

60年代北半球夏季气候跃变过程的初步分析

严中伟

(中国科学院大气物理研究所, 北京, 100080)

提 要

本文旨在探讨60年代北半球夏季气候跃变事件的大尺度源区。对各要素场主信号分析表明,系统性的跃变在500 hPa高度场和近表面温度场中出现较早(~1962—1963年),在降水、海平面气压和500 hPa槽脊场中出现稍晚(~1965—1967年)。跃变首先出现于500 hPa高度场中纬大西洋——即夏季500 hPa极涡向南扩张到的最南缘区。该区的降高扰动连同近地面降温扰动在几年内播及极区,形成极涡的急剧加深和中高纬地区的普遍降温。本文结果表明,在研究长期气候变化中的跃变现象时,大气海洋系统的内部扰动状况应受到高度重视。

关键词: 气候跃变; 主信号; 500 hPa高度场。

一、前 言

近年来,气候跃变^[1]的概念在长期气候变化的研究领域内日益受到重视。不少作者都指出或试图解释实测气候长序列中分析出来的跃变现象^[2,3]。气候跃变概念的出现有其特定的研究背景。其认识基础与非线性理论的发展是分不开的^[1]。作为从非线性系统中采集出来的气候序列样本,其统计特征是非平稳的,这是以往广泛应用的周期性分析及有关的所有线性拟合理论所不能虑及的。一些作者指出,要提高现有统计预报的水平,关键是要分辨出不同气候阶段之间的转折点^[4]。气候跃变即是一种不同气候状态的转折方式。尽管现在气候跃变概念本身尚不成熟,但从跃变的观点出发去研究有关的气候变化特性,无疑将有助于丰富现有的气候学知识。目前已有一些工作专门讨论气候长序列中跃变的检测或确定^[1,5],但具体讨论一次大尺度跃变事件的发展过程的工作,目前尚不多见。

在仪器观测史上,根据目前的统计检测法,已基本确认的大尺度跃变事件有一次发生于20年代^[1,2],另有一次则发生于60年代^[6](Shabbar et al^[1]; 严中伟^[2])。60年代北半球夏季气候跃变在许多资料场中均有反映^[2],它也是目前资料所能较完整描述的唯一一次大尺度气候跃变事件。不少作者通过各自的资料分析,指出了60年代期间的大变化^[7-12]。最近,严中伟,季劲钧,叶笃正^[13-14]通过对半球到全球范围的降水、温度、

1989年10月27日收到,1990年5月10日收到修改稿。

1) Shabbar A., Higuchi K. & Knox J. L., Regional analysis of Northern Hemisphere 50 kPa geopotential heights from 1946—1986. Submitted to J. Clim.

2) 1951—1980年北半球夏季气候变化, 博士论文, 中国科学院, 大气物理研究所, 1989。

海平面气压和 500 hPa 高度等资料的分析,较全面地论述了这次跃变事件的主要时空分布特征.其分析结果表明,尽管 60 年代跃变在各要素场中均有反映,且各地的跃变呈现出有机的空间联系,跃变却并非在所有要素场和所有地区都同时出现.60 年代跃变是否可能在某些源区先出现,然后再在短期内迅速波及半球以上范围的呢?本文即希望通过资料分析来解答此问题,以期有益于对气候跃变之深入了解.

二、资料和问题

本文所用资料包括 1951—1980 年间全球范围的降水、气温、海表水温和北半球范围的海平面气压、500 hPa 高度等,其来源和处理在文献[13、14]中已有详述.这里仅重申两点说明:

(1)降水和温度资料都已作了区域化处理,海平面气压和 500 hPa 高度则是网格化资料,另外,考虑到 500 hPa 槽脊系统对夏季局地降水等天气过程的重要影响,我们从 500 hPa 高度减去其纬向平均值,从而发展出 500 hPa 槽脊场.

