

中国北方地区人类活动对地表水资源的影响研究

任立良¹, 张 炜², 李春红¹, 王美荣¹

(1. 河海大学水文水资源及环境学院, 江苏 南京 210098; 2. 内蒙古自治区水文总局, 内蒙古 呼和浩特 010010)

摘要: 以中国北方地区黄河、海河、辽河、松花江流域为研究区域, 基于长期水文观测数据, 就人类活动对不同时空尺度(包括日、月、年、10 年)地表水资源的影响及河川径流演变的驱动力进行了定量分析。结果表明, 无论从自然流域的角度还是从行政区域的角度来说, 中国北方河川径流都存在减少的趋势。除气候变化的影响之外, 河道外用水量的增加是导致中国北方地区实测径流减少的直接原因; 干旱、半干旱地区人类活动对河川径流的影响程度强于湿润地区, 主要表现在小流量出现的频率增大。20 世纪八九十年代相同量级的降水量产生的径流量较五六十年代减少 20% ~ 50%。

关键词: 河川径流, 水资源, 地表水, 驱动力

中图分类号: TV211.1+1

文献标识码: A

文章编号: 1000-198X(2001)04-0013-06

自地球诞生以来, 其环境就在不断变化。人类出现之前, 地球环境纯粹在自然界推动力作用下变化; 自从有了人类, 地球自然系统就面临人类活动的干预。到如今, 人类活动对地球环境的影响力在一些方面已可与自然界的推动力相比, 甚至超过之。在某些地方这种干预已处于临界状态, 已开始影响世界气候和人类自身的生存条件。为了预测未来的发展趋势, 避免或降低人类活动对自然环境的消极影响, 以地球系统的整体行为作为研究对象的全球变化科学正在迅速发展, 并注重地球各圈层子系统之间的相互作用和反馈。

一个区域的水资源既受气候系统的控制, 又受地表系统的影响。气候系统决定降水范围、降水总量、降水年内分配和年际变化; 陆地表面系统决定水资源的赋存条件、地表径流量、地下水资源量、河道枯季径流量。事实上, 随着人口的增长、工农业生产的发展、城镇化进程的加快, 大规模人类活动明显改变了天然状态下的水循环过程。灌溉、排污以及河流上的水利工程建设等都在时间和空间上引起了水文循环要素和量的变化。大规模土地利用不仅改变了地表产汇流规律, 也改变了地下水补给规律; 生产活动造成河道外用水大量增加, 使地表径流量、枯季径流量和地下水补给条件相应改变。水利工程的修建和通江湖泊的开垦, 更改变了水循环过程的一系列特性。本研究将依据长期水文观测数据, 就人类活动对不同时空尺度(包括日、月、年、10 年)地表水资源的影响及河川径流演变的驱动力进行定量分析。

1 研究区域

选取中国北方地区黄河、海河、辽河、松花江流域为研究区域, 包括北京、天津、河北、辽宁、吉林、黑龙江、宁夏、山西及陕西、甘肃、青海、内蒙古自治区的部分面积(见图 1), 总面积近 200 万 km^2 。

一方面, 研究区域内用水总量自 1949 年以来逐年增加。1949 年我国人均用水量 187 m^3 , 20 世纪 80 年代初增至 450 m^3 , 到 20 世纪末人均用水量仍维持在这样的水平。虽然用水量的年增长率从 1959 年的 7.1% 下降至 1997 年的 1.8%, 但由于社会经济的发展, 用水总量还是不断增长, 中国沿海地区的增长更快。另一方面, 由于工业化和城镇化的发展, 研究区域内用水结构也发生了变化, 工业和生活用水占总用水量的比例有了大幅度增长, 而农业用水



图 1 研究区域地理位置示意图

Fig.1 Location of area for study

收稿日期: 2001-03-20

基金项目: 国家重点基础研究(973 计划)专项经费资助项目《我国生存环境演变和北方干旱化趋势预测研究》(G1999043400)

作者简介: 任立良(1963—), 男, 江苏扬中人, 教授, 主要从事水文物理过程模拟研究。

的比例则在下降. 20 世纪 70 年代末我国农业、工业和生活用水的比例分别为 88.2% ,10.3% 和 1.5% ,到 20 世纪 90 年代末则变为 69.2% ,20.7% 和 10.1% .

