

DOI:10.3969/j.issn.1004-6933.2013.03.007

黑龙江哈巴罗夫斯克站径流变化规律

鄢波^{1,2}, 夏自强^{1,2,3}, 周艳先^{1,2}, 王景才^{1,2}, 陈起川^{1,2}

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室,
2. 河海大学水文水资源学院, 3. 河海大学国际河流研究所, 江苏 南京 210098)

摘要:以黑龙江哈巴罗夫斯克站 1897—2005 年共 109a 年径流时间序列和 1897—1985 年共 89a 月径流时间序列为基础,应用累积距平法和 Mann-Kendall 法等,分析计算哈巴罗夫斯克站年径流丰枯特征及其阶段性、径流年内分配不均匀性、集中度。结果表明:哈巴罗夫斯克站径流连丰年、连枯年交替出现,径流年际变化阶段性明显;哈巴罗夫斯克站径流量年内分配不均匀,主要集中在夏秋两季,占全年的 76.01%;20 世纪 60 年代径流年内分配最为均匀,10 年代最不均匀。
关键词:径流;年际变化;年内分配;哈巴罗夫斯克站;黑龙江
中图分类号:P333 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2013)03-0029-05

Variation of runoff at Khabarovsk Station on Heilongjiang River

YAN Bo^{1,2}, XIA Ziqiang^{1,2,3}, ZHOU Yanxian^{1,2}, WANG Jingcai^{1,2}, CHEN Qichuan^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University,
2. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University,
3. Institute of International Rivers Research Academy, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Based on a 109-year annual runoff time series from 1897 to 2005 and an 89-year monthly runoff time series from 1897 to 1985 at the Khabarovsk Station on the Heilongjiang River, the high and low flow variation characteristics and stages of the annual runoff, and the unevenness and concentration degree of the intra-annual runoff distribution were analyzed using the cumulative anomaly method, the Mann-Kendall method, and other methods. The results show the following: (1) the continuous high flow year and continuous low flow year alternated at the Khabarovsk Station, and there existed distinct stages for the variation of the inter-annual runoff; (2) the intra-annual runoff at the Khabarovsk Station was unevenly distributed, and the runoff in summer and autumn accounted for 76.01% of the runoff of the whole year; and (3) the intra-annual runoff distribution was most even in the 1960s and most uneven in the 1910s.

Key words: runoff; inter-annual variation; intra-annual distribution; Khabarovsk Station; Heilongjiang River

位于我国东北的黑龙江(俄罗斯称阿穆尔河)流经蒙古东部、中国东北地区、俄罗斯远东地区南部,是东亚和东北亚最大的河流之一,是一条国际河流,黑龙江全长 4 370 km,它的中段为中俄界河,流经黑龙江省长达 2 900 km^[1]。近年来由于边境地区经济的迅速发展,中俄界河正扮演越来越重要的角色,中俄界河的水环境问题、水资源安全问题、跨境

生态问题受到越来越多的重视^[2]。近年来,各国学者对黑龙江流域的降水以及径流等开展了大量的研究,取得了一些重要成果^[1,3-5]。

哈巴罗夫斯克站(以下简称为哈巴站)地理位置重要,研究哈巴站的径流变化特征、规律,对于分析黑龙江下游的水文情势具有重要的意义,可为界河水资源的开发和保护提供科学的依据。该站的长

基金项目:水利部公益性行业科研专项(201001052);国家社会科学基金重大项目(11&ZD168)
作者简介:鄢波(1989—),男,硕士研究生,研究方向为水文水资源和生态环境。E-mail:yanbo.1989@yahoo.com.cn

年和连枯年的时段均值及其与整个序列多年均值的比值(模比系数) $K_{\text{丰}}$ 和 $K_{\text{枯}}^{[2]}$,统计结果见表2。由表2可以看出,哈巴站依次出现3次连丰年,持续时间分别为3 a、9 a、3 a, $K_{\text{丰}}$ 值分别为1.20、1.31、1.14;出现4次连枯年,持续时间分别为3 a、4 a、7 a、7 a, $K_{\text{枯}}$ 值分别为0.84、0.74、0.72、0.77。

