

## 东亚冬季风的演变特征\*

王启祎 丁一汇

(国家气候中心, 北京 100081)

### 提 要

文章主要讨论了东亚冬季风和冷涌的演变特征, 并与南亚作了对比, 发现在东亚地区, 冬季风演变主要表现为10月中旬经向环流的突变及9月初、11月中旬和1月末对流层低层温度的3次突变; 而在南亚地区, 经向环流的变化不如东亚地区明显, 而且高层要先于低层变化, 对流层低层温度存在2次突变, 在整个冬季, 东亚地区冷涌的演变过程, 主要表现为南海地区冷涌在12月份出现最高频率, 而西太平洋冷涌在1月份出现最高频率; 南亚地区冷涌在12月份出现最高频率, 但远小于东亚地区且衰减速度很快. 另一个不同点是东亚地区的冷涌强度是往上衰减的, 而南亚地区的冷涌强度则是往上增强的. 这说明东亚冬季风和南亚冬季风的性质有较大的区别.

**关键词:** 东亚冬季风 南亚冬季风 突变 冷涌

### 引 言

东亚地区冬季风最主要的特征是寒潮的暴发和冷涌的建立, 过去的研究使得我们对东亚冬季风平均环流特征及冷涌<sup>[1~3]</sup>有了相当的认识. 在海平面气压场上最突出的特征是中心位于西伯利亚和蒙古的反气旋及太平洋北部的阿留申低压, 这两个活动中心之间强大的气压梯度力造成东亚沿岸偏北的地转风. 最近的研究揭示, 冷涌不仅存在着短期脉动, 而且在动力和热力特征上, 也具有从重力波到行星尺度波的变化特征. 冷涌是大尺度环流的组成部分并与之有相互作用, 因此不讨论冷涌的产生与演变则无法完整讨论行星尺度的冬季风环流. 过去, 由于资料的局限, 对其演变特征的研究工作较少. 叶笃正等<sup>[4]</sup>用早期的资料发现东亚地区冬季风的演变中存在明显的“十月突变”, 但尚需用更长的资料去确证. 本文将用较新的ECMWF的7年候平均资料来讨论东亚冬季风演变的特征, 并将结合南亚地区加以对比分析.

### 1 资料及分析方法

本文采用1980~1986年欧洲中期数值预报中心(ECMWF)分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 逐

\* 本文由中日季风合作研究计划支持.  
1995-12-28 收到, 1996-06-24 收到再改稿.

日网格点资料, 并将一个月分为 6 个候作候平均, 再作 7 年平均, 资料范围取  $45^{\circ}\text{E} \sim 135^{\circ}\text{W}$ 、 $50^{\circ}\text{N} \sim 30^{\circ}\text{S}$ , 包括了东亚季风区、南亚季风区和部分东太平洋, 目的是考察东亚季风演变时, 南亚季风区和太平洋上的一些变化. 取 8~3 月  $u$ 、 $v$  和  $T_3$  个要素的候平均资料, 考察夏季风环流向冬季风环流转变的气候学特征. 用 ECMWF 两层 (1000 hPa 和 850 hPa) 资料计算 1980~1983 年 10 月至第二年 3 月逐月的冷涌出现的频率, 并作平均, 用以考察冷涌在东亚活动的情况, 并与南亚地区冷涌的活动作比较.

## 2 冷涌分布的演变

冷涌是当中高纬度冷空气突然向南暴发, 引起中国南部、南海地区及西太平洋低层偏北风加强, 地表气温突然降低的现象. 关于冷涌的定义目前尚无统一标准. 这里规定, 只要 24 小时内出现偏北风  $\geq 8\text{m/s}$  则视为出现一次冷涌. 这一强度标准比 Lau 和 Lau<sup>[3]</sup> 规定的要大. 考虑到偏北风在达到  $8\text{m/s}$  之前后都需要一段时间, 因此这一规定意味着强北风具有一定的持续时间.

从图 1 可见, 10 月份, 东海、南海已有冷涌发生, 但频率较低, 约  $10\% \sim 20\%$ , 频率中心在西太平洋, 最大频率中心在太平洋日界线东, 太平洋中部及以东的高频区代表副热带高压南侧的东北信风涌区, 与这里讨论的东亚冷涌无关. 印度西部也有冷涌发生 (这里暂称为冷涌); 11 月份, 南海已出现冷涌中心, 频数与西太平洋相同, 东北信风涌最大中心位于北半球副热带东太平洋地区, 索马里以东沿海开始出现冷涌 (暂称); 12 月份, 南海出现最大冷涌频率中心, 西太平洋冷涌频率也有所增加, 但已小于南海, 东太平洋信风涌频率减小, 而索马里以东沿海频率已增加, 孟加拉湾也开始出现冷涌; 1 月份, 南海冷涌频率减少, 西太平洋略有增加, 中东太平洋信风涌衰减较大, 索马里冷涌也略微减少, 孟加拉湾看不到冷涌中心; 2 月份, 南海冷涌衰减较大, 西太平洋中心频率不变, 只是范围略微缩小, 东太平洋略有增加, 索马里冷涌继续衰减并分裂成两块; 3 月份, 南海冷涌消失, 西太平洋冷涌也有较大衰减, 中东太平洋 ( $150^{\circ}\text{E} \sim 135^{\circ}\text{W}$ ) 大范围区域信风涌猛然增强, 成为北太平洋地区主要的风系, 索马里冷涌中心消失, 印度西部仍残留一冷涌中心.

