

热带气象译文集

第九集

低纬环流

广东省热带海洋气象研究所编

一九八三年十月

目 录

干旱月份与正常降水月份的北半球夏季热带环流

.....Masao Kanamitsu and T.N. Krishnamurti (1978) [柯史钊译] (1)

太平洋的信风场

.....Klaus Wyrtki and Gray Meyers (1976) [王志明译] (18)

冬季风试验区周围热带季风环流的年际振荡

.....Minoru Tanaka (1981) [王志明译] (26)

印度夏季风系统约40天周期振荡的结构

.....安成哲三 (1981) [柯史钊译] (32)

西南季风大气的一个特征—对流层风切变的振荡

.....C. R. V. Raman et al (1981) [王志明译] (48)

热带太平洋风的长期变率及其可能的成因和作用

.....Elmar R. Reiter (1978) [林春辉译] (54)

南半球的影响与1979年西南季风的爆发

.....D. R. Sikka (1979) [薛纪善译] (61)

夏季低层西风波同非洲中部热带辐合带的相互作用

.....S. 卡马 (1980) [陈桂樵译] (63)

南北半球上空850—500毫巴厚度型与印度夏季季风活动的关系

.....K. K. Ramamurti et al (1978) [罗杏初译] (73)

亚洲地区热带东风急流和夏季季风的年际变动

.....Minoru Tanaka (1982) [罗杏初译] (76)

低层季风气流的位势涡度

.....杨大升, T. N. Krishnamurti (1981) [王志明译] (86)

印度夏季风期间索马里急流振动的一个案例研究

.....Daniel Cadet and Michel Boyer (1981) [徐蕾如译] (110)

热带200毫巴夏季平均气流的动能收支

.....Tsing-Chang Chen (1982) [吴尚森译] (115)

全球大气研究计划大西洋热带试验第1, 2, 3阶段大尺度平均状态的运动学

分析.....Quintin G. Vincent (1981) [柯史钊译] (122)

北半球夏季热带对流层上层大尺度波动的增长和衰减

.....Ching-Yen Tsay (1980) [薛纪善译] (134)

赤道波与平均气流相互作用中的曲率衰减效应

.....Timothy J. Dunkerton (1982) [罗杏初译] (143)

印度地区的西南季风及其与南半球对流层中高层流型的遥相关

.....C. Ramaswamy and R. S. Pareek (1978) [陈连宝译] (149)

干旱月份与正常降水月份的北半球 夏季热带环流

Masao Kanamitsu and T.N. Krishnamurti

(佛罗里达州立大学气象系)

摘 要

我们对比了北半球夏季月份全球热带干旱年(1972)与正常雨量年(1967) 200 毫巴的流型。结果表明1972年印度中部和西非降水稀少可能与下列的因素有关: (1) 赤道太平洋暖的海面温度; (2) 西太平洋台风日数过多; (3) 赤道东印度洋强的东—东北风带(与台风高层的流出气流有关); (4) 弱的热带东风急流; (5) 印度弱的经向气压梯度; (6) 弱的西藏高压; (7) 主要的环流型和若干动力学参数分布型向东南方向偏移; (8) 西非较弱的垂直风切变和较弱的正压—斜压综合不稳定性; (9) 有利于印度致雨扰动西移的引导气流较弱, 因而山脉对扰动起了较大的影响。

本文讨论了干旱问题中上述各现象间一系列的内在联系。

一、引 言

1972年被公认为著名的撒哈拉干旱的颠峰时期。有若干气象原始资料(如 Tanaka 等1975)已经记载了这一干旱从1968年开始一直延续到1974年。1972年的干旱以全球尺度的异常环流的特征。夏季风季节中印度的降水量低于正常值。在委内瑞拉和全球其它许多地方也出现干旱。大量的研究(Krishnamurti等1975; Krueger和Winston, 1975; Murakami, 1975; Joseph, 1975; Harihara等, 1973)已考察了1972年流型和降水异常的不同侧面。这些研究使人们得出结论, 1972年环流型在较大尺度上是十分异常的。Joseph (1975)指出, 1972年季风前数月中150毫巴上印度洋的近赤道西风带持久维持。他强调了对流层顶附近纬向风的三年振荡。Krueger和Winston (1975)给出热带的距平图, 且指出异常状况持续了几个月。

本研究的目的在于利用佛罗里达州立大学收集的特殊资料系统对于正常雨量年与干旱年热带运动场的环流、运动尺度和能量过程加以对比。这一资料系统包括了世界天气监视网的雷达测风—无线电探空系统, 地球同步卫星的高云矢量风和商业飞机报告的风资料。在 25°S 到 45°N 的全球热带区, 从这一综合资料系统中, 通常每天可获得将近2000个观测资料。这一资料系统对于区分干旱年和正常雨量年的流型是必不可少的。

我们选择了1967年作为降水接近正常的年份。该年之后紧接着就是撒哈拉数年干

旱,同时该年的特点是在非洲和印度上空有相当多的活跃的季风扰动。图1给出1967年和1972年两年印度中部逐日雨量合计值(厘米)(见Krishnamurti和Bhalme, 1976)。根据40年资料的长期逐日平均值,得到了逐日平均雨量,在1967和1972年的逐日雨量图中也用曲线示出。1967年7月10日前后季风雨有短期的中断,大约有一周雨量低于正常值(图1上半图)。在季风月份其余时间雨量稍大于正常值。1972年雨量低于常值的时段从7月9日一直延续到8月5日。很清楚该年印度中部雨量大多是低于正常值的。正因为考虑到这些情况,为与干旱年1972年做比较,选择了1967年(接近正常雨量年)看来是合适的。

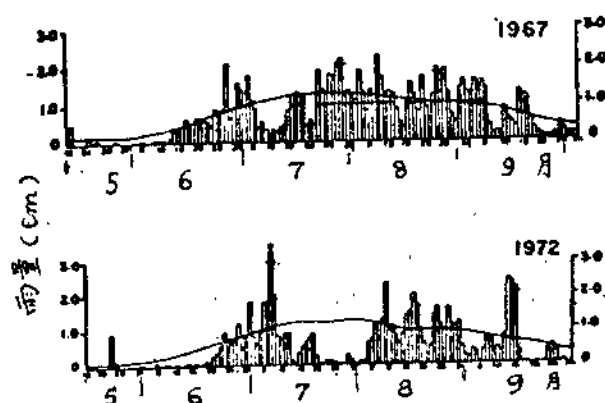


图1 接近正常雨量的1967年(上图)和干旱年1972年(下图)印度中部季风雨量的逐日合计值的比较。单位:厘米/天

Krishnamurti (1971 a, b) 和Kanamitsu等 (1972) 已经详细地研究了接近正常雨量的1967年的流场。这些研究已揭示了接近正常雨量年份气流的一些显著特性, Krishnamurti等(1973 b)对这些研究已加以归纳。

