

海流兔河径流量年内分配及变化趋势分析

张丹蓉¹, 郭勉辰¹, 夏冬梅², 李亚函¹, 谢悦波¹, 管仪庆¹

(1.河海大学水文水资源学院,江苏 南京 210098;

2.安徽省·水利部淮河委员会水利科学研究院,安徽 蚌埠 233000)

摘要:采用不同方法对黄河中游典型风沙滩河流海流兔河 1957~2007 年的径流资料进行了分析。采用年内分配不均匀系数法分析表明,海流兔流域径流年内分配均匀,集中度低。应用 Mann-Kendall 秩次检验法,证明年径流序列存在明显下降趋势。而同时期的降雨量不存在显著的趋势,且降水年内分配十分不均,主要集中在夏季的 7~9 月,冬季少雨。利用情势变化指数法(RSI)分析得到海流兔河年径流变化的几个阶段分别为 1957~1967 年、1968~1988 年、1989~2000 年、2001~2007 年。通过对比降水资料和径流资料的变化趋势和年内分配,发现降水对径流变化的影响不明显。

关键词:突变点分析;趋势分析;M-K 检验;情势变化指数法

中图分类号:P732

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2013)03-0085-06

1 引言

在水文系统中,水文时间序列变化常常具有趋势特征。受自然条件及人类活动影响,流域水文特征时间序列的演变特征将发生变化。径流的变化直接关系到水资源的变化,分析径流的变化趋势对水资源可持续利用具有十分重要的现实意义。因此国内外在流域径流变化趋势方面有着诸多研究^[1-7],在我国干旱半干旱地区水资源是最关键的生态因子,其合理分配与利用可以带来巨大的社会效益,同时又为可持续发展奠定坚实的基础。穆兴民等^[8]对黄河天然径流量年际变化过程进行分析,指出黄河流域天然径流至 2010 年开始恢复到多年平均水平;张建云等^[9]认为黄河中游干流控制站实测径流量与区间径流量均具有显著的减少趋势,近些年黄河中游气温升高和降水减少是河川径流减少的重要原因之一。陈元芳等^[10]通过对甘肃河西区出山径流的统计特性分析预测指出该地区年径流多数有下降趋势;李林等^[11]对黑河上游地区气候变化对径流量的影响研究指出黑河上游年流量呈增多趋势。张鑫等^[12]在对无定河径流趋势的研究中发现

无定河流域在过去 50 年时间内径流总体呈下降趋势,而且在未来的一段时间内,此趋势会持续下去。这些研究对指导当地水资源的规划和利用起到一定的指导作用。黄河中游风沙滩典型河流海流兔河地处陕北-内蒙能源基地,流域地下蕴藏着丰富的煤炭、石油、天然气、钠盐等矿产资源,开发潜力巨大,是我国 21 世纪重要的能源基地,因此,对这样一个缺水少雨而矿产资源丰富地区的水资源研究具有十分重要的现实意义。通过对海流兔河径流数据的分析,推求其年内分配及变化趋势,分析其变化原因,可为区域开发规划提供参考,为区域水资源管理提供理论依据。

2 流域概况

海流兔河地处陕北黄土高原北部与毛乌素沙漠东南边缘的风沙滩地区,为黄河的二级支流(见图 1)。流域面积为 2 645 km²(38°06'~38°50'N, 108°37'~109°15'E),地表覆盖固定、半固定沙丘。表层为第四纪风积沙、下伏砂岩或泥岩。流域属温带大陆性气候。年日照时间为 2 716.4~3 193.9h,多年平均日照时数为 2 962h。年平均气温在 5.3~8.7℃,平均月最低气温为-10~13℃,7 月

收稿日期:2012-09-26

基金项目:国家自然科学基金(51209064);the Asia Facility for China Project "Partnership for Research and Education in Water and Ecosystem Interactions"(10025990)

