

流域下垫面变化影响下入库设计洪水的修订

丛娜,冯平

(天津大学 建筑工程学院,天津 300072)

摘要: 受基础设施建设、工农业生产、生态环境建设等人类活动影响,海河流域下垫面发生了一些变化,导致设计洪水也随之发生相应的变化。现根据王快水库实测降雨径流资料,对降雨和洪峰进行趋势与变异分析,识别出入库洪水序列的变异点,然后采用降雨径流相关法、峰量相关法对洪量和洪峰序列进行了修订,并对修订前后的洪水序列进行了频率分析。结果表明,下垫面变化的影响会使入库设计洪水减小,相应水库校核防洪标准10 000年一遇的洪峰流量减少了2.38%。探讨下垫面变化后入库设计洪水的修订问题,对于调整流域防洪对策和防洪工程的布局具有重要的现实意义。

关键词: 下垫面变化;设计洪水;洪水修订;王快水库

中图分类号: TV 124 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672 1683(2014) 02-0006-05

Revision on Reservoir Inflow Design Flood under the Variation Impact of Underlying Surface

CONG Na, FENG Ping

(School of Civil Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: Under the influence of infrastructure construction, industrial and agricultural production, ecological environment construction, and other human activities, the underlying surface of the Haihe River Basin has been changed, which leads to corresponding variation in the design flood. In this paper, based on the data of measured rainfall and runoff in the Wangkuai Reservoir, the trend and aberrance point of rainfall and flood peak were analyzed and used to identify the aberrance point in the series of reservoir inflow flood. The rainfall-runoff relationship method and the peak volume correlation method were used to modify the series of flood volume and flood peak in the Wangkuai Reservoir, and flood frequency analysis was performed on the flood series before and after modification. The results showed that the variation of underlying surface can cause the reduction in the reservoir inflow design flood, and the corresponding flood control standard of the worst flood once in ten thousand years has decreased by 2.38%. The study of the revision on reservoir inflow design flood under the variation of underlying surface is of important significance for the adjustment of flood control measures and layout of flood control engineering.

Key words: variation of underlying surface; design flood; flood revision; Wangkuai Reservoir

由于人类活动对下垫面的扰动,流域水文序列的一致性发生了一定的变化,这将影响到防洪工程布局与防洪对策的调整。因此,估算下垫面变化条件下的设计洪水(即对原洪峰序列和洪量序列进行修订,具有重要的理论和现实意义)。国内外许多学者针对下垫面变化对洪水、径流(包括设计洪水)的影响问题进行了大量研究^[1-4]。

当水文站以上流域的人类活动频繁且有水量耗用时,必须对观测值进行修订,这一过程即一致性修订^[5]。目前国内外水文序列修订方法主要有逐项调查法、蒸发插值法、模型法等⁶,但这些方法往往存在计算精度不高、还原项目难以考虑

完全、天然径流还原基础较难一致等问题。

根据流域内的降雨、径流资料,可以建立降雨-径流相关关系^[7],对流域径流序列进行修订。测站以上的现状洪水径流量与天然洪水径流量的差值,就是流域洪水径流量在下垫面变化后引起的减少量,利用这一减少量便可以对变化前洪量序列进行修订。因此,本文采用降雨-径流相关法,将洪水径流量“还原”到现状下垫面条件下的径流量,即“向后还原”,来实现对洪量序列的修订;然后再采用洪水峰量相关法,进行洪峰序列的修订,从而达到对入库设计洪水的修订目的,为完善水库的防洪调

收稿日期: 2013-11-12 修回日期: 2014-02-17 网络出版时间: 2014-03-10

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2014.02.001.html>

基金项目: 国家自然科学基金项目(51279123; 51179117)

