

海河流域暴雨洪水演变趋势分析

梁艳芹

(河北省石家庄水文水资源勘测局, 石家庄 050051)

摘要: 随着经济社会迅速发展及人口增加, 海河流域内人类活动的影响不断加剧, 流域下垫面条件发生了明显变化。利用海河流域翔实的水文资料, 采用统计分析法和 Mann Kendall 秩次相关检验法, 分析了人类活动及气候变化情景下海河流域暴雨洪水特征变化规律及变化趋势, 认为近年来海河流域暴雨洪水呈现减少趋势。研究结果为流域洪水系列一致性修正奠定了基础, 为防汛抗旱、流域防洪规划与管理提供了技术支持。

关键词: 海河流域; 暴雨洪水; Mann Kendall 秩次检验

中图分类号: P426.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2014)03-0042-05

Trend Analysis of Storm Flood Evolution in the Haihe River Basin

LIANG Yaqin

(Shijiazhuang Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Hebei Province, Shijiazhuang 050051, China)

Abstract: With the rapidly economic and social development and population increase, the impacts of human activities aggravate in the Haihe River Basin, resulting in significant changes in the underlying surface conditions. Based on the hydrological data in detail in the Haihe River Basin, the statistical analysis and Mann Kendall rank correlation test were used to analyze the variation rule and trend of storm flood in the Haihe River Basin under the conditions of human activities and climate changes. The results suggested that storm flood has a decreasing trend in the basin. Research results can lay the foundations for the consistency correction of flood series and provide technical support for the planning and management of flood control and drought relief in the basin.

Key words: Haihe River Basin; storm flood; Mann Kendall rank correlation test

在全球气候和人类活动影响下, 河海流域径流和洪水情势发生了一系列变化^[1-5]。目前研究较多的是从水资源评价和规划的需要出发, 主要探讨下垫面的变化对年径流量的影响, 而由于暴雨洪水过程的影响机理十分复杂, 相关的定量研究目前还没有科学结论^[6]。在此情况下, 定性分析河海流域暴雨洪水变化规律和发展趋势, 对于流域未来大洪水或枯水的预测具有重要参考价值^[7]。

1 流域概况

海河流域位于东经 112° - 120°、北纬 35° - 43° 之间, 东临渤海, 南界黄河, 西靠云中、太岳山, 北倚蒙古高原。横跨北方八省(市区), 总面积 31.8 万 km², 其中山地(包括高原)和平原分别占 60%、40%^[8]。

海河流域包括海河、滦河、徒骇马颊河三大水系。其中海河水系是流域的主要水系, 分北系和南系; 滦河水系包括滦河及冀东沿海诸河; 徒骇马颊河水系位于流域最南部, 为单独入海的平原河道。

海河流域属半湿润、半干旱大陆性季风气候区, 多年平均降水量 543.5 mm。降水量具有以下特点: (1) 地带性差异十分明显, 太行山和燕山的迎风坡有一条明显的多雨带; (2) 年际变化大, 年降水量极大、极小比值为 9.3; (3) 年内分配极不均匀, 80% 左右集中在 6 月 - 9 月份; (4) 暴雨强度大, 部分站点暴雨量为国内最高值和接近国际最高值。流域洪水特点: (1) 地区分布不均, 各水系遭遇洪水的几率小, 如 1956 年、1962 年、1963 年和 1996 年几次大洪水均发生在不同水系; (2) 年际变化大, 是全国变化最大流域之一; (3) 年内分配极不均匀, 汛期 6 月 - 9 月洪水总量占全年 80% 以上, 7 月下旬 8 月上旬极易发生暴雨洪水; (4) 洪水陡涨陡落, 峰高量大, 部分水文站洪峰流量值达到和接近世界纪录^[9-10]。

采用海河流域遥感图和地理信息系统, 在对遥感图片和 DEM 进行数据提取和分析的基础上, 根据流域下垫面条件和各气候因子的平均值等水文气象因素, 将海河流域划分为 7 个水文分区。结合各水文分区实际情况, 选择了 8 个代表性较好、水文资料系列较为完整的水文站作为代表流域, 除

