

1944—2004 年黑河出山径流变化及其对区域水资源安全的可能影响

杨明金¹, 张勃¹, 张华¹, 迟令峰²

(1. 西北师范大学 地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 山东师范大学 人口·资源与环境学院, 山东 济南 250014)

摘要: 以黑河出山径流控制站莺落峡水文站 1944—2004 年径流序列为基础数据, 分析出山径流的年际变化、年内分配特征和稳定性特征, 进而分析了径流多年变化对区域水资源安全产生的可能影响。结果表明: (1) 莺落峡站多年径流量呈增加的趋势, 但是趋势不显著; 人类活动对莺落峡站径流量变化影响较小, 丰枯转化较为平衡; (2) 莺落峡站径流量年内分配极为不均, 主要集中在汛期, 即 5—10 月份; (3) 莺落峡站各月径流量变差系数都较小, 其中 1 月、3 月和 12 月的变差系数均小于全年的变差系数, 径流量稳定性较好, 其它各月的变差系数均大于全年的变差系数, 径流量稳定性稍差; 莺落峡站秋、冬季径流量持续性较好; (4) 莺落峡站多年径流量的增加, 尤其是 5—6 月份径流量的增加, 既增加了区域可用水量, 也缓解了春末夏初的“卡脖子”旱; (5) 莺落峡站径流量年际变化的丰枯幅不大, 年际水量变化相对比较稳定, 多年径流年内分配愈加均匀, 径流年丰枯率越来越小, 有利于黑河水资源的开发利用; (6) 莺落峡站多年径流量的增加, 尤其是 8—10 月份径流量的增加, 有利于黑河中游地区全年调水计划的实施。

关键词: 黑河; 出山径流; 水资源安全; 水资源开发利用

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)06-0024-05

中图分类号: P343.1

The Change of Mountainous Runoff in Heihe River from 1944 to 2004 and Its Impacts on Regional Water Resource Security

YANG Ming-jin¹, ZHANG Bo¹, ZHANG Hua¹, CHI Ling-feng²

(1. College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. College of Population Resources and Environment, Shandong Normal University, Jinan, Shandong 250014, China)

Abstract: Based on the runoff data at Yingluoxia Station in Heihe River from 1944 to 2004, the inter-annual change, intra-annual distribution characteristic, and stability characteristic of mountainous runoff at the station, as well as the impacts of runoff change on regional water resource security, were analyzed. Results showed that (1) runoff took on an increasing trend in the past years, but the trend was not evident. Runoff change was not influenced by human activities significantly and high and low water changes were equivalent. (2) Runoff in flood season (from May to October) was over 80%, so the percentage of runoff in other months was small. (3) The runoff variation coefficients of each month in a year were small. The runoff variation coefficients for January, March, and December were less than that for the whole year, so the stability characteristics were good, while those for other months were greater than the whole year. (4) The increase of annual runoff, especially the increase of runoff in May and June, added regional water available and relieved “Critical Drought”. (5) The change of annual runoff was small. The intra-annual distribution characteristic became more and more homogeneous and the rate of high and low water became more and more low. These changes were helpful to develop and utilize water resources of Heihe River. (6) The increase of annual runoff, especially the increase of runoff from August to October, was helpful to enforce the plan of water re-allocation in the middle reaches.

Keywords: Heihe River; mountainous runoff; water resource security; water resource utilization

收稿日期: 2009-04-28

修回日期: 2009-06-09

资助项目: 2008 年度公益性行业(气象) 科研专项基金(GYHY200806021-07); 甘肃省生态经济学省级重点学科(5001-021); 西北师范大学地理与环境科学学院学生学术科研基金(2009DLXSKY-01-03)

作者简介: 杨明金(1982—), 男(汉族), 山东省泰安市人, 硕士研究生, 主要从事区域生态环境与水资源开发、水资源可持续利用方面的研究。
E-mail: mingjin369@163.com.

