

滦河流域径流变化及其驱动力分析

付晓花,董增川,刘晨,山成菊,方庆,刘倩

(河海大学水文水资源学院,南京 210098)

摘要: 根据滦河流域滦县站 1950年-2009年的逐日降水资料、逐日流量资料,运用数理统计等方法系统分析了滦河流域径流的年际、代际、年内变化特征和径流的变化趋势,并对滦河流域降水变化做了相应分析,探讨了降水和人类活动对径流变化的影响。结果表明:滦河流域径流的年际变化剧烈,代际变化明显,1950年-1979年基本处于丰水期阶段,1980年后基本处于枯水期阶段;径流年内分配极不均匀,主要集中在7月-9月,几乎占全年的66.2%。滦河流域径流有显著的递减趋势,降水与径流变化趋势基本一致,不同阶段降水和人类活动对径流的影响不同,1959年-1968年,降水和人类活动均对径流的增加做出了贡献;1969年-2009年,人类活动是该时期滦河流域径流减少的主要原因。

关键词: 滦河流域;径流变化;人类活动;降水量;驱动因子

中图分类号: TV121 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)05-0006-05

Analysis of Runoff Variation and Its Related Driving Forces in the Luanhe River Basin

FU Xiaohua, DONG Zengchuan, LIU Chen, SHAN Chengju, FANG Qing, LIU Qian

(College of Hydrology and Water Resource, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: According to the daily precipitation and the runoff data of the Luanxian station in the Luanhe River Basin from 1950 to 2009, the mathematical statistics method was applied in this study to analyze the inter annual, inter generation, and annual variation characteristics and trend of runoff, and to investigate the variation of precipitation in the Luanhe River Basin to help discover the effects of precipitation and human activities to runoff. The results showed that both the inter annual and inter generation runoff variations are apparent in the Luanhe River Basin, and high flow period occurred from 1950 to 1979 and low flow period appeared after 1980. Furthermore, the annual runoff of the Luanhe River Basin was unevenly distributed with 66.2% of runoff occurring from July to September. Both the runoff and precipitation of the Luanhe River Basin had the significant decreasing trend. During the period of 1959 to 1968, the increasing runoff in the Luanhe River Basin can be attributed to both the precipitation and human activities; while during the period of 1969 to 2009, human activity was the main reason for the decreasing of runoff.

Key words: Luanhe River Basin; runoff variation; human activity; precipitation; driving factor

河川径流量是最重要的淡水资源,是水资源综合利用和水资源管理的重要依据^[1],因此河川径流变化及其驱动力的研究备受关注:王国庆等^[2]以黄河中游三川河流域为例,基于天然径流过程的模拟,采用流域水文模拟途径分析评估了气候变化和人类活动对流域径流量的影响;粟晓玲等^[3]应用回归分析法,定量分析了气候变化和人类活动对渭河入黄径流的影响;Hernandez等^[4]将KINEROS和SWAT两个水文模型应用于半干旱流域,认为SWAT模型可以很好地反映土地覆被变化条件下的多年降雨-径流关系;Sirwardena

等^[5]以澳大利亚彗星河流域为研究实例,采用日降雨径流概念模型SIMHYD,将森林覆被转化为耕地或者草地,分析了流域河道径流的影响。

滦河流域属于半干旱、半湿润地区,随着经济的快速发展,滦河流域的水资源危机日渐严重^[6],生态环境已趋于严重恶化^[7],流域经济的发展对水资源的依赖性越来越强,水资源开发利用强度不断加大^[8]。20世纪70年代,国家实施了滦河跨流域引水工程,先后在滦河干流修建了潘家口水库和大黑汀水库,90年代在滦河一级支流青龙河上修建桃林口水库,

收稿日期:2013-05-06 修回日期:2013-08-08 网络出版时间:2013-08-22
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20130822.1706.014.html>
基金项目:水利部公益性行业科研专项(201101017)
作者简介:付晓花(1990),女,陕西西安人,硕士研究生,主要从事水资源规划与管理研究。Email:fxh9034@sina.com
通讯作者:董增川(1963),男,山西芮城人,教授,博士,从事水资源规划与管理研究。E-mail:zcdong@hhu.edu.cn

