

近百年全球气候变暖的分析*

王绍武 叶瑾琳

(北京大学地球物理系, 北京, 100871)

提 要

本文对比分析了 IPCC, Vinnikov, Jones 及 Hansen 的北半球, 南半球及全球共 12 个地面温度序列, 以及中国的气温序列。资料为 1880—1991 年。近百年气候变暖的速度为 $0.5^{\circ}\text{C} / 100 \text{ a}$ 。温度的长期变化趋势占序列总方差 60% 以上。但气候变暖有突变性, 在 1890 年代中, 1920 年代中及 1970 年代末有 3 次突然气候变暖。分析表明, 总的变暖趋势与 CO_2 浓度及太阳活动有密切关系, 火山活动也可能有一定作用。但前两次突然变暖可能与火山活动沉寂有关, 最后一次突然变暖则可能是温室效应加剧的结果。

关键词: 气候变暖; 气候突变; 温室效应。

一、引 言

全球气候变暖近年来引起了国内外学者的重视^[1]。近百年全球平均气温上升约 0.5°C , 而大气中 CO_2 浓度增加 $1/4$ 。似乎可以认为气候变暖就是温室效应加剧造成的。但仔细分析, 发现仍有不少问题^[2]。例如, (1) 气候变暖的突然性仍有待进一步解释; (2) 1940 年以后北半球气温下降, 南半球虽然下降不明显, 但也没有上升, 而这一时期正是温室气体浓度迅速增加的时候; (3) 虽然全球有变暖趋势, 但也有地区性差异, 中国近百年的变暖就不明显, 80 年代是全球最暖的 10 年, 但从 1970 年代到 1980 年代, 中国长江流域气温下降, 长江中、上游最为突出。当然, 回答所有这些问题是很困难的, 但我们希望能通过研究, 增加对一些问题的认识。显然, 这对温室效应的检测 (detection) 是有益的。

二、资 料

自从 Mitchell(1966)作了开创性的工作^[3]以来, 前后至少有 30 多位作者, 根据不同资料, 用不同方法建立了半球或全球平均地面温度序列。对此 Wigley 等^[4], Ellsaesser 等^[5]及 Hansen 等^[6]曾作了详细分析, 这里不再介绍这个问题研究的历史。在这些序列中, 有 4 个最为完整, 我们以此作为分析的基础。

(1) Vinnikov 等的序列^[7](以下用 V 表示)。这个序列建立于 1970 年, 当时用它计算了单站气温距平、填图、手绘等距平线, 再读经纬度上的格点值。此序列只有北半球。

1992 年 10 月 7 日收到, 1994 年 9 月 4 日收到修改稿。

* 本项工作得到 85-913-02 课题气候变化机理及未来 50 年气候变化预测专题的支持。

由于不同站采用的多年平均不同, 因此受到批评。最近 Vinnikov 等重新补充了资料, 采用客观分析方法, 计算格点值, 再求半球平均, 并补充了南半球及全球平均。其中北半球的序列向前延伸到 1841 年, 是北半球最早的序列。

(2) Jones 等的序列^[8](以下用 J 表示)。一般认为这是几个序列中, 对资料处理最严

谨的一个^[9]。用插值法计算每 $5^\circ(\text{纬度}) \times 10^\circ(\text{经度})$ 上的气温值, 再求半球及全球平均。最初仅限于陆地, 后来又用海面温度, 并力图排除温度观测方法改变及城市热岛效应所带来的影响。共采用约 1 亿个陆地测站记录及 6 千万个海洋观测记录。缺点是早期资料覆盖面小。在 1860 年仅占地球表面 20%, 1885 年前后达到 50%, 1950 年之后才达到 80%, 但是, 在建立其他序列时, 也存在类似的问题。

(3) Hansen 等的序列^[10]

