

南极春季臭氧的 TOVS 反演及其与 BREWER 观测的比较*

胡筱欣¹⁾ 陆龙骅²⁾ 张凤英¹⁾ 周秀骥²⁾

(国家卫星气象中心, 北京 100081)¹⁾

(中国气象科学研究院, 北京 100081)²⁾

提 要

通过改进臭氧的统计反演算法, 从 NOAA 卫星的 TOVS 资料中提取了 1993 年南极臭氧洞期间中山站上空大气臭氧含量的资料. 本文的结果与 NOAA 的 TOVS 臭氧产品以及中山站的 Brewer 观测进行了比较. 尽管 3 种资料对在臭氧洞期间臭氧含量的显著减少这一特征上相当一致, 但此项结果相对于 Brewer 观测, 其均方根误差 29 DU, 优于 NOAA 的业务反演产品. 此外, 还初步讨论了这两种反演的误差特征.

关键词: 南极臭氧; 卫星遥感; TOVS 反演.

引 言

考虑到有关南极的科学研究、考察活动对卫星遥感观测资料需求的不断增长, 我国于 1993 年在南极的中山站 (69°22'S, 76°22'E) 和长城站 (62°13'S, 58°58' W) 分别建立了极轨气象卫星 NOAA/HRPT 资料的实时接收系统. 与此同时, Brewer 紫外分光光谱仪亦在中山站投入使用. 本文的工作正是以上述观测活动为基础的.

臭氧在大气的能量平衡中起着非常重要的作用, 其变化也影响着气候的变化. 南极“臭氧洞”的发现和演变引起了全世界公众和科学界的广泛关注. 由于南极恶劣的自然条件, 对南极的实地科学考察和观测大多限于南极大陆的边缘, 广阔的内陆高原上只有十余个常规气象观测站, 有臭氧观测的站则更少. 因此, 卫星观测是臭氧监测的主要资料来源. 在各种卫星资料中, TIROS-N/NOAA 系列极轨气象卫星的 TOVS 因其在极夜获取大气臭氧的能力而独具优越性.

从 TOVS 资料获取大气臭氧含量的算法已见报导^[1~4]. 不过, 这些算法多是针对中纬度地区构造的, 往往也在中纬度地区与实测资料符合较好. 由于实测资料的不足, 这些方法尚未在南极地区做过充分的真实性检验. 但已有的分析表明, 在南极地区 TOVS 的臭氧较之 TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) 更接近实况观测的结果^[3]. 本文的工作是将 NOAA 的统计回归反演方法加以改进并应用于 1993 年南极臭氧洞期间的卫

* 国家《八五》南极攻关项目(85-905-05)支持.
1995-09-26 收到, 1996-02-01 收到修改稿.

星观测 TOVS 资料中大气臭氧含量的反演,也分析了由此获得的臭氧含量与中山站同期地面 Brewer 观测之间的误差。

以中山站为例作卫星 TOVS 资料臭氧反演真实性检验的原因有如下几点:(1)中山站 1993 年才开始进行大气臭氧的常规观测,因此将卫星观测的臭氧与中山站地面观测作对比分析是很有意义的。尽管郑向东等人的工作^[5]曾涉及 NOAA 业务反演与中山站的实测对比,这方面的工作仍然有待完善和丰富。(2)因为中山站地处臭氧洞边缘,其大气臭氧含量的日际变化高达约 100 DU(见图 1)。一般而言,统计反演方法对此类突发的日际变化并不敏感,与此相关的反演误差在中山站可比其它站要大。在其它误差源相同的情况下,地处臭氧洞边缘的中山站卫星反演的误差可以代表反演方法的误差限。

1 资 料

我们所感兴趣的时段是 1993 年 8~11 月,大致可代表当年的臭氧洞期间。在此期间中山站接收了包括 TOVS 在内的 NOAA-11 和 NOAA-12 的 HRPT 资料。出于可靠性和可比性的考虑,只选用了 NOAA-12 的 TOVS 资料。TOVS 实际为一组 3 种仪器的总称,即:高分辨红外辐射探测器 HIRS、微波辐射计 MSU 和平流层探测器 SSU。对臭氧探测最重要的是 HIRS 的臭氧吸收带的 $9.6 \mu\text{m}$ 通道。正是它使 TOVS 具有在极夜中探测臭氧的能力。