本文将说明1972年对流层高层全球热带运动场在行星尺度上是相当异常的。我们认为1972年的干旱是与全球环流的异常相关联的。

二、1967年(正常)与1972年(干旱)大尺度环流的比较

本节我们将根据各年逐日天气图92天的时间平均值来加以说明,时段取6月1日到8月31日。

(一) 纬向风

图2给出了这两年的 $\bar{u}$ 场,计算范围环绕全球,从南纬25°到北纬45°。主要的差异如下:(1)1967年的热带东风带范围比1972年大;(2)1972年20°N附近太平洋的西风带比1967年强得多;(3)南阿拉伯海的热带东风急流强度1967年接近22米/秒,1972年只大约为16米/秒;(4)1967年东风带横跨大西洋和南美洲远远地扩展到太平洋,但1972年没有这种情况。

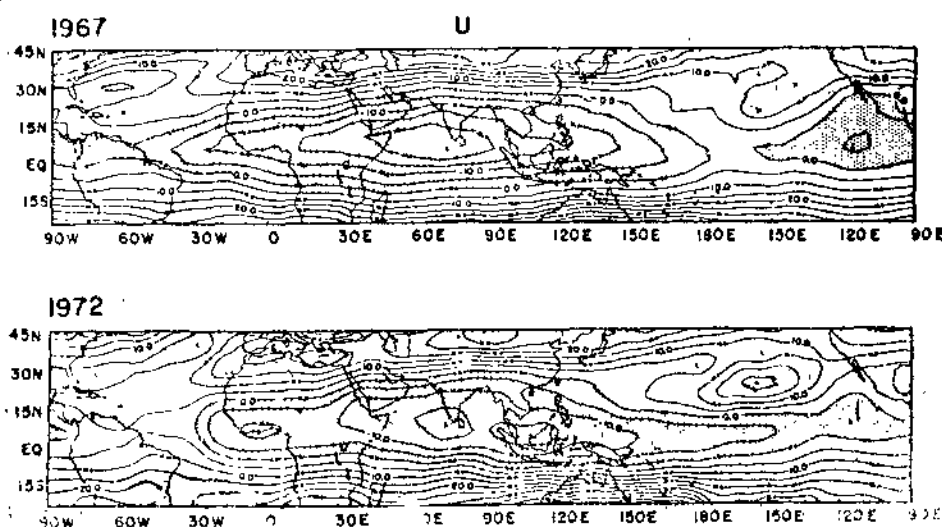


图2 接近正常雨量年1967年(上图)和旱年1972年(下图)北半球夏季平均纬向风场。东风区用阴影区表示。单位为米/秒等值线间隔5米/秒

纬向风速沿纬向的平均 $\overline{[u]}$ 的情况如图3a所示,该图清楚地表明1967年赤道地区的东风带较强而副热带西风带较弱。这两年纬向平均绝对涡度场 $\overline{[\zeta_a]}$ 只存在非常小的差异(图3c)。这里我们定义涡度如下式

$$\overline{[\zeta_a]} = -\frac{\partial \overline{[u]}}{\partial y} + f \quad (1)$$

(符号请看附录)。Krueger和Winston (1975)已论述过西风距平值(对于长期平均值而言)的计算,而我们的纬向平均本质上与他们的结果一致。

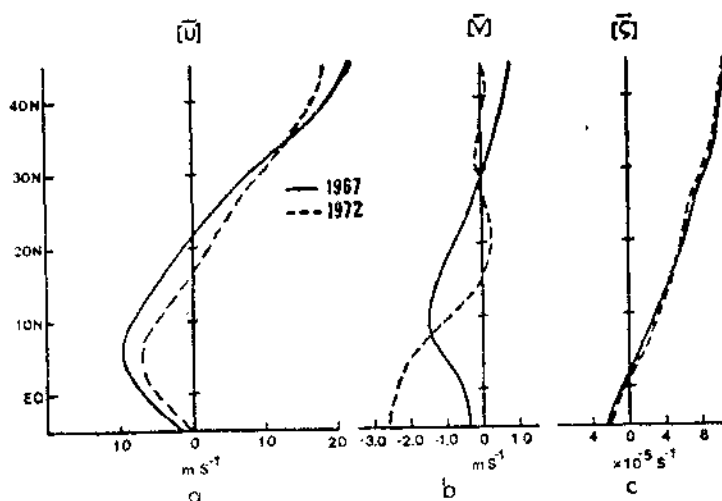


图3 接近正常雨量的1967年(实线)与平旱年1972年(虚线)纬向和季节平均的纬向风(a)、经向风(b)、绝对涡度(c)随纬度的变化

(二) 辐散环流

辐散环流的计算程序与Krishnamurti(1971 b)和Krishnamurti等(1973 a)所给出的程序相同。程序本质上由关系式

$$\nabla^2 \bar{\chi} = -\nabla' \cdot V_H \quad (2)$$

从时间平均的水平运动场 V_H 计算速度势 $\bar{\chi}$ 所组成。用上述方程取南北边界 $\bar{\chi} = 0$ 的解出绘图4所示的场来。运动场辐散部分的流线由

$$V_x = -\nabla' \bar{\chi} \quad (3)$$

确定。计算出来的辐散环流包含两个主要的垂直环流：(1) 经向平面上的哈得莱型环流；(2) 纬向平面上的东西向环流。这里必须注意，垂直环流是由速度势 $\bar{\chi}$ 和 V_x 场流线描述的，而不是用流函数 $\bar{\psi}$ ，因为后者没有垂直速度。

注意，这两年辐散环流有如下差别：

(1) 1967年（正常）辐散环流的主要中心接近孟加拉湾 $20^\circ N$ 附近。1972年（干旱）主要中心位置偏东和偏向赤道，在菲律宾 $10^\circ N$ 附近。图中速度势等值线间隔 $50 \times 10^4 \text{米}^2/\text{秒}$ 。

