

文章编号: 1004-4965(2010)01-0111-06

## 亚洲季风季节进程的若干认识

钱维宏, 丁婷, 汤帅奇

(北京大学物理学院大气科学系, 北京 100871)

**摘 要:** 简要归纳了不同时期随着观测资料的更新对亚洲季风季节进程的若干认识。南海季风试验前, 研究认识了东亚季风系统与南亚季风系统的区别。南海季风试验后, 对季风进程有了更多的认识, 江南副热带雨季开始于4月初, 中印半岛热带雨季开始于4月底, 南海热带雨季突然建立于5月中旬, 都具有半年际的干湿转换。南海中部季风爆发后, 亚洲季风在南亚、青藏高原东侧和东亚-太平洋地区全面爆发并由南向北推进。利用近年来高分辨率资料并考虑热带地区半岛陆海地形与热力的影响, 认识到亚洲存在5个夏季季风槽与降水相联系的系统, 它们分别是西南亚(阿拉伯海)夏季热带季风、南亚(孟加拉湾)夏季热带季风、东南亚(南海)夏季热带季风、西北太平洋夏季热带季风和东亚夏季副热带季风。

**关键词:** 亚洲; 西北太平洋; 热带季风; 副热带季风; 季节进程

**中图分类号:** P425.4.2

**文献标识码:** A

**Doi:** 10.3969/j.issn.1004-4965.2010.01.017

### 1 引言

从1998年的“南海季风试验”到2008年已经过去十年。十年前对东南亚(南海)季风的认识很少, 原因在于缺少观测资料。十年来不仅仅是对南海季风的爆发和演变特征有了足够的认识, 同时加深了对东亚, 乃至整个亚洲季风的认识。十年中, 国内外刊物上发表了上百篇的季风研究论文, 其内容包括气候上的季节变化(进程)与偏离气候季节变化的季节内异常和年际-年代际变化, 及其成因分析与数值模拟等。认识气候季节变化应该是预测异常天气气候的基础。因此, 本文仅仅着眼于不同时期对亚洲季风季节进程的认识。

### 2 亚洲季风季节进程的前期认识

基于不同时期的观测资料, 人们辨认了亚洲季风的区域特征并给与了适当命名, 对区域季风爆发时间或季节进程进行了描述。这些都是认识气候季节变化的基础。

#### 2.1 陆地观测资料对亚洲季风进程的认识

早期亚洲的降水观测资料主要集中于印度、中国和日本等陆地。利用有限的陆地降水资料, 我国季风专家陶诗言等<sup>[1]</sup>在国际上撰文提出了亚洲存在的两个季风子系统, 即东亚季风与南亚季风。在季风的季节进程上,

亚洲夏季风最早在南海北部地区爆发, 通常是在5月中旬, 然后向北伸展到中国大陆及日本以南的太平洋地区, 以及向西北伸展到孟加拉湾和印度。因而他们认为南海季风是东亚夏季风爆发的源地。同时他们辨识出亚洲季风区中存在三个季风槽, 即南亚季风系统中的印度(孟加拉湾)季风槽、东亚季风系统中的南海-西北太平洋季风槽和东亚副热带季风槽。

#### 2.2 卫星观测资料对亚洲季风进程的认识

随着观测资料的增多, 刘嘉铭等<sup>[2-3]</sup>通过模式和卫星观测资料的分析得到, 亚洲夏季风最早建立在中印大陆桥上, 时间在5月初, 卫星观测资料反映的孟加拉湾东南部和中印半岛上季风爆发是4月中旬—5月上旬。吴国雄等<sup>[4]</sup>把亚洲季风的爆发分为三个阶段。首先是5月初孟加拉湾东岸的季风爆发, 然后是5月20日东亚季风在南海地区的爆发, 最后是6月10日左右印度季风的爆发。梁建茵等<sup>[5]</sup>认识到, 孟加拉湾地区为整个亚洲西南季风爆发最早的地区, 在对流形成后向南海地区扩展, 大约5天后南海季风建立。

#### 2.3 南海季风的突然爆发

刘嘉铭等<sup>[2-3]</sup>给出的亚洲季风推进中, 南海季风突然爆发于5月中旬, 被认为是中印半岛季风向东和南海南部季风向北推进的结果。对南海夏季风突然爆发于5月中旬的认识, 在后来的南海季风试验计划成果中有多篇

