

500hPa 全球动能年际变率及 1983 和 1987 年两个厄尼诺年动能距平的差异^{*}

仇永炎 张云清 杜建斌

(北京大学地球物理系,北京,100871)

摘 要

利用 1980—1988 年 9 年期间 ECMWF 500hPa 全球风场资料,计算 7 个“纬度带”上三种基本动能模态,研究这些动能模态的各年异常情况。结果表明,1983 年是这 9 年内动能唯一的正值异常年,而 1987 年和 1985 年动能基本上属于正常年,只有个别动能模态有异常。这说明,1980 年代两个厄尼诺年的异常情况有很大的差异。动能模态与赤道东太平洋海温距平(SSTA)的后延相关表明,1983 年事件的影响可以波及范围相当广泛甚至波及全球大气,而 1987 年事件所能影响的范围远比 1983 年事件要小。此外,还表明北半球副热带急流轴附近是对 SSTA 响应的敏感地区。

关键词:厄尼诺,全球动能,SSTA。

1 引 言

在 1980 年代有两个厄尼诺(下文简称厄)事件。一次在 1982/1983 年期间,被认为是 20 世纪最强的事件^[1],另一次在 1986/1987 年,是与 1982/1983 年相似的较强事件^[2,3]。在这两次事件之间还有一次 1984/1985 年不太强的拉尼诺(简称拉)事件。对这两次厄事件已有许多研究^[4-7],大多侧重于其共同点。我们在研究 500hPa 动能的年际变率时,发现 1983 年全球总动能距平达到 WMO 规定的异常标准^[8],可是未发现 1987 年有明显异常现象。本文想进一步用定量标准研究 1980—1988 年期间动能年际变率,并把 1983 厄年和 1987 厄年的差异作为重点。鉴于对流层中层大气是理论上和实际上最常讨论的层次,本文也使用 500hPa 资料讨论。

2 资 料

经过纬向平均的动能模态有可积的特点,取其作为研究年际变率的物理量,是较为适合的。为此本文利用 1980—1988 年共 9 年期间的 ECMWF $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 网格 500hPa 风场资料,计算了纬向平均动能 K_z , 涡动动能 K_E , 以及纬向平均的总动能 K 三种基本模态,此外还计算了 1—5 波的分波动能。并按如下 7 种“纬度带”计算其平均值,即:全球($90^{\circ}\text{N}—90^{\circ}\text{S}$),北半球($90^{\circ}\text{N}—0$),南半球($0—90^{\circ}\text{S}$),以及北、南半球中纬度($60^{\circ}—30^{\circ}$)及低纬度

^{*} 初稿时间:1993 年 12 月 3 日;修改稿时间:1995 年 4 月 24 日。

资助课题:高等学校博士学科点科研基金。

(30°—0°)带,并分别以 GG、NH、SH、NM、SM、NL 及 SL 表示。为简便计,以“纬度带/动能模”格式表示某个纬度带内的某种动能模,并称之为某个动能项目,缩写成 KEI(下同)。这 21 个 KEI 的月平均值为基本资料。月平均值的 9 年平均暂称为气候月平均值。文中所有动能项目的单位均以 $\text{Jm}^{-2}\text{hPa}^{-1}$ 表示。

本文把动能距平值分为 A、B、C、D4 等,定义如下:

A 表示:距平绝对值 $\geq 2\sigma$

B 表示: $2\sigma >$ 距平绝对值 $\geq 1.5\sigma$

C 表示: $1.5\sigma >$ 距平绝对值 $\geq 1.0\sigma$

D 表示: $1.0\sigma >$ 距平绝对值

并分别称为距平异常(符合 WMO 的规定)、亚异常、一般距平和接近正常。

3 年平均距平的差异

本节和下一节首先就年距平和季节变化异常考察各年动能项目 KEI 总体的异常情况和年际差异,而后再考察某些特定 KEI 的情况。所谓 KEI 总体情况,就是把每个 KEI 当成彼此独立,按距平等级清点个数,以定出各年异常情况。21 个 KEI 年距平总体按如下定义划分 4 个级别:某年有 4 个以上 KEI 年距平达到上述定义的 A 等,且正负号相同,或者 6 个以上 B 等(或 A、B 之和大于 5)并同号,该年计为动能年平均异常年;如有 4 个以上 B 等(含 A 等)并同号或者 8 个以上 C 等(或 A、B、C 三者之和大于 6)并同号,计为亚异常年;如有 6 个以上 C 等(含 A 和 B)并同号,计为一般距平年,否则计为接近正常年。由表 1