(以下用 H 表示)。这个序列不是求经纬度格点值, 而是把地球表面分为面积相等的 80 个区。每个区又分为 100 个小区。先建立小区的序列, 再合为大区。大区又合为半球及全球, 建立小区的序列时, 采用距小区中心 1200 km 以内的测站。并且先用最长的序列, 再逐步把短的序列加进来, 这样作的目的是充分利用所有站的资料。

(4) IPCC 的序列^[10] (以下用 I 表示) 最近发表了政府间气候变化委员会 (IPCC) 的补充报告。在报告中公布了最新的半球及全球地面温度序列。这个序列是在 Jones 等序列的基础上加以改进的。主要

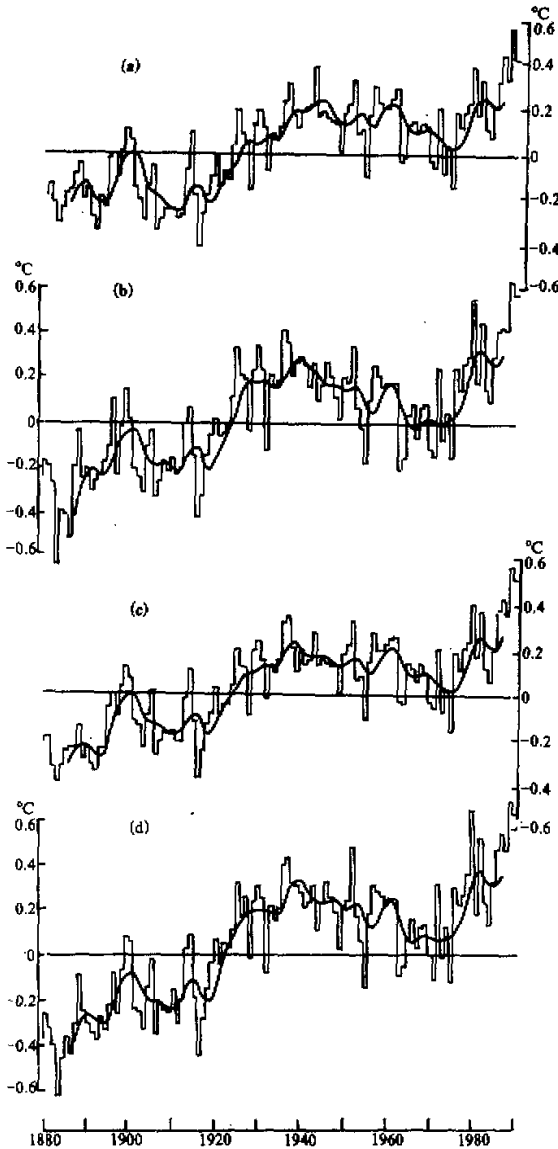


图 1 北半球地面温度序列

(a) IPCC; (b) Vinnikov; (c) Jones; (d) Hansen

对海温资料作了订正。用 COADS 资料作了补充, 这样使资料覆盖面大为增加。1880 年代从不到 40%, 增加到接近 60%。同时, 对海温观测的订正也作了修改。在计算格点的温度距平时, 考虑了格点的海陆面积。结果改变最大的是 1870 年代到 1910 年代。

我们利用 CO₂ 信息分析中心的资料^[11, 12], 对以上序列作了补充, 并均补足到 1991 年和统一重新对 1880—1979 年平均求距平。得到的 12 条序列给在图 1 到图 3。图 3 中同时给出中国的曲线, 资料见文献[1]。图中曲线为 11 点加权滑动平均, 代表低通滤波值。表 1 给出半球及全球 4 个序列之间的相关系数。北半球彼此间相关最高, 均在 0.92 以上。南半球稍差 I 与 H 之间相关系数只有 0.86。但全球相关仍较好, 最低也有 0.91。由于 I 在海洋部分改变较大, 所以南半球 I, V 及 H 的相关要低一些。中国的序列与全球平均相关在 0.31—0.41 之间。