作者简介:张丹蓉(1972-),女,江苏南京人,副教授,博士,主要从事水资源和水生态研究。E-mail: danrong_zhang@hhu.edu.cn

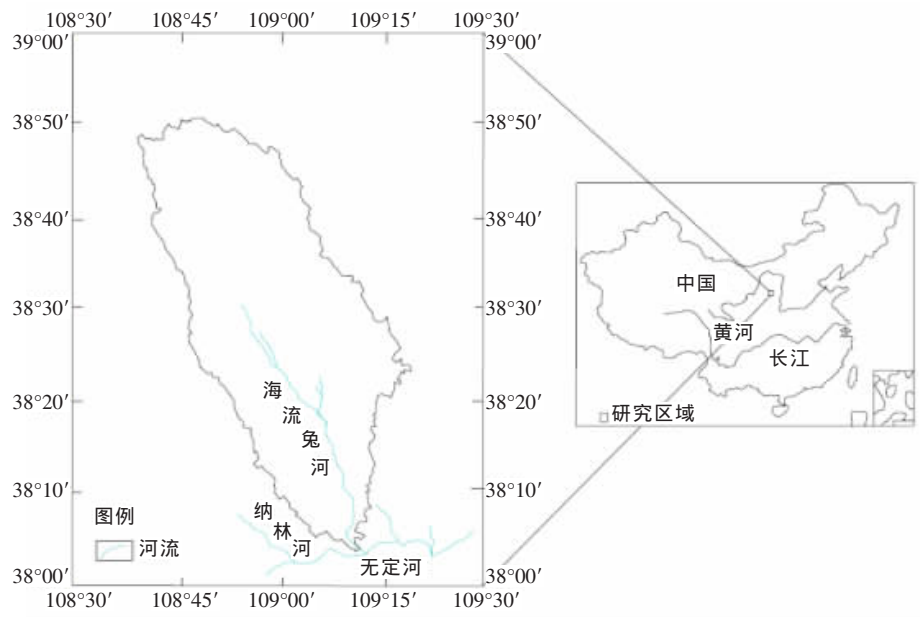


图1 海流兔河流域位置图

Fig.1 Location of the Hailiutu River basin

平均气温为 21~25℃, 全年气温日差为 11~15℃, 年差为 45~50℃。降水量为 190~400mm, 全年降水集中在 7~9 月。蒸发量大, 年潜在蒸散发量为 2 000~3 000mm。

3 数据和方法

海流兔河径流量采用出口断面韩家峁水文站 1957~2007 年的流量观测资料, 同时也收集了韩家峁站的同历时降雨资料。各时间序列变化趋势的显著性采用 Mann-Kendall 方法检验(M-K 检验)^[13-14]; 突变点分析采用情势变化指数法(RSI)^[15]; 并采用年内分配不均匀系数法分析变量的年内分布特性^[16-17]。

4 径流量的时程分配

4.1 年内变化特征

4.1.1 径流年内分配特点

根据韩家峁站流量资料, 计算出各月平均流量年内分布(见图 2)。

表 1 给出了 1957~2007 年各月平均径流量、最大径流量、最小径流量值, 可以看出: 海流兔河径流年内分布较均匀, 5、6、7 月径流量偏低, 6 月份为径流量最小月, 仅为 2.13m³/s, 8 月份径流量最高, 达到 3.38m³/s, 其他月份之间分配极为接近, 百分比基本都维持在 8%~9%左右。与大流域的年内分布不均匀、变化幅度大、集中等特性相比^[18], 显示出小区域具有局部特征。

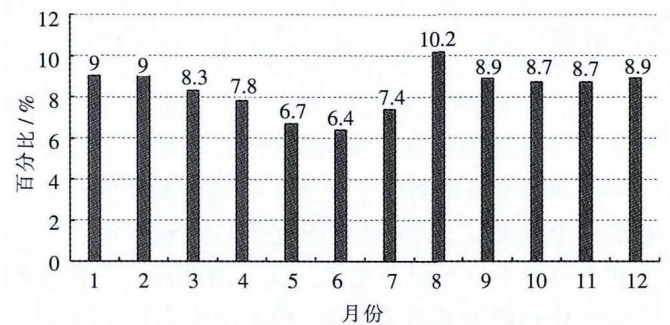


图2 海流兔河 1957~2007 年多年平均月均径流量年内分配

Fig. 2 The annual distribution of the monthly runoff in the Hailiutu River from 1957 to 2007

