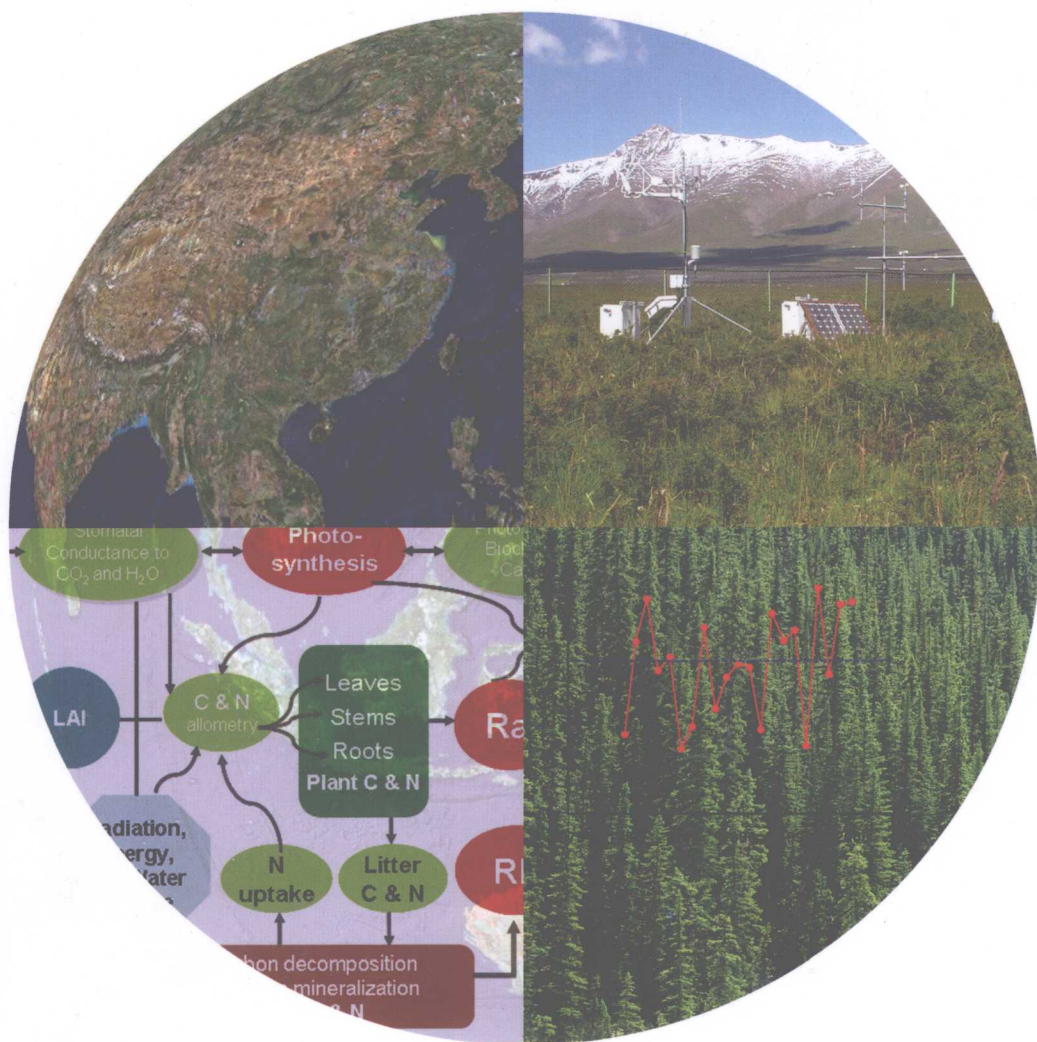


中国科学院知识创新工程重大项目
“中国陆地和近海生态系统碳收支研究”系列专著

碳循环遥感基础与应用

牛 铮 等著
王长耀



科学出版社
www.sciencep.com

中国科学院知识创新工程重大项目
“中国陆地和近海生态系统碳收支研究”系列专著

碳循环遥感基础与应用

牛 铮 王长耀 等著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系中国科学院知识创新工程重大项目“中国陆地和近海生态系统碳收支研究”成果之一。书中重点介绍了陆地生态系统碳储量与碳循环观测及过程研究中的定量遥感监测和信息提取方法,涵盖了遥感数据处理、地表参数定量遥感反演、土地覆盖遥感分类、陆地净初级生产力定量遥感、海洋初级生产力遥感估算等与碳循环遥感监测技术相关的多方面内容。

