

南海夏季风强弱年东亚 地表热力异常特征的合成研究*

严 蜜, 钱永甫

(南京大学大气科学系//灾害性天气气候研究所, 江苏 南京 210093)

摘 要: 利用 NCAR/NCEP1948 年 1 月 - 2002 年 12 月共 55 a 660 个月的地表感热通量和地表潜热通量以及其它气象场的月平均再分析资料, 计算了期间 5 - 6 月平均的南海夏季风湿位涡强度指数。由标准化的湿位涡强度指数距平的年际变化曲线, 选择距平值大于 0.5 的年份为季风爆发的强年, 距平值小于 -0.5 的年份为季风爆发的弱年, 对强、弱年东亚及其周边地区的地表潜热通量 (LHF) 距平、地表感热通量 (SHF) 距平以及海平面气压 (SLP) 距平的分布特征进行了合成分析。结果表明, 在南海夏季风爆发强年和弱年, 其前期冬春季的地表潜热通量、感热通量以及海平面气压场的距平分布有很大不同, 前冬的差别更为明显。冬季, LHF 和 SHF 在强、弱年的主要差异在海洋上和近海地区, 尤其是西太平洋沿岸, 合成距平呈现沿海岸线的东北 - 西南向的带状分布, 强年沿岸为正距平, 弱年为负距平。LHF 和 SHF 标准化距平叠加之和有同样的区域分布特征。这种强、弱年的距平分布差异, 与低层风场在强、弱年的不同有密切关系, 强年东亚冬季风偏强, 弱年则反之。强、弱年 SLP 在前冬的距平差异, 验证了上述结论。

关键词: 南海夏季风; 地表感热通量; 地表潜热通量

中图分类号: P425.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529 - 6579 (2009) 02 - 0124 - 07

Composite Study of the Surface Thermal Anomaly over the East Asia in Strong and Weak SCS Summer Monsoon Years

YAN Mi, QIAN Yongfu

(Department of Atmospheric Sciences, Institute of Severe Weather and Climate,
Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: The monthly-mean reanalysis data of NCEP/NCAR from January 1948 to December 2002, including the surface sensible heat flux (SHF), the surface latent heat flux (LHF) and other meteorological fields are used to calculate the average values of intensity index of moist potential vorticity (MPV) of the South China Sea summer monsoon from May to June of these 55 years in this paper. From the standardized time series of the intensity index of MPV, the years with values larger than 0.5 are defined as strong years of the monsoon, and the years with values less than -0.5 as weak years. The composite analysis of the anomaly fields of SHF, LHF in these strong and weak years is conducted. The results show that the anomaly fields of SHF and LHF in the previous winters and springs of those strong and weak years are quite different, especially in the previous winters, during which the main differences of LHF and SHF between the strong and the weak years occur over and close to the ocean, particularly along the coastal areas of the Western Pacific. The composite anomalies show the banded distribution going through northeast to southwest along the coastline. The sum of the standardized anomalies of LHF and SHF has the similar distribution. The difference of the anomalies between the strong and the weak years is closely related to the difference in the low level wind fields. The distribution characters of anomaly fields of the

* 收稿日期: 2008 - 02 - 13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40675042); 国家重点基础研究发展计划基金资助项目 (2004CB418300)

作者简介: 严蜜 (1979 年生), 女, 博士研究生; 通讯作者: 钱永甫; E-mail: qianzh2@nju.edu.cn

sea level pressure in the previous winters support the above-mentioned conclusions.

Key words: South China Sea summer monsoon; the surface sensible heat flux; the surface latent heat flux; composite analysis

在亚洲季风的季节变化过程中, 通常认为南海(SCS)地区的夏季风爆发最早, 平均在5月中旬。南海季风爆发后, 一方面在东亚地区向北和东北方向扩展, 另一方面向孟加拉湾与印度次大陆扩展, 并与6月上旬印度季风的爆发相联系。南海季风的爆发标志着东亚夏季风的来临和中国东部主雨季的开始。因此对南海夏季风建立过程的研究引起了广泛重视。南海季风试验(SCSMEX)也应运而生, 并取得了很多成果^[1-4]。研究发现, 南海季风爆发的强度以及时间都具有明显的年际和年代际变化^[5-6]。

