

# 60年来黑河流域东部子水系中上游 径流量、输沙量变化特征分析

崔亮<sup>1</sup>, 陈学林<sup>1</sup>, 安冬<sup>2</sup>, 郭西峰<sup>1</sup>

(1.甘肃省水文水资源局,甘肃 兰州 730000;2.河海大学水文水资源学院,江苏 南京 210098)

**摘要:**利用黑河流域东部子水系中上游10个水文站60年径流、泥沙实测资料,应用数理统计方法分析了黑河流域东部子水系中上游各条河流控制水文站径流量和输沙量年际变化特征,应用径流量累积均值曲线法对黑河干流出口莺落峡水文站2015、2020年径流量进行预测。结果表明:(1)黑河上游各站2001~2012年径流量比历年均值平均偏大10.5%。区间除马营河以外的4条较大支流历年径流量在锯齿型变化过程中呈现出逐步增大的趋势。中游莺落峡、高崖、正义峡3个水文站逐年径流量变化趋势相对应,高崖和正义峡径流过程线接近且有交叉现象,充分表明中游区域地表水和地下水转换频繁并十分复杂;(2)流域内札马什克、祁连、莺落峡、高崖、正义峡5个水文站2001~2012年各站时段平均输沙量均明显小于历年(1978~2012年)平均值,分别偏小-0.3%、-9.7%、-63.9%、-51.8%、-43.3%。分析得出了黑河流域东部子水系中上游水沙变化规律,对于保护和开发利用黑河流域水资源、改善黑河流域生态环境、促进黑河流域综合治理等具有重要作用。

**关键词:**径流量;输沙量;变化特征;趋势预测;东部子水系;黑河

中图分类号:P333.1,TV143.4

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2015)01-0082-06

## 1 流域概况

黑河流域东部子水系中上游主要有黑河干流以及东起山丹县瓷窑口,西至高台县黑大板河的大小26条支流。主要支流有祁连八宝河、山丹马营河、民乐洪水河、大渚马河、梨园河,这些河流均有独立出山口,大都修建拦蓄工程,大部分径流被农业引灌,下游基本为季节性河流。流域内共建水库71座,总库容 $4.96 \times 10^8 \text{m}^3$ ;水电站72座,总装机容量 $114.29 \times 10^4 \text{kW}$ ;设立水文站10处,雨量站24处,洪水调查断面13处。河流水系分布见图1。

黑河,中国第二大内陆河,干流全长928 km,南衔祁连山区的雪水,北润中蒙边境的额济纳大地,横亘我国西北内陆腹地。黑河干流莺落峡以上为上游,河道长313 km,流域面积 $1.0 \times 10^4 \text{km}^2$ ,上游地势高峻,气候严寒湿润,是黑河水的主要来源区;莺落峡至正义峡之间为

中游,河道长204 km,流域面积 $2.56 \times 10^4 \text{km}^2$ ,中游地区绿洲、荒漠、戈壁、沙漠断续分布,地势平坦,是河西走廊的重要组成部分,这里光热资源充足,昼夜温差大,是甘肃省重要的灌溉农业区<sup>[1-3]</sup>。正义峡以下为下游,河道长411 km,流域面积 $8.04 \times 10^4 \text{km}^2$ ,下游阿拉善平原,属于马鬃山至阿拉善台块的戈壁沙漠地带,地势开阔平坦,气候非常干燥,植被稀疏,是戈壁沙漠围绕天然绿洲的边境地区。

黑河是一个资源型缺水流域。长期以来,黑河在中游供养着名列全国十大商品粮基地的灌溉农业带,在下游呵护着蒙古族土尔扈特同胞和国防要地—酒泉卫星发射中心。

## 2 径流量变化特征

### 2.1 径流量年内变化特征

黑河径流年内分配格局变化趋势分析<sup>[4]</sup>一文通过

收稿日期:2013-12-20

基金项目:国家自然科学基金重点项目(91125015)