收稿日期: 2008-06-02; 修订日期: 2008-10-09

基金项目: 国家973计划(2006CB403602; 0504); COPEs项目(GYHY20070605)共同资助

通讯作者: 钱维宏, 男, 江苏省人, 教授, 博士, 研究方向: 气候学。E-mail: [qianwh@pku.edu.cn](mailto:qianwh@pku.edu.cn)

报道<sup>[6-9]</sup>。在有些年份,南海北部季风先在5月初爆发,5月下旬才在南海全面爆发<sup>[10]</sup>。何金海等<sup>[11]</sup>的分析指出,来自印度洋地区的西风和降水向中南半岛地区扩展和海南静止锋南压会导致南海季风的爆发。金祖辉<sup>[12]</sup>认为,南海夏季风爆发主要由赤道强对流向北扩展,和从赤道西太平洋强对流分裂出的对流云系移入南海,以及赤道纬向环流调整所引发。罗会邦<sup>[9]</sup>认为,南海季风的建立是中纬度和热带系统共同影响的结果,是孟加拉湾热带雨带的北移增强和我国江南、台湾和西太平洋的中纬度锋面雨带的南移而形成。5月中旬前,南海中部的日平均降水量在2 mm/d左右,爆发后突然增加到4~6 mm/d。日降水量4 mm/d可以作为夏季风爆发的一个指标<sup>[13]</sup>。到第27候,除了南海中部(110~120°E, 10~20°N)降水小于4 mm/d外,其北侧的华南、西侧的中印半岛、东侧的菲律宾附近和南侧的赤道南海,降水都大于4 mm/d<sup>[14]</sup>。第28候,南海中部的降水到底从哪个方向扩展而来并不确定,周围四个区域上的强降水对应四个方向的气流。在不同年份,任一方向上的气流都有可能最先活跃起来,把对流降水推进到南海中部。南海季风爆发的季节日期基本上得到了公认,只是在影响因子上尚未完全定论<sup>[15]</sup>。因此,南海中部季风降水来自哪个方向的“争论”也就是“结论”。

#### 2.4 东亚和东南亚季风的典型半年干湿季

南海南部的降水在年循环中始终大于5 mm/d,常年湿润,没有干与湿的季节转换。中印半岛降水早于南海,结束也早于南海一个月。在华南,稳定大于4 mm/d的降水开始于3月中旬(春季),结束于9月中旬,比南海提前了2个月<sup>[13]</sup>。华南、中印半岛和南海三地降水期都接近6个月,是全球最典型的半年干、湿季转换区,但华南属于副热带季风性质的降水。印度季风雨季短于干季。中印半岛季风降水与南海季风降水性质相同,时段相近,为东南亚热带季风降水。

#### 2.5 亚洲季风分区

在南海夏季风建立后的低层大气中,中国大陆上东部沿海为西南气流,而西部靠近青藏高原一侧为东南气流。夏季降水也分成东部的向北移动性季节降水和西部的稳定增加的降水<sup>[16]</sup>。对此,钱维宏等<sup>[17]</sup>把亚洲季风降水按照降水的前后次序和地理位置分成6个季风区。中印半岛季风区的降水开始于4月底—5月初(第24—27候)。南海季风突然爆发于5月中旬(第28候)。印度季风经历了由南(第28候)向北(第41候)的季节推进过程。青藏高原东部季风降水从第28候向北推进,到第32候结束。东亚季风和东北亚季风分别出现在第28—36候和第37—39候。上述亚洲季风降水区,是用“热带水汽中心随赤道气流向赤道外季节扩展”的定义识别的。由这一季风定义,他们研究了东南亚季风的区域差

异<sup>[13]</sup>,比较了南亚季风与东南亚季风的差异<sup>[14]</sup>,亚洲季风的季节进程<sup>[17-18]</sup>和全球季风的分布<sup>[19-20]</sup>。后来,王斌等<sup>[21]</sup>利用降水资料对亚洲-太平洋地区的季风雨季进行了划分,包括南亚、西北太平洋和东亚等3个季风区。中印半岛属于不确定的区域,南海和菲律宾以东属于西北太平洋季风区。从时间上看,1987年陶诗言等<sup>[1]</sup>提出了南亚和东亚2个季风系统中的三个季风槽,2000年钱维宏等<sup>[17]</sup>提出了亚洲6个季风区,2002年王斌等<sup>[21]</sup>提出了亚洲3个季风区的划分。

