

海河流域近现代降水量变化若干特征

任国玉¹,王涛^{2,3},郭军⁴,郝志新⁵,战云健^{6,7}

(1. 国家气候中心气候研究开放实验室,北京 100081;2. 中国地质大学(武汉)环境学院,湖北 武汉 430074;
3. 安徽省气象局公共气象服务中心,安徽 合肥 230031;4. 天津气候中心,天津 300074;
5. 中国科学院地理科学与资源研究所,北京 100101;6. 中国气象局国家气象信息中心,北京 100081;
7. 中国气象科学研究院,北京 100081)

摘要:根据器测资料、代用资料和文献资料,综合分析海河流域1956年以来、1880年以来和1736年以来降水量变化的主要特征,探讨影响降水多年代尺度变化的可能机制。结果表明:①海河流域平均年降水量距平百分率在1956—2013年表现出较明显下降趋势,每10 a下降速率为2.6%,但在1880—2012年期间下降趋势很弱;②1736—2012年,海河流域平均年降水量距平百分率未表现出任何长期趋势变化,1956年以来和1880年以来的趋势性减少现象也不再显得异常,但存在一系列年代到多年代尺度振动;③20世纪40年代后期到60年代早期是1736年以来最湿润阶段,但20世纪初以来几次持续性干旱,包括1997—2003年的严重干旱,在1736年以来历史上并非罕见,1826—1843年曾出现持续时间最长的严重干旱;④海河流域平均年降水量具有准周期性振动特点,较明显的准周期包括2~7 a、11 a、22~23 a、33 a和63~65 a;⑤20世纪60年代后期以来海河流域降水的趋势性减少,是区域气候63~65 a自然低频周期性振动的组成部分,预计未来几十年整个流域降水量总体上将呈增多趋势,并可能在2035—2040年达到峰值区间。

关键词:降水量;降水特征;水循环;气候变异;准周期;气候变化;干旱;海河流域

中图分类号:P468 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2015)05-0103-09

Characteristics of precipitation variations in Haihe River Basin in modern times//REN Guoyu¹, WANG Tao^{2,3}, GUO Jun⁴, HAO Zhixin⁵, ZHAN Yunjian^{6,7} (1. Laboratory for Climate Studies, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China; 2. Department of Atmospheric Science, School of Environmental Studies, Chinese University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 3. Anhui Publics Meteorological Service Center, Anhui Meteorological Bureau, Hefei 230031, China; 4. Tianjin Climate Center, Tianjin Meteorological Bureau, Tianjin 300074, China; 5. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 6. National Meteorological Information Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China; 7. Chinese Academy of Meteorological Sciences, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China)

Abstract: Based on observed data, substitutive data, and scientific literature, this paper analyzes the main characteristics of precipitation variations over the last 60 years, 130 years, and 280 years and discusses the possible mechanism influencing precipitation variations on multi-decadal scales. Results showed the following: (1) The average annual precipitation anomaly percentage in the Haihe River Basin exhibited a decreasing trend during the period from 1956 to 2013, with a rate of decrease of 2.6% per 10 years, but the decreasing trend was weak during the period from 1880 to 2012. (2) During the period from 1736 to 2012, the average annual precipitation anomaly percentage in the Haihe River Basin did not show a significant long-term trend. A reduction in the trend of the average annual precipitation anomaly percentage in the Haihe River Basin appears to be a normal, but the fluctuation still existed on decadal and multi-decadal scales. (3) The period from the late 1940s to the early 1960s had the wettest climate conditions of the last 280 years. There have been several periods of persistent drought since the beginning of the 20th century, including the severe one, which has not been rare over the last 280 years, during the period from 1997 to 2003. The longest period of severe drought occurred from 1826 to 1843. (4) The average annual precipitation in the Haihe River Basin showed a characteristic of quasi-periodical fluctuation, and the relatively significant quasi-periods of fluctuation were 2 to 7 years, 11 years, 22 to 23 years, 33 years, and 63 to 65 years. (5) The reduction in the tendency of the precipitation in the Haihe River Basin after 1960s was a component of the natural low-frequency periodical fluctuation over 63 to 65 years in the regional climate. It is predicted that the annual precipitation in the Haihe River basin will increase over the next few decades, and it will probably reach its peak value during the period from 2035 to 2040.

Key words: precipitation; precipitation characteristic; water cycle; climate variability; quasi-period; climate change; drought; Haihe River Basin

海河流域位于我国北方半干燥、半湿润气候区,面积 31.8 万 km²,地跨北京、天津、河北、山西、河南、山东、内蒙古、辽宁等 8 省(市、自治区)。流域内人口密集,城镇星罗棋布,经济相对发达,水资源短缺问题十分突出,人均水资源可用量约为 300 m³,仅为全国平均水平的 1/7 和世界平均水平的 1/27,是全国甚至全球人均水资源量最为紧缺的地区^[1-4]。

在过去的半个世纪,海河流域气候发生了较大变化,主要表现为大气降水量出现了年代减少现象,地面气温趋于明显上升,地表太阳辐射和近地面平均风速均呈显著下降趋势,潜在蒸发能力普遍减弱^[5-6]。其中,降水的波动和趋势变化对整个流域气候干湿程度和天然水资源供需平衡的影响最为重要,并通过与社会经济因素相互作用进一步影响社会水资源供需平衡。20 世纪 90 年代末到 21 世纪初,海河流域地区出现了持续多年的罕见干旱,对经济和社会发展造成重大影响^[7]。探讨海河流域大气降水长期变化规律,对于深入认识流域水循环过程,增进流域水资源管理的科学性,有效适应气候变化和变异造成的影响,具有理论和实际意义^[8-10]。

对于海河流域和整个华北地区大气降水长期变化特征和机理问题,学术界长期予以高度关注。但是,由于高质量、连续观测资料的限制,针对海河流域和华北平原北部降水变化规律的研究,长期以来主要集中在近半个世纪大气降水序列分析上,取得了系列成果^[11-19],揭示出整个流域年代际变异和趋势变化主要特征;而对于近百年和近几百年降水变化规律的了解,主要是通过分析仅有的记录尚不完整的器测资料序列^[20-24]以及历史旱涝指数等代用资料^[25-31]获取的。总体上看,在已有研究中,综合多种资料的重建和分析还不多,对海河流域降水长期变化规律的认识尚需不断深入。