既然 NOAA/HRPT 的接收尚未纳入中山站的常规业务,现有的 NOAA-12 的 TOVS 资料尚有一些空缺,尤其在 10~11 月份如此。此外,考虑到尽管臭氧洞是大尺度的结构,但对地处臭氧洞边缘的中山站,臭氧分布有比较大的空间梯度,因此剔除了与中山站相距超过 1 个经纬距的卫星臭氧样本。最后,一天中有两个以上的卫星臭氧样本,则取其平均值作为一个样本。经过上述处理得到的最终卫星臭氧资料的样本数为 46 个(天),其中有 34 天与 Brewer 观测重合,可以进行主要的特征分析。

另一资料来源是中山站同期的 Brewer 紫外分光光谱计逐日观测数据(转换为日平均大气柱臭氧含量)。由于 Brewer 观测有赖于紫外辐射,因此在 7 月及 8 月的上、中旬太阳天顶角低下时几乎没有观测。不过,从 8 月下旬开始, Brewer 资料几乎是一个连续的时间序列。 Brewer 资料在本文的工作中用于卫星反演的误差校验。

最后,作为参照和对比,使用了 8~9 月 NOAA 的 TOVS 业务反演的臭氧资料¹⁾。

2 方 法

中山站归档的卫星资料是 HRPT 磁带。在 TIP(Tiros-N Information Processor)资料(其中含 TOVS 资料)从 HRPT 中分离后,采用 ITPP(International TOVS Processing Package)软件包处理得到晴空辐射红外亮温,然后应用统计反演方法获取臭氧含量。

臭氧含量反演的统计回归方法始于 NOAA^[6]。此处我们仅简述其原理及本文的改

1) 由 A. C. Neuendorffer 博士提供。

进. 其它相关内容请参阅文献[1, 7].

在臭氧统计反演中, 臭氧总量的变化为

$$\delta\Omega = \Omega - \Omega_0$$

式中 $\delta\Omega$ 近似为 HIRS 通道 1, 2, 3, 8, 9, 16 和 17 晴空辐射亮温变化的线性组合, 即

$$\delta\Omega = \sum C_i \delta T_B^i \quad (i = 1, 2, 3, 8, 9, 16, 17) \quad (1)$$

$$\delta T_B^i = T_B^i - T_{B0}^i \quad (2)$$

式中, δT_B^i 为 HIRS 通道 i 晴空辐射亮温的变化, 组合系数 C_i 由 HIRS 晴空辐射亮温与地面臭氧观测的匹配样本作回归统计确定. 参考值 Ω_0 和 T_{B0}^i 在原来的算法中取为匹配样本的平均值. 由于臭氧总量随纬度和季节有明显变化, 故 5 个纬度带 ($90^\circ \sim 60^\circ \text{N}$, $60^\circ \sim 30^\circ \text{N}$, $30^\circ \text{N} \sim 30^\circ \text{S}$, $30^\circ \sim 60^\circ \text{S}$, $60^\circ \sim 90^\circ \text{S}$) 与 4 个不同季节的每一个组合都有相应的 Ω_0 , T_{B0}^i 及 C_i 值.

当这个算法及相应的参数应用到南极则存在不足之处. 首先, 南极春季的臭氧含量以每年约 10% 的递减率减少, 根据多年前的历史样本得到的 Ω_0 值不能反映当时的臭氧 (甚至是平均) 情况, 应当使用新的资料来重新标定, 即真实性 (再) 检验. 另外, 4 个不同季节的 Ω_0 值差异甚大 (春夏秋冬依次为 302、299、394、341), 导致季节交替时臭氧反演值跳动过大的系统误差, 这在南极臭氧洞期间尤其明显. 根据 WMO 的臭氧公报^[8], 近年来南极臭氧洞持续期已经扩展到 8~12 月. 采用原来 (分四季的) 臭氧统计回归反演方法计算的中山站臭氧总量在 8 月和 9 月交替时出现了高达 200 DU 的虚假的陡降. 我们认为南极的季节划分有别于中纬度的四季, 在臭氧洞期间应当采用统一的参考值 Ω_0 , 以一致地反映臭氧含量的时序变化. 在本文的工作中, 这个参考值取为中山站 8~11 月 Brewer 日平均臭氧总量的均值 (256.44). 组合系数 C_i 综合地考虑了许多物理因素, 因而相对稳定. 下节将要讨论这一调整对中山站 (及其周边区域) 的局地臭氧总量反演的适宜性, 但尚未在其它区域验证.