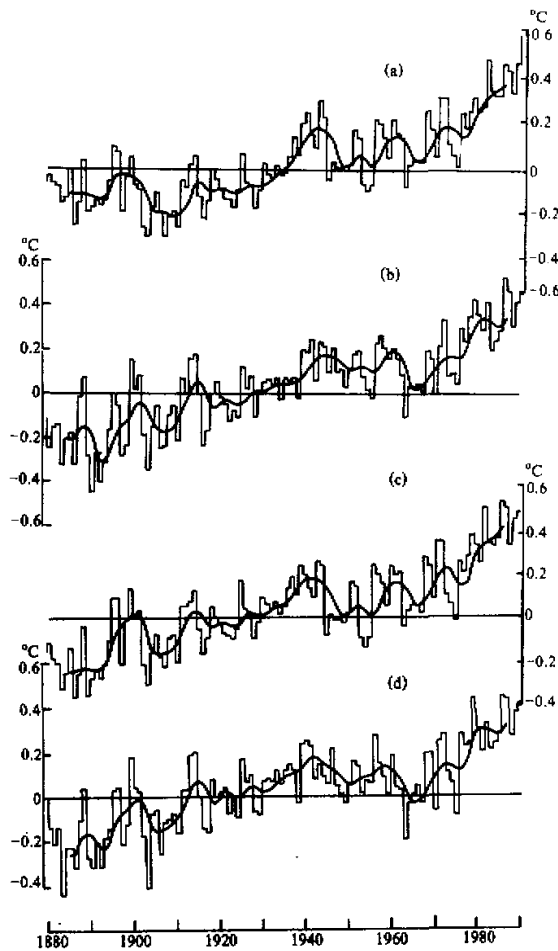


图 2 南半球地面温度序列
(a) IPCC; (b) Vinnkov; (c) Jones; (d) Hansen

表 1 不同地面温度序列之间的相关系数

	北半球				南半球				全 球				中 国
	I	V	J	H	I	V	J	H	I	V	J	H	C
I	1.00	0.92	0.97	0.94	1.00	0.89	0.95	0.86	1.00	0.93	0.96	0.91	0.31
V		1.00	0.96	0.98		1.00	0.93	0.95		1.00	0.96	0.98	0.39
J			1.00	0.97			1.00	0.92			1.00	0.96	0.32
H				1.00				1.00				1.00	0.41

三、变暖趋势

表 2 给出各序列 10 年平均温度距平, 表中 1880 年代表 1880—1889 年, 依此类推。表 2 最下面一行是利用 1880—1991 年资料计算的增温直线趋势。从图 1 到图 3 及

表 2 可以得到如下结论:

(1) I 与其他 3 个序列最大的不同是 10 年平均距平的最低值出现在本世纪初, 而不是在上世纪末。

(2) 无论那一个作者的序列, 北半球的变暖趋势均高于南半球, 但相差不甚大。如序列 I, 百年增温仅差 0.01°C 。

(3) I 的变暖趋势较其他几个序列略低。全球平均每百年增温 0.46°C , 故近百年增温约 0.5°C 。

(4) 80 年代是 1880 年以来最暖的 10 年, 比近百年平均高 0.3°C 左右, 比上世纪末到本世纪初最冷的 10 年高 $0.5\text{—}0.6^{\circ}\text{C}$ 。

(5) 中国变暖趋势不明显。

四、变暖的突然性

衣育红与王绍武^[13]曾指出 80 代的气候变暖有突然性。70 年代到 80 年代气温变化的 t 检验值达到 99.9% 的信度。说明气候变暖以统计角度看是显著的。这里利用相同的方法, 对 13 个序列计算了 t 值, 即对每条曲线, 计算 1880—1889 年与 1890—1899 年之差, 并作 t 检验。然后计算 1881—1890 年与 1891—

