

南海夏季风爆发与华南前汛期 锋面降水气候平均的联系*

林爱兰, 李春晖, 郑彬, 谷德军, 梁建茵

(中国气象局广州热带海洋气象研究所//热带季风重点开放实验室, 广东 广州 510080)

摘要: 利用1958-2000年NCEP/NCAR再分析日平均资料、中国气象局气候中心常规地面观测日降水资料, 从气候平均角度诊断分析了南海夏季风爆发和撤退前后大气结构特征及其与南亚季风的差异, 探讨华南前汛期锋面降水对南海夏季风爆发的可能影响。结果表明: ① 季节转换期间南海地区大气热力结构、动力结构的配置具有与孟加拉湾和南亚地区明显不同的特征, 大气低层(850 hPa以下)温度梯度的逆转(由负变正)发生在西南季风爆发之后。② 850hPa西风建立在南海大气低层(850 hPa以下)经向温度梯度为弱负值的时候, 是受热成风约束的结果。③ 季节转换期间南海地区大气热力结构、动力结构的配置具有独特性, 是由于东亚地区独特的地理位置, 受来源于中纬度冷空气影响的缘故。④ 随着华南降水强度加强, 对流释放潜热加热了中高层大气, 有利于南海经向温度梯度的逆转, 从而在热成风关系约束下使高层南亚高压的北移, 因此华南前汛期第一阶段锋面降水是南海夏季风爆发的有利因素。

关键词: 南海夏季风; 爆发和撤退; 大气结构特征; 华南前汛期锋面降水

中图分类号: P466 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579(2010)04-0134-06

Relationship between Onset of South China Sea Summer Monsoon and South China Frontal Precipitation in the First Raining Period on Climatological Mean

LIN Ailan, LI Chunhui, ZHENG Bin, GU Dejun, LIANG Jianyin

(Institute of Tropical and Marine Meteorology//Key Open Laboratory for Tropical Monsoon,
China Meteorological Administration, Guangzhou 510080, China)

Abstract: The daily NCEP/NCAR reanalyzed data and daily rainfall data from National Climate Center of China Meteorology Administrator for the period of 1958-2000 were employed to diagnose the dynamic and thermodynamic characteristics associated with the onset and retreat of South China Sea summer monsoon, as well as the differences compared with South Asian monsoon on climatological mean. Possible impacts of precipitation in the yearly first raining period in South China on the onset of South China Sea summer monsoon are explored. The conclusions are as follow: (1) The allocation of atmospheric dynamic and thermodynamic characteristics over the South China Sea is distinctively different from that in the Bay of Bengal and South Asia during seasonal transitions. Tropospheric temperature meridional gradients under 850 hPa reverse (from negative to positive) later than the onset of southwest monsoon in South China Sea. (2) Under the constraint of thermal wind relation, 850hPa westerly onsets when the tropospheric temperature meridional gradient at 925hPa and 1000hPa is still negative. (3) During seasonal transitions, the allocation of atmospheric dynamic and thermodynamic characteristics over the South China Sea

* 收稿日期: 2009-06-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40675055); 广东省自然科学基金资助项目(06020745, 04003915); 热带海洋气象科学研究基金资助项目(200807)

作者简介: 林爱兰(1963年生), 女, 副研究员, 硕士; E-mail: allin@grmc.gov.cn

is distinctive owing to the unique geographic position and the impact of cold air from middle latitudes.

(4) With reinforcing rainfall in South China, convection latent heat on the middle-upper troposphere favors the reverse of the temperature meridional gradient. South Asia high in the upper troposphere consequently moves northward under the constraint of thermal wind relation. Therefore, South China frontal raining in the yearly first raining period is a beneficial factor for the onset of South China Sea summer monsoon.

