

# 北京高空温度的统计特征\*

米季德 崔继良

(北京市气象局, 北京, 100081)

曹鸿兴

(中国气象科学研究院, 北京, 100081)

## 摘 要

对 1961~1994 年自地面至高空 20 hPa 的温度资料进行了统计分析, 以了解北京高空气温的季节变化、垂直分布和长期变化趋势。研究发现: 以 150 hPa 层为界, 其上部和下部的温度变化有着不同的气候特征, 如在该层以下各层上的温度年较差为正值, 而其上则为负值; 近 30 余年来, 对流层下层温度显著增加, 对流层上层和平流层的温度在降低, 对流层温度直减率加大。

关键词: 气候统计, 高空温度, 全球增暖。

## 1 引 言

全球增暖为世人所瞩目, 其研究很多。许多研究结果被综合在 IPCC(政府间气候变化委员会) 1990 年、1992 年和 1995 年的气候变化科学评估报告中<sup>[1]</sup>。在中国关于气温变化的研究也有不少工作<sup>[2,3]</sup>, 但都是对地表气温这一要素进行的, 对高空温度变化的研究几乎没有。观测资料分析和数值模拟结果都表明, 在地表和低层气温升高的同时, 高空气温是降低的<sup>[4]</sup>。

北京的地面气温自 1940 年以来其线性上升趋势为  $1.15 / 100 \text{ a}$ 。最低气温上升得更快, 达  $3.33 / 100 \text{ a}$ , 而最高气温反而呈下降趋势, 其速率为  $-0.0970 / 100 \text{ a}$ <sup>[5]</sup>。北京高空温度的变化如何呢? 这就是要研究的问题。在文献[6]中对此作过初步探讨, 揭示了近 30 a 来北京高空温度变化的若干特征。在此将对这一问题作更深入的研究, 着重其气候统计特征。

以每天两次(07 时、19 时)的探测记录平均作为日平均, 再统计月平均值。共选取 11 层, 分别是: 地面、850 hPa, 700 hPa, 500 hPa, 400 hPa, 300 hPa, 200 hPa, 150 hPa, 100 hPa, 50 hPa, 20 hPa。20 hPa 相当于高空 27000 m, 其中, 50 hPa 和 20 hPa 因前期记录缺失, 分别从 1965 年和 1973 年开始统计, 其余各层的资料均为 1961~1994 年\*\*。

\* 初稿时间: 1997 年 4 月 16 日; 修改稿时间: 1997 年 12 月 10 日。

\*\* 本文采用的资料为北京(54511)全球交换站的标准探空资料。

## 2 气候统计

### 2.1 季节变化

从地面到 300 hPa 高空, 温度的季节变化趋势基本一致(图 1), 即冬天温度低, 夏天温度高, 季节变化为单峰型, 由冬到夏的温度变化幅度地面高达  $30.9^{\circ}\text{C}$ , 850 ~ 300 hPa 在  $20 \sim 30^{\circ}\text{C}$  之间, 最冷在 1 月, 最热在 7 月。这是中纬度温带地区常见的气温季节变化型。由地面到 300 hPa, 温度的季节变化幅度随着高度增加而减小。在 200 hPa 上季节变化呈双峰型, 即在 1 月和 8 月各有一高温值, 虽然 1 月的高温不明显, 而低谷分别在 4 月和 11 月。150 hPa 温度的季节变化不明显, 可以称它为一过渡层。100 ~ 50 hPa 的温度季节变化亦呈单峰型, 但其位相与地面至 300 hPa 的季节变化相反, 即 1 月最热, 7 月最冷。这意味着 100 ~ 50 hPa 层与地面至 300 hPa 层的温度季节变化的物理机制可能正好相反, 这符合大气层结在平流层和对流层不同的状况。在 20 hPa 上温度季节变化又出现双峰型, 即冬夏热, 春秋冷, 但其总的变化幅度不大, 仅  $2.5^{\circ}\text{C}$ 。就此而言, 20 hPa 与 200 hPa 温度季节变化有着类似性。

