

河北省永定河流域水文循环及时空分布规律

丁晓雯¹, 刘 卓²

(1. 华北电力大学 能源与环境研究院, 北京 102206; 2. 水利部发展研究中心, 北京 100038)

摘要:受人类活动和自然因素共同作用的影响,近几十年来,河北省永定河流域的水文循环过程产生了较为显著的变化。对1962年—2001年的降水—径流过程进行了分析,结果表明,降水量呈先增加后减少的趋势,而径流量却呈逐年递减的趋势。降水量与径流量均主要分布在汛期,冬季为分布最少时段。从空间分布上来说,流域降水量在空间上分布不均,总体呈现北部降雨量大于南部,东部降雨量大于西部的分布特征;径流量最主要分布在桑干河,其次是洋河,两者年径流量占流域年径流量的90%左右。流域水文循环过程改变原因除气候变化、水资源量短缺,时空分布不均等自然因素外,人类活动对水循环的影响也是重要原因。在对降水和径流进行时空分布及变化特征分析的基础上,对影响流域水文循环因素进行了分析,以期为流域制定水资源开发利用规划提供参考依据,使水资源在持续保护的基础上得到更高效利用。

关键词:河北省永定河流域;水文循环;时空分布;降水量;径流量;水资源持续利用;气候变化

中图分类号:P426.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-1683(2011)05-0040-05

Hydrological Circulation and Temporal and Spatial Distribution of Yongdinghe Basin in Hebei Province

DING Xiao-wen¹, LIU Zhuo²

(1. Research Academy of Energy and Environment, North China Electric Power University, Beijing 102206, China;

2. Development Research Center of Ministry of Water Resources, Beijing 100038, China)

Abstract: Yongdinghe Basin in Hebei province is an area with inadequate water resources, and the interaction between natural factors and human activities seriously affected the process of hydrological circulation in the past decades. In order to provide a reference for water resources utilization planning and thus make more efficient use, processes of precipitation and runoff from 1962 to 2001 were analyzed. The result indicated that precipitation increased and peaked at 538.6 mm in 1995 and then declined, while runoff fell by 1.4 billion m³ to 0.5 billion m³ during the phase. As far as the annual distribution, the precipitation in flood season (from June to September) accounted for more than 70% of the annual amount, while in winter season (from November to the next February) less than 10%. Similarly, the runoff in flood season made up 61.7% of the whole, while in winter season only 7.8%. The precipitation concentrated in the northeast area, and the runoff is mainly from two rivers, Sangganhe catchment and Yanghe catchment. On one hand, the effect of natural factors, such as climate change, water resource shortage, extremely unbalanced space and time distribution of rainfall and runoff, was a key reason for the water circulation change. On the other hand, the impact of human activities was also important, including over-exploitation, increasing pollution, extensive utilization, serious waste, underdeveloped management of water resources, etc.

Key words: Yongdinghe Basin in Hebei province; hydrological cycle; temporal and spatial distribution; precipitation; runoff; sustainable utilization of water resources; climate change

永定河为海河流域北系的主要河道之一,是官厅水库的主要水源,发源于山西省宁武县管涔山,流经内蒙古、河北,经北京又转入河北,在天津汇于海河至塘沽注入渤海。河流

全长548 km,流域面积47 016 km²。其中,河北省境内面积为17 662 km²,涉及张家口、保定和廊坊三市的部分地区^[1],上游主要有洋河、桑干河两大支流。流域地处内蒙古高原与

收稿日期:2011-06-08 修回日期:2011-08-31 网络出版时间:2011-09-04

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20110904.0813.006.html>

基金项目:河北省自然科学基金课题(D2009001375)

作者简介:丁晓雯(1981-),女,江苏扬州人,讲师,主要从事水资源与水环境方面的研究。E-mail: binger2000dxw@163.com

华北平原之间,属北寒带大陆性半干旱气候,冬季漫长、寒冷而干燥,夏季短促且炎热,春秋季节多风。全年大部分时间受西伯利亚冷空气南下的影响,风多雨少,干旱指数 2.0~2.5。年平均气温 6℃~8℃,多年平均降水量 360~400 mm,且年内、年际降雨变化较大,70%以上的雨量集中在汛期。