3 结果与讨论

图 1 是中山站 3 种不同资料来源的臭氧总量的逐日时间序列: 本文的反演结果 (PRESENT)、NOAA 的反演结果 (NOAA) 以及地面 Brewer 观测结果 (Brewer). 三者中每一个时间序列都清楚地显示了臭氧减少的发展过程, 都表明了同样的趋势. 三者符合的程度在 35 DU (均方误差) 以内. 在图 1 中还可以清楚地看到, 中山站的臭氧含量在 8 月下旬短短几天中从约 300 DU 的正常值急剧下降到 200 DU 左右, 随后是一个平坦的臭氧含量的低值阶段, 跨过 9 月伸展到 10 月, 与 WMO 臭氧公报^[8]报导的 6~7 周的大臭氧洞期的值相符合.

如图 1 所示, 中山站的臭氧含量存在相当强的日际变化. 与此相应, 图 1 的 3 种臭氧资料的时间序列均有较高的方差, 如表 1 所示 Brewer、NOAA、PRESENT 3 种资料的方差依次为 57.71、55.05 和 51.80 DU. 然而, 统计回归反演有屏蔽高频扰动的特性, 对急剧的日际变化不如物理反演方法 (NOAA) 敏感, 因此它的方差最小. 这 3 种资料的统计数据见表 1. 尽管与 Brewer 资料相比, 本文结果 (PRESENT) 和 NOAA 均

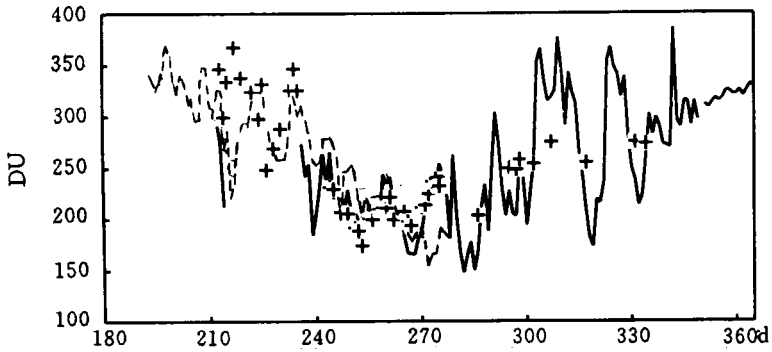


图1 1993年春季南极中山站3种臭氧资料的时间序列(+; PRESENT, 虚线; NOAA, 实线; Brewer)

Fig. 1 Temporal series of total ozone amount from three different sources (+; PRESENT, dashed line; NOAA, solid line; Brewer)

表1 3种臭氧资料的统计分析

Table 1 Statistical analysis of total ozone for three data sources

	样本数	均值	方差	相关系数*	均方根误差*	偏差*
PRESENT	46/34**	251.43	51.80	0.6375	29.28	6.4
NOAA	84/44**	267.22	55.05	0.6257	34.37	12.0
Brewer	134	256.44	57.71			

* 以 Brewer 资料为参考真值

** 总样本数/匹配样本数

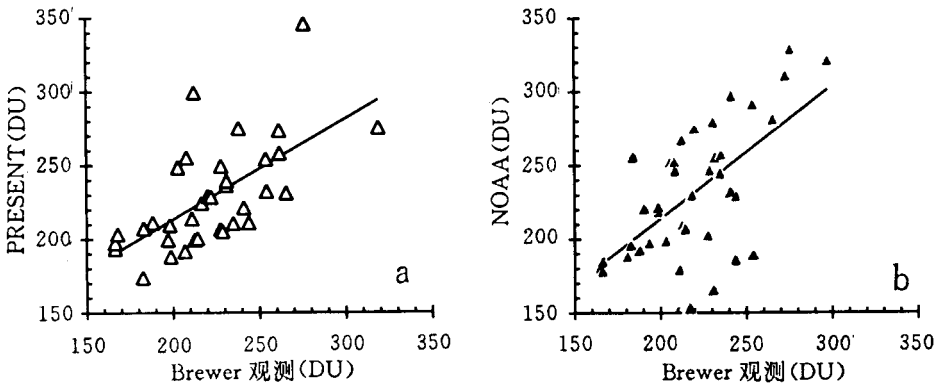


图2 TOVS 臭氧与地面 Brewer 观测间的相关性分析 (a) 本文的反演 ($y=0.682x+77.1$, 相关系数=0.64) (b) NOAA 反演 ($y=0.893x+35.4$, 相关系数=0.63)