一般而言, 冷源的强迫强度大则冷涌也强, 这从 10~12 月份冷涌的演变可清楚的看到, 南海地区和西太平洋冷涌持续增强; 但 1 月份南海地区冷涌反不如 12 月份强, 而西太平洋冷涌却达到最强. 其原因也许在于冷源过强会导致上空低槽强烈发展并切断为低涡, 使低层冷空气向东输送, 不利于向南暴发<sup>[3]</sup>. 孟加拉湾位于青藏高原的南部, 由于青藏高原对冷空气的阻挡作用, 孟加拉湾冷涌可能主要与来自东亚地区绕青藏高原东部的冷空气输送有关, 因此其强度较南海地区弱, 且很大程度上受南海地区冷涌强度的影响, 这在下节的讨论中也可清楚的看到, 但索马里冷涌强度则与其北部冷空气向南的暴发有关, 次级海陆热力差异起主要作用.

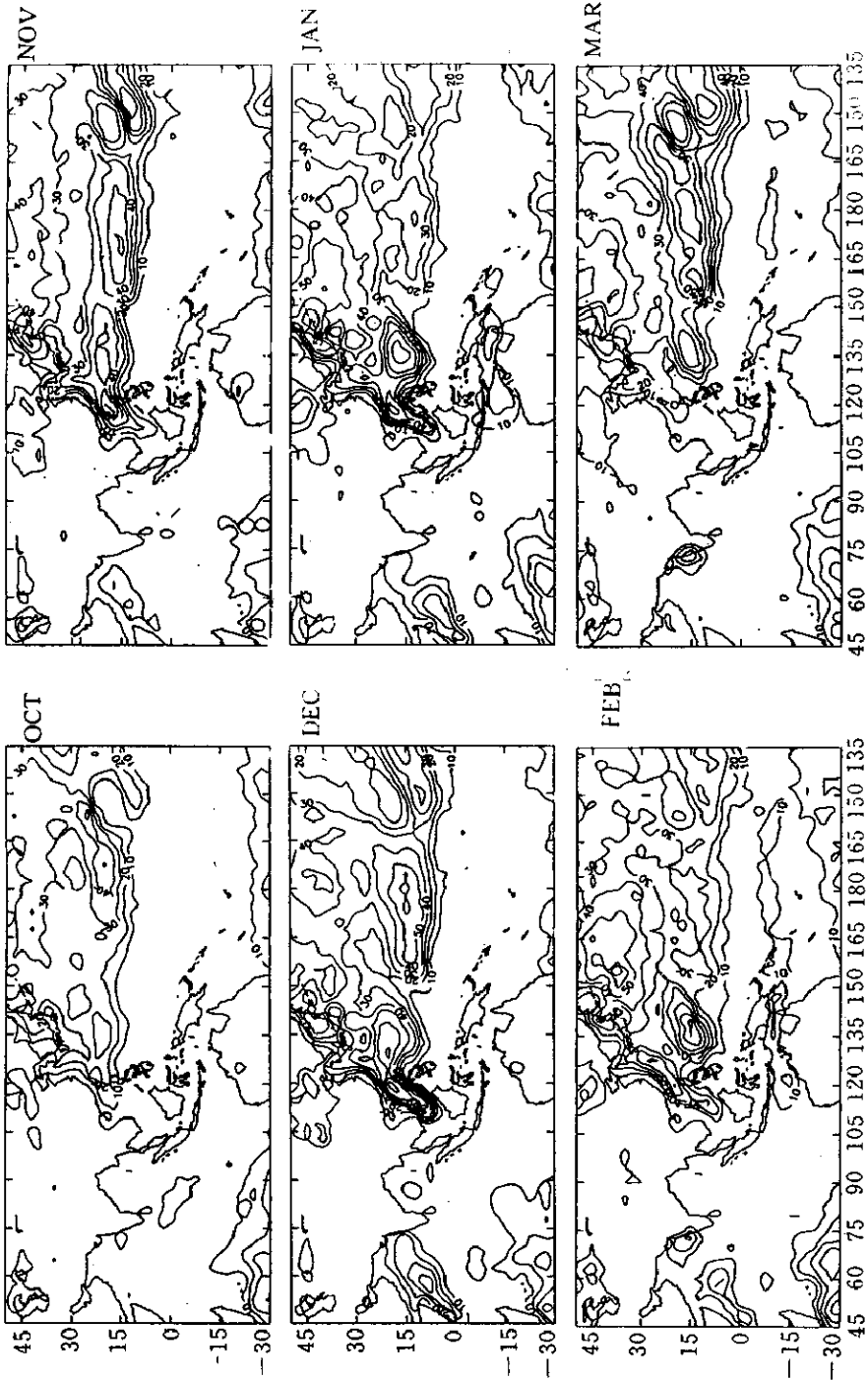


图1 1980~1983年平均的10~3月1000 hPa偏北风 $\geq 8$  m/s的频率分布(等值线间隔为10%)

