西安及附近地区降水量时空变化规律分析

文 聘, 沈 冰, 黄领梅

(西安理工大学 西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 陕西 西安 710048)

摘 要: 降水变化必然引起区域水资源变化,西安及附近地区降水量的分析对全面了解区域内水资源情况以及经济的发展、政策的制定有着非常重要的影响。运用西安地区18个站点的降水数据,对降水的空间分布图进行了分析,结果表明:东南部降水最多,中部偏北最少,降水量从南向北呈下降趋势,从西向东呈上升趋势。在时间上,除春季降水有明显的下降趋势外,夏、秋和冬季降水变化基本都不明显,西安地区降水未来的变化趋势与现有趋势是一致的。西安地区年及四季降水均存在着16 a和28 a左右的主周期。

关键词: 降水; 肯德尔秩次相关检验; R/S分析; 小波分析

中图分类号:TV121.2 **文献标识码**: A **文章编号**: 1672-643X(2012)01-0042-05

Analysis of temporal and spatial distribution rule of precipitation in Xi'an

WEN Pin, SHEN Bing, HUANG Lingmei

(*Key Lab of Northwest Water Resources and Environmental Ecology, Xi'an University of Technology, Xi'an* 710048, *China*)

Abstract: Precipitation change inevitably causes the regional water resources rariation. The analysis of the precipitation in Xi 'an and nearby areas has a very significant impact on comprehensive understanding the regional water resources, economic development and policy formulation. On the basis of precipitation data collected from 18 stations in Xi'an region, the spatial distribution of precipitation was analyzed. The result showed that the most precipitation is in southeast, the least is in middle to north, the precipitation has a decreased trend from south to north and increased trend from west to east. For temporal distribution, except in spring the precipitation has a significant decreased trend, the precipitation change in summer, autumn and winter total show no significant, and the future change trend of precipitation is consistent with the existing trend in xi'an. The main periods of yearly and seasonal precipitation are 16 years and 28 years.

Key words: precipitation; Mann-Kendall rank correlation test; R/S analysis; wavelet analysis

1 概 述

西安地处关中平原中部,渭河两岸,介于北纬33°42′~43°44′49″与东经107°40′~109°49′之间,属于暖温带大陆性季风气候。西安水资源[1]有水资源总量不足,时空分布不均匀,人均水资源占有量处于世界较低水平;水质破坏严重;水资源利用率低,浪费严重;地下水超采过量,水位下降较大;用水结构和经济结构不协调;境内河流、水库的淤积较严重等特点。因此全面了解西安水资源变得由为重要。降水作为淡水资源的主要来源,降水的变化对一个地区水资源的影响很大,因此了解西安地区降水的时空分布对了解该地区水资源发展进而充分合理的利用水资源有着重要的意义。目前,国内外在区域内对降水量时空分布规律的研究比较多且趋向成熟,但研究区域基本是以一个流域为研究对象的大区域。本文选取西安及附近地区为研究区域,利用surfer软件选取克里格法做出西安及附近地区降水的等值线图,了解其空间分布;在利用Mann-Kendall(MK)非参数统计法、R/S分析法以及小波分析法对西安及附近地区部分站点降水序列的趋势性、持续性以及周期性进行分析,客观认识降水序列在时间上的变化。

本文主要采用中国气象科学数据共享服务网以及水利部黄河水利委员会刊印的水文年鉴提供的西安地区18个站点1966~2006年41年长系列逐月实测降水资料。选取站点基本情况见表1,图1为西安及附近地区水文站点及水系图。

收稿日期:2011-10-05; **修回日期**:2011-11-09

基金项目:国家自然科学基金项目(50939004)

作者简介:文 聘(1987-),女,四川泸州市人,水文学及水资源专业硕士研究生,从事水文水资源研究。

通讯作者:沈 冰(1948-),男,浙江湖州人,教授,博士生导师,主要从事旱区水文过程及水资源演变研究。

2　西安降水的空间分布

利用 surfer 软件,选取克里格法分别对西安地区年及四季多年平均降水资料进行分析,作出等值线图,图 2 ~6 分别为西安地区年及四季降水等值线图。由图 2 ~6 可以看出,西安及附近地区降水主要集中在夏季和秋季,冬季最少,西安年及四季降水空间分布较为一致。西安地区东南部降水要高于其他地区降水,穆家堰附近是西安地区降水最多的地方,而西安中部偏北降水降水相对较少,即西安、咸阳和通远坊地区降水最少。从南向北,降水呈下降趋势,从西到西安中部降水变化不大,而过了西安中部地区往东降水呈现个上升趋势。