表 1 21 个基本动能项目逐年(1980—1988 年)的年距平

| | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| GG/K _Z | C | | | A | | - | -C | | |
| K _E | -C | | | | | - | B | -C | |
| K | | | | A | | | | -C | |
| NH/K _Z | | | | A | | - | | - | |
| K _E | -B | | | | | C | | - | C |
| K | | -C | | A | | + | | - | |
| SH/K _Z | | | B | C | | - | -B | + | |
| K _E | | | -C | -C | | | B | - | |
| K | C | | B | | | - | | - | -C |
| NM/K _Z | C | -C | | | | + | | C | |
| K _E | -C | | | | C | C | | -B | |
| K | | -B | | | | B | | - | |
| SM/K _Z | C | | C | | | - | -B | - | |
| K _E | | B | | -C | | - | | - | |
| K | B | | | | C | - | -B | - | |
| NL/K _Z | | | | A | | - | | - | |
| K _E | B | | | | | + | C | - | C |
| K | | | | A | | - | | - | |
| SL/K _Z | | | | | | - | C | C | -A |
| K _E | -A | | | | | C | C | - | |
| K | -B | | | | | | B | + | -C |

可以看出,1983 年(正如文献[8]所指出的)是 9 年内唯一的异常年。1980 年既是个正值亚异常年,也是个近于负值亚异常年,1986 年是个正值亚异常年。1985 年、1987 年和其它年份一样,都是接近正常年。1980 年被认为是厄事件夭折年,其距平情况很复杂,这里暂不讨论。1986 年是 1986/1987 事件开始年,由于不是盛行年,暂放在后面讨论。1983 年内全球范围、北半球及其低纬度三者的 K_z 和 K 的年距平都出现正值异常,所以无论从什么角度考虑,都表明这是个动能年距平异常年。而 1987 年厄事件盛行年,不但没有一个 KEI 年距平达到 A 等,达到正值 C 等的年距平只有 NM/K_z 和 SL/K_z 两项。从表 1 中距平的正负号还可以看到这是个 KEI 负值年距平占优势的年份。所以,同 1982/1983 事件相比,1986/1987 事件对于 500hPa 上动能年距平的影响,从纬向平均的观点来看是很小的。

4 季节变化的年际差异

某个量的年循环是由年平均和季节变化两部分组成。季变可定量用某个谐波振幅或某几个盛行谐波振幅表征。根据对 21 个动能项目(KEI)的谐波分析,有 19 个 KEI 如 GG/K_z 、 NH/K_z 等的年波相对振幅都超过 90%,只有 SM/K_z 和 NL/K_z 例外,其年波相对振幅只有 77%和 86%。因此对前一部分 KEI 就可以用年波振幅表示季变,用年波距平表示季变异常。至于 SM/K_z 和 NL/K_z ,除考虑年波外,还要参考半年波,才能定出其季变异常。

