

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2013.06.003

卡普恰盖水库对伊犁河径流特征及下游生态径流的影响

赵萍^{1,2}, 夏自强^{1,2}, 陈起川^{1,2}, 周文婧^{1,2}

(1. 河海大学国际河流研究所, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 为了研究伊犁河卡普恰盖水库对伊犁河径流特征及下游生态径流量的影响,以卡普恰盖入库站卡普恰盖上站、出库站卡普恰盖下站 1930—2000 年的年径流量资料为基础,计算卡普恰盖水库建库前、后两站的极值径流量、平均径流量与径流离散系数;利用卡普恰盖下站 1937—1987 年的月径流量资料计算了径流年内分配的不均匀系数、集中度和集中期等指标;通过对生态径流量的计算,分析了生态径流量变化对下游生态的影响。研究表明:卡普恰盖水库建库后,卡普恰盖上站、卡普恰盖下站的径流量都有所减少,其中卡普恰盖下站因建水库导致的年径流减少量占总减少量的 53.4%;径流年内分配严重均化,径流集中期不稳定;生态径流量减少,年内分配均化。

关键词: 伊犁河;卡普恰盖水库;径流特征;生态径流

中图分类号: P339 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2013)06-0482-06

Influence of Kapchagay Reservoir on runoff characteristics and ecological runoff in lower reaches of Ili River

ZHAO Ping^{1,2}, XIA Ziqiang^{1,2}, CHEN Qichuan^{1,2}, ZHOU Wenjing^{1,2}

(1. *Institute of International Rivers Research Academy, Hohai University, Nanjing 210098, China;*
2. *College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China*)

Abstract: In order to investigate the influence of the Kapchagay Reservoir on the runoff characteristics and ecological runoff in the lower reaches of the Ili River, indices including the extreme runoff, mean annual runoff, and coefficient of variability before and after the construction of the Kapchagay Reservoir were calculated based on the annual runoff data of the upper and lower stations during the period from 1930 to 2000. The nonuniformity coefficient, concentration degree, and period of annual runoff distribution of the lower station were calculated based on the monthly runoff data during the period from 1937 to 1987. Through calculation of the ecological runoff, the ecological impact in the lower reaches was analyzed. The results show that after the construction of the Kapchagay Reservoir, the runoff of the upper and lower stations decreased, and the runoff reduction of the lower station caused by the reservoir accounted for 53.4% of the total reduction; the intra-annual distribution of runoff was significantly uniform and the concentrated period was unstable; and the ecological runoff decreased and its intra-annual distribution was uniform.

Key words: Ili River; Kapchagay Reservoir; runoff characteristics; ecological runoff

在水资源日益紧张的形势下,跨界河流水资源利用和生态保护问题变得异常敏感。20 世纪 70—80 年代末卡普恰盖水库下游出现尾间湖泊萎缩,巴尔喀什湖入湖水量减少,湖泊水位下降、周围生态恶化等^[1-2]问题。伊犁河下游年径流总量及年内分配、洪水过程的变化及洪峰的消减,给伊犁河下游三角洲和巴尔喀什湖的生态环境造成了很大影响^[3-4]。巴尔喀什湖水位变化主要取决于伊犁河入湖水量的变化^[5]。伊犁河卡普恰盖水库建成于 1970 年,是伊犁河-巴尔喀什湖流域上修建的最大水库。本文对该水库入库站与出库站的径流系列进行了对比分析,研究了卡普恰盖水库前、后出库站年际径流变化特征和年内径流分配变化特征,

并对该段生态径流过程进行了计算分析,旨在探究卡普恰盖水库的修建对伊犁河径流过程和生态径流过程的影响,从而为卡普恰盖水库的合理调度及下游的生态保护与修复提供参考。

1 研究区概况

伊犁河是流经中国和哈萨克斯坦两国的国际性内陆河,上游处于我国境内^[6]。主源特克斯河发源于哈萨克斯坦,在我国境内汇集了巩乃斯河、喀什河,注入界河霍尔果斯河后进入哈萨克斯坦境内,沿途流经卡普恰盖峡谷,其间恰伦河、奇利克河、图尔根河、大阿拉木图河、小阿拉木图河、卡斯克连河等众多支流相继汇入,经卡普恰盖水库调蓄又接纳了南岸的库尔特河等支流穿过伊犁河三角洲,流淌于萨雷伊希克特劳和陶库姆等沙漠区最终汇入巴尔喀什湖^[7](见图1)。

