

# 关于卫星遥感半干旱草原陆面过程的方法和应用研究<sup>\*</sup>

陈洪滨 吕达仁

(中国科学院大气物理研究所中层大气和全球环境探测开放实验室, 北京 100029)

**摘 要** 国家自然科学基金委重大项目 IMGRASS 第 6 课题是关于利用卫星资料来遥感探测半干旱草原陆面过程的方法及应用的研究。结合总项目对这一课题的要求和当前卫星遥感现状及发展情况, 本文概要地介绍这一课题的研究内容和一些初步的思考。

**关键词** 卫星遥感 半干旱草原 陆面过程

## 1 引言

国家自然科学基金委重大项目 IMGRASS 中的综合实验课题, 已计划在一中尺度区域内 (约  $200\text{ km} \times 200\text{ km}$ ) 布置 4~5 个基本地面测量站和一些辅助或流动观测点。当然, 地面观测将为实验区域内中尺度土壤-植被-大气相互作用的研究提供第一手最为可信极有价值的资料, 但这些有限点的观测不能直接给出整个实验区域内有关参数的空间分布信息。这需要借助于适当的数学方法来进行内插或外推, 以获得有关参数在时空上连续分布的场。即使如此, 点观测的空间代表性及数学内插或外推的可信性仍是问题的。

卫星遥感由于其空间覆盖面大的优点, 将有助于解决以上的问题。虽然目前卫星遥感反演地球物理参数的绝对精度大多仍有欠缺, 但在卫星扫描观测的图象上可以看出所反演参数在研究区域内的空间分布特征。这是基金重大项目 IMGRASS 下设“卫星遥感半干旱草原陆面过程的方法和应用研究”这一课题的主要原因。本课题另一重要任务是, 充分利用卫星和地面综合实验的同步观测资料, 验证、改进并创立卫星遥感某些参数的反演方法和反演算式。

本文主要介绍 IMGRASS 第 6 课题的具体工作内容和一些遥感原理方法, 同时简单地给出我们所要做的一些工作的初步设想。以下两节分别介绍大气参数和地面参数的卫星遥感。最后一节中, 我们作一些讨论。

## 2 大气参数的卫星遥感<sup>[1,2]</sup>

### 2.1 大气温度、气压和湿度的垂直廓线<sup>[3,4]</sup>

目前, 大气温压湿 ( $T$ 、 $p$  和  $H$ ) 廓线的反演, 主要使用 NOAA 卫星上的 TOVS

1997-07-18 收到

• 本工作得到国家自然科学基金重大项目 IMGRASS(No.49790020)的支持

探测资料。大气廓线的反演方法已从早期的纯统计方法改进为现在使用的统计-物理方法。TOVS 反演程序(软件包)虽然在一些方面需要改进,但相对来说比较成熟,已供业务反演工作使用。目前,TOVS 反演的大气  $T$ 、 $p$ 、 $H$  廓线的精度与气象无线电探空相比较还有一定的偏差,垂直分辨率也不够。但 TOVS 可给出大气温压湿在标准层上的水平分布。我们要做的工作主要是:(1) 收集 TOVS 和地面探空(准)同步的测量资料;(2) 验证分析 TOVS 反演结果,分析在综合实验区域内有无系统性的偏差;(3) 结合探空,提供覆盖实验区域和整个实验期间(也可包括前后)大气温压湿廓线资料。

## 2.2 大气风场

利用静止气象卫星(如 GMS 5)的动画云图,将云作为示踪物,则可根据云在前后一段时间内的移动情况定出云迹风。具体操作时,将云首先分成高、中、低云 3 种类型(或高低 2 类),要考虑云的发展、消亡和生成。云迹风资料在缺乏大气风场资料的地区(例如广阔大洋上)是有价值的,但在我们的综合实验区域所能提供的信息可能十分有限。

## 2.3 大气气溶胶

平流层气溶胶消光系数廓线可由 SAGE-II (或 SAGE-III) 给出<sup>[5,6]</sup>。SAGE-II 有 7 个通道,其中 4 个用于测量气溶胶,因此可以反演气溶胶的谱分布<sup>[7,8]</sup>。整层气溶胶光学厚度  $\tau_a$  可由几种卫星遥感器的测量反演得到,例如, AVHRR、Polder 和 OCTS 等。其反演方法及算式已有不少工作可以借鉴<sup>[9,10]</sup>。如果能同时获得这几种仪器的遥感资料,将它们反演  $\tau_a$  的结果相互之间以及与地面光学遥感做一些比对分析,这是很有意义的。