黑河是我国西北地区第二大内陆河,也是河西内陆区径流量最大的一条河流。黑河发源于祁连山北麓中段,流域范围介于 $38^{\circ}-42^{\circ}\text{N}$, $98^{\circ}\text{E}-101^{\circ}30'\text{E}$ 之间,流经青海、甘肃、内蒙古3省(自治区),流域总面积 $1.30 \times 10^5 \text{ km}^2$,东部子水系即黑河干流水系 $1.16 \times 10^5 \text{ km}^2$,全长约821 km,并以莺落峡和正义峡为界,划分为上、中、下游。黑河出山口莺落峡水文站($38^{\circ}48'\text{N}$, $100^{\circ}11'\text{E}$,海拔1710 m)以上祁连山区为上游,河道长303 km,河道两岸山高谷深,河床陡峻,气候阴湿寒冷,植被较好,多年平均降水量350 mm,且多冰川积雪分布,降水和冰雪融水形成内陆河,奔腾出山,为径流的形成区;莺落峡至正义峡为中游,河道长185 km,两岸地势平坦,光热资源充足,人工绿洲面积较大,灌溉农业十分发达,但干旱少雨,多年平均降水量只有140 mm,年蒸发量却达到1410 mm,农作物完全依靠灌溉才能获得丰收,没有灌溉就没有农业,该区是黑河水资源的主利用区;正义峡以下为下游,河道长333 km,除河流沿岸和居延三角洲外,大部分为沙漠戈壁,多年平均降水量只有47 mm,气候极端干旱,年蒸发量却高达2250 mm,为黑河的径流消失区^[1-2]。由此可见,黑河流域地表水资源主要来源于其干流莺落峡以上的祁连山区,莺落峡水文站(集水面积10009 km²)为出山径流控制站。莺落峡水文站设立于1944年,其径流资料年代长,对于整个流域具有很好的代表性,能够反映黑河来水量的真实变化。同时,黑河流域也像其它干旱区内陆河流域一样,水资源已成为流域社会经济可持续发展的主要限制因素^[3-5]。因此,以黑河干流(莺落峡站)作为代表(所用径流数据由“数字黑河”和“中国水文水资源科学数据共享网”提供),对黑河出山径流变化规律及趋势的研究,分析黑河出山径流变化对区域水资源安全产生的影响,对制定区域社会经济发展战略、促进区域工农业生产和社会经济的可持续发展具有重要意义。

1 出山径流变化规律

1.1 出山径流年际变化特征

在中国西北内陆地区气候由暖干向暖湿转型的大背景下^[6-7],从莺落峡水文站1944—2004年径流年际变化规律图(图1)可以看出,莺落峡站径流量趋势线的斜率大于零,说明莺落峡站年径流量总体上呈现出增加的趋势,其气候倾向率为 $1.78 \times 10^6 \text{ m}^3 / (10 \text{ a})$,这种现象是由祁连山区夏季降水量增多和冬春季气候变暖导致季节性冰雪融水增多所引起的^[8-10]。其中,年最大径流量出现在1989年,为 $2.31 \times 10^9 \text{ m}^3$,年最小径流量出现在1973年,为 $1.10 \times 10^9 \text{ m}^3$,年极值比 W_{\max} / W_{\min} 为2.0952。表1为莺落峡水文站各年代

径流量数值表。从表中可以看出,20世纪80年代莺落峡站径流量最大,平均年径流量偏多11.87%,50年代次之,较正常状态偏多5.07%,90年代流量偏多2.25%。70年代莺落峡站径流量最小,平均年径流量偏少7.57%,40年代次之,60年代径流量较正常状态偏少5.52%。进入21世纪以后,莺落峡站径流量又出现了略有减小的趋势,较多年平均状态偏少4.69%。通过分析莺落峡水文站年径流量的距平值得出,正距平出现的年份略少于负距平出现的年份,分别为28和33 a,并且从莺落峡水文站1944—2004年径流年际变化5 a滑动趋势线(图1)也可以看出,莺落峡站径流丰水年和枯水年交替出现,丰枯转化较为平衡,这也从一个侧面说明莺落峡站径流量的变化受人类活动的影响较小。黑河上游地区至今没有建设大型的水利工程项目,虽然祁连山区由于人类活动的影响植被生态系统遭到一定程度的破坏,但是这对上游天然径流量的影响不大,所以总体来说莺落峡径流量的变化受人类活动的影响较小。