如上所述 ,人类生产、生活使得用水量急剧增加 ,河道外取水量大增 ,河流流量减少 ,由此产生的问题越来越严峻. 下面结合具体个例 ,定量分析人类活动造成的日、月、年、10 年径流量的变化情况.

2 对日径流的影响

黄河下游花园口站(集水面积 730 037 km²)实测径流统计结果表明 ,20 世纪 90 年代以来平均每年日流量超过3 000 m³/s 的时间不足 4 d^[1]. 由表 1 所示的 1946~1998 年间花园口站日流量统计特性来看 ,40~50 年代黄河下游来水流量少于 800 ,1 000 ,2 000 m³/s 的天数分别占全年总天数的 18.1% ~33.4% ,40.8% ~51.8% 及 64.2% ~76.4% ,且随着耗水量的不断增加 ,这个百分比呈趋势性的增加. 到 90 年代 ,花园口实测流量少于 800 ,1 000 ,2 000 m³/s 的天数分别为 187 ,271 和 348 d ,分别占全年总天数的 51.2% ,74.2% 和 95.2% ,而大于 2 000 m³/s 的天数则由 50 年代的 86 d 下降至 90 年代的 17 d ,低于 3 000 m³/s 的天数由 40 年代的 300 d 上升至 90 年代的 361 d ,占全年总天数的比例也相应地由 82% 增长到 99% .

黄河下游的日流量在逐年减少 ,甚至出现了断流现象. 1972 年黄河从 4 月 23 日开始断流 ,历时 19 d ,断流长度为 310 km ,而 1998 年却从 1 月 1 日开始断流 ,历时达 142 d ,断流总长度为 515 km. 流量递减乃至断流会产生严重的问题 (a)恶化黄河下游河段的水生生态环境 (b)泥沙大量沉积 ,使发生洪涝灾害的风险加大 ; (c)黄河三角洲地区居民生活和农业、工业用水告竭 (d)下游沿海地区海水入侵.

表 1 花园口站不同时期小流量事件统计^[1]

Table 1 Statistics of daily discharge at Huayankou Station in various periods^[1]

起止年份	流量 < 800 m ³ /s		流量 < 1 000 m ³ /s		流量 < 2 000 m ³ /s		流量 < 3 000 m ³ /s	
	天数/d	占全年/%	天数/d	占全年/%	天数/d	占全年/%	天数/d	占全年/%
1946~1949	66	18.1	149	40.8	244	64.2	300	82.1
1950~1959	122	33.4	189	51.8	279	76.4	330	90.5
1960~1969	108	29.6	151	41.4	262	71.7	312	85.6
1970~1979	141	38.6	210	57.5	311	85.3	340	93.2
1980~1989	134	36.7	211	57.8	304	83.3	333	91.2
1990~1998	187	51.2	271	74.2	348	95.2	361	98.9

3 对月径流的影响

径流主要是由降水形成的 ,因此黄河的径流集中在 7~10 月的雨季. 大型水库的兴建 ,如黄河上游刘家峡和龙羊峡水库的投入运行 ,使得其干流和支流的月径流量在一年内发生了明显的变化. 表 2 给出了不同时期黄河中游控制集水面积 688 421 km² 的三门峡站月径流量的年内分配情况 ,1960 年以前 7~10 月雨季中的径流量平均约占年径流总量的 60.8% ,并且最大月径流量(8 月)是最小月径流量(1 月)的 6.2 倍 ,而在刘家峡、三门峡水库投入运行 ,龙羊峡水库尚未运行的 1960~1986 年间 ,雨季(7~10 月)的径流量减少为年径流量的 56% ,其中最大月径流量出现在 9 月 ,它与最小月径流量的比率降为 4.8 ;1986~1997 年龙羊峡水库运行后 ,雨季径流量仅为年径流量的 47% ,最大与最小月径流量的比率进一步减小至 3.6. 人类活动(如在河道上修建水库)使得年内的月径流量分配发生变化 ,雨季径流量占年径流总量的比例有所减少 ,枯季径流量所占比例则有所增加 ,最大和最小月径流量的比例在下降. 图 2(a)(b)给出了 1994 年第二松花江扶余站(集水面积 71 783 km²)和东辽河王奔站(集水面积 104 18 km²)天然月径流量和实测月径流量之间的差别 ,6 月份扶余站和王奔站实测月径流量分别比天然月径流量减少了 67.2% 和 83.8% ,这主要是由农作物生长期需水量的增加所致.

