



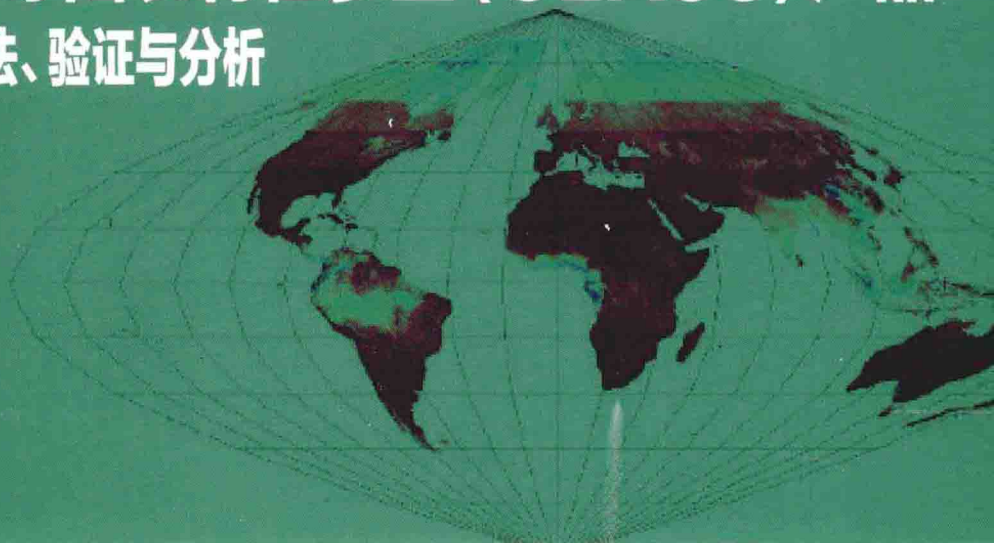
全球变化与地球系统科学系列

Series in Global Change and Earth System Science

GCESS



全球陆表特征参量 (GLASS) 产品 算法、验证与分析



梁顺林 张晓通 肖志强 程 洁 刘 强 赵 祥 著

高等教育出版社



全球变化与地球系统科学系列
Series in Global Change and Earth System Science

全球陆表特征参量 (GLASS) 产品 算法、验证与分析

梁顺林 张晓通 肖志强 程 洁 刘 强 赵 祥 著

QUANQIU LUBIAO TEZHENG CANLIANG (GLASS) CHANPIN

高等教育出版社·北京

内容简介

本书在简述全球陆表特征参量产品（简称“GLASS 产品”）生成与应用研究的基础上，分章节着重介绍了叶面积指数、地表短波反照率、宽波段发射率、短波辐射和光合有效辐射 5 种 GLASS 产品，分别从产品生成的项目背景、算法、质量控制、验证与分析等方面进行了详细的阐述，最后展望了 GLASS 产品的进一步发展。

本书是 GLASS 产品用户的必备手册，集基础介绍与应用实例为一体，可供高等院校遥感和全球变化相关专业的师生参考，也可供从事遥感科学和技术研究的科研工作者使用。

图书在版编目（CIP）数据

全球陆表特征参量（GLASS）产品：算法、验证与分析 / 梁顺林等著. — 北京：高等教育出版社，2014.7
ISBN 978-7-04-040329-9

I. ①全… II. ①梁… III. ①地表—特征—参量—遥感设备—研究 IV. ①TP7

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2014）第 121042 号

策划编辑	关 焱	责任编辑	关 焱	封面设计	张 楠	版式设计	王艳红
插图绘制	尹文军	责任校对	刘春萍	责任印制	韩 刚		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印 刷 北京汇林印务有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 13.75
字 数 250 千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landraco.com>
<http://www.landraco.com.cn>
版 次 2014年7月第1版
印 次 2014年7月第1次印刷
定 价 59.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物料号 40329-00

审图号 GS (2014) 1225 号

致 谢

本书大部分内容是在“十一五”863 项目“全球陆表特征参量产品生成与应用研究”(项目编号:2009AA122100)成果基础上编写完成的。该项目由中华人民共和国科学技术部国家遥感中心资助并管理,20 多家大学和研究机构共同承担完成。中国科学院院士、科技部前部长徐冠华教授给予了本项目极大的支持,没有他的鼓励和指导,这个项目不可能得以实施。国家遥感中心的领导,特别是李加洪总工程师和张松梅处长自始至终给予了大力的支持和帮助。此外,我们向国内外各地给予支持和帮助的专家学者们一并表示最诚挚的谢意。