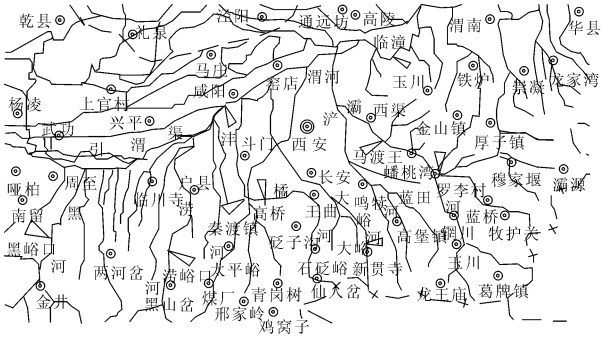

图 1　西安及附近地区水文站点及水系图

表 1　站点的基本情况

站点名称	经度东经	纬度北纬	河名	站点名称	经度东经	纬度北纬	河名	站点名称	经度东经	纬度北纬	河名
武功	108°10′	34°20′	渭河	涝峪口	108°32′	34°01′	涝河	葛牌镇	109°30′	33°55′	辋川河
咸阳	108°42′	34°19′	渭河	秦渡镇	108°46′	34°06′	沣河	龙王庙	109°20′	33°54′	辋川河
通远坊	109°03′	34°33′	渭河	灞源	109°41′	34°09′	灞河	太平峪	108°43′	34°00′	太平河
金井	108°08′	33°56′	黑河	穆家堰	109°32′	34°11′	灞河	高堡镇	109°12′	34°02′	汤峪河
黑峪口	108°12′	34°03′	黑河	罗李村	109°22′	34°09′	灞河	鸣犊	109°06′	34°08′	浐河
黑山岔	108°32′	33°56′	涝河	马渡王	109°09′	34°14′	灞河	西安	108°55′	34°15′	