笔者拟根据海河流域 1956 年以来的器测资料、1880 年以来的长序列仪器观测资料以及古代“雨雪分寸”和旱涝等级资料,建立全流域不同时间长度年总降水量距平百分率序列,分析近现代时期降水量变化的多时间尺度规律,以期深入了解流域降水变化机理和未来趋势提供借鉴。

1 资料和方法

本研究采用了以下资料:1956 年以来国家气象信息中心均一化处理的相关气象站年降水量资料;1880 年以来的北京和天津两站年降水量观测资料;根据原中央气象局编制的《中国近五百年旱涝分布图集》中海河流域 12 个站点(北京、天津、大同、太原、唐山、保定、沧州、石家庄、安阳、邯郸、德州、济

南) 1736 年以来来的旱涝等级指数^[26-32]和中国科学院地理科学与资源研究所根据“雨雪分寸”记录重建的 4 个站点(石家庄、沧州、太原、济南)年降水量资料^[33-34]。不同类型资料的分布情况见图 1。

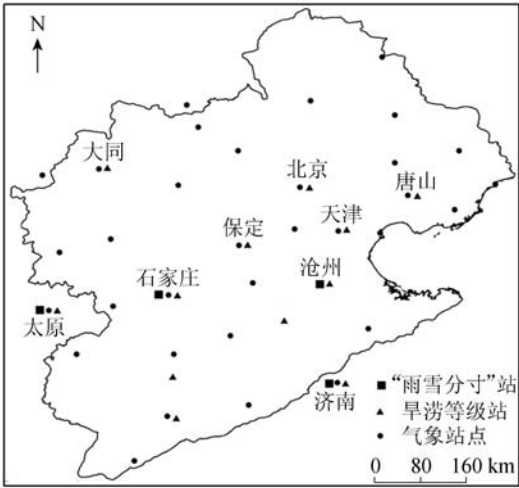


图 1 海河流域范围及其所用资料站点分布

1956 年以来的观测资料质量较好,也不存在明显非均一性问题,可以直接用来计算流域平均降水量。由于站点分布基本均匀,采用简单算术平均方法计算、建立海河流域年降水量距平百分率序列(图 2)。

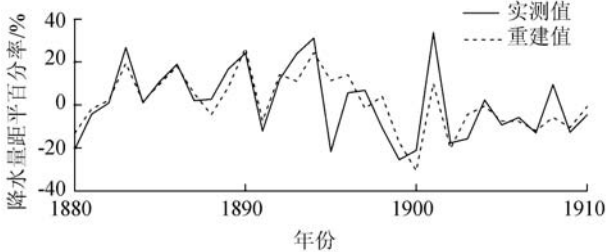


图 2 海河流域平均年降水距平百分率
实测值与重建值比较

1880 年以来观测资料少,空间分布不均匀,特别是早期观测记录缺失较多。本文仅采用北京站和天津站长序列年降水量记录。对早期少量缺失记录,利用《中国季平均温度及降水量百分比距平图集(1880—2007)》^[35]资料来插补。根据 1956—2012 年两站与海河流域降水变化之间的高度相关性,重建 1880 年后的海河流域年降水量距平百分率序列。

1956—2012 年,北京、天津站平均年降水量与海河流域年降水量之间的相关系数达到 0.87,置信度为 0.01。两者关系可用以下转换方程表示:

$$P_{hh1} = 0.586P_{bt} - 0.723 \tag{1}$$

式中: P_{hh1} 为海河流域平均年降水量距平百分率; P_{bt} 为北京、天津平均年降水量距平百分率。据此,根据北京、天津平均年降水量距平百分率序列,可以建立 1880—2012 年海河流域平均年降水量距平百分率

序列。

1736 年以来海河流域年降水量距平百分率序列是根据采用 4 站“雨雪分寸”资料反演的平均年降水量序列^[33-34]和采用 12 个站点历史旱涝指数资料^[26,32]计算的平均旱涝指数序列重建获得的。这样处理的假设是:利用不同来源的独立代用资料重建一个区域古气候序列,可以得到比采用单一代用资料序列重建更好的结果。

1880—1910 年间,海河流域年降水量距平百分率与 4 站“雨雪分寸”平均年降水量的相关系数是 0.50,置信度为 0.01;与流域平均旱涝等级指数的相关系数是-0.79,置信度为 0.01,因此,可以利用“雨雪分寸”降水量和旱涝等级指数重建更早时期的年降水量。基于北京、天津站资料重建的海河流域年降水量距平百分率,与基于“雨雪分寸”资料重建的流域平均降水量 P_{yx} 和流域平均旱涝等级序列 P_{hl} 之间具有以下关系:

$$P_{hh2} = 49.211 - 0.02P_{yx} - 17.455P_{hl} \quad (2)$$

式中: P_{hh2} 为海河流域平均年降水量距平百分率。

该转换方程的方差解释量为 63.2%,调整后为 60.6%,F 检验值为 24.04,达到显著性水平。图 2 为 1880—2012 年重建结果与同期实测值(实际上是根据北京、天津站观测资料重建的 1880 年以来海河流域平均年降水量距平百分率)的比较,说明二者在年际、年代际和趋势变化上具有很好的一致性,相关系数达到 0.80,重建的降水量距平百分率能够较好地代表海河流域实际降水变化。

利用式(2)以及历史上基于“雨雪分寸”资料重建的流域平均降水量和流域平均旱涝等级序列,重建 1880 年以前海河流域平均年降水量距平百分率序列。1880 年及其以后仍然采用根据式(1)重建的海河流域年降水量距平百分率,但利用前后序列方差比值关系对其进行序列归一化调整。

计算降水量距平百分率的气候基准期是 1956—2013 年。长序列时间特征分析方法包括:线性趋势方法、M-K 检验方法、小波转换方法、集成经验模态分解(EEMD)方法^[36-38]。

2 1880 年以来降水变化

对于最近半个世纪左右海河流域大气降水量变化的分析很多,结论大体相似,即自 20 世纪 50 年代或 60 年代初以来,流域平均年或夏季降水量趋向减少,区别在于减少的幅度和下降趋势的显著程度。导致不同结论的原因主要与分析所用资料数量和质量、分析的时间段、指标选取以及区域平均方法等有关。图 3 表明,1956—2013 年海河流域平均年降水