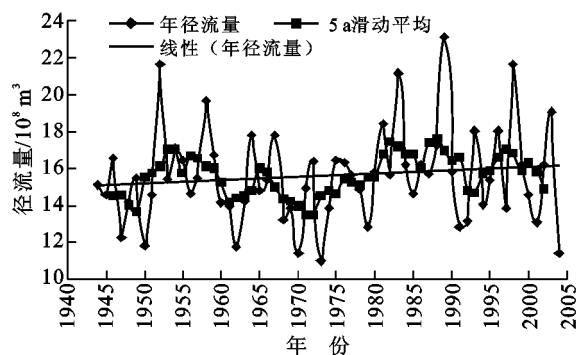


图1 莺落峡水文站1944—2004年径流年际变化规律

表1 莺落峡水文站各年代径流量

年份	年代	径流量/ 10^8 m^3	与多年平均 的比率/%
1944—1949	1940S	14.69	94.29
1950—1959	1950S	16.37	105.07
1960—1969	1960S	14.72	94.48
1970—1979	1970S	14.40	92.43
1980—1989	1980S	17.43	111.87
1990—1999	1990S	15.93	102.25
2000—2004	2000S	14.85	95.31
1944—2004	多年平均	15.58	100.00

1.2 出山径流年内特征

1.2.1 出山径流年内分配特征 河川径流的年内分配规律,主要受径流补给条件的影响。黑河发源于祁连山北麓中段,其径流补给来源有大气降水、冰雪融水和地下水等,但大气降水是径流的主要补给来源,补给比例占到92%左右。从莺落峡水文站径流年内分配特征图(图2)可以看出,总体上来说,莺落峡水

文站径流年内分配呈现明显的“单峰型”分布,其流量 1—2 月份处于低值,3—4 月份开始缓慢上升,至 5—6 月份急剧增加,基本上 7 月份达到极大值,8 月份有所减少,9—11 月份急剧减少,直至 12 月份再次到达低值;莺落峡水文站径流量主要集中在汛期,即 5—10 月份,这 6 个月径流量占全年平均径流量百分比超过 80%,超过非汛期径流量的 4 倍,11 月至次年 4 月所占比重不大,年内分配十分不均匀。从图 2 还可以看出,莺落峡站径流量峰值出现在 7 月份,这与该区的大气降水主要分布在 7 月份是相吻合的。这在一定程度上蕴示了气候波动(大气降水)对河川径流变化的影响。

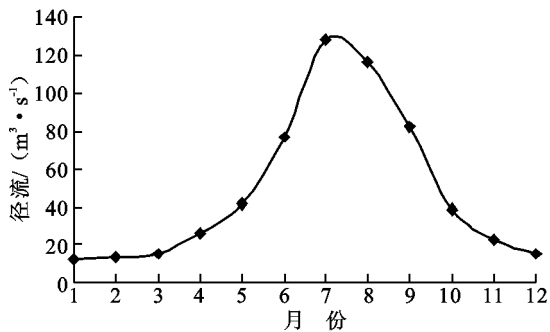


图 2 莺落峡水文站径流年内分配特征

表 2 莺落峡水文站各月径流量变差系数

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
数值	0.154 6	0.179 9	0.144 0	0.187 8	0.327 4	0.348 6	0.308 9	0.291 2	0.346 8	0.244 9	0.171 3	0.160 2

表 3 莺落峡水文站各月径流量落后自相关系数

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
落后 1 个月	0.768 7*	0.709 5*	0.085 5	0.347 6	0.3295	0.393 4	0.397 2	0.256 6	0.596 0*	0.801 9*	0.627 5*	0.103 0
落后 2 个月	0.645 8*	-0.043 5	0.205 4	0.197 5	0.326 8	0.059 7	-0.027 5	0.351 0	0.536 1*	0.444 5*	0.165 5	0.261 6
落后 3 个月	0.022 8	0.182 6	0.238 3	0.368 9	0.086 9	-0.232 4	0.081 4	0.541 9*	0.333 1	0.036 5	0.374 9	0.230 7

注: * 为 $\alpha = 0.001$ 的置信度检验。

2 径流变化对区域水资源安全的可能影响

水资源安全是近些年新出现的一个概念。水资源安全的涵义尚不十分明确,学者们理解不一^[12-16],但总的来说水资源安全主要表现在 4 个方面:水量安全、水质安全、水资源分布结构安全和水灾害防治安全^[17-18]。黑河出山径流的变化对区域水质安全的影响不是很明显,因此本研究主要从其它方面来分析黑河出山径流对区域水资源安全产生的可能影响。

