

ERA-Interim 中的中国地区水分循环要素的 时空演变特征分析*

周杰 吴永萍 封国林 胡经国†

(扬州大学物理科学与技术学院, 扬州 225002)

(2013年5月11日收到; 2013年5月29日收到修改稿)

本文利用 1979—2011 年欧洲中期天气预报中心 (ECMWF) 的再分析资料 (ERA-Interim), 运用经验正交函数展开 (EOF) 和相似系数等方法, 对中国地区水分循环诸要素的时空特征进行了计算与分析. 研究表明: 在空间分布特征上, 蒸发量、纬向水汽通量和经向水汽通量均与大气可降水量的空间分布最相似, 大气可降水量和降水量均与蒸发量的空间分布最相似, 降水量与纬向水汽通量的相似系数略大于其与经向水汽通量的相似系数; 在时间演变上: 年降水量在 1979—2002 年间, 呈现非常显著的上升趋势; 在 2002—2011 年间, 呈现显著的下降趋势. 年蒸发量在该两个时段的变化趋势与年降水量一致, 但均比年降水量明显; 年蒸发量在 1979—2011 年间呈现非常显著的上升趋势, 其年际变化明显小于年降水量. 可降水量和水汽通量散度在 1979—2011 年间的长期变化趋势不明显, 但可降水量的年际变化呈阶段式增大, 水汽通量的年际变化一直较大. 纬向与经向水汽通量均存在 2—3 年为周期的年际变化; 此外, 纬向水汽通量在 1979—2011 年间还存在显著的下降趋势. 春、秋季的水汽通量都存在显著下降的长期变化趋势, 夏、冬季的长期变化趋势不明显. 四季都存在 2—3 年为周期的年际变化. 此外, 夏季还存在明显的年代际转折.

关键词: 水分循环, 时空特征, EOF, 相似系数

PACS: 92.40.Zg

DOI: 10.7498/aps.62.199202

1 引言

水循环是联系大气水、地表水、地下水 and 生态水的纽带, 其变化深刻地影响着全球水资源系统和生态环境系统的结构及演变, 影响着人类社会的生产和发展^[1]. 20 世纪 50 年代以前, 由于资料的限制, 对中国地区水分循环各要素的研究相对较少. 1956 年起, 我国高空测站大量增加, 获得了许多宝贵的高空观测资料. 徐淑英^[2] 利用 1956 年 1 月和 7 月高空资料, 对我国大陆东部地区的水汽输送以及该地区内水分平衡作了初步计算, 发现我国水汽输送随着季风的转变存在明显的季节差异, 且 1956 年 7 月我国大陆是个水汽源地, 蒸腾量大于降水量; 施永年等^[3] 利用 1959 年逐日 07 时和 19 时资料,

计算了我国东部 38 个站点的水汽输送和水汽含量, 发现: 夏季水汽主要来自西南方向, 水汽辐合带的位移与降水带的分布和移动一致, 水汽含量 6 月份南多北少, 7、8 月份有南北均匀化的倾向; 刘国纬^[4,5] 利用全国 100 多个探空站 1961—1975 年的探空资料, 分析了我国大陆上空可降水量的时空分布, 指出我国可降水量总的分布形势由东南沿海向华北和西北递减, 其垂直分布很不均匀, 约有 90% 集中在 500 mb 以下. 同时, 徐淑英^[2] 也指出, 尽管高空测站相对以往大量增加, 但数据的空间精度仍然达不到要求, 许多数据都采用简化处理, 与实际情况有差别.

20 世纪 90 年代后, 各种再分析资料 (尤其是比湿场和风场) 不断涌现, 资料的时空精度和时空范围都较以往有很大提高. 此后, 国内外学者们对水

* 国家自然科学基金 (批准号: 41175067, 41205040)、国家重点基础研究发展计划 (批准号: 2013CB430204, 2012CB955902) 和公益性行业专项 (批准号: GYHY201106016) 资助的课题.

† 通讯作者. E-mail: jghu@yzu.edu.cn

分循环要素的研究也相继展开:黄荣辉等^[6]利用 ECMWF 再分析的 1980—1989 年逐日比湿场和风场分析了夏季东亚季风与印度季风水汽输送的差别,表明东亚夏季风降水主要是由夏季风带来的水汽平流所引起的,而印度季风区夏季降水主要是由夏季风环流系统的风场辐合所引起;戴新刚等^[7,8]利用 ECMWF 再分析资料对新疆水汽源地的变化和该地区夏季降水增多的主要机制进行了研究,结果表明 1987 年以前新疆的水汽主要来自其以西的湖泊或海洋,其后,水汽更多地直接来自较高纬度带,新疆北部地区夏季降水增多的主要机理之一是瞬变扰动活动的增加;蒋兴文等^[9]利用 ECMWF 再分析资料,首次从水汽输送异常入手,来寻找与之对应的降水类型,发现水汽输送异常的第一模态的变化与长江流域的降水存在较好的关系;吴永萍等^[10-12]利用 NCEP/NCAR 资料对塔里木河流域降水的时空特征及其原因进行了分析,指出山区降水与整个流域的垂直水汽输送存在较一致的上升趋势,平原降水与该地区水平水汽净输入量的变化一致;Dominguez 等^[13]对水汽含量的变化对降水再循环的影响作了深入分析,指出较小时间尺度的降水预报应考虑水汽含量的变化;Mariotti^[14]对地中海水文气候的变化进行了分析,指出 1958—2006 年之间,蒸发的上升趋势可能与该地区海温变化有关,降水的下降趋势可能与水汽含量的减少有关。

