

基于小波与 R/S 方法的汉江中下游 流域降水量时间序列分析

潘雅婧^{1,2}, 王仰麟¹, 彭 建^{1,2}, 沈 虹¹, 刘小茜¹

(1. 北京大学城市与环境学院, 地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871;

2. 北京大学深圳研究生院城市规划与设计学院, 城市人居环境科学与技术重点实验室, 深圳 518055)

摘要: 基于汉江中下游流域 9 个国家气象站 1961~2006 年的降水数据, 综合采用 Morlet 小波分析、小波分解和 R/S 分析方法, 对流域降水量周期和未来趋势进行分析及预测。研究结果表明: 汉江中下游流域年降水量存在 5 年左右的短周期和 10~15 年的中长周期; 部分气象站可能存在 40 年左右长周期, 需要更长的时间序列验证。基于通过小波分解提取的历史降水量变化趋势, 进一步结合 R/S 分析表明, 汉江中下游流域降水量时间序列总体上存在比较明显的赫斯特现象, 未来该流域面临较大的防洪压力。

关键词: 小波分析; R/S 分析; 降水量时间序列; 汉江中下游流域

文章编号: 1000-0585(2012)05-0811-10

1 引言

降水既是影响流域水文水资源系统的重要因素, 也是基本的气候要素, 其年际和长期变化特征是气候变化的直接表征, 对社会经济生活具有重要影响^[1,2]。同时, 降水变化会直接影响区域水分平衡, 进而诱发洪涝干旱等自然灾害。进入 20 世纪以来, 随着全球气候变化逐步成为公认的事实, 降水变化及其区域差异备受关注, 成为全球气候变化研究的热点领域^[3~8]。相关研究表明, 在全球气候变暖趋势下, 未来长江流域发生超大洪水的可能性很大^[9,10]; 而汉江作为长江最大的支流, 流域降水年际变化大且年内分配不均, 已成为我国洪涝灾害频发的主要地区之一^[11]。因此, 对汉江流域年降水量进行长时间序列分析, 了解其变化周期和趋势规律, 对于该流域乃至长江流域洪水灾害的防治及实现人水和谐发展具有重要的现实意义。

20 世纪 80 年代应运发展起来的小波分析 (wavelet analysis) 为分析非线性的复杂水文水资源系统提供了可能^[12], 但小波分析在变化趋势预测方面稍显逊色, 难以满足全球变暖背景下降水量变化趋势的预测需求。而 1951 年由英国工程师 Hurst 创立的 R/S 分析法则为研究时间序列长程相关性提供了有力工具, 该方法在时间序列长程相关 (反相关) 持续性 (反持续性) 的识别方面具有独特的优点, 可以很好地解释降水量动态变化的内在

收稿日期: 2011-07-15; 修订日期: 2012-01-15

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40801066)

作者简介: 潘雅婧 (1987-), 女, 汉族, 硕士, 研究方向为资源管理与城市规划。

E-mail: panyajing_cues@pku.edu.cn

通讯作者: 王仰麟 (1963-), 男, 陕西合阳人, 博士, 教授, 主要从事景观生态与土地利用研究。

E-mail: ylwang@urban.pku.edu.cn

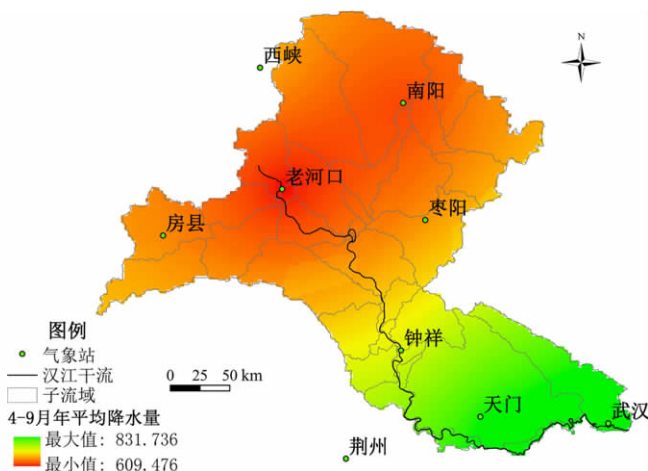
规律及其分形特征,从而有效地对其变化趋势进行预报和控制^[13]。

因此,本文将小波分析法与 R/S 分析法结合起来,分析汉江中下游流域 9 个国家级气象站 1961~2006 年的降水资料,探讨其变化周期,并通过小波分解和 R/S 分析法预测其未来发展趋势,以期能为流域防洪抗旱提供科学指导。

2 研究区概况

汉江是我国第一大河流长江的最大支流,流域属亚热带季风区,年平均降水量 873mm,多年平均径流量 517 亿 m^3 ,水量较充沛,但年内分配极不均匀,5~10 月径流量占全年的 75%左右;年际变化大,根据汉江主要水文站的多年实测资料,年径流量的变差系数均在 0.3 以上,是长江各大支流中变化最大的河流^[14]。汉江流域丰富的水量为当地社会经济发展提供了必要的水资源和水能资源,但同时也带来洪涝灾害的隐患。