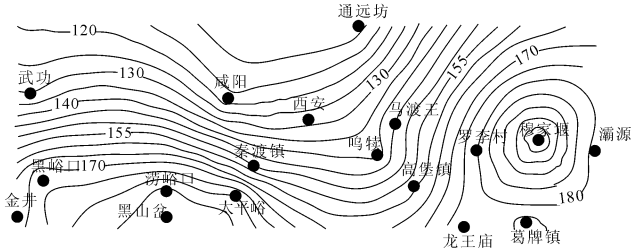

图 2　西安春季降水空间分布图

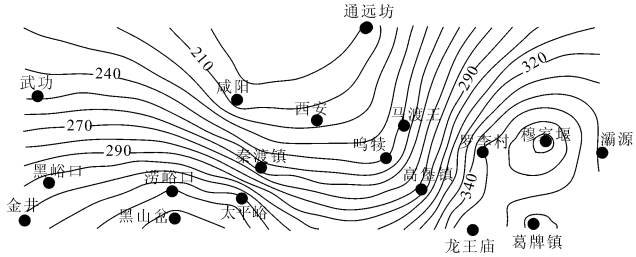

图 3　西安夏季降水空间分布图

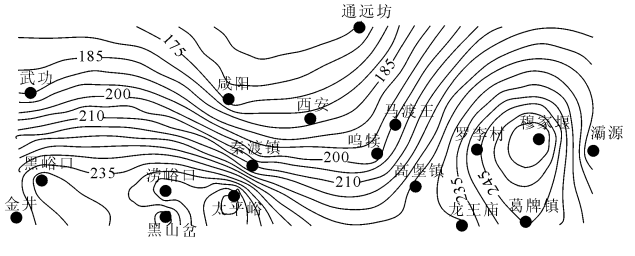

图 4　西安秋季降水空间分布图

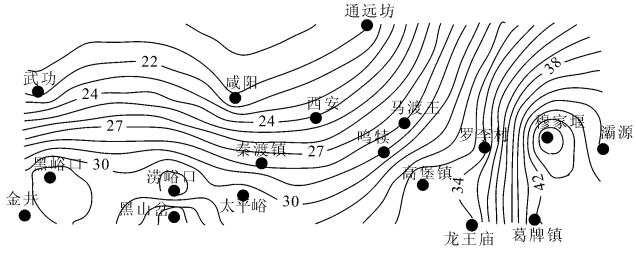

图 5　西安冬季降水空间分布图

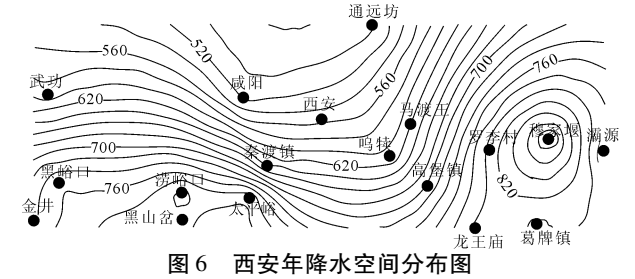

图 6　西安年降水空间分布图

3　西安降水时间变化

3.1　方法及原理

对西安及附近地区降水时间变化规律的分析主要包括趋势性、持续性以及周期性的分析。选用方法包括 Mann – Kendall(MK)非参数统计法、R/S 分析法以及小波分析法,此 3 种方法都是得到广泛应用且比较成熟的方法。

3.1.1　Mann – Kendall(MK)非参数统计法　Mann – Kendall[2-4](MK)非参数统计法是世界气象组织推荐并广泛使用的一种方法,是趋势性分析中最常用的方法,该方法更适合于水文气象等非正态分布数据。其基本原理为,首先确定序列中对偶观测值($i < j, X_i < X_j, i, j$ 为序列的时序)出现的个数 s,用

下式计算其检验统计量：

$$M = \tau/\sigma_\tau \tag{1}$$

$$\tau = \frac{4s}{n(n-1)} - 1 \tag{2}$$

$$\sigma_\tau^2 = \frac{2(2n+5)}{9n(n-1)} \tag{3}$$

式中：n 为系列长度，取 $\alpha = 5\%$ 的显著水平，若 $|M| > M_{\alpha/2} = 1.96$，则时间序列有明显的趋势。$M$ 值为正，表明具有上升或增加趋势，M 值为负，则意味着下降或者减少趋势。

3.1.2 R/S 分析法 R/S 分析(Rescaled Range Analysis)[5-6]方法，是应用 Hurst 指数 H 来判断趋势性成分的强度，反映序列的持续性的一种方法。R/S分析法能将一个随机序列与一个非随机序列区分开来，并且能进行非线性系统长期记忆过程的探寻。

R/S 分析方法的基本原理为：对于一个时间序列 $\{\xi(t)\}(t = 1,2,\cdots\cdots)$，对于任意正整数 $\tau \geqslant 1$，定义均值序列：

$$\xi_\tau = \frac{1}{\tau}\sum_{t=1}^{\tau}\xi(t) \qquad \tau = 1,2,\cdots \tag{4}$$

累积离差：

$$X(t,\tau) = \sum_{u=1}^{t}(\xi(u) - \xi_\tau) \qquad 1 \leqslant t \leqslant \tau \tag{5}$$

极差：

$$R(\tau) = \max_{1\leqslant t\leqslant\tau}X(t,\tau) - \min_{1\leqslant t\leqslant\tau}X(t,\tau) \qquad \tau = 1,2,\cdots \tag{6}$$

标准差：

$$S(\tau) = \left[\frac{1}{\tau}\sum_{t=1}^{\tau}(\xi(t) - \xi_\tau)^2\right]^{1/2} \qquad \tau = 1,2,\cdots \tag{7}$$

对于比值 $R(\tau)/S(\tau) \equiv R/S$，如果存在关系：$R/S \propto \tau^H$，则说明时间序列 $\{\xi(t)\}$ $(t = 1,2,\cdots)$ 存在 Hurst 现象，H 称为 Hurst 指数，H 值可根据计算出的 $(\tau, R/S)$ 的值，在双对数坐标系 $(\ln(\tau), \ln(R/S))$ 中用最小二乘法拟合，H 对应于拟合直线的斜率。根据 H 的大小可以判断时间序列趋势成分是表现为持续性，还是反持续性。