我们对 SURFRAD, AERONET 和 CarbonEuropeIP 项目以及为我们提供陆地卫星测量数据的研究人员表示感谢。同时感谢 NASA 提供 MODIS 和 AVHRR 数据, NOAA 提供 GOES 数据, EUMESAT 提供 MSG SEVIRI 数据, 以及 JMA 提供 MTSAT 数据。这项工作也获得了中国国家自然科学基金(编号:41101310)的支持,在此一并致谢。

我们也感谢高等教育出版社关焱编辑以及北京师范大学马莉娅女士对本书出版所给予的支持和帮助。

特别感谢我们的同事、朋友、学生以及在项目执行和本书写作过程中给予我们鼓励和支持的家人们。

缩 略 词

AB	Angular Bin
AERONET	AErosol RObotic NETwork
ANN	Artificial Neural Network
AOD	Aerosol Optical Depth
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflectance Radiometer
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
BBE	BroadBand Emissivity
BELMANIP	BEenchmark Land Multisite ANalysis and Intercomparison of Products
BF	Baseline Fit
BRDF	Bidirectional Reflectance Distribution Function
BSA	Black-Sky-Albedo
CALIPSO	Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations
CASA	Carnegie-Ames-Stanford Approach
CCCM	CALIPSO, CERES, Clousat and MODIS
CDR	Climate Data Record
CEOS	Committee of Earth Observation Satellite
CERES	Clouds and Earth's Radiant Energy System
CIMEL	Ciencia e Investigación Médica Estudiantil Latinoamericana
CLM2	Community Land Model Version 2
CMG	Climate Modeling Grid
CNES	Centre National d'Etudes Spatiales
DOY	Day Of Year
EC-LUE	Eddy Covariance-Light Use Efficiency
ESDR	Earth Science Data Record
EUMESAT	European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites
fPAR	Fraction of absorbed PAR
FSW	Fixed Swath Width

FTIR	Fourier Transform Infrared
GCTP	General Cartographic Transformation Package
GEWEX	Global Energy and Water Exchanges Project
GLASS	Global LAnd Surface Satellite
GLO-PEM	GLObal Production Efficiency Model
GMAO	Global Modeling and Assimilation Office
GMS	Geostationary Meteorology Satellite
GOES	Geostationary Operational Environmental Satellite
GPP	Gross Primary Production
GRNNs	General Regression Neural Networks
IGBP	International Geosphere-Biosphere Program
ISCCP	International Satellite Cloud Climatology Project
ISIN	Integerized SINusoidal
ISR	Incident Shortwave Radiation
ISSTES	Iterative Spectrally Smooth Temperature and Emissivity Separation
LAI	Leaf Area Index
LSE	Land Surface Emissivity
LST	Land Surface Temperature
LTDR	Land Long-term Data Record
LUT	Look-Up Tables
MERIS	MEDium-Resolution Imaging Spectrometer
MFG	Meteosat First Generation
MISR	Multi-angle Imaging SpectroRadiometer
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MODTRAN	Moderate Resolution Transmission
MOR	Method Of Ration
MSG	Meteosat Second Generation
MTSAT	Multifunctional Transport Satellites
MVC	Maximum Value Composite approach
NAALSED	North American ASTER Land Surface Emissivity Database
NAO	North Atlantic Oscillation
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NCAR	National Center for Atmospheric Research
NDHD	Normalized Difference between Hotspot and Darkspot
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index

NEE	Net Ecosystem Exchange
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NPP	Net Primary Production
PAR	Photosynthetically Active Radiation
PARASOL	Polarization and Anisotropy of Reflectances for Atmospheric Sciences coupled with Observations from a Lidar
PNNs	Probabilistic Neural Networks
POLDER	POLarization and Directionality of the Earth's Reflectances
QC	Quality Control
RBFNs	Radial Basis Function Networks
RMS	Root Mean Square
RPV	Rahman-Pinty-Verstraete
RTMs	Radiative Transfer Models
SCE-UA	Shuffled Complex Evolution Method developed at the University of Arizona
SEVIRI	Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager
SPOT	Satellites Pour l'Observation de la Terre
SRB	Surface Radiation Budget
STF	Statistics-based Temporal Filtering
SURFRAD	SURFace RADiation
TES	Temperature and Emissivity Separation
TIGR	Thermodynamic Initial Guess Retrieval
TIR	Thermal Infrared
TOA	Top-Of-Atmosphere
UWIREMIS	University of Wisconsin Global Infrared Land Surface Emissivity Database
VALERI	VALidation of Land European Remote sensing Instruments
VNIR	Visible and Near-Infrared
WMO	World Meteorological Organisation
WSA	White-Sky-Albedo
XRD	X-Ray Diffraction