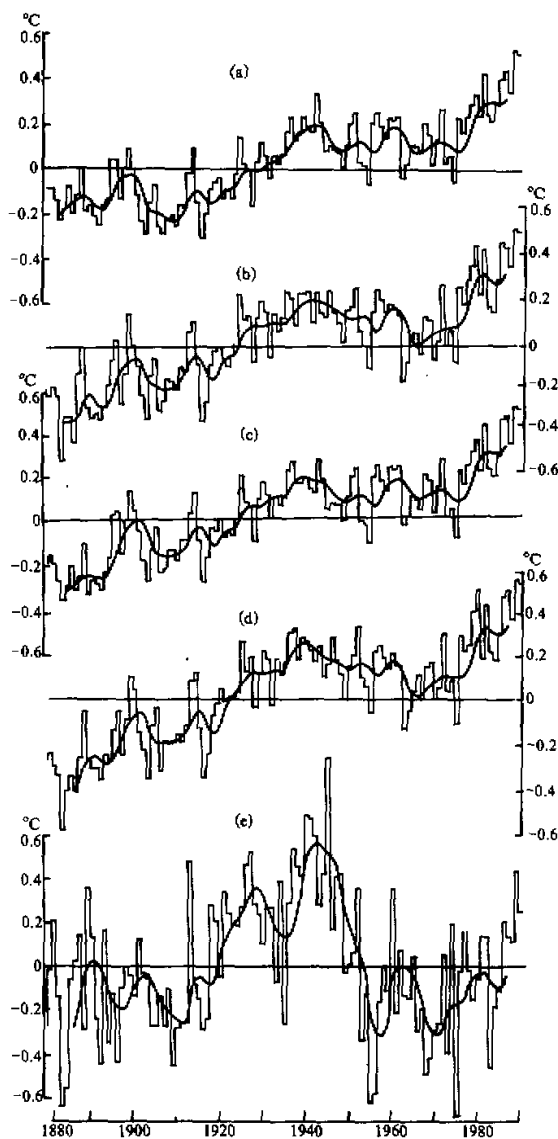


图 3 全球及中国地面温度序列

(a) IPCC; (b) Vinnikov; (c) Jones; (d) Hansen; (e) China

表 2 10 年平均温度距平(℃)及变暖趋势(℃ / 100 a)

	北半球				南半球				全 球				中 国
	I	V	J	H	I	V	J	H	I	V	J	H	
1880	-0.17	-0.30	-0.26	-0.37	-0.08	-0.17	-0.20	-0.18	-0.13	-0.24	-0.23	-0.32	-0.17
1890	-0.15	-0.16	-0.18	-0.25	-0.09	-0.25	-0.15	-0.18	-0.12	-0.20	-0.17	-0.23	-0.11
1900	-0.15	-0.14	-0.11	-0.17	-0.16	-0.11	-0.11	-0.10	-0.16	-0.13	-0.11	-0.14	-0.13
1910	-0.20	-0.17	-0.16	-0.19	-0.10	-0.03	-0.03	-0.01	-0.15	-0.11	-0.09	-0.12	-0.14
1920	-0.02	0.08	0.02	0.09	-0.09	-0.02	0.01	-0.05	0.03	0.00	0.00	0.06	0.26
1930	0.14	0.23	0.19	0.24	0.02	0.04	0.07	0.06	0.08	0.14	0.13	0.18	0.22
1940	0.20	0.22	0.16	0.24	0.13	0.16	0.10	0.13	0.16	0.19	0.13	0.20	0.50
1950	0.16	0.13	0.14	0.18	0.08	0.13	0.05	0.09	0.12	0.13	0.10	0.15	-0.15
1960	0.15	0.05	0.14	0.12	0.10	0.08	0.10	0.02	0.13	0.07	0.12	0.08	-0.12
1970	0.06	0.06	0.05	0.11	0.19	0.18	0.18	0.14	0.12	0.12	0.12	0.13	-0.17
1980	0.27	0.34	0.28	0.38	0.37	0.35	0.37	0.31	0.32	0.34	0.33	0.36	-0.03
趋势	0.46	0.52	0.49	0.65	0.45	0.50	0.48	0.42	0.46	0.51	0.48	0.58	0.09

