

陈权亮,任景轩,卞建春等. ECMWF 和 HALOE 平流层温度资料对比. 地球物理学报, 2009, **52**(11):2698~2703, DOI:10.3969/j. issn. 0001-5733. 2009. 11. 003

Chen Q L, Ren J X, Biao J C, et al. Comparison study on ECMWF and HALOE temperature data in the stratosphere. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2009, **52**(11):2698~2703, DOI:10.3969/j. issn. 0001-5733. 2009. 11. 003

ECMWF 和 HALOE 平流层温度资料对比

陈权亮^{1,2}, 任景轩¹, 卞建春², 朱克云¹

1 成都信息工程学院高原大气与环境研究中心, 成都 610225

2 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029

摘 要 利用 ECMWF 和 HALOE 资料, 分析了 1991~2002 年两种资料中温度垂直廓线、平方差水平分布, 并通过线性趋势分析方法分析了平流层不同高度温度变化趋势的差异. 研究表明: 在中低纬度地区, 10 hPa 以下两种资料中温度垂直廓线非常吻合; 10~2 hPa 高度, HALOE 资料中温度比 ECMWF 资料中温度要高; 1 hPa 高度上, 两种资料也有比较小的差异. 在南北半球的中高纬度地区, 温度的差异比较明显, 整个平流层中, HALOE 资料中温度比 ECMWF 资料中温度要高. 平流层中温度的水平分布差异随着高度而增大. 中低纬度地区温度差异相对较小, 南北半球 50° 以上地区差异比较大. 在平流层的中低层 100 hPa、50 hPa 和 10 hPa 高度, 两种资料中温度的变化趋势一致, 但是 HALOE 资料中温度的递减趋势要更明显. 在平流层高层 2 hPa, 1996 年后两种资料中温度的变化趋势相反. 本研究将为平流层温度研究的资料选择提供一定的依据.

关键词 平流层, 资料对比, ECMWF 资料, HALOE 资料

DOI:10.3969/j. issn. 0001-5733. 2009. 11. 003

中图分类号 P421

收稿日期 2008-10-03, 2009-05-06 收修定稿

Comparison study on ECMWF and HALOE temperature data in the stratosphere

CHEN Quan-Liang^{1,2}, REN Jing-Xuan¹, BIAN Jian-Chun², ZHU Ke-Yun¹

1 Center for Plateau Atmospheric and Environmental Research, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China

2 Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

Abstract The ECMWF and HALOE data from 1991 to 2002 was used to research the stratospheric temperature profile and distribution of temperature difference square. Then the time trends of stratospheric temperature at some altitudes were interviewed through linear trend test. The results obtained show that there are obvious differences between ECMWF and HALOE data. In mid-low latitudes, the temperature profiles are very similar bellow 10 hPa and the temperature from HALOE data is higher than that from ECMWF data in the layer from 10 hPa to 2 hPa. At 1 hPa, there is little difference between them. In mid-high latitudes of both hemispheres, the temperature difference is relatively obvious. The temperature from HALOE data is higher than that from ECMWF data in the whole stratosphere. It can be also found that the temperature distribution difference increases with the altitude in the stratosphere. There is a little difference in mid-low latitudes and clear differences out of 50 degrees in both hemispheres. At 100 hPa, 50 hPa and 10 hPa in the mid-low stratosphere, the temperature trends from HALOE and ECMWF data are very similar, but the decreasing trend is more obvious from HALOE data. At 2 hPa in the upper stratosphere, the trend after 1996, the temperature trends are just opposite. Those results

will provide some proofs to stratospheric temperature researches.