#### 2.6 东亚雨季的命名

东亚副热带地区的中国东部、朝鲜半岛和日本存在随季节变化的3个雨季,分别是春雨、梅雨和秋雨。长期以来,人们把长江以南3—4月份出现的降水称为“江南春雨”,或“前汛期”<sup>[22]</sup>。Tian等<sup>[23]</sup>则称这段降水为“春季连阴雨”。丁一汇<sup>[24]</sup>把4—6月份的这段雨季称为“前夏雨季”,而王会军等<sup>[25]</sup>把华南4—5月的连阴雨称为“春季风”。郑彬等<sup>[26]</sup>把这段降水称为华南前汛期的锋面降水。南海夏季风爆发后,雨带在中国东部地区随季节向北推进是大家一致公认的,被普遍称为梅雨。陈联寿等<sup>[27]</sup>把开始于华南5月中旬的雨季称为梅雨。雨带到达长江以南称为江南梅雨,长江以北称为淮河梅雨,近年来这两个区域上的梅雨差异尤为明显<sup>[28]</sup>。出现在韩国的梅雨被当地称为“Changma”,出现在日本的梅雨被称为“Baiu”。雨带到达华北和东北,不再称为梅雨,而称为北方雨季或华北雨季。气候上看,北方雨季位于东亚季风北边缘地带,雨季的变率较大,即时间上的稳定性比南方差。这就是我们为什么要专门研究东亚季风北边缘带<sup>[29]</sup>的原因。长期以来,人们对江南3月—5月中旬的雨季取名还存在不同的意见。钱维宏等<sup>[17]</sup>的分析发现,东亚到澳大利亚之间的亚-澳季风,从春到夏,降水中心从南半球跨越赤道到达赤道以北,其季节转换与南海季风的突然爆发一致,发生在5月中旬。从3月末—5月初,春雨通常出现在江南到东海,而在赤道以南印度尼西亚和澳大利亚也正处于季风降水的季节。东亚夏季风通常开始于5月中下旬,位置上从中国东部到朝鲜半岛和日本。夏季雨季中,东亚地区存在显著的准20天降水振荡。它是由多年平均降水得到的气候季节现象,称为次季节振荡(subseasonal oscillation),不同于季节内振荡(intraseasonal oscillation, ISO)和30—50天振荡。该地区的气候异常表现为实际降水与20天降水振荡的偏差。换言之,20天降水振荡可通过气候分析得到认识,而偏差(异常)是要预报的部分。

### 3 亚洲季风季节进程的近期认识

过去对亚洲季风季节进程的认识是随着资料的更新而得到提升的。这一部分介绍使用新的高分辨率资料对

亚洲季风季节进程的近期认识。

### 3.1 纬带平均气候的季节进程

以下分析采用两套资料: 逐日(1999—2007 年)每 6 小时美国 NCEP/NCAR 全球对流层经纬网格点( $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ )分析资料, 以及逐日(1999—2007 年)24 小时(20:00—20:00 北京时)美国 NASA 热带测雨卫星(TRMM)降水产品, 空间分辨率为  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 。太阳辐射的纬度差异和海陆分布对季风的作用, 曾庆存等<sup>[30]</sup>把它们称之为季风形成的第一和第二驱动力。这里先考察第一驱动力, 即纬带平均气候随季节的进程。在太阳辐射季节强迫下, 赤道及其以北 850 hPa 纬向风和经向风随季节的变化不是渐变的, 而是发生在第 27 候(5 月 16—20 日)前后的突变(图略)。突变发生后,  $10^{\circ}\text{N}$  附近的东风中心南移到  $10^{\circ}\text{S}$ , 而赤道至  $10^{\circ}\text{N}$  之间逐渐出现了西风。这个西风到第 54 候前后被东风替代。第 27 候突变之后, 南风在赤道( $10^{\circ}\text{N} \sim 10^{\circ}\text{S}$ )附近增强, 到 10 月底迅速减弱。南风在北半球夏半年的出现, 表明低层大气有向北的越赤道气流, 在冬季则相反。温度分布也是季节不对称的, 7 月底, 北半球温度最高, 但没有出现突变现象。在降水的季节分布上(图 1), 冬半年的降水主要出现在赤道以南, 夏半年的降水出现在赤道以北。赤道以北出现的降水强度更大, 反映的是赤道辐合带(ITCZ)在北半球夏半年的活动。第 16 候(3 月中旬)赤道以北的降水第一次超过  $5 \text{ mm/d}$ , 而在第 27 候(5 月中旬)后赤道以南的降水突然消失。第 16—27 候(3 月中旬—5 月中旬)赤道南、北出现了双雨带现象。中东太平洋上的赤道辐合带常年在赤道以北的位置。春季, 随着太阳直射点在北半球的北移, 第 16 候 ITCZ 开始活跃起来, 赤道以北出现了第一次降水。第 27—28 候, 亚洲-澳大利亚季风发生了南、北半球半年际的转换。钱维宏等<sup>[17]</sup>用美国 CMAP 降水资料分析揭示出降水变化的转换时间, 在印度-西太平洋之间, 第 27 候前的降水中心在赤道以南, 第 28 候开始, 降水中心越过赤道到达赤道