(2) 从图4，我们注意到1967年东西向的环流比1972年强，特别在北非和中太平洋更是如此。哈得莱型环流则1972年较强。

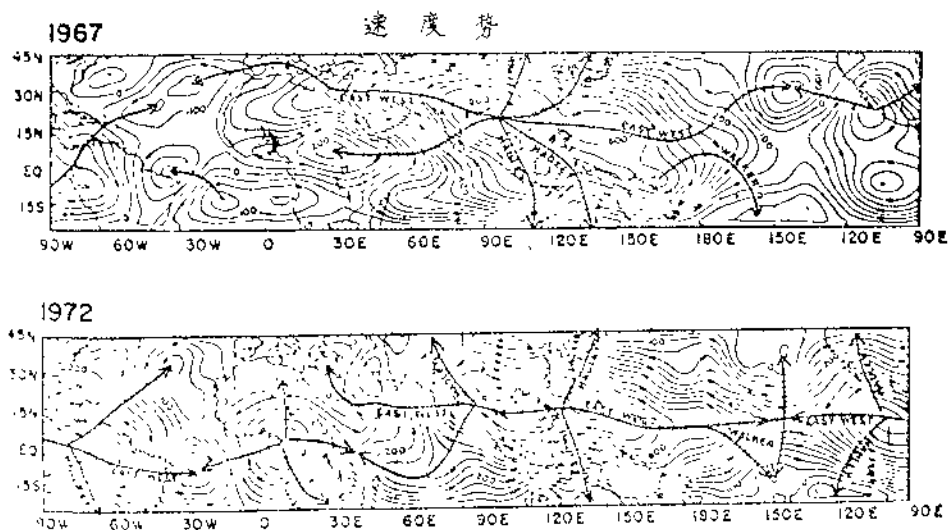


图4 接近正常雨量年1967年（上图）和干旱年1972年（下图）北半球夏季平均速度势场。单位 $\times 10^4 \text{米}^2/\text{秒}$ ，等值线间隔 $5 \times 10^5 \text{米}^2/\text{秒}$

(3) 1972年源于西非喀麦隆的辐散环流非常强。这就意味着这个地区为上升运动，而其周围包括撒哈拉地区都为补偿下沉区。1972年西非降水的不足与辐散环流分布的几何形状是一致的。

(4) 这两年，我们注意到辐散环流在洋中槽通常所在地区上汇合。对于热带纬圈上东西向环流的强度可以定义为

$$I_E = - \int_{y_1}^{y_2} \frac{\partial x}{\partial y} dy \bigg/ \int_{y_1}^{y_2} dy \quad (4)$$

(Krishnamurti等), 积分一般复盖某一热带纬度带。我们的研究中考虑两个纬度带, 一个从赤道到 15°N , 另一个从 15°N 到 30°N 。图5分别用实线和虚线表示正常年(1967)和干旱年(1972)强度 I_E (米/秒)的比较。尽管总的看来两条曲线相当相似, 但我们注意到有下列的差异:

(1) 在 $0-140^\circ\text{E}$ 间(也就是非洲、亚洲和西太平洋), 虚线(1972年)相对于实线稍向东偏移一些。

(2) 1972年大西洋上东西向环流强度 I_E 的振幅比1967年稍大。

(3) $0-15^\circ\text{N}$ 和 $15-30^\circ\text{N}$ 两条带呈现非常相似的特征。

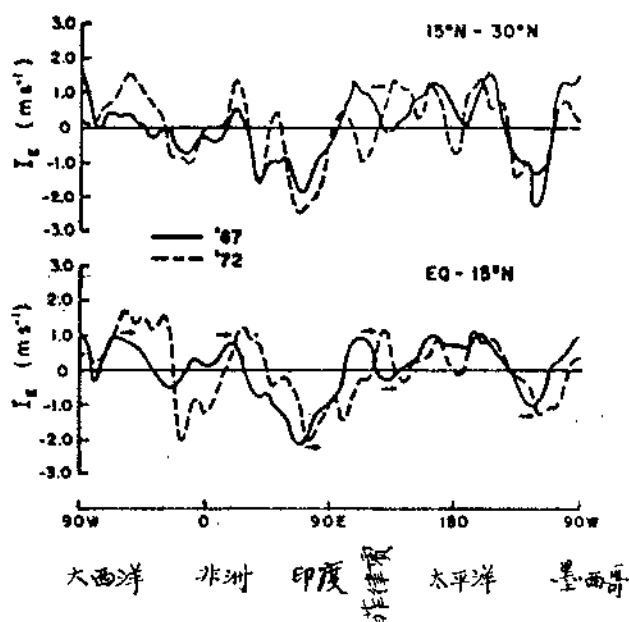


图5 $10-30^\circ\text{N}$ 纬度带(上图)和 $0-15^\circ\text{N}$ 纬度带(下图)的东西向环流强度 I_E 。
1976年(实线)和1972年(虚线)两个夏季最大和最小值向东的漂移用箭头示之

图3b表示这两年风辐散部分的经向分量沿纬圈平均, 用下式计算

$$[\bar{V}] = - \oint \frac{dx}{dy} dx \bigg/ \oint dx \quad (5)$$

这两年经向环流之间的差异比其它参量显得更大。1972年强的高层偏北风区表现出向赤道偏移。尤其是, 这两年高层辐散区(即 $\partial v / \partial y > 0$)大约从 20°N 移到 10°N 。进而我们又注意到, 在 15°N 以北地区, 1972年平均经向环流的强度是相当弱的。哈得莱环流向赤道的偏移与前面讨论的最大速度势轴线的位移(图4)是一致的。

