

水沙动态图法分析中国主要江河水沙变化

刘 成¹, 何 耘², 张红亚³

(1 国际泥沙研究培训中心, 北京 100044; 2 中国水利水电科学研究院, 北京 100044; 3 安徽建筑工业学院, 安徽 合肥 230022)

摘要: 利用《中国河流泥沙公报》数据, 采用水沙动态图方法并按平衡水沙比相对应, 分析中国主要河流 2006 年前实测水沙的变化。根据河流下游站历年水沙变化趋势, 将中国主要河流大致分为 4 类: 水量不变沙量降低、水量和沙量均降低、水量和沙量同步略降低、几近断流断沙。按地域看, 中国淮河及其以南大多数河流年径流量无明显改变, 而年沙量呈明显下降趋势; 淮河以北地区河流水沙量均呈明显下降趋势, 特别是黄河年径流量的近 10 年平均值仅为多年平均值的 1/3, 输沙量 10 年平均值仅为多年平均值的 1/4, 而海河水系的河流下游几乎是断流断沙。总体上, 中国大多数河流的沙量明显下降。大多数河流入海水沙量的明显降低主要是人类活动造成的, 淮河及其以南河流沙量的降低多与水库兴建、河道采砂和水土保持工程等有关; 北方河流水沙量的降低主要是引水量的大幅增加、水库建设及其运行方式的改变以及水土保持工程的发挥效益等造成的。分析也表明, 利用水沙动态图法分析河流的水沙长期变化具有一定的优越性。

关 键 词: 水沙动态图法; 水沙变化; 江河; 中国

中图分类号: P333.4 文献标识码: A 文章编号: 1001-6791(2008)03-0317-08

河流水沙量的变化趋势分析常采用趋势线法、双累积曲线法、多年滑动平均法等, 各种方法各有特点, 能突出表现不同的特征。英国 Des Walling 利用趋势线法分析了全球 142 条河流下游站的年径流量和输沙量, 认为全球河流输沙量总体上呈下降趋势。年径流量增加、降低和基本恒定的河流分别占 8.5%、22.5% 和 69.0%; 年输沙量增加、降低和基本恒定的河流分别占 2.8%、47.9% 和 49.3%^[1,2]。那么, 中国河流水沙量的变化情况如何呢? 本文利用《中国河流泥沙公报》有关资料^[3,4], 选择中国 10 条主要江河的下游站点, 采用水沙动态图法进行分析, 包括: 松花江哈尔滨站、辽河铁岭站、海河水系永定河雁翅站、黄河利津站、淮河蚌埠站、长江大通站、钱塘江兰溪站、闽江竹岐站、珠江流域的东江博罗站和西江高要站。探讨中国河流水沙的历年变化情况, 以初步了解中国河流径流量和输沙量的变化趋势。

1 水沙动态图法

王兆印等首次利用水沙动态图分析了长江流域的水沙变化趋势^[5], 这种方法不仅能反映出水沙的长期变化, 而且能够突出反映水沙变化之间的关系。本文作图方法与之略有不同, 以长江大通站的水沙变化为例, 具体作图方法为: ①以所分析站的多年平均含沙量为平衡水沙比; ②横坐标为水沙变化的年份, 左纵坐标为年径流量, 右纵坐标为年输沙量, 左右纵坐标刻度按平衡水沙比相对应; ③点绘出年径流量和年输沙量的变化线; ④绘出年径流量和年输沙量的多年线性拟合线, 即其多年变化趋势线(图 1)。

由水沙动态图可清晰地反映出: ①水沙量的多年波动变化。从图 1 可见, 大通站最大和最小年径流量分别为 1964 年的 13 600 亿 m^3 和 1978 年的 6 760 亿 m^3 , 而最大年输沙量分别为 1964 年的 6.78 亿 t 和 2006 年的 0.848 亿 t; ②水沙量多年变化趋势及其变化趋势的大小。由图 1 可见, 年径流量的多年变化趋势线几乎是一水平线, 说明年径流量在多年平均值 8 996 亿 m^3 上下波动, 无明显变化。而年输沙量多年趋势线为斜率为负值的线, 说明年输沙量在多年平均值 4.079 亿 t 上下波动, 并逐年下降; ③水沙量之间的关系。年输沙量线至年

