

多圈层陆面过程参数化研究中遥感信息应用的进展和方向*

张佳华^{1),2)} 徐祥德¹⁾ 延晓冬²⁾ 毛飞¹⁾

¹⁾(中国气象科学研究院,北京100081)

²⁾(中国科学院东亚区域气候环境重点实验室,北京100029)

摘要

近年来遥感技术的发展为多圈层中陆面过程和边界层研究提供了有力的工具。文章分析了目前用于陆面过程参数化研究的重要遥感信息源,并评述遥感信息在陆面过程参数化研究中的基本应用和存在问题,最后,提出发展方向和展望。

关键词: 遥感信息 陆面过程参数化 能量 水分 生物地球化学循环

引言

近年来,研究地表和土壤圈等多圈层中控制地-气之间的能量、水分、动量和物质交换(C、N循环)的陆面过程模式(如:BATS, SiB2等)并将其耦合到气候模式如大气环流模型(GCM)和区域气候模型(RCM)的研究受到越来越广泛的重视^[1-2]。空间遥感技术的发展为陆面过程研究提供了强有力的工具^[3]。定量化遥感的发展使遥感数据在次网格参数化方面的应用不断完善。它们已用于分析陆面过程中的地表辐射能量收支、温度和湿度的变化;在全球碳的生物地球化学循环方面的研究也日益深入。所建立的数据信息不仅为气候模式提供了精确的陆面特征参数,也为模型模拟预测结果的验证提供了依据。全球气候观测系统(GCOS)、国际地圈生物圈计划(IGBP)、世界气候研究计划(WCRP)等卫星观测手段处于十分突出的地位。随着遥感技术的进一步发展,它在陆面过程研究中将发挥越来越重要的作用。利用多种遥感数据获取陆面参数和空间信息,对陆面过程的参数化方案进行改进已成为陆面过程研究的热点课题。本文简述遥感信息在陆面过程参数化的一些进展和应重视的方向。

1 遥感应用于多圈层陆面过程研究的主要信息源

目前全球主要的卫星系列包括气象、海洋、陆地和资源卫星等。已发射的气象卫星主要有美国的TIROS、NOAA系列卫星、GOES,前苏联的METEOR,欧洲的METEOSAT,

* 本文得到中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX1-SW-01-11)、国家自然科学基金(30370814)科技部“西北地区生态气候环境监测预测方法”和教育部留学回国基金,以及中国气象科学研究院博士后基金的资助。
2002-01-20收到,2003-05-08收到修改稿。

日本的 GMS、ADEOS, 中国的 FY-1、FY-2 等上百颗卫星, 通过极轨和静止卫星获取不同时间分辨率的大气温、压、风、云量及其分布, 水汽、大气微量气体变化^[4,5]。现有的如 GMS 等静止卫星能提供连续的全球云覆盖和温度数据, 我国 FY-2 静止气象卫星携带的多通道扫描辐射计(VISSR), 具有可见光(0.5~1.05 μm)、红外(10.5~12.5 μm)和水汽(6.2~7.6 μm)三个光谱探测波段, 能够提供地球上空白天可见光展宽云图及昼夜红外云图、中国陆、海立体云图、水汽分布图、云导风、海温、向外长波辐射、云参数(云顶温度、云高、云量)等, 可同时对地球、大气系统的现象, 快速变化的气象如台风、寒潮、暴雨等灾害性天气进行实时、连续的观测和监视。GOES 卫星的 CO₂ 通道和水汽通道的辐射资料, 大气特性层和特定层上的云导风资料用于同化系统可使数值预报在北美地区提高 0~4 天的可用预报时效等等。利用 NOAA/AVHRR 数据已经开发了全球面积覆盖(GAC)的 NOAA/AVHRR 产品^[6], 全球植被指数数据(GVI)^[7], 美国地球资源观测系统(EROS) 8 km×8 km 的 Pathfinder Data^[8], 全球 10 km×10 km 间距的土地覆盖类型图^[9], 全球 10 km×10 km 间距的地表生物物理量数据集^[10], 全球 1 km 的地表覆盖数据集^[11], 全球 0.5°~1.0°网格的地表生物物理数据集^[12]。NOAA/AVHRR 数据对于研究陆-气相互作用, 生态系统动态、水文过程、C、N 循环的意义重大。陆地资源卫星包括美国 LANDSAT, 法国的 SPOT, 加拿大的 Radarsat、中巴资源卫星 CBERS 等。在空间分辨率上, 陆地卫星 LANDSAT 从 4 波段 80 m 地面分辨率的 MSS 发展为 7 波段 30 m 地面分辨率的 TM, 而成像光谱仪在 1.2~2.4 μm 的波段域以 10 μm 的波段宽度划分成 128 个波段, 达到了 8~10 m 地面分辨率。同时成像光谱仪在取得影像信息的同时, 对影像中任意一个像元均可取得连续的光谱数据。其中, 中分辨率成像光谱仪(MODIS)是被动式成像分光辐射计, 共有 490 个探测器, 分布在 36 个光谱波段, 从 0.4 μm(可见光)到 14.4 μm(热红外)全光谱覆盖, 具有可见光 250 m 和热红外 500~1000 m 的空间分辨率, 扫描宽度 2330 km, 提供反映陆地表面状况、云边界、云特性、海洋水色、浮游植物、生物地理、生物地球化学、大气中水汽、气溶胶、地表温度、云顶温度、大气温度、臭氧和云顶高度等特征的信息。可用于对陆表、生物圈、固体地球、大气和海洋进行全球长期观测。