Key words: South China Sea Summer Monsoon; onset and retreat; dynamic and thermodynamic characteristics; South China frontal precipitation in the yearly first raining period

亚洲夏季风首先在南海地区爆发, 南海夏季风爆发标志着东亚夏季风的到来和雨季的开始^[1]。关于南海夏季风爆发的机理, 包括以下几种观点: 青藏高原的热力和机械强迫作用^[2-6]; 孟加拉湾-中南半岛对流加热作用^[7-9]; 海温及海气界面潜热的影响^[10-14]; 热带的强迫, 主要指大气环流季节变化背景下的季节内低频振荡^[3,15-16]; 中纬度的触发作用^[17-19]。丁一汇等^[1]认为海陆热力差异的季节演变是基本因子, 海温与青藏高原的热源是一种区域性直接导致或增强季风爆发的因子, 中纬度的扰动, 热带天气系统和低频振荡是重要的触发因子。关于中纬度的触发作用, 已有研究表明^[17-19], 与初夏雨期爆发有关的中纬度锋系本身是南海夏季风爆发的一种触发机制。从气候角度, 华南开汛期(气候平均为4月中旬)早于南海夏季风爆发日期(气候平均为5月中旬), 综合这一现象和上文所述研究成果引发出这样的问题: 华南前汛期第一阶段的锋面降水和南海夏季风爆发之间是否存在联系? 如果存在联系, 其物理过程如何? 为此, 本文拟从气候平均的角度, 探讨南海夏季风爆发前后对流层大气结构变化特征、华南前汛期的锋面降水和南海夏季风爆发之间的可能联系等。

1 资料

本文主要利用1958-2000年(43 a) NCEP/NCAR再分析日平均资料(温度、经向风和纬向风), 等压面选取1000~100 hPa共12层, 格点资料的水平分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 经纬度。另外还有: 1951-2000年全国700多个观测站每日降水量资料, 资料来源于中国气象局气候资料中心。

本文在分析时对各要素均进行了5 d滑动平均。南海地区范围取为 $5 \sim 20^\circ\text{N}$, $110 \sim 120^\circ\text{E}$, 华南地区范围取为 $18 \sim 25^\circ\text{N}$, $110 \sim 120^\circ\text{E}$, 文中时间-纬度剖面和时间-气压剖面图均为 $110 \sim 120^\circ\text{E}$ 经度范围平均。南海夏季风爆发日期根据梁建茵等^[12]的定义。本文主要分析气候平均态, 气候平

均统计时段为1958-2000年。

2 南海大气对流层热力、动力结构的季节演变气候特征

从南海区域纬向风的时间-气压剖面来看(图1a), 对流层高层(200 hPa附近)纬向风5月上旬由正变为负, 即从西风转为东风, 直到12月中旬才由东风转为西风; 而对流层低层(850 hPa附近)纬向风5月中旬由东风转为西风(这与许多专家依据多种季风指数或参数确定南海季风在5月中旬爆发一致)^[21], 9月底-10月初从西风转为东风。可见, 在夏季风爆发前后, 南海地区大气对流层高、低层纬向风的反向时间仅相差1候左右, 但在夏季风撤退前后, 南海地区大气对流层高、低层纬向风的反向时间相差2个月左右, 这从大气垂直动力结构上体现了南海夏季风建立的“突变性”、南海夏季风撤退的“渐变性”。

经向风的时间-气压剖面(图1b)显示, 对流层高层(200 hPa附近)经向风4月中下旬就由正变为负, 即从南风转为北风, 到11月初由北风转为南风; 而对流层低层于4月下旬就完全转为南风, 10月初由南风转为北风。与纬向风(图1a)相比, 在春夏季节转换期间, 对流层高、低层经向风的转向比纬向风早半个多月; 在秋冬季节转换期间, 对流层高层经向风的转向比纬向风早1个月, 低层经向风的转向与纬向风转向时间接近。另外值得指出的是: 夏季南风能达到对流层中层(400 hPa), 而冬季北风的大气厚度较薄, 一般只能达到600 hPa左右; 夏季南风的大气厚度也比夏季西风高。因此, 从经向风来说, 南海夏季风比冬季风所到达的层次更高。

由图1c可见, 对流层中高层(600~200 hPa)温度经向梯度在5月中旬由负变为正, 10月下旬则由正转为负。比较大气纬向风、经向风和温度经向梯度可以认为, 第一, 春夏季节转换期间, 南海对流层中高层温度经向梯度的逆转与夏季风爆发是