收稿日期: 2013-10-16 修回日期: 2014-04-01 网络出版时间: 2014-05-07

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13476/j.cnki.nsbdqk.2014.03.009.html>

作者简介: 梁艳芹(1962-), 女, 河北遵化人, 高级工程师, 主要从事水文预报和水文水资源研究。E-mail: 1298049660@qq.com

0 有两个外其余分区各一个代表流域, 见图 1、表 1。

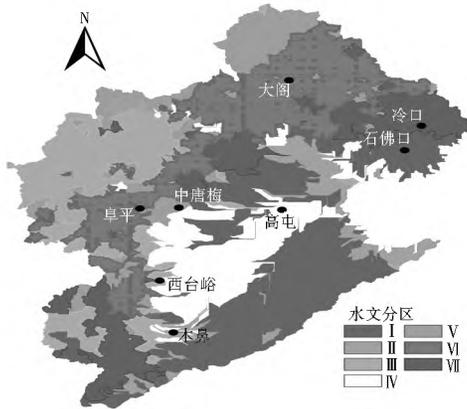


图 1 海河流域水文分区及水文站点分布
Fig. 1 Hydrological zonations and distribution of hydrological stations in the Haihe River Basin

表 1 海河流域水文分区统计

Table 1 Statistics of hydrological zonations in the Haihe River Basin

水文分区	代表流域	所在河系	所在河流	地貌特征	流域面积/km ²	多年平均降水量/mm	最大洪峰流量/(m ³ ·s ⁻¹)
分区Ⅴ	石佛口以上流域	滦河	沙河	丘陵区	429	642.0	472
分区0	木鼻以上流域	子牙河	忙牛河	山前平原	275	499.0	240
分区0	西台峪以上流域	子牙河	泚河	山区	127	612.0	3 990
分区0	高屯以上流域	大清河	任河大渠	平原区	834	562.0	184
分区0	倒马关-中唐梅区间流域	大清河	唐河	山区	710	692.0	5 400
分区0	阜平以上流域	大清河	沙河	深山区	2 210	677.0	3 380
分区0	大阁以上流域	北三河	潮河	深山区	1 850	541.0	567
分区×	冷口以上流域	滦河	沙河	滨海平原	856	804.0	1 580

表 2 代表流域不同历时暴雨统计参数分析成果

Table 2 Statistical analysis results of storm parameters at different times in the representative basins

水文分区	代表流域	统计参数	最大 1 h	最大 3 h	最大 6 h	最大 24 h
分区Ⅴ	石佛口以上流域	均值	18.8	38.7	55.0	87.4
		C_v	0.64	0.61	0.63	0.7
		C_s/C_v	2.3	2.5	2.5	2.5
分区0	木鼻以上流域	均值	20.8	36.6	46.8	77.7
		C_v	0.66	0.59	0.55	0.55
		C_s/C_v	2.9	2.9	2.8	2.8
分区0	西台峪以上流域	均值	25.3	45.7	60.3	91.3
		C_v	0.63	0.65	0.66	1.07
		C_s/C_v	2.6	2.8	2.8	2.6
分区0	高屯以上流域	均值	17.1	28.9	54.5	73.6
		C_v	0.55	0.67	0.69	0.56
		C_s/C_v	2.3	3.2	3.4	3.0
分区0	倒马关-中唐梅区间流域	均值	14.4	31.3	31.6	50.5
		C_v	0.56	0.56	0.63	0.88
		C_s/C_v	2.0	2.0	2.4	2.5
分区0	阜平以上流域	均值	6.2	15.6	24.8	49.6
		C_v	0.46	0.51	0.57	0.85
		C_s/C_v	2.0	2.0	2.0	2.0
	大阁以上流域	均值	7.4	13.7	19.3	28.9
		C_v	1.21	0.65	0.65	0.93
		C_s/C_v	3.5	2.8	2.5	2.5
分区×	冷口以上流域	均值	18.2	41.8	63.9	101.8
		C_v	0.62	0.62	0.64	0.66
		C_s/C_v	2.1	2.1	2.3	2.3