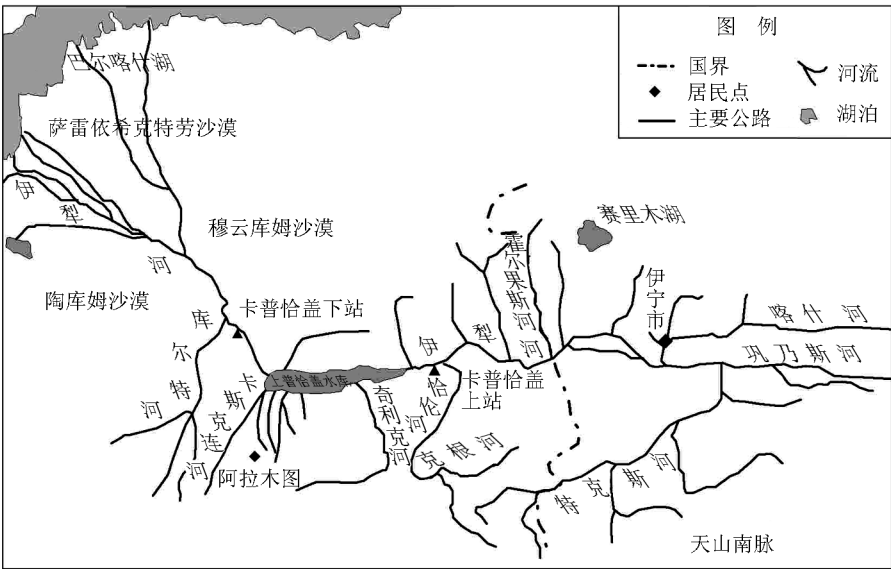


图1 伊犁河水系示意图
Fig. 1 Sketch map of Ili River system

卡普恰盖水库设计正常水位485 m,水库面积为1 847 km²,总蓄水量281.4 亿 m³,水库长度187 km,平均水面宽10~12 km,最大宽度22 km,最大深度45 m,对哈萨克斯坦东南部生产力的布局有着极其重要的影响^[8]。卡普恰盖上站(简称卡上站)位于卡普恰盖水库以上171 km,控制着水库的入库流量。卡普恰盖下站(简称卡下站)位于卡普恰盖水库以下26 km,控制着水库的出库流量^[1,9]。

2 分析方法

2.1 多年径流过程与径流量年内分配特征分析方法

通过计算卡下站与卡上站建库前后径流量最大值、最小值、平均值和离散系数 C_v ,分析来水过程的变化特征。采用不均匀系数^[10-11]、集中度和集中期^[12-13]从不同角度分析卡普恰盖水库对来水过程对径流年内分配的影响。

径流年内分配不均匀系数 C_u 、径流年内分配集中度 C_n 及集中期 D 的计算公式为

$$C_u = \frac{\sigma}{\bar{Q}} = \frac{1}{\bar{Q}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{12} (Q_i - \bar{Q})^2}{12}}$$
$$\bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^{12} Q_i}{12}$$

其中

式中: Q_i ——第*i*个月的径流量; $\bar{Q}$ ——月平均流量; σ ——均方差。由式(1)可见 C_u 越大年内各月径流量相差越大,分配越不均匀。

C_n 和 D 是利用年内逐月平均径流资料来反映径流年内分配集中的程度和重心。把圆周的度数360°作

为1年365日,则

$$C_n = \frac{\sqrt{Q_x^2 + Q_y^2}}{\sum_{i=1}^{12} Q_i}$$

(2)

其中 $D = \arctan \frac{Q_x}{Q_y}$ $Q_x = \sum_{i=1}^{12} Q_i \sin \theta_i$ $Q_y = \sum_{i=1}^{12} Q_i \cos \theta_i$

式中: Q_x, Q_y ——12个月径流矢量的水平、垂直分量之和; θ_i ——第*i*月经流的矢量角度。由式(2)可见, C_n 越大年内径流分配越集中,反之则分配越均匀。