不少学者也研究了影响南海季风爆发早晚和强度的因子, 包括海温^[7-13]、高原的热力作用^[14]和大尺度环流状况^[15]等异常的影响, 文献[16-17]还指出地表感热通量的异常强迫会影响南海季风爆发的迟早和强弱。在过去的研究中, 还有不少问题没有涉及。例如, 多数学者在分析南海季风异常的影响因子时, 主要注意季风爆发前期几个候中的环流形势和热力异常等因子对季风爆发早晚和强弱的作用, 而南海季风作为一种气候现象, 更长时间尺度的环流形势和热力异常等因子对季风爆发早晚和强弱的作用又如何, 是一个值得深入研究的问题。再如, 在南海季风异常的研究中, 关于爆发时间的异常特征及其机理研究较多, 而关于季风强度的异常及其影响因子研究较少。而南海季风强度的异常, 与南海地区、华南甚至江淮流域的降水异常都有密切的关系^[18]。

另外, 常见的概念是南海夏季风爆发早(晚), 其强度相应偏强(弱), 但本文作者通过对比发现二者的对应关系并不绝对, 在研究时最好将二者分开。因此, 本文首先从东亚地区地面热力异常特征出发, 研究地面热力异常的空间形态和时间变化对南海季风爆发强度的影响, 对爆发早晚的影响将另文探讨。由于大气环流和地表热力因子之间存在相互作用, 研究地表热力异常的影响也包含了环流异常的作用, 因此, 本文选择月平均的地表感热和潜热通量密度(以后简称为“通量”)以及海平面气压作为地表热力因子的代表量, 同时将前期的时间尺度扩展到南海夏季风爆发的前期冬春季, 以期为更长时间尺度的南海季风强度异常的预测提供依据。

1 资料及南海季风强弱年的选取

本文采用的资料为NCEP/NCAR 1948年1月-2002年12月共55 a 660个月份的月平均地表潜热通量和感热通量以及月平均海平面气压场。为了分析方便, 将通量资料从 192×94 个高斯格点值处理成 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 的经纬度格点值, 与海平面气压场的分辨率相同。此外, 本文将研究范围扩大为($60^\circ\text{E} - 180^\circ\text{E}, 30^\circ\text{S} - 60^\circ\text{N}$)的东亚及其邻近地区, 以便考虑西太平洋和印度洋大部分海洋地区地面热力异常对南海季风强度的影响。文中所涉及的地表热通量均为地面向上地表热通量。

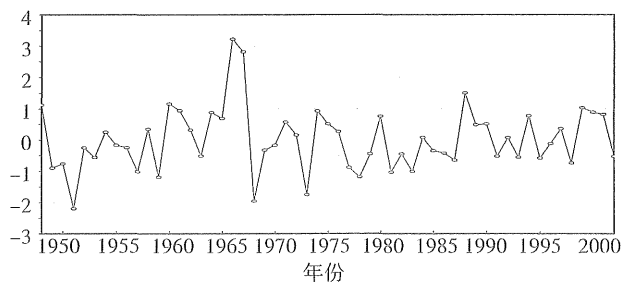


图1 1948-2002年南海5-6月平均的夏季风强度标准化距平的逐年演变图

Fig. 1 The June to July averaged standardized time series of the SCS summer monsoon intensity index from 1948 to 2002

根据文献[19]的MPV夏季风强度指数定义, 计算得到了1948-2002年5-6月平均的SCS夏季风强度指数的年际变化曲线(图1)。将这55 a中标准化指数距平大于0.5标准差的年份定义为SCS夏季风强年, 小于-0.5标准差的年份定义为SCS夏季风弱年, 由此得到15个SCS夏季风爆发强年和17个弱年。其余有22年为SCS夏季风强度正常年。

2 南海夏季风强弱年前期下垫面热力异常特征的合成分析

将上述南海夏季风强、弱年前期12月至当年5月的地面潜热、感热通量和海平面气压的距平按月进行合成, 得到各月平均的距平值的空间分布。通过逐月平均合成距平图的分析发现, 在南海夏季风爆发的强年和弱年, 其前期冬春季的地表潜热通量、感热通量和海平面气压场的距平分布形态有很

大不同。前冬 12 月份的差别更为明显。因此, 本文重点讨论前冬 12 月份下垫面热力异常合成场的差异。

2.1 地表潜热通量 (LHF) 的异常特征

如前所述, 地表潜热通量实际上是地面供给大气的水汽通量, 虽然不直接加热大气, 但在合适的环流条件下, 通过凝结可以释放热量而加热大气。同时, 地表潜热通量直接影响地面的热量收支, 改变地面温度, 从而也改变地气间的感热交换。在地-气间的能量交换中, 地表潜热通量的输送是主要的, 特别是在海洋上和湿润的陆地上, 下面首先分析南海季风强弱年前期潜热通量距平的空间差异。