最小径流量出现在 6 月, 与我国其他地区存在较大差别, 主要原因是海流兔河流域地处西北干旱少雨地带, 春汛产生的径流量远远无法满足植被等的生长需要, 而西北地区雨季来的较晚, 还未来得及补充径流量的缺失; 从多年最大值来看, 最大月出现在 8 月, 为 19.64 m³/s, 最小月出现在 6 月, 为 3.50 m³/s, 最大月和最小月比较悬殊; 从多年最小值来看最大月出现在 12 月, 为 1.31m³/s, 最小月出现在 4 月, 为 0.84m³/s, 从年内变化趋势来看, 多年最小值曲线十分平稳, 各个月份没有较大变化, 最小值的变化与平均值基本一致。

4.1.2 径流年内分配的不均匀性

径流不均匀系数反映了径流年内分配的丰枯差别变化幅度, 海流兔河流域径流年内分配不均匀系数

表1 海流兔河流域1957~2007年多年月平均流量及多年月最大、最小径流量

Table 1 The mean, maximum and minimum monthly runoff in the Hailiutu River from 1957 to 2007

月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月
月平均径流量 / $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	2.97	2.99	2.75	2.58	2.23	2.13
月平均径流百分比/%	9.0	9.0	8.3	7.8	6.7	6.4
多年最大值 / $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	4.00	4.10	3.88	4.17	4.33	3.50
多年最小值 / $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	1.19	1.08	1.08	0.84	0.97	0.86
月份	7月	8月	9月	10月	11月	12月
月平均径流量 / $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	2.47	3.38	2.95	2.88	2.87	2.97
月平均径流百分比/%	7.4	10.2	8.9	8.7	8.7	8.9
多年最大值 / $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	4.63	19.64	6.36	5.53	4.29	4.09
多年最小 / $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	1.19	1.15	1.31	1.07	1.24	1.31

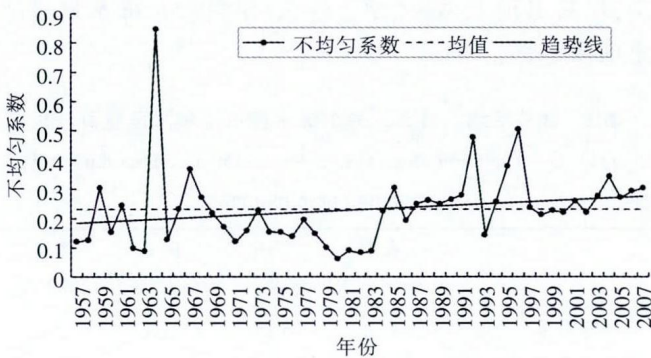


图3 海流兔河 1957~2007 年径流年内分配不均匀系数

Fig. 3 The annual distribution non-uniform coefficients for the runoff in the Hailiutu River from 1957 to 2007

见图3。

多年年内分配不均匀系数 $C_{V,月}$ 的平均值为 0.23, 从时间上来看, 1957~2007 年间, 1957~1968 年年内分配不均匀系数大于和小于平均值情况交替出现, 1969~1986 年, 几乎所有年份的年内分配不均匀系数均小于平均值, 说明年内分配在这些年份相对均匀; 1987~1997 年大部分年份年内不均匀系数大于平均值, 说明年内分配不均匀; 1998~2003 年年内完全调节系数小于平均值, 变化均匀; 2004 年至今不均匀系数增大。从趋势来看, 不均匀系数值有增大的倾向, 在今后的一些年份内, 径流年内分配不均匀性可能会增加。

4.2 径流的年际和代际变化

韩家砬站多年平均径流量为 $2.73\text{m}^3/\text{s}$, 图 4 是径流量的年际变化曲线。采用 M-K 法对数据资料的趋势进行检验, 结果显示其下降的趋势显著, 下降的速率约为 $0.031\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{a}^{-1}$ 。结合趋势曲线分析结果表明: 有 28

年径流较均值小, 且基本都在 1986 年后, 23 年较均值大; 1962~1964 年径流具有明显的增加趋势, 并通过显著水平 0.05 的显著性检验, 1986 年后径流具有明显的下降趋势, 并通过显著性检验, 尤其在 1989 年后更是通过显著水平 0.01 的显著性检验; 研究区域径流的显著减少趋势, 与整个黄河中游总体流量减少趋势相一致^[18]。