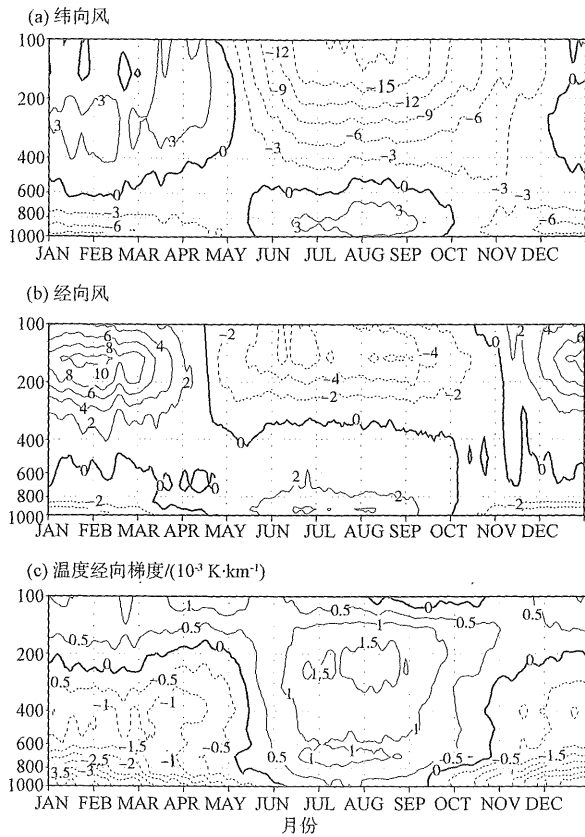


图 1 南海区域纬向风、经向风和温度经向梯度气候平均的时间-气压剖面

Fig. 1 Time-pressure section of climatological zonal wind, meridional wind and meridional temperature gradient over South China Sea from 1 January to 31 December

相对应的,这与文献 [22] 的研究一致。第二,夏秋季节转换期间,南海对流层中高层温度经向梯度由正变负的逆转时间,比低层纬向风反向迟 2 旬左右,但比高层纬向风反向早一个多月。也就是说,中高层温度经向梯度的逆转发生在低层东风和高层西风出现时间之间。第三,大气低层 (850 hPa 以下) 温度梯度的逆转与中高层不同步,春夏季节转换期间,由负变正比中高层晚,夏秋季节转换期间,由正变负则比中高层早。若以 850 hPa 西风 (东风) 的出现作为南海季风爆发 (撤退) 的标准,则大气低层温度梯度由负变正 (由正变负) 的逆转发生在季风爆发之后 (撤退之前),这是南海地区与孟加拉湾和南亚地区明显不同的一点,孟加拉湾和南亚地区大气低层经向温度梯度在 4 月之前就发生逆转 (参见文献 [20])。

南海夏季风爆发和撤退前后对流层中高层风场结构与经向温度梯度之间的关系,已有不少研究讨论,这里我们重点分析大气低层的状况。由图 2 可见,南海北部 (15°N 以北) 和南部有不同的温度

变化特征,北部季节变化比南部明显。这是北部大气低层冬季受冷空气影响比南部明显的缘故。可见南海地区经向温度梯度的变化很大程度取决于华南沿海-南海北部。冬季华南-南海北部一带温度明显比南部低,春季随着冷空气的减弱温度逐渐升高,增温比南海南部明显,尤其华南由于地表感热影响,增温更快。但在此期间仍有弱冷空气活动,至 5 月下旬对流层低层温度脊出现在南海中部,南部温度略高于北部,因此温度梯度为负值,直到 6 月初大气低层经向温度梯度才完全逆转。从图 3 可以看出,东亚地区至南海北部是温度低槽区,而孟加拉湾、南亚地区温度明显偏高,南亚地区温度极值中心达 303 K,在同一纬度 (20°N) 上,南亚与南海北部温度相差近 10°。这是由于孟加拉湾和南亚地区地理位置与东亚不同,青藏高原阻挡了中纬度冷空气的入侵,尤其南亚地区大气低层温度受地表感热影响很大,因此经向温度梯度逆转的发生明显比南海地区早。

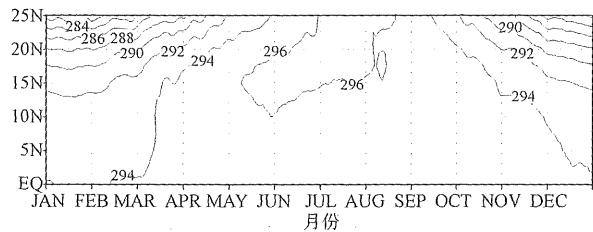


图 2 1 000 ~ 850 hPa 大气平均温度 (单位: K) 的时间-纬度剖面

Fig. 2 Time-latitude section of mean atmospheric temperature at 1 000 ~ 850 hPa. (unit: K)