2.2 生态径流分析方法

生态径流即保证河流天然状态下生态系统稳定和健康发展的径流过程^[7]。目前计算生态径流的方法有很多^[14-15]。根据郭利丹等^[16]的论证,本文使用逐月最小生态径流计算法和逐月频率计算法计算最小和适宜生态径流。计算适宜生态径流时,年内径流系列的保证率均取为50%^[14]。生态径流理论上应使用天然状态下的径流过程,但是由于从1970年建库至今,被破坏的生态系统已经适应了现在的来水过程,目前的状况不可能再恢复到建库之前,因此对建库后的径流过程进行还原计算意义不大。本文建库后生态径流的计算直接使用实测资料代替天然径流资料。

表1 全年各月包含的角度及月中代表的 θ_i

Table 1 Contained angle and representative angle for each month in a year

月份	包含角度/(°)	θ_i /(°)	月份	包含角度/(°)	θ_i /(°)
1	345 ~ 15	0	7	165 ~ 195	180
2	15 ~ 45	30	8	195 ~ 225	210
3	45 ~ 75	60	9	225 ~ 255	240
4	75 ~ 105	90	10	255 ~ 285	270
5	105 ~ 135	120	11	285 ~ 315	300
6	135 ~ 165	150	12	315 ~ 345	330

3 年径流过程分析

3.1 水库修建对年径流量的影响

图2为伊犁河干流卡上站、卡下站的年径流过程。由图2(a)可见,1970年前卡上站的多年平均径流量为149.5亿m³,1970年后为140.0亿m³,减少了9.5亿m³。由图2(b)可见,卡下站1970年前的多年平均径流量为148.1亿m³,1970年后为127.7亿m³,减少了20.4亿m³。与卡上站相比,卡下站1970年前(无水库影响)多年平均径流量减少1.4亿m³,1970年后(有水库影响)减少约12.3亿m³。扣除无水库影响时的流量减少,卡下站有水库影响下的多年平均径流减少量增加了10.9亿m³,占卡下站径流站总减少量的53.4%。

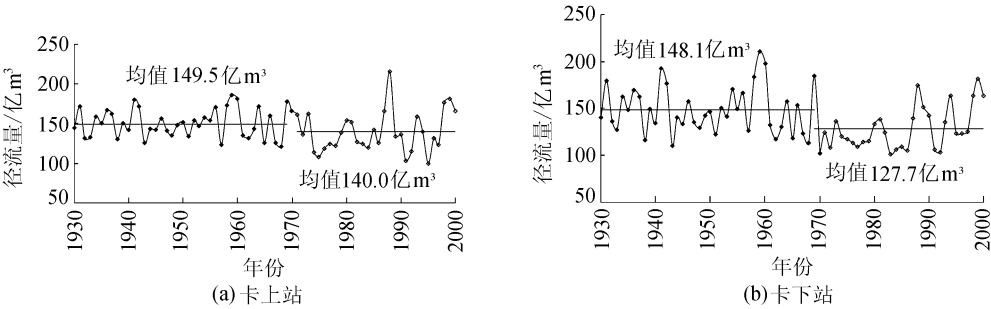


图2 卡上站、卡下站年径流过程

Fig. 2 Annual runoff processes at upper and lower stations

表2为卡上站、卡下站建库后径流过程的部分特征值,其中 $\bar{W}, W_{\max}, W_{\min}$ 分别表示多年平均、最大和最小径流量。由图2与表2可见,水库对年径流过程变化幅度影响非常明显。1970年前年径流的极值差分别为64.7亿m³和101.23亿m³,可见天然状态下卡下站年来水过程的离散程度大于卡上站。1970年建库后,卡上站和卡下站年径流的极值差分别为115.29亿m³和80.46亿m³,可以看出,和建库前不同,在水库调节作用影响下,卡上站来水过程的离散程度大于卡下站,卡下站的年径流过程被均化了。

3.2 水库修建对径流年内分配的影响

对卡下站建库前后径流量年内分配规律的研究可进一步了解卡普恰盖水库对径流过程的影响。由于缺乏 1931—1936 年和 1988—2000 年的月径流资料,本文采用 1937—1987 年的长期月径流资料分析径流的年内分配问题。