以北, 与南海夏季风突然爆发的时间一致。由此可见, 5 月中旬的气候场的转变, 不仅仅是南海季风的突然爆发, 也是南、北半球间冬、夏半年的年循环中的转变。

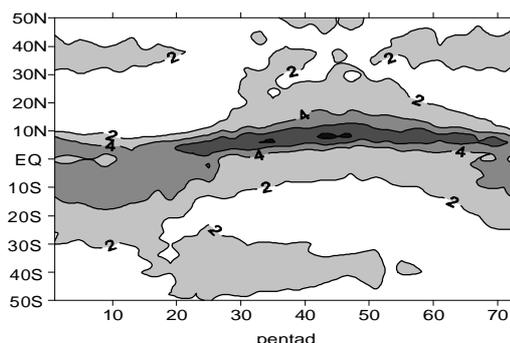


图 1 降水(mm/d)纬带平均后的经向-季节(候)变化

风和温度随季节变化的特征表明, 温度最高出现在第 42 候, 南风到达最北的位置在 42 候, 它们响应太阳辐射的滞后时间大约为 40 天左右。风和降水随季节变化的时间不对称性, 以及空间奇异性, 反映了海陆(包括山脉)分布的影响。

### 3.2 冬季海陆气候调整场

用 30 年的逐日资料计算气候平均场的连续逐日变化, 反映的是包含太阳辐射的南北季节移动和海陆分布共同影响的气候季节变化。当用原始场减去纬带平均量, 结果能够反映海陆分布的气候季节变化。我们把这种称为海陆气候调整场, 或偏差场。

为了取得较多的样本, 这里对时间长度只有 9 年的资料做 5 天平均的候气候场, 每个场包含有 45 天的样本。图 2 是第 2 候的亚洲-太平洋地区 850 hPa 高度和温度的气候调整场。北半球的第 2 候是 1 月初, 正是北半球的隆冬季节。

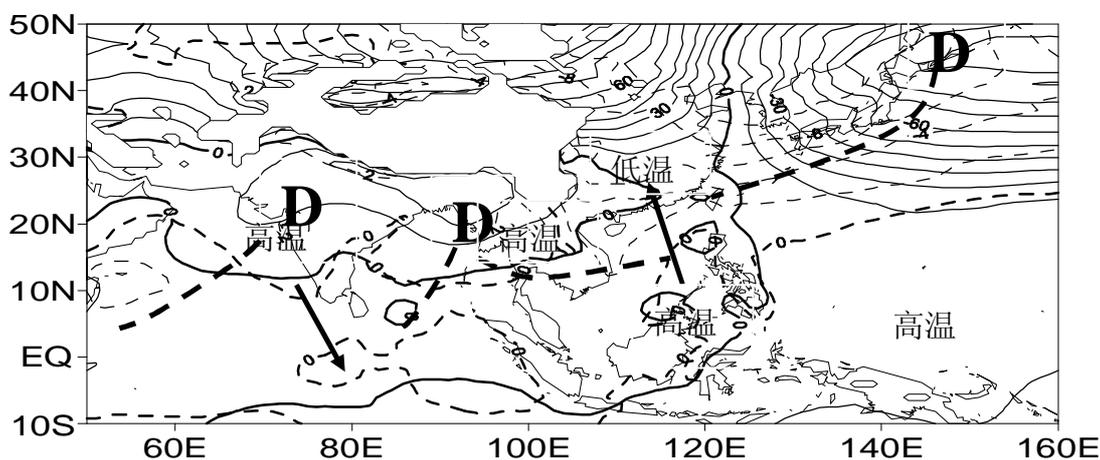


图 2 第 2 候亚洲-太平洋地区 850 hPa 高度(实线, 位势米)和温度(虚线,  $^{\circ}\text{C}$ )的气候调整场  
粗箭头所指为高温指向低温的梯度方向, 粗虚线为槽线。

