

El Niño事件成因初析

修 日 晨

(国家海洋局第一海洋研究所, 青岛 266003)

对El Niño成因进行了分析讨论, 指出El Niño事件的发生, 乃是(太平洋)大洋环流发生大规模异常变化的结果。由于引起大洋环流异常的作用因子是多种多样的, El Niño事件的成因也就是复杂的。本文认为, El Niño事件中的高温水是来自东太平洋热水库, 并非来自西太平洋热水库。在赤道区(水平)科氏力已消失, 不可能存在Kelvin波。退一步讲, 即使存在Kelvin波(或其他长波), 它们也不能把西太平洋的高温水输送到东太平洋, 因为波动只能传递能量, 不能传递质量。另外, 在El Niño事件期间, 也未观测到赤道太平洋表层的西向流变为东向流这样的异常现象。

近百年来, El Niño这一名称一直是渔民们用来称呼圣诞节期间出现在厄瓜多尔和秘鲁北部近海水域的反常暖水现象。每隔若干年, 这种暖水现象会变得非常强烈, 顺秘鲁海岸可以伸展到 12°S , 甚至更远。与此同时, 赤道太平洋的东部、中部的SST(表层水温)亦随之上升。如此广大赤道太平洋的洋面上出现暖水, 就必然使得南、北美洲乃至全球气候出现异常。现在, El Niño一词已失去其原来的含义, 成为科学界使用的专用科学术语。它的科学含义是那种能够引起全球性气候变化的强烈的El Niño现象, 或称之为El Niño事件。

一、El Niño事件研究概况

关于El Niño事件发生原因的解釋是多种多样的。最初, 人们认为El Niño事件的发生是由局地原因所致, 即认为是由于沿南美海岸吹向赤道的东南信风的减弱(该东南信风是终年存在着的), 致使秘鲁沿岸的上升流活动减弱或停止, 从而导致该区域水温上升, 产生了El Niño事件。关于这种早期的局地作用的观点, Wyrski(1975)首先进行了反驳, 他认为必须放弃有关秘鲁沿岸的风在El Niño期间比常年弱的观点。

在70年代, 随着观测资料的增加、调查技术的进步及科学研究的深入, 开阔了人们的视野。从此以后, 人们不再把El Niño事件看作一种局地事件, 而是把它视为全球性的海气相互作用的重大事件。关于其形成原因, 至今仍然是众说纷纭。当前, 最有代表性的也为多数人所接受的是Wyrski(1975)所提出的模式。他认为, 在El Niño事件发生之前, 首先必须是南方涛动指数剧升, 使得(南半球的)东南信风加强。这样, 在赤道太平洋西部区域暖水堆积增加, 以便与风应力保持平衡。然后, 南方涛动指数急剧下降, 东南信风减弱, 赤道太平洋东风带崩溃, 在赤道西太平洋区域堆积起来的暖水失去了风应力的支持, 在Kelvin波的作用之下向东传播, 使其高温水东移, 导致了El Niño事件的发生^[1]。该模式主要是以

收稿日期: 1990年10月11日,

1972~1973年的El Niño事件的发展过程而建立起来的。后来,利用该模式曾预测在1975年将发生El Niño事件,结果失败了。1982~1983年的特大El Niño事件的发生,又没有遵从Wyrtki的模式。因此,人们就不得不寻求El Niño事件的其它模式。Ramage, C.S. (1986)提出在西部太平洋赤道两侧的双气旋将产生强大的西风,这对发生和维持El Niño事件都有决定性的作用^[2]。因此,他认为El Niño事件的预报将归结为这种天气系统的预报问题。除了这种把El Niño事件的发生归结为热带太平洋信风行为的异常所致外,对于El Niño事件形成原因还有其它的解释^[3]。有的认为,在太平洋东部来自赤道北部的高温水与由秘鲁海流所带来的低温水在Galapagos群岛与厄瓜多尔之间形成锋面。当该锋面破裂时,使得来自巴拿马湾的高温水沿秘鲁海岸南下,就产生了El Niño事件。也有人提出,南赤道逆流的加强,有可能把大量暖水输送到秘鲁近海而产生El Niño事件。此外,任振球等(1985)认为,地球自转角速度变慢将导致El Niño事件发生^[4]。刘厚赞等(1989)则认为,海底火山喷发和热液活动对于El Niño事件有引发作用^[5]。