并逐渐建成引滦入津、引滦入唐等配套工程。本文基于滦河流域长期水文观测资料,分析该流域径流变化及其驱动因子,为流域水资源综合利用和水资源管理提供重要依据。

1 流域概况

滦河位于东经 $115^{\circ}30' - 119^{\circ}45'$, 北纬 $39^{\circ}10' - 42^{\circ}40'$, 发源于河北省丰宁县西北巴彦图古尔山麓^[9], 北流入内蒙古自治区, 称闪电河; 在多伦附近与上都河汇合后称大滦河; 至城口转向东南, 于外沟门子附近再次进入河北省; 然后向南, 在乐亭县注入渤海。滦河流域是海河流域水量最丰富的一条河, 支流众多, 全长 888 km, 流域面积 44 750 km²。

滦河流域地处温带大陆性季风区, 雨量集中是该地区气候的一个显著特点, 夏季受大陆低压和副高控制, 雨量充沛, 炎热多雨, 冬季受内蒙高压控制, 雨雪稀少, 寒冷而干燥。该流域径流量年内分配极为不均, 70% 左右的水量集中在 7 月-9 月的汛期, 且年际丰枯变化悬殊, 连续丰水年和连续枯水年的异常现象经常出现^[10]。

滦县水文站是滦河下游总控制站, 控制流域面积 44 100 km², 占全流域的 98.2%。该站 1929 年由前华北水利委员会设立, 距今已有 80 余年的历史, 数据序列长, 是研究滦河流域径流历史变化的理想站点。本文从水文年鉴上摘录滦县站 1950 年-2009 年逐日流量资料进行滦河径流特征分析, 并收集滦县站同期降水资料和上游人类活动资料, 据此分析径流变化及其影响因素。

2 流域径流变化分析

2.1 径流累积曲线分析

对于径流量的累积曲线, 如果不受人类活动的干扰, 各年的来水量虽然有丰枯变化, 径流累积点也会有波动, 但没

有系统偏离。如果受到外界人类活动影响, 径流累积点据就会发生明显的系统偏离^[11]。本文利用实测资料绘制出滦河流域滦县站的年径流累积曲线, 见图 1。

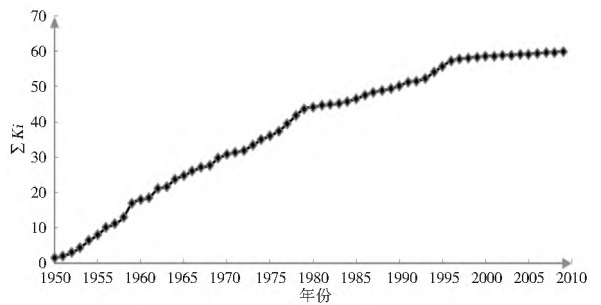


图 1 滦河流域滦县站年径流累积曲线

Fig. 1 The accumulative curve of annual runoff at the Luanxian station in the Luanhe River Basin

由图 1 可以看出, 滦县站 1950 年-1979 年的年径流变化基本呈直线变化, 之后, 曲线偏离了原来的趋势, 说明滦河径流一定程度上受到人类活动的影响。

2.2 径流的年际变化

本文采用变差系数 C_v 和极值比、模比系数这些参数衡量年径流量的年际变化程度, 其中, C_v 是目前衡量年际变化的重要指标之一, 反映径流量年际间的起伏程度, C_v 大表示径流变化剧烈, 反之则变化平缓。根据滦县站 1950 年-2009 年逐日流量实测值计算年均流量, 计算分析结果见表 1, 可以看出, 1980 年-2009 年滦县站年径流年际变化较 1950 年-1979 年大, 1950 年-2009 年年径流变差系数 C_v 达到 0.77, 说明滦县站受人类活动及气候等各方面因素影响很大。年径流年际变化剧烈, 不利于水资源的有效利用和管理, 而且易发生洪涝灾害。

表 1 滦河流域滦县站年径流多年变化特征

Table 1 Variation characteristics of annual runoff at the Luanxian station in the Luanhe River Basin

