

# 中国遥感真实性检验基础设施建设发展态势分析

高海亮<sup>1,2</sup>, 顾行发<sup>1</sup>, 周翔<sup>1</sup>, 余涛<sup>1</sup>, 王艺学<sup>1,2</sup>

1. 中国科学院空天信息创新研究院, 北京 100094;

2. 中国科学院大学, 北京 100049

**摘要:** 遥感产品的真实性检验研究是当前遥感领域研究的热点和难点。真实性检验基础设施的建设是实现遥感产品真实性检验的关键环节。近年来, 中国先后启动国家民用空间基础设施真实性检验场网(简称空基场网)和高分专项国家真实性检验场站网(简称高分站网)的建设, 形成由60余个站点组成, 具备40余种遥感产品检验能力的场网体系。本文在介绍了国内外已有场网的基础上, 详细介绍了空基场网和高分站网的建设目标、站点组成和测量产品。结合当前空基场网和高分站网的建设现状, 提出了建设中国真实性检验的思路, 探讨了建设真实性检验站网的技术体系, 从理论研究、标准规范制定、场网建设和产品验证评价4个方面进行分析, 为中国今后真实性检验站网建设和遥感产品的真实性检验提供参考。

**关键词:** 遥感, 真实性检验, 基础设施, 空基场网, 高分站网, 技术体系

**中图分类号:** P2

**引用格式:** 高海亮, 顾行发, 周翔, 余涛, 王艺学. 2023. 中国遥感真实性检验基础设施建设发展态势分析. 遥感学报, 27(5): 1088-1098

Gao H L, Gu X F, Zhou X, Yu T and Wang Y X. 2023. Analysis of the development trend of Chinese remote sensing validation sites and infrastructure construction. National Remote Sensing Bulletin, 27(5): 1088-1098 [DOI: 10.11834/jrs.20231694]

## 1 引言

真实性检验(Validation)是利用独立的方法, 客观评价遥感数据和遥感产品的真实性和准确度, 以及是否满足定量应用精度的要求。真实性检验评价遥感产品质量、可靠性和适用性的唯一手段, 是提高遥感产品精度、改善遥感产品质量的主要依据, 更是推动遥感产品应用范围和应用水平的重要保障(晋锐等, 2017)。

国际上对真实性检验工作非常重视, 早在20世纪80年代, 地球观测卫星国际委员会就成立了定标和真实性检验工作组, 在全球范围开展遥感卫星数据定标和真实性检验的工作和相关研究(Justice等, 2000), 随后启动遥感真实性检验基础设施的建设工作。国际上用于真实性检验的基础设施可分为3类。

第一类是面向大气和地表参数的自动观测网。

例如全球长期通量观测网(FLUXNET)、基准地面辐射观测网BSRN(Baseline Surface Radiation Network)、气溶胶地面观测网AERONET(Aerosol Robotic NETwork), 国际土壤水分网ISMN(International Soil Moisture Network)。其中, 全球长期通量观测网FLUXNET的概念起源于1993年, 于1998年启动, 在全球超过140个站点, 主要用于测量生物圈和大气之间的二氧化碳、水蒸气和能量交换(Running等, 1999; Baldocchi等, 2001)。地表类型包括温带针叶林和阔叶林(落叶林和常绿林)、热带和北方森林、农作物、草原、丛林、湿地和苔原。地点分布在五大洲, 纬度分布在70°N—30°S, 其测量的产品可用于净初级生产力NPP、反照率等产品的真实性检验(Baldocchi, 2008)。基准地面辐射观测网BSRN于1988年提出计划, 并于1992年正式运行。早期站点数量为9个(Ohmura等, 1998), 2018年增加到59个正式台站和9个候

收稿日期: 2021-11-04; 预印本: 2022-07-31

基金项目: 国家重点研发计划(编号:2018YFB0504900, 2018YFB0504903)

第一作者简介: 高海亮, 研究方向为遥感辐射定标和真实性检验。E-mail: gaohl@radi.ac.cn

通信作者简介: 顾行发, 研究方向为定量遥感。E-mail: guxf@radi.ac.cn

选台站 (Driemel等, 2018)。基准辐射观测主要包括太阳直接辐射、散射辐射、总辐射、反射辐射、大气长波辐射、地面长波辐射等, 根据需要还会增加紫外辐射、光合有效辐射和同步的常规气象要素。BSRN网络旨在提供高质量的长期地表辐射能量收支观测, 以探测地球表面辐射场中可能与气候变化有关的重要变化 (Long等, 2015)。其测量的产品可用于地表反照率、下行短波辐射、下行长波辐射、净辐射产品等产品的真实性检验 (<https://bsrn.awi.de/>[2021-11-04])。气溶胶地面观测网AERONET是全球最大的气溶胶和水汽含量观测网 (Holben等, 1998), 由NASA和LOA-PHOTONS公司联合建立。该网络覆盖了全球主要的区域, 在全球共有500多个站点。通过由国家机构、研究所、大学、个人科学家提供的太阳光度计, 获取全球不同地区的气溶胶光学厚度数据。AERONET通常用于验证卫星的气溶胶光学厚度产品和水汽含量产品 (<https://aeronet.gsfc.nasa.gov/>[2021-11-04])。国际土壤水分网ISMN是2009年欧洲航天局资助的一个观测项目 (Dorigo等, 2011), ISMN汇集了由多个组织收集并免费共享的现场地面湿度测量数据, 并采用先进的质量控制, 实现了数据的共享。ISMN已发展成为全球主要的原位土壤水分参考数据库, 共有3000多个活跃用户和1000多份参考文献 (Dorigo等, 2021)。ISMN包含了遍布全球的71个网络和2842个站的数据 (<https://ismn.geo.tuwien.ac.at/en/>[2021-11-04])。

第二类是面向生态参数的自动+人工测量的观测站网。包括美国的长期生态研究网LTER (Long-Term-Ecological-Research)、英国的环境变化网ECN (Environment Change Network) 和中国生态系统研究网络CERN (Chinese Ecosystem Research Network)。LTER网位于美国本土, 由美国国家自然科学基金委员会于1980年启动, 是国际上第一个国家尺度的长期生态研究网络 (Haase等, 2016)。LTER刚成立的时候有4个站点, 现在已增加到28个。地表类型包括海洋、森林、淡水、沿海、草地、混合景观、冻土带、城市等 (<https://lternet.edu/site/>[2021-11-04])。环境变化网络ECN是英国长期生态系统研究网络。在英国各地收集、管理、分析和解释环境数据。ECN成立于1992年, 于1993年开始测量数据, 截止到目前ECN共有44个站点组成, 包括11个陆表站, 16个