外, 其他各区(0 区大阁以上流域最大 1 h 除外)的 C_v 随暴雨历时的增加而逐渐加大; 0 区大阁以上流域最大 1 h 暴雨 C_v 最大, 达到 1.21; 各区 C_s/C_v 变化不大, 一般在 2.0~2.5 之间, 最大为 0 区, 其最大 3 h、6 h、24 h 暴雨 C_s/C_v 均在 3.0 以上。

2 暴雨洪水特征变化分析

2.1 暴雨特征变化分析

采用代表流域的历史暴雨洪水资料系列(建站年份-2008 年), 以流域平均最大 1 h、3 h、6 h、24 h 降雨量和次降雨量系列, 计算不同年代的均值, 变差系数 C_v 和偏差系数 C_s 等统计参数, 分析不同历时暴雨的变化特征。见表 2。

2.1.1 暴雨年代变化特征分析

对比 1980 年前暴雨量及场次暴雨量均值与 1980 年后均值发现, 除 0 区的最大 1 h 暴雨量及场次暴雨量有所增大外, 其他分区均呈减少的趋势, 减少的幅度一般随时段的增长而增加, 并且平原区减少的幅度大于丘陵区, 丘陵区减少的幅度大于山区, 背风山区减少的幅度大于迎风山区。

2.1.2 暴雨统计参数变化分析

除 0 区暴雨量变差系数 C_v 随暴雨历时的增加而逐渐减少

2.2 洪水特征变化分析

根据所选代表流域内水文站洪水资料系列, 计算各代表流域最大 1 d、3 d 洪量、次洪总量及洪峰流量, 并根据流域平均降水过程及相应的洪水过程, 计算每次暴雨洪水的洪峰滞时, 分析其洪水特征变化情况。在海河流域, 一般认为 20 世纪 80 年代以前人类活动对流域下垫面影响不大, 属微弱期, 80 年代以后为明显期^[1]。可将 1980 年前后分为两个阶段统计比较分析, 见表 3。

2.2.1 洪水特征年代变化分析

各代表流域不同时段的最大洪量及次洪总量随年代均呈减少趋势, 且具有随时段的增长减少幅度呈减少的趋势。1980 年后均值与 1980 年前均值比较, 减少幅度均在 40% 以上, 减少幅度远大于暴雨的减少幅度, 同时平原区减少的幅度大于丘陵区, 丘陵区减少的幅度大于山区, 背风山区减少的幅度大于迎风山区。

洪峰流量随年代变化呈明显的减小趋势, 1980 年后均值与 1980 年前均值比较, 减小幅度均在 60% 以上。

除 0 区外洪峰滞时随年代变化呈明显的增长趋势, 1980 年后均值与 1980 年前均值比较, 增长幅度均在 20% 以上, 尤其是平原区和丘陵区增长 90% 以上。

2.2.2 洪水统计参数变化分析

不同时段洪量系列的变差系数 C_v 除 0 区大阁、0 区随时段的增长而增大外, 其他各区的 C_v 均呈减少的趋势; C_s/C_v 一般在 2.0 左右, 0 区大阁以上流域最大 1 d 洪量系列的 C_s/C_v 最大达 2.6。

洪峰流量系列的变差系数 C_v 最大为 0 区, 达到 3.45, 最小为 0 区大阁以上流域的 0.55; C_s/C_v 一般在 2.0 左右, 最

表 3 代表流域洪水特征统计分析成果

Table 3 Statistical analysis results of flood characteristics in the representative basins