(2)上述六个气候要素均取其夏季值,并被发展成五年滑动平均场,其中夏季指 6—9 月,5 年滑动平均是为突出 60 年代跃变信号而设.

在研究长期气候变化时,海洋环流和高层大气环流等要素是不应忽视的,但目前有关的资料积累尚不足以描述 60 年代跃变的完整过程.本文所用的可以认为是能较完全包容 60 年代跃变事件的目前最完善的资料集.也正因为此,本文的结论是有一定的局限性的.

本文所称气候跃变是通过一个跃变参数 J_t 来定义的(详见文献[13]).但限于篇幅,文中在用时间—纬度剖面图分析跃变信号之发展过程时将不再强调跃变参数的量值.但需说明,文中有关图示里标明的跃变均满足文献[13]中的跃变定义.

为便于进行文中的讨论,先在此列出从文献[14、15]中得出的两个结论:

(1)由经验正交函数(EOF)和主相关型分析共同确定出来的要素场主信号^[13]可以在某种整体意义上表征要素场之主要变化.例如,降水场主信号在 1967 年出现跃变,则在降水场中除一些局地区域外很大一部分地区的主要变化均以 60 年代中后期的跃变为特征.根据文献[13、14]的分析,本文所用 6 个要素场的主信号可分别由这 6 个场的第一经验正交函数(EOF1)时间系数序列来近似代表.

(2)60 年代跃变在各要素场中均有反映.除了降水、海平面气压和 500 hPa 槽脊场变化中具有相似的带状分布结构这一点外,这次事件的两个重要特点是:500 hPa 极涡急剧加深和中高纬温度普遍突降.

在考察这样一次大尺度的跃变事件的发展过程之前,需充分认识到如下困难.首先我们不能肯定大尺度气候跃变是否可起源于很小的局地变化,而局地观测中真的有“跃变”时我们也不能随便确认其有否实际意义^[15];其次我们不能肯定气候跃变是否可由纯粹偶然的因素所激发,而这些偶然因素是不可能由常规气候观测加以描述的;再者,引发系统跃变的因素可以是缓变的^[16],这就要求我们不能忽视系统内外的缓变因素.所有这些困难都限制了当前问题所能被解决的程度.

本文所能顾及的是那些能够在在大尺度空间(而非格点或小区域)上被分辨出来的跃变

信号的发展过程。

三、60年代夏季气候跃变事件溯源

1. 各要素场主信号的比较

首先我们考察：在降水(Rf)、气温(T_a)、海表水温(SST)、海平面气压(SLP)、500 hPa 高度(H_{500})及 500 hPa 槽脊(RAT)场中，哪些要素场的整体状况较早出现了跃变？

我们用要素场主信号来表征要素场整体状况的主要变化特征。根据上节说明，本文可用各要素场距平场的 EOF1 时间系数序列分别近似代表各要素场之主信号。这样，EOF1 方差贡献越大，其对要素场整体变化特点的代表性就越好。表 1 列出各要素距平场 EOF 分量的方差贡献。可见各场 EOF1 的方差贡献均超过 30%，在由 30 个分量构成的总变化中，EOF1 一个分量就表征了其三分之一甚至近一半的变化，说明文献 [13, 14] 中求得的主信号确实各要素场中占有主导地位。

表 1 各要素场距平场的 EOF 分量方差贡献分配情况

要素场 \ 分量	EOF1	EOF2	EOF3	余量总和
Rf	35%	19%	12%	34%
T_a	40%	16%	13%	31%
SST	47%	16%	16%	27%
SLP	33%	18%	14%	35%
H_{500}	41%	17%	13%	29%
RAT	31%	20%	15%	34%