(三) 无辐散环流

从流函数场计算了风的旋转部分。图6给出这两年的情况。必须注意到风的旋转部分约比辐散部分大一个量级。1967年(正常)和1972年(干旱)的旋转风场绝大部分

非常相似，下列为一些差异：

(1) 1972年澳大利亚东北*方的反气旋非常明显。我们还注意到该反气旋周围出现来自北方的强的经向气流。这个地区的经向气流的主要部分是无辐散的。

(2) 1972年与热带东风急流相联系的东风带相当弱，从流函数等值线的间隔显而易见。这无疑与1972年西藏高压相当弱有关的

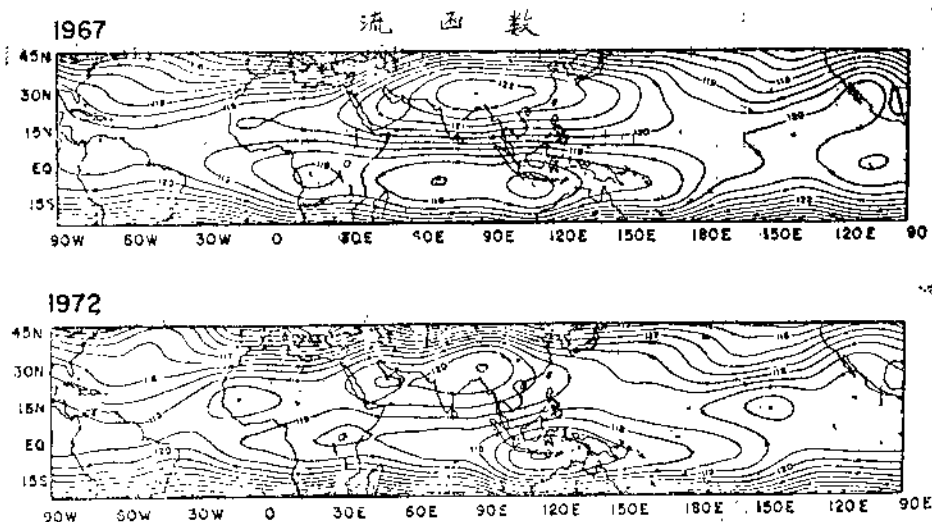


图6 接近正常雨量的1967年和干旱年1972年北半球夏季平均流函数场。
单位 10^7 米²/秒；等值线间隔， 5×10^6 米²/秒

(四) 总的水平运动场

总的水平运动场分为季节平均流线和季节平均等风速线（米/秒），见图7和图8。

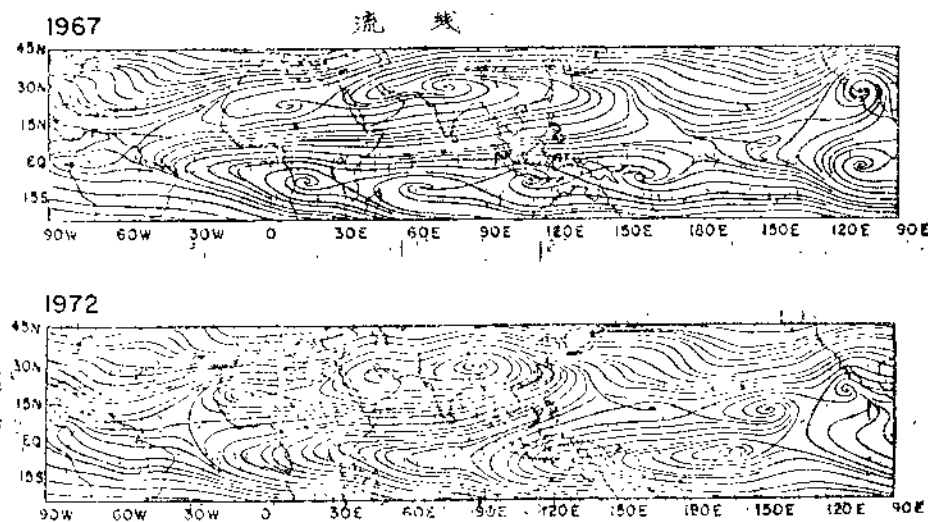


图7 1967年和1972年北半球夏季平均流线图

→ 原文如此，从图上看似应为西北方。——译注。

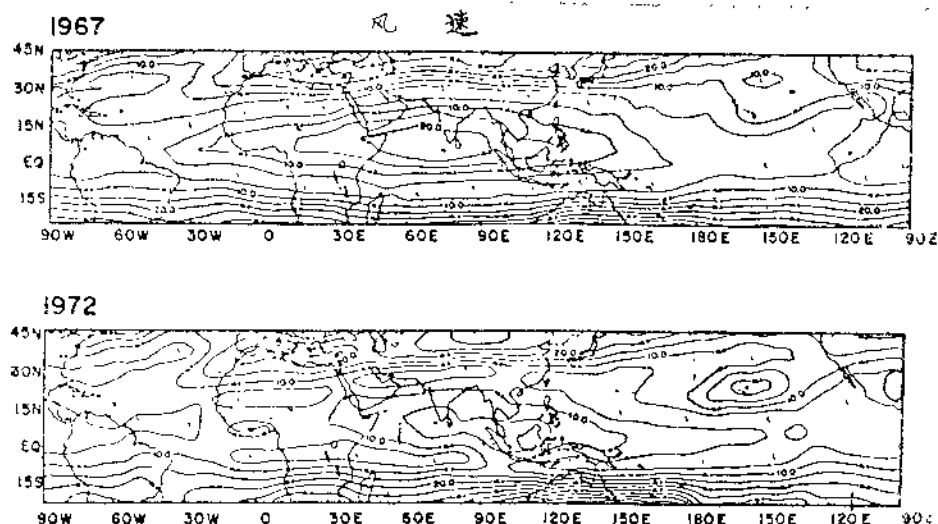


图8 1967年和1972年北半球夏季平均等风速图。单位米/秒；等值线间隔为5米/秒

流线的几何形状刻划了1972年西藏高压向东的偏移，也反映了已经指出的其它许多特点。风速场（图8）也类似于纬向风速场。主要差异是1972年存在许多较小尺度的特征，同时沿热带东风急流的范围宽广的东风带内缺乏大尺度的系统。纬向风速图和速度场图清楚地表明 10°N 附近的长波（主要是1波），1967年（正常）比1972年（干旱）更明显。

三、两个夏季运动尺度的差异

尺度的分析以这两个夏季每一纬度上每天 u 、 v 分量的纬向谐波分析为基础，用作纬向波数的函数点绘的方差百分率估值来刻划。此外，对夏季平均运动场地进行尺度分析，以确定定常扰动的特性。

图9给出这两年纬向风波谱分析的结果。发现在 20°N 以南的热带，盛行尺度为1波。1波的总方差中占相当大比例（占50—90%）的是来自方差的定常部分（黑影区）。正如以前若干研究（如Krishnamurti 1971a）所指出的，盛行纬向波数1是由于大范围的高层东风带所致，它从国际日期变更线扩展到西大西洋。当向北继续分析到 30°N 时，盛行尺度转变为2波，主要是由于两个大洋中部槽前相对较强的西风带所造成。这里2波总方差中大约50%又是来自定常分量。

值得指出的是这两个夏季纬向风的谱看来没有多大差别，尽管前面已指出在热带范围内纬向气流（指波数零）的强度1967年（正常）比1972年（干旱）强。

图10表示 v 分量相应的谱。这里我们注意到经向风谱不象纬向气流那样在长波附近有尖峰。从谱的整体上看，这两年稍有差异。主要的差异看来是在定常分量的相对作用上。在 30°N ，1967年总方差的主要部分是来源于定常分量。该年定常分量的相对强度呈现出向赤道减弱。1972年经向风的谱显得大不相同。在 10°N ，长波总方差大部分来自定常分量。我们也注意到总方差在纬向波数3处有非常显著的峰，而且又是大约50%

