

# 铜川市降水变化及趋势预测分析

徐盼盼,王海科,钱会,李亚斌

(长安大学 环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054)

**摘要:** 基于铜川气象站 1961-2013 年的逐月降水数据,主要利用 Morlet 小波法和 Mann-Kendall 检验法对铜川市的降水变化和趋势预测进行分析。结果表明:年降水变化呈减少的趋势,且年降水量的减少主要集中在春季和秋季;而夏季和冬季的降水量呈增加的趋势;年、春季、夏季、秋季和冬季降水的典型突变年份分别为 1986、1983、1985、1983、1987 年,表明在 20 世纪 90 年代降水发生突变;年降水量和季节降水量都存在多时间尺度的丰枯变化。在 2013 年以后,年降水进入偏少期,春季、秋季降水进入强烈的偏少期,而夏季和冬季降水进入偏多期。年降水和季节降水均存在 10 年左右的主变化周期。

**关键词:** 降水变化; 趋势预测; Morlet 小波法; Mann-Kendall 检验; 铜川

**中图分类号:** TV125 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-643X(2016)03-0082-05

## Analysis of precipitation variation and trend forecast in Tongchuan

XU Panpan, WANG Haike, QIAN Hui, LI Yabin

(College of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** Based on the data of monthly precipitation in Tongchuan meteorology station from 1961 to 2013, the paper mainly used the main methods of Morlet wavelet and Kendall-Mann test to analyze the precipitation variation and trend forecast in Tongchuan. The conclusions are as follows the annual precipitation presents decreasing trend, and is concentrated in the spring and autumn. However, the precipitation showed an increasing trend in summer and winter; the typical years of abrupt change of precipitation in the whole year, spring, summer, autumn and winter is 1986, 1983, 1985, 1983 and 1987 respectively, which indicated that precipitation in 1990s happened abruptly; all of annual and seasonal precipitation took place wet and dry variations of multiple time scales. After 2013, the annual precipitation entered the period of too less, and it entered an obviously less-than-normal period in spring and autumn. While for summer and winter, the precipitation can be more. There is a main change cycle of 10 years in both annual and seasonal precipitation.

**Key words:** precipitation variation; trend forecast; Morlet wavelet; Kendall-Mann test; Tongchuan

全球气候变暖使地表潜热增加,蒸散发增大,高温热浪及干旱事件频次增加、范围扩大,加剧了区域干旱<sup>[1]</sup>。由气候变暖导致降水量发生的变化与生态环境及生态安全密切相关,它必然对水资源、农业和生态系统产生深远的影响<sup>[2]</sup>。因此,降水是一地区气候干旱研究的重点。于淑秋等<sup>[3]</sup>依据近 50 年的降水资料研究表明:我国西北地区气候在 1986 年前后发生了一次明显的跃变,跃变前后年降水量增加 5.2%。高蓓等<sup>[2]</sup>研究了陕西省近 40 年的气

候变化特征,得到年平均降水量在 1984 年前后发生跃变且各季节和各地区发生跃变的时间有所不同。陈太根等<sup>[4]</sup>由关中平原 49 年的降水资料分析得出 20 世纪 90 年代以来,关中平原整体上气候暖干化特征显著,且春旱、秋旱也愈加显著。

地处陕北黄土高原和关中平原的交替地带的铜川市,是关中经济带的重要组成部分,又是全国苹果最佳优生区之一;铜川市处于半湿润暖温带向半干旱温带过渡区,也是处于一个对气候变化敏感的区域。

收稿日期:2016-01-12; 修回日期:2016-03-26

基金项目:水利部公益性行业科研专项经费项目(201301084)

作者简介:徐盼盼(1993-),男,内蒙古呼和浩特人,在读硕士研究生,主要从事水文地质方面的研究。

通讯作者:钱会(1963-),男,陕西咸阳人,博士,教授,博士生导师,主要从事水文地质方面的研究。

域<sup>[5]</sup>。所以,本文对铜川市1961-2013年的降水资料进行分析,得到53年的降水变化特征和趋势预测分析结果,不仅为铜川市气候、水资源保护、配置的研究增加内容,而且为铜川市水利建设、蓄洪抗旱提供依据,更重要的是对该地区农业经济发展有指导性的现实意义。

