

# 热带积云对流加热在全球大气遥响应中的重要作用 ——数值试验结果\*

龙振夏 李崇银

(LASG, 中国科学院大气物理研究所, 北京, 100080)

## 摘 要

利用 IAP 两层大气环流模式模拟研究了热带地区积云对流加热在大气对赤道东太平洋海温正异常响应中的作用。通过对积分结果进行分析发现:热带地区积云对流在大气对赤道东太平洋海温正异常的响应过程中起着非常重要的作用。若热带地区的积云对流加热减弱则大气中的遥响应(相关)型也减弱。同时我们还发现,热带地区的积云对流加热加强则响应场的 30—60d 低频振荡也得到加强。

**关键词:** 积云对流加热, 大气遥响应, 外源强迫, 波列, 大气季节内振荡。

## 1 引 言

有关大气对赤道东太平洋海温正异常的响应,在国内外已有了不少的研究。1982 年 Keshavamurty<sup>[1]</sup>利用 GFDL 环流模式研究了大气对赤道西太平洋、中太平洋及东太平洋海温异常的响应;1983 年 Maurice Blackmon 等<sup>[2]</sup>以及 Shukla 等<sup>[3]</sup>也利用大气环流模式研究了大气对赤道东太平洋海温正异常的响应。通过对积分结果的分析,他们都发现,大气对赤道东太平洋海温正异常的响应是十分显著的,而且这种响应场存在着非常清楚的波列结构。李崇银等也利用 IAP 两层大气环流模式研究了大气对外源强迫的响应<sup>[4,5]</sup>,不仅得到了清楚的遥响应场的波列结构特征,还发现大气对赤道东太平洋海温异常的响应主要是一种 30—60d 的低频遥响应,而且冬季强于夏季,低频响应在低纬主要表现为东传,在中高纬则为西传。李崇银还指出在大气对外源强迫的响应过程中热带大气起着十分重要的作用,无论扰源是在中纬地区还是在低纬地区,它都会首先在热带地区产生比较大的降水距平,出现热带大气运动的异常,然后再影响全球大气<sup>[6]</sup>。在热带地区积云对流是十分重要的天气系统,因此,积云对流在大气对外源强迫的响应过程中也可能起着十分重要的作用。本工作就是利用 IAP 两层大气环流模式研究在大气对外源强迫的响应过程中热带积云对流所起的作用。

## 2 数值试验的方法及其资料处理

本工作的主要目的是研究在不同强度积云对流加热的情况下,大气对赤道东太平洋

\* 初稿时间:1994 年 6 月 7 日;修改稿时间:1995 年 5 月 29 日。

资助课题:国家自然科学基金。

正 SSTA 的响应场有何变化。有关 IAP 两层大气环流模式的具体细节可参阅曾庆存等著的《Documentation of IAP Two-Level Atmospheric General Circulation Model》<sup>[7]</sup>。在模式中,在第  $k$  层上的非绝热加热为:

$$H_k = A_k + [c_p \left(\frac{\partial T_k}{\partial t}\right)_{MCC} + c_p \left(\frac{\partial T_k}{\partial t}\right)_{PC}]coef$$

其中  $A_k$  是辐射加热、感热和大尺度凝结加热之和;方括号中的两项分别表示中层对流和穿透性对流所产生的凝结加热; $coef$  是引入的一可变参数,改变它即可改变积云对流加热反馈的强度。在本研究中,取  $coef = 1$  表示有正常积云对流加热情况,取  $coef = 2$  表示强对流加热情况,而  $coef = 0$  及  $coef = 0.5$  表示弱对流加热情况。由于我们研究热带对流加热的影响,故在数值试验中将只对  $20^{\circ}\text{N} - 20^{\circ}\text{S}$  纬度带的对流加热进行改变。