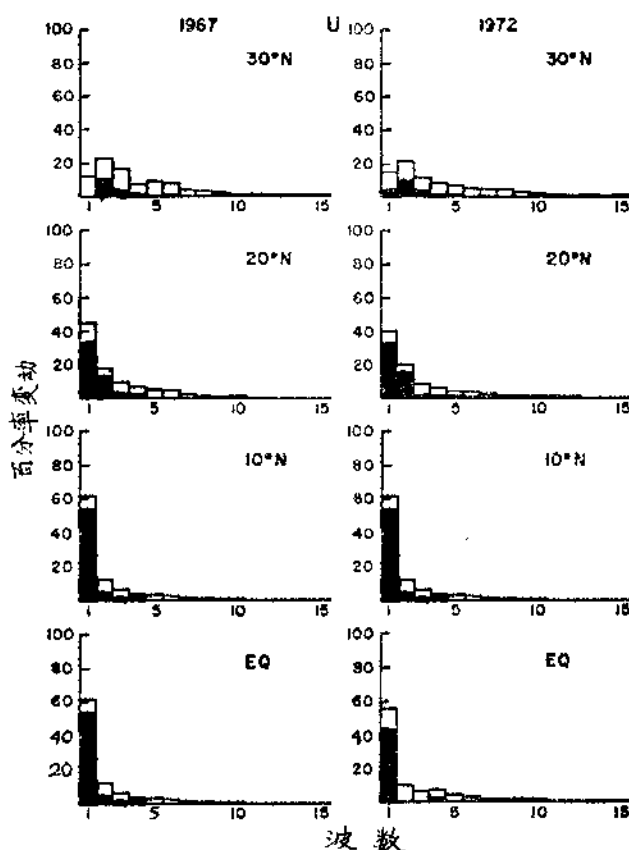


图9 所选各个纬圈上纬向风谱的纬向谱波的方差百分率。气流的定常部分的方差用黑影区表示

的方差来自定常分量。赤道经向风的谱的意义将在第5节详细讨论。显然,主要的差异在于定常长波的 v 谱, 1967年盛行于 $20^{\circ}N$ 和 $30^{\circ}N$, 而1972年盛行于赤道和 $10^{\circ}N$ 。

四、两个夏季的越赤道气流

考察图集 (Krishnamurti和Rodgers, 1970; Krishnamurti等, 1975) 的逐日流线图得知, 正常雨量年和干旱年越赤道气流的性质实际上是不同的。用矢量风运动场的录制电影考察了越赤道气流。我们尤其注意到1972年澳大利亚东北侧近赤道的偏北气流出现了非常明显的准驻波振荡。这些气流与环绕位于 $140^{\circ}E$ 、 $10^{\circ}S$ 附近的一个庞大反气旋的环流相联系。引人注目的是这种强偏北气流在1967年并未出现。为了表示整个夏季这些越赤道气流性质上的主要差异, 制作了经向风的时间—纬向剖面图。如图11所示。必须注意, 1967年 (在200毫巴上) 有质量净通量从北半球进入南半球 (因为 $[\bar{v}] < 0$)。1967年有三个显著的偏北气流区, 这些区域有规律地出现在 $40^{\circ}W$, $60^{\circ}E$ 和 $145^{\circ}W$ 。局地经向风的强度可达20米/秒 ($v < -10$ 米/秒用黑影区表示)。赤道上经向风的谱 (见前面图10) 表明1967年瞬变运动在绝大多数尺度上占总运动场方差的主要部分。在干旱年跨赤道气流的流场出现另一种情况。图11表明经向风主要的准静止而持久的振荡在

