

引文格式: 陈 军,廖安平,陈 晋,等. 全球30 m地表覆盖遥感数据产品-GlobeLand30[J]. 地理信息世界,2017,24(1):1-8.

全球30 m地表覆盖遥感数据产品 - GlobeLand30

陈 军¹, 廖安平^{1,3}, 陈 晋², 彭 舒¹, 陈利军¹, 张宏伟¹

(1.国家基础地理信息中心, 北京 100830; 2.北京师范大学, 北京 100875;
3.国家测绘地理信息局 三亚测绘技术开发服务中心, 海南 三亚 572000)

基金项目:

国家863计划重点项目
(2009AA122001;2009AA122
003)资助

作者简介:

陈军 (1956-), 男, 安徽
霍邱人, 教授, 博士生导师,
国家基础地理信息中心
总工程师, 国际摄影测
量与遥感学会第一副主席
(2016-2020), 主要从事
基础地理信息建模、更新
与服务研究工作。

E-mail:

chen.jun@nsdi.gov.cn

收稿日期: 2017-01-16

【摘要】在国家863重点项目支持下, 我国成功研制出全球30 m地表覆盖数据产品GlobeLand30。该成果包
括2000基准年和2010基准年两期, 有耕地、森林、草地、灌木地、湿地、水体、苔原、人造地表、裸地和
冰雪十大类型, 第三方评价总体精度为83.50%。2014年9月22日, 中国政府将其赠送给联合国使用, 是中
国向联合国提供的首个全球地理信息产品。该成果成为全球变化和可持续发展研究的重要科学数据, 目前已
有近120个国家的用户下载使用, 推动了国际对地观测与地理信息的开放共享, 彰显了中国负责任大国的形
象。本文主要介绍了GlobeLand30产品的技术创新、精度评价与成果应用。

【关键词】 GlobeLand30; 地表覆盖; 遥感制图; 数据共享; 精度评价

【中图分类号】 TP79

【文献标识码】 A

【文章编号】 1672-1586 (2017) 01-0001-08

30-Meter Global Land Cover Data Product - GlobeLand30

CHEN Jun¹, LIAO Anping^{1,3}, CHEN Jin², PENG Shu¹, CHEN Lijun¹, ZHANG Hongwei¹
(1.National Geomatics Center of China, Beijing 100830, China; 2.Beijing Normal University, Beijing 100875,
China; 3.Sanya Surveying and Mapping Technology Center of Development and Service, NASG, Sanya
572000, China)

Abstract: GlobeLand30 is the world's first 30-meter resolution global-land cover dataset developed by China under the
support of 863 key project. It contains ten major land cover classes: cultivated land, forest, grassland, shrub-land, wetland,
water bodies, tundra, artificial surfaces, bare land and permanent snow and ice, with two base-line years (2000 and 2010).
A total classification accuracy of 83.5% was given by the third party institutions. On September 22nd 2014, Chinese
government donated GlobeLand30 to UN, as a tangible means assisting UN systems organizations and member states in
their scientific decision-making and sustainable development. There are up-to-now more than 6,000 users from almost
120 countries, GlobeLand30 has significantly promoted the data sharing of earth observation and geo-information in the
world. This paper presents the major technical innovation of GlobeLand30, accuracy assessment, and its data sharing.

Key words: GlobeLand30; land cover; remote sensing; data sharing; accuracy assessment

0 引 言

众所周知, 矢量地形、数字高程模型、正射影像、地表覆盖和土地利用等地理空间数据是各类空间型信息系统的“血液”和框架, 属于空间信息基础设施的重要组成部分, 在科学研究、政府管理、百姓出行等方面发挥着重要作用^[1-3]。20世纪90年代以来, 我国加大了国家地理空间数据资源建设力度, 2006年建成全国1:50 000基础地理数据库体系, 2011年完成第一次全面更新, 2012年起实施重点要素年度更新, 向经济建设、社会发展和国防安全等方面提供了内容丰富、现势性强的矢量地形、数字高程模型、正射影像等基础地理数据, 较好地满足了用户需求^[4-5]。但就总体而言, 这些

地理空间数据的覆盖范围主要限于我国境内, 境外地理空间数据资源建设亟待进行。如何拓展其空间范围、建设全球地理空间数据资源, 正成为我国地理空间信息化建设的重要任务。

地表覆盖决定着地表的辐射平衡、水流和其他物质搬运、地表透水性能等, 其空间分布与变化是全球变化研究、地球系统模式研究、地理世情监测和可持续发展规划等的重要基础性数据和关键参量^[6-12]。此前, 美国和欧盟利用遥感手段研制了全球地表覆盖数据产品, 空间分辨率从最初的1° 提高到8 km、1 km、300 m^[13-16]。但仍然存在着产品空间分辨率低、时相局限性大、相互间一致性较差、第三方评价精度不高等问题, 难以满足全球变化研究和地球系统模式等科研应用日益增长的需