1900 年之差, 依此类推。图 4 给出 IPCC 的 3 个序列的 t 检验值作为例子。其余曲线, 凡 t 值的峰值达到 99.9%信度的均列在表 3。

从图 4 及表 3 可见。近百年有 3 次突然变暖; 出现在上世纪末, 本世纪 20—30 年代, 及 70 年代末。下面我们分别称为第一次、第二次及第三次突然变暖。第一次突然变暖较弱, 只有 Jones 的序列达到 99.9%的信度, 不过其他序列大部分均有相应的峰值, 一般亦可达到 95%的信度, 但未列入表 3。第二次突然变暖在北半球, 在中国反映最明显。南半球似乎稍迟, 出现于 30 年代中。第三次突然变暖最普遍, Hansen 的序列虽未达到 99.9%信度, 但在 t 值曲线上也有相应的峰值, 而且十分接近 99.9%的信度标准。但在中国未达到信度。

五、温度变化谱

为了研究变暖趋势在温度变化中的比重, 同时也为了认识温度变化的周期性, 对 13 个序列作了功率谱分析。 $N=112$, 最大落后取值稍大, 取为

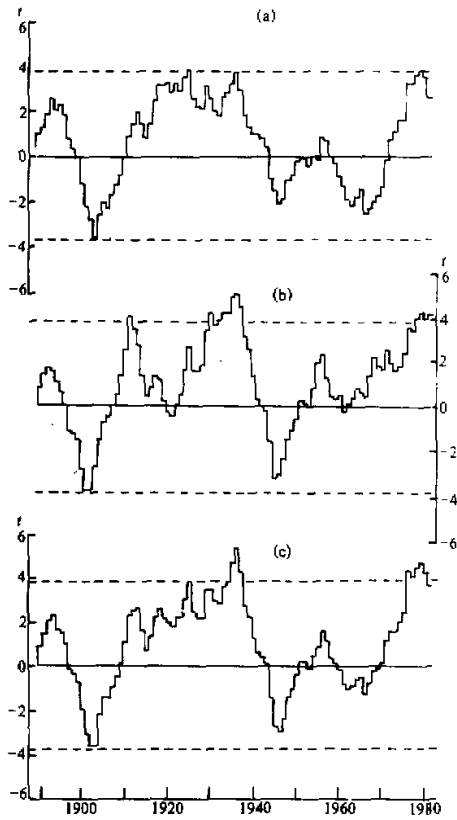


图 4 相邻 10 年平均温度变化的 t 检验值
虚线为 99.9% 信度标准
(a) 北半球; (b) 南半球; (c) 全球

表 3 近百年突然变暖出现的时间

	北半球				南半球				全 球				中 国
	I	V	J	H	I	V	J	H	I	V	J	H	
1890			1896				1894				1894		
1910					1912		1912						
1920	1926	1923	1926	1920					1926	1926	1926	1926	1919
1930	1937				1937	1939	1936		1936				
1940													
1950													
1960													
1970	1980	1977	1979	1977	1980	1977	1980		1980	1977	1980	1977	