表2 黑龙江哈巴站径流量连丰年和连枯年统计值

连丰年			连枯年		
起止年份	平均径流量/亿 m ³	$K_{\text{丰}}$	起止年份	平均径流量/亿 m ³	$K_{\text{枯}}$
1936—1938 年	3 124.17	1.20	1917—1919 年	2 195.07	0.84
1955—1963 年	3 412.13	1.31	1924—1927 年	1 919.33	0.74
1983—1985 年	2 960.97	1.14	1974—1980 年	1 872.17	0.72
			1999—2005 年	1 993.34	0.77

2.1.3 径流变化的阶段性分析

为了更好地表示径流年际变化的阶段特征,采用距平累积法^[11]进行分析。即

$$P_t = \sum_{i=1}^t (R_i - \bar{R}) \quad (t = 1, 2, \cdots, n) \quad (1)$$

式中: P_t 为第 t 年的距平累积值; R_i 为第 i 年的径流量; $\bar{R}$ 为径流序列平均值; n 为序列长度。

根据哈巴站年径流序列距平累积年际变化过程(图3),可将哈巴站年径流变化过程分为如下阶段(表3):3个丰水段即1928—1938年、1955—1963年、1983—1985年;2个平水段即1940—1953年、1986—1997年;3个枯水段即1916—1927年、1974—1980年、1999—2005年。前面分析的连丰年和连枯年均包含在相应的阶段当中。距平累积曲线不同程度的小波动说明在任何阶段丰水年和枯水年的交错出现的普遍性。

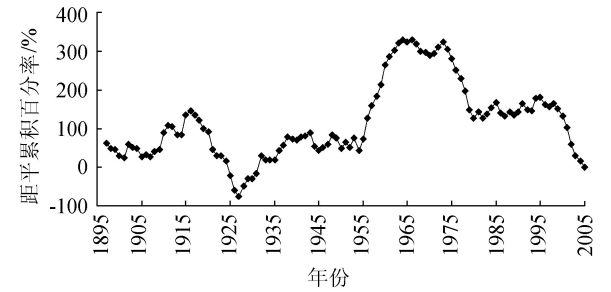


图3 黑龙江哈巴站年径流量距平累积变化过程

2.2 径流年内分配分析

2.2.1 径流年内分配过程分析

降水是黑龙江径流的主要补给来源,流量过程

与雨量过程也基本相应。黑龙江流域降水受气候和地形的影响,年内降水主要集中在6—9月份,约占全年降水的70%^[7]。冬季仅占10%左右^[7]。

黑龙江径流的年内分配四季分明,径流年内分配极不均匀,从哈巴站径流年内分配曲线(图4)和哈巴站四季径流变化过程(图5)可以看出,全年径流主要集中在夏(6—8月)、秋(9—10月)两季,占全年的76.01%。夏秋两季径流呈下降趋势是导致20世纪末至21世纪初枯水年份增多的一个重要因素。夏秋两季是洪水发生的时期,其中汛期(6—9月)的径流量占全年的63.85%。冬季(11—次年3月)进入冰期,径流主要依靠地下水补给,各月径流量都很小,冬季径流量只占全年的8.26%。春季(4—5月)进入春汛,气温回升,进入春季后上游各支流先后开河,流域的积雪融化和河网储冰解冻形成春汛,但春汛水量不大,春季径流量占全年的15.73%^[2]。

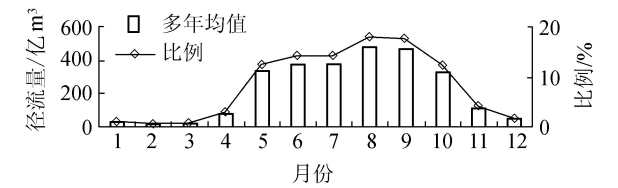


图4 黑龙江哈巴站径流年内分配过程

2.2.2 径流年内分配特征分布

为进一步定量分析黑龙江径流年内分配特征,采用年内分配不均匀系数 C_u 、完全调节系数 $C_r^{[12-14]}$ 、集中度 $C_n^{[15]}$ 等指标,从不同角度分析径流年内分配的变化规律。年内分配不均匀系数越大,表明年内各月径流相差越悬殊,年内分配越不均匀,完全调节系数越大,径流年内分配越集中,不均匀程度越高。集中度反映径流年内分配集中的程度。这3个指标的具体计算公式可参考文献[16-19]。

