

1960—1985年对流层和平 流层低层全球温度的年、季变化

J. K. ANGELL

摘要 根据 63 站无线电探空网资料,应用线性回归方法对 1960—85、1965—85、1970—85、1975—85 年时段内两半球极地、温带、亚热带、赤道地区以及热带的地表面、对流层 (1.5—9 km)、对流层顶层 (9—16 km) 和平流层低层 (16—20 km) 的年、季温度变化进行了估计。在过去的 25 年中,几乎所有气候区的地表和对流层都增暖,而对流层顶层和平流层低层冷却,即递减率增大。低层增暖和高层冷却的现象南半球比北半球更明显。从半球范围看,增暖率和冷却率增加不明显。但就各个气候区而言是显著的。例如南极平流层低层冷却的增加,尤其是春季。也许,这与这个地区春季总的臭氧含量低(或减小)有关。

在北半球,地表增暖冬季最明显;在南半球,增温最大的是在秋季和冬季。就全球而言,地表和对流层以 9、10、11 月增温最少。在两半球的对流层顶层 9、10、11 和 12、1、2 月冷却最大。

El Chichón 火山爆发对平流层低层降温的影响也进行了估计,并得到了平流层低层冷却有随高度增加的迹象。这种实测到的温度变化图象被认为是来自 CO_2 和一些痕量气体的增加。

1. 引言

根据 63 个分布很好的无线电探空站的地表温度和由厚度导出的 850—300 百帕 (1.5—9 公里)、300—100 百帕 (9—16 公里) 和 100—50 百帕 (16—20 公里) 层的温度, Angell 和 Korshover (1983 a) 估计了 1960 年以来极地 (60° — 90°)、温带 (30° — 60°)、亚热带 (10° — 30°) 和赤道地区 (10°N — 10°S) 相对于平均温度的年、季温度偏差。这些层次就是以下所指的对流层、对流层顶层和平流层低层。对整个热带(赤道和两个亚热带地区的平均)、半球(极地、温带、亚热带和赤道区以近似面积范围取权重 1-2-2-1) 和全球(两半球平均偏差的平均值)的温度偏差也进行了估计。

本文中,这些地区和层次于 1960—85、1965—85、1970—85 和 1975—85 年时段的温度变化用线性回归进行了估计。通过时间部分重迭的应用,得到了温度变化的完整记录而温度变化随时间演变则根据相对长的记录作了估计。估算温度变化时间演变的一

种方法是将两个不相重叠的时段(如 1960—75 和 1975—85)进行比较,在有些情况下也确实是这样做的。但是,并不是因此就可以得到完整记录的温度变化,因为这个完整记录对任何事件本身说是相对短的,同时,由于它仅仅根据一次比较,所以温度变化的时间演变是不明显的。

应该强调的是,这里给出的结果是根据一个相对稀疏的无线电探空网得到的,如果根据一个较密的探空网,也许会得到不同的结果。但至少在北半球,这种稀疏的探空网描述地表温度的波动是相当好的。从这种探空网得到的 25 年中季节温度变化与 Jones 等(1982)从更大范围探空网得到的结果的相关系数达 0.86。在南半球,这种稀疏探空网的代表性是不确定的。

2. 年平均温度的变化

根据赤道、 20° 、 45° 、 70° 纬度上地表及其上方 5、12 和 18 公里高度的资料,图 1 给出了各时段内由线性回归确定的年平均温度变化 ($^{\circ}\text{C}/10$ 年) 与纬度和高度的函数关系。