收稿日期: 2007-07-23

作者简介: 刘 成(1964-), 男, 安徽涡阳人, 教授级高级工程师, 博士后, 主要从事水力学与河流动力学研究。

E-mail: chliu@iwhr.com

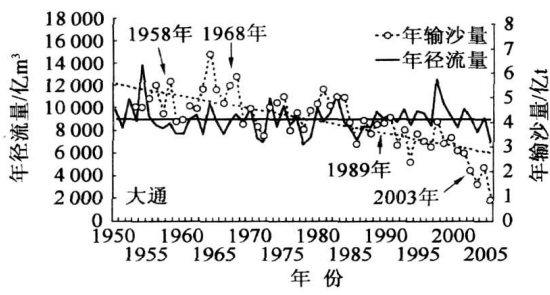


图 1 长江大通站水沙动态图

Fig. 1 Water sediment diagram of Datong station on the Yangtze River

径流量线的沙量差值，反映出年输沙量高于或低于按平衡水沙比计算的相应于该年径流量的输沙量(定义为“平衡输沙量”)，正值为高于平衡输沙量的量，负值为低于平衡输沙量的量。图中可以观察到 1964 年的年输沙量较平衡输沙量高 2.03 亿 t，为最大；2006 年的年输沙量较平衡输沙量低 2.30 亿 t，为最低。

因此，从水沙动态图的分析可以得出长江大通站水沙变化特征为：① 年径流量无明显变化趋势，年输沙量呈明显下降趋势；② 1956、1958 和 1963–1968 年输沙量明显偏高，高于平衡输沙量(1.2 亿~2.0 亿 t)。这些年沙量的增加应与当年“大炼钢铁”、毁林造田等大规模森林砍伐活动有关；③ 1969 年开始，输沙量突然下降。这应归因于丹江口水库于 1968 年建成蓄水，大坝拦截了长江主要沙源之一汉江的泥沙。至 1994 年，水库共淤积泥沙 14.1 亿 m³；④ 1989 年开始，输沙量再次明显下降，并逐年递减。究其原因，应与以下有关：1982 年起长江流域开展大规模的水土流失治理，1989 年起正式实施的“长治”工程；葛洲坝及长江上游大量干、支流水库工程的兴建；河道采砂量不断增大，20 世纪 90 年代至 2002 年，年采砂量达 5 000 余万 t；⑤ 2003 年，输沙量再次大幅下降，2003–2006 年输沙量较平衡输沙量降低 2.0 亿~2.30 亿 t。这主要是三峡工程 2003 年蓄水、拦沙造成。据《中国河流泥沙公报》，三峡水库 2004、2005 和 2006 年库区淤积泥沙分别约为 1.02 亿、1.51 亿和 0.93 亿 t。

2 中国主要河流水沙量变化

2.1 近年水沙变化总体趋势

为了分析中国主要河流下游水沙变化趋势，统计了 10 条主要江河距离河口最近站点年径流量和年输沙量的多年平均值和最近 10 年(1997–2006 年)平均值；为便于流域间的比较，也列出了多年平均年径流模数和近 10 年平均年输沙模数值(表 1)。由表可见：① 从多年平均径流模数上看，可以淮河为界，淮河以南径流模数较高，在 17~31 L/(s·km²)；淮河居中，约为 7 L/(s·km²)；淮河以北径流模数较低，为 0.5~3.4 L/(s·km²)；② 从年径流量的多年变化上看，淮河以南的河流无明显变化趋势，年径流量或径流模数的多年平均值与近 10 年平均值相近。淮河及其以北的 5 条流年年径流量明显下降。黄河径流量的下降明显，近 10 年年径流量的平均值仅为多年平均值的 1/3；③ 从输沙模数上看，流域产沙最高的为黄河流域，输沙模数多年平均值高达 1 019 t/km²；长江流域和西江流域(高要站)产沙次之，输沙模数多年平均值分别为 239 和 191 t/km²；海河水系的永定河和松花江

表 1 中国主要河流水沙多年平均值及近 10 年平均值

Table 1 Long term and recent 10 year values of runoff and sediment loads of main rivers in China

