

Annual Average Baseflow Separation of River Runoff and Its Change Tendency

Huazhan Zeng^{1,2}, Junfeng Dai^{1,2*}, Mengyan Fu^{1,2}

¹Guangxi Scientific Experiment Center of Mining, Metallurgy and Environment, Guilin University of Technology, Guilin

²Guangxi Engineering Research Center for Agriculture Irrigation and Drainage, Guilin

Email: luckyzhz@foxmail.com, whudjf@163.com

Received: Sep. 30th, 2013; revised: Nov. 20th, 2013; accepted: Nov. 26th, 2013

Copyright © 2014 Huazhan Zeng et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. In accordance of the Creative Commons Attribution License all Copyrights © 2014 are reserved for Hans and the owner of the intellectual property Huazhan Zeng et al. All Copyright © 2014 are guarded by law and by Hans as a guardian.

Abstract: Based on the measured monthly runoff data of Nanliu River and Qin River in Beibu Gulf Economic Zone in 1970-2008, the digital filtering method and smoothed minima method are used to separate the average baseflow. The results show that the baseflow calculated by the digital filtering method filtering 3 times is similar with that calculated by the smoothed minima method. The total runoffs of Nanliu River and Qin River have large temporal variation. The baseflow changes of two rivers are stable. And the total runoff and baseflow of two rivers appear to be a decline tendency.

Keywords: Average Baseflow; Baseflow Separation; Digital Filtering Method; Smoothed Minima Method

河流多年平均基流分割及其变化分析

曾华瞻^{1,2}, 代俊峰^{1,2*}, 傅梦嫣^{1,2}

¹桂林理工大学广西矿冶与环境科学实验中心, 桂林

²广西农业灌溉排水工程技术研究中心, 桂林

Email: luckyzhz@foxmail.com, whudjf@163.com

收稿日期: 2013年9月30日; 修回日期: 2013年11月20日; 录用日期: 2013年11月26日

摘要: 以 1970~2008 年广西北部湾经济区入海河流南流江和钦江的实测月径流量资料为分析对象, 采用数字滤波法和最小平滑法对两条河流的总径流过程线进行了平均基流分割。结果表明, 数字滤波法滤波 3 次得出的基流分割结果与最小平滑法得出的结果较为接近。南流江和钦江的年度总径流量变化起伏较大, 年平均基流量变化稳定, 两条河流的总径流和基流都表现出下降的趋势。

关键词: 平均基流; 基流分割; 数字滤波法; 最小平滑法

1. 引言

基流是河流在枯水时期径流的重要来源, 属于较为稳定的径流组成部分。基流分割又称为径流分割或流量过程线的分割, 是水文学中的一个常见问题。基

作者简介: 曾华瞻(1991-), 男, 学士, 从事水文水资源研究。

*通讯作者。

流的变化及其规律研究在水文预报^[1]、流域水文计算分析、模拟产汇流模型、区域水资源调查评价等问题中都具有重要意义。

以往使用的基流分割法中, 通常采用水平直线分

割法、斜直线分割法等人工图解法, 这类方法计算比较复杂, 受到人的主观影响较大, 不太适合应用于长时间序列大量数据地分析计算。目前, 实践中较多采用自动化分割技术进行基流分割。较为常用的自动化分割方法主要包括数字滤波法、平滑最小值法和HYSEP (HYdrograph SEParation)法等^[2]。本文应用数字滤波法和平滑最小值法进行南流江及钦江两条河流的年际月平均基流分割, 为广西北部湾经济区水资源开发和保护提供参考依据。

2. 研究区域概况

南流江和钦江是广西北部湾经济区桂南沿海入海河流, 地理位置较为接近(见图1), 同属于亚热带低纬度地区, 南亚热带海洋性气候, 其区域下垫面情况也较为相似。南流江是广西南部独自流入大海诸河中, 流程最长、流域面积最广、水量最丰富的河流, 发源于玉林市大容山的南坡, 在北海市合浦县的党江乡附近注入北部湾, 全长 287 km, 流域面积为 9704 km², 全程总落差为 1150 m, 河流平均坡降为 0.035% 左右, 常乐水文站段以上集水面积为 6592 km², 流域多年的平均流量为 233 m³/s, 多年平均径流量为 73.48 m³/s。钦江发源于灵山县的平山镇东山山麓, 流经灵山、钦州城区等 41 个乡镇, 流域总面积有 8282 km², 其中, 集水面积(陆屋水文站以上)为 2391 km²。干流的河长为 195 km, 平均坡降为 0.0321%, 多年平均流量约为 63.75 m³/s。