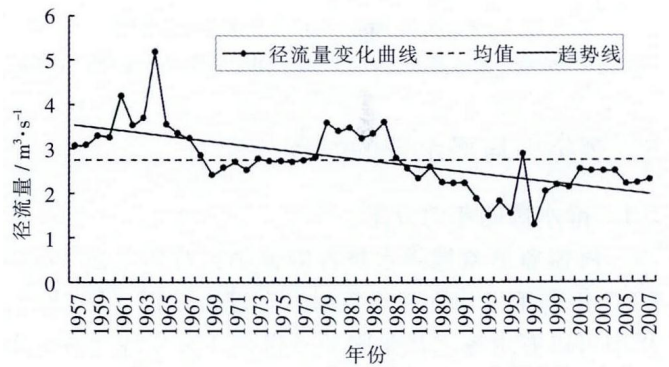


图4 海流兔河 1957~2007 年径流年际变化曲线

Fig. 4 The interannual variation of the runoff in the Hailiutu River from 1957 to 2007

各年代的平均径流、距平百分率计算结果见表 2。结果显示, 20 世纪 50~80 年代都为正距平, 90~00 年代为负距平。其中 50、60 年代较年平均量大量偏多, 表示径流量丰沛, 为丰水期; 70、80 年代径流只是比多年平均略偏多, 属于平水期; 90、00 年代较年平均量大量偏少, 河流干枯情况严重, 属于枯水期。

4.3 径流时间序列的突变分析

利用 RSI 方法可辨别时间序列中各突变点, 由图 5 可见 1957~2007 年径流变化的几个突变点为

表2 海流兔河径流年代距平百分率

Table 2 The interdecadal departure of the runoff in the Hailiutu River (percentage)

年代	1957~1959	1960s	1970s	1980s	1990s	2000~2007	多年平均
年代平均 / $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	3.08	3.49	2.80	2.85	2.00	2.37	2.73
距平百分率 / %	13	28	2	4	-27	-13	

1967, 1988 和 2000 年。从 1957~1967 年, 流域受人类活动影响较小, 该时段平均流量在整个研究期最大。而 1968~1988 年流量明显减小, 到 1989~2000 年期间, 河流流量进一步减少, 而从 2001 年开始到 2007 年, 海流兔河流量略有恢复。

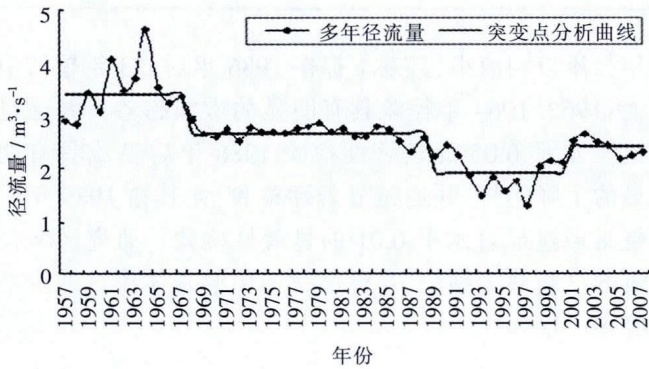


图5 海流兔河 1957~2007 年径流突变点分析

Fig. 5 The change points of the runoff in the Hailiutu River from 1957 to 2007

5 多年平均降水量的时程分配

5.1 降水量的年内分配

海流兔河流域降水量普遍偏小, 对韩家崮 1957~2007 年多年平均月降水年内分布进行分析 (见图 6), 从中可以看出降水最集中的月份是 7、8、9 月, 占全年降水的 60% 以上, 而其他月份降水又普遍偏少, 因此易形成春旱、秋冬又旱的格局。

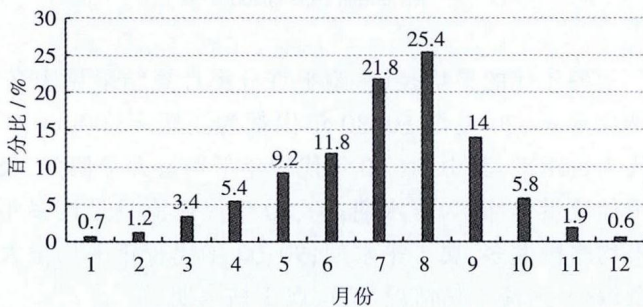


图6 海流兔河流域韩家崮站 1957~2007 年多年平均月降水量年内分布

Fig. 6 The distribution of the monthly precipitation at the Hanjiamao station in the Hailiutu River basin from 1957 to 2007