Keywords Stratosphere, Data comparison, ECMWF data, HALOE data

1 引言

平流层温度的变化是全球气候系统变化的一个重要组成部分,平流层温度的变化趋势被认为是研究地球大气温度垂直廓线变化以及研究臭氧和水汽变化的关键.政府间气候变化评估(IPCC)已把平流层温度变化趋势这个项目列为评估的最重要内容.平流层过程及其气候效应(SPARC)计划中专门设置了一个平流层温度变化趋势的评估组(STTA).由于探测技术的局限,平流层资料比较稀少.吴永华等^[1]、郑文刚等^[2]、陈皓等^[3]均采用雷达探空资料对平流层温度分布和变化进行了研究,马瑞平等^[4]利用 Nimbus-7 卫星 1971~1981 年平流层和中层大气温度探测(SAMS)数据研究了我国地区 20~80 km 高空大气温度特征.雷达探空资料和 Nimbus-7 卫星资料时间尺度比较短,不利于研究全球平流层大气的温度变化特征.邓淑梅等^[5]利用 NCEP 再分析资料分析了平流层爆发性增温的特征,郑彬等^[6]也利用 NCEP 资料分析了平流层降温对纬向风的影响.但是 NCEP 再分析资料的垂直高度只到 10 hPa,不能用来研究平流层中上层(10 hPa 以上高度)的温度变化.目前研究平流层温度的全球分布和变化特征主要采用欧洲中心的 ECMWF 资料和 UARS 卫星的 HALOE 资料以及 SAGE 系列资料等.由于 SAGE 资料与 HALOE 资料重合的时间比较短,本文不分析比较这两种资料.陈权亮等^[7]利用欧洲中心的 ECMWF 资料研究了平流层各层温度变化的空间分布特征.陈月娟等^[8]利用 NCEP 资料对最近 24 年的平流层温度变化趋势进行分析,并利用 HALOE 资料分析了最近 14 年平流层中上层的温度变化趋势.陈权亮等^[1]还利用 ECMWF 资料定量分析了对流层中层到平流层上层各高度温度的变化趋势,并分析了平流层温度变化和对流层温度变化的关系. ECMWF 资料具有时间序列长、垂直层次高的特点.在平流层中,该资料使用了纯等压面坐标,资料的可信度相对时间序列长的再分析资料(如

NCEP 资料)要好^[9]. HALOE 卫星资料垂直方向上分辨率高,资料高度最高可达 10^{-6} hPa. 陈月娟等^[10,11]、郑彬等^[12]利用 HALOE 资料进行了平流层微量气体和温度的相关研究.平流层温度的探测手段比较弱,这两种资料的准确性和精确程度如何,需要进一步分析研究.

本研究将利用相关分析、趋势分析等统计分析的方法,对比分析 ECMWF 资料和 HALOE 卫星资料平流层温度分布和变化的差异,为平流层温度和其他相关研究提供参考依据.

2 资料简介

ECMWF 的 ERA-40 全球逐月的平均温度场再分析资料,从地面到 1 hPa 共 21 层,平流层中有 100, 70, 50, 30, 20, 10, 7, 5, 3, 2, 1 hPa 等高度层,时间为 1958~2002 年共 45 年,水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 经纬度. ERA-40 使用三维变分同化技术,采用 T159L60 谱模式,综合测站观测资料、卫星资料、船舶观测资料等多种结果. ERA-40 资料在季节平均的某些气候特征方面准确性相对较好,尤其是对对流层低层位势高度和温度场的描述比较准确.

HALOE(Halogen Occultation Experiment)装置加载于美国 1991 年 9 月发射的高层大气研究卫星 UARS 上,它采用太阳掩星法测量和反演大气微量气体、气溶胶和温度的垂直分布. HALOE 提供 1991 年 10 月~2004 年轨道扫描温度资料,纬度范围 $70^{\circ}\text{S} \sim 70^{\circ}\text{N}$. HALOE 卫星资料垂直方向上分辨率高,资料高度最高可达 10^{-6} hPa. 相关研究表明, HALOE 卫星资料对于 25~65 km 大气温度的描述比较准确,它与雷达探空资料有较好的一致性,平均温度差别基本上小于 2 K ^[13].

为了便于两种资料的对比分析,首先将 HALOE 轨道扫描资料插值到格点上,水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 经纬度网格. 本研究主要对比两种资料相同空间($70^{\circ}\text{S} \sim 70^{\circ}\text{N}$)和时间尺度(1991 年 9 月~2002 年 4 月)内的温度分布和变化差异.