综上所述,以往的研究均将各个水分循环要素分别研究,没有将各要素整合,形成一个整体全面计算与研究.水分循环各个要素之间不可能互相独立,它们的相互联系特征,首先需要在宏观时、空间特征方面给予研究和揭露.因此,本文利用 ECMWF 的 ERA-Interim 资料,对近 30 年水分循环中的大气可降水量、降水量、蒸发量、水汽通量散度、纬向水汽通量、经向水汽通量的时空特征进行分析,并对它们的空间分布求相似,对时间演变求相关,旨在从各要素的宏观特征入手,寻找它们之间的联系,对中国地区的水循环机理有更清楚的了解,以便在现有的汛期预测方法^[15-23]上,提供更加准确、有用的信息。

2 资料和方法

本文所用的是由欧洲天气预报中心 (ECMWF) 提供的中期再分析资料 (ERA-Interim),要素包括:比湿场,风场 (u, v),降水和蒸发.网格距为

$2.5^\circ \times 2.5^\circ$;时间段为 1979—2011 年(选为气候态);其中比湿场和风场是一天 4 次,垂直层次共 8 层,分别是 1000 hPa, 925 hPa, 850 hPa, 700 hPa, 600 hPa, 500 hPa, 400 hPa, 300 hPa;降水和蒸发是月平均资料.文中所使用的方法主要包括 EOF 分析、相似系数和趋势系数等^[24,25].

3 水分循环要素气候态的空间分布

图 1 为水分循环各要素 1979—2011 年的年平均值的空间分布.可以看出,大气可降水量主要表现为由东南向西北逐渐减少的特征(图 1(a)),最大值位于我国台湾和两广地区,达到 38 mm;其次位于四川盆地,为 28 mm;最小值位于青藏高原地区,仅有 4 mm.这种空间特征与我国地形的分布类似,说明大气可降水量受地形影响:在长江中下游及其以南地区,多为平原,空气柱较厚,大气可降水量较大;在青藏高原地区,地形较高,空气柱较薄,大气可降水量较小,此处与刘国纬^[5]的研究结果一致.图 1(b), (c) 分别是年降水量和年蒸发量气候态的空间分布.可以看出,它们的分布特征类似,都是东南向西北逐渐减小,年降水量最大值位于广东省,达到 1800 mm,最小值位于新疆—内蒙古地区,仅有 200 mm;年蒸发量最大值位于东南沿海,达到 1300 mm,最小值位于甘肃玉门地区,仅有 100 mm.不同点在于:1) 在黄河以南地区,年降水量的等值线基本与纬线平行,而年蒸发量等值线呈东北西南向;2) 在长江以南地区,年降水量大于年蒸发量;而西北内陆,两者基本相等.所以长江以南地区河流径流充沛,水资源丰富,比西北地区湿润.图 1(d) 是整层水汽通量散度多年平均的空间分布,可见,在中国范围内,主要的水汽源地(值大于 0 的区域)位于四川盆地,主要的水汽汇(值小于 0 的区域)位于长江中下游流域.图 1(e) 是多年平均的整层纬向水汽通量的空间分布.可以看出,整个中国地区纬向水汽通量均为正值,表明我国的纬向水汽输送主要是西风的作用:中高纬地区受西风带影响,低纬地区受西太副高北部偏西气流影响;其高值区位于长江以南地区,主要在浙江和福建省;低值区位于南疆和西藏北部地区.图 1(f) 是多年平均的整层经向水汽通量的空间分布,其特征表现为:以雷州半岛及两广交界处为大值中心,其值由内向外逐渐减小;以内蒙古—甘肃—青海—北疆为界,其以北经向水汽通量的值小于 0,其以南大于 0,表明在内蒙

古—甘肃—青海—北疆以南,水汽通量是从热带或副热带海洋上向我国大陆输送的,其以北水汽通量是从北冰洋经西伯利亚输送到我国的;并且,前者的输送量明显大于后者.对比经向水汽通量(图

1(e))和纬向水汽通量(图1(f))的空间分布图可以看出:在海南、雷州半岛和两广交界处,经向水汽通量大于纬向水汽通量;除此之外,在我国其他地区,均是纬向水汽通量略大于经向水汽通量.

