



论文

1956~2010 年中国可更新水资源量的变化

李原园^①, 曹建廷^{①*}, 沈福新^①, 夏军^{②③}^① 水利部水利水电规划设计总院, 北京 100120;^② 武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 武汉 430072;^③ 中国科学院陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101

* 联系人, E-mail: caojianting@giwp.org.cn

收稿日期: 2013-07-16; 接受日期: 2013-12-28; 网络版发表日期: 2014-08-20

国家重点基础研究发展计划项目(编号: 2010CB428406)和中国科学院外部协作项目(编号: GJHZ1016)资助

摘要 随着人类对水资源需求的增加, 对生态和环境问题的日益重视, 水资源安全问题越来越受到国际社会的广泛关注. 水资源已成为制约中国经济社会可持续发展的瓶颈, 已被提升到关系中国经济安全、生态安全和国家安全的战略高度. 认识中国水资源的变化, 对分析气候变化的影响, 编制水资源利用和保护规划以及制定水资源政策具有重要的参考价值. 结合中国水资源评价的资料成果, 利用距平分析、Mann-Kendall 趋势检验和 Morlet 小波分析, 本文较全面地研究了 1956~2010 年我国水资源的变化. 结果显示: (1) 从全国尺度上, 水资源变化趋势并不明显. 近 55 年来我国水资源总量呈现微弱的增加趋势, 近 20 年的年均水资源量比多年均水资源量仅增加 1%. (2) 我国不同水资源分区的水资源变化差异较大, 我国北方地区海河区、黄河区的水资源显著减少, 近 20 年减少幅度达 19% 和 17%; 而我国南方地区和西北地区水资源的增加, 特别是西北诸河区, 近 20 年该区水资源量增加近 10%. (3) 相对 1961~1990 年, 近 20 年来全国水资源量的年际变化波动有增加趋势. 在水资源一级区中西北诸河区和西南诸河区变差系数增加较明显, 但在水资源量显著减少的海河区、黄河区年际变化趋于减小. (4) 全国水资源变化存在 14 年准周期, 其叠加了各水资源一级区水资源系列不同周期, 相邻水资源一级区水资源变化的第一或第二主周期存在明显一致性.

关键词

水资源距平

变差系数

Mann-Kendall

检验

Morlet 小波

水资源是基础性的自然资源和战略性的经济资源, 是支撑经济社会发展和维系生态和环境的重要基础. 随着经济社会发展对水资源需求的增加, 气候变化对水资源影响的不确定性增加以及水资源开发对生态环境影响加剧, 水资源已成为经济社会可持续发展的中心环节(WWAP, 2012). 国际社会和世界各国对水资源变化及其对社会经济的影响非常重视.

如政府间气候变化专门委员会(IPCC)把水文水循环的变化、气候变化对水资源等影响作为评估报告的主要内容之一(IPCC, 2007a), 美国、英国等许多国家从水资源管理角度应对气候变化对水资源变化影响(Brekke 等, 2009; Estrela 等, 2012; Matthew 和 Nigel, 2011).

我国对水资源的变化及归因分析也非常重视,

中文引用格式: 李原园, 曹建廷, 沈福新, 等. 2014. 1956~2010 年中国可更新水资源量的变化. 中国科学: 地球科学, 44: 2030~2038

英文引用格式: Li Y Y, Cao J T, Shen F X, et al. 2014. The changes of renewable water resources in China during 1956~2010. Science China: Earth Sciences, 57: 1825~1833, doi: 10.1007/s11430-013-4818-8

水管理部门和科技部门近年组织开展了相关的基础研究或应用研究. 为科学合理规划水资源的开发利用和保护, 水利部会同国家发展与改革委等部门, 开展了全国水资源规划, 其中在水资源调查评价阶段, 对全国水资源进行了评价(中华人民共和国水利部等, 2008). 科技部先后设立了“气候变化对我国东部季风区陆地水循环与水资源安全的影响及适应对策”、“气候变化对黄淮海地区水循环的影响机理和水资源安全评估”、“气候变化对西北干旱区水循环影响与水资源安全研究”等气候变化对水资源影响方面的重大基础项目, 从不同角度和不同区域研究水循环变化及水资源安全问题.

国内外许多学者主要利用实测径流资料, 研究了我国不同河流流域水资源的变化, 揭示水资源不同变化规律(丁永建等, 2007; 张建云和王国庆, 2007; 任国玉等, 2008; Piao 等, 2010; Wang 和 Zhang, 2011; 夏军等, 2011; 李原园等, 2012; Miao 等, 2012). 这些研究大多基于单个河流实测径流资料, 没有考虑河道外经济社会用水的影响, 没有对实测径流资料进行还原, 反映的是流域人类取水后的径流变化状况. 从研究尺度而言, 迄今的研究大多基于一个流域, 从全国尺度上系统的研究中国水资源变化的成果较少, 目前仅在全国水资源调查评价阶段, 简要对比分析了全国及水资源一级区 1980~2000 年与 1956~1979 年两个时段水资源数量变化(中华人民共和国水利部等, 2008).