表 2 黄河三门峡站不同时期实测径流年内分配^[1]

Table 2 Distribution of observed monthly runoff at Sanmenxia Station on the Yellow River within a year^[1]

起止年份	月 份												汛 期 (7~10 月)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1919~1959	2.9	3.3	4.9	5.2	5.4	6.4	14	18.1	15.6	13.2	7.5	3.6	60.8
1960~1968	2.6	2.4	7.1	6.3	7.4	5.8	10.9	15.2	15.2	14.6	8.4	4.3	55.8
1969~1985	3.7	3.4	7.1	6.6	6.3	5.0	10.7	14.6	16.2	14.7	7.2	4.6	56.2
1986~1997	4.6	5.7	8.9	8.9	6.9	6.3	10.9	16.5	12.9	6.7	5.6	6.0	47.0
多年平均	3.2	3.4	6.0	6.0	6.0	6.0	12.6	16.8	15.4	13.0	7.4	4.1	57.8

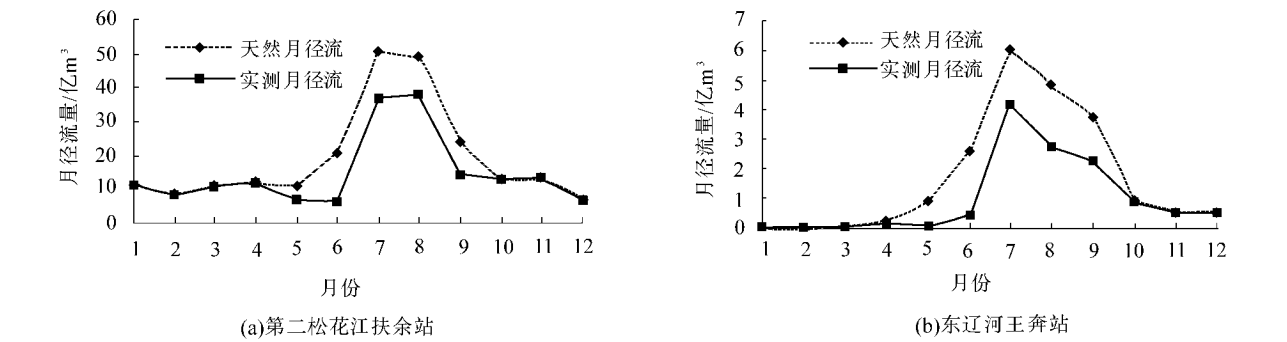


图 2 1994 年天然月径流量与实测月径流量的比较

Fig.2 Comparison between natural and observed monthly runoff in 1994

4 对年径流的影响

图 3 给出了老哈河流域小河沿站 1955 ~ 1998 年降水量、实测径流量和径流系数的变化序列. 老哈河位于西辽河的上游,小河沿站控制集水面积 18 599 km². 1955 ~ 1998 年的年降水量不仅没有减少,反而有增加的趋势,但实测的年径流量和年径流系数却存在减少的趋势,即老哈河流域 80 年代相同量级的降水量产生的径流量小于 50 年代,表 3 给出了同样的现象.