从图 2 中看到, 青藏高原南侧有两个槽向南伸展, 西边的是阿拉伯海槽、东边的是孟加拉湾槽。青藏高原东南侧向东沿华南伸展的槽, 称为西南倒槽。东亚日本附近伸向我国东海的槽, 称为东亚大槽。从梁萧云等<sup>[31]</sup>的数值模拟中得到, 东亚大槽的形成只需要亚洲大陆与东部海洋的对比。按照吴国雄等<sup>[32]</sup>和王同美等<sup>[33]</sup>去纬带平均环流后青藏高原的热力和动力作用的模拟与分析, 得到青藏高原主体的南侧应为低值环流, 而高原的东北侧为高值环流。这样的一对高、低值环流系统, 在图 2 中是明显可见的。环绕青藏高原南侧和东南侧的三个槽实际上是亚洲大陆南部边缘海(阿拉伯海、孟加拉湾和南海)与大陆地形作用的结果。从温度调整场(或偏差场)看, 青藏高原东侧和西北太平洋上温度偏低, 为温度负距平, 而印度半岛和中印半岛为正的偏差。青藏高原东侧的西南倒槽上有东北亚冷空气的侵入, 属于副热带锋面性质的槽。东亚大槽应该是更大尺度的亚洲大陆与太平洋之间地形与热力差异形成的极锋上的锋面槽线。

### 3.3 夏季海陆气候调整场

春季的 3 月下旬, 西南倒槽的位置从冬季的华南逐步北移到长江, 而东亚大槽的位置稍有移动。温度调整场上春季青藏高原东北侧、我国西北增温明显, 这是除了热带半岛以外的又一增温区<sup>[34]</sup>。

进入盛夏季节, 东亚大槽在日本附近消失, 这是副热带高压系统增强而亚洲东侧地形槽减弱的结果(图 3)。与冬季和春季相比, 夏季增加了南海季风槽和热带西太平洋季风槽。以青藏高原为中心, 亚洲大陆上为海陆偏差场的低压系统, 西北太平洋为偏差场的高压系统。在青藏高原地形与热力共同作用下, 高原周边有 4 个槽, 包括阿拉伯海槽、孟加拉湾槽、南海季风槽和由西南倒槽向东伸展到韩国和日本的东亚副热带季风槽。青藏高原东侧的东亚副热带季风槽形成于冬季, 稳定于江南在春季, 向北移动和向东扩展在夏季。夏季的阿拉伯海季风槽、孟加拉湾季风槽和南海季风槽同属高原一个母体, 但分别受到阿拉伯半岛、印度半岛和中印半岛地形和热力对比的影响。热带西太平洋季风槽不隶属于高原低值系统, 而是反映热带亚洲大陆与热带太平洋之间的海陆地形和热力的作用。