Barentt, T.D. (1977)曾用统计方法分析研究了大气因子与SST之间的相互关系,得到以下几个结果:①局地风应力的变化对于上升流的作用是不重要的;②由NECC(北赤道逆流)输送给热带太平洋东部的热量较其局地太阳加热的作用要重要得多;③SST变化的50%可以由横越太平洋海平面的变化来预报,因而表明东向平流的作用是非常重要的,而来自巴拿马湾的南向热平流是不重要的^[6]。

总之,由于对El Niño事件的形成机制至今仍然不清楚,从而对El Niño事件仍然缺乏一种比较一致的认识。本文在总结前人工作的基础上,又较系统地分析研究了1982~1983年El Niño事件的发展过程,对El Niño事件的成因进行了初步分析研究,对El Niño事件的预报问题提出了具体的建议。

二、El Niño事件成因分析

作者认为,在分析研究El Niño事件的成因时,首先应弄清楚其高温水的来源问题,即要切实了解清楚,在El Niño事件期间,其高温水是从哪儿来的?而欲回答这个问题,就必须对El Niño事件本身给出一个确切的定义。

现在,有些学者把赤道东太平洋出现了高温水作为El Niño事件发生的标志。作者认为,采用这种办法来定义El Niño事件是不够恰当的。首先,这种“高温水”没有明确的界限,到底出现多少度的水温异常才算“高温水”?另外,该高温水的水平分布范围也不明确。这样,就难以给出确切的定义。其次,这也与El Niño现象的原意不相吻合。文献[3]对于El Niño事件的定义是可取的。它给出的定义是:当来自秘鲁北部的高温水较正常年份沿秘鲁海岸再向南伸展5~10个纬度,其温跃层也再加深100m左右时,出现这种较大范围的暖水现象,才能称之为El Niño事件。在秘鲁近海水域,为上升流区,其水温一般在20℃以下,而来自北方的高温水一般在25℃以上。因此,在El Niño事件期间,暖水的入侵使其SST一般升高5℃左右(图1)。据1982年11月22日~12月10日的观测结果表明,在4°S~12°S,距岸200km的范围内,该区域的低温水皆为22℃以上的高温水所代替。在南部的12°S~8°S区域,其水温升高4~6℃;而在北部的8°S~4°S,则升高达6℃之多^[7]。

作者认为,对El Niño事件采用这样的定义是确切的。首先,它与El Niño现象的原意相一致。另外,它有确切的含义。当然,与此同时,在赤道太平洋的东、中部表层水温亦出现升高现象。但在本文中所说的El Niño事件,其含义却主要是指在秘鲁沿海所出现的异常暖水现象。

在El Niño事件期间,出现在秘鲁沿海以及赤道太平洋东、中部的高温水来自何方?尽管该区域的海底也存在着热液活动和海底火山的喷发,这些高温水的出现显然与它们无直接联系。是否为Newell (1986)所说^[6],当热带太平洋东部区域的上升流及垂直混合减弱,由太阳辐射的局地加热作用所致?对此,Gill

