

# 拉萨地区 1998 年夏季臭氧总量及垂直廓线的观测研究\*

郑向东

(北京大学地球物理系, 北京 100871)

汤 洁 李维亮 周秀骥

(中国气象科学研究院, 北京 100081)

石广玉

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

岩阪泰信

(日本名古屋大学地球物理研究所, 名古屋)

## 提 要

该文根据 1998 年 6~10 月上旬在拉萨地区进行的臭氧总量及臭氧垂直廓线的观测结果, 并结合同期同纬度其他两个臭氧站数据资料, 证实了以拉萨地区为代表的青藏高原在夏季存在“臭氧低谷”的现象. 分析表明, 地基和卫星观测的臭氧总量有一定误差. Umkehr 观测反演结果表明夏季拉萨地区平流层臭氧分布和同纬度其他地区相比略有不同; 在对流层, 探空资料显示了该地区对流层臭氧有低值分布的特征.

关键词: 拉萨 臭氧总量 臭氧垂直廓线

## 引 言

1994 年, 周秀骥等人通过对 1978~1991 年近 13 年的 TOMS 卫星预测资料的分析, 发现青藏高原上空夏季 6~9 月的臭氧总量月平均值比同纬度其他地区普遍低<sup>[1]</sup>, 即“臭氧低谷”现象. 为了研究“臭氧低谷”出现的机理, 近几年来, 我国大气科学界对青藏高原加强了有关臭氧方面的观测研究. 1995~1996 年间, 我国和芬兰合作在西宁分 4 次进行了为期一年的臭氧探空观测<sup>[2]</sup>; 1998 年夏季, 中国气象科学研究院、中国科学院大气物理研究所、日本名古屋大学等几家单位合作在拉萨市(29.40°N, 91.03°E)开展了一次从地面到高空的臭氧及大气气溶胶的综合观测实验. 本文仅对这次观测中的臭氧总量及垂直廓线数据, 结合有关观测资料进行分析, 其他项目的观测研究结果, 将另文给出.

## 1 观测及数据

本次试验中地基测量臭氧总量的仪器为 Brewer 臭氧光谱仪. 该仪器是由世界气象组织推荐使用的测量臭氧总量及臭氧垂直廓线分布的地基光学遥感仪器. 有关该仪器的工作原理见文献[3]. 该仪器在 1996 年 11 月由加拿大的传递标准仪器 Brewer# 017 标定,

\* 本课题由国家自然科学基金(49775275)和中国气象科学研究院大气化学实验室资助实施.  
1999-05-12 收到, 1999-07-14 收到修改稿.

在观测期间,对仪器每天进行严格的波长标定和稳定性检测,保证了观测数据质量要求。整个综合实验观测在拉萨市分两处进行,其中气溶胶激光雷达、辐射和探空观测在拉萨市区内进行,近地面有关的大气化学成分和臭氧总量的观测在拉萨市郊进行。臭氧总量和廓线的观测自1998年6月7日开始,10月7日结束。由于受到天气和停电的影响,在8月中旬、下旬和9月上旬有些日子停测。ECC臭氧探空观测由日本名古屋大学负责实施,电子气象探空同臭氧探空一起释放,可获取气压、相对湿度和温度3项基本气象参数。作为对比分析的卫星臭氧总量数据来自美国国家航空航天局的TOMS观测结果,同期同纬度站点臭氧总量数据采用了日本鹿儿岛(Kagoshima)(31.55°N,130.55°E)和巴基斯坦的奎塔(Quetta)(30.17°N,66.9°E)两个站的观测结果,因为这两个站和拉萨市都处在30°N附近,而又各自分布在青藏高原的东、西两侧。

## 2 观测结果分析

(1) 臭氧总量 图1给出1998年夏季拉萨地区 Brewer 观测和 TOMS 卫星(Version 7.0)同期观测的臭氧总量逐日变化。两者的逐日变化和线性拟合趋势都较接近,6~9月臭氧总量都有较明显的季节性下降趋势。从分析 TOMS 卫星资料所发现的青藏高原地区夏季“臭氧低谷”的现象可以从这次实验中的地基观测来证实。为此,我们对同纬度的3个站(鹿儿岛、拉萨和奎塔)臭氧总量做了对比分析。表1给出这3个站的 TOMS 与地基观测的臭氧总量月平均结果。从表1可看到卫星和地基观测得到的拉萨地区月平均臭氧总量在夏季都低于鹿儿岛和奎塔,这正说明了青藏高原夏季发生了“臭氧低谷”的现象。

