

星载微波 SSM / I 对中国西北沙漠地区 遥感数据的辐射特征分析*

金 亚 秋

(复旦大学波散射和遥感中心 上海 200433)

摘 要 该文研究了星载微波 SSM / I 对中国西北沙漠地区辐射亮度温度 (T_b) 遥感数据的辐射特征, 给出了西北沙漠某些地区 SSM / I 各通道 T_b 1995年全年的变化, 1993年和1996年37GHz垂直和水平极化两通道 T_b 的极化指数5月份全月平均值的空间分布及其差异值的比较。用大气辐射传输计算模拟了沙漠在 SSM / I 各通道上的 T_b , 其中包括大气水汽、地面粗糙、植被覆盖等参数的影响。为星载微波对沙漠遥感的辐射特征研究提供了一个分析方法和应用实例。

关键词 星载微波, SSM / I, 中国沙漠

1 引 言

中国西北有广大的沙漠地区, 对沙漠地区的识别和监视, 对中国生态环境研究和国土保护等, 都有十分重要的意义。星载微波遥感能穿透云层全天候多年连续地观察全球表面, 并可能给出大气云雨和地表覆盖层的内部信息。随着其空间分辨率的不断提高, 星载微波被动遥感已成为当今以至下世纪初最主要的全球遥感手段。目前在轨运行的星载微波被动遥感最主要的是防卫气象卫星计划 (DMSP) 的 SSM / I (特别微波辐射计成像), 它有7个通道 (19, 37, 85GHz垂直和水平极化, 22GHz垂直极化), 两颗卫星 F13, F10 每天下行 (DS) 和上行 (AS) 的通过时间分别为当地时间: DS-F13上午6时, DS-F10上午10时, AS-F13下午6时, AS-F10下午10时。SSM / I自1989年F8开始已运行8年, 多年连续的全球性观察数据, 为全球性研究和区域性环境监视, 在时间系列和各空间尺度上提供丰富的信息。DMSP的 SSM / I将运行至2000年以后, 新发展的 SSM / IS (成像与探测) 和2000年欧洲的 ESA-MIMR (多通道微波成像辐射计) 将有更多的通道和更高的分辨率。因此, 在1—250GHz微波频段范围内, 研究星载微波遥感数据大气和各类地表的辐射特征, 具有持久的应用前景。

由于沙漠的物理形态比较简单, 其区域性分布也已经比较明确, SSM / I 的19—85GHz的频段比较高, 对地表的渗透深度不大 (约在30cm—1m之内), 用 SSM / I 数据对于沙漠的识别和沙漠在 SSM / I 各通道上的辐射特征, 直至目前只有极少量的研究。比如, 在 SSM / I 数据标定和验证研究中^[1], 用19和37GHz的极化 T_b 之差: $0.5(T_{19V} + T_{37V}) - 0.5(T_{19H} + T_{37H}) > 19.7K$ 来识别沙漠。这里 T_{19V} 表示的是19GHz垂直极化的 T_b , 其它类推。对于占据相当大国土面积的中国西北沙漠, 星载微波遥感在时间系列和空间尺度上的辐射特征几乎未被讨论过。

该文利用多年的 SSM / I 数据, 讨论了中国西北沙漠在 SSM / I 各通道上的辐射特征。给出了中国塔克拉玛干沙漠 SSM / I T_b 数据1995年的全年变化, 提出用37GHz垂直和水平极化两通道 T_b 之差的极化指数 $PI_{37} (\equiv T_{37V} - T_{37H})$ 作为沙漠的识别指数, 给出了沿北纬40°从新疆塔克拉玛干沙漠, 途经甘肃、内蒙古的几个沙漠, 直至秦皇岛渤海湾 SSM / I 数据 T_{37V} , T_{37H} 和 PI_{37} 1996年3月和8月的空间分布, 明确地表征出沙漠极化辐射的特征性变化。同时, 还比较了1993年和1996年5月 PI_{37} 全月平均值在中国国土上的分布。用大气辐射传输计算^[2]模拟了沙漠在 SSM / I 各通道上的 T_b , 其中包括大气水汽、沙漠地表粗糙起伏、植被覆盖等参数