要^[17-19]。因而,近年来国际社会将研制更高分辨率全球地表覆盖遥感数据产品提上了议事日程^[20]。

为了满足全球变化研究和地球系统模式研究对高分辨率地表覆盖数据的需要,同时改变我国严重依赖国外全球地表覆盖数据产品的现状,在国家863重点项目的支持下,国家基础地理信息中心联合北京师范大学、清华大学、中科院遥感所等18家单位,开展了全球地表覆盖遥感制图关键技术研究,研制出世界上首套两期(2000-2010)30 m全球地表覆盖数据产品-GlobeLand30^[21-24]。2014年9月,中国政府将这一产品赠送给联合国使用,以支持全球应对气候变化和可持续发展,被国际同行专家称为是“对地观测与地理信息开放共享的里程碑”。本文主要介绍了GlobeLand30研制的技术创新、成果应用及精度评价,并简要讨论了这项工作的意义及发展方向。

1 主要技术创新

一般说来,人类大多数土地利用活动及所形成的地表覆盖格局可在30 m卫星遥感影像清晰地反映出来。实际上,国际同行普遍认为30 m空间分辨率是目前对整个地球进行宏观和中观研究的最佳尺度,利用30 m分辨率遥感影像研制全球地表覆盖数据集,已经成为国际社会的共识^[20]。然而,将空间分辨率从300 m提高到30 m,涉及到上万景遥感影像的海量信息处理,更面临着全球尺度带来的世界性科技难题,包括:①云雾、地形阴影、硬件故障等造成的影像缺陷(或信息缺失)较为普遍,难以实现高质量影像的全球时空连续覆盖并直接影响分类提取的精度;②全球“同物异谱/异物同谱”现象极为严重,现有影像分类和变化检测算法在大范围工程化应用中应用效果较差^[25-26]无法满足大范围地表覆盖高精度提取的要求;③大范围地表覆盖遥感制图研究可分为研究实验型和工程操作型两类^[27],按照工程化要求产出高质量数据产品涉及的技术因素繁多、过程复杂,单期高精度和多期时空一致性的实现难度更

大。美欧对此研究多年,尚未解决高质量30 m全球全要素信息产品研发的关键技术问题,仅研制出30 m单要素(森林)全球信息产品。

针对前述三大挑战,通过技术创新突破了全球30 m地表覆盖遥感制图的关键技术,取得的关键技术包括:全球30 m影像重建技术,形成了批量数据自动辐射校正/几何校正和缺失数据修补及多时相重建的能力,实现了高质量影像资料的全球覆盖;基于POK的分类方法,有效降低了“同物异谱、异物同谱”等造成的分类及变化检测误差,创新了专业知识的利用方式和使用效率;建立了面向地表覆盖遥感制图工程的质量控制体系,科学设计了面向地表覆盖工程的过程质量关键技术指标与控制流程,发展了基于多元知识的检核优化方法,保证了数据产品的高质量与全球一致性。技术创新总体思路如图1所示。

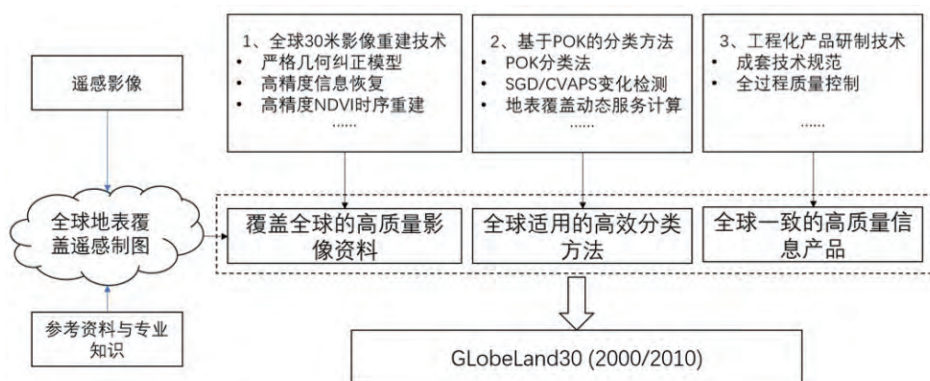


图1 技术创新总体思路

Fig.1 General technical innovation approach

1.1 全球30米影像的重建技术

发展了30 m多光谱影像高精度几何、辐射与插补等预处理关键技术,实现了对全球海量多光谱影像在时空谱维度上的统一化处理,研建了多光谱遥感图像自动化几何与辐射校正系统,为全球30 m地表覆盖产品的生产提供了高质量基础影像,保证了全球分类影像的最佳覆盖。

1) 针对国产宽视场影像(HJ-1等)存在的成像畸变重、轨道稳定性差、地球曲率影响大等因素导致的高精度几何纠正难题,在几何纠正精度误差源反演的基础上,提出了基于拉格朗日函数的分段轨道拟合阵共线方程模型,发展了消除地球曲率影响的空间直角坐标系大区域平