湖泊站和17个河流站组成, 陆表站的地表类型包括半天然草地、林地、沼地、泥炭地和耕地等 (<https://ecn.ac.uk/sites/>[2021-11-04])。中国生态系统研究网络(CERN)于1988年开始组建成立的。目前, 该研究网络由42个站点和6个研究中心组成, 站点包括农田站14个、森林站11个、草地站点2个、沙漠站5个、沼泽站1个、湖泊站4个、海洋站3个、城市站1个、喀斯特站1个; 研究中心包括水分、土壤、大气、生物、水域生态系统5个学科分中心和1个综合研究中心所组成 ([https://www.cas.cn/zt/kjzt/ywtz/ywtzwltx/201212/t20121219\\_3724232.html](https://www.cas.cn/zt/kjzt/ywtz/ywtzwltx/201212/t20121219_3724232.html)[2021-11-04])。

第三类基于大型综合试验的临时实验场。如美国于2003年在Georgia组织的大型土壤测量试验 (Bosch等, 2006), 试验时间为2003年6月17日到7月21日, 测量范围包括50 km×75 km, 每天获取19个站点的土壤温度和土壤水分数据, 其覆盖类型包括森林、棉花、花生和草地。进入21世纪以来, 中国也开展了大量局部地区的真实性检验试验, 2001年在顺义开展星—机—地同步的真实性检验试验 (李小文, 2006), 对MODIS的陆表产品算法进行真实性检验。2007年—2009年, 中国在黑河开展了大型航空、卫星遥感与地面同步观测科学试验。试验由寒区水文试验、森林水文试验和干旱区水文试验, 获取了大量地面同步观测数据, 包括积雪属性 (雪深、雪密度, 雪粒径及雪反射率等)、冻土属性 (冻融状态、水分含量、电导率等)、反射率/反照率、土壤温度和冠层温度、和LAI、生物量、植被含水量、Fpar等植被生物物理和生物化学参数, 以及树高, 冠幅, 生物量等植被结构参数 (晋锐等, 2017)。

综上所述, 上述3类场地均可用于遥感产品的真实性检验试验。但每类场地均有一定的不足。第一类场地只能获取单点的测量数据, 主要适用于气溶胶光学厚度等弱尺度效应遥感参数的验证; 第二类场地的主要目的是对气候变化和人类活动的影响下生态系统进行长期全面监测和研究。其场地的设计初衷并非针对遥感产品的真实性检验, 存在覆盖范围有限和空间代表性不足的问题, 其测量的地面参数难以直接用于遥感产品的真实性检验; 第三类场地更适合遥感产品的真实性检验, 但每次试验均需要投入大量的人力物力, 适用于短期的试验, 很难在更大的范围内开展业务化测

量。为了建立具备遥感产品真实性检验站网的试验站网，中国先后启动了国家空间基础设施真实性检验场网（简称空基场网）和高分真实性检验站网（简称高分站网）的建设工作，充分利用大型综合试验的经验和成果，依托中国各行业和地区的优势站点，通过布设相关的自动测量仪器和人工测量仪器，使部分生态站和行业站点具备遥感产品测量的能力，为遥感产品的真实性检验提供长期业务化的地面观测数据。本文对国家空间基础设施真实性检验站网和高分真实性检验站网的建设现状进行介绍，并对国内遥感真实性检验基础设施建设发展态势提出思路和框架。

## 2 中国真实性检验站网现状

### 2.1 国家空间基础设施真实性检验场网

中国于2015年发布《国家民用空间基础设施中长期规划（2015年—2025年）》。根据规划，2017年起启动空基真实性检验站网建设工作。按照“统筹规划、分步建设、协同运行、资源共享”原则，在现有各行业站点的基础上，增加遥感专业仪器和观测能力，建成由多个站点组成的真实性检验站网。空基真实性检验站网的甄选原则如下：

(1) 站点分布能够有效代表中国主要区域和地形地貌、气候条件类型。

(2) 充分考虑已有站点的场地条件、仪器条件、数据采集能力等原则，选择站点基础好，积极性高的站点。

(3) 充分考虑行业、区域和科研机构站点的代表性和均衡性，以支持行业遥感应用的发展。

空基真实性检验站网的建设工作分为两个阶段。第一个阶段是2017年—2020年。这一阶段将中国生态系统研究网络的部分站点，以及林业、农业、气象、环保等行业的代表性站点共24个站点纳入真实性检验站网系统，并在各站点共布设了120台套的遥感专业测量设备。第二个阶段是2021年—2024年，这一阶段空基站点的数量增加到48个（表1），其检验的产品类型增加到6类24种（表2）。

空基真实性检验场网由48个真实性检验站和6个综合试验场组成。真实性检验站点和综合试验场的区别如表3所示。

表1 空基真实性检验站网

Table 1 The space-based validation network

| 序号 | 站点    | 所在地区     | 站点类型  |
|----|-------|----------|-------|
| 1  | 大兴安岭站 | 内蒙古根河市   | 十二五站点 |
| 2  | 呼伦贝尔站 | 内蒙古呼伦贝尔市 | 十二五站点 |
| 3  | 净月潭站  | 吉林长春市    | 十二五站点 |
| 4  | 江山娇站  | 黑龙江宁安县   | 十二五站点 |
| 5  | 锡林浩特站 | 内蒙古锡林浩特市 | 十二五站点 |
| 6  | 沽源    | 河北沽源县    | 十二五站点 |
| 7  | 栾城站   | 河北石家庄市   | 十二五站点 |
| 8  | 禹城站   | 山东禹城市    | 十二五站点 |
| 9  | 青岛站   | 山东青岛市    | 十二五站点 |
| 10 | 南京站   | 江苏南京市    | 十二五站点 |
| 11 | 太湖站   | 江苏苏州市    | 十二五站点 |
| 12 | 合肥站   | 安徽合肥市    | 十二五站点 |
| 13 | 洞庭湖站  | 湖南岳阳市    | 十二五站点 |
| 14 | 祁阳站   | 湖南祁阳市    | 十二五站点 |
| 15 | 千烟洲站  | 江西吉安市    | 十二五站点 |
| 16 | 广州站   | 广东广州市    | 十二五站点 |
| 17 | 海南站   | 海南乐东县    | 十二五站点 |
| 18 | 普洱站   | 云南普洱市    | 十二五站点 |
| 19 | 林芝站   | 西藏林芝县    | 十二五站点 |
| 20 | 那曲站   | 西藏那曲县    | 十二五站点 |
| 21 | 海北站   | 青海门源县    | 十二五站点 |
| 22 | 民勤站   | 甘肃民勤县    | 十二五站点 |
| 23 | 哈密站   | 新疆哈密市    | 十二五站点 |
| 24 | 西天山站  | 新疆伊宁市    | 十二五站点 |
| 25 | 哈尔滨站  | 黑龙江哈尔滨市  | 十三五站点 |
| 26 | 南宁站   | 广西南宁市    | 十三五站点 |
| 27 | 大安站   | 吉林大安市    | 十三五站点 |
| 28 | 盘锦站   | 辽宁盘锦市    | 十三五站点 |
| 29 | 怀来站   | 河北怀来县    | 十三五站点 |
| 30 | 巴彦淖尔站 | 内蒙古巴彦淖尔市 | 十三五站点 |
| 31 | 寿阳站   | 山西寿阳县    | 十三五站点 |
| 32 | 鹤壁站   | 河南鹤壁市    | 十三五站点 |
| 33 | 商丘站   | 河南商丘市    | 十三五站点 |
| 34 | 嵩山站   | 河南登封市    | 十三五站点 |
| 35 | 绥德站   | 陕西绥德县    | 十三五站点 |
| 36 | 宁夏站   | 宁夏盐池县    | 十三五站点 |
| 37 | 黑河站   | 甘肃张掖市    | 十三五站点 |
| 38 | 吐鲁番站  | 新疆吐鲁番市   | 十三五站点 |
| 38 | 喀纳斯站  | 新疆布尔津县   | 十三五站点 |
| 40 | 贡嘎山站  | 四川省泸定县   | 十三五站点 |
| 41 | 东川站   | 云南昆明市    | 十三五站点 |
| 42 | 文昌站   | 海南文昌市    | 十三五站点 |
| 43 | 宜昌站   | 湖北宜昌市    | 十三五站点 |
| 44 | 盐城站   | 江苏盐城市    | 十三五站点 |
| 45 | 德清站   | 浙江德清县    | 十三五站点 |
| 46 | 玉树站   | 青海玉树市    | 十三五站点 |
| 47 | 三江源站  | 青海玛沁县    | 十三五站点 |
| 48 | 厦门站   | 福建厦门市    | 十三五站点 |

