

赤道海温异常与大气的垂直环流圈

符淙斌 孙翠霞 张金枝*

(中国科学院地理研究所)

(北京大学)

提 要

本文用实测风资料计算了赤道海面大范围异常增暖和冷却时期太平洋地区的平均经圈环流和赤道附近的平均纬圈环流。结果表明,赤道东太平洋的海面温度变化对这两种垂直环流圈有着显著的影响,并且通过这两种环流圈的相互作用,影响北太平洋付热带高压的长期变化。

一、前 言

我们曾经揭露:赤道东太平洋海面温度与北太平洋付热带高压强度之间存在着主要周期为3.5年的耦合振荡现象^[1]。近两年应用前期赤道海温预报付高强度变化趋势和我国东部地区主要雨带位置取得较好的效果。

赤道海面温度是怎样影响付热带高压的呢?本文用实测风资料计算了赤道海面大范围异常增暖和冷却时期,太平洋地区的平均经圈环流和赤道附近的平均纬圈环流,由此提出了这两个垂直环流圈相互作用下付热带高压长期变化的天气学机制。

二、选例和计算方法

从文献[1]给出的赤道东太平洋海面温度的整个序列中,选取一个典型时段:1972—1974年。图1曲线a为六个月滑动平均海温距平。这里取 5°N — 10°S 区域,沿 85°W 、 110°W 、 130°W 、 160°W 四个经度上的海温距平累积值,代表整个东太平洋赤道地区大范围的温度变化。曲线基本为正弦波状。海面温度自1972年3月开始增暖,一直持续到1973年3—4月间,其峰值出现在1972年9—10月(未经滑动的峰值在12月),最大累计温度距平可达 6.0°C ;为一次强“爱奥尼诺”年。此后,海温持续偏低,最大负距平出现在73年12月。整个持续时间达40多个月,是整个序列中少见的。这两段时期,整个太平洋上的海温场也是完全不同的。赤道增暖时,距平分布为南正北负,南北海温梯度加大;赤道降温时为南负北正,南北海温梯度变小(图略)。

在这样典型的海温分布下,太平洋地区的大气水平环流形势也表现出明显的不同。其主要特点是:赤道东太平洋增暖期,赤道低压槽东伸发展,北太平洋付高加强西伸;赤道

1978年2月11日收到修改稿。

* 北京大学1977届毕业生,在本所参加毕业科研实习。

东太平洋降温期,赤道低压萎缩西退,付热带高压也减弱东撤。根据这三年热带太平洋地区月平均环流图的分析(地面,500 mb,200 mb),上述两类水平环流是这一地区两种最基本的环流型。图1曲线b、c给出了相应时期赤道低压强度(用低压面积指数表示,定义地面气压 ≤ 1010 毫巴为赤道低压区,它所包含的网格点数称为低压面积指数,取低压东端伸至 150°W 以东为正,以西为负)和北太平洋付热带高压强度(用面积指数表示,以500毫巴等压面上 ≥ 588 位势什米作为付高的范围)的变化曲线。可见赤道低压和付高之间有明显的同位相振荡现象,并均滞后于海温的变化。

为了认识赤道海温异常对大气环流变化的影响过程,我们计算了异常增暖的1972年12月和异常低温的1973年12月太平洋低纬地区(30°N — 30°S , 120°E — 120°W)的月平均经圈环流和赤道附近的月平均纬圈环流。计算方法,先用实测风的 u, v 分量计算散度,再用连续方程计算垂直速度。计算的水平网格为 $5^\circ \times 5^\circ$ 经纬度,垂直方向取850,700,500,300,200,100 mb共六个层次。这一方法计算的垂直速度,在对流层上部有较大的累积误差,分析时以考虑水平分量为重。