量距平百分率存在较明显下降趋势,每 10 a 平均下降速率达到 2.6%;但由于 2002 年以后年降水量有所回升,总体下降趋势并不是很明显,没有通过信度为 95%的显著性检验。从 5 a 滑动平均值看,整个时期最湿润的年份出现在该分析时段开始到 20 世纪 60 年代早期,最干旱的年份发生在 80 年代初期和 90 年代后期到 21 世纪前几年,其中 1997—2002 年降水量距平百分率达到整个时期最低水平。

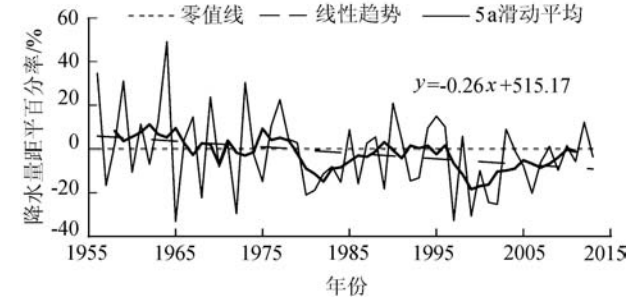
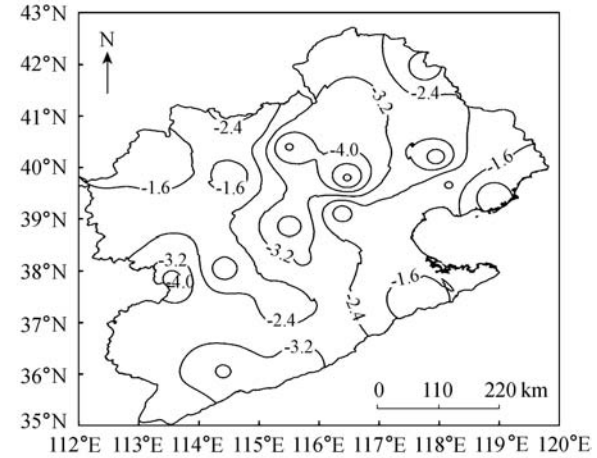


图3 1956—2013 年海河流域年降水量距平百分率变化

从空间分布看,1956—2013 年海河流域年降水量减少最明显的区域出现在中北部平原、北部山区和南部平原等地区,每 10 a 下降速率普遍可达-2% ~ -5%;西北部山地和东部沿海地带年降水量相对减少趋势微弱,每 10 a 变化一般不到-3%(图 4)。



注:等值线间隔:0.8%;等值线数字表示每 10 a 变化的百分率

图4 1956—2013 年海河流域年降水量距平百分率变化趋势分布

1880 年以来,海河流域平均降水量没有出现明显的长期趋势性变化,仅表现为略有增多(图 5)。这主要是因为 20 世纪上半叶降水有一定增加趋势,在很大程度上抵消了 1956 年以来的下降趋势,总体上体现出多年代尺度的波动。从 5 a 滑动平均值看,1880 年以来最湿润的年份分别出现在 19 世纪 80 年代至 90 年代中前期,以及 20 世纪 40 年代后期到 60 年代早期,后一湿润时段较前一湿润时段降水量更为丰沛,但年际波动也更大;20 世纪 50 年代前的另一相对湿润阶段发生在 1924—1929 年;而

1895—1909 年、1918—1923 年、1930—1936 年和 1939—1945 年,则出现明显少雨期,其中 1941 年和 1920 年是 1880 年以来时期最少雨的两年。从海河流域平均年降水量变化看,始于 1997 年持续近 12 a 的干旱,无论是干旱程度还是持续时间,可能都是过去 1880 年以来内所没有的,达到十分异常水平(图 5)。

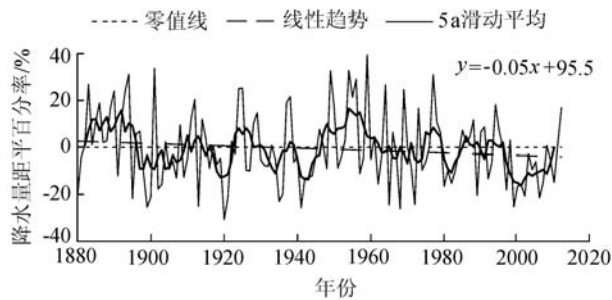


图 5 海河流域 1880—2012 年降水量距平百分率变化

因此,尽管最近半个世纪海河流域年降水量呈现出较明显地减少趋势,但从 1880 年以来观测记录看却没有任何明显的趋势性变化。这一特征与中国东部平均降水量变化基本一致^[39],也同全球陆地平均降水量变化大体相近^[40];海河流域的年降水量存在着较明显的年代到多年代尺度波动,并由此引起一系列持续多年的干、湿气候阶段,历史上严重的水旱灾害年几乎都出现在这些干湿气候阶段内,如 1941 年的大旱、1964 年的大水,以及 1999—2002 年的严重缺水,均发生在此类干、湿气候阶段之内。

3 1736 年以来降水变化

图 6 为 1736—2012 年海河流域平均年降水量距平百分率变化情况。从图 6 可以看出,前述 1880 年以来海河流域年降水量偏多的两个时期,即 19 世纪 80 年代至 90 年代中前期,以及 20 世纪 40 年代后期到 60 年代早期,在 1736 年以来内仍然是最湿润的;但 20 世纪初以来的降水量偏少时期,包括 1997 年以后的大旱,在近 280 年气候史上则似乎并不反常,因为在 18 世纪的 1740—1748 年、1808—1817 年、1826—1843 年、1856—1868 年和 1870—1880 年,均出现过类似强度和持续长度的严重干旱,其中 1826—1843 年是持续时间最长的一次干旱,而 1875—1878 年的平均降水量可能是 1736 年以来内最低的。

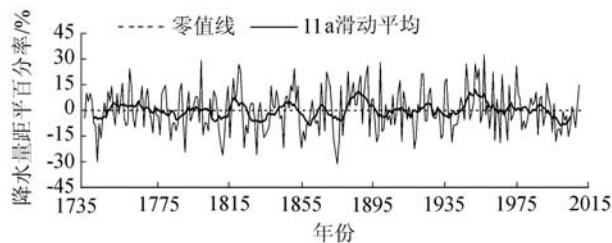


图 6 1736—2012 年海河流域平均降水量距平百分率变化

从 1736 年以来的时期来看,1956 年以来和 1880 年以来流域平均年降水量序列中的下降趋势不再十分异常,其中类似 1956 年以来的长期趋势性下降现象在 18 世纪中期到末期、19 世纪 20 年代到 70 年代,以及 19 世纪末到 20 世纪 40 年代初均有出现,说明现代降水量趋于减少可能仍然是多年代以上尺度气候变异性的组成部分。