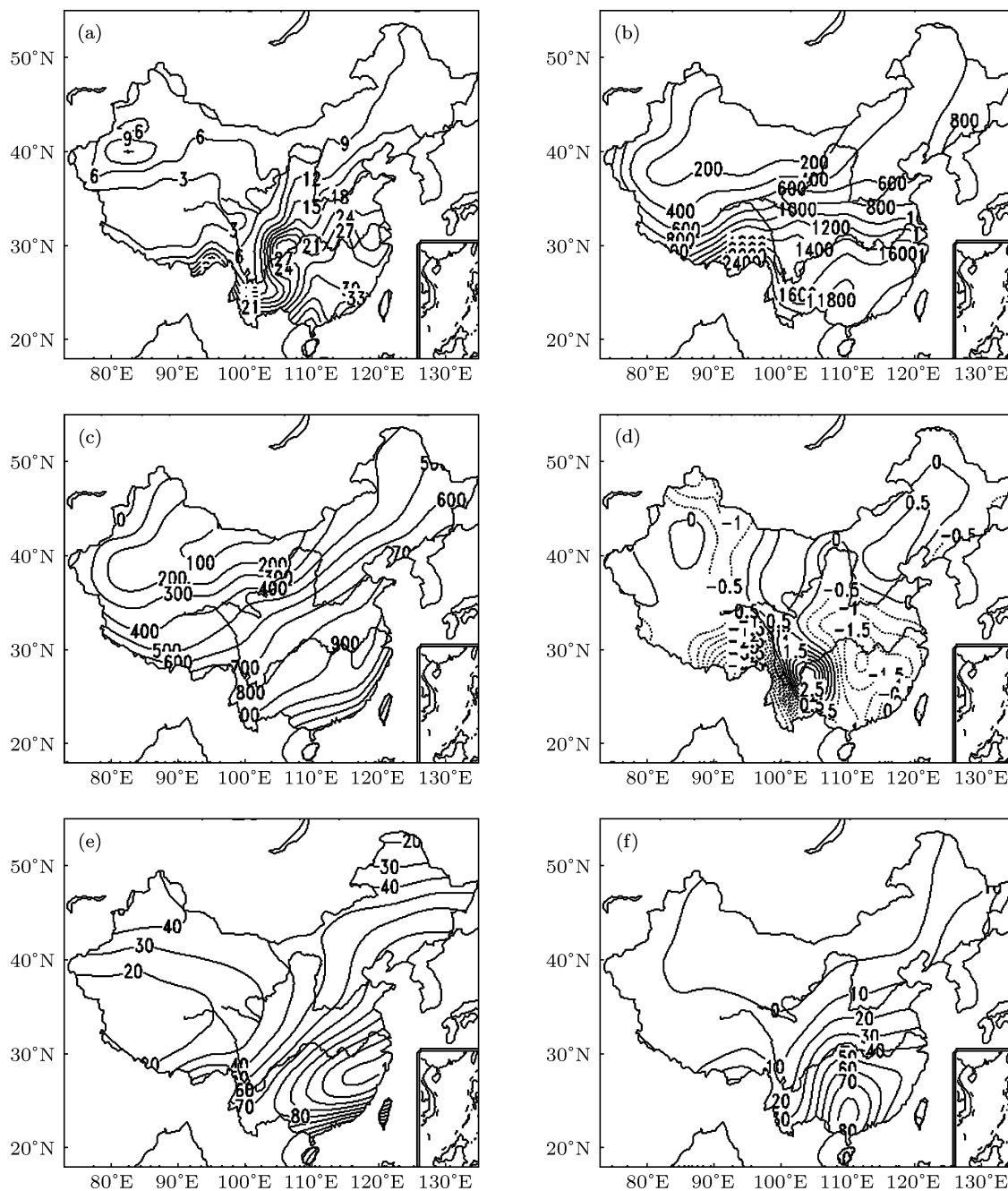


图1 水分循环各要素多年平均的空间分布 (a) 可降水量: mm; (b) 降水量: mm; (c) 蒸发量: mm; (d) 水汽通量散度: $10^{-5} \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$; (e) 纬向水汽通量: $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$; (f) 经向水汽通量: $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$

为了解水分循环诸要素空间分布相似性和可能的联系,我们首先计算了空间分布图之间的相似系数(表1).由表可见,与大气可降水量的空间分布最相似的是蒸发量场,其相似系数达到了0.94,其次是纬向水汽通量场和经向水汽通量场,其相似系

数分别为0.91和0.85.这种相似系数正好表明对于中国区域整体而言,蒸发、纬向水汽输送和经向水汽输送分别对降水量的贡献大小:在年际尺度上,大气可降水量主要来自于蒸发,其次是纬向和经向水汽输送,纬向水汽输送大于经向水汽输送.

与降水量的空间分布最相似的是蒸发量的空间分布,表明降水量(蒸发量)大的地方,蒸发量(降水量)也大.降水量与纬向水汽通量的相似系数略大于其与经向水汽通量的相似系数.与蒸发量的空间分布最相似的是可降水量的空间分布;降水量和纬向水汽通量与它的相似系数一样为 0.89,但降水量场是在我国北方(新疆、内蒙古和东北地区)与其相似度较大,纬向水汽通量场则是在我国长江流域及其以南地区与其比较相似.但是,水汽通量散度的空间分布(图 1(d))与水分循环其他要素的空间分布都是不相似的,说明从多年平均看,水汽通量散度的空间分布特征与其他水分循环要素的空间分布没有什么联系.它们空间分布之间是否会有联系,还需要深入研究.例如研究月、季这些更小时间尺度的水分循环.与纬向水汽通量和经向水汽通量的空间分布最相似的都是可降水量的空间分布,它们的相似系数分别为 0.91 和 0.85.纬向水汽通量场与可降水量场的相似系数大于经向水汽通量场与它的相似系数.

表 1 还说明,虽然在某些时间段和地域,经向水汽通量场与纬向水汽通量有不同的的重要性,但是,经向和纬向水汽通量场与降水量的关系,无论空间分布和时间相关都是很好的(表 3);总体来说,纬向水汽通量对降水相对重要些,经向水汽通量场也不能忽略,这在我国东部区域的降水预报分析中是必需注意的.