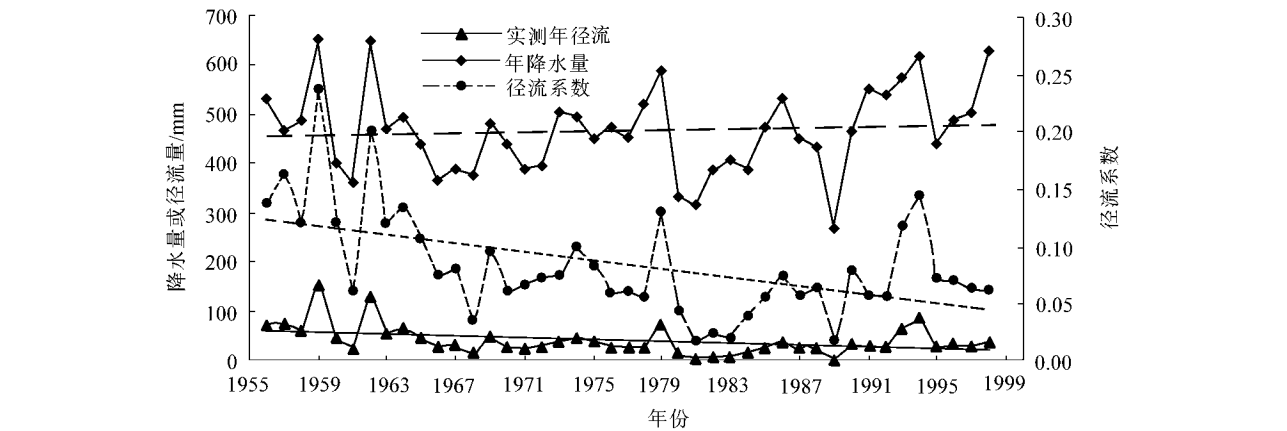


图 3 老哈河流域小河沿站 1955 ~ 1998 年降水量、实测径流量和径流系数的变化

Fig.3 Variations of annual precipitation , observed runoff , and runoff coefficient at Xiaoheyuan Station in the Laohahe River Catchment from 1955 to 1998

表 3 老哈河流域小河沿站不同时期相同量级年降水量产生的实测径流量比较

类 型		年 份	年降水量 /mm	实测年径流 /mm	汛期降水占 全年降水量比例	大于 10 mm 降水量 占全年降水量比例
丰水年		1959	652.5	154.3	0.85	0.62
		1962	649.6	129	0.76	0.60
		1979	590.9	75.8	0.76	0.56
平水年		1957	467.6	75.8	0.82	0.60
		1969	484.0	45.6	0.82	0.57
		1976	476.9	28.2	0.76	0.48
枯水年		1960	399.3	47.4	0.82	0.59
		1972	396.7	28.6	0.78	0.58
		1983	409.9	8.4	0.75	0.48

5 对年代(10 年)径流量的影响

以黄河流域三门峡站^[2]为例,如图 4 所示,从 15 世纪 70 年代到 20 世纪 90 年代,年均天然径流量没有衰减的趋势.自 20 世纪初至 60 年代,天然径流有上升之趋势,60 年代后天然径流存在减少的趋势,20 世纪 90 年代减少至 422.9 亿 m³,该数值至多与 19 世纪 90 年代的情形相近,并不是 530 a 以来的最小值,最小值(390.5 亿 m³)出现在 20 世纪 20 年代.然而,实测径流量从 20 世纪 40 年代开始减少,20 世纪 90 年代减少到 254.1 亿 m³,比 530 a 以来最小天然径流量还低 136.4 亿 m³.20 世纪 90 年代实测径流量比天然径流量减少了 39.9%,这表明人类活动对河川径流的影响很大.

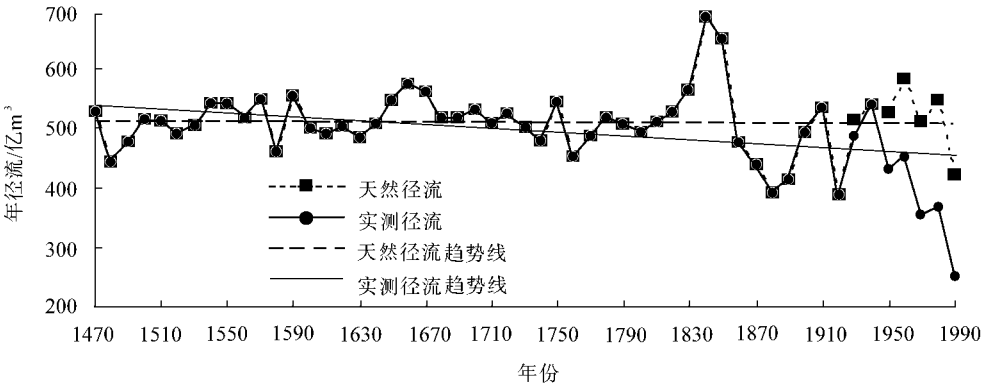


图 4 不同年代黄河流域中游三门峡站年均径流变化过程^[2]

Fig.4 Inter-decade variation of annual runoff at Sanmenxia Station on the middle reach of the Yellow River from 1470 to 1990^[2]

图 5(a)(b)展示了位于黄河上游的兰州站和下游的花园口站 20 世纪 50~90 年代的年均降雨、径流变化序列^[1].可以看出,径流随着降雨的变化有减少的趋势,实测径流比天然径流减少得更快.此外,图 5(b)所示的天然径流与实测径流之间的差别要比图 5(a)所示的差别大,这说明人类活动对河川径流的影响程度从上游至下游不断增强.