表2 空基场网可验证的六类共性产品

Table 2 Six kinds of verifiable common products based on space-based validation network

| 类型 | 空基十二五                    | 空基十三五                                       |
|----|--------------------------|---|
| 几何 | 正射、高程                    | 正射、高程                                       |
| 辐射 | 辐亮度、亮温                   | 辐亮度、亮温、干涉测量相位大气延迟校正产品、后向散射系数                |
| 植被 | 植被指数、植被覆盖度、叶面积指数         | 植被指数、植被覆盖度、叶面积指数、植被物候、植被高度                  |
| 水体 | 水表反射率、悬浮物浓度、水表温度         | 水表反射率、悬浮物浓度、水表温度、水体叶绿素含量                    |
| 陆表 | 地表覆盖类型、地表反射率、地表温度、地表土壤水分 | 地表覆盖类型、地表反射率、地表温度、地表粗糙度、土壤盐碱度、地表土壤水分、干涉测量形变 |
| 大气 | 气溶胶光学厚度、大气水汽含量           | 气溶胶光学厚度、大气水汽含量                              |

表3 空基真实性检验站点和综合试验场的区别

Table 3 The differences between space-based validation sites and space-based integrated test sites

| 参数     | 真实性检验站   | 综合试验场   |
|--------|--|---|
| 定义     | 真实性检验站点是在具有一定区域代表性的小面积区域,由单个单位,定期开展的业务化测量实验,获取一种或多种长时间序列的地面真值数据,实现遥感共性产品的验证和评价 | 综合试验场是指在具有较高的区域代表性,覆盖多种典型地物类型的大面积区域,通过联合多家单位,共同开展大型综合实验,获取多种遥感产品真实性检验的地面真值数据,实现多种共性产品的真实性检验与评价,并为算法优化提供依据 |
| 目的     | 地面真值获取,卫星产品评价  | 卫星载荷和卫星产品评价、真实性检验理论算法研究和遥感反演算法优化  |
| 实验场地面积 | 由3—5个实验样区组成,每个样区约为50 m×50 m  | 上百平方公里,覆盖多种典型地物类型   |
| 测量参数   | 测量参数少,一般为2—7种  | 测量参数多,包括7种以上遥感共性产品  |
| 测量手段   | 以地面测量为主,测量手段单一   | 包括卫星、无人机、有人机、地面等不同测量方式  |
| 测量频次   | 每年不少于20次/站点  | 每年不超过1次/场地  |
| 试验周期   | 每次1—3 d  | 每次1—3月  |
| 场地基础   | 具有良好的基础设施,稳定运行的实验团队和长期自动测量的仪器设备  | 无具体要求   |

## 2.2 高分真实性检验站网

高分真实性检验站网是在国防科工局支持下建设的用于高分卫星共性产品验证的场站网。高分站点遴选基本原则如下:

(1) 尽可能多涵括中国典型地理单元和典型生态系统;

(2) 强调时空布局的合理性,时间上要求台站有观测积累,空间上要求布局合理;

(3) 充分利用具备良好交通条件和基础设施的已有站点(中国生态系统研究网络CERN、中国林业生态定位研究网络、大气环境网、海洋网、遥感网、空基网);

(4) 对现有高分共性产品有检验能力,可支持多种产品检验;形成涵盖陆地、海洋、大气和几何的共性产品的完整体系;

(5) 有较好的遥感研究和观测基础,以及运行保障能力。

2015年,高分专项进行统筹规划,根据地域分布,交通条件、设施基础、运行保障等各站点基础条件和急需先行等遴选原则,确定了具有遥感产品检验能力、分布相对合理的首批24个真实性检验场站,但当时并未开展具体建设工作。随着高分卫星的发射和业务化真实性检验需求的迫切,2019年开始启动高分真实性检验站网建设的论证工作,并于2021年正式启动高分真实性检验站网的建设工作。在首批24个站点的基础上,高分真实性检验站网新增加了18个站点,最终形成有42个站点组成的高分卫星真实性检验场网(表4)。

高分真实性检验站网可检验的卫星产品有6类39种。其分类原则和产品名称和空基的定义不同,该6类包括几何类、辐射基础类、土地覆盖类、能量平衡类、植被参量类和水分参量类(表5)。