南海夏季风爆发强年和弱年前期 12 月份的地表潜热通量距平合成分布显示 (图 2a、b), 二者的差异主要在海洋上和近海地区, 尤其是西太平洋沿岸, 距平呈现沿海岸线的东北-西南向的带状分布, 强年沿岸为正距平带, 弱年为负距平带, 而且距平带相间分布, 强、弱年的符号相反。(潜热通量正距平说明这些年份的地表向上潜热通量比多年平均值大, 负距平则小。下同。) 从图 2a 和 2b 中还可以看到, 在赤道和热带地区, 大致以 100°E - 110°E 为界, 强年其西为正距平, 其东为负距平, 弱年则相反。在南半球的热带外地区, 也有明显的强弱年分布差异。强年基本为正距平, 弱年为负距平。

为了更清楚地看出两者的不同分布, 在图 2c 中给出强、弱年潜热通量距平的乘积, 在乘积为负值的地区, 表示强、弱年潜热通量距平是相反的, 负值愈大强、弱年距平的差异愈大, 正值区两者的距平符号相同, 只是距平数值大小有差异。因此, 用两者距平的乘积图, 可以十分方便地揭示它们的差异区。由图 2c 可见, 强、弱年潜热通量距平的相反区面积很大, 差异的大值区主要集中在孟加拉湾、南海北部和西太平洋等海洋地区。在大陆地区, 由于冬季的潜热本身很小, 差异不明显。

地面潜热通量不仅与下垫面和大气之间的湿度差有关, 而且与低层大气中风速的大小关系密切。冬季, 当地面湿度愈大而低层大气愈干燥时, 在同样的风速下, 地面向大气输送的潜热通量愈大。在不同年份, 地面与大气同样的湿度差条件下, 当该年风速愈大, 潜热通量也愈大。因此, 强、弱年潜热通量异常的差别, 由两方面因素共同确定。在冬季东亚沿岸为冬季风控制, 基本气流为东北气流。结合 12 月 850 hPa 强弱年流场差值 (强年-弱年) 的分布图 (图 2d), 可以看到, 强年前期 12 月份西太平洋沿岸至南海北部一带的东北气流比弱年的

强。在我国东北地区至贝加尔湖一带, 西北风偏强, 其东地区出现气旋性差值环流。流场上的这些差异, 正好表明东亚大陆的蒙古冷高压偏强, 也即冬季风偏强。从 850hPa 水汽图上 (图略) 看到, 西太平洋沿岸地区强年为正距平, 弱年为负距平, 与潜热通量距平的分布一致, 可见在季风爆发强年地表潜热通量偏多, 水汽从下垫面蒸发偏多, 大气得到的水汽因而增加。由此可知, 强年前期西太平洋沿岸偏大的地面向上潜热输送, 主要是由前期东亚冬季风偏强所致, 弱年则相反。

季风爆发强、弱年前期的地表潜热通量距平差异, 在冬季可以用 12 月份为代表, 1-2 月份基本延续 12 月份的分布形势。LHF 冬季的距平分布形势 (图 2a、b) 一直到 3 月份才发生改变, 原来的负距平区变成了正距平区。例如, 在 120°E 以东和 20°S - 20°N 的西太平洋地区, 强年前期在整个冬季都是 LHF 负距平, 到了春季则变成了正距平, 西太平洋沿岸地区冬季的正距平区变为负距平区。弱年则相反。LHF 在春季的距平分布可以用 3 月份为代表 (图略), 4-5 月份也基本延续 3 月份的分布形势。不过, 对于西太平洋沿岸地区, 弱年春季的 LHF 负距平更显著。说明这些区域内的 LHF 距平均具有较长的时间延续性 (约一季) 和季节差异性, 即冬春季 LHF 距平的空间分布形势基本相反。

2.2 地表感热通量 (SHF) 的异常特征

虽然感热输送在地-气间的能量交换中通常所占比例比潜热小, 但是地表感热通量对大气的加热作用是直接的, 感热通量的变化会对大气环流产生直接的影响。

由南海夏季风爆发偏强年和偏弱年前期 12 月份的地表感热通量距平合成分布 (图 3a、b) 可以看到, 强、弱年在中高纬度的沿海和海洋中, 感热通量距平明显相反。在 140°E 以东 55°N 以南的海洋上, 强、弱年的差异尤为明显。在我国的西太平洋沿岸地区, 从日本海一直到南海北部都是感热通量的距平大值区。在强年, 靠近大陆的沿海海洋是正距平区, 在弱年, 则为负距平区。在中南半岛南部至澳大利亚的海洋及陆地上, 强、弱年的感热通量距平也基本相反。在东亚大陆地区, 虽然强、弱年感热通量距平的符号基本相反, 但距平值都不大。青藏高原的西南部, 强年为感热通量正距平, 弱年为负距平, 但两者的范围都较小。可见, 强、弱年冬季的感热通量距平差异主要表现在海洋上, 陆地上不明显, 这显然是因为冬季海洋地区的洋面温度比近地层气温高得多, 而陆地上地面与大气的