为了同已有的研究有可比性,我们仍用赤道东太平洋的 SSTA 作为导致大气环流遥响应的外强迫源,假定在赤道东太平洋的 SST 有正距平(类似 El Nino),海温异常的具体分布是:  $170^{\circ}\text{W} - 70^{\circ}\text{W}$ ,  $14^{\circ}\text{N} - 14^{\circ}\text{S}$  的矩形区有  $0.5^{\circ}\text{C}$  以上的 SST 正距平,其中  $170^{\circ}\text{W} - 80^{\circ}\text{W}$ ,  $10^{\circ}\text{N} - 10^{\circ}\text{S}$  的矩形区有  $1.5^{\circ}\text{C}$  以上的 SST 正距平,其中  $130^{\circ}\text{W} - 90^{\circ}\text{W}$ ,  $6^{\circ}\text{N} - 6^{\circ}\text{S}$  的矩形区有  $2.5^{\circ}\text{C}$  的 SST 正距平。在本研究中我们共进行了 4 个数值模拟试验,其一是对照试验(EP1),在积分过程中赤道东太平洋没有海温异常,SST 是随时间变化的气候值,同时热带积云对流加热也为正常情况,用 IAP-GCM 的 25a 积分中第 20 年的结果代替;其二是强迫响应试验(EP2),针对 EP1,在一月份引入 SSTA,但热带积云对流加热正常,积分时间为 1a;其三是对流加热异常试验(EP4),它类似 EP2,但热带地区为强对流加热( $coef = 2$ );其四是另一种对流加热异常试验(EP3),它也类似 EP2,但热带地区为弱对流情况(试验分别取了  $coef = 0.5$  及  $coef = 0$ ,其结果大体一致,为了更清楚,本文后面的分析用  $coef = 0$  的结果)。

本文的分析主要基于模式输出的候平均资料,按一般数值模拟试验的办法,将异常试验与对照试验的差值视为大气对外源强迫的响应。这样,本研究中将有三种不同情况下的大气响应(距平)场,其一是有正常热带对流加热情况下大气对赤道东太平洋 SSTA 的响应(EP2-EP1);其二是无(弱)热带对流加热情况下大气对赤道东太平洋 SSTA 的响应(EP3-EP1);其三是强热带对流加热情况下大气对赤道东太平洋 SSTA 的响应(EP4-EP1)。

在讨论热带积云对流加热对响应场的低频振荡的影响时,还应用一般研究大气季节内振荡时采用的带通滤波技术,以便将 30—60d 周期的波动从原始资料中分离出来,从而突出反映 30—60d 低频振荡的特征。在求相关系数的时候,我们直接利用了模式的输出结果,并利用三角函数展开,去除了一年及半年周期的波动,然后再进行相关分析。

### 3 积云对流加热在大气对海温异常响应中的作用

热带地区是全球大气运动的能量源地,积云对流的潜热释放是热带大气能量的极重要部分。因此,积云对流的变化必将对全球的环流形势产生影响。本节将对不同积云对流加热强度下的积分结果进行分析,讨论在不同强度对流加热情况下散度场及 500hPa 高度响应场的变化,最后再研究一下在不同强度的积云对流加热下大气的遥相关场。

### 3.1 无热带对流加热情况下大气的响应场

为了讨论弱热带对流的情况下大气对赤道东太平洋正 SSTA 的响应,假定在  $22^{\circ}\text{N}$ — $22^{\circ}\text{S}$  区域无对流凝结潜热,并就 EP3-EP1 距平场进行分析。

