

# 沿 120°E 中纬度对流层—平流层下部气候变化 及与臭氧变化的联系\*

葛 玲 赵远东

(南京气象学院, 南京 210044)

宋连春

(国家气象中心, 北京 100081)

## 提 要

利用 1958~1995 年海拉尔、沈阳、南京三地区地面至 30 hPa 标准层月平均气温资料, 研究了近 40 年沿 120°E、30°~50°N 区域气候变率随高度、纬度和季节的分布特征, 前、后两个 20 年气候变率的变动及其与亚欧不同地区臭氧变化的联系. 结果指出: 近 20 年来, 该区域对流层中下部变暖速率随纬度显著增大, 尤其在冬季; 200 hPa 以上变冷速率亦随高度及纬度显著增大, 尤其在冬、春季. 而前、后两个 20 年, 高、低层气候变化趋势截然相反, 这是一种年代际尺度气候变化. 三地区各季节平流层下部变冷率(对流层中下部变暖率)随纬度增高而加大与邻近同纬带地区臭氧减少率随纬度增高而加大的现象基本对应, 表明平流层下部因臭氧减少引起的辐射加热减少, 可能是支配我国东部平流层下部变冷率(对流层中下部变暖率)随纬度增高而显著加大的一个重要因子.

关键词 对流层—平流层下部 气候变化 臭氧变化

## 引 言

全球气候变化问题由于与地球生态环境和经济发展关系密切, 目前已愈来愈受到各国政府、科学家和公众的关注. 国内、外对于地面气候变化的特征及原因有过不少研究. Hansen(1987)<sup>[1]</sup>、Janes(1988)<sup>[2]</sup>、Vinikov(1990)<sup>[3]</sup>、Wang Shao Wu 等(1993)<sup>[4]</sup>的工作分别代表了美国、英国、前苏联和中国的工作. 根据 IPCC 气候变化委员会近年的评估, 全球平均而言, 近百年增暖 0.3~0.6℃. 利用探空站温度资料对大气层下部气候变化的研究主要是分纬带、分厚度层进行的, 其中, Angell(1986)<sup>[5]</sup>、Oort and Liu(1993)<sup>[6]</sup>、Labitzke 等(1994)<sup>[7]</sup>、葛玲等(1995, 1996)<sup>[8-9]</sup>对于南、北极平流层下部气候变化特征及原因给予了特别的关注.

海拉尔(49°13'N 119°45'E)、沈阳(41°46'N 123°26'E)、南京(32°00'N 118°48'E)属我

\* 本文由“九五”国家“短期气候预测研究”项目及南京市留学回国人员工作站联合资助.  
1998-09-15 收到, 1999-04-21 收到修改稿.

国东部重要城市,它们同在  $120^{\circ}\text{E}$  附近,而相邻两两之间的纬距为  $8\sim 10^{\circ}$ ,本文的目的在于通过分析、比较三地区对流层—平流层下部主要标准层上气候变化趋势及不同时期的差异,了解东亚中纬度气候变化随纬度、高度和季节的分布和变动特点,进而为北半球大气臭氧长期变化与东亚中纬度气候变化的关系提出证据。

本文使用的资料主要包括 1958~1995 年南京、沈阳、海拉尔地面至 30 hPa 等 10 个标准层逐月平均气温、亚欧范围逐月臭氧总量以及月平均环流等。

采用 Burg(1967)<sup>[10]</sup>模型,即

$$A(p) = \frac{\sum_{j=1}^N T_j'(p) \left(j - \frac{N+1}{2}\right)}{\sum_{j=1}^N \left(j - \frac{N+1}{2}\right)^2}$$

计算  $p$  高度单位时间内气温序列随时间的平均变化程度  $A(p)$  (以下统称气候变率)。其中,  $j$  表示气温序列序号,  $N$  为序列长度,  $T_j'(p)$  表示气温距平序列。