(1983)和Reed (1983)曾指出,在1972~1973年的El Niño事件期间,赤道太平洋中部SST的增加并非由其太阳辐射的局地作用所致^[9,10],对于出现在秘鲁沿海的高温水而言,则更不是太阳辐射的局地加热作用所为。当前,比较流行的一种观点是,认为它们是来自赤道西太平洋,是Kelvin波把其SST的正异常由西向东传播所致^[1,2,9,11]。作者认为,这种观点在理论上是缺乏依据的。它忽略了这样一个客观事实:波动只能传播能量,不能传播质量。如太平洋的潮波为渤、黄海区的潮运动输送潮运动的能量,但该潮波并没有把太平洋的海水随之输送给渤、黄海区。也就是说,即使存在着赤道Kelvin波,该波也只能把赤道西太平洋区的能量(势能)传送到赤道太平洋的东部。况且,在赤道区由于水平科氏力已消失,也就不可能存在(赤道)Kelvin波。另外,在三大洋中,唯有印度洋的北赤道流才随着其信风方向的改度而随之改变其流动方向。即冬季在东北信风的作用之下,该北赤道流为西向流;而在夏季,在西南信风的作用下,它又变成东向流^[3]。对于太平洋而言,在赤道区尽管有时东风崩溃,西风爆发,但它们的出现都不能持久。因此,其西向的赤道流就不可能变成东向流。其西太平洋的高温水也就不可能被输送到东部去。

由以上分析可知,El Niño事件中的高温水只能是来自于东太平洋。

事实上,在太平洋东、西部皆拥有水温高达28℃以上的热水库:西太平洋热水库(Western Pacific Warm Pool—WPWP)和东太平洋热水库(Eastern Pacific Warm Pool—EPWP)^[12]。WPWP的高温水主要是由SEC(南赤道流)和NEC(北赤道流)所提供,而EPWP的高温水则主要是由NECC(北赤道逆流)所提供。EPWP位于从厄瓜多尔(或哥伦比亚)到墨西哥沿岸以外的几千公里的区域内,尽管其SST最高也达28~30℃(与WPWP的SST同样高),但它的水层厚度和水平范围皆较WPWP小得多,因而其稳定性也较差。每到冬季,EPWP就向南扩展并越过赤道,在厄瓜多尔和秘鲁北部、其中包括Galapagos群岛在内的广大洋面上皆为25℃以上的高温水所占据。这就是所谓的El Niño现象。而每隔若干年,这种现象会特别强烈,该高温水可沿秘鲁沿岸向南伸展到12°S,或更南,与

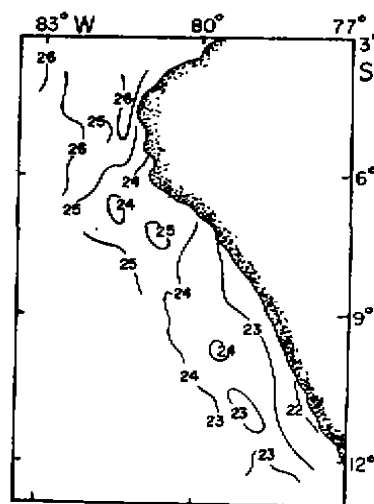


图1 1982年11月22日~12月10日所观测到的SST (Lagos and Soldi, 1983)

此同时, EPWP的高温水还沿赤道向西扩展。这就是举世瞩目的El Niño事件。

众所周知, 海水质量大规模的水平输送, 不是依靠(包括潮波在内)波动作用来实现的, 而是依靠海流的水平输送来实现的。因此, 正常的El Niño现象乃是太平洋热带环流系统在其东部正常的季节变化的结果; 而当其出现异常的季节变化时, 就必须随之产生异常的El Niño现象。即El Niño事件乃是太平洋热带环流系统在其东部出现异常(季节的)变化的结果。

三、环流异变原因分析

由以上分析结果可知, El Niño事件之所以能够出现, 是由于来自EPWP的高温水沿秘鲁海岸南伸的结果。该高温水之所以能够如此大范围向南扩展, 乃是热带太平洋东部区域的环流系统发生异常变化的结果。但是, 又是什么原因使得该区域的环流系统发生如此的异常变化呢? 只有弄清楚引起该区域环流异变的作用因子, 才有可能对El Niño事件本身进行有效的监测, 作出较准确的预报。