在全国水资源调查评价阶段, 对水资源开发利用影响比较明显的流域, 对实测径流系列进行了还原计算, 较客观地反映天然的水资源状况. 本文利用近 10 年的《中国水资源公报》中水资源一级区资料, 延长了全国水资源调查评价的水资源系列, 较深入地分析了 1956~2010 年时段, 全国及各大流域(水资源一级区)的水资源变化幅度、变化趋势、变化周期, 初步分析了长江和海河流域水资源变化相关性. 揭示我国水资源变化规律, 不仅为理解气候变化对水资源的影响, 预测未来水资源变化奠定基础, 同时也为我国水资源开发利用和管理决策提供科学依据.

1 数据和方法

本文所指水资源为可更新的水资源, 是指当地降水形成的地表和地下产水量, 即地表径流量与降

水入渗补给地下水量之和. 根据全国水资源规划对全国水资源分区, 全国按流域水系划分为 10 个水资源一级区(图 1); 在一级区划分的基础上, 按基本保持河流完整性的原则, 划分为 80 个二级区; 结合流域分区与行政区域, 划分为 213 个三级区. 以水资源三级区作为水资源统计的基本单元, 逐级向上一级汇总得到一级区和全国水资源量(中华人民共和国水利部等, 2008).

水资源总量可采用下式计算:

$$W = R_s + P_r - R_g, \quad (1)$$

式中, W 为水资源总量; R_s 为地表径流量; P_r 为降水入渗补给量(山丘区用地下水总排泄量代替); R_g 为河川基流量(平原区为降水入渗补给量形成的河道排泄量). 由于河道外经济社会用水消耗的水量不断增加, 许多水文站实测径流已不能代表天然状况, 对于流域年用水耗损量大于同期平均实测年径流量 5% 的流域, 根据流域内农业灌溉耗损量、工业用水耗损量、城镇生活用水耗损量、跨流域(或跨区间)引水量、河道分洪决口水量和大中型水库蓄水变量引起的径流量的增减情况, 对实测径流量进行还原, 将实测径流系列还原为天然径流系列, 作为地表水资源数量计算的基本依据.

本文分析基础资料为全国和 10 个一级区的 1956~2010 水资源系列, 其中 1956~2000 年系列采用全国水资源调查评价成果, 2001~2010 年数据来自该时段的逐年的《中国水资源公报》(中华人民共和国水利部, 2001~2010).

采用不同时段平均水资源数量, 对比分析水资源的变化. 参考传统上国际上以 30 年平均作为描述气候的平均状况的做法(IPCC, 2007b), 本文以 1960~1990 年作为平均状况时段, 对全国和十大一级区的中国水资源量变化幅度进行对比分析. Mann-Kendall 检验是提取序列变化趋势的有效工具, 被广泛应用于气候和水文序列的分析中(Burn 等, 2002; 曹建廷等, 2005). 本文利用 Mann-Kendall 检验分析了水资源变化趋势. 小波分析具有多分辨率分析的能力, 利用小波分析可以对序列进行多尺度细化分析, 研究不同尺度演变规律(王文圣等, 2005; 杨富程等, 2012). 利用 Morlet 复小波分析了全国和十个水资源一级分区不同时间尺度水资源周期变化, 利用不同尺度小波系数初步分析了长江和海河流域水资源变化的相关性.