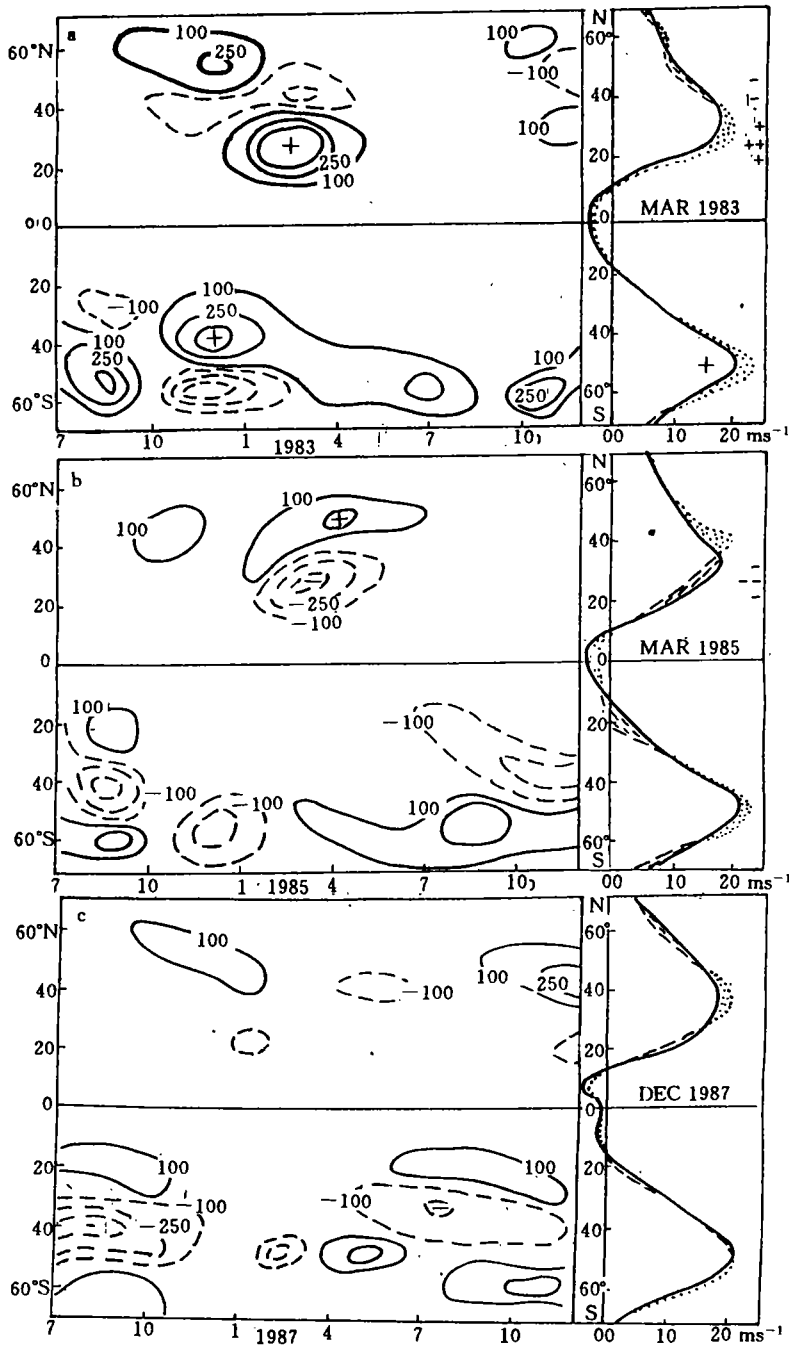
类似上节,定出各年 KEI 总体季变异常的级别。结果表明,1983 年是唯一的正值季变异常年;1980 年和 1986 年为亚异常年,前者为负,后者为正;其它年份都是季变接近正常年。

结合表 1 进一步分析,1983 年季变异常达到 A 等的 KEI 有 GG/K 、 NH/K_z 、 NH/K 、 NL/K_z 以及 NL/K (有半年波配合),而这些又是年距平 A 等的项目,这就表明这些 KEI 年循环属于 A 等,1983 年是动能年循环异常年。1986 年南半球低纬度 K_z 、 K_E 和 K 三者都达到 C 等以上的距平,与表 1 中这三者 C 等以上年距平相一致,因而表明在 1986/1987 事件开始的一年,南半球低纬动能有一定的异常现象。1987 年从 KEI 总体看,季变和年平均的距平都接近正常,因而这年动能年循环也接近正常,只有 NM/K_z ,其季变和年平均分别为 B 等和 C 等正距平(见表 1),表明这年 NM/K_z 有一定的异常。至于 1985 年,年平均和季变都是接近正常年,所以动能年循环属于接近正常的年份。

因此,由上述两节讨论可知,就整年内 KEI 总体的异常情况看,1983 和 1987 年两个厄年有很大的差异。1983 年是异常年,而 1987 年在许多方面有些同 1985 拉年相接近,同属于接近正常年。