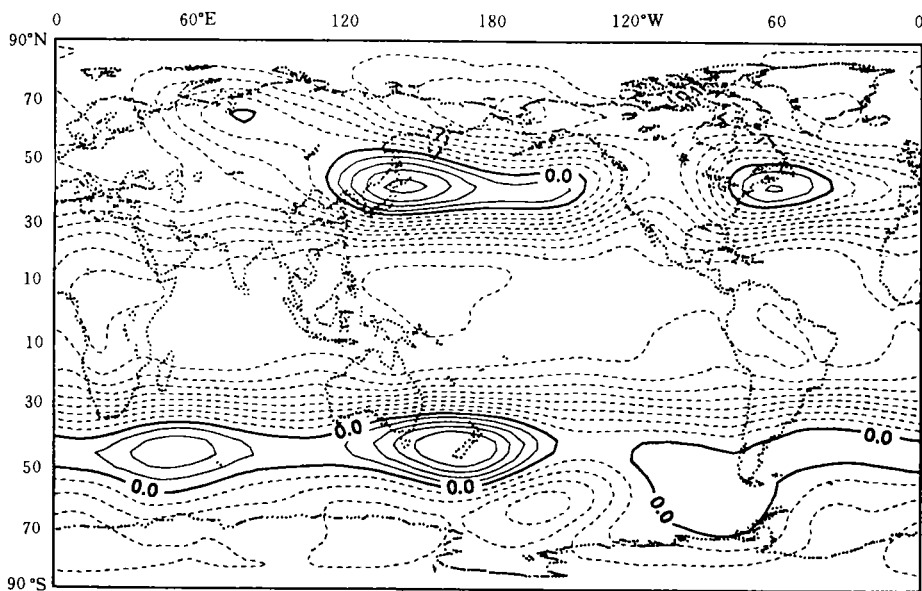


图 1 12 月份无热带对流凝结加热时的 500hPa 高度距平  
(等值线间隔为 30m)

#### 3.1.1 500hPa 高度距平

为了研究 500hPa 高度场的响应,图 1 显示了 12 月份无热带对流凝结加热时 500hPa 高度距平。从图中可以看出,在北半球西太平洋及西大西洋中纬地区存在两个正的距平中心,而且冬季强于夏季(图略)。在南半球中纬度几乎整个纬圈都为正距平。这与热带积云对流加热正常时,大气对赤道东太平洋正 SSTA 的响应有着明显的差别。因为在热带积云对流加热正常时,无论是冬季还是夏季,大气的响应场都为明显的波列结构。

#### 3.1.2 对流凝结潜热

图 2a 是无热带对流凝结潜热释放时纬向平均的对流凝结潜热的经向分布。由于我们取消了热带地区的对流凝结潜热,所以,无论在冬天还是在夏天(图略)热带地区都出现了负的距平,而且在冬天最大负值比较靠南。同时,从图 2b 所示的对流凝结潜热的全球分布中不难发现,在中纬地区出现了正距平,表明了中纬度有对流加强的特征,尤其是夏半球。

#### 3.1.3 散度场

图 3 是 12 月份 500hPa 及 850hPa 的散度分布。对于 850hPa 来说,在赤道地区的辐散为主要特征,中纬有大面积辐合;而 500hPa 的分布形式正好与 850hPa 相反。这种分布形式与对流凝结潜热的分布基本一致,在低纬地区对流加热减弱,低层辐散、高层辐合加强,造成异常下沉气流。同样,在中纬地区对流加热加强,低层辐合、高层辐散加强,形成异常上升气流。在图中还可以看出,对应于低纬最大的凝结潜热负距平中心(赤道西太平洋

