

# 近50年来滦河流域径流演变规律研究

山成菊,董增川,付晓花,方庆,刘晨,刘倩

(河海大学水文水资源学院,南京 210098)

**摘要:** 根据滦河主要代表站沟台子、三道河子、滦县的1950年-2009年天然径流资料,运用滑动平均法、Mann-Kendall法及小波分析方法,分析了滦河天然径流演变规律。结果表明:滦河流域1950年-2009年3个代表站的径流量均呈下降趋势;沟台子站在1960年发生一次径流减少突变,三道河子站在1967年发生一次径流减少突变,而1988年后滦县站呈现出较显著的突变,径流突变特性与变化环境下的极端气候事件有直接关系;滦河上游径流主要存在28a显著变化周期,中、下游径流分别存在27a和30a显著变化周期。

**关键词:** 径流;趋势分析;Mann-Kendall检验方法;小波;滦河

**中图分类号:** P333 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)04-0005-04

## Rules of Runoff Variation in Luanhe River Basin in Recent 50 Years

SHAN Cheng ju, DONG Zeng chuan, FU Xiao hua, FANG Qing, LIU Chen, LIU Qian

(College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** On the basis of the natural runoff data at the Goutaizi, Sandahezi, and Luanxian stations in the Luanhe River Basin from 1950 to 2009, the long term trend of runoff was analyzed using the moving average method, Mann-Kendall test method, and wavelet analysis method. The results showed that (1) the runoff at the three stations have a decreasing trend from 1950 to 2009; (2) a mutation of runoff reduction happened at the Goutaizi station in 1960, at the Sandahezi station in 1967, and at the Luanxian station in 1988, which may be caused by the extreme weather events; and (3) a 28 year variation cycle existed in the upstream of Luanhe River, a 27 year variation cycle in the midstream of Luanhe River, and a 30 year variation cycle in the downstream of Luanhe River.

**Key words:** runoff; trend analysis; Mann-Kendall test method; wavelet analysis method; Luanhe River

水资源是经济社会发展的重要战略资源,地表径流是水资源的主要组成部分,因此河川径流量一直是水文水资源科学研究的重点和热点。随着全球变暖和人类活动影响的加剧,河川径流发生了显著的时空变化,直接影响了流域水资源的合理配置、开发与利用,以及河流生态系统的物理、化学和生物过程。50年来,滦河流域径流过程发生了较大变化,加剧了水资源的短缺和时空变异性,相继带来了突出的水资源与生态环境问题,旱涝灾害发生的频次明显加大,已严重威胁到流域经济社会可持续发展和生态安全。因此,开展滦河干流径流变化特征、趋势和周期等规律的研究,为流域水利工程建设、生态环境保护和水资源合理利用提供科学依据,具有重要的理论意义和现实意义。

## 1 流域概况

滦河发源于河北省张家口地区的巴彥古尔图山北麓,上

游闪电河经内蒙古自治区多伦县折向东南,接纳小滦河后始称滦河,中游穿行于燕山山地,下游经过50 km宽的三角洲注入渤海湾。滦河全长888 km,流域面积 $5.44 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,多年平均径流深109 mm,多年平均径流量为 $46 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,主要支流有伊逊河、武烈河、瀑河、洒河、青龙河等。流域位于华北平原东北部,地理坐标 $115^\circ 34' - 119^\circ 50' \text{ E}$ , $39^\circ 02' - 42^\circ 43' \text{ N}$ 。该区域地处温带大陆性季风区,冬季寒冷干燥,夏季炎热多雨。流域多年平均气温 $7.6^\circ \text{ C}$ ,多年平均降水量520 mm。受地形影响,降水量自海岸向北递增,过长城后出现递减趋势。雨量集中和暴雨频发是本地区气候的一个显著特点。流域上游为坝上、围场高原区,地表呈波状起伏,多风蚀洼地;中游为冀北、燕山丘陵区,河谷深切;下游为燕山山前平原和滦河三角洲平原,受人类活动影响剧烈。为缓解京津地区水资源供需矛盾,满足唐山、秦皇岛等经济增长中心的用水需求,20世纪70年代末在滦河干流修建潘家口、大