对大洋表层流而言, 其主要动力是风应力。因此, 大洋表层环流的分布与变化一般也总是与风应力场的分布与变化相协调。如印度洋的北赤道流的流向是随其信风方向的改变而改变, 南太平洋的东南信风和北太平洋的东北信风的方向保持终年不变, 故其SEC和NEC也就终年向西流。在每年的夏季, 北太平洋的东北信风最弱, 其南界可退至 10°N 附近, 而南太平洋的东南信风则最为强盛, 跨越赤道而进入北太平洋。与此同时, 由秘鲁海流而向赤道区所输送的低温水越过赤道向北推进。不言而喻, 此时太平洋的表层流NEC、NECC及SEC亦皆随之向北移动。在此期间, 位于赤道区的Galapagos群岛(属厄瓜多尔)为 20°C 的低温水所包围。冬季则正相反, 北太平洋的东北信风最为强盛, 其南界可向南推进约10个纬度。南太平洋的东南信风最弱, 除在太平洋的东部区域外, 在太平洋的中、西部皆退缩到赤道以南。此时来自EPWP的高温水亦随之向南推进, Galapagos群岛和厄瓜多尔、秘鲁北部海域皆为 25°C 的高温水所占据。这就是当地渔民所称之的El Niño现象。在此期间, 秘鲁海流最弱, 太平洋的表层流NEC、NECC、SEC皆随之南移。这表明, 正常的El Niño现象乃是南、北太平洋信风系统正常的季节变化引起的热带太平洋东部区域环流系统的正常的季节性变化的结果。由此可以推知, 当南、北太平洋信风系统发生异常变化而引起热带太平洋东部区域的环流系统随之产生异常变化时, 就必将导致异常的El Niño现象——El Niño事件的发生。

但是, 如果由此而得出这样的结果: El Niño事件的成因完全是南、北太平洋信风系统的异变所致, 甚至仅归结为太平洋热带区信风的行为是不够的, 更不能把对El Niño事件的预报简单地归结为某种气象模式的预报。因为, 风应力并不是大洋环流异变的唯一作用因子。应该分析研究非风作用因子对表层大洋环流异变的作用, 还要注意分析研究中、深层大洋环流的异变对表层环流异变的作用。由于大洋底火山的喷发及其热液活动所释放出来的热量和动量对于表层大洋环流的变化亦将产生一定的作用, 这也可能是El Niño事件发生的一个不应忽略的作用因子。另外, 在彼此相互联系着的三大洋中, 每个大洋皆拥有许多各种空间尺度和不同层次的水平和垂向的环流系统, 这众多的环流系统又都是相互联系、彼此制

约着的。如果把每一个相对独立着的环流系统视之为一个子运动系统,则每个大洋就是拥有若干个子(运动)系统的巨(运动)系统。而且,这个巨大的运动系统又不是封闭的,它与外界存在着能量的交换,内部又有能量的(摩擦作用)消耗。根据混沌理论,在海洋(大气亦然)这样一种存有多种作用因子、开放性的、耗散的(巨)系统中,其运动过程必然是由有序发展到无序,即由一种有秩序的、简单的正常运动状态而发展到一种无秩序的、复杂的异常运动状态。因此,作者认为,对于象El Niño事件、黑潮大弯曲这样一些异常的海洋运动现象的发生,也是一种必然的自然现象,它们都是大洋环流系统的运动从有序发展到无序的结果。与自然界中其它的异常运动现象的发生一样,El Niño事件等异常海洋运动现象的发生又具有随机性,且没有固定不变的周期,只能是属于一种准周期性的运动现象,因此,也就不可能对它们的发生作出准确预报^[13]。