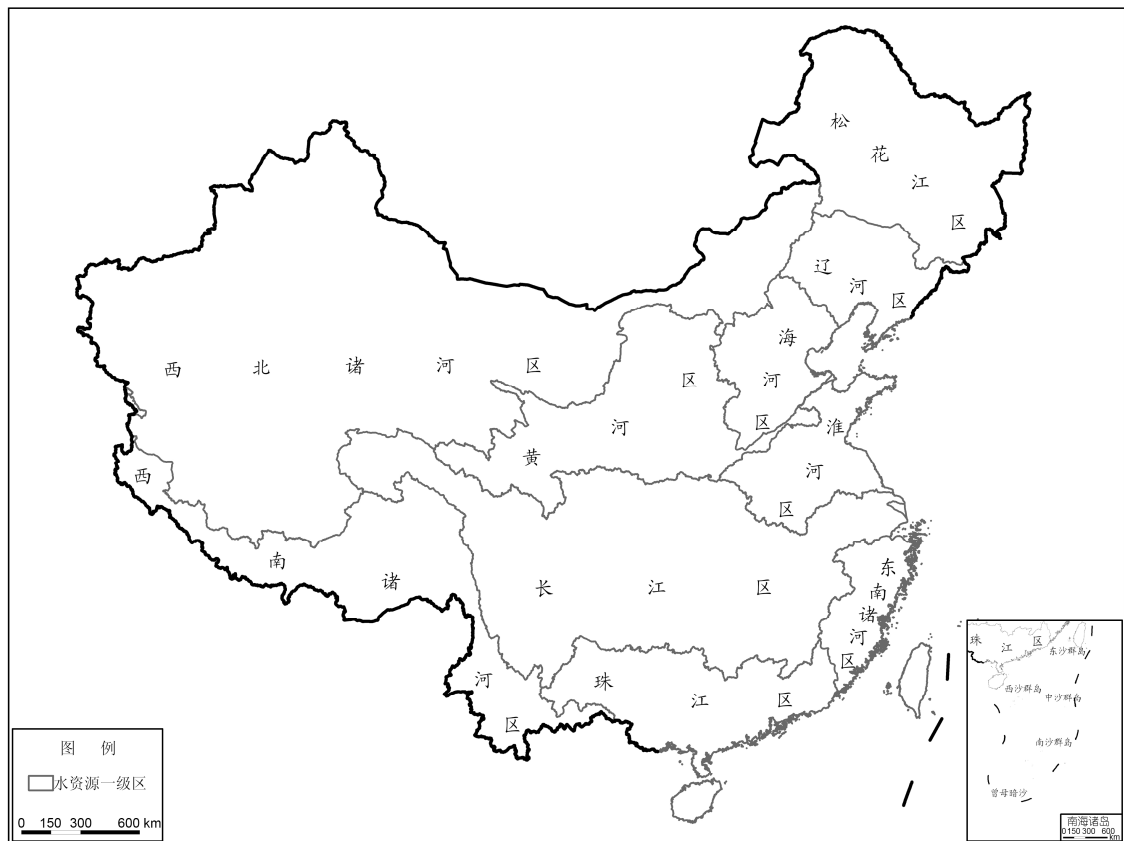


图 1 中国水资源分区图

2 全国可更新水资源量变化趋势

受气候波动影响, 不同时段的全 国可更新水资源数量不同, 全国和水资源十大一级区不同时段水资源平均值见表 1. 1956~2010 年系列全国水资源平均为 27550 亿 m^3 . 1991~2010 近 20 年年均水资源量比 1961~1990 年均水资源量仅增加 1%. 1956~2010 年全国水资源系列的距平变化过程见图 2, 在这 55 年中, 大部分年份在距平 $\pm 10\%$ 波动, 有 9 年变化幅度在 10%~20%, 有 1 年(1998 年)距平超过 20%. 从全国层面来看, 1956~2010 年水资源距平变化的线性趋势来看, 几乎没有什么趋势变化.

尽管从全国尺度看水资源变化很小, 但水资源一级区变化较大. 我国北方地区的海河区、黄河区和辽河区 1956~2010 年系列水资源平均分别为 350.4, 703.4 和 484.9 亿 m^3 , 1991~2010 近 20 年的年均水资源量比 1961~1990 年均水资源量分别减少 19%, 17% 和 8%. 我国南方地区的东南诸河区、珠江区 1956~

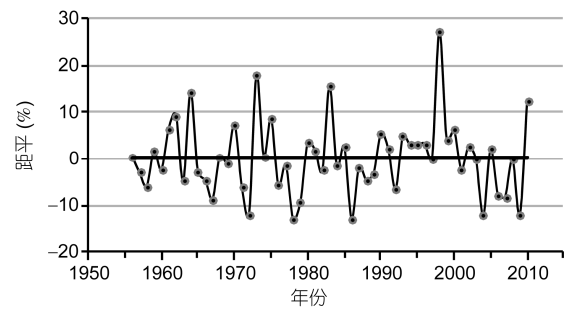


图 2 全国水资源距平变化

2010 系列年均水资源量分别为 1990.4 和 4715.5 亿 m^3 , 1991~2010 最近 20 年的年均水资源量比 1961~1990 年均水资源量分别增加 6%和 4%. 西北诸河区近 20 年水资源量增加近 10%.

各水资源一级区逐年距平也存在较大的差异, 水资源一级区距平变化见图 3. 长江区、东南诸河区、珠江区、西南诸河区和西北诸河区的水资源距平波动相对较小, 大部分年份在距平 $\pm 30\%$ 内波动, 最大也

表 1 全国和水资源一级区不同时段年均水资源量及 Mann Kendall 趋势检验^{a)}

分区	1956~2010 年平均(10^8 m^3)	1961~1990 年平均(10^8 m^3)	1991~2010 年平均(10^8 m^3)	近 20 年的相对 变化(%)	1956~2010 M-K 检验 Z 值	显著性水平
松花江区	1449.0	1411.7	1392.0	-1.40	-1.80	+
辽河区	484.9	492.2	453.7	-7.82	-1.89	+
海河区	350.4	367.5	296.6	-19.29	-2.99	**
黄河区	703.4	752.7	623.6	-17.15	-2.70	**
淮河区	933.9	909.4	946.4	4.07	-0.32	
长江区	9872.2	9906.1	9997.9	0.93	0.46	
东南诸河区	1990.4	1936.0	2056.1	6.20	1.00	
珠江区	4715.5	4679.3	4856.5	3.79	0.39	
西南诸河区	5749.2	5774.5	5796.0	0.37	-0.17	
西北诸河区	1301.1	1251.0	1374.4	9.86	2.34	*
全国	27550.1	27480.3	27793.2	1.14	1.38	

a) 在显著水平栏: 空格为大于 0.1; +代表 0.1; *代表 0.05; **代表 0.01

没有超过 $\pm 50\%$ 。北方松花江区、辽河区、海河区、黄河区和淮河区水资源距平波动明显较大,在淮河区波动最大年份距平甚至超过 100%。从趋势线来看,海河区、黄河区、辽河区和松花江区水资源距平由原来正距平演变为负距平。淮河区水资源距平也呈减少趋势,总体上趋势线显示仍为正距平。长江区、东南诸河区、珠江区和西北诸河区水资源距平趋势线逐渐增加趋势,由负距平逐渐变为正距平。西南诸河区水资源距平趋势线几乎没有变化趋势。