除了光学传感器外, 其他如微波、激光传感器也得到发展。激光雷达通过观测激光器后向散射的辐射量来测定大气成分的垂直分布, 可以进行边界层结构、风廓线、云和雾、平流层气溶胶和某些气体分子、水汽和温度水平与垂直分布的测量^[13]。合成孔径雷达(SAR)利用从卫星向旁斜方向的扇形波来发射短脉冲电波, 通过距离选通脉冲得到轨道的直角方向的一维图像。SAR 观测的主要地球物理和生物物理参数包括水文、植被冠层、土地覆盖、土壤水分等信息^[14,15], SAR 多极化、多波段、多入射角的高分辨率微波图像对于气候观测和陆面参数的反演研究具有重要意义。微波辐射计遥感原理是根据一切物质均辐射由其性质(辐射率)和其状态(温度 T)所确定的电磁波。其辐射能量 E 用下式表示:

$$E = \varepsilon B(T) = \varepsilon \cdot \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\exp(ch/\lambda KT) - 1} \quad (1)$$

式中: $B(T)$ 为普朗克函数; $h = 6.626 \times 10^{-34}$ Js, 是普朗克常数; $K = 1.3806 \times 10^{-23}$ J/K, 是波尔茨曼常数; c 是光速; λ 是观测波长。辐射率 ε 不仅与极化波、观测波长等观测条件

有关而且依存于目标的温度、组成成分(包括含水率)等介质特性和表面粗糙度等物理形态的性质有关。为此,通过观测微波辐射可以掌握其物理的温度、含水率、海上的风(依赖于粗糙度)、盐分浓度等特性。其他的主动型微波传感器如微波高度仪(TOPEX)、测雨雷达(TRMM)等;被动式的微波辐射计(SMMR, HMMR)、傅立叶光谱仪等在云、雨、大气成分的探测方面发挥越来越大的作用。目前 EOS 的 Aqua 卫星对地观测仪器包括大气红外探测器(AIRS) 2382 (Vis/NIR :4; IR :2378),先进的微波探测器(AMSU, 0.3 ~ 1.3 cm),湿度探测器(HSB, 0.16 ~ 0.20 cm),先进 EOS 微波扫描辐射计(AMSR-E, 0.34 ~ 4.35 cm),中分辨率成像光谱仪(MODIS)以及云和地球辐射能量系统(CERES)等。

2 遥感信息在多圈层陆面过程参数化应用中的现状及主要问题

遥感信息通过定标、定位、纠正和反演计算,成为反映气候和环境的定量参数和时空信息,具有覆盖全球、时空分辨率高和探测资料均一等优势,尤其在地面观测站点稀少的海洋和地理环境复杂的边远区域,气象卫星通过高分辨率、多波段遥感,可以动态、大面积地获得大气、气候和环境、生态信息,不仅大大改善资料的覆盖区,而且弥补常规地面气象台站分布不均、均一性不足和连续性差的缺点。在气候模型的陆面过程模式中,遥感信息既可以作为初始变量或边界条件,又可以用于检验模型的有效性。主要信息包括能量、水分、土壤参数、地表状况、近地面气象参数和植被参数等。

2.1 能量和水量平衡参数

多圈层相互作用中,最重要的能量信息包括地表反照率、入射太阳辐射、光合有效辐射(PAR)等信息。地表反照率是影响陆-气辐射收支的重要参数。反照率在 GCM 或 RCM 模式中常被用作输入变量,遥感信息已开展了不同分辨率的地表反照率反演研究,在利用二向性反射特征函数(BRDF)反演全球地表反照率有了很大的发展^[16-20],BRDF 定义为:

$$f(\theta_i, \varphi, \theta_r, \varphi) = \frac{dL(\theta_r, \varphi)}{dE(\theta_i, \varphi)} \quad (2)$$

其中, $dL(\theta_r, \varphi)$ 为反射方向的辐射率, $dE(\theta_i, \varphi)$ 为入射方向的辐照度, θ_r, φ 为反射方向的天顶角和方位角, θ_i, φ 为入射方向的天顶角和方位角。入射角为 z 时间的地表反照率与 BRDF 的关系为^[20]:

$$\alpha(z) = \frac{1}{\pi} \int_{2\pi} \int_{1/\pi} f(z, \theta_r, \varphi) \cos \theta_r \sin \theta_r d\theta_r d\varphi \quad (3)$$