目 录

第1章 引言	1
参考文献	3
第2章 全球陆表特征参量产品生成与应用研究概况	4
2.1 引言	4
2.2 研究目标与内容	5
2.2.1 全球多源对地观测数据集成	6
2.2.2 全球陆表特征参量遥感提取方法	7
2.2.3 全球陆表特征参量产品集生成系统研发与产品生成	8
2.2.4 陆面模拟与同化系统示范	9
2.2.5 陆面产品的全球陆表变化示范	10
2.3 主要成果简介	10
2.3.1 数据收集、管理和预处理	10
2.3.2 产品生产的算法发展	14
2.3.3 产品生产、质量控制和精度验证	14
2.3.4 产品发布	16
2.3.5 产品应用示范	17
2.4 总结	20
参考文献	21
第3章 叶面积指数	22
3.1 研究背景	22
3.2 算法	24
3.2.1 广义回归神经网络	25
3.2.2 训练样本数据集	27
3.2.3 GRNNs 训练	30
3.3 产品特征与质量控制	31
3.3.1 GLASS LAI 产品特征	31
3.3.2 质量控制	32

3.4	产品验证	33
3.4.1	GLASS LAI 与其他全球 LAI 产品的比较	33
3.4.2	直接验证	42
3.5	初步分析和应用	44
3.5.1	全球 LAI 的时空变化	44
3.5.2	中国三北植树造林	45
3.6	总结	46
	参考文献	47
第4章	地表短波反照率	50
4.1	引言	50
4.2	算法	51
4.2.1	算法总体描述	51
4.2.2	ABI 算法	53
4.2.3	AB2 算法	62
4.2.4	STF 算法	69
4.3	产品特色、质量分析和精度验证	73
4.3.1	产品特色	73
4.3.2	质量控制和质量评价	74
4.3.3	精度验证	82
4.4	初步分析和应用	86
4.4.1	全球范围的统计分析	86
4.4.2	格陵兰岛夏季反照率变化趋势分析	90
4.4.3	中国东北地区森林扰动的辐射强迫分析	92
4.5	总结	97
	参考文献	99
第5章	宽波段发射率	105
5.1	研究背景	105
5.2	反演算法	106
5.2.1	确定宽波段发射率的光谱范围	107
5.2.2	基于 MODIS 窄波段反照率的宽波段发射率反演	113
5.2.3	基于 AVHRR VNIR 数据的宽波段发射率反演	126
5.3	产品特征、质量控制和验证	134
5.3.1	产品特征	134
5.3.2	质量控制	136
5.3.3	精度验证	137

5.4 初步分析	139
5.5 总结	143
参考文献	143
第6章 短波辐射	148
6.1 研究背景	148
6.2 算法	152
6.2.1 数据介绍	153
6.2.2 算法描述	154
6.3 精度验证与质量控制	159
6.3.1 产品特点	159
6.3.2 质量控制	160
6.3.3 精度验证	161
6.4 应用及分析	163
6.4.1 成图	163
6.4.2 与其他产品的比较和分析	165
6.5 总结与讨论	166
参考文献	167
第7章 光合有效辐射	171
7.1 研究背景	171
7.2 算法	174
7.2.1 数据介绍	174
7.2.2 算法描述	175
7.3 精度验证与质量控制	181
7.3.1 产品特点	181
7.3.2 质量控制	182
7.3.3 精度验证	182
7.4 应用及分析	183
7.4.1 成图及时空分布特征	183
7.4.2 中国地区总初级生产力估算	185
7.5 总结与讨论	190
参考文献	191
第8章 全球陆表特征参量产品的进一步拓展与挑战	195
8.1 引言	195
8.2 研究目标与内容	196
8.2.1 全球陆表特征参量数据产品生成	198

8.2.2 全球地表覆盖精细分类技术	198
8.2.3 全球变化海洋特征参量遥感数据产品生成技术与应用	198
8.2.4 面向全球变化研究的特征参量信息获取与处理平台	199
8.3 新的 GLASS 产品概述	199
8.4 前景与挑战	201
参考文献	203
附录 GLASS 产品分发地址	204