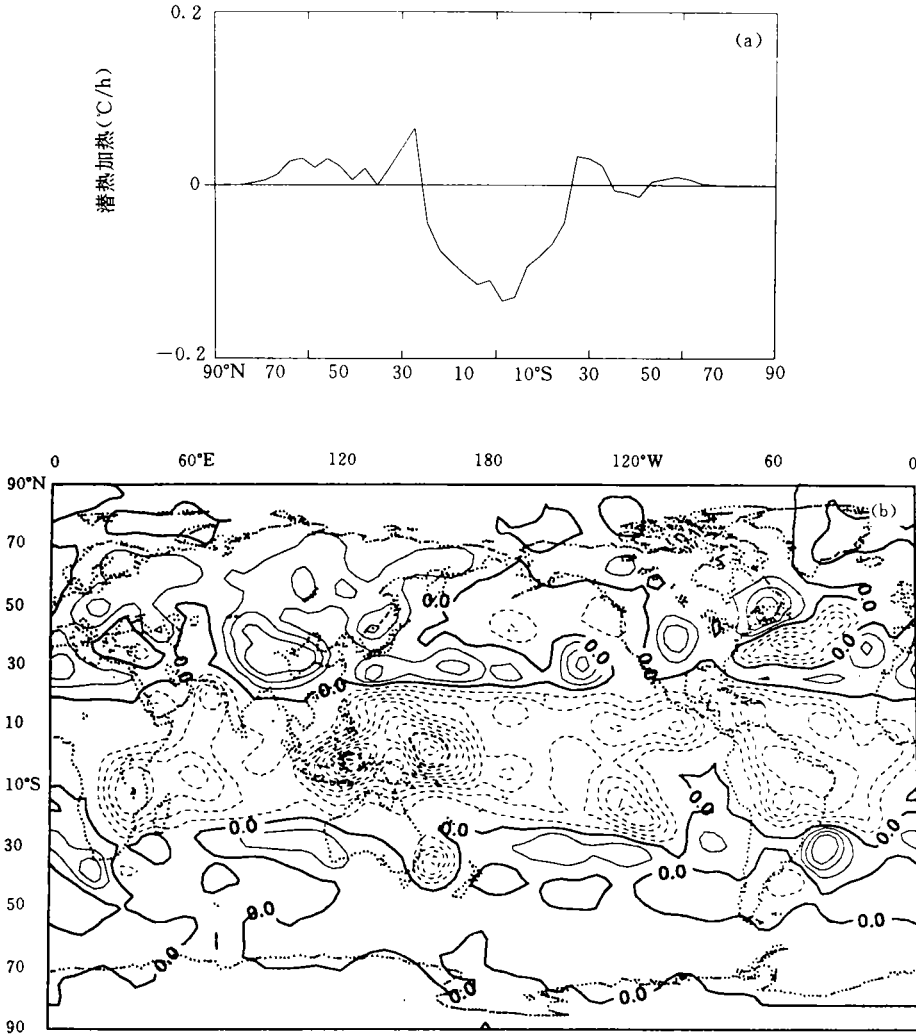


图2 弱热带对流时12月份对流凝结潜热距平  
(a. 纬向平均( $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ), b. 全球分布形势(等值线间隔为 $0.04^{\circ}\text{C}/\text{h}$ )

地区),  $850\text{hPa}$  出现了最大的异常辐散中心,  $500\text{hPa}$  则为最大的异常辐合中心。另外, 风场的分布形式与  $850\text{hPa}$  和  $500\text{hPa}$  的高度距平场、对流凝结潜热场及散度场是基本吻合的(图略)。

#### 3.1.4 经向环流的作用

由于在低纬地区去掉了对流加热, 同正常情况相比较就相当于在低纬地区加上了一个冷源, 从而导致经圈环流的异常。前面已指出, 在低纬出现了两个较大的“冷”中心, 这两个冷中心使该地 Hadley 环流的上升支减弱, 从而导致中纬地区的下沉气流及中高纬的上升气流减弱。前面已讨论过的高度距平场, 辐散场的异常分布均反映了经向环流的这种异常。