本书可供遥感、生态、环境、全球变化等领域的研究人员及高等院校师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

碳循环遥感基础与应用/牛铮等著. —北京: 科学出版社, 2008

(中国科学院知识创新工程重大项目“中国陆地和近海生态系统碳收支研究”系列专著)

ISBN 978-7-03-021141-5

I. 碳… II. 牛… III. 遥感技术-应用-陆地-生态系统-碳循环-研究-中国 IV. P9 X511

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 027547 号

责任编辑: 胡晓春 赵 峰/责任校对: 陈玉凤

责任印制: 钱玉芬/封面设计: 黄华斌

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008年3月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2008年3月第一次印刷 印张: 19

印数: 1—2 000 字数: 450 000

定价: 88.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈科印〉)

Remote Sensing Applications for Carbon Cycle

Niu Zheng, Wang Changyao *et al.*

Science Press
Beijing

中国科学院知识创新工程重大项目

“中国陆地和近海生态系统碳收支研究”(KZCX1-SW-01)

资助

序 一

众所周知,在人类社会日益关注全球环境问题的今天,大气中二氧化碳和甲烷等温室气体浓度升高诱发的全球气候变化已成为世界经济可持续发展和国际社会所面临的最为严峻的挑战。为了应对这个挑战,国际社会采取了一系列重大行动。1992年在巴西里约热内卢召开了联合国环境与发展大会,签署了《联合国气候变化框架公约》,1997年12月在日本东京通过了著名的《京都议定书》等,试图通过人类社会的共同努力,将大气二氧化碳稳定在某一个水平上,规避其可能给人类社会带来的重大负面影响。

从科学的角度看,二氧化碳和甲烷等温室气体浓度升高诱发的全球气候变化尚存在诸多不确定性。全球碳循环是其中的重要方面,它控制着大气二氧化碳浓度的变化。为此,国际地圈生物圈计划(IGBP)、国际全球环境变化人文因素计划(IHDP)、世界气候研究计划(WCRP)以及国际生物多样性计划(DIVERSITAS)联合发起了以全球碳循环为主要研究内容的全球碳计划(GCP),该计划的实施极大地推动了全球碳循环与气候变化科学的发展。

中国地域广阔,陆地和近海生态系统复杂多样,拥有自寒温带至热带的气候带和特殊的植物地理区域,为研究全球碳循环提供了良好的实验平台。同时,我国的社会经济正处在高速发展阶段,这为研究世界经济发展对全球碳循环和气候变化的影响提供了难得的社会经济背景。

我国的碳循环研究起步较晚,但起点较高、发展迅速。2001年中国科学院启动了知识创新工程重大项目“中国陆地和近海生态系统碳收支研究”,共有18个研究所(中心、植物园)和中国生态系统研究网络(CERN)的400余名科研人员参与了该项研究。通过为期5年的研究,该项目取得了一系列研究成果,主要包括:构建了ChinaFLUX研究平台、中国碳循环数据信息系统、中国陆地和近海生态系统碳循环模型和模型集成系统;初步明确了驱动生态系统碳循环过程的关键气候因子、生物学因子和人类活动的影响;初步明确了中国陆地和近海生态系统碳源汇时空格局及其对气候变化的响应,并评价了不同技术措施下中国陆地生态系统碳增汇潜力等。这些研究成果是迄今为止对中国陆地和近海生态系统碳收支较为全面的认识,对我国制定碳管理策略和参与气候公约谈判具有重要的参考价值。本系列专著是对

上述研究成果的全面总结，是国内首部关于中国陆地和近海生态系统碳收支研究的系统性学术著作。本系列专著的出版不仅展示了中国学者在该领域的最新研究成果，而且对推动我国全球变化科学、生态学、气候学、土壤学、地理科学、海洋科学和遥感科学等学科的发展具有重要意义。