收稿日期:2013-01-16 修回日期:2013-05-28 网络出版时间:2013-07-28  
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20130728.1310.020.html>  
基金项目:水利部公益性行业科研专项项目(201101017)  
作者简介:山成菊(1989-),女,青海西宁人,硕士研究生,主要从事水文水资源方面研究。E-mail:510112812@qq.com  
通讯作者:董增川(1963-),男,山西芮城人,教授,博士生导师,主要从事水文水资源方面研究。E-mail:dongzengchuan@163.com

黑汀等大型控制性骨干水利工程, 90 年代在滦河一级支流青龙河上修建桃林口水库, 并逐渐建成引滦入津、引滦入唐、引青济秦等配套工程, 水资源开发利用强度不断加大。

## 2 数据及分析方法

### 2.1 资料选取

综合考虑水文站点在流域内的代表性以及资料的可靠性与完整性, 选取滦河干流上沟台子(选取此站的主要原因是资料序列长, 资料完整可靠)、三道河子和滦县站分别作为滦河流域上、中、下游代表水文站, 进行径流变化趋势分析。序列长度分别为 1950 年- 2009 年。选取的径流系列资料未进行天然径流的还原计算, 是实测资料。

### 2.2 分析方法

本文采用滑动平均法和 Mann Kendall 秩次相关检验法(以下简称 M-K 方法)对径流时间序列进行趋势分析, 利用 Mann Kendall 突变检验方法对径流时间序列进行突变分析, 利用 Morlet 连续复小波变换对径流时间序列的多时间尺度特征进行周期分析。

#### 2.2.1 趋势性分析方法: 滑动平均法

所谓滑动平均值, 就是在一个系列中, 先确定若干年为计算平均值的滑动计算时段, 求得一个均值, 将其作为中间年份的修匀值, 然后向后滑动一年, 形成新的计算时段, 计算均值。重复以上步骤直至计算时段的最后一个数据为系列的最后一个数据为止。

#### 2.2.2 突变性分析方法: Mann Kendall 法

M-K 方法最初由 Mann<sup>[1]</sup> 与 Kendall<sup>[2]</sup> 提出, 经过不断改进与完善, 现成为世界气象组织推荐的、应用于环境数据时间序列趋势分析的方法。该方法因为不需要样本遵从一定的分布, 所以在趋势分析中得到广泛应用<sup>[3,6]</sup>。

采用 M-K 方法分析时间序列的趋势变化及随机特性的基本原理为: 定义统计检验量  $ZC$ , 通过其正负值和给定的置信水平上的临界值的大小关系, 判定序列的变化趋势及强度; 检验量为正, 则序列表现为上升趋势; 反之, 则表现为下降趋势; 检验量超出临界值, 则变化趋势显著; 通过计算 Kendall 倾斜度  $\beta$  值来定量地衡量趋势的大小。另外, M-K 方法还能够对序列进行突变检验, 通过正序列  $UF_k$  曲线与反序列  $UB_k$  曲线在置信线之间的交点位置, 大致确定序列发生突变的时刻。本文采用置信度  $\alpha=0.05$ , 对应的临界值为  $\pm 1.96$ 。

#### 2.2.3 周期分析方法: 小波分析法

小波变换是 20 世纪 80 年代后期发展起来的应用数学的分支<sup>[7,9]</sup> 基本原理如下<sup>[10,11]</sup>。

设  $\Phi(t) \in L^2(R)$ ,  $L^2(R)$  表示平方可积的实数空间, 即能量有限的信号空间, 其傅里叶变化为  $\Psi(\omega)$ 。当  $\Psi(\omega)$  满足条件:

$$C_0 = \int_R \frac{|\Psi(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < \infty \quad (1)$$

时, 称  $\Phi(t)$  为一个基本小波或母小波。将母函数  $\Phi(t)$  经伸缩和平移后, 就可以得到一个的小波序列。

对于连续的情况, 小波序列为:

$$\Psi_{a,b}(t) = |a|^{-1/2} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad \text{其中, } a, b \in R, a \neq 0 \quad (2)$$