四、关于El Niño事件的预报

如上所述,现实中的海洋是一个存有多种作用因子、开放、耗散、非平衡的运动系统,它远不是一种有序、精确、简单的机械运动系统,而是一种有序与无序伴生、确定性和随机性统一、简单与复杂一体、拥有许多子系统的巨大的运动系统。在这样一个复杂而巨大的运动系统中,一切异常海洋现象(如El Niño事件等)的发生都是一种必然要发生的运动现象,即异常海洋运动现象的发生皆具有必然性。但是,与自然界中其它异常运动现象一样,它们并不具有固定不变的周期,仅属于一种准周期性运动现象,且在多种因子的综合作用之下,它们的发生又具有随机性。这表明,对于El Niño事件这样一种异常海洋运动现象的发生,我们不可能对它们作出准确的预报。对于它们的行为,只能采用定性与定量相结合的综合分析的方法加以研究,在进行有效监测的基础上才有可能对它们的发生作出较为准确的预报。

作者认为,El Niño事件的发生需具备下列条件。首先,SEC和秘鲁海流必须减弱,这样才能使NECC流轴的位置南移,EPWP的高温水才能顺利地大规模地向南推进。由于东南信风本身最终是靠南太平洋的高压系统与印尼和澳大利亚的低压系统之间的气压梯度力所驱动,而南方涛动指数又是该信风强度的较好的定量指标,而SEC和秘鲁海流的驱动力又是来自该东南信风的风应力。因此,该南方涛动指数就完全可以作为El Niño事件的一个预报因子。由图2可知,近40年的统计结果表明,绝大多数的El Niño事件皆发生在南方涛动指数为负值期间,对于那些特大的El Niño事件,其中包括1986~1987年的特大El Niño事件,皆发生在南方涛动指数出现强烈的负异常时期。

但是,由图2还可看出,并非每当南方涛动指数出现负异常时皆发生El Niño事件,有的El Niño事件(如1962年),还发生在南方涛动指数为正异常期间。这充分说明,东南信风的减弱并不是El Niño事件发生的唯一条件。El Niño事件的发生还需要另外一个条件,就是EPWP出现正异常,不但EPWP的水温升高,更重要的是其空间范围也要扩大。只有这样,才能为El Niño事件的发生提供充足的高温水源。由此不难推知,NECC出现正异常,其流轴南移则是El Niño事件发生的另一个必要条件。尚需指出,由于NECC(其他的大洋海流也一样)的流速大小和流轴位置皆随地理位置的不同而异,因此本文所说的NECC

是指位于太平洋的中、东部而言。由于缺乏观测资料,对此如何确定出一种定量的指标,至少就目前而言,还是困难的。

由图3可知,赤道太平洋东部区域的表层流的分布状况是相当复杂的。需要指出,在大多数的海流图中皆标明秘鲁海流是顺岸流向西北,然后在 100°W 的附近并入SEC。然而表层漂移浮标的观测结果却表明,并未发现这种流动形式,其浮标是向西或西南漂移,且此区域的流速弱、流向不稳定^[12]。正因如此,每到冬季,来自EPWP的高温水才会很容易地越过赤道而顺岸南下。

图3仅是依据表层漂移浮标的资料而绘制的平均流速矢量图,并非真实流场的描述。然而由该图可知,其近岸区域流速弱且流向杂乱无章。由此可推知,在El Niño事件发生时,该区域的环流分布类型不可能是固定不变的。而不同的环流分布,其岸边海平面高程的分布与变化也就不同。如1982~1983年的El Niño事件期间的观测结果表明,Galapagos群岛的海平面变化与秘鲁沿岸诸港海平面变化竟然没有相关性,这使人们感到意外^[14]。因此,在没有弄清楚El Niño事件期间热带太平洋东部环流的分布形态以及沿岸有关港口海平面的变化情况下,不可能仅依据某几个港口海平面的异常变化来预报El Niño事件。

作者认为,如果能够在太平洋中、东部加强对NECC的监测,有可能统计分析出NECC的异变与El Niño事件之间的定量关系,从而寻找出另外一个El Niño事件的预报因子。