目前 BRDF 计算模型多采用核驱动模型,包括有统计先验模型、辐射传输模型、几何光学模型和混合模型 4 类。MODIS 数据出现后,其空间分辨率和反演精度都有了很大提高^[21]。入射的太阳辐射是影响全球能量平衡和光合速度的重要参数,如果大气状况已知,则可从光学遥感的模型中加以计算,但这一变量的遥感精确反演仍存在困难,主要原因是计算大气中气体和气溶胶的贡献方面还很不确定(包括对 0.2 ~ 4.0 μm 太阳辐射的吸收和散射)^[22]。近年来,在获取气溶胶的有效半径和 Angstrom 指数方面出现了利用卫

星多通道方法来计算^[23],此外,MODIS携带蓝光通道由于其地表反照率低,气溶胶散射强,可提供将陆地上气溶胶光学厚度计算扩展到其它地表上的可能性。PAR(0.4~0.7 μm)的计算一般用入射太阳辐射加以求取,或者通过绿色植被冠层吸收辐射比(FPAR)和PAR的关系反推PAR值,直接计算方法还没有出现^[24]。净长波辐射(NLR)通过净地表的温度场和四维同化的数据(4DDA)计算向上和向下的辐射通量,然后计算NLR。

降水是陆面过程模式中计算水量平衡的重要输入变量,但因时间及区域变化大而很难精确测定。目前,主被动的微波遥感成为获取降水资料的有效办法,包括星载的降水雷达(TRMM)、星载的SAR资料和特殊微波传感器(SSM/I)的资料,利用微波的亮度温度推算降雨强度时所用的模型随降雨的时期和季节变化很大^[25,26]。国内目前也尝试利用双线偏振多普勒雷达测量降水^[27]。蒸散是影响陆面水分平衡的重要信息,现在通过地面实验和生物物理相关模型,及运用地面气象资料和遥感信息来解决地表蒸散的求算,直接的遥感反演还没有出现^[28,29]。由于模型需经多种相关计算和参数的输入,所以大尺度的计算结果并不理想。目前我国发展的多源和多层的遥感蒸散模式,在提高精度方面有了较大的进步^[30]。

2.2 土壤参数

影响多圈层相互作用的陆面水热平衡的输入变量包括土壤孔隙率、水阻、导水率特别是垂直廓线,还有地表温、湿度。地表温度是地表与大气间决定能量和物质交换最重要的环境参数,由于受大气状况、地表粗糙度和地形等影响,其精度仍然不高^[31,32]。主要计算方法包括目前开发的一系列地表温度劈窗反演的方法^[33~35],如低纬度地区的大区温度反演公式为^[33]:

$$T_5 = [T_4 + 3.33(T_4 - T_5)][(7.6 - \varepsilon_4)/6.6 - 0.26 T_5 \Delta \varepsilon] \quad (4)$$

其中, T_4 、 T_5 为NOAA-AVHRR第4、5通道的亮温。我国最新的研究可由卫星辐射测量反演陆面温度,在不需要预先给定通道的地面比辐射率的情况下,同时确定地面温度和比辐射率^[36]。对于地表湿度,可借助遥感信息如NOAA-AVHRR、GMS和微波来计算^[37~39];利用AMSU、AMSR、SSM/I等提取地表湿度的方法逐渐得到应用和发展^[40,41]。

2.3 近地面气象参数

多圈层相互作用的陆面模式输入的近地面气象参数包括云量和类型、风速,也包括表面辐射亮温、红外比辐射率。目前GCM模式还不能准确地对云进行参数化,利用卫星遥感数据可为GCM提供空间和时间尺度上更为精确的云量、云类、云顶高度/温度、云相态、云光学厚度、云中水含量等,从而改进GCM中云的参数化质量,最终提高模式的质量。风速的遥感反演包括卫星的云迹风和云导风产品,微波成像仪、多普勒雷达、激光测风雷达、风廓线仪以及GPS提供的三维风场^[4,42];表面辐射亮温、红外比辐射率主要通过NOAA-AVHRR和MODIS反演^[43~45]。

2.4 冰雪覆盖参数

冰雪覆盖是影响气候系统中多圈层相互作用的一个重要因素,其季节和年际变化对大气环流有着重要影响,利用遥感监测冰雪覆盖的分布及其动态,不仅有助于了解冰冻

圈、大气圈、水圈的相互作用,揭示冰雪覆盖对气候系统的影响作用机制,为气候系统模式研究提供地基及常规观测手段难以获取的重要变量和参数,我国在卫星遥感反演冰雪方面取得了很大的进展^[46]。卫星上的可见光/近红外成像仪可提供白天无云区高空间、时间分辨率雪盖数据。目前 MODIS 可直接提供冰雪产品^[19],SAR、SMMR 可制作大范围的积雪深度图^[47]。被动微波仪器(如 SSM/I, AMSR)能提供全天候的、全天的雪盖监测,并可用于估算大约深达 80 cm 厚的干雪的厚度。高分辨率的微波辐射计(HMMR)可以提供如积雪范围等重要参数。