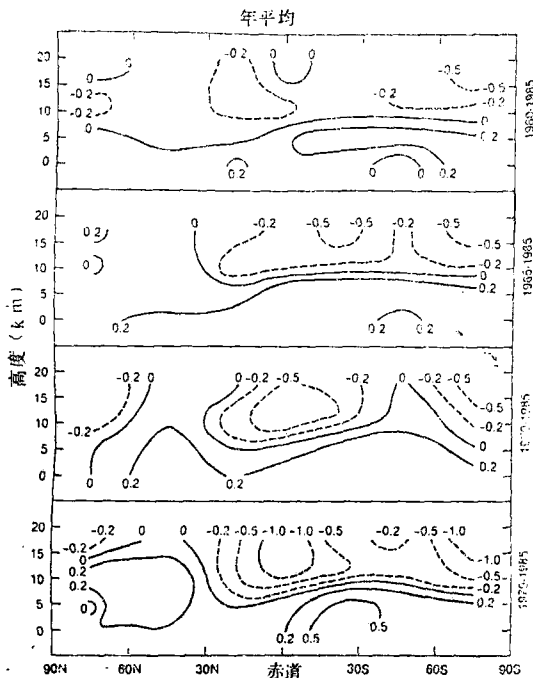


图 1 根据线性回归得到的地表、5 公里、12 公里和 18 公里，赤道、20°、45°、70° 纬度处年平均温度变化随纬度和高度的改变 (°C/10 年)。时段如图右。1960—85 年中，20°S 和 45°S 18 公里高度无数值

为了在 4 张图中的等值线根数最少，图中给出每十年为 0.2、0.5、1.0 °C 温度变化的等值线，虚线表示降温。

图 1 表明，在过去的 26 年中大多数气候区地表和对流层是增暖的，而对流层顶层和平流层低层冷却，即递减率有所增加。低层增暖高层冷却现象南半球比北半球更明显。南极一般相对热带增暖，而北极的地表和对流层却不是这样。在南极和热带对流层顶层、平流层低层冷却率有所增加。北半球温带对流层增暖率有增加的迹象。

表 1 给出了热带、半球和全球的年平均温度变化，其中星号表示温度变化(关于线性回归年值标准偏差)的信度水平为 5% 以上 (Brooks 和 Carruthers, 1953, p.226)。在南半球，除一个例外，所有升温 and 降温都是显著的。但在北半球，只有在 1960—85 年时段内对流层顶层降温 and 1960—85、1965—85 年两个时段内地表升温是显著的。温度变

表 1 由线性回归得到的给定大气层和时段内年平均温度变化 (°C/10 年)。除南半球亚热带和温带外，对 1960—85 年 16—20 公里处热带 (30°N—30°S) 和全球平均值进行了估计，“*”表示逐年值关于回归线标准偏差信度在 5% 以上

	热带	北半球	南半球	全球
16—20 km (100—50 hPa)				
1960—85	-0.15	-0.69		-0.18*
1965—85	-0.39	-0.02	-0.37*	-0.19*
1970—85	-0.26	-0.06	-0.31*	-0.19
1975—85	-0.65	-0.28	-0.65*	-0.46
9—16 km (300—100 hPa)				
1960—85	-0.23*	-0.19*	-0.20*	-0.20*
1965—85	-0.30*	-0.13	-0.25*	-0.19*
1970—85	-0.53*	-0.19	-0.31*	-0.25
1975—85	-0.77*	-0.17	-0.62*	-0.40
1.5—9 km (850—300 hPa)				
1960—85	0.12	0.01	0.23*	0.12*
1965—85	0.21*	0.13	0.32*	0.22*
1970—85	0.15	0.17	0.32*	0.25*
1975—85	0.22	0.11	0.46	0.29
地面				
1960—85	0.18*	0.12*	0.12*	0.12*
1965—85	0.26*	0.21*	0.25*	0.23*
1970—85	0.24*	0.19	0.37*	0.27*
1975—85	0.26	0.09	0.35*	0.22

化南半球比北半球更明显，显著性水平也如此。在热带对流层顶层的降温 and 地表升温 (1975—85 年时段除外) 是显著的。表 1 证实了图 1 中热带对流层顶层和平流层低层冷却率的增加。

在遍及世界的大约 20 个台站资料的基础上，Parker (1985) 已经给出在过去 25 年中，相对于 300 百帕面 50 百帕面几无冷却的迹象。表 1 (和图 1) 的资料也表明相对于 300—100 百帕层说 100—50 百帕层的冷却也几乎没有。但第 4 节中将指出，El chichon 火山的爆发，使得这两层温度变化的关系变得模糊起来。