## 1 海拉尔、沈阳、南京对流层—平流层下部气候变率比较

### 1.1 1958~1995 年近 40 年年、季气候变率的比较

图 1 给出海拉尔、沈阳、南京三地区在 1958~1995 年近 40 年间,冬、春、夏、秋各季平均以及年平均气候变率。由图可见:(1)对流层下部以增暖为主要特征,各季增暖层的厚度和增暖强度具有随纬度增加而增强的趋势。例如冬季南京、沈阳变暖层从地面向上达 500 hPa 以上,海拉尔变暖层上界增至 200 hPa 以上,增暖强度随纬度增加的现象在 700 hPa

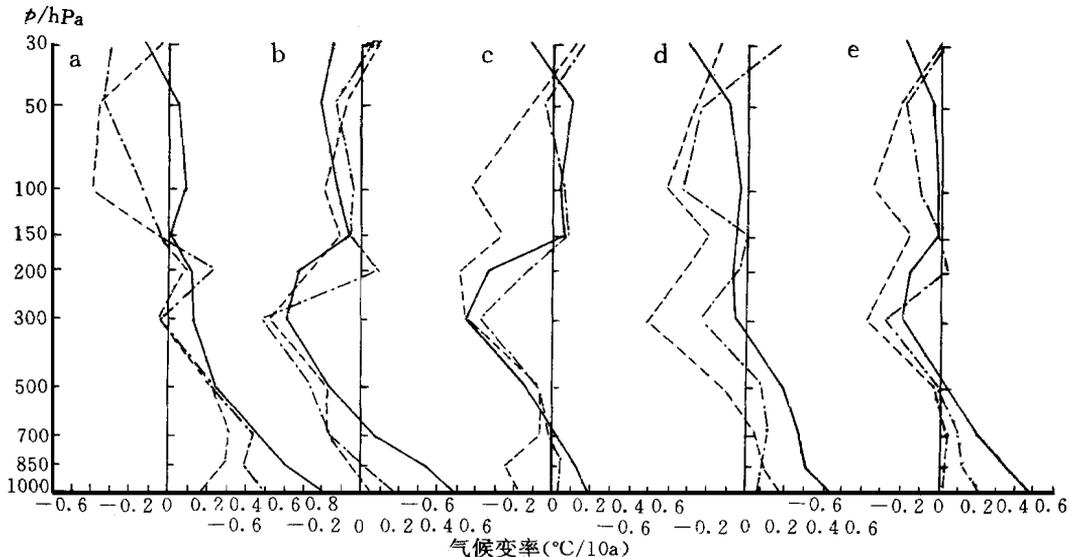


图 1 1958~1995 年海拉尔、沈阳、南京年、季平均气候变率随高度分布

(a)冬季 (b)春季 (c)夏季 (d)秋季 (e)年平均

(图中实线:海拉尔 点线:沈阳 断线:南京,单位:  $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ,下同)

以下最为明显, 南京、沈阳、海拉尔的地面变率分别为  $0.17^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 、 $0.48^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 、 $0.81^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ; 秋季南京的微弱变暖层在 700 hPa 以下, 海拉尔则增厚至 500 hPa 以上, 南京、沈阳、海拉尔的地面变化率分别为  $0.07^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 、 $0.17^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 、 $0.43^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ; 春季各地增暖层厚度均较秋季降低, 但 850 hPa 以下增暖速率与秋季相当; 夏季南京低层大气虽呈变冷趋势, 但在较高纬度仍呈现弱增暖。(2) 在 300 hPa 上下, 春、夏、秋季三地均呈变冷趋势, 春、夏季各地变冷率强度相当, 约为  $-0.38^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$  ~  $-0.52^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ , 只是秋季随着纬度增加变冷率减弱, 冬季各地气候变率均较弱。(3) 100 hPa 层上, 南京地区的四季、沈阳的秋季均出现强度为  $-0.20^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$  ~  $-0.45^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$  的变冷现象, 沈阳的其它季节以及海拉尔的四季气候变率不大, 表明近 40 年来这一高度上的气候变率有明显纬度差异。(4) 30~50 hPa 以变冷为主, 三地秋、冬季及海拉尔春季变冷较明显外, 其它各季各地变化强度和差异不大。

### 1.2 1958~1977 年、1976~1995 年的两个 20 年气候变率变动的比较

图 2 给出海拉尔、沈阳、南京三地区在 1958~1977 年及 1976~1995 年的两个 20 年气候变率随高度分布, 由图可见: (1) 前 20 年, 三地区 300 hPa 以下均呈变冷趋势, 且变率