2.5 地表粗糙度和地形参数

多圈层相互作用中有关地表粗糙度和地形的作用,在计算蒸散和感热通量时,需要空气动力学阻抗,而计算空气动力学阻抗则依赖于地表粗糙度(Z_0)的信息, Z_0 可粗略地解释为冠层从气流中吸收动量的效率尺度。可通过冠层的有效高度来求取,关系为:

$$Z = a(LAI/F_c) - b \quad (5)$$

其中, LAI 为叶面积指数, F_c 为冠层覆盖度, a 、 b 为系数^[48]。对动量通量来说,地形影响次网格尺度的气压阻力变化十分明显。其次如地表径流、地形、坡度等均对水量平衡产生影响,数字高程模型(DEM)以足够的垂直分辨率给出次网络的地形参数,地形对热量-水分平衡的再分配。高大地形对气流有阻碍作用,对于寒潮和热浪运动有相当大的屏蔽作用,中小地形对气温的影响包括由于坡地方位不同所引起的日照和辐射条件的差异,导致土温和气温都有明显的差异。

2.6 陆面过程的植被参数

多圈层相互作用中陆面过程的植被参数包括地表植被类型、植被季节动态、植被指数、 LAI 、植被的地表生物量和净初级生产力(NPP)等。现在 AVHRR 已有覆盖全球的遥感数据。目前,需要建立以 LANDSAT、SPOT 数据为主的数据网加强对陆面植被特征的解释能力。其他如被动式微波传感器来探测半干旱区的植被。EOS-MODIS 在植被指数和 LAI 反演方面起到重要作用^[20]。

植被季节动态(周期和季相)反映植被与气候响应的综合信息,气候条件又反映了该植被所处的纬度、海陆位置和地形条件(海拔高度)等因素,因而不同植被所处的纬度、海陆位置和地形条件等因素使不同植被类型差异明显,也引起植物种群间增长和竞争发生变异。遥感信息的高时间分辨率有利于植被季节动态、光合作用强弱的监测。目前主要通过植被指数的计算来获取植被季节生长信息^[49-51]。

对于能真实描述气候变化、C、N 等物质循环和水文过程的全球模式,必须有真实的现存植被分类图,每个网格要有土地覆盖类型对应。GCM、RCM 和数值天气预报(NWP)模式中要求的地表粗糙度、反射率、潜热和显热通量等,也依赖于地表覆盖分类。有人认为,在全球尺度上,植被的特征差异是控制水分、能量和 CO_2 通量的最重要条件。基于遥感数据的植被分类方案,也是遥感应用最典型的例子^[52]。遥感信息分类具有快速、大面积、动态的特点,但是基于地表植被反射辐射特征的组合作为分类标准,往往会产生很大误差。主要原因是目前在解决同谱异物和混合像元等问题上还有待进一步完善。其次 NOAA/AVHRR 的数据在全球尺度上,往往难以得到长时期无云的资料。其他如原来的聚类分析和统计分析方法结合人工解译仍然是大尺度分类的基本方法。随着对分类精度

的要求,新的方法如神经网络、聚类树、多元数据专家系统和计算机模拟识别技术等在不断发展。目前 MODIS 数据可更精确地对地表植被进行分类^[21]。另外, EOS 的传感器发射的用于二向性反射函数(BRDF)分析的多角度成像光谱仪(MISR),通过 BRDF 模型反演来确定地表植被的结构参数。除了普通的 GVI 数据库,一些新的植被指数已开始出现,目的是为了消除大气和土壤背景对归一化植被指数(NDVI)的影响,包括全球环境监测指数(GEMI)^[53]、土壤调整植被指数(SAVI)^[54]、修正土壤调整植被指数(MSAVI)^[55]、最优土壤调整植被指数(OSAVI)^[56]和抗大气干扰植被指数(ARVI)^[57]等。这些新的产品将有利于遥感数据的全球分类。近年来发展的陆面模式的地-气物质交换和 C、N 循环方案中依赖于对陆地的生物量和 NPP 计算。生物量和 NPP 受多种因素影响,包括气候、地形、土壤、植被和微生物特性、自然干扰和人类活动影响等多方面因素。利用遥感信息耦合植被生理/生态和生物地球化学模式已逐渐发展起来^[58-60]。

3 遥感在多圈层陆面过程参数化中的重点研究方向

3.1 遥感信息源传感器发展趋势

在遥感信息源方面,成像光谱仪和合成孔径雷达正成为发展方向。成像光谱仪可从几十甚至几百个谱段获得精细的光谱信息,结合实验室的光谱数据库可直接对地表、植物、水的性质与结构进行分析。合成孔径雷达则能穿透云雾,甚至部分植被和土壤,全天候全天时观测,并能通过多频、多极化、多入射角等手段提高对目标的识别能力。今后 5 年美国的卫星发射计划将会为预报服务每天提供 200 GB 量级的卫星资料。美国极轨业务环境卫星(NPOESS)等卫星平台搭载的观测仪器将会提供数千通道的观测数据(目前 GOES-1 只有 18 个通道)。中国的 FY-3 极轨卫星和 FY-4 静止气象卫星也将发射。同时多角度测量、测高和成像技术亦正逐步走向实用,目标探测将由二维向三维拓展。以前的单方向遥感只能获取地物一个方向的投影,缺乏同时推断一个像元的地物波谱和其三维结构,使定量遥感非常困难。而多角度对地观测通过对地物多个方向的观察,可获取地物的三维结构参数。二向性反射特征即反射不仅具有方向性且依赖于入射方向。由于地物的二向性反射分布函数载有其结构信息,从而使多角度遥感具有反演地物表面亚像元尺度上的结构参数的潜力^[16]。我国研制成功的机载多角度多光谱成像系统有多角度多光谱成像仪和数据预处理系统,专用于提取机载多角度系统获取数据中地面目标的多角度信息,进行多角度数据的开发和应用。