Fig. 1 The distributions of monthly frequency of wind speed by north with values equal to or greater than 8 m/s at 1000 hPa from October to March during 1980~1983 (intervals: 10%)

在 850 hPa 上(图略),南海及太平洋冷涌频率小于 1000 hPa 上的值,其中尤以太平洋衰减最大.以 12 月份为例,南海冷涌频率中心在 1000 hPa 上位于菲律宾西北,但在 850 hPa 上已南移到菲律宾东部,强度由 80% 减弱到 60%,西太平洋上由 67% 减弱到 33%,而东太平洋信风涌频率由 50% 减小到 10%,几乎消失.这表明南海及太平洋冷涌是浅薄的,这点与丁一汇等的研究一致<sup>[6]</sup>.但孟加拉湾和索马里冷涌却是向上增强的,约是 1000 hPa 的一倍,这可能与该地区冬半年存在的半永久性槽有关.这表明南亚地区的冷涌与东亚地区冷涌有性质上的不同.

东亚地区的冷涌与冬季风的暴发密切相关,而且个例研究证实<sup>[7]</sup>,冷涌最先表现为强东北风在南海中北部迅速建立,2~3 天后,可以在菲律宾以东洋面激起第二次冷涌;冷涌不仅会促使热带地区对流发展,导致局地 Hadley 环流加强,以及热带地区温度的骤降;也会间接造成高层热带东风及中纬度西风和急流的加强.

### 3 东亚冬季风的演变特征

#### 3.1 经向风速的演变特征

从图 2 (a), (b) 上可见,10 月中旬前,在对流层低层(1000 hPa),东亚大陆和南海盛行偏南风,10 月第 3 候 45° N 以南的中国大陆东部北风突然暴发,自此以后冬季风建立和盛行,表明冷高压在大陆建立.与此同时,在华南和南海地区可观测到更强的北风,这即为冷涌,其间约 30° N 附近是弱的北风或南风,这是很有意思的现象.冷涌开始时,向南可到达南海中部,这时大陆东部的南风已被北风取代.对流层高层(200 hPa)南风也突然暴发,40°~10° N 北风已被南风完全取代.此时东亚地区的经向季风环流圈已被完全破坏,代之以 Hadley 环流.这种突变在经向上是同时发生的,即中国大陆北风暴发与南海北风建立是同时的,高层南风暴发也是同时的,这可以成为冬季风环流建立的标志.这一突变的时间与叶笃正等<sup>[4]</sup>的研究相当一致,但他们所指“十月突变”的研究主要指出对流层高层急流突然向南扩展,西风急流从夏季的平均位置推移到冬季的平均位置.从本文的研究看,环流在经向上变化不但相当剧烈和明显,而且经向范围是很大的.北风一经建立就很稳定并向南扩张,表明随着冬季风的增强,低纬度对中纬度的强迫响应日益明显.11 月下旬开始有北风跨越赤道进入南半球,这时冷涌的影响已达到赤道地区甚至南半球.1~2 月份时,北风前缘可达到 10° S;而高层亦有南风跨越赤道进入北半球,只不过时间上稍微晚些(晚约 1 候),而且 12 月~2 月中旬,高层南海北部为南风大值区,说明冷涌通过低纬度的响应可明显改变低纬的风场,进而促使局地 Hadley 环流加强,从气候学上证实了丁一汇等的研究.12 月初, Hadley 环流的北缘(南风北界)突然南压约 8 个纬度,其南缘(南风南界)稳定向南扩张, Hadley 环流的范围不断扩大,并在冬季风最强盛时达到最大, Hadley 环流的南缘也约到了 10° S.到了 3 月北风先从南海北部、华南撤出,大陆北部北风也开始减弱,冬季风已大大减弱,冷涌亦随之减弱.高层跨赤道的南风亦迅速撤到赤道附近.