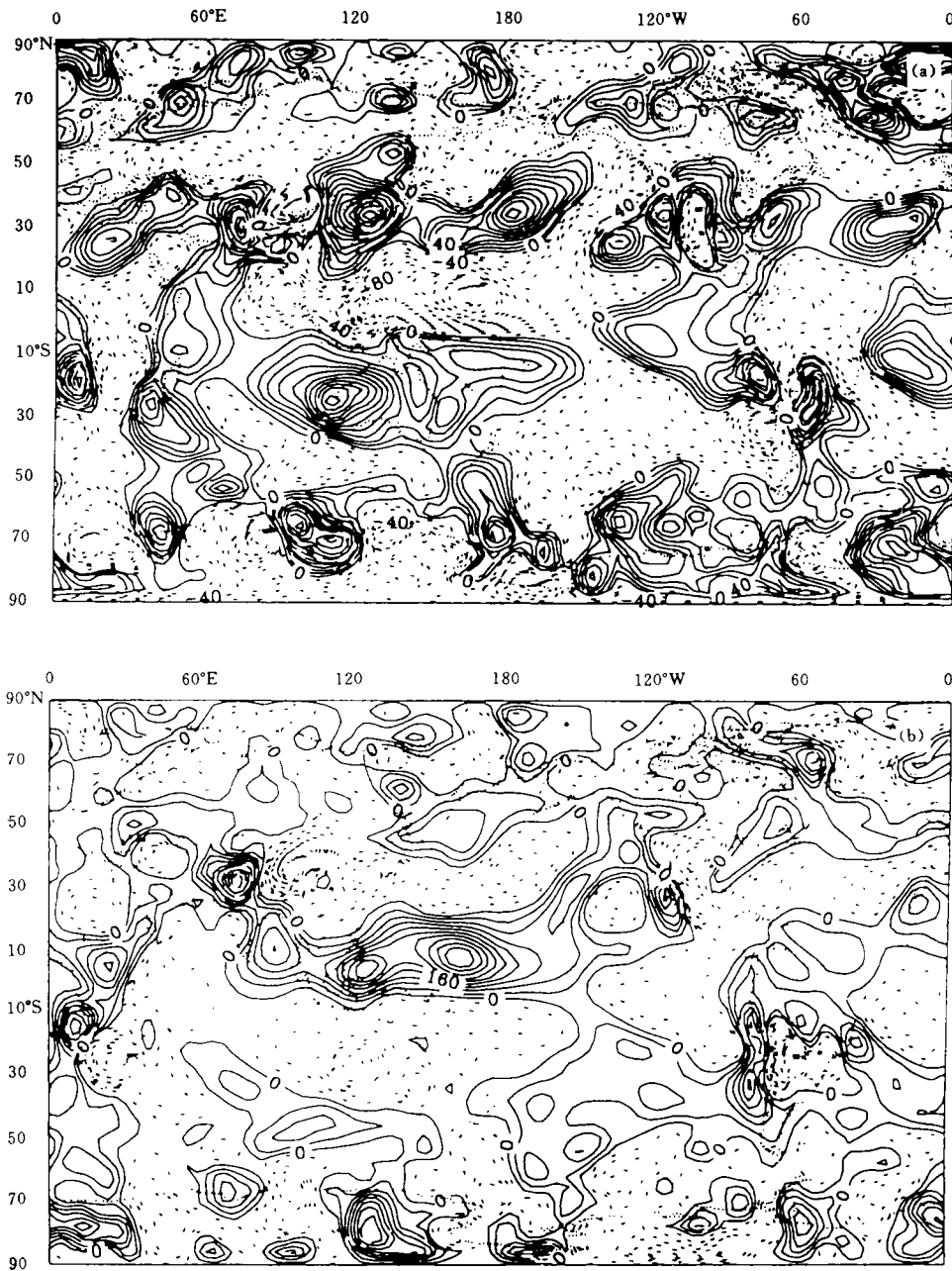


图 3 12 月份无热带对流凝结潜热释放时的散度分布

(a. 表示 500hPa 情况(等值线间隔为  $0.1 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ ), b. 表示 850hPa 情况(等值线间隔为  $0.4 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ ))

