地面观测设备普遍较少。当前国内野外台站研发的观测仪器虽然可用于真实性检验，但主要以面向生态水文关键参量的观测为主，并非面向遥感领域的遥感像元。当前具有遥感特色的仪器研发主要集中在机载和星载载荷，面向遥感像元尺度的地基观测设备研发应加强，并在实际测量中发挥作用。

建立观测联盟，真正形成中国遥感实验和真实性检验观测网络。中国科学院真实性检验网络的河北怀来、甘肃黑河、东北净月潭等遥感站，高分辨率对地观测重大专项和国家民用空间基础设施的真实性检验站网为中国遥感实验与真实性检验带来了机遇。但网络中很多新建站的核心不是真实性检验，在获取异质性地表像元“真值”时存在较大误差。因此，应建立遥感实验与真实性检验联盟，将野外台站与行业观测网络结合，突破行业壁垒，统筹资源，形成学术交流、实验组织和标准规范制定的有效机制，整体提升野外台站对遥感产品的真实性检验能力。同时，建议

逐步建设中国遥感产品真实性检验基准参考站网，提升现有观测标准，满足高质量遥感产品真实性检验需求。

建立一支遥感实验工程师队伍，保障野外设备的运维、定标和规范化测量，做好数据的标准化处理。当前国内数据很难达到国际数据共享水平，主要原因在于仪器设备维护不足和观测结果缺少及时检查，部分仪器多年未定标导致测量数据质量良莠不齐。因此，需要在观测联盟基础上，通过顶层设计，建立一支高质量的工程师队伍，将观测做到有迹可循、质量可靠，在数据生产的全过程严把质量关。

3.3 地表异质性与尺度转换

国内外台站观测主要集中在均质地表，中国地形复杂、地表破碎，异质性地表普遍存在，因此要更加注重异质性地表。遥感实验与真实性检验根本在于观测，其难点在于混合地类和复杂地形带来的地表观测的代表性问题，以及由观测点到像元面的尺度转换问题，显然地表的异质性导致了遥感产品真实性检验的困难。

无论是地理要素，还是地带性或非地带性，地表异质性是绝对的。厘清有哪些类型异质性是首先要回答的问题，对于不同类型的异质性，采样方法和尺度转换不同，其核心问题是弄清什么因素引起异质性并如何处理这些异质性。如不同异质性适用的尺度转换方法有哪些，尺度转换适用的范围是多大，在尺度转换过程中，哪些物理属性没有变化，哪些统计特征发生了变化，这些都是地表异质性带来的问题。

显然，如何表达和度量地表异质性是影响像元“真值”获取的基础性问题，对于同一地表不同参数体现不同的异质性，需要我们针对不同参数对不同异质性特征的敏感度来设计观测。同时，地表异质性还与空间尺度有关，如在大尺度上认为草原的异质性比森林要小，但在小尺度上，不同样方的草地空间异质性仍比较显著，这种异质性导致普适性尺度转换模型可能存在较大误差。

3.4 产品真实性检验

为了做好可以溯源的遥感产品质量标识，真实性检验与产品反演不确定度自我评价结合至关重要。当前遥感产品的质量标识主要来自于从正向

的反演过程推演得到, 真实性检验需要与正向推演的不确定度结合, 并重新定义质量标识。

从用户的角度看, 需要产品生产方或检验方提供细化到像元的质量标识或不确定性信息, 这有利于用户应用遥感产品时, 了解和掌握该产品在不同统计单元尺度下的不确定性。当前基于独立手段开展的遥感产品真实性检验反映了产品在特定时间和空间范围内的精度, 对用户了解产品的整体精度起到了重要作用, 但还无法满足用户需要以任意形状、任意大小的统计单元推断产品不确定性的需求。对生产者来说, 遥感反演或统计估测过程也必需经过严格的检验, 具有生成像元不确定性标识的能力。通过充分利用这些标识信息, 产品真实性的独立检验者更易给出待检验产品在像元尺度的不确定性。对于遥感产品真实性检验, 如何将产品的不确定性做到像元尺度具有较大的挑战。