永定河流域水文循环机理复杂,不仅与陆地表层系统中的各自然地理要素有关,且与农业开发、城市化、土地利用等直接相联^[2]。目前,流域水文循环及水资源利用主要存在降水量和径流量减少、水资源利用过度、用水方式粗放、水环境恶化和水土流失等问题。随着全球气候变化,流域水汽和动力条件的改变,降水量在近几年里呈减少趋势;受上游水利工程的影响,入境水量逐年减少,加上流域内居民对水资源利用程度加大,径流量也呈下降趋势;流域水资源开采量大、开发过度、地下水的无节制开采破坏了地下水平衡;水资源使用量大、用水不合理、浪费现象严重;废污水排放量的增加和水土流失造成的水环境恶化,也进一步加剧了水资源短缺的态势。

通过对流域降水量、径流量等水文循环要素变化特征分析,开展自然变化和人类活动影响下的水循环研究、客观认识河北省永定河流域水循环演化规律及其与人类活动的相关关系,已成为流域水资源可持续利用、下游北京市供水和生态环境修复面临的重要科学和现实问题之一。

目前,对流域水文循环及时空分布规律的相关研究已有开展。如原彪等^[3]以多年实测资料为依据,对流域的地表水资源和出入境水资源的水量和水质作了详细分析,结果表明,流域的地表水水量呈下降趋势,流域的主要污染物为非离子氨、高锰酸盐指数、氨氮、挥发酚。出入境水量年际变化较大,呈显著下降趋势;入境河流总体污染较轻,而出境河流污染严重,说明流域内污染是出境水质恶劣的主要原因。班富孝等^[4-5]在总结流域水资源利用现状的基础上,提出流域水资源利用存在的问题,并提出了相关对策和建议。王庆平等对环境变化下整个海河流域的水文循环时空分布影响进行了分析,指出在自然因素和人类活动的共同作用下,流域水文循环过程受到影响。降水量呈递减趋势,导致径流量也呈递减趋势。递减原因除降水量减少外,人类活动也是一个重要因素^[2]。吴海山等^[6]对永定河下游水沙变化趋势及其影响进行了分析,认为上游水库的建设及气候变化对水沙输移产生了巨大影响,且随着降水量的减少,流域输沙减少的趋势还将持续。

开展河北省永定河流域水文循环及时空分布规律分析,可进一步认识该流域水文循环特性,揭示自然变化和人类活动对降水量、径流量的影响,为今后制定水资源可持续开发利用规划、流域水污染控制、水土流失治理以及应对气候变化下的防灾减灾等均具有重要的现实意义和指导意义。

1 降水的时空分布及变化特征

流域的降水水汽主要来源于西太平洋,季风气候显著。据流域 1962 年—2001 年的降水量统计资料,地区多年平均降水量介于 244.5~538.6 mm 之间,多年平均降水量为 378.4 mm^[3],年际降雨量变化较大。1962 年—1995 年降雨量大体呈增长趋势,从 1960 年的 289.1 mm 增加到 1995 年

的 538.6 mm,此后总体呈下降趋势,减少到 2001 年的 315.4 mm。年内降雨量分布也极度不均,70%以上的雨量集中在汛期(6 月—9 月)。

1.1 降水量年际变化

用极值比 K_a 和变差系数 C_v 值表征降水量年际变化幅度。计算公式为:

$$K_a = \frac{x_{\max}}{x_{\min}} \tag{1}$$

式中: K_a —极值比; x_{\max} —最大年降水量 (mm); x_{\min} —最小年降水量 (mm)。

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^2}{n}} \tag{2}$$

式中: C_v —变差系数; K_i —降水量模比系数; n —样本个数。
 K_a 值或 C_v 值越大,降水量年际变化越大; K_a 值或 C_v 越小,降水量年际变化越小,降水量年际之间越均匀。研究区年降水量极值比统计见表 1。由表 1 可见,研究区年降水量系列的 C_v 值为 0.2, K_a 值为 2.2,最大年降雨量是最小值的两倍以上,说明流域降雨量的年际变化较为显著。