本文研究区汉江中下游流域上起丹江口、下至汉口入长江河口,地跨湖北、河南两省 ($30^{\circ}\sim 34^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\sim 114^{\circ}\text{E}$),全长 616km,流域总面积 $6.08\times 10^4\text{ km}^2$,是洪涝灾害频发的区域(图 1)。在该区域内共分布有 9 个国家级气象观测站,即武汉、房县、荆州、老河口、西峡、枣阳、钟祥、天门及南阳气象站。



3 研究方法

3.1 小波分析

小波分析是一种信号的时间尺度调和分析方法,它在傅里叶变换的基础上引入窗口函数(小波函数),从而允许把时间序列分解为时间和频率的贡献^[15,16];该方法能在不同时间尺度上分析过去气候的变化周期,在解释气候变化的多尺度构型和主周期^[17]及研究气候变化的多尺度结构和突变特征等方面^[18]具有明显的优势,已成为降水资源多时间尺度变化特征的有效分析手段^[19~22]。早在 1993 年, Kumar 等^[23]就在小波分析的基础上,运用正交小波变换研究了空间降水的尺度和震荡特征。在国内,邓自旺等于 1997 年首次利用 Morlet 小波变换法分析了西安市近 50 年月均气温和降水量距平变化的多层次时间尺度结构^[24]。此后,小波分析在水文及气候(尤其是气温和降水)研究中的应用甚为广泛。

本文采用复数形式的 Morlet 小波作为母小波函数,因为复数小波的实部和虚部的位相差为 $\pi/2$,用复小波变换系数的模作为判别气候资料中包含的各尺度周期性的大小及这些周期在时域中分布的判据,能够消除用实型小波变化系数作为判据时所产生的虚假震荡,使分析结果更准确。因此, Morlet 小波能够很好地对资料序列连续进行时域局部化分析^[24]。

在一定尺度下,小波变换系数随时间变化过程反映变量在该尺度下的变化特征为:小

图 1 汉江中下游流域 4~9 月年平均降水量

Fig. 1 Annual average precipitation from April to September in middle and lower reaches of Hanjiang River

波变化系数正值对应于偏多期, 反之则对应偏少期, 小波变化系数为零对应突变点; 小波变化系数绝对值越大, 说明该时间尺度变化越显著。

通过小波变换得到的是一个尺度时间函数, 若要通过该函数准确地对一些复杂过程进行解释, 则需要借助小波方差来进行小波分析检验, 从而确定显著周期。在小波方差图中, 对应峰值处的尺度即为该序列的主要时间尺度, 即主周期。

3.2 R/S 分析

R/S 分析法是英国学者 Hurst 于 1965 年提出的一种处理时间序列的分形结构分析方法^[25], 是自仿射分形衍生出来的时间序列分析方法, 通常被用来分析时间序列的分形特征和长期记忆过程。R/S 分析研究表明, 降水、温度、树木年轮、冰川纹泥、太阳黑子等自然现象都具有 Hurst 效应。对于这类序列, 采用 R/S 分析方法具有独特的作用^[26]。目前在国内外已有报道的研究中, 赫斯特指数常应用于股票相关分析^[27~29] 和水文时序的变异点、持续性分析^[25,30], 也有学者将 R/S 分析方法和小波分析方法结合起来研究 DDoS 攻击的检测^[31]。

R/S 分析的基本原理为^[30]: 设在时刻 t_1, t_2, \dots, t_n 处取得的响应时间序列为 $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$, 对于任意正整数 $\tau \geq 1$, 该时间序列的平均为

$$\langle \xi \rangle_\tau = \frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} \xi(t) \quad \tau = 1, 2, 3, 4, \dots, n \quad (1)$$

用 $X(t)$ 表示累积离差为^[30]

$$X(t, \tau) = \sum_{u=1}^t (\xi(u) - \langle \xi \rangle_\tau) \quad 1 \leq t \leq \tau \quad (2)$$

把同一个 τ 值所对应的最大 $X(t)$ 值和最小 $X(t)$ 值之差称为极差, 并记为^[30]

$$R(\tau) = \max_{1 \leq t \leq \tau} X(t, \tau) - \min_{1 \leq t \leq \tau} X(t, \tau) \quad \tau = 1, 2, 3, 4, \dots, n \quad (3)$$

Hurst 利用的标准偏差为^[30]

$$S(\tau) = \left[\frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} (\xi(t) - \langle \xi \rangle_\tau)^2 \right]^{1/2} \quad \tau = 1, 2, 3, 4, \dots, n \quad (4)$$