要指出的是,以前的工作绝大多数是在海面上进行的,反演误差在 100% 左右。对于草原陆面上空气溶胶的反演仍是一项极具挑战性的工作。由于陆面的反射率(谱)较高且相对变化大的特点,发展同时的地面反射率-大气气溶胶参数的综合方法是最有前途的一个方向。

我们还将试图研究大气气溶胶对其它参数遥感反演的影响(主要是对地面参数),建立一些至少在实验区内有效的订正算式<sup>[11]</sup>。

## 2.4 气体成分

水汽: 这是一个重要的气象水文参数。水汽垂直廓线由 TOVS 反演给出。GMS 5 的水汽通道给出 400 hPa 上的水汽分布。在洋面上用微波辐射计(如 SSM/I)可以反演得到水汽垂直积分总量(即大气可降水量)。但在陆地上,由于其高比辐射率,使得热红外和微波被动遥感近地层水汽十分困难,而水汽正是主要集中在近地大气层中。近几年来,有人通过低轨卫星试验(LOE)接受来自高轨道的 GPS 卫星的信号,来反演较高层的大气水汽廓线,其可行性已被充分证明<sup>[12]</sup>。

臭氧 ( $O_3$ ):  $O_3$  是很多人关心的量。遥测  $O_3$  分布及其变化的卫星仪器很多<sup>[13]</sup>。SBUV/2 不仅给出  $O_3$  的总量而且反演垂直分布廓线<sup>[14]</sup>。SAGE-II 给出平流层(通常是 10~60 km)  $O_3$  垂直廓线<sup>[15]</sup>。TOVS 用 11  $\mu m$  和 9.6  $\mu m$  两红外通道的亮温来确定  $O_3$  总量。TOMS 则使用紫外段的几对波长(312.5、317.5、331.2、339.8、360.0 和 380.0 nm) 根据谱差分吸收法来推算  $O_3$  总量<sup>[16]</sup>。这几种卫星传感器都可给出  $O_3$  资料,但我

们要利用地基观测,做一些比对验证工作。

$\text{NO}_2$ : 极大值处在  $\text{O}_3$  层之上的  $\text{NO}_2$ , 其垂直分布廓线由 SAGE-II 测量反演给出。

高层大气的其它一些微量成分(例如  $\text{CH}_4$ ,  $\text{ClO}$  等)也有卫星遥感器监测(如 UARS, LIMS 等)。

## 2.5 大气层顶辐射通量<sup>[17,18]</sup>

主要将从 ERBE 测量中获得大气层顶的长短波向上和向下的通量。AVHRR、Polder 和 OCTS 等窄波段辐射测量,通过一定的处理也可转化成宽谱辐射通量。AVHRR 提供的 OLR ( $10.5\sim 12.5\ \mu\text{m}$  段向外辐射)资料有许多应用。

## 2.6 云和降水

云量、云高: 主要从 GMS 云图上获取,还考虑使用风云 2 号云图产品。红外和可见光云图的综合分析可以分出高中低类型的云,红外辐射亮温的高低推断云高。AVHRR、SPOT 卫星、Polder 图象也直接给出云量云高的产品<sup>[19]</sup>。多观测角度的 Polder 图象可能产生立体云图,但需要费用极高的软硬件处理技术。

云顶反射率和比辐射率<sup>[20,21]</sup>: 这是大气环流模式和气候模式中辐射处理时需要的参数,可通过 AVHRR、OCTS 及 Polder 测量来获得。

云中含水量: 在海洋上云中液态含水量(LWC)可用微波辐射计 SSM/I 等来遥感<sup>[22]</sup>,也有人用红外和微波结合的方法同时估测云中冰水和液水含量<sup>[23]</sup>。在高比辐射率且其变化很大的陆地上,微波遥感云含水量也很难实现。有人用静止卫星(如 GMS)云图来大致地估计 LWC。

水云云滴有效半径: 这是云辐射参数化时的一个重要参数。一些工作已表明用 AVHRR 反演云滴有效半径及云光学厚度的可能性<sup>[24]</sup>。采用太阳近红外波段的两个波长,一波长水吸收弱另一波长水吸收较强,从卫星上测得的来自云的两波长反射辐射则可推出云光学厚度和云滴有效半径。