表 2 卡上站、卡下站建库前后径流特征

水文站	1930—1969 年				1970—2000 年			
	$\bar{W}$	$W_{\max}$	$W_{\min}$	C_V	$\bar{W}$	$W_{\max}$	$W_{\min}$	C_V
卡上站	149.50	186.47	121.77	0.118	140.00	215.88	100.59	0.18
卡下站	148.10	211.15	109.92	0.175	127.70	181.85	101.39	0.10

图 3 为卡下站 1937—1987 年 C_u, C_n 变化过程。由图 3 可见,1970 年前 C_u 与 C_n 波动都比较稳定, C_u 在 0.7 上下波动, C_n 在 0.3 上下波动;1970 年后 C_u 和 C_n 都大幅下降, C_u 变为 0.3 左右,而 C_n 仅为 0.1 左右。说明建库后在水库的调节下,年内天然来水过程遭到严重的均化,使得 C_u 减少;而 C_n 的减少进一步说明水库调节的填枯削峰作用。

图 4 为卡下站年内径流过程的 D 变化过程。由图 4 可知,1970 年前, D 主要集中在 6 月左右,变幅较小;1970 年后 D 很不稳定,最早的出现在 4 月中旬,最晚的出现在 7 月上旬,可见水库修建之后,由于不规律的调节作用,使得径流过程的 D 受到了严重干扰。

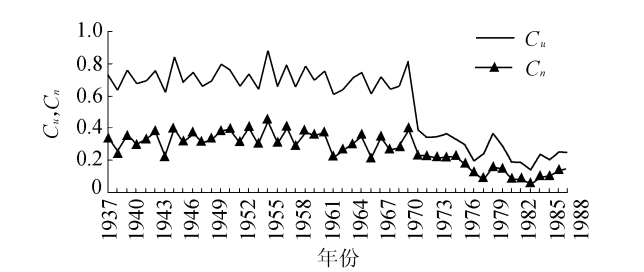


图 3 卡下站径流年内分配不均系数与集中度变化过程
Fig. 3 Nonuniformity coefficient and concentration degree of intra-annual runoff distribution at lower station

图 5 为卡下站 1937—1969 年天然状态下的年内径流分配对比,6—8 月为丰水期,径流量占年总径流量的 45.48%,其中 7 月径流量最大,占年总径流量的 16.44%;12 月—次年 2 月为枯水期,径流量占年总径流量的 12.3%,其中 2 月流量最小,占年总径流量的 3.69%。

而 1970—1987 年建库后,6—8 月原属丰水期,现径流量仅占年总径流量的 32.06%,5 月成为最大径流量月,径流量占总径流量的 11.45%;枯水期没有明显的界线,9 月—次年 4 月径流量相差无几,其中最小径流量出现在 2 月,为 6.46 亿 m^3 。比较建库前后径流量的年内分配可见,在水库作用下,除 2 月外其他月流量都有不同程度的减少,特别是 6—8 月丰水期径流量减少至原来的 55.7%,可见水库在径流量年内分配上显著的削峰填枯作用。

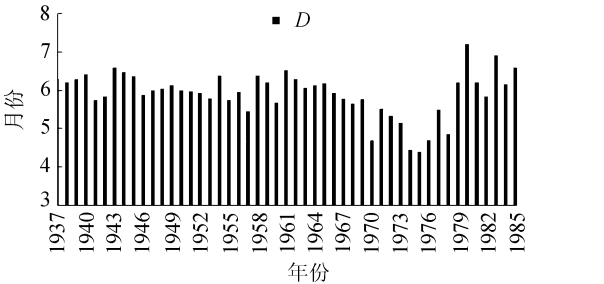


图 4 卡下站径流年内分配集中期的变化过程
Fig. 4 Concentrated period of intra-annual runoff distribution at lower station

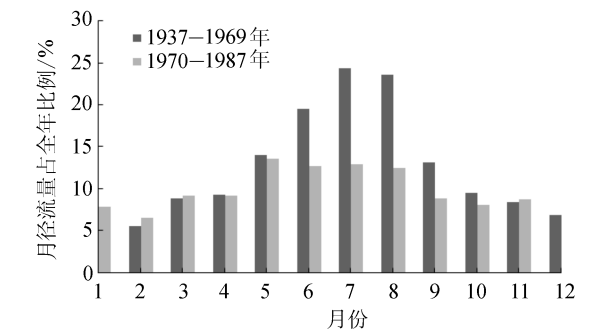


图 5 卡下站建库前后年内径流量分配对比
Fig. 5 Comparison of intra-annual runoff distribution at lower station before and after construction of Kapchagay Reservoir