表 1 河北省永定河流域年降水量极值统计
Table 1 Extremum of annual precipitation of Yongdinghe Basin in Hebei province

水系	变差系数	最大降水量极值和出现年份		最小降水量极值和出现年份		极值比
		年降水量/mm	出现年份	年降水量/mm	出现年份	
河北省永定河流域	0.2	538.6	1995	244.5	1965	2.2

1.2 降水量年内分配

河北省永定河流域地处东亚季风气候区。冬季受极地大陆性气团控制,气候寒冷,雨雪少;春季受大陆性气团影响,气温增高,多风少雨;夏季因太平洋副热带高压与极地大陆性气团交汇,气候湿润多雨;秋季东南季风减退,极地大陆性气团逐渐增强,天高气爽,雨量减少。受气候影响,流域降水量年内分配极不均匀,全年降水量主要集中在汛期(6 月—9 月),而冬季(11 月—次年 2 月)为降水最小时段。汛期降水量占全年降水量的 70%以上,冬季降水量占全年降水量的 10%以下,最大月降水量占全年降水量的 30%左右,而最小月降水量仅占全年降水量的不到 1%。

1.3 降水量的空间分布特征

由于流域降雨监测站点少、分布不均,且部分站点为新建站点,缺乏多年连续监测的降雨数据。研究以 2008 年为例,对流域范围内 9 个气象观测站的降水量资料进行空间分布特征分析。可以看出,流域降水量在空间上分布并不均匀,总体呈现北部降雨量大于南部,东部降雨量大于西部的分布特征。最大降雨量站点位于张家口市崇礼县,年降雨量为 566.5 mm;最小降雨量站点位于张家口市阳原县,年降雨量为 352.6 mm;而全区的平均降雨量为 477.5 mm,流域的降雨空间分布见图 1。

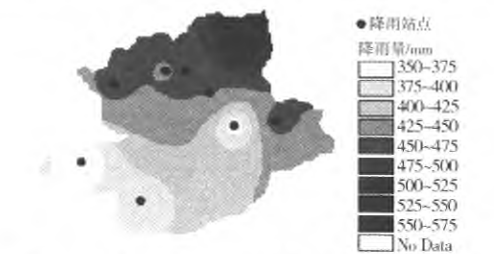


图 1 河北省永定河流域年降水量空间分布
Fig. 1 Spatial distribution of annual precipitation of Yongdinghe Basin in Hebei province

2 径流量时空分布及变化特征

2.1 径流量年际变化

河川径流量的年际变化主要取决于降水的年际变化,同时还受径流的补给类型、流域内地貌、地质、地下水位、下垫面条件和人类活动的影响。因此,流域内年径流量的多年变化呈现出与降水量不尽相同的特征,其变化幅度比降水量也

更为明显。根据分析,流域 1962 年—2001 年年径流系列的 C_v 值为 0.4,流域年径流系列极值比 K_v 为 2.3,均大于降水量的 C_v 值和 K_v 值。可见,较降雨量而言,径流量的年际变化更加显著。

通过对比降雨量和径流量的变化趋势可以发现,在 1962 年—2001 年年间,虽然降雨量有先增加后减少的变化过程,但径流量却一直呈现下降趋势。从 20 世纪 60 年代的 13.5 亿 m^3 减少至 90 年代的 4.7 亿 m^3 。即使在降雨量达到最大值的 1995 年,年径流量也未表现出显著的增加,这与人类活动和水资源开发密切相关。

2.2 径流量年内分配

受降水量年内分配不均和下垫面产流、汇流条件的影响,流域径流量年内分配也不均匀。从 1962 年—2001 年的多年径流量数据来看,汛期径流量占全年径流量的 61.7%;冬季河川径流主要靠地下水补给,径流所占比重较小,仅占全年径流量的 7.8%,见表 2。

表 2 流域径流代表站多年平均月径流量分配

Table 2 Distribution of multi-year average monthly runoffs in typical stations in research basin