3.5 系统平台与数据共享

在过去近十年, 国内外多家机构同步在建设真实性检验系统平台, 中国也逐步形成了从遥感产品真实性检验平台到面向遥感算法测评与遥感产品真实性检验的系统平台。平台的核心就是有用好用, 关键在于观测的点数据到遥感面尺度数据的高精度转换, 即像元“真值”做得好。

真实性检验的数据共享急需加强, 对真实性检验的发展也更为关键。黑河遥感实验从2008年开始在数据共享方面作了非常好的表率, 逐步在国内外产生了重大影响。“拥抱开放科学, 积极数据共享”, 中国应立即行动起来, 将不同渠道来源的科学数据进行发表发布和共享。在观测联盟基础上, 通过中国的真实性检验系统平台, 将高质量观测数据和像元“真值”入库, 积极推动数据共享。

真实性检验系统平台需要跟国家的业务系统充分结合, 发挥更大的效益。真实性检验与遥感产品结合, 在遥感产品做好反演的同时, 经真实性检验这把尺子量好, 基于遥感产品应用的行业才能做得更好, 才能真正满足国家需求。

4 结 语

遥感实验与真实性检验是保障遥感卫星从数据到信息高质量转换的重要环节, 遥感实验是遥感产品算法研发和产品真实性检验的基础, 经过

真实性检验的遥感产品才能更好地支持行业应用。

中国在遥感综合实验组织、观测站网建设、面尺度观测技术、样点优化采样、尺度转换以及真实性检验方法发展等方面取得了代表性的成果, 已经形成了一支专门从事遥感实验与真实性检验的队伍。但如何让遥感实验与真实性检验成为遥感产品质量的重要保障, 需要系统性地从全链路考虑和顶层设计。

(1) 遥感实验与真实性检验基础研究仍不足, 中国遥感科学与技术研究人员具有较好的数学和物理基础, 应从基础理论深层次解决遥感实验与真实性检验的核心问题, 发展新的观测技术和真实性检验方法, 提高中国遥感实验和真实性检验研究总体水平。

(2) 大力发展国产自主设备, 针对异质性地表研发新的测量技术和高精度机载与面尺度地观测设备, 破解国外观测设备垄断的地位, 从根本上解决原位观测不准确的问题。

(3) 加强遥感观测台站和实验基地建设, 建议建立中国遥感验证基准站网, 成立中国遥感实验与真实性检验台站观测联盟, 并由国家相关部门持续支持, 建成可与国际上主要台站网络相媲美的遥感实验和卫星遥感产品真实性检验专用观测网络。

(4) 重视异质性地表遥感实验与真实性检验研究, 从地表异质性刻画、优化采样、多尺度观测、尺度转换等方面进行突破, 开展像元“真值”的不确定性评价, 满足中国在复杂地表开展遥感产品真实性检验的客观需求。

(5) 加强真实性检验系统平台研发和数据共享力度, 确保平台做到有用、能用、好用, 并与国家应用系统结合, 满足国家重大需求。

(6) 建立卫星数据接收—地面观测数据汇聚—算法测评—遥感产品生产—产品真实性检验的以遥感产品为核心的全链路服务能力, 发挥遥感实验与真实性检验真正成为遥感产品质量保障的作用。

遥感实验与真实性检验离不开全国甚至是全球科研工作者的共同努力, 在中国建制化和举国体制科研的优势下, 通过网络式协同观测、系统性关键技术攻关、遥感真实性检验国家平台构建, 真正形成良好的遥感实验与真实性检验学术生态。更需要通过国际合作, 开展全球遥感实验和真实

性检验,贯通国内国际知名观测网络,提高中国在遥感实验与真实性检验领域的国际影响力。

志 谢 在2022年11月6日“首届遥感实验与真实性检验学术论坛”的发展论坛环节,由中国科学院青藏高原研究所李新研究员主持,齐聚了中国科学院空天信息创新研究院、中国林业科学研究院资源信息研究所、中国科学院地理科学与资源研究所、西南大学、中国科学院西北生态与资源环境研究所、北京师范大学、中国气象局气象卫星中心、兰州大学等近80余位专家对遥感实验与真实性检验领域进行了深入的探讨,本文的主要观点来源于本次论坛的专家学者,在此表示衷心的感谢!