表4 高分真实性检验站网

Table 4 The Gaofen validation network

| 序号 | 站点                | 所在地区     | 站点类型     |
|----|-------------------|----------|----------|
| 1  | 大兴安岭站             | 内蒙古根河市   | 十二五/高分站点 |
| 2  | 呼伦贝尔站             | 内蒙古呼伦贝尔市 | 十二五/高分站点 |
| 3  | 净月潭站              | 吉林长春市    | 十二五/高分站点 |
| 4  | 江山娇站              | 黑龙江宁安县   | 十二五/高分站点 |
| 5  | 锡林浩特站             | 内蒙古锡林浩特市 | 十二五/高分站点 |
| 6  | 沽源                | 河北沽源县    | 十二五/高分站点 |
| 7  | 栾城站               | 河北石家庄市   | 十二五/高分站点 |
| 8  | 禹城站               | 山东禹城市    | 十二五/高分站点 |
| 9  | 太湖站               | 江苏苏州市    | 十二五/高分站点 |
| 10 | 合肥站               | 安徽合肥市    | 十二五/高分站点 |
| 11 | 洞庭湖站              | 湖南岳阳市    | 十二五/高分站点 |
| 12 | 祁阳站               | 湖南祁阳市    | 十二五/高分站点 |
| 13 | 千烟洲站              | 江西吉安市    | 十二五/高分站点 |
| 14 | 增城站 <sup>1</sup>  | 广东广州市    | 十二五/高分站点 |
| 15 | 海南站               | 海南乐东县    | 十二五/高分站点 |
| 16 | 普洱站               | 云南普洱市    | 十二五/高分站点 |
| 17 | 林芝站               | 西藏林芝县    | 十二五/高分站点 |
| 18 | 那曲站               | 西藏那曲县    | 十二五/高分站点 |
| 19 | 海北站               | 青海门源县    | 十二五/高分站点 |
| 20 | 民勤站               | 甘肃民勤县    | 十二五/高分站点 |
| 21 | 哈密站               | 新疆哈密市    | 十二五/高分站点 |
| 22 | 怀来站               | 河北怀来县    | 十三五/高分站点 |
| 23 | 嵩山站               | 河南登封市    | 十三五/高分站点 |
| 24 | 黑河站               | 甘肃张掖市    | 十三五/高分站点 |
| 25 | 吐鲁番站              | 新疆吐鲁番市   | 十三五/高分站点 |
| 26 | 厦门站               | 福建厦门市    | 十三五/高分站点 |
| 27 | 嵩山站 <sup>2</sup>  | 河南登封市    | 十三五/高分站点 |
| 28 | 西天山站 <sup>3</sup> | 新疆伊宁市    | 高分站点     |
| 29 | 阿里站               | 西藏阿里市    | 高分站点     |
| 30 | 黄东海站              | 山东烟台市    | 高分站点     |
| 31 | 亚东站               | 西藏亚东县    | 高分站点     |
| 32 | 中卫站               | 宁夏中卫市    | 高分站点     |
| 33 | 珠海站               | 广州珠海市    | 高分站点     |
| 34 | 北碚站               | 重庆市北碚区   | 高分站点     |
| 35 | 普定站               | 贵州普定站    | 高分站点     |
| 36 | 王朗站               | 四川平武县    | 高分站点     |
| 37 | 西沙站               | 海南三沙市    | 高分站点     |
| 38 | 长武站               | 陕西长武县    | 高分站点     |
| 39 | 喀什站               | 新疆喀什市    | 高分站点     |
| 40 | 瓦里关站              | 青海共和县    | 高分站点     |
| 41 | 塔中站               | 新疆且末县    | 高分站点     |
| 42 | 漠河站               | 黑龙江漠河市   | 高分站点     |

注：<sup>1</sup>高分的增城站和空基的广州站是同一个站点；<sup>2</sup>高分的登封站和空基的嵩山站是同一个站点；<sup>3</sup>高分的西天山站和空基的西天山站不是同一个站点。

表5 高分真实性检验的6类39种共性产品

Table 5 Common products of Gaofen validation, including 39 types of 6 categories

| 产品 | 类型     | 产品   |
|----|--------|--|
| 1  | 几何产品   | 正射产品 DOM 和地形产品 DSM<br>地表反射率、离水辐射率、雷达后向散射系数                         |
| 2  | 辐射基础产品 | 数、云掩膜、大气气溶胶光学厚度、大气水汽含量   |
| 3  | 土地覆盖产品 | 地表覆盖类型和土地利用类型  |
| 4  | 能量平衡产品 | 地表反照率、地表发射率、陆表温度、海表温度、土壤热通量、光合有效辐射、下行短波辐射、下行长波辐射、净辐射产品             |
| 5  | 植被参量产品 | 植被指数、叶面积指数、植被覆盖度、光合有效辐射吸收比例、植被净初级生产力、植被物候、植被冠层叶绿素含量、叶绿素荧光、森林生物量、树高 |
| 6  | 水分参量产品 | 土壤含水量、蒸散发、干旱指数、地表水体、冰川覆盖、积雪覆盖、雪被指数、水体悬浮物浓度、水体叶绿素浓度、水体透明度           |

### 2.3 空基和高分站网的比对

空基真实性检验站网和高分真实性检验站网隶属于不同的部门，前者由国家发展和改革委员会和财政部支持；后者由国防科技工业局支持；前者属于业务性质的任务，对测量的长期性和精度要求较高，因此所有设备都是新增设备，且检验的产品类型较少；后者属于科研性质的任务，更侧重理论和方法的研究，其观测设备更依赖站点已有基础，检验的产品类型更多。这两类站点的比较如表6所示。

### 2.4 空基和高分站网的初步成果

空基真实性检验场网从2018年开始启动建设，2019年9月所有专业仪器到位，并在长春首次开展面向24个站点技术人员的专业仪器培训。2020年以来，针对国产高分GF-1 BCD、GF-7、5 m光学、高分多模、资源04A等7颗陆地卫星，开展在轨测试和验证试验，有效支持了国产卫星的定量应用。截止到2021年底，获取了24个站点、12种120台套设备、6类遥感产品近3年的站点测量数据，测量数据量达到2.17亿条。其中，首次全面建设完成了面向高分辨率卫星应用的全国范围统一标准的土壤温湿度自动观测网络和叶面积指数自动观测网络，可实现全国草地、农田、荒漠和森林等多种生态类型的土壤水分和土壤温度长时间持续

观测和全国典型生态环境下叶面积指数的全国范围、长时间持续地面观测，截至目前，已获取有效土壤原始数据共计6500万余条，植被原始数据2400万余条。首次建成覆盖全国、遥感全要素、多行业联合协同的遥感共性产品真实性检验站网

体系。2022年4月，启动十三五48个站点的专业仪器培训工作，为相关站点近350名站点技术人员进行培训，确保了各站点测量数据的一致性和精度。

表6 空基和高分站网的比较

Table 6 The comparisons of space-based and Gaofen field networks

| 比较参数     | 空基十二五站网                                   | 空基十三五站网   | 高分站网              |
|----------|---|-----------|-------------------|
| 项目启动年份   | 2017年                                     | 2019年     | 2020年             |
| 站点建设开始年份 | 2018年                                     | 2020年     | 2021年             |
| 站点数量     | 24  | 48        | 42                |
| 检验产品     | 6类16种                                     | 6类24种     | 7类41种             |
| 针对卫星     | 空基十二五卫星7(业务星)+2(科研星) 空基十三五卫星9(业务星)+6(科研星) |           | 高分1—7号(科研星)       |
| 项目来源     | 国家发改委和财政部                                 | 国家发改委和财政部 | 国防科工局             |
| 项目性质     | 业务型                                       | 业务型       | 科研型               |
| 仪器来源     | 新采购仪器                                     | 新采购仪器     | 大部分以现有仪器为主,少量新增仪器 |

高分真实性检验站网的建设于2021年启动，2021年4月24日进行首批12个站点的授牌，后续和高分站网的42个站点多次调研和技术交流，2022年4月确定各站点的建设方案，并完成新增核心仪器的调研和采购。此外，高分真实性检验站网已形成33种观测类标准规范，并提供给各站点，作为后续站点建设的依据。

通过空基真实性检验场网和高分真实性检验站网的工程化建设，发现在项目执行过程中出现很多各种困难和问题，距离各站点高精度业务化运行，满足各类遥感产品的真实性检验还有很大的不足和差距。本文在总结站网建设中的工作的基础上，分析凝练真实性检验站网建设的重要内容，为后续站网的建设和服务化运行提供参考。