本系列专著的作者们是活跃在我国碳循环与全球变化研究领域的中青年学者。我十分欣慰地看到他们正在成长，也赞赏他们那种刻苦钻研、勇于探索的科学精神。一分耕耘，一分收获。希望他们继续努力，将我国生态系统碳循环与全球变化研究推向新的高度，取得更多、更大的进展。

国家自然科学基金委员会主任

中国科学院院士

陈宜瑜

2007年6月于北京

序 二

近百年来,以全球变暖为主要标志的气候变化对世界经济、社会和生态环境等产生了重大影响,严重威胁着各国经济的可持续发展和国家安全。地球系统碳循环是连接诸如温室气体、全球变暖和土地利用等重大全球变化问题的纽带,是在更高层次上推进学科交叉和综合集成的切入点。对全球和区域碳循环的深入研究不仅可为认识和控制全球气候变化提供理论基础,而且有助于制定生态系统管理策略以适应和减缓气候变化的影响。

为了在区域和国家尺度上回答与中国陆地和近海生态系统碳循环相关的科学问题,中国科学院于2001年启动了知识创新工程重大项目“中国陆地和近海生态系统碳收支研究”,共有18个研究所(中心、植物园)(地理科学与资源研究所、大气物理研究所、海洋研究所、遥感应用研究所、沈阳应用生态研究所、植物研究所、南京土壤研究所、东北地理与农业生态研究所、南京地理与湖泊研究所、水生生物研究所、寒区旱区环境与工程研究所、亚热带农业生态研究所、生态环境研究中心、成都山地灾害与环境研究所、新疆生态与地理研究所、西北高原生物研究所、华南植物园、西双版纳热带植物园)和中国生态系统研究网络(CERN)的400余名科研人员(包括研究生和博士后)参与了该项研究。该项目的总体目标是以回答科学问题为中心,着眼于为我国社会经济的可持续发展和履行有关国际公约服务。试图通过对中国陆地和近海生态系统碳收支时空格局、碳循环过程和模型、生态系统碳收支对全球变化的响应以及碳增汇、减排技术的系统研究,阐明中国陆地和近海生态系统碳收支的系列科学问题,提高我国在国际全球变化研究领域中的学术地位,为全球变化背景下的中国社会经济的可持续发展以及生态系统的管理提供科学依据,为履行有关国际公约提供基础数据。

经过为期5年的研究工作,该项目在以下4个方面取得了重要进展:

1) 构建了ChinaFLUX研究平台、中国碳循环数据信息系统、中国陆地和近海生态系统碳循环模型和模型集成系统。ChinaFLUX的建成,有力地推动了我国生态系统碳通量观测和碳循环的研究,为我国深入开展陆地生态系统物质循环和区域气候响应等研究提供了平台。中国陆地和近海生态系统碳循环模型和模型集成系统实现了多个点尺度模型在同一平台上的模拟,为估算国家尺度的碳收支状况提供了基础。

2) 研究了驱动我国陆地和近海生态系统碳循环过程的关键气候因子、生物学因子和人类活动影响,其成果是迄今为止对不同生态系统碳循环过程较为全面的认识。通过对详尽的历史资料的收集、整理和分析,重新估算了过去 300 年间中国土地利用变化导致的陆地生态系统向大气释放的碳总量,对正确评价我国历史时期土地利用、土地覆被变化对陆地碳收支的影响具有积极意义。

3) 初步明确了中国陆地和近海生态系统碳源汇时空格局及其对气候变化的响应,并得到如下重要结果:过去 20 年中国陆地生态系统碳汇区主要分布在华北、华东、华中、东北及西南大部分地区,碳源区主要分布在西北大部分地区、内蒙古西部等地区,国家尺度上总体为碳汇;中国农田土壤具有明显的碳汇功能;林业工程实施将在未来 50 年内显著增加林木碳储量等。这些研究结果对客观认识我国生态系统的碳汇功能、制定碳管理策略和气候公约谈判策略具有重要价值。