### 3.2 强热带对流情况下的大气响应场

将 22°N—22°S 地区的对流加热加倍来代表热带地区有强对流情况,同前面的讨论类似,主要从高度场、对流凝结潜热、散度场来进行分析。

#### 3.2.1 500hPa 高度距平(响应)

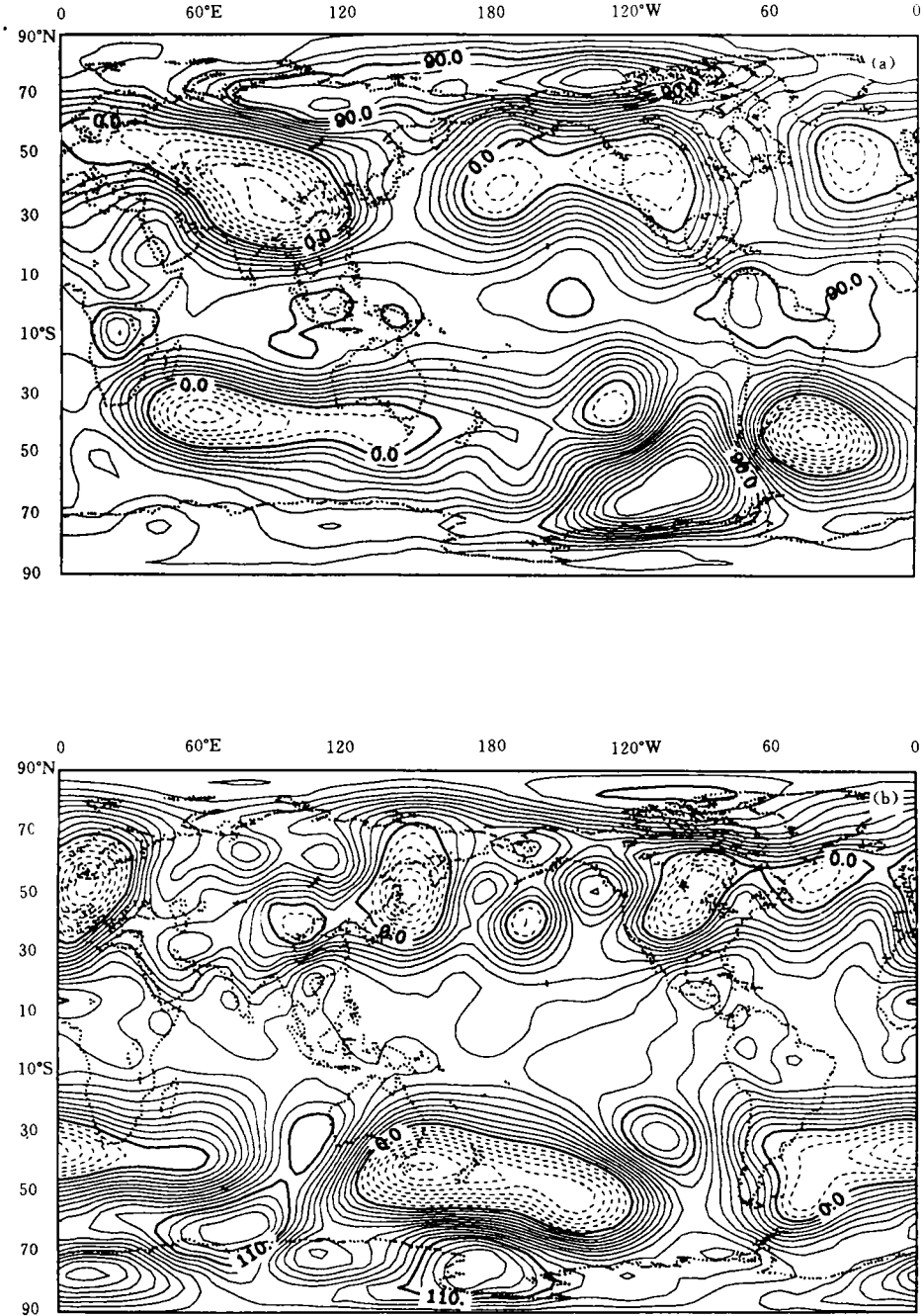


图 4 强热带对流情况下的 500hPa 高度响应(等值线间隔为 10m)  
(a. 12 月平均, b. 7 月平均)