统计时段	多年平均年径流量/(m ³ ·s ⁻¹)	C_v	极值比	最大年径流			最小年径流量		
				年份	径流量/(m ³ ·s ⁻¹)	模比系数	年份	径流量/(m ³ ·s ⁻¹)	模比系数
1950-2009	100.78	0.77	38.15	1959	400.18	3.97	2001	10.49	0.10
1950-1979	147.18	0.51	7.52	1959	400.18	2.72	1968	53.17	0.36
1980-2009	54.39	0.89	17.61	1994	184.74	3.40	2001	10.49	0.19

2.3 径流的代际变化

针对滦县站 1950 年-2009 年的径流资料, 以 10 年为一个代际, 统计滦河滦县站每个年代的年平均流量, 见表 2。

表 2 滦河流域滦县站年径流量代际变化特征

Table 2 The inter decadal variation characteristics of annual runoff at the Luanxian station in the Luanhe River Basin

统计时段	年平均流量/(m ³ ·s ⁻¹)
1950-1959	171.44
1960-1969	128.17
1970-1979	141.92
1980-1989	56.00
1990-1999	91.45
2000-2009	15.71
多年平均	100.78

可以看出, 20 世纪 50、60、70 年代滦河年平均流量都大于多年平均流量值, 尤其是 50 年代, 年平均流量几乎为多年平均流量的两倍。而 20 世纪 80、90 年代以及 21 世纪初 (2000 年-2009 年) 年平均流量都小于多年平均流量, 21 世纪初年平均流量仅为多年平均流量值的 0.16 倍。可见, 滦河流域年径流有较明显的代际特征, 年际丰枯变化悬殊, 且从 20 世纪 80 年代以来年径流量减少迅速。

2.4 径流的年内变化

滦河流域滦县站径流年内分配特征见表 3, 由表 3 可以看出, 滦县站年径流年内分配极为不均, 1950 年-2009 年间夏季径流占 60.8%, 冬季只占 6.3%, 春季也只占到 11.4%, 可见, 天然径流量不能满足春季灌溉用水需求, 影响农业经济发展。

表 3 滦河流域滦县站 1950 年- 2009 年径流年内分配

Table 3 The annual distribution of runoff at the Luanxian station in the Luanhe River Basin from 1950 to 2009

项目	春季			夏季			秋季			冬季		
	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月
径流/(m ³ ·s ⁻¹)	35.3	50.6	57.7	77.1	286.9	401.9	146.0	74.4	51.6	30.5	23.8	25.0
比例(%)	2.8	4.0	4.6	6.1	22.8	31.9	11.6	5.9	4.1	2.4	1.9	2.0
	11.4			60.8			21.6			6.3		

此外,滦河流域水量主要集中在汛期 7 月- 9 月,这 3 个月年径流几乎占全年的 66.2%,所以滦河下游汛期防洪问题应得到重视。

2.5 径流的趋势分析

利用 5 年滑动平均法和 Mann Kendall 秩次相关检验法对滦县站径流时间序列进行趋势分析,见图 2。

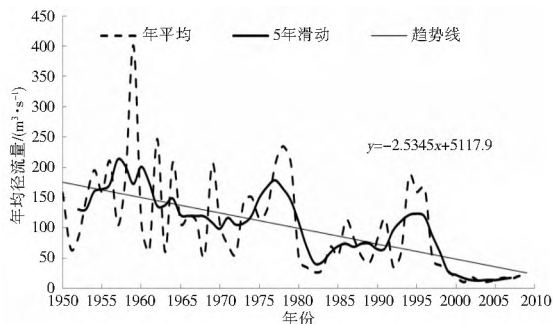


图 2 滦河流域滦县站年均流量 5 年滑动平均值过程线

Fig. 2 The 5-year average moving process curve of annual runoff at the Luanxian station in the Luanhe River Basin

图 2 中可以直观地看出滦河流域滦县站年均流量处在丰枯交替的不断变化中,但总的趋势是递减的。

选用置信水平 $\alpha = 0.05$,经计算, Mann Kendall 秩次相关检验法对径流趋势变化的检验统计量 U 为 -5.21,其绝对值大于临界值 $U_{\alpha/2}$,表明滦县站年均流量具有显著的递减趋势,与 5 年滑动平均法检验的结果保持一致。