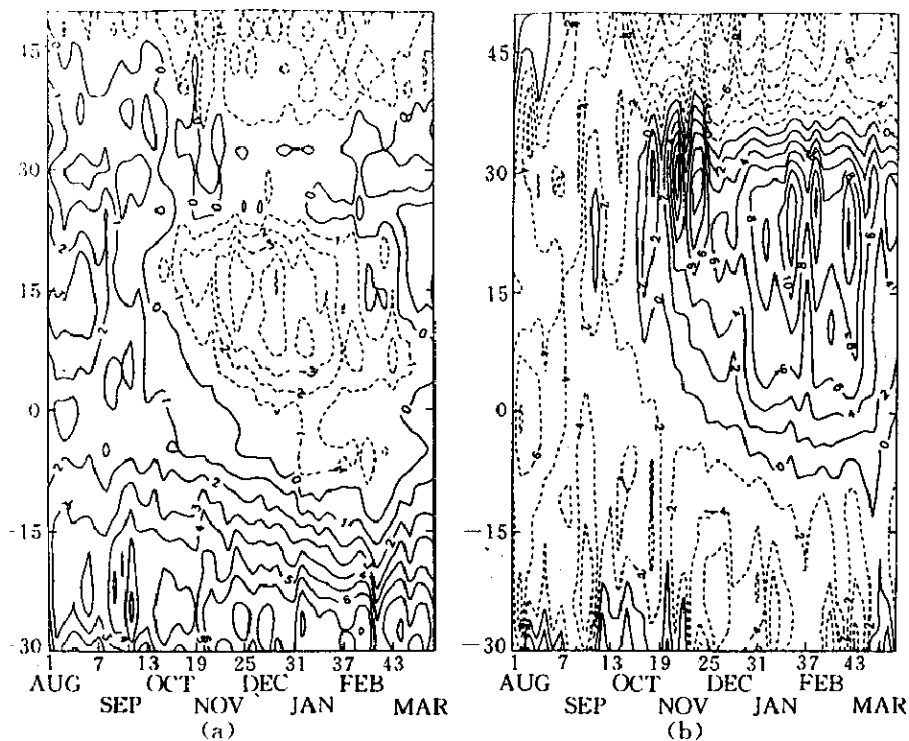


图2 东亚地区(a)1000 hPa 和(b)200 hPa 上候平均经向风速(105°~120°E 平均)的时间-纬度剖面图(横坐标为8~3月的48个候, 纵坐标为纬度, 1000 hPa 等值线间隔为1 m/s, 200 hPa 等值线间隔为2 m/s)

Fig. 2 Time-latitude section (105°~120°E) of pentad-averaged meridional wind speed (a) 1000 hPa and (b) 200 hPa (The x-axis indicates pentad number from August to March averaged 1980~1986. The y-axis represents latitude from 30°S to 50°N. 1000 hPa contour interval is 1 m/s. 200 hPa contour interval is 2m/s)

在孟加拉湾地区, 情况十分不同. 在对流层低层(图3(a)), 北风约于10月中旬在孟加拉湾北部开始暴发, 但比南海地区弱得多, 此时该区域东风亦开始暴发, 表明该区域冬季风有可能部分是南海冷涌西传的结果, 但其强度达不到冷涌的标准. 北风向赤道推进很快, 但推进速度比东亚地区略慢, 约在11月底跨越赤道进入南半球. 而对流层高层(图3(b))9月下旬南风开始在孟加拉湾中北部出现, 比低层要早约3候, 并且很快向南部暴发, 10月上旬南风已在孟加拉湾南部出现, 10月中旬已有跨赤道的南风进入北半球, 并在11月底开始稳定下来, 高层变化领先于低层, 这与东亚地区高低层几乎是同时暴发情况是不同的, 亦说明孟加拉湾高层经向风基本不受低层控制. 由于青藏高原对冬季风的屏障作用, 孟加拉湾冬季风较东亚地区弱得多, 因此对高层的影响远不如东亚地区.

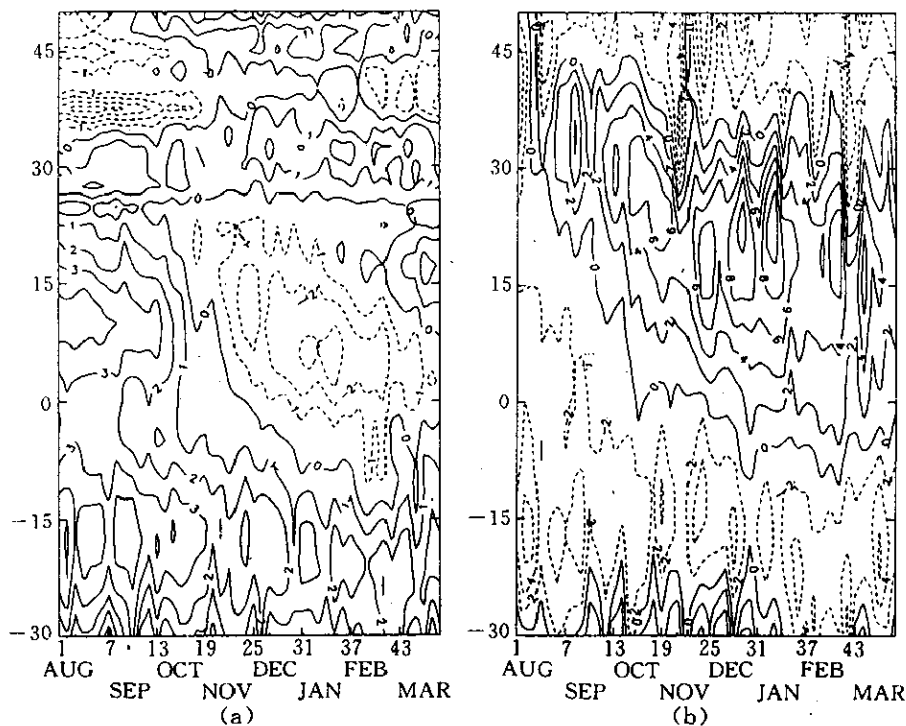


图3 同图2 但为孟加拉湾地区

Fig. 3 As in Fig. 2 but for Bay of Bengal (80°~95°E)