## 1 研究区概况

铜川地处陕西省中部,渭河平原北部,位于东经108°35'~109°29',北纬34°48'~35°34'之间,总面积3882 km<sup>2</sup>。该地区呈西北高、东南低的倾斜地势,海拔在536~1734.2 m。属于温带大陆性气候,四季冷热干湿分明。铜川年平均气温为8.9~12.3℃,年降雨量介于335.6~889.4 mm,年平均蒸发量为1415.3 mm,年平均日照时数为2345.7~2412.5 h。

## 2 资料和分析方法

### 2.1 资料

本文选用铜川气象站(109°04'E、35°05'N、海拔978.9 m)1961-2013年的逐月降水观测资料。

### 2.2 分析方法

降水属非平稳随机水文现象,降水时间序列具有趋势性、周期性和平稳随机性等多项特征<sup>[6]</sup>,因此,选择适当的方法对降水变化及趋势预测分析进行研究显得十分必要。本文主要利用Mann-Kendall法、小波分析法对铜川市降水进行全面分析研究,以Mann-Kendall法对均值突变检测,对降水变化趋势进行较为简单的分析<sup>[7-8]</sup>;以小波分析法为降水多时间尺度变化的分析方法,因为该方法在时域、频域上同时具有局部化特征和多分辨功能,对处理非平稳水文序列具有独特的优点,十分有利于研究水文系统的周期性<sup>[9-11]</sup>。

## 3 降水时间分布特征

### 3.1 降水年际分布特征

图1为铜川地区年降水量变化,由图1可知:铜川市年降水量以7.7 mm/10a的平均递减率在变化;多年平均降水量为592.0 mm,低于多年平均降水量的一共有30 a;近20 a的平均降水量为577.6 mm,近10 a的平均降水量为572.4 mm,可见年降水量呈现出减少的趋势。

5a滑动平均降水量最大值是1981-1985年的714.6 mm,最小值是1993-1997年的506.1 mm,相差208.5 mm;10a滑动平均降水量最大值是1975-1984年的637.2 mm,最小值是1986-1995年的536.0 mm,相差101.2 mm,表明年际降水分配不均匀。

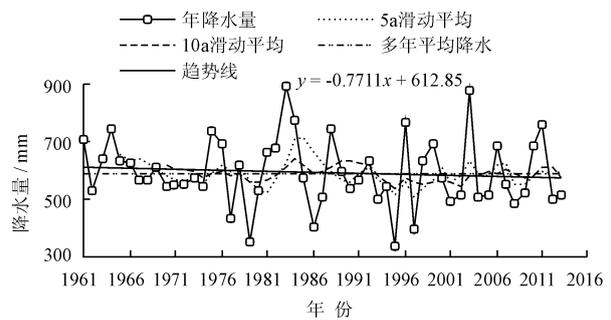


图1 铜川市年降水量变化

### 3.2 降水年内分布特征

铜川市的降水随季节变化明显,春季为3-5月,夏季为6-8月,秋季为9-11月,冬季为12月-次年2月。表1为铜川地区年内降水量分配,由表1可知:铜川市年内降水量变化也比较大,分配不均匀。铜川市春、秋季降水量以平均递减率为8.23、6.51 mm/10a呈减少趋势;夏、冬季降水量以平均递增率为5.52、1.82 mm/10a呈增加趋势;可见年降水量的减少主要集中在春、秋季。

表1 铜川市年内降水量分配

降雨量 分配	月 份												春季	夏季	秋季	冬季
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
降水量/mm	5.6	8.8	20.6	37.2	53.2	63.3	116.8	114.9	97.5	49.7	19.6	5.1	111.4	296.8	164.1	19.7
百分比/%	0.94	1.48	3.48	6.28	8.98	10.68	19.72	19.41	16.46	8.39	3.30	0.85	18.82	50.13	27.71	3.33

## 4 降水突变分析

### 4.1 年际降水突变分析

基于Mann-Kendall检验法,铜川地区年降水

量的Z值为-1.37,通过了90%的置信度显著性检验。图3为铜川地区年降水量的Mann-Kendall突变检测,由图3可知,年降水量突变点较多,表明年降水变化情况比较复杂;在1989年后,降水基本呈