### 3 真实性检验场网建设技术体系设计

真实性检验场网建设是一个长期系统性的工作。涉及到理论方法研究、标准规范制定、站点建设、卫星产品验证等多个方面。虽然中国在真实性检验站网建设方面已经启动，并获取了大量的数据成果，但离各站点的高质量业务化运行还有一定的差距，本文在总结空基和高分站网建设相关经验的基础上，提出站网建设需要考虑的重点工作（图1），并对后续站网建设和运行给出具体的建议和思考。

#### 3.1 真实性检验理论研究

真实性检验理论的研究是实现真实性检验站网建设的基础。包括场地甄选和空间异质性评价理论、空间采样理论、尺度转换理论、真值获取不确定度理论和产品评价方法等。其中，场地甄选理论包括场地大小、场地类型和场地位置的确定。理想的场地应选择均匀平坦的单一地物类型作为试验场，但受到站点周边的地表类型、仪器布设、交通条件、后勤保障等因素的影响，同时还要考虑验证的卫星空间分辨率，仪器测量方式等因素，在确定场地位置时需要理论和实际相结合。实际选择的场地，应该是各类因素综合考虑后的结果。在确定场地的同时，还应确定相应的场地评价方法。目前场地空间异质性的评价方法有点面特征比较法、一阶统计法、局部方差法、半方差函数法、小波变换法、分析法、变异系数法等（徐保东等，2015；柳钦火等，2016；栾海军等，2013a，2013b；Schmid和Lloyd，1999）。

空间采样理论和场地甄选密切相关。如果场地的地物类型单一，空间异质性小，采样方法有单点采样法、多点随机采样法、多点系统采样法、基于参考影像的采样方法和基于地面组分的采样方法等；如果场地的地物类型比较复杂，空间异质性大，对应的采样方法有异质性表面空间优化采样（Wang等，2014）、多变量空间优化采样（Ge等，2015）、空间混合优化采样（Kang等，

2014)、三明治抽样模型、基于地统计学的抽样模型、分层采样(曾也鲁等, 2012)等。若考虑时空变化的影响, 对应的采样方法有时空动态观测网优化采样方法(Wang等, 2015), 面到面克里格时空尺度转换算法(Hu等, 2015), 基于随机组

合和时空稳定性的最优采样方法(Wu等, 2018)。在实际应用中, 不是越复杂的方法精度越高, 而是需要根据场地的空间异质性、待验证卫星的空间分辨率和待验证产品的特点共同确定采样方案。

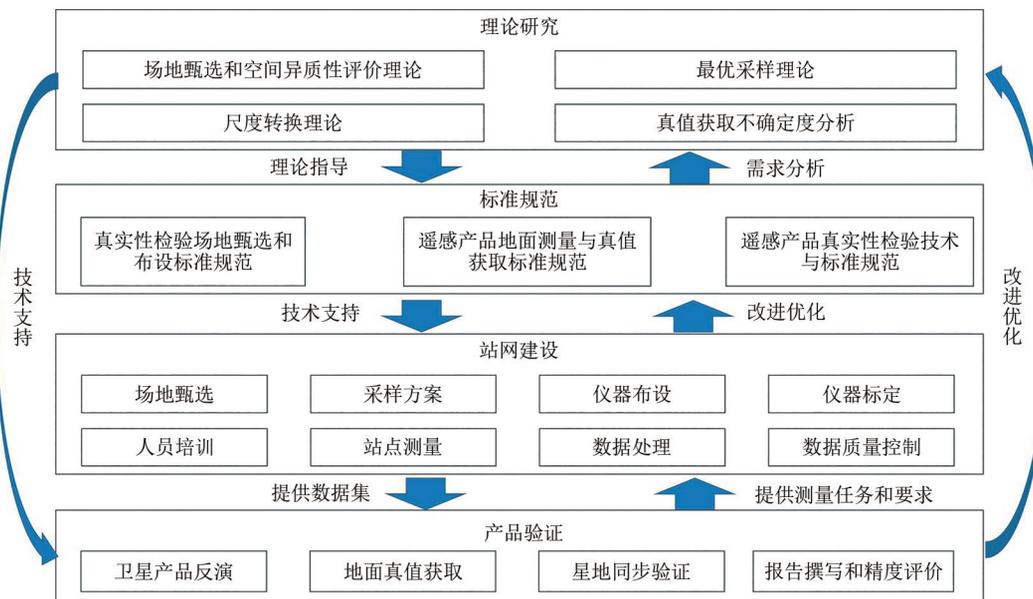


图1 真实性检验站网建设技术体系

Fig. 1 The technical system of validation site network construction

尺度转换是在确定场地位置和采样方案, 并完成地面测量基础上对测量数据的处理。尺度转换包括点面尺度转换和面面尺度转换两种。基于地面测量点的尺度转换都属于点面尺度转换; 包括算术平均法、加权平均法和真值传递法。算术平均不依赖辅助数据, 将点尺度数据转换成面尺度数据。加权平均法和真值传递法需要依赖高分辨率的遥感影像作为辅助参数; 基于面面尺度转换的方法适用于不同卫星产品的相互验证, 尺度转换方法包括泰勒级数法(刘艳等, 2010, 2014)、计算几何模型法(吴骅等, 2009), 累加平均法(Tan等, 2005), 面积加权法(唐世浩等, 2006), 基于克里格插值的直接转换法和基于高分辨率影像的算术平均法(家淑珍等, 2014)等。

真值获取的不确定度分析是确保地面测量数据质量和精度的保障。一般来说, 像元尺度地面真值的不确定度来源包括3个方面: 测量不确定度、尺度转换不确定度和模型不确定度。其中测量不确定度和测量仪器、测量人员、测量天气、测量方法密切相关; 尺度转换不确定度和采样方法、尺度转换方法、选择的高分辨率参考遥感影

像密切相关; 模型的不确定度和观测角度校正模型, 遥感参数反演模型相关。最后, 应基于误差累计和传递理论, 评估各种误差传递到像元真值的量化程度, 以及对真实性检验结果的影响; 结合真实性检验的各个环节予以分析, 得到像元尺度地面真值总的不确定度, 为优化真实性检验的关键技术提供依据。

### 3.2 标准规范的制定和优化

近年来, 中国已经发布了一系列的遥感真实性检验规范, 如遥感产品真实性检验导则, 陆地定量遥感产品真实性检验通用方法、各类遥感产品真实性检验方法等。高分真实性检验站网和空基真实性检验场网也分别提出了各自的测量规范和真实性检验规范。但这些标准规范都较为宏观, 更多侧重原则性的说明。而不同真实性检验站点的地表类型千差万别, 各站点的测量仪器和观测规范往往不一致; 此外, 目前的测量和验证规范对待验证卫星的空间分辨率没有给出具体的使用范围, 导致仅依赖当前的标准规范无法实现真实性检验测量工作的具体开展, 还有大量细节有待