3 流域径流变化的驱动因子分析

3.1 降水变化分析

3.1.1 降水的年际变化

与径流系列相对应,本文分析计算 1950 年- 2009 年滦

县站年降水量的年际变化,得变差系数 C_v 为 0.27,极值比为 2.93,表明滦河流域年均降水年际变化较平缓,但也存在一定的波动变化。

3.1.2 降水的代际变化

滦县站 1950 年- 2009 年每个年代的年均降水统计结果见表 4。

表 4 滦河流域滦县站年均降水代际变化特征

Table 4 The inter decadal variation characteristics of annual precipitation at the Luanxian station in the Luanhe River Basin

统计时段	年均降水量/mm
1950- 1959	683.8
1960- 1969	683.1
1970- 1979	712.4
1980- 1989	588.3
1990- 1999	561.2
2000- 2009	545.5
多年平均	630.3

根据表 4,滦县站在 20 世纪 50、60、70 年代年均降水都大于多年平均降水量,而 20 世纪 80、90 年代以及 21 世纪初年均降水都小于多年平均降水量,表明滦河流域降水有较明显的代际特征,对比表 4 和表 2,可以发现,滦县站年均降水与年均流量有着相同的丰枯规律,说明降水是径流的直接来源,对径流的丰枯变化产生很大的影响。

3.1.3 降水的年内变化

根据滦河流域滦县站 1950 年- 2009 年年均降水年内分配分析结果(表 5),滦县站年均降水夏季占全年比例高达 72.35%,冬季仅占 1.74%,春季所占比例也只有 10.75%。可见,天然降水年内分配极不均匀,春季不能满足灌溉要求,引起春旱,影响农业经济的发展。汛期 6 月- 9 月降水占全年的 81.12%,汛期易发生洪涝灾害。

表 5 滦河流域滦县站 1950 年- 2009 年年均降水量年内分配

Table 5 The annual distribution of precipitation at the Luanxian station in the Luanhe River Basin from 1950 to 2009

项目	春季			夏季			秋季			冬季		
	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月
降水量/mm	7.59	21.6	38.4	87.5	203.1	164.3	55.1	32.1	8.04	3.6	2.6	4.75
比例(%)	1.21	3.43	6.11	13.91	32.31	26.14	8.77	5.11	1.28	0.57	0.41	0.76
	10.75			72.35			15.16			1.74		

3.1.4 降水的趋势分析

采用 Mann Kendall 秩次相关检验法,取置信水平 $\alpha = 0.05$,分析计算得滦县站 1950 年- 2009 年降水趋势变化检验统计量 U 为 -2.52,其绝对值大于临界值 1.96,表明 1950 年- 2009 年滦河流域降水有显著递减趋势。从图 3 可以看到,1950 年- 2009 年滦县站降水量上下波动,且表现出一定

的周期性,基本上表现为 5 年一个丰水期,5 年一个枯水期,丰枯交替变化,但总体是呈下降趋势的。比如,1950 年- 1954 年递增,1954 年- 1959 年递减,1959 年- 1975 年表现为波动性递增,1975 年- 1980 年递减,1980 年- 1986 年递增,1986 年- 1991 年递减,1991 年- 1996 年递增,1996 年- 2000 年递减,2000 年- 2005 年递增。

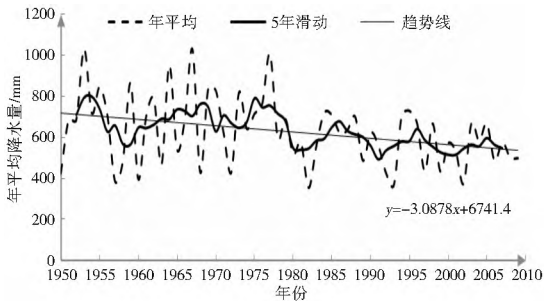


图3 滦河流域滦县站年降水量及5年滑动平均值过程线

Fig. 3 The 5 year average moving process curve of annual precipitation at the Luanxian station in the Luanhe River Basin