在波动中下降的趋势,但趋势不显著。

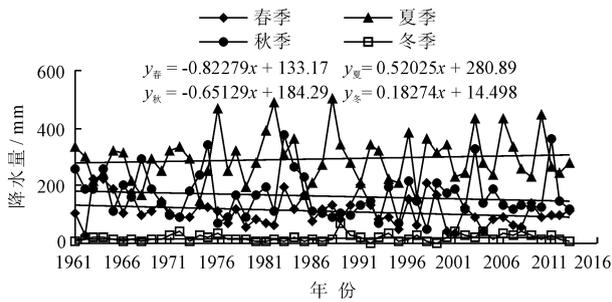


图2 铜川市季节降水量变化

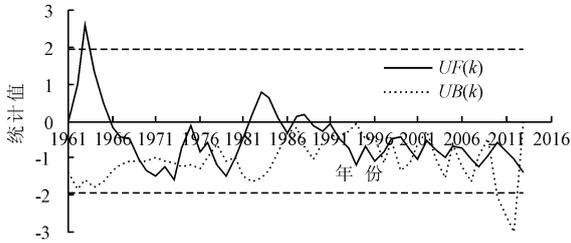


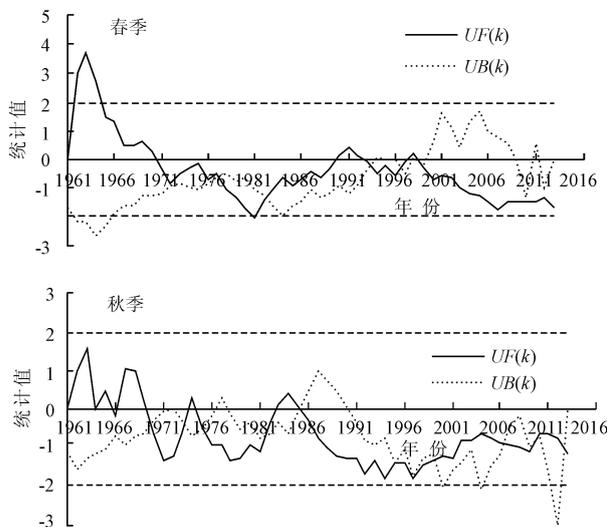
图3 铜川市年降水量的 Mann - Kendall 突变检验

### 4.2 季节降水突变分析

运用 Mann - Kendall 检验法,铜川市春、夏、

表2 铜川市季节降水突变分析表

季节	降水增加期	降水减少期
春季	1961 - 1970 年,且 1962 - 1964 年为降水显著增加期。	1971 - 1989,且 1981、1977、1983 年为降水减少的突变点;1999 - 2013 年,且 1999 年为降水减少的突变点。
夏季	1970 - 2013 年,且 1983 年为降水显著增加的年份。	1961 - 1975 年出现减少、增加的交替现象,1964、1966、1970 年分别为降水突变点。
秋季	1961 - 1969 年基本呈上升趋势。	1985 年以后降水的突变点较多,其基本向减少的趋势发展。
冬季	1961 - 1966 年,且 1962 - 1964 年为降水显著增加期; 1971 - 1980 年,且 1974 - 1976 年为降水显著增加期; 1988 - 2013 年,且 2006 - 2012 年为降水显著增加期。	1968 - 1970、1981 - 1987 年,但其降水减少的趋势不显著。



秋、冬季降水量的 Z 值分别为 -1.65、0.54、-1.11、1.47,春季和冬季降水量分别通过 95% 和 90% 的置信度显著性检验。

图 4 为铜川市季节降水量的 Mann - Kendall 突变检验,由图 4 可知:在铜川市年降水量减少的情况下,各季节降水量变化的响应并不一致,分析结果如表 2。

## 5 降水变化多时间尺度分析

小波系数实部等值线图能反映降水序列不同时间尺度的周期变化及其在时间域中的分布,进而能判断在不同时间尺度上降水的未来变化趋势。当小波系数实部值为正时,代表降水偏多期,在图中用实线绘出;为负时,表示降水偏少期,在图中用虚线绘出。因此,可得到降水在不同时间尺度下的不同丰枯交替变化的规律<sup>[12]</sup>。