河名	站名	月径流量占全年径流量的百分数(%)											
		1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
桑干河	石匣里	3.7	4.5	12.5	8.0	5.4	7.0	13.3	16.4	10.7	8.5	5.9	4.1
洋河	响水堡	0.4	0.2	2.5	7.7	3.7	23.7	11.7	29.5	12.7	6.6	0.4	0.9
永定河	官厅水库	2.1	2.5	7.8	7.9	4.6	14.9	12.6	22.6	11.6	7.6	3.3	2.6

2.3 径流量空间分布特征

流域径流量最主要分布在桑干河,其次是洋河。从桑干河、洋河和研究流域 3 个空间尺度,对 1962 年—2001 年的水文资料开展径流量空间分析,其中石匣里为桑干河控制站、响水堡为洋河控制站、官厅水库为研究流域控制站。通过分析可见:石匣里站多年平均径流量为 3.8 亿 m^3 ,响水堡站多年平均径流量为 3.5 亿 m^3 ,官厅水库站多年平均径流量为 8.1 亿 m^3 。石匣里站、响水堡站和官厅水库站的汛期径流量分别占全年径流量的 47.4%、77.6%和 61.7%(见表 2),汛期径流量是全流域年径流量的重要组成部分。

入境水量是影响径流量的重要因素,桑干河和洋河的多年平均入境水量分别为 2.9 亿 m^3 和 0.8 亿 m^3 。1962 年—2001 年期间,流域入境水量也在逐年减少。20 世纪 60 年代,入境水量在 5.0 亿 m^3 以上;到 70 年代,减少为 1.0~3.5 亿 m^3 ;而到 80 年代,减少至 1.0 亿 m^3 以下;1984 年—2001 年,曾出现 5 个年入境水量为 0 的年份。

石匣里站、响水堡站和官厅水库站在 1962 年—2001 年期间的年径流量如表 3 所示,可以看出,桑干河、洋河和整个研究流域的径流量均呈逐年减少的趋势,其中桑干河石匣里站的年径流量从 20 世纪 60 年代的 7.2 亿 m^3 减少到 90 年代的 2.0 亿 m^3 ;洋河响水堡站的年径流量从 20 世纪 60 年代的 4.8 亿 m^3 减少到 90 年代的 2.3 亿 m^3 ;整个研究流域控制站点官厅水库站的年径流量从 20 世纪 60 年代的 13.5 亿 m^3 减少到 90 年代的 4.7 亿 m^3 。上游来水的减少、流域无节制的开发利用,使得流域径流量大幅减少,而其中尤以桑干河流域为甚,桑干河流域的水资源合理利用是水资源保护的

重点内容。

表 3 河北省永定河流域年径流量时空分布及演变

Table 3 Temporal and spatial distribution and evolvement of annual runoff in research basin

河名	站名	年代				亿/ m^3 多年平均
		60 年代	70 年代	80 年代	90 年代至 2001 年	
桑干河	石匣里	7.2	3.5	2.4	2.0	3.8
洋河	响水堡	4.8	4.6	2.4	2.3	3.5
永定河	官厅水库	13.5	8.8	5.2	4.7	8.1

就径流组成而言,1962 年—2001 年期间,桑干河和洋河是流域径流量的最重要的组成部分,两个流域合计年径流量占流域年径流量的多年平均比重为 90.7%。其中,桑干河流域径流量占全流域径流量的多年平均比重为 47.3%,洋河流域径流量占全流域径流量的多年平均比重为 43.4%,桑干河是流域径流的最主要来源河流。两个流域年径流量占全流域年径流量的比例在此期间也发生了一些变化,见表 4。其中,桑干河流域年径流量在 60 年代占全流域年径流量比重最大,达 53.3%;在 70 年代占全流域年径流量比重最小,为 39.8%;洋河流域年径流量在 70 年代占全流域年径流量比重最大,达 52.3%;在 60 年代占全流域年径流量比重最小,为 35.6%;两个流域合计在 80 年代占全流域年径流量比重最大,达 92.3%;在 60 年代占全流域年径流量比重最小,为 88.9%。流域年径流量虽在逐年下降,但径流组成无明显变化趋势。

表4 河北省永定河流域不同站点年径流量所占比例演变

Table 4 Changes of annual runoff proportions in typical stations in research basin (%)