Hurst 等人证明，如果 $\{\xi(t)\}$ 是相互独立、方差有限的随机序列，则有 $H = 0.5$。对于不同的 Hurst 指数 $H(0 < H < 1)$，存在3 种情况：若 $H = 0.5$，表明时间序列变化是随机的；若 $0 < H < 0.5$，表明时间序列具有反持续性，将来的总体趋势与过去的相反，H 值越接近于0，反持续性越强；若 $0.5 < H < 1$，表明时间序列过程具有持续性，H 越接近 1，持续性越强。

3.1.3 小波分析 水文时间序列存在着多时间尺度[7-9]，小波分析不仅具有 Fourier 变换功能，而且还具有时频局部化功能，这十分有利于分析研究系统的多时间尺度变化。研究年降水的变化规律，除了分析其趋势性外还应对其进行多时间尺度分析，即周期分析。

降水序列是观测样本，是离散化的过程，在实际应用中，采用与之匹配的离散小波变换方法，本文运用 Morlet 小波函数来进行多时间尺度分析。为了滤掉降水序列 1 年的自然周期，在对降水序列进行多时间尺度分析时采用降水序列的距平序列。降水序列的小波方差图反映了波动能量随尺度的分布。通过小波方差图，可以确定降水序列中存在的主要时间尺度，即主周期。

3.2 结果与分析

选用西安及附近地区 10 个站点降水序列数据，利用上述原理进行趋势性、持续性及多时间尺度的分析。

3.2.1 降水序列趋势性分析 利用 Mann－Kendall 分析原理，对西安及附近地区降水系列的趋势性进行了分析，分析结果见表 2。

表 2 Mann－Kendall **秩次法趋势分析结果**($\alpha = 0.05, M_{\alpha/2} = 1.96$)

站点	年		春		夏		秋		冬	
	M	显著性	M	显著性	M	显著性	M	显著性	M	显著性
武 功	−0.854	否	−2.201	显著	1.168	否	−2.336	显著	0.292	否
咸 阳	−1.415	否	−2.898	显著	0.719	否	−1.842	否	0.966	否
通远坊	−1.213	否	−2.067	显著	0.270	否	−1.258	否	0.494	否
西 安	−0.562	否	−3.078	显著	2.022	显著	−1.528	否	0.404	否
金 井	−0.674	否	−3.122	显著	0.719	否	−0.022	否	−0.943	否
太平峪	0.943	否	−2.628	显著	2.943	显著	−0.314	否	−0.517	否
龙王庙	−0.359	否	−2.786	显著	1.258	否	−1.078	否	0.090	否
高堡镇	−0.135	否	−2.696	显著	2.134	显著	−1.123	否	1.033	否
灞 源	−1.236	否	−3.617	显著	0.090	否	−1.393	否	0.876	否
穆家堰	−0.607	否	−3.145	显著	1.303	否	−1.572	否	1.056	否

从表 2 可以看出,西安及附近地区年降水趋势性并不显著,除太平峪有略微的增加趋势外,其他地区都有略微减少趋势。西安及附近地区春季降水的变化趋势相当明显,整个地区降水都有明显的下降趋势。西安、太平峪和高堡镇的夏季降水有明显增加趋势,其他地区降水也有增加趋势,但并不明显。秋季降水除了武功有明显的下降趋势外,其他地区趋势性不明显,但同样都有略微的减少趋势。冬季降水趋势性也不明显除了金井和太平峪有略微减少外,其他的均有微弱的上升机会。

3.2.2　降水序列持续性分析　对西安及附近地区的 10 个站点四季及年降水序列进行 R/S 分析,得出相应的 hurst 指数,其结果见表 3。

由表 3 可以看出,西安及附近地区站点的 hurst 指数均是大于 0.5 的,证明西安及附近地区各个站点四季及年降水总体趋势与过去趋势一致。各个站点春季、秋季降水将会持续减少,夏季降水会持续增加。年降水(除太平峪会增加)会持续减少,冬季降水(除金井、太平峪会减少)会持续增加。