对全国水资源量和各一级分区水资源系列,进行 Mann Kendall 趋势检验,计算了反映变化趋势的 Z_c 值, Z_c 值为正表明上升趋势, Z_c 值为负表明下降趋势,并进行显著性分析。全国和水资源十大一级区 1956~2010 水资源平均值和水资源序列 Mann Kendall 检验计算结果见表 2。全国水资源系列 Mann Kendall 趋势检验, Z_c 值为正值,显示 1956~2010 年全国水资源呈微弱的增加趋势,但不显著。

在北方地区,黄河区和海河区水资源系列的 Mann Kendall 趋势检验结果显示,在 0.01 显著性水平上,呈现显著减少趋势;松花江区和辽河区在 0.1 显著水平上呈现明显减少趋势;淮河区呈现减少趋势,但不显著。在南方地区, Mann Kendall 趋势检验结果显示,长江区、东南诸河区和珠江区 1956~2010 水资源系列的 Z_c 值为正值,显示水资源呈现增加趋势,但都没有通过 0.1 的显著性检验。

3 水资源变化幅度的变化

为了揭示水资源的年际变化幅度的变化,计算

了全国和水资源一级区 1956~2010, 1961~1990, 1991~2010 三个时段水资源系列的变差系数(表 2)。变差系数(C_v)是一个表示标准差相对于平均值大小的相对量, C_v 值的大小反映水资源的年际变化剧烈程度。

表 2 可以看出,在全国的尺度上,近 20 年 C_v 增加,反映水资源年际变化幅度有所增加。在不同水资源分区 C_v 的变化的趋势明显不同,10 个一级区中松花江区、辽河区、淮河区、珠江区、西南诸河区和西北诸河区 6 个一级区, C_v 呈现增加趋势,反映这 6 个一级区水资源年际变化增加,这些一级区总体分布在我国纬度较低和较高的水资源一级区。在海河区、黄河区、长江区和东南诸河区 4 个一级区 C_v 呈现减少趋势,反映水资源年际变化减少。

4 水资源变化周期

对 1956~2010 全国水资源系列标准化处理后进行 Morlet 小波变换,得到不同时间尺度下的小波系数(图 4(a))。以小波方差为纵坐标,时间尺度为横坐标,绘制的小波方差图(图 4(b))。小波系数所表征的水资源量以不同尺度随时间呈现丰、枯交替变化特征。小波系数图中的实线表示小波系数实部为正值,表示水资源量较大,虚线表示相应的小波系数为负值,表示水资源量较少,越趋向各周期振荡中心,其数值越大。图中显示水资源序列的各时间尺度在时间域上分布不均,局部变化特征明显,总体上而言,上部分等值线稀疏,对应较长尺度周期的振荡,下部分等值线相对稠密,对应较短尺度周期振荡,且大尺度变化嵌套着复杂的小尺度变化。在 10~18 年时间尺度,