小波方差图能反映降水时间序列的波动能量随尺度 a 的分布情况,可用来确定降水演化过程中存在的主周期<sup>[13]</sup>。

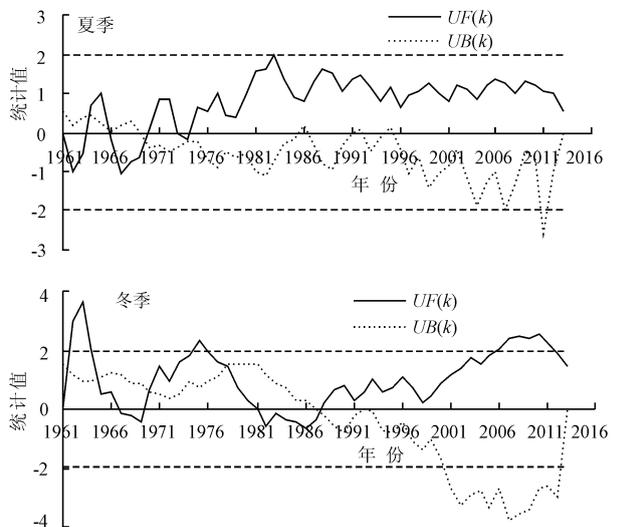


图4 铜川市季节降水量的 Mann - Kendall 突变检验

### 5.1 年降水变化多尺度时间分析

图5(a)为铜川市年降水距平小波系数实部等值线图。铜川市年降水量存在18~32、8~15、3~7a的3类周期尺度的变化规律。在18~32年时间尺度上降水量呈现3次丰枯交替,1961-1968、1983-1987、1999-2004年为降水偏多期,1969-1982、1989-1998、2005-2013为降水偏少期,该尺度具有全域性。

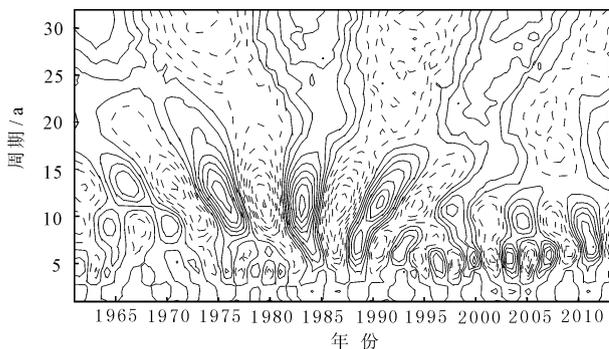
在8~15a时间尺度出现7次丰枯交替,但这种尺度在1965-2000年振荡强烈;3~7a时间尺度的降水周期变化在1990年以后表现较为稳定。大

尺度和小尺度的负相位等值线均显示在2013年以后铜川市的年降水量将均处于偏少期,而中尺度显示2013年以后降水进入偏多期。

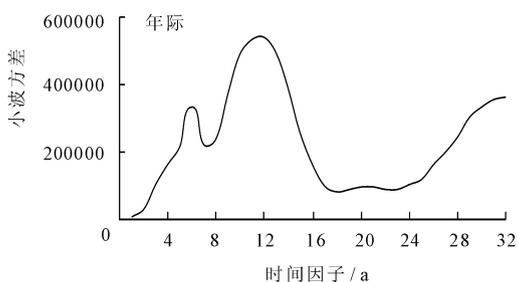
图5(b)为铜川市年降水距平小波系数方差图。12、6、21a为铜川年降水量变化第1、第2、第3主周期,其中21a的周期震荡不明显。

### 5.2 季节降水变化多尺度时间分析

图6(a)~6(h)为铜川市季节降水距平小波系数实部等值线图和季节降水距平小波系数方差图,由此可知:铜川市季节降水的多尺度变化既具有一致性也具有差异性,其特征见表3。