2.1 增加区域可用水量 and 缓解春末夏初“卡脖子”旱
如前文所述,在中国西北内陆地区气候由暖干向暖湿转型的大背景下,祁连山区夏季降水量增多和冬

1.2.2 出山径流稳定性特征 表 2 为黑河莺落峡水文站各月径流量变差系数表。从表中可以看出,总体上,莺落峡站各月径流量的变差系数都较小,其中,3 月的变差系数最小,为 0.144 0,1 月和 12 月次之,这 3 个月的变差系数均小于全年的变差系数(为 0.162 5),其它各月均大于全年的变差系数,尤其是汛期(5—10 月)较大,其中 6 月最大,达到 0.348 6,9 月次之,说明 1 月、3 月和 12 月莺落峡站径流量的稳定性较好,其它月份径流量的稳定性稍差。这是因为冬季和春初地下水和冰雪融化对黑河径流量的补给较多,所占的比重也较大,而在汛期,大气降水是黑河径流的主要补给来源。表 3 为黑河莺落峡水文站月流量与落后 1—3 个月的月流量的自相关系数。相关系数大说明月流量的持续性好。从表 3 可以看出,在整个秋、冬季(9 月—翌年 2 月),莺落峡水文站各月径流量落后自相关系数都较大,并且基本上都通过了 $\alpha = 0.001$ 的置信度检验,这就说明莺落峡站秋季和冬季径流量的持续性较好;而 2 月与 4 月、6 月与 9 月、7 月与 9 月的径流量落后自相关系数为负值,表现为负相关,这是因为每年的 4 月和 9 月为祁连山区径流量的季节转换期^[1,8,11]。

春季气候变暖导致季节性冰雪融水增多,莺落峡水文站多年径流量总体上呈现增加的趋势,其气候倾向率为 $1.78 \times 10^7 \text{ m}^3 / (10 \text{ a})$,这样就会有更多的径流量进入黑河的中下游地区,增加了此区域的可用水量。表 4 为利用最小二乘法计算得出的黑河莺落峡水文站各月径流量气候倾向率数值表^[18-19]。从表 4 可以看出,5—6 月份径流量的气候倾向率最大,说明这两个月的径流量增加幅度最为明显。黑河中游地区地势平坦,光热资源充足,人工绿洲面积较大,灌溉农业十分发达,是甘肃省重要的商品粮生产基地,但此地区干旱少雨,多年平均降水量只有 140 mm,年蒸发量却达到 1 410 mm,农作物完全依靠灌溉才能获得丰收,没有灌溉就没有农业。在黑河中游地区,每年

5—6月正是农田苗水春灌时期,灌溉用水集中,需水量约占全年需水量的35%左右,而同期上游来水量只占全年来水量的20.4%,每年的“卡脖子”旱非常严重,粮食产量大减,所以黑河出山径流量的增加,尤其是5、6月份径流量的增加在一定程度上缓解了黑河中游地区该时段的“卡脖子”旱,但是随着中游地区向下游调水量的逐年增加和水资源的不合理开发利

用,黑河出山径流的这点增量只不过是“杯水车薪”而已^[20-22]。为了保持区域生态经济的稳定和可持续发展,在黑河中游地区要大力提倡节约用水,提高用水效率,采取工程和非工程措施实现节水灌溉,同时还要结合市场需求调整农业种植结构,坚决压缩中游作物种植面积,尤其限制水稻等高耗水作物的种植面积,发展高效农业,逐步建立节水型农业生产体系。

表4 莺落峡水文站各月径流量气候倾向率

项目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
径流量气候倾向率/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot 10^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$)	0.421	0.625	0.462	0.280	0.941	2.105	-1.424	0.708	0.782	0.941	0.668	0.166