第 1 章

引 言

地球上的人类正面临着前所未有的环境挑战,比如清洁淡水资源的短缺、陆地生态系统和水域生态系统的退化以及日益频繁的极端天气事件等。利用地球轨道卫星的遥感科学技术是帮助学者研究这些环境问题获得数据最有效的方法之一。20 世纪 70 年代以来,已有数百颗地球观测卫星发射升空,从太空进行地表观测,这逐渐成为我们观测和研究地球的基本途径。遥感观测已经成为探索新发现的重要手段,它改变了地球学科,开拓了新的研究途径,并提高了地球系统中如飓风、龙卷风、洪水和干旱等现象的可预测性。

近几十年来,从简单的图像拍摄到高度详细的地球生物物理特性和生物化学性质的定量估算,卫星遥感技术的发展逐渐成熟。将原始卫星数据转换成描述地表性质的高级遥感产品,需要经过数据处理、反演、分析等一系列的操作程序,这些操作是绝大多数数据个体用户难以实施的,需要由具有集中处理设备的专家来进行。因此,相对于原始的卫星图像,卫星数据中心正在发布越来越多的高级卫星遥感产品。

为了更好地研究全球环境变化,一套长时间序列、高分辨率、高质量的全球地表参量数据是必不可少的。从 2009—2013 年,我们组织实施了一个国家高技术研究发展计划,即 863 计划,“十一五”重点项目“全球陆表特征参量产品生成与应用研究”。我们收集了 10 多颗卫星遥感和地面观测的海量数据,研发了一套全新的反演算法,并生成了 5 种全球陆表参量产品,简称“GLASS 产品”(Global LAnd Surface Satellite products, GLASS 产品)。表 1.1 是对 5 种 GLASS 产品基本属性的说明。

表 1.1 5 种 GLASS 产品的基本属性

产品名称	空间分辨率	时间分辨率	时间范围
叶面积指数	1 ~ 5 km, 0.05°	8 天	1981—2012
地表短波反照率	1 ~ 5 km, 0.05°	8 天	1981—2012
宽波段发射率	1 ~ 5 km, 0.05°	8 天	1981—2012
下行短波辐射	5 km	3 小时	2008—2010
下行光合有效辐射	5 km	3 小时	2008—2010

此套 GLASS 产品具有一些独特的特性。比如叶面积指数、反照率和长波反照率产品是时空连续的,并且是目前同类遥感产品中具有最长时间序列的。两种全球辐射产品的空间分辨率为 5 km、时间分辨率为 3 小时,时间范围为 2008—2010 年,是目前全球辐射产品中空间分辨率最高的。这些产品无缝记录了过去 30 年全球陆表变化,也为全球气候变化研究人员对全球陆地能量平衡、水循环和碳循环研究提供了有价值的数据和信息源。

目前, GLASS 产品正在通过北京师范大学全球变化数据处理与分析中心 (<http://glass-product.bnu.edu.cn>) 和美国马里兰大学 Global Land Cover Facility 数据中心 (<http://glcf.umd.edu>) 免费向全球用户发布。它们在资源环境的调查研究和其他各种应用中正在发挥越来越大的作用。尽管有关 GLASS 产品的文章已经在国际顶尖的遥感杂志上发表,但是集各种信息于一体的小册子对用户来说还是非常有帮助的。有关 GLASS 产品概述的文章,可参考相关资料 (Liang et al. 2013a, 2013b; Zhao et al. 2013; 梁顺林等 2013)。

本书的第 2 章简要地介绍了“全球陆表特征参量产品生成与应用研究”的研究内容和主要成果。第 3 ~ 7 章分别介绍每个 GLASS 产品的算法、验证精度和初步应用分析。第 8 章介绍 GLASS 产品的进一步发展。“十二五”863 项目“全球生态系统与表面能量平衡特征参量生成与应用”的第一课题正在把 GLASS 产品从 5 种扩展到 12 种。

本书是我们团队集体合作的结晶。章节的写作分工如下。第 1 章:梁顺林;第 2 章:赵祥和梁顺林;第 3 章:肖志强;第 4 章:刘强;第 5 章:程洁;第 6 章和第 7 章:张晓通;第 8 章:赵祥和梁顺林。赵祥统稿各章,梁顺林统稿和定稿全书。