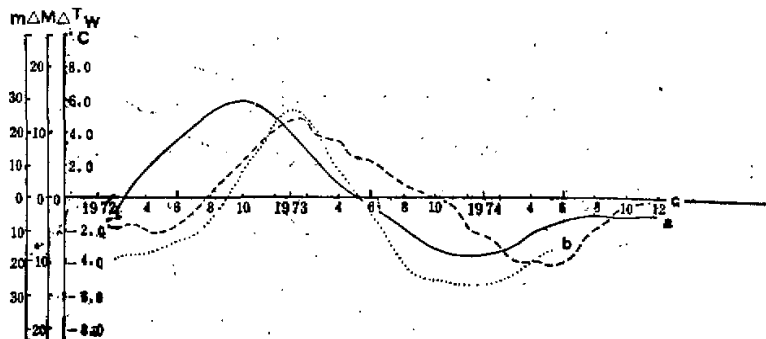


图1 赤道海温与赤道低压和副热带高压之间的耦合振荡
(六个月滑动平均曲线)赤道海温累积距平 $\Sigma \Delta T_w$ (——)
赤道低压指数 m (.....), 副高面积指数距平 ΔM (— · — · —)。

二、海温异常对赤道附近纬圈平面上垂直环流的影响

图2a, b为上述典型时期,沿 5°N — 5°S 区域的平均纬圈环流。赤道东太平洋异常增暖时(图2a),虽然存在着东太平洋下沉,西太平洋上升的垂直气流分布,却不能构成闭合的纬向垂直环流圈。整个太平洋地区盛行东风气流,仅在东太平洋东部很窄的区域,在对流层上层有一支弱的西风。

但是,赤道东太平洋降温时期(图2b),情况发生了很大的变化。太平洋上存在着一个宽广的纬向垂直环流圈。这一环流圈的中心偏于中太平洋对流层中层。垂直气流的分布是, 180° 以西的西太平洋地区基本为上升气流,其东则全部为下沉气流所控制。纬向气流的分布是,低层整个海域为东风气流。在对流层中层东西太平洋气流发生分支。西太

平洋整层为东风,中上层风速显著加大,最大出现在100—200 mb层,达16米/秒。而东太平洋在对流层中上部变为很强的西风,最大风速也出现在100—200 mb层,为13.5米/秒。这样赤道太平洋中西部的上升气流,到达对流层中部之后就分为两支,一支向东,一支向西。下面我们将要谈到这两支加强的纬向气流对经圈环流的重要作用。

可见,在赤道太平洋地区,只有在东太平洋降温时期,才有纬圈平面上垂直环流圈的发展。

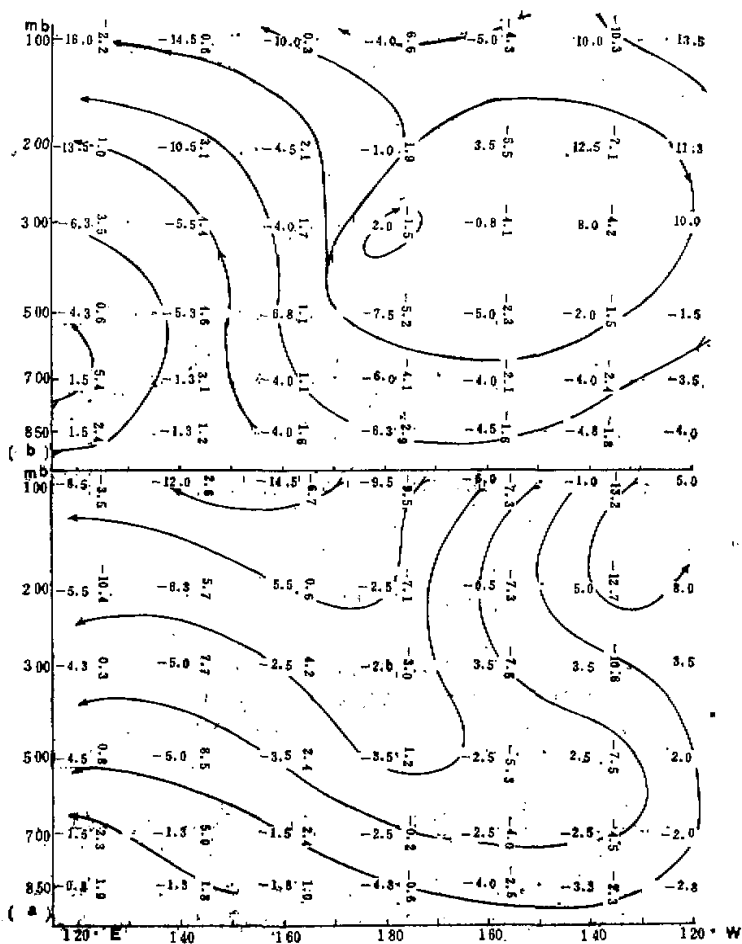


图2 沿5°N—5°S平均纬圈环流(a)1972年12月;(b)1973年12月。(正写字为平均纬向风速,正号为西风,单位:米/秒;横写字为平均垂直速度,正号为上升运动,单位:毫米/秒)