3. 温度的季节变化

我们还按季节对温度变化进行了估计。这里的季节划分*是 12 月、1 月、2 月 (DJF)、3 月、4 月、5 月 (MAM)、6 月、7 月、8 月 (JJA) 和 9 月、10 月、11 月 (SON)。图 2—5 给出了 4 个季节地面和对流层增暖、对流层顶层和

* 因为同一月份，在南北半球属于不同季节，所以这里按月划分季节，只在谈某半球时，才冠以春夏秋冬。

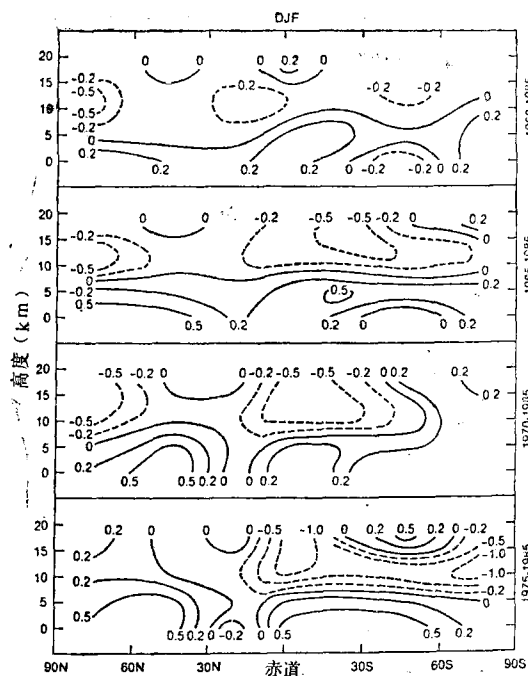


图 2 DJF 季节温度变化,其余同图 1

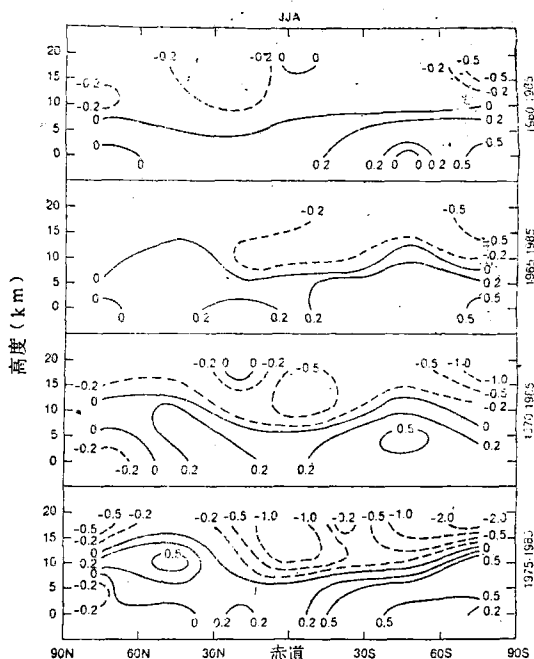


图 4 JJA 季节温度变化,其余同图 1

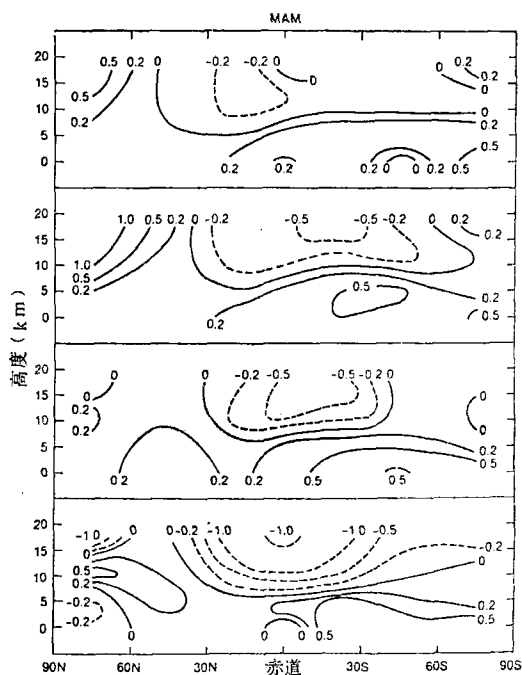


图 3 MAM 季节温度变化,其余同图 1

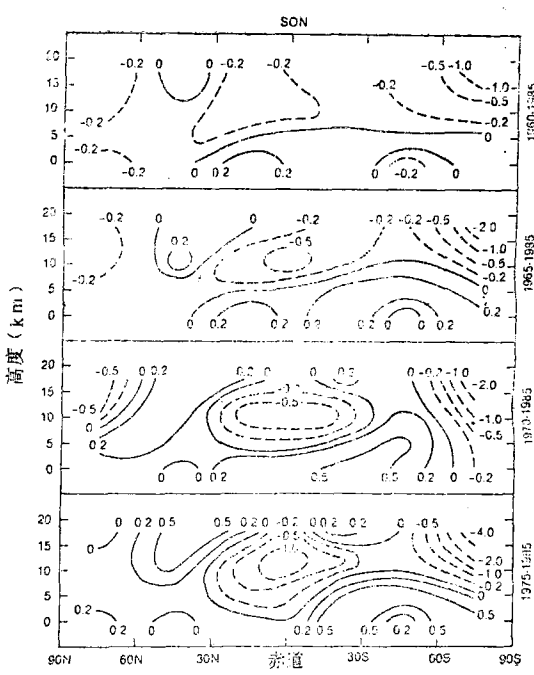


图 5 SON 季节温度变化,其余同图 1

平流层低层冷却在那些年的平均图象,但 4 个季节间温度变化有明显差异。例如南极地区平流层低层的冷却在 JJA 尤其是 SON, 要比 DJF 或 MAM 更明显,即这个地区的冷

却主要出现在冬季和春季,近 10 年来尤为明显。这种冷却可能是与南极哈雷湾春季臭氧总量减少有关(Farman 等,1985)。又如,北极和北温带对流层增温 DJF 季节要比其它

表 2 根据线性回归得到的热带给定大气层和时段内温度的季节变化(°C/10年)
其余见表 1

	DJF	MAM	JJA	SON
16-20 km (100-50 hPa)				
1960-85	-0.03	-0.17	-0.21	-0.19
1965-85	-0.32	-0.54*	-0.21	-0.12
1970-85	-0.37	-0.52	-0.26	0.13
1975-85	-0.48	-1.29	-0.76	-0.08
9-16 km (300-100 hPa)				
1960-85	-0.23	-0.20	-0.22*	-0.27*
1965-85	-0.24	-0.22	-0.30*	-0.42*