本书的核心内容(除第 2 章和第 8 章外)已经同时出版英文版并向全球发行 (Liang et al. 2013b)。

参 考 文 献

- 梁顺林,袁文平,肖青,赵祥,马明国,曾晓东,刘素红,程晓 (2013). 全球陆表特征参量产品生成与应用研究. *中国科学院院刊*, 28, 122 – 131
- Liang, S. L., Zhao, X., Liu, S., Yuan, W., Cheng, X., Xiao, Z., Zhang, X., Liu, Q., Cheng, J., Tang, H., Qu, Y., Bo, Y., Qu, Y., Ren, H., Yu, K., & Townshend, J. (2013). A long-term Global Land Surface Satellite (GLASS) dataset for environmental studies. *International Journal of Digital Earth*, 6, 5 – 33
- Liang, S. L., Zhang, X. T., Xiao, Z. Q., Liu, Q., Cheng, J. and Zhao, X. (2013). *Global Land Surface Satellite (GLASS) Products: Algorithms, Validation and Analysis*. Springer.
- Zhao, X., Liang, S., Liu, S., Yuan, W., Xiao, Z., Liu, Q., Cheng, J., Zhang, X., Tang, H., Zhang, X., Zhou, G., Xu, S., & Yu, K. (2013). The Global Land Surface Satellite (GLASS) Remote Sensing Data Processing System and Products. *Remote Sensing*, 5, 2436 – 2450

第 2 章

全球陆表特征参量产品生成 与应用研究概况^{*}

本章概要介绍“十一五”国家高技术研究发展计划(863 计划)地球观测与导航技术领域重点项目——“全球陆表特征参量产品生成与应用研究”。主要包括研究目标、研究内容和取得的一些成果。

2.1 引 言

随着社会经济活动的高速发展,地球生态环境正在受到日益严重的污染和破坏,全球变暖、干旱、洪灾等一系列环境变化问题已经成为全球关注的焦点,利用遥感对地观测技术探索和研究这些重大的全球性环境问题是最直接有效的手段(Anderson et al. 2010; Mänd et al. 2010; Pulvirenti et al. 2011)。与此同时,不断发展的遥感技术实现了对地球高频次的信息获取,自 20 世纪 70 年代以来,全球已先后发射多颗对地观测卫星,并陆续形成了一些全球陆表参量产品,地球观测及其信息的价值变得前所未有的重要。目前,陆表特征参量参数的反演在时间和空间上不连续,研究者无法得到更高精度的地表过程定量模型。已有的遥感产品,如 MODIS、MISR、AVHRR 等均基于单一传感器、单一算法获得(Baret et al. 2007; Bothwell et al. 2002; Guide; Justice et al. 2002),受卫星发射时间的限制,单一传感器反演产品的时间序列较短,不同传感器生产的同一种参数产品一致性较差,很难形成长时间序列的数据产品。同时云、雪、气溶胶等因素的存在也影响这些产

^{*} 本章主要根据该项目任务书和项目结题报告中的有关内容编辑而成。许多专家学者参与了这两份报告的编写,在此不一一列出,一并表示衷心感谢!

品的空间连续性,从而限制了已有的遥感产品在气候研究中的分析,难以满足陆面过程模拟对输入参数的要求(Tang et al. 2013)。

在全球变化研究中,卫星观测没有发挥其全部潜力,迄今为止,针对全球陆面变化研究与陆面模型研发,国际陆地遥感领域仍缺乏长时间序列、高时空分辨率和高质量的全球陆表特征参量产品。我们迫切需要一套长时间序列、高时空分辨率和高质量的全球陆表特征参量数据集。我国的地球系统模型研发与全球变化研究已面临着重要的发展机遇,非常有必要集中力量,建立全球陆表特征参量产品生产系统,支持全球变化研究与新一代地球系统模型的研发。我国政府意识到地球系统模型研发与全球变化研究发展所面临的重要机遇,于2009年启动了“十一五”国家高技术研究发展计划(863计划)地球观测与导航技术领域重点项目——全球陆表特征参量产品生成与应用研究。2013年5月,经过评审,项目顺利通过验收。历经3年多时间攻关,项目生产了5种全球陆表卫星产品(Global LAnd Surface Satellite products, GLASS产品),包括叶面积指数、地表短波反照率、宽波段发射率、下行短波辐射、下行光合有效辐射产品。