作者简介: 丛娜(1988-),女(满族),北京人,硕士研究生,主要从事水文学及水资源问题研究。E-mail: congna2007@163.com

通讯作者: 冯平(1964-),男,黑龙江密山人,教授,博士,从事水文水资源方面研究。E-mail: fengping@tju.edu.cn

度与管理提供支持。

1 研究方法

1.1 水文序列的趋势和变异分析

对水文序列进行一致性修订前,首先需要在水文序列的变化趋势进行分析,即趋势性和变异性,并通过一定的方法检验。检验趋势性与变异性的方法众多,其中非参数的方法运用较多。熊立华等^[8]用 Spearman 和 Mann Kendall 秩次相关检验法检验了长江宜昌站年径流趋势,王荣恩等^[9]用方差分析法分析了黑龙江省主要江河水文序列,张爱静^[10]用双累积曲线法分析了东北地区流域的径流序列,谢平等^[11]采用成因分析法与统计分析法分别对水文序列确定性成分和随机性成分进行识别与检验。本文将采用 Spearman^[12]、Mann Kendall 秩次相关检验法^[13]、滑动平均法^[14]、滑动 F 检验法^[15]、双累积曲线法^[16],对海河流域大清河水系主要水库站暴雨量和洪峰流量序列进行趋势性和变异性分析。

1.1.1 趋势检验方法

(1) Spearman 秩次相关检验法。Spearman 秩次相关检验法是通过分析时间序列与其时序的相关性来检验趋势性的,它是采用 t 检验法检验序列秩次相关系数是否异于零,来判断序列的趋势变化。其假定统计量 T 服从自由度为 $(n-2)$ 的 t 分布,并用统计量 T 作为时间序列趋势性大小的衡量标度。 T 越大,则序列的趋势性变化越显著。

$$T = r \left(\frac{n-4}{1-r^2} \right)^{1/2}, r = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (R_i - i)^2}{n^3 - n} \quad (1)$$

式中: r 为秩次相关系数; n 为序列长度; i 为序列时序; R_i 为秩次。

(2) Mann Kendall 秩次相关检验法 (M-K 方法)。M-K 方法趋势检验是在序列平稳的条件下,首先假定时间序列无趋势,计算其统计量 S 和 M-K 检验统计量 Z 。当 Z 为正值(负值)时,表明时间序列呈上升(下降)趋势。

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(X_j - X_i) \quad (2)$$

$$Z = \begin{cases} (S-1)/\sqrt{\text{var}(S)} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ (S+1)/\sqrt{\text{var}(S)} & S < 0 \end{cases} \quad (3)$$

当 $n \geq 10$ 时,统计量 S 近似服从正态分布,其均值 $E(S)$ 和方差 $\text{var}(S)$ 分别为:

$$E(S) = 0, \text{var}(S) = n(n-1)(2n+5)/18 \quad (4)$$

式中: n 为序列长度。

1.1.2 变异检验方法

(1) 双累积曲线法。双累积曲线法是在直角坐标系中绘制同时期内一个参考变量的连续累积值与另一个被检验变量的连续累积值的关系线,是检验变量变化的常用方法。采用降雨-径流双累积曲线法,能便捷直观地确定径流序列的突变时间。

(2) 滑动 F 检验法。假设变异点 m 前后,两序列总体的分布函数分别为 $F_1(x)$ 和 $F_2(x)$,从总体 $F_1(x)$ 和 $F_2(x)$ 中分别抽取容量为 n_1 和 n_2 的两个样本,要求检验原假设:

$$F_1(x) = F_2(x)。$$

设 x_1, x_2, \dots, x_{n_1} 与 y_1, y_2, \dots, y_{n_2} 分别代表变异点 m 前后两个样本系列,则样本均值和方差分别为:

$$\bar{X} = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} X_i, \bar{Y} = \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^{n_2} Y_i \quad (5)$$

$$S_1^2 = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} (X_i - \bar{X})^2, S_2^2 = \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^{n_2} (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (6)$$

令 $M = n_1 S_{12} / (n_1 - 1), N = n_2 S_{22} / (n_2 - 1)$,若 $M > N$ 则 $F = M/N$,自由度为 $V_1 = n_1 - 1, V_2 = n_2 - 1$;若 $M < N$,则 $F = N/M$,自由度为 $V_1 = n_2 - 1, V_2 = n_1 - 1$ 。在显著性水平为 α 下,由 V_1 和 V_2 查出临界值 F ,对序列进行逐点检验,从中确定使 F 统计量达到极大值的点即为所求变异点。