参考文献(References)

- Chen X P and Zhou S G. 1986. A review of Teng Chong aerial remote sensing experiment. *Remote Sensing Information*, (2): 11-12 (陈述彭, 周上盖. 1986. 腾冲航空遥感试验回顾. *遥感信息*, (2): 11-12)
- Fang H L. 2020. Development and Validation of satellite Leaf Area Index (LAI) products in China. *Remote Sensing Technology and Application*, 35(5): 990-1003 (方红亮. 2020. 中国叶面积指数卫星遥感产品生产及验证. *遥感技术与应用*, 35(5): 990-1003) [DOI: 10.11873/j.issn.1004-0323.2020.5.0990]
- Ge Y, Jin Y, Stein A, Chen Y H, Wang J H, Wang J F, Cheng Q M, Bai H X, Liu M X and Atkinson P M. 2019. Principles and methods of scaling geospatial Earth science data. *Earth-Science Reviews*, 197: 102897 [DOI: 10.1016/j.earscirev.2019.102897]
- Ge Y, Wang J H, Heuvelink G B M, Jin R, Li X and Wang J F. 2015. Sampling design optimization of a wireless sensor network for monitoring ecohydrological processes in the Babao River basin, China. *International Journal of Geographical Information Science*, 29(1): 92-110 [DOI: 10.1080/13658816.2014.948446]
- Gu X F, Yu T, Tian G L, Zhou S Y, Wei C J, Li J, Yu Q, Liu D H, Wei Z, Meng Q Y, Xu H, Guo H, Zhou X, Wang C M, Zang W Q, Huang X Z, Gao H L, Zheng F J, Liu M, Wang D, Zhao Y M, Wei X Q, Sun Y, Li B, Liao J and Ren X Y. 2016. Up to the higher altitude—the new “three campaigns” for the development of China spaceborne remote sensing application. *Journal of Remote Sensing*, 20(5): 781-793 (顾行发, 余涛, 田国良, 周上益, 魏成阶, 李娟, 余琦, 刘东晖, 卫征, 孟庆岩, 徐辉, 郭红, 周翔, 王春梅, 臧文乾, 黄祥志, 高海亮, 郑逢杰, 刘苗, 王栋, 赵亚萌, 魏香琴, 孙源, 李斌, 廖骞, 任芯雨. 2016. 40年的跨越—中国航天遥感蓬勃发展中的“三大战役”. *遥感学报*, 20(5): 781-793) [DOI: 10.11834/jrs.20166244]
- He M, Wen J G, You D Q, Tang Y, Wu S B, Hao D L, Lin X W and Gong Z R. 2022. Review of forest Leaf Area Index retrieval over rugged terrain based on remotely sensed data. *National Remote Sensing Bulletin*, 26(12): 2451-2472 (贺敏, 闻建光, 游冬琴, 唐勇, 吴胜标, 郝大磊, 林兴稳, 龚张融. 2022. 山地森林叶面积指数(LAI)遥感估算研究进展. *遥感学报*, 26(12): 2451-2472) [DOI: 10.11834/jrs.20210244]
- Jia Z Z, Liu S M, Xu Z W, Chen Y J and Zhu M J. 2012. Validation of remotely sensed evapotranspiration over the Hai River Basin, China. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 117(D13): D13113 [DOI: 10.1029/2011JD017037]