3. 资料与基流分割方法

3.1. 资料选取

选取广西入海河流南流江常乐水文站和钦江陆屋水文站 1970~2008 年的实测月流量资料, 采用数字滤波法和最小平滑法进行河流的基流分割, 进而分析两条河流的基流特征及变化情况。

3.2. 基流分割方法

由于所得的资料为水文测站实测河流径流量数据, 实际中难以直接测得河流基流, 需要对径流进行基流的分割, 以得到所研究流域的基流。当前, 国际上通常采用的方法是根据对汇流过程中响应速度的快慢特性, 将径流分为直接径流(quick flow)和基流

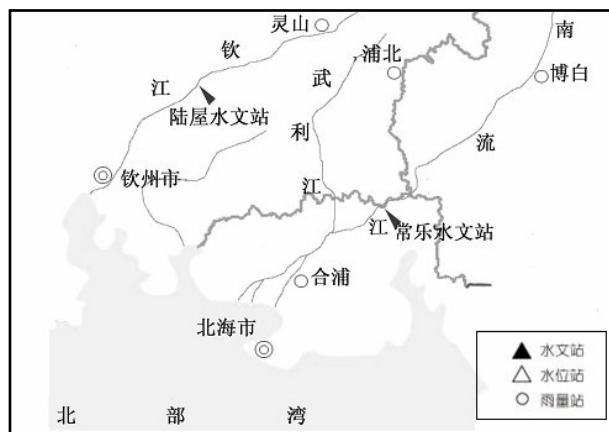


Figure 1. Sketch map of Nanliu River and Qin River position
图 1. 南流江、钦江位置示意图

(base flow)的数字滤波法, 其中直接径流(quick flow)和基流(base flow)也分别称作地表径流与地下径流。本文采用数字滤波法和最小平滑法进行基流分割比较, 这两种方法比较容易通过计算机的高效数据处理能力完成, 因此得到较广泛的应用。

3.2.1. 数字滤波法

该方法是由 Nathan 和 McMahon^[2]在 1990 年将数字滤波技术应用到了水文基流分割研究中得出的。其原理是利用代表流域降雨-径流过程中快速响应的直接地表径流特征与数字信号中高频部分的相似性, 以及代表慢速响应的地下径流与数字信号中的低频部分的相似性, 将径流数据信号通过数字滤波器分解为高频和低频信号。即将径流过程划分为直接径流(高频信号)和基流(低频信号)两个部分^[3]。

该法的计算原理公式为:

$$Q_d(i) = \beta Q_d(i-1) + \frac{1+\beta}{2} [Q(i) - Q(i-1)] \quad (1)$$

$$Q_b(i) = Q(i) - Q_d(i) \quad (2)$$

式中: $Q_d(i)$ 和 $Q_d(i-1)$ 分别表示滤波出来的第 i 和 $i-1$ 时刻的地表径流, $Q(i)$ 和 $Q(i-1)$ 分别表示第 i 和 $i-1$ 时刻的总径流, $Q_b(i)$ 和 $Q_b(i-1)$ 分别为第 i 和 $i-1$ 时刻的基流, β 为滤波系数, 推荐值为 0.925^[2] 或 0.90~0.95。

Arnold 和 Allen 通过在美国东西部范围内选取了 6 个代表流域来对此滤波方法进行研究验证, 得出结论认为这个方法具有操作简单、可重复性、执行速度快等多个应用优势^[4]。Mau 和 Winter^[5]研究

认为若选用适当的滤波参数进行基流分割, 用这种方法得到的结果与人工图形分割方法得到的结果较为一致。陈利群等^[6]通过分布式降雨模型进行模拟流域的基流过程研究时, 曾经与该法分割的基流进行对比分析, 比较结果说明两者具有较好的拟合类似性。