注:气候倾向率表示某要素序列的趋势倾向,数值大于(小于)零时,表示某要素序列随时间递增(递减);数值的大小反映递增(递减)的速率,即表示递增(递减)的倾向程度。

2.2 有利于黑河水资源的开发利用

河川径流量的多年变化主要受径流补给来源的影响。由于黑河出山径流为降雨和地下水及高山冰雪融水的混合补给,且流域面积较大,调蓄能力较强,计算得出莺落峡水文站的 C_v 值为0.1625,年极值比 W_{\max}/W_{\min} 为2.0952,均小于周边的河流,是西北地区径流年际变化的低值区,故黑河出山径流年际变化的丰枯波幅不是很大,年际水量变化相对比较稳定,总体来说,有利于黑河水资源的开发利用^[4,23];但是在汛期(5—10月),大气降水是黑河径流量的主要补给来源,径流量的稳定性稍差,而此阶段正值区域的用水季节,这对区域水资源的开发利用有一定程度的影响。借鉴年降水量年内分配的向量法,可计算得到黑河莺落峡水文站多年径流的年内集中度(runoff concentration degree, RCD)。黑河莺落峡水文站1944—2004年径流的年内集中度越来越小,莺落峡站径流年内分配愈加均匀,并且计算结果显示莺落峡站径流年丰枯率(Q_{5-10}/Q_{11-4})也有减小的趋势,汛期占的比重越来越小,非汛期占的比重越来越大,黑河莺落峡水文站径流量年内分配的变化趋势有利于黑河水资源的开发利用。同时,从表4还可以看出来,莺落峡水文站多年径流量气候倾向率只有7月份是负值,为 $-1.424 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot 10 \text{ a})$,这就说明莺落峡站7月的多年径流量是减小的。黑河莺落峡水文站多年径流夏季增加量最多^[24],但计算得到7月份的多年径流量却是减少的,从而说明有更多的径流量分配到了6月和8月。在黑河中游地区,春季至夏初正是农田苗水春灌时期,每年的“卡脖子”旱非常严重,而8月份又是一年之中的第二个用水高峰期,该阶段正值秋禾和经济作物用水临界期,所以6月和8月径流量的增加既缓解了黑河中游地区春季至夏初农田苗水

春灌时期的“卡脖子”旱,又增加了秋禾经济作物的用水量。

2.3 有利于中游地区调水计划的实施

徐广杰和李启森等^[21-22]根据黑河中游地区种植作物的需水规律和黑河上游多年的来水规律研究表明,黑河中游地区调水的适宜时段:(1)7月10日至20日,此时是夏禾作物的收获季节,大秋作物已灌一次水。这一阶段可采取“全线闭口,集中下泄”7~10d;(2)7月下旬至8月下旬是玉米扬花和灌浆期,此阶段若农作物受旱,易造成大幅度减产。所以,此时段闭口时间不宜过长,根据气象及河源来水情况择时采取“全线闭口,集中下泄”向下游调水;(3)9月6日至10月5日,是秋禾作物腊熟和收获季节,此阶段缺水,对作物的产量影响不大,是完成黑河中游全年调水任务的关键时期,可采取“全线闭口,集中下泄”15~30d。由此可见,7—10月份是黑河中游地区向下游调水的重要时期,尤其是9月上旬至10月上旬。从表4可以看出,莺落峡水文站多年径流量除了5—6月份增加幅度较大外,8—10月份增加幅度也较大。因此,黑河出山径流量的增加,尤其是8—10月份径流量的增加有利于黑河中游地区全年调水计划的实施,这样既可以有更多的水调往黑河下游地区,尽快实现黑河下游地区受损生态系统的恢复,还可以减小黑河调水对中游地区种植农业的不利影响。水利部黄委会黑河流域管理局可以根据全年河流预测来水量和当年的分水任务,以总量为控制目标,选好时机,采取“全线闭口,集中下泄”的最佳调水方式向黑河下游调水,尽快恢复黑河下游地区受损的生态系统。

3 结论与讨论

(1) 总体来说,莺落峡水文站多年径流量呈现

增加的趋势,但是趋势不是很显著;人类活动对莺落峡站径流量的变化影响较小,丰枯转化较为平衡;受径流补给条件(大气降水)的影响,莺落峡水文站径流年内分配十分不均,径流量主要集中在汛期,即5—10月份,这6个月径流量占全年平均径流量百分比超过80%,超过非汛期径流量的4倍,11月至次年4月所占比重不大;总体上来说,莺落峡水文站各月径流量变差系数都较小,其中1月、3月和12月的变差系数均小于全年的变差系数,这3个月径流量的稳定性较好,其它各月的变差系数均大于全年的变差系数,径流量的稳定性稍差;莺落峡水文站秋季和冬季径流量的持续性较好;4月和9月为祁连山区径流量的季节转换期,2月与4月、6月与9月、7月与9月的径流量落后自相关系数为负值,表现为负相关。

(2) 莺落峡水文站多年径流量呈现增加的趋势,尤其是5—6月份的增加幅度最为明显,更多的径流量进入黑河的中下游地区,增加了区域的可用水量,也缓解了春末夏初的“卡脖子”旱;总体上来说,莺落峡水文站径流量年际变化的丰枯波幅不是很大,年际水量变化相对比较稳定,有利于黑河水资源的开发利用,但是汛期(5—10月)径流量的稳定性稍差,对黑河水资源的开发利用有一定程度的影响;莺落峡水文站多年径流年内分配愈加均匀,径流年丰枯率也越来越小,有利于黑河水资源的开发利用;莺落峡水文站多年径流量呈现增加的趋势,尤其是8—10月份径流量有较明显的增加幅度,有利于黑河中游地区全年调水计划的实施。