4 水分循环要素的时间演变

利用 EOF 方法对水分循环各要素的时空特征进行分析.表 2 是水分循环各要素 EOF 分析第一特征向量的方差贡献率,均通过 North 检验,表明它们与各自的第二特征向量是可分离的,其经验正交函数是有意义的.水分循环各要素的第一特征向量的空间分布(图略)与各自气候态的空间分布(图 1)非常一致,不再赘述,因此,它们的第一特征向量对应的时间系数(图 2),就是逐年诸要素的权重,可以分析它们年际变化之间的相关.

表 1 水分循环各要素空间分布的相似系数

	可降水量	降水量	蒸发量	水汽通量散度	纬向水汽通量	经向水汽通量
可降水量	1.00					
降水量	0.84	1.00				
蒸发量	0.94	0.89	1.00			
水汽通量散度	-0.25	-0.40	-0.22	1.00		
纬向水汽通量	0.91	0.82	0.89	-0.24	1.00	
经向水汽通量	0.85	0.77	0.77	-0.25	0.73	1.00

表 2 水分循环各要素第一特征向量的方差贡献率 (%)

	可降水量	降水量	蒸发量	水汽通量散度	纬向水汽通量	经向水汽通量
方差贡献率	99.92	97.97	99.56	94.31	98.39	95.56

可降水量时间系数的长期变化趋势很不明显(其气候趋势系数仅为 -0.19),但在不同阶段其年际变化是不同的:1979—1985 年间,可降水量的时间系数基本在平均值附近,年际变化很小;1986—1995 年间,其时间系数的年际变化较前一时段有所增大;1998—2011 年间,年际变化进一步增大;即 1979—2011 年间,可降水量的年际变化呈阶段式增大.年降水量在 1979—2011 年间的长期变化趋势很不明显(其气候趋势系数仅为 -0.03),但其阶段性变化趋势非常突出:1979—2002 年间,其时间系数呈现非常显著(气候趋势系数为 0.63,通过了信度为 0.001 的统计检验)的上升趋势;2002—2011 年间,其时间系数呈现出显著的(气候趋势系数通

过了信度为 0.05 的统计检验)下降趋势.年蒸发量具有与年降水量相同的阶段性变化趋势:2002 年以前,呈现非常显著的上升趋势(其气候趋势系数为 0.88,通过了信度为 0.001 的统计检验);其后,呈现非常显著(其气候趋势系数为 -0.87,通过了信度为 0.002 的统计检验)的下降趋势,年蒸发量在两个时段的变化趋势均比年降水量明显.与年降水量相比,年蒸发量时间系数的不同点在于:1)在 1979—2011 年间,年蒸发量呈现出非常显著的上升趋势(其气候趋势系数为 0.70,通过了信度为 0.001 的统计检验);2)年蒸发量的年际变化很小,明显小于年降水量.水汽通量散度在 1979—2011 年间的气候趋势系数为 0.10,变化趋势

很不明显, 其年际变化比较大. 纬向水汽通量的时间系数在 1979—2011 年间存在明显的下降趋势, 其气候趋势系数为 -0.52 , 通过了信度为 0.005 的统计检验. 在 20 世纪末, 该时间系数发生了年代际转折: 在 1979—1998 年, 时间系数在平均值附近波动 (该时段平均值为 1.04), 而 1999—2011 年

(除 2010 年外), 时间系数明显变小 (该时段平均值为 0.93); 此外, 纬向水汽通量的时间系数还呈现出 2—3 年的周期变化. 经向水汽通量的时间系数的长期变化趋势和年代际转折均没有纬向水汽通量的明显, 其 2—3 年为周期的年际变化还是明显的.