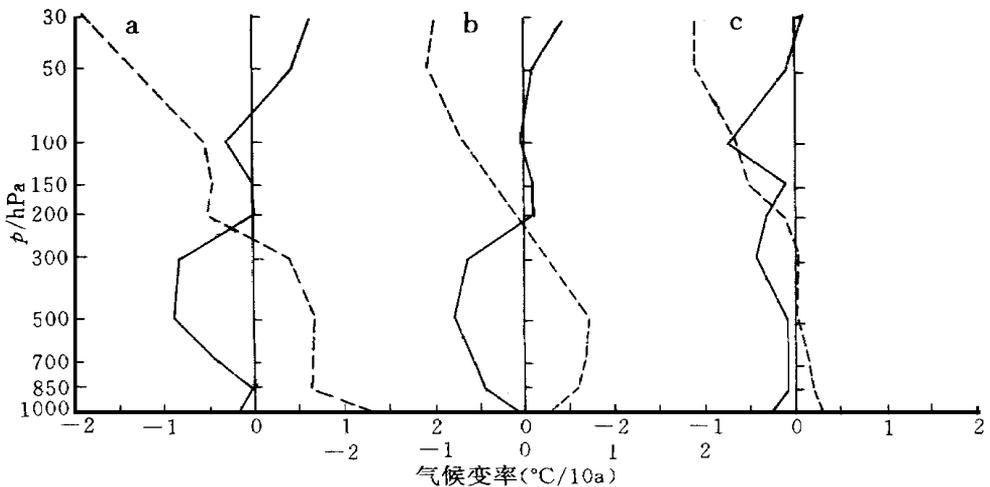


图 2 海拉尔(a)、沈阳(b)和南京(c)年平均气候变率随高度分布

(图中实线: 1958~1977 年, 虚线: 1976~1995 年)

随高度增大, 30~50 hPa 海拉尔、沈阳变暖, 200~100 hPa 层除了南京、海拉尔地区 100 hPa 变冷显著外, 其余变率不大。而近 20 年间, 沈阳、海拉尔 300 hPa 以下显著变暖, 200 hPa 以上三地均变冷, 且变率随高度显著增大。高、低层以及前、后期之间, 气候变化趋势截然相反。表明在过去 40 年中, 东亚中纬度高、低层气候变化趋势均出现了明显转折。这是一种年代际尺度变化。(2) 气候变率的变动一般以地面、500~300 hPa、30~50 hPa 高度最为明显。变动程度随纬度具有明显的差异, 在海拉尔与沈阳之间气候变率的变动以地面最明显, 在沈阳与南京之间以对流层中部及平流层下部最明显。

### 1.3 1976~1995 年气候变化的季节特征比较

由海拉尔、沈阳及南京 1976~1995 年的各季平均以及年平均气候变率(图略)可见:

(1) 处于不同纬度的三地区各个季节均出现对流层中下部变暖、平流层下部至对流层 200 hPa 上下明显变冷的特征, 仅南京地区春、夏季的变冷层向下延伸到 700~ 850 hPa, 微弱变暖只出现在近地层。(2) 对流层中下部的显著变暖是近 20 年来气候变化的一个重要特色, 冬季海拉尔、沈阳增暖率一般为  $1.10^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ~ $1.50^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ , 海拉尔地面变率超过  $2.00^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ , 秋季变率次之。主要变暖高度在 700~ 500 hPa 及地面。地面气候变率的差异以沈阳与海拉尔之间为大, 而 850~ 300 hPa 以南京与沈阳之间为大, 尤其是冬季。(3) 各季 30~ 50 hPa 的显著变冷是近 20 年来气候变化的另一大特色, 尤其是在冬、春季, 三地区变率均为  $-1.00^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ~ $-2.45^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ , 夏、秋季变率一般仍为  $-0.65^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ~ $-1.50^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$  之间。(4) 地面与 100 hPa 之间垂直温差的增值以冬、春为大, 海拉尔、沈阳、南京冬季分别为  $3.33^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 、 $1.87^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 、 $1.19^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ , 春季分别为  $1.46^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 、 $0.54^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 、 $0.50^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。这意味着近年来东亚中纬度大气层结有所改变, 纬度愈高, 变化愈大。