- Jin R, Li X, Yan B P, Li X H, Luo W M, Ma M G, Guo J W, Kang J, Zhu Z L and Zhao S J. 2014. A nested ecohydrological wireless sensor network for capturing the surface heterogeneity in the mid-stream areas of the Heihe River Basin, China. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 11(11): 2015-2019 [DOI: 10.1109/LGRS.2014.2319085]
- Li X, Cheng G D, Liu S M, Xiao Q, Ma M G, Jin R, Che T, Liu Q H, Wang W Z, Qi Y, Wen J G, Li H Y, Zhu G F, Guo J W, Ran Y H, Wang S G, Zhu Z L, Zhou J, Hu X L and Xu Z W. 2013. Heihe watershed allied telemetry experimental research (HiWATER): scientific objectives and experimental design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94(8): 1145-1160 [DOI: 10.1175/BAMS-D-12-00154.1]
- Li X, Li X W, Li Z Y, Ma M G, Wang J, Xiao Q, Liu Q, Che T, Chen E X, Yan G J, Hu Z Y, Zhang L X, Chu R Z, Su P X, Liu Q H, Liu S M, Wang J D, Niu Z, Chen Y, Jin R, Wang W Z, Ran Y H, Xin X Z and Ren H Z. 2009. Watershed allied telemetry experimental research. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 114(D22): D22103 [DOI: 10.1029/2008JD011590]
- Li X, Liu S M, Yang X F, Ma Y F, He X L, Xu Z W, Xu T R, Song L S, Zhang Y, Hu X, Ju Q and Zhang X D. 2021. Upscaling evapotranspiration from a single-site to satellite pixel scale. *Remote Sensing*, 13(20): 4072 [DOI: 10.3390/rs13204072]
- Li X, Ma M G, Wang J, Liu Q, Che T, Hu Z Y, Xiao Q, Liu Q H, Su P X, Chu R Z, Jin R, Wang W Z and Ran Y H. 2008. Simultaneous remote sensing and ground-based experiment in the Heihe river basin: scientific objectives and experiment design. *Advances in Earth Science*, 23(9): 897-914 (李新, 马明国, 王建, 刘强, 车涛, 胡泽勇, 肖青, 柳钦火, 苏培玺, 楚荣忠, 晋锐, 王维真, 冉有华. 2008. 黑河流域遥感—地面观测同步试验: 科学目标与试验方案. *地球科学进展*, 23(9): 897-914) [DOI: 10.3321/j.issn:1001-8166.2008.09.001]
- Li X W. 2006. Review of the project of quantitative remote sensing of major factors for spatial-temporal heterogeneity on the land surface. *Advances in Earth Science*, 21(8): 771-780 (李小文. 2006. 地球表面时空多变要素的定量遥感项目综述. *地球科学进展*, 21(8): 771-780) [DOI: 10.3321/j.issn:1001-8166.2006.08.001]
- Li X W, Wang J F, Wang J D and Liu Q H. 2001. Multi-Angle and