比较表 1 中各场 EOF 方差贡献情况可见，Rf、SLP、RAT 场的 EOF2 和 EOF3 相对于各自的 EOF1 而言也不是很小，可能说明在这三个直接表征对流层中低层大气环流形势的要素场中存在较多具有一定强度的局地变化(根据文献 [13] 定义，主信号乃最普遍存在于要素场中的强信号，从而 EOF2 等只可能在一些局地区域比主信号更大)。EOF4 以后各分量方差贡献均小于 10%，其对本文要讨论的主信号影响不大。

图 1 显示了各要素场主信号的变化特征。可见所有要素场主信号均有 60 年代期间出现强跃变性($J_y > 2$)的距平反号变化，但跃变时间不尽相同。 H_{500} 、 T_a 和 SST 场的主信号约在 1962—1963 年前后出现跃变，而 SLP、Rf 和 RAT 场的主信号则在 1965—1967 年前后出现跃变。

需要说明，由于在对原资料序列作五年滑动平均时序列两端各加了两个序列均值，使处理后序列两端距平值向靠近，从而使求得要素场主信号看似有波状特征。但我们可以证明图 1 中各跃变点前后子序列的统计特征有显著差异¹⁾——作者以及目前许多其它作者的跃变定义均是在这种统计意义下来定义的。

1) Shabbar A., Higuchi K and Knox J.L., Regional analysis of the Northern Hemisphere 50 kPa geopotential heights from 1946—1986, Submitted to J. Chin ..

为了更确切地考察各要素场主信号之间的相对位相关系,作者计算了上述 6 个主信号之间的最大落后相关。表 2 列出各要素场主信号对 500 hPa 高度场主信号的最大落后相关值和落后年数。表中所有相关值均在 0.86 以上,说明各场主信号的变化结构极为相似。从落后年数上看, T_a 和 SST 场主信号和 H_{500} 场主信号近于同相,而 SLP、Rf 和 RAT 场主信号则要比 H_{500} 场主信号滞后 3 年以上,这个结果和图 1 所示的直观图象是一致的。

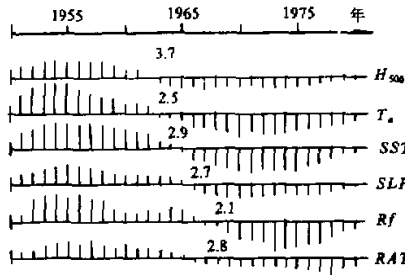


图 1

表 2 各要素场主信号对 H_{500} 场主信号的最大落后相关系数

要素场名 计算项	H_{500}	T_a	SST	SLP	RAT	Rf
相关系数	1.00	0.95	0.95	0.92	0.96	0.86
落后年数	0	0	1	3	3	5

由图 1 和表 2 得到这样一个结论: 即 60 年代北半球夏季气候跃变较早大规模地出现在 500 hPa 高度场和近表面层温度场中, 然后再在海平面气压, 降水和 500 hPa 槽脊场中明显地表现出来。这里需要说明一下, H_{500} 和 RAT 场的跃变不同时出现, 其所反映的物理图象是这样的 500 hPa 高度场中较早出现大范围的跃变(主要表现为中高纬地区 H_{500} 普遍突降^[14]), 但在这个过程中, 同一纬带上不同经度间的相对高度差并没有发生系统性的调整, 这种调整亦即 500 hPa 槽脊场之大规模变化是稍后才出现的。

2. 时间 - 纬度剖面分析

上段分析的结论把我们关于 60 年代跃变事件的溯源过程推进了一大步。现在我们可以认为, 在本文考虑的几个要素场中, 最初的大尺度的跃变很可能是发生在 500 hPa 高度场和下层的温度场中的(尽管不能排除在个别局地其它要素较早变化的可能)。下面就来进一步追溯 H_{500} 、 T_a 和 SST 场中 60 年代跃变的大尺度源区。