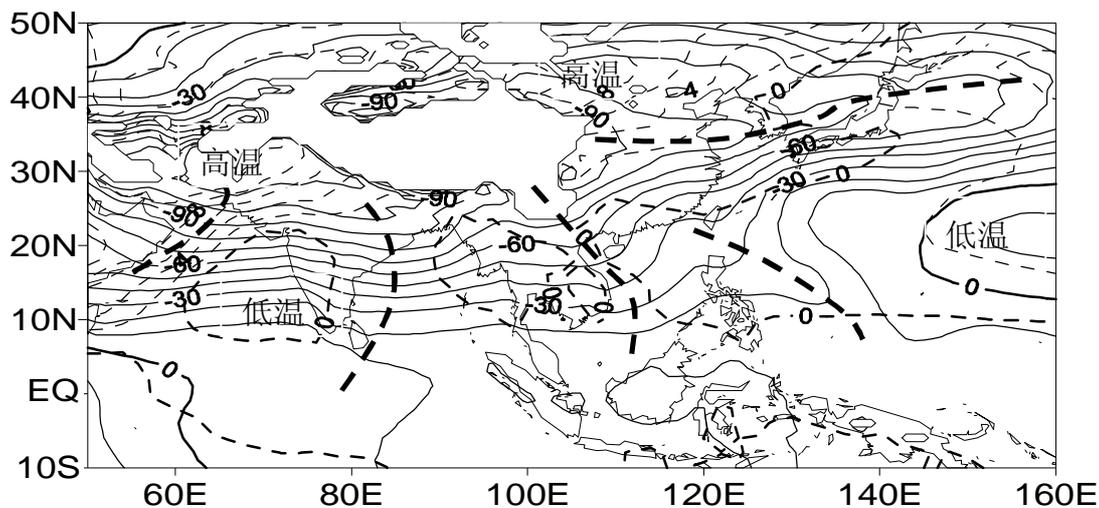


图 3 同图 2, 但为盛夏第 37 候的高度和温度气候调整场

图 3 给出了亚洲-太平洋-印度洋地区的夏季风槽线系统, 它们与降水有紧密的联系。从行星海陆尺度看, 以青藏高原为中心, 相对于周边的太平洋和印度洋是一个行星尺度的夏季低值系统。由于亚洲大陆南侧和东南侧半岛-岛屿与邻近海洋的影响, 形成了 4 个热带季风槽, 包括阿拉伯海季风槽、孟加拉湾季风槽、南海季风槽和热带西太平洋季风槽。这 4 个季风槽都有自己对应的季风强降水中心区。由此可得到, 亚洲-太平洋-印度洋地区的季风系统可以分为两个层次, (1) 热带季风系统和副热带季风系统就是陶诗言等<sup>[1]</sup>最早提出的两个季风系统。细一点的划分要考虑热带地区次大陆地形和热力的

影响, 即热带地区存在 4 个区域季风系统。(2) 根据地理位置可把这 5 个夏季区域季风系统由西南向东北分别称为: 西南亚(阿拉伯海)夏季热带季风系统、南亚(孟加拉湾)夏季热带季风系统、东南亚(南海)夏季热带季风系统、西北太平洋夏季热带季风系统和东亚夏季副热带季风系统。

## 4 总结与展望

(1) 亚洲大陆与太平洋的地形与热力的对比, 形成了东亚大槽位置上的半年际冬季风系统。受青藏高原的地形动力作用, 高原东南侧存在低压系统, 东北侧存

在高压系统。冬季高原周边有 3 个低槽, 即高原南侧的阿拉伯海槽、孟加拉湾槽和高原东侧的我国西南倒槽。春季早期(第 15 候), 随着大陆增暖, 我国西南倒槽首先得到发展, 出现降水, 并在江南地区活动。春季中期(第 21 候)后, 孟加拉湾槽活跃起来, 孟加拉湾东部-中印半岛一带形成稳定降水。5 月中旬的季风转变, 不只是南海季风的突然爆发, 也是亚洲-澳大利亚之间两个半球间年循环的转折点, 这应该是全球季风系统中信号最强、影响最大的转变。

(2) 过去十年的季风研究认识到, 我国副热带江南季风雨季开始于 4 月初, 中印半岛夏半年雨季开始于 4 月底, 南海中部雨季突然建立于 5 月中旬。南海中部季风爆发后, 亚洲季风在东亚、青藏高原东侧和东亚-太平洋地区全面爆发, 并由南向北推进。江南副热带雨季、中印半岛热带雨季和南海热带雨季, 都具有半年期的干湿转换。南海中部夏季风的突然建立, 可以是来自北侧华南降水系统的南压、西侧中印半岛降水系统的东进、菲律宾以东降水系统的西伸或澳大利亚赤道气流降水的北上, 或它们共同的作用。

(3) 以行星尺度的青藏高原-亚洲大陆, 与周边的太平洋-印度洋为海陆地形-热力对比为基础, 亚洲具有独立的南亚季风系统和东亚副热带季风系统, 它们之间的联系就是以青藏高原为中心的夏季热低压。这一结论充分体现了我国季风研究早期认识的合理性。考虑热带地

区半岛陆海地形与热力的影响, 亚洲-太平洋地区存在 5 个夏季季风槽与降水相联系的系统, 它们分别是, 西南亚(阿拉伯海)夏季热带季风系统、南亚(孟加拉湾)夏季热带季风系统、东南亚(南海)夏季热带季风系统、西太平洋夏季热带季风系统和东亚夏季副热带季风系统。