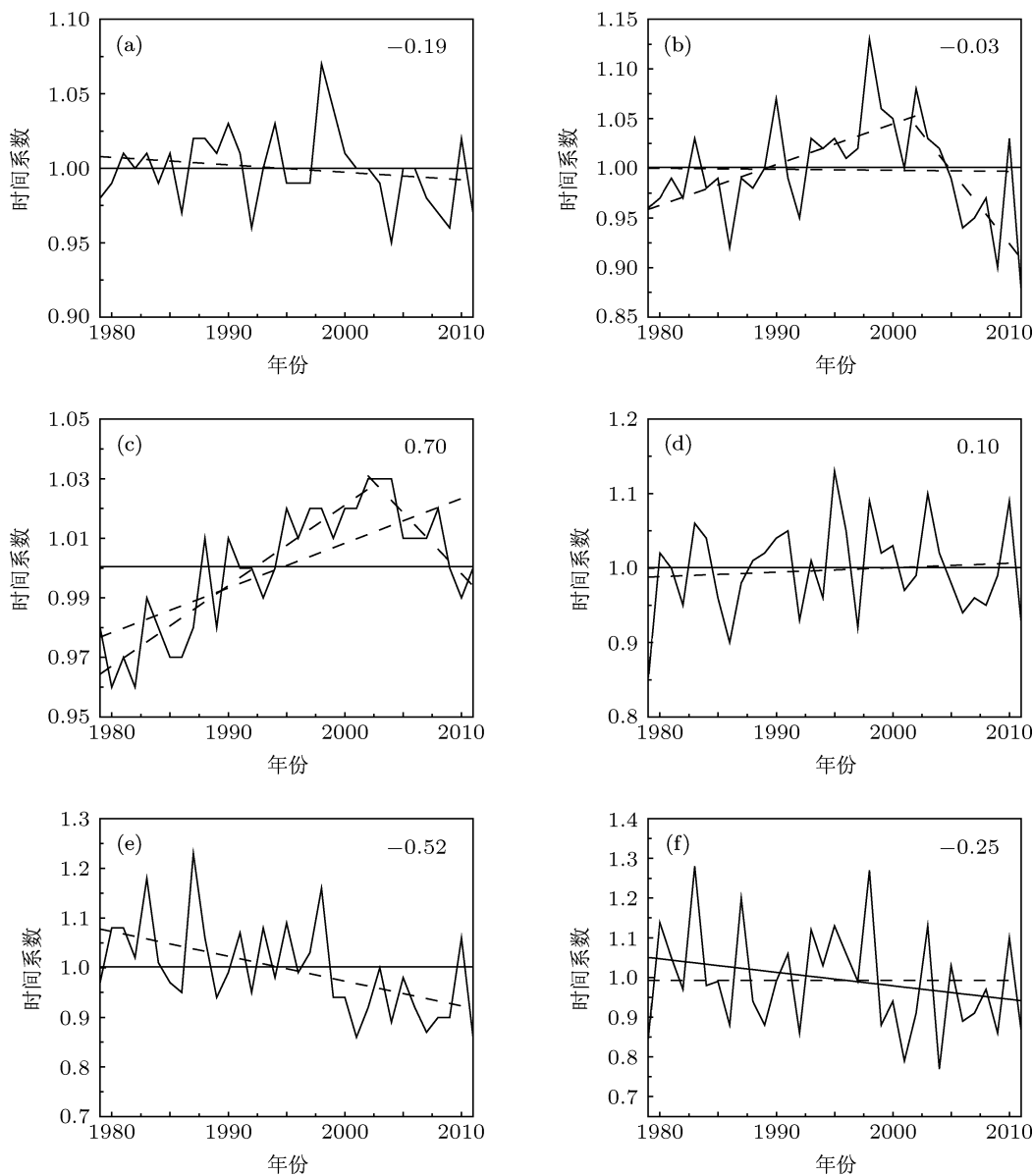


图2 水分循环各要素第一特征向量对应的时间系数 (曲线: 年际变化线, 实直线: 平均值, 虚线: 趋势线, 右上角数值: 1979—2011 的气候趋势系数) (a) 可降水量; (b) 降水量; (c) 蒸发量; (d) 水汽通量散度; (e) 纬向水汽通量; (f) 经向水汽通量

有研究表明当计算相关的二个变量都包含有明显的趋势变化成分时, 原变量之间的相关特征可能被歪曲 (夸大或者缩小)^[26,27], 因此表 3 中是水分循环各要素第一特征向量的时间系数去趋势后的相关系数, 反映了真实的年际变化之间的相关, 表中 *, ** 和 *** 代表相关系数通过了信度分别为 0.05 , 0.01 和 0.001 的信度检验. 由表可见, 可降

水量与降水量呈显著正相关 (其相关系数为 0.69 , 通过了信度为 0.001 的 t 检验), 与蒸发量基本不相关 (其相关系数仅为 0.18), 与纬向和经向水汽通量的相关程度基本一样 (其相关系数分别为 0.50 和 0.49 , 均通过了信度为 0.01 的 t 检验). 降水量与其他各要素呈现不同程度的正相关, 其相关系数均通过了信度为 0.05 的 t 检验. 其中, 与可降水量、蒸

发量和水汽通量散度的正相关最显著(其相关系数分别为 0.69, 0.60 和 0.60, 均通过了信度为 0.001 的 t 检验). 蒸发量只与降水量呈显著正相关, 与其他各要素的相关关系不显著. 水汽通量散度与降水量和经向水汽通量散度的正相关最显著(其相关系数分别为 0.60 和 0.63, 均通过了信度为 0.001 的 t 检验). 纬向水汽通量与经向水汽通量有非常显著

的正相关关系, 其相关系数为 0.90, 通过了信度为 0.001 的 t 检验.

5 四季水汽通量的时空特征

东亚季风区水汽有很强的季节特征, 故再运用 EOF 分析的方法对中国地区四季的水汽通量的时空特征进行分析.

表 3 水分循环各要素第一特征向量时间系数的相关系数

	可降水量	降水量	蒸发量	水汽通量散度	纬向水汽通量	经向水汽通量
可降水量	1.00					
降水量	0.69***	1.00				
蒸发量	0.18	0.60***	1.00			
水汽通量散度	0.43*	0.60***	0.29	1.00		
纬向水汽通量	0.50**	0.43*	0.09	0.58**	1.00	
经向水汽通量	0.49**	0.45**	0.05	0.63***	0.90***	1.00

注: 上标 *, ** 和 *** 分别达到 0.05, 0.01 和 0.001 信度的 t 检验水平.

表 4 是四季水汽通量 EOF 分析第一特征向量的方差贡献率. 由表可见, 春、冬季水汽通量比较稳定, 夏季变化最大.