四、海温异常对子午面上垂直环流的影响

对比图3a, b, 赤道异常增暖和冷却时期,太平洋上平均经圈环流呈现出两种根本不

同的型式。赤道增暖时(图 3 a), 南、北半球各存在一个哈特莱环流圈, 其中北半球一环较强。这种型式比较接近多年平均冬季经圈环流模式, 但强度较平均为大。这个加强的哈特莱环流圈, 在赤道以南附近上空为上升气流, 北半球热带和付热带地区为下沉气流, 经向气流的分布, 低层基本上向赤道附近辐合, 对流层中部以上则分别指向两极。其中北半球一支的向北输送特别强, 最大风速为 2.7 米/秒, 位于 200 mb 高度。这支气流对于赤道地区的热量动量加强向北输送有重要的作用。

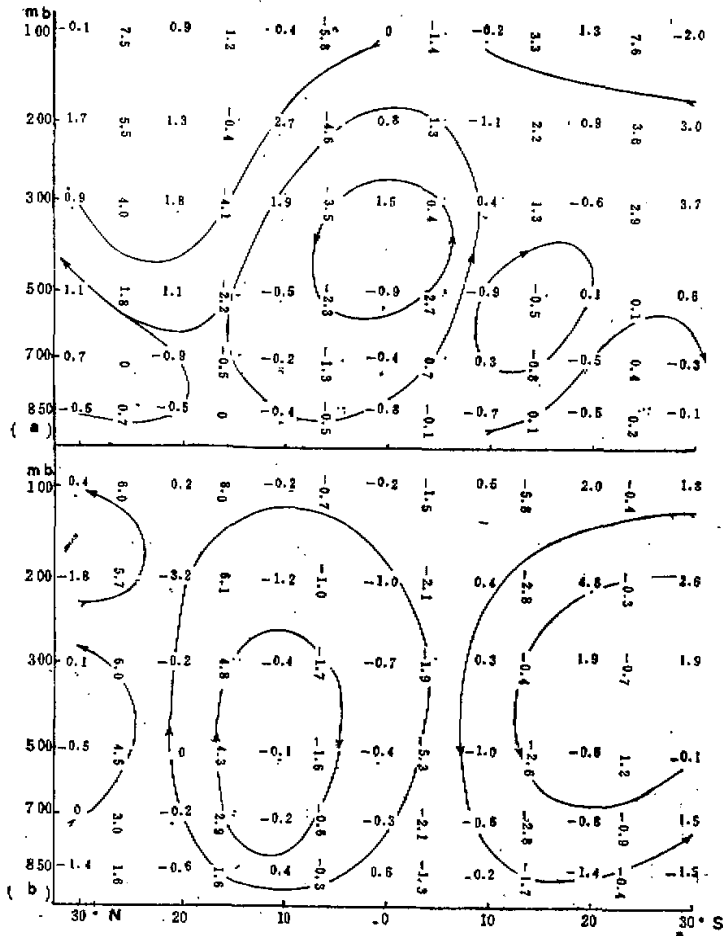


图 3 太平洋地区 (120°E—120°W, 30°N—30°S) 平均经圈环流。(a) 1972 年 12 月; (b) 1973 年 12 月。(正写字为平均经向风速, 正号为南风, 单位: 米/秒, 横写字为平均垂直速度, 正号为上升运动, 单位毫米/秒)

在赤道东太平洋降温时期 (图 3b), 在我们所讨论的范围内哈特莱环流圈已不存在, 南、北半球各出现一个所谓“赤道环流圈”, 即赤道附近为下沉气流, 付热带则出现上升气

流。高层经向气流向赤道辐合，低层气流辐散指向两极。这种类型的经圈环流型，在多年平均的各季模式中没有出现。但有人曾推测可能存在这种“赤道环流圈”，但宽度较窄^[6]。