4) 初步评价了不同技术措施下中国陆地生态系统碳增汇潜力,相关研究结果可为我国参与气候变化谈判提供参考依据。

本系列专著是研究项目组成员对上述研究成果的系统总结,包括了 8 本各自独立,但又相互呼应的学术著作。分别为:《中国陆地生态系统碳通量观测技术及时空变化特征》(于贵瑞、孙晓敏)、《中国陆地和淡水湖泊与大气间碳交换观测》(王跃思、王迎红等)、《碳循环遥感基础与应用》(牛铮、王长耀等)、《过去三百年中国土地利用变化与陆地碳收支》(葛全胜、戴君虎、何凡能等)、《中国陆地生态系统碳循环的生物地球化学过程》(韩士杰、董云社、蔡祖聪、宋长春等)、《中国近海与湖泊碳的生物地球化学》(宋金明、徐永福、胡维平、倪乐意等)、《中国陆地生态系统碳收支模型》(黄耀、周广胜、吴金水、延晓冬等)和《中国陆地生态系统碳收支与增汇对策》(陈泮勤、王效科、王礼茂等)。

出版本系列专著的主要目的是向读者系统地展示该项目所获得的最新研究成果,并对未来的发展方向和研究重点进行评述,为读者提供系统性的科学资料和理论知识,以推动我国地球系统碳循环及相关学科的发展。我们衷心感谢项目组全体成员在这 5 年中的良好协作和辛勤努力,并期望在未来的科研活动中能取得更大的突破。

“中国陆地和近海生态系统碳收支研究”项目首席科技专家

黄 耀 于贵瑞

2007 年 6 月于北京

前 言

为避免 21 世纪的地球免受气候变暖的威胁,1997 年 12 月,149 个国家和地区的代表在日本东京召开《联合国气候变化框架公约》缔约方第三次会议,通过了旨在限制发达国家温室气体排放量以抑制全球变暖的《京都议定书》。《京都议定书》规定,到 2012 年,所有发达国家排放的 6 种温室气体(CO_2 、 CH_4 、 N_2O 、氢氟碳化物、全氟化碳、 SF_6)的数量,要比 1990 年减少 5.2%,并且制定了以“共同实施、清洁开发机制和碳排放权贸易”为核心的所谓“京都机制”,以及土地利用变化与森林的碳吸收、履约制度、检测和监督等基本协议框架。我国现在已经进入世界 CO_2 总排放量大国的前列,根据有关资料估算,1995 年中国的总排放量为世界的 13.6%,仅次于美国(21.9%),位居世界第 2 位,国际社会已经开始关注中国,并要求中国采取有效的 CO_2 减排措施。今后,随着我国经济的发展, CO_2 排放总量必将还会大幅度增加,尽管《京都议定书》对包括中国在内的广大发展中国家没有规定减排义务,但是我国显然将会受到越来越大的、来自各方的外交压力。由于主要的温室气体都是碳化合物,而陆地生态系统具有固碳能力,它与大气圈层存在着碳交换,总体上可以有效维持大气中温室气体的平衡,因此陆地生态系统的碳过程研究已成为当今国际地球科学研究的前沿和热点。

遥感的优势在于频繁和持久地提供地表特征的面状信息,这对于传统的以稀疏离散点为基础的对地观测手段是一场革命性的变化。国内外的相关研究表明,在以陆地生态系统碳储量和碳循环观测及过程研究为核心的全球变化研究中,遥感正在日益成为不可或缺的核心技术手段之一。目前,全球碳储量与碳循环观测及过程研究中的定量遥感监测和信息提取方法已经开始引起各国科学家和科技政策制定者的高度重视,在相关的国际大型全球变化计划和空间对地观测计划中,均投入大量的人力、物力和财力对其中的关键技术进行深入研究,并取得一大批重要的学术成果,在推动全球变化研究、制订环境保护标准、提高人类生存质量、研究相关政策对策等方面发挥着日益重要的作用,并正在成为国际相关科研领域的热点研究方向之一。

国际上关于利用遥感技术监测碳储量和碳循环的研究可以大体划分为两个阶段。

第一阶段主要利用解译遥感图像的方法进行地表物体的识别分类,做出全球或区域性的植被分类图,土地覆盖、土地利用图等,在开展地面实验测量各种类别的碳储量或碳通量特征的基础上,获取全球或区域性的地表碳素分布图,或将各类分布面积与相应的单位面积储量、通量相乘获得总量。这一研究思路简单成熟,可以利用大量早期遥感分类工作成果,是碳储量和碳循环遥感的初期研究中较多采用的方法。但是这一研究思路也存在着较大的缺陷,它割裂了遥感与地面测量的联系,仅将遥感的应用定位为分类,而不参与碳储量和碳循环模型的构建,使得这项工作被截然地分为遥