图 7 为 1736—2012 年海河流域年降水量序列周期波动功率谱特征。海河流域年降水量变化具有 33.5 a、21.7 a、10.4 a 和 2.2 ~ 6.5 a 的准周期性振动。

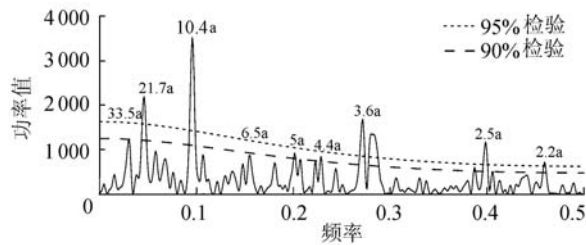


图 7 1736—2012 年海河流域年降水量序列周期波动功率谱

图 8 为 1736—2012 年海河流域平均年降水量序列 Morlet 小波变换实部的时频分布情况。从图 8 可以看出,功率谱分析揭示出几个准周期性波动在 Morlet 小波变换实部的时频分布特征上也有较明显的体现。其中,33 a 左右准周期在 19 世纪中期以后表现突出;22 a 左右准周期主要出现在整个 19 世纪,近期似具有与 33 a 准周期合二为一迹象;10 ~ 11 a 的准周期始终存在,但在 20 世纪以前更明显。此外,海河平均流域年降水量还具有大约 65 a 的准周期振荡,近 2 个世纪时期表现尤其明显。

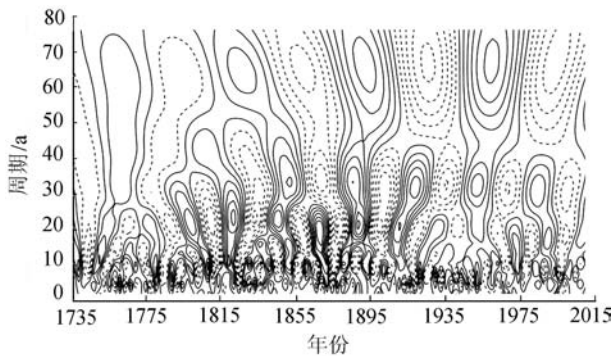


图 8 1736—2012 年海河流域年降水量序列 Morlet 小波变换实部时频分布

图 9 为 1736—2012 年海河流域年降水量标准化距平序列集成经验模态分解 (EEMD) IMF 分量 (IMF1—5) 的变化。第 1 和第 2 分量 (IMF1—2) 显示出高频变化分量,分别以准 2 ~ 4 a 和准 6 a 左右振动为主,对原序列方差的贡献最大,贡献分别达到 51.1% 和 18.8%,结合起来解释原序列方差的

69.9% ;第3分量(IMF3)表现为准11 a 振动,对原序列方差的贡献为6.7% ;第4分量(IMF4)表现为准23 a 左右振动,对原序列方差的贡献5.6% ;第5分量(IMF5)显示大致为63 a 左右的准周期性振动,振幅较弱,对原序列方差的贡献仅为1.9%。

因此,不同分析方法得到的结果大体一致,均揭示出海河流域平均年降水量序列中的2~7 a、10~11 a、22~23 a 准周期振动现象,功率谱和小波分析还表明33 a 左右准周期性振动,小波分析和EEMD分析同时表明63~65 a 准周期性振动。值得提出的是,包括海河流域在内的华北地区降水不同时间尺度上的波动性质和规律,已为若干以前的研究所揭示,其中包括一般报告的3~6 a、11 a 和60~70 a 准周期性振动^[21-22,39,41-43]。

4 关于降水变化原因和未来趋势的讨论

不同于地面气温,从近百年时期看,海河流域平均年降水量距平百分率序列显示出很弱的下降变化,趋势不显著,但却具有较明显的年代到多年代尺度波动,其中包含若干较显著周期性振动。这里对近百年降水量趋势性变化的缺失、降水量多年代尺度波动性以及近半个世纪降水量呈现一定程度减少等3个相互关联现象的可能原因做简略讨论。

影响区域或流域年降水量年代以上尺度变化的因素很复杂,但可归纳为自然因素和人为因素两大类。尽管近半个世纪海河流域降水量出现较明显减少现象,但近百年降水量趋势性变化的缺失,排除了将其同大尺度人类活动影响关联起来的可能性,或者至少说明人为全球变暖或区域性土地利用和气溶胶排放的影响信号目前仍难以检测出来。在全球和区域气候变暖最明显的近半个世纪^[5,40],整个流域年降水量表现出一定程度的下降,与大多数全球气

候模式模拟结果和理论预期相反^[13,44],同样表明目前尚难以把海河流域降水量长期变化与温室气体排放及全球变暖直接联系起来。土地利用和气溶胶对流域尺度大气降水过程影响研究还存在较大不确定性^[40],除近几十年小雨降水频率减少可能与气溶胶浓度增加存在一定联系外,其他降水指标包括年总降水量长期变化难以认定也与其相关。

当然,也有研究假设,气溶胶排放^[45-46],或全球气候变暖速率空间差异^[47-50],或大规模土地利用变化^[51],引起亚洲夏季风衰弱,导致华北地区降水量显著减少,抵消并超越了由于全球气候变暖和水循环加强产生的降水增量,致使海河流域年降水量下降。这些问题还需要进一步研究。

海河流域年降水量呈现出的年代到多年代尺度波动性,包括较明显的22~23 a 和63~65 a 准周期波动,可能代表了对自然外强迫或海气耦合系统低频震荡模态的某种响应。最可能的自然外强迫是太阳活动及其输出辐射变化,海气耦合系统低频震荡的影响可能主要起源于太平洋和印度洋海温变化。海河流域平均年降水量序列中的11 a 和22~23 a 准周期波动同太阳黑子数周期对应^[25],而63~65 a 准周期波动同PDO(太平洋10 a 涛动)指数60~70 a 周期大体对应^[18,42],可能分别表明与太阳活动和太平洋海温多年代尺度变异性的联系。其中关于海洋水温或PDO对于海河流域或华北地区降水影响及其机理问题,已经得到国内多位学者关注和解释^[21,24,52-56]。