Mandelbrot 证实了 Hurst 的研究, 并得出了更广泛的指数律, 即 $R/S = (\tau/2)^H$ 。式中, H 为赫斯特系数。

不同的赫斯特系数 H ($0 < H < 1$) 对应三种不同的情况: (1) 当 $H = 0.5$ 时, 即各项指标完全独立, 无相互依赖, 丰、枯水年的出现是随机性的; (2) 当 $0.5 < H < 1$ 时, 意味着未来的趋势与过去一致, 即过程具有持续性或长程相关性, H 值越接近 1, 说明持续性越强, 反映在降水量指标上, 则未来的降水量整体变化趋势越有可能与过去一致; (3) 当 $0 < H < 0.5$ 时, 意味着未来的总体趋势将与过去相反, 即出现均值回复过程^[32], 且 H 值越接近 0, 反持续性越强; 在这种情况下, 过去的增加趋势预示着未来的减少趋势, 而过去的减少趋势则使未来可能出现增加的趋势。

4 结果分析

4.1 小波系数

基于对各气象站降水量时间序列的距平处理结果, 进行连续 Morlet 小波变换, 分析得到年降水量变化的多时间尺度结构。图 2 绘制了年降水量距平序列 Morlet 小波变换实部的时频变化, 清晰地显示了年降水量时间尺度变化及其位相结构, 可以初步推测各个气

象站的年降水量在不同时间尺度上的变化周期。以武汉气象站为例,小波系数图显示其能量中心的频域尺度主要集中在 5~6 年,此时信号震荡最剧烈,故可初步推断其降水量变化可能存在 5~6 年的周期;同时在 35~40 年处也出现比较强烈的震荡,暗示降水量也出现比较明显的变化,但是由于序列总长度仅 46,尚不能确定 35~40 年周期。

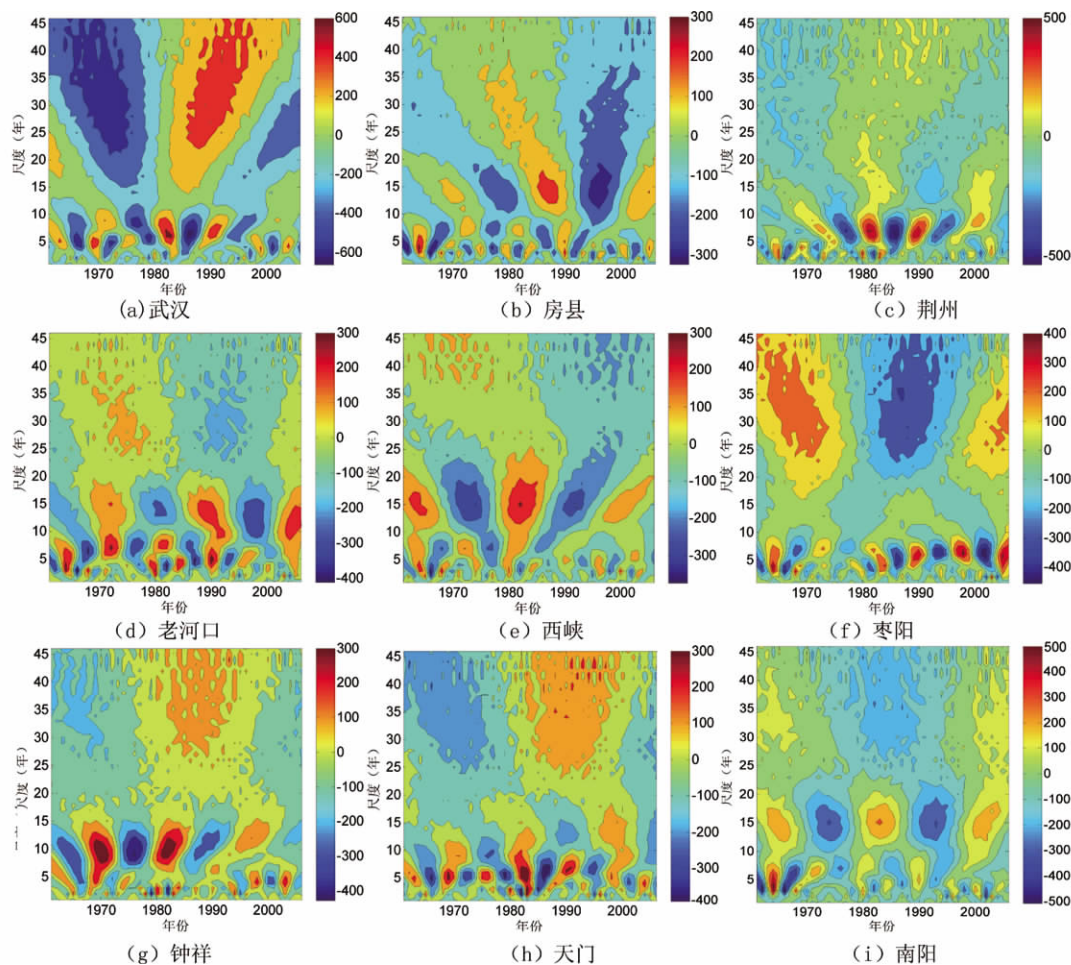


图 2 汉江中下游流域 9 个气象站 1961~2006 年降水量的 Morlet 小波变换实部时频分布

Fig. 2 Part time-frequency distribution of Morlet wavelet transform of annual average precipitation anomalous time series of middle and lower reaches of Hanjiang River