(a) 铜川市年降水量小波系数实部等值线图



(b) 铜川市年降水距平小波系数方差图

图5 铜川市年降水量距平小波系数实部等值线和方差图

表3 铜川市年季节降水量的多时间尺度变化对比分析

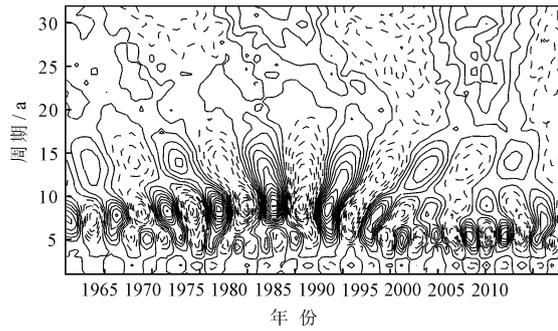
季节	主要振荡时间尺度及其丰枯变化	主周期特征
春季	20~32, 3~6 a 虽有丰枯变化,但表现凌乱;7~16 a, 9次丰枯交替;不论从何种时间尺度上看,在2013年以后春季降水量将处于偏少期。	第1、2、3主周期分别为10、6、3 a,第1主周期的振荡强度明显高于其它两个主周期;在这3个主周期的变化规律下,均显示春季降水进入偏少期。
夏季	15~32 a, 3次丰枯交替,在2013年以后降水进入偏多期;7~14, 3~6 a, 在2013年以后夏季降水处于偏少向偏多的过渡期。	第1、2、3主周期分别为8、13、3 a,但第3主周期表现不是很显著。
秋季	15~32 a, 3次丰枯交替,而且丰枯交替很明显;8~14 a, 9次丰枯交替,3~7 a, 丰枯变化表现较为凌乱。	第1、2、3主周期分别为22、10、6 a,且在第1、2主周期的变化规律下,均显示秋季降水进入偏少期。
冬季	20~32 a, 3次丰枯交替;9~17 a, 6次丰枯变化;3~8 a, 丰枯变化规律比较凌乱。	第1、2、3主周期分别为13、27、8 a,在这3种主周期变化规律下,在2013以后都显示为丰水期。

## 6 结论

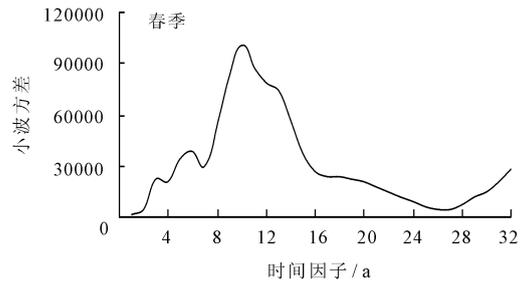
(1)铜川市降水的年际变化和年内变化都比较大,分布不均匀。年、春季、秋季降水量分别以7.71、8.23、6.51 mm/10a的平均递减率在减少,对年降水量减少的贡献主要在于春季和秋季。

(2)铜川市年降水变化情况比较复杂,年降水

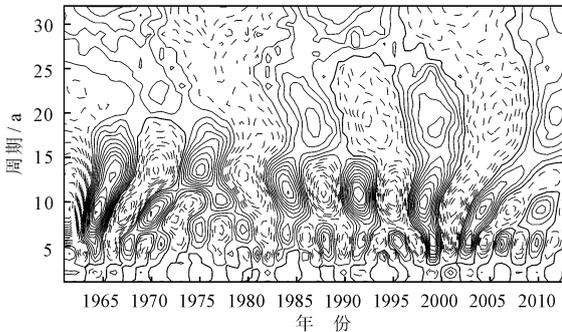
基本呈波动中减少的趋势;春季降水减少趋势显著;夏季降水呈增加的趋势;秋季降水呈减少的趋势;冬季降水呈显著增加的趋势。年、春季、夏季、秋季、冬季降水的典型的突变年份分别为1986、1983、1985、1983、1987年,表明在20世纪90年代降水发生突变,这与于淑秋等<sup>[3]</sup>、高倍等<sup>[2]</sup>和陈太根等<sup>[4]</sup>的降水突变时间研究的结果基本一致。