图 4 给出了 12 月份及 7 月份强热带对流情况下的 500hPa 高度距平,与对流加热为零时不同,对流加热加倍时响应场存在着非常明显的波列结构,而且冬夏两季有很大的差别。与正常对流加热情况下大气对赤道东太平洋正 SSTA 响应场(图略)相比,热带对流加热加倍时大气的响应场的波列结构更显著。

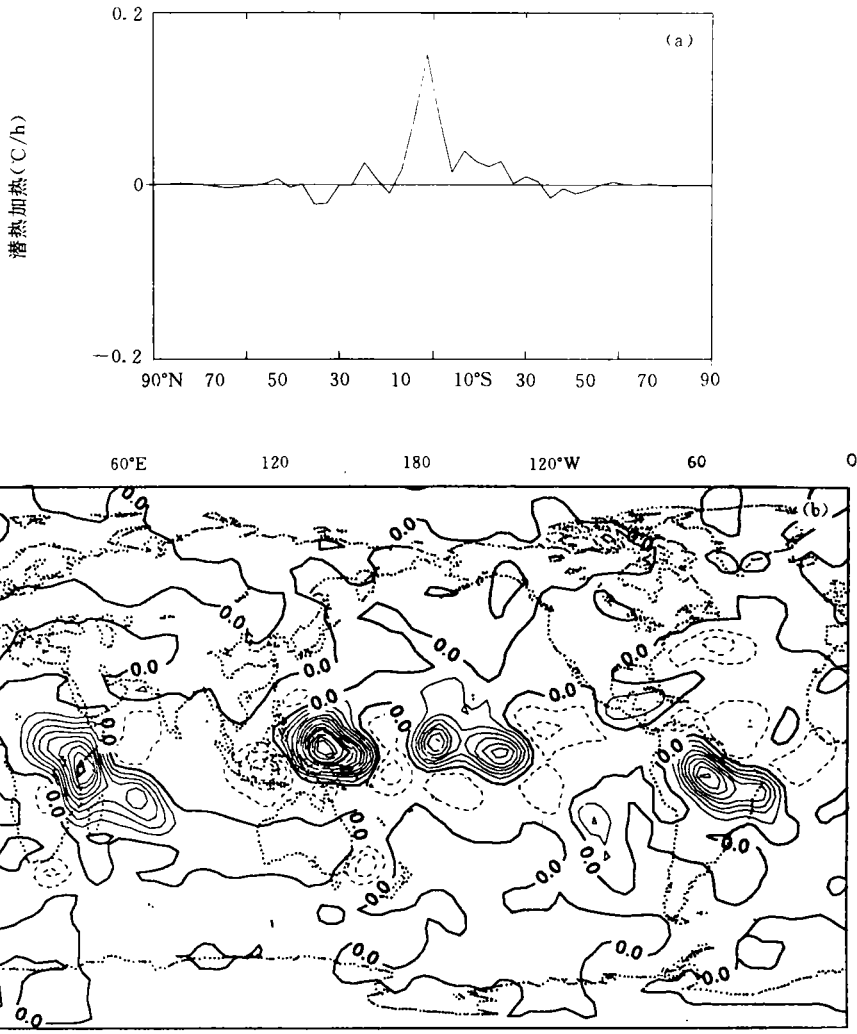


图 5 强热带对流时 12 月份对流凝结潜热距平  
(a. 纬向平均(C/h), b. 全球分布形势(等值线间隔为 0.07°C/h))

### 3.2.2 对流凝结潜热

图 5a 是 12 月纬向平均的对流凝结潜热的经向分布。从图中不难发现,低纬存在正的距平。图 5b 是 12 月对流凝结潜热的全球分布,与无热带对流加热情形明显不同,对流凝结潜热加倍时低纬出现了正负相间的距平分布形式。众所周知,热带地区积云对流的分布是很不均匀的。对于强对流来说,对流潜热加倍,相当于在该纬度加上一个强的热源。然而由于大气环流的动力作用,在同一纬度带里异常加热并非均匀分布,而是有的地方对流

