1.2 径流序列的一致性修订

本文采用降雨-径流相关法“还原”径流量。首先根据实测的场次降雨量和洪水流量资料,分别计算与降雨、径流相关的水文要素,包括前期影响雨量 P_a 、平均降雨量和地面径流深;然后以洪水序列突变点为分界,分别点绘两个序列的 P_a - R 相关图,据此便可分析流域下垫面变化对次洪量的影响。即根据下垫面变化前某次洪水所对应的降雨量,从相关图中分别查出下垫面变化前后的径流深,由其变化值就是下垫面一致性修订值,以此进行逐次洪水修订,即可实现洪量系列的修订。

通过上述降雨-径流相关法还可以对入库洪量序列进行修订。因此只要再建立不同时段洪量与洪峰的相关图,就可以根据不同时段洪量的变化幅度,并估算确定洪峰的变化量,从而得到修订后的洪峰流量序列,达到对入库洪峰流量进行“还原”的目的。

2 实例分析

2.1 流域基本情况

大清河水系位于海河流域中部,西起太行山,东临渤海湾,北邻永定河,南界子牙河,东西长约 275 km,南北宽约 200 km,流域面积 34 060 km²。流域范围内降雨量春冬季较少,夏季较多,主要集中在 7 月、8 月。流域内主要有王快、西大洋、龙门、横山岭等水库。本文以王快水库为例,来探讨下垫面变化影响下设计洪水修订问题。

王快水库位于河北省曲阳县郑家庄西、大清河上游,控制流域面积为 3 770 km²,总库容 13.89 亿 m³,是一座以防洪为主,结合灌溉、发电等综合利用的大(Ⅱ)型水利枢纽工程。水库始建于 1958 年 6 月,2002 年开始进行以扩建溢洪道和大坝加固为主的水库除险加固工程,工程完成后,水库校核防洪标准达 10 000 年一遇。20 世纪 80 年代以来,水保工程、退耕还林等活动使其流域下垫面发生了明显变化。

2.2 降雨和流量序列的趋势与变异分析

从 1956 年-2005 年王快水库实测降雨径流资料中,选取年最大洪峰流量和相应的次降雨量,分别采用 M-K 检验法、滑动平均法和 Spearman 法对该降雨和洪峰流量序列进行趋势分析,结果见表 1。

从表 1 可以看出,王快水库的次降雨量和洪峰流量均有下降趋势,其中洪峰序列的检验结果为下降显著,而对降雨

序列的 M-K 和 Spearman 检验结果分别为显著和不显著。由图 1 可以看出, 位于序列首端的 1963 年出现了特大暴雨, 这可能导致了降雨量序列的趋势统计结果为显著或不显著的下降趋势。

表 1 王快水库降雨、流量序列趋势分析

Table 1 Trend analysis of the precipitation and flood peak series of the Wangkuai Reservoir

序列类型	降雨序列		流量序列	
	M-K 法	Spearman 法	M-K 法	Spearman 法
统计量	- 2.451	1.927	- 2.419	3.082
趋势性	下降	下降	下降	下降
是否显著	显著	不显著	显著	显著

图 1 和图 2 为降雨和洪峰流量的 5 年滑动平均结果, 从中可看出, 均呈下降趋势。由图 3 的双累积曲线可知, 洪峰流量序列变异点为 1979 年。并且滑动 F 检验法计算得到的洪峰流量序列变异点也为 1979 年。综上, 王快水库次降雨量、入库洪峰均呈现下降趋势, 变异点可确定为 1979 年。