### 3.2 纬向风速的演变特征

图4(a)表明, 在对流层低层(1000 hPa)南海西风有两次突变: 第一次在9月初, 南海北部(15°~20°N)东风暴发, 但仅由西南风转为东南风, 表明夏季西南气流已从南海北部撤出; 第二次10月中旬随着冷涌的迅速发展, 南海南部东风暴发, 几乎整个南海地区都为东北冬季风控制, 以后逐渐向赤道推进. 11月末, 近赤道西风开始转为东风, 此时冷涌的影响已达赤道地区, 冷涌的频繁冲击会加强近赤道对流及高空东风. 在南半球, 热带东风逐渐南退, 并在约10°~20°S纬向风速有两次明显的突变: 一次约发生在12月下旬东风迅速被西风取代, 标志澳洲北部夏季风的暴发, 且西风增长十分迅速, 而此前南半球印尼夏季风约在11月初开始, 然后逐渐增强并缓慢向南发展, 11月下旬西风在经向上(0°~5°S)有明显的增强, 此时有来自北半球的越赤道气流在南半球转为西南风, 这有一定关系, 印尼没有明显的夏季风暴发, 且夏季风变化较小; 另一次发生在约3月上旬, 印尼至澳洲北部西风被东风迅速取代, 标志夏季风已从该地区迅速撤出. 在850 hPa上(图略)南半球热带表现为西风两次快速南进(11月上旬和12月中旬)和一次迅速北退(3月中旬), 而在北半球特征类似1000 hPa, 但变化缓慢. 200 hPa(图4(b))上, 最突出的特征是, 高空西风急流南压和加强. 10月中旬有一次明显南压, 西风急流到达32°N以南, 中心强度达44m/s. 12月上旬到达最南位置(30°N), 以后一直在这个位置

上稳定. 1月上旬达到最大值(66 m/s). 当然  $105^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$  之间并不是高空急流核的位置, 高空急流核位于日本东南部, 在1月第4候达到最强(约 84 m/s, 图略).

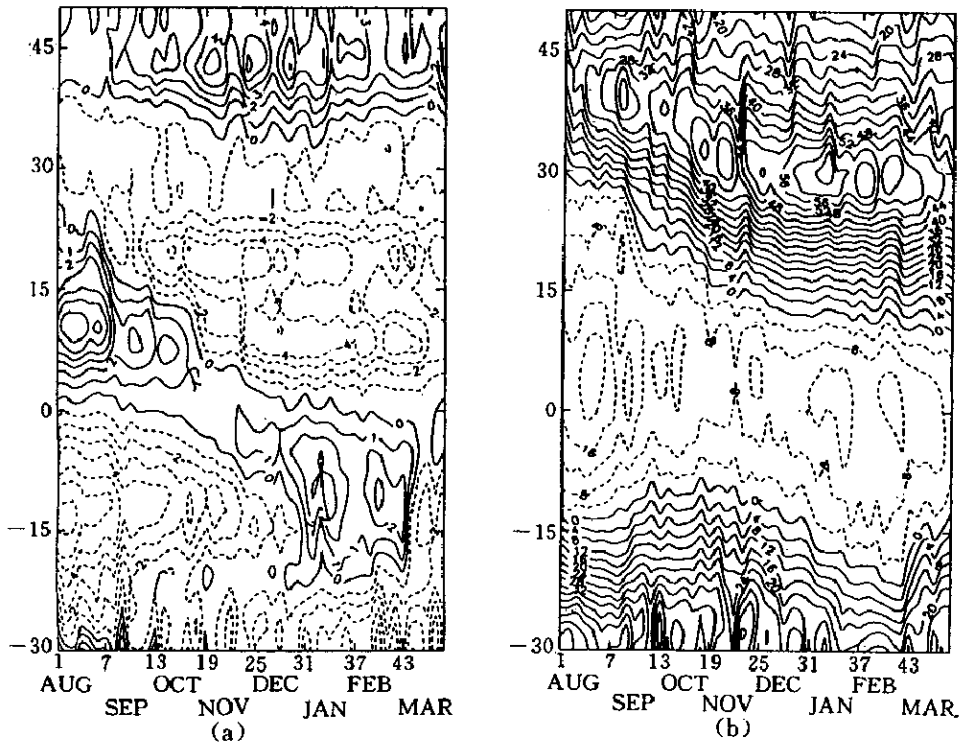


图4 东亚地区(a)1000 hPa 和(b)200 hPa 上候平均纬向风速( $105^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$  平均)的时间-纬度剖面图(单位: m/s)  
 Fig. 4 Time-latitude section ( $105^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ ) of pentad-averaged zonal wind speed (a) 1000 hPa (b) 200 hPa (units: m/s)