5 副热带“急流”附近动能变化和西风变化

考虑到前面的 KEI 所取的纬度带太宽,容易掩盖局部地区的显著异常,本节采用 10 个纬度的纬向平均动能 K_z 月距平资料,研究三次事件的差异。附图为三次事件期间 K_z 的距平分布,我们着重注意图中距平绝对值大于 1.5σ 和大于 2σ 的中心。先看 1982/1983 年事件,该事件发展到 1982 年 12 月的强盛期(按中央气象台长期科海温资料定出,下同)时,在 40°S 附近,12 月份平均急流(本文所指的急流均是对 500hPa 而言)的位置,出现一



附图 1983 厄年(上)、1985 拉年(中)和 1987 厄年(下)三次事件期间
每 10 个纬度带纬向平均动能的月距平值分布图

(等值线为 $\pm 100, \pm 250, \pm 400 Jcm^{-2} \cdot hPa^{-1}$, 正负分别用实、虚线表示。正(负)距平中心值凡大于 1.5σ 和 2σ (小于 -1.5σ 和 -2σ) 者分别以“+”和“++”(“-”和“- -”)表示。右侧小图分别为 1983 年 3 月、1985 年 3 月和 1987 年 12 月的纬向平均西风(虚线)以及对对应月多年平均值(粗实线)。正负距平分别用点区及斜线区表示, 副热带急流附近 +、++、- 和 - - 的意义同 K_z 距平中心的含意)

个正距平中心(达到 1.5σ),其南还有一弱的负距平。在 1983 年 2、3 月,即事件最盛期,北半球又出现一个强的正距平中心(超过 2σ),其位置正好是副热带急流所在纬度 30°N 附近,其北也有一个弱的负中心,也是正负成对出现。在 1985 年事件期间,南半球没有出现一个有意义的中心,而到了 1985 年 2、3 月最盛期,北半球出现一个强的负距平中心(达到 -2σ),位置也正在副热带急流轴 30°N 附近,其北还有一个正距平中心,也是负正成对出现,但与 1983 年相反,负中心靠近赤道。在 1987 年事件的盛期(1987 年 7—12 月),南半球没有一个有意义的中心,北半球也只是在 1987 年 12 月和 1988 年 1 月才出现一个弱的正距平中心,其数值比 1983 年弱得多,还不到 1.5σ ,其位置在略偏于急流轴以北 40°N 附近。

由于 K_z 与纬向平均西风有着直接联系,我们分析了三次事件最盛期,沿经圈剖面的纬向平均西风和多年平均西风,如附图右边三幅小图所示。比较这些图,可以看到这三次事件最盛期西风距平的差异。虽然两次厄事件的极盛期都使副热带急流轴附近西风增强,然而 1983 年西风距平值($>2\sigma$)远强于 1987 年($\sim 1.2\sigma$),而且 1983 年西风增强现象还有相对于赤道近似对称的特征。1985 年 3 月的西风廓线很清晰地表明,在副热带平均急流轴附近,出现很强的负距平($<-2\sigma$),在其北有较明显的正距平。这些特征是否是拉年的典型特征,值得以后研究。通过上面对三次事件期间 K_z 距平场和西风廓线分析,有一共同点值得我们注意:即不论事件强弱如何,不论大气对赤道海温的响应能力如何,也不论是厄事件还是拉事件,各次事件极盛期出现的有意义的 K_z 距平中心和西风距平区都出现在北半球副热带急流轴附近。因此,这个急流轴附近可视为对赤道 SSTA 响应的敏感地区。