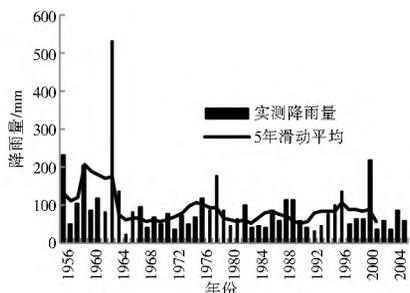


图 1 降雨量序列滑动平均图

Fig. 1 5-year running mean of the precipitation series

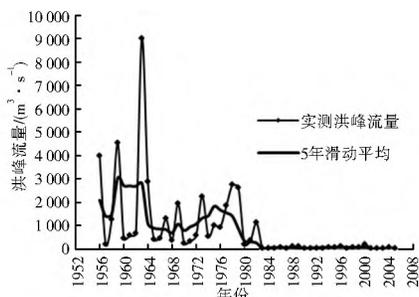


图 2 洪峰流量序列滑动平均图

Fig. 2 5-year running mean of the flood peak series

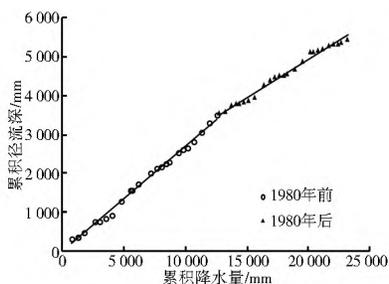


图 3 降雨径流双累积曲线

Fig. 3 Double mass curve of the rainfall and runoff

2.3 洪量的修订

选取了王快水库以上流域 1956 年- 2004 年实测降雨径流资料中 42 场暴雨洪水过程, 分别计算每场洪水相应的降

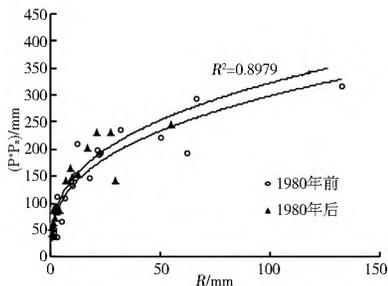


图 4 降雨- 径流相关图

Fig. 4 Relationship between $(P+ Pa)$ and R

雨总量 P 、洪水总量 R 和每场洪水的前期影响雨量 Pa , 建立 1980 年前后的 $(P+ Pa) \sim R$ 相关图 (图 4)。结果表明, 在王快水库以上流域, 相同降雨量情况下, 1980 年后的次洪流量与 1980 年前相比有所减小, 说明在降雨量相同的情况下, 流域下垫面条件的变化使产流量变小。由其变化值可得到降雨量 P 的相应次洪量的下垫面一致性修订值, 因此可实现洪量系列的修订。

2.4 洪峰的修订

利用上述 42 场暴雨洪水资料, 分别建立王快水库不同时段入库洪量与洪峰的相关图 (图 5), 即可根据不同时段洪量的修订值, 来计算确定洪峰的变化量, 从而实现对洪峰序列的修订。

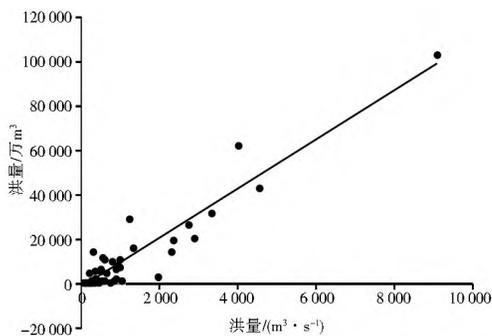


图 5 峰量相关图

Fig. 5 Correlation diagram of flood peak and flood volume

2.5 设计洪水计算

通过上述分析, 可以得到考虑下垫面变化影响后“还原”的王快水库入库洪峰和不同时段的洪量序列, 这样便可在考虑历史特大洪水情况下, 对修订前和修订后洪水序列进行频率分析计算, 结果见表 2。图 6 和图 7 分别是修订前后洪峰序列的频率曲线。

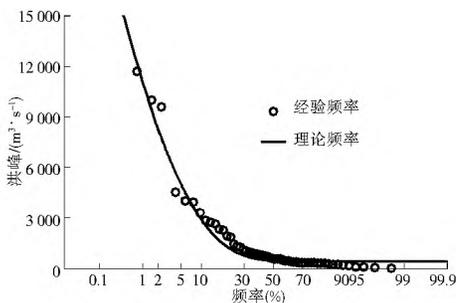


图 6 王快水库洪峰序列频率曲线

Fig. 6 Frequency curve of the original flood peak series of the Wangkuai Reservoir