河名	站名	60年代	70年代	80年代	90年代至2001年	多年平均
桑干河	石匣里	53.3	39.8	46.2	42.6	47.3
洋河	响水堡	35.6	52.3	46.2	48.9	43.4
桑干和洋河小计	—	88.9	92.1	92.4	91.5	90.7
其他流域	—	11.1	7.9	7.6	8.5	9.3
永定河(全流域)	官厅水库	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

3 影响流域水文循环因素分析

引起河北省永定河流域降水—径流关系变化的主要原因是自然因素和人类活动。自然因素主要是气候变化导致的降水变化,相比之下,人类活动的影响更加深远。工农业生产、基础建设和水土保持措施改变了流域的下垫面条件(包括植被、土壤、水面、耕地、潜水位等因素),使得流域产流汇流条件发生变化,从而造成河川径流量减少。产流方面,人类活动主要通过影响蒸发、入渗等产流水量平衡要素来影响产流量;汇流方面,人类活动主要通过改变流域调蓄作用来影响径流过程。人类活动对流域水文循环的影响是一个渐变的过程,且非常复杂。

3.1 气候变化

气候变化可通过降水的改变,进而影响水分截流、地表径流和蒸发整个水循环过程。随着径流减少、蒸发增大,气候变化势必加剧水资源系统的不稳定性和水资源供需矛盾。河北省永定河流域当前气温上升与全球气候变暖的趋势一致,20世纪60年代以来,流域气温呈明显上升趋势,90年代流域平均气温比60年代流域平均气温上升了1.1℃,不同时段气温变化统计见表5^[7]。温度变化对降水形成的水汽条件和动力条件都有影响。对河北省永定河流域来说,形成降水的主要因素是水汽输送,而水汽输送的动力则是温差通过大气的作用输送的。温室效应导致南北温差减小,水汽输送动力条件减弱,从而使得流域降水减少,水资源短缺形势更加严峻^[9]。

表5 河北省永定河流域不同年代年平均气温统计

Table 5 Average annual temperature of different decades in research basin

时段(年代)	60—70年代	70—80年代	80—90年代	90年代至2001年
年平均气温(℃)	5.4	6.1	6.2	6.5

3.2 水资源量短缺且时空分布不均

水资源短缺是导致流域径流变化的重要原因。首先,河北省永定河流域水资源总量相对较少,多年平均水资源总量为10.6亿m³。其次,入境水量逐年减少,从20世纪60年代的超过5亿m³减少到2001年的不足1亿m³^[10]。第三,

流域降水量年内分配和年际变化差异大,年内降水量集中在汛期,由于缺乏大型的水利工程设施,汛期洪水无法适时调度和合理配置,使得水资源的短缺状况更加恶化。

3.3 水资源过度开发

流域多年平均水资源总量为10.6亿m³,全市总用水量5.9亿m³。其中农田灌溉用水量4.2亿m³,农村生活用水量0.3亿m³,林牧渔副用水量0.2亿m³,工业用水量0.9亿m³,城镇生活用水量0.3亿m³。农田灌溉用水量占总用水量的71.1%,工业用水占总用水量的15.3%,农村生活和城市生活用水占总用水量的10.2%,林牧渔副用水量占总用水量的3.4%^[3]。可以看出,流域水资源匮乏,水资源利用率已超极限,主要用水量为农业用水量,其次是工业用水量。

目前,流域无地表水水源工程,城市用水完全依靠地下水,采量无节制、布井不合理使得地下水位持续下降。尤其是近几年,随着城市人口的增长,工农业的迅速发展,开采量不断增加,原本极其匮乏的地下水资源入不敷出,水资源过度开发态势愈发严峻。

3.4 水污染日益严重

工农业的发展也带来了水资源污染和水环境恶化。流域内直到2006年才建起第一座污水处理厂,且目前处理能力已达到饱和^[11],大量未经处理的工业废水和生活污水直接排入永定河,农田中随降雨流失的大量非点源污染物也在河流中长期累积,造成了严重的地表水体污染^[12]。根据地表水水质监测资料,永定河水体中污染物含量超标,水质不适合于生活饮用、渔业和农田灌溉,水质型缺水更加剧了水资源短缺的状况,并给流域下游的工农业生产和人民生活造成了严重危害,首都官厅水库供水功能的丧失就与其直接相关。近年来,流域上游又新建了一些高污染企业,进一步加剧了因水质型缺水造成的水资源短缺。