3.1.5 降水变化对径流的影响

根据以上分析,滦河流域径流量和年降水量有着相似的代际、年内、趋势变化规律,两者变化趋势基本一致。

图4给出了滦河流域滦县站降水与径流的时间序列变化关系。可以看出,滦河流域降水与径流均表现出下降趋势,但径流的下降趋势更加显著。表明降水变化是造成滦河流域径流变化的主要因素,但人类活动放大了径流的下降趋势。

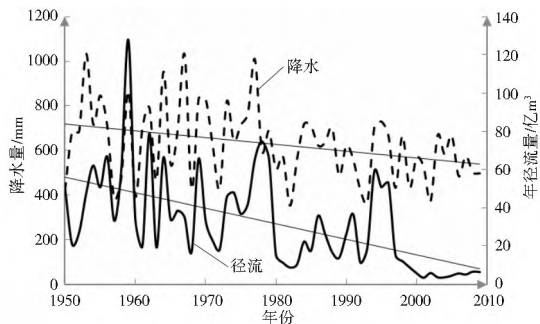


图4 滦河流域滦县站降水与径流的时间序列变化

Fig. 4 Time series of annual precipitation and runoff at the Luanxian station in the Luanhe River Basin

3.2 降水和人类活动对径流影响的定量分析

双累积曲线法(Double mass analysis)是进行时间序列分析的一种常用方法。它的基本思想是两个变量按同一时间长度逐步累加。一个变量作为横坐标,另一个变量作为纵坐标,其拐点可作为分析变量阶段性变化的依据^{[12][13]}。当只有降水的变化而无其他因素影响时,双累积曲线应为一直

线;当受到人类活动等其他因素影响时,曲线将会发生偏移。可根据双累积曲线发生偏移的年代确定下垫面受人类活动发生显著改变的时间点,偏移的程度反映人类活动影响的剧烈程度。因此,降水与径流的双累积曲线可以揭示人类活动对径流影响的阶段性变化,可以定量反映降水变化和人类活动变化的贡献率^{[12][14]}。

图5表明,滦县站的降水-径流双累积曲线在1959年发生显著偏移,所以1950年-1958年可以作为流域径流量未受人类活动干扰的基准期,由此根据滦县站降水-径流曲线显著转折点对径流序列进行年段划分,见图5。

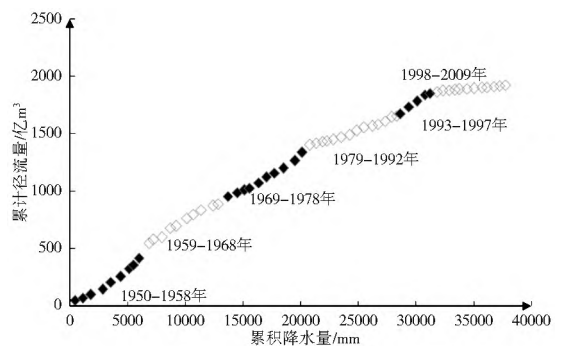


图5 滦河流域滦县站降水-径流双累积曲线

Fig. 5 Double mass curve of annual precipitation and runoff at the Luanxian station in the Luanhe River Basin

利用回归分析,建立基准期内累积降水量 ΣP 与累积径流量 ΣR 序列的相关方程为:

$$\Sigma R = 0.0657 \Sigma P - 9.4065, r = 0.9853 \quad (1)$$

按基准期内滦县站年降水量与年径流量,建立基准期内年降水与年径流序列的相关方程为:

$$R = 0.0066P + 42.067 \quad (2)$$

根据公式(2)得滦县站不同时段理论平均年径流量,将其作为天然径流量的近似值。基准期实测值与各个时段的计算值的差值即为此时段降水变化对径流变化的影响值^[12],而人类活动影响时期的实测径流量与基准期实测值之间的差值主要包括两部分,即人类活动影响部分和降水变化影响部分。因此,基准期实测值与各时段实测值的差值减去降水变化影响值即为人类活动对径流变化的影响值。影响值与总减少值的百分比即为影响率,计算结果见表6。