2.2 研究目标与内容

本研究的目标包括:综合利用国内外卫星遥感数据源,发展全球长时间序列陆表特征参数产品生成的关键技术,研发全球陆表特征参量产品生成系统;

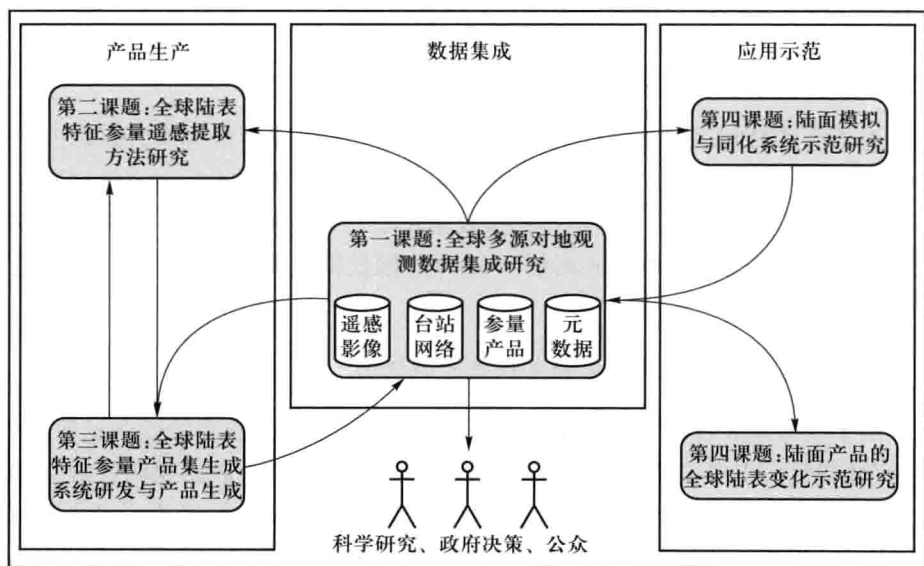


图 2.1 全球陆表特征参量产品生成与应用研究主要内容与关系

生成全球长时间序列的高精度叶面积指数、地表反照率、发射率、下行短波辐射、下行有效光合辐射等陆表特征参量遥感产品;进而改进关键陆面过程的参数化方案及同化技术,提高其模拟能力,开展全球陆表变化应用示范研究,为我国应对全球变化决策提供数据基础与技术支持。

根据以上研究目标,研究内容主要包括数据集成、算法发展、产品生产和应用示范。各研究内容之间关系如图 2.1 所示。

2.2.1 全球多源对地观测数据集成

围绕基础遥感数据库与特征产品库建设的关键问题,利用国际合作关系、网络免费资源等途径,获取全球长时间序列遥感卫星数据、遥感卫星参数数据产品、地面观测数据等数据资源,建立数据库管理系统和预处理系统,形成具有时空一致性的能作为产品生成系统输入的基本输入数据,建立数据共享与分发系统,实现数据的有效存储与管理。研究的内容包括以下几点:

(1) 全球多源对地观测数据的收集与整理

收集 1981 年以来全球 10 多种卫星原始数据(包括 AVHRR、MODIS-Terra、MODIS-Aqua、MERIS、GOES11/12、SPOT/Vegetation、MSG、MTSAT、FY-2、HJ-1A/B)、国内外已有叶面积指数、地表反照率、地表发射率、下行短波辐射、下行有效光合辐射参数的各种卫星数据产品、气象生态台站网络和各种地面观测数据,并在此基础上对所收集的数据进行整理和格式转换。

(2) 多源对地观测数据的预处理

为了保证时间序列数据有效地服务于后续陆表特征参量生产,预处理生成 10 种产品,主要解决三方面的内容:第一是重新判断处理地表反射率数据的云、雪和云影的像元标识;第二是进行地表反射率、反照率数据的云、雪去除和时空滤波的处理;第三是 MODIS 的刈幅(swath)数据投影重采样、空间网格化和合成为景(tile)。

(3) 全球陆表特征参量数据集成平台的研制

基于全球陆表特征参量数据集成标准规范,构建全球陆表特征参量数据管理与存储系统,支撑多源海量全球陆表特征参量产品数据、遥感观测数据、辅助数据的入库、管理、更新、维护。该系统中,特征参量综合数据库总数据量在 1 PB 以上,在线存储数据在 200 TB 以上,已建成的数据库硬件系统具有 200 TB 的遥感数据库管理与可伸缩性、分布式存储能力,可稳定运行、高效调度大规模