* 国家自然科学基金资助项目, 并得到上海应用物理中心、中国科学院长春净月潭遥感开放实验站基金资助。

收稿日期: 1996年9月25日; 收到修改稿日期: 1997年2月17日

的影响。本研究试图为星载微波遥感对沙漠在时间和空间上辐射特征变化的识别，提供一个分析方法和应用实例。

2 中国西北沙漠的 SSM / I T_B 数据

中国的沙漠分布在新疆、甘肃、内蒙古等地，主要有新疆塔克拉玛干沙漠、古尔班通古特沙漠，甘肃、内蒙古、宁夏一带的巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠、乌兰布和沙漠、库布齐沙漠、柴达木沙漠等沙漠和沙地^[3]。

图 1 给出新疆塔克拉玛干沙漠某处(39.83° N, 85.17° E)1995 年 DS-F10 观察到的 19, 37, 85GHz

垂直和水平极化 T_B 的全年变化。可以看出， T_B 十分明显地随地表和大气季节性物理温度的变化而变化。在大部分时间里，各通道垂直极化的 T_B 区别不大，这是因为 SSM / I 的 54° 观察角接近于 Brewster 角，地表的垂直极化反射率一般很小，各通道之间的差别不大。而在 1 月份， T_{85V} 明显下降，这是由于沙漠中有积雪。积雪的冰粒子散射，特别在高频率 85GHz 的强散射，遮蔽下垫地面的热发射，而使 T_{85V} 明显低于其它通道的 T_B 。在 7—9 月期间有降水，降水粒子的散射也使 T_{85V} 、 T_{85H} 下降。SSM / I 采用 85GHz 主要就是因为 85GHz 对于大气降水、地面冰雪、海面风场等产生的散射信号十分敏感。85GHz 水平极化的 T_{85H} 与其它通道的 T_{BH} 有明显不