## 2 海拉尔、沈阳、南京气候变率与东亚同纬带邻近地区臭氧总量变率的联系

### 2.1 东亚同纬带邻近地区臭氧总量的年、季平均变率

表 1 给出与海拉尔、沈阳、南京三地区相邻近的  $130^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$ 、 $30^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$  区域 Bolshaya Elan ( $46^{\circ}55'\text{N } 142^{\circ}44'\text{E}$ )、Sapporo ( $43^{\circ}03'\text{N } 141^{\circ}20'\text{E}$ )、Tateno ( $36^{\circ}03'\text{N } 140^{\circ}08'\text{E}$ )、Kagoshima ( $31^{\circ}38'\text{N } 130^{\circ}36'\text{E}$ ) 等 4 个站点, 1976~ 1995 年 20 年间的臭氧变率, 可见: (1) 近 20 年来该区域各站点各季臭氧总量变率以减少为主要特征, 仅  $30^{\circ}\text{N}$  附近春、夏、秋季臭氧略呈增多趋势; (2) 臭氧减少的变率随着纬度的增高而增大的现象以冬季最为明显, 其余季节则以  $35^{\circ}\text{N}$  以北变化显著。

表 1 1976~ 1995 年  $130^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$ 、 $30^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$  地区 4 站年、季平均臭氧总量变率  
(单位: 距百分比/10 a)

	Bolshaya Elan ( $46^{\circ}55'\text{N } 142^{\circ}44'\text{E}$ )	Sapporo ( $43^{\circ}03'\text{N } 141^{\circ}20'\text{E}$ )	Tateno ( $36^{\circ}03'\text{N } 140^{\circ}08'\text{E}$ )	Kagoshima ( $31^{\circ}38'\text{N } 130^{\circ}36'\text{E}$ )
冬季	- 9.2	- 6.0	- 3.4	- 0.8
春季	- 6.0	- 4.2	- 1.5	0.4
夏季	- 7.1	- 2.6	- 0.3	1.7
秋季	- 7.0	- 2.1	- 0.3	1.7
年	- 7.3	- 3.7	- 1.4	0.8

### 2.2 海拉尔、沈阳、南京平流层下部、对流层中下部气候变率与臭氧总量变率的联系

表 2 分别给出海拉尔、沈阳、南京三地区 1976~ 1995 年平流层下部 30~ 50 hPa、对流层中下部 300 hPa 至地面气候变率, 由表 2 可见: (1) 各地、各季节平流层下部变冷趋势与邻近地区臭氧总量减少趋势基本对应, 且变冷率随纬度增高而加大与臭氧减少率随纬度增高而加大的现象也是一致的, 这表明在我国北方地区, 臭氧的辐射加热是支配平流层温度场的重要因子, 而南京春、夏、秋季有所不同。(2) 各地、各季节对流层中下部变暖趋势与邻近地区臭氧总量减少趋势基本对应, 三地区对流层中下部随纬度增高变暖率加大的特

表 2 1976~1995 年海拉尔、沈阳、南京 30~50 hPa、300 hPa 至地面年、季平均气温变率  
(单位: °C/10 a)

	海拉尔(49°13'N 119°45'E)		沈 阳(41°46'N 123°26'E)		南 京(32°00'N 118°48'E)	
	30~50 hPa	300 hPa~地面	30~50 hPa	300 hPa~地面	30~50 hPa	300 hPa~地面
冬	-2.14	1.32	-1.88	0.95	-1.24	0.32
春	-1.91	0.44	-1.07	0.26	-1.38	-0.04
夏	-1.24	0.39	-0.70	0.29	-1.08	-0.08
秋	-1.14	0.76	-0.43	0.49	-0.70	0.37
年	-1.61	0.73	-1.02	0.49	-1.10	0.14

征与臭氧减少率随纬度增高而增大的特征也是基本一致的. 近年来三地区对流层气候变暖速率随纬度增高显著增强的变化固然与对流层温室气体变化有关, 也与东亚上空大气臭氧总量减少率随纬度的增强有关, 在纬度较高地区, 进入对流层的太阳紫外辐射由于平流层大气臭氧减少而增强, 可能是对流层变暖随纬度增大的一个重要原因. (3) 春、夏、秋季, 南京地区平流层、对流层温度变率与邻近地区臭氧变率的关系似不及其他纬度较偏北地区密切, 可能与这一纬带温度场特征不但受制于辐射因子, 还受制于动力因子有关.