1970-85	-0.55*	-0.41	-0.51*	-0.64*
1975-85	-0.70	-0.72	-0.61	-1.06*
1.5-9 km (850-300 hPa)				
1960-85	0.13	0.18*	0.07	0.09
1965-85	0.28*	0.28*	0.14	0.14
1970-85	0.15	0.23	0.14	0.09
1975-85	0.23	0.44	0.20	0.02
地面				
1960-85	0.13*	0.20*	0.20*	0.20*
1965-85	0.17*	0.29*	0.27*	0.31*
1970-85	0.07	0.30*	0.26*	0.34*
1975-85	0.20	0.25	0.33	0.28

表 3 根据线性回归得到的北半球给定大气层和时段内温度的季节变化(°C/10年)
其余见表 1

	DJF	MAM	JJA	SON
16-20 km (100-50 hPa)				
1960-85	0.01	0.01	-0.24*	-0.15
1965-85	-0.07	0.16	-0.15	-0.03
1970-85	-0.16	-0.04	-0.20	0.14
1975-85	-0.06	-0.79	-0.36	0.27
9-16 km (300-100 hPa)				
1960-85	-0.27	-0.08	-0.17*	-0.25*
1965-85	-0.28	0.11	-0.10	-0.23*
1970-85	-0.26	-0.12	-0.10	-0.30*
1975-85	-0.33	-0.15	0.05	-0.25
1.5-9 km (850-300 hPa)				
1960-85	-0.01	0.07	0.02	-0.06
1965-85	0.21*	0.19*	0.13	0
1970-85	0.21	0.23	0.11	0.12
1975-85	0.45	0.09	0	-0.08
地面				
1960-85	0.20	0.15*	0.08*	0.06
1965-85	0.51*	0.15	0.11	0.09
1970-85	0.33	0.19	0.10	0.13
1975-85	0.41	0.01	-0.02	-0.02