4.2 小波方差检验

利用小波方差可以更加准确地检验通过小波系数分析得到的降水序列周期,根据各个气象站计算出的小波方差绘制成小波方差图(图 3)。以武汉气象站为例,由图 3a 可知只有一个可确定的波峰,尺度为 5~6 年,表明武汉站年均降水量时间序列在该尺度上的周期震荡最强,而在 35~40 年尺度上,小波方差曲线没有形成一个完整的波形,故不能确定 35~40 年尺度的周期,但从方差大小比较,如果 35~40 年的长尺度周期存在,那么这个周期更有可能是该时间序列的主周期。

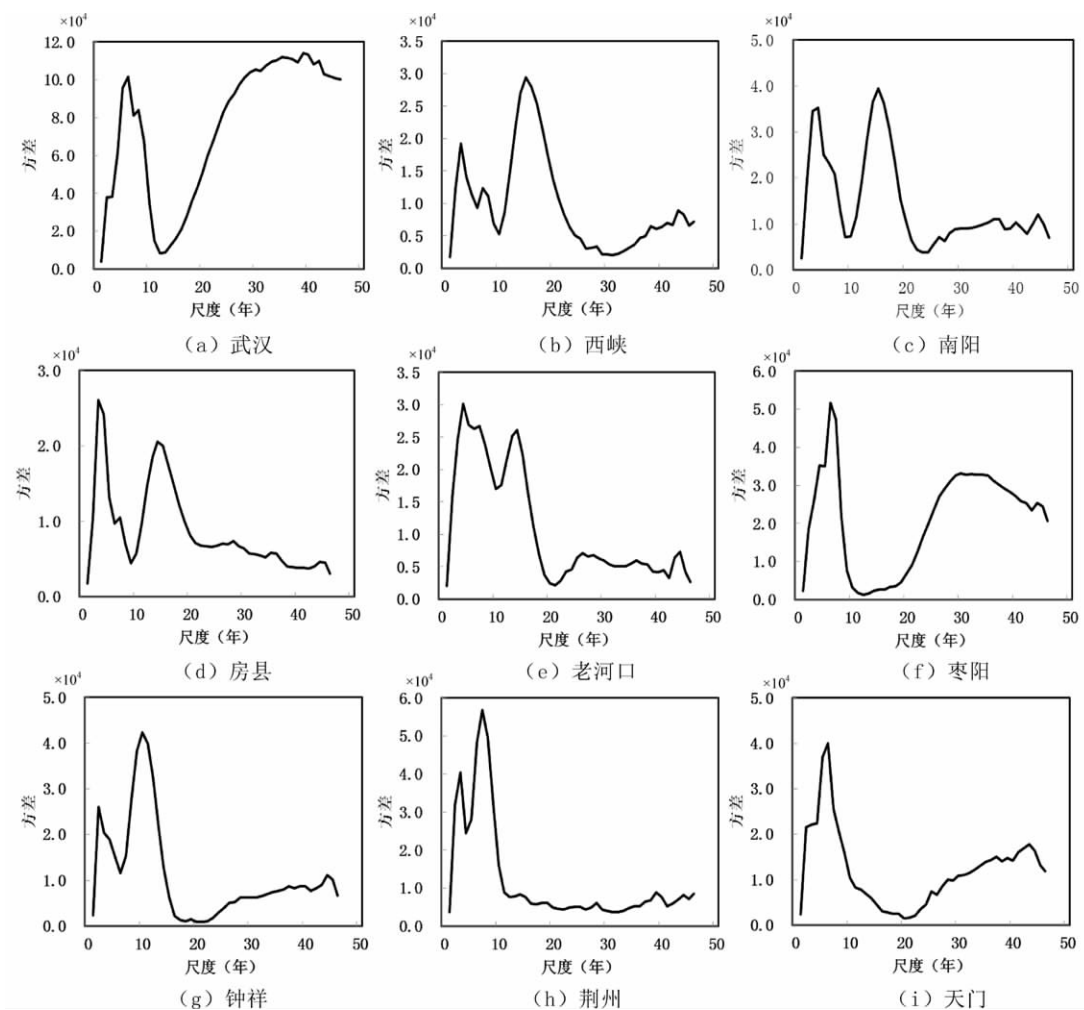


图 3 9 个气象站年均降水量序列的小波方差变化 (1961~2006)

Fig. 3 Wavelet variances of annual average precipitation time series at nine weather stations

表 1 汉江中下游 9 个气象站降水序列周期

Tab 1 The periods of annual precipitation time series of nine weather stations in middle and lower reaches of Hanjiang River