3.5 水资源利用方式粗放,用水浪费现象严重

流域自来水流失量占总用水量的比例高达20%。水价过低和全民节水意识不强是导致浪费用水的重要原因。在农业生产中,用水量所占比重很大,农田灌溉的水利用效率低,灌溉方式落后,加剧了行业用水比例失调。随着养殖业规模的不断扩大,以浪费水资源、牺牲水环境为代价换取短期经济效益的形势也愈发严重。在工业生产中,由于水费在各类产品的成本中所占比重很小,工矿企业引入节水设施的费用比所节约水资源的水费价值高,以致企业沿用旧的工艺设备,造成工业用水浪费,加剧了供需矛盾。此外,生活用水中也存在着用水浪费现象。

3.6 水资源管理的落后与缺失

我国多年来一直采用行政手段管理水资源,缺乏有效的政策激励机制,水资源开发利用和水污染防治监督管理薄弱,水资源可持续利用体制和机制还不完善^[13]。这在一定程度上限制了水资源的合理利用,纵容了水资源的过度开发和用水浪费。流域属于干旱半干旱地区,水资源供给数量不足且时空分布不均,加上人为因素导致的水资源过度开发,水环境污染严重,用水方式粗放等使得流域的水资源管理及节水管理体制改革显得尤为重要,因此,需不断加大力度,深入进行。

4 结语

河北省永定河流域是我国水资源非常匮乏的流域之一,水文循环机理复杂,与自然要素和人类活动等均直接相关。对降水量、径流量等水文循环要素变化特征的分析结果表明,1962年—2001年期间,流域的水文循环过程产生了较为显著的变化。其中年降水量呈先增加后减少的趋势,在1995年出现极大值538.6 mm;而年径流量却呈逐年递减的趋势,从1962年的13.5亿 m^3 减少至2001年的4.7亿 m^3 。就降雨量和径流量的年内分配而言,两者均主要分布在汛期,降雨量占全年降雨量的70%以上,径流量占全年径流量的50%~70%;冬季降雨量、径流量占各自全年量的不到10%。从空间分布上来说,流域降水量在空间上分布不均,总体呈现北部降雨量大于南部,东部降雨量大于西部的分布特征;径流量最主要分布在桑干河,其次是洋河,两者年径流量占流域年径流量的90%左右。桑干河、洋河的水文循环特征也呈现出与全流域类似的趋势,年降雨量先增加后减少,年径流量逐年递减;两者的年内分配也以汛期为主。引起降水—径流关系变化的原因主要涉及自然因素和人类活动,如流域水资源量短缺且时空分布不均、水资源过度开发、水污染日益严重、水资源利用方式粗放、用水浪费严重、水资源管理缺失等均密切相关。

流域管理部门、当地政府、公众可从合理开发水资源、加大水污染防治力度、节约用水、加强对水资源统一管理等方面入手,来缓解流域水资源短缺、促进水环境持续健康发展、建立合理、科学的水资源配置机制和水资源管理体系。研究可为客观认识河北省永定河流域水循环演化规律及其与人类活动之间关系、经济社会可持续发展、水资源可持续利用、水环境健康的规划与实施、下游北京市供水和生态环境修复等重要科学和现实问题提供数据支撑和决策支持。

参考文献(References):