水文分区	代表流域	年代	洪量/ 10^6 m^3			洪峰	
			最大 1 d	最大 3 d	次洪总量	流量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	滞时/h
分区 \tilde{N}	石佛口以上流域	1980 年前	7.60	10.94	11.18	161.79	14.1
		1980 年后	3.01	4.99	5.23	57.34	23.5
		比较(%)	-60.0	-54.4	-53.2	-64.6	67.2
分区 \tilde{O}	木鼻以上流域	1980 年前	1.84	3.81	5.11	82.9	3.1
		1980 年后	0.68	1.49	2.51	19.60	18.0
		比较(%)	-63.0	-60.9	-50.9	-76.4	480.6
分区 \tilde{O}	西台峪以上流域	1980 年前	6.41	7.35	7.44	457.34	5.5
		1980 年后	3.01	4.10	3.66	143.6	3.4
		比较(%)	-53.0	-44.2	-50.8	-68.6	-37.2
分区 \tilde{O}	高屯以上流域	1980 年前	4.16	10.39	18.38	56.6	4.2
		1980 年后	0.16	0.36	0.55	2.57	9.7
		比较(%)	-96.2	-96.5	-97.0	-95.5	129.6
分区 \tilde{O}	倒马关-中唐梅区间流域	1980 年前	18.17	36.06	34.86	657.77	9.4
		1980 年后	5.80	12.72	12.25	191.61	13.5
		比较(%)	-68.1	-64.7	-64.9	-70.9	43.3
分区 \tilde{O}	阜平以上流域	1980 年前	37.83	83.53	69.87	822.5	7.5
		1980 年后	10.80	20.73	15.37	206.23	12.0
		比较(%)	-71.5	-75.2	-78.0	-74.9	59.8
分区 \tilde{O}	大阁以上流域	1980 年前	7.11	13.53	21.86	301.47	2.9
		1980 年后	2.47	3.28	3.29	214.7	3.9
		比较(%)	-65.3	-75.8	-84.9	-28.8	32.0
分区 \times	冷口以上流域	1980 年前	21.42	31.66	33.54	600.5	6.7
		1980 年后	5.64	9.86	10.60	158.6	8.0
		比较(%)	-73.7	-68.9	-68.4	-73.6	20.0

大为 \tilde{O} 区的 2.4, 最小为 \tilde{O} 区的 1.7。

的 2.0, 最小为 \tilde{N} 区的 0.88; C_s/C_v 一般在 2.0 左右, 最大为

洪峰滞时系列的变差系数 C_v , 最大为 \tilde{O} 区大阁以上流域 \tilde{O} 区大阁以上流域的 2.3。详见表 4。

表 4 代表流域洪水特征统计参数分析成果

Table 4 Statistical analysis results of flood characteristics in the representative basins

水文分区	代表流域	统计参数	洪量/ 10^6 m^3			洪峰	
			最大 1 d	最大 3 d	次洪总量	流量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	滞时/h
分区 \tilde{N}	石佛口以上流域	均值	4.91	7.74	8.02	101.6	19.8
		C_v	1.32	1.17	1.17	1.09	0.88
		C_s/C_v	2.1	2.1	2.1	2.0	2.1
分区 \tilde{O}	木鼻以上流域	均值	0.91	1.94	3.03	33.3	15.0
		C_v	1.8	1.8	1.8	2.03	1.35
		C_s/C_v	2.4	2.7	2.8	2.0	2.0
分区 \tilde{O}	西台峪以上流域	均值	4.71	5.77	5.98	293.9	4.1
		C_v	2.8	2.8	2.5	3.45	1.75
		C_s/C_v	2.0	2.1	2.1	2.0	2.2
分区 \tilde{O}	高屯以上流域	均值	3.55	8.92	13.8	14.6	8.31
		C_v	1.18	1.28	1.45	2.38	0.98
		C_s/C_v	2.1	2.1	2.0	2.0	2.1
分区 \tilde{O}	倒马关-中唐梅区间流域	均值	11.4	23.3	32.2	392.2	11.3
		C_v	2.58	2.4	2.0	2.3	1.07
		C_s/C_v	2.1	2.1	2.1	2.4	2
分区 \tilde{O}	阜平以上流域	均值	18.8	38.2	46.1	392.9	9.98
		C_v	2.22	2.13	2.13	2.04	1.05
		C_s/C_v	2.0	2.0	2.0	2.1	2.0
分区 \tilde{O}	大阁以上流域	均值	3.92	6.70	8.44	243.0	2.71
		C_v	1.33	1.86	2.27	0.55	2.0
		C_s/C_v	2.6	2.4	2.2	1.7	2.3
分区 \times	冷口以上流域	均值	9.60	11.4	19.6	351.7	7.75
		C_v	1.18	1.38	1.18	1.48	1.28
		C_s/C_v	2.0	2.0	2.0	2.0	2.2