感分类和地面实测建模两部分,互不相关,只在最后形成分布图和测算总量时才有所结合。

第二阶段则充分利用目前定量遥感日新月异的研究成果,通过遥感技术定量地提取地表生物物理化学特征,作为输入参数直接参与碳储量和碳循环模型的建立,利用遥感探测的地表各种电磁特征改造模型,从而使相关模型从一建立就具有遥感的定量基础,形成容易被推广的和从空间直接探测的遥感模型,在结合地理信息系统和空间数据库的基础上,得到碳储量或碳通量的分布特征。这一研究思路目前正在为国际上越来越多的研究者所采用,已经成为碳储量和碳循环遥感研究的热点。完成这项任务需要较强的、机理性的遥感成像和反演基础,我国在国家自然科学基金重大项目、攀登计划、“973”计划等课题中都曾经对定量遥感机理开展过立项研究,已经取得的大量成果有力地支持全球碳储量与碳循环观测及过程研究工作。

近年来,随着遥感逐步从定性化迈向定量化,尤其是随着新一代遥感技术的诞生和不断成熟,越来越多的地球表面时空多要素可以被有效探测并提取出来,其反演精度也日益提高,从而为运用遥感实时有效地监测全球碳储量和碳循环过程奠定了牢固的技术基础。例如,利用多角度遥感,可以提高对植被冠层光合有效辐射、植被净初级生产力、植被蒸散和水分平衡、冠层能量分布等的估算精度;利用雷达遥感,可以全天时、全天候地监测植被冠层物理结构特征、水分含量和地表粗糙度;利用成像光谱遥感,可以较准确地调查地表生物化学组成成分,推演植被冠层碳、氮含量和土壤有机质含量。上述遥感技术,以及相关的信息提取方法,结合高精度的遥感数据预处理技术,将会大幅度地提高地表生态系统碳储量和碳循环观测及过程研究的定量遥感作用及其精度。

2001年,中国科学院设立知识创新工程重大项目“中国陆地和近海生态系统碳收支研究”(KZCX1-SW-01)。其中,中国科学院遥感应用研究所承担了课题“中国陆地和近海生态系统定量遥感研究”(KZCX1-SW-01-02),其主要内容为研究利用遥感技术和地理信息系统(GIS)技术高精度监测大区域陆地生态系统碳储量和碳循环的理论、方法,建立遥感像元尺度和区域尺度上的遥感反演模型,在创建、整合相关数据库、模型库及GIS信息处理平台的基础上,掌握中国地表碳储量和生态系统碳循环时空分布信息的实时获取技术,促进其定量化水平。此项研究的开展,进一步推动了我国在陆地生态系统碳储量和碳循环定量遥感方面的科研创新能力和技术应用水平,使我们能够利用遥感手段,快速及时地获取国家一级或洲际水平乃至全球范围的地表碳储量信息,实现碳储量和碳循环过程研究成果由点向面的推延和扩展,形成以面状信息为基础的完整的成果表达。上述技术的成熟及其与GIS技术的合理联结,将有效提高现有研究成果的精度和付诸实施的效率,为实现我国对地区和全球碳储量和碳循环过程进行遥感实时监测奠定扎实的科学基础。

本书汇集了“中国陆地和近海生态系统定量遥感研究”课题的研究成果,是对课题成果的总结与回顾,也凝结了课题研究人员多年来从事全球变化遥感研究的研究心得。参加本书编写的人员都是该课题一线工作的核心参与人员,他们是:牛铮、王长耀、王军邦、刘勇洪、李贵才、颜春燕、丛丕福、蒋耿明、占玉林、王臣立、沈艳、李世华、

陈方、吴运超、施润和、刘正军、延昊、骆成凤、刘爱霞、齐述华、李向军、林文鹏等。同时，感谢中国科学院大气物理研究所陈泮勤研究员和黄耀研究员、地理科学与资源研究所于贵瑞研究员、资源环境科学与技术局黄铁青处长，没有他们的鼓励和帮助，本书的出版是难以想象的。