今后,我国将继续发展资源、气象系列卫星,以保证自主资源、气象卫星遥感数据的连续性。在确定后继星遥感器技术指标时,要综合考虑像元分辨率、辐射分辨率和成像质量。我国应加速研制合成孔径雷达、高光谱分辨率、高空间分辨率等先进遥感器,还要积极研制小型遥感卫星,加强国际合作,不断提高我国资源卫星的研制与应用水平。此外,地基遥感的发展具有广阔的前景,如:地基微波计、UHF 风廓线仪、激光雷达等;GPS 信号延迟可推测大气液态水,利用 GPS 掩星法遥感大气温度、密度、气压和电离层电子浓度廓线,地基遥感可提高常规要素观测的时间及空间密度,提高数值预报初始场的质量。

3.2 加强陆面过程的外场观测实验

陆面过程模式发展在很大程度上受到可用数据的限制,没有大量可信的数据来初始

化和测试模式,陆面过程模式是难以获得长足发展的。目前获得这些数据最好的方法是开发有效的遥感反演算法获取陆面和大气状态数据。应当加强遥感信息作为陆面过程参数化信息源的外场试验。目前许多全球性的研究计划都把遥感信息获取列为主要的研究计划,如 FIFE, HAPEX, ISLSCP 和 BOREAL 等国际研究项目都进行了这方面的研究,结果已显示遥感信息对揭示不同时间和空间尺度陆面过程的能量、水分、动量和物质的生物地球化学循环起到重要作用。可以相信,未来新一代遥感探测器的问世和定量应用遥感模型的完善在全球变化、多圈层相互作用、陆面生态过程的研究领域将发挥更重要的作用。我国应当重点加强在陆面过程的外场观测实验,以提高遥感信息反演产品的校正和验证。在地面建立遥感卫星辐射校正场,与经过校正场上空的遥感卫星进行同步测量后,将相对更准确的地面观测值与遥感卫星的观测值比对,可对星上遥感仪器实现辐射校正。

3.3 提高遥感的陆面参数化反演精度

遥感在陆面参数化的应用研究中,应考虑气候系统模式和多圈层模式对反演参数精度的要求越来越高。重点要研究地球辐射平衡以及同气候的关系,地球辐射收支探测仪已经列为我国新一代极轨气象卫星的有效载荷。而同步轨道地球辐射收支探测仪(GERBR)时间分辨率高,时间同一性好,能够快速反应昼夜天气变化状况,以及自然和生物的动态行为。它与极轨卫星上搭载的地球辐射收支探测仪相互补充和验证,从而得到完整、全面的地球辐射数据。多角度成像扫描仪(MISR)的出现对解决地表二向性反射反演全球地表反照率起到重要的作用。提高云参数的反演可使模拟计算的辐射更准确,这是由于云具有对太阳辐射的反射效应对红外辐射的保温效应,强烈影响大气的辐射收支。目前已有的全球气候模式(GCM)还不能准确地对云进行参数化,需要借助于新的遥感手段如 MODIS, 激光雷达、多普勒雷达等进行更精确地反演云量、云类、云顶高度/温度、云三维结构、云相态、云中水含量等,从而改进 GCM 中云的参数化质量。大气降水比风、温、湿等各初始场有更大的离散性,时空变异大。目前遥感卫星反演降水量的精度不超过 50%,因此,提高降雨测量的精确观测,特别是在多雨地区意义重大。在陆面物理状态中,目前陆面反照率、植被指数等参数的观测质量相对好些,主要的差距是土壤湿度和叶面积指数(LAI),两者在影响陆面与大气之间的大尺度热量、水汽交换过程,能量、动量和辐射过程方面,对区域气候模式影响十分重要。应提高地表过程中包括土壤湿度和 LAI 在内的土壤和植被参数的精度,并了解地球/大气之间的生物化学过程等关系,提高低层水汽和大陆气溶胶的遥感理论和定量反演方法。

3.4 提高资料信息的四维同化技术研究

由于近地层和地表的高度非均一性和物理意义的不一致性(如水分、能量的不平衡性),使得遥感反演的参数精度受到限制。发展四维同化技术(4DD),是指在数据时空分布的基础上,在数值模式动态运行的过程中融合新的观测数据的方法,在数学上主要借助于估计理论、控制论优化方法和误差估计理论,目前美国 NASA GSFC 的水文科学和数据同化中心(DAO)支持陆面数据同化研究,已向全球提供同化数据。四维同化技术主要包括变分(含伴随模型)、滤波和模拟退火法(Simulated annealing)等。四维伴随模式同化对于气候模式的四维同化研究,更好地利用遥感水汽资料来提高预报质量将起到重要作用。非正态误差分布的气象资料 and 不同时相、不同波段的卫星遥感数据的多源复合的