表 3　西安降水的 hurst 指数

站　点	年	春	夏	秋	冬
武　功	0.71	0.66	0.83	0.76	0.66
咸　阳	0.78	0.69	0.70	0.78	0.56
通远坊	0.63	0.63	0.62	0.66	0.57
西　安	0.60	0.63	0.73	0.72	0.52
金　井	0.81	0.70	0.86	0.67	0.67
太平峪	0.58	0.66	0.96	0.65	0.61
龙王庙	0.63	0.54	0.88	0.74	0.51
高堡镇	0.69	0.62	0.84	0.66	0.56
灞　源	0.76	0.72	0.74	0.66	0.65
穆家堰	0.78	0.61	0.71	0.75	0.63

3.2.3　降水序列多时间尺度分析　利用小波分析对西安及附近地区实测降水序列进行了多时间尺度分析,即周期分析。相应的小波方差图见图 7 ~ 11。图 7 是西安及附近地区春季降水小波方差图,由图可以看出,武功降水有 6 a、16 a 和 27 a 左右主周期;咸阳、通远坊、金井、龙王庙和高堡镇有 16 年和 28 年左右主周期;西安、太平峪、灞源和穆家堰有 27 年左右主周期。

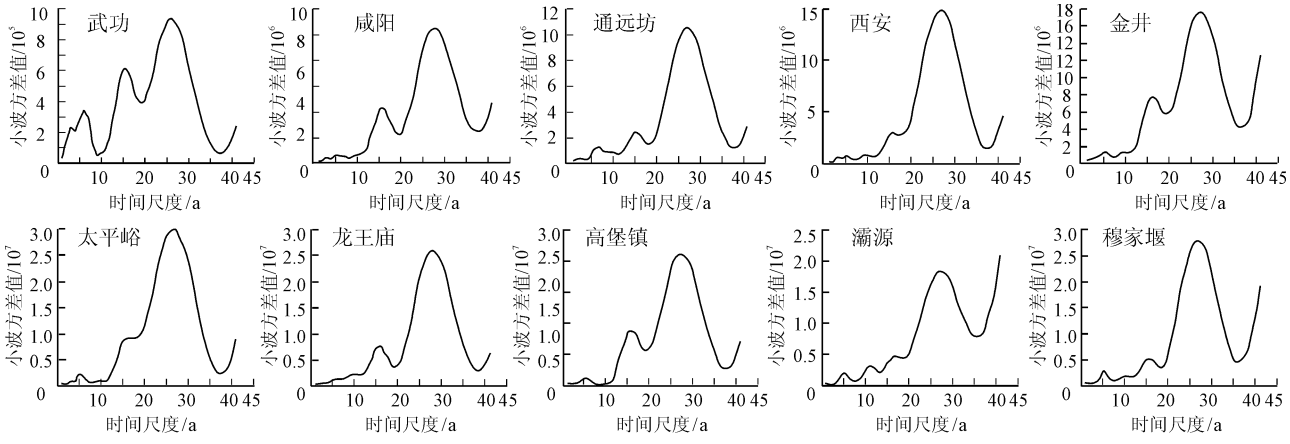

图 7　春季降水小波方差图

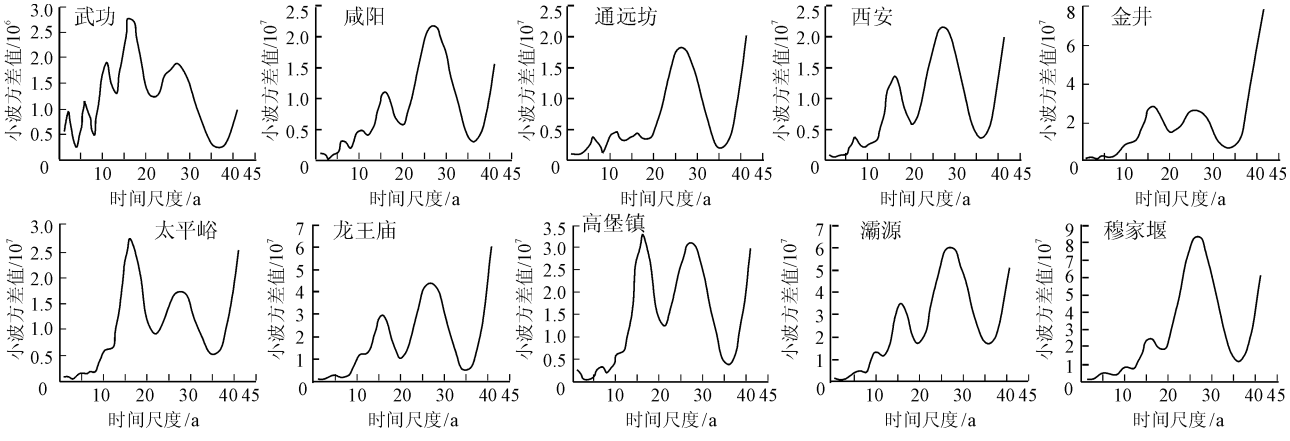

图 8　夏季降水小波方差图

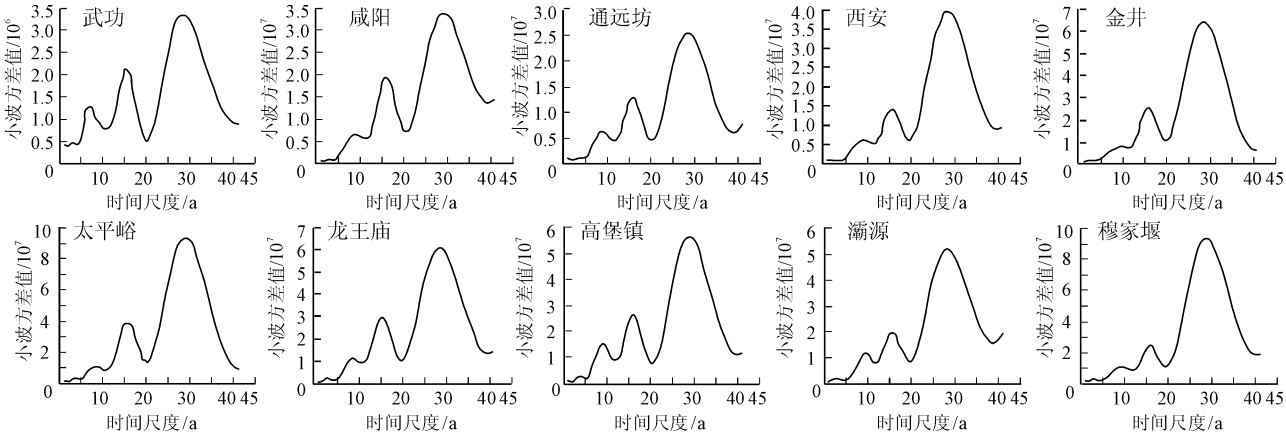

图 9 秋季降水小波方差图

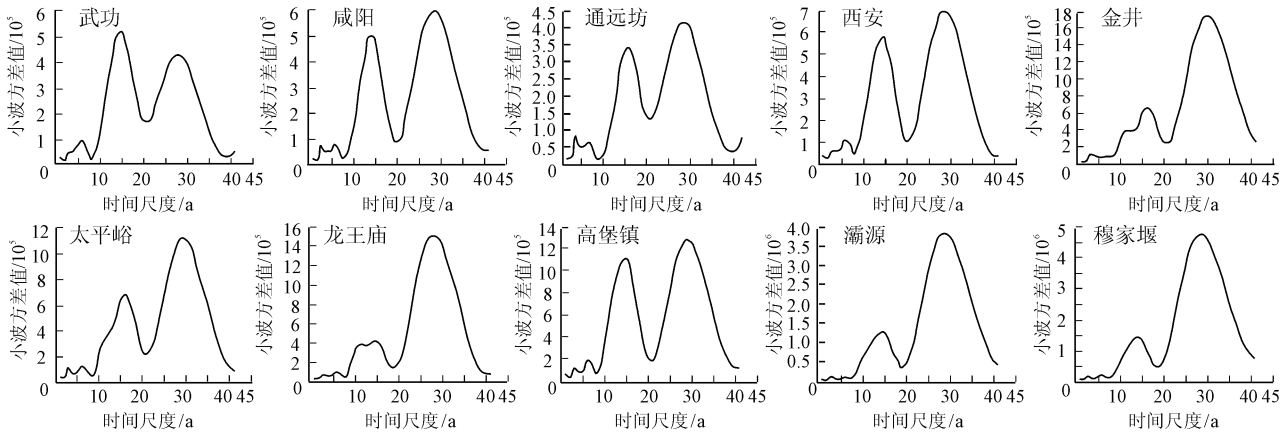

图 10 冬季降水小波方差图

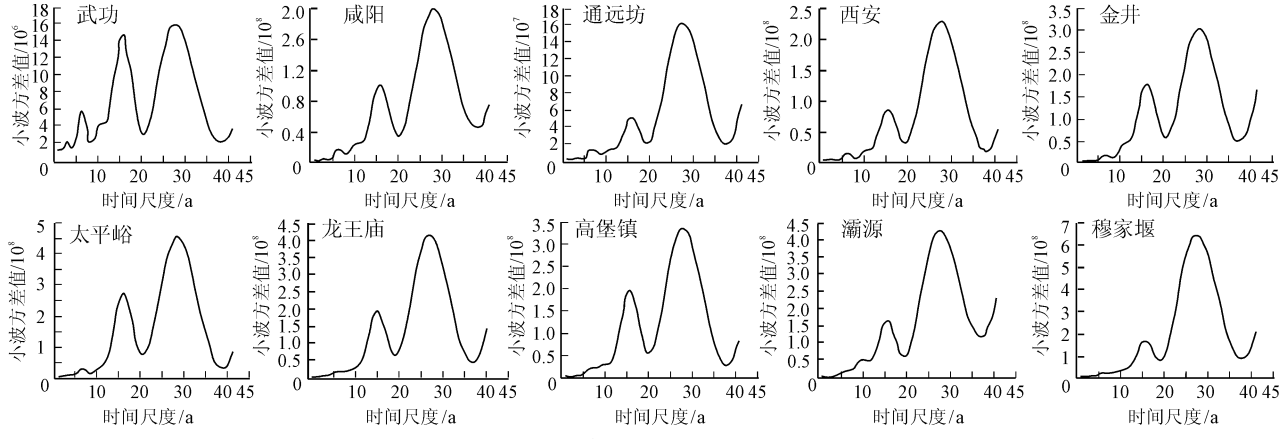

图 11 年降水小波方差图

图 8 是西安及附近地区夏季降水小波方差图，由图可以看出，武功降水有 2 a、6 a、11 a、16 a 和 27 a 左右主周期；通远坊有 27 a 左右主周期；而其他地区均有 16 a 和 27 a 左右主周期。图 9 是西安及附近地区秋季降水小波方差图，由图可以看出，武功降水有 6 a、16 a 和 28 a 左右主周期；咸阳、通远坊、西安、高堡镇和灞源年降水有 9 a、16 a 和 28 a 左右主周期；金井、太平峪、龙王庙和穆家堰则存在着 16 a 和 28 a 主周期。