3 平流层温度的分布

ECMWF 和 HALOE 资料在温度垂直廓线上

1)陈权亮,卞建春,华 维等.平流层温度变化与对流层温度变化的关系.已投《气象学报》

有一定的差异. 图 1 为不同纬度上温度垂直廓线分布, 在中低纬度地区, 如图 1(a~c)所示, 10 hPa 以下各层, 两种资料廓线吻合得很好, 差异非常小; 在 10 hPa 到 2 hPa 层次, HALOE 资料中各层温度比 ECMWF 资料中温度要高, 但是二者差异不大; 在 1 hPa 高度, 两种资料有比较小的差异. 在南北半球的

中高纬度地区, 如图 1d、1e 所示, 两种资料廓线变化相似, 但是数值差异比较大, HALOE 资料中各层温度比 ECMWF 资料中温度都要高, 10 hPa 高度以上, 二者的差异比较明显, 温度差异最大值甚至可达 10 K. 在使用高纬度平流层温度资料时, 必须考虑这两种资料的差异.

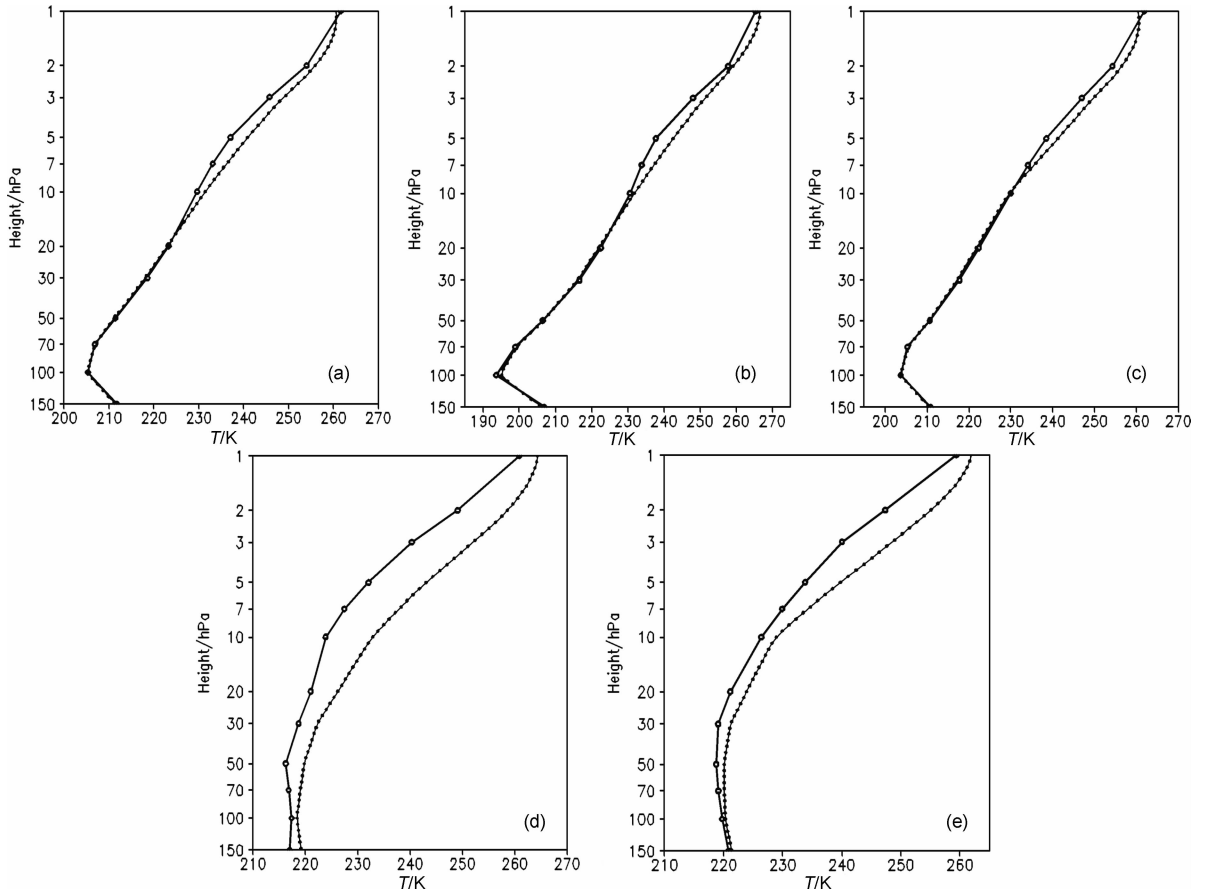


图 1 1991~2002 多年平均不同纬度地区平流层温度的垂直廓线(空心点线:ECMWF;实心点线:HALOE;单位:K)
(a)30°S;(b)EQ;(c)30°N;(d)60°S;(e)60°N.