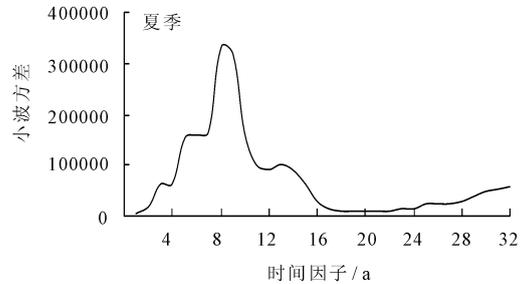
(a) 春季小波系数实部等值线



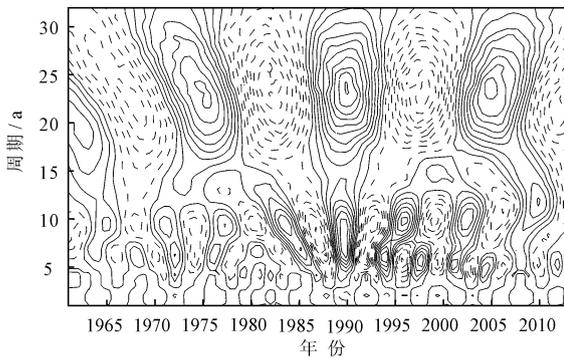
(b) 春季降水距平小波方差图



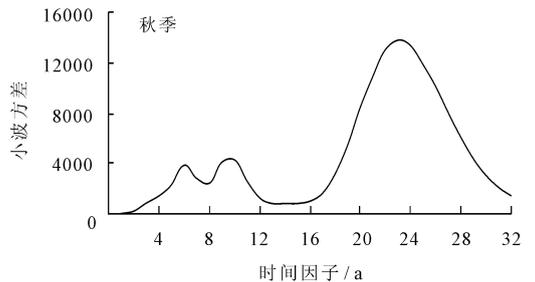
(c) 夏季小波系数实部等值线



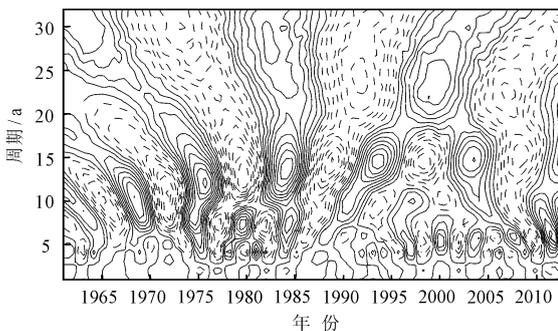
(d) 夏季降水距平小波方差图



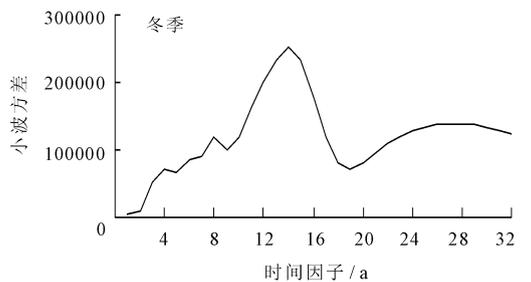
(e) 秋季小波系数实部等值线



(f) 秋季降水距平小波方差图



(g) 冬季小波系数实部等值线



(h) 冬季降水距平小波方差图

图6 铜川市小波实部等值线和小波方差图

(3) 铜川市年、季节降水量的变化都存在 10 a 左右的主要变化规律。在 2013 年以后,在大、小时间尺度的变化上显示年降水量进入偏少期,在中尺度上显示进入偏多期;春季、秋季降水进入强烈的偏少期,夏季、冬季降水将处于偏多期。

(4) 将 Morlet 小波法和 Mann - Kendall 法可结合成一种研究降水的综合型方法,通过该方法对铜川市年、季节降水量的变化和趋势预测进行分析,可为作为苹果最佳优生区的铜川市的苹果气象灾害的防治提供重要的依据。(下转第 90 页)

渗透性粗糙系数。干燥时间的敏感度值为零。

## 4 结 论

本文通过利用 Morris 敏感性分析法,研究 SWMM 模型模拟龙岩市雨洪时的参数敏感性,得出以下几点结论:

(1)不同降雨模拟结果的参数敏感度值不同,但差别不大。

(2)对径流系数而言,敏感度值最大的参数是不渗透性,最小渗入速率,漫流宽度;对洪峰流量而言,敏感度值最大的参数是不渗透性,渗透性粗糙系数,漫流宽度。可见,对于不同的输出变量,参数的敏感性有差别。

(3)不同的降雨强度和不同的输出变量,干燥时间的敏感度为零,由此可知,参数率定时干燥时间的取值对模拟结果无影响。

本文通过对 SWMM 模型的参数敏感性分析,为今后 SWMM 模型参数率定提供依据,提高参数率定的效率。

### 参考文献:

- [1] 赵冬泉,王浩正,陈吉宁,等. 城市暴雨径流模拟的参数不确定性研究[J]. 水科学进展,2009,20(1):45-51.  
[2] 任伯帆,邓仁健,李文健. SWMM 模型原理及其在霞凝

港区的应用[J]. 水运工程,2006(4):41-44.