3 暴雨洪水变化趋势分析

随着水文资料系列的延长,暴雨洪水特征值序列将会发生趋势性变化,其原因是受到自然和人为因素的影响。例如气候的年际变化若有某种明显趋势,暴雨序列变化就可能出现相应的趋势,人类活动不断加剧造成流域下垫面条件发生较大变化,流域产汇流规律也会发生一定程度的变化^[1214]。下面采用 Mann Kendall 非参数秩次相关检验法对海河流域暴雨洪水特征变化趋势进行分析。

3.1 M-K 非参数秩次相关检验法

在时间序列趋势分析中,M-K 检验法是世界气象组织推荐并已广泛使用的非参数检验方法。其特点是样本不需要遵从一定的分布,也不受少数异常值的干扰,计算较简便。对于具有 n 个样本量的时间序列 x ,构造一秩序列 $d_k = \sum_{i=1}^k r_i$ ($2 \leq k \leq n$), r_i 表示第 i 个样本 x_i 大于第 j 个样本 x_j ($1 \leq j \leq i$) 的累计值。

$$E[d_k] = \frac{k(k-1)}{4} \quad (1)$$

$$\text{Var}[d_k] = \frac{k(k-1)(2k+5)}{72} \quad (2 \leq k \leq n) \quad (2)$$

在时间序列随机独立的假设下,定义统计变量:

$$UF_k = \frac{d_k - E(d_k)}{\sqrt{\text{Var}[d_k]}} \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

在给定的显著性水平下(通常取 95% 即 $\alpha = 0.05$) 做出对原假设的否定和接受的判定。 $\alpha = 0.05$ 时,则 $U_{0.05} = \pm 1.96$ 。当 $|UF_k| > U_{\alpha}$ 时,表明序列存在明显增长或减小

趋势。

3.2 暴雨变化趋势分析

表 5 显示: \tilde{N} 区、 \tilde{O} 区的不同历时暴雨及场次暴雨特征值均呈上升趋势,除 \tilde{N} 区最大 1 h 暴雨特征值上升趋势明显外,其他历时暴雨特征值上升趋势不明显; \tilde{O} 区、 \tilde{O} 区阜平以上流域、 \times 区的最大 1 h 暴雨特征值呈上升趋势,其他区不同历时暴雨均呈下降趋势,但下降趋势不显著。由此可知,海河流域各代表流域的不同历时暴雨及场次暴雨的变化趋势不太明显。

3.3 洪水变化趋势分析

3.3.1 洪量的演变趋势分析

由表 6 可见,各代表流域洪量均呈下降趋势,其中 \tilde{O} 区最大 1 d 洪量、最大 3 d 洪量和次洪总量及 \tilde{N} 区最大 3 d 洪量和次洪总量,以及 \tilde{O} 区、 \tilde{O} 区次洪总量下降趋势不显著,其他流域不同时段洪量及次洪总量均下降趋势明显,其中 \tilde{O} 区两个代表流域下降趋势最明显。由此判断,海河流域各代表流域的不同时段洪量及次洪总量均呈下降趋势,且下降趋势明显。

3.3.2 洪峰流量演变趋势分析

洪峰流量均呈下降趋势,除 \tilde{O} 区的洪峰流量下降趋势不明显外,其他各区代表流域的洪峰流量下降趋势均较明显,其中 \tilde{O} 区和 \tilde{O} 区两个流域的洪峰流量下降趋势最为明显。

3.3.3 洪峰滞时演变趋势分析

除 \tilde{O} 区和 \times 区呈不明显的下降趋势外,其他各区代表流域的洪峰滞时均呈上升趋势,其中 \tilde{O} 区洪峰滞时的上升趋势最为明显。

表 5 代表流域暴雨特征秩次相关检验成果

Table 5 Rank correlation test results of storm characteristics in the representative basins