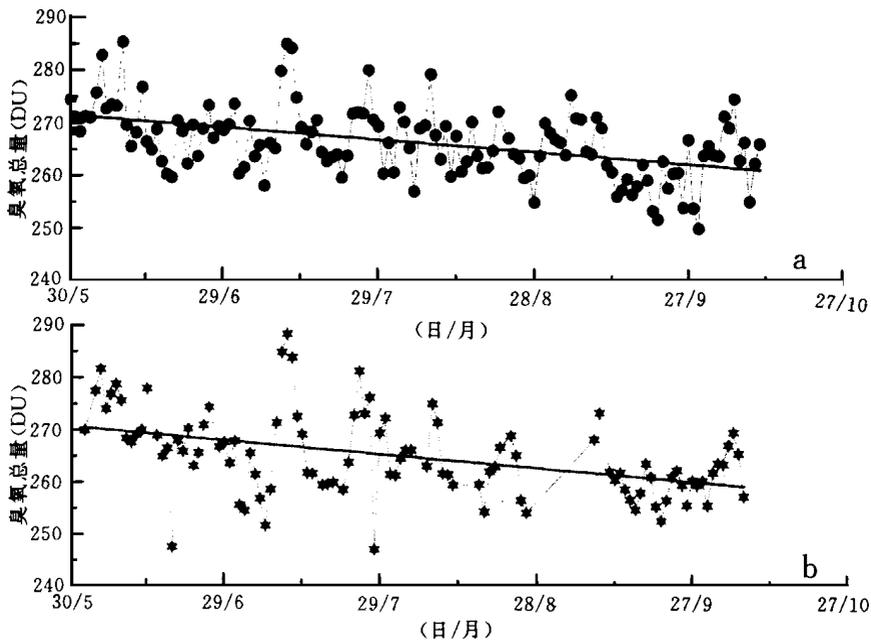


图1 1998年夏季拉萨地区臭氧总量的逐日变化(a) TOMS 观测数据(b) Brewer 观测数据  
)中粗实线为线性拟合趋势  $y = -0.073x + 282.4$  (b)中粗实线为线性拟合趋势  $y = -0.0820x + 282.6$

表 1 30°N 附近 3 个站 1998 年夏季臭氧总量观测结果月平均值(单位: DU)

	6 月		7 月		8 月		9 月	
	地基	TOMS	地基	TOMS	地基	TOMS	地基	TOMS
鹿儿岛	311	310	290	300	282	294	283	284
拉萨	270	269	266	268	263	266	260	261
奎塔	291	289	279	277	278	277	273	271

从图 1 和表 1, 我们发现地基和 TOMS 观测数值还是有一定的误差. 鹿儿岛站 7 月和 8 月的臭氧总量月平均值相差分别达 10DU 和 12DU. 这种误差可能来自云和卫星与地基观测在空间和时间分辨率上的不同. 夏季青藏高原为多雨季节, 云出现的概率大, 云高、云量和云的天空反照率的变化会直接给卫星和 Brewer 的光学测量结果带来误差. 卫星测量的空间分辨率是  $1.25^{\circ} \times 1.0^{\circ}$ , 每天只在临近某一地中午时有一次观测结果, 而地基观测是定点的一天多次观测结果的平均值. 因此, 地基观测更具有客观性和准确性. 图 2 给出了拉萨地区这两种观测所得臭氧总量的线性回归统计结果, 图中回归系数为 0.751, 两者的相关系数为 0.7. 可见, 两者还是存在一定的误差. 因此, 在运用卫星观测数据时, 总是需要地基观测结果来标定. 但是, 尽管地基和空基存在着测量结果上的误差, 1998 年夏季拉萨和奎塔两站的地基和 TOMS 观测的臭氧总量月平均值还是非常接近.