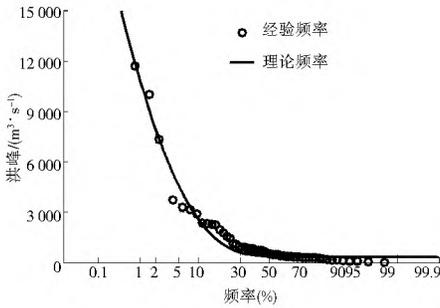


图 7 修正后的王快水库洪峰序列频率曲线

Fig. 7 Frequency curve of the revised flood peak series of the Wangkuai Reservoir

表 2 下垫面变化影响修订前后设计洪水计算成果

Table 2 Design flood based on the original and revised flood time series under the variation impact of underlying surface

洪水特征	频率统计参数			频率(%)					
	均值	C_v	C_s/C_v	0.01	0.1	0.5	1	5	
修订前	$Q/(m^3 \cdot s^{-1})$	1 257	1.7	3.00	32 030	21 153	13 976	11 062	5 009
	W1/亿 m^3	0.56	2.20	2.50	19.07	12.40	8.02	6.25	2.62
	W3/亿 m^3	1.10	2.00	2.50	32.32	21.34	14.09	11.14	4.99
	W6/亿 m^3	1.52	1.80	2.50	37.91	25.46	17.17	13.78	6.59
修订后	$Q/(m^3 \cdot s^{-1})$	1 121	1.80	3.00	31 268	20 451	13 341	10 468	4 558
	变化(%)	10.82	-	-	2.38	3.32	4.54	5.37	9.00
	W1/亿 m^3	0.49	2.35	2.50	18.52	11.90	7.58	5.84	2.33
	变化(%)	12.50	-	-	2.88	4.03	5.49	6.56	11.07
	W3/亿 m^3	0.96	2.15	2.50	31.74	20.71	13.46	10.52	4.49
	变化(%)	12.73	-	-	1.79	2.95	4.47	5.57	10.02
	W6/亿 m^3	1.34	1.90	2.50	36.26	24.14	16.11	12.83	5.94
	变化(%)	11.84	-	-	4.35	5.18	6.17	6.89	9.86

3 结语

本文以大清河流域王快水库为研究对象,对 1956 年—2005 年的天然年径流系列进行一致性分析,确定了水文序列的变异点为 1979 年。然后用降雨径流相关法,修订了洪量序列,根据峰量相关进一步修订洪峰值,实现了下垫面影响较大水文序列的一致性修订。通过对王快修订前后水库入库洪水序列的频率分析计算,水保工程、退耕还林等形式的下垫面的变化导致流域的产流量减少,设计洪水均呈变小的趋势。相应水库校核防洪标准 10 000 年一遇的洪峰流量减少了 2.38%。

基于传统的相关分析法进行下垫面变化影响下设计洪水的修订,其本质是对除降水以外影响径流的各种因素进行的统一修订,即把除降水以外的其他因素都归于下垫面变化,其计算精度还需进一步讨论。

参考文献(References):

[1] 陈民,谢悦波,冯宇鹏. 人类活动对海河流域径流系列一致性影响的分析[J]. 水文, 2007, (3): 57-59. (CHEN Min, XIE Yuebo, FENG Yupeng. Influence of Human Activity on Consistency of Runoff Series in Haihe River Basin[J]. Journal of China Hydrology, 2007, 27(3): 57-59. (in Chinese))

[2] 姚治君,管彦平,高迎春. 潮白河径流分布规律及人类活动对径流的影响分析[J]. 地理科学进展, 2003, 22(6): 599-606. (YAO

通过对修订后与修订前的洪水序列频率分析结果比较(表 2),发现其均值和不同重现期的设计值均有减小,其中洪峰流量均值减小了 10.82%,1 日、3 日和 6 日洪量均值分别减小了 12.50%、12.73% 和 11.84%。相应水库校核防洪标准 10 000 年一遇的洪峰流量减少了 2.38%。说明由于下垫面变化的影响,特别是水保工程、退耕还林等形式的下垫面的变化,王快水库的洪峰流量和洪量均有减小的趋势,并且小洪水的洪峰和洪量比大洪水减少的更多。这种结果符合流域对洪水的调蓄作用,下垫面的变化对小洪水比大洪水的调蓄作用更加明显。