### 3 海拉尔、沈阳、南京气候变化与亚欧高纬度关键地区臭氧总量变化的联系

表 3 给出海拉尔、沈阳、南京三地区各季平均气温与亚欧高纬地区(75°N 50°~160°E, 50°N 60°~160°E) 相应季平均臭氧总量相关统计(序列均作 3 年滑动平均处理), 其中,  $r$  表示相关系数,  $\alpha$  表示信度. 赵红旭、葛玲(1991)<sup>[11]</sup>根据 EOF 分析结果曾指出, 该区域属北半球臭氧总量变化最大的区域.

表 3 海拉尔、沈阳、南京 30~50 hPa、100 hPa、300 hPa、500 hPa 各季  
平均气温与亚欧高纬地区臭氧距平百分比相关系数

	海拉尔 (49°13'N 119°45'E)		沈 阳 (41°46'N 123°26'E)		南 京 (32°00'N 118°48'E)	
	$r$	$\alpha$	$r$	$\alpha$	$r$	$\alpha$
	30~50 hPa					
冬季	0.424	0.05	0.534	0.001	0.266	
春季	0.530	0.01	0.450	0.01	0.514	0.01
夏季	0.706	0.001	0.252		0.226	
秋季	-0.393	0.05	0.138		0.116	
100 hPa						
冬季	0.182		0.294	0.10	-0.315	0.10
春季	-0.096		0.151		0.023	
夏季	-0.067		0.120		-0.435	0.01
秋季	0.138		-0.155		-0.369	0.05
300 hPa						
冬季	-0.391	0.05	-0.052		0.218	
春季	-0.013		-0.134		0.064	
夏季	-0.814	0.001	-0.199		-0.795	0.001
秋季	-0.751	0.001	-0.488	0.01	-0.272	
500 hPa						
冬季	-0.514	0.01	-0.371	0.05	0.176	
春季	-0.325	0.10	-0.426	0.05	0.286	0.10
夏季	-0.681	0.001	-0.094		0.137	
秋季	-0.468	0.01	-0.600	0.001	-0.214	

从表 3 可见,亚欧高纬地区臭氧与沿 120°E 30°~ 50°N 中纬度气温的关系是随纬度、高度、季节而改变的:(1)相关关系具有随纬度增高而增强的趋势,臭氧变化以与海拉尔气温关系最为密切。(2)相关关系随高度变化,以与 30~ 50 hPa、500 hPa 气温关系最为密切。其中臭氧变化与 30~ 50 hPa 气温变化以正相关为主,即关键地区臭氧量增多(减少),三地区气温以偏暖(偏冷)为主;而与对流层 300 hPa、500 hPa 气温的关系,40°N 以北地区以反相关为主,40°N 以南地区相关的性质随季节而改变。(3)相关关系随季节而改变的特征还表现在:冬、春季以与 30~ 50 hPa、500 hPa 气温关系更为密切,夏、秋季则以与 300 hPa、500 hPa 气温关系更为显著。