表6 滦河流域降水和人类活动对径流影响计算结果

Table 6 The impacts of precipitation and human activities on runoff in the Luanhe River Basin

年份	降水量/mm	年均径流量/(m ³ ·s ⁻¹)			降水因子		人类活动因子	
		实测	计算	总减少	影响值/亿m ³	影响率(%)	影响值/亿m ³	影响率(%)
1950-1958	663.26	46.43						
1959-1968	686.55	47.00	46.60	-	-	-	-	-
1969-1978	726.87	45.16	46.86	1.27	-0.43	-33.86	1.70	133.86
1979-1992	584.09	22.64	45.92	23.79	0.51	2.14	23.28	97.86
1993-1997	581.04	39.35	45.90	7.08	0.53	7.46	6.55	92.54
1998-2009	546.31	5.88	45.67	40.55	0.76	1.87	39.79	98.13

从表6中可以看出,1979年-2009年人类活动对径流的影响率均超过了90%,可见,人类活动是滦河流域径流减少的主要原因。另外,1959年-1968年滦县站降水和径流相对于基准期而言都有所增加,但该时期径流的计算值小于

径流的实测值,说明该时期可能有外来水源,导致径流量的增大;此外,1969年-1978年降水量较基准期有所增加,但降水影响值为负值,即这一时期降水量的增加并未引起径流相应的增加,说明该时期流域受人类活动影响很大,比如兴

建水利工程施工、水土保持措施等,关于这一时期的具体特点,还需要更深层次的探讨。

5 结论

(1) 滦河流域径流年际变化较大,变差系数 C_v 为 0.77,极值比为 38.15,说明滦河流域受人类活动及气候等各方面因素影响较大,年际变化剧烈,不利于水资源的有效利用和管理。

(2) 滦河流域径流代际变化明显,年际丰枯变化悬殊。20 世纪 50、60、70 年代水量偏丰,尤其是 50 年代,年径流量几乎为多年平均径流量的两倍。而 20 世纪 80、90 年代以及 21 世纪初水量偏枯,21 世纪初年径流量仅为多年平均径流量的 0.16 倍。

(3) 滦河流域年径流年内分配极不均匀,夏季径流约占全年 60.8%,春季仅占 11.4%,天然径流量不能满足春季灌溉用水需求,影响农业经济发展。

(4) 滦河流域径流处在丰枯交替的不断变化之中,但总的趋势是递减的,采用 Mann-Kendall 秩次相关检验法对径流趋势变化的检验统计量 U 为 -5.21,表明滦县站年均流量具有显著的递减趋势。

(5) 降水与径流有相似的变化规律,二者均表现出下降趋势,但径流的下降趋势更加显著。不同阶段降水和人类活动对径流的影响不同,1959 年-1968 年,降水和人类活动均对径流的增加做出了贡献;1969 年-1978 年,降水量使径流增加,人类活动是该时期径流减少的主要原因;1979 年-2009 年,人类活动对径流的影响率均超过 90%,是该时期滦河流域径流减少的主要原因。

参考文献(References):

[1] 王博,邱现讹,郜军艳. 滦河流域主要气象要素及径流变化趋势分析[J]. 人民黄河, 2011, 33(8): 46-49. (WANG Bo, QIU Xian'e, GAO Junyan. Long-term Trends of Major Climatic Variables and Runoff in Luanhe River Basin[J]. Yellow River, 2011, 33(8): 46-49. (in Chinese))

[2] 王国庆,张建云,刘九夫,等. 气候变化和人类活动对河川径流影响的定量分析[J]. 中国水利, 2008, (2): 5-8. (WANG Guoqing, ZHANG Jianyun, LIU Jiufu, et al. Quantitative Assessment for Climate Change and Human Activities Impact on River Runoff[J]. China Water Resources, 2008, (2): 5-8. (in Chinese))

[3] 粟晓玲,康绍忠,魏晓妹,等. 气候变化和人类活动对渭河流域入黄径流的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2007, 35(2): 153-159. (SU Xiaoling, KANG Shaoshong, WEI Xiaomei, et al. Impact of Climate Change and Human Activity on the Runoff of Wei River Basin to the Yellow River[J]. Journal of Northwest A & F University(Nat Sci Ed), 2007, 35(2): 153-159. (in Chinese))

[4] Hernandez M, Miller S N, Goodrich D C, et al. Modeling Runoff Response to Land Cover and Rainfall Spatial Variability in Semi-arid Watersheds[J]. Environmental Monitoring and As-

essment, 2000, (64): 285-298.