Zhi jun, GUAN Yair ping, GAO Ying chun. Analysis of Distribution Regulation of Annual Runoff and Affection to Annual Runoff by Human Activity in the Chaobaihe River[J]. Progress in Geography, 2003, 22(6): 599-606. (in Chinese))

[3] THERESIA P, BRUNO M. Trends in Flood Magnitude, Frequency and Seasonality in Germany in the Period 1951-2002 [J]. Journal of Hydrology, 2009, 371: 129-141.

[4] 张建中,毛慧慧. 下垫面变化条件下设计洪水的修订方法研究[J]. 水利水电技术, 2012, 43(12): 1-4, 8. (ZHANG Jianzhong, MAO Huihui. Study on Method for Modification of Design Flood under Condition of Change of Underlying Surface [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2012, 43(12): 1-4, 8. (in Chinese))

[5] 周鹏,张中华. 天然径流一致性修正方法应用及问题探讨[J]. 东北水利水电, 2008, 26(12): 11-12, 71. (ZHOU Peng, ZHANG Zhonghua. Discussion and Application of Natural Runoff Consistency Correction Method [J]. Water Resources & Hydropower of Northeast China, 2008, 26(12): 11-12, 71. (in Chinese))

[6] 沈宏. 天然径流还原计算方法初步探讨[J]. 水利规划与设计, 2003, (3): 15-18, 47. (SHEN Hong. Probing on the Reducing Calculation Method of Natural Runoff [J]. Water Resources Planning and Design, 2003, (3): 15-18, 47. (in Chinese))

[7] 张强,宋智明. 于桥水库降雨径流相关图预报方案修订分析[J]. 海河水利, 2005, (5): 50-51. (ZHANG Qiang, SONG Zhi

- ming. Analysis of Yuqiao Reservoir Rainfall Runoff Correction Graph Forecast Program Revision[J]. Haihe Water Resources, 2005, (5): 50-51. (in Chinese)
- [8] XIONG Lihua, GUO Shenglian. Trend Test and Change Point Detection for the Annual Discharge Series of the Yangtze River at the Yichang Hydrological Station[J]. Hydrological Sciences, 2004, 49(1): 99-112.
- [9] 王恩荣, 耿鸿江. 黑龙江省主要江河水文要素的周期分析[J]. 水文, 1995, (1): 42-47, 53. (WANG Rong-en, GENG Hongjiang. The Main Elements of the Heilongjiang River Hydrological Cycle Analysis[J]. Journal of China Hydrology, 1995, (1): 42-47, 53. (in Chinese))
- [10] 张爱静. 东北地区流域径流对气候变化与人类活动的响应特征研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2013: 33-45. (ZHANG Aijing. Research on the Streamflow Responses to Climate Variability and Human Activities in Northeast China[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2013: 33-45. (in Chinese))
- [11] 谢平, 陈广才, 夏军. 变化环境下非一致性年径流序列的水文频率计算原理[J]. 武汉大学学报(工学版), 2005, 38(6): 6-9, 15. (XIE Ping, CHENG Guangcai, XIA Jun. Hydrological Frequency Calculation Principle of Inconsistent Annual Runoff Series under Changing Environments [J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2005, 38(6): 6-9, 15. (in Chinese))
- [12] 许全喜, 石国钰, 陈泽方. 长江上游近期水沙变化特点及其趋势分析[J]. 水科学进展, 2004, (4): 420-426. (XU Quanxi, SHI Guoyu, CHEN Zefang. Analysis of Recent Changing Characteristics and Tendency Runoff and Sediment Transport in the Upper Reach of Yangtze River[J]. Advances in Water Science, 2004, (4): 420-426. (in Chinese))
- [13] 刘叶玲, 翟晓丽, 郑爱勤. 关中盆地降水量变化趋势的 Mann-Kendall 分析[J]. 人民黄河, 2012, 34(2): 28-30, 33. (LIU Yeling, ZHAI Xiaoli, ZHANG Aiqin. Analysis of Precipitation Trend in the Guanzhong Basin Based on the Mann-Kendall Method[J]. Yellow River, 2012, 34(2): 28-30, 33. (in Chinese))
- [14] 郭鹏, 陈晓玲, 刘影. 鄱阳湖湖口、外洲、梅港三站水沙变化及趋势分析(1955-2001年)[J]. 湖泊科学, 2006, 18(5): 458-463. (GUO Peng, CHEN Xiaoling, LIU Ying. Analysis on the Runoff and Sediment Transportation in the Houkou, Waizhou and Meigang Stations of Lake Poyang during 1955-2001[J]. Journal of Lake Sciences, 2006, 18(5): 458-463. (in Chinese))
- [15] 陈广才, 谢平. 水文变异的滑动 F 识别与检验方法[J]. 水文, 2006, 26(2): 57-60. (CEN Guangcai, XIE Ping. Slide F test of Change Point Analysis[J]. Journal of China Hydrology, 2006, 26(2): 57-60. (in Chinese))
- [16] 穆兴民, 张秀勤, 高鹏, 王飞. 双累积曲线方法理论及在水文气象领域应用中应注意的问题[J]. 水文, 2010, 30(4): 47-51. (MU Xingmin, ZHANG Xiurqin, GAO Peng, WANG Fei. Theory of Double Mass Curves and Its Applications in Hydrology and Meteorology [J]. Journal of China Hydrology, 2010, 30(4): 47-51. (in Chinese))