- [1] X. W. Ding. Agricultural Non-point Source Nitrogen Simulation Research of Yongding River in Hebei Province[A]. Proceedings of International Symposium on Water Resource and Environmental Protection 2011[C]. Wuhan China, 2011.
- [2] 王庆平,季志恒,王喜诚.变化环境下海河流域水文循环及时空演化规律分析[J].南水北调与水利科技,2010,8(3):92-96. (WANG Qing-ping, JI Zhi-heng, WANG Xi-cheng. Hydrological Cycle and Analysis of Spatial and Temporal Evolution of Changing Environment in Haihe River Basin[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2010, 8(3):92-96. (in Chinese))
- [3] 原彪,白云鹏.张家口市水资源与首都水资源规划关系分析[J].河北水利水电技术,2003,(1):11-13. (YUAN Biao, BAI Yun-peng. Relationship Analyse Between Water Resources of Zhangjiakou City and Capital Water Resources Planning [J]. Hebei Water Resources and Hydropower Engineering, 2003, (1):11-13. (in Chinese))
- [4] 班富孝.张家口市水资源开发利用存在的问题及对策[J].现代农业科技,2010,(11):253-254. BAN Fu-xiao. Problems and Measures of Water Resources Exploitation and Utilization in Zhangjiakou City[J]. Modern Agricultural Sciences and Technology, 2010, (11):253-254. (in Chinese))
- [5] 赵鸣雁,陈吉宁,程春田,等.水资源配置多准则决策敏感性分析[J].水电能源科学,2009,(2):35-36. (Sensitivity Analysis of Multi Criteria Decision for Water Resources Allocation[J]. Water Resources and Power, 2009, (2):35-36. (in Chinese))
- [6] 吴海山,王亚娟,赵洪岩.永定河下游水沙变化趋势及其影响分析[C].中国水力发电工程学会水泥沙专业委员会第七届学术讨论会论文集(上册),2007,63-65. (WU Hai-shan, WANG Ya-juan, Zhao Hong-yan. Variation Trend and Impact Analyse of Sediment and Runoff in Lower Reaches of Yongdinghe [C]. Proceeding of the 7th Symposium of China Society for Hydro-power Engineering Professional Committee of Hydrologic and Sediment (Volume 1), 2007, 63-65. (in Chinese))
- [7] 张家口市人民政府.张家口经济年鉴特别版[M].北京:中国统计出版社,2010. (Zhangjiakou City People's Government. Zhangjiakou Economy Yearbook (Special Edition) [M]. Beijing: China Statistics Publishing Company, 2010. (in Chinese))
- [8] 王延贵,胡春宏.官厅水库淤积特点及拦门沙整治措施[J].泥沙研究,2003,(6):25-30. (WANG Yan-gui, HU Chun-hong. Study on Sedimentation and the Mouth Bar Control in Guanting Reservoir [J]. Journal of Sediment Research, 2003, (6):25-30. (in Chinese))
- [9] 张金堂,乔光建.气候变化对海河流域降水量影响机理分析[J].南水北调与水利科技,2009,7(3):79-80, 87. (ZHANG Jin-tang, QIAO Guang-jian. Influence Mechanism Analysis of Climate Changes on Precipitation of the Haihe River Basin [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2009, 7(3):79-80, 87. (in Chinese))
- [10] 樊英.张家口市水资源可持续利用对策[J].河北水利,2007,(7):38. (FAN Yin. Measures of Sustainable Utilization of Water Resources of Zhangjiakou City[J]. Hebei Water Resources, 2007, (7):38. (in Chinese))
- [11] 河北建设.张家口市中心区污水处理厂项目[OL]. http://www.hebjs.gov.cn/zfxx/zsyx/2007-1-1-1-1/csdldm/201104/t201104_28-130227.htm, 2011-04-28. Hebei Construction. Wastewater Treatment Plant Project of Main District of Zhangjiakou City [OL]. http://www.hebjs.gov.cn/zfxx/zsyx/2007-1-1-1-1/csdldm/201104/t201104_28-130227.htm, 2011-04-28.
- [12] X. W. Ding, J. Qi. Study of Agricultural Non-point Source Pollution of Yongding River Based on Export Coefficient Model [A]. Proceedings of the International Conference on Environmental Pollution and Public Health 2011[C]. Wuhan China, 2011.
- [13] 李淑玲.张家口市水资源管理存在的问题及对策[J].河北水利,2010,(5):43. (LI Shu-ling. Problems and Measures of Water Resources Management in Zhangjiakou City [J]. Hebei Water Resources, 2010, (5):43. (in Chinese))