先考察纬向平均场的情况。图 2 给出 1951—1980 年纬向平均 500 hPa 高度的距平变化图。距平指对 1951—1980 年平均值的偏差。由图 2 可见, 60 年代初期中高纬地区有一大梯度区(见图中用斜线段标明的等值线密集区), 其前后各有一段较长的时期维持同号距平。这个大梯度区表明, 500 hPa 高度在其时其地急剧下降, 高度距平在几年内由 8 位势米以上突降至 -8 位势米以下。由图 2 还可见, 副热带地区(约 30°N 附近)也出现了降高。表现为 60 年代初期 +4 位势米以上的正距平到 70 年代初期 -4 位势米以下的负距平。但图 2 中副热带地区的变化远不如中高纬地区的变化来得急剧, 可能是由于纬向平均对广大较低纬地区而言具有更大的平滑效果; 另外, 低纬地区气候变率较小也是一个原因。

顺便指出, 图 2 中加斜线段区的气候跃变性可由 J_y 定义法^[13]加以确定。图 2 中另有一个大梯度区存在于中高纬 70 年代末期, 由于本文没有考虑 80 年代的资料, 故还不能确定其是否是另一次十年尺度的大尺度的气候跃变事件。

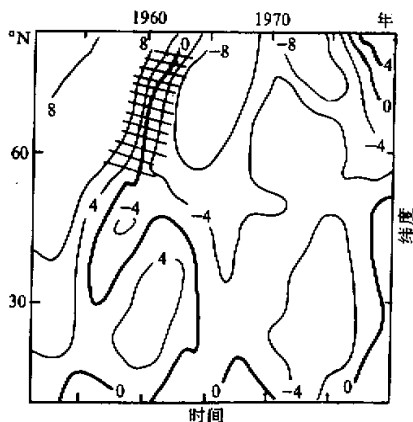


图 2

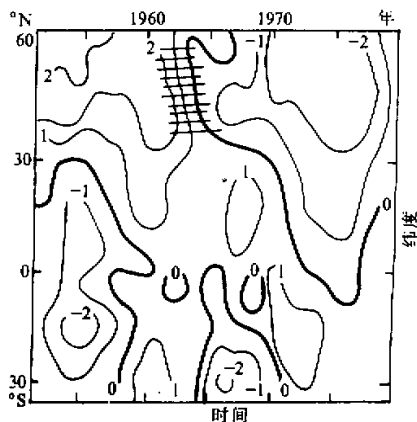


图 3

图 3 为 1951—1980 年纬向平均海表水温的距平变化 (气温情况大同小异, 不再赘述)。图中所示南半球的变化具有较强的短尺度扰动, 这里不细论之。北半球中高纬地区 60 年代初期的大梯度区 (用斜线标明) 前后各维持一个较长期的同号距平时期, 反映了当地热状况在 60 年代初期的急剧变化。自 60 年代初到中后期, 北半球中高纬 SST 距平由 0.2°C 以上变到 -0.2°C 以下, 也即当地 SST 在几年内下降 0.5°C 左右, 这个量值对大范围的季节平均的多年尺度的变化而言是相当大的。有趣的是, 在中高纬急剧降温期前后, 较低纬地区却始终维持正温度距平。这和 500 hPa 高度的变化情况不同。

比较图 2 和图 3 还可发现, 在纬向平均 H_{500} 场中, 中高纬 60 年代的跃变信号有自中纬向极区发展之势; 而在 SST 场中相应的跃变信号却似较早地出现在极区。这可能说明在纬向平均意义上高纬极区热力状况确实较为敏感。

考虑到纬向平均只反映了一些地区的较强信号而抹杀了另一些地区的较弱信号, 我们把全纬带分成三个地区重作时-纬剖面图以求更细致地考察上述跃变信号之发展。这三个地区为大西洋区、欧亚大陆区和太平洋区。