图 10 是西安及附近地区冬季降水小波方差图，由图可以看出，西安及附近地区冬季降水都存在 16 a 和 28 a 主周期。图 11 是西安及附近地区年降水序列的小波方差图，由图可以看出，武功年降水存在 6 a、16 a 和 28 a 的主周期，而其他站点均有 16 a 和 28 a 左右的主周期。

4 结 语

西安及附近地区年及四季降水在空间上分布基

（下转第 50 页）

从根本上改变中心城区人口过于密集的状态,化解高密度人口集聚可能产生的风险,实现合理的人口空间布局[8]。

3.2 加强科学管理,保护水资源和水环境

目前,金华市城市生活、工业用水及农业用水以地表水为主,及少量的地下水。大部分水质为Ⅱ、Ⅲ以及劣Ⅴ类水。因此,必须加强科学用水、节水管理,保护好目前的水资源和水环境。① 金华市应该走新型的工业化道路,加强防治水污染,杜绝先污染再治理的老路子,杜绝污染项目进入城市。新建和扩建污水处理厂,集中处理污水,保护金华市的最大水源。②统一管理地下水资源,关闭企业自备井。以免企业自备井的过度开采,造成了地漏现象,严重污染城市的水资源。③加强中水合理利用,节约地下水资源的使用。