(3) 本研究分析了黑河出山径流的变化规律及趋势,然后根据其变化趋势初步探索了出山径流变化对区域水资源安全产生的可能影响,但是具体的影响效果大小暂时还难以量化评定。因此,在后续的研究中,应进一步研究开发适宜的评价指标与方法,通过对水资源安全的量化评价,增强黑河流域水资源利用的合理性与高效性。

[参 考 文 献]

- [1] 冯建英,李栋梁. 甘肃省河西内陆河流量长期变化特征[J]. 气候与环境研究, 2001, 6(4): 478-484.
- [2] 王钧,蒙吉军. 黑河流域近60年来径流量变化及影响因素[J]. 地理科学, 2008, 28(1): 83-88.
- [3] 蓝永超,康尔泗. Kalman 滤波方法在黑河出山径流年平均流量预报中的应用[J]. 中国沙漠, 1999, 19(2): 156-159.
- [4] 蓝永超,丁永建,康尔泗,等. 黑河流域水资源动态变化及其趋势的灰色 Markov 链预测[J]. 中国沙漠, 2003, 23(4): 435-440.
- [5] 曹玲,董安祥,窦永祥,等. 黑河洪峰变化及其对全球气候变暖的响应[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(2): 230-234.
- [6] 施雅风,沈永平,李栋梁,等. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J]. 第四纪研究, 2003, 23(2): 152-164.
- [7] 施雅风,沈永平,李栋梁,等. 中国西北地区气候由暖干向暖湿转型问题的评估[M]. 北京: 气象出版社, 2003.
- [8] 李栋梁,冯建英,陈雷,等. 黑河流量和祁连山气候的年代际变化[J]. 高原气象, 2003, 22(2): 104-110.
- [9] 李栋梁,刘洪兰. 黑河流量对祁连山气候年代际变化的响应[J]. 中国沙漠, 2004, 24(4): 385-391.
- [10] 张凯,王润元,韩海涛,等. 黑河流域气候变化的水文水资源效应[J]. 资源科学, 2007, 29(1): 77-83.
- [11] 胡天清. 黑河春末初夏径流量与气象要素的关系[J]. 高原气象, 1988, 7(4): 374-376.
- [12] 郭梅,许振成,彭晓春. 水资源安全问题研究综述[J]. 水资源保护, 2007, 23(3): 40-43.
- [13] 郭安军,屠梅曾. 水资源安全预警机制探讨[J]. 生产力研究, 2002(1): 37-38.
- [14] 贾绍凤,张军岩,张士锋. 区域水资源压力指数与水资源安全评价指标体系[J]. 地理科学进展, 2002, 21(6): 538-545.
- [15] 郑通汉. 论水资源安全与水资源安全预警[J]. 中国水利, 2003(11): 19-22.
- [16] 陈德敏,乔兴旺. 中国水资源安全法律保障初步研究[J]. 现代法学, 2003, 25(5): 118-121.
- [17] 李泽红,汤尚颖,许志国. 水资源安全的内涵及其评价[J]. 安全与环境工程, 2005, 12(4): 38-41.
- [18] 徐炳炎,闫彦. 浙江省水资源安全分析与可持续利用对策[J]. 浙江水利水电专科学校学报, 2005, 17(4): 15-18.
- [19] 李林,汪青春,张国胜,等. 黄河上游气候变化对地表水的影响[J]. 地理学报, 2004, 59(5): 716-722.
- [20] 王国亚,沈永平,苏宏超,等. 1956—2006年阿克苏河径流变化及其对区域水资源安全的可能影响[J]. 冰川冻土, 2008, 30(4): 562-568.
- [21] 徐广杰. 现状条件下黑河干流调水的思路[J]. 甘肃水利水电技术, 2001, 37(4): 252-253.
- [22] 李启森,赵文智. 黑河分水计划对临泽绿洲种植业结构调整及生态稳定发展的影响[J]. 冰川冻土, 2004, 26(3): 333-343.
- [23] 蓝永超,康尔泗,金会军,等. 黑河出山径流量年际变化特征和趋势研究[J]. 冰川冻土, 1999, 21(1): 49-53.
- [24] 李林,王振宇,汪青春. 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.