表 4 根据线性回归得到的南半球给定大气层和时段内温度的季节变化(°C/10年)
其余见表 1

	DJF	MAM	JJA	SON
16-20 km (100-50 hPa)				
1960-85				
1965-85	-0.23	-0.33*	-0.41*	-0.50*
1970-85	-0.16	-0.33	-0.53*	-0.24
1975-85	-0.05	-0.74	-1.05*	-0.75
9-16 km (300-100 hPa)				
1960-85	-0.16	-0.18	-0.20*	-0.24*
1965-85	-0.31*	-0.20	-0.16	-0.31*
1970-85	-0.38*	-0.21	-0.24	-0.42*
1975-85	-0.90*	-0.39	-0.29	-0.88*
1.5-9 km (850-300 hPa)				
1960-85	0.25*	0.32*	0.24*	0.09
1965-85	0.39*	0.39*	0.31*	0.19*
1970-85	0.31	0.41*	0.33*	0.23
1975-85	0.36	0.51	0.51	0.47
地面				
1960-85	0.02	0.21*	0.21*	0.03
1965-85	0.10	0.36*	0.36*	0.18*
1970-85	0.31*	0.49*	0.35*	0.31*
1975-85	0.34	0.45	0.34	0.29

表 5 根据线性回归得到的全球给定大气层和时段内温度的季节变化(°C/10年)
其余见表 1

	DJF	MAM	JJA	SON
16-20 km (100-50 hPa)				
1960-85	-0.09	-0.08	-0.28*	-0.27*
1965-85	-0.15	-0.08	-0.28	-0.27
1970-85	-0.16	-0.18	-0.37	-0.05
1975-85	-0.05	-0.76	-0.80*	-0.24
9-16 km (300-100 hPa)				
1960-85	-0.22*	-0.13	-0.19*	-0.25*
1965-85	-0.30*	-0.04	-0.13	-0.27*
1970-85	-0.32	-0.16	-0.17	-0.36*
1975-85	-0.62	-0.27	-0.12	-0.57*
1.5-9 km (850-300 hPa)				
1960-85	0.12	0.19*	0.13*	0.02
1965-85	0.30*	0.29*	0.22*	0.09
1970-85	0.26	0.32*	0.22	0.18
1975-85	0.40	0.30	0.26	0.20
地面				
1960-85	0.11	0.18*	0.14*	0.05
1965-85	0.30*	0.25*	0.24*	0.13*
1970-85	0.32*	0.34*	0.22*	0.22*
1975-85	0.37	0.23	0.16	0.14

季节更大，即这个地区的增温主要出现在冬季。

表 2—5 是热带、两半球和全球温度的季节变化，图 6 和图 7 比较了这个地区的季节变化。图 6 表明，地表面相应季节的温度变化在两半球趋于反位相，也就是说在北半球 DJF 季节增温最大，而在南半球 DJF 和 SON 季节增温最小。在对流层这种类似的反位相关系只有 1975—85 年这一时段是明显的。对 1960—85 年这个时段来说有同位相关系，即两半球，对流层增暖最大皆是在 MAM，而 SON 最小。在对流层顶层类似的同位相关

系也是明显的。对 1970—85 和 1975—85 年这两个时段而言，两半球冷却在 MAM 和 JJA 为最小。在平流层低层这种现象比较模糊，但至少在 1975~85 年时段中，JJA 季节两半球冷却都大于平均值。似乎有这样一种倾向，即在大气中，两半球相应季节地表温度变化之间的近似反位相关系要比近似同位相关系更大。