式中:  $a$  为伸缩因子;  $b$  为平移因子。

Morlet 小波与降水、径流时间序列的波形较为接近, 在时频域局部性都较好<sup>[12]</sup>, 所以本文选择 Morlet 小波对降水、径流序列进行小波分析。Morlet 小波是一维连续的, 其函数表达式为:

$$\Phi(t) = \exp(iw_0 t) \exp(-t^2/2) \quad (3)$$

式中:  $w_0$  为常数;  $i$  为虚数。通过小波变换得到的是一个尺度-时间函数(尺度-时间图)。若要通过该图对一些复杂过程进行准确地解释, 还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。小波方差反映了波动的能量随尺度  $a$  的分布, 可以用来确定一个时间序列中各种尺度扰动的相对强度, 对应峰值处的尺度称为该序列的主要时间尺度, 即主要周期<sup>[13]</sup>。因此, 通过小波方差图, 可以确定一个时间序列中存在的主要周期。小波方差的计算公式为:

$$\text{Var}(a) = \int_{-\infty}^{\infty} R |W_f(a, b)|^2 db \quad (4)$$

## 3 径流变化特征

### 3.1 趋势性分析

本文对滦河流域所选典型水文站的年平均流量值均采用 5 年滑动平均法, 各站的 5 年滑动平均值过程线见图 1。本文选用置信水平  $\alpha=0.05$ , 对各水文站年径流时间序列和月过程时间序列进行 M-K 趋势检验, 表 1 给出了 Mann Kendall 秩次相关检验法对径流趋势变化的检验结果。

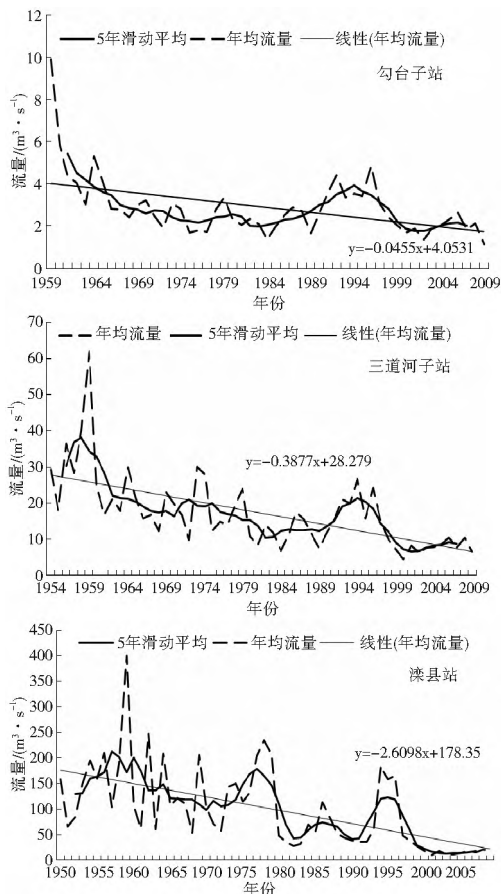


图 1 滦河沟台子站、三道河子站、滦县站径流序列

M-K 统计 5 年滑动平均过程线

Fig. 1 The M-K statistical 5-year moving average process lines of runoff at the Goutazi, Sandaohezi and Luanshan stations of the Luanhe River Basin

表1 滦河沟台子站、三道河子站、滦县站径流序列 M-K 统计

Table 1 The M-K statistical results of runoff at the Goutaizi, Sandaohezi, and Luanxian stations of the Luanhe River Basin

站名	检验统计量 $U$	显著水平 $\alpha$	临界值 $U_{\alpha/2}$	判别结果	趋势性
沟台子	-3.41	0.05	1.96	$ U  > U_{\alpha/2}$	显著递减
三道河子	-5.46	0.05	1.96	$ U  > U_{\alpha/2}$	显著递减
滦县	-5.54	0.05	1.96	$ U  > U_{\alpha/2}$	显著递减