### 2.2 温度年较差

温度年较差定义为:

$$\Delta T = T_7 - T_1$$

式中  $T_7$  为 7 月温度,  $T_1$  为 1 月温度。图 2 给

出了 1961 ~ 1994 年平均温度年较差随高度的分布图。由图可见, 在对流层即 200 hPa 以下, 温度年较差由地面到高空随高度增加而减小, 地面年较差达  $30.9^{\circ}\text{C}$ , 到 300 hPa 高空则降到了  $20.8^{\circ}\text{C}$ 。更令人注目的是, 由 300 hPa 到 200 hPa 温度年较差出现急剧减少, 由  $20.8^{\circ}\text{C}$  降到  $6.4^{\circ}\text{C}$ , 这可能与在这两层间存在对流层顶有关。从 150 hPa 到 50 hPa, 温度年较差发生逆转, 即 7 月温度反而比 1 月的低, 这在图 1 上也能看出。说明在 200 hPa 与 150 hPa 之间靠在 150 hPa 附近存在一个年较差为零的层次。到 20 hPa, 温度年较差虽又变成正值, 即 7 月温度高于 1 月温度, 但温度年较差甚小  $\Delta T = 1.7^{\circ}\text{C}$ , 且由于前期资料短缺, 其结果可靠性差。

### 2.3 年平均气温多年平均铅直廓线

将每层上 1961 ~ 1994 年的年平均气温加以平均, 就得到气温随高度的铅直分布(图 3)。由图 3 可见, 地面( $8.7^{\circ}\text{C}$ )到 700 hPa( $-4.1^{\circ}\text{C}$ )温度随高度增加而下降, 但直减率不