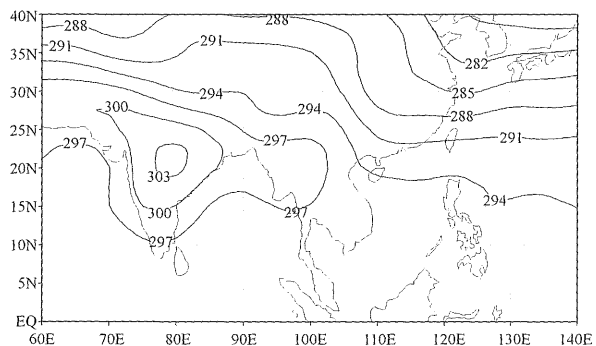


图 3 4 月份 1 000 ~ 850 hPa 大气低层平均温度分布图 (单位: K)

Fig. 3 Mean atmospheric temperature at 1 000 ~ 850 hPa in April (unit: K)

那么为什么南海夏季风爆发发生在大气低层温度梯度由负变正的逆转之前? 图 1 表明,西南季风

在南海地区建立时大气低层（1 000、925 hPa）为弱的负经向温度梯度和弱的东风，850 hPa 经向温度梯度接近 0。根据热成风原理，有如下关系式^[22]：

$$\frac{\partial u}{\partial p} = \frac{R}{f p} \left[\frac{\partial T}{\partial y} \right]_p \quad (1)$$

那么 850 hPa 以下大气在 $\frac{\partial T}{\partial y} < 0$ 情况下，公式

(1) 左边 $\frac{\partial u}{\partial p} < 0$ ，即纬向风速随高度正变化。因而，在 850 hPa 以下（1 000、925 hPa）为弱东风的情况下，其上层 850 hPa 则为西风。说明南海在大气低层（1 000、925 hPa）经向温度梯度为负时候，850 hPa 西风就建立起来，也是受热成风约束的结果。这里，大家可能会提出这样的问题：在冬季期间，经向温度梯度为一直负（即 $\frac{\partial T}{\partial y} < 0$ ），850 hPa 西风为什么不能建立？我们知道，冬季期间南海盛行东北风，即东风较强，而 850 hPa 东风比底层（1 000、925 hPa）弱（见图 1a），即： $\frac{\partial u}{\partial p} < 0$ 。可见，冬季也符合热成风约束关系，纬向风速随高度正变化，只是 850 hPa 与表层之间大气位势厚度较薄，因此两层之间的热成风较小。随着高度的增加，热成风逐渐加大，至对流层中层（500 hPa）就转为西风。

3 华南降水与南海夏季风爆发探讨

上文分析认为，季节转换期间南海地区大气热力结构、动力结构的配置与孟加拉湾和南亚地区有明显差异，这与东亚地区不同于孟加拉湾和南亚地区的地理位置，中纬度锋系是南海夏季风爆发的一种触发机制有关。考虑到华南地区濒临南海，华南前汛期第一阶段降水系统是来源于中纬度的锋系，因此这里从华南降水的角度进行分析探讨。

从降水量纬度-时间剖面（图 4）可见，江南地区（25~30°N）2月开始日降水量大于 3 mm/d，3月中旬开始日降水量大于 5 mm/d，而华南（20~25°N）4月中旬才开始出现日降水量大于 5 mm/d 降水（接近广东开汛日期）。这与南海地区经向风的转向（低层由北风转为南风，高层由南风转为北风）时间一致（图 1 b），南海低层转南风有利于气流在华南地区辐合、形成降水。值得一提的是：在 5 月底之前，明显降水有从江南向华南扩展的趋势，在 5 月底 6 月初之后，华南降水明显加

强，并有向北推进的特征，由此看来，前期是锋面降水时期，后期是夏季风降水时期（关于华南锋面降水与夏季风降水的具体划分标准将在另文给出）。显然华南锋面降水早于南海夏季风爆发时间，因此前者可能对后者存在影响。