图 7 给出了热带和全球温度季节变化的比较。图左上上的×号表明，虽然 1982 年 El chichón 的火山爆发确实影响了对流层低层温度的年平均变化(见表 6 和下节)，但它

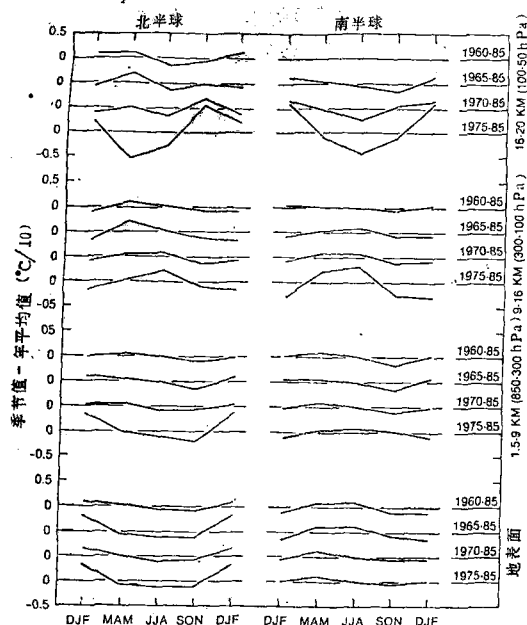


图 6 根据线性回归得到的南北两半球给定层次和时段温度的季节变化比较。图中所标绘的资料为季节变化减年平均变化，即四个季节偏差之和为零

对相应季节的变化并无明显影响，因为这一火山爆发引起的平流层低层增温持续1年以上(1982年中—1983年中)。在热带对流层，这种增暖在MAM和1970—85以及1975—85年时段内为最大，在SON为最小。对全球来说，地表面和对流层这种增暖在SON也最小。在对流层顶层全球冷却最大的不是SON就是DJF。近年来，某一季节占优势的现象并不明显。在平流层低层，全球冷却最大的是在JJA，但次大冷却的季节从1960—85年时段的SON变化到1975—85年时段的MAM。近年来，南极地区春季惊人的变冷除外(图5)。

4. El chichón 火山对平流层低层温度变化的影响

表1给出了1960年以来热带、两半球(特别是南半球)和全球平流层低层变冷。1982年春El chichón(17°N)火山的爆发引起了平流层低层异常增暖(Labitzke等, 1983; Parker和Brownscome, 1983; Quiroz, 1983; Angell和Korskover, 1983 b)。在表1中，火山爆发引起的增暖对16—20公里层温度变化的影响达到什么程度？

为了研究这个问题，我们把1982年和1983年(火山爆发影响年份)温度偏差先给以零值(即平均值)再用由1981和1984年距平值作线性内插所得值来代替，由此而得到的不同时段的温度变化如表6所示。实测值和内插值的比较表明，全球降温率1960—1985年间增加了0.05°C(25%)，而1975—85年间增加了0.21°C(37%)。在热带和两半球，要是没有El chichón爆发的话，正如表1所示年平均温度减少也是20%—50%以上。当然，1963年阿贡(Agung, 8°S)火山的爆发对1960—85年间得到的温度变化有相反的作用。这些火山的爆发，对平流层低层温度变化有明显影响，这是不容忽视的。例如，表1和表6的比较表明，如果El chichón不爆发的话，16—20公里层的降温一般应该大

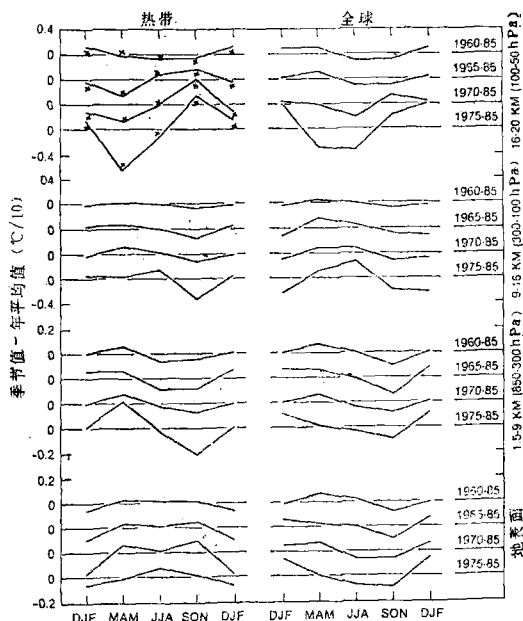


图 7 除表示热带(30°N—30°S)和全球外，其余同图6。左上×号表示假设1982年和1983年温度偏差为零的结果，因此，使得El chichón火山爆发增温的影响为最小(见表6)