- [3] Sieber A, Uhlenbrook S. Sensitivity analyses of a distributed catchment model to verify the model structure [J]. Journal of Hydrology, 2005, 310(S1-S4):216-235.  
[4] 董欣,杜鹏飞,李志一,等. SWMM 模型在城市不透水区地表径流模拟中的参数识别与验证[J]. 环境科学,2008,29(6):1495-1501.  
[5] 王浩昌,杜鹏飞,赵冬泉,等. 城市降雨径流模型参数全局灵敏度分析[J]. 中国环境科学,2008,28(8):725-729.  
[6] 赵冬泉,王浩正,陈吉宁,等. 城市暴雨径流模拟的参数不确定性研究[J]. 水科学进展,2009,20(1):45-51.  
[7] 朱嘉祺,徐向阳,何爽. 基于 LH-OAT 的 SWMM 模型参数敏感性分析[J]. 中国农村水利水电,2014(3):84-87.  
[8] Francos A, Elorza F J, Bouraoui F, et al. Sensitivity analysis of distributed environmental simulation models: Understanding the model behaviour in hydrological studies at the catchment scale [J]. Reliability Engineering & System Safety, 2003, 79(2):205-218.  
[9] 黄金良,杜鹏飞,何万谦,等. 城市降雨径流模型的参数局部灵敏度分析[J]. 中国环境科学,2007,27(4):549-553.  
[10] Lenhart T, Eckhardt K, Fohrer N, et al. Comparison of two different approaches of sensitivity analysis[J]. Physics & Chemistry of the Earth, 2002,27(9):645-654.

(上接第 86 页)

### 参考文献:

- [1] 郭应杰. 气候变化对水文水资源影响研究综述[J]. 内蒙古水利,2013(3):61-62.  
[2] 高蓓,栗珂,李艳丽. 陕西近 40 年气候变化特征的分析[J]. 成都信息工程学报,2006,21(2):290-295.  
[3] 于淑秋,林学椿,徐祥德. 我国西北地区近 50 年降水和气温的变化[J]. 气候与环境研究,2003,8(1):9-16.  
[4] 陈太根,董婕. 关中平原近 49 年来气候变化特征分析[J]. 干旱区资源与环境,2009,23(12):76-81.  
[5] 王德丽,殷淑燕,王海燕,等. 近 50 年来铜川市气候变化特征分析[J]. 干旱区资源与环境,2011,25(3):88-91.  
[6] 吴中如,朱伯芳. 三峡水工建筑物安全监测与反馈设计[M]. 北京:中国水利水电出版社,1999:181-183.  
[7] 张晓,李净,姚晓军,等. 近 45 年青海省降水时空变化特征及突变分析[J]. 干旱区资源与环境,2012,26(5):

6-12.

- [8] 曹洁萍,迟道才,武立强,等. Mann-Kendall 检验方法在降水趋势分析中的应用研究[J]. 农业科技与装备,2008(5):35-38.  
[9] 赵利红. 水文时间序列周期分析方法的研究[D]. 南京:河海大学,2007.  
[10] 王文圣,丁晶,李跃清. 水文小波分析[M]. 北京:化学工业出版社,2005:115-141.  
[11] Asaoka A, Matsuo M. An inverse problem approach to the prediction of multi-dimensional consolidation behavior [J]. Soils and Foundations,1984,24(1):17-28.  
[12] 尹鹏. 哈尔滨水资源发展态势及可持续利用评价研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2011.  
[13] 王素慧,贾绍凤,吕爱锋. 基于小波的三江源年径流变化的周期性分析及趋势预测[J]. 首都师范大学学报(自然科学版),2010,31(5):51-57.