下面讨论东西太平洋经圈环流的差异。

用 150°W 和 150°E 分别代表东西太平洋的情况。由 Newell^[5] 等提供的经向风资料推断，多年平均冬季东西太平洋平均经圈环流就存在很大的差异。西太平洋为“哈特莱环流圈”，而东太平洋却是弱的“赤道环流圈”。根据我们计算的结果，赤道东太平洋的海温异常对东西太平洋的经圈环流都能产生显著的影响。

东太平洋是直接受该海区影响的。赤道增暖时(图 4a)，北半球的“赤道环流圈”消失，仅南半球仍保留一个弱的“赤道环流圈”。在赤道降温时(图 4b)，两半球各存在一个“赤道

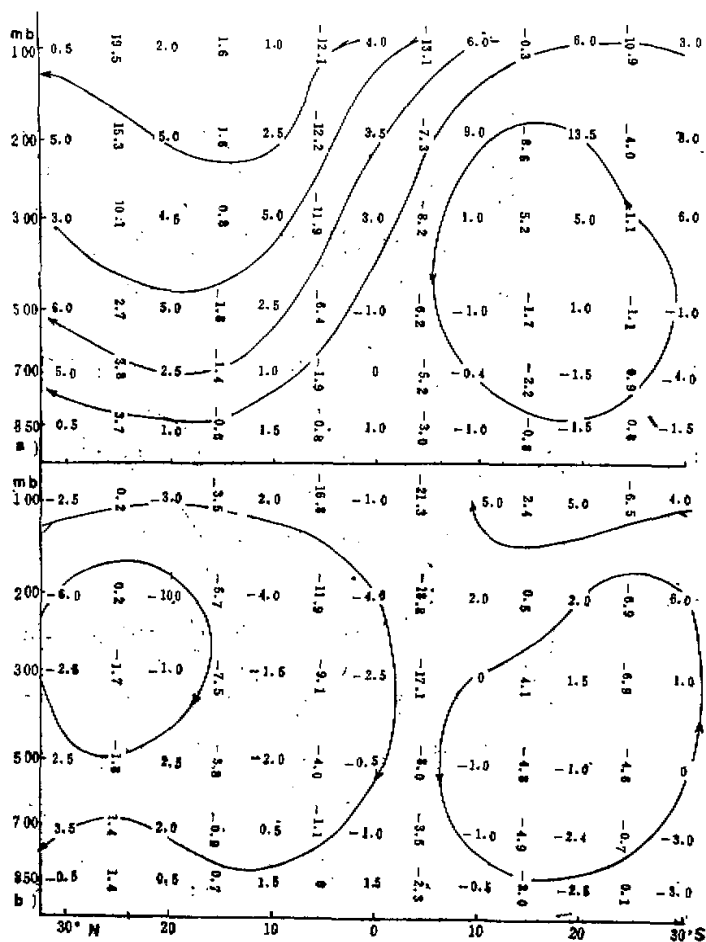


图 4 沿 150°W 经圈环流

(a) 1972 年 12 月; (b) 1973 年 12 月。(图例同图 3)

环流圈”,其型式接近赤道降温时整个太平洋的平均环流。

西太平洋,当赤道东太平洋增暖时(图 5 a),南、北半球各存在一个哈特莱环流圈,其型式接近西太平洋多年平均,也接近增暖时整个大洋的平均,但强度加大。赤道东太平洋降温时,西太平洋经圈环流的变化更为剧烈。南、北半球哈特莱环流圈均已消失,出现了接近大洋平均降温时期的流型:南、北半球各有一个“赤道环流圈”(图 5b)。

因此,不管是东太平洋还是西太平洋,赤道异常增暖有利于哈特莱环流发展,赤道环流圈减弱并向哈特莱环流圈转变,大洋上总的效果是哈特莱环流圈发展。而赤道异常降温则有利于“赤道环流圈”发展,哈特莱环流圈向赤道环流圈转变,整个太平洋上总的效果是赤道环流圈发展。