根据当地的季节划分, 3~5 月为春季, 6~8 月为夏季, 9~11 月为秋季, 12~2 月为冬季。对各季节平均、最大和最小降雨量占全年降雨量的百分比数据的统计分析 (见表 3) 表明, 一般状况下, 本区域降水主要集中在夏季, 占全年的 58.4%, 春秋季降水偏少, 大致在 20% 左右, 而降水最少的为冬季, 平均降水只占全年的 2.4%。另外, 最大降水量普遍出现在夏季; 冬季降水稀少, 极易出现干旱的情况, 近 50 年内最小降水量全部出现在冬季。

表3 季节平均、最大、最小降雨量占全年降雨量百分比

Table 3 The percentage of the seasonal mean, maximum and

minimum precipitation

	春季 (3~5 月)	夏季 (6~8 月)	秋季 (9~11 月)	冬季 (12~2 月)
平均降水量百分比 / %	17.8	58.4	21.4	2.4
最大降水量百分比 / %	3.9	80.4	15.7	0
最小降水量百分比 / %	0	0	0	100

5.2 降水量的年际变化

对韩家崮 1957~2007 年的降水变化趋势作 M-K 检验 (见图 7), 经检验得降水的正态统计变量值 $Z = -1.07$, 为负值, 绝对值小于 1.64, 没有通过置信度 95% 的检验, 表示降水的变化趋势不明显。

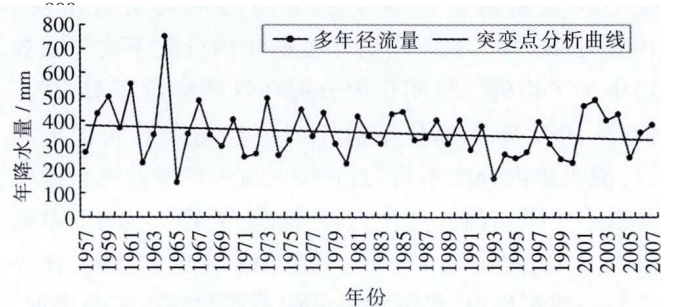


图7 韩家崮站 1957~2007 年的降水年际变化

Fig. 7 The inter-annual precipitation variation at the Hanjiamao station in the Hailiutu River basin from 1957 to 2007

5.3 降水对径流趋势变化的影响

海流兔河径流量序列存在明显的下降的趋势, 而

降雨的变化趋势不明显。将海流兔河流域多年平均各月降雨量和河流平均流量的年内分配做对比分析(见图8),径流年内变化比较平缓、年内分配各月间比例不大,与降雨分布集中、各月相差大的特点也无法对应。年初和年末降水量很少但是径流量保持稳定,显示地下水对径流量的补给,4~6月份降雨量虽然呈上升趋势,但是温度上升,土壤蒸发和植物蒸散发作用也有所加强,农业灌溉需水量大量增加,地下水开采量增大,对径流产生较大影响,所以径流显示为下降趋势;研究区域属沙地,7、8月份降水持续增加,降雨入渗补给地下水,植物需水量减少,地下水开采量和河道引水减少,河流径流量回升。由此可说明降水变化对径流变化的影响不大,该地区人类活动,特别是土地利用变化引起的农业灌溉应是海流兔河径流量显著减小的主要原因。

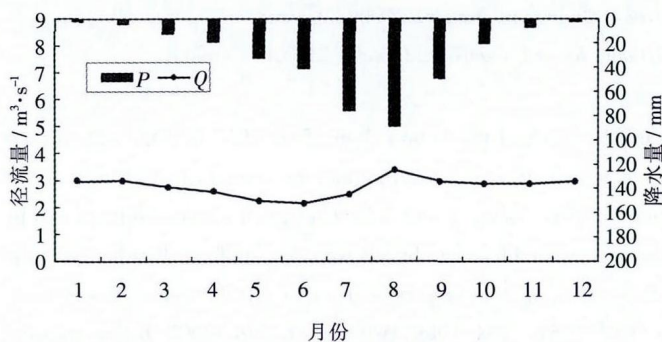


图8 海流兔河流域多年平均各月降雨量和河流平均流量的年内分配
Fig.8 The annual distribution of the precipitation and discharge in the Hailiutu River from 1957 to 2007