气象站名	短周期	中长周期	长周期
武汉	6 年	—	35~40 年
西峡	3~5 年	15 年左右 *	43 年左右
南阳	4~5 年	15 年左右 *	—
房县	3 年左右 *	15 年左右	—
老河口	4 年左右 *	14~15 年	—
枣阳	6 年左右 *	—	30~35 年
钟祥	3~5 年	10 年左右 *	35 年左右
荆州	4 年左右	7 年左右 *	—
天门	6 年左右 *	—	40~42 年

注：* 表示主周期。

同理通过小波系数和小波方差可以判断 (表 1): 9 个气象站均存在一个 5 年左右的短周期; 除武汉、枣阳和天门外, 其余 6 个气象站均存在一个 10~15 年的中长周期; 对于 35~40 年的长周期尺度, 武汉、枣阳、天门、西峡、南阳、钟祥气象站的小波方差系数在此处出现较明显的上浮, 但均未出现完整的周期曲线, 故其存在与否还需要进一步判定。因此, 可以推断汉江中下游流域确定存在一个 5 年左右的短周期, 基本确定存在一个 10~15 年的中长周期, 而 35~40 年的长周期有待更长序列进行验证。

4.3 降水变化趋势分析

4.3.1 历史变化趋势分析 趋势分析主要用来分析降水时间序列顺序递增或递减的变化规律。趋势可看作周期长度比实测序列长得多的长周期成分, 降水时间序列中的低频成分代表趋势分量。小波分解近年来被频繁用于提取降水、水文等时间序列或信号中的低频成分, 从而判断序列的变化趋势^[33]。

综合考虑降水时间序列特征和小波函数特点, 选择 db5 小波进行离散小波分解, 提取其低频特征。基于小波分解原理, 当序列样本容量为 N 时, 分解的层数最多不能超过 $\log_2 N$ 层。本文中降水量序列样本容量 $N=46$, 故最多可以分解至第 5 ($\lceil \log_2 46 \rceil$) 层。通过对比实验的分解标准误差, 确定经过 5 次分解, 误差标准差最小, 且能满足对趋势变化以及趋势成分进行提取的需要。

由图 4 可知, 序列的趋势成分随着尺度的增大不断呈现, 降水时间序列的趋势变化逐渐明晰。从小波分解的第 5 层趋势变化曲线可以看出, 在最近的历史时期内, 武汉、西峡、房县、钟祥、荆州、天门的降水量均呈现减少的趋势, 而南阳、老河口和枣阳则表现出增加的趋势。

4.3.2 未来降水量变化趋势 根据 R/S 分析原理, 对 $\ln(R/S)$ 与 $\ln(t/2)$ 进行一元线性回归, 得到赫斯特指数 H 值, 从而基于各气象站年降水量的历史变化趋势, 判读其未来降水量的变化趋势, 分析得到表 2 所示结果。由表 2 可知, 除天门和钟祥之外的其余 7 个气象站的降水量时间序列的 H 值均大于 0.5, 尤其是枣阳、武汉、老河口、荆州的 H 值达到 0.6 甚至 0.7 以上, 说明这些气象站的年均降水量存在比较明显的赫斯特现象, 即未来的年平均降水量延续过去降水量变化趋势的可能性很大; 而天门和钟祥气象站的降水

表 2 9 个气象站年降水量序列的 R/S 分析结果

Tab. 2 Results of R/S analysis of annual average

precipitation at nine weather stations

气象站	H	R^2
武汉	0.6822	0.8668
房县	0.5944	0.8102
荆州	0.6351	0.8603
老河口	0.6529	0.5812
西峡	0.5316	0.8709
枣阳	0.7429	0.8649
钟祥	0.4217	0.7871
天门	0.4535	0.9412
南阳	0.5581	0.7039

表 3 汉江中下游各气象站年均降水量未来趋势判断

Tab. 3 The forecast of trends of annual precipitation

of nine weather stations in middle and lower reaches of Hanjiang River

气象站	历史变化趋势	H	未来变化趋势
武汉	减少	0.6822	减少
房县	减少	0.5944	减少
荆州	减少	0.6351	减少
老河口	增加	0.6529	增加
西峡	减少	0.5316	减少
枣阳	增加	0.7429	增加
钟祥	减少	0.4217	增加
天门	减少	0.4535	增加
南阳	增加	0.5581	增加