进一步落实。

### 3.3 真实性检验站网建设

真实性检验站网的建设是地面真值获取、实现遥感产品真实性检验的关键环节。中国已前后启动空基真实性检验站网和高分真实性检验站网，站点覆盖全国28个省和自治区，地表类型包含草地、农田、森林、海洋、戈壁、城市、湖泊等多种地物类型，涉及的行业包括林业、国土、气象、海洋、环保、农业等不同行业和中国科学院和高校的多个站点。其中，十二五的空基站点已运行近3年，十三五空基站点和高分站点也启动建设工作。经过近几年的运行工作，主要有以下体会。

(1) 理论和实际有较大差距。在理论研究方面，目前有多种场地甄选、采样方法和尺度转换理论，但在实际站点建设中，由于基础设施、地表类型、仪器配置、辅助数据等因素的限制，大量复杂的理论模型和方法无法应用到站点建设中。例如，很多采样理论和方法依赖于大量高分辨率机载或星载高分辨率影像数据。而由于实际各种因素的现状，各站点高分辨率影像数据有限，导致大量采样方法和尺度转换模型无法应用。因此，在后续的理论研究中，应充分考虑站点的特点，研发具有普适性和可行性的采样方案和真值获取方法，以改善真值获取的精度。

(2) 标准的制定和优化是一个多次迭代的过程。目前虽然已经发布了多个项目级和国家级的标准规范，但在具体应用过程中，由于各站点地表特征和测量仪器的差异，其测量规范无法直接指导所有站点的测量工作，必须根据站点进行适用性改造和优化。

(3) 建立统一质量标准的真实性检验场网是真实性检验站网建设的重要目标。统一质量标准包括采样统一的仪器、统一的仪器定标、统一的地面测量、数据处理和产品验证方法。因此，一方面要加强基础设施的建设，使各站点尽可能采用相同的仪器，并完成统一的标定。另一方面，要加强对各站点测量人员的培训。定期组织不同规模，面向不同遥感产品、不同站点测量人员的专业培训和技术交流，使不同站点、不同测量人员采用相同的测量方法和数据处理模型，进而保障不同站点测量数据的一致性和精度。

(4) 获取高精度的像元尺度地面真值数据是

建立真实性检验场网的关键环节。像元尺度地面真值数据的精度，和像元尺度大小、地表特征、测量方法、尺度转换方法、待验证产品类型密切相关。其中，场地的异质性是影响地面真值不确定度的核心因素。一方面，应尽可能选择空间异致性小的样区作为验证场地，另一方面，需要根据样区地表特征、测量方式和待验证产品的特点确定相应的采样方法和尺度转换模型。

(5) 真实性检验站网建设和业务化运行是一个长期、复杂、且需要大量人员和经费支持的工程化技术体系。一方面，真实性检验的理论、方法和标准规范不可能一蹴而就，需要根据测量过程中遇到的问题进行改进和优化；另一方面，真实性检验站网的建设需要考虑各类站点地表大气特征和现有基础、各类仪器特点、各种遥感产品验证的需求，需要建立统一的组织体系，加强各行业、各站点和相关科研机构、高校的技术交流，形成统一的培训机制、数据共享机制和产品验证和发布机制等。同时，应鼓励站点和相关科研人员加强合作，充分发挥每个人的积极性，通过多个单位和个人协同工作，共同提高真实性检验站网建设的水平。

### 3.4 遥感产品的验证评价

遥感产品的真实性检验和评价是建立遥感真实性检验场网的最终目的。遥感产品的验证评价包括4个环节：(1) 卫星产品的反演；(2) 地面真值数据获取；(3) 星地同步验证；(4) 验证报告撰写和精度评价。其中，卫星产品的反演既可采用传统方法，也可采用新的反演算法；地面真值数据包括已建成的真实性检验站网数据和面向真实性检验的野外试验数据。星地同步验证是获取相同或相邻时刻的卫星反演产品和对应的地面实测数据，通过星地匹配，实现共性产品的真实性检验和评价；验证报告的撰写和精度评价可以按载荷进行评价，也可以按试验区或遥感产品类型进行分类评价。

## 4 结 语

本文在介绍国内外真实性检验站网的基础上，重点对中国空基和高分真实性检验站网的建设现状和初步研究成果进行介绍，并根据在站网建设的经验，提出相关的真实性检验技术体系，希望

能以此抛砖引玉, 推动中国真实性检验研究的发展和真实性检验系统的建设。

真实性检验是遥感地面系统的重要组成部分, 在对地观测中具有不可替代的重要作用。当前中国在这方面已取得了大量成果, 但离高精度业务化运行真实性检验站网还有较大的差距, 尚未满足日益增长的高精度高频次真实性检验的需求, 已成为影响中国定量遥感研究和应用推广的重要因素。今后需加紧相关的理论研究与场网建设, 并结合中国的真实性检验的发展规划, 做好真实性检验系统的顶层设计, 进一步完善已建成的真实性检验场网体系, 提高站点测量数据的精度和频次, 加快实现站网的业务化运行和验证报告的发布, 不断完善高分和空基真实性检验系统, 为中国对地观测体系提供支撑, 进一步推动中国定量遥感的发展。