Fig. 1 Time mean temperature profile from 1991 to 2002 in the stratosphere
(Hollow-point line:ECMWF;Solid-point line:HALOE;Unit: K)

为了更好地对比两种资料在不同高度上的水平差异绝对值的大小, 作了两种资料的温度平方差分布图, 如图 2 所示. 在 100 hPa 高度, 两种资料的水平分布差异比较小. 在中低纬度太平洋地区和南北半球的 50°~60°地区, 温度的差异相对较大, 平方差最大值为 6; 而中纬度地区, 两种资料的差异非常小, 平方差最大值小于 1. 在 50 hPa 高度, 两种资料吻合比较好, 除了南北半球 50°以外地区, 温度的平方差都小于 1. 在 20 hPa 高度, 温度差异最大位于北半球 40°以北地区, 温度平方差最大值超过了 15; 在南半球 30°附近和 50°以南, 两种资料也有一定的差异, 但是差异比较小. 在 2 hPa 高度, 在南亚半岛、

北美洲及南北半球的 50°以外高纬度地区, 两种资料的差异都比较大, 平方差最大值超过了 60, 而在其他地区, 两种资料的温度平方差都在 5 以内, 差异比较小. 总的来说, 两种资料中温度的水平分布差异随着高度而变大, 100 hPa 和 50 hPa 高度上差异比较小, 20 hPa 和 2 hPa 高度上温度差异比较大. 不同高度上, 在中低纬度地区差异相对较小, 而高纬度地区比较大.