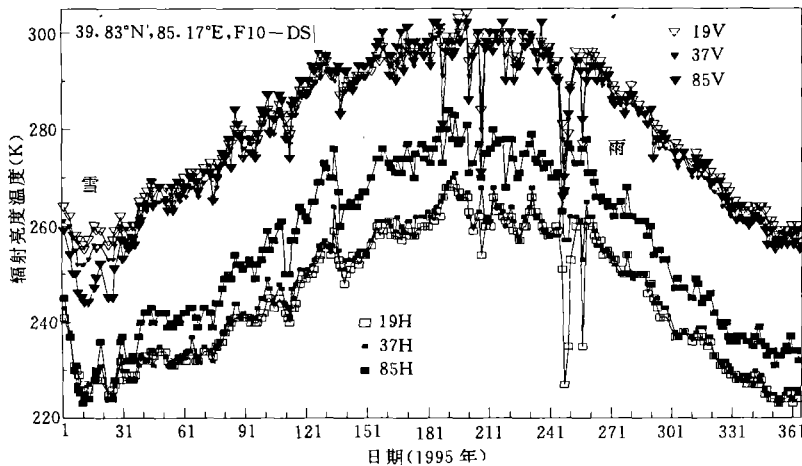


图 1 塔克拉玛干沙漠 SSM/I 1995 年辐射亮度温度 (T_B) 数据

Fig. 1 SSM/I data of brightness temperature (T_B) in 1995 at Taklamakan Area

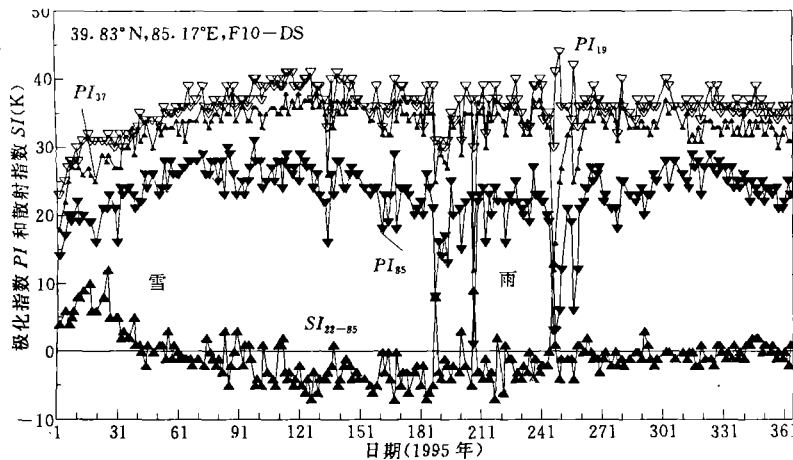


图 2 极化指数和散射指数的全年变化

Fig.2 Temporal variation of polarization and scattering indices

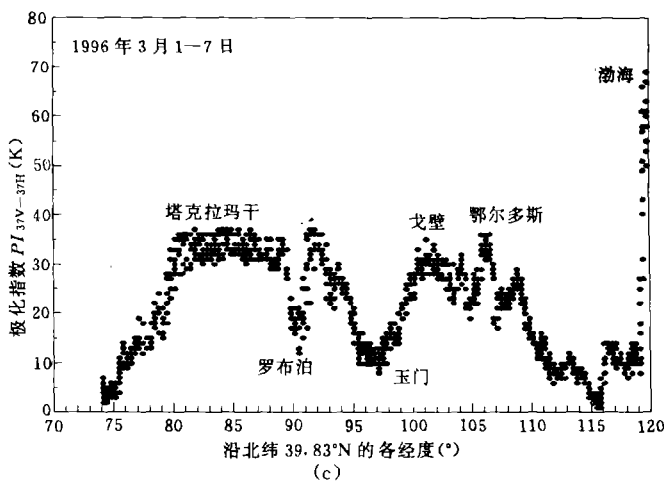
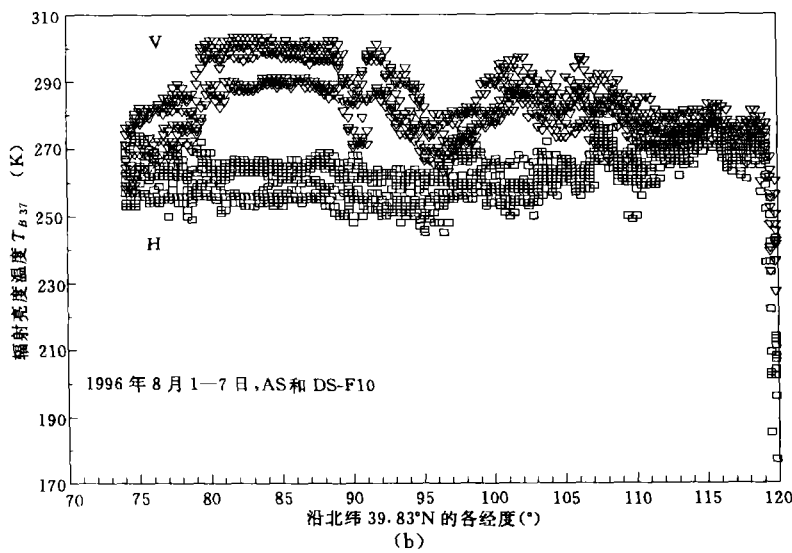
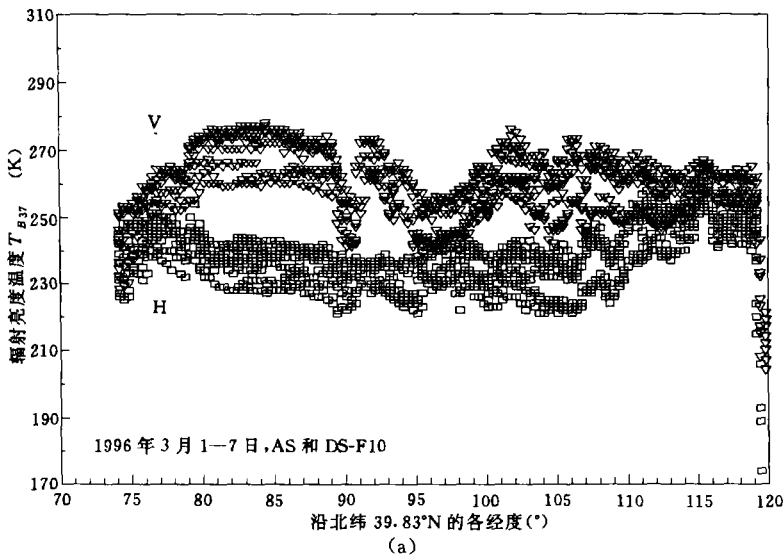