- Thermal Infrared Remote Sensing. Beijing: Science Press (李小文, 汪骏发, 王锦地, 柳钦火. 2001. 多角度与热红外对地遥感. 北京: 科学出版社)
- Liu X W, Wen J G, Tang Y, Ma M G, You D Q, Dou B C, Wu X D, Zhu X B, Xiao Q and Liu Q H. 2018. A web-based land surface remote sensing products validation system (LAPVAS): application to albedo product. *International Journal of Digital Earth*, 11(3): 308-328 [DOI: 10.1080/17538947.2017.1320593]
- Liu F, Zhao Z B and Li X. 2022. Quantifying the representativeness errors caused by scale transformation of remote sensing data in stochastic ensemble data assimilation. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 15: 1968-1980 [DOI: 10.1109/JSTARS.2022.3149957]
- Liu Q H, Li X W and Chen L F. 2002. Field campaign for quantitative remote sensing in Beijing//IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Toronto, ON, Canada: IEEE: 3133-3135 [DOI: 10.1109/IGARSS.2002.1027109]
- Liu Q H, Yan G J, Jiao Z T, Xiao Q, Wen J G, Liang S L and Wang J D. 2019. Geometric-optical remote sensing modeling to quantitative remote sensing theory and methodology development: in memory of academician Li Xiaowen. *Journal of Remote Sensing*, 23(1): 1-10 (柳钦火, 阎广建, 焦子锦, 肖青, 闻建光, 梁顺林, 王锦地. 2019. 发展几何光学遥感建模理论, 推动定量遥感科学前行——深切缅怀李小文院士. 遥感学报, 23(1): 1-10) [DOI: 10.11834/jrs.20198077]
- Liu Q H, Wen J G, Zhou X, Zhao J, Li Z Y, Li X, Ma M G, Wang W Z, Liao X H, Liu S M, Fan W J, Xiao Q, Zhong B, Li J, Xin X Z, Li L, Jia L, Gao Z H, Jin J D, Liang S, Xin J, Liao C J and Wu Y R. 2023. Technique System of remote sensing products generation and validation of GF common products. *National Remote Sensing Bulletin*, 27(3): 544-562 (柳钦火, 闻建光, 周翔, 赵坚, 李增元, 李新, 马明国, 王维真, 廖小罕, 刘绍民, 范闻捷, 肖青, 仲波, 李静, 辛晓洲, 李丽, 贾立, 高志海, 金家栋, 梁师, 邢进, 廖楚江, 吴一戎. 2023. 高分遥感共性产品生成和真实性检验技术体系. 遥感学报, 27(3): 544-562) [DOI: 10.11834/jrs.20235022]
- Liu S M, Li X, Xu Z W, Che T, Xiao Q, Ma M G, Liu Q H, Jin R, Guo J W, Wang L X, Wang W Z, Qi Y, Li H Y, Xu T R, Ran Y H, Hu X L, Shi S J, Zhu Z L, Tan J L, Zhang Y and Ren Z G. 2018. The Heihe integrated observatory network: a basin-scale land surface processes observatory in China. *Vadose Zone Journal*, 17(1): 1-21 [DOI: 10.2136/vzj2018.04.0072]
- Liu S M, Xu Z W, Wang W Z, Jia Z Z, Zhu M J, Bai J and Wang J M. 2011. A comparison of eddy-covariance and large aperture scintillometer measurements with respect to the energy balance closure problem. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(4): 1291-1306 [DOI: 10.5194/hess-15-1291-2011]
- Liu S M, Xu Z W, Song L S, Zhao Q Y, Ge Y, Xu T R, Ma Y F, Zhu Z L, Jia Z Z and Zhang F. 2016. Upscaling evapotranspiration measurements from multi-site to the satellite pixel scale over heterogeneous land surfaces. *Agricultural and Forest Meteorology*, 230-231: 97-113 [DOI: 10.1016/j.agrformet.2016.04.008]
- Liu S M, Xu Z W, Zhu Z L, Jia Z Z and Zhu M J. 2013. Measurements of evapotranspiration from eddy-covariance systems and large aperture scintillometers in the Hai River Basin, China. *Journal of Hydrology*, 487: 24-38 [DOI: 10.1016/j.jhydrol.2013.02.025]
- Ma M G, Che T, Li X, Xiao Q, Zhao K and Xin X P. 2015. A prototype network for remote sensing validation in China. *Remote Sensing*, 7(5): 5187-5202 [DOI: 10.3390/rs70505187]
- State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. 2018. GB/T 36296-2018 Guide for the validation of remote sensing products. Beijing: Standards Press of China (国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 2018. GB/T 36296-2018 遥感产品真实性检验导则. 北京: 中国标准出版社)
- State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. 2020. GB/T 39468-2020 General methods for the validation of terrestrial quantitative remote sensing products. Beijing: Standards Press of China (国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 2020. GB/T 39468-2020 陆地定量遥感产品真实性检验通用方法. 北京: 中国标准出版社)
- State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. 2021a. GB/T 40033-2021 Validation of land surface evapotranspiration remote sensing products. Beijing: Standards Press of China (国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 2021a. GB/T 40033-2021 地表蒸发遥感产品真实性检验. 北京: 中国标准出版社)
- State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. 2021b. GB/T 40034-2021 Validation of leaf area index remote sensing products. Beijing: Standards Press of China (国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 2021b. GB/T 40034-2021 叶面积指数遥感产品真实性检验. 北京: 中国标准出版社)
- State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. 2021c. GB/T 40038-2021 Validation of vegetation index remote sensing products. Beijing: Standards Press of China (国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 2021c. GB/T 40038-2021 植被指数遥感产品真实性检验. 北京: 中国标准出版社)
- State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. 2021d. GB/T 40039-2021 Validation of soil moisture remote sensing products. Beijing: Standards Press of China (国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 2021d. GB/T 40039-2021 土壤水分遥感产品真实性检验. 北京: 中国标准出版社)
- State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. 2022a. GB/T 41279-2022 Validation of albedo remote sensing products. Beijing: Stan-