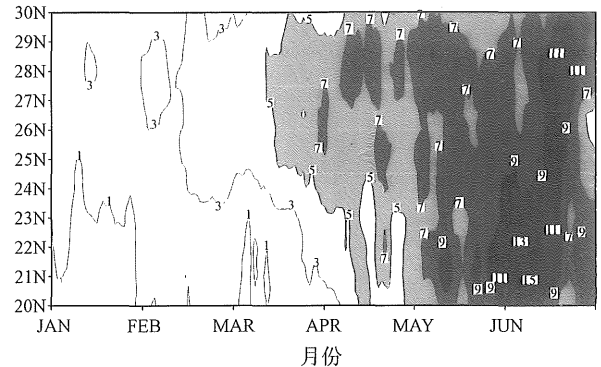


图 4 平均降水量 5 d 滑动平均纬度-时间剖面图
(单位: mm/d, 阴影区为大于 5)

Fig. 4 Time-latitude section of 5-day moving mean of daily precipitation (unit: mm/d, shading is greater than 5)

本文将 110~120°E 经度范围内纬向风为零，且由东风转为西风的纬度定义为副高脊线所处的纬度^[22]。图 5 显示，华南 4 月中旬开始出现强度大于 5 mm/d 的降水（图 5a），相应地，南海区域对流层中高层平均温度梯度在这时候开始上升（图 5b），200 hPa 副高脊线位置开始出现向北移动的趋势（图 5c）。三者之间这种对应变化关系可以理解为：4 月中旬之前，华南降水较弱，属于非对流性或若对流性降水，释放潜热较少且对大气非绝热加热高度较低，因此对中层大气经向温度梯度变化无贡献；4 月中旬华南降水逐渐加大，对流加强，释放潜热加热中高层大气，使华南沿海-南海北部中高层大气温度升高，南海区域对流层中高层（500~200 hPa）经向温度梯度逐渐升高，4 月中旬-5 月中旬期间，负值逐渐减小，5 月中旬经向温度梯度开始从零转向正梯度发展，受热成风关系制约，副高垂直脊面总是偏向暖区^[22]，因此高层（200 hPa）副高（也称南亚高压）脊线位置随着经向温度梯度的升高逐渐向北移动。南亚高压的北移、南海区域高层转为东风是南海夏季风爆发的必要条件，因此综合以上分析，可以认为华南前汛期锋面降水是南海夏季风爆发的有利因素。

当然，海陆热力差异的季节演变是基本因子，海温与青藏高原的热源是一种区域性直接导致或增强季风爆发的因子，而华南降水对南海夏季风爆发

相对而言仅起到局部性作用,这种局部性作用只有在以上大尺度背景下才能产生影响。

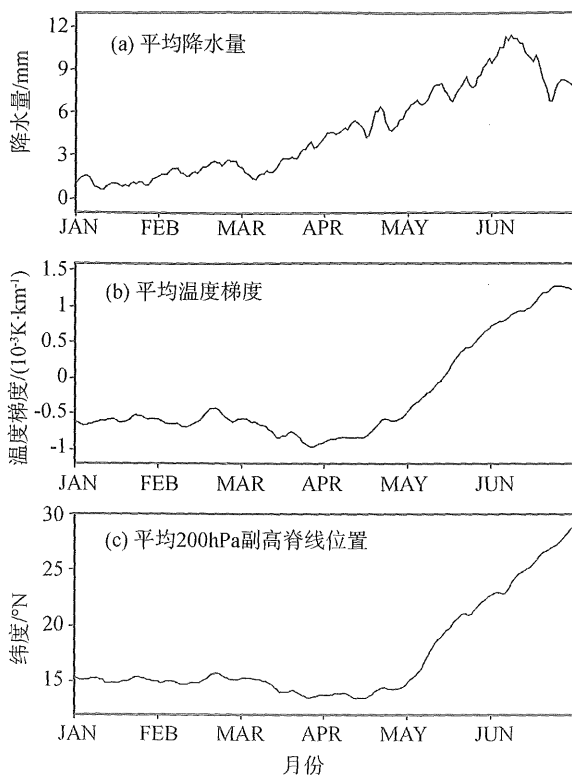


图5 华南区域平均降水量、500~200 hPa平均温度梯度和110~120°E平均200 hPa副高脊线位置的逐日变化曲线

Fig. 5 Daily mean precipitation over South China (a), Mean temperature gradient at 500~200 hPa level of troposphere over South China Sea (b), Ridge line position over 110~120°E of subtropical high at 200 hPa (c) from January to June