从图1中可以直观地看出滦河流域各代表站年均流量的变化情况,各代表站年均流量都处在丰枯交替的不断变化中,但总的趋势是都是递减的。从表1可以看出,滦河流域沟台子、三道河子、滦县站均有显著的递减趋势,这与滑动平均法的检验结果是保持一致的。

### 3.2 突变性分析

由图2可以看出,  $UF_k$  曲线多在0以下,表明全流域径流整体上呈减少趋势;沟台子站年平均流量呈波浪式缓慢下降趋势,1960年  $UF$  曲线超过了0.05信度线,表明1960年后年均流量呈显著下降趋势。 $UF$  和  $UB$  曲线在1960出现交点,可以认为1960年沟台子站发生了显著的突变。三道河子站的年均流量除了1959年之外  $UF$  曲线均小于0,表明1954年-2009年年均流量呈波浪式下降趋势,1966年后  $UF$

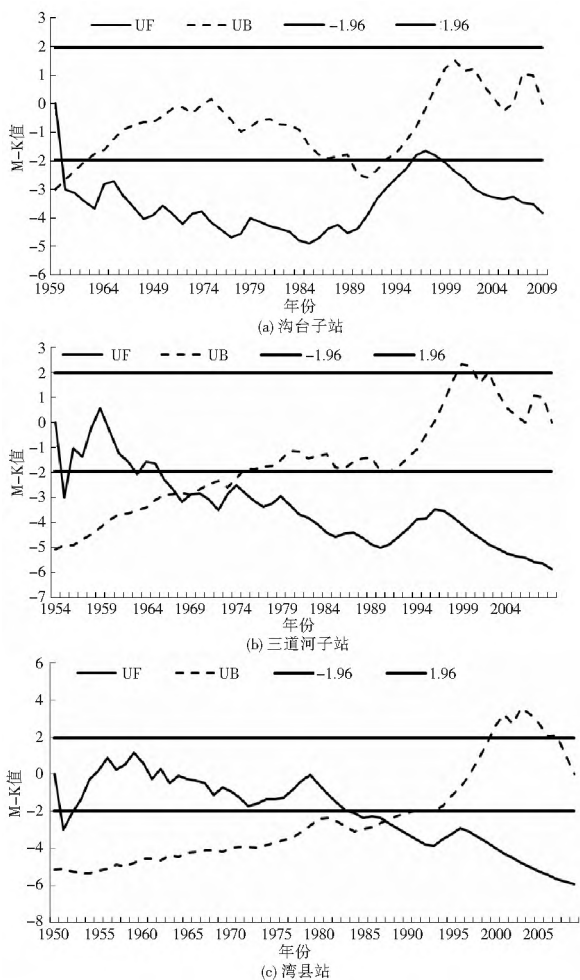


图2 各水文站年径流序列 M-K 曲线

Fig. 2 The M-K curves of annual runoff at different hydrological stations of the Luanhe River Basin

曲线超过了0.05信度线,表明1966年后年均流量呈显著下降趋势。 $UF$  和  $UB$  曲线在1967年出现交点,可以认为1967年三道河子站发生了显著的突变。滦县站的年均流量在1950年-1954和1963年以后  $UF$  曲线小于0,表明1950年-2009年年均流量呈波浪式下降趋势。1984年后  $UF$  曲线超过了0.05信度线,表明1984年后年均流量呈显著下降趋势。 $UF$  和  $UB$  曲线在1988年出现交点,可以认为1988年滦县站发生了显著的突变。

### 3.3 周期性分析

采用 Matlab 的 Morlet 小波分析程序对1950年-2005年间沟台子站、三道河子站及滦县站年径流量的周期特性进行分析,得到小波变换等值线图及小波方差图。在小波变换实部等值线图中,横坐标为时间(年份),纵坐标为时间尺度,图中的等值曲线为小波系数实部值。当小波系数实部值为正时,代表径流丰水期,在图中用实线绘出;为负时,表示径流枯水期,用虚线绘出。3个站点径流量的小波分析实部图和小波系数方差图见图3、图4。