图3 沿 39.83°N T_{B37V} , T_{B37H} 及 PI_{37} 的变化
 (a) 1996年3月1-7日沿 39.83°N T_{37V} , T_{37H} 的变化;
 (b) 1996年8月1-7日沿 39.83°N T_{37V} , T_{37H} 的变化;
 (c) 1996年3月1-7日沿 39.83°N PI_{37} 的变化;
 Fig. 3 Variation of T_{B37V} , T_{B37H} , PI_{37} along 39.83°N

同,主要是粗糙地面散射主要影响水平极化反射率,以及85GHz有很强的水汽辐射和吸收,使85GHz的地面极化辐射差异减小。

沙漠的物理形态比较简单,即有起伏不平(或光滑)界面的沙石颗粒组成的介质。由于沙石颗粒占据体积比很大,可以看作均匀介质,体散射效应可以忽略。由于裸露的沙漠界面极化反射率的不同,表征沙漠辐射特征的主要就是垂直和水平极化 T_b 之差,即极化指数。图2给出由图1 SSM/I 观察数据得到的极化指数 PI_{19} , PI_{37} , PI_{85} 和散射指数 $SI_{22-85} (\equiv T_{22V} - T_{85V})$ 1995年全年变化。可以看出1月积雪和7-9月降水事件时 PI 和 SI 的变化。由于85GHz对于大气水汽变化十分灵敏,大气不透明度变化大,而19GHz的空间分辨率又比较低(约50km),因此我们选用37GHz的极化指数 PI_{37} 来识别沙漠(37GHz的空间分辨率约30km)。由图2,我们可定 $PI_{37} > 20K$ 为沙漠的识别原则。

图3(a), (b), (c)分别给出沿北纬39.83°N,从新疆境内(东经74°E)至秦皇岛渤海湾(120°E)各个经度上,在1996年3月1-7日,1996年8月1-7日由SSM/I AS和DS-F13观察到的 T_{37V} , T_{37H} 的变化,以及1996年3月1-7日 PI_{37} 的变化。可以看出极化指数 PI_{37} 明显地标志出各处沙漠的对应位置。而当沙漠接近绿洲植被,或接近城镇地区时,地面的漫反射使 PI_{37} 下降。

图4(a), (b)分别给出1993年和1996年5月AS-F10得到的 PI_{37} 全月平均值(大于15K)在中国的空间分布。图中深黑色和浅黑色区域标志出中国的沙漠分布,其中“+”处作为40°N, 85°E位置的标志。在长江出口流域和洞庭湖鄱阳湖区域,由于卫星视野中包括水域而使 PI 很