如果海河流域年降水量63~65 a 的准周期振动,是对PDO等海气耦合模态或太阳活动节律的响应,则20世纪60年代后期以来的趋势性变干,主要是自然因子影响下气候低频变异性的组成部分,即为多年代尺度自然变异周期的降水量回落阶段和波

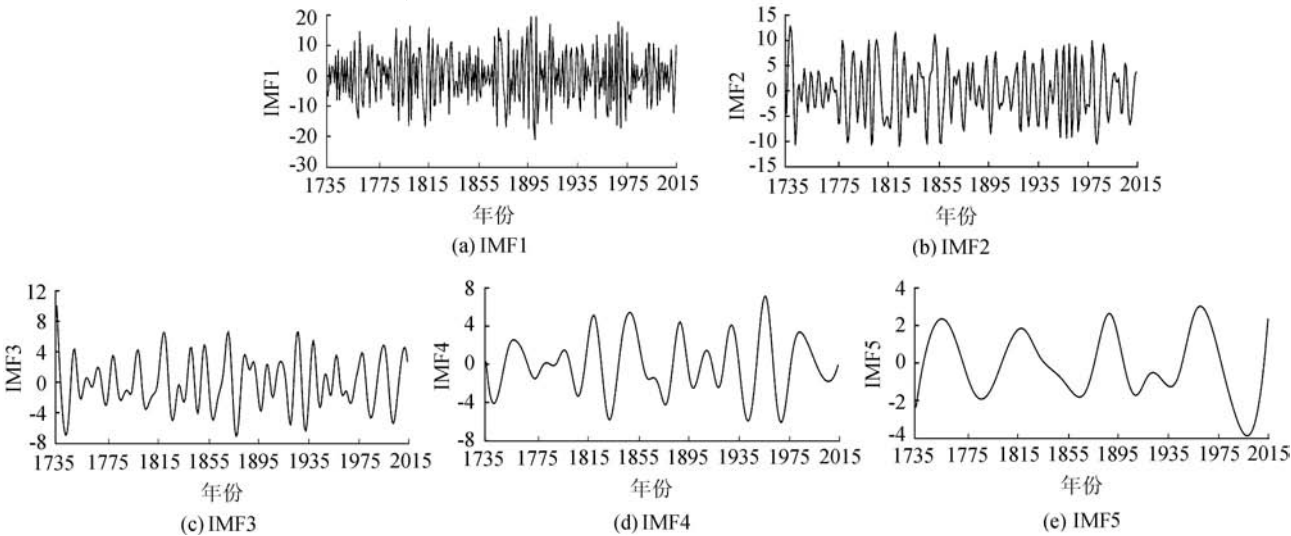


图9 1736—2012 年海河流域年降水量标准化距平序列集成经验模态分解(EEMD) IMF 分量变化

谷阶段,波谷出现在世纪之交,目前处于回升阶段初期;如果 63 ~ 65 a 准周期现象稳定维持,则海河流域降水量将可能在 2035—2040 年达到峰值区间。当然,次级自然变异性波动,包括可能与太阳活动有关的 11 a 左右和 22 ~ 23 a 准周期,以及 33 a 的准周期,将叠加在 63 ~ 65 a 低频周期波动之上,但未来 20 ~ 30 a 海河流域降水变化总体趋势预计不会因此而改变^[13,21,31,57]。

其他影响海河流域长期降水量变化的自然气候变异过程还包括东亚季风系统^[43,58]、青藏高原和欧亚大陆高纬度地区冬春季积雪^[59-60]、北大西洋涛动/海温^[61]和北极地区海冰^[24,62]年代以上尺度变动,也需要加以关注,并开展深入研究。

5 结 论

a. 海河流域近 60 余年降水量距平百分率呈现出较明显下降趋势,平均每 10 a 下降速率为 2.6%;1880 年以来也表现出下降趋势,但程度要弱得多;从 1736 年以来更长的时期来看,1880 年以来,特别是 1956 年以来,海河流域的降水减少现象不再显得异常。

b. 20 世纪 40 年代后期到 60 年代早期是 1736 年以来最湿润时期,但 20 世纪初以来的几次持续性气候干旱,包括 1997—2003 年的严重干旱,在 1736 年以来的气候史上并非罕见,其中 1826—1843 年出现了一次持续时间最长的干旱。

c. 海河流域平均年降水量具有准周期性振动特点,综合各种方法分析结果,较明显的准周期有 2 ~ 7 a、11 a、22 ~ 23 a、33 a 和 63 ~ 65 a。

d. 近百年降水量明显趋势性变化的缺失,观测和模拟分析结果的矛盾,以及现代和过去降水多年代尺度降水变异的相似性和准周期性,均有助于排除海河流域现代降水量变化与大尺度人类活动影响有物理联系的可能性。

e. 20 世纪 60 年代后期以来的趋势性干旱,主要是气候自然低频变异周期的组成部分,年降水量位于多年代尺度自然变异周期的回落阶段和波谷阶段,目前处于回升阶段初期;未来几十年海河流域降水量可能上升,并可能在 2035—2040 年达到峰值区间。

f. 观测和代用资料的质量、数量仍然是影响以上结论的主要因素。1880 年以来缺少具有足够长度和连续记录的台站资料,而 1736 年以来流域平均年降水量重建依赖根据“雨雪分寸”资料反演的平均年降水量序列和流域平均旱涝指数序列,其可靠性程度尚需进一步研究确认。

参考文献:

- [1] 刘昌明. 黄河流域水循环演变若干问题的研究[J]. 水科学进展, 2004, 15 (5): 608-614. (LIU Changming. Study of some problems in water cycle changes of the Yellow River Basin [J]. Advances in Water Science, 2004, 15(5): 608-614. (in Chinese))
- [2] 陈传友, 陈智立, 姚治君. 我国水资源形势分析及对策[J]. 水利水电科技进展, 2006, 26 (1): 1-5. (CHEN Chuanyou, CHEN Zhili, YAO Zhijun. Current state of water resources in China and the response policy [J]. Advance in Science and Technology of Water Resources, 2006, 26(1): 1-5 (in Chinese))
- [3] 张建业, 王国庆. 气候变化对水文水资源影响研究[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [4] 刘春蓁. 气候变化对江河流域变化趋势影响研究进展[J]. 地球科学进展, 2007, 22 (8): 777-783. (LIU Chunzhen. The advances in studying detection of stream flow trend influenced by climate change [J]. Advances in Earth Science, 2007, 22(8): 777-783. (in Chinese))
- [5] 丁一汇, 任国玉, 石广玉, 等. 气候变化国家评估报告 (I): 中国气候变化的历史和未来趋势[J]. 气候变化研究进展, 2006, 2 (1): 3-8. (DING Yihui, REN Guoyu, SHI Guangyu, et al. National assessment report on climate change (I): history and future trends of climate change in China [J]. Advance in Climate Change Research, 2006, 2 (1): 3-8. (in Chinese))
- [6] 夏军, 刘春蓁, 任国玉. 气候变化对我国水资源影响研究面临的机遇与挑战[J]. 地球科学进展, 2011, 26 (1): 1-12. (XIA Jun, LIU Chunzhen, REN Guoyu. Challenges and opportunity of the studies in climate change impact on water resources of China [J]. Advance in Earth Science, 2011, 26(1): 1-12. (in Chinese))
- [7] 陈志恺. 持续干旱与华北水危机[J]. 中国水利, 2002 (4): 8-11. (CHEN Zhikai. Sustainable drought and water crisis in North China [J]. China Water Resources, 2002 (4): 8-11. (in Chinese))
- [8] 芮孝芳. 中国的主要水问题及水文学的机遇[J]. 水利水电科技进展, 1999, 19 (3): 18-21. (RUI Xiaofang. Major issues of water and the opportunity of hydrology [J]. Advance in Science and Technology of Water Resources, 1999, 19(3): 18-21 (in Chinese))
- [9] 王浩, 严登华, 贾仰文, 等. 现代水文水资源学科体系及研究前沿和热点问题[J]. 水科学进展, 2010, 21 (4): 479-489. (WANG Hao, YAN Denghua, JIA Yangwen, et al. Subject system of modern hydrology and water resources and research frontiers and hot issues [J]. Advances in Water Science, 2010, 21 (4): 479-489. (in Chinese))
- [10] 夏军, 谈戈. 全球变化与水文科学新的进展与挑战[J].

- 资源科学, 2002, 24 (3): 1-7. (XIA Jun, TAN Ge. Hydrological science towards global change: progress and challenge[J]. Resources Science, 2002, 24 (3): 1-7. (in Chinese))
- [11] 黄荣辉, 徐予红, 周连童. 我国夏季降水的年代际变化及华北干旱化趋势[J]. 高原气象, 1999, 18(4): 465-476. (HUANG Ronghui, XU Yuhong, ZHOU Liantong. The interdecadal variation of summer precipitations in china and the drought trend in North China[J]. Plateau Meteorology, 1999, 18(4): 465-476. (in Chinese))
- [12] 陈峪, 高歌, 任国玉, 等. 中国十大流域近 40 多年降水量时空变化特征[J]. 自然资源学报, 2005, 20(5): 637-643. (CHEN Yu, GAO Ge, REN Guoyu, et al. Spatial and temporal variation of precipitation over ten major river basins in China between 1956 and 2000 [J]. Journal of Natural Resources, 2005, 20(5): 637-643. (in Chinese))
- [13] 任国玉. 气候变化与中国水资源[M]. 北京: 气象出版社, 2007: 314.
- [14] 褚建婷, 夏军, 许崇育, 等. 海河流域气象和水文降水资料对比分析及时空变异[J]. 地理学报, 2009, 64(9): 1083-1092. (CHU Jianting, XIA Jun, XU Chongyu, et al. Comparison and spatial-temporal variability of daily precipitation data of weather stations and rain gauges in Haihe River Basin[J]. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(9): 1083-1092. (in Chinese))
- [15] 袁再健, 沈彦俊, 褚英敏, 等. 海河流域近 40 年来降水和气温变化趋势及其空间分布特征[J]. 水土保持研究, 2009, 16(3): 24-26. (YUAN Zaijian, SHEN Yanjun, CHU Yingmin, et al. Variations and distribution of temperature and precipitation of Haihe River Basin in recent 40 years [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2009, 16(3): 24-26. (in Chinese))
- [16] 翟劭燊, 张建云, 刘九夫, 等. 海河流域近 50 年降水变化多时间尺度分析[J]. 海河水利, 2009 (1): 1-4. (ZHAI Shaoyi, ZHANG Jianyun, LIU Jiufu, et al. Multiple time-scale analysis of precipitation variation in Haihe River Basin during last 50 years [J]. Haihe Water Conservancy, 2009(1): 1-4. (in Chinese))
- [17] 王晓霞, 徐宗学, 纪一鸣, 等. 海河流域降水量长期变化趋势的时空分布特征[J]. 水利规划与设计, 2010(1): 35-38. (WANG Xiaoxia, XU Zongxue, JI Yiming, et al. Spatiotemporal trend of precipitation in Hai River Basin [J]. Water Resources Planning and Design, 2010(1): 35-38. (in Chinese))
- [18] 鲍振鑫, 张建云, 严小林, 等. 海河流域 60 年降水量的变化及未来情景分析[J]. 水利水运工程学报, 2014 (5): 8-13. (BAO Zhenxin, ZHANG Jianyun, YAN Xiaolin, et al. Analysis of precipitation in the Haihe River Basin during the last decades of years and future scenarios [J]. Hydro-science and Engineering, 2014(5): 8-13. (in Chinese))
- [19] 郝振纯, 闫龙增, 鞠琴, 等. 海河流域不同地貌气候变化时空分析[J]. 水土保持研究, 2014, 21 (1): 56-60. (HAO Zhenchun, YAN Longzeng, JU Qin, et al. Spatiotemporal characteristics of climate variation in different kinds of landforms of Haihe River Basin [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2014, 21 (1): 56-60. (in Chinese))
- [20] 郭其蕴. 中国华北旱涝与印度夏季风降水的遥相关分析[J]. 地理学报, 1992, 47 (5): 394-402. (GUO Qiyun. Teleconnection between the floods/droughts in North China and Indian summer monsoon rainfall [J]. Acta Geographica Sinica, 1992, 47 (5): 394-402. (in Chinese))
- [21] 张庆云. 1880 年以来华北降水及水资源的变化[J]. 高原气象, 1999, 18 (4): 486-495. (ZHANG Qinyun. The variations of the precipitation and water resources in North China since 1880 [J]. Plateau Meteorology, 1999, 18(4): 486-495. (in Chinese))
- [22] 王绍武, 龚道溢, 叶瑾琳. 1880 年以来中国东部四季降水量序列及其变率[J]. 地理学报, 2000, 55 (3): 281-293. (WANG Shaowu, GONG Daoyi, YE Jinlin. Seasonal precipitation series of Eastern China since 1880 and the variation [J]. Acta Geographica Sinica, 2000, 55(3): 281-293. (in Chinese))
- [23] 张利平, 夏军, 胡志芳. 华北地区降水多时间尺度演变特征[J]. 气候变化研究进展, 2008, 4 (3): 140-144. (ZHANG Liping, XIA Jun, HU Zhifang. Precipitation change and drought-flood evolution in North China [J]. Advances in Climate Change Research, 2008, 4(3): 140-144. (in Chinese))
- [24] 吕俊梅, 祝从文, 琚建华, 等. 近百年中国东部夏季降水年代际变化特征及其原因[J]. 大气科学, 2014, 38 (4): 782-794. (LÜ Junmei, ZHU Congwen, JU Jianhua, et al. Interdecadal variability in summer precipitation over East China during the past 100 years and its possible causes [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2014, 38(4): 782-794. (in Chinese))
- [25] 沙万英, 郭其蕴. 海河流域近 500 年大旱大涝时空特征及趋势预测[J]. 自然灾害学报, 1996, 5 (4): 104-114. (SHA Wanying, GUO Qiyun. Temporal and spatial characteristics of severe droughts and floods in Haihe Drainage Basin in the last 500 years and forecast on tendency [J]. Journal of Natural Disasters, 1996, 5 (4): 104-114. (in Chinese))
- [26] 张德二, 刘传志, 江剑民. 中国东部 6 区域近 1000 年干湿序列的重建和气候跃变分析[J]. 第四纪研究, 1997, 17 (1): 1-11. (ZHANG Deer, LIU Chuanzhi, JIANG Jianmin. Reconstruction of six regional dry/wet series and their abrupt changes during the last 1000 years in East China [J]. Quaternary Sciences, 1997, 17 (1): 1-11. (in Chinese))