表 6 由线性回归得到的16—20公里(100—50百帕)层由于El chichón 火山爆发引起的平流层增温对年平均温度变化(°C/10年)的影响。对每一时段,第1行是1982—1983年温度距平实测的温度变化,第2行是假定1982和1983年距平为0(即取平均值)所得到的变化值,第3行是在1981和1984年距平值中线性内插所得到的1982和1983年的变化值。1960—1985年全球平均的估计不包括南温带和南北亚热带地区

	热带	北半球	南半球	全球
1960-85				
实测	-0.15	-0.09		-0.18
平均	-0.20	-0.12		-0.20
内插	-0.25	-0.15		-0.23
1965-85				
实测	-0.30	-0.02	-0.37	-0.19
平均	-0.38	-0.06	-0.40	-0.23
内插	-0.46	-0.11	-0.46	-0.29
1970-85				
实测	-0.26	-0.06	-0.31	-0.19
平均	-0.38	-0.11	-0.35	-0.23
内插	-0.49	-0.18	-0.43	-0.31
1975-85				
实测	-0.65	-0.28	-0.65	-0.46
平均	-0.85	-0.35	-0.72	-0.54
内插	-1.04	-0.47	-0.86	-0.67

于9—16公里层降温。

5. 平流层低层温度变化随高度的变化

除了16—20公里(100—50百帕)层的温度外,在63个探空站上还获取了16—24公里(100—30百帕)层的温度。从这两层得到的温度变化比较可直观地看出,无论如何,平流层低层的降温是随高度增加的。遗憾的是,正如第4节中所述,火山爆发使得大气层中有代表性的温度变化难以确定,在El chichón 爆发的情况下尤为如此。在这种情况下气溶胶达到相当的高度,从而形成了在许多测站24公里高度的增温比20公里高度更大,同样也出现了16—24公里层相对于16—20公里层有较大的增暖。

为此,我们对1960—85年时段内不包含1963年阿贡火山爆发和1982年El chichón火山爆发影响的时段——1965—80年16—20公里和16—24公里层温度变化进行了比较。表7表明,这个时段内热带和两半球温度的降低确实是16—24公里层大于16—20公

表 7 1965—80年无大火山爆发污染物的情况下,16—20公里(100—50百帕)和16—24公里(100—30百帕)层年平均温度变化(°C/10年)的比较

	热带	北半球	南半球	全球
16—24km	-0.61°C	-0.10°C	-0.56°C	-0.33°C
16—20km	-0.31°C	0.04°C	-0.31°C	-0.14°C

里层,在热带和南半球尤为明显。虽然有时温度变化的差异看起来似乎大了一点,但证实了这样一种迹象,即平流层温度递减确实是随高度增加的。

6. 实测温度变化型式与CO₂的影响问题

根据大多数模式,CO₂(以及一些痕量气体)的增加将导致:1)对流层增暖和平流层降温;2)热带以外地区对流层相对于热带对流层有增暖;3)冬季对流层增暖大于夏季(见Manabe和Wetherald,1980;Manabe和Stouffer,1980;Gates等,1981;Manabe,1983;Mitchell,1983)。那么,本文中所给出的温度变化型式与上述工作吻合得如何?