同化问题,自适应变分方法和共轭变分同化方法的利用也具有良好的发展前景。陆面数据的获取主要来源于卫星遥感、航空遥感监测、野外调查、台站观测等,这些不同来源的数据在数据标准、精度、分辨率等方面很不统一,因此需要开展多源陆面数据的同化研究^[61,62]。

3.5 加强卫星遥感资料的应用和开发

目前,国际对地观测卫星委员会(CEOS)已经和联合国粮农组织(FAO)、全球气候观测系统(GCOS)、全球海洋观测系统(GOOS)、全球陆地观测系统(GTOS)、国际科协(ICSU)、国际地圈生物圈计划(IGBP)、国际基金集团(IGFA)、政府间海洋委员会(IOC)、联合国环境计划署(UNEP)、世界气候研究计划(WCRP)和世界气象组织(WMO)形成了综合全球观测战略合作组织。由世界气候研究计划(WCRP)和国际全球能量和水分循环试验(GEWEX)联合的协调强化观测期(Coordinated Enhanced Observing Period, CEOP)试验的现有遥感数据包括从GMS、METEOSAT、GOES、POES、ADEOS-2、ENVISAT、TRMM、Aqua、Terra等卫星获取的数据资料^[63]。先前的EOS数据信息系统(EOSDIS)也包括极轨平台的运营管制、数据的处理和深加工、数据的保存、分配、信息管理、数据算法的交换等。需要提高我国在开发和利用这些数据信息的能力。

参考文献

- Dickinson R E. Land processes in climate models. *Remote Sens. Environ.*, 1995, **51**: 27 ~ 38.
- Sellers P L, Randall D A, Collatz G J, et al. A revised land surface parameterization (SiB2) for atmospheric GCMs. Part I: Model formulation. *J. Clim.*, 1996, **9**: 676 ~ 705.
- Hall F G, Townshend J R, Engman E T. Status of remote sensing algorithms for estimation of land surface state parameters. *Remote Sens. Environ.*, 1995, **51**(1): 138 ~ 156.
- 董超华, 张文建编. 气象卫星遥感反演和应用论文集. 北京: 海洋出版社, 2001. 1 ~ 541.
- Rao P K 等著. 许健民译. 气象卫星——系统、资料及其在环境中应用. 北京: 气象出版社, 1994.
- Townshend J R G (Ed.). Improved Global Data for Land Applications: A Proposal for a New High Resolution Data Set. IGBP Report 20, International Geosphere Biosphere, Stockholm, Sweden. 1992.
- Gutman G G. Global data on land surface parameters from NOAA AVHRR for use in numerical climate models. *J. Clim.*, 1994, **7**: 669 ~ 680.
- James M, Kalluri S. The pathfinder AVHRR land data set: An improved coarse resolution data set for terrestrial monitoring. *Int. J. Remote Sens.*, 1994, **15**(17): 3347 ~ 3364.
- Defries R S, Townshend J R G. NDVI-derived land cover classifications at a global scale. *Int. J. of Remote Sens.*, 1994, **15**(17): 3567 ~ 3586.
- Sellers P J, Los S O, Tucker C J, et al. A revised land surface parameterization (SiB2) for atmospheric GCMs. Part II: The generation of global fields of terrestrial biophysical parameters from satellite data. *J. Clim.*, 1996b, **9**: 706 ~ 737.
- Loveland T R, Reed B C, Brown J F, et al. Development of a global land cover characteristics database and IGBP DIS cover from 1-km AVHRR data. *Int. J. of Remote Sens.*, 2000, **21**: 1303 ~ 1330.
- Los S O, Collatz G J, Sellers P J, et al. A global 9-year biophysical landsurface dataset from NOAA AVHRR data. *J. Hydro meteorol.*, 2000, **1**: 183 ~ 199.
- 周秀骥, 陶善昌, 姚克亚著. 高等大气物理学. 北京: 气象出版社, 1991. 659 ~ 1249.
- 金亚秋著. 电磁散射和热辐射的遥感理论. 北京: 科学出版社, 1993. 46 ~ 95.
- 郭华东等著. 雷达对地观测理论与应用. 北京: 科学出版社, 2000. 1 ~ 530.