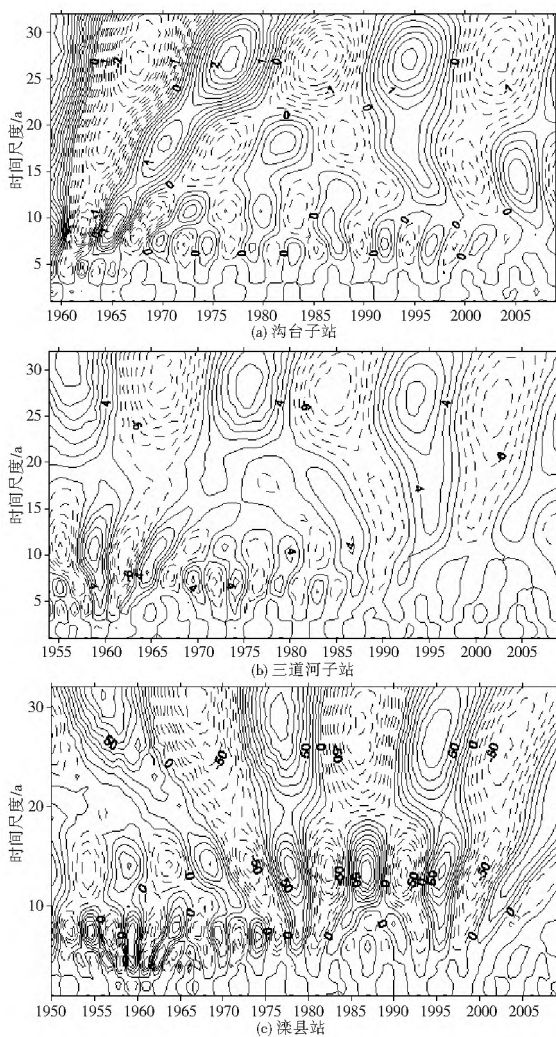


图3 小波系数实部等值线

Fig. 3 The isograms of the real part of wavelet coefficient

从图3(a)可以看出,沟台子站径流演化过程中存在的多时间尺度特征。沟台子站在流域径流演变过程中存在着22~32 a、13~21 a以及3~12 a的3类尺度的周期变化规

律。其中,在 22~ 32 a 尺度上出现了枯- 丰交替的准 3 次震荡,周期变化最为清晰;在 13~ 21 a 时间尺度上存在准 4 次震荡,且这两个时间尺度在整个分析时段表现较为稳定,具有全域性;在 3~ 12 a 时间尺度 1970 年- 2003 年较为明显,丰枯交替。

图 3(b) 中显示,三道河子站在流域径流演变过程中存在着 20~ 32 a、3~ 19 a 以及 3~ 10 a 的 3 类尺度的周期变化规律。其中,在 20~ 32 a 尺度上出现了枯- 丰交替的准 3 次震荡,周期变化最为清晰,这两个时间尺度在整个分析时段表现较为稳定,具有全域性;在 3~ 19 a 时间尺度上 1954 年- 1970 年较为明显,存在 2 次震荡;在 3~ 10 a 时间尺度 1970 年- 1985 年较为明显,丰枯交替。

图 3(c) 显示,滦县站径流演化过程中存在着 20~ 32 a、11~ 19 a 以及 3~ 10 a 的 3 类尺度的周期变化规律。其中,在 20~ 32 a 尺度上出现了枯- 丰交替的准 3 次震荡;在 11~ 19 a 时间尺度上存在 6 次震荡,且这两个时间尺度在整个分析时段表现较为稳定,具有全域性;在 3~ 10 a 时间尺度 1950 年- 1978 年较为明显,丰枯交替。

的周期震荡最强,为流域流量变化的第一主周期; 18 a 时间尺度对应着第二峰值,为流量变化的第二主周期; 8 a 时间尺度对应着第三峰值,为流量变化的第三主周期。