6 结论

(1)通过对韩家砬站 1957~2007 年的降水数据进行分析,海流兔河流域降水年内分配十分不均,主要集中在夏季的 7~9 月份,而冬季少雨;通过 M-K 法对降雨年际变化进行检验,没有发现明显趋势。

(2)海流兔河径流年内分布均匀,变化幅度小,显示出雨水与地下水混合补给的特点。年际分布通过 M-K 趋势检验,总体呈显著下降趋势;50、60 年代径流偏丰,近 20 年径流偏枯。利用径流突变指数法(RSI)分析得到 1957~2007 年径流变化的几个突变点为 1967、1988 和 2000 年。

(3)通过对比降水资料和径流资料的变化趋势和年内分配,发现降水变化对径流变化的影响不明显。

参考文献:

- [1] Milly, P.C.D., Dunne, K.A., Vecchia, A.V. Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate [J]. Nature, 2005,438: 347 - 350.
- [2] Zhentao Cong, Jingjing Zhao, Dawen Yang, Guangheng Ni. Understanding the hydrological trends of river basins in China [J]. Journal of Hydrology, 2010,388: 350 - 356.
- [3] Ren, L.L., Wang, M.R., Li, C.H., Zhang, W. Impacts of human activity on river runoff in the northern area of China [J]. Journal of Hydrology, 2002, 261 (1 - 4): 204 - 217.
- [4] Zhang, X.B., Harvey, K.D., Hogg, W.D., Yuzyk, T.R. Trends in Canadian streamflow[J]. Water Resources Research, 2001,37(4): 987 - 998.
- [5] 秦新秀,姜彤,许崇育.长江流域径流趋势变化及突变分析[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14 (5): 589-594. (QIN Nianxiu, JIANG Tong, XU Chongyu. Trends and abruption analysis on the discharge in the Yangtze basin[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2005,14(5):589-594. (in Chinese))
- [6] 刘春葵,刘志雨,谢正辉. 近 50 年海河流域径流的变化趋势研究[J]. 应用气象学报, 2004,15(4):385-393. (LIU Chunqin, LIU Zhiyu, XIE Zhenghui. Study of trends in runoff for the Haihe River basin in recent 50 years [J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology, 2004, 15(4): 385-393.(in Chinese))
- [7] 张建云,章四龙,王金星,等. 近 50 年来中国六大流域年际径流变化趋势研究 [J]. 水科学进展, 2007, 18 (2): 230-234. (ZHANG Jianyun, ZHANG Silong, WANG Jinxing, et al. Study on runoff trends of the six larger basins in China over the past 50 years[J]. Advances in Water Science,2007, 18(2): 230-234.(in Chinese))
- [8] 穆兴民,李靖,王飞,等.黄河天然径流量年际变化过程分析[J]. 干旱区资源与环境, 2003,17(2):1-5. (MU Xingmin, LI Jing, WANG Fei, et al. Analysis on the annual natural runoff variety process of the Yellow river [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2003,17(2):1-5. (in Chinese))
- [9] 张建云,王国庆,贺瑞敏,等. 黄河中游水文变化趋势及其对气候变化的响应 [J]. 水科学进展, 2009, 20 (2):153-158. (ZHANG Jianyun, WANG Guoqing, HE Ruiming, et al. Variation trends of runoffs in the middle Yellow river basin and its response to climate change [J]. Advances in Water Science,2009, 20(2):153-158. (in Chinese))
- [10] 陈元芳,梁忠民,董增川,等.甘肃河西区出山径流的统计特性分析与预测[J]. 河海大学学报,2001,29(6):7-10. (CHEN Yuanfang, LIANG Zhongmin, DONG Zengchuan, et al. Statistic characteristics analysis and prediction for runoff from mountain-pass stations in Hexi area of Gansu province [J]. Journal of Hehai University (Natural Sciences), 2001,29(6):7-10. (in Chinese))
- [11] 李林,王振宇,汪青青.黑河上游地区气候变化对径流量的影响研究 [J]. 地理科学, 2006, 26 (1): 40-46. (LI Lin, WANG Zhenyu, WANG Qingqing. Influence of climatic change on flow over the upper reaches of Heihe River [J]. Scientia Geographica Sinica, 2006,26(1):40-46. (in Chinese))