3.2.2. 最小平滑法

最小平滑法(Minimum Smoothing Method)是 1980 年由英国水文研究所提出的, D. Mazvimavi 等^[7]在 2004 年预测津巴布韦流域基流特性时也曾运用此方法进行研究。具体方法步骤是, 将系列流量序列划分成以 5d(或者 5 个计算时段)为一个单元的互不关联的单独模块, 然后分析确定然后筛选这些块中的最小值, 再采取特定的规则来判定由这些最小值所组成的系列拐点值, 最后将这些系列拐点线性描绘起来从而得到基流序列, 该方法在操作上较为简便易行, 因此在许多国家和地区得以应用。其计算步骤详见文献^[8]。

4. 基流分割

4.1. 基流分割结果

采用数字滤波法和最小平滑法得到的平均基流分割结果见图 2 和图 3。

当 β 值一定时(本文滤波程序中 β 值设置为 0.925), 随着滤波次数的增多, 基流曲线的起伏程度越小, 基流分割值所占到的总径流量比值就越小。由于采用第 3 滤波通道得到的基流较为平滑稳定, 因此选用第 3 滤波通道的基流结果和最小平滑法来做对比分析研究。应用平滑最小值法进行基流分割, 能够识别分析出总径流过程线上的最小值的拐点系列, 其所得到的基流过程线的幅度变化不大, 过程线较平稳。其中, 拐点就是地下径流序列从上升过程段折往下降过程段的一系列转折点^[9], 因此拐点是比相邻的最小数值点之间要大的点。由于最小平滑法主要是按照在划分的时段之内最小值的连线来进行基流分割的, 所以一般最后得出的值都会比实际数值要偏小, 最后到的基流序列基本上是比较低矮平稳的曲线, 因其是由总径流的最小值系列的绘图连线所形成。

4.2. 基流分割方法的比较

为了更直观比较评价基流分割的结果, 引入基流

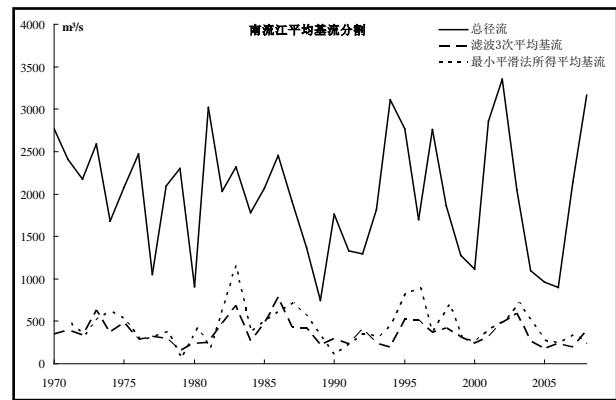


Figure 2. Baseflow separation of Nanliu River
图 2. 南流江基流分割

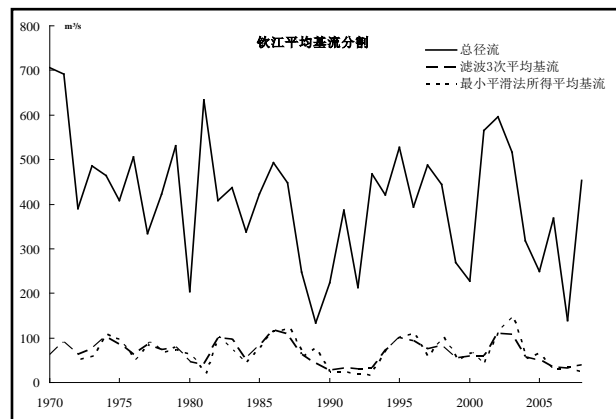


Figure 3. Baseflow separation of Qin River
图 3. 钦江基流分割

分割系数 $BFI^{[10]}$ (baseflow index)来做参考评价。BFI 是一段时间间隔内基流量与总径流量的比值, 计算式为:

$$BFI = \frac{\int_{t_1}^{t_2} Q_{\text{基流}}(t) dt}{\int_{t_1}^{t_2} Q_{\text{总径流}}(t) dt}$$