作者简介:崔亮(1982-),男,陕西凤翔人,工程师,主要从事水文水资源分析、评价和研究工作。E-mail:76916991@qq.com

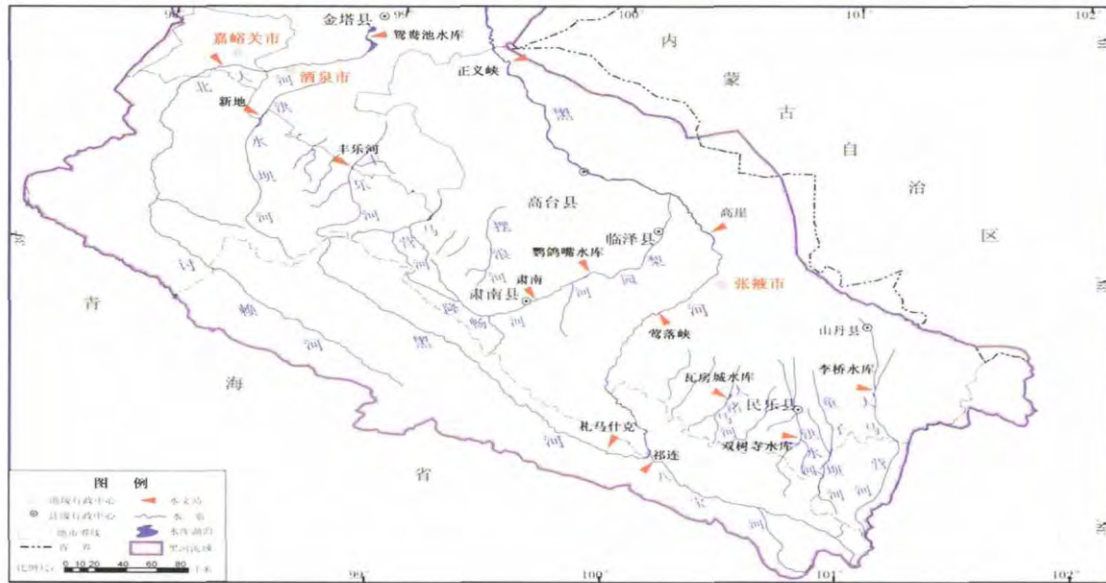


图1 黑河流域上中游河流水系分布图

Fig.1 Distribution of the upper and middle reaches in the Heihe river basin

黑河出山口控制站莺落峡 65 年的月年实测径流资料,从径流年内各月(阶段)占年径流的百分比、年内不均匀系数、集中度(期)、及变化幅度等不同指标,具体分析了黑河径流年内分配的变化规律。研究表明:(1)黑河径流年内分配不均匀系数减小、集中度降低,绝对变幅基本稳定,相对变幅有所减小,非汛期水量所占比重增大,径流年内分配渐趋均匀。(2)莺落峡年径流量集中期的长期变化总趋势上是呈逐年推后趋势,60 多年间,黑河径流重心向后移动,集中期滞后 4d 左右。

### 2.2 径流量年际变化特征

#### 2.2.1 黑河流域东部子水系上游径流量年际变化特征

黑河流域东部子水系上游由干流札马什克、支流八宝河祁连、干流出山口莺落峡水文站控制。点绘莺落峡 1957~2012 年、札马什克 1957~2012 年、祁连 1968~2012 年多年径流量变化过程线(见图 2),图中明显看出上游 3 站多年径流量呈现出逐渐增大的趋势。分时段统计平均径流量成果见表 1。

从表 1 中看出,分 1980 年以前、1981~2000 年、2001~2012 年 3 个时段统计时段平均径流量。1981 年以后各时段平均径流量除札马什克外均大于多年平均径流量,1981~2000 年札马什克、祁连、莺落峡分别比历年均值偏大 -1.6%、3.6%、2.8%;2001~2012 年札马什克、祁连、莺落峡分别比历年均值偏大 12.0%、7.8%、

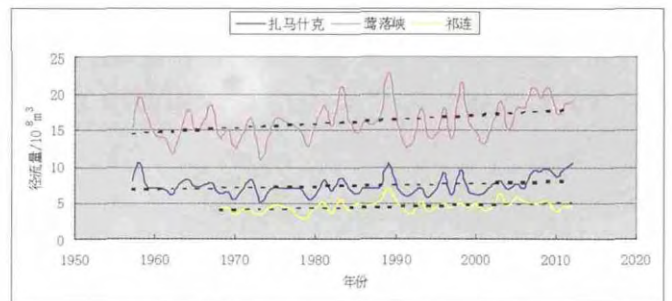


图2 上游水文站逐年径流量变化过程线图

Fig.2 The annual runoff change at the stations in the upper reaches

表1 上游水文站不同时段平均径流量统计表

Table 1 The statistics for the mean runoff at the stations in the upper reaches in the different durations