的空间分布. 由该图可见, 春季水汽通量的大值区

表 4 四季水汽通量第一特征向量的方差贡献率 (%)

	春季	夏季	秋季	冬季
方差贡献率	97.96	88.89	91.04	97.70

图 3 是四季水汽通量 EOF 分析第一特征向量

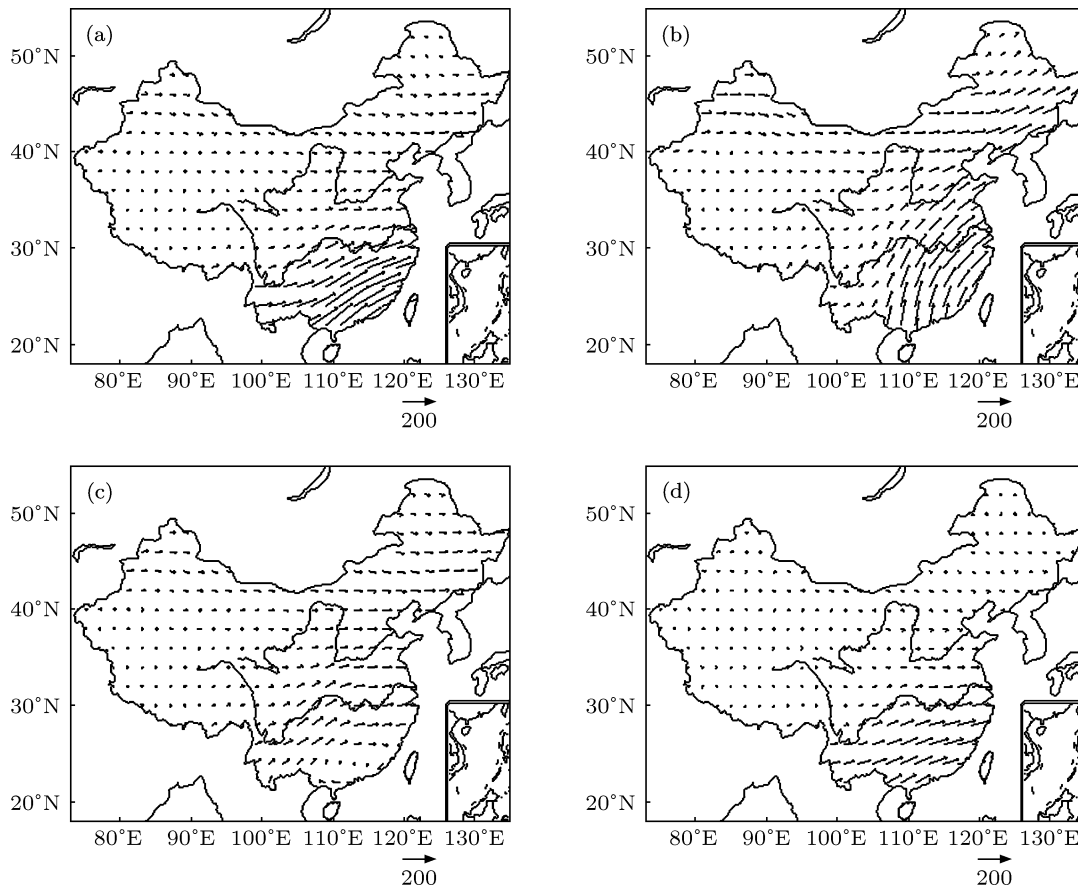


图 3 四季水汽通量第一特征向量的空间分布(单位: $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$) (a) 春季; (b) 夏季; (c) 秋季; (d) 冬季

主要位于长江以南地区, 以西南方向的水汽输送为主. 水汽从云南、两广地区进入我国, 向北输送至长江中下游地区. 夏季, 受盛行风带随季节移动的影响, 长江以南地区以南风水汽输送为主, 向北可到达山东半岛和渤海湾. 秋季, 随着副高南撤, 水汽通量的大值区也退回到长江和黄河之间, 且以西南方向输送为主. 冬季, 大值区更加偏南, 位于广东和福建省. 水汽通量的空间分布随季节的变化与盛行

风空间分布随季节的变化基本一致.

由图 4 可见, 春、秋季的长期变化趋势很明显, 都存在显著的下降趋势; 其气候趋势系数分别为 -0.38 , -0.48 , 分别通过了信度为 0.05 和 0.01 的 t 检验. 夏、冬季的长期变化趋势不明显. 四季都存在 2—3 年为周期的年际变化. 此外, 夏季还存在明显的年代际转折: 1979—1998 年, 平均值为 1.05, 1999—2010 年, 平均值为 0.90.