4 结论

1) 从大气垂直动力结构变化上看,南海夏季风建立具有“突变性”、南海夏季风撤退具有“渐变性”。就经向风而言,南海地区夏季偏南风比冬季偏北风所到达的层次更高。大气低层温度梯度的逆转与中高层不同步,春夏季节转换期间,由负变正比中高层晚,夏秋季节转换期间,由正变负则比中高层早。

2) 季节转换期间南海地区大气热力结构、动力结构的配置具有与孟加拉湾和南亚地区明显不同的特征,大气低层(850 hPa以下)温度梯度的逆转(由负变正)发生在西南季风爆发之后,而孟加拉湾和南亚地区,大气低层(850 hPa以下)温度梯度的逆转早于西南季风爆发。

3) 季节转换期间南海地区大气热力结构、动力结构的配置具有独特性,与东亚地区独特的地理位置,受来源于中纬度冷空气影响有关。

4) 850 hPa西风建立在南海在大气低层(1000、925 hPa)经向温度梯度为弱负值的时候,是符合热成风约束关系的。

5) 华南前汛期第一阶段锋面降水是南海夏季风爆发的有利因素,其可能物理过程是:随着华南降水强度加强(即对流加强),释放潜热加热了中高层大气,有利于南海经向温度梯度的逆转,从而在热成风关系约束下使高层南亚高压的北移。当然,正如引言中所提到的,海陆热力差异的季节演变是基本因子,海温与青藏高原的热源是一种区域性直接导致或增强季风爆发的因子,因此,华南前汛期第一阶段锋面降水对南海夏季风爆发所起的作用是在这种大尺度背景下产生的。

本文仅从气候平均状态进行分析,关于年际变化异常情况将在本研究后续部分进一步讨论。

参考文献:

- [1] 丁一汇,李崇银,何金海,等.南海季风试验与东亚夏季季风[J].气象学报,2004,62(5):559-586.
- [2] 吴国雄,张永生.青藏高原的热力和机械强迫作用以及亚洲季风的爆发 I.爆发地点[J].大气科学,1998,22(6):825-838.
- [3] 吴国雄,张永生.青藏高原的热力和机械强迫作用以及亚洲季风的爆发 II.爆发时间[J].大气科学,1999,23(1):51-61.
- [4] 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.
- [5] 宋正山,鲍媛媛,杨辉.初夏东南亚季风建立过程的气候诊断分析[J].高原气象,2002,21(2):119-127.
- [6] 李青,刘宣飞,潘敖大.青藏高原冬春季积雪影响南海季风爆发的机制[J].南京气象学院学报,2008,31(2):214-220.
- [7] 张耀存,周天军.伴随南海季风爆发区域尺度环流演变机理的诊断分析和数值模拟[J].南京大学学报:自然科学,2002,38(3):331-340.
- [8] 刘屹岷,陈仲良,毛江玉,等.孟加拉湾季风爆发对南海季风爆发的影响 I.个例分析[J].气象学报,2003,61(1):1-9.
- [9] 刘屹岷,陈仲良,吴国雄.孟加拉湾季风爆发对南海季风爆发的影响 II.数值试验[J].气象学报,2003,61(1):10-19.

(下转第143页)

4 结 论

虽然遥感技术、雷达技术以及同位素示踪技术等逐渐被引入到水文模拟中, 为水文研究提供了更多的信息, 并在一定程度上减少了不确定性, 但是水文循环的复杂非线性特征使得模型的结构和参数都不可避免存在不确定性, 所以必须认真考虑这种不确定性。本文引进了 Beta-PERT 分布研究模型参数分布特征对水文模拟不确定性的影响, 结果表明: ①参数分布的区间对模拟结果的不确定性有很大的影响, 其不仅对模拟结果的离散程度有影响, 而且对模拟结果的对称性和峰度都有一定的影响。随着参数分布区间的增大, 模拟结果的不确定性区间在增大; 随着参数取值范围的进一步扩大, 为了更加全面地分析模拟结果的不确定性, 就要相应地增加蒙特卡罗模拟的次数。②参数分布的不对称性对模拟结果的不确定性有一定的影响; 当偏态系数为 0.61 时 (负偏), 得到的模拟结果的不确定区间最大。③参数分布特征的变化对信度水平为 5% 的不确定度的上边界的影响比较明显, 对下边界的影响则较小。对于复杂环境系统下的水文模拟和预测而言, 造成不确定性的因素有很多, 本文的研究也只是其中的一个方面, 今后仍需要进一步深入的研究。