站名	多年平均 /10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	1980 年以前 /10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	1981~2000 年 /10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	2001~2012 年 /10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	备注
札马什克	7.367	7.062	7.248	8.249	
祁连	4.581	3.995	4.746	4.939	
莺落峡	16.12	15.24	16.57	18.00	

11.7%, 第 3 个时段偏大幅度比第 2 个时段偏大幅度更大,分别达 13.6%、4.2%、8.9%。

#### 2.2.2 黑河流域东部子水系各支流径流量年际变化特征

黑河流域东部子水系较大支流由梨园河、洪水

河、大渚马河、马营河,分别由鸚鵡咀、双树寺、瓦房城、李桥 4 个水库水文站控制。点绘鸚鵡咀 1954~2012 年、双树寺 1958~2012 年、瓦房城 1959~2012 年、李桥 1957~2012 年逐年径流量变化过程线图(见图 3)。分时段统计平均径流量成果见表 2。

从图 3 中得出,梨园河、洪水河、大渚马河、马营河 4 条较大支流中,梨园河、洪水河、大渚马河历年径流量在锯齿型变化过程中呈现出逐步增大的趋势,马营河历年径流量在锯齿型变化过程中呈现出逐步减小的趋势,尤其从 1985 年开始径流量明显减小,究其原因这是由于上游引水灌溉造成。

从表 2 中看出,分多年(建站~2012 年)、1980 年以前、1981~2000 年、2001~2012 年 4 个时段统计时段平均径流量,鸚鵡咀、双树寺、瓦房城 1981 年以后各时段平均径流量均大于多年平均径流量,1981~2000 年鸚鵡咀、双树寺、瓦房城分别比历年均值偏大 2.9%、1.9%、2.2%;2001~2012 年鸚鵡咀、双树寺、瓦房城分别比历年均值偏大 9.0%、3.8%、6.3%。李桥水文站由于 1985 年以后上游引水灌溉,除 1980 年以前时段平均径流量大于多年平均径流量 15.7%外,1981~2000 年、2001~2012 年分别比多年平均径流量偏小 8.5%、

17.4%。

### 2.2.3 黑河流域东部子水系中游径流量年际变化特征

黑河流域东部子水系中游区域从鸚鵡咀~正义峡水文站,区间有鸚鵡咀、高崖、正义峡 3 个国家重要水文站控制,流经甘临高三县(区),属于张掖绿洲农业灌溉区,经过引水口门合并后现有较大引水口门 31 处。点绘 3 个水文站具有同步径流观测资料 1977~2012 年逐年径流量变化过程线图(见图 4)。

从图 4 不难看出,3 个站年径流变化过程相应,高崖和正义峡径流过程线数值接近且有交叉现象,充分表明中游区域地表水和地下水转换频繁并十分复杂<sup>[5]</sup>。

## 3 输沙量变化特征

黑河流域东部子水系上中游区域有输沙率测验任务的札马什克、祁连、鸚鵡咀、高崖、正义峡、肃南 6 个水文站。点绘 6 个水文站 1978~2012 年同步逐年输沙量变化过程线(见图 5)。从图 5 中看出,2000 年以前各站输沙率逐年在波动中变化,无明显增大或减小变化趋势,2000 年以后由于黑河上游梯级电站相继建成并发电,逐年输沙量明显小了很大一个量级。具体统计见表 3。

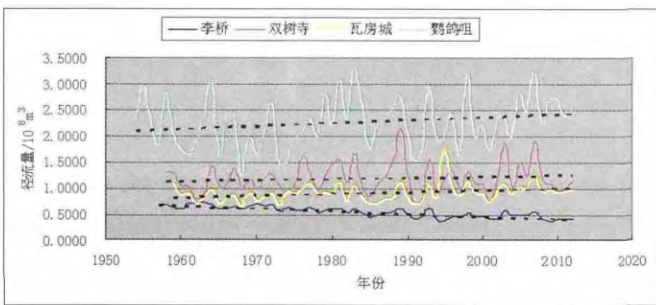


图 3 区间支流水文站逐年径流量变化过程线图

Fig.3 The annual runoff change at the hydrology stations of the reach branches

表 2 区间支流水文站不同时段平均径流量统计表

Table 2 The statistics of the mean runoff at the hydrology stations of the reach branches in the different durations