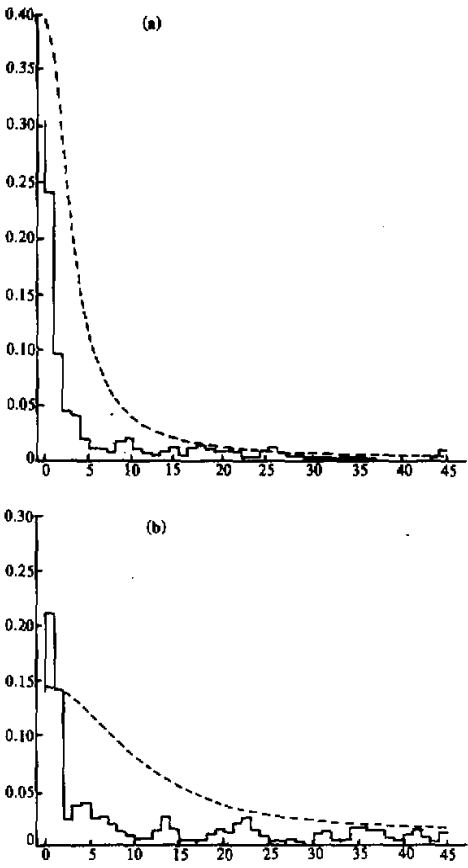


图 5 平均温度功率谱
(a) IPCC 全球; (b) 中国

45。主要是为了使低频的最大周期较长。图 5 作为例子给出 IPCC 的全球平均温度及中国平均温度的谱。其余各序列凡达到 95%信度的谱峰均列入表 4。从图 5 可见,低频变化占绝对优势,峰值已经很接近 95%信度,中国的序列则在 90 年周期部分超过 95%信度。高频变化集中在 3 个周期; 5 年左右, 3.5 年左右及准两年周期振荡(QBO)。但是,从图 5 也可以看出,高频部分虽能达到 95%信度,但占温度变化的总方差甚小。表 5 给出各频率段占的总方差,其中低频指 45 年以上的变化,太阳指 5—12.8 年表示可能与太阳活动有关。ENSO 指 3—4.3 年, QBO 指 2—2.9 年。

从表 5 可以看出低频变化一般占总功率的 60%左右。ENSO 与 QBO 虽然个别峰值能达到 95%信度,但功率绝对值不高,两者合计也不超过 15%。由此可以得到结论,半球或全球序列是一个红噪声很强的序列,或者说是持续性很强的序列。气候趋势在气温变化中占有重要地位。

表 4 达到 95%信度的周期(年)

北半球				南半球				全 球				中 国
I	V	J	H	I	V	J	H	I	V	J	H	C
5.3	5.3	2.0	2.0	4.3	3.5	3.5	2.8	3.6	2.0	3.6	2.0	90.0
2.0	2.0			3.6	2.0	2.6	2.0	2.0	3.6	2.0	3.6	
				2.0		2.0						
				2.6								

六、气候变暖的可能原因

一般认为近百年气候变暖的主要原因是温室效应，或者更严格一些说是温室效应的加剧。即由于大气中 CO₂ 等温室气体浓度增加，使地球表面温度上升。但是，如引言中已指出，大体上呈指数增加的 CO₂ 浓度变化，不可能解释温度变化的许多时空特征。所以也有不少作者强调近百年温度变化中，自然变化占很大比重。自然变化主要指太阳活动及火山活动两个因素^[2]。现在我们就把这 3 个因素与温度变化作个对比分析。

图 6a 为火山活动，采用 SVI^[14]。这是根据 VEI 指数建立的序列，但主要反映的是北半球。图 6b 为 CO₂ 浓度取自文献^[11]。图 6c 为太阳黑子数，先作 11 年滑动平均，再取 5 年平均。从表 5 可见，5 年以下的高频变化也占一定比重，为了研究长期趋势，图 6 中的资料均取 5 年平均。火山活动，CO₂ 与太阳活动 3 个因素与温度(图 6d)的相关系数分别为-0.40，0.86 与 0.88。如果去掉其他两个因素则这 3 个因素之一与气温的复相关系数分别为-0.19，0.54 及 0.55。由此可以得到结论 CO₂ 与太阳活动可能是近百年气候变暖的主要原因，但火山活动可能也有一定作用。