对三个地区的 500 hPa 高度距平的剖面分析表明, 各区中高纬 60 年代前期的跃变信号均很明显。在大西洋区 (如图 4 所示), 确实在中纬带较早地 (约 50 年代后期) 出现一个由正距平到负距平的急剧变化, 这种变化在几年内向北扩展至极区; 另外, 在大西洋副热带地区也于 60 年代期间发生了较迅速的升高。太平洋区的情况有所不同, 特别是其跃变信号没有自中纬向北极传播之势。另外, 由于短尺度扰动影响较大, 使其跃变结构不如大西洋区的跃变结构来得清晰。欧亚大陆区的情况介于两大洋情况之间而偏向大西洋的情况 (图略)。

上述两个大洋区 H_{500} 的变化特征及其差异也反映在下层的温度场变化中。图 5 和图 6 分别给出两个大洋区的 SST 距平的时-纬剖面。

如图 5 所示, 60 年代期间北大西洋普遍降温, 其中中高纬的降温具有明显的跃变性 (可由 J_p 参数确定^[13]), 且跃变信号呈现自中纬向北极和副热带发展之势 (参见图中标

斜线区)。太平洋区的 SST 变化不似大西洋区那么简明,表现出有较强短尺度扰动的影响;该区中高纬的 60 年代跃变信号没有自中纬向极区传播之势。另外,较低纬的太平洋区 SST 在 60 年代期间一直维持正距平,直至 70 年代才出现明显降温,可能反映了这一广阔洋域上低纬地区和中高纬地区气候变化之间较强的相对独立性——这一推论也可从其他作者的分析结果中推得^[17]。

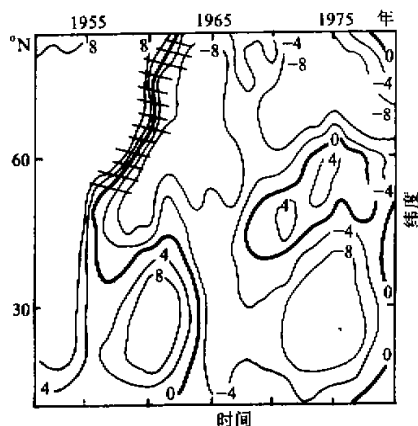


图 4

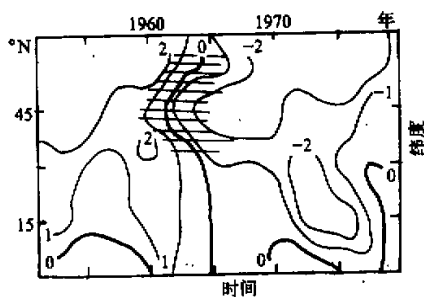


图 5

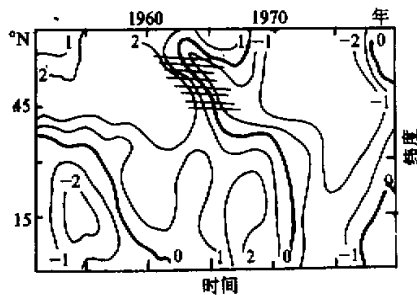


图 6

与 SST 变化相比,气温变化的图象稍显零乱,但其基本特征是类似的。

两大洋上温度变化之不同和前述 H_{500} 变化之不同相映成趣,反映了夏季对流层中低层大气和表层海洋气候状况间的密切联系。

综合上述分析可得到的明确印象为:60 年代北半球夏季气候跃变事件较早地表现为 50 年代末期大西洋中纬地区的 500 hPa 高度急剧下降,这一信号在几年内迅速向高纬扩展到极区;大西洋区近表面层温度也呈现出类似的变化过程,表现出良好的高低层配置关系。太平洋中高纬地区的气候状况也在 60 年代期间出现跃变,但从该变化的起始时间上看要晚于大西洋区的变化。欧亚大陆区的气候变化图象中既包含有大西洋区的变化特征,又包含有太平洋区的变化特征,限于本文的资料分析精度,我们不妨暂且视之为一个过渡区。