4 建库前后生态径流量的计算

根据 1937—1987 年逐月径流资料,对卡下站最小和适宜生态径流的计算结果见图 6、表 3。由图 6、表 3 可见,建库前,1937—1969 年的最小与适宜生态径流过程符合天然来水过程,12 月—次年 3 月为枯水时期,

6—8月为丰水期。建库后,6—8月的最小生态径流量减少至原来的79.4%,适宜生态径流量减少至原来的56.04%。11月—次年2月水量没有减少,反而还有所增加。由此可知卡普恰盖水库下游径流总量减少了,径流量年内分配均化了。

据介绍^[3,9],近年来伊犁河下游三角洲植被由于得不到洪水的水源补给,草地、林地面积在减少,大面积土地荒漠化,水系也发生了很大变化,原来的十几条入湖分汉河道消失,只剩3条主要河道,且有2条经常断流^[3,6]。年内流量过程的改变还导致三角洲地带水面面积和湿地面积迅速减少,1970—1990年的20年间,三角洲湿地面积减少了近1/3,珍稀动物急剧减少,给三角洲生态与生物多样性造成了不可逆转的生态破坏;1990年后湿地面积有所增加,但未完全得到恢复^[3]。由此可见,水资源的不合理开发利用,只会对生态造成更大的损害。应在兼顾人类生存和发展的同时考虑生态环境的需求,最终达到可持续发展的目的。

表3 卡下站建库前后最小与适宜生态径流量

Table 3 Minimum and optimal ecological flow at lower station before and after construction of Kapchagay Reservoir					亿 m ³				
月份	1937—1969 年		1970—1987 年		月份	1937—1969 年		1970—1987 年	
	适宜生态径流量	最小生态径流量	适宜生态径流量	最小生态径流量		适宜生态径流量	最小生态径流量	适宜生态径流量	最小生态径流量
1	5.24	3.96	7.71	5.01	7	23.49	13.90	12.37	10.23
2	5.34	3.82	6.34	4.04	8	22.79	15.93	11.17	10.02
3	8.75	6.11	7.96	6.27	9	12.42	6.95	8.04	4.82
4	8.83	5.50	9.05	4.92	10	9.15	6.43	7.55	5.36
5	13.74	7.07	13.33	8.14	11	8.10	6.32	8.07	5.34
6	18.74	8.44	12.90	10.16	12	6.82	4.58	7.99	5.54

5 结 论

- a. 卡普恰盖水库卡上站与卡下站 1970—2000 年的年平均径流量相对 1930—1970 年有所减少,其中卡下站由于水库的修建造成水量减少为 10.9 亿 m³,占卡下站总减少水量的 53.4%。
- b. 建库后卡上站径流系列的 C_v 与极值差增大,卡下站的 C_v 与极值差减小,可见卡下站的年径流过程被均化了。卡下站 C_u 大幅度减小说明水库将径流年内分配的集中程度弱化了,即年内径流分配被均化了。卡下站 1970 年后径流过程的 D 变得不稳定。
- c. 1970 年后,大部分月径流量都有不同程度的减少,特别是 6—8 月丰水期径流量减少至原来的 55.7%。
- d. 最小与适宜生态径流量都有所减少,特别是 6—8 月的最小生态径流量与适宜生态径流量分别减少至原来的 79.4%、56.04%;生态径流过程被严重均化。
- 水库的建设导致了水量的减少、年径流过程与径流年内分配的均化,而这两方面的变化都源于丰水期的水量减少,这与伊犁河中下游长期以农牧生产为主的用水结构有关。近几十年灌区的大面积开发,使得春夏季用水量增加。卡普恰盖水库的修建一方面丰水期能充分利用水能发电,另一方面利于灌区的大量引水,这两方面是导致径流过程均化和丰水期水量减少的深层原因。

参考文献:

[1] 于龙娟. 巴尔喀什湖流域生态水文问题研究[D]. 南京:河海大学,2004.

[2] KADER K,HIROSHI M. Decrease of river runoff in the Lake Balkhash basin in Central Asia[J]. Hydrological Processes,2006, 20(6):1407-1423.