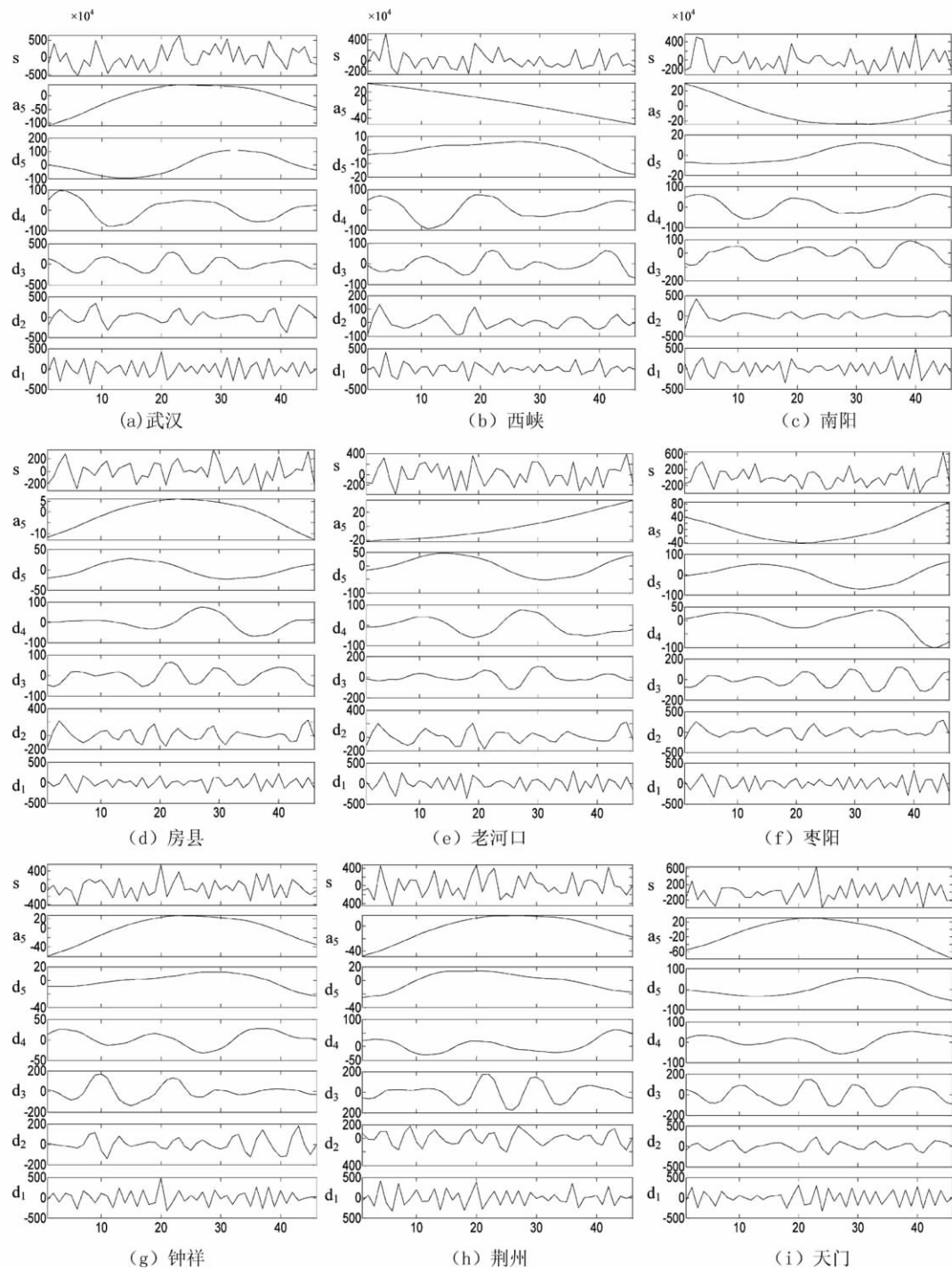


图 4 汉江中下游 9 个气象站 1961~2006 年降水序列趋势变化曲线

Fig. 4 The trend variance of the precipitation series of nine weather stations in middle and lower reaches of Hanjiang River in 1961-2006

量时间序列的 H 值小于 0.5, 说明该序列具有反持续性 (或均值回复)^[34]。从总体情况上看, 整个汉江中下游流域呈现出比较明显的赫斯特现象, 降水序列总体上以延续历史变化趋势为主。

结合各气象站降水时间序列的历史变化趋势及其对应的 H 值, 即可预测其未来的变化趋势 (表 3)。对于干流而言, 上游以老河口气象站为代表, 未来降水量预计会缓慢增加, 中游以钟祥气象站为代表, 未来降水量预计也会缓慢增加, 下游以武汉气象站为代表, 预计未来降水量会缓慢减少。相对于干流而言, 上游支流防洪压力相对减小, 下游支流防洪压力会增加, 而中游支流面临北方防洪压力增大、南方防洪压力减小的局势。因此, 总体而言, 汉江上游面临着相对较大的防洪压力, 主要来自于干流; 而中游存在来自自身降水量和上游干流降水增加的双重防洪压力, 切不可放松防洪警惕; 下游受上、中游降水量及自身支流的综合影响, 亦需防范洪水灾害; 未来汉江干流的洪水压力将主要来源于中上游, 需要预防突发性暴雨。