- [27] 张德二. 中国历史气候记录揭示的千年干湿变化和重大干旱事件[J]. 科技导报, 2004, 22(8): 47-50. (ZHANG Deer. Variation of dry-wet climate and severe drought events as revealed in the climate records of China over the past 1000 years[J]. Science and Technology Review, 2004, 22(8): 47-50. (in Chinese))
- [28] 苏桂武. 环渤海地区 500 年来的旱涝变化及其区域分异[J]. 自然灾害学报, 2000, 9(1): 1-6. (SU Guiwu. The dry/wet changes of the surrounding area of Bohai Sea and its regional differentiation features during the past 500 years[J]. Journal of Natural Disasters, 2000, 9(1): 1-6. (in Chinese))
- [29] 郑景云, 张丕远, 葛全胜, 等. 过去 2000a 中国东部干湿分异的百年际变化[J]. 自然科学进展, 2001, 11(1): 65-70. (ZHENG Jingyun, ZHANG Piyuan, GE Quansheng, et al. Centennial changes of drought/flood spatial pattern in Eastern China for the last 2000 years [J]. Progress in Natural Science, 2001, 11(1): 65-70. (in Chinese))
- [30] 卢路, 刘家宏, 秦大庸. 海河流域 1469—2008 年旱涝变化趋势及演变特征分析[J]. 水电能源科学, 2011, 29(9): 8-11. (LU Lu, LIU Jiahong, QIN Dayong. Analysis of drought/waterlogging variation tendency and evolution features in Haihe River Basin during 1469—2008 years [J]. Water Resources and Power, 2011, 29(9): 8-11. (in Chinese))
- [31] 翟家齐, 赵勇, 裴源生. 北京地区干旱长期演变规律及未来趋势预测[J]. 水电能源科学, 2012, 30(3): 1-4. (ZHAI Jiaqi, ZHAO Yong, PEI Yuansheng. Long-term drought evolution laws and its trend predication in Beijing Region[J]. Water Resources and Power, 2012, 30(3): 1-4. (in Chinese))
- [32] 中央气象局气象科学研究院. 中国近五百年旱涝分布图集[M]. 北京: 地图出版社, 1981: 332.
- [33] GE Q S, ZHENG J Y, HAO Z X, et al. Reconstruction of historical climate in China: high-resolution precipitation data from Qing dynasty archives [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2005, 86(5): 671-679.
- [34] ZHENG J Y, WANG W C, GE Q S, et al. Precipitation variability and extreme events in Eastern China during the past 1500 years[J]. Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences, 2006, 17(3): 579-592.
- [35] 王绍武, 赵振国, 李维京. 中国季平均温度及降水量百分比距平图集(1880—2007) [M]. 北京: 气象出版社, 2008.
- [36] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999: 43-47.
- [37] von STORCH H, ZWIERS F W. Statistical analysis in climate research [M]. New York: Cambridge University Press, 2003: 504.
- [38] HUANG N E, SHEN Z, LONG S R, et al. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for non-linear and nonstationary time series analysis [J]. Proceedings of the Royal Society, 1998, 454: 903-995.
- [39] REN G Y, LIU H B, CHU Z Y, et al. Climate change over Eastern China and implications for South-North Water Diversion Project [J]. Journal of Hydrometeorology, 2011, 12(8): 600-617.
- [40] IPCC. Climate change, Physical science basis: contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.
- [41] QIAN W H, CHEN D L, ZHU Y, et al. Temporal and spatial variability of dryness/wetness in China during the last 530 years [J]. Theoretical and Applied Climatology, 2003, 76(1/2): 13-29.
- [42] 马柱国, 邵丽娟. 中国北方近百年干湿变化与太平洋年代际振荡的关系[J]. 大气科学, 2006, 30(3): 464-474. (MA Zhuguo, SHAO Lijuan. Relationship between dry/wet variation and the Pacific Decade Oscillation (PDO) in Northern China during the last 100 years [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2006, 30(3): 464-474. (in Chinese))
- [43] DING Y, WANG Z, SUN Y. Inter-decadal variation of the summer precipitation in East China and its association with decreasing Asian summer monsoon: part I observed evidences [J]. International Journal of Climatology, 2008, 28(9): 1139-1161.
- [44] 气候变化国家评估报告编写委员会. 气候变化国家评估报告[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 422.
- [45] MENON S, HANSEN J, NAZARENKO L, et al. Climate effects of black carbon aerosols in China and India [J]. Science, 2002, 297: 2250-2253.
- [46] RAMANATHAN V, CHUNG C, KIM D, et al. Atmospheric brown clouds: impacts on South Asian climate and hydrological cycle [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2005, 102(15): 5326-5333.
- [47] UEDA H, IWAI A, KUWAKO K, et al. Impact of anthropogenic forcing on the Asian summer monsoon as simulated by eight GCMs [J]. Geophysical Research Letters, 2006, 33(6): 178-196.
- [48] LI J P, WU Z W, JIANG Z H, et al. Can global warming strengthen the East Asian summer monsoon? [J]. Journal of Climate, 2010, 23(24): 6696-6705.
- [49] ZHAO P, YANG S, YU R. Long-term changes in rainfall over Eastern China and large-scale atmospheric circulation associated with recent global warming [J]. Journal of Climate, 2010, 23(6): 1544-1562.
- [50] ZHU C W, WANG B, QIAN W, et al. Recent weakening of northern East Asian summer monsoon: a possible response to global warming [J]. Geophysical Research Letters, 2015, 42(15): 1544-1562.