- [12] 张鑫,蔡焕杰,尹晓楠. 基于 DFA 的无定河径流长期变化趋势及持续性研究[J]. 生态环境学报, 2010,19(1):208-211. (ZHANG Xin, CAI Huanjie, YIN Xiaonan. Long-term trends and sustainability analysis of runoff in the Wuding River basin [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2010,19(1):208-211. (in Chinese))
- [13] Kahya, E., Kalayci, S. Trend analysis of streamflow in Turkey [J]. Journal of Hydrology, 2004, 289:128 - 144.
- [14] 曹洁萍. 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): 35-40. (CAO Jieping, Mann-Kendall examination and application in the analysis of precipitation trend [J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2008, (5): 35-40. (in Chinese))
- [15] Sergei Rodionov, James E. Overland application of a sequential regime shift detection method to the Bering sea ecosystem[J]. ICES Journal of Marine Science. 2005. 62: 328-332.
- [16] 汤奇成,李秀云. 径流年内分配不均匀系数的计算和讨论[J]. 资源科学, 1982, (3):59-65. (TANG Qicheng, LI Xiuyun. Calculation and discussion of annual runoff distribution coefficient of uniformity [J]. Resources Science, 1982,(3):59-65. (in Chinese))
- [17] 李艳,陈晓宏,张鹏飞. 北江流域径流序列年内分配特征及其趋势分析[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2007,46(5):106-113. (LI Yan, CHEN Xiaohong, ZHANG Pengfei. Research on annual distribution and its trends of runoff in Beijiang River [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2007,46(5):106-113. (in Chinese))
- [18] 郑红星,刘昌观. 黄河源区径流年内分配变化规律分析[J]. 地理科学进展, 2003, 22 (6): 585-591. (ZHENG Hongxing, LIU Changguan. Changes of annual runoff distribution in the headwater of the Yellow River basin [J]. Progress in Geography, 2003, 22(6): 585-591. (in Chinese))

Annual Runoff Distribution of Hailiutu River and Its Change Trend

ZHANG Danrong¹, GUO Mianchen¹, XIA Dongmei², LI Yahan¹, XIE Yuebo¹, GUAN Yiqing¹

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Hydraulic Research Institute of Anhui Province and Huaihe River Commission, Bengbu 233000, China)

Abstract: This paper analyzed the runoff data of the Hailiutu River, the middle reach of the Yellow River, from 1957 to 2007 with various methods. According to the analysis by the non-uniform coefficient method of annual streamflow distribution, the annual runoff distribution of the Hailiutu River is quite uniform with a low concentration ratio. The annual runoff series was found to have a significant descending trend by using the Mann-Kendall test. And it was found that the precipitation in the same period has not obvious with non-uniform distribution of the annual precipitation. The precipitation concentrated in July, October and September. With the regime shift index (RSI) method, it was found that the annual runoff change can be divided into the durations as follows: 1957~1967, 1968~1988, 1989~2000, 2001~2007. By comparing the trend and annual distribution of the runoff and precipitation, the conclusion was made that there is no obvious impact of precipitation on runoff in the Hailiutu River Basin.

Key words: changing point detecting; trend analysis; M-K test; regime shift index method

(上接第 60 页)

Calculation of Design Flood Hydrograph for Small Watershed Based on GIS

LIU Junping

(College of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310032, China)

Abstract: The Miaoyuanxi River, located in Quzhou City of Zhejiang province, is a typical mountain stream. The river has characteristics of plentiful rainfall, steep gradient, short source and swift flow, sudden flood rising and sharp dropping, quick travel speed, and great peak discharge. The triangulated irregular network and spatial analysis function of geographic information system(GIS) were analyzed to realize interpolation of the isoline of hydrological statistical parameters. According to the hydrological characteristic parameter derived from GIS, the average point rainfall at different duration was calculated. In view of conversion coefficient of point rainfall into area rainfall, the average area rainfall was obtained. By frequency analysis, design rainfall at different frequency was calculated. The instantaneous unit hydrograph was applied to carry out convergence computation and infer design flood hydrograph and peak flow, which provide basis for drawing mountain flood risk map and establishing security system for small watershed flood control and flood evasion.

Key words: small watershed; frequency analysis; instantaneous unit hydrograph; design flood hydrograph