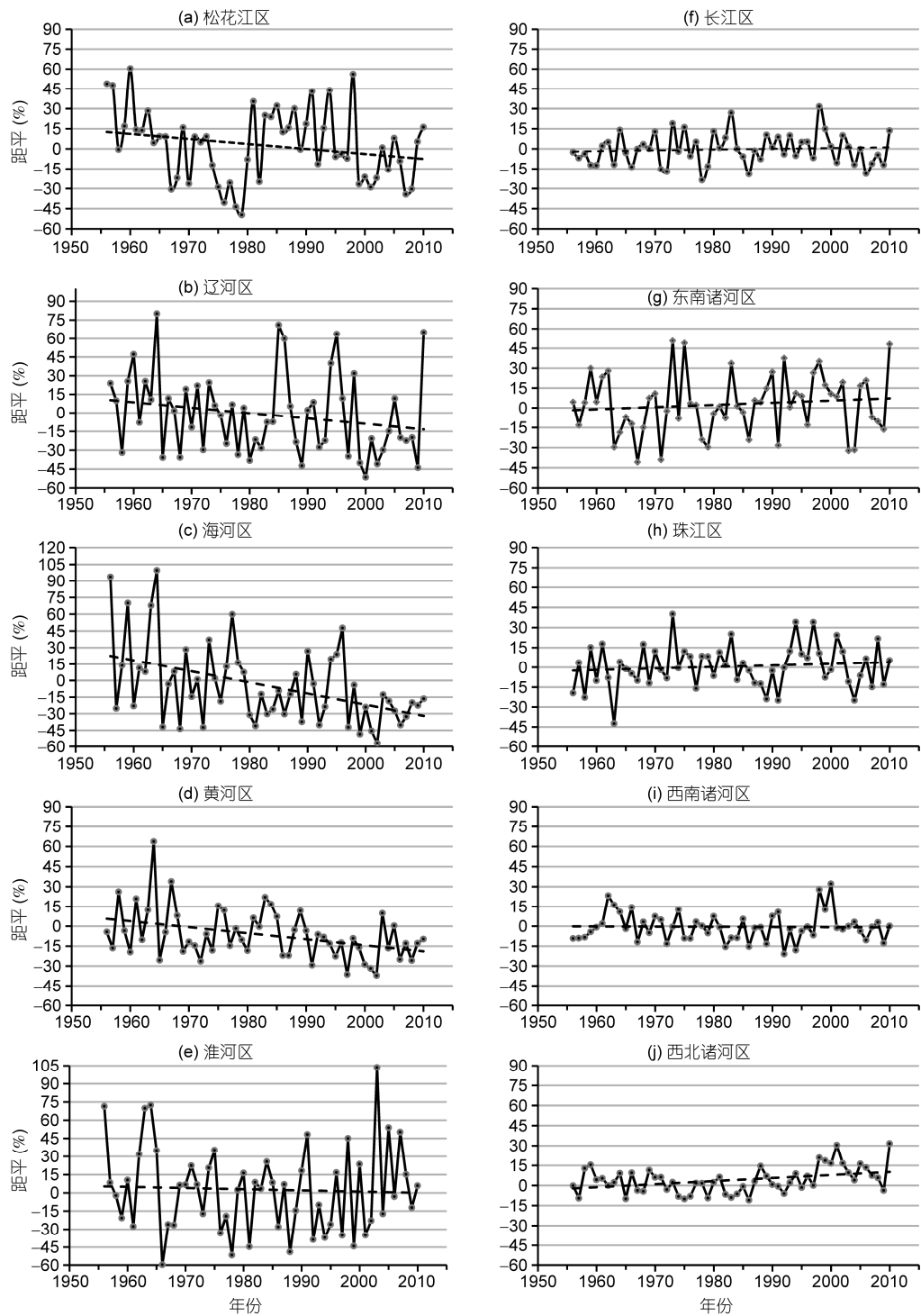


图3 一级区水资源距平变化

全国水资源出现丰枯振荡周期较明显。

小波方差图能反映水资源序列的波动能量随尺度的分布情况, 可用来确定水资源变化过程中存在

的主周期。全国水资源系列的小波方差图中存在4个较为明显的峰值, 它们依次对应着14年, 18年, 28年和4年的时间尺度。其中, 最大峰值对应着14年的时

表 2 全国和水资源一级区不同时段水资源系列变差系数

分区	1956~2010 时段	1961~1990 时段	1991~2010 时段
松花江区	0.259	0.245	0.261
辽河区	0.330	0.311	0.379
海河区	0.375	0.346	0.325
黄河区	0.202	0.199	0.148
淮河区	0.344	0.330	0.384
长江区	0.116	0.120	0.118
东南诸河区	0.219	0.232	0.218
珠江区	0.160	0.155	0.166
西南诸河区	0.109	0.100	0.130
西北诸河区	0.094	0.071	0.096
全国	0.080	0.081	0.087

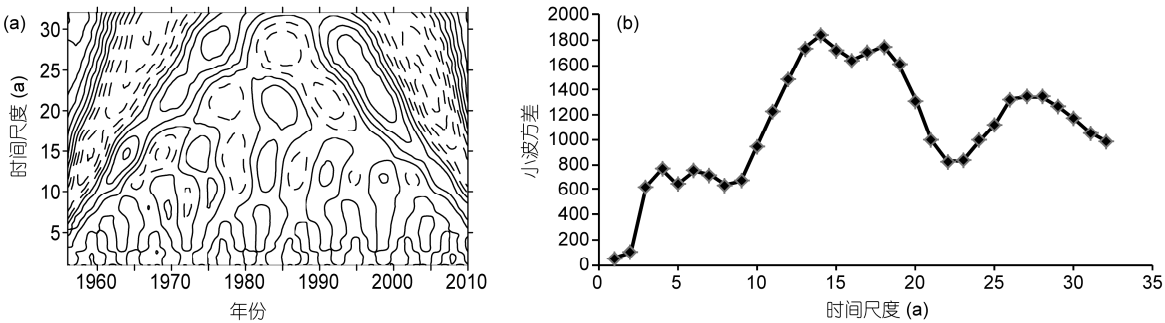


图 4 全国水资源系列小波变换
(a) 小波系数等值线图; (b) 小波方差图

间尺度,说明 14 年左右的周期振荡最强,为全国水资源变化的第一主周期; 18 年时间尺度对应着第二峰值,为水资源变化的第二主周期,第三、第四峰值分别对应着 28 年和 4 年的时间尺度,它们依次为水资源变化的第三和第四主周期. 这说明上述 4 个周期的波动控制着全国水资源在整个时间域内的变化特征.

对各个水资源一级区 1956~2010 水资源系列标准化后,进行 Morlet 小波变换,小波系数实部见图 5. 在 10~15 年时间尺度,1956~1985 年松花江区出现准 3 次枯-丰振荡; 辽河区在 1956~2010 年整个时段的存在相当稳定的准 5 次枯-丰振荡变化; 海河区在 20~30 年尺度上出现 3 次准周期的丰枯振荡; 东南诸河区和

珠江区在 25~32 年尺度上出现 3 次丰枯振荡. 部分一级区在整个时段周期振荡的规律不明显. 结合小波系数和小波方差分析结果(图略),确定的各一级区第一、第二主周期,结果见表 3.