差算法,大幅提高了宽视场遥感影像几何纠正精度,实现了与全球TM影像的精确配准,保障了国产卫星影像资料在全球地表覆盖遥感制图中的成功应用^[28-29]。

2) 针对目前遥感影像经常出现的云污染、条带缺失、山体阴影等问题造成影像无法利用的问题,在邻近同类地物像元光谱时间变化一致性的理论假设基础上,提出了顾及空间距离和光谱相似性的缺失像元信息反演新算法—邻近相似像元插补算法(NSPI)。该算法像元重构精度高、鲁棒性强,能适应异质地表,为缺陷影像的有效再利用奠定了基础,保障了两期30m多光谱影像的全球完整覆盖^[30-32]。

3) 提出了低重访频度的高空间分辨率数据(Landsat TM\ETM+)与高重访频度的低空间分辨率数据(MODIS)的时空融合改进算法—ESTARFM。该算法综合应用了两类数据在空间、时间分辨率上的优势,通过光谱混合模型保留了地物的空间细节信息,实现了利用MODIS数据生成多时相30 m反射率和NDVI时间序列数据,为生成植被分类最佳时相和挖掘高时间频度遥感数据的物候变化信息提供了有效技术手段^[33]。

1.2 基于“像元-对象-知识”(POK)的地表覆盖POK制图法

研发了“像元-对象-知识”(POK)有机结合的全球地表覆盖遥感制图方法与模型,突破了现有分类方法难以在全球尺度下普适应用的难题,有效降低了同物异谱、异物同谱造成的分类错误。

1) 针对全球尺度下单一分类方法难以普适应用这一难题,研制了顾及光谱和纹理特征的7种地表覆盖单类型分类方法(水体、湿地、冰雪、耕地、人造地表、裸地和林灌草、苔原),以降低大范围地表覆盖类型信息提取的复杂度;研发了基于多尺度分割的对象化处理方法,在生态地理分区等多元知识和参考数据同步参照技术的支持下,实现了像元级分类结果到对象级分类的有机转换与优化处理。其充分利用了像元级单类型分类器最大化保留异质地表信息的优势,通过对象化技术实现了有效制图综合、克服了椒盐效应,经过生态地理分区和人机交互优化,最大程度地减小了同物异谱、异物同谱导致的分类错误,保证了分类提取的精度^[21, 23, 37]。

2) 研发了光谱斜率差值(SGD)、后验概率空间

变化向量分析(CVAPS)等多种变化检测算法,有效降低了“伪变化”的误提率,为开展基于变化检测的全球地表覆盖数据更新奠定了技术基础。SGD算法是利用地表覆盖光谱曲线的形状与走势特征,将变化强度计算从传统光谱空间转至光谱斜率空间,根据光谱斜率差(SGD)判断地表覆盖变化与否,用SGD链模型确定变化类型,为克服同物异谱问题带来的伪变化提供了新方法;CVAPS算法针对混合像元给变化检测带来的干扰问题,通过变化向量分析(CVA)方法处理分类后验概率,有效克服传统分类后比较中的混合像元效应导致的误差累积现象,更准确地提取地表覆盖变化区域^[38-39]。

3) 提出了地表覆盖异质异构参考资料的服务化整合模型,解决了多源参考资料因空间尺度、时间尺度和语义等差异难以一体化整合的难题。针对多元参考资料集成的困难,将时序逻辑和空间操作关系引入服务描述框架,实现了多时相、多尺度参考资料数据集成发布与服务调用,从传统静态信息发布提升到动态信息发布层级;发展了面向服务契约的服务集成方法,通过服务接口的语用适配和传输消息的多语义映射,改变了传统主要依赖人工编码与固定编排实现异构服务集成与切换的状况,实现了异构地表覆盖信息服务的自适应集成;研建了全球地表覆盖数据生产支撑系统,实现了对超过20种国内外多种参考资料的在线集成与实时调用^[40-42]。

1.3 产品研制的工程化技术体系

针对高质量的遥感影像分类仍然依赖于针对相应区域及地物类型特点的分类算法选择、流程设计和专家知识介入^[27],通过系列技术规范制定、采用知识化全过程质量控制,完成了全球30 m地表覆盖信息产品GlobeLand30的高精度研制,在空间分辨率、时间分辨率及分类精度方面均达到国际领先水平,其中空间分辨率整体提升了1~2个数量级,填补了国际空白^[22, 23, 46]。

1) 制定了30 m全球地表覆盖数据研制技术规范,保证了规模化生产中地表覆盖制图的空间尺度与精度的均一性。根据分类精度目标,制定了全球地表覆盖的数据产品、分类方法、工艺流程、质量控制等指导数据规模化研制的成套技术规范,确定了每类地表覆盖信息提取的最小图斑、错漏率等关键技术指标,有效解决了地表覆盖分类易受技术人员个体知识能力差异造成的分类