温差较小之故。

如同潜热通量距平一样，感热通量的距平既取决于盛行风的风速异常，也取决于地面与大气之间温度差的异常。从图 3 并结合图 2d 可以判断，强年在我国东部沿海海洋区、日本海及其以东地区的感热通量正距平，显然是由于低层盛行的冬季风增

强所致，而西太平洋西北部的负距平区，显然是由于盛行的冬季风被削弱所致。这都表明在强夏季风年，我国大陆及沿岸地区的冬季风是增强的。这一结论与从强、弱年潜热通量距平的差异分析中得到的完全一致。

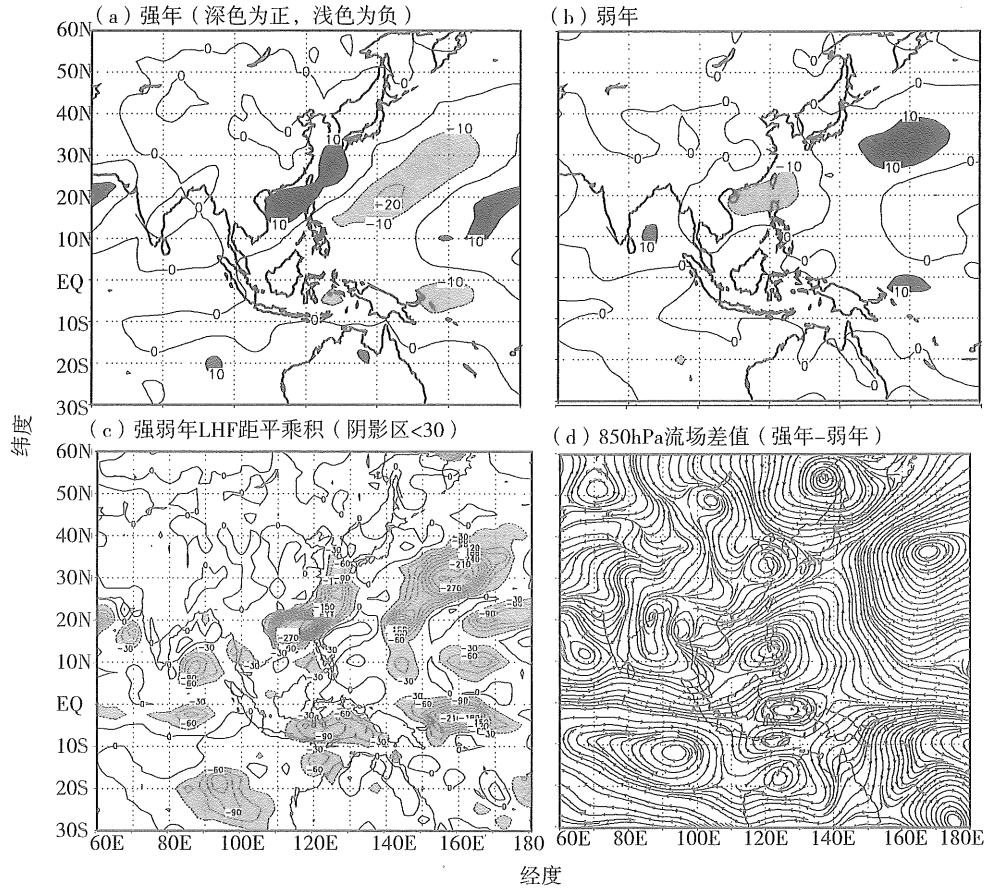


图2 南海季风爆发前期12月份LHF的多年合成 (单位: W/m^2)

Fig.2 The fields of the anomalies of the surface latent heat flux in the previous December for the strong