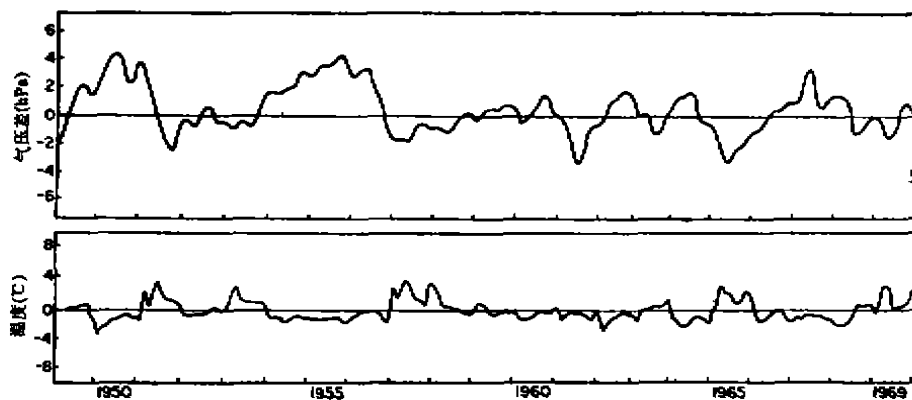


图2 南方涛动指数及秘鲁沿岸SST的逐月分布图 (Ramage, 1986)

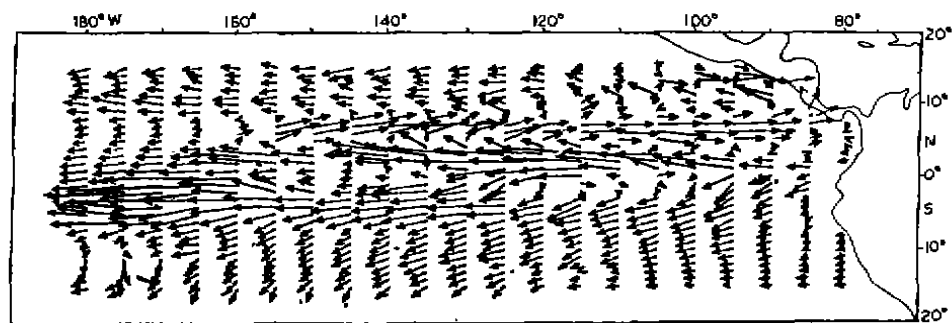


图3 热带太平洋中、东部表层漂移浮标观测资料的矢量平均图 (Hansen and Paul, 1984)

五、结 语

El Niño事件是一种海洋异常现象,它的产生是由于热带太平洋东部区域的环流运动发生了异常变化,使得东太平洋热水库(EPWP)的高温水大规模地向南迁移的结果。作者认为,那种认为El Niño事件期间的高温水是来西太平洋热水库(WPWP)的观点是缺乏依据的。首先,赤道区的水平科氏力已消失,故赤道区根本就不可能存在Kelvin波;退一步讲,即使赤道区Kelvin波能够存在,它也不能把西太平洋区域的高温水输送到东太平洋区域,因为波动只能传递能量,不能输送质量。另外,在El Niño事件期间,并未观测到(实际上也不可能存在)一支新产生的稳定的东向赤道流^[12],使西太平洋的高温水输送到东太平洋。

由于El Niño事件的发生与由东南信风所驱动而产生的南赤道流、秘鲁海流密切相关,而东南信风又是由南太平洋的高压系统与印尼、澳大利亚的低压系统之间的压强梯度力所驱动。因此,一种能够表征该信风强度的定量指标——南方涛动指数,也就成了El Niño事件的一个较好的预报因子。尽管风应力(场)是表层大洋环流的主要动力来源,但它毕竟不是其唯一的动力因子。因此,我们就不应苛求南方涛动指数能成为El Niño事件的唯一的预报因子,更不能把El Niño事件的发生仅局限于热带太平洋信风的行为上面。为此,作者建议加强对太平洋中、东部区域的赤道逆流和赤道太平洋东部区域表层流况的监测,以便能够寻找出另外的可以预测El Niño事件发生的预报因子。