各水资源一级区水资源变化的周期振荡存在一定差异,但可看出其间的关联性,特别是地域相近水资源一级区. 松花江区和辽河区的两个主周期都非常接近. 海河区、黄河区的第二主周期基本一致. 淮河区 and 长江区的第一主周期一致,长江区第一主周期与海河区、黄河区的第二主周期存在一致性,珠江区和东南诸河区第一主周期一致.

选取南方地区的长江区和北方地区的海河区,

表 3 各水资源一级区水资源变化周期

	松花江区	辽河区	海河区	黄河区	淮河区	长江区	东南诸河区	珠江区	西南诸河区	西北诸河区
第一主周期(年)	6	6	25	7	11	11	19	19	27	15
第二主周期(年)	18	16	10	11	4	26	12	6	19	22

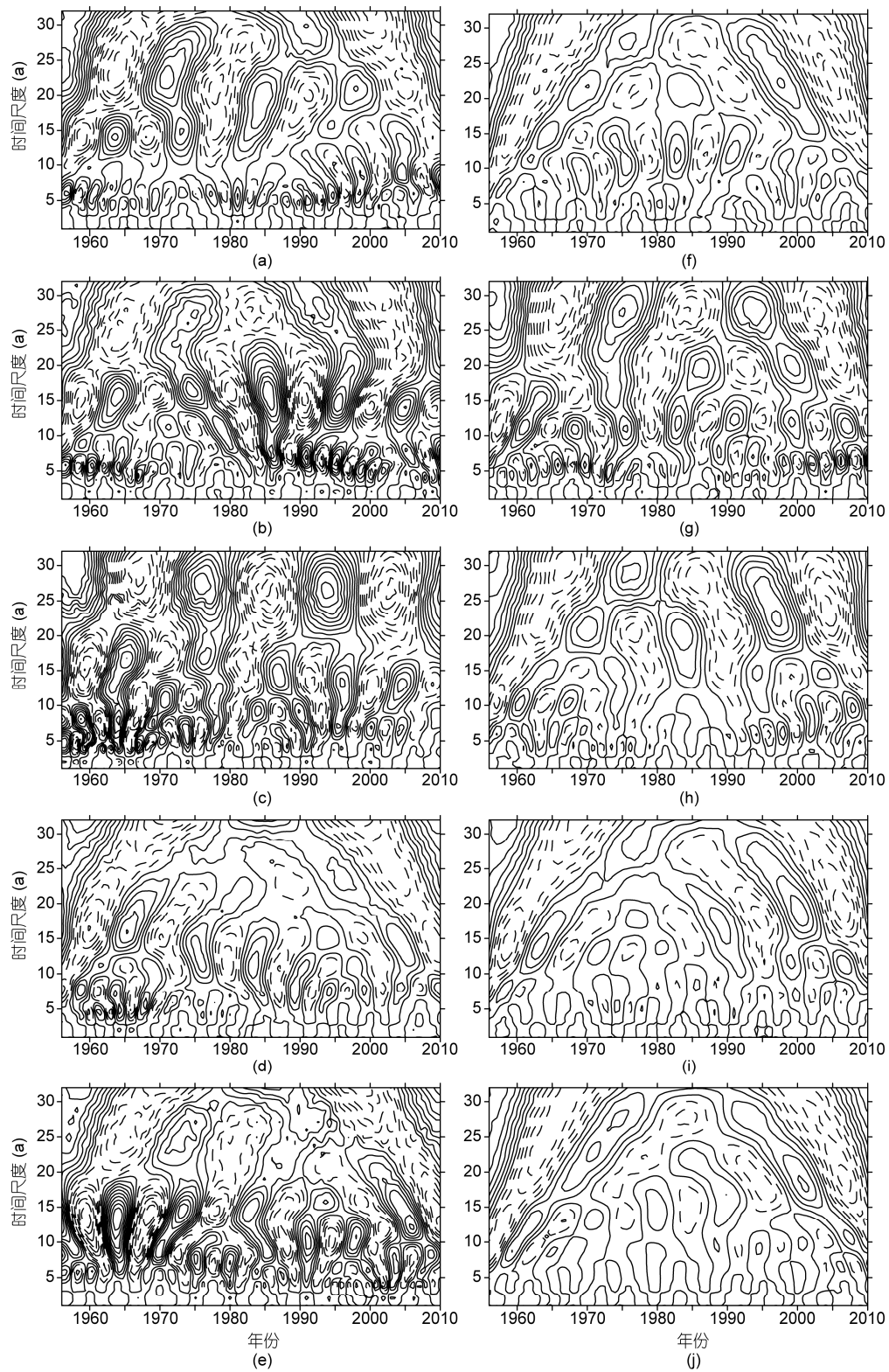


图 5 水资源一级区水资源序列小波变换

(a) 松花江区; (b) 辽河区; (c) 海河区; (d) 黄河区; (e) 淮河区; (f) 长江区; (g) 东南诸河区; (h) 珠江区; (i) 西南诸河区; (j) 西北诸河区