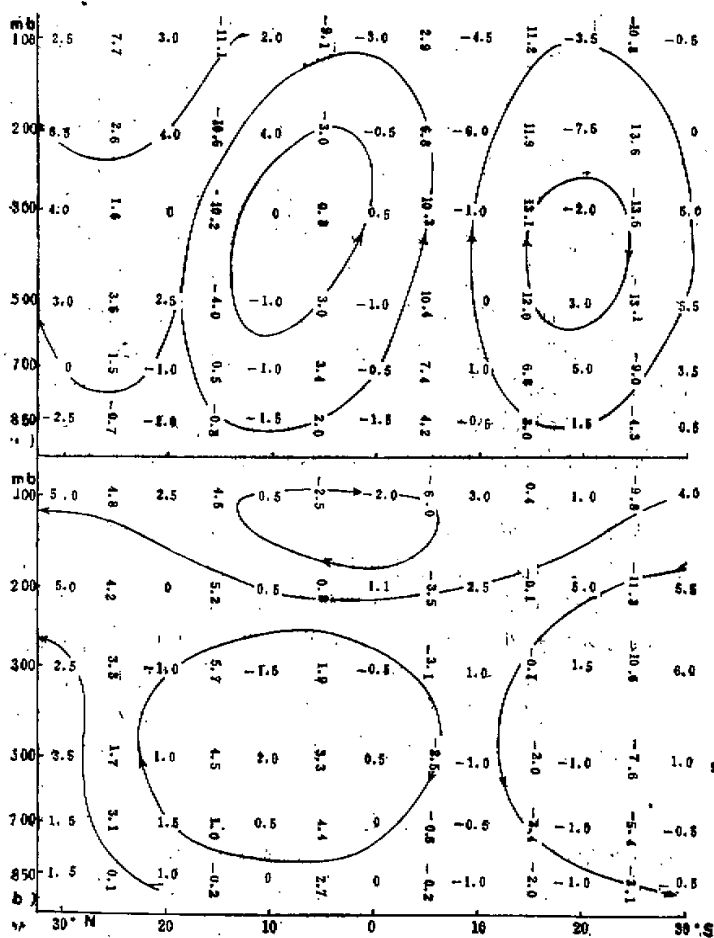


图 5 沿 150°E 经圈环流

(a) 1972 年 12 月; (b) 1973 年 12 月。(图例同图 3)

五、经向和纬向环流圈的相互作用

大气环流理论研究指出,地球大气受热沿经向的不均匀,即低纬加热高纬冷却的冷热源分布是产生经向垂直环流的一个重要原因。最近人们提出一种假设:沿赤道附近的冷热源分布能够产生纬圈平面上的垂直环流。其中 Bjerknes 对太平洋地区东西向的海温差异研究较多,他把这种沿赤道纬圈平面上的环流圈称之为沃克环流 (Walker circulation)。

上述计算证明了太平洋上上述两种垂直环流圈的存在,同时它们受到赤道东太平洋海面温度变化的显著影响,以致出现与通常气候平均完全不同的垂直环流型。它们是怎样相互制约,影响大气的水平环流,特别是付热带高压变化的呢?

我们认为,平均而言,地球上经向的温度梯度大于纬向的差异。因此纬圈平面上的垂直环流相对于子午面上的环流来说是次一级的。由 Newell 等计算的多年平均纬向和经向质量通量图^[5],我们看到,经向质量通量一般要比纬向质量通量大一个量级,前者为 100×10^{12} 克/秒,后者为 10×10^{12} 克/秒。在冬季平均纬向质量通量图上,太平洋地区虽然存在着西部上升,东部下沉的垂直气流分布,却并不能构成闭合的纬向环流圈。

但是矛盾的主要方面是可以转化的。在赤道东太平洋异常降温时期,一方面将使赤道地区平均温度降低,南北温度梯度变小,有使哈特莱环流减弱的作用;另一方面,赤道附近东西向的温度梯度加大,促使纬圈平面上的垂直环流发展。我们特别注意与上面提到的图 2b 中太平洋中部对流层上层两支强烈的纬向气流。这两支气流有两个功能,一方面它把赤道上空的热量沿纬向输送,大大地减少了向极地的热量供给。另一方面,根据伯努利原理,如此强而集中的纬向气流,要求从中纬度调动更多的质量,由一支指向赤道的经向气流来补偿。这样加强的沃克环流圈就促使经圈环流发生根本的变化,产生相反的“赤道环流圈”。这种赤道下沉,付热带上升的环流圈,造成赤道低压填塞、付热带高压减弱的环流变化。