3.3 转换水权,提高水资源的利用效率

水权转换可实现在政府宏观调控下水资源的优化配置,提高水资源的利用效率和经济效益;解决工业用水的短缺问题,促进社会经济的和谐发展;改善农业生产条件,实现良好的社会价值,水资源含量少,政府应运用科学发展观,加强水权的转换,将部分农业用水用于基地的建设,工业发展后再反哺农业,促进人口、经济、资源、环境的协调发展[9]。

3.4 可持续发展,建设新型节水城市

在工业中运用经济杠杆,深化水价改革和加强节水工作,实现"谁用水、谁付费,谁污染、谁付费";在农业中通过技术创新,实现节水灌溉和节水农业相结合的办法实现农业节水,在城镇加强水的循环利用,鼓励企业推行清洁生产,循环利用经过处理的工业废水;此外,加快水利工程建设,加大供水工程的资金投入,加快供水能力建设,提高水资源的开发利用率,从而提高流域和地区的水资源承载力[8]。

参考文献:

[1] 许有鹏. 干旱区水资源承载能力综合评价研究——以新疆和田河流域为例[J]. 自然资源学报,1993,8(7):230-237.

[2] 陈 卫,孟向京. 中国人口容量与适度人口问题研究[J]. 市场与人口分析,2000,6(1):21-31.

[3] 郑元世,张启敏. 银川市人口的灰色预测[J]. 辽宁工学院学报(自然科学版),2007,27(5):346-350.

[4] 张启敏. 灰色预测模型[J]. 宁夏大学学报自然科学版,2002, 23(2):147-149.

[5] 冯利华,张行才,桑广书,等. 金华市水资源的丰枯变化特征[J]. 地理科学,2005,25(5):626-630.

[6] 冯利华,黄中伟,马跃刚. 金华市水资源承载力分析[J]. 热带地理,2005,25(2):151-155.

[7] 刘贤赵,张安定,李嘉竹. 地理学数学方法[M]. 北京:科学出版社,2009:253-257.

[8] 陈火星. 成都市水资源约束下的人口承载力研究[D]. 成都:四川社会科学学院,2011.

[9] 曹新平,张启敏. 银川市人口、资源、环境多目标模型的建立及其人口合理规模的分析[J]. 宁夏大学学报(自然科学版), 2007,28(1):66-69.

(上接第 46 页)

本一致,降水主要集中在夏秋季,研究区域东南部降水最多,中部偏北地区降水最少,降水量从南向北呈下降趋势,从西向东呈上升趋势。降水的趋势性、持续性及周期性受空间地域影响不大,站点间变化基本一致。西安及附近地区除了春季降水有明显的下降趋势外,年及其他季节降水变化基本都不明显,年降水表现出略微的下降趋势(太平峪略增加),夏季降水有上升的趋势,秋季降水有下降趋势。R/S 分析的结果表明,西安地区降水未来的变化趋势与现有趋势是一致的。周期分析结果则可以看出西安及附近地区年及四季降水基本存在着 16 年和 28 年左右的主周期。

参考文献:

[1] 刘 翔,乔 杉,蔡杜蕊. 西安市水资源现状与展望[J]. 山西建筑,2008,34(10):181-183.

[2] 王文圣,丁 晶,金菊良. 随机水文学(第二版)[M]. 北京:中国水利水电出版社,2008:34-35.

[3] Mann H B, Nonparametric tests against trend[J]. Econometrica,1954,13:245-259.

[4] Kendall M G, Rank Correlation Methods [M]. London: Griffin,1975.

[5] 徐建华. 现代地理学中的数学方法(第二版)[M]. 北京:高等教育出版社,2006:60-61,414-417.

[6] 张晓伟,沈 冰,孟彩侠. 和田绿洲水文气象要素分析特征与 R/S 分析[J]. 中国农业气象,2008,29(1):12-15.

[7] 王文圣,丁 晶,李跃清. 水文小波分析[M]. 北京:化学工业出版社,2005.

[8] 飞思科技产品研发中心. MATLAB 6.5 辅助小波分析与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2003.

[9] 王文圣,丁 晶,向红莲. 水文时间序列多时间尺度分析的小波变换法[J]. 四川大学学报(工程科学版),2002,(6):14-17.