利用 1956~2010 水资源系列的小波变化, 初步揭示不同尺度南北水资源变化关系. 考虑在系列内的波动频次适中, 同时考虑到在 10~20 年时间尺度, 长江区和海河区振荡较明显, 本文选择 15 a 尺度, 分析南北方丰枯变化. 在 15 a 尺度上, 小波系数变化(图 6)显示, 在 1975 年以前, 南北方水资源总体呈现同相变化. 在 1976~2005 年, 南北方水资源大体呈现反相变化. 2006 以后南北方水资源又大致呈现同相变化, 海河区落后长江区 2 年变化. 需要说明的是, 对不同时间尺度而言, 揭示南北方水资源的变化关系不同, 在讨论的南北丰枯变化问题, 应说明不同的时间尺度.

5 讨论和结论

从全国尺度来看, 近 55 年来我国水资源总量呈现微弱的增加趋势, 近 20 年的年均水资源量比多年均水资源量仅增加 1%, Mann Kendall 趋势检验也显示增加趋势不显著. 水资源变化的长期趋势并不明显, 主要是我国空间尺度大, 不同水资源分区的水资源丰枯变化可以相互调节.

我国不同水资源分区的水资源变化差异较大, 突出地表现在近 20 年来我国北方地区海河区、黄河区的水资源显著减少, 与各自多年平均状况相比, 减少幅度达 19%和 17%. 而我国南方地区和西北地区水资源的增加, 特别是西北诸河区水资源增加近 10%. 其他研究成果也揭示过去几十年大致相同的水资源变化趋势, 如实测水文站点资料揭示 1960~2000 黄河流域径流的减少, 长江流域较小增加(Piao 等, 2010), 20 世纪 80 年代中期以来新疆地区水资源增加(施雅风等, 2003; Xu 等, 2010).

就水资源年际变化而言, 全国尺度上水资源变

化年际变化较小, 近 20 年时段与 1961~1990 时段相比, 全国水资源的年际变化有增加趋势. 在水资源一级区中, 近 20 年辽河区、西北诸河区和西南诸河区变差系数也明显增大, 显示水资源年际波动增加. 水资源年际变化增加, 可能是对极端干旱和降水事件频率增加的反映(任国玉等, 2010). 需要指出的是, 在全球变化极端事件增多背景下(IPCC, 2012), 与多年平均状况相比, 近 20 年长江区水资源的年际变化基本没有改变, 而水资源减少的黄河区、海河区年际变化甚至存在减小的现象.

全国水资源变化存在 14 年左右的周期, 是各水资源一级区不同变化周期的叠加, 其受各个一级区水资源变化周期的影响. 尽管各水资源一级区水资源变化周期存在较大差异, 地域相近松花江区和辽河地区, 海河区和黄河区, 淮河区和长江区, 东南诸河区和珠江区水资源变化的第一主周期或第二主周期存在较明显的一致性. 需要说明的是, 尽管利用了目前全国尺度上较长的一致性较好的水资源序列资料, 但对水资源变化的周期性分析而言, 总体上选用的时段仍较短, 分析水资源的周期变化存在一定的不确定性.

由于在计算水资源量过程中, 对经济社会用水影响明显的地区进行了径流系列的还原, 对由于下垫面变化导致降雨径流关系发生显著变化的流域, 根据降雨径流关系变化, 进行径流系列一致性修正, 因此本文揭示的水资源变化主要反映了气候变化的影响. 受全球气候变化的影响, 近 50 年来我国气温总体呈上升趋势, 我国年均降水量变化有微弱的减少趋势, 趋势不明显, 近 20 年降水的年际间波动增加(图 7). 不同水资源一级区的降水变化波动较大, 近 20 年来我国北方海河区、黄河区、辽河区的年均降水量比 1961~1990 年均降水量分别减少 7.4%, 5.5%和 3.2%, 而相应时段