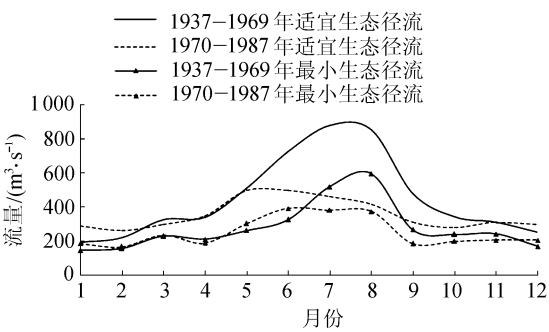


图6 卡下站建库前后最小与适宜生态流量过程
Fig. 6 Minimum and optimal ecological runoff processes at lower station before and after construction of Kapchagay Reservoir

[3] 谢蕾,龙爱华,邓铭江,等. 伊犁河下游三角洲生态耗水研究[J]. 冰川冻土,2011,22(6):50-53. (XIE Lei, LONG Aihua, DENG Mingjiang, et al. Study on ecological water consumption in delta of the lower reaches of Ili River[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2011, 22 (6): 50-53. (in Chinese))

[4] 杨繁远. 中亚主要河流水利建设对自然环境的影响[J]. 干旱区地理,1987,10(2):69-71. (YANG Fanyuan. The effect of river hydraulic construction on natural environment in Central Asia[J]. Arid Land Geography, 1987, 10 (2): 69-71. (in Chinese))

[5] 杨川德. 巴尔喀什湖水位变化及其原因[J]. 干旱区地理,1993,16(1):36-43. (YANG Chuande. The reasons of water level chang in Balkhash Lake[J]. Arid Land Geography, 1993, 16(1): 36-43. (in Chinese))

[6] 王姣妍,路京选. 伊犁河流域水资源开发利用的水文及生态效应分析[J]. 自然资源学报,2009,24(7):1297-1307. (WANG Jiaoyan, LU Jingxuan. Hydrological and ecological impacts of water resources development in the Yili River Basin[J]. Journal of Natural Resources, 2009, 24(7): 1297-1307. (in Chinese))

[7] 郭利丹. 内陆河流域人类活动影响下的生态水文问题研究[D]. 南京:河海大学,2008.

[8] Г·С·艾捷科娃. 发展以卡普恰盖水库为基地的灌溉农业[J]. 刁培先,译. 干旱区地理,1989,12(3):68-71.

[9] 邓铭江,王志杰,王姣妍. 巴尔喀什湖生态水位演变分析及调控对策[J]. 水利学报,2008,42(4):28-31. (DENG Mingjiang, WANG Zhijie, WANG Jiaoyan. Analysis of Balkhash Lake ecological water level evolvement and its regulation strategy [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008, 42(4): 28-31. (in Chinese))

[10] 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 Hongxing, 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))

[11] 冯国章,李瑛,李佩成. 河川径流年内分配不均匀性的量化研究[J]. 西北农业大学学报,2000,28(2):50-53. (FENG Guozhang, LI Ying, LI Peicheng. Quantification of nonuniformity in annual distribution of streamflows [J]. The Journal of Northwest Agriculture University, 2000, 28(2): 50-53. (in Chinese))

[12] 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))

[13] 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 Jiazhuz, 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))

[14] 李捷,夏自强,马广慧,等. 河流生态径流计算的逐月频率计算法[J]. 生态学报,2007,23(7):2916-2921. (LI Jie, XIA Ziqiang, MA Guanghui, et al. A new monthly frequency computation method for instream ecological flow[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 23(7): 2916-2921. (in Chinese))

[15] 张强,崔瑛,陈永勤. 基于水文学方法的珠江流域生态流量研究[J]. 生态环境学报,2010,19(8):1828-1837. (ZHANG Qiang, CUI Ying, CHEN Yongqin. Evaluation of ecological instreamf flow of the Pearl River Basin, South China[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2010, 19(8): 1828-1837. (in Chinese))

[16] 郭利丹,夏自强,李捷. 河流生态径流量常用计算方法的对比[J]. 人民黄河,2008,30(4):28-30. (GUO Lidan, XIA Ziqiang, LI Jie. Contrast of the common computation method for river ecological flow[J]. Yellow River, 2008, 30(4): 28-30. (in Chinese))