5 结论与讨论

在全球变暖的大趋势下, 水分的全球分布必然也会发生变化, 尤其是汉江中下游, 是洪水灾害发生频率较高的地区, 对该地区降水量时间序列的周期和变化趋势进行分析, 对于掌握降水量的发展规律具有重要意义, 从而为防洪、防灾工作打下坚实的基础。小波分析作为 20 世纪 80 年代发展起来的具备强大的多时间尺度分析和检测突变点功能的工具, 是分析降水量变化周期的有效手段; R/S 分析方法作为一种分形方法, 在考察时间序列的长程相关方面具有诸多优势, 能满足在全球变暖的背景下人们需要了解降水量未来变化趋势的要求。因此, 两种方法的有效结合、相互补充, 对于全面了解降水量序列的变化规律具有重要的现实意义。

本文以汉江中下游流域 9 个国家气象站的降水量实时监测数据为基础, 应用小波 R/S 方法分析降水量时序变化特征。研究结果表明: (1) 汉江中下游流域年均降水量确定年降水量序列存在一个约 5 年的周期和一个约 15 年的中长周期, 可能存在 35~40 年的长周期, 但需要更长的时间序列数据进行判断; (2) 汉江中下游的 9 个气象站中, 有 7 个气象站的降水量时间序列的 H 值均大于 0.5, 有的甚至达到 0.6 乃至 0.7 以上, 总体上降水量时间序列存在明显的赫斯特现象; (3) 根据各气象站的降水量历史变化趋势及 H 值, 推测汉江中下游流域均面临较大的洪水压力, 需提高暴雨防范警惕性, 这与姜彤、施雅风等学者的预测^[10,11]基本相符。

需要指出的是, 汉江中下游年降水量的特征并不完全受气候变化等自然因素的影响, 南水北调中线工程、丹江口水库修建等人类活动干扰也将严重影响汉江中下游的水文特征^[35~37]。因此, 自然因素和人为干扰对汉江中下游水文特征的复杂影响有待进一步探讨。此外, 本研究中仍存在诸多不足之处, 有待进一步改进。例如, 研究结果有待进行多方法集成和印证, 以提高结论的准确性和可信度; 本文通过对 9 个气象站点分析的综合总结出整流域情况, 即采用了以点代面的做法, 可通过插值的方法进行改善, 以期得到更确切的结论。