水文分区	代表流域	检验成果	最大 1 h	最大 3 h	最大 6 h	最大 24 h	次暴雨量
分区 \tilde{N}	石佛口以上流域	统计量	2.518	1.564	0.477	0.427	0.343
		趋势性	上升	上升	上升	上升	上升
		是否显著	显著	不显著	不显著	不显著	不显著
分区 \tilde{O}	木鼻以上流域	统计量	0.888	-0.649	-0.575	-0.888	-1.148
		趋势性	上升	下降	下降	下降	下降
		是否显著	不显著	不显著	不显著	不显著	不显著
分区 \tilde{O}	西台峪以上流域	统计量	0.333	0.352	0.176	0.665	0.587
		趋势性	上升	上升	上升	上升	上升
		是否显著	不显著	不显著	不显著	不显著	不显著
分区 \tilde{O}	高屯以上流域	统计量	-0.364	-1.052	-1.234	-1.598	-1.037
		趋势性	下降	下降	下降	下降	下降
		是否显著	不显著	不显著	不显著	不显著	不显著
分区 \tilde{O}	倒马关-中唐梅 区间流域	统计量	-0.544	-0.427	-0.343	-0.393	-0.326
		趋势性	下降	下降	下降	下降	下降
		是否显著	不显著	不显著	不显著	不显著	不显著
分区 \tilde{O}	阜平以上流域	统计量	0.041	-0.577	-0.707	-1.113	-0.82
		趋势性	上升	下降	下降	下降	下降
		是否显著	不显著	不显著	不显著	不显著	不显著
分区 \tilde{O}	大阁以上流域	统计量	-0.219	-0.788	-0.804	-0.885	-0.902
		趋势性	下降	下降	下降	下降	下降
		是否显著	不显著	不显著	不显著	不显著	不显著
分区 \times	冷口以上流域	统计量	0.071	-0.569	-1.013	-1.742	-1.884
		趋势性	上升	下降	下降	下降	下降
		是否显著	不显著	不显著	不显著	不显著	不显著

表 6 代表流域洪水特征秩次相关检验成果

Table 6 Rank correlation test results of flood characteristics in the representative basins

水文分区	代表流域	检验成果	最大 1 d	最大 3 d	次洪量	洪峰流量	洪峰滞时
分区 N	石佛口以上流域	统计量	- 2.317	- 1.882	- 1.966	- 2.668	1.548
		趋势性	下降	下降	下降	下降	上升
		是否显著	显著	不显著	不显著	显著	不显著
分区 O	木鼻以上流域	统计量	- 2.718	- 2.295	- 1.510	- 3.986	3.201
		趋势性	下降	下降	下降	下降	上升
		是否显著	显著	显著	不显著	显著	显著
分区 O	西台峪以上流域	统计量	- 0.900	- 0.646	- 0.822	- 1.330	- 1.037
		趋势性	下降	下降	下降	下降	下降
		是否显著	不显著	不显著	不显著	不显著	不显著
分区 O	高屯以上流域	统计量	- 6.932	- 6.958	- 6.958	- 6.958	- 0.274
		趋势性	下降	下降	下降	下降	下降
		是否显著	显著	显著	显著	显著	不显著
分区 O	倒马关-中唐梅区间流域	统计量	- 2.334	- 2.083	- 1.347	- 2.618	1.665
		趋势性	下降	下降	下降	下降	上升
		是否显著	显著	显著	不显著	显著	不显著
分区 O	阜平以上流域	统计量	- 2.851	- 2.591	- 2.737	- 3.501	1.698
		趋势性	下降	下降	下降	下降	上升
		是否显著	显著	显著	显著	显著	不显著
分区 O	大阁以上流域	统计量	- 3.761	- 3.468	- 3.501	- 3.192	0.658
		趋势性	下降	下降	下降	下降	上升
		是否显著	显著	显著	显著	显著	不显著
分区 X	冷口以上流域	统计量	- 2.418	- 2.329	- 2.435	- 2.098	- 0.462
		趋势性	下降	下降	下降	下降	下降
		是否显著	显著	显著	显著	显著	不显著

4 结论

在对海河流域进行水文分区的基础上,选择其典型代表流域,采用翔实的历史水文资料系列,对典型代表流域的暴雨洪水变化特征及变化趋势进行了深入研究。受气候和流域下垫面条件变化的影响,海河流域洪水特征发生了一系列改变,变化趋势如下。