4 温度的变化差异

接下来分析温度的变化在两种资料中的不同体

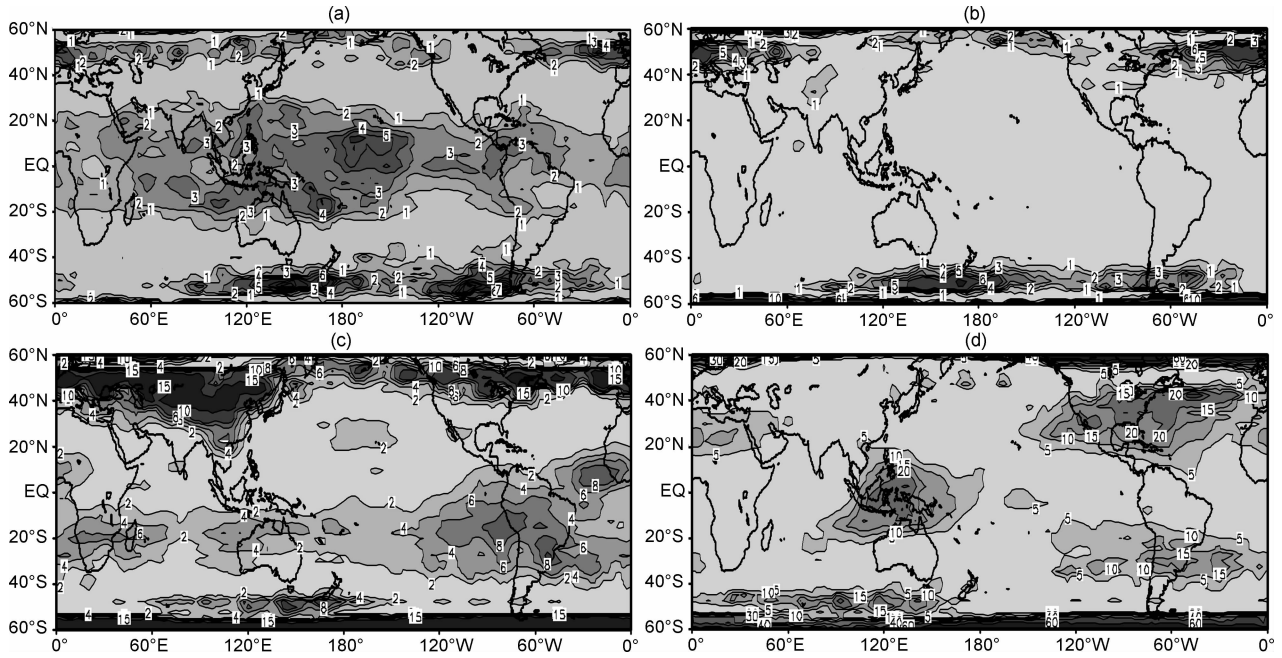


图 2 1991~2002 多年平均平流层温度平方差

(a)100 hPa;(b)50 hPa;(c)20 hPa;(d)2 hPa.

Fig. 2 Time mean temperature difference square from 1991 to 2002 in the stratosphere

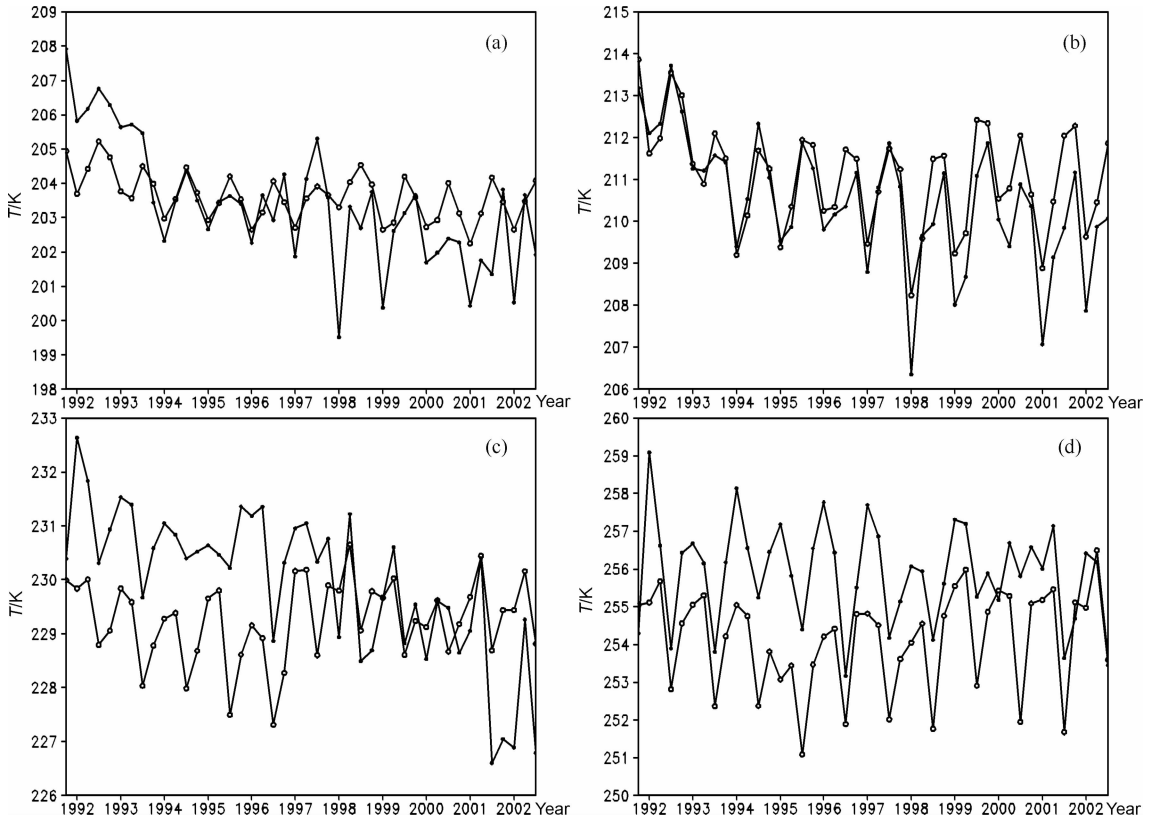


图 3 1991~2002 年平流层南北纬 60°区域内平均的温度变化(空心点线:ECMWF;实心点线:HALOE;单位:K)

(a)100 hPa;(b)50 hPa;(c)10 hPa;(d)2 hPa.