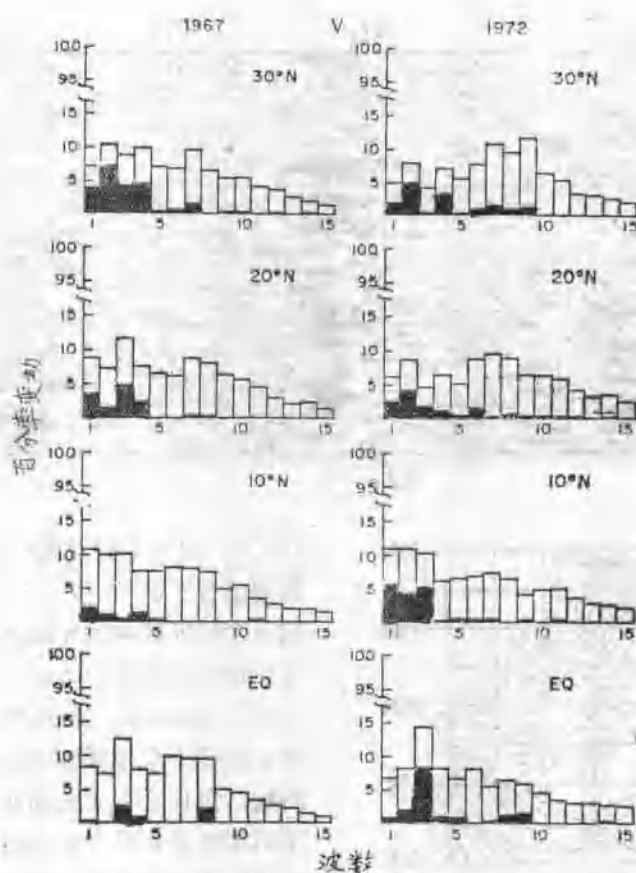


图10 经向风谱, 其它说明同图9

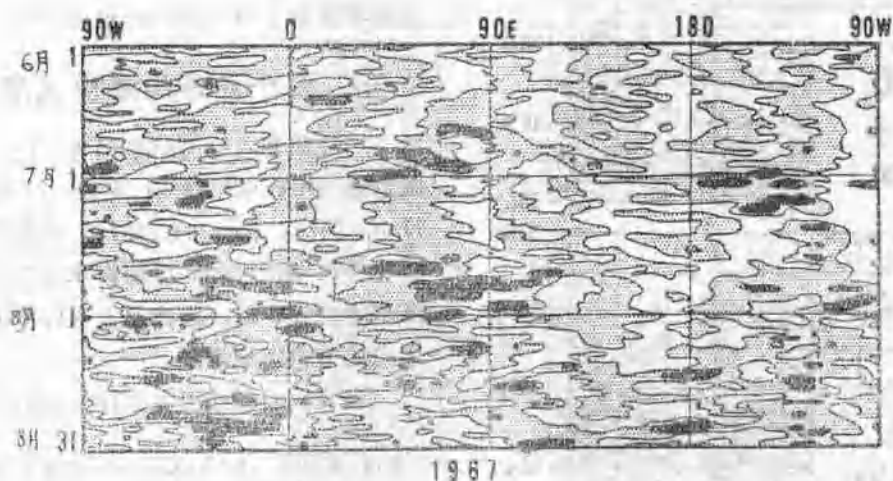


图11a 1967年6、7和8月赤道上经向风的时间-纬向剖面图。点区为偏北风, 其中 $v < -10$ 米/秒用黑影区示之, 空白区为偏南风

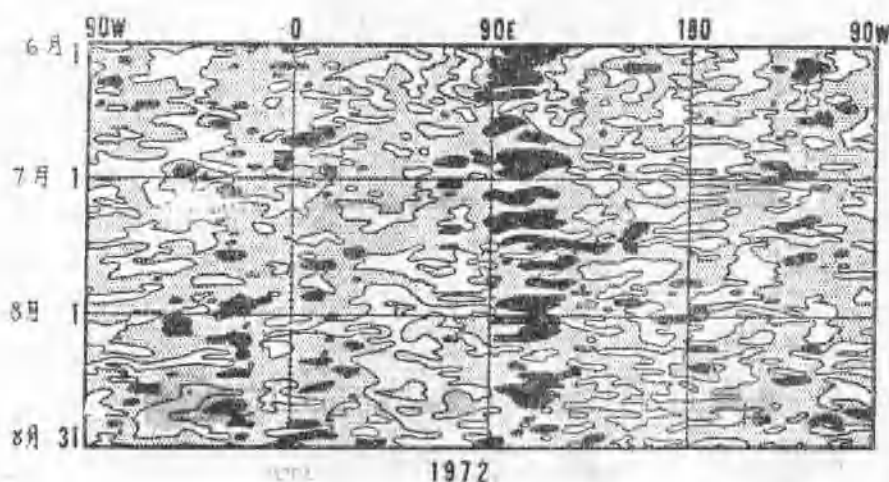
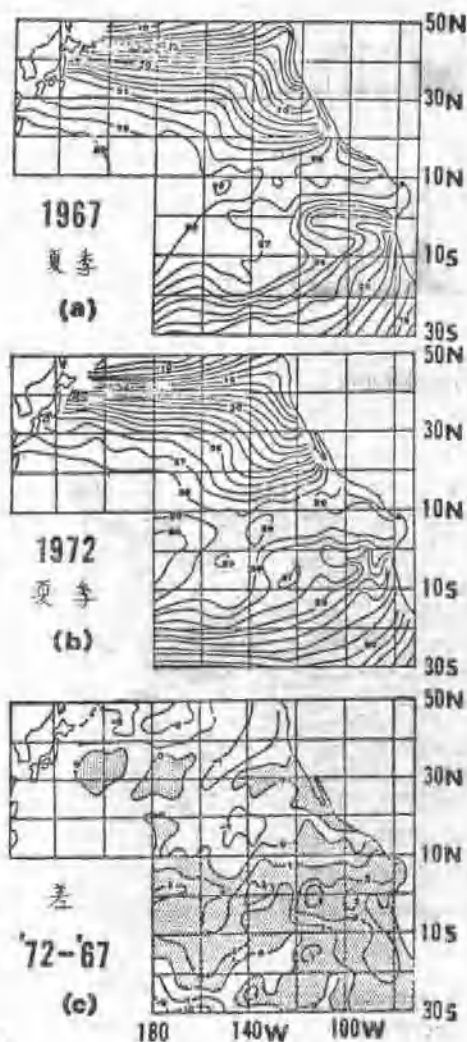


图11b 1972年的剖面图, 余同图11a, 注意在100°E附近赤道偏北气流持续推进



100°E。另两个相对弱些的偏北气流区频繁地出现在20°W和125°W附近。1972年这三个特征区域为经向风的纬向波数3的定常部分提供大的方差。我们认为1972年100°E附近经向气流的性质和盛行的准定常3波是干旱年鲜明的特点。这就提出了问题, 为什么在澳大利亚北部上空1972年不时地有高层反气旋形成。我们认为, 这些反气旋也许是源于北半球的东到东北风带中形成的动力性反气旋。这些东到东北风的确在西太平洋台风上空有其发源地, 这些将在第5节中进一步加以讨论。

五、两个夏季的海面温度场

1972年著名的厄尔尼诺现象已有过文献论述 (Wyrtki 1975; Wooster 和 Guillen, 1974; Namias 1976)。该海洋现象以秘鲁海岸附近弱的沿海海水涌升和强的海水增暖为特征。沿赤道太平洋向西到更远的地方也出现增暖。

本节我们将给出太平洋上1967和1972

图12 夏季(6, 7和8月)太平洋的平均海面温度: (a) 1967, (b) 1972, (c) 1972 减1967。单位℃; 等值线间隔1℃, 差值图中正值区(1972较暖的区域)用阴影表示。西太平洋10°N以南缺乏可靠资料

只有28日。我们认为1972年高频数的台风日与暖的海温可能有关。图13给出这两年的台风路径（根据关岛总结）。路径的实线部分表示飓风，点线部分表示热带风暴或低压阶段。1972年 10°N 附近出现极多的热带扰动。

六、两个夏季环流型的一些 动力计算结果的对比

（一）纬向平均量

这里用习惯记法 $\overline{Q}$ 来表示参数 Q 的纬向平均值（方括号）的时间平均（上冠横划）。我们将考察动量的经向通量，按照Lorenz (1967) 动量的经向通量为：

$$[\overline{uv}] = [\overline{u}] + [\overline{v}] + [\overline{u^* v^*}] + [\overline{u' v'}] \quad (6)$$

方程（6）右端三项分别为平均经向环流、定常涡旋和瞬变涡旋引起的通量。图14给出1967年（正常）和1972年（干旱）这些项的值。实线和虚线分别表示相应年的结果。由定常涡旋和瞬变涡旋引起的动量通量，这两年之间没有明显的差别。