图 3 给出冬、春季亚欧高纬区域臭氧总量与海拉尔、沈阳、南京三地区 30~ 50 hPa 气

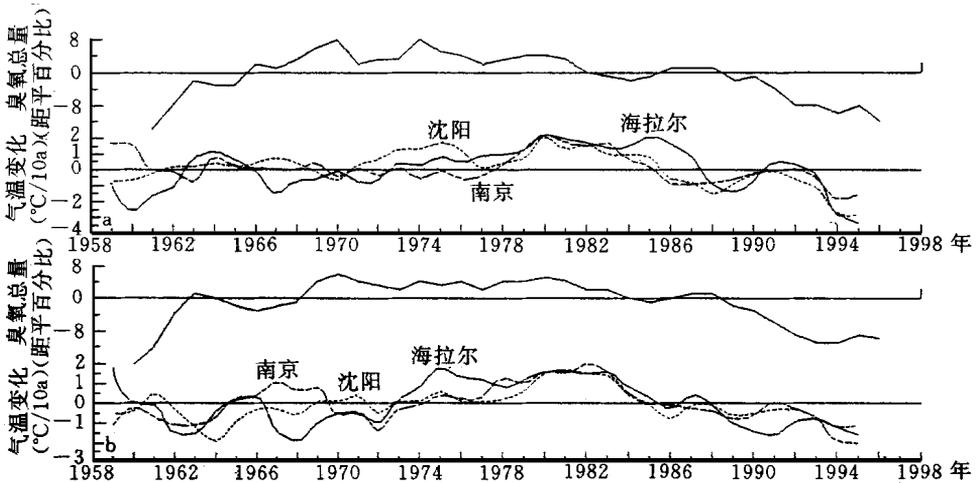


图 3 冬季(a)、春季(b)亚欧高纬区域大气臭氧总量与海拉尔、沈阳、南京 30~ 50 hPa 气温变化曲线(已作 3 年滑动平均处理)

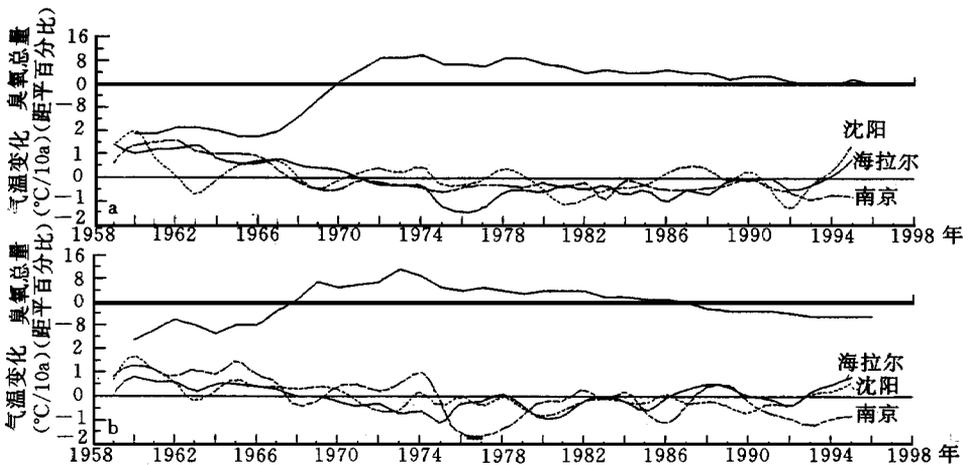


图 4 夏季(a)、秋季(b)亚欧高纬区域大气臭氧总量与海拉尔、沈阳、南京 300 hPa 气温变化曲线(已作 3 年滑动平均处理)

温变化曲线,其间关系如表3.

与上相似,图4给出夏、秋季亚欧高纬区域臭氧总量与海拉尔、沈阳、南京三地区300 hPa气温变化曲线,其间相关关系见表3.

## 4 讨论与结论

(1)近40年来,该地区对流层下部以增暖为主要特征,各季增暖层厚度和增暖强度具有随纬度增加而增强的趋势;各地300 hPa均以变冷为主要特征;30~50 hPa亦以变冷趋势为主.

(2)比较1958~1977年、1976~1995年这两个20年气候变率的变动可知,前20年三地区300 hPa以下均呈变冷趋势,且变率随高度增大,40°N以北30~50 hPa以增暖为主;而近20年,40°N以北地区300 hPa以下显著变暖,三地区200 hPa以上变冷的速率随高度显著增大,高、低层之间以及前、后期之间,气候变化趋势截然相反,表明在过去40年里,东亚中纬度高、低层气候变化趋势均出现明显转折.这是一种年代际尺度变化.

(3)近20年来,三地区对流层中下部的显著变暖以冬季尤甚,海拉尔、沈阳变暖率一般为1.10°C/10 a~1.50°C/10 a,海拉尔地面超过2.00°C/10 a;秋季变率次之.主要变暖层高度在700~500 hPa及地面,变暖层厚度随纬度增高明显加大.变冷最显著的高度在30~50 hPa,以冬、春季尤甚,变率在-1.00°C/10 a~-2.45°C/10 a.