Fig. 3 Time trend of average temperature between 60°S and 60°N from 1991 to 2002 in the stratosphere (Hollow-point line;ECMWF;Solid-point line;HALOE;Unit:K)

现,由于 60°以上高纬度地区,两种资料的差异比较大,下面主要分析南北半球 60°以内温度的变化趋势.图 3 为不同高度上温度的变化曲线.在 100 hPa 高度,两种资料表现为一致的降温,其中在 1994~1997 年两种资料非常一致,在 1992、1993 年,HALOE 资料的温度比 ECMWF 资料要高,而在 1997 年后,情况正好相反.两种资料中,温度的相关系数为 0.69,通过了 0.01 的信度检验.线性趋势分析表明,ECMWF 资料中温度的变化为 $-1.1 \text{ K}/10 \text{ 年}$,而 HALOE 资料中温度的变化为 $-4.1 \text{ K}/10 \text{ 年}$,HALOE 资料中温度的降低幅度要大很多.在 50 hPa 高度,两种资料温度的降低非常一致,其相关系数为 0.88;温度的变化分别为 $-1.3 \text{ K}/10 \text{ 年}$ 和 $-2.7 \text{ K}/10 \text{ 年}$ (前者为 ECMWF 资料,下同),同样是 HALOE 资料中温度的降低幅度要大. IPCC 评估报告(IPCC-AR4)中指出,低平流层大气温度变化为 $-0.32 \text{ K}/10 \text{ 年}$ 至 $-0.47 \text{ K}/10 \text{ 年}$. ECMWF 资料分析结果与这一结果比较接近.在 10 hPa 高度,两种资料温度的变化趋势也一致,但是在 1997 年以前,HALOE 资料中温度比 ECMWF 资料要高.两种资料温度的相关系数为 0.63,温度变化分别为 $-0.9 \text{ K}/10 \text{ 年}$ 和 $-2.5 \text{ K}/10 \text{ 年}$,两种资料的差异和 50 hPa 高度基本一致.在 2 hPa 高度,HALOE 资料中温度普遍比 ECMWF 资料中温度要高,相关系数为 0.62.值得注意的是,ECMWF 资料中 1996 年以前为降温,1996 年后有一定的增温,而 HALOE 资料中表现为连续降温.两种资料的温度变化分别为 $0.4 \text{ K}/10 \text{ 年}$ 和 $-0.4 \text{ K}/10 \text{ 年}$,其中后者与 IPCC 结果十分接近.这两种资料中温度在 1996 年后相反的变化趋势需要相关研究者深入研究.

5 结 论

通过对 ECMWF 和 HALOE 两种资料中温度垂直廓线、平方差水平分布和变化趋势的分析,得到以下结论:

(1)在中低纬度地区,10 hPa 以下温度垂直廓线非常吻合;10~2 hPa 高度,HALOE 资料中温度比 ECMWF 资料中温度要高;1 hPa 高度上,两种资料也有比较小的差异.在南北半球的中高纬度地区,温度的差异比较明显,整个平流层中,HALOE 资料中温度比 ECMWF 资料中温度要高 1~10 K.

(2)在平流层中,温度的水平分布差异随着高度而增大.在不同高度上,基本表现为中低纬度地区差

异相对较小,南北半球 50°以上地区差异比较大.

(3)在平流层的中低层 100 hPa、50 hPa 和 10 hPa 高度,两种资料中温度的变化趋势一致,相关系数都通过了 0.01 的信度检验,但是 HALOE 资料中温度的递减趋势要更明显.在平流层高层 2 hPa,1996 年后温度的变化趋势正好相反,需要研究者深入分析.

在实际研究中,两种资料都适合用来研究 10 hPa 以下高度的中低平流层温度的分布;HALOE 资料对 1996 年后温度变化的描述与 IPCC 评估报告结果更吻合.而在 10 hPa 以上的中高平流层,HALOE 资料具有较高的垂直分辨率,比较适合讨论温度的分布与变化特征.