首先对黑龙江哈巴站径流逐年代际的月径流按多年平均值计算,然后按以上3个指标进行计算,逐年代际的径流年内分配特征指标值见表4。由表4可见,1897—1985年哈巴站径流年内分配 C_u 为0.844, C_r 为0.387, C_n 为0.553。随着时间推移, C_u 和 C_r 均呈现增加-减少-增加的过程,两值变化过程一致,两值在20世纪60年代均最小,说明60年代径流年内分配最为缓和,在20世纪10年代两值最大,

表3 黑龙江哈巴站年径流量变化阶段

丰水段			平水段			枯水段		
起止年份	历时/a	径流量均值/亿 m ³	起止年份	历时/a	径流量均值/亿 m ³	起止年份	历时/a	径流量均值/亿 m ³
1928—1938 年	11	2 969.66	1940—1953 年	14	2 608.00	1916—1927 年	12	2 144.10
1955—1963 年	9	3 412.13	1986—1997 年	12	2 581.08	1974—1980 年	7	1 872.17
1983—1985 年	3	2 960.97				1999—2005 年	7	1 993.34

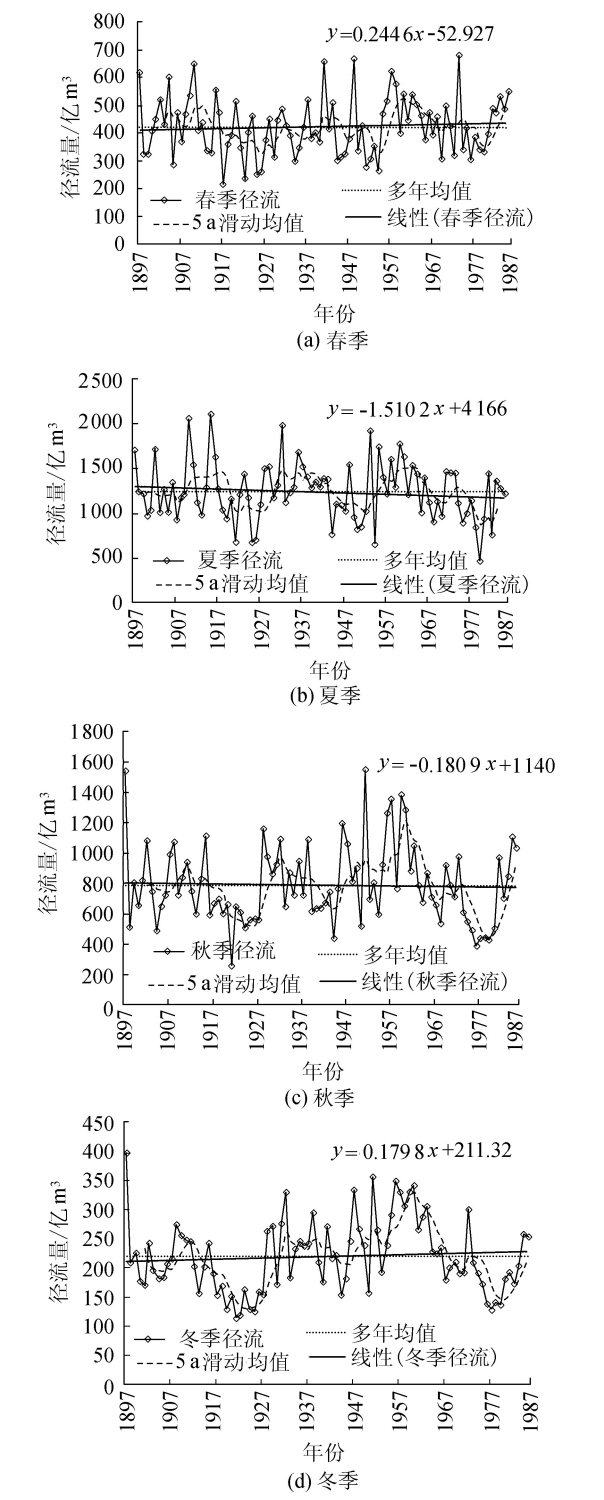


图5 黑龙江哈巴站 1897—1985 年四季径年际变化过程

表4 黑龙江哈巴站径流逐年代际的年内分配特征指标值

统计时段	C_u	C_r	C_n
1897—1899 年	0.822	0.382	0.551
1900—1909 年	0.836	0.388	0.539
1910—1919 年	0.880	0.402	0.582
1920—1929 年	0.861	0.395	0.575
1930—1939 年	0.846	0.396	0.567
1940—1949 年	0.838	0.380	0.549
1950—1959 年	0.857	0.384	0.543
1960—1969 年	0.817	0.375	0.541
1970—1979 年	0.826	0.380	0.539
1980—1985 年	0.846	0.384	0.535
1897—1985 年	0.844	0.387	0.553

年内分配最不均匀; C_n 在 20 世纪 10 年代最大,20 世纪 60 年代最小,也正好对应 C_u 和 C_r 的最大值和最小值。

综上,径流变化的原因:一方面可能是受气候因素如流域降水影响的结果,黑龙江流域降水的年际变化较大且阶段性明显,连续多雨、连续少雨交替出现;另一方面还可能受到上游人类活动如农田灌溉、水库调节、工业用水等的影响。

3 结 语

a. 研究分析了黑龙江哈巴站径流年际变化规律、径流年内分配特征,可为深入了解黑龙江流域水资源的变化趋势,为流域的水利工程建设、生态环境保护和水资源合理利用,以及界河的开发和保护提供科学的依据。

b. 黑龙江哈巴站径流连丰年、连枯年交替出现,径流年际变化的阶段性较为明显:3 个丰水段,即 1928—1938、1955—1963、1983—1985 年;2 个平水段,即 1940—1953、1986—1997 年;3 个枯水段,即 1916—1927、1974—1980、1999—2005 年。