河流 站点	控制 面积 /km ²	资料 年限	年均径 流量 /亿 m ³	年均输 沙量 /万 t	年均含沙量/(kg·m ⁻³)			年径流模数/(L·s ⁻¹ ·km ⁻²)			年输沙模数/(t·km ⁻²)		
					多年 平均 C	10 年 平均 C ₁₀	C ₁₀ /C	多年 平均 Q	10 年 平均 Q ₁₀	Q ₁₀ /Q	多年 平均 S	10 年 平均 S ₁₀	S ₁₀ /S
松花江哈尔滨	389769	1955–2006	421	646	0.153	0.132	0.86	0.86	3.42	0.84	16.6	12.2	0.73
辽河铁岭	120764	1954–2006	30	1226	2.770	0.818	0.30	0.30	0.79	0.54	101.6	21.7	0.21
永定河雁翅	43674	1963–2006	6	13	0.103	0.002	0.02	0.02	0.47	0.41	3.0	0.0	0.00
黄河利津	752032	1952–2006	311	76655	7.666	1.637	0.21	0.21	1.31	0.36	1019.3	217.6	0.21
淮河蚌埠	121330	1950–2006	269	906	0.311	0.154	0.49	0.49	7.02	0.89	74.7	32.8	0.44
长江大通	1705383	1950–2006	8996	40791	0.458	0.273	0.60	0.60	16.73	1.02	239.2	150.7	0.63
钱塘兰溪	18233	1977–2006	165	196	0.115	0.092	0.79	0.79	28.70	1.01	107.4	87.0	0.81
闽江竹岐	54500	1950–2006	538	601	0.108	0.044	0.41	0.41	31.33	1.08	110.2	52.5	0.48
东江博罗	25325	1954–2006	234	249	0.103	0.069	0.67	0.67	29.24	1.02	98.2	69.1	0.70
西江高要	351535	1957–2006	2197	6728	0.301	0.189	0.63	0.63	19.82	1.01	191.4	123.7	0.65

的输沙最少,输沙模数为 3 和 17 t/km^2 ;其它流域的产沙居中,输沙模数在 $77 \sim 110 \text{ t/km}^2$;④所有河流的年输沙量均呈下降趋势。10 个站近 10 年输沙量的年平均值约为多年平均值的 $1/2$,其中黄河和辽河的近 10 年的输沙量年平均值仅为多年平均值的 $1/4$,海河水系的永定河近 10 年的输沙模数接近 0;⑤从多年平均含沙量看,黄河和辽河较高,分别达 7.67 和 2.77 kg/m^3 ,长江、西江和淮河偏高,为 $0.30 \sim 0.46 \text{ kg/m}^3$,其它河流基本在 0.1 kg/m^3 左右。松花江和辽河的含沙量近 10 年的降低幅度略大于输沙量的降低幅度,可能是近 10 年降水量略低引起的(详见后文分析)。其它河流的含沙量和输沙量的变化基本一致。

2.2 水沙变化分类

根据上述比较,结合水沙动态图,可将中国河流大致分成 4 类:①水量不变沙量降低。这些河流包括淮河及其以南的长江、钱塘江、闽江、珠江流域的东江与西江;②水量和沙量均降低。包括:辽河和黄河;③水量和沙量同步略降低。为松花江;④几近断流断沙。如海河水系永定河。

2.2.1 水量不变沙量降低

河流的年径流量变化趋势不明显或略波动,但年输沙量明显降低。包括淮河及其以南的长江、钱塘江、闽江、珠江流域的东江与西江,主要为中国多年平均降水量 800 mm 等降水量线以南的河流,这些流域的降水量较为丰沛。如已分析了长江大通站的水沙变化情况。图 2~ 图 6 分别为淮河蚌埠站、钱塘江兰溪站、闽江竹岐站、珠江流域的东江博罗站和西江高要站的水沙动态图,从年径流量线性拟合趋势线可见,除了蚌埠站年径流量略降、兰溪站略增外,其它站的年径流量趋势线基本是水平线,说明年径流量无明显增加或减少趋势。各站的年输沙量线性拟合趋势线均呈明显的下降,说明年输沙量的降低趋势。

(1) 淮河蚌埠站的年径流量年际间的变化较大,多年平均径流量为 269 亿 m^3 ,最小为 27 亿 m^3 (1978 年),最大达 642 亿 m^3 (2003 年),总趋势呈略下降;年输沙量多年平均值为 906 万 t ,最小为 17 万 t (2001 年),最大 2680 万 t (1964 年),总趋势明显下降。其中,1978 年前,淮河蚌埠站水沙量的总体趋势呈持续下降,几乎同步增减;20 世纪 80 年代初,年径流量和年输沙量增大,并在 80 年代维持在较高水平;而 90 年代水沙量则偏低,直至 2000 年,水沙量开始进入新一轮逐年增大的周期(图 2)。水沙量的这种变化主要受到气候的影响,其变化与年降水量变化相一致。从年输沙量与平衡输沙量的差值分析,可以看出,淮河输沙量约自 1970 年后开始有下降趋势,1990 年后沙量下降趋势明显。这主要应归因于淮河流域水土保持的效益,淮河流域 20 世纪 80 年代水土保持工作走向正轨,累计水土流失治理面积 1.53 万 km^2 ;90 年代国家加大了淮河流域水土保持的治理力度,治理土壤侵蚀较为严重的山丘区,治理面积 1.044 万 km^2 。对淮河流域上游 3 个小流域治理区进行治理前后的比较发现,在降雨强度相似条件下,拦沙效率达 $77\% \sim 85\%$ ^[6]。