参考文献(References)

- [1] 吴永华,胡欢陵,胡顺星等.用瑞利散射激光雷达探测平流层中上部温度.中国激光,2001,28(2):137~140
Wu Y H, Hu H L, Hu S X, et al. Temperature measurement with Rayleigh scattering lidar in the mid and upper stratosphere. *Chin. J. Lasers (in Chinese)*, 2001, 28(2):137~140
- [2] 郑文刚,离洪均等.武汉上空大气密度温度的激光雷达探测.大气科学,1999,23(4):397~402
Zheng W G, Li H J, et al. Lidar detection of the atmospheric density and temperature over Wuhan. *Chin. J. Atmos. Sci. (in Chinese)*, 1999, 23(4): 397~402
- [3] 陈皓,易帆.武汉上空对流层与平流层大气密度和温度探测的初步结果.空间科学学报,2003,23(4):262~268
Chen H, Yi F. Rayleigh lidar and radiosond observations of density and temperature in middle atmosphere over Wuhan. *Chin. J. Space. Sci. (in Chinese)*, 2003, 23(4): 262~268
- [4] 马瑞平,徐寄遥,廖怀哲.我国地区 20~80 km 高空大气温度特征.空间科学学报,2001,21(3):248~252
Ma R P, Xu J Y, Liao H Z. The characteristic of temperature at height of 20~80 km in Chinese area. *Chin. J. Space Sci. (in Chinese)*, 2001, 21(3):248~252
- [5] 邓淑梅,陈月娟,陈权亮等.平流层暴发性增温期间行星波的活动.大气科学,2006,30(6):1236~1248
Deng S M, Chen Y J, Chen Q L, et al. Planetary wave activity during stratospheric sudden warming. *Chin. J. Atmos. Sci. (in Chinese)*, 2006, 30(6):1236~1248
- [6] 郑彬,施春华.全球平流层下部降温及其对纬向风的影响.气象科技,2006,34(5):538~541
Zheng B, Shi C H. Temperature cooling in lower stratosphere and its effects on zonal wind. *Meteorological Sciences and Technology (in Chinese)*, 2006, 34(5):538~541
- [7] 陈权亮,刘晓冉,李国平.平流层各层温度变化的时空特征分析.中国科技大学学报,2008,38(1):57~63

- Chen Q L, Liu X R, Li G P. Space-time feature analysis of temperature variations in the stratosphere. *Journal of University of Science and Technology of China* (in Chinese), 2008, **38**(1):57~63
- [8] 陈月娟,毕云,凌健等.平流层的温度变化趋势及其与对流层温度变化的关系.推进气象科技创新加快气象事业发展(上册).中国气象学会,2004.31~38
- Chen Y J, Bi Y, Lin J, et al. Stratospheric temperature trend and its relationship with tropospheric temperature. Promote Meteorological Sciences and Technology Innovation and Speed up the Development of Meteorology (Vol. 1) (in Chinese). China Meteorological Institute, 2004. 31~38
- [9] Trenberth K E, Stepaniak D P. A pathological problem with NCEP reanalysis in the stratosphere. *J. Climate*, 2002, **16**(6): 690~695
- [10] 陈月娟,施春华,周任君等.我国上空平流层中微量气体的垂直分布和变化趋势.地球物理学报,2006,**49**(5):1288~1297
- Chen Y J, Shi C H, Zhou R J, et al. Contents and trends of the trace gases in the stratosphere over China. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2006,**49**(5):1288~1297
- [11] Chen Yuejuan, Zhou Renjun, Shi Chunhua, et al. Study on the trace species in the stratosphere and their impact on Climate. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2006, **23**(6): 1020~1039
- [12] 郑彬,施春华,陈月娟.中国平流层 CH₄ 的分布特征和季节变化.高原气象,2006,**25**(4):609~615
- Zhen B, Shi C H, Chen Y J. Distribution features and seasonal variations of stratospheric CH₄ over China. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 2006,**25**(4):609~615
- [13] 吴永华,胡欢陵,胡顺星等.瑞利散射激光雷达探测平流层和中间层低层大气温度.大气科学,2002,**26**(1):23~29
- Wu Y H, Hu H L, Hu S X, et al. Measurements of thermal profiles in the stratosphere and lower mesosphere with Rayleigh scattering lidar. *Chin. J. Atmos. Sci.* (in Chinese), 2002,**26**(1):23~29

(本文编辑 何燕)