(4) 季风就是随季节变化的“热-风-雨”时空演变的过程。这种过程是客观存在的, 需要去识别和描述。这些描述包括存在多少个相互独立的区域季风系统, 每个季风系统形成的地形与热力条件, 风、降水和其它要素变化的规律, 如爆发的时间、维持的时段、与其它区域季风的联系等方面。南海夏季风爆发后, 东亚副热带季风在向北推进的过程中, 还存在准 20 天的次季节振荡, 这也是需要认识的气候规则变化。气候预报不是预报这些规则上的半年循环、季节变化和次季节振荡, 而是要预报相对这些气候过程的偏差。从这个意义上讲, 我们的天气预报也要先建立在气候认识的基础上。把太阳辐射的季节变化、海陆分布作用的变化去除后的那些要素场的预报, 才是气候外的、有技巧的预报。一个连续的气象要素场可以分解成太阳辐射变化部分、海陆影响变化部分和天气瞬变波部分。3~5 天平均的瞬变波是未来延期预报的希望。可以预期, 这一分解思路的引入会促进天气和气候预报能力的提高。

## 参 考 文 献:

- [1] TAO S Y, CHEN L X. A review of recent research on the East Asian summer monsoon in China[M]//Review of Monsoon Meteorology. U K: Oxford University Press, 1987: 60-92.
- [2] LAU K M, YANG S. Seasonal variation, abrupt transition, and intraseasonal variability associated with the Asian summer monsoon in GLAGCM [J]. J Climate, 1996, 9(5): 965-986.
- [3] LAU K M, YANG S. Climatology and interannual variability of the southeast Asian summer monsoon[J]. Adv Atmos Sci, 1997, 14(2): 141-162.
- [4] WU G X, ZHANG Y S. Tibetan plateau forcing and the timing of the monsoon onset over South Asia and the South China Sea[J]. Mon Wea Rev, 1998, 126(4): 913-927.
- [5] 梁建茵, 吴尚森. 1998 年南海西南季风活动的初步分析[J]. 热带气象学报, 2000, 16(01): 28-37.
- [6] 李崇银, 屈昕. 南海夏季风爆发的大气环流演变特征[C]//南海季风爆发和演变及其与海洋的相互作用. 丁一汇, 李崇银. 北京: 气象出版社, 1999: 5-12.
- [7] 陈隆勋, 祝从文. 1998 年 SCSMEX 期间南海夏季风爆发特征及其机制的初步分析[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: 13-17.
- [8] 李崇银, 吴静波. 1998 年南海夏季风爆发的分析研究[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: 18-24.
- [9] 罗会邦. 南海夏季风爆发及相关雨带演变特征[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: 25-29.
- [10] 丁一汇, 薛纪善, 王守荣, 等. 1998 年亚洲季风活动与中国的暴雨/洪涝[C]//南海季风爆发和演变及其与海洋的相互作用. 丁一汇, 李崇银. 北京: 气象出版社, 1999: 1-4.
- [11] 何金海, 王黎娟, 徐海明. 1998 年南海夏季风建立前后的突变特征及爆发过程的初步分析[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: 30-33.
- [12] 金祖辉. TBB 资料揭示的南海夏季风爆发的气候特征[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: 57-65.
- [13] QIAN W H, YANG S. Onset of the regional monsoon over Southeast Asia[J]. Meteorology and Atmospheric Physics, 2000, 74(5): 335-344.
- [14] QIAN W H, ZHU Y F. The comparison between summer monsoon components over East Asia and South Asia[J]. J Geosciences of China, 2002, 4(3-4): 17-32.
- [15] 梁建茵, 吴尚森. 南海西南季风爆发日期及其影响因子[J]. 大气科学, 2002, 26(6): 829-844.