参考文献：

- [1] 房巧敏,龚道溢,毛睿. 中国近 46 年来冬半年日降水变化特征分析. 地理科学,2007,27(5):711~717.
- [2] 唐蕴,王浩,严登华,等. 近 50 年来东北地区降水的时空分异研究. 地理科学,2005,25(2):172~176.
- [3] 李春强,杜毅光,李保国. 1965~2005 年河北省降水量变化的小波分析. 地理科学进展,2010,29(11):1340~1344.
- [4] IPCC (Intergovernment Panel on Climate Change). Climate Change 2001: The Scientific Basis. <http://www.ipcc.ch/pub>, 2001-05-01.
- [5] 唐晓春,袁中友. 近 60 年来厄尔尼诺事件对广东省旱灾的影响. 地理研究,2010,29(11):1932~1939.
- [6] 邵爱军,左丽琼,王丽君. 气候变化对河北省海河流域径流量的影响. 地理研究,2010,29(8):1502~1509.
- [7] 刘海涛,张向军,李绣东,等. 和田河流域 1954~2007 年气温及降水气候特征分析. 沙漠与绿洲气象,2009,3(4):26~30.
- [8] 张斌,史凯,刘春琼,等. 元谋干热河谷近 50 年分季节降水变化的 DFA 分析. 地理科学,2009,29(4):561~566.
- [9] 姜彤,施雅风. 全球变暖、长江水灾与可能损失. 地球科学进展,2003,18(2):277~284.
- [10] 施雅风,姜彤. 1840 年以来长江大洪水演变与气候变化关系初探. 湖泊科学,2004,16(4):289~297.
- [11] 许继军,杨大文,雷志栋,等. 长江流域降水量和径流量长期变化趋势检验. 人民长江,2006,37(9):63~67.
- [12] 李海娟,夏自强,章洁,等. 额尔齐斯河流域年降水时间序列分析. 水资源保护,2010,26(5):29~32.
- [13] 黄勇,周志芳,王锦国,等. R/S 分析法在地下水动态分析中的应用. 河海大学学报,2002,30(1):83~87.
- [14] 陆国宾,刘轶,邹响林,等. 丹江口水库对汉江中下游径流特性的影响. 长江流域资源与环境,2009,18(10):959~963.
- [15] 姜晓艳,刘树华,马明敏,等. 东北地区近百年降水时间序列变化规律的小波分析. 地理研究,2009,28(2):354~362.
- [16] 飞思科技产品研发中心. 小波分析理论与 MATLAB 实现. 北京:电子工业出版社,2005.
- [17] 刘晓梅,闵锦忠,刘天龙. 新疆叶尔羌河流域温度与降水序列的小波分析. 中国沙漠,2009,29(3):566~570.
- [18] 张军涛,李哲,郑度. 温度与降水变化的小波分析及其环境效应解释. 地理研究,2002,21(1):54~60.
- [19] 刘东,付强. 基于小波变换的三江平原低湿地井灌区年降水序列变化趋势分析. 地理科学,2008,28(3):380~384.
- [20] 崔锦泰. 小波分析导论. 西安:西安交通大学出版社,1995.
- [21] 衡彬,王文圣,丁晶. 降水量时间序列变化的小波特征. 长江流域资源与环境,2002,11(5):466~470.
- [22] 梁君,邵骏. 基于小波的宝兴河流域降雨序列近似周期分析. 四川水力发电,2010,29(2):73~75.
- [23] Kumar P, Foufoula-Georgiou E. A multicomponent decomposition of spatial rainfall field: 1. Segregation of large- and small-scale features using wavelet transforms. Water Resources Research, 1993,29(8):2515~2532.
- [24] 邓自旺,林振山,周晓兰. 西安市近 50 年来气候变化多时间尺度分析. 高原气象,1997,16(1):81~93.
- [25] 黄勇,周志芳,王锦国,等. R/S 分析法在地下水动态分析中的应用. 河海大学学报,2002,30(1):83~87.
- [26] 周寅康,张婕,王腊春,等. 长江下游地区近五百年洪涝序列的 R/S 分析. 自然灾害学报,1997,6(2):78~83.
- [27] 陈昭,梁静溪. 赫斯特指数的分析与应用. 中国软科学,2005, (3):134~138.
- [28] 黄诒蓉,罗奕. 论 R/S 分析法与股票市场的分形结构. 现代管理科学, 2006, (1):105~107.
- [29] 刘蜀祥,李方文. 应用 R/S 分析方法研究金融时间序列. 西南民族大学学报:自然科学版,2005,31(5):693~696.
- [30] 王孝礼,胡宝清,夏军. 水文时序趋势与变异点的 R/S 分析法. 武汉大学学报:工学版, 2002,35(2):10~12.
- [31] 任勋益,王汝传,张登银. R/S 和小波分析法检测 DDoS 攻击的研究和比较. 南京邮电大学学报:自然科学版, 2006,26(6):48~51.
- [32] 陈昭,梁静溪. 赫斯特指数的分析和应用. 中国软科学,2005, (3):134~138.
- [33] 王文圣,丁晶,李跃清. 水文小波分析. 北京:化学工业出版社, 2005.
- [34] 黄诒蓉,罗奕. 基于经典 R/S 分析方法的 H 指数估计有效性评价. 统计与信息论坛,2009,24(8):59~64.
- [35] 高永年,高俊峰. 南水北调中线工程对汉江中下游流域生态环境影响的综合评价. 地理科学进展,2010,29(1):59~64.
- [36] 王婷婷,张万顺,彭虹,等. 引江济汉工程对汉江中下游生态环境影响. 南水北调与水利科技,2008,6(1):70~72.
- [37] 徐少军,林德才,邹朝望. 跨流域调水对汉江中下游生态环境影响及对策. 人民长江,2010,41(11):1~4.

Precipitation change in middle and lower reaches of Hanjiang River: Based on wavelet analysis and R/S analysis

PAN Ya-jing^{1, 2}, WANG Yang-lin¹, PENG Jian^{1, 2}, SHEN Hong¹, LIU Xiao-qian¹

(1. College of Urban and Environmental Sciences, Laboratory for Earth Surface Processes, Ministry of Education, Peking University, Beijing 100871, China; 2. School of Urban Planning and Design, the Key Laboratory for Environmental and Urban Sciences, Shenzhen Graduate School, Peking University, Shenzhen 518055, Guangdong, China)

Abstract: Along with global warming, regional precipitation is predicted to make change. As a branch of the Yangtze River, the Hanjiang River has suffered from heavy flood disaster frequently in the past several decades, which caused great damage to local residents and ecosystems, and the dramatic precipitation change was thought to be the main driving force. Therefore, it is of great importance to conduct studies on the trend and period of precipitation so as to take measures to prevent flooding. Integrating the precipitation data during 1961-2006 from nine weather stations in middle and lower reaches of Hanjiang River, this paper analyzed the periodicity characteristics and changing trend of precipitation in the study area by the methods of Morlet wavelet analysis and R/S analysis (Rescaled Range analysis). The results of the wavelet analysis showed that, all the nine weather stations had quasi-periods of 5 years (short period) and 10-15 years (mid-long period). And a few of the stations, such as Wuhan, Tianmen and Zhongxiang, might have a quasi-period of 40 years, which needs a longer time series to prove. Considering the assured periods, the stations of Wuhan, Fangxian and Laohekou took the short period as the main period, with the others for the mid-long period. The results of R/S analysis showed that there was obvious HURST PHENOMENON in the time series of regional precipitation, which would be consistent with the changing trend of precipitation after the study period.

Key words: wavelet analysis; R/S analysis; middle and lower reaches of Hanjiang River; precipitation time series