成果不统一的难题，为产出标准化的全球地表覆盖产品奠定了基础。

2) 发展了基于知识化检核的质量控制技术，实现了将地表覆盖质量控制从事后检验向全过程质量控制的根本性转变，有效支撑了地表覆盖工程化质量控制体系的建立。总结提炼了各地表覆盖类型的生态地理分布、时空关系、人文、物候等知识检核规则集；通过知识规则支持下的定位技术，实现了质量可疑区的快速定位，有效提高了人机交互的效率；设计了基于图斑的质量控制、基于尺度一致性的单类集成、基于知识规则的质量检核优化等，将传统的质量控制提升到全程多环节质量控制，形成了适应全球地表覆盖规模化制图的质量控制体系^[43-45]。

2 数据产品研制与成果共享服务

2.1 规模化产品研制

针对获取的资料及分区地表覆盖特征，按照POK分类方法技术细化研究、数据资料预处理、工具软件研发、单类型分景提取、单类型分幅集成与数据优化、精度评估、产品集成的流程进行规模化产品研制，保障提取的尺度、质量及处理的一致性，保障产品的质量达到要求。其总体技术流程如图2所示。

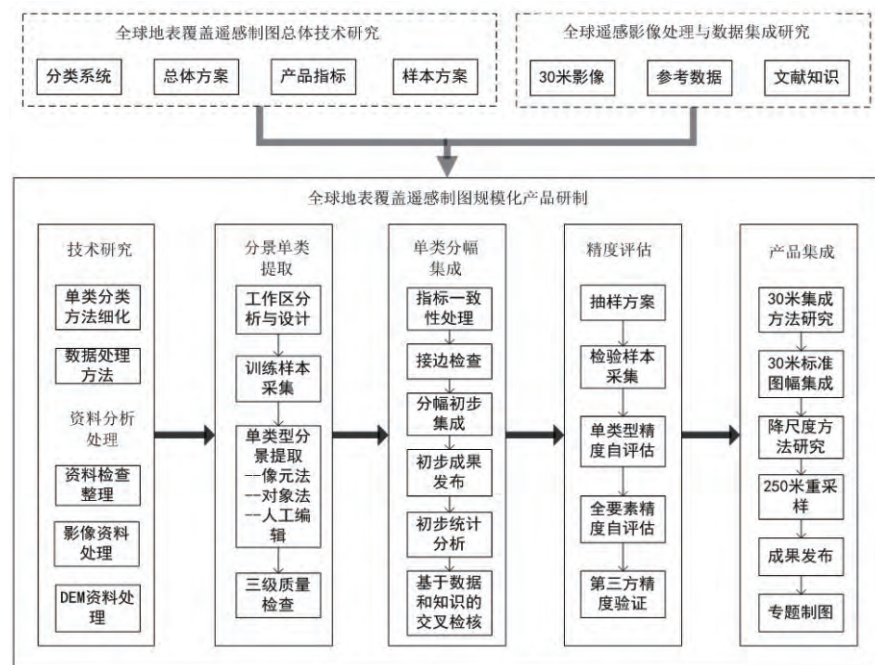


图2 全球地表覆盖遥感数据规模化产品研制总体技术流程

Fig.2 Technical workflow of large-scale global land cover data product

将全球分为亚洲、欧洲、非洲、美洲和大洋洲五个工作区，由不同的科研与生产单位相互配合，按照水体、湿地、人造地表、耕地、冰雪、裸地林灌草、苔原的顺序对10个一级类型进行提取，从简到难、分层掩膜、逐类型分景提取。

单类型分景逐层提取由承担产品研制的工程单位完成，与之配合的科研单位提供技术支持和帮助。在组织开展单类型规模化提取工作时，需要首先结合生态地理分区和参考资料，开展分区提取技术设计，根据提取难易程度、提取效率和分类精度等情况，确定生态地理分区内每景各要素类型的分类策略，选择较为适合的分景提取算法，组合形成区域的规模化提取技术流程，以尽可能提高提取的效率和成果的质量。每一地表覆盖类型在提取时，首先利用已提取类型产品数据层对30 m分辨率遥感影像进行掩膜操作，只留下不包括已提取类型范围的影像数据。

为了保障研制的全球地表覆盖遥感制图数据产品的质量，对GlobeLand30数据产品的研制进行了严格的质量控制与优化完善工作，分三个步骤进行，即过程质量控制、尺度一致性处理、顾及多元知识的检核优化。首先，主要项目组技术人员经常性地调研了解产品研制进展，及时总结在产品研制过程中出现的问题，在

借鉴测绘产品生产质量控制体系的基础上，建立起了过程质量控制措施；其次，针对分类提取中的各种不一致情况，如因对技术规定的认识不一造成数据提取的尺度不一（如海岸线处理），数据提取的详细程度不一，存在类型认识错误，各个任务区之间的影像没有接边等，组织各个生产单位相互交流和协作，开展尺度一致性处理；最后，利用顾及多元知识的检核优化模型，对基于“像元-对象”的遥感自动分类结果进行知识化检核，发现和修改错分/漏分问题，有效地实现了两期数据的检核与优化。