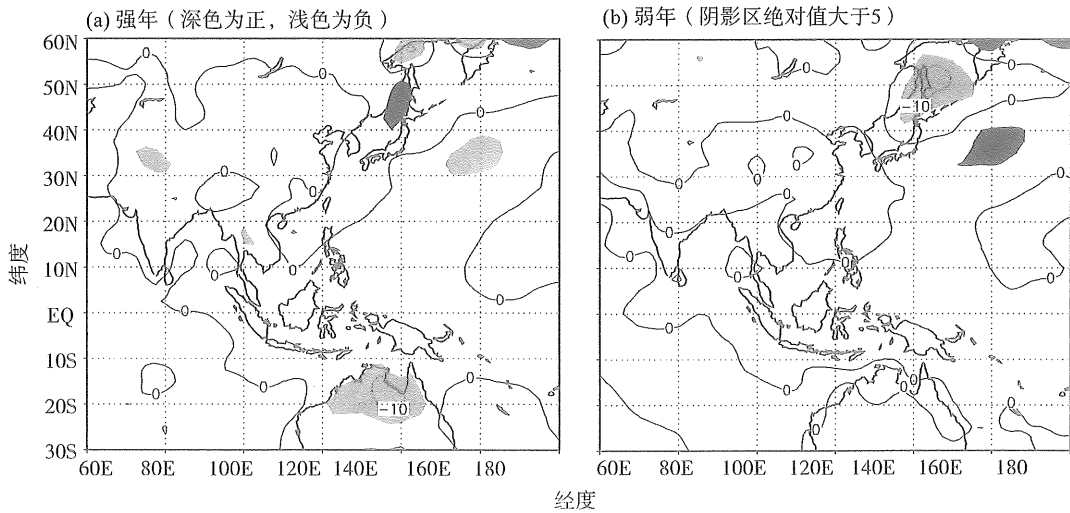


图3 南海夏季风爆发前期 12 月份的地面感热距平合成分布 (单位: W/m^2)

Fig. 3 The fields of the anomalies of the surface sensible heat flux in the previous December for the years of the strong (a) and weak (b) SCSSM intensity (unit: W/m^2)

冬季感热通量异常的空间分布形势可以延续到 3 月份, 从 4-5 月, 季风爆发强、弱年前期感热通量距平的分布形势发生了变化。随着春季大陆表面的迅速加热, 地面向上的感热通量增大, 感热通量异常的数值也明显增加, 距平大值区从海洋逐步移向大陆, 海洋上反而成为感热通量距平的小值区 (图略)。4 月份 (图略), 强年在青藏高原及其附近为感热通量负距平中心, 周围大陆也以负距平为主。到 5 月 (图略), 除青藏高原及其附近仍为负距平外, 在 40°N 以北有准纬向的感热通量正距平带出现, 说明在 40°N 以北的大陆上, 强年的加热比常年强, 这种中高纬度大陆上南北向的加热差异, 会促使夏季风偏强^[17]。强年与弱年的最大差异是, 4-5 月弱年在中南半岛及其附近是明显的感热通量正距平, 而大陆是负距平。这种距平分布使弱年在中南半岛一带感热加热比常年偏大, 而以北的我国大陆地区感热加热比常年偏小, 南北向温度差变号的时间因此而推迟, 季风爆发通常也推迟且强度会偏弱^[17]。

由于 SHF 与 LHF 是热量平衡中两个重要的组成因子, 而且在沿海和西太平洋等海洋地区两者的距平分布形势在强弱年都分别相似, 分析标准化后的 SHF 与 LHF 的距平分布形势 (图略), 也发现它们在沿海和海洋上基本一致, 而在大陆上则基本相反。因此我们可将二者相叠加, 以考察它们对南海季风强度的共同影响。但是, SHF 在能量平衡中所占的比例较小, 与 LHF 的量值相差较大, 如直接用距平值合成, 则看不到 SHF 距平的作用, SHF 和 LHF 距平之和的分布与 LHF 距平的分布形势会

基本一样, 所以用二者的标准化距平作叠加比较合理。图 4c, d 为南海夏季风爆发偏强年 (c) 和偏弱年 (d) 前期 12 月份的 LHF 与 SHF 标准化距平之和的合成分布。由图 4 可以看到, 在沿海和海洋上 LHF 与 SHF 标准化距平之和在南海季风强弱年的分布有非常明显的差异。在北半球, 感热和潜热通量标准化距平之和呈东北西南向的带状分布, 强年从沿海至西太平洋距平带的符号为 “+ - +”, 而弱年则几乎完全相反。在 10°N 以南至 30°S, 强、弱年标准化距平之和的分布形势也几乎完全相反, 不再赘述。大陆上由于 LHF 与 SHF 标准化距平符号相反, 强度相当, 所以大部分地区标准化距平之和为 0。