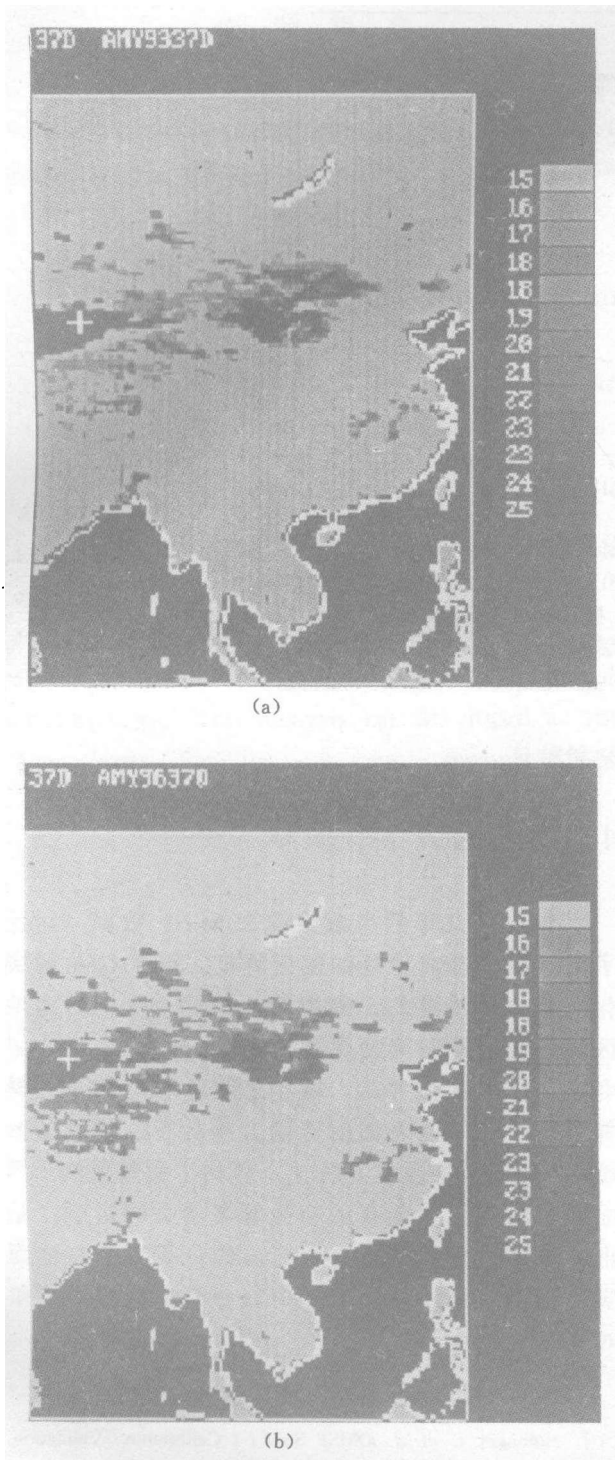


图 4 平均值 $PI_{37}>15K$ 的空间分布
(a) 1993 年 5 月 (b) 1996 年 5 月

Fig. 4 Spatial distribution for $PI_{37}>15K$

大, 这些不在这里讨论。

图 5 给出 1996 年和 1993 年 5 月 PI_{37} 平均值两者之差 $>5K$ 的空间分布, 即图 4(a) 与 4(b) 两者相减。如果这种差异明显, 则表明有沙漠分布的迁移。自

然, 由图 5 尚难以下任何结论性的判别。但值得注意的是, 在图中“+”标志下方有一规则连续的差异值分布。我们还比较了 1996 年和 1993 年 8 月 PI_{37} 平均值的差异, 也有同样类似的情况。这一差异值分布与附近的车尔臣河平行, 似与坡地起伏或其它地面状况变化有关, 这有待于地面实测结果的核实检验。