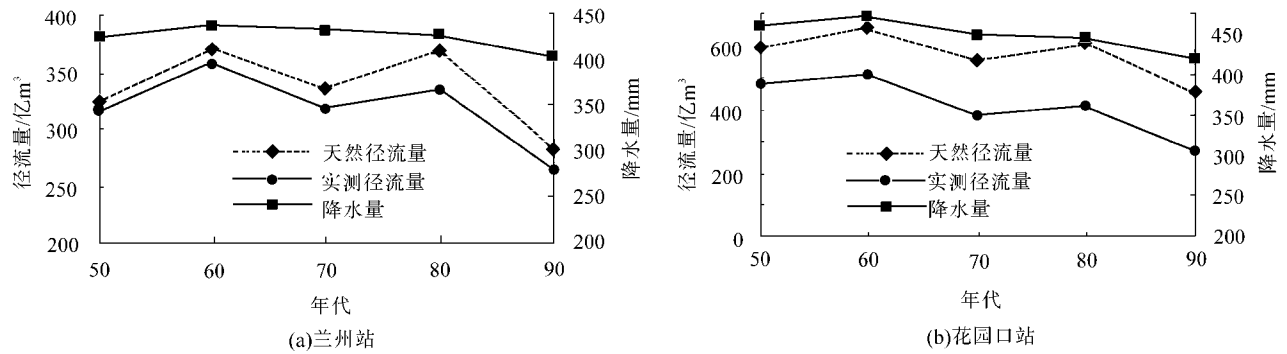


图 5 黄河流域 50~90 年代天然径流与实测径流对比^[1]

Fig.5 Inter-decade variation of precipitation and runoff in the Yellow River Basin from 1950's to 1990's^[1]

6 驱动力分析

一般来说,河川径流减少有三方面的原因:(a)天然降水减少;(b)人为的河道外取水或地下水的开采;(c)人类活动引起的气候变化对水资源的影响.天然降水量的减少是导致河川径流减少最主要、最直接的原因,但天然降水的多寡因地而异,中国北方地区降水量并非都存在减少的趋势,图 3 所示的老哈河流域和图 6 所示的吉林省的情形都说明了这一点,从 1956 年到 1999 年降水量尚没有减少的迹象,然而河川年径流量呈减少的趋势.吉林省 1956 年到 1999 年耗水量一直在增加,1999 年比 1956 年增加 268.4%,1994 年增长率达到最大值(98.34%).吉林省境内河川径流的减少主要是由于人口的增长、工农业生产和城镇化规模的扩大,用水量激增,消耗了大量的地表水、地下水.至于气候变化对水资源的影响,是通过降水和气温等因子影

响水文循环要素,再间接地影响水资源.此外,中国北方(如辽宁、河北、山西、陕西、甘肃、内蒙古)的一些地区为防治水土流失,流域面上实施了水土保持的措施,进而部分下垫面条件发生变化,也促使河川实测径流有减少的趋势.

如图 7 所示,从 1470 年到 1990 年黄河流域三门峡站年径流量没有显著减少的迹象^[2],但 20 世纪后半叶实测径流量却减少了(见图 4).整个黄河流域的人口年增长率为 1.59%,1999 年耗水量比 1980 年增长了 12.5%,1985 年前修建的 3 380 个水库总库容达到 273.7 亿 m³,有效灌溉面积在 1985 年前已达到 4.38 万 km².所有这些都是导致实测径流量减少的原因.