站名	多年平均 /10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	1980 年以前 /10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	1981~2000 年 /10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	2001~2012 年 /10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	备注
鸚鵡咀	2.269	2.129	2.335	2.473	
双树寺	1.187	1.142	1.210	1.232	
瓦房城	0.9090	0.8596	0.9292	0.9661	
李桥	0.5398	0.6248	0.4940	0.4462	

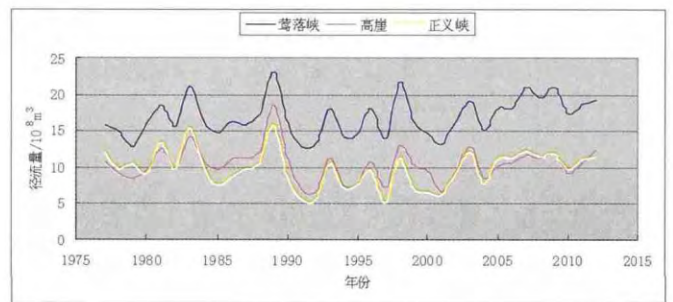


图 4 黑河中游水文站逐年径流量变化过程线图

Fig.4 The annual runoff change at the stations in the middle reaches of the Heihe river

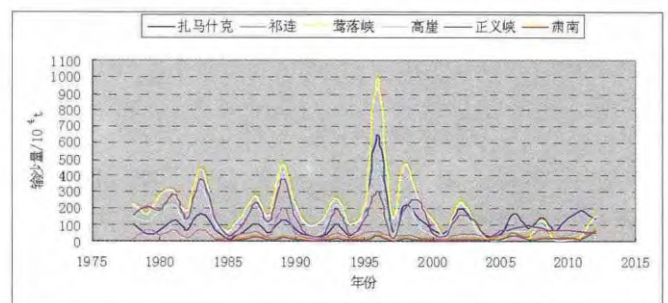


图 5 黑河流域东部子水系上中游区域水文站逐年输沙量过程线图

Fig.5 The annual sediment runoff change at the stations in the upper and middle reaches of the eastern sub-rivers in the Heihe river basin

表3中统计了札马什克、祁连、莺落峡、高崖、正义峡5个水文站1978~2012年、1978~2000年、2001~2012年不同时段平均输沙量,流域开发治理以前1978~2000年各站平均输沙量均大于历年(1978~2012年)平均值,偏大幅度分别为0.2%、5.0%、33.4%、27.0%、22.6%;流域开发治理及以后2001~2012年各站平均输沙量均明显小于历年(1978~2012年)平均值,偏小幅度分别为-0.3%、-9.7%、-63.9%、-51.8%、-43.3%。这是由于流域综合治理和上游梯级水电站调蓄综合作用的结果<sup>[6-7]</sup>。

#### 4 黑河干流出山口莺落峡站径流变化趋势分析预测

点绘莺落峡站自建站以来1945~2012年历年年平均径流量累积均值过程线,同时在图上点绘历年年平均径流量过程线(见图6)。

从图6可以看出,黑河莺落峡断面68年的累积均值过程线一直没有连续很稳定的平均值,只是在不同

阶段表现出相对的稳定性<sup>[10]</sup>,说明黑河年来水量不是稳定的沿一个定值(均值)上下浮动,没有稳定的代表年份,因此,在用莺落峡站的来水量分析中不能只用部分年限的系列资料进行统计分析。本次黑河干流来水量演变趋势分析过程中,我们选用全部的67年资料进行相关的径流统计计算分析。