卷云: 卷云影响着地-气长短波辐射收支,也影响着卫星对地观测遥感。有关卷云参数的遥感相对来说更为困难,这是目前大气辐射和遥感界攻关的领域<sup>[25]</sup>。

降水: 瞬时降水强度遥感目前最为有效的遥感手段是微波主被动遥感<sup>[26,27]</sup>。星载降水雷达(TRMM 上的)届时观测不到我们实验区,星载 SAR 资料也难以做降水遥感的实用工作。我们期望用 SSM/I 资料根据散射方法来估测降水。所谓的散射方法,即利用微波亮温随降水层上冰晶层的增厚而下降的关系以及地面降水强度与冰层厚度之间的关系来估计降水强度的方法。从 GMS 云图也可估测降水<sup>[28,29]</sup>,至少可以给出降水区域分布。如何提高微波、可见光和红外、被动、遥感降水强度的精度是本课题的一个重要工作。月平均降水量也是很有用的资料,SSM/I 直接给出这一产品<sup>[30]</sup>。我们要做一些地面/卫星测量的比对分析研究。

## 3 地面参数的遥感<sup>[31,32]</sup>

### 3.1 地表温度 ( $T_s$ )<sup>[33,34]</sup>

实验区域的  $T_s$  平面分布图可从多种卫星测量中得到,例如 TM、TOVS、AVHRR

和 GMS 等。由于地表不均匀性、地形作用、大气参数的不确定性及测量误差等因素的影响, 地表温度的遥感精度仍需下大力气提高。我们将协同有关项目, 在 IMGRASS 实验区域内及邻近地区, 选择至少三个可分别代表高中低反射率的地面 (例如沙漠、典型草原、水体), 进行一些地表和大气的直接测量。首先验证分析现有  $T_s$  反演方法的精度, 进而发展自己的反演方法及相应的算式, 以期在陆地地表温度遥感方面获得突破。

### 3.2 土壤湿度 (SMC) [27]

微波长波段可以穿透地表一定深度 (包括植被层), 因此用微波遥感有一定的优越性。我们将考虑用微波辐射计甚至 SAR 资料来估测 SMC。

### 3.3 植被指数和地表生物量 [35,36]

从 AVHRR、AVNIR、SPOT 及 TM 图象, 都可给出区域内的植被指数 (例如 NDVI) 分布情况。我们将利用同步的卫星/地面观测资料, 进一步研究中等复杂地面半干旱草原的 NDVI 遥感方法, 研究地表不均匀性和大气因子不确定性等因素对 NDVI 遥感的影响。

### 3.4 植被分类/地表分类

从 Polder、TM、AVNIR、AVHRR 甚至 SAR 的观测资料反演得到, 要与地面调查比对。

### 3.5 地面辐射收支 [37~39]

如果大气状况已知 (晴天、云况等), 则从卫星测量可推得地表太阳总辐射。如果地面反照率  $\alpha_s$  通过遥感确定了的话, 那么就可计算得到地面太阳净辐射。如果地面温度  $T_s$  和比辐射率  $\varepsilon_s$  已知 (例如通过遥感手段), 则不难算出地面向上的长波辐射。近地面大气向下的长波辐射通量由大气温湿廓线和云 (主要是近地面层的) 等因素决定。这样, 地面长波辐射通量的卫星遥感实际上归结到  $T_s$  和  $\varepsilon_s$  以及近地层大气参数的遥感。当然, 直接从一些窄谱测量 (例如红外窗区) 也可估计总辐射通量 (例总长波向上通量)。

### 3.6 地表反射率 $R_s$ 、反照率 $\alpha_s$ 和比辐射率 $\varepsilon_s$

这些参数的确定与地面其它参数 (例如 NDVI、 $T_s$  和辐射通量) 的遥感是密不可分的。Polder、AVHRR、SPOT 图象、AVNIR 及 TM 图象中都有  $R_s$ 、 $\alpha_s$  或  $\varepsilon_s$  的信息, 尤其是 Polder 的双极化双向反射率的测量, 对于植被的遥感分类有极大帮助。本课题将做好 Polder 资料的验证和应用工作。在综合实验期间, 我们将充分重视地表反射率、反照率和比辐射率的地面实测研究工作。