c. 哈巴站径流年内分配极不均匀,全年径流主要集中在夏秋两季(6—10 月),占全年的 76.01%,其中汛期(6—9 月)占全年的 63.85%。哈巴站在 20 世纪 60 年代径流年内分配最不集中、最为均匀,10 年代年内分配最为集中、最不均匀。

d. 笔者仅应用统计检验方法对径流系列的变化做了初步分析研究,有关后继成果将陆续发表。

参考文献:

[1] 叶柏生,李翀,杨大庆,等.我国过去 50a 来降水变化趋势及其对水资源的影响(Ⅰ):年系列[J]. 冰川冻土, 2004,26(5):587-594. (YE Baisheng, LI Chong, YANG Daqing, et al. Variation trend of precipitation and its impact on water resources in China during last 50 years (Ⅰ): annual variation [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2004, 26(5): 587-594. (in Chinese))

[2] 陆志华,夏自强,于岚岚. 松花江佳木斯站径流变化规律及演变趋势分析[J]. 水电能源科学, 2011, 29(4): 14-17. (LU Zhihua, XIA Ziqiang, YU Lanlan. Analysis of change rules and variation trend of runoff of Jiamusi Station in Songhua River [J]. Water Resources and Power, 2011, 29(4): 14-17. (in Chinese))

[3] 叶柏生,李翀,杨大庆,等.我国过去 50a 来降水变化趋势及其对水资源的影响(Ⅱ):月系列[J]. 冰川冻土, 2005, 27(1): 100-105. (YE Baisheng, LI Chong, YANG Daqing, et al. Variation Trend of precipitation and its impact on water resources in China during last 50 years (Ⅱ): monthly variation [J]. Journal of Glaciology and

Geocryology,2005,27(1):100-105. (in Chinese))

[4] 叶柏生,陈鹏,丁永建,等. 100 多年来东亚地区主要河流径流变化[J]. 冰川冻土,2008,30(4):556-561. (YE Baisheng, CHEN Peng, DING Yongjian, et al. Discharge changes of the eight large rivers in East Asia during the last more than 100 years[J]. Journal of Glaciology and Geocryology,2008,30(4):556-561. (in Chinese))