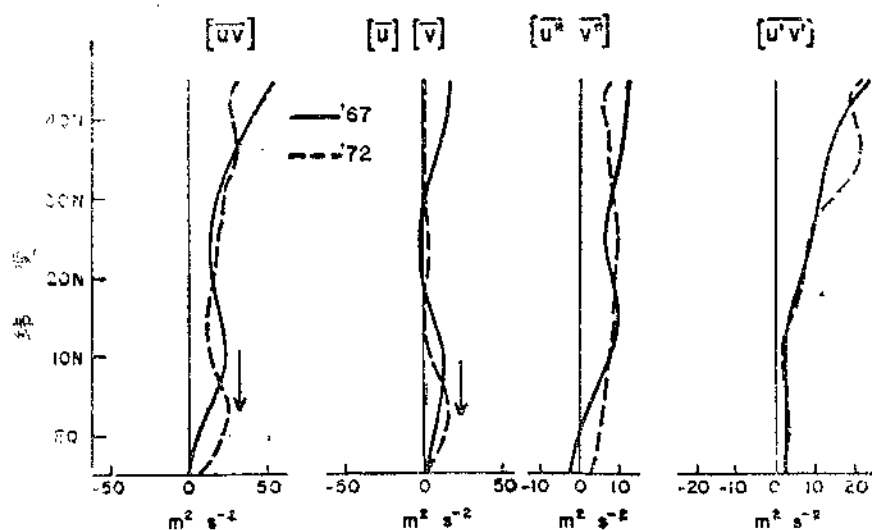


图14 接近正常雨量的1967年（实线）和干旱年1972年（虚线）动量经向通量随纬度的变化。 $[\overline{uv}]$ 为总通量， $[\overline{u}][\overline{v}]$ 为平均经向环流引起的通量， $[\overline{u^* v^*}]$ 为定常涡旋引起的通量和 $[\overline{u' v'}]$ 为瞬变涡旋引起的通量。箭头表示1972年曲线向南偏移

两根总动量输送曲线的主要差别看来是由于流型向赤道偏移了大约7个纬度所造成。如果我们把虚线向北平移7度，则这两根曲线将会重合。这种向赤道的偏移，几乎完全是由于指出过的平均经向环流引起向极通量的极值出现偏移而造成。此经向偏移也反映在按纬向波数分解的涡旋通量的分量上，下面加以讨论。

（二）动量经向通量随尺度的变化

这里我们把动量通量分解为傅立叶分量，结果在图15中给出

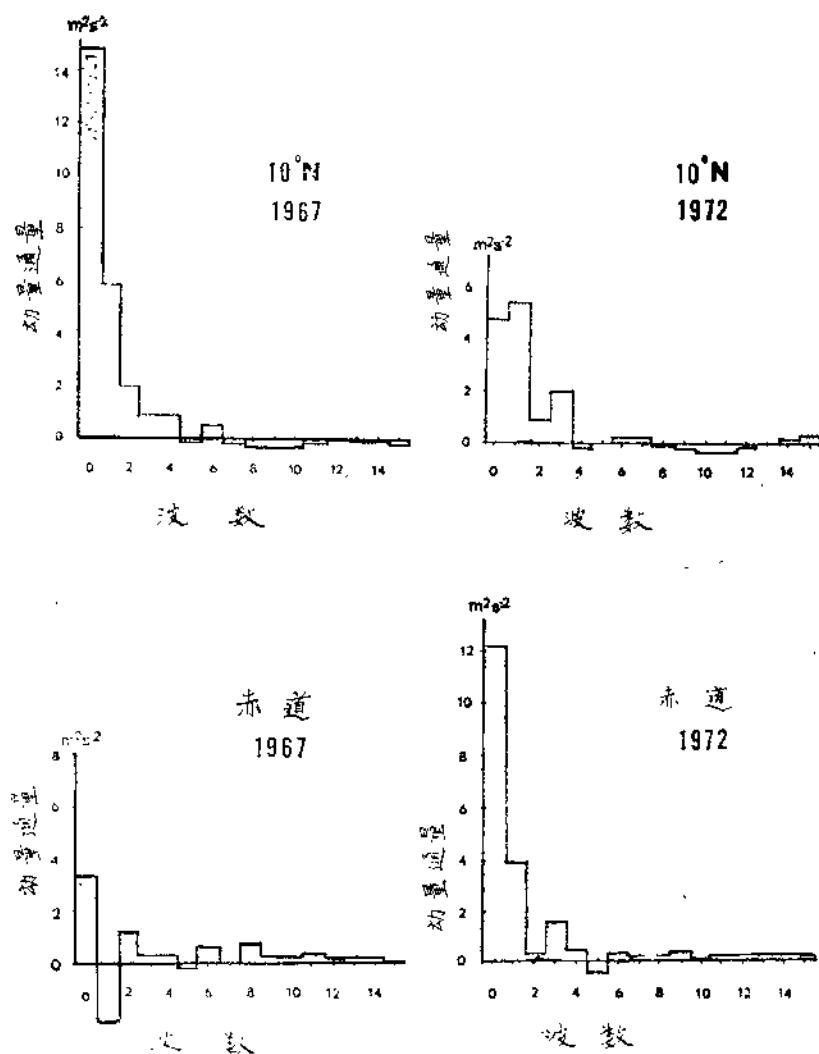


图16 接近正常雨量的1967年(左)和干旱年1972年(右)10°N和赤道上各种尺度引起的西风动量经向通量。单位米²/秒²。波数零表示平均经向环流引起的动量通量

1967年在10°N, 西风动量最大的向极通量是通过哈得莱环流圈(波数0)和长波(波数1和2)输送的。这一输送特征向赤道的偏移在图中相当清楚。在1972年, 大的通量在赤道上, 且通过哈得莱环流圈(波数0)和长波(1波)来实现的。而且我们相当清楚地看到, 1967年在赤道与10°N之间的纬度带中西风动量通量出现辐散, 而1972年西风动量通量却是辐合的。因此, 我们可对1972年赤道到10°N的纬度带上平均纬向东风较弱提出如下论点。主要流型向赤道偏移导致这两年间最大的向极通量的纬度从10°N偏移到赤道。因而, 这两年东风带似乎遇到不同的动量通量辐合形式。故解释1972年平均纬向东风带较弱的原因, 必须了解环流型的重要偏移。在其它节中我们将揭示这一问题。

(三) 能量转换

本文将按照Saltzman (1957, 1970) 和Kanamitsu等 (1972) 的方法研究非线性的

波与纬向气流和波与波之间的正压能量过程。鉴于能量方程已经在作者等 (1972) 的文献中给出, 这里不再重复。

这一分析工作的意图在于看一看干旱年对正常雨量年在主要的能量转换上是否存在什么差异。既然流型如文中所指出的稍有一些不同, 因此我们预料可以看到一些差异的。这里我们将仅仅给出1967年和1972年6、7、8月波与波的能量转换和波与纬向气流的能量转换。图16(左半图)是1967年 $15^{\circ}\text{S} - 15^{\circ}\text{N}$ 热带纬度带上这些能量转换的示意图。Kanamitsu等 (1972) 对该结果已有过讨论。这里我们注意到通过波与波的能量转换, 长波(波数1和2)把能量给予其它波。这些长波也通过波与纬向气流的能量转换从纬向气流中获得能量。但1波和2波合起来是付出能量给予纬向气流和其它波的。总的来说, 可以下结论: 1967年波数1和2的准常定长波是能量源。