表 2 为 Brewer、TOMS 和 ECC 探空观测到的臭氧总量. 计算探空观测的臭氧总量时, 从气球爆炸点到大气顶缺测值的估算用 McPeter 1997 年提出的方法<sup>[4]</sup>. 从表 2 可见: 8 月 11 日和 8 月 13 日总量较接近, 而另外两天 ECC 探空结果均小于 TOMS 的测量结果. 许多可能性可以造成这种测量结果的误差: 卫星测量本身在时间和空间上分辨率带来的误差; ECC 臭氧探空释放前确定电化学反应池的背景电流误差<sup>[5]</sup>; 在高空低压环境下的抽气泵流速与在地面常规气压条件下所确定的流速间的误差. 后两个误差也是目前 ECC 探空观测中存在的难以解决的问题, 但是探空仍是目前测量臭氧廓线分布尤其是对对流层臭氧分布普遍使用的较准确方法.

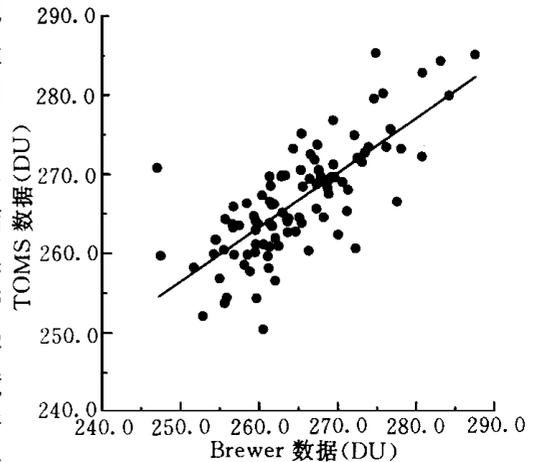


图 2 1998 年拉萨地区夏季 Brewer 和 TOMS 观测所得臭氧总量的统计分析

(图中实线为线性拟合趋势  $y = 0.751x + 67.3$ )

表 2 拉萨地区 1998 年夏季臭氧总量的 Brewer、TOMS、ECC 探空观测结果对比(单位: DU)

日期	Brewer 观测结果	TOMS 观测结果	ECC 探空观测结果
8 月 11 日	261.7	269.7	263.8
8 月 13 日	停电缺测	267.8	269.5
8 月 14 日	停电缺测	261.1	245.5
8 月 15 日	停电缺测	263.0	251.3