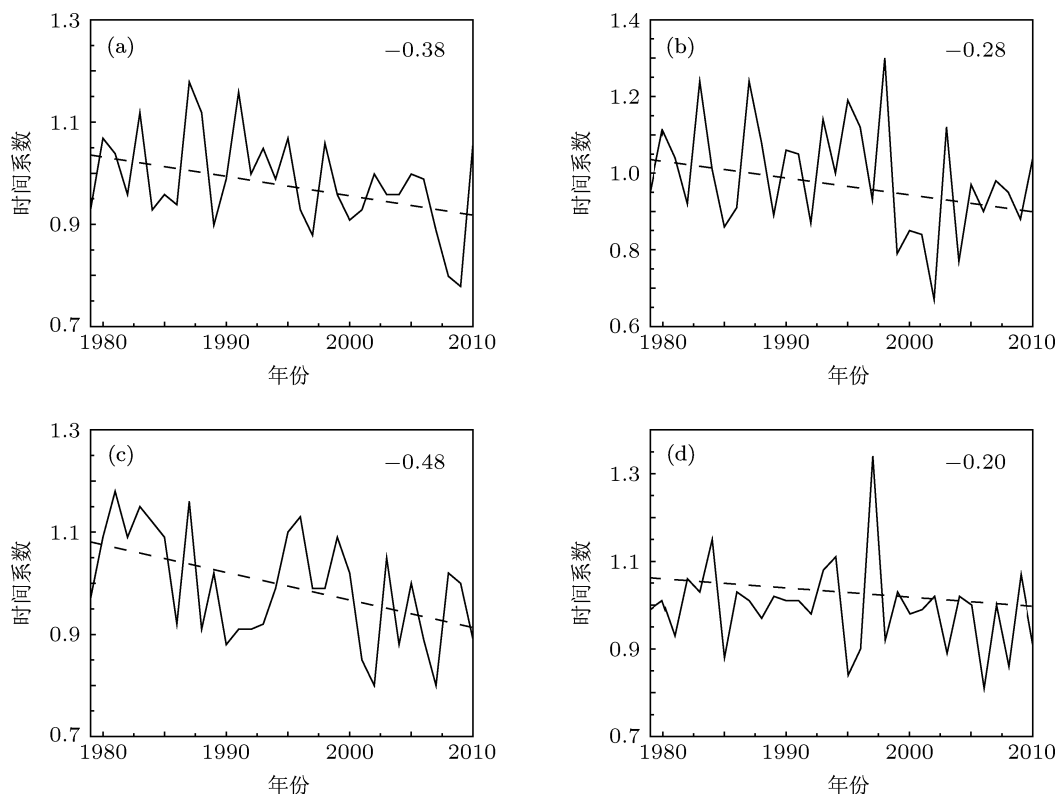


图 4 四季水汽通量第一特征向量对应的时间系数 (曲线: 年际变化线, 虚线: 趋势线, 右上角数值: 1979—2010 年的气候趋势系数) (a) 春季; (b) 夏季; (c) 秋季; (d) 冬季

6 结论

本文利用 ERA-Interim 的资料, 运用 EOF 分析方法, 对我国水分循环要素的时空特征进行了初步分析, 得到以下结论:

1. 大气可降水量、年降水量、年蒸发量、纬向水汽通量和经向水汽通量多年平均的空间分布类似: 都是由东南向西北逐渐减小. 但它们各自最大值和最小值所在区域有一定差异.

2. 蒸发量、纬向水汽通量和经向水汽通量均与大气降水量的空间分布最相似, 大气可降水量和降水量均与蒸发量的空间分布最相似, 降水量与纬向水汽通量的相似系数略大于其与经向水汽通

量的相似系数.

3. 年降水量在 1979—2002 年间, 呈现非常显著的上升趋势; 在 2002—2011 年间, 呈现显著的下降趋势. 年蒸发量在该两个时段的变化趋势与年降水量一致, 但均比年降水量明显; 年蒸发量在 1979—2011 年间呈现非常显著的上升趋势, 其年际变化明显小于年降水量. 可降水量和水汽通量散度在 1979—2011 年间的长期变化趋势不明显, 但可降水量的年际变化呈阶段式增大, 水汽通量的年际变化一直较大. 纬向与经向水汽通量均存在 2—3 年为周期的年际变化; 此外, 纬向水汽通量在 1979—2011 年间还存在显著的下降趋势.

4. 春、秋季都存在显著下降的长期变化趋势,

夏、冬季的长期变化趋势不明显. 四季都存在 2—3 年为周期的年际变化. 此外, 夏季还存在明显的年

代际转折.