- [16] QIAN W H, KANG H S, LEE D K. Temporal-spatial distribution of seasonal rainfall and circulation in the East Asian monsoon region[J]. *Theoretical and Applied Climatology*, 2002, 73(3-4): 151-168.
- [17] QIAN W H, LEE D K. Seasonal march of Asian summer monsoon[J]. *Inter J Climatology*, 2000, 20(11): 1 371-1 386.
- [18] 钱维宏. 季风的季节、年际和年代际变化[J]. *热带气象学报*, 2005, 21(2): 199-206.
- [19] QIAN W H. Dry/wet alternation and global monsoon[J]. *Geophy Res Letts*, 2000, 27(22): 3 679-3 682.
- [20] QIAN W H, DENG Y, ZHU Y, et al. Demarcating the worldwide monsoon[J]. *Theoretical and Applied Climatology*, 2002, 71(1): 1-16.
- [21] WANG B, LIN H. Rainy Season of the Asian-Pacific Summer Monsoon[J]. *J Climate*, 2002, 15(4): 386-398.
- [22] BAO C L. *Synoptic Meteorology in China*[M]. Beijing: China Ocean Press, 1987: 82-117.
- [23] TIAN S F, YASUNARI T. Climatological aspects and mechanism of spring persistent rains[J]. *J Meteor Soc Japan*, 1998, 76(1): 57-71.
- [24] DING Y H. Summer monsoon rainfalls in China[J]. *J Meteor Soc Japan*, 1992, 70(1): 373-396.
- [25] WANG H J, XUE F, ZHOU G Q. The spring monsoon in South China and its relationship to large-scale circulation features[J]. *Adv Atmos Sci*, 2002, 19(4):651-664.
- [26] 郑彬, 梁建茵, 林爱兰, 等. 华南前汛期的锋面降水和夏季风降水 I: 划分日期的确定[J]. *大气科学*, 2006, 30(6): 1 207-1 216.
- [27] CHEN L X, DONG M, SHAO Y N. The characteristics of interannual variations on the East Asian monsoon[J]. *J Meteor Soc Japan*, 1992, 70(1): 397-421.
- [28] QIAN W H, ZHU J, WANG Y G, et al. Regional relationship between the Jiang-Huai Meiyu and the equatorial surface-subsurface temperature anomalies[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2008, 10.1007/s11434-008-0410-6.
- [29] 汤绪, 孙国武, 钱维宏. 亚洲夏季风北边缘研究[M]. 北京: 气象出版社, 2007: 1-122.
- [30] 曾庆存, 李建平. 南北两半球大气的相互作用和季风的本质[J]. *大气科学*, 2002, 26(4): 433-448.
- [31] LIANG X Y, LIU Y M, WU G X. Roles of tropical and subtropical land-sea distribution and the Qinghai-Xizang Plateau in the formation of the Asian summer monsoon[J]. *Chinese J Geophysics*, 2006, 49(4): 983-992.
- [32] WU G X, LIU Y M, WANG T M, et al. The influence of mechanical and thermal forcing by the Tibetan Plateau on Asian climate[J]. *J Hydrometeorology-Special Section*, 2007, 8(4): 770-789.
- [33] 王同美, 吴国雄, 万日金. 青藏高原的热力和动力作用对亚洲季风去环流的影响[J]. *高原气象*, 2008, 27(1):1-9.
- [34] 钱永甫, 江静, 张艳, 等. 亚洲热带夏季风的首发地区和机理研究[J]. *气象学报*, 2004, 62 ( 2 ) : 129-139.

## SOME UNDERSTANDING OF THE SEASONAL MARCH OF ASIAN MONSOONS

QIAN Wei-hong, DING Ting, TANG Shuai-qi

( Department of Atmospheric Science, Peking University, Beijing 100871, China )

**Abstract:** In this paper, some understanding of the seasonal march of Asian monsoons are summarized, which comes with different degree of updating of the observational data. Before the South China Sea Monsoon Experiment(SCSMEX) in 1998, the differences between the South Asian monsoon and the East Asian monsoon were proposed by Chinese scientists. After the SCSMEX, new understanding of monsoonal march was achieved. In the south of the middle-lower Yangtze River reaches(Jiangnan), the subtropical rainy season starts from early April. In the Indo-China Peninsula(ICP), the tropical rainy season begins from late April while the central South China Sea(SCS) rainy season has abrupt onset in mid-May. A dry-wet transition on a half-year scale is found in the regions of subtropical Jiangnan, ICP, and central SCS, respectively. The onset of summer monsoon in the central SCS is followed by a full-scale start of Asian monsoons in South Asia, the east part of the Tibetan Plateau, East Asia and the Northwest Pacific region and their northward advancement northward. With updated high-resolution observational data and by taking into account the regional effect of land-sea topographical and thermal contrasts, five sub-monsoon systems with their monsoon depressions and rainfall are identified surrounding the continent landform of Asia. The systems are named, according to respectively local geography, the Southwest Asian(Arabian Sea) tropical summer monsoon, the South Asian (the Bay of Bengal) tropical summer monsoon, the Southeast Asian(SCS) tropical summer monsoon, the Northwest Pacific tropical summer monsoon, and the East Asian subtropical summer monsoon.

**Key words:** Asia; Northwest Pacific; tropical monsoon; subtropical monsoon; seasonal march of monsoons