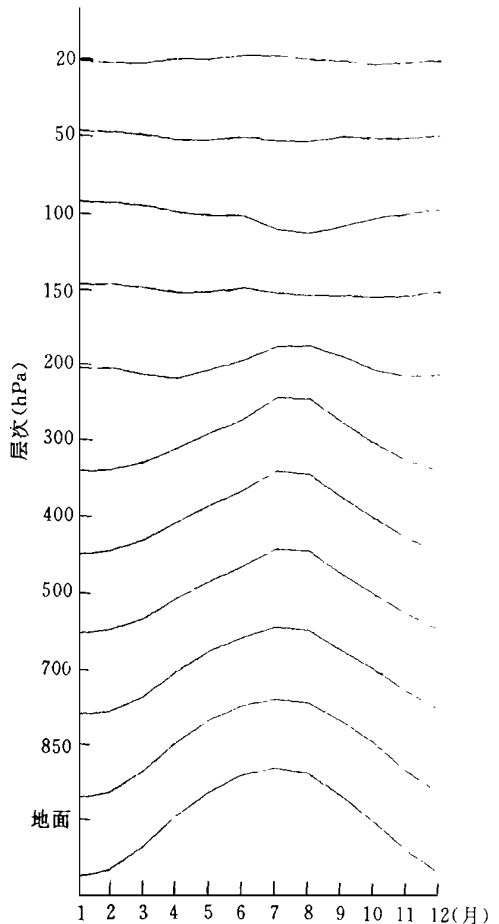


图 1 北京气温的季节变化

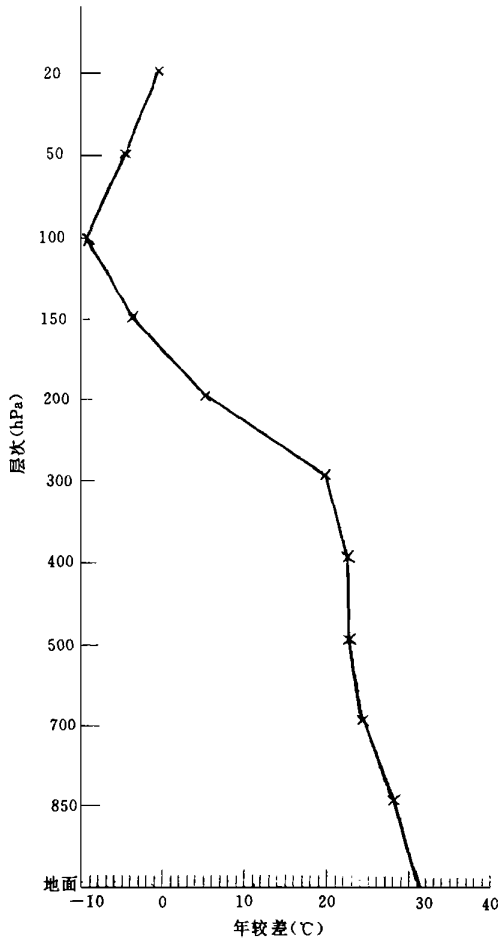


图2 北京多年平均温度年较差垂直分布

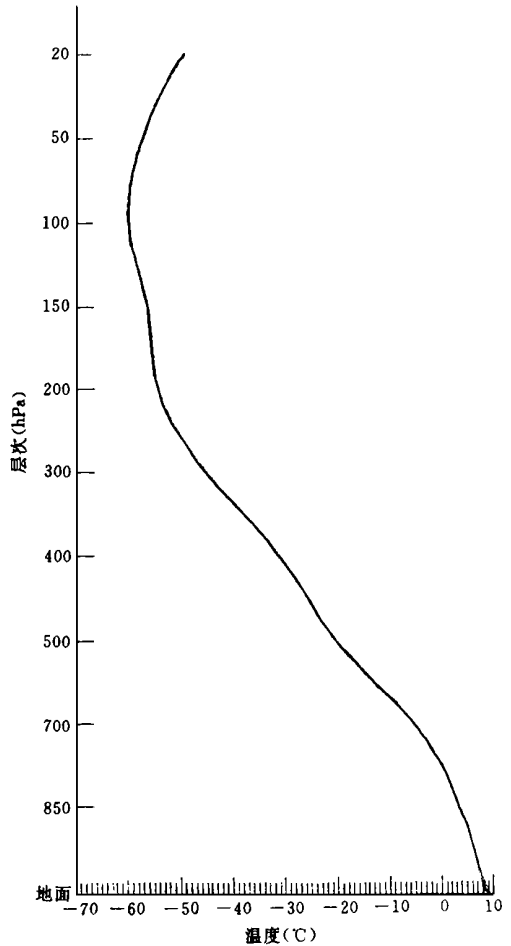


图3 北京年平均气温多年平均温度随高度的分布

很大。700 hPa 至 300 hPa ( $-44.1$ ) 温度随高度增高而下降得很快,直减率为  $5.90$  /km, 300 hPa 至 200 hPa ( $-53.7$ ), 直减率为  $2.96$  /km; 200 hPa 到 150 hPa ( $-55.7$ ) 直减率为  $0.87$  /km, 150 hPa 至 100 hPa ( $-59.4$ ) 温度递减十分缓慢,直减率为  $1.14$  /km。100 hPa 至 20 hPa 温度出现逆温,到 20 hPa 时温度达  $-48.6$ , 温度直减率为  $-0.98$  /km, 即出现逆温。在年平均气温多年平均铅直廓线上存在一个极小点,即 100 hPa 层, 200 hPa 到 150 hPa 的直减率几乎为零, 150 hPa 到 100 hPa 的直减率重又加大。联系到 150 hPa 为季节变化的过渡层(见 2.1 节), 可以推断, 150 hPa 层是一个特殊的层次。

#### 2.4 温度极值统计

统计了各层季节平均和年平均最高气温 ( $T_{\max}$ ) 和最低气温 ( $T_{\min}$ ) 及其出现的年份, 随后作了铅直方向的极值统计(见表 1), 其统计结果为: 就铅直方向而言  $T_{\max}$  和  $T_{\min}$  的极值几乎都出现在地面和 100 hPa 层。这反映了从地面至 20 hPa, 地面是最暖的, 而 100 hPa 是最冷的层次, 不仅就气候平均而言, 就其极值而言也是如此。

表 1 最高气温 ( $T_{\max}$ ) 和最低气温 ( $T_{\min}$ ) 的极值统计

| 项 目     | 年平均 |       |      | 冬季平均 |       |      | 夏季平均 |       |      |
|---------|-----|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|
|         | 层次  | 数值    | 年份   | 层次   | 数值    | 年份   | 层次   | 数值    | 年份   |
| 最高气温极大值 | 地面  | 10.5  | 1994 | 地面   | -3.2  | 1992 | 地面   | 24.3  | 1994 |
| 最高气温极小值 | 100 | -58.1 | 1962 | 100  | -58.8 | 1970 | 100  | -60.0 | 1969 |
| 最低气温极大值 | 地面  | 7.2   | 1966 | 地面   | -5.4  | 1966 | 地面   | 20.9  | 1976 |
| 最低气温极小值 | 100 | -60.3 | 1975 | 50   | -58.8 | 1987 | 100  | -64.3 | 1984 |

### 3 气候变化

#### 3.1 一般趋势

在文献[6]中计算了不同层次上年和冬、夏平均温度的线性变化趋势。在本文中将从不同的统计结果进一步阐明北京气温的近 30 a 来的变化趋势。

图 4 为各层年温度距平 10 a 滑动平均曲线, 图上可一目了然地看到不同层次上温度的变化, 自地面至 700 hPa, 温度呈上升趋势, 地面升温最显著。500 hPa 至 400 hPa 则是先降后升, 在 20 世纪 80 年代中期有一个低谷, 从 30 余年总趋势来说, 以 400 hPa 为界, 其下为增温, 其上为减温。300 hPa 气温则是明显下降, 其趋势正好与地面相反。如 2.4 中所述, 100 hPa 层是高空最冷层, 地面是最热层, 而气候变化也在这两层上最激烈, 其结果加大了北京的温度直减率。200 hPa 和 150 hPa 气温略有下降, 100 hPa 至 20 hPa 气温下降显著, 尤其是 20 hPa 气温近年急剧下降。