(2) 钱塘江兰溪站的资料系列较短,多年平均径流量为 165 亿 m^3 ,最小为 67 亿 m^3 (1975 年),最大达 271 亿 m^3 (1995 年),总趋势略有增加;年输沙量多年平均值为 196 万 t ,最小为 58 万 t (2004 年),最大 517 万 t (1983 年),总趋势明显下降。输沙量与径流量的变化规律基本一致,具有较好的相关性。1983 年输沙量达最大,这与当年降水量、径流量大造成土壤侵蚀增加有关;自 1999 年,输沙量开始明显下降(图 3)。

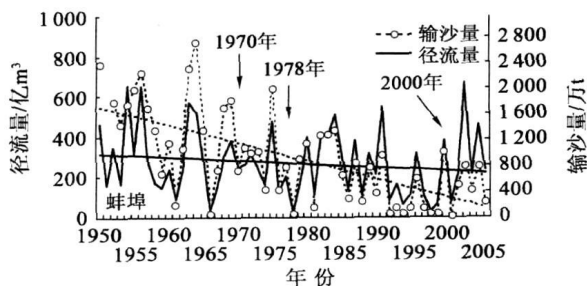


图 2 淮河蚌埠站水沙动态图

Fig. 2 Water sediment diagram of Bengbu station on the Huaihe river

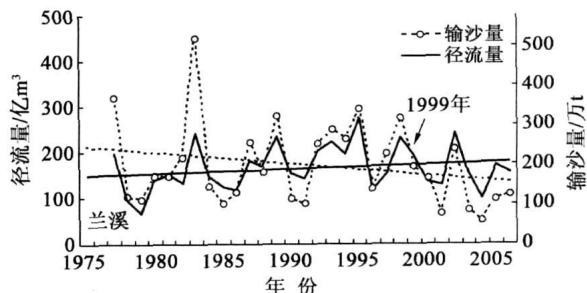


图 3 钱塘江兰溪站水沙动态图

Fig. 3 Water sediment diagram of Lanxi station on the Qiantang river

(3) 闽江竹岐站多年平均径流量为 538 亿 m^3 , 最小为 268 亿 m^3 (1971 年), 最大 859 亿 m^3 (1998 年), 总趋势基本不变; 年输沙量多年平均值为 601 万 t, 最小为 47 万 t (2004 年), 最大 2 000 万 t (1962 年), 总趋势明显下降。从水沙动态图可见, 1985 年前, 竹岐站的输沙量基本随径流量的波动而变化, 但变幅大于径流量的变幅。1985 年后和 1993 年后能发现 2 次明显的沙量降低过程 (图 4), 这 2 次沙量明显降低与水库的兴建有关, 如 1993 年下闸蓄水的水口大坝、1987 年第一台机组发电的沙溪口水电站、1988 年第一台机组发电的范厝水电站等。资料分析认为水口大坝拦蓄了占闽江流域 86% 的推移质泥沙, 48% 的悬移质泥沙淤积在库里^[7]。另外自 20 世纪 80 年代后期, 水口坝下至马尾每年约采砂 1 000 万 t, 也是造成沙量减少的原因之一。