(1) 不同历时暴雨及场次暴雨的减少趋势不显著。

(2) 不同时段洪水总量、洪峰流量和单位线峰值普遍呈显著的减少趋势。

(3) 洪峰滞时和单位线峰现时间随年代变化呈不规则或明显的增长趋势。

人类活动及气候变化对暴雨洪水的影响是当前的一个热点问题。下垫面及气候的变化对暴雨洪水的影响是客观存在的,但其对不同的区域及不同量级的暴雨洪水的影响程度是不同的,其影响机理和定量数据目前还没有科学结论。此次研究定性地表明:海河流域洪水变化主要受下垫面因素的影响。

参考文献(References):

- [1] 张建云. 中国水文科学与技术研究进展[M]. 河海大学出版社, 2004: 146-150. (ZHANG Jianyun. China Hydrology Science and Technology Research Progress[M]. The Press of Hohai University, 2004: 146-150. (in Chinese))
- [2] 张学真, 梁俊峰, 胡安焱. 人类活动对黑河水文过程的影响分析

[J]. 干旱区水资源与环境, 2007, 21(10): 98-102. (ZHANG Xue zhen, LIANG Jun feng, HU An yan. The Analysis About Impact of Human Activities on Hydrological Processes of Heihe[J]. Water Resources and Environment of Arid Zone, 2007, 21(10): 98-102. (in Chinese))

- [3] 邹鹰, 程建华. 典型人类活动洪水特性的影响[J]. 水利水运工程学报, 2010, 1(1). (ZOU Ying, CHENG Jianhua. Affect of Typical Human Activies on Flood Characteristics[J]. Engineering of Water Conservation and Water Transport, 2010, 1(1). (in Chinese))
- [4] 胡春歧, 刘惠霞, 胡军波. 紫荆关以上流域下垫面条件变化对产汇流影响分析[J]. 南水北调与水利科技, 2008, 5(1): 50-52. (HU Chun qi, LIU Hui xia, HU Jun bo. Impact Analysis About Runoff Owing to the Changing Conditions of Underlying Surface in the Basin Above Zijin Guan[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2008, 5(1): 50-52. (in Chinese))
- [5] 刘春葵, 刘志雨, 谢正辉. 近 50 年海河流域径流的变化趋势研究[J]. 应用气象学报, 2004, 8(4): 385-393. (LIU Chun kui, LIU Zhi yu, XIE Zheng hui. Research on the Trends of Haihe River Runoff Nearly 50 Years[J]. Journal of Applied Meteorology, 2004, 8(4): 385-393. (in Chinese))
- [6] 韩瑞光, 冯平. 流域下垫面变化对洪水径流影响的研究[J]. 干旱区水资源与环境, 2010, 24(8): 27-30. (HAN Rui guang, FENG Ping. The Research on Affect on Flood Runoff Owing to Changes of Basin's Underlying Surface[J]. Water Resources and Environment in Arid Zone, 2010, 24(8): 27-30. (in Chinese))

(下转第 185 页)