## 参考文献(References)

- Baldocchi D. 2008. 'Breathing' of the terrestrial biosphere: lessons learned from a global network of carbon dioxide flux measurement systems. *Australian Journal of Botany*, 56(1): 1-26 [DOI: 10.1071/BT07151]
- Baldocchi D, Falge E, Gu L H, Olson R, Hollinger D, Running S, Anthoni P, Bernhofer C, Davis K, Evans R, Fuentes J, Goldstein A, Katul G, Law B, Lee X, Malhi Y, Meyers T, Munger W, Oechel W, Paw U K T, Pilegaard K, Schmid H P, Valentini R, Verma S, Vesala T, Wilson K and Wofsy S. 2001. FLUXNET: a new tool to study the temporal and spatial variability of ecosystem-scale carbon dioxide, water vapor, and energy flux densities. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82(11): 2415-2434 [DOI: 10.1175/1520-0477(2001)082<2415:FANTTS>2.3.CO;2]
- Bosch D D, Lakshmi V, Jackson T J, Choi M and Jacobs J M. 2006. Large scale measurements of soil moisture for validation of remotely sensed data: Georgia soil moisture experiment of 2003. *Journal of Hydrology*, 323(1/4): 120-137 [DOI: 10.1016/j.jhydrol.2005.08.024]
- Dorigo W, Himmelbauer I, Aberer D, Schremmer L, Petrakovic I, Zappa L, Preimesberger W, Xaver A, Annor F, Ardö J, Baldocchi D, Bitelli M, Blöschl G, Bogena H, Brocca L, Calvet J C, Camarero J J, Capello G, Choi M, Cosh M C, Van De Giesen N, Hajdu I, Ikonen J, Jensen K H, Kanniah K D, de Kat I, Kirchengast G, Rai P K, Kyrouac J, Larson K, Liu S X, Loew A, Moghaddam M, Martínez Fernández J, Bader C M, Morbidelli R, Musial J P, Osendra E, Palecki M A, Pellarin T, Petropoulos G P, Pfeil I, Powers J, Robock A, Rüdiger C, Rummel U, Strobel M, Su Z B, Sullivan R, Tagesson T, Varlagin A, Vreugdenhil M, Walker J, Wen J, Wenger F, Wigneron J P, Woods M, Yang K, Zeng Y J, Zhang X, Zreda M, Dietrich S, Gruber A, van Oevelen P, Wagner W, Scipal K, Drusch M and Sabia R. 2021. The International Soil Moisture Network: serving Earth system science for over a decade. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25(11): 5749-5804 [DOI: 10.5194/hess-25-5749-2021]
- Dorigo W A, Wagner W, Hohensinn R, Hahn S, Paulik C, Xaver A, Gruber A, Drusch M, Mecklenburg S, van Oevelen P, Robock A and Jackson T. 2011. The international soil moisture network: a data hosting facility for global in situ soil moisture measurements. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(5): 1675-1698 [DOI: 10.5194/hess-15-1675-2011]
- Driemel A, Augustine J, Behrens K, Colle S, Cox C, Cuevas-Agulló E, Denn F M, Duprat T, Fukuda M, Grobe H, Haeffelin M, Hodges G, Hyett N, Ijima O, Kallis A, Knap W, Kustov V, Long C N, Longenecker D, Lupi A, Maturilli M, Mimouni M, Ntsangwane L, Ogihara H, Olano X, Olefs M, Omori M, Passamani L, Pereira E B, Schmithüsen H, Schumacher S, Sieger R, Tamlyn J, Vogt R, Vuilleumier L, Xia X G, Ohmura A and König-Langlo G. 2018. Baseline Surface Radiation Network (BSRN): structure and data description (1992-2017). *Earth System Science Data*, 10(3): 1491-1501 [DOI: 10.5194/essd-10-1491-2018]
- 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]
- Haase P, Frenzel M, Klotz S, Musche M and Stoll S. 2016. The long-term ecological research (LTER) network: relevance, current status, future perspective and examples from marine, freshwater and terrestrial long-term observation. *Ecological Indicators*, 65: 1-3 [DOI: 10.1016/j.ecolind.2016.01.040]
- Holben B N, Eck T F, Slutsker I, Tanré D, Buis J P, Setzer A, Vermote E, Reagan J A, Kaufman Y J, Nakajima T, Lavenu F, Jankowiak I and Smirnov A. 1998. AERONET—A federated instrument network and data archive for aerosol characterization. *Remote Sensing of Environment*, 66(1): 1-16 [DOI: 10.1016/S0034-4257(98)00031-5]
- Hu M G, Wang J H, Ge Y, Liu M X, Liu S M, Xu Z W and Xu T R. 2015. Scaling flux tower observations of sensible heat flux using weighted area-to-area regression Kriging. *Atmosphere*, 6(8): 1032-1044 [DOI: 10.3390/atmos6081032]
- Jia S Z, Ma M G and Yu W P. 2014. Validation of the LAI product in Heihe River Basin. *Remote Sensing Technology and Application*, 29(6): 1037-1045 (家淑珍, 马明国, 于文璞. 2014. 黑河中游 LAI 产品的真实性检验研究. *遥感技术与应用*, 29(6): 1937-1045) [DOI: 10.11873/j.issn.1004-0323.2014.6.1037]
- Jin R, Li X, Ma M G, Ge Y, Liu S M, Xiao Q, Wen J G, Zhao K, Xin X P, Ran Y H, Liu Q H and Zhang R H. 2017. Key methods and experiment verification for the validation of quantitative remote sensing products. *Advances in Earth Science*, 32(6): 630-642 (晋

- 锐, 李新, 马明国, 葛咏, 刘绍民, 肖青, 闻建光, 赵凯, 辛晓平, 冉有华, 柳钦火, 张仁华. 2017. 陆地定量遥感产品的真实性检验关键技术与试验验证. 地球科学进展, 32(6): 630-642 [DOI: 10.11867/j.issn.1001-8166.2017.06.0630]
- Justice C, Belward A, Morisette J, Lewis P, Privette J and Baret F. 2000. Developments in the 'validation' of satellite sensor products for the study of the land surface. *International Journal of Remote Sensing*, 21(17): 3383-3390 [DOI: 10.1080/014311600750020000]
- Kang J, Li X, Jin R, Ge Y, Wang J F and Wang J H. 2014. Hybrid optimal design of the eco-hydrological wireless sensor network in the middle reach of the Heihe River Basin, China. *Sensors*, 14(10): 19095-19114 [DOI: 10.3390/s141019095]
- 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 (李天文. 2006. 地球表面时空多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]
- Liu Q H, Cao B, Zeng Y L, Li J, Du Y M, Wen J G, Fan W L, Zhao J and Yang L. 2016. Recent progresses on the remote sensing radiative transfer modeling over heterogeneous vegetation canopy. *Journal of Remote Sensing*, 20(5): 933-945 (柳钦火, 曹彪, 曾也鲁, 李静, 杜永明, 闻建光, 范渭亮, 赵静, 杨乐. 2016. 植被遥感辐射传输建模中的异质性研究进展. 遥感学报, 20(5): 933-945) [DOI: 10.11834/jrs.20166280]
- Liu Y, Wang J D, Zhou H M and Xue H Z. 2010. LAI measuring data processing, analysis and spatial scaling in the middle reaches of Heihe experimental research region. *Remote Sensing Technology and Application*, 25(6): 805-813 (刘艳, 王锦地, 周红敏, 薛华柱. 2010. 黑河中游试验区不同分辨率LAI数据处理、分析和尺度转换. 遥感技术与应用, 25(6): 805-813) [DOI: 10.11873/j.issn.1004-0323.2010.6.805]
- Liu Y, Wang J D, Zhou H M and Xue H Z. 2014. Upscaling approach for validation of LAI products derived from remote sensing observation. *Journal of Remote Sensing*, 18(6): 1189-1198 (刘艳, 王锦地, 周红敏, 薛华柱. 2014. 用地面点测量数据验证LAI产品中的尺度转换方法. 遥感学报, 18(6): 1189-1198) [DOI: 10.11834/jrs.20144084]
- Long C, Michalsky J and König-Langlo G. 2015. The baseline surface radiation network: surface radiation observations for climate research//Global Monitoring Annual Conference 2015. Boulder, Colorado: NOAA Earth System Research Laboratory, Global Monitoring Division
- Luan H J, Tian Q J, Gu X F, Yu T and Hu X L. 2013a. Establishing continuous scaling of NDVI based on fractal theory and GEO-EYE-1 image. *Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 32(6): 538-544, 549 (栾海军, 田庆久, 顾行发, 余涛, 胡新礼. 2013a. 基于分形理论与GEOEYE-1影像的NDVI连续空间尺度转换模型构建及应用. 红外与毫米波学报, 32(6): 538-544, 549) [DOI: 10.3724/sp.j.1010.2013.00538]
- Luan H J, Tian Q J, Yu T, Hu X L, Huang Y, Du L T, Zhao L M, Wei X, Han J, Zhang Z W and Li S P. 2013b. Modeling continuous scaling of NDVI based on fractal theory. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 33(7): 1857-1862 (栾海军, 田庆久, 余涛, 胡新礼, 黄彦, 杜灵通, 赵利民, 魏曦, 韩杰, 张周威, 李少鹏. 2013b. 基于分形理论的NDVI连续空间尺度转换模型研究. 光谱学与光谱分析, 33(7): 1857-1862) [DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2013)07-1857-06]
- Ohmura A, Dutton E G, Forgan B, Fröhlich C, Gilgen H, Hegner H, Heimo A, König-Langlo G, McArthur B, Müller G, Philipona R, Pinker R, Whitlock C H, Dehne K and Wild M. 1998. Baseline surface radiation network (BSRN/WCRP): New precision radiometry for climate research. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79(10): 2115-2136 [DOI: 10.1175/1520-0477(1998)079<2115:BSRNBW>2.0.CO;2]
- Running S W, Baldocchi D D, Turner D P, Gower S T, Bakwin P S and Hibbard K A. 1999. A global terrestrial monitoring network integrating tower fluxes, flask sampling, ecosystem modeling and EOS satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 70(1): 108-127 [DOI: 10.1016/S0034-4257(99)00061-9]
- Schmid H P and Lloyd C R. 1999. Spatial representativeness and the location bias of flux footprints over inhomogeneous areas. *Agricultural and Forest Meteorology*, 93(3): 195-209 [DOI: 10.1016/S0168-1923(98)00119-1]
- Tan B, Hu J N, Zhang P, Huang D, Shabanov N, Weiss M, Knyazikhin Y and Myneni R B. 2005. Validation of moderate resolution imaging spectroradiometer leaf area index product in croplands of Al-pilles, France. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 110(D1): D01107 [DOI: 10.1029/2004JD004860]
- Tang S H, Zhu Q J and Sun R. 2006. Large-scale leaf area index inversion algorithm based on directional reflectivity and its verification. *Progress in Natural Science*, 16(3): 331-337 (唐世浩, 朱启疆, 孙睿. 基于方向反射率的大尺度叶面积指数反演算法及其验证. 自然科学进展, 16(3): 331-337) [DOI: 10.3321/j.issn:1002-008X.2006.03.012]
- Wang J H, Ge Y, Heuvelink G B M and Zhou C H. 2014. Spatial sampling design for estimating regional GPP with spatial heterogeneities. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 11(2): 539-543 [DOI: 10.1109/LGRS.2013.2274453]
- Wang J H, Ge Y, Heuvelink G B M and Zhou C H. 2015. Upscaling *in situ* soil moisture observations to pixel averages with spatio-temporal geostatistics. *Remote Sensing*, 7(9): 11372-11388 [DOI: 10.3390/rs70911372]
- Wu H, Jiang X G, Xi X H, Li C R and Li Z L. 2009. Comparison and analysis of two general scaling methods for remotely sensed information. *Journal of Remote Sensing*, 13(2): 183-189 (吴骅, 姜小光, 习晓环, 李传荣, 李召良. 2009. 两种普适性尺度转换方法比较与分析研究. 遥感学报, 13(2): 183-189) [DOI: 10.11834/jrs.20090235]
- Wu X D, Wen J G, Xiao Q, You D Q, Liu Q and Lin X W. 2018. Forward a spatio-temporal trend surface for long-term ground-measured albedo upscaling over heterogeneous land surface. *International Journal of Digital Earth*, 11(5): 470-484 [DOI: 10.1080/