四、小结和讨论

本文着眼于大尺度的变化结构来探讨 60 年代北半球夏季气候跃变事件的发展过程。下面列出几点结果并对之进行适当讨论。

(1) 60 年代跃变在不同要素场中出现时间不同, 按各要素场主信号最大跃变出现时间排列的顺序为: 500 hPa 高度、近表面层气温和海水水温场 (约 1962 — 1963 年) → 海平面气压、500 hPa 槽脊和降水场 (约 1965 — 1967 年)。

从宏观上看, 500 hPa 高度场和低层大气热状况有直接联系^[10], 从而 H_{500} 、 T_s 和 SST 场共同反映了低层大气和表层海洋这一联合体系的热状况, 而 500 hPa 槽脊和降水是较直接地与大气垂直运动相联系的。基于这两点考虑, 我们认为 60 年代跃变事件可能较早地形成于热力场的变迁中, 在大气环流特别是大气垂直运动场中则体现得稍晚。这个结论的局限性在于本文没有考虑高层大气环流和海洋环流的变化。

(2) 大范围的跃变信号首先出现于 500 hPa 高度场中的中纬大西洋地区, 该区的降高扰动配合以近表面层降温扰动在几年内迅速向高纬扩展。

考虑到 60 年代跃变事件的两个重要特征是 500 hPa 极涡急剧加深和近极高纬地区温度突降^[13, 14], 我们似可认为中纬大西洋可能是这次事件发展中的一个关键区。值得注意, 该区正是夏季 500 hPa 极涡所能扩张到的最南缘。

(3) 太平洋域的气候变化有其特殊性, 特别表现在: 近极高纬区有较明显短尺度扰动影响; 副热带温度变化和中高纬的变化在位相上近于正交; 与大西洋相比, 中高纬的气候跃变出现稍晚。

作为一个初步的分析工作, 我们仅在此指出太平洋地区气候变化的上述特点, 而不能判断这些特点和 60 年代跃变事件的起源和形成有怎样的联系。一个留待解决的问题是: 两大洋上的气候变化是否有和怎样的联系? 仅用目前的资料分析是难以解决这个问题的。

从大西洋区的变化来看, 60 年代跃变事件很象是由大气 - 海洋的某种内部扰动演化而来的。在考察长期气候变化时, 人们往往想到一些外部因子的作用。对于 60 年代这次事件而言, 有两个因子值得注意。一个是太阳辐射, 它自 40 年代到 70 年代一直在减小^[18]; 另一个是 Agung 火山, 它恰好于 1963 年爆发。考虑到这次事件的重要特征之一是北半球众多地区降温, 我们似可认为上述两个外因在这次事件中起了一定作用。但是, 如果火山和太阳活动真的对近表面降温起决定作用的话, 我们就不能理解下述的事实: 即南半球同期并没有出现类似的“普遍降温”^[19]。结合本文分析进一步说明, 在 60 年代这次跃变事件中, 系统内部扰动状况应受到高度重视。当然, 实际气候过程中距平扰动的维持可能是有适当的外界条件配合的。对于这一点, 今后不仅要继续加强有关的观测分析, 还需要加强有关的理论研究, 以使我们在气候跃变这个目前还有着许多空白的领域内取得突破性的进展。