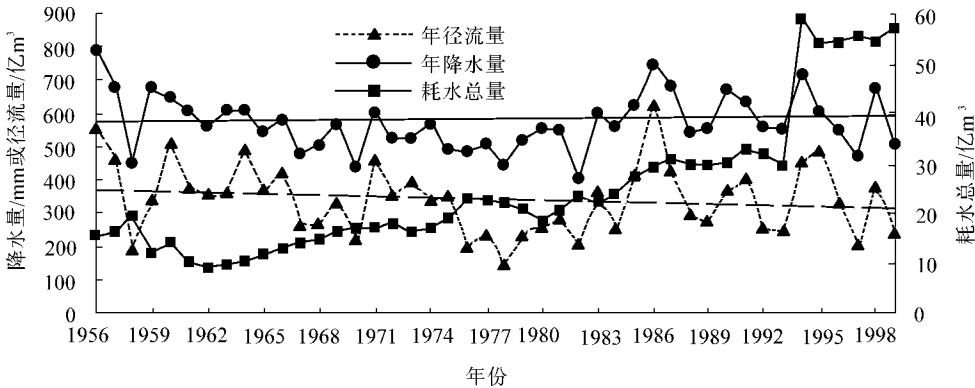


图 6 吉林省 1956 ~ 1999 年降水量、径流量和工农业耗水总量

Fig.6 Variation of annual precipitation , runoff , and water consumption in Jilin Province from 1956 to 1999

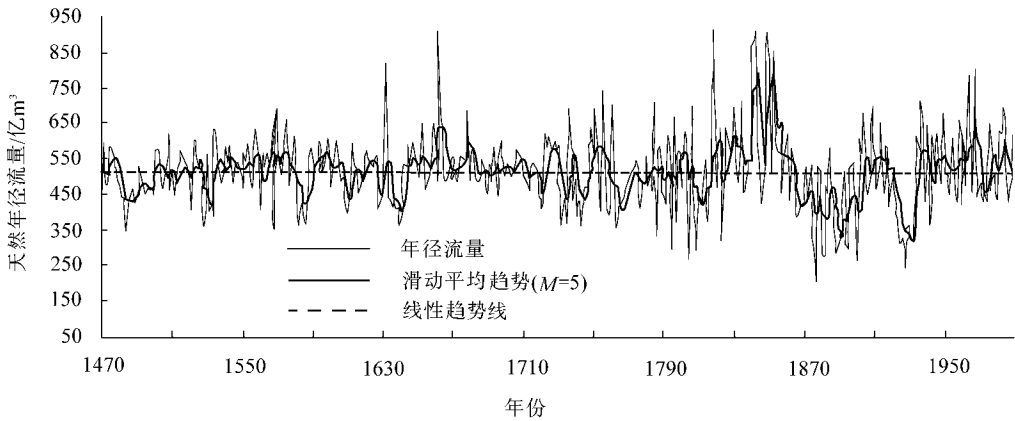


图 7 1470 ~ 1990 年黄河流域中游三门峡站天然年径流变化过程^[2]

Fig.7 Annual natural runoff at Sanmenxia Station in the Yellow River Basin from 1470 to 1990^[2]

汾河是黄河中游的一级支流,流域面积为 39 471 km²,其水资源利用率从 20 世纪 50 年代的 26.08% 增长到 90 年代的 58.06%,如图 8 (a)所示.黄河干流花园口站以上流域水资源利用率从 20 世纪 50 年代的 18.62% 增长到 90 年代的 41.16%,如图 8 (b)所示.水资源利用率的增长导致下游实测径流量减少,进入 90 年代以来黄河流域水资源利用率超过 40% 的上限,这是下游河道断流的主要原因.

海河流域潮白河也出现了类似的情况.潮白河位于北京附近,流域面积 19 354 km².据统计资料表明,潮白河流域的水库总库容达到 48 亿 m³,实际灌溉面积为 2 500 km².随着社会经济的不断发展,水资源的利用率不断增加.1972 年潮白河开始发生断流,更为严重的是 1984 年断流从 2 月到 12 月持续了 276 d^[3].水资源利用率持续超过 40% 的上限,且在不断上升,使得潮白河变成了一条季节性河流,由此彻底改变了整个水文系统,破坏了生态景观.尽管年径流是在气候背景条件下发生变化的,但是实测径流的减少主要是由人类活动所致的.