Fig. 2 The correlation analysis between retrieved TOVS total column ozone and surface Brewer data (a) PRESENT vs Brewer: ($y=0.682x+77.1$, correlation coefficient is 0.64) (b) NOAA vs Brewer ($y=0.893x+35.4$, correlation coefficient is 0.63)

偏高, 但 PRESENT 的偏差和均方误差均低于 NOAA (6.4 DU 和 29.8 DU 对 12 DU 和 34 DU)。这一结果是可以预料的, 因为 Neuendorffer 的反演方法针对中纬度地区^[3], 而本文对统计反演的改进是针对南极臭氧洞的。需要说明的是, 上述比较仅限于中山站局

地臭氧资料。

图 2(a)和(b)分别是本文反演结果、NOAA 反演结果与 Brewer 观测的相关分析。由图可见本文的结果与 Brewer 的相关性略强于 NOAA。考察图 2(a)和(b)的离散性可见: 本文的反演在 270 DU 以上的臭氧高值区有较大的离散, 而 NOAA 的反演则恰好相反, 较大的离散出现在 270 DU 以下的低值区。这一现象再次说明 Neuendorffer 的方法适用于中纬度地区, 而本文对统计反演的改进更适合臭氧值较低的南极臭氧洞地区。

致谢: 感谢国家卫星气象中心韩宝华同志在处理南极卫星资料方面的协作帮助。

参 考 文 献

- 1 Planet W G, Crosby S D, Lienesch J H and Hill M L. Determination of total ozone amount from TIROS radiance measurements. *J. Clim. Appl. Met.*, 1984, **23**: 308~316.
- 2 Ma Xialin, Smith W L and Woolf H M. Total ozone from NOAA satellite - a physical model for obtaining measurements with high spatial resolution. *J. Clim. App. Met.*, 1984, **23**: 1309.
- 3 Chesters D and Neuendorffer A. Comparison between TOMS, TOVS and Dobson observation; satellite and surface views of total column ozone. The Fifth Conference on Satellite Meteorology and Oceanography, September 3~7, 1990, London, England.
- 4 Kaifel Anton K. Total ozone amount retrieval from TOVS-Data by means of neural network approach. Technical Proceedings of 7 th International TOVS Conference, held Feb. 10~16, 1993 in lgls, Austria; 189~199.
- 5 郑向东, 周秀骥, 陆龙骅, 郭松. 1993 年中山站南极臭氧洞的观测研究. *科学通报*, 1995, **40**(6): p 533
- 6 Werbowetzki A. Atmospheric sounding user's guide. NOAA Technical Report NESS 83, 1987.
- 7 Planet W G. Data extraction and calibration of TIROS-N/NOAA radiometers. NOAA Technical Memorandum NESS, 1988, 107-Rev. 1.
- 8 WMO. Antarctic Ozone Bulletin, 1993, 8.

RETRIEVAL OF TOTAL OZONE FROM TOVS DATA AND ITS COMPARISON WITH BREWER OBSERVATIONS IN ANTARCTIC SPRING

Hu Xiaoxin¹⁾ Lu Longhua²⁾ Zhang Fengying¹⁾ Zhou Xiuji²⁾

(National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081)¹⁾

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)²⁾

Abstract

Total ozone during the period of Antarctic ozone hole of 1993 at Zhongshan station in Antarctica is extracted from TOVS data of NOAA-12 by using an improved statistical re-

gression scheme. The present results, NOAA's ozone retrievals and surface Brewer observations were compared with each other, It is found that although the three kinds of data are in good agreement for the remarkable decrease of ozone amounts, corresponding to Brewer observations, both the present results and NOAA's retrieval products have larger errors with 29 and 34 Dobsons of RMS, respectively. Obviously, the former is superior to the latter. Additionally, the characteristics of the two retrieval errors were discussed.

Key words: Antarctic ozone; Satellite remote sensing; Retrieval from TOVS.