6 各动能模态与赤道东太平洋海温的后延交叉相关

大气异常受许多外界因子影响,近年来,广泛受到重视的因子是海温,尤其是赤道东太平洋海温距平(以 SSTA 表示)的影响。本文用简单的后延相关法,研究 SSTA(即 0° — 10°S , 180° — 90°W 海区逐月距平值)超前与落后于第 2 节所谈到的 56 个 KEI 的相关性。所用的 SSTA 取自中央气象台长期科资料。针对各次事件特点适当选取资料长度。对 1983 年事件,取 1982 年 1 月到 1984 年 12 月共 36 个月的资料长度;对 1987 年事件,取 1986 年 1 月到 1988 年 12 月共 36 个月;对 1985 拉年则取 1984 年 1 月到 1985 年 12 月共 24 个月资料。动能资料作两种不同的预处理:(1)月距平序列,(2)将原动能序列滤去气候年波和半年波以后的序列。最大后延数取 6 个月,预定信度为 $\alpha=0.01$ ($\alpha=0.05$),当资料长度为 24 和 36 时,以百分数表示的临界相关系数 R_c 分别为 51(40)和 45(35)。为避免重复,这里只给出一些 KEI 月距平与 SSTA 之间的相关结果,凡相关系数大于 99% 置信上限的列于表 2 中,此外还附上一部分达到 95% 置信上限的系数(带 * 号的)。

从表 2 中可以看到,就 1983 年和 1987 年两次事件来看,当 SSTA 超前时,SSTA 和 KEI 的关系有很大的不同。在 1983 年事件期间,SSTA 和后期 1、2 乃至 3、4 个月以内全球范围,北半球以及北半球低纬度的纬向平均动能 K_z 和总动能都有很高的相关性。换言之,赤道东太平洋出现异常高温后 4 个月以内全球范围内特别是北半球低纬度的纬向环流大大加强。因此,这个结果可以说明前面讨论的 1983 年 GG/K、NH/K、NH/K_z、NL/K、

NL/K₂ 的年距平异常、季变异常等情况。由于北半球低纬度 K₂ 及其距平主要集中在副热带急流带,因此可以认为在第 5 节所得到的急流带附近西风强度异常加强,是由于赤道 SST 异常暖而造成。可是 1987 年事件就不同了,SSTA 只和 2、3 个月后的 NM/K₂ 有较高的正相关,与其它 KEI 大多呈反相关。这一结果可以说明前面讨论到的 NM/K₂ 年距平、季变在一定程度上的异常情况,从而可以认为,SSTA 可以说明该年副热带急流轴以北的西风略微增强的事实。从表 2 中还可看到 1983 年,全球范围、北半球 K 都同 2、3 个月以前 SSTA 有很高的正相关,远超过 99% 置信上限,南半球 K 同 SSTA 相关低一些,也达到 95% 置信度。1987 年不同,SSTA 反而同全球、北半球 K 呈负相关(尽管置信度很低);同南半球 K 虽是正相关,其值也很低。由此可见,1987 年事件对大气影响远比 1983 年要弱,其影响范围可能要小。从该表中并可看到,1985 年事件发生后两个月对北半球乃至全球 K₂ 起到衰减作用(和 SSTA 呈正相关),亦即对北半球副热带急流的衰减起到正贡献。

表 2 KEI 与 SSTA 之间的后延相关系数

| 落后(超前) 月数 | 1983 厄事件 | | | | | 1987 厄事件 | | | | | 1985 拉事件 | | | | | |
|-------------------|----------|-----|-----|----|----|-------------------|------|------|------|----|----------|-------------------|-----|------|------|-----|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| | SSTA 落后 | | | | | SSTA 落后 | | | | | SSTA 落后 | | | | | |
| NL/K | 58 | 53 | | | | SL/K ₂ | 58 | 61 | 58 | | | NM/K ₁ | 61 | 63 | | |
| NL/K ₃ | 58 | 55 | 45 | 47 | | SH/K ₁ | 56 | 55 | 57 | 57 | 54 | NH/K ₁ | 49* | 51 | | |
| SL/K ₁ | | | 46 | 62 | 67 | SL/K ₁ | 49 | 63 | 72 | 73 | 69 | NH/K ₂ | | -49* | | |
| | SSTA 超前 | | | | | SSTA 超前 | | | | | SSTA 超前 | | | | | |
| GG/K ₂ | 55 | 57 | 58 | 49 | | GG/K _E | -45 | -54 | -48 | | | GG/K ₂ | | 49* | | |
| GG/K | 63 | 64 | 59 | 48 | | NH/K _E | -49 | -56 | -50 | | | NH/K ₂ | | 55 | | |
| NH/K ₂ | 49 | 50 | 52 | 45 | | NL/K _E | -49 | -54 | -45 | | | NL/K ₂ | | 51 | | |
| NH/K | 50 | 58 | 58 | 52 | | NM/K ₂ | | | 48 | 48 | | NL/K _E | | -49* | -50* | -55 |
| NL/K ₂ | 51 | 57 | 58 | 55 | 45 | GG/K | | -22* | | | | SL/K _E | | -62 | -48* | |
| NL/K | 58 | 65 | 65 | 58 | 46 | NH/K | -37* | -48 | -37* | | | SM/K _E | | | 49* | |
| SH/K | 46 | 36* | | | | NL/K | | -43* | -37* | | | | | | | |
| SM/K | | 35* | 35* | | | | | | | | | | | | | |