按照产品设计，开展两期全球地表覆盖产品集成的工作，主要完成

从单景分类数据到标准分幅的拼接与裁切，检查数据的完整性和类型代码的正确性，同时建立相关坐标信息、元数据等文件，最终形成2000和2010两个基准年的GlobeLand30数据产品，如3所示。

同济大学、中科院、农科院、林科院等单位采用空间数据二级抽样检验方法,对GlobeLand30数据的总体分类精度进行了第三方精度评价。第一级为图幅抽样,以“图幅”为抽样单元。第二级为要素抽样,以

“图幅内空间分类要素”为抽样单元。通过计算每一级抽样单元需要抽取的样本量,结合空间变异性分析来合理布设样本,以相当数量的样本来检验地表覆盖分类的准确性。全球共抽取80个图幅,超过15万个检验样本,得出GlobeLand30-2010数据的总体精度为83.50%^[47], Kappa系数0.78。其中,水体精度最高,达到92.09%,其后依次是森林、人造地表、耕地、湿地、裸地、草地、永久积雪和冰川、灌木地,如图4所示。

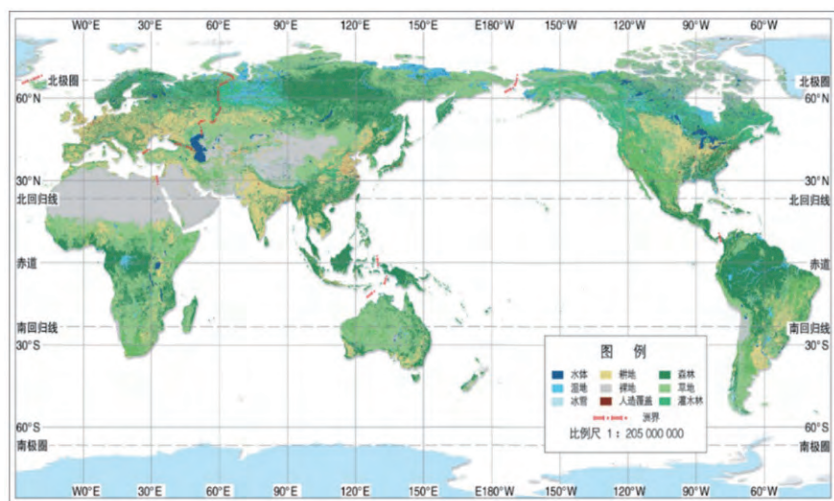


图3 GlobeLand30-2010年
Fig.3 GlobeLand30-2010

2.2 精度评价

GlobeLand30包括10个地表覆盖类型，分别是：耕地、森林、草地、灌木地、湿地、水体、苔原、人造地表、裸地、冰川和永久积雪。各类型的定义见表1。

表1 GlobeLand30的主要地表覆盖类型及定义
Tab.1 Classification type and definition of GlobeLand30

代码	类型	内容
10	耕地	用于种植农作物的土地，包括水田、灌溉旱地、雨养旱地、菜地、牧草种植地、大棚用地、以种植农作物为主间有果树及其他经济乔木的土地，以及茶园、咖啡园等灌木类经济作物种植地。
20	森林	乔木覆盖且树冠盖度超过30%的土地，包括落叶阔叶林、常绿阔叶林、落叶针叶林、常绿针叶林、混交林，以及树冠盖度为10~30%的疏林地。
30	草地	天然草本植被覆盖，且盖度大于10%的土地，包括草原、草甸、稀树草原、荒漠草原，以及城市人工草地等。
40	灌木地	灌木覆盖且灌木覆盖度高于30%的土地，包括山地灌丛、落叶和常绿灌丛，以及荒漠地区覆盖度高于10%的荒漠灌丛。
50	湿地	位于陆地和水域的交界带，有浅层积水或土壤过湿的土地，多生长有沼生或湿生植物。包括内陆沼泽、湖泊沼泽、河流洪泛湿地、森林/灌木湿地、泥炭沼泽、红树林、盐沼等。
60	水体	陆地范围液态水覆盖的区域，包括江河、湖泊、水库、坑塘等。
70	苔原	寒带环境下由地衣、苔藓、多年生耐寒草本和灌木植被覆盖的土地，包括灌丛苔原、禾本苔原、湿苔原、裸地苔原等。
80	人造地表	由人工建造活动形成的地表，包括城镇等各类居民地、工矿、交通设施等，不包括建设用地内部连片绿地和水体。
90	裸地	植被覆盖度低于10%的自然覆盖土地，包括荒漠、沙地、砾石地、裸岩、盐碱地等。
100	冰川和永久积雪	由永久积雪、冰川和冰盖覆盖的土地，包括高山地区永久积雪、冰川以及极地冰盖等。