因此,可以认为,当赤道东太平洋异常低温时,由于东西向温度梯度加大,南北温度梯度减小,促使纬圈平面上的垂直环流有可能从平均状况的次一级环流上升为主要矛盾,由它引起经圈环流向相反方向发展。Bjerknes 曾经提出,赤道东太平洋降温时,沃克环流发展,哈特莱环流减弱的假设,但并没有提供实际证据,更没有说明这两个垂直环流圈的关系。根据我们实际计算结果,赤道东太平洋异常低温时,不是哈特莱环流的减弱,而是哈特莱环流的消失,出现了完全相反的“赤道环流圈”。这种反向的环流圈进一步证明,在这里南北温度梯度的热力作用已经起着次要的作用,它的存在与纬圈的垂直环流圈的动力作用有关。

在赤道东太平洋异常增暖时,情况就不同了。东西向的海温梯度变小,整个赤道地区平均温度上升,南北温度梯度进一步加剧,促使哈特莱环流发展,其中北半球表现更为强烈。这样赤道地区上空有更多的热量动量向付热带输送,付热带的下沉分支和赤道的上升分支强热发展,促使赤道低压和付热带高压,特别是北太平洋付高进一步加强。因此,我们认为,在赤道东太平洋增暖时,东西向温度梯度进一步减小,南北温度梯度加大,相对于南北温差所引起的垂直环流来,纬圈环流更是次一级的环流。此时,经圈平面上的环流起主

导作用,加强的哈特莱环流圈,在赤道上空产生强烈的向高纬度输送的经向气流,它同样要求赤道地区从东西两侧向中部输送质量,从而抑制那一类型沃克环流的发展。

由此可见,赤道东太平洋的海温异常是通过纬向和经向这两个垂直环流圈的相互作用来影响付热带高压的强度变化的,这可能是付热带高压长期变化的一种天气学机制。

同时,上述结果还清楚地说明,大气的经向和纬向垂直环流圈存在着明显的年际变化。以前大气环流研究提供的平均经圈环流型多半是一种气候状况,这种平均经圈环流不仅在不同的气候区,不同季节有明显的差异,而且还存在着一类长期变化,它可能与长期天气过程有着十分密切的联系。虽然大气运动准水平的特点决定了垂直环流的量级比水平运动的量级要小得多,但是正因为如此,它的变动值的相对重要性就大,从而可能对水平环流产生显著影响。根据上面的结果,我们认为,太平洋上,由赤道海温异常所引起的两种不同类型的经向和纬向垂直环流圈的交替出现可能是该地区大型环流变化的长期天气过程的物理本质。关于这两种类型垂直环流圈的转变过程正在作分析研究。

作者对巢纪平同志的指导和季劲钧同志的有益讨论表示感谢。

参 考 资 料

- [1] 地理研究所长期天气预报组, 热带海洋对付热带高压长期变化的影响, 科学通报, 1977年7月。
- [2] J. Bjerknes, Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 97, No. 3, 1969.
- [3] J. Bjerknes, Analysis of the rhythmic variations of the Hadley Circulation Over the Pacific during 1963—67. Jacob Aall Bonnevie Bjerknes Selected Papers, 1975.
- [4] 叶笃正等, 大气环流若干基本问题, 科学出版社。
- [5] R. E. Newell, The general circulation of the tropical atmosphere and interaction with extratropical latitudes Vol. 1, Vol. 2.
- [6] G. C. Asmani, The equatorial cell in the general circulation. *Journal of Atmospheric Science* Vol. 25, 1968.

THE ATMOSPHERIC VERTICAL CIRCULATION DURING ANOMALOUS PERIODS OF SEA SURFACE TEMPERATURE OVER EQUATORIAL PACIFIC OCEAN

Fu Cong-bin

(Institute of Geography, Academia Sinica)

Sun Cui-xia, Zhang Jing-zhi

(Peking University)

Abstract

By using routine rawinsonde data over Pacific region, the mean meridional circulation and zonal-averaged circulation along the equator during anomalous periods of sea surface temperature have been calculated in this paper. The results show that the variation of sea surface temperature in equatorial Pacific region can influence greatly the pattern and the intensity of the atmospheric vertical circulation mentioned above. This paper also discussed the interaction between the two kinds of vertical circulation and its effects on long-term fluctuation of Pacific Subtropical High.