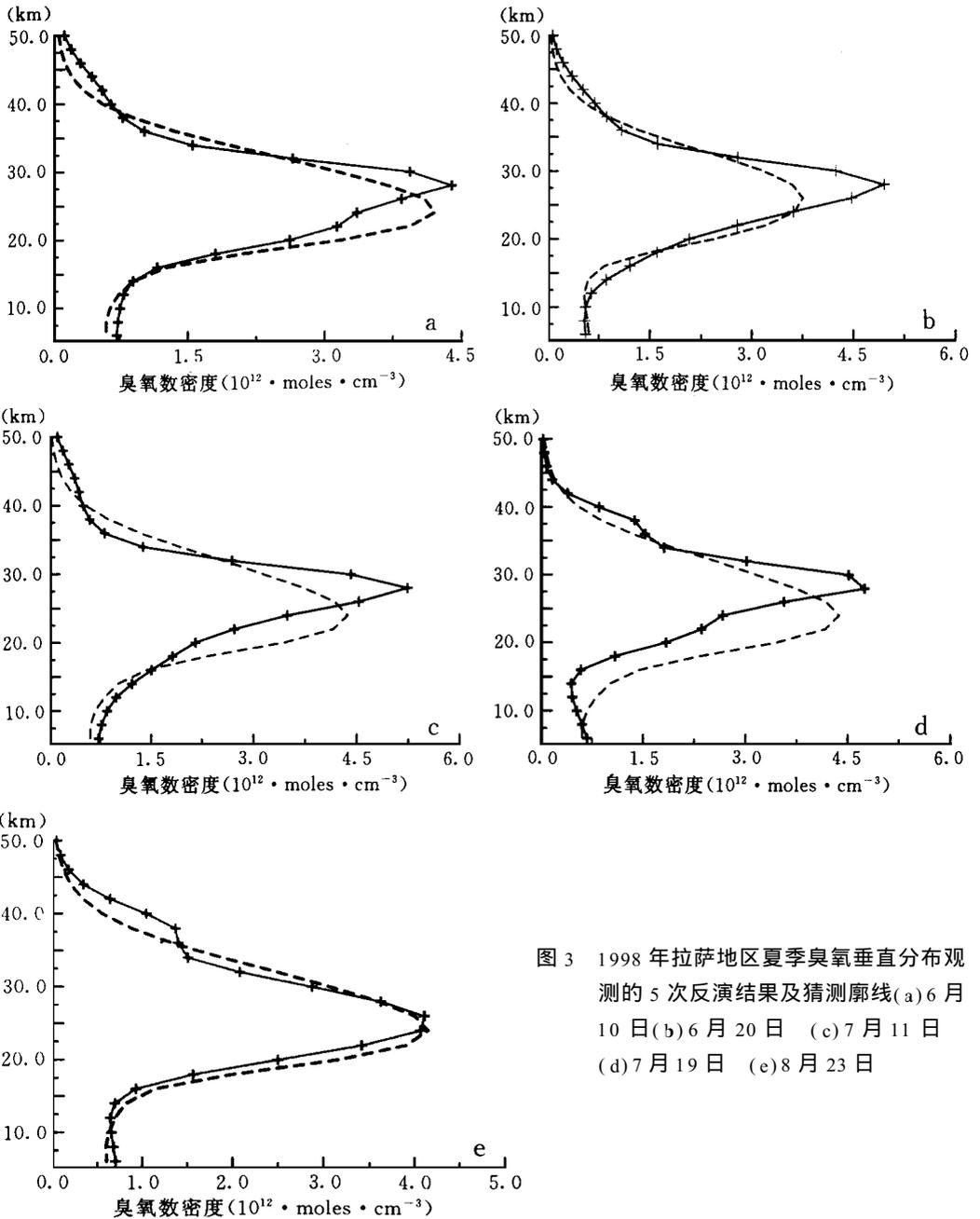


图3 1998年拉萨地区夏季臭氧垂直分布观测的5次反演结果及猜测廓线(a)6月10日(b)6月20日(c)7月11日(d)7月19日(e)8月23日

(2) 臭氧垂直廓线分布 根据 Umkehr 效应, 可用地基光学仪器遥测臭氧垂直分布<sup>[3]</sup>. 郭松等人曾用同一台仪器在青海省的共和站(36.28°N, 100.90°E)对臭氧垂直分布作过分析研究<sup>[6]</sup>. Umkehr 观测要求在日出或日落时, 天气必须是晴朗无云, 这在6月和7、8月拉萨的雨季非常少, 总共只有5次观测(6月10日、6月20日、7月11日、7月19日

和 8 月 23 日)的反演结果获得成功,见图 3(a~ e). 图中臭氧垂直廓线的分辨率为 2km. 初始猜测廓线的形状反映了夏季 30°N 地区臭氧平均的空间分布,仅代表这一纬度地区臭氧空间分布的平均特性. 初始猜测廓线的积分值等于日观测臭氧总量,因此,初始猜测廓线在各个高度上的臭氧数密度值的大小随臭氧总量的日变化略有不同. 反演廓线则是对 Umkehr 观测的原始数据进行了有关的反演运算而得到的臭氧垂直分布信息,是某一地点、某一次的观测结果.

从图 3(a~ d)可见,6 月和 7 月拉萨臭氧主要分布在 15~ 35km 之间,其中反演结果的峰值在 27.5~ 30km 范围,普遍高于猜测廓线的峰值位置(25km 左右). 而且反演廓线的峰值大,峰值的宽度窄,这和猜测廓线的相差较大. 这种差别可能反映了拉萨地区夏季平流层臭氧垂直分布的一个特点. 这种推测是否正确还需以后用探空做同步观测来验证. 但遗憾的是在拉萨从未和 Brewer 作过同步的观测. McElroy 等人曾对 Brewer 的 Umkehr 观测反演结果和电化学臭氧探空观测结果做过对比<sup>[3]</sup>,指出 Umkehr 反演平流层臭氧的分布和臭氧探空相比还是很接近的,但是在 16km 以下对流层区域, Brewer 反演结果有很大的误差,刘奇俊等人曾就这两种方法对西宁地区的观测结果进行了比较<sup>[7]</sup>,也得出类似结论.