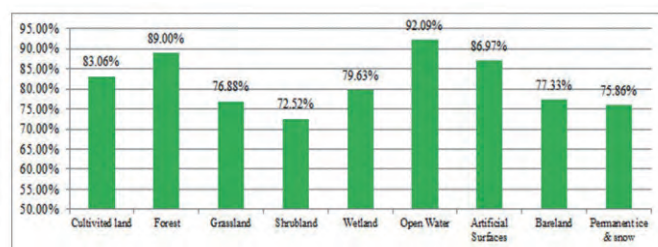


图4 GlobeLand30-2010各类型精度

一些学者在国内外学术刊物上相继发表研究论文成果,报道了在世界范围内对Globe Land30分类精度进行的评价结果(见表2)。如比利时学者分析了耕地、草地等植被覆盖,认为Globeland30具有很高的空间精度^[51];德国学者分析认为,德国区域Globeland30的人工表面、耕地以及水体的精度高,适合用于地表覆盖分析研究^[52]。有学者将Globeland30、From-GLC、Glob Cover、MODIS Collection5和MODIS Cropland的耕地数据进行了比较,认为GlobeLand30准确度要高于其他地表数据^[50]。气候专家讲Globeland30数据作为基础陆地参数代入气候模型BCC_CSM中,提高了气候模型模拟的精度^[53]。

表2 国内外学术论文对Globe Land30的精度评价^[48-53]

Tab.2 Accuracy evaluation of GlobeLand30 in domestic and foreign academic

国家	研究区域	研究类型	评价
中国	全球地表覆盖	水体	R2 = 0.92
南非	南非地表覆盖	方法研究	80.30%
西班牙	西班牙地表覆盖	方法研究	77.00%
中国	全球地表覆盖	耕地	79.60%
中国	全球地表覆盖	方法研究	90.79%
德国	德国地表覆盖	除去湿地	90.00%
德国	伊朗地表覆盖	建设用地	77.90%
中国	西伯利亚地区	对比研究	86.90%
中国	中国森林覆盖	应用对比	87.00%
乌克兰	乌克兰土地覆盖	应用对比	89.70%
英国	东非土地覆盖	应用对比	83.00%
中国	京津冀地表覆盖	应用研究	74.00%
希腊	43个区域	方法综述	78.60%

2.3 成果共享服务

2014年9月22日，出席联合国气候峰会的国家主席习近平特使、国务院副总理张高丽代表中国政府，将GlobeLand30 赠送给联合国秘书长潘基文，供联合国及国际社会使用，开创了我国地理信息高科技成果支撑联合国可持续发展议程实施的先河。

为促进30 m全球地表覆盖数据的共享与服务，推动其不同领域的广泛应用，在地表覆盖服务计算模型的支持下，研制了相应的产品服务系统，即30 m全球地表覆盖信息服务平台（www.globeland30.com），以提供应用服务技术支撑。通过该服务平台为用户提供数据浏览、下载、在线统计和验证等服务。自2014年9月底至今，已有来自中国、美国、德国、加拿大、意大利等近120多个国家、400多个国内外研究机构和570多所大学的6 000多名用户下载使用GlobeLand30数据。数据广泛用于全球环境变化研究、地球系统模式研究、可持续发展规划、灾害管理等诸多领域。

3 结束语

在国家863重点项目支持下，经过四年多的不懈努力，我国成功研制出了世界上首套两期高质量全球30米全要素地表覆盖数据产品，实现了在全球地表覆盖遥感制图这一领域从“跟踪模仿”到“引领”的跨越式发展，成为中国向国际社会提供的首个全球地理信息高科技公共产品，有力地推动了全球对地观测与地学领域的数据共享，提升了我国测绘遥感的国际影响力和在全球变化与可持续发展领域的话语权。但这是万里长征走

完的第一步，仅仅解决了“从无到有”的问题，尚需解决“从有到优”“从数据到知识”“从成果到服务”等一系列难题^[54]。

今后首先要切实做好这一重要成果的更新与完善。广大用户对全球地表覆盖数据的现势性和时序性（长时间跨度）有着强烈的需求，如联合国“2030年可持续发展议程”亟需2015基准年全球地表覆盖数据产品。为此，应加大对持续更新技术与实施机制研究，建立由中国作为主要技术支撑、多国参与的协作更新机制，研制2015版数据产品和历史回溯数据，以保持数据产品的生命力与时效性。其次，应紧紧围绕国家“走出去”战略需求和全球地表覆盖研究科学前沿，以GlobeLand30数据产品为基础，开展从数据到知识的挖掘分析。为此，需整合相关地理知识、经济、人文等多源多类型资料，系统地分析解读全球范围耕地、森林、湿地和人造覆盖等地理要素的空间格局与十年变化特征，为未来地球计划和全球可持续发展提供知识服务。此外，还应以向联合国提供全球地表覆盖信息服务与技术支持为契机，以GlobeLand30服务系统为基础，开展全球地表覆盖大数据平台的研究与建设，发展在线统计、专题分析等服务，为联合国和国内外用户提供便捷灵活的地表覆盖信息协同服务。

参考文献

[1] 何建邦, 钟耳顺. 论地理信息系统及其在地理学中的地位[J]. 地理学报, 1993, 48(1): 84-90.

[2] 陈军. 多维动态地理空间框架数据的构建[J]. 地球信息科学, 2002, 9(1): 7-13.