(4)三地区各季节平流层下部变冷率随纬度增高而增大,与邻近同纬带地区臭氧减少率随纬度增高而加大的现象基本对应,这表明臭氧的辐射加热是支配我国北方地区平流层中下部温度场的一个重要因子;各地,各季节对流层中下部温度随着纬度增高变暖率加大的特征与臭氧减少率随纬度增高而增大的特征也是一致的,表明:在纬度较高地区,到达对流层的太阳紫外辐射由于平流层大气臭氧减少而增强,这可能是近年来对流层中下部变暖率随纬度增高而显著加大的一个重要原因.另一方面,对流层中下部臭氧含量的增加通过温室效应也可能是增暖的另一个重要原因.南京地区气温变率与臭氧变率的关系似不及较高纬度地区密切,表明南京地区气温变率除了受辐射因子变化影响外,还可能受到动力因子变动的影 响.

(5)亚欧高纬度关键地区臭氧总量与120°E 30°~50°N地区气温变化的关系随纬度、高度、季节而有明显的改变,相关的性质也发生变化.

## 参 考 文 献

- 1 Hansen J and Lefedeff S. Global surface air temperature update through 1987. *Geophys. Res. Lett.*, 1988, 15(4): 323~326.
- 2 Jones P D. Hemisphere surface air temperature variations: Recent trends and an update to 1987. *J. Climate*, 1988, 1(6): 654~660.
- 3 Vinikov K Y, Groisman P Y and Lugina K M. Empirical data on contemporary global climate changes temperature and precipitation. *J. Climate*, 1990, 3(6): 662~677.
- 4 Wang Shaowu, Ye Duzhang. An analysis of global warming during the last one hundred years. Proceeding of International Workshop on Climate Variabilities. 13-17 July 1992, Beijing, China, edited by Ye Duzhang et al. Beijing:

- China Meteorological Press, 1993. 23~ 32.
- 5 Angell J K. Annual and seasonal global temperature change in the troposphere and low stratosphere, 1960- 1985. *Mon. Wea. Rev.*, 1986, **114**(10): 1922~ 1930.
- 6 Oort A H and Liu H. Upper-air trends over the globe, 1958- 1989. *J. Climate*, 1993, **6**(2): 292~ 307.
- 7 Labitzke K K, Loon H V. Trends of temperature and geopotential height between 100 and 10 hPa on the Northern Hemisphere. *J. Meteor. Soc. Japan*, 1994, **72**(5): 643~ 652.
- 8 Ge Ling, Liang Jiaxing and Chen Yiliang. Spatial/temporal features of antarctic climate change. *Adv. Atmos. Sci.*, 1996, **13**(3): 375~ 382.
- 9 葛玲, 梁佳兴. 南极气候变化的季节特征. 南京气象学院学报, 1996, **19**(4): 393~ 398.
- 10 Burg J P. Maximum entropy special analysis. 37th annual international meeting, Oklahoma: 1967.
- 11 赵红旭, 葛玲. 北半球臭氧总量变化及大气环流与臭氧总量年际异常的联系, 南京气象学院学报, 1991, **14**(增刊): 473~ 481.

## THE CLIMATIC VARIATION FROM TROPOSPHERE TO LOWER STRATOSPHERE AT MID-LATITUDE ALONG 120° E AND ITS RELATION WITH OZONE VARIATION

Ge Ling      Zhao Yuandong

(*Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044*)

Song Lianchun

(*National Meteorological Center, Beijing 100081*)

### Abstract

Using the mean monthly temperature data of Nanjing, Shenyang and Hailar from surface to 30 hPa during 1958 to 1995, the variable features on the climatic variability of the regions along 120° E from 30° N to 50° N with altitude-latitude-season are studied, and the relations with ozone variation in East Asia, adjacent area of same latitude and Eurasia key areas of high-latitude are also discussed.

**Key words:** Troposphere    Lower stratosphere    Climatic variation    Ozone variation  
Comparison