基流分割得到的南流江 $BFI = 0.22$, 钦江 $BFI = 0.16$ 。数字滤波法与最小平滑法的 BFI 值对比见表 1。

对比数字滤波法和最小平滑法的 BFI, 两个方法获得的基流指数较为相近, 但由于最小平滑法是由总径流序列上一系列转折点绘所形成的趋势曲线, 可以完成基流的自动分割, 基本符合基流特性; 数字滤波法所得到的平均基流通过多次滤波, 经过正反多次分析, 得到的过程线比最小平滑法更为平滑, 退水段更符合降雨在流域产汇流过程中的延滞作用。另外数字滤波法得出的基流过程线, 可能更真实地反映出了所研究的一个河流流域的物理实际^[11], 即在多年的时间序列过程中, 在一个流域的大的范围内, 地下基流

Table 1. Comparison of the baseflow index of digital filtering method and smoothed minima method

表 1. 数字滤波法与最小平滑值法的 BFI 值对比

河流	方法	BFI 值		
		滤波 1 次	滤波 2 次	滤波 3 次
南流江	数字滤波法	0.39	0.28	0.19
	最小平滑法		0.22	
钦江	数字滤波法	0.37	0.22	0.17
	最小平滑法		0.16	

的演进和退水过程受各种下垫面及各种条件的影响, 更加富有迟滞性, 整个过程是比较延迟平缓的情况。

5. 基流变化分析

5.1. 线性趋势法分析

采用线性趋势法来反映时间序列定性的变化趋势, 南流江和钦江 1970~2008 年总径流和平均基流(数字滤波法)的线性趋势分析见图 4 和图 5。结果显示: 南流江和钦江基流量的变幅远小于总径流量, 说明两条河流的基流比较稳定, 两河流的总径流和平均基流的年际变化都呈递减趋势。

5.2. Kendall 秩次相关法分析

南流江与钦江 1970~2008 年的总径流和平均基流的 Kendall 秩次相关计算值见表 2。从表 2 可知: 1) 南流江和钦江的 Kendall 秩次相关系数都在±1.96 范围内, 说明其总径流和平均基流流量变化趋势均不显著; 2) 南流江和钦江总径流和平均基流的流量变化趋势与线性趋势法所反映的规律和趋势相似, 其总径流和平均基流的流量都呈现下降的趋势。

6. 结论

以广西北部湾经济区入海河流的代表性河流南流江和钦江 1970~2008 年径流资料为分析对象, 本应用数字滤波法和平滑最小值法对河道径流进行了平均基流分割, 结论如下:

- 1) 采用数字滤波法第 3 通道滤波(滤波 3 次)和最小平滑法得到的平均基流结果拟合程度较好。
- 2) 在多年时间流量过程中, 南流江和钦江基流

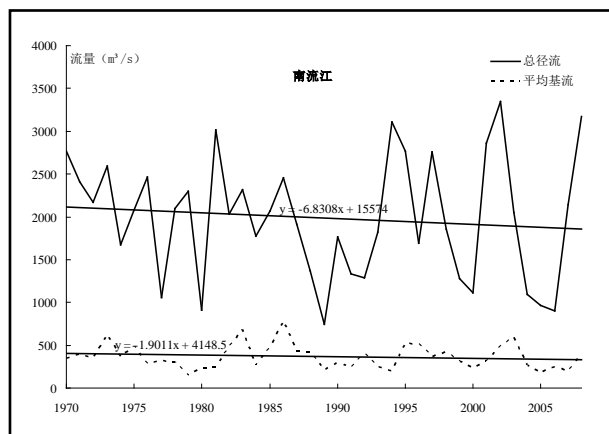


Figure 4. Linear tendency of annual total runoff and average baseflow in Nanliu River

图 4. 南流江多年总径流与平均基流线性趋势

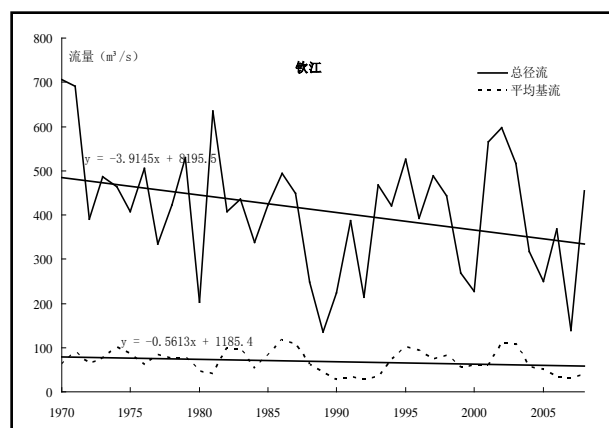


Figure 5. Linear tendency of annual total runoff and average baseflow in Qin River