(上接第5页)

- [7] 雷小途, 陈联寿. 西北太平洋热带气旋活动的纬度分布特征[J]. 应用气象学报, 2002, 13(2): 218-227. (LEI Xiaotu, CHEN Lianshou. The Latitudinal Distribution of Climatic Characteristics on Tropical Cyclone Activities in the WNP[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 13(2): 218-227. (in Chinese))
- [8] 崔方, 郭品文, 吴建秋. 近50年中国极端降水事件的观测研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(27): 13170-13172. (CUI Fang, GUO Pinwen, WU Jianqiu. Observation Study on the Extreme Precipitation Events in China during Recent 50 Years [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009, 37(27): 13170-13172. (in Chinese))
- [9] 王小玲, 任福民. 1951-2004年登陆我国热带气旋频数和强度的变化[J]. 海洋预报, 2008, 25(1): 65-73. (WANG Xiaoling, REN Furmin. Variations in Frequency and Intensity of Landfall Tropical Cyclones Over China During 1951-2004 [J]. Marine Forecasts, 2008, 25(1): 65-73. (in Chinese))
- [10] GB/T 19201-2006, 热带气旋等级[S]. (GB/T 19201-2006, Grade of Tropical Cyclones[S]. (in Chinese))
- [11] 李江南, 王安宇, 杨兆礼, 等. 热带气旋暴雨研究的进展[J]. 热带气象学报, 2003, (19): 152-159. (LI Jiangnan, WANG Anyu, YANG Zhaoli, et al. Advancement in the Study of Typhoon Rainstorm[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2003, (19): 152-159. (in Chinese))
- [12] 曹钢锋, 朱官忠, 朱君鉴. 影响我国北方的台风路径分类及降水特征[J]. 气象, 1992, 18(7): 12-16. (CAO Gangfeng, ZHU Guanzhong, ZHU Junjian. The Classification of the Typhoon Path and Precipitation Characteristics Affecting Northern China[J]. Meteorological Monthly, 1992, 18(7): 12-16. (in Chinese))
- [13] GB/T 28592-2012, 降水量等级[S]. (GB/T 28592-2012, Grade of Precipitation [S]. (in Chinese))
- [14] 谭燕, 陈德辉. 河南“75·8”大暴雨的中尺度集合预报试验[J]. 气象, 2008, 34(9): 10-21. (TAN Yan, CHEN Dehui. Mesoscale Ensemble Forecasts on “75·8” Heavy Rain in Henan[J]. Meteorological Monthly, 2008, 34(9): 10-21. (in Chinese))