[5] Siriwardena L, Finlayson B L, McMahon T A. The Impact of Land Use Change on Catchment Hydrology in Large Catchments: The Comet River, Central Queensland, Australia[J]. Journal of Hydrology, 2006, 326(1-4): 199-214.

[6] 温立成,鞠玉梅. 滦河水资源可持续开发利用初探[J]. 海河水利, 2003, (2): 26-27. (WEN Licheng, JU Yumei. Discussion on Sustainable Development and Utilization of Luan River Water Resources[J]. Haihe water resources, 2003, (2): 26-27. (in Chinese))

[7] 张利平,曾思栋,王任超,等. 气候变化对滦河流域水文循环的影响及模拟[J]. 资源科学, 2011, 33(5): 966-974. (ZHANG Liping, ZENG Sidong, WANG Renchao, et al. Impacts of Climate Change on the Hydrological Cycle in the Luan River Basin[J]. Resources Science, 2011, 33(5): 966-974. (in Chinese))

[8] 王刚,严登峰,黄站峰等. 滦河流域径流的长期演变规律及其驱动因子[J]. 干旱区研究, 2011, 28(6): 998-1004. (WANG Gang, YAN Denghua, HUANG Zhanfeng, et al. Analysis on the Long-term Evolution of Runoff Volume and Its Affecting Factors in the Luanhe River Basin[J]. Arid Zone Research, 2011, 28(6): 998-1004. (in Chinese))

[9] 李杰,谭国明,杨庆红,等. 滦河流域 1965-2008 年气候变化特征及对水资源的影响[J]. 沙漠与绿洲气象, 2011, 5(3): 47-50. (LI Jie, TAN Guoming, YANG Qinghong, et al. Climate change features and its impacts on the water resources in the Luanhe River Basin during 1965-2008[J]. Desert and oasis meteorology, 2011, 5(3): 47-50. (in Chinese))

[10] 王现领,冯平. 滦河流域年径流量趋势分析[J]. 海河水利, 2010, (1): 5-6. (WANG Xianling, FENG Ping. Analysis on Annual Runoff Trend in Luanhe River Basin[J]. Haihe Water Resources, 2010, (1): 5-6. (in Chinese))

[11] 黄领梅,沈冰,等. 人类活动对旱区流域水文情势影响研究——以新疆和田河流域为例[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2010. (HUANG Lingmei, SHEN Bing, et al. Impacts of Human Activities on River Flow Regime in Arid Zones[M]. Beijing: China WaterPower Press, 2010. (in Chinese))

[12] 侯钦磊,白红英,任园园,等. 50 年来渭河干流径流变化及其驱动力分析[J]. 资源科学, 2011, 33(8): 1505-1512. (HOU Qinlei, BAI Hongying, REN Yuanyuan, et al. Analysis of Variation in Runoff of the Main Stream of the Weihe River and Related Driving Forces over the Last 50 Years[J]. Resources Science, 2011, 33(8): 1505-1512. (in Chinese))

[13] Yue S, Pilon P, Phinney B. Canadian Stream Flow Trend Detection: Impacts of Serial and Cross Correlation[J]. Hydrological Science Journal, 2003, 48(1): 51-63.

[14] 白红英,侯钦磊,马新萍,等. 50 年来秦岭金钱河流域水文特征及其降水变化的响应[J]. 地理科学, 2012, 32(10): 1229-1235. (BAI Hongying, HOU Qinlei, MA Xinping, et al. Hydrological Characteristic and Its Responses to Precipitation Change in Jinqian River Basin of Qinling Mountains during the last 50 years[J]. Scientia Geographica Sinica, 2012, 32(10): 1229-1235. (in Chinese))