### 3.7 地表感热 (SH) 和潜热 (LH)

海洋面上的感热和潜热遥感已有不少工作。在陆地上这方面的工作国内外都有开展, 但参考文献不多见。陆地上感热和潜热卫星遥感多是建立在一些经验关系之上, 其直接遥感目前似乎还没有可能性。这是需要进一步研究的。

## 4 讨论

以上我们比较具体地列出了 IMGRASS 第 6 课题的研究内容。在研究经费和其他一些条件的限制下, 是不可能面面俱到的, 即不可能对每一参数的遥感工作都进行深入

细致的研究,去发展新方法新算式。另一方面,好在所列的工作内容绝大部分在国内已经开展,可以获得有关卫星资料,向 IMGRASS 总项目尤其是中尺度大气-植被-土壤相互作用模式研究提供许多参数的遥感资料。

我们将充分地与有关单位有关项目团结合作,在 3~5 个遥感内容方面取得突破性进展或做出创新性的工作。例如,降水量的卫星遥感方面,发展多传感器多通道的综合反演方法;地面温度和比辐射率的遥测方面,首先精心设计和做好地面的测量工作,然后充分利用地面及卫星同步观测结果,并考虑大气订正问题,从而建立新的遥感反演算式。

**致谢** 与张仁华研究员和徐希儒教授进行了有益的讨论,陈英女士帮助打印初稿。在此向他们表示衷心的感谢。

### 参 考 文 献

- 1 P.R. Rao 等编, 1994, 气象卫星-系统、资料及其在环境中的应用, 许建民等译, 北京: 气象出版社。
- 2 国家卫星气象中心编, 1994, 美国气象卫星及其应用: 现状和发展。
- 3 Smith, W.L. et al., 1979, The TIROS-N operational vertical sounder, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **24**, 128~143.
- 4 李俊, 1995, 大气红外遥感及其反演问题研究, 中国科学院大气物理研究所博士论文。
- 5 McCormick, M.P. and R.E. Veiga, 1992, SAGE-II measurement of early Pinatubo aerosols, *Geophys. Res. Lett.*, **19**, 155~158.
- 6 许丽生、陈洪滨等, 1994, 平流层气溶胶和臭氧的卫星遥感, 大自然探索, **13**, 56.
- 7 Thomason, L.W., 1991, A diagnostic stratospheric aerosol size distribution inferred from SAGE-II measurements, *J. Geophys. Res.*, **96**, 22501~22508.
- 8 Wang, P.-H. et al., 1989, *J. Geophys. Res.*, **94**, 8435~8446.
- 9 Stowe et al., 1992, Monitoring the Mt. Pinatubo aerosol layer with NOAA / 11 AVHRR data, *Geophys. Res. Lett.*, **19**, 159~162.
- 10 Holben et al., 1992, Aerosol retrieval over land from AVHRR data, Application for atmospheric correction, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, **30**, 212~222.
- 11 Tanre et al., 1992, Atmospheric correction algorithm for NOAA-AVHRR products: theory and application, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, **30**, 231~240.
- 12 Businger et al., 1996, The promise of GPS in atmospheric monitoring, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 5~18.
- 13 Stolarski et al., 1975, Total ozone trends deduced from Nimbus 7 TOMS data, *Geophys. Res. Lett.*, **18**, 1015.
- 14 Heath, D.F. et al., 1975, *Opt. Eng.*, **14**, 323~331.
- 15 McCormick et al., 1989, An overview of SAGE I and II ozone measurements, *Planet. Space Sci.*, **37**, 1567~1586.
- 16 Klenk et al., 1982, Total ozone determination from the BUV experiment, *J. Appl. Meteor.*, **21**, 1672~1684.
- 17 Barkstrom, B.R. and G.L. Smith, 1986, The ERBE: science and implementation, *Rev. Geophys.*, **24**, 379~390.
- 18 Li, Z.Q. and H.G. Leighton: Narrowband to broadband conversion with spatially autocorrelated reflectance measurements, *J. Appl. Meteor.*, **31**, 421~432.
- 19 Sakellariou, N. and H.G. Leighton, 1988, Identification of cloud-free pixels in inhomogeneous surfaces from AVHRR radiances, *J. Geophys. Res.*, **93**, 5287~5293.
- 20 Key, J., 1989, Cloud cover analysis with arctic AVHRR data, 1. *J. Geophys. Res.*, **94**, 18521~18535.
- 21 Rossow, W.B. and A.B. Lacis, 1990, Global, seasonal cloud variations from satellite radiance measurements. Part II: cloud properties and radiative effects, *J. Climate*, **3**, 1204~1253.
- 22 Alishouse et al., 1990, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, GE-18, 811~816.
- 23 Taylor, J.P. and S.J. English, 1995, The retrieval cloud radiative and microphysical properties using combined near-infrared and microwave radiometry, *Quart. J. Roy Meteor. Soc.*, **121**, 1083~1112.