由于作者水平有限，书中错误和疏漏在所难免，敬请读者不吝赐教。

目 录

序一

序二

前言

第一章 绪论	1
第一节 全球变化与碳循环遥感观测	2
一、陆地碳观测 (TCO)	2
二、国际 CO ₂ 通量观测网络 (FLUXNET)	2
三、BigFoot	3
四、中国碳通量观测网络 (ChinaFlux)	3
五、地面观测与遥感观测间的有机融合	4
第二节 遥感在陆地生态系统碳循环中的应用	4
一、遥感技术前沿	4
二、尺度转换研究	5
三、中分辨率成像光谱仪 (MODIS) 的应用	6
第三节 陆地生态系统碳循环遥感模型	6
一、经验模型	7
二、过程模型	8
三、遥感参数模型	9
四、遥感应用的几个问题	10
第四节 陆地生态系统碳循环遥感模型中存在的 uncertainty	10
一、模型数据的 uncertainty	11
二、模型的 uncertainty	11
参考文献	12
第二章 遥感数据处理	15
第一节 MODIS 影像数据预处理研究	15
一、MODIS 影像几何纠正方法研究	16
二、MODIS 影像条带噪声去除方法研究	23
三、MODIS 影像合成算法研究和实现	30
第二节 成像光谱影像数据处理研究	36
一、成像光谱数据的特点	36
二、光谱匹配技术	37
三、光谱导数信息挖掘	39

四、成像光谱技术带来的挑战	41
五、遥感图像的特征选择	43
第三节 Hyperion 影像数据大气校正处理研究	51
一、Hyperion 高光谱数据	51
二、经验线性大气校正方法	53
三、6S 大气校正模型	55
第四节 图幅匹配方法的研究	59
一、算法思路	60
二、算法试验	61
参考文献	64
第三章 地表参数定量遥感反演	66
第一节 植被遥感模型	66
一、冠层反射率模型简介	66
二、叶片模型简介	70
第二节 遥感模型反演算法	85
一、反演中的代价函数	85
二、遥感反演的应用实例	86
第三节 叶绿素含量反演	108
一、指数提取方法	108
二、叶片水平叶绿素含量的提取	111
三、冠层水平叶绿素含量的提取	113
第四节 植被水分含量反演	120
一、含水量的定义	120
二、叶片层次含水量估算模型的建立	121
三、冠层层次含水量估算模型的建立	123
第五节 叶面积指数反演	126
一、叶面积指数的定义	126
二、叶面积指数遥感反演算法	127
三、新型遥感技术的应用	128
第六节 陆地表面温度反演	128
一、陆地表面温度反演的物理基础	129
二、陆地表面温度反演的进展	129
三、比辐射率 ϵ 的计算	132
四、反演中国陆面温度的方法	132
第七节 地表反照率	133
一、反演地表反照率的原理	134
二、计算反照率的方法进展	134
参考文献	135

第四章 土地覆盖遥感分类	139
第一节 引言.....	139
第二节 国内外土地覆盖分类系统.....	140
一、土地覆盖分类系统概述	140
二、国内外主要土地覆盖分类系统	142
三、土地覆盖遥感分类进展	146
第三节 基于 NOAA-AVHRR 时间序列数据的中国土地覆盖分类	149
一、数据源	149
二、方法	151
三、结果与评价.....	153
第四节 基于 MODIS 改进的中国土地覆盖分类系统与应用	155
一、改进的分类系统	155
二、分类系统在中国区域的制图应用	160
第五节 土地覆盖分类特征的选择和提取.....	167
一、概述	167
二、分类特征提取方法	168
三、基于 MODIS 遥感信息的分类特征选择和提取	169
四、基于 NDVI-Ts 空间的分类特征提取.....	175
第六节 土地覆盖、植被覆盖遥感分类方法研究.....	178
一、概述	178
二、分类方法原理	180
三、试验应用	186
参考文献.....	192
第五章 陆地净初级生产力定量遥感	195
第一节 基于 BEPS 模型的净生态系统生产力遥感模型.....	195
一、模型结构	195
二、东北地区植被净初级生产力估算应用	197
三、东北地区净生态系统生产力估算应用	200
四、与光能利用率模型的对比分析	202
第二节 基于 CASA 光能利用率模型的净初级生产力模型	206
一、模型构建	206
二、中国陆地净初级生产力的估算结果	210
三、中国陆地净初级生产力估算结果的比较与验证	241
参考文献.....	251
第六章 海洋初级生产力遥感	255
第一节 海洋遥感进展与展望.....	255
一、海洋卫星的现状与发展	255
二、海洋光学遥感技术	256