黑河来水属天然过程,来水量丰枯交替出现<sup>[8]</sup>。用莺落峡水文站自有完整观测资料的1945~2012年68年系列资料计算出黑河年径流变差系数 $C_v$ 为0.16。67年来,黑河最大来水量为1989年的 $23.10 \times 10^8 \text{m}^3$ ,最小来水量是1973年的 $11.03 \times 10^8 \text{m}^3$ ,年极值比为2.09。两项特征值都为我国和西北地区径流年际变化的低值区,说明黑河上游年径流量的年际变化相对稳定的。其主要原因<sup>[9]</sup>是祁连山冰川融冰、融雪补给对年径流的调节作用和祁连山水源涵养林的涵养水分补充,降水多,径流也多;降水少,气温则高,冰雪融水增多,使径流的年际变化减小。

从图6径流量综合过程线图可以看出:

表3 不同时段平均输沙量统计表

Table 3 The statistics of the mean sediment runoff in the different durations

站名	1978~2012年 多年平均/ $10^4 \text{t}$	1978~2000年 多年平均/ $10^4 \text{t}$	与多年平均值 比较/%	2001~2012年 多年平均/ $10^4 \text{t}$	与多年平均值 比较/%	备注
札马什克	112.95	113.14	0.2	112.58	-0.3	
祁连	41.99	44.10	5.0	37.93	-9.7	
莺落峡	192.13	256.14	33.4	69.43	-63.9	
高崖	132.24	167.95	27.0	63.78	-51.8	
正义峡	132.90	162.95	22.6	75.40	-43.3	

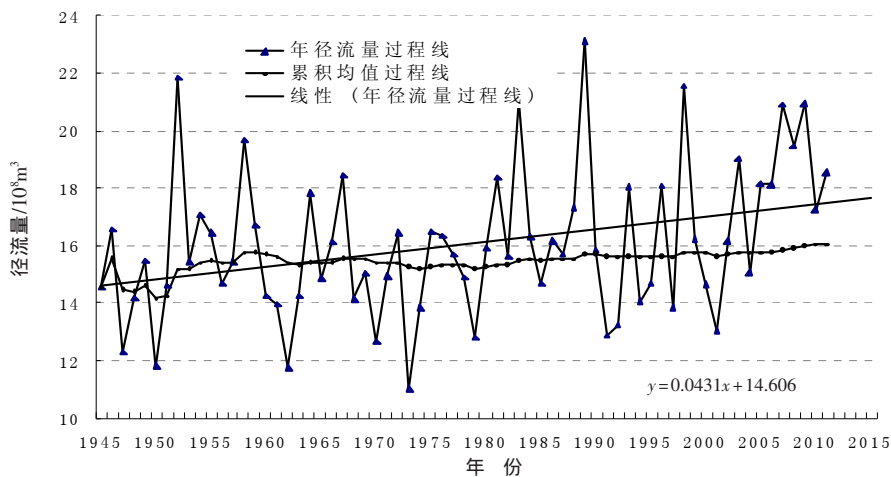


图6 黑河莺落峡站历年径流量累积均值过程线

Fig.6 The runoff accumulation mean of the Yingluoxia station in the Heihe river basin

(1) 黑河莺落峡断面 68 年的年径流量过程呈锯齿状高频振荡,且总体呈上升趋势。其中从有记载以来发生的历史次大来水量( $21.82 \times 10^8 \text{m}^3$ )的 1952 年到历史最小来水量( $11.03 \times 10^8 \text{m}^3$ )的 1973 呈缓慢下降趋势;1974 年到 2011 年的过程,来水量呈丰枯交替上升趋势。

(2) 黑河历年年径流量累积平均值过程线一直没有连续很稳定的平均值,其过程随时间的延长呈逐年上升趋势。历年累积平均值由最小的  $14.16 \times 10^8 \text{m}^3$  (1945~1949 年平均值) 上升到最大的  $16.12 \times 10^8 \text{m}^3$  (1945~2012 年平均值)。

(3) 用莺落峡站年径流量与时间的趋势关系经拟合<sup>[10-11]</sup>可用直线方程表达:

$$Q=0.0431t+14.606$$

式中: $Q$  为莺落峡站的逐年年径流量; $t$  为时间(1945~2012 年,为 68 年)。

由上式可知,直线方程的斜率  $K=0.0431>0$ ,说明莺落峡站年径流的长期变化总体上是呈缓慢上升的趋势;同时也可以理解为:莺落峡有资料记载的 67 年以来的来水量过程呈现出每年以  $431 \times 10^4 \text{m}^3$  增量增加的过程。