由于世界大洋是一个存有多种作用因子、开放的、非平衡的、耗散的巨大运动系统,由混沌理论可知,在这样的运动系统中,其环流系统异常运动现象(如El Niño事件及黑湖大弯曲等)的发生则是一种必然的运动现象。但是,它们同正常的环流运动现象的区别在于没有固定不变周期,是属于一种准周期性的运动,且它们的发生还具有一定的随机性^[13]。因此,欲想对El Niño事件的发生作出准确预报,一方面加强理论研究,全面地研究El Niño事件发生的动力学过程。另外,还需对赤道太平洋中、东部环流运动进行有效的监测,以便能及早发现El Niño事件发生前的征兆。总之,目前欲想对El Niño事件的发生作出较准确的预报,为时尚早。

参 考 文 献

- (1) Wyrtki, K., 1975, Fluctuation of the dynamic topography in the Pacific Ocean, *J.P.O.*, 450~459.
- (2) Ramage, C.S., 1986, 厄尔尼诺现象, *Science* (中译本), 10, 29~37.
- (3) Pickard, G.L. and Emery, W.J., 1983, *Descriptive physical oceanography*, Fourth enlarged edition.
- (4) 任振球等, 1985, 地球自转与厄尔尼诺现象, *科学通报*, 6.
- (5) 刘厚赞等, 1989, 海底火山喷发和热液活动对厄尔尼诺事件的引发作用, 第三届全国天地生相互关系学术讨论会论文集, 中国科学技术出版社, 396~402.

- [6] Barentt, T.D., 1977, An attempt to verify some theories of El Niño, *J.P.O.*, 5, 633~647.
- [7] Lagos, P. and Soldi, H., 1983, Onset of 1982—83 El Niño along the coast of Peru, *Tropical Ocean-Atmosphere Newsletter*, October.
- [8] Newell, R.E., 1986, El Niño. An approach towards equilibrium temperature in the tropical eastern Pacific, *J. Phys. Oceanogr.*, 6, 1338~1342.
- [9] Gill, A.E., 1983, An estimation of sea-level and surface-current anomalies during the El Niño and consequent thermal effects, *J.P.O.*, 13, 586~606.
- [10] Reed, R.K., 1983, Heat fluxes over the eastern tropical and aspects of the 1972 El Niño, *J. Geophys. Res.*, 14, 3627~3838.
- [11] 袁叔尧等, 1988, 赤道Kelvin波与El Niño事件, 热带海洋, 7, 4, 18~26.
- [12] TOGA PAN—PACIFIC, *Surface Current Study*, Appendix 3.
- [13] 修日晨, 1990, 应用天文周期预报海洋异常事件的若干问题, 海洋通报, 9, 6, 71~75.
- [14] Enfield, D.B. et al., 1983, Sea level variability at the eastern equatorial Pacific boundary in 1982, *Tropical Ocean-Atmosphere Newsletter*, October.

REVIEW ON CAUSES OF EL-NIÑO EVENT

Xiu Richen

(First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao)

ABSTRACT

In this paper the causes of El-Niño event are discussed. It is pointed out that the occurrence of El-Niño event is a result of anomalous variation of ocean circulation in the Pacific. Because the factors causing the variation of ocean circulation are various, the formation causes El-Niño event are very complicated. It is held that the warm water, which appears in the East Pacific during El-Niño period, comes from the warm pool in the East Pacific, not the West Pacific. Because the horizontal Coriolis force disappears in the equatorial area, therefore the Kelvin wave could not exist. Even though the Kelvin wave or other long waves existed in equatorial area, they could not transport the warm water to the East Pacific from the West Pacific, because the wave motion can only transport energy, not mass. Besides, it has never been observed that westward surface current in the equatorial area turned to eastward during the El-Niño period.