#### 3.2 气温年代际变化

##### 3.2.1 气温年较差变化

观测事实和数值模拟计算表明, 随着全球增暖, 地表气温的年较差将变小, 北京也不例外<sup>[5]</sup>。表 2 列出了地表、850 hPa, 500 hPa, 300 hPa, 100 hPa 和 20 hPa 各层气温 10 a 平均值的年较差。地面和 500 hPa 气温的年较差在 20 世纪 90 年代

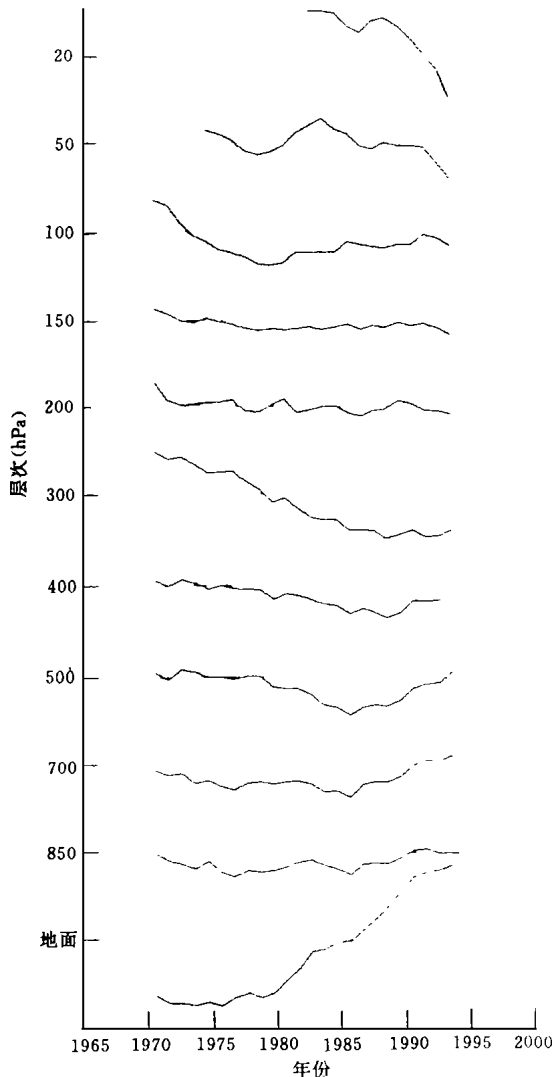


图 4 各层年温度距平 10 a 滑动平均曲线

前 5 a 比 60 年代平均值有所减少,地表达 2.5, 500 hPa 达 1.0。300 hPa 和 100 hPa 的年较差也在减少,分别减少了 0.6 和 1.1。而 20 hPa 气温年较差则有增加的趋势。

表 2 各层气温年较差 10 a 和 5 a 平均值

| 层 次     | 气温 10 a 平均值 |             | 5 a 平均值     |             |
|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|         | 1961~1969 年 | 1970~1979 年 | 1980~1989 年 | 1990~1994 年 |
| 地 表     | 32.1        | 30.9        | 30.6        | 29.6        |
| 850 hPa | 29.5        | 27.4        | 28.6        | 27.6        |
| 500 hPa | 23.9        | 23.3        | 22.9        | 22.9        |
| 300 hPa | 20.8        | 21.8        | 20.2        | 20.2        |
| 100 hPa | - 8.1       | - 7.2       | - 7.4       | - 7.0       |
| 20 hPa  |             | 0.6         | 2.0         | 2.4         |

### 3.2.2 气温 10 年平均值变化

表 3 列出了不同层次在不同年份的冬季和夏季气温的 10 a 和 5 a 平均值。由表 3 可见,有一个明显的特点就是,无论增温或降温,都是冬季大于夏季。增温最显著的在地表,冬季由- 7.4 增温到- 3.9,增温幅度十分大,达 3.5,夏季则仅有 0.4。850 hPa 和 500 hPa 冬季气温有较明显升高,但夏季从 20 世纪 60 年代至 90 年代气温变化不大。300 hPa 和 100 hPa 的气温冬夏变化正相反,100 hPa 冬季降温和 100 hPa 夏季温度变化甚小。年气温的 10 a 平均值的变化大体与冬季类似,不再赘述。