[3] 陈军, 李志林, 蒋捷, 等. 基础地理数据库的持续更新问题[J]. 地理信息世界, 2004, 11(5): 1-5.

[4] 陈军, 王东华, 商瑶玲, 等. 国家 1:50 000 基础地理信息数据库更新工程及实施[J]. 地理信息世界, 2012, 19(1): 8-12.

[5] 王东华, 刘建军, 赵仁亮, 等. 全国1:10 000 基础地理信息数据库整合升级总体设计[J]. 地理信息世界, 2014, 21(2): 1-5.

[6] Reid W V, Chen D, Goldfarb L, et al. 2010. Earth system science for global sustainability: grand challenges[J]. Environment and Development, 11(330): 916-917.

[7] 徐冠华, 鞠洪波, 何斌, 等. 21 世纪中国地球科学发展:

- 立足中国,走向世界[N]. 科技日报, 2010-08-01.
- [8] 徐冠华, 葛全胜, 宫鹏, 等. 全球变化和人类可持续发展: 挑战与对策[J]. 科学通报, 2013, (58)2: 100-2 106.
- [9] Zelle E, Huff A K, Carpenter A T. A user-driven approach to determining critical earth observation priorities for societal benefit[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2012, 5(6): 1594-1602.
- [10] 陈俊勇. 地理国情监测的学习札记[J]. 测绘学报, 2012, 41(5): 633-635.
- [11] Pereira H M, Ferrier S, Walters M, et al. Essential biodiversity variables[J]. Science, 2013, 339(6117): 277-278.
- [12] Chen Jun, Ian Dowman, Songnian Li, et al. Information from imagery: ISPRS scientific vision and research agenda[J]. ISPRS J. Photogram. Remote Sensing, 2016, 115 (2016) 3-21.
- [13] DeFries R S, Hansen M C, Townshend J R G, et al. Global land cover classification at 8 km spatial resolution: the use of training data derived from Landsat imagery in decision tree classifiers[J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19, 3141-3168.
- [14] DeFries R S, Townshend J R G. NDVI-derived land cover classifications at a global scale[J]. International Journal of Remote Sensing, 15, 3567-3586.
- [15] Loveland T R, Reed B C, Brown J F, et al. Development of a global land cover characteristics database and IGBP DISCover from 1 km AVHRR data[J]. International Journal of Remote Sensing, 2000, 21(6-7): 1303-1330.
- [16] Bontemps S, Defournay P, Van Bogaert E, et al. GLOBCOVER2009 Products Description and Validation Report[R]. http://due.esrin.esa.int/globcover/LandCover2009/GLOBCOVER2009_Validation_Report_2.2.pdf.
- [17] 宫鹏. 基于全球通量观测站的全球土地覆盖图精度检验[J]. 自然科学进展, 2009, 19(7): 754-759.
- [18] 陈军, 陈晋, 宫鹏, 等. 全球地表覆盖高分辨率遥感制图[J]. 地理信息世界, 2011, 16(2): 12-14.
- [19] Gong P, Wang J, Yu L, et al. Finer Resolution Observation and Monitoring of GLC: First Mapping Results With Landsat TM and ETM+ Data[J]. International Journal of Remote Sensing, 2013, 34(7): 2607-264.
- [20] Giri C, Peng B, Long J, Loveland T R. Next generation of global land cover characterization, mapping, and monitoring[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2013, 25: 30-37.
- [21] 陈军, 陈晋, 廖安平, 等. 全球30 m地表覆盖遥感制图的总体技术[J]. 测绘学报, 2014, 43(6): 551-557.
- [22] Chen J, Ban Y F, Li S N. China: Open access to Earth land-cover map[J]. Nature, 2014, 514(7523): 434.
- [23] Chen J, Chen J, Liao A P, et al. Global land cover mapping at 30 m resolution: a POK-based operational approach[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2015, 103: 7-27, <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.09.002>.
- [24] 施建成. 编者按[J]. 中国科学地球科学, 2014, 44(8): 1609-1609.
- [25] Lu D, Weng Q. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance[J]. International Journal of Remote Sensing, 2007, 28(5), 823-870.
- [26] Hansen M C, Loveland T R. A Review of large area monitoring of land cover change using Landsat data[J]. Remote Sensing of Environment, 2012, 122(9): 66-74.
- [27] Weng Q. Advances in environmental remote sensing: sensors, algorithms and applications[M]. CRC Press/Taylor and Francis: Boca Raton, 2011, FL, USA.
- [28] 唐娉, 张宏伟, 赵永超, 等. 全球30 m分辨率多光谱影像数据自动化处理的实践与思考[J]. 遥感学报, 2014, 18(2): 231-253.
- [29] 单小军, 唐娉, 胡昌苗, 等. 环境一号卫星CCD图像几何精校正技术与系统实现[J]. 遥感学报, 2014, 18(2): 254-266.
- [30] Chen J, Zhu X, Vogelmann J E, et al. A simple and effective method for filling gaps in Landsat ETM+ SLC-off images[J]. Remote Sensing of Environment, 2011, 115(4): 1053-1064.
- [31] Zhu X, Gao F, Liu D, et al. A modified neighborhood similar pixel interpolator approach for removing thick clouds in Landsat images[J]. IEEE Geoscience & Remote Sensing Letters, 2012, 9(3): 521-525.
- [32] Zhou Y, Chen J, Guo Q, et al. Restoration of information obscured by mountainous shadows through Landsat TM/ETM+ images without the use of DEM data: a new method[J]. IEEE Transactions on Geoscience and