- Chinese)
- [12] 丁富平, 吴发启, 赵龙山, 等. 基于 VB 的水田灌溉自动化管理系统[J]. 水土保持研究, 2010, 17(4): 233-238. (DING Fur ping, WU Fa qi, ZHAO Long shan, et al. Paddy Field Irrigation Automation Management System Based on VB[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2010, 17(4): 233-238. (in Chinese))
- [13] 段春青. 基于现代智能技术的灌区水资源优化调度研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2007. (DU AN Chun qing. Research of Water Optimal Operation in Irrigation Area Base on Advanced Intelligence Technique [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2007. (in Chinese))
- [14] Arnold J G, Fohrer N. SWAT2000: Current Capabilities and Research Opportunities in Applied Watershed Modelling[J]. Hydrological Processes, 2005, 19(3): 563-572.
- [15] USDA Soil Conservation Service. Hydrology section 4[R]. Washington, DC: US Government Printing Office, 1972.
- [16] Hargreaves G H, Samani Z A. Reference Crop Evapotranspiration from Temperature[J]. Transaction of ASAE, 1985, 1(2): 96-99.
- [17] 刘昌明, 王中根, 郑红星, 等. HIMS 系统及其定制模型的开发与应用[J]. 中国科学 E 辑: 技术科学, 2008, 38(3): 350-360. (LIU Chang ming, WANG Zhong gen, ZHENG Hong xing, et al. Development of Hydro Informatic Modelling System and Its Application[J]. Science in China Series E: Technological Sciences, 2008, 51(4): 456-466. (in Chinese))
-
- (上接第 46 页)
- [7] 胡海英, 黄国如. 东苕溪流域暴雨洪水变化趋势分析[J]. 水力发电, 2012, 38(8): 14-16. (HU Hai ying, HUANG Guo ru. Trend Analysis of Storm and Flood at DongTiaoXi Basin[J]. Hydroelectric Power, 2012, 38(8): 14-16. (in Chinese))
- [8] 任宪韶, 胡作亮, 曹寅白, 等. 海河流域水资源评价[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007. (REN Xi an shao, HU Zu o liang, CAO Yan bai, et al. Water Resources Assessment of Haihe River Basin[M]. Beijing: China Water Power Press, 2007. (in Chinese))
- [9] 韩占军. 海河流域降水径流特性分析[J]. 水文科技研究与发展, 2010, 5: 208-211. (HAN Zhan jun. Characteristic Analysis of Rainfall Runoff in Haihe River Basin[J]. Research and Development of Hydrological Science, 2010, 5: 208-211. (in Chinese))
- [10] 金懋高, 毛凤莲, 姚建文. 海河流域近 30 年气候变化的某些特征及其对水资源的影响初探[J]. 水文, 1993, (3). (JIN Mao gao, MAO Feng lian, YAO Jian wen. Some Features of Climate Change and its Preliminary Impacts on Water Resources in Haihe River Basin Nearly 30 Years[J]. Hydrology, 1993, (3). (in Chinese))
- [11] 戴健男, 姚玉海, 姚成. 海河流域下垫面变化对洪水影响的研究[EB/OL]. 中国科技论文在线, <http://www.paper.edu.cn/release paper/content/201011293>, 2010-11-12. (DAI Jian nan, YAO Yu hai, YAO Cheng. Research on the Flood Affected Because of Changes in Underlying Surface at Haihe River Basin[EB/OL]. China Sciencepaper Online, <http://www.paper.edu.cn/release paper/content/201011293>, 2010-11-12. (in Chinese))
- [12] 夏军, 欧春平, HUANG G H, 等. 基于 GIS 和差异信息测度的海河流域水文气象要素时空变异性分析[J]. 自然资源学报, 2007, 5(3): 409-415. (XIA Jun, OU Chun ping, HUANG G H, et al. Temporal Variability Analysis of Hydrological and Meteorological Elements in Haihe River Basin Based on GIS and Information Measure Differences[J]. Journal of Natural Resources, 2007, 5(3): 409-415. (in Chinese))
- [13] 王晓霞, 徐宗学, 纪一鸣, 等. 海河流域降水量长期变化趋势的时空分布特征[J]. 水文水资源, 2010, (1): 35-38. (WANG Xiaoxia, XU Zongxue, JI Yiming, et al. Spatial and Temporal Characteristics of Long Term Trends in Precipitation at Haihe River Basin[J]. Hydrology and Water Resources, 2010, (1): 35-38. (in Chinese))
- [14] 殷水清, 高歌, 李维京, 等. 1961-2004 年海河流域夏季逐时降水变化趋势[J]. 地球科学, 2012, 42(2): 256-266. (YIN Shuiqing, GAO Ge, LI Weijing, et al. The Trends of Summer Hourly Precipitation at Hohai Basin Between 1961 and 2004[J]. Earth Sciences, 2012, 42(2): 256-266. (in Chinese))
- [15] 水利部海河水利委员会. 海河流域下垫面变化对洪水影响研究(海河流域综合规划专题研究一)[R]. 2009. (HAIHE River Water Resources Commission of Ministry of Water Resources. Research on the Flood Affected Because of Changes in Underlying Surface at Haihe River Basin(The Integrated Planning and Special Research 1 of Haihe River Basin)[R]. 2009. (in Chinese))