17538947.2017.1334097]

Xu B D, Li J, Liu Q H, Xin X Z, Zeng Y L and Yin G F. 2015. Review of methods for evaluating representativeness of ground station observations. *Journal of Remote Sensing*, 19(5): 703-718 (徐保东, 李静, 柳钦火, 辛晓洲, 曾也鲁, 尹高飞. 2015. 地面站点观测数据代表性评价方法研究进展. *遥感学报*, 19(5): 703-718) [DOI:

10.11834/jrs.20154178]

Zeng Y L, Li J and Liu Q H. 2012. Global LAI ground validation dataset and product validation framework: a review. *Advances in Earth Science*, 27(2): 165-174 (曾也鲁, 李静, 柳钦火. 2012. 全球 LAI 地面验证方法及验证数据综述. *地球科学进展*, 27(2): 165-174) [DOI: 10.11867/j.issn.1001-8166.2012.02.0165]

## Analysis of the development trend of Chinese remote sensing validation sites and infrastructure construction

GAO Hailiang<sup>1,2</sup>, GU Xingfa<sup>1</sup>, ZHOU Xiang<sup>1</sup>, YU Tao<sup>1</sup>, WANG Yixue<sup>1,2</sup>

1. *Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China;*

2. *University of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China*

**Abstract:** The validation of remote sensing products is a challenging and critical aspect of remote sensing research. The construction of validation infrastructure is key in validating remote sensing products. In recent years, China has successively launched the construction of the National Civil Space Infrastructure Validation Test Sites Network (Space-based Site Network) and the Gaofen National Validation Test Site Network (Gaofen Site Network), forming a network system with over 60 test sites and the ability to validate more than 40 types of remote sensing products. This paper analyzes and summarizes the validation infrastructure internationally and identifies three categories of validation infrastructure: automatic observation networks for atmospheric and ground surface parameters, observation test site networks for ecological parameters with automatic and manual measurements, and temporary experimental sites based on large-scale comprehensive experiments. The paper provides a detailed introduction to the test site selection principles, number of test sites, and product types for the Space-based Site Network and Gaofen Site Network. The differences between the two networks are also analyzed, and the preliminary results of each network are presented. The Space-based Site Network consists of 48 test sites and has the ability to validate 24 common remote sensing products in six categories. It is a business-oriented network that focuses more on long-term business measurement, using unified measurement equipment for measurement. On the contrary, the Gaofen Site Network is a research-based network with a focus on research on measurement theory and methods, as well as the development of standard specifications. It consists of 42 test sites and has the ability to validate 41 common remote sensing products in seven categories, mainly relying on the site's own equipment for measurement. The paper proposes the idea of building a validation test site network in China based on the current construction status of the Space-based Site Network and Gaofen Site Network. It explores the technical system for building a validation test network and analyzes it from four aspects: theoretical research, standard specification formulation and optimization, validation test site network construction, and remote sensing product validation and evaluation. This paper provides a reference for the future construction of validation test site networks and the validation of remote sensing products in China. In the future, it is essential to intensify relevant theoretical research and test site network construction, and combine the development plan of validation in China to do a good job in the top-level design of the validation test site system. It is also necessary to further improve the established validation test site network system, improve the accuracy and frequency of site measurement data, accelerate the commercialization of network operation and the release of validation reports, and continuously improve the Space-based Site Network and Gaofen Site Network system to provide support for China's Earth observation system and promote the development of quantitative remote sensing in China.

**Key words:** remote sensing, validation, infrastructure site construction, Gaofen station network, technical system

**Supported by** National Key Research and Development Program of China (No. 2018YFB0504900, 2018YFB0504903)