看来, 对于季风爆发强度的影响, 海洋地区感热和潜热的作用相互叠加而得到加强。

2.3 海平面气压场 (SLP) 的异常特征

众所周知, 东亚及其周边地区是季风显著区。冬季, 东亚大陆为蒙古冷高压所控制, 我国沿海及东南亚地区盛行东北气流。冷高压愈强, 冬季风也愈强。分析前期 12 月份的 SLP 合成距平的分布 (图 5), 可以看到, 强年在 30°N 以北的整个大陆基本都为正距平, 中心位于贝加尔湖一带 (图 5a)。弱年, 在 30°N 以北的大陆基本上为负距平, 大值区在 45°N 及以北, 在西北太平洋地区还有一个负距平中心, SLP 本身在青藏高原地区没有意义, 不必涉及。而在南亚的印度、孟加拉湾、中南半岛、南海及其以东海面和印度尼西亚等地区为大片的正距平区, 这种距平分布必然减弱我国大陆和沿岸地区的东北气流 (图 5b)。由此可见, 当冬季

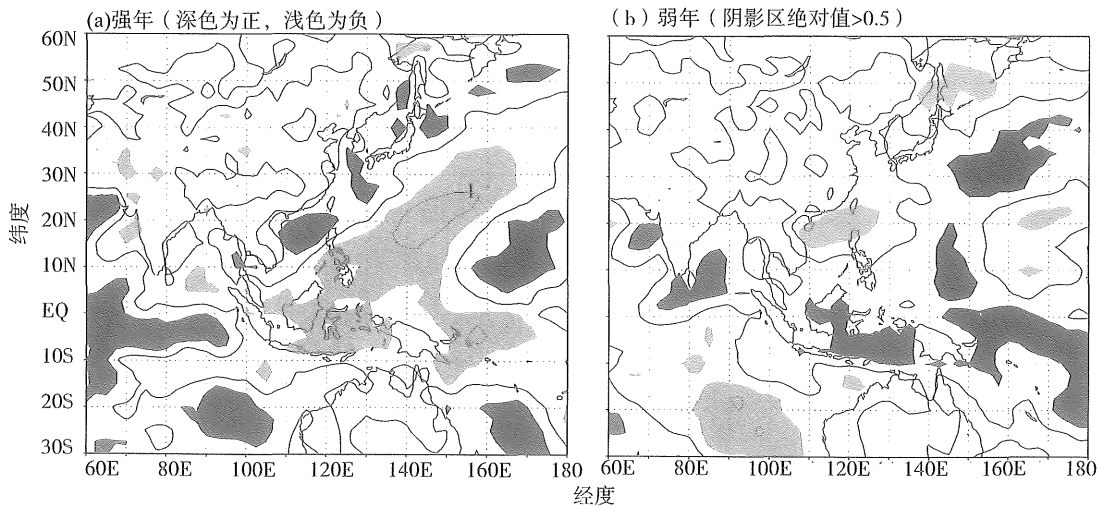


图 4 南海夏季风爆发前期 12 月份的 LHF 与 SHF 标准化距平之和合成分布

Fig. 4 The fields of the standardized anomalies of LHF plus SHF in the previous December for the years of the strong (a) and weak (b) SCSSM intensity

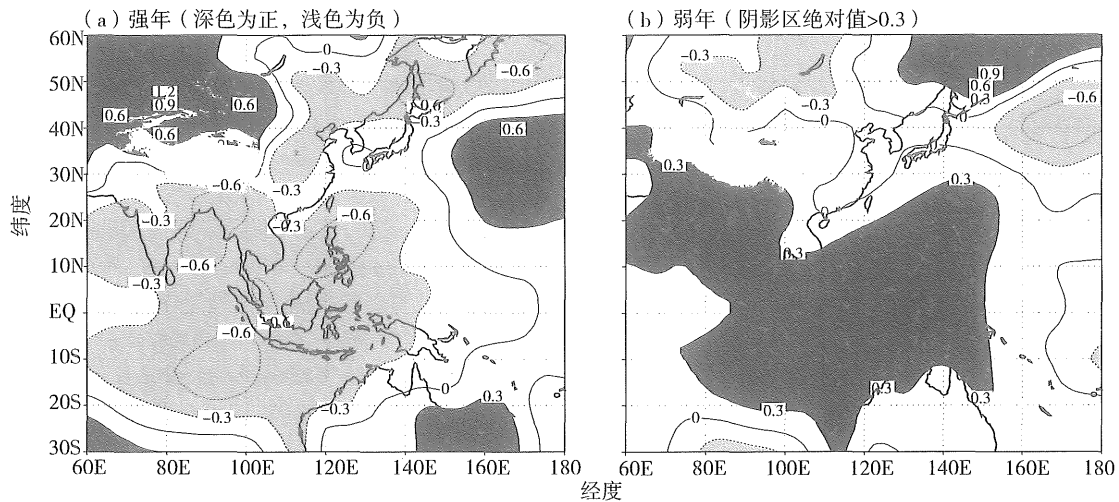


图 5 南海夏季风爆发前期 12 月海平面气压的合成距平分布

Fig. 5 The fields of the anomalies of SLP in early December for the years of the strong (a) and weak (b) SCSSM intensity