- 2012,39(9):278-283.
- [51] 符淙斌,安芷生,郭维栋. 中国生存环境演变和北方干旱化趋势预测研究(I):主要研究成果[J]. 地球科学进展, 2005, 11(20):1157-1167. (FU Congbin, AN Zhisheng, GUO Weidong. Evolution of life-supporting environment in our nation and the predictive study of aridification in Northern China(I);main scientific issues and achievements[J]. Advances in Earth Science,2005, 11(20):1157-1167. (in Chinese))
- [52] 戴新刚,汪萍,丑纪范. 华北汛期降水多尺度特征与夏季风年代际衰变[J]. 科学通报,2003,48(23):2483-2487. (DAI Xingang, WANG Ping, CHOU Jifan. Multi-scale characteristics and flood season precipitation of North China summer monsoon decadal decay[J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(23):2483-2487. (in Chinese))
- [53] YANG X Q, XIE Q, ZHU Y M, et al. Decadal-to-interdecadal variability of precipitation in North China and associated atmospheric and oceanic anomaly patterns[J]. Chinese Journal of Geophysics:Chinese Edition,2005,48(4):789-797.
- [54] 黄荣辉,蔡榕硕,陈际龙,等. 我国旱涝气候灾害的年代际变化及其与东亚气候系统变化的关系[J]. 大气科学, 2006, 30(5):730-743. (HUANG Ronghui, CAI Rongshuo, CHEN Jilong, et al. Interdecadal variations of drought and flooding disasters in china and their association with the East Asian climate system [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2006, 30(5):730-743. (in Chinese))
- [55] FU G B, CHARLES S P, YU J J, et al. Decadal climatic variability, trends, and future scenarios for the North China Plain[J]. Journal of Climate, 2009, 22(8):2111-2123.
- [56] QIAN C, ZHOU T J. Multidecadal variability of North China aridity and its relationship to PDO during 1900—2010[J]. Journal of Climate, 2014, 27(3):1210-1222.
- [57] 张庆云,吕俊梅,杨莲梅,等. 夏季中国降水型的年代际变化与大气内部动力过程及外强迫因子关系[J]. 大气科学, 2007, 31(6):1290-1300. (ZHANG Qingyun, LÜ Junmei, YANG Lianmei, et al. The interdecadal variation of precipitation pattern over China during summer and its relationship with the atmospheric internal dynamic processes and extra-forcing factors[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2007, 31(6):1290-1300. (in Chinese))
- [58] WANG H J. The weakening of the Asian monsoon circulation after the end of 1970's [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2001, 18(3):376-386.
- [59] 陈兴芳,宋文玲. 欧亚和青藏高原冬春季积雪与我国夏季降水关系的分析和预测应用[J]. 高原气象, 2000, 19(2):214-223. (CHEN Xingfang, SONG Wenling. Analysis of relationship between snow cover on Eurasia and Qinghai-Xizang Plateau in winter and summer rainfall in China and application to prediction [J]. Plateau Meteorology, 2000, 19(2):214-223. (in Chinese))
- [60] 朱玉祥,丁一汇,徐怀刚. 青藏高原大气热源和冬春积雪与中国东部降水的年代际变化关系[J]. 气象学报, 2007, 65(6):946-958. (ZHU Yuxiang, DING Yihui, XU Huaigang. The decadal relationship between atmospheric heat source of winter and spring snow over Tibetan Plateau and rainfall in east China[J]. Acta Meteorological Sinica, 2007, 65(6):946-958. (in Chinese))
- [61] LI C Y, HE J H, ZHU J H. A review of decadal/interdecadal climate variation studies in China [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2004, 21(3):425-436.
- [62] 武炳义,黄荣辉,高登义. 冬季北极海冰长期变化对华北降水的可能影响[J]. 高原气象, 1999, 18(4):590-594. (WU Bingyi, HUANG Ronghui, GAO Dengyi. Impacts of long-range variations of winter sea-ice extents in Arctic on rainfall in North China [J]. Plateau Meteorology, 1999, 18(4):590-594. (in Chinese))
- (收稿日期:2015-07-17 编辑:彭桃英)
- +++++

• 简讯 •

第三届大坝长效特性及环保修复技术
国际研讨会将在河海大学召开

由河海大学、南京水利科学研究院等单位主办的第三届大坝长效特性和环保修复技术国际研讨会将于2015年10月17—19日在河海大学召开,届时将就土石坝和混凝土坝的设计计算理论和方法、长期运行特性、环保修复技术等方面的问题进行广泛的交流探讨。会议主要议题有:大坝设计及分析方法,大坝监测及监控技术,筑坝材料的时间依存性及其本构模型,大坝内部侵蚀与接触问题,坝基与坝体结构相互作用,大坝地震计算分析,大坝安全评价,水电工程环境保护,大坝运行及维护,大坝环保修复技术等。

(本刊编辑部供稿)