致谢: 作者工作期间得到叶笃正先生和季劲钧先生的热忱指导, 在此向他们表示诚挚的谢意。

参 考 文 献

- [1] Yamamoto R., Iwashima T. & Sanga N. K., 1986, An analysis of climatic jump, *J. Met. Soc. Jap.*, Ser. II, **64**, 273 — 281.
- [2] Fu C. B. & Fletcher J., 1988, Large signals of climatic variation over the Asian monsoon region, *Adv. Atmos. Sci.*, **5**, 389 — 404.
- [3] 章名立, 1989, 我国东部近百年雨量的变化, *科学通报*, **34**, 605 — 607.
- [4] 么枕生, 1989, 自回归模式在气候学研究中的应用, *气候学研究*, 气象出版社, 1 — 9.
- [5] Lin X. C., 1989, The stages and jumps of the long-range variation of the atmospheric circulation. Report at the 1st Meeting of the Sino-Canadian Workshop of Climate, Beijing.
- [6] Fu C. B., 1988, Report at the 3rd Meeting of the AS-DOE Workshop of CO₂ Induced Climatic Effect, Beijing.
- [7] Winstanley D., 1973, Rainfall trends in Africa, Middle-East and India, *Nature*, **243**, 464 — 465.
- [8] 林振耀、吴祥定, 1986, 历史时期(1765 — 1980)西藏水旱雪灾规律的探讨, *气象学报*, **44**, No. 3, 257 — 264.
- [9] Katz R. W. & Gientz M. W., 1986, Anatomy of a rainfall index, *Mon. Wea. Rev.*, **114**, 764 — 771.
- [10] 王绍武、赵宗慈, 1984, 北半球对流层下部温度变化的研究, *气象学报*, **42**, No. 2, 238 — 245.
- [11] 郭其蕴, 1983, 东亚夏季风强度指数及其变化的研究, *地理学报*, **38**, No. 3, 207 — 217.
- [12] Barry R. G., 1984, Snowcover, sea-ice and permafrost, in 《Glaciers, Ice Sheets and Sea level: Effect of a CO₂ induced Climatic Change》, workshop report, Washington, 241 — 247.
- [13] 严中伟、季劲钧、叶笃正, 1990, 60年代北半球夏季气候跃变, 1. 降水和温度变化, *中国科学, B*, No. 1, 97 — 103.
- [14] 严中伟、季劲钧、叶笃正, 1990, 60年代北半球夏季气候跃变, 2. 海平面气压和 500 hPa 高度变化, *中国科学, B*, No. 8, 879 — 885.
- [15] Jones P. D., Raper S.C.B., Bradley R.S., Diaz H. F., Kelly P.M. & Wigley T. M. L., 1986, Northern Hemisphere surface air temperature variation: 1851 — 1984, *J. Clim. Appl. Met.*, **25**, 161 — 179.
- [16] 缪锦海、张 展, 1986, 大气环流多平衡态的突变, *大气科学*, **10**, 9 — 16.
- [17] Ninomiya K. & Mizuno H., 1987, Variations of Baiu precipitation over Japan in 1951 — 1980 and large-scale characteristics of wet and dry Baiu, *J. Met. Soc. Japan* **65**, 115 — 125.
- [18] Hoyt D. V., 1979, Variations in sunspot structure and climate, *Climatic Change*, **2**, 79 — 92.
- [19] Oort A. H., Pan Y.H., Reynolds R. W. & Ropelewski C. F., 1987, Historical trends in the surface temperature over the oceans based on the COADS, *Clim. Dyn.*, **2**, 29 — 38.

A Primary Analysis of the Process of the 1960s Northern Hemispheric Summer Climatic Jump

Yan Zhongwei

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100080)

Abstract

The paper aimed at the recognition of the origin of the large-scale jump signal of the sixties' event. The result from the major signal analysis suggests that the jump happened systematically and earlier (about 1962—1963) in the fields of the 500 hPa height and near-surface temperatures, and later (about 1965—1967) in the fields of the rainfall, sea level pressure and 500hPa ridge-and-trough. The precedent large-scale jump signal occurred in the late fifties on the 500 hPa height of the mid-latitude Atlantic region—the south edge of the area where the Polar Vortex expands. The signal of height decreasing, accompanied with that of surface temperature decreasing, propagated northward in a few years, leading to a sharp deepening of the Polar Vortex and cooling in the near-polar regions. It was suggested that the atmosphere-oceanic disturbance structure needs much attention in the study of the climatic jump in the long-term climatic process.

Key words: Climatic jump; Major signal; 500 hPa height.