中高纬度的大陆蒙古高压偏强，冬季风也偏强的时候，后期的南海夏季风也偏强，反之亦然。我们还分析了 SLP 距平与南海夏季风爆发时间的关系，发现，当冬季蒙古高压偏强，冬季风也偏强的时候，南海夏季风通常爆发偏早。

1-3 月份合成距平的分布形势类似于 12 月份（图略），但距平的数值变小，并且范围也略有变化。直到 4 月，季风爆发弱年大陆 110°E 以西变为正距平，我国东北及以北地区变为负距平。此时大陆上合成距平的形势逐渐变成与冬季的相反。由于春季大陆上已逐渐为低压系统占据，因此，说明春季大陆低压强的时候南海季风也强，而低压弱的时候南海季风也弱。5 月是南海夏季风的爆发时期。强弱年 SLP 距平的分布形势同 4 月份。从多年平均的海平面气压场（图略）知道此时大陆已完全转为低压，大洋为高压。因此，强年春季大陆低压强，大陆低压与西太平洋副高之间的气压梯度偏强，夏季西南季风的风速增强，可以到达更北的纬度，这正是夏季风偏强的特征。弱年春季大陆低压弱，大陆低压与西太平洋副高之间的气压梯度偏弱，夏季西南季风的风速减弱，西南季风偏东，主要影响我国江淮流域，使该区降水偏多，这正是弱季风年的特征。

3 结 论

通过对南海夏季风强、弱年前期冬季（以 12 月为代表）和春季的地面感热、潜热通量和海平面气压合成距平的区域分布特征的比较，可以知道，强、弱年前期冬季合成的感热通量距平在北半

球的差异与潜热通量距平的分布形势相似。但是，在沿海和海洋地区，感热通量往往比潜热通量小，因此其距平值也较小，强、弱年距平的差异不如潜热通量的明显。但是标准化的季风爆发强、弱年前期潜热通量和感热通量距平之和的分布特征与潜热、感热通量距平的分布特征十分相似，因此，南海夏季风强度受到前期冬季潜热和感热通量距平的共同影响。结合强、弱年前期冬季的风场和气压场可知，前期冬季的地表潜热和感热通量距平分布特征主要取决于冬季风的强度。当冬季大陆的蒙古高压偏强，东北气流也偏强时，我国沿海地区的地表潜热和感热通量也偏大，反之亦然。

另外，南海夏季风爆发强、弱年前期地表潜热、感热通量和海平面气压合成距平的差异，具有季节的变化，春季的差异分布往往与冬季的相反。以海平面气压距平为例，当冬季大陆为正距平时，春季则为负距平，即冬季大陆的蒙古高压强时，春季大陆低压也偏强。

上述结论是从南海夏季风爆发强、弱年前期地表感热、潜热通量和海平面气压的合成距平的分析 and 比较中得到的。至于前期的距平分布如何影响后期南海夏季风的爆发强度，关键物理过程是什么，地面加热异常与季风强度异常在年际和年代际变化上的联系和相关程度又如何，地面加热异常对季风强度的影响中以何种空间变化型为主，以及影响的关键区又在哪儿等问题，还要作更为细致的研究。我们已经得到了有关上述问题的若干结果，但限于篇幅，都将另文讨论。

参考文献:

- [1] 陈隆勋,朱乾根,罗会邦,等. 东亚季风[M]. 北京:气象出版社,1991:362.
- [2] DING Y H, MURAKAMI M. The Asian Monsoon[M]. Beijing China: China Meteorological Press, 1994:263.
- [3] TAO S Y, CHEN L X. A review of recent research of the East Asian summer monsoon in China[C]// Chang C P, Krishnamurthi T N, eds. Monsoon Meteorology. USA: Oxford University Press,1987:60-92.
- [4] MA H N, DING Y H. The present status and future of research of the East Asian monsoon[J]. Adv Atmos Sci, 1997, 14: 125-140.
- [5] 高辉,何金海,谭言科,等. 40a 南海夏季风建立日期的确定[J]. 南京气象学院学报,2001,24(3):379-383
GAO Hui, HE Jinhai, Tan Yanke, LIU Junjie. Definition of 40-year onset date of South China Sea Summer Monsoon[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2001, 24(3): 379-383.
- [6] 戴念军,谢安,张勇. 南海夏季风活动的年际和年代际特征[J]. 气候与环境研究,2000,5(4):363-374.
DAI Nianjun, XIE An, ZHANG Yong. Interannual and Interdecadal variations of Summer Monsoon activities over South China Sea. Climatic and Environmental Research, 2000,5(4):363-374.
- [7] 陈隆勋,刘洪庆,王文,等. 南海及其临近地区夏季风爆发的特征及其机制的初步研究[J]. 气象学报,1999,57(1):16-29.
CHEN Longxun, LIU Hongqing, WANG Wen, et al. Preliminary study on the characteristics and mechanism of Summer Monsoon onset over South China Sea and region adjacent to it[J]. Acta Meteorologica Sinica, 1999,57(1):16-29.
- [8] 毛江玉,谢安,宋焱云,等. 海温及其变化对南海夏季风爆发的影响[J]. 气象学报,2000,58(5):556-569.
MAO Jiangyu, XIE An, SONG Yanyun, et al. Impact of sea surface temperature and its variations on the onset of Summer Monsoon over South China Sea. Acta Meteorologica Sinica,2000,58(5):556-569.
- [9] 谢安,毛江玉,叶谦. 海温纬向梯度与南海夏季风爆发[C]//南海季风爆发和演变及其与海洋的相互作用. 北京:气象出版社,1999:48-51.
- [10] 赵永平,陈永利,白学志,等. 南海-热带东印度洋海温年际变异与南海季风关系的初步分析[C]//南海季风爆发和演变及其与海洋的相互作用. 北京:气象出版社,1999,117-120.
- [11] 梁建茵,吴尚森. 南海西南季风爆发日期及其影响因素[J]. 大气科学,2002,26(6):829-844.
LIANG Jianyin, WU Shangsen. A study of southwest monsoon onset date over the South China Sea and its impact factors[J]. Chinese Journal of Atmosphere Sciences,2002, 26(6): 829-844.
- [12] 温之平,薛晓冰,梁肇宁,等. 热带海温异常与南海夏季风建立迟早的初步研究[J]. 中山大学学报:自然科学版,2005,44(1):94-98.
WEN Zhiping, XUE Xiaobing, LIANG Zhaoning, et al. A preliminary study on the relationship between SSTA in Tropical Oceans and onset of South China Sea summer monsoon[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni,2005, 44(1): 94-98.
- [13] 周文,温之平. 南海西南季风爆发的预测研究[J]. 中山大学学报:自然科学版,2002, 41(3):95-98.
ZHOU Wen, WEN Zhiping. Forecasting the onset of Southwestlies monsoon over South China Sea[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2002, 41(3): 95-98.
- [14] 张艳,钱永甫. 青藏高原地面热源对亚洲季风爆发的热力影响[J]. 南京气象学院学报,2002,25(3):298-306.
ZHANG Yan, QIAN Yongfu. Thermal effect of surface heat source over the Tibetan Plateau on the onset of Asian summer monsoon[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology. 2002, 25(3): 298-306.
- [15] 江宁波,罗会邦. 南海夏季风爆发前后亚洲地区的大尺度环流突变[J]. 热带气象学报,1995,11(4):289-296.
JIANG Ningbo, LUO Huibang. The first transition of the circulation in Asia around mid-May from 7-year mean ECMWF data [J]. Journal of Tropical Meteorology, 1995, 11(4): 289-296.
- [16] QIAN Yongfu, WANG Shiyu, SHAO Hui. A possible mechanism effecting the earlier onset of Southwesterly monsoon in the South China Sea compared to the Indian monsoon[J]. Meteor Atmos Phys, 2001, 76(3-4): 237-250.
- [17] QIAN Y F, ZHANG Y, JIANG J, YAO Y H, et al. The earliest onset areas and mechanism of the tropical summer monsoon[J]. Acta Meteo Sinica, 2005, 19(2): 129-142.
- [18] 江静,钱永甫. 南海表面海温异常对南海季风影响的数值模拟[J]. 南京大学学报:自然科学版,2002,38(4):556-564.
JIANG Jing, QIAN Yongfu. Numerical Experiments of Impacts of Sea Surface Temperature in South China Sea on South China Sea Monsoon[J]. Journal of Nanjing University: Natural Sciences,2002, 38(4): 556-564.
- [19] 姚永红,钱永甫. 用涡度和湿位涡定义的南海西南季风指数及其与我国区域降水的关系研究[J]. 南京大学学报:自然科学版,2001,37(6):781-788.
YAO Yonghong, QIAN Yongfu. A study on the South China Sea Monsoon index and the relationship between the index and regional rainfalls of China[J]. Journal of Nanjing University: Natural Sciences,2001, 37(6): 781-788.