(注:数值右上角* *及“o”分别表明达到 95%和低于 90%置信水平)

再看 SSTA 落后的情况。1983 年和 1987 年两次事件有一共同点,即 SSTA 比常年增高之前 3—6 个月南半球低纬度 1 波动能一直增强。为了进一步说明这些相关性的意义,我们制作了 SL/K₁ 的月距平及其均方差的演变图(图略)。并看到 SL/K₁ 最大均方差通常出现在南北球冬季 6—9 月,在所取的 9 年内只有 3 个年份冬季月距平较大,平均在一个均方差以上,其中最突出的是 1983 年,该年 7 月的月距平达到 2 倍均方差。其它两年为 1986 年和 1987 年,其冬季月距平平均在一个均方差左右。这表明 SL/K₁ 冬季大值月距平常同厄事件相联系。因此可以考虑把 SL/K₁ 作为监测厄事件的先兆。根据 500hPa 高度场的方差分析,1 波动能是同南太平洋中、低纬度的高压相联系,其振幅在冬季 6—8 月最强,占所在纬度带总方差 75%以上^[9]。因此还可进一步推测,如这个高压系统异常强,有可能是厄事件的前兆。至于 1985 年拉事件,似乎在其出现之前一个月,北半球中纬度 1 波动能(也可以说偏心极涡)有明显的增强。

7 结束语

根据前面研究,可以得出如下三点结论:

(1) 从考察 21 个动能项目(KEI)的年距平及年波振幅距平(反映季变异常程度)的总体并研究 1980—1988 年 9 年内动能的年际差异知:1983 年为明显异常年,1986 年次之,是亚异常年,而 1987 年在许多方面和 1985 年具有相同级别,接近正常年份。

(2) 从 10 个纬度带纬向平均动能距平场以及从纬向平均西风距平的经圈廓线来看,副热带急流轴附近是对 SSTA 响应的敏感地区,对三次事件的影响各有其特点:1983 年出现正距平异常,1985 年出现负距平异常,而 1987 年只有弱的正距平。

(3) 分别研究 1980 年代两次厄事件和一次拉事件期间赤道 SSTA 同 KEI 之间的后延相关得知:SSTA 异常能够说明 1983 年全球动能异常,说明 1985 年和 1987 年有限地区动能的一定程度异常,从而能够说明 SSTA 对大气的影 响在 1983 年和 1987 年之间有重大差异。此外,南半球低纬度 1 波动能可以作为监测厄事件发展的物理量。

SSTA 对大气环流的影响主要发生在热带,并可波及全球。1983 年所观测到的情况正是这样。吴国雄^[5]对这次事件的数值模拟,证实了 20 年前 Bjerknes 的观点^[10],他计算出 Hadley 环流增强了 12%。这个结果可以从能量学观点说明本文的事实。Hadley 环流强,纬向平均位能转换成纬向平均动能强,NL/K_z 将出现异常,乃至 GG/K 也出现异常。1987 年除去 NM/K_z 外,许多 KEI 或者接近正常,或者出现负距平,因而这一年的 Hadley 环流是否也因 SSTA 异常而加强,有待于实际资料诊断。Kousky 等^[11]给出的关于赤道附近平均(5°N—5°S)的 850hPa 纬向风距平、OLR 距平和 SST 距平等图可以给我们一些启示,探讨 1983 年和 1987 年事件的差异。最值得注意的是 OLR 距平场。在 Kousky 等图上,太平洋中部—30 单位 OLR 距平等值线的范围和中心值,1987 年远比 1983 年既小又弱,而且始终没有东移越过 160°W,而—30 单位区域常被作为赤道对流较常年旺盛与否的特征区域。这表明 1987 事件潜热释放的加热作用大大受到限制。这可能是这次事件对大气影响微弱的直接因素。