- 16 李小文,汪骏发,王锦地,等著.多角度与热红外对地遥感.北京:科学出版社,2001.1~180.
- 17 Csizsar I, Gutman G. Mapping global land surface albedo from NOAA AVHRR. *J. Geophys. Res.*, 1999, **104**: 6215 ~ 6228.
- 18 Lucht W, Strahler A H, Schaaf C B. An algorithm for the retrieval of albedo from space using semiempirical BRDF models. *IEEE T. Geosci. Rem. Sens.*, 2000, **38**: 977 ~ 998.
- 19 Strugnell N C. A global albedo data set derived from AVHRR data for use in climate simulations. *Geophys. Res. Lett.*, 2001, **28**(1): 191 ~ 194.
- 20 田国良,徐兴奎,柳钦火.用于地表能量交换的动态地表特征模式.遥感学报,2000,(4):121~128.
- 21 刘玉洁,杨忠东编著. MODIS 遥感信息处理原理与算法.北京:科学出版社,2001.144~179.
- 22 Bishop J K, Rossow W B, Dutton E G. Surface solar irradiance from the International Satellite Cloud Climatology Project 1983-1991. *J. Geophys. Res.*, 1997, **102**: 6883 ~ 6910.
- 23 Ignatov A, Nalli N. Aerosol Retrievals from Multi-Year Multi-Satellite AVHRR Pathfinder Atmosphere (PATMOS) Dataset for Correcting Remotely Sensed Sea Surface Temperatures. JTECH, 2002.
- 24 Goward S N, Huemmrich K F. Vegetation canopy PAR absorbance and the normalized difference vegetation index: An assessment using the SAIL model. *Remote Sens. Environ.*, 1992, **39**: 119 ~ 140.
- 25 Ferraro R R, Weng F Z, Grody N C, et al. An eight year (1987-1994) time series of rainfall, clouds, water vapor, snow cover, and sea ice derived from SSM/I measurement. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1996, **77**: 891 ~ 906.
- 26 Cheng Minghu, He Huizhong, Mao Dongyan, et al. Study of 1998 heavy rainfall over the Yangtze river basin using TRMM data. *Advance in Atmospheric physics*, 2001, **18**(3): 387 ~ 396.
- 27 刘黎平,葛润生,张沛源.双线偏振多普勒天气雷达遥测降水强度和液态含水量的方法和精度研究.大气科学, 2002, **26**(5): 702 ~ 710.
- 28 Choudhury B J. Global pattern of potential evaporation calculated from the Penman-Monteith equation using satellite and assimilated data. *Remote Sens. Environ.*, 1997, **61**: 64 ~ 81.
- 29 Norman J M, Kustas W P, Humes K S. A two-source approach for estimating soil and vegetation energy fluxes from observations of directional radiometric surface temperature. *Agric. For. Meteorol.*, 1995, **77**: 263 ~ 293.
- 30 张仁华,孙晓敏,朱治林,等.以微分热惯量为基础的地表蒸发遥感信息模型及在甘肃沙坡头地区的验证.中国科学 D 辑, 2002, **32**(12): 1041 ~ 1410.
- 31 Goetz S J. Multi-sensor analysis of NDVI, surface temperature and biophysical variable at a mixed grassland site. *Int. J. Remote Sensing*, 1997, **18**: 71 ~ 94.
- 32 Wan Z, Dozier J. A generalized split-window algorithm for retrieving land surface temperature from space. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 1996, **34**(4): 892 ~ 905.
- 33 Price J C. Land surface temperature measurements from the split window channels of the NOAA-7 AVHRR. *J. Geophys. Res.*, 1984, **89**: 7231 ~ 7237.
- 34 Ulivieri C M M. A split-window algorithm for estimating land surface temperature from satellites. *Advances in Space Research*, 1994, **14**: 59.
- 35 Van de Griend A A, Ans Owe M. On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces. *International J. of Remote Sensing*, 1993, **14**: 1119 ~ 1131.
- 36 汪宏七,赵高祥,王立志.陆面温度的反演算法和大气订正的影响.红外与毫米波学报,2000,**19**(1): 48 ~ 52.
- 37 Ceccato P, et al. Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data, Part 1: Theoretical approach. *Remote Sens. Environ.*, 2002, **82**: 188 ~ 197.
- 38 Sano E E, Moran M S, Huete A R, et al. C- and multiangle Ku-band SAR data for bare soil moisture estimation in agricultural areas. *Remote Sens. Environ.*, 1999, **64**: 77 ~ 90.
- 39 Lipton A E, Inc. A E R, Lexington M A, et al. Retrieval of water vapor over land surfaces from microwave measurements. The 83rd Annual Meeting, Long Beach, CA, 2003.
- 40 Laymon C A, USRA, Huntsville A L, et al. Soil moisture measurements and modeling for validating AMSR-E soil