图 3e 给出 8 月 23 日臭氧垂直分布反演结果,反演和初始猜测很接近,这和 6、7 月份的观测略有不同. 图 4 给出的 8 月 11~ 15 日臭氧探空观测的平均分布也表明了,在 8 月份拉萨地区臭氧最大峰值区在 25km 附近,这和反演结果是一致的.

对流层臭氧虽然在整个臭氧总量中(km)所占的比例不是很多,但是它的变化易受地形热力作用和天气过程的影响,而且,无论是地基的 Umkehr 观测还是卫星的空基(如 SAGE-II 或 SBUV)遥测,都很难得到精确的对流层臭氧分布. 在此我们给出 1998 年 8 月 4 次观测的对流层臭氧垂直分布(图 5). 拉萨 8 月份的平均对流层顶高度约为 16km,为此,在图 5 中我们只给出了 16km 以下对流层的观测结果,并和其他地区资料进行比较. 由图可见,拉萨地区对流层臭氧数密度从地面到 16km 很少超过  $6.0 \times 10^{11} \text{ moles} \cdot \text{cm}^{-3}$ ,这比 1996 年夏季西宁观测到的对流层臭氧平均值要低. 进一步把拉萨观测的数据和

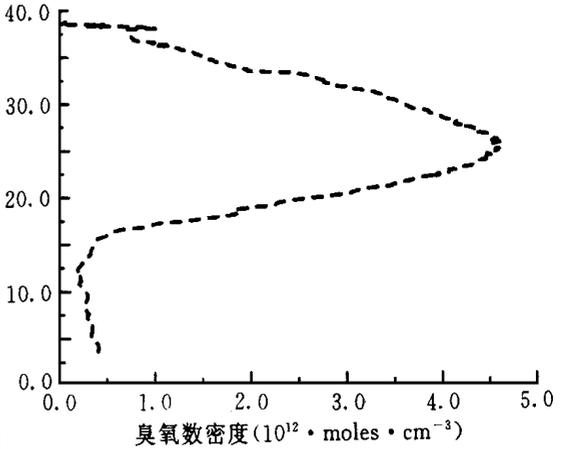


图 4 1998 年 8 月 11~ 15 日拉萨地区臭氧探空观测的平均分布

同纬度的日本鹿儿岛站 1998 年 8 月 12 日的探空资料相比,我们注意到在 5~ 12km 高度内,拉萨地区测值也低于鹿儿岛站的测值. 这些比较反映了拉萨夏季对流层臭氧可能具有低值分布特征. 这种分布很可能和该地区有关的大气环流有密切的关系,因为夏季从印度洋来的暖湿气流进入青藏高原后,有可能把低纬度地区的臭氧低值气团带入高原上空.

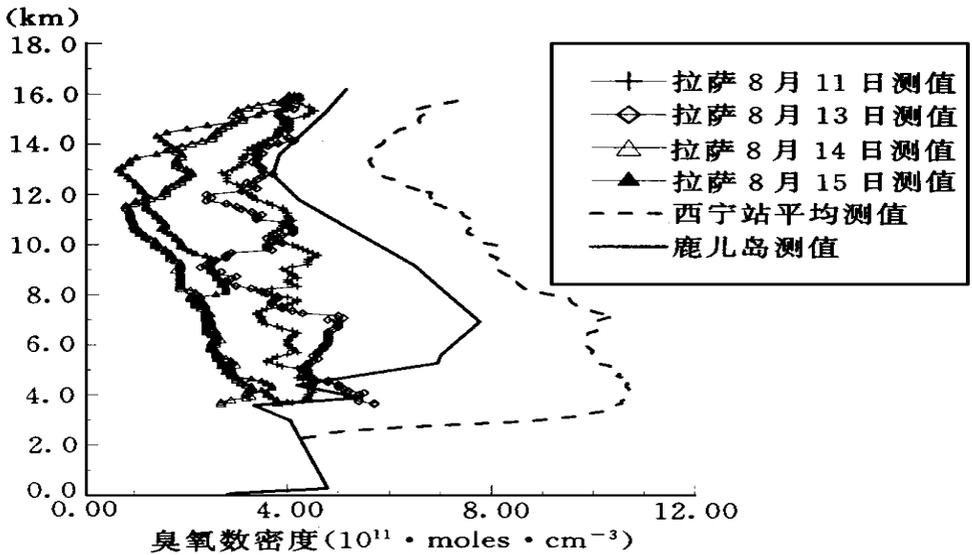


图5 拉萨地区对流层臭氧的垂直分布与其他站点的比较

### 3 结 论

根据1998年夏季在拉萨地区进行的臭氧总量和臭氧垂直廓线的观测,并结合其他有关资料,对1998年夏季拉萨地区的臭氧观测结果可得出如下结论:

(1)通过对 $30^{\circ}\text{N}$ 附近两个站的地基和卫星观测资料的分析,1998年夏季拉萨地区的臭氧观测结果证实了青藏高原夏季的“臭氧低谷”现象。

(2)Umkehr观测反演表明了拉萨地区夏季臭氧的垂直分布和同纬度其它地区略有不同:6、7月份拉萨地区平流层臭氧的最大值可出现在 $27.5\sim 30\text{km}$ 左右,其值较大,峰值宽度较窄;8月份臭氧最大值可出现在 $25\text{km}$ 左右,这和探空观测所反映的峰值位置是一致的。

(3)与青藏高原东北部历史上的臭氧探空资料相比,以及与同纬度地区、同期的日本鹿儿岛站臭氧观测相比,拉萨地区夏季对流层臭氧具有低值分布的特征。

致谢:青海省瓦里关山大气本底观象台的部分同志参加现场观测工作。美国NASA的McPeter博士提供了同期的TOMS卫星数据;加拿大的大气环境局世界臭氧中心(WOUDC)允许我们使用最新的日本Kagoshima站的臭氧探空数据;薛虎圣同志下载了整个Umkehr反演程序。

### 参 考 文 献

- 1 周秀骥,罗超,李维亮,等.中国地区臭氧总量变化与青藏高原异常低值中心.中国地区大气臭氧变化及其对气候环境的影响(1).北京:气象出版社,1996.232~238.
- 2 刘奇俊,周秀骥,郑向东,等.青海高原臭氧的垂直廓线特征.中国地区大气臭氧变化及其对气候环境的影响(2).北京:气象出版社,1996.50~58.

- 3 McElroy C T and Kerr J B. Table mountain ozone inter comparison: Brewer ozone spectrophotometer Umkehr observations. *J. Geophys. Res.*, 1995, **100**(D): 9293~ 9300.
- 4 McPeters P. A satellite-derived ozone climatology for balloon sonde estimation of total column ozone. *J. Geophys. Res.*, 1997, **102**(D): 8875~ 8885.
- 5 Reid S J, Vaughan G, Marsh A R W, et al. Accuracy of ozonesonde measurements in troposphere. *J. Atmos. Chem.*, 1996, **25**: 215~ 226.
- 6 郭松, 周秀骥. 青藏高原大气臭氧垂直廓线的观测研究. 科学通报, 1994, (39): 1726.
- 7 刘奇俊, 周秀骥, 郑向东, 等. 西宁地区臭氧探空与 Brewer Umkehr 观测对比试验结果分析. 中国地区大气臭氧变化及其对气候环境的影响(2). 北京: 气象出版社, 1994. 42~ 47.

## OBSERVATIONAL STUDY ON TOTAL OZONE AMOUNT AND ITS VERTICAL PROFILE OVER LHASA IN THE SUMMER OF 1998

Zheng Xiangdong

(Department of Geophysics, Peking University, Beijing 100871)

Tang Jie      Li Weiliang      Zhou Xiuji

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Shi Guangyu

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Y. Iwasaka

(Nagoya University, Japan)

### Abstract

An observational study on total ozone amount and its vertical profile is presented using the measurements taken in Lhasa in the summer of 1998. In combination with other data sets, it is proved that there is a natural "ozone valley" over the Tibetan Plateau. Analyses show that there are errors on total ozone amount between ground-based and satellite ozone measurements. Brewer Umkehr observations demonstrate that the layer with maximum amount of ozone in the stratosphere over Lhasa may exist in altitude ranging from 25 km to 27.5 km in summer, with higher values and narrower width when compared with other regions in the same latitude. But the Umkehr measurements overestimated the tropospheric ozone. Observations of ECC ozonesondes show that there has obvious lower amount of ozone in the troposphere over Lhasa in the summer season.

**Key words:** Lhasa    Total ozone amount    Ozone vertical profile