径流预测成果见表 4。

表4 黑河干流出口莺落峡站径流预测成果

Table 4 The runoff forecasts at the Yingluoxia station of the Heihe branch outlet

年份	2000	2005	2010	2015	2020
实测值/ $10^8 \text{m}^3$	14.63	18.18	17.24		
预测值/ $10^8 \text{m}^3$	17.02	17.24	17.45	17.67	17.88
预测误差/%	16.3	-5.2	1.2		

## 5 结论

(1) 黑河上游径流量分 1980 年以前、1981~2000 年、2001~2012 年 3 个时段统计时段平均径流量,1981 年以后各时段平均径流量除札马什克外均大于多年平均径流量,1981~2000 年札马什克、祁连、莺落峡分别比历年均值偏大-1.6%、3.6%、2.8%;2001~2012 年札马什克、祁连、莺落峡分别比历年均值偏大 12.0%、7.8%、11.7%。区间梨园河、洪水河、大渚马河、

马营河 4 条较大支流中,梨园河、洪水河、大渚马河历年径流量在锯齿型变化过程中呈现出逐步增大的趋势,马营河历年径流量在锯齿型变化过程中呈现出逐步减小的趋势,尤其从 1985 年开始径流量明显减小,究其原因是由于上游引水灌溉造成;中游莺落峡、高崖、正义峡 3 个水文站逐年径流量变化趋势相对应,高崖和正义峡径流过程线接近且有交叉现象,充分表明中游区域地表水和地下水转换频繁并十分复杂。

(2) 流域内有输沙量测验任务的札马什克、祁连、莺落峡、高崖、正义峡、肃南 6 个水文站 2000 年以前各站输沙率逐年在波动中变化,无明显增大或较小变化趋势,2000 年以后由于黑河上游梯级电站相继建成并发电,逐年输沙量明显小了很大一个量级。2001~2012 年各站时段平均输沙量均明显小于历年(1978~2012 年)平均值,分别偏小-0.3%、-9.7%、-63.9%、-51.8%、-43.3%。

(3) 黑河莺落峡断面 68 年的年径流量过程呈锯齿状高频振荡,且总体呈上升趋势。黑河历年年径流量累积平均值过程线一直没有连续很稳定的平均值,其过程随时间的延长呈逐年上升趋势。用莺落峡站年径流量与时间的拟合趋势关系预测出 2000、2005、2010、2015、2020 年年径流量,将预测成果与已发生年份 2000、2005、2010 年实测值进行比较,预测误差分别为 16.3%、-5.2%、1.2%。

### 参考文献:

- [1] 牛最荣,赵文智,黄维东,等. 黑河下游生态调水对水资源时空变化的影响分析[J]. 水文, 2011,31(5). (NIU Zuirong, ZHAO Wenzhi, HUANG Weidong, et al. Impact of ecological water diversion on temporal and spatial change of water resources in Heihe downstream [J]. Journal of China Hydrology, 2011,31(5). (in Chinese))
- [2] 牛最荣,赵文智,陈学林,等. 黑河流域中西部子水系水资源分布特征研究[J]. 冰川冻土, 2010,32(6). (NIU Zuirong, ZHAO Wenzhi, CHEN Xuelin, et al. Study of the water resources characteristics in the mid-west sub-water systems of the Heihe river [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2010,32(6). (in Chinese))
- [3] 陈豫英,冯建民,陈楠,等. 西北地区东部可利用降水的时空变化特征[J]. 干旱区地理, 2012,35(1). (CHEN Yuying, FENG Jianmin, CHEN Nan, et al. Spatio-temporal variation characteristic of the utilizable precipitation in eastern part of northwest China [J]. Arid Land Geography, 2012,35(1). (in Chinese))
- [4] 马正耀. 黑河径流年内分配格局变化趋势分析[J]. 水文, 2011,31