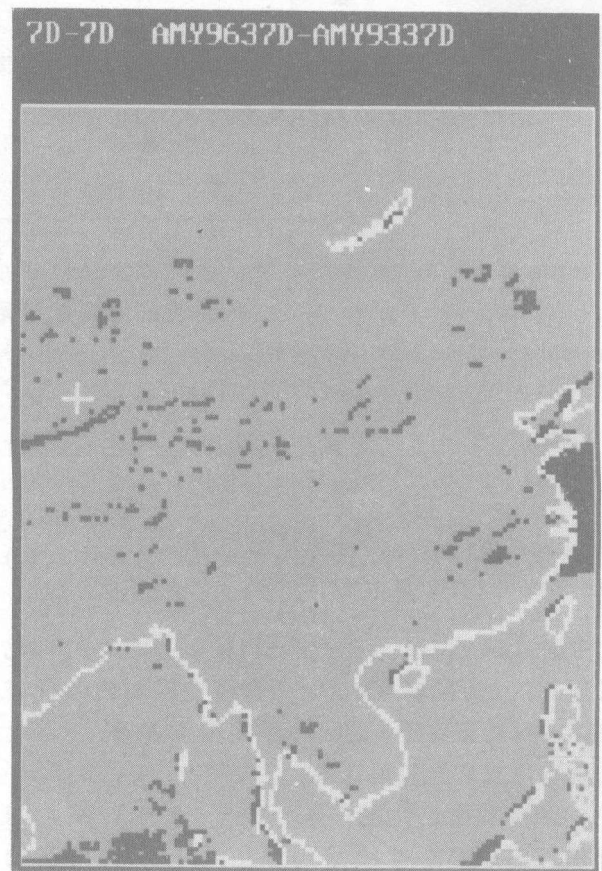


图 5 1996 年与 1993 年 5 月 PI_{37} 平均值两者之差值大于 $5K$ 的空间分布

Fig.5 Spatial distribution of the difference of $PI_{37}>5K$ between May 1996 and 1993

3 大气地表辐射传输的模拟

在非降水条件下, 大气地表辐射传输可写成:

$$T_{bp}(\theta) = e_{sp} T_s e^{-\tau_a} + (1 - e^{-\tau_a})(1 + r_{sp} e^{-\tau_a}) T_a, \quad p, q = V, H \quad (1)$$

其中 e_{sp} 为地面 p -极化热发射率, r_{sp} 为地面极化反射率, 且有 $r_{sp} = 1 - e_{sp}$; T_s , T_a 分别为地表物理温度和大气有效物理温度; τ_a 为大气不透明度, τ_a 的值由标准大气水汽吸收谱选取^[3]。若考虑地表界面起伏不平, 我们这里采用简单的经验公式来计算地面极化反射率为^[4]:

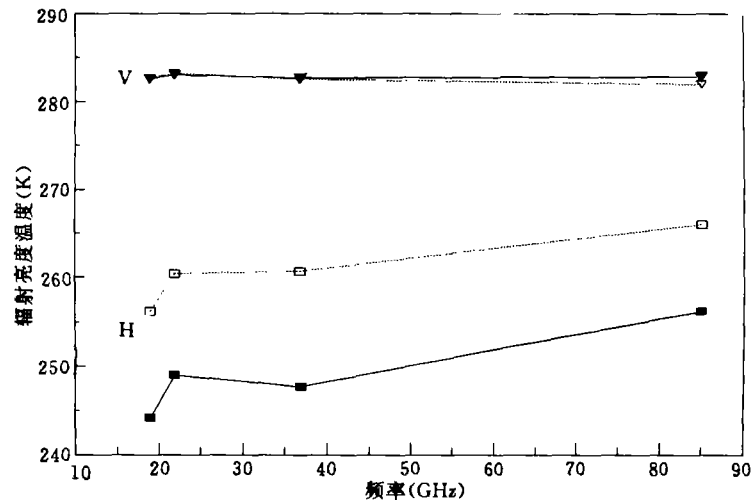


图 6 沙漠 T_B 随频率变化的数值模拟结果

注: $T_a = 288\text{K}$, $T_s = 283\text{K}$, $\sigma = 0.001$, $\delta = 0.001$; 大气积分水汽 $1\text{g}/\text{cm}^2$; $\tau_a(19) = 0.06$, $\tau_a(22) = 0.12$, $\tau_a(37) = 0.1$, $\tau_a(85) = 0.22$; 植被散射体: 截面积 3cm^2 , 厚度 0.2cm , 占空比 0.01 , 植被层高度 50cm

Fig. 6 Numerical simulation of T_B at desert area at SSM / I channels

$$r_{sp} = [Qr_{sp0} + (1 - Q)r_{sp0}] \exp(-4k_0^2 \delta^2 \cos^2 \theta) \quad (2)$$

$$Q = 0.35[1 - \exp(-\sigma v)]$$

其中 r_{sp0} ($p=V, H$) 为光滑界面 (标记下标 0) 的极化反射率, v 为频率 (GHz), δ 为粗糙界面的起伏方差, σ 则是正比于 δ 的另一个粗糙面参数, δ 和 σ 的值均由我们经验地选取。