从图 4(b) 可以看出,三道河子站小波方差图中存在 4 个较为明显的峰值,它们依次对应着 28 a、11 a、7 a、4 a 的时间尺度。其中,最大峰值对应着 28 a 的时间尺度,说明 28 a 左右的周期震荡最强,为流域流量变化的第一主周期; 11 a 时间尺度对应着第二峰值,为流量变化的第二主周期; 7 a 时间尺度对应着第三峰值,为流量变化的第三主周期; 4 a 时间尺度对应着第四峰值,为流量变化的第四主周期。上述 4 个周期的波动控制着流量在整个时间域内的变化特征。

从图 4(c) 可以看出,滦县站小波方差图中存在 4 个较为明显的峰值,它们依次对应着 30 a、14 a、7 a、4 a 的时间尺度。其中,最大峰值对应着 30 a 的时间尺度,说明 30 a 左右的周期震荡最强,为流域流量变化的第一主周期; 14 a 时间尺度对应着第二峰值,为流量变化的第二主周期; 7 a 时间尺度对应着第三峰值,为流量变化的第三主周期; 4 a 时间尺度对应着第四峰值,为流量变化的第四主周期。上述 4 个周期的波动控制着流量在整个时间域内的变化特征。

## 4 结论

通过对滦河流域 1950 年- 2009 年间年降水量和 3 个代表站的年径流量进行 5 年滑动平均分析、Mann Kendall 趋势及突变分析和 Morlet 小波周期分析,得到以下结论。

(1) 滦流域 1950 年- 2009 年 3 个代表站的年径流量均呈下降趋势。

(2) 滦河流域沟台子站 1960 年发生一次径流减少突变, 1967 年三道河子站发生一次径流减少突变, 1988 年后滦县站呈现出较显著的突变。

(3) 滦河上游径流主要存在 28 a 显著变化周期,中、下游径流分别存在 27 a 和 30 a 显著变化周期。整个流域径流演变的周期性差不多具有同步性。

## 参考文献(References):

- [1] Mann H. B. Nonparametric tests against trend[J]. *Econometrica*, 1945, 13: 245-259.
- [2] Kendall M. G. Rank Correlation Methods[M]. New York: Oxford University Press, 1975.
- [3] 刘兆飞,徐宗学. 塔里木河流域水文气象要素时空变化特征及其影响因素分析[J]. *水文*, 2007, 27(5): 69-73. (LIU Zhao fei, XU Zong xue. Spatiotemporal Distribution of Hydrometeorological Variables and the Irmain Impact Factors in the Tarim River basin[J]. *Journal of China Hydrology*, 2007, 27(5): 69-73. (in Chinese))
- [4] 王金星,张建云,李岩,等. 近 50 年来中国六大流域径流年内分配变化趋势[J]. *水科学进展*, 2008, 19(5): 656-660. (WANG Jir xing, ZHANG Jian yun, LI Yan, et al. Variation Trends of Runoffs Seasonal Distribution of the Six Larger Basins in China over the past 50 years[J]. *Advance in Water Science*, 2008, 19(5): 656-660. (in Chinese))