参考文献

- [1] Quiroz R S. The climate of the El Nino-winter of 1982—83: a season of extraordinary climate anomalies. *Mon Wea Rev.* 1983. 111 (8): 1685—1706.
- [2] Zhao Hanguang, Zhang Xiangong, Ding Yihui. El Nino and the anomalies climate in China. *Acta Meteorologica Sinica.* 1989. 3 (4): 471—481.
- [3] Zang Hengfan, Wang Shaowu. El Nino and Anti-El Nino events in 1854—1987. *Acta Oceanologica Sinica* 1990. 9 (2): 353—362.
- [4] Ardanuy P E, Krishnamurti T N. Divergent circulations inferred from Nimbus-7 ERB: Application to the 1982—1983 ENSO-event. *J Meteor Soc Japan* 1987. 65 (3): 353—370.
- [5] 吴国雄, Cubasch U. El Nino 海温异常对纬向平均经圈环流及大气输送特征的影响. *中国科学. B 辑.* 1986. 10: 1109—1120.
- [6] 于惠岑, 蒲书箴. 1986/1987 厄尔尼诺期间的西风强化和海气相互作用过程的分析. *大气科学.* 1992. 4: 427—435.
- [7] 陈月娟, 丁明. 太平洋海温对其上空环流影响的分析及数值试验. *大气科学.* 1992. 16 (5): 592—600.
- [8] Qiu Yongyan. On the seasonal transition and the interannual variation in global kinetic energy at 500hPa. ac-

compained with anomalies of energy during the 1982/83 ENSO. *Adv Atmos Sci*. 1993. 10 (2) : 248—256.

[9] 中国人民解放军总参谋部气象局译, 南半球气象学, 1975. 330.

[10] Bjerknes J. A possible response of the atmospheric Hadley circulation to equatorial anomalies of ocean temperature. *Tellus*. 1966. 18: 820—829.

[11] Kousky V E. Leetman A. The 1986—87 Pacific warm episode: Evolution of oceanic and atmospheric anomaly field. *J Climate*. 1989. 2 (3) : 254—267.

ON THE INTERANNUAL VARIABILITY IN GLOBAL KINETIC ENERGY AT 500hPa AND THE DIFFERENCE IN ENERGY ANOMALIES BETWEEN THE TWO EI NIÑO YEARS OF 1983 AND 1987

Qiu Yongyan Zhang Yunqing Du Jianbin

(*Department of Geophysics, Peking University, Beijing, 100871*)

Abstract

Using the materials of 21 kinetic energy items (abbreviated to KEI) which are incorporated seven latitudinal belts with three primary energy modes, at 500hPa in the whole range of the globe during the 9 years of 1980—1988, the anomaly in kinetic energy for each year is investigated. The annual anomaly was classified into four grades, i. e. anomalous, subanomalous, fair average anomalous and approximately normal. It is shown that 1983 was the only anomalous year during the nine years studied, but the 1987 El Niño year and the 1985 La Nina year both belonged to the approximately normal one. So, there are great differences in the grade of the energy anomaly between the two El Niño years during eighties. The main KEIs by which the anomalies were characterized during the three event years, all are very high lag-cross correlation coefficients with SSTA in the equatorial eastern Pacific. It is shown that the anomalies of these KEIs responded to the three events. Besides, it is also shown that the northern subtropical jet is a sensitive region to respond to the SSTA. In responses to the three events there were three different typical character in the subtropical jet.

Key words: El Niño, Global kinetic energy, SSTA.