沙漠看作是介电常数为 $(2.5 + 0.01i)\epsilon_0$ 的均匀介质。图 6 中的实线给出由方程 (1, 2) 得到的 SSM / I 54° 视角下沙漠 T_{BV} , T_{BH} 随频率的变化。计算中采用的参数均标明在图下。对照图 6 实线所得的结果和图 1 中 4 月份的数据, 二者相当吻合。可见塔克拉玛干沙漠在此地区此时各物理参数可能的取值范围。沙漠的界面也相当平滑 (σ , δ 很小)。若增大 σ 和 δ , 则特别使 T_{BH} 上升, 使 PI 减小。若增大大气水汽含量至 $2\text{g}/\text{cm}^2$, T_{BV} 无明显变化, T_{BH} 的增加约在 5K 之内。

对于植被下有沙漠风蚀的情形, 我们模拟植被为一层非球形粒子的随机介质, 地表为沙漠介质 $(2.5+0.01i)\epsilon_0$, 用物理光学近似下的矢量辐射传输方程^[5]计算 T_B 。具体的理论可参见文献 [5]。计算结果如图 5 中虚线所示。可以看出, 地表植被的散射和辐射减小了地表极化反射率的影响, 而使 PI 值小于裸露沙漠的 PI 值。因此, 除了这里不讨论的水域的 PI 值之外, PI 值的变化是沙漠的主要

辐射特征。

4 结 论

该文用几年的星载微波 SSM / I 数据, 讨论了中国西北沙漠地区的辐射特征。用 37GHz 的极化指数作为沙漠的识别指数, 描述了中国沙漠地区辐射特征的时间变化和空间分布, 如全年的 T_B 变化, 全月的 PI 平均, 两年之间月平均 PI 的差异等等。用大气地表辐射传输方程计算, 模拟了沙漠在 SSM / I 各通道上的 T_B , 包括了大气水汽, 界面起伏粗糙, 可能有的植被等各参数的影响; 给出的 SSM / I 数据以及所提出的分析方法与地面实况测量结合, 有利于对中国沙漠特征的研究和对沙漠演变的监视。

参 考 文 献

- [1] Hollinger J. et al. DMSP SSM / I Calibration / Validation. Naval Research Laboratory, Washington D. C., 1992, 2, Chapter 9.
- [2] 金亚秋. 电磁散射和热辐射的遥感理论. 北京: 科学出版社, 1993.
- [3] 中国综合地图册. 北京: 中国地图出版社, 1990.
- [4] Wang J.R., B.J. Choudhury. Remote sensing of soil moisture over bare fields at 1.4GHz frequency. *J. Geophys. Res.* 1981, **86**: 5277—5282.
- [5] Jin Y.Q. Radiative transfer for snowpack / vegetation canopy at SSM / I channels and satellite data analysis. *Remote*

Sensing of Environment, 1997.

作者简介

金亚秋, 男, 1947年9月生。1970年毕业于北京大学, 1978年为中国科学院大气物理研究所出国研究生, 先后于1982年和1985年获美国麻省理工学院电气工程和计算机

科学系科学硕士、博士学位。现任复旦大学电子工程系教授, 博士生导师, 波散射和遥感中心主任。在国内外发表了3本个人专著, 160篇学术论文。主要研究方向为复杂介质中的电磁散射和辐射传输, 定量遥感理论及其数值模拟和参数反演, 计算电磁学等。

Analysis of SSM/I Data over the Desert Areas of China

Jin Yaqui

(*Wave Scattering and Remote Sensing Center Fudan University, Shanghai 200433*)

Abstract SSM/I data over the desert areas of China is studied. Temporal variations of the brightness temperatures T_b from SSM/I observations are presented. The polarization index of 37GHz channels is defined as an identification index to detect the desert distribution. Its spatial and temporal variations are discussed. The radiative transfer theory is used to simulate the T_b of desert area at SSM/I channels, which includes the effect of atmospheric water vapor, surface roughness, and vegetation coverage, etc. This analysis has developed an useful approach to the desert study in China.

Key words Satellite-born remote sensing, SSM/I, Desert in China