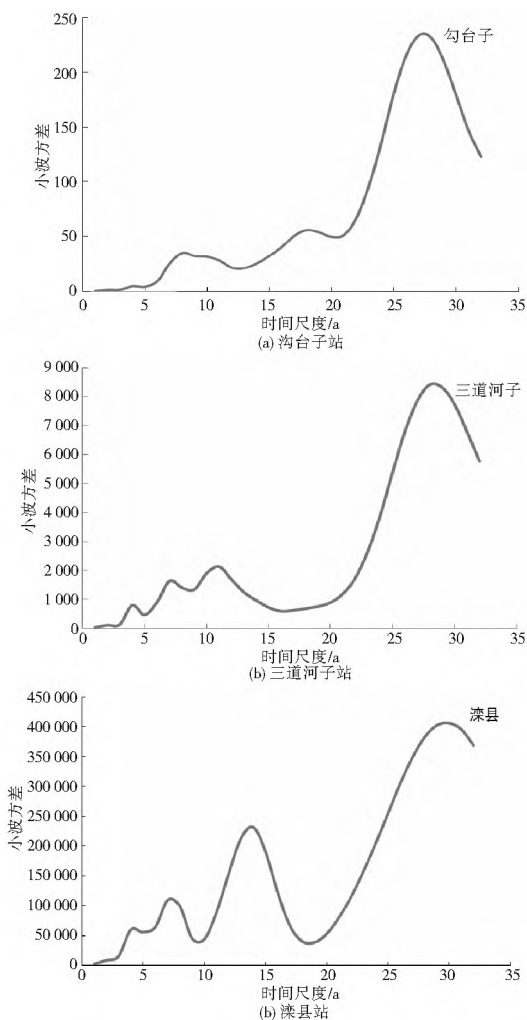


图 4 小波系数方差图

Fig. 4 The variance of Morlet wavelet coefficient

从图 4(a) 中可以看出,沟台子站小波方差图中存在 3 个较为明显的峰值,它们依次对应着 27 a、18 a、8 a 的时间尺度。其中,最大峰值对应着 27 a 的时间尺度,说明 27 a 左右

(下转第 12 页)