参考文献:

- [1] 叶守泽, 夏军. 水文科学研究的世纪回眸与展望[J]. 水科学进展, 2002, 13(1): 93 - 104.
- [2] BEVEN K J, BINLEY A. The future of distributed models: model calibration and uncertainty prediction [J]. Hydrological Processes, 1992, 6: 279 - 298.
- [3] FREER J, BEVEN K J, AMBROISE B. Bayesian estimation of uncertainty in runoff prediction and the value of data: an application of the GLUE approach [J]. Water Resources Research, 1996, 32(7): 2161 - 2173.
- [4] BEVEN K J, FREER J. Equifinality, data assimilation, and uncertainty estimation in mechanistic modeling of complex environmental systems using the GLUE methodology [J]. Journal of Hydrology, 2001, 249: 11 - 29.
- [5] 黄国如, 解河海. 基于 GLUE 方法的流域水文模型的不确定性分析 [J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2007, 35(3): 137 - 142.
- [6] 林凯荣, 陈晓宏, 江涛. 基于 Copula-Glue 的水文模型参数不确定性研究 [J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2009, 48(3): 109 - 115.
- [7] 王建军, 徐伟宣, 张勇. 基于 Beta-PERT 分布的单项不良资产定价决策 [J]. 数理统计与管理, 2007, 26(3): 495 - 502.
- [8] 熊立华, 郭生练. 分布式流域水文模型 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004.
- [10] 赵永平, 陈永利. 南海 - 热带印度洋海温年际变化与南海夏季风爆发关系的初步分析 [J]. 热带气象学报, 2000, 16(2): 115 - 122.
- [11] 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, 2002, 38(4): 556 - 564.
- [12] 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.
- [13] 黄荣辉, 顾雷, 等. 东亚夏季风爆发和北进的年际变化特征及其与热带西太平洋热状态的关系 [J]. 大气科学, 2005, 29(1): 20 - 36.
- [14] 王丽娟, 王辉, 闫俊岳, 等. 南海海气界面潜热通量的分布特征及其对西南季风爆发影响的初步分析 [J]. 海洋学报, 2008, 30(1): 20 - 30.
- [15] 穆明权, 李崇银. 1998 年南海夏季风的爆发与大气季节内振荡的活动 [J]. 气候与环境研究, 2000, 5(5): 375 - 386.
- [16] 林爱兰. 南海夏季风的低频特征 [J]. 热带气象学报, 1998, 14(2): 113 - 118.
- [17] CHANG C P, CHEN G T J. Tropical circulation associated with southeast monsoon onset and westerly surge over the South China Sea [J]. Mon Wea Rev, 1995, 123: 3254 - 3267.
- [18] DING Y H, LIU Y J. Onset and the evolution of the summer monsoon over the South China Sea during SCS-MEXfield experiment in 1998 [J]. J Meteor Soc, Japan, 2001, 79: 255 - 276.
- [19] CHAN J C L, WANG Y G, XU X L. Dynamic and thermodynamic characteristics associated with the onset of the 1998 South China Sea summer monsoon [J]. J Meteor Soc Japan, 2000, 78: 367 - 380.
- [20] 毛江玉, 吴国雄, 刘屹岷. 季节转换期间副热带高压带形态变异及其机制的研究 II: 亚洲季风区季节转换指数 [J]. 气象学报, 2002, 60(4): 409 - 420.
- [21] 何金海, 丁一汇, 高辉, 等. 南海夏季风建立日期的确定与季风指数 [M]. 北京: 气象出版社, 2001.
- [22] 毛江玉, 吴国雄, 刘屹岷. 季节转换期间副热带高压带形态变异及其机制的研究 I: 副热带高压结构的气候学特征 [J]. 气象学报, 2002, 60(4): 400 - 408.

(上接第 138 页)