[5] 牟金玲,狄娟. 黑龙江干流中上游段水文特性[J]. 黑龙江水利科技,2007,35(2):101-102. (MOU Jinling, DI Juan. Hydrological characteristics in middle and upper reaches of the Heilongjiang River [J]. Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy,2007,35(2):101-102. (in Chinese))

[6] 肖迪芳,张雪峰. 黑龙江流域水文水资源特性初析[J]. 水文,1992(1):51-55. (XIAO Difang, ZHANG Xuefeng. An analysis of hydrology and water resources in Heilongjiang Basin[J]. Journal of China Hydrology,1992(1):51-55. (in Chinese))

[7] 吴琼,梁桂彦,吴玉影,等. 黑龙江省四季划分及气候特点分析[J]. 林业勘查设计,2009(4):95-96. (WU Qiong, LIANG Guiyan, WU Yuying, et al. Four seasons division and climate characteristic analysis of Heilongjiang Province[J]. Forest Investigation Design,2009(4):95-96. (in Chinese))

[8] Mana H B. Non-parametric test against trend [J]. Econometrika,1945,13:245-259.

[9] 蔡明科,栗晓玲. 黄土高原水文干旱特征分析[J]. 西北水资源与水工程,2002,13(4):18-23. (CAI Mingke, SU Xiaoling. Analysis on hydrologic-drought characteristics for loess plateau [J]. Northwest Water Resources & Water Engineering,2002,13(4):18-23. (in Chinese))

[10] WANG Jingcai, XIA Ziqiang, GUO Lidan, et al. Recognizing and forecasting the hydrologic drought in the upper of Weihe basin [C]//IEEE Computer Society. Proceedings of 2011 International Conference on Electrical and Control Engineering, Yichang: IEEE Computer Society,2011:1677-1680.

[11] 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 & Environment,2003,17(2):1-5. (in Chinese))

[12] 郑红星,刘昌明. 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):585-590. (ZHENG Hongxin, LIU Changming. Changes of annual runoff distribution in the headwater of the Yellow River Basin [J]. Progress in Geography,2003,22(6):585-590. (in Chinese))

[13] 冯国章,李瑛,李沛成. 河川径流年内分配不均匀性的量化研究[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2000,28(2):50-53. (FENG Guozhang, LI Ying, LI Peicheng. Quantification of nonuniformity in annual distribution of stream flows [J]. The Journal of Northwest Agricultural University: Natural Sciences,2000,28(2):50-53. (in Chinese))

[14] 燕华云,杨贵林,汪青春. 长江源区径流年内分配时程变化规律分析[J]. 冰川冻土,2006,28(4):526-529. (YAN Huayun, YANG Guilin, WANG Qingchun. Change of annual runoff distribution in the headwaters of the Yangtze River[J]. Journal of Glaciology and Geocryology,2006,28(4):526-529. (in Chinese))

[15] 刘贤赵,李嘉竹,宿庆,等. 基于集中度与集中期的径流年内分配研究[J]. 地理科学,2007,27(6):791-795. (LIU Xianzhao, LI Jiazhuzhu, SU Qing, et al. Interannual runoff distribution based on degree and time of concentration for rivers [J]. Scientia Geographica Sinica,2007,27(6):791-795. (in Chinese))

(收稿日期:2012-12-15 编辑:徐 娟)

+++++

(上接第 28 页)

[16] ZHU Mulan, WANG Jiping. A review of research on urban stormwater management based on low Impact development [C]//International Conference on Environmental Pollution and Public Health. Shanghai: Scientific Research Publishing,2012: 164-168.

[17] 向璐璐,李俊奇,邝诺,等. 雨水花园设计方法探析[J]. 给水排水,2008,34(6):47-51. (XIANG Lulu, LI Junqi, KUANG Nuo, et al. Discussion on the design methods of rainwater garden [J]. Water & Wastewater Engineering,2008,34(6):47-51. (in Chinese))

[18] 胡顺军,田长彦,宋郁东,等. 土壤渗透系数测定与计算方法的探讨[J]. 农业工程学报,2011,27(5):68-72. (HU Shunjun, TIAN Changyan, SONG Yudong, et al. Determination and calculation of soil permeability coefficient [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2011,27(5):68-72. (in Chinese))

(收稿日期:2012-11-13 编辑:徐 娟)