- Remote Sensing, 2014, 52 (1):313-328.
- [33] Zhu X, Chen J, Gao F, et al. An enhanced spatial and temporal adaptive reflectance fusion model for complex heterogeneous regions[J]. Remote Sensing of Environment, 2010, 114(11):2610-2623.
- [34] Hu C, Tang P. Automatic algorithm for relative radiometric normalization of data obtained from Landsat TM and HJ-1A/B charge-coupled device sensors[J]. Journal of Applied Remote Sensing, 2012, 6(4):339-355.
- [35] Chen C, Tang P, Bian Z. Tasseled cap transformation for HJ-1A/B charge coupled device images[J]. Journal of Applied Remote Sensing, 2012, 6(1): 063575.
- [36] 胡昌苗, 张微, 冯峥, 等. Landsat TM/ETM+与HJ-1A/B CCD数据自动相对辐射处理及精度验证[J]. 遥感学报, 2014, 18(2):267-286.
- [37] Liao A, Chen L, Chen J, et al. High-resolution remote sensing mapping of global land water[J]. Science China Earth Sciences, 2014, 57(10):2305-2316.
- [38] Chen J, Chen X, Cui X, et al. Change vector analysis in posterior probability space: a new method for land cover change detection[J]. Geoscience & Remote Sensing Letters IEEE, 2011, 8(2):317-321.
- [39] Chen J, Lu M, Chen X, et al. A spectral gradient difference based approach for land cover change detection[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 2013, 85(2):1-12.
- [40] Chen J, Wu H, Li S, et al. Temporal logic and operation relations based knowledge representation for land cover change web services[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 2013, 83(9):140-150.
- [41] 韩刚, 何超英, 陈军, 等. 基于Web服务的全球地表覆盖遥感制图大数据集成与应用[J]. 测绘通报, 2014(3) 103-106.
- [42] Han G, Chen J, He C, et al. A web-based system for supporting global land cover data production[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 2015, 103:66-80. 42
- [43] 刘耀林, 赵翔, 马潇雅, 等. TM/ETM+影像大气校正产品质量评价方法研究[J]. 测绘学报, 2012, 41(4):549-555.
- [44] Zhao X, Ma X, Liu Y, et al. A knowledge-based approach for assessing the quality of Landsat water body mapping product[J]. International Symposium on Geomatics for Integrated Water Resources Management, 2012:1-5.
- [45] 张委伟, 陈军, 廖安平, 等. 顾及多元知识的GlobeLand30 检核优化模型[J]. 中国科学:地球科学, 2016, 46(9): 1149~1161.
- [46] 冉有华, 李新. 全球第一个综合高分辨率土地覆盖图-中国30 m分辨率全球土地覆盖图评述[J]. 中国科学地球科学, 2015, 45(8): 1243-1244.
- [47] 童小华, 谢欢, 孟雯, 等. 全球地表覆盖数据的验证方法对比分析研究及我国GlobeLand30精度验证[J]. 中国科学地球科学(二审), 2015
- [48] Manakos I, Chatzopoulos-Vouzoglani K, Petrou Z I, et al. Globalland30 mapping capacity of land surface water in Thessaly[J]. Greece. Land, 2014, 4(1): 1-18.
- [49] Brovelli M A, Molinari M E, Hussein E, et al. The first comprehensive accuracy assessment of GlobeLand30 at a national level: methodology and results[J]. Remote Sensing, 2015, 7(4): 4191-4212.
- [50] Miao Lu, Wenbin Wu, Li Zhang, et al. A comparative analysis of five global cropland datasets in China[J]. Science China Earth Sciences, 2016: 1-12
- [51] Rujoiu-Mare, M.-R B.-A. Mihai. mapping land cover using remote sensing data and GIS techniques: a case study of Prahova subcarpathians[J]. Procedia Environmental Sciences, 2016, 32: 244-255.
- [52] Arsanjani, J. J., A. Tayyebi, et al. GlobeLand30 as an alternative fine-scale global land cover map: Challenges, possibilities, and implications for developing countries[J]. Habitat International, 2016, 55: 25-31.
- [53] Shi, X., S. Nie, et al. Climate effects of the GlobeLand30 land cover dataset on the Beijing Climate Center climate model simulations[J]. Science China Earth Sciences, 2016: 1-11
- [54] 陈军, 陈晋, 廖安平. 全球地表覆盖遥感制图[M]. 科学出版社, 北京: 2016.