而孟加拉湾对流层低层(1000 hPa, 见图 5(a))纬向风速只在 10 月中旬有一次突变: 即孟加拉湾南部( $15^{\circ}\text{S}$ )东风开始暴发并很快扩展到孟加拉湾北部( $20^{\circ}\text{N}$ ). 这与东北季风突然加强有关. 随着冬季风加强, 孟加拉湾北部的东风也扩展到赤道附近, 南部西风已越过赤道进入南半球. 由此可以明显看出, 南印度洋西风的推进比南太平洋迟缓, 到达的纬度也偏北, 因而不存在澳洲北部那样强烈的夏季风暴发. 在 850 hPa 上(图略)南半球特征类似 1000 hPa, 但变化缓慢, 且孟加拉湾南部东风暴发要来得早些(约 10 月初). 200 hPa(图 5(b))上, 孟加拉湾高空急流轴 10 月中旬有一次明显南压过程, 与 10 月环流突变有关. 高空急流轴位置约在  $30^{\circ}\text{S}$ , 12 月中旬到达最南位置, 比东亚要晚, 最南位置亦偏南约 3 个纬度( $27^{\circ}\text{N}$ ). 孟加拉湾一带高空急流在 2 月初达到最大强度(52 m/s), 强度要比东亚沿岸弱得多. 南北两半球热带区域 8~3 月一直为东风所控制, 但范围有所缩小. 从 8 月初的  $30^{\circ}\text{N}\sim 15^{\circ}\text{S}$ , 到 11 月初已缩小到  $15^{\circ}\text{N}\sim 10^{\circ}\text{S}$ . 这一范围基本上是南北半球副热带反气旋之间的东风带, 比较稳定, 但强度逐渐减弱, 在 1 月最弱.

东亚热带东风急流比南亚要弱.

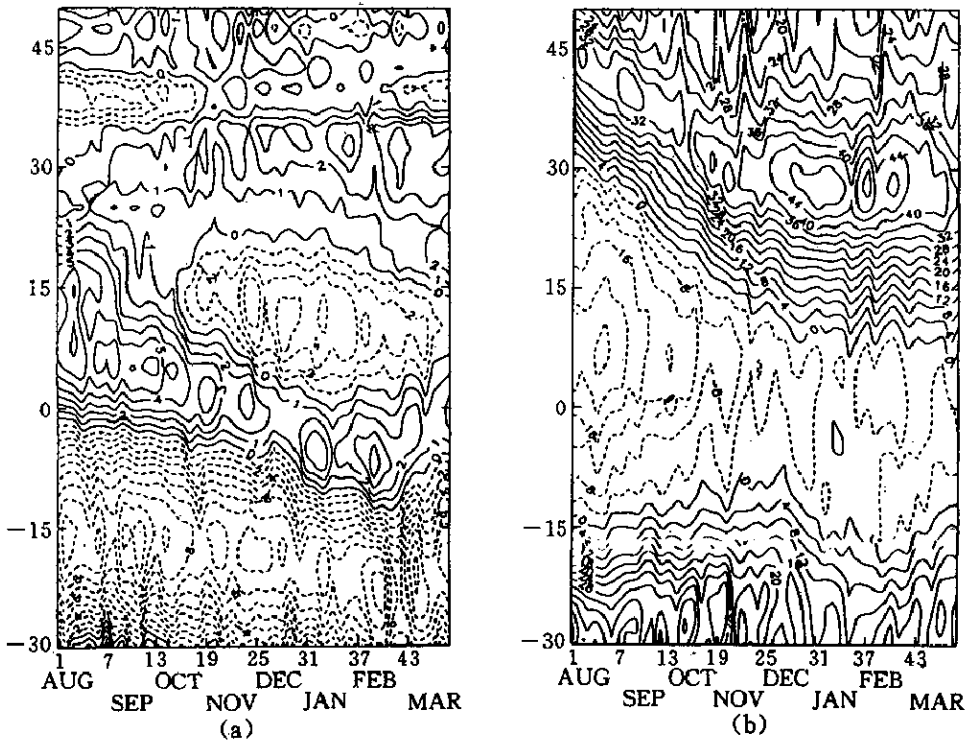


图5 同图4, 但为孟加拉湾地区

Fig. 5 As in Fig. 4, but for Bay of Bengal ( $80^{\circ}\sim 95^{\circ}\text{E}$ )

### 3.3 温度的演变特征

温度的演变见图6. 在冬季风的演变进程中, 中国大陆东部8~11月为温度快降期, 12~2月变化较小, 3月开始快速上升. 温度有3次突变. 第一次9月初表现为近地面层(1000 hPa)(图6a)南海南部暖区几乎消失殆尽( $28^{\circ}\text{C}$  高温度区); 第二次表现为近地面层1月初出现向赤道伸出的冷舌, 及对流层低层(850 hPa 图略)11月中旬 $50^{\circ}\text{N}\sim 5^{\circ}\text{S}$ 大范围地区剧烈的降温和在 $15^{\circ}\text{N}\sim 5^{\circ}\text{S}$ 有一个明显南伸的冷舌, 850 hPa冷舌出现比1000 hPa早约40天; 第三次变化的特征为1月下旬冷舌突然在 $15^{\circ}\text{N}\sim 5^{\circ}\text{S}$ 消失, 这在850 hPa和1000 hPa近乎同时. 其中, 第一次降温与大陆及南海热力减弱有关; 第二次降温与大陆冷空气向南暴发有关, “北风舌”与“冷舌”有很好的对应, 表明冷舌是与冷涌相伴相生的; 第三次冷舌消失和大陆升温都与冷空气减弱有关.