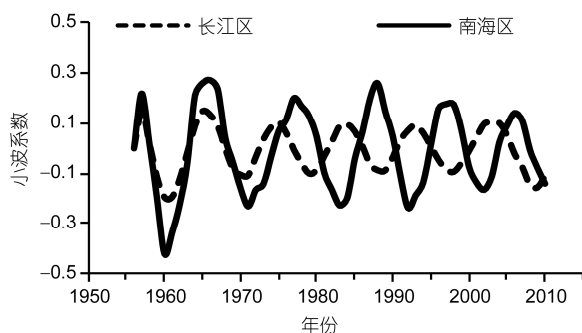


图 6 在 15 a 尺度上长江区和海河区水资源系列小波系数变化

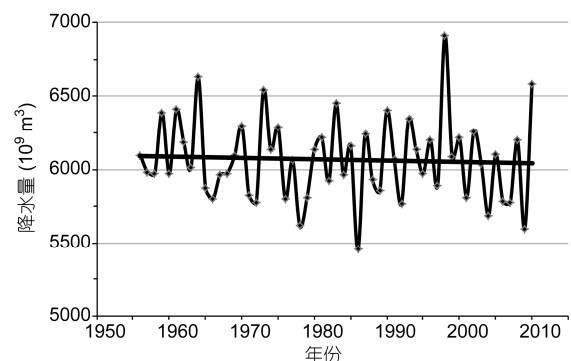


图 7 1956~2010 年全国平均降水曲线

的西北诸河区、东南诸河区分别增加 8.0%和 3.7%。

从全国水资源总量变化来看,气候变化对我国水资源总量影响不显著,没有揭示随着全球温度变化,全球水循环加快导致降水显著增加的信息。这也可能是由于我国跨不同气候区,全国水资源由不同水资源分区的水资源汇总而来,削弱了对气候变化影响信号的识别。从水资源一级区来看,近 20 年来我国北方海河区、黄河区和辽河区水资源数量显著减少,西南诸河区和西北诸河区水资源年际变化明显增加,进一步反映了气候变化对水资源影响主要表现在水资源一级区或更小的空间尺度上。海河区、黄

河区和辽河区是我国水资源开发利用程度较高的地区,水资源的减少,加剧了这些地区的水资源供需矛盾。已有的成果也揭示气候变化已对我国不同流域水资源产生较大影响,加剧了我国一些地区的水资源胁迫(Wang 和 Zhang, 2011; Cao 等, 2012)。尽管在西北诸河区近 20 年水资源增加,存在增加趋势,但由于西北诸河区处于干旱气候区,水资源总体增加有限,不可能改变干旱气候的总体格局,水资源仍是制约当地经济社会发展的重要因素。从全国尺度来看,总体而言受气候变化的影响,水资源变化加剧了我国水资源供需紧张局面。

参考文献

- 曹建廷, 秦大河, 康尔泗, 等. 2005. 青藏高原外流区主要河流的径流变化. 科学通报, 50: 2403-2408
- 丁永建, 叶柏生, 韩添丁, 等. 2007. 过去 50 年中国西部气候和径流变化的区域差异. 中国科学 D 辑: 地球科学, 37: 206-214
- 李原园, 文康, 沈福新, 等. 2012. 气候变化对中国水资源影响及应对策略研究. 北京: 中国水利水电出版社. 433
- 任国玉, 封国林, 严中伟. 2010. 中国极端气候变化观测研究回顾与展望. 气候与环境研究, 15: 337-353
- 任国玉, 姜彤, 李维京, 等. 2008. 气候变化对中国水资源情势影响综合分析. 水科学进展, 19: 772-779
- 施雅风, 沈永平, 李栋梁, 等. 2003. 中国西北气候由暖干向暖湿转型问题评估. 北京: 气象出版社. 124
- 王文圣, 丁品, 李跃清. 2005. 水文小波分析. 北京: 化学工业出版社. 207
- 夏军, 刘昌明, 丁永建, 等. 2011. 中国水问题观察(第一卷). 北京: 科学出版社. 311
- 杨富程, 夏自强, 黄峰, 等. 2012. 额尔齐斯河流域降水变化特征. 河海大学学报(自然科学版), 40: 432-437
- 张建云, 王国庆. 2007. 气候变化对水文水资源影响研究. 北京: 科学出版社. 214
- 中华人民共和国水利部, 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 2008. 中国水资源及其开发利用调查评价. 技术报告. 中华人民共和国水利部. 140
- 中华人民共和国水利部 2001~2010. 中国水资源公报. 北京: 中国水利水电出版社. 47
- Brekke L D, Kiang J E, Olsen J R, et al. 2009. Climate Change and Water Resources Management-A Federal Perspective. U.S. Geological Survey Circular 1331, 13-15
- Burn D H, Burn M A, Hag E. 2002. Detection of hydrologic trends and variability. J Hydrol, 255: 107-122
- Cao J T, Li Y Y, Shen F X, et al. 2012. Drawing down our resources: Estimating the total appropriation of water in China. Water Int, 37: 512-522
- Estrela T, Pérez-Martin M A, Vargas E. 2012. Impacts of climate change on water resources in Spain. Hydrol Sci J, 57: 1154-1167
- IPCC. 2007a. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press. 976
- IPCC. 2007b. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press. 142
- IPCC. 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press. 582
- Matthew B C, Nigel W A. 2011. Adapting to climate change impacts on water resources in England-An assessment of draft water resources management plans. Glob Environ Chang, 21: 238-248
- Miao C Y, Shi W, Chen X H, et al. 2012. Spatio-temporal variability of streamflow in the Yellow River: Possible causes and implications. Hydrol Sci J, 57: 1355-1367
- Piao S L, Philippe C, Yao H, et al. 2010. The impacts of climate change on water resources and agriculture in China. Nature, 467: 42-51
- Wang S R, Zhang Z Q. 2011. Effects of climate change on water resources in China. Clim Res, 47: 77-82
- WWAP (World Water Assessment Programme). 2012. The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk. Paris, UNESCO. 380
- Xu C C, Chen Y N, Yang Y H, et al. 2010. Hydrology and water resources variation and its response to regional climate change in Xinjiang. J Geogr Sci, 20: 599-612