- dards Press of China (国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 2022a. GB/T 41279-2022 反照率遥感产品真实性检验. 北京: 中国标准出版社)
- State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. 2022b. GB/T 41281-2022 Validation of photosynthetically active radiation remote sensing products. Beijing: Standards Press of China (国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 2022b. GB/T 41281-2022 光合有效辐射遥感产品真实性检验. 北京: 中国标准出版社)
- State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. 2022c. GB/T 41282-2022 Validation of fractional vegetation cover remote sensing products. Beijing: Standards Press of China (国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 2022c. GB/T 41282-2022 植被覆盖度遥感产品真实性检验. 北京: 中国标准出版社)
- State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. 2023a. GB/T 41535-2022 Validation of aerosol optical depth remote sensing products. Beijing: Standards Press of China (国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 2023a. GB/T 41535-2022 气溶胶光学厚度遥感产品真实性检验. 北京: 中国标准出版社)
- State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. 2023b. GB/T 41536-2022 Validation of land cover remote sensing products. Beijing: Standards Press of China (国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 2023b. GB/T 41536-2022 土地覆盖遥感产品真实性检验. 北京: 中国标准出版社)
- State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. 2023c. GB/T 41537-2022 Validation of snow cover area remote sensing products. Beijing: Standards Press of China (国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 2023c. GB/T 41537-2022 积雪面积遥感产品真实性检验. 北京: 中国标准出版社)
- State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. 2023d. GB/T 41534-2022 Validation of surface temperature remote sensing products. Beijing: Standards Press of China (国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 2023d. GB/T 41534-2022 地表温度遥感产品真实性检验. 北京: 中国标准出版社)
- State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. 2023d. GB/T 41540-2022 Selection and arrangement of the surface observation field for the validation of terrestrial remote sensing products. Beijing: Standards Press of China (国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 2023e. GB/T 41540-2022 陆地遥感产品真实性检验地面观测场的选址和布设. 北京: 中国标准出版社)
- State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. 2023e. GB/T 41538-2022 Validation of surface emissivity remote sensing products. Beijing: Standards Press of China (国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 2023f. GB/T 41534-2022 地表发射率遥感产品真实性检验. 北京: 中国标准出版社)
- Tong Q X, Tang C and Li H G. 1999. A creative action: the second experiment of Teng Chong aerial remote sensing. *Journal of Geo-Information Science*, 1(1): 67-75 (童庆禧, 唐川, 励惠国. 1999. 腾冲航空遥感试验推陈出新. *地球信息科学*, 1(1): 67-75) [DOI: 10.3969/j.issn.1560-8999.1999.01.017]
- Wen J G, Liu Q, Liu Q H, Xiao Q and Li X W. 2015. Modeling Bidirectional Reflectance Distribution Function and Albedo Retrieval Over land Surface. Beijing: Science Press (闻建光, 刘强, 柳钦火, 肖青, 李小文. 2015. 陆表二向反射特性遥感建模及反照率反演. 北京: 科学出版社)
- Wen J G, Wu X D, Wang J P, Tang R Q, Ma D J, Zeng Q C, Gong B C and Xiao Q. 2022. Characterizing the effect of spatial heterogeneity and the deployment of sampled plots on the uncertainty of ground "Truth" on a coarse grid scale: case study for near-infrared (NIR) surface reflectance. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 127(11): e2022JD036779 [DOI: 10.1029/2022JD036779]
- Wen J G, Xiao Q, Zhong S Y, Tang Y, Chen X, Wei Q F, Wu X D, Lin X W, Ouyang X Y, You D Q and Liu Q H. 2023. Technology system for product validation and algorithm test of GF common products and an application example. *National Remote Sensing Bulletin*, 27(3): 780-789 (闻建光, 肖青, 钟守熠, 唐勇, 陈曦, 魏秋方, 吴小丹, 林兴稳, 欧阳晓莹, 游冬琴, 柳钦火. 2023. 高分遥感共性产品算法测评与真实性检验技术体系及应用实例. *遥感学报*, 27(3): 780-789) [DOI: 10.11834/jrs.20221716]
- Wu X D, Wen J G, Xiao Q, Liu Q, Peng J J, Dou B C, Li X H, You D Q, Tang Y and Liu Q H. 2016. Coarse scale in situ albedo observations over heterogeneous snow-free land surfaces and validation strategy: a case of MODIS albedo products preliminary validation over northern China. *Remote Sensing of Environment*, 184: 25-39 [DOI: 10.1016/j.rse.2016.06.013]
- Wu X D, Wen J G, Xiao Q, You D Q, Wang J P, Ma D J and Lin X W. 2021. A multiscale nested sampling method for representative albedo observations at various pixel scales. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 14: 8193-8207 [DOI:10.1109/JSTARS.2021.3105562]
- Wu X D, Wen J G, Xiao Q and You D Q. 2020. Upscaling of single site-based measurements for validation of long-term coarse-pixel albedo products. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 58(5): 3411-3425 [DOI: 10.1109/TGRS.2019.2954879]
- Wu X D, Xiao Q, Wen J G, You D Q and Hueni A. 2019. Advances in quantitative remote sensing product validation: overview and current status. *Earth-Science Reviews*, 196: 102875 [DOI: 10.1016/j.earscirev.2019.102875]
- Yan G J, Zhao T J, Mu X H, Wen J G, Pang Y, Jia L, Zhang Y G, Chen D Q, Yao C B, Cao Z Y, Lei Y H, Ji D B, Chen L F, Liu Q H, Lyu