CO₂影响最基本的型式也许是对流层增暖和平流层降温(Epstein,1982)。一般说来,本文中的温度变化符合这样一种型式:地表和对流层增暖而对流层顶层和平流层低层降温。但细节上是不一致的,大多数模式增暖和降温的转变层在100百帕(16公里)附近,而本文的转变层大约是在300百帕(9公里)附近,因为300—100百帕(9—16公里)层表现出冷却。其实,在半球或全球尺度上,尽管由于El chichón火山的影响使结果模糊难分,9—19公里层的温度减少表明与16—20公里层的温度减少相差不大。另一方面,平流层低层的降温随高度而增加与大多数模式是一致的。

CO₂影响的第二种基本型式可能是热带以外地区地表和对流层相对于热带有增暖

(特别是极地和该地对流层)。在这方面本文所谈温度变化是混合信号,即南极地表和对流层通常相对于热带增暖,而北极地表和对流层并非如此。在这方面比较感兴趣和需要解释的是在任何 CO_2 含量范围内南极区平流层低层有明显的(且增大的)冷却,尤其是在春季;以及对流层的增暖和平流层冷却南半球比北半球更大。这种温度变化的半球差异是否来自 CO_2 的增加这一点在这些大气模式中还不一致。

CO_2 影响的第三种最基本的型式可能是寒冷季节对流层增暖比暖季更大,尽管这种增暖在冬季不易发现(Wigley 和 Jones, 1981)。在北半球地面增暖冬季确实比其它季节更大,而在南半球,秋季和冬季这种增暖趋于在平均值以上。在热带温度季节变化是类似的,这些与模式研究相一致。在大气的较高层这种型式是不确定的,尽管已经注意到了 21 年和 26 年这两时段的对流层和所有时段的对流层顶层,两半球的季节温度变化是相类似的,这结果与大多数模式不一致。

7. 结 论

根据 63 站无线电探空网资料对 1960—85、1965—85、1970—85、1975—85 时段内以半球和全球的气候区的地表、对流层(1.5—9 公里)、对流层顶层(9—16 公里)和平流层低层(16—20 公里)年和季节温度变化进行了估计。下面是根据这些资料得到的 10 条主要结论:

1) 在过去的 25 年中,地表和对流层增暖,而对流层顶层和平流层低层变冷,即递减率增大。

2) 南半球对流层增暖和平流层冷却大于北半球。

3) 南极地表和对流层一般相对于热带增暖,但北极地表和对流层并非如此。

4) 在北半球,地表增暖在冬季最大,但在南半球,秋季和冬季增暖都在平均值以上。

热带温度的季节变化则各季相似。

5) 21 年和 26 年时段对流层和所有时段平流层顶层两半球相应季节的温度变化类似。

6) 在半球和全球尺度上,9—16 公里降温与 16—20 公里层降温相差不大,这中间包括了 El Chichón 火山爆发形成的平流层低层的增暖。

7) 平流层低层降温有随高度增加的迹象。

8) 在半球和全球尺度上,没有对流层增暖和平流层冷却在加大的有说服力的证据,当然,仅仅根据 26 年的记录,这样一种加大可能是难以查明(detect)的。

9) 在南极区平流层低层有明显的(和增大的)冷却,尤其是在春季(9, 10, 11 月)。

10) 对全球整体而言,地表和对流层增暖在 9、10、11 月最小。

应该注意到后两条结论显然与臭氧的变化有关,因为在南极哈雷湾臭氧总量惊人地减少,尤其是在春季(Farman 等, 1985) 以及大多数气候区 9、10、11 月相对于其它季节总臭氧量的减少(作者本人工作,未发表)。

总的说来,实测的温度变化型式通常与 CO_2 增加的大气模式所决定的型式一致,即:对流层增暖和平流层低层冷却,南半球热带以外相对于热带有增温以及地表增温冷季大于暖季。但是,有些方面不一致,即对流层顶层以及平流层低层的冷却、热带相对于北极区的增暖,而两半球对流层和对流层顶层相应季节温度变化是相似的。因此,这些资料不能被认为提供了人类对大气温度影响的令人信服的证据,而对所给记录长度说这是并不奇怪的。然而,相信本文格式给出的温度变化随纬度和高度、时间的变化将有助于今后考察人类对大气温度变化的影响。

周国华译自《Monthly weather review》Vol. 114, No. 10

温新 校