图 5. 钦江多年总径流与平均基流线性趋势

Table 2. Change tendency of total runoff and baseflow in Nanliu River and Qin River

表 2. 南流江和钦江总径流及基流变化趋势

河流		Kendall 秩次相关法			线性趋势法
		Z	趋势	显著性	
南流江	总径流	-1.25	减少	不显著	减少
	基流	-1.15	减少	不显著	减少
钦江	总径流	-1.21	减少	不显著	减少
	基流	-1.08	减少	不显著	减少

占总径流的比例约为 20%, 年际平均基流的变化趋势较为稳定, 两条河流的径流和基流量呈下降趋势, 但变化趋势不显著。

基金项目

广西高等学校优秀人才资助计划, 广西自然科学

基金(2013GXNSFBA019228), 广西教育厅科技重点项目(201202ZD047), 广西矿冶与环境科学实验中心资助项目(KH2012ZD004)。

参考文献 (References)

- [1] 包为民. 水文预报[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1986. BAO Weimin. Hydrology forecast. Beijing: China Water Power Press, 1986. (in Chinese)
- [2] 徐磊磊, 刘敬林, 金昌杰, 等. 水文过程的基流分割方法研究进展[J]. 应用生态学报, 2011, 22(11):3073-3080. XU Leilei, LIU Jinglin, JIN Changjie, et al. Baseflow separation methods in hydrological process research: A review. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(11): 3073-3080. (in Chinese)
- [3] 林凯荣, 陈晓红, 江涛, 等. 数字滤波进行基流分割的应用研究[J]. 水力发电, 2008, 34(6): 29-88. LIN Kairong, CHEN Xiaohong, JIANG Tao, et al. Application and study on base flow separation using digital filters. Water Power, 2008, 34(6): 29-88. (in Chinese)
- [4] ARNOLD, J. G., ALLEN, P. M., MUTTIAH, R. and BERNHARDT, G. Automated base flow separation and recession analysis techniques. Groundwater, 1995, 33(6): 1011-1018.
- [5] MAU, D. P. WINTER, T. C. Estimating groundwater recharge from streamflow hydrographs for a small mountain watershed in a temperate humid climate. Groundwater, 1997, 35: 291-304.
- [6] 陈利群. 基流研究综述. 地理科学进展, 2006, 25(1): 1-15. CHEN Liqun. A review of the research on baseflow. Progress in Geography, 2006, 25(1): 1-15. (in Chinese)
- [7] MAZVIMAVI, D., MEIJERINK, A. M. J. and STEIN, A. Prediction of base flows from basin characteristics: A case study from Zimbabwe. Hydrological Sciences Journal, 2004, 49(4): 703-715.
- [8] CHAPMAN, T. A comparison of algorithms for stream flow recession and baseflow separation. Hydrological Processes, 1999, 13: 701-714.
- [9] 董晓华, 邓霞, 薄会娟, 等. 平滑最小值法与数字滤波法在流域径流分割中的应用比较[J]. 三峡大学学报: 自然科学版, 2010, 32(2): 1-4. DONG Xiaohua, DENG Xia, BO Huijuan, et al. A comparison between smoothed minima and digital filtering methods applied to catchment baseflow separation. Journal of China Three Gorges University: Natural Sciences, 2010, 32(2): 1-4. (in Chinese)
- [10] ARNOLD, J. ALLEN, P. Automated methods for estimating baseflow and ground water recharge from streamflow records. Journal of the American Water Resources Association, 1999, 35(2): 411-424.
- [11] 崔玉洁, 刘德富, 宋林旭, 等. 数字滤波法在三峡库区香溪河流域基流分割中的应用[J]. 水文, 2011, 32(6): 18-22. CUI Yujie, LIU Defu, SONG Linxu, et al. Application of digital filtering theory in baseflow separation in Xiangxi River watershed of Three Gorges reservoir area. Journal of China Hydrology, 2011, 32(6): 18-22. (in Chinese)