- L Q, Chen J M and Shi J C. 2021. Comprehensive remote sensing experiment of carbon cycle, water cycle and energy balance in Lu-an River Basin. *National Remote Sensing Bulletin*, 25(4): 856-870 (阎广建, 赵天杰, 穆西哈, 闻建光, 庞勇, 贾立, 张永光, 陈德清, 姚崇斌, 曹志宇, 雷永荟, 姬大彬, 陈良富, 柳钦火, 吕利清, 陈镜明, 施建成. 2021. 滦河流域碳、水循环和能量平衡遥感综合试验总体设计. *遥感学报*, 25(4): 856-870 [DOI: 10.11834/jrs.20210341])
- Zhang R H. 2009. *Quantitative Thermal Infrared Remote Sensing Model and Ground Experiment Basis*. Beijing: Science Press (张仁华. 2009. 定量热红外遥感模型及地面实验基础. 北京: 科学出版社)
- Zhang Y, Liu S M, Song L S, Li X, Jia Z Z, Xu T R, Xu Z W, Ma Y F, Zhou J, Yang X F, He X L, Yao Y J and Hu G C. 2022. Integrated validation of coarse remotely sensed evapotranspiration products over heterogeneous land surfaces. *Remote Sensing*, 14(14): 3467 [DOI: 10.3390/rs14143467]
- Zhang Y, Shi Y L, Choi S, Ni X L and Myneni R B. 2019. Mapping maximum tree height of the Great Khingan Mountain, Inner Mongolia using the Allometric scaling and resource limitations model. *Forests*, 10(5): 380 [DOI: 10.3390/f10050380]
- Zhao T J, Shi J C, Xu H X, Sun Y L, Chen D Q, Cui Q, Jia L, Huang S, Niu S D, Li X W, Yan G J, Chen L F, Liu Q H, Zhao K, Zheng X M, Zhao L M, Zheng C L, Ji D B, Xiong C, Wang T X, Li R, Pan J M, Wen J G, Mu X H, Yu C, Zheng Y M, Jiang L M, Chai L N, Lu H, Yao P P, Ma J W, Lyu H S, Wu J J, Zhao W, Yang N, Guo P, Li Y X, Hu L, Geng D Y, Zhang Z Q, Hu J F and Du A P. 2021. Comprehensive remote sensing experiment of water cycle and energy balance in the Shandian river basin. *National Remote Sensing Bulletin*, 25(4): 871-887 (赵天杰, 施建成, 徐红新, 孙彦龙, 陈德清, 崔倩, 贾立, 黄硕, 牛升达, 李秀伟, 阎广建, 陈良富, 柳钦火, 赵凯, 郑兴明, 赵利民, 郑超磊, 姬大彬, 熊川, 王天星, 李睿, 潘金梅, 闻建光, 穆西哈, 余超, 郑姚闯, 蒋玲梅, 柴琳娜, 卢麾, 姚盼盼, 马建威, 吕海深, 武建军, 赵伟, 杨娜, 郭鹏, 李玉霞, 胡路, 耿德源, 张子谦, 胡建峰, 杜爱萍. 2021. 闪电河流域水循环和能量平衡遥感综合试验. *遥感学报*, 25(4): 871-887) [DOI: 10.11834/jrs.20219401]
- Zhong S Y, Xiao Q, Wen J G, Zheng X M, Ma M G, Qu Y H, Zheng K, Chi T H, Tang Y, You D Q, Hao D L, Cheng J, He M, Jiang T, Jin R, Yao X J and Zhao L J. 2020. Design and realization of ground object background spectral library for surveying and mapping. *Journal of Remote Sensing*, 24(6): 701-716 (钟守熠, 肖青, 闻建光, 郑兴明, 马明国, 屈永华, 郑柯, 池天河, 唐勇, 游冬琴, 郝大磊, 程娟, 贺敏, 姜涛, 晋锐, 姚晓婧, 赵理君. 2020. 测绘地物波谱本底数据库. *遥感学报*, 24(6): 701-716) [DOI: 10.11834/jrs.20209482]