孟加拉湾(图6b)由于冬季风较弱, 降温不如东亚强烈, 且冷舌在12月末~1月初只伸展到约 $7^{\circ}\text{N}$ 附近, 不象东亚地区可达到南半球. 孟加拉湾冬季风进程中也有两次突变, 第一次突变为10月中旬孟加拉湾暖区消失及北部降温, 与冷空气向南暴发有关; 第二次是2月中旬孟加拉湾暖区重建及北方增温, 与孟加拉湾南风出现有关, 表明冬季风已撤出孟加拉湾. 孟加拉湾及南部温度与经向风有很好的对应关系, 几乎是南风对应暖区, 北风对应冷区. 这说明孟加拉湾地区的降温基本上是由于冷空气活动引起的, 从热



带地区冷舌的特征看也类似冷涌产生的。

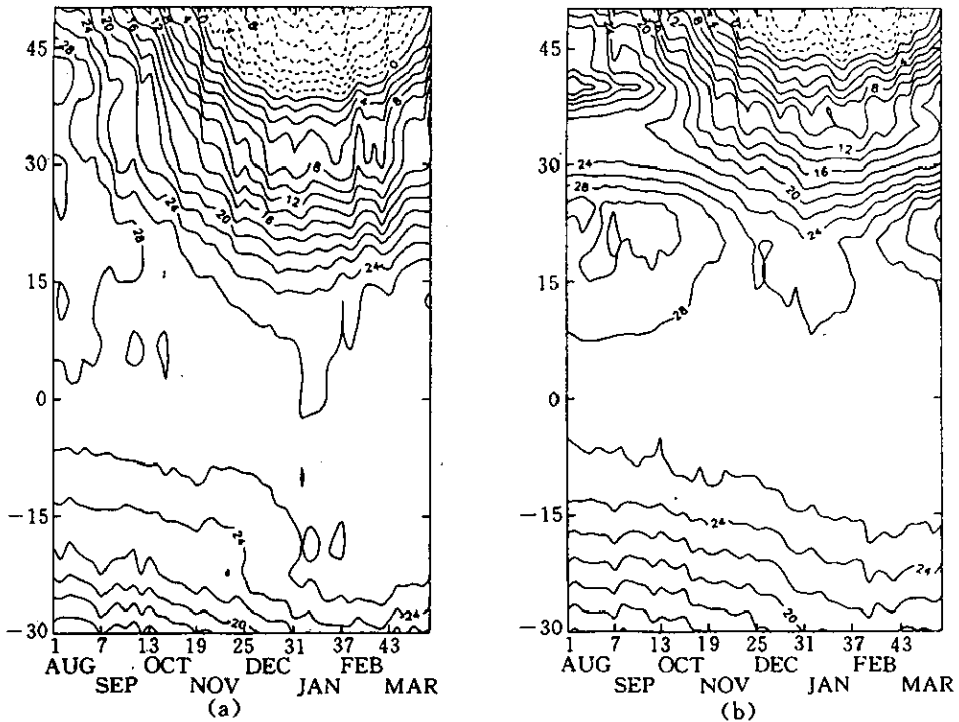


图6 (a)东亚地区( $105^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ )和(b)孟加拉湾地区( $80^{\circ}\sim 95^{\circ}\text{E}$ )1000 hPa上候平均温度的时间-纬度剖面图(单位:  $^{\circ}\text{C}$ )

Fig. 6 Time-latitude section of the pentad averaged temperatures at 1000 hPa over (a) East Asia ( $105^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ ) and (b) Bay of Bengal ( $80^{\circ}\sim 95^{\circ}\text{E}$ ) (units are  $^{\circ}\text{C}$ )

#### 4 讨论

在冬半年冷涌演变的分析中发现,东海、南海、西太平洋、孟加拉湾和索马里附近地区都有冷涌或类似于冷涌的现象发生.从东亚地区来看,冷涌最初是与10月中旬冬季风的暴发和环流的激烈突变联系在一起的,冷涌为其中的一环并起到相当重要的作用,通过冷涌加强热带地区的对流,促成高层向北的经向气流,以此破坏夏季风环流,并通过准地转作用加强中纬度西风 and 急流,且引起高层中纬度辐合下沉补充大陆冷高压辐散流出的气流,这也许是冬季风环流建立的一种机制.在冬季风强盛期,冷涌的响应可达到赤道地区并使高层东风增强,这对Walker环流也会造成影响;冷涌亦伴随热带地区温度大幅下降和冷舌发生;另一个作用是通过越赤道气流促使印尼至澳洲北部夏季风的加强.