- (4). [MA Zhengyao. Trend of annual runoff distribution change in Heihe river basin [J]. Journal of China Hydrology. 2011,31(4). (in Chinese))
- [5] 刘进琪, 牛最荣. 内陆干旱区土地利用及覆被变化对水资源影响研究 [M]. 兰州: 甘肃人民出版社, 2009. (LIU Jinqi, NIU Zuirong. Study on Influence of Land Use and Cover Change on Water Resources in Inland Arid Areas [M]. Lanzhou: Gansu People's Press, 2009. (in Chinese))
- [6] 牛最荣, 黄维东, 陈文, 等. 引大工程供水区水资源优化配置模型及方案研究[J]. 水文, 2007,27(1). (NIU Zuirong, HUANG Weidong, CHEN Wen, et al. Optimized water resources allocation model and analysis of options for Yindaruqin water supply area [J]. Journal of China Hydrology, 2007,27(1). (in Chinese))
- [7] 姚进忠, 牛最荣, 黄维东. 引大入秦工程水资源优化配置研究[J]. 干旱区地理, 2005,28(3). (YAO Jinzhong, NIU Zuirong, HUANG Weidong. Study on the optimized redistribution of water resources by the water-transferring project from the Datong River to the Qinwangchuan irrigation area [J]. Arid Land Geography, 2005,28(3). (in Chinese))
- [8] 牛最荣, 刘进琪, 赵文智, 等. 河西内陆河流域土地利用对地表水资源影响研究[J]. 水文, 2009,29(5). (NIU Zuirong, LIU Jinqi, ZHAO Wenzhi, et al. Study on the impacts of land utilization on surface water resources in Hexi inland river basin [J]. Journal of China Hydrology, 2009,29(5). (in Chinese))
- [9] 陈亚宁, 杨青, 罗毅, 等. 西北干旱区水资源问题研究思考[J]. 干旱区地理, 2012,35(1). (CHEN Yaning, YANG Qing, LUO Yi, et al. Ponder on the issues of water resources in the arid region of northwest China[J]. Arid Land Geography, 2012,35(1). (in Chinese))
- [10] 牛最荣, 赵文智, 刘进琪, 等. 甘肃渭河流域气温、降水和径流变化特征及趋势研究[J]. 水文, 2012,32(2). (NIU Zuirong, ZHAO Wenzhi, LIU Jinqi, et al. Study on change characteristics and tendency of temperature, precipitation and runoff in Weihe River basin in Gansu [J]. Journal of China Hydrology, 2012,32(2). (in Chinese))
- [11] 牛最荣, 赵文智, 刘进琪, 等. 甘肃渭河流域土地利用及覆被变化对径流的影响研究[J]. 水利水电技术, 2012,43(4). (NIU Zuirong, ZHAO Wenzhi, LIU Jinqi, et al. Study on impact from change of land-use and land-cover on runoff in Weihe river basin in Gansu province [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2012,43(4). (in Chinese))

## Change Characteristics of Runoff and Sediment Runoff in Upper and Middle Reaches of Eastern Heihe River Basin in 60 Years

CUI Liang<sup>1</sup>, CHEN Xuelin<sup>1</sup>, AN Dong<sup>2</sup>, GUO Xifeng<sup>1</sup>

(1. Hydrology and Water Resources Bureau of Gansu Province, Lanzhou 730000, China;

2. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** The interannual change characteristics of the runoff and sediment runoff at the controlled stations were analyzed with mathematical and time interval statistics based on the observed data from 10 stations on the upper and middle reaches of the eastern Heihe River Basin in 60 years, and the runoff at the Yingluoxia Station of the Heihe River outlet in 2015 and 2020 was forecasted with cumulative mean of runoff curve. The results show: (1) The runoff at the upper reach stations increased by 10.5% than the annual mean during 2001–2012. The mean annual runoff in the 4 larger branches (except Mayinghe River) increased gradually in serrated change process. The annual runoff change process at the 3 stations of Yingluoxia, Gaoya and Zhengyixia in middle reaches corresponded each other. The runoff process values of Gaoya and Zhengyixia approached closely and intersected. (2) From 2001 to 2012, the mean sediment runoff at the stations of Zhamashike, Qilian, Yingluoxia, Gaoya and Zhengyixia were less than the annual mean (1978–2012), the scope are -0.3%、-9.7%、-63.9%、-51.8%、-43.3% respectively. The change rule of runoff and sediment in upper and middle reaches of the eastern Heihe River Basin was obtained, which is very important for in the Heihe River Basin to protect and develop water resources, improve ecological environment and advance integrated management.

**Key words:** runoff; sediment runoff; change characteristics; trend forecast; eastern sub-reaches; Heihe River