A review of the development of remote sensing field experiments and product validation in China

WEN Jianguang^{1,10}, LIU Qinhuo^{1,10}, LI Zengyuan², LI Xin^{3,10}, LIU Shaomin⁴, XIAO Qing^{1,10}, GAO Zhihai², MA Mingguo⁵, CHE Tao^{6,10}, LIU Liangyun^{1,10}, FANG Hongliang^{7,10}, YAN Guangjian⁴, GE Yong^{7,10}, CHEN Erxue², ZHANG Yong⁸, MA Linling^{1,10}, WU Xiaodan⁹, CHEN Xi¹

1. State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;
2. Research Institute of Forest Resource Information Techniques, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;
3. National Tibetan Plateau Data Center, Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;
4. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;
5. Chongqing Jinpo Mountain Karst Ecosystem National Observation and Research Station, School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China;
6. Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;
7. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;
8. National Satellite Meteorological Centre, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China;
9. College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;
10. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Remote sensing experiments and products validation have always played an important role in the development of remote sensing science and technology. As an important way of understanding the natural characteristics, remote sensing experiments have played an important role in remote sensing science and technology research. Remote sensing product validation is crucial to ensuring the high accuracy

of remote sensing algorithms and improving the quality of remote sensing products. Remote sensing experiments are the basis of validation because the ground truth, which is derived from field experiments, is the core of the validation. However, obtaining the ground truth is a complex systematic process, including optimized sampling, field observation, scale transformation, and validation. Thus, reducing the error of each process is important in obtaining high-quality ground truth.

On April 6, 2022, China held the “First Forum on Remote Sensing Field Experiments and Products Validation” where intense exchanges and discussions on the key topics occurred, including remote sensing experiments and validation theory and technology, ground field observation and uncertainty, validation practice and platform, and the future development of remote sensing experiments and validation. More than 1000 scholars and students from different domestic scientific research institutes and universities attended the event.

On the basis of reviewing the main progress in the field of remote sensing experiments and validation in China, this paper summarizes the opinions and suggestions of the Chinese scientists who attended the meeting and expounds on the problems and challenges faced by China in terms of remote sensing field experiments and products validation. The development process of remote sensing experiments and products validation in China has three main development stages, namely, the remote sensing application experiment stage from the year of 1978, the quantitative remote sensing mechanism experiment stage from the year of 1994, and the comprehensive experiment stage of the quantitative remote sensing mechanism and validation. Significant progress has been made in experimental technology, validation technology, national specifications of product validation, and the validation system platform.

Five related topics of remote sensing experiments and product validation have been discussed by 80 scientists, namely, the theoretical framework and basic theory of remote sensing product validation, ground observation and standardized data processing, land surface heterogeneity and scale transformation, product validation and evaluation, and system platform and data sharing.

It should be considered systematically from the entire link key process of obtaining ground truth for remote sensing experiment and validation to truly become an important basis in ensuring the quality of satellite remote sensing products. Finally, the prospect of remote sensing experiment and validation in China is discussed. Remote sensing experiment and validation should be implemented from the joint efforts of national and even global scientific researchers to achieve global implementation through international cooperation and improve the ability of remote sensing experiments and product validation.

Key words: remote sensing experiment, product validation, optimize sampling, scale transformation, ground truth

Supported by China High-resolution Earth Observation System (No. 21-Y20B02-9003-19/22, 21-Y20B01-9001-19/22)