7 结论和建议

人类活动对河川径流的影响在空间尺度和时间尺度上都很复杂,下游河川径流量主要取决于流域降水

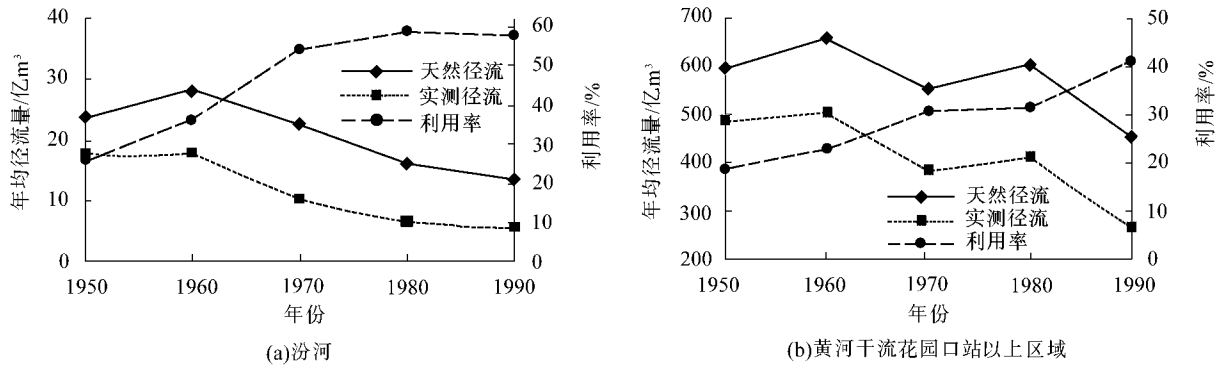


图 8 20 世纪 50 ~ 90 年代汾河及黄河干流花园口站年均径流量和水资源利用率的变化^[1]

Fig.8 Inter-decade variation of runoff and utilization ratio from 1950 to 1990^[1]

和上游河道外取水. 由以上分析可知, 无论从自然流域的角度还是从行政区域的角度来说, 中国北方河川径流都存在减少的趋势, 扣除气候变化的影响之外, 河道外用水量的增加是导致中国北方地区实测径流减少的直接原因, 上游水库拦蓄、引水量的激增等不合理的用水方式是导致下游河口河道干涸、断流的主要原因; 人类活动对干旱和半干旱地区的径流影响比对湿润地区的径流影响要严重得多, 人类的作用致使干旱和半干旱地区的河水流量比湿润地区减少得更快, 主要表现在小流量出现的频率大增, 20 世纪八九十年代相同量级的降水量产生的径流量较五六十年代减少 20% ~ 50%. 从实测资料看, 中国北方东部湿润地区的河川径流量减少甚微, 西部河川径流的减少速度比东部快.

定量计算人类活动的水文效应是不容易的, 因为自然因素也同时发生变化. 在人类活动对水资源的影响因素中, 有些是能够计算的, 如水库的引水量、取水量; 有些是很难估计的, 譬如土地利用的变化、水土保持措施的实施、农业耕作技术的改进、农业生产结构布局的调整、乡镇企业的发展、城乡人口的不断增长及社会经济结构的变化等因素导致用水量的增加. 因此, 定量分解地表水资源的自然过程和人为影响是今后应着重探讨的研究方向.

参考文献:

[1] 朱晓原, 张学成. 黄河水资源变化研究 [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1999. 52 ~ 122.
[2] 王国安, 史辅成, 郑秀雅, 等. 黄河三门峡水文站 1470 ~ 1918 年年径流量的推求 [J]. 水科学进展, 1999, 10(2): 170 ~ 176.
[3] 李丽娟, 郑红星. 华北典型河流年径流演变规律及其驱动力分析——以潮白河为例 [J]. 地理学报, 2000, 55(3): 309 ~ 317.

Impacts of Human Activities on River Runoff in North China

REN Li-liang¹, ZHANG Wei², LI Chun-hong¹, WANG Mei-rong¹

(1. College of Water Resources and Environment, Hohai Univ., Nanjing 210098, China;
2 Bureau of Hydrology, Inner Mongolia Autonomous Region, Huhhot 010010, China)

Abstract :The Yellow River, the Haihe River, the Liaohe River, and the Songhuajiang River in the northern area of China are selected as the regions for the study. According to the long-term observed data, the impacts are analyzed of human activities on river runoff in different spatio-temporal scales, including daily, monthly, annual, inter-decade variations. The driving forces causing the change of annual runoff in the river basins are also analyzed. It is concluded that the amount of downstream flow in North China depends on precipitation over catchments and water consumption from the upstream. The amount of river runoff has a tendency of decrease in terms of natural basins and administrative regions. River discharge decreases more rapidly in arid or semi-arid areas than in humid areas.

Key words :river runoff ;water resources ;surface water ;driving force