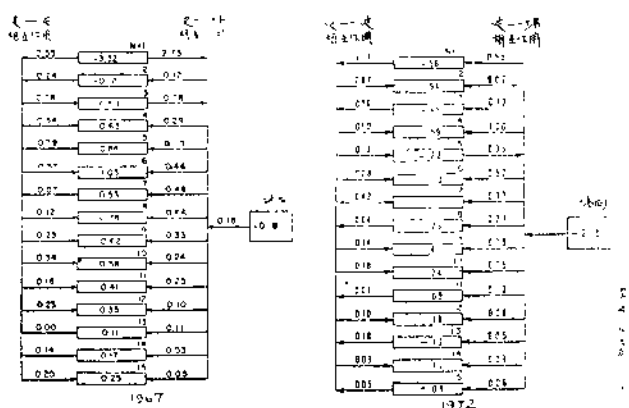


图16 1967年(左)和1972年(右)两个夏季(6、7和8月)全球热带($15^{\circ}\text{S} - 15^{\circ}\text{N}$)200毫巴波数的正压能量过程。方框内数字表示某波数(1—15波)与其它波的相互作用(指波与波的相互作用)和与纬向气流的相互作用(指波与纬向气流的相互作用)引起的能量收支。单位: $10^{-3}\text{米}^2/\text{秒}^3$

图16(右半图)为干旱年1972年相应的能量转换。这里最引人注目的结果是纬向气流付出能量给予其它波。波与纬向气流的能量转换主要的机制可用下项

$$(K_z \cdot K_E) = [u] \frac{\partial}{\partial Y} [u^* v^*]_n$$

来描述。这里 n 为纬向谐波, 这里取1和2, $[u]$ 为纬向气流的纬向平均, 而 $\frac{\partial}{\partial Y} [u^* v^*]_n$ 是由于谐波 n 引起的西风动量通量的散度。我们早已指出, 1972 $[u]$ 比1967年西风成份更多些, 注意到这两年在 $15^{\circ}\text{S} - 15^{\circ}\text{N}$ 纬度带中长波明显倾斜, 注意到这两年西风动量通量辐散(图14)。因而, 我们可把 $15^{\circ}\text{S} - 15^{\circ}\text{N}$ 纬度带中正压能量转换符号相反主要归咎于1972年平均纬向东风带变弱。正压能量转换这一特点有些类似于Krishnamurti等 (1973a) 所指出的热带冬季时的能量转换。因而可以推测, 1972年夏季的环流没有充分地发展为正常年份那样的强东风环流型。波与波的能量转换是1波对其它所有波的转换最大。在各种谐波中波与波之间能量的互相转换似乎呈现出一些不规则的特征。为了综合这些图, 下面我们将考察把若干个谐波相加得到的组合结果。这里我们决定把纬向3波单

独保留, 把其它波按下面的方法分组: 长波 L , 波数 1 和 2; 短波 S , 波数 4—15。用 3 波为综合图的参考系统, 以便看看 1972 年什么类型的能量转换将有利其维持和有利于准

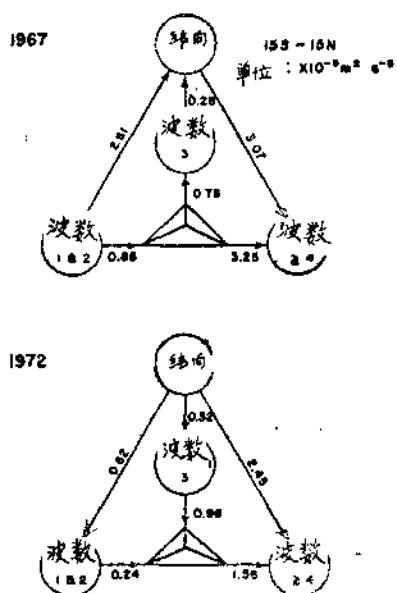


图17 纬向气流、长波(数1和2)、3波和短波(其它波)四种不同尺度的正压能量过程。由图16取若干个的合计得到

定常运动。正如早已指出的, 在赤道上经向风的潜在纬向 3 波附近有明显的峰, 而其总方差的大部分来自静止波动(图10)。我们还注意到 1967 年没有这一特点, 该年在定常波分量上没有大的振幅。图17表示 1967 年和 1972 年以 3 波为参考中心的三种能量的相互转换。这里我们注意到下列有意义的结果:

(1) 在 1972 年, 虽然 3 波从纬向气流获得能量, 但通过波与波的相互作用把更多的能量输送给所有其它波。因而, 纬向 3 波的维持必须借助边界层的强迫作用或斜压作用。考虑到在 $100^{\circ}E$ 附近强经向气流区附近有大量的台风出现, 我们认为斜压作用必定是重要的。斜压作用的估算超出本文研究的范围。

(2) 1967 年 3 波付出能量给纬向气流, 但通过波与波的相互作用从所有其它波获取能量。因而瞬变 3 波的维持归因于波与波的相互作用。

七、综 述

本文对北半球夏季全球热带正常雨量年和干旱年的环流型的一些性质加以比较, 主要以两本重要的资料图集 (Krishnamurti 和 Rodgers 1970; Krishnamurti 等 1975) 为基础。

我们主要的观测结果表明 1967 年 (正常) 与 1972 年 (干旱) 有如下的差异:

- (1) 1972 年西非和印度中部总降水量低于正常值。
- (2) 1972 年近赤道的纬向偏东风较弱, 而两半球中纬度西风带较强。
- (3) 1972 年东西向环流辐散中心和西藏高压向东和向赤道偏移了大约 10 度。
- (4) 纬向风的纬向谐波分析表明, 这两年主要差异集中出现在波数零, 也即是 1967 年的东风带较强, 其它尺度的谐波看不到有其它明显的差别。
- (5) 经向风的纬向谐波分析表明, 1972 年在赤道到 $10^{\circ}N$ 纬度带上纬向长波 (波数 1、2 和 3) 承担运动场总方差的大部分, 而总方差中定常分量有重要的贡献。然而, 在 1967 年那种具有准定常特征的并占优势的长波偏北, 位于 $20^{\circ}-30^{\circ}N$ 间。

(6) 经向风的资料表明一种有意义的现象, 即 1972 年整个夏季 $100^{\circ}E$ 附近有偏北风持续越赤道涌进。也注意到在中太平洋和东大西洋有两个弱的经向气流区。这三个特征区造成了经向风纬向 3 波有大的方差。发现 $100^{\circ}E$ 强的经向风是与西太平洋台风活动带上高空反气旋的外流气流相关联 (Krishnamurti 等 1975)