- moisture products. Observing and Understanding the Variability of Water in Weather and Climate (Compact View). The 83rd Annual Meeting Long Beach, CA, 2003 .
- 41 Weng F, Ferraro R R, Grody N C. Effects of AMSU-A cross track asymmetry of brightness temperatures on retrieval of atmospheric and surface parameters. *Microwave Radiometry and Remote Sensing of the Earth's Surface and Atmosphere*, 1999 .
- 42 强风暴实验室. 大气遥感技术论文集. 北京:气象出版社, 1997. 1 ~ 130 .
- 43 Xu X, Liu Q, Chen J. Synchronous retrieval of land surface temperature and emissivity. *Science in China (Series D)*, 1998, **41**(6): 658 ~ 668 .
- 44 Valor E, Vicente Caselles. Mapping land surface emissivity from NDVI: Application to European, African, and South American Areas. *Remote Sens. Environ.*, 1996, **57**: 167 ~ 184 .
- 45 Wan Z, Li Z L. Physics-based algorithm for retrieving land-surface emissivity and temperature from EOS/ MODIS data. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 1997, **35**(4): 980 ~ 996 .
- 46 刘玉洁, 王丽波, 刘诚, 等. 我国气象卫星积雪监测的新进展. *卫星应用*, 1998, **6**(4) .
- 47 Kwok R, Nghiem S V, Yueh S H, et al. Retrieval of thin ice thickness from multifrequency polarimetric SAR data. *Remote Sens. Environ.*, 1995, **51**: 361 ~ 374 .
- 48 张佳华, 符淙斌, 王长耀. 遥感信息结合植物光合生理特性研究区域作物产量水分胁迫模型. *大气科学*, 2000, **24**(5): 683 ~ 693 .
- 49 张佳华, 符淙斌. 利用卫星反演的叶面积指数研究中国东部植被对东亚季风的响应. *自然科学进展*, 2002, **12**(10): 1098 ~ 1101 .
- 50 Zhang Jiahua, Fu Congbin, Yan Xiaodong. A global resonance analysis of LAI versus surface air temperature and precipitation variations. *Chinese J. of Geophysics*, 2002, **45**(5): 662 ~ 669 .
- 51 Moulin S, Kergoat L, Viovy N, et al. Global-scale assessment of vegetation phenology using NOAA/ AVHRR satellite measurements. *J. Clim.*, 1997, **10**: 1154 ~ 1170 .
- 52 Running S W, Loveland T R, Pierce L L, et al. A remote sensing based vegetation classification logic for global land cover analysis. *Remote Sens. Environ.* 1995, **51**: 39 ~ 48 .
- 53 Pinty B, Verstraete M M. GEMI: A non-linear index to monitor global vegetation from satellites. *Vegetation*, 1992, **10**(1): 15 ~ 20 .
- 54 Huete A R. A soil adjusted vegetation index(SAVI). *Remote Sens. Environ.*, 1988, **25**: 295 ~ 309 .
- 55 Qi J, Chehbouni A, Huete A R, et al. Modified soil adjusted vegetation index(MSAVI). *Remote Sens. of Environ.*, 1994, **48**: 119 ~ 126 .
- 56 Steven M D. The sensitivity of the OSAVI vegetation index to observational parameter. *Remote Sens. of Environ.*, 1998, **63**: 49 ~ 60 .
- 57 Kaufman Y J, Tanre D. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS- MODIS. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 1992, **30**(2): 231 ~ 248 .
- 58 Goetz S J, Prince S D, Small J, et al. Interannual variability of global terrestrial primary production: Results of a model driven with satellite observations. *J. Geophys. Res.*, 2000, **105**: 20077 ~ 20091 .
- 59 Woodward F I, Smith T M, Emanuel W R. A global land primary productivity and phytogeography model. *Global biogeochem. Cycles*, 1995, **9**: 471 ~ 49 .
- 60 张佳华, 王长耀, 符淙斌. CO₂ 倍增下遥感-光合作物产量响应模型的研究与应用. *遥感学报*, 2000, (4): 46 ~ 50 .
- 61 Rodell M, Houser P R, Jambor U, et al. The global land data assimilation system. Submitted to *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 2002 .
- 62 徐祥德, 许健民, 王继志, 等著. 大气遥感再分析场构造技术与原理. 北京:气象出版社, 2003 .
- 63 David Carbon. International Commitment & Co-operation: Keys to a successful CEOP. *CEOP, Newsletter*, 2003, (3): 1 ~ 2 .

THE ADVANCES AND DEVELOPMENT OF REMOTE SENSING APPLICATIONS TO LAND SURFACE PROCESS PARAMETERIZATION

Zhang Jiahua^{1),2)} Xu Xiangde¹⁾ Yan Xiaodong²⁾ Mao Fei¹⁾

¹⁾ (*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081*)

²⁾ (*Key Lab. of Regional Climate-Environment for East Asia, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*)

Abstract

Recent years, many meteorologists and climatologists pay more attention to land surface condition, which effects on the changes of heat, water and matter between land surface vegetation and climate in the condition of global climate change. On the one hand, it is widely recognized that there is a close relationship between climate and terrestrial ecosystem in global scale; the climate variations have significant impact on the vegetation distributional pattern and its growing rate and development. On the other hand, the global vegetation has a prominent feedback on climate through surface roughness length, albedo, and evapotranspiration. The development of AGCM and Regional Climate Model (RCM) plays an important role for us to understand the relationship between climate change and terrestrial ecosystems change. In these models, many key biophysical parameters are required to act as input variables for each model runs. However, over past few years' studies suggest that the spatial distribution patterns for some input biophysical parameters (e.g. LAI, canopy conductance of water vapor and CO₂ etc.) and relationship with bio-climate are obscure. These conditions affect the simulating precision to a great extent. Hence, it is essential to carry out the studies of parameters derived from spatial satellite data. At present, the development of remote sensing technology has provided a useful tool to study the land surface eco-process. In the current research, the important remote sensing information data used to study land surface process are analyzed. Then, the main applications of remote sensing information to land surface process parameterization are reviewed. Finally, the main problem and development of remote sensing information used in land surface process parameterization are discussed.

Key words: Remote sensing information Land surface process parameterization Energy
Moisture Biogeochemical cycles