式, 多维线性插值方法可为今后的空间插值提供一个简洁有效的手段。

#### 参考文献(References):

- [1] 卢毅敏, 岳天祥, 陈传法, 等. 中国区域年降水空间分布高精度曲面建模[J]. 自然资源学报, 2010, 25(7): 1194-1205. (LU Yi min, YUE Tian xiang, CHEN Chuan fa, et al. Surface Modeling of Annual Precipitation in China. Journal of Natural Resources [J]. Journal of Natural Resources, 2010, 25(7): 1194-1205. (in Chinese))
- [2] 蔡福, 于慧波, 矫玲玲, 等. 降水要素空间插值精度的比较—以东北地区为例[J]. 资源科学, 2006, 28(6): 73-89. (CAI Fu, YU Hui bo, JIAO Ling ling, et al. Comparison of Precision of Spatial Interpolation of Precipitation Factors: A Case Study in Northeastern China [J]. Resources Science, 2006, 28(6): 73-89. (in Chinese))
- [3] 朱会义, 贾绍凤. 降雨信息空间插值的不确定性分析[J]. 地理科学进展, 2004, 23(2): 34-39. (ZHU Hui yi, JIA Zhao feng. Uncertainty in the Spatial Interpolation of Rainfall Data [J]. Progress in Geography, 2004, 23(2): 34-39. (in Chinese))
- [4] Houghton J T, Meira Filho L G, Callander B A, et al. Climate Change 1995: The Science of Climate Change [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.
- [5] 姜晓剑, 刘小军, 黄芬, 等. 逐日气象要素空间插值方法的比较[J]. 应用生态学报, 2010, 21(3): 624-630. (JIANG Xiao jian, LIU Xiao jun, HU AN G Fen, et al. Comparison of Spatial Interpolation Methods for Daily Meteorological Elements [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(3): 624-630. (in Chinese))
- [6] 林忠辉, 莫兴国, 李宏轩, 等. 中国陆地区域气象要素的空间插值[J]. 地理学报, 2002, 57(1): 47-56. (LIN Zhong hui, MO Xing guo, LI Hong xuan, et al. Comparison of Three Spatial Interpolation Methods for Climate Variables in China [J]. Acta geographica sinica, 2002, 57(1): 47-56. (in Chinese))
- [7] 王舒, 严登华, 秦天玲, 等. 基于 PER-Kriging 插值方法的降水空间展布[J]. 水科学进展, 2011, 22(6): 757-764. (WANG Shu, YAN Deng hua, QIN Tian ling, et al. Spatial Interpolation of Precipitation Using the PER-Kriging Method [J]. Advances in Water Science, 2011, 22(6): 757-764. (in Chinese))
- [8] 李新, 程国栋, 卢玲. 空间内插方法比较[J]. 地球科学进展, 2000, 15(3): 260-265. (LI Xin, CHENG Guo dong, LU Ling. Comparison of Spatial Interpolation Methods [J]. Advance in Earth Sciences, 2000, 15(3): 260-265. (in Chinese))
- [9] Watson D F, Philip G M. A Refinement of Inverse Distance Weighted Interpolation [J]. Geoprocessing, 1985, (2): 315-327.
- [10] 孙然好, 刘清丽, 陈利顶. 基于地统计学方法的降水空间插值研究[J]. 水文, 2010, 30(1): 14-18. (SUN Ran hao, LIU Qing li, CHEN Li ding. Study on Precipitation Interpolation Based on the Geostatistical Analyst Method [J]. Hydrology, 2010, 30(1): 14-18. (in Chinese))
- [5] 余烜. 气候变化对海河流域水资源影响研究 [D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2009. (YU Xuan. Studies on Impacts of Climate Change on Water Resources in Haihe River Basin [D]. Beijing: China Institute of Water Resource and Hydropower Research, 2009. (in Chinese))
- [6] 刘健, 张奇, 许崇育. 近 50 年鄱阳湖流域径流变化特征研究 [J]. 热带地理, 2009, 29(3): 213-218. (LIU Jian, ZHANG Qi, XU Chong yu. Characteristics of Runoff Variation of Poyang Lake Watershed in the Past 50 Years [J]. Tropical Geography, 2009, 29(3): 213-218. (in Chinese))
- [7] 李滨江, 郭姚生. 佳木斯市水资源精确评价中需水系统若干参数的确定 [J]. 水文, 1999, (2): 23-29. (LI Bin jiang, GU O Yao sheng. Determine Several Parameters of Need Water System in Water Resources Precise and Accurate Evaluation in Jiamusi City [J]. Hydrological, 1999, (2): 23-29. (in Chinese))
- [8] 孙同洁, 纪万军. 佳木斯市水资源可利用量的分析 [J]. 黑龙江水利科技, 2006, 34(4): 164. (SU N Tong jie, JI Wan jun. Analysis of Water Resources Available Amount in Jiamusi City [J]. Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy, 2006, 34(4): 164. (in Chinese).)
- [9] 张戈平. 城市水资源承载力评价指标体系研究 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2003. (ZHANG Ge ping. Study on Evaluation Index System of Urban Water Resources Carrying Capacity [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2003. (in Chinese))
- [10] 裴源生, 刘建刚, 赵勇, 等. 水资源用水总量控制与定额管理协调保障技术研究 [J]. 水利水电技术, 2009, 40(3): 8-11. (PEI Yuan sheng, LIU Jian gang, ZHAO Yong, et al. Study on Support Technique for Coordination Between Total Amount Control and Quota Management of Water Consumption for Water Resources [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2009, 40(3): 8-11. (in Chinese))
- [11] 唐力, 赵勇, 肖伟华, 等. 水资源总量控制和定额管理制度实施进展 [J]. 人民黄河, 2008, 30(3): 43-44. (TANG Li, ZHAO Yong, XIAO Wei hua, Water Resources Total Control and Quota Management System Progress in the Implementation [J]. Yellow River, 2008, 30(3): 43-44. (in Chinese))
- [12] 张少文, 王文圣, 丁晶, 等. 黄河天然年径流超长期变化特性研究 [J]. 人民黄河, 2004, 26(8): 10-12. (ZHANG Shao wen, WANG Wen sheng, DING Jing, The Research Natural Annual Runoff Ultra long term Changes in Characteristics in Yellow River [J]. 2004, 26(8): 10-12. (in Chinese))
- [13] 许月卿, 李双成, 蔡运龙. 基于小波分析的河北平原降水变化规律研究 [J]. 中国科学 (D 辑), 2004, 34(12): 1176-1183. (XU Yue qing, LI Shuang cheng, CAI Yun long. The Research of Rainfall Variation Based on Wavelet Analysis in Hebei Plain [J]. Science China Ser. D Earth Sciences, 2004, 34(12): 1176-1183. (in Chinese))

(上接第 8 页)