第二节 海洋表层参数的遥感反演·····	258
一、叶绿素反演·····	259
二、悬浮物·····	259
三、黄色物质·····	261
四、海面温度·····	262
第三节 我国黄渤海地区海洋叶绿素遥感·····	262
一、黄渤海介绍·····	262
二、遥感反演方法探讨·····	263
三、遥感反演方法中的问题及展望·····	270
第四节 中国陆架海海洋初级生产力变化分析·····	271
一、理论基础·····	271
二、模型参数与数据准备·····	278
三、海洋初级生产力验证和结果分析·····	280
参考文献·····	284

第一章 绪 论

陆地生态系统碳循环是生物和气候环境综合作用确定的过程,其中气候环境,特别是太阳辐射是地球表层上的物理、生物和化学过程的主要能源,也是生态系统过程模型、水文模拟模型和生物物理模型研究中的必要参数。碳循环过程与碳源、碳汇问题的研究已成为 20 世纪 90 年代以来欧美科技界的最大热点之一和有关全球环境政治的焦点(方精云,2002)。来自地面植被观测、大气 CO_2 和 O_2 浓度监测、卫星遥感信息的应用、生态和大气模型的模拟等方面的研究均表明,北半球中高纬度的陆地生态系统是一个巨大的碳汇,固定了大部分全球碳循环中“去向不明”的 CO_2 。但是,由于陆地生态系统的类型、性质及其对气候变化的反应特性、分布面积以及所处的气候、土壤等自然地理特点千差万别,碳汇存在较大的空间差异和年际变化;此外,不同作者所使用的研究方法、数据源以及模型的假定条件和基本参数不同,碳汇估算仍存在着相当大的不确定性。

在国际上,越来越多的学者认识到遥感在地学从传统定点观测数据到不同空间范围多尺度空间转换中的不可替代作用。同时,面对当前全球日益严峻的资源短缺、环境恶化、全球变化等问题,科学家们也早已取得共识,即以多学科交叉研究为手段,以地球表层(大气、水、岩石、生物、土壤等圈层的有机结合体)为对象,开展地球系统科学研究。而遥感能够在多源数据综合集成及地学应用方面对地球系统科学研究发挥决定性作用。目前,已可以制造可见光、红外、微波等多种传感器,卫星平台上空间分辨率高于 1m,光谱分辨率高于 3nm,重复覆盖频率短于 1 天。进入 21 世纪,在世界各国的合作下,已经基本建立起完善的全球对地观测系统,在数据获取、发布及基于遥感基础研究成果的分析应用方面,取得了令人瞩目的成就。

在全球碳储量和碳循环观测及过程研究中,对以森林、草原、作物、土壤等单一对象为主构成的陆表生态系统开展的工作较为丰富,而且多集中于地面点上观测和建模,但对大范围、由多种对象构成的复杂的陆表生态系统的相关研究的开展却远远不够,这正是需要在相关研究中引入遥感技术的至为关键的依据和极为迫切的原因。采取遥感手段,快速及时地获取区域乃至全球范围的陆表碳储量和碳循环信息,实现碳储量和碳循环研究成果由点向面的推演和扩展,形成以面状信息为基础的成果表达,准确、及时地得到监测范围内多时空尺度的碳储量和碳循环的时空分布特征。这是利用常规的地面站点观测结果所难以得到的,为阐明碳的生物地球化学循环机理开辟了新的科学视野。在碳源、汇时空格局的更精确估测中,已经进行了许多卫星遥感在陆地生态系统碳通量确定中的应用研究,卫星遥感在模型参数化、驱动模型及模型验证中的作用得到碳通量研究者的认同(Chen *et al.*, 2000)。同时,在生态系统碳通量模型及遥感应用中也存在一些问题,使大尺度的碳源、汇时空格局的模拟比较困难。

在区域尺度生态学研究,遥感具有其他传统方法不可代替的地位。遥感的优势在