不过，要用 CO₂ 的变化解释所有 3 次突然变暖可

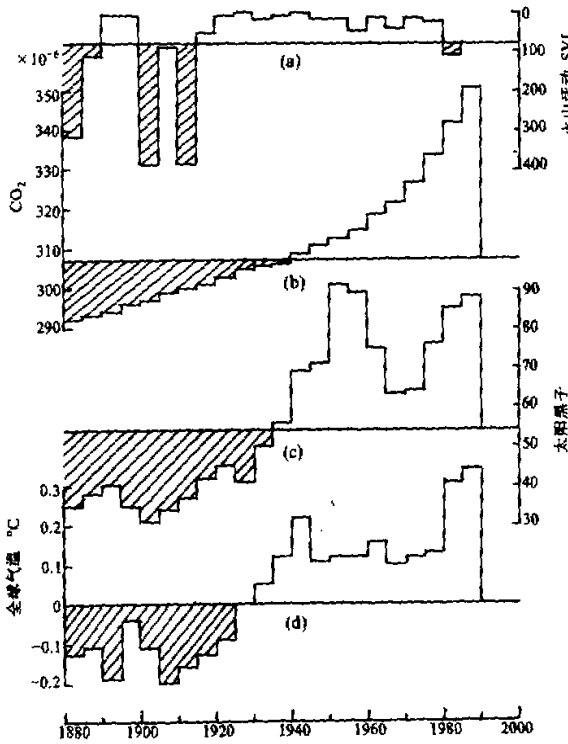
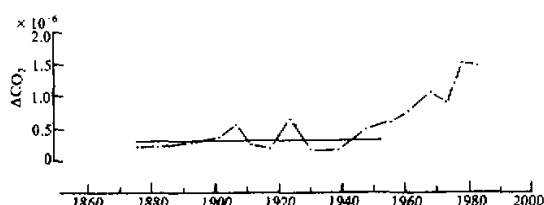
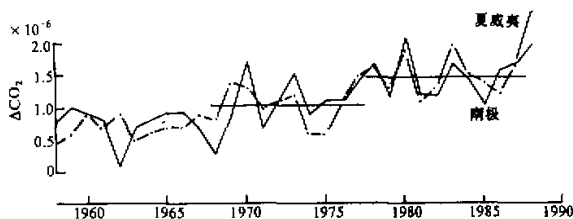


图 6 火山活动(a)、CO₂ 浓度变化(b)、太阳黑子数(c)与全球平均气温(d)

表 5 不同波段功率累计值(%)

波 段	北半球				南半球				全 球				中国
	I	V	J	H	I	V	J	H	I	V	J	H	
低频	60.0	56.4	58.1	64.6	62.1	60.6	58.9	53.1	64.0	60.3	60.3	65.6	44.9
15—30 年	10.2	12.8	13.2	9.7	13.5	9.4	15.3	12.2	11.3	10.8	14.3	10.0	12.0
太阳	17.1	16.2	16.5	13.7	10.5	15.6	11.6	16.0	13.2	15.5	13.2	13.0	14.6
ENSO	6.8	8.2	7.0	6.1	9.4	9.7	9.4	9.9	7.5	8.3	8.0	6.3	12.4
QBD	5.9	6.4	5.2	6.0	4.4	4.7	4.9	8.7	4.1	5.1	4.1	5.1	16.0

能就有一定困难了。为了看得更清楚,在图 7 及图 8 中给出近百年及近 30 多年的 CO_2 年增量。从图 7 可见,直到有正式 CO_2 观测之前, CO_2 的年增量变化于 0.4×10^{-6} 上下,没有明显的突然增长,当然,大气中 CO_2 的作用是积累的。由此可以说明温度的不断上升,但说明突然变暖则有困难。所以,至少在目前还不能单独用 CO_2 的变化说明前两次突然变暖。但是第三次就不同了。图 8 给出 Mounalooa 与南极两个站的 CO_2 年增量。可见从 70 年代到 80 年代有明显不同。