对照图 4 和表 3,可以得到如下结论:400 hPa 以下自 20 世纪 60 年代至 90 年代前期气温呈上升趋势,而 300 hPa 以上基本呈下降趋势。

表 3 冬夏气温 10 a 平均值变化

| 层 次     | 冬季(12~2月)气温 10 a 平均值 |             |             |             |
|---------|----------------------|-------------|-------------|-------------|
|         | 1961~1969 年          | 1970~1979 年 | 1980~1989 年 | 1990~1994 年 |
| 地 表     | - 7.4                | - 6.2       | - 5.3       | - 3.9       |
| 850 hPa | - 9.7                | - 8.8       | - 9.5       | - 7.9       |
| 500 hPa | - 29.8               | - 29.0      | - 29.6      | - 28.1      |
| 300 hPa | - 52.0               | - 52.2      | - 52.4      | - 51.8      |
| 150 hPa | - 54.0               | - 54.7      | - 54.1      | - 54.7      |
| 100 hPa | - 55.6               | - 56.6      | - 56.6      | - 56.6      |
| 20 hPa  |                      | - 48.4      | - 48.8      | - 50.0      |

| 层 次     | 夏季(6~8月)气温 10 a 平均值 |             |             |             |
|---------|---------------------|-------------|-------------|-------------|
|         | 1961~1969 年         | 1970~1979 年 | 1980~1989 年 | 1990~1994 年 |
| 地 表     | 22.5                | 21.8        | 22.7        | 22.9        |
| 850 hPa | 17.3                | 16.6        | 16.9        | 17.0        |
| 500 hPa | - 8.6               | - 8.3       | - 9.0       | - 8.7       |
| 300 hPa | - 33.4              | - 33.5      | - 34.5      | - 34.4      |
| 150 hPa | - 55.6              | - 55.9      | - 55.9      | - 55.8      |
| 100 hPa | - 61.9              | - 62.8      | - 62.5      | - 62.0      |
| 20 hPa  |                     | - 48.0      | - 47.2      | - 47.7      |

## 4 结 论

运用常规气候统计方法对北京高空温度及其变化进行了分析, 其主要结果如下:

(1) 北京高空温度的季节变化、温度年较差长期变化趋势等以 150 hPa 层为界, 其上面各层和下面各层的温度有着不同的气候特征, 如在该层以下各层上的温度年较差为正值, 而其上面的各层为负值。

(2) 近 30 余年来, 对流层下层温度显著增加, 尤其在 20 世纪 80 年代末到 90 年代初以来增温最为显著; 对流层上层和平流层的温度在降低, 最终导致对流层温度直减率加大, 这一事实与目前气候数值模拟的结果相一致。

## 参考文献

- 1 Houghton J T, Filho L G M, Callander B A, et al. *Climate Change* 1995. Cambridge: Cambridge University, 1996. 146—149
- 2 王绍武. 近百年气候变化与变率的诊断研究. *气象学报*, 1994, 52(3): 261 ~ 273
- 3 施能, 曹鸿兴. 近 42 年中国冬季气温、降水趋势及年代际变化的成因分析. 见: 曹鸿兴等主编. *中国短期气候变化及成因研究*. 北京: 气象出版社, 1996. 49 ~ 54
- 4 曹鸿兴. 气候动力模式与模拟. 北京: 气象出版社, 1994. 281 ~ 282
- 5 谢庄, 曹鸿兴. 北京最高和最低气温的非对称变化. *气象学报*, 1996, 54(4): 501 ~ 507
- 6 米季德, 崔继良. 北京高空温度近 30 年代变化特征. 见: 曹鸿兴等主编. *中国短期气候变化及成因研究*. 北京: 气象出版社, 1996. 122 ~ 125

# TEMPERATURE STATISTICS OF UPPER-AIR IN BEIJING

Mi Jide Cui Jiliang

(*Beijing Meteorological Bureau, Beijing, 10081*)

Cao Hongxing

(*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing, 10081*)

## Abstract

By utilizing temperature data from the surface to the 20 hPa level for 1961 ~ 1994, statistics was conducted in order to understanding an seasonal variation, a vertical profile and a long-term trend. The results indicate that, the climatic features of up-levels and down-levels delimiting with the 150 hPa levels are different, e. g., the yearly range of temperature is positive, at down-levels lower than the 150 hPa but negative at up-levels higher than that. In last 30 years, the temperature in the lower troposphere increased significantly, oppositively, the temperature in both the higher troposphere and the stratosphere decreased. It leads the vertical lapse of temperature in the troposphere has enhanced.

**Key words:** Climatic statistics, Upper-air temperature, Global warming.