- [1] Lu G H, He H 2006 *Advances in Water Science* **17** 419 (in Chinese) [陆桂华, 何海 2006 水科学进展 **17** 419]
- [2] Xu S Y 1958 *Acta Meteorologica Sinica* **29** 33 (in Chinese) [徐淑英 1958 气象学报 **29** 33]
- [3] Shi Y N, Liu H L, Ma K Y 1982 *Scientia Meteorologica Sinica* **2** 147 (in Chinese) [施永年, 刘惠兰, 马开玉 1982 气象科学 **2** 147]
- [4] Liu G W 1984 *Journal of Hydraulic Engineering* **15** 1 (in Chinese) [刘国纬 1984 水利学报 **15** 1]
- [5] Liu G W 1997 *Atmosphere Process in Hydrologic Cycle* (Beijing: Science Press) pp74–78 (in Chinese) [刘国纬 1997 水文循环的大气过程 (北京: 科学出版社) 第 74—78 页]
- [6] Huang R H, Zhang Z Z, Huang G, Ren B H 1998 *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* **22** 460 (in Chinese) [黄荣辉, 张振洲, 黄刚, 任保华 1998 大气科学 **22** 460]
- [7] Dai X G, Li W J, Ma Z G, Wang P 2007 *Progress in Natural Science* **17** 42
- [8] Dai X G, Wang P, Zhang K J 2012 *Chin. Phys. B* **21** 119201
- [9] Jiang X W, Li Y Q, Wang X 2008 *Acta Geographica Sinica* **63** 482 (in Chinese) [蒋兴文, 李跃清, 王鑫 2008 地理学报 **63** 482]
- [10] Wu Y P, Wang C H, Shen Y P 2010 *Journal of Glaciology and Geocryology* **32** 1074 (in Chinese) [吴永萍, 王澄海, 沈永平 2010 冰川冻土 **32** 1074]
- [11] Wu Y P, Wang C H, Shen Y P 2011 *Journal of Glaciology and Geocryology* **33** 1268 (in Chinese) [吴永萍, 王澄海, 沈永平 2011 冰川冻土 **33** 1268]
- [12] Wu Y P, Shen Y P, Li B 2012 *Ecological Complexity* **9** 63
- [13] Dominguez F, Kumar P, Liang X Z, Ting M F 2006 *Journal of Climate* **19** 1513
- [14] Mariotti A 2010 *Journal of Climate* **23** 1513
- [15] Feng G L, Cao H X, Wei F Y, Chou J F 2001 *Acta Meteorologica Sinica* **59** 206 (in Chinese) [封国林, 曹鸿兴, 魏凤英, 丑纪范 2001 气象学报 **59** 206]
- [16] Zheng Z H, Ren H L, Huang J P 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 7359 (in Chinese) [郑志海, 任宏利, 黄建平 2009 物理学报 **58** 7359]
- [17] Wang Q G, Feng G L, Zheng Z H, Zhi R 2011 *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* **35** 287 (in Chinese) [王启光, 封国林, 郑志海, 支蓉 2011 大气科学 **35** 287]
- [18] Yang J, Wang Q G, Zhi R, Feng G L 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 029204 (in Chinese) [杨杰, 王启光, 支蓉, 封国林 2011 物理学报 **60** 029204]
- [19] Yang J, Zhao J H, Zheng Z H, Xiong K G, Shen B Z 2012 *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* **36** 11 (in Chinese) [杨杰, 赵俊虎, 郑志海, 熊开国, 沈柏竹 2012 大气科学 **36** 11]
- [20] Zhao J H, Feng G L, Wang Q G, Yang J, Gong Z Q 2011 *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* **35** 1069 (in Chinese) [赵俊虎, 封国林, 王启光, 杨杰, 龚志强 2011 大气科学 **35** 1069]
- [21] Zhao J H, Yang J, Feng G L, Zhang S X 2013 *Journal of Applied Meteorological Science* **24** 43 (in Chinese) [赵俊虎, 杨杰, 封国林, 张世轩 2013 应用气象学报 **24** 43]
- [22] Xiong K G, Zhao J H, Feng G L, Huang J P, Hu J G 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 149204 (in Chinese) [熊开国, 赵俊虎, 封国林, 黄建平, 胡经国 2012 物理学报 **61** 149204]
- [23] Xiong K G, Feng G L, Huang J P, Chou J F 2011 *Acta Meteorologica Sinica* **25** 316
- [24] Shi N 2009 *Statistic Analysis and Forecast Methods in Meteorology* (Beijing: China Meteorological Press) pp128–233 (in Chinese) [施能 2009 气象统计预报 (北京: 气象出版社) 第 128—233 页]
- [25] Shi N, Chen J Q, Tu Q P 1995 *Acta Meteorologica Sinica* **53** 531 (in Chinese) [施能, 陈家其, 屠其璞 1995 气象学报 **53** 531]
- [26] Shi N, Yi Y M, Gu J Q, Xia D D 2006 *Chin. Phys. Soc.* **15** 2180
- [27] Shi N, Gu J Q, Feng G L 2007 *Mathematics in Practice and Theory* **37** 98 (in Chinese) [施能, 顾俊强, 封国林 2007 数学的实践与认识 **37** 98]

Spatial and temporal characteristics of moisture cycle factors over China analyzed with ERA-Interim reanalysis data*

Zhou Jie Wu Yong-Ping Feng Guo-Lin Hu Jing-Guo[†]

(Department of Physical Science and Technology, Yangzhou University, Yangzhou 225002, China)

(Received 11 May 2013; revised manuscript received 29 May 2013)

Abstract

In this paper, we analyze the spatial and temporal characteristics of different moisture cycle factors over China by using the ERA-Interim data supplied by the European Centre for medium-range weather forecasts (ECMWF). The methods used in this paper include mainly the empirical orthogonal function (EOF), similarity coefficients, one-dimensional linear regression and so on. Results show that the spatial distribution of evaporation, zonal and meridional moisture flux are all extremely similar to that of precipitable water. While the spatial distribution of precipitable water and precipitation are both very similar to that of evaporation. The similarity coefficient between precipitation and zonal moisture flux is a little larger than that between precipitation and meridional moisture flux. In terms of temporal characteristics, it is shown that precipitation has an obvious upward trend during 1979—2002 and an obvious downward trend during 2002—2011. The trend of evaporation is the same as that of precipitation during the same period, but the former is more obvious than the latter. Besides, evaporation also shows an obvious upward trend during 1979—2011. Both of precipitable water and moisture flux divergence show a slightly downward trend. Zonal and meridional moisture flux change in a period of 2—3 years. Further, zonal moisture flux has an obvious downward trend during 1979—2011. The vapor flux has an obvious downward trend both in spring and autumn, and changes in a period of 2—3 years for all four seasons. Besides, the vapor flux in summer presents a decadal transition.

Keywords: moisture cycle, spatial and temporal characteristic, EOF, similarity coefficient

PACS: 92.40.Zg

DOI: 10.7498/aps.62.199202

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 41175067, 41205040), the State Key Development Program for Basic Research of China (Grant Nos. 2013CB430204, 2012CB955902), and the Special Scientific Research Fund of Meteorological Public Welfare Profession of China (Grant No. GYHY201106016).

[†] Corresponding author. E-mail: jghu@yzu.edu.cn