图 7 1870—1985 年大气中 CO_2 浓度年增量图 8 1958—1989 年大气中 CO_2 浓度年增量

实际上,从图 7 也可以看出这种趋势。那么,第一次与第二次突然变暖的原因是什么呢?由图 6 可见,自 1880 年至 1890 年以及以 1910 年到 1920 年火山活动均迅速减弱。同时从 1920 年到 1940 年太阳活动也激烈增强。因此,可以认为,第一次突然变暖可能主要与火山活动变得沉寂有关。第二次突然变暖受火山活动减弱影响,太阳活动增强也有一定作用。第三次突然变暖则可能主要是温室效应的结果。

当然,这里只是初步分析,用什么指标反映这两个自然变化因子——太阳活动与火山活动,以及它们能产生的辐射强迫(radiative forcing)有多大,都需要进一步研究。并且需要用一定的模式来计算其气候效果。这里主要强调,在解释近百年气候变化时,不能排除自然因素。进一步研究这个问题,对检测温室效应有重要意义。

参 考 文 献

- [1] 王绍武, 1991, 全球气候变暖与未来发展趋势, 第四纪研究, 第 3 期, 269—276.

- [2] 王绍武, 1993, 全球气候变暖的检测及成因分析, *应用气象学报*, **4**, 226—236.
- [3] Mitchell, J.M., 1961, Recent secular changes of global temperature, *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, **95**, 235—250.
- [4] Wigley, T.M.L., et al., 1985, Analysis of the temperature record, in: *Detecting the Climatic Effects of Increasing Carbon Dioxide*, U.S. DOE, DOE / ER-0235, 55—90.
- [5] Ellsaesser, H.W. et al., 1986, Global climatic trends as revealed by the recorded data, *Rev. Geophys.*, **24**, 745—792.
- [6] Hansen, J. and S. Lebedeff, 1987, Global trends of measured surface air temperature, *J. Geophys. Res.*, **92**, No.D11, 13345—13372.
- [7] Vinnikov, K. Ya., et al., 1990, Empirical on contemporary global climate changes (temperature and precipitation), *J. Clim.*, **3**, 662—677.
- [8] Jones, P. D., 1988, The influence of ENSO on global temperatures, *Climate Monitor*, **17**, 80—89.
- [9] Wigley, T.M.L., 1986, Testimony to the U.S. Senate on the greenhouse effect, *Climate Monitor*, **15**, 69—77.
- [10] Houghton, J.T. et al. (Edited), 1992, *Climate Change 1992, the Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*, Cambridge University Press, 200pp.
- [11] Boden, T.A. et al., 1990, Trend'90, A Compendium of Data on Global Change, The Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, 257pp.
- [12] Boden, T.A. et al., 1992, Trend'91, A Compendium of Data on Global change, Highlights, The Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, 60pp.
- [13] 衣育红、王绍武, 1992, 80年代全球气候突然变暖, *科学通报*, No.6, 528—531.
- [14] Schonwiese, C.D. and A. Cress, 1988, An improved Northern Hemisphere volcanic activity parameter based on the Smithsonian Chronology, *Meteorol. Rdsch.*, **41**, 89—92.

An Analysis of Global Warming during the Last One Hundred Years

Wang Shaowu and Ye Jinlin

(Peking University, Beijing 100871)

Abstract

Annual surface temperature series of IPCC, Vinnikov, Jones and Hansen for the hemisphere and the globe and that for China are analysed. Data set covered 1880 to 1991. Linear trend of the warming was about $0.5^{\circ}\text{C} / 100 \text{ a}$. The low frequency variation accounts for more than 60% of the total variance of the series. Abrupt warming was found in the middle of 1890s, 1920s and by the end of 1970s. Solar activity and concentration of CO_2 closely correlated with the temperature variations. Volcanism also contributed to the warming. However, the abrupt warming in the 1890s and 1920s seem to relate to the cessation of volcano eruptions and that by the end of 1970s may be caused by the enhanced greenhouse effect, though the intensification of solar activity may also take part in.

Key words: global warming, abrupt change of climate, greenhouse effect.