- 24 Nakajima, T.Y. and T. Nakajima, 1995, Wide-area determination of cloud microphysical properties from NOAA AVHRR measurements for FIRE and ASTEX regions, *J. Atmos. Sci.*, **52**, 4043~4059.
- 25 Xu, L.S. and J.Y. Zhang, 1995, Simulation study on remote sensing of optical and microwave properties of cirrus clouds, *Appl. Opt.*, **34**, 2724~2736.
- 26 陈洪滨, 1995, 空间微波被动遥感降水, 1995 中国青年学者科学学术讨论会文集.
- 27 Ulaby et al., 1996, *Microwave Remote Sensing: Active and Passive*, Vol. I-III, Addison-Wesley Publ. Company, Massachusetts.
- 28 Alder et al., 1993, Estimation of monthly rainfall over Japan and surrounding waters from a combination of low-orbit microwave and geosynchronous IR data, *J. Appl. Meteor.*, **32**, 335~356.
- 29 李俊、王路易、周凤仙, 1993, Convective and stratiform cloud rainfall estimation from geostationary satellite data, *Advances in Atmospheric Science*, **10**(4), 475~480.
- 30 Ferraro et al., 1996, An eight year (1987~1994) time series of rainfall, clouds, water vapor, snow cover, and sea ice derived from SSM / I measurements, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 891~906.
- 31 张仁华, 1996, 实验遥感模型及地面基础, 北京: 科学出版社.
- 32 Price, J.C., 1989, Quantitative aspects of remote sensing in the thermal IR, in: *Theory and Applications of Optical Remote Sensing*, 578~603.
- 33 Price, J.C., 1984, Land surface temperature measurements from the split window channels of NOAA / AVHRR, *J. Geophys. Res.*, **89**, 7231~7327.
- 34 Becker, F., 1987, The impact of spectral emissivity on the measurement of land surface temperature from satellite, *Int. J. Remote Sens.*, **8**, 1509~1522.
- 35 Phulpin, T., J. P. Jullien and D. Lasselien, 1989, AVHRR data processing to study the surface canopies in temperate regions, *Int. J. Remote Sens.*, **10**, 869~884.
- 36 Paltridge and Mitchell, 1990, Atmospheric and viewing angle correction of vegetation indices and grassland fuel moisture content derived from NOAA / AVHRR, *Remote Sens. Environ.*, **31**, 121~135.
- 37 钟强, 1996, 地面辐射气候学研究进展—从卫星反演地面辐射能收支的若干问题, *地球科学进展*, **11**, 238~243.
- 38 Cess et al., 1991, Determining surface solar absorption from broadband satellite measurements for clear skies: comparison with surface measurements], *J. Climate*, **4**, 236~247.
- 39 Li, Z. and H.G. Leighton, 1993, Global climatologies of solar radiation budgets at the surface and in the atmosphere from 5 year ERBE data, *J. Geophys. Res.*, **93**(D3), 4919~4930.

## On the Satellite Remote Sensing of Land Surface Processes in the Inner Mongolia Semi-Arid Grass Region

Chen Hongbin      and      Lu Daren

(Laboratory for Middle Atmospheric and Global Environment Observation, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

**Abstract**      Monitoring the land surface processes in the Inner-Mongolia semi-arid grass region by satellite remote sensing is one of the research subjects in the major program IMGRASS supported by NSFC. According to the main requests by the major program IMGRASS and the state-of-arts in satellite remote sensing, this paper will give a synthetical description of main research contents in this subject and some preliminary plans for establishing a combined ground-based and satellite data set for use in the study of mesoscale atmosphere-vegetation-soil interaction.

**Key words**      satellite remote sensing      semi-arid grass      land surface process