孟加拉湾地区冷涌也许与东亚地区有关,但特征上与东亚地区有较大的不同,东亚

地区冷涌是浅薄的, 即偏北风随高度衰减很大, 但孟加拉湾地区冷涌是向上增强的, 这一特征在索马里附近亦有体现, 但索马里附近偏北风更象独立的冬季风系统, 而孟加拉湾地区冬季风基本来源于绕青藏高原的东北风气流, 更象东亚地区冬季风的伴生物. 朱乾根和扬松<sup>[8, 9]</sup>通过数值试验指出, 沿青藏高原南侧到达印度洋的锋后极大东北风涌具有 Kelvin 波的特性, 是大地形所激发的; 而向南传播到达赤道的锋前冷涌具有重力惯性波的性质, 是冷锋本身所激发的. Lim 和 Chang 认为<sup>[10]</sup>, 冷涌是中纬度地区风和质量调整的结果, 并通过重力波型的瞬变运动对能量产生频散引起热带地区的冷涌. 由此可见, 对东亚地区的冷涌的认识基本是一致的, 但孟加拉湾和索马里的偏北风是否为冷涌却很少有人讨论, 而他们与东亚地区一样基本是沿海岸形成的, 在性质上也有可能是一种 Kelvin 波, 这需要今后进一步研究.

本文既讨论了东亚冬季风演变的特征, 又与孟加拉湾地区冬季风演变作了比较. 东亚冬季风无疑是最强的, 并可以无阻碍地南下, 激发强烈的冷涌. 实际上, 在冷空气的暴发过程中, 涉及到较强烈的中高纬度行星波的调整, 并通过低纬度的响应反馈到高层及中纬度地区; 而孟加拉湾地区由于冬季风较弱, 没有象东亚地区那样强烈的中低纬度相互作用, 因而对高层的影响较小. 在两区域冬季风的差异中, 青藏高原在其中起到了相当重要的作用.

### 参 考 文 献

- 1 谢义炳, 陈玉樵. 西太平洋和东亚冬季流场和温度场. 中国地球物理学报, 1951, 9: 278~298.
- 2 Chang C P, Millard J and Chen G T. Cravitational character of cold surges during winter-MONEX. *Mon. Wea. Rev.*, 111: 293~307.
- 3 Lau N C and Lau K M. The structure and energetics of midlatitude disturbances accompanying cold-air outbreaks over East Asia. *Mon. Wea. Rev.*, 112: 1309~1327.
- 4 叶笃正, 陶诗言和李麦村. 在六月和十月大气环流的突变现象. 气象学报, 1971, 29: 249~263.
- 5 余 斌, 朱乾根, 徐祥德. 源地冷空气强度变异与冷涌活动特征的数值试验. 中国科学院研究生院学报, 1992, 9(4): 356~366.
- 6 Ding Yihui. Build-up, air mass transformation and propagation of Siberian high and its relations to cold surge in East Asia. *Meteorol. Atmos. Phys.*, 44: 281~292.
- 7 丁一汇, 蒙 晓. 一次东亚寒潮暴发后冷涌发展的研究. 气象学报, 1994, 52(4): 440~451.
- 8 Zhu Q G and Yang S. A numerical study on the effect of the Tibetan Plateau upon cold surge in East Asia. *Proc. Intern. Conf. On East Asia and western Pacific Meteor. and Climate*, 1988, 4~13.
- 9 扬 松, 朱乾根. 冷涌结构及冷涌期中低纬环流相互作用的数值试验. 热带气象, 1989, 5(3): 228~234.
- 10 Lim H and Chang C P. A theory of midlatitude forcing of tropical motions during winter monsoons. *J. Atmos. Sci.*, 1981, 38: 2377~2392.

## CLIMATOLOGICAL CHARACTERISTICS OF EVOLUTION OF EAST ASIAN WINTER MONSOON

Wang Qiyi    Ding Yihui

(National Climate Center, Beijing 100081)

### Abstract

Characteristics of evolution of East Asia winter monsoon and cold surge were discussed and compared with those in South Asia. It is found that there exist an abrupt change of meridional circulation in East Asia during middle October, which represents the onset of East Asia winter monsoon circulation. Three abrupt changes of temperature occur in lower troposphere in the early September, middle November and late January. However, the change of the circulation in South Asia is not as strong as in East Asia. The change of meridional wind in upper troposphere is earlier than that in lower troposphere. There exist two abrupt changes of the temperature in lower troposphere, which are weaker than in East Asia longitudinally. Furthermore, in East Asia, the frequency of cold surges has its maximum in South China Sea in December, but in west Pacific in January. On the other hand, in South Asia, the cold surges occur most frequently still in December, but much less than in East Asia, and they decrease quickly with time. Another different aspect is that the cold surge frequencies decrease upward in East Asia, but increase in South Asia.

**Key words:** East Asian winter monsoon    South Asia winter monsoon    Abrupt change  
Cold surge