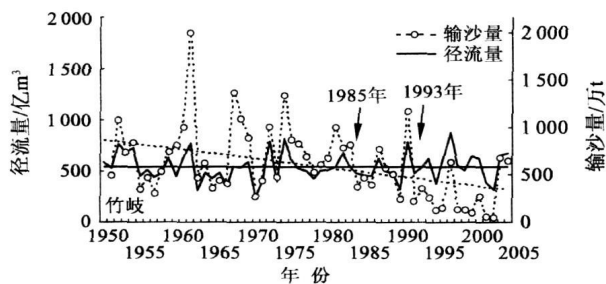


图 4 闽江竹岐站水沙动态图

Fig 4 Water sediment diagram of Zhuqi station on the Minjiang river

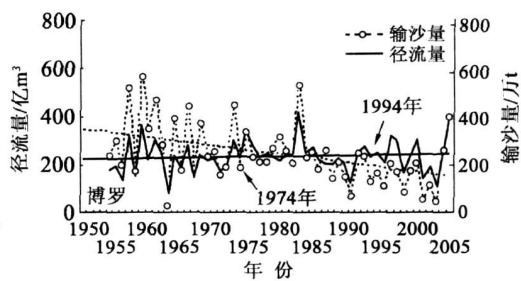


图 5 东江博罗站水沙动态图

Fig 5 Watersediment diagram of Boluo station on the East river

(4) 珠江流域东江博罗站多年平均径流量为 234 亿 m^3 , 最小为 89 亿 m^3 (1963 年), 最大 413 亿 m^3 (1983 年), 总趋势略增加; 年输沙量多年平均值为 249 万 t, 最小为 33 万 t (1963 年), 最大 580 万 t (1959 年), 总趋势明显下降。从水沙动态图 (图 5) 可见, 年径流量大的年份沙量较丰, 而径流量小的年份沙量较枯。可将东江输沙量大致分为 3 个阶段: 1974 年前输沙量相对较大, 丰水年份的输沙量远高于平衡输沙量; 1974–1994 年输沙量中等, 输沙量与平衡输沙量相当; 1994 年后输沙量较低, 低于平衡输沙量, 2005 年和 2006 年水量较丰的年份, 输沙量与平衡输沙量相当。输沙量的这种变化与 1959、1973 和 1985 年新丰江水库、枫树坝水库和西枝江上游的白盆珠水库的建成蓄水拦沙有关; 同时, 东江近些年大量的采砂活动也在一定程度上造成沙量的降低。据分析, 1988–1997 年东江下游平均年采沙量约 1 500 万 m^3 , 1997 年后年采沙量约 650 万 m^3 ^[8]。

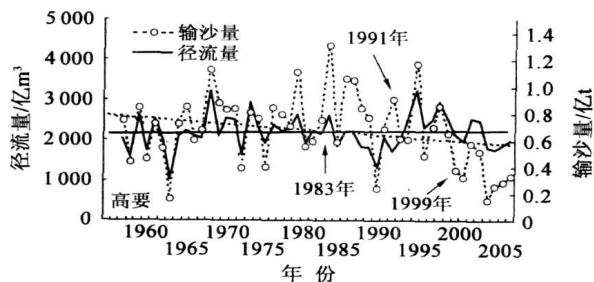


图 6 西江高要站水沙动态图

Fig. 6 Water sediment diagram of Gaoyao station on the West river

1992 年建成的红水河岩滩水库、2003 年截流的龙滩水库拦沙。

2.2.2 水量和沙量均降低

这些河流的年径流量和年输沙量的长期变化趋势均明显下降。主要为辽河和黄河。

(1) 辽河铁岭站多年平均径流量为 30.0 亿 m^3 , 最小为 3.6 亿 m^3 (2003 年), 最大 93.4 亿 m^3 (1954 年), 年际变化大, 长期变化趋势呈明显下降; 年输沙量多年平均值为 1 226 万 t, 最小为 6.6 万 t (2002 年), 最大 8 550 万 t

(5) 珠江流域西江高要站多年平均径流量为 2 197 亿 m^3 , 最小为 1 068 亿 m^3 (1963 年), 最大 3 235 亿 m^3 (1994 年), 无明显变化趋势; 年输沙量多年平均值为 6 728 万 t, 最小为 1 560 万 t (2003 年), 最大为 13 100 万 t (1983 年), 长期趋势下降。从水沙动态图 (图 6) 可见, 1983 年前, 西江的输沙量随径流量的变化而波动, 基本在平衡输沙量左右。1983–1991 年, 沙量明显较大, 大多年份输沙量高于平衡输沙量。从相关资料分析推测, 这可能与当时多座水库的施工产沙有关^[9]。至 1993 年, 沙量开始下降趋势, 2003 年沙量下降趋势增大。这种输沙量明显下降归因于

(1959年),与水量一样,年沙量的变化也很大,长期变化趋势明显下降。从水沙动态图可见,铁岭站年径流量与年输沙量变化趋势相似,具有长周期振荡现象。1965年前,年径流量和输沙量高,1959年输沙量达到最高值,年均含沙量也达到 14.5 kg/m^3 的最大纪录。1965年至20世纪80年代初期,水沙量下降并维持较低水平;80年代中期至90年代后期,水沙量进入较高的周期段;1999年后,水沙量再度变低(图7)。变化主要受流域降水量和人类活动的综合影响。辽河流域降水的年际变化较大,从辽河上游赤峰、四平历年降水量变化看(图略),1965年之前,辽河流域处于多雨期;20世纪60年代后期到80年代中期,少雨占优;80年代到90年代后期,处于多、少雨交替阶段;1999年后开又进入少雨期。辽河流域水资源短缺,但农业发达,城镇化在全国居领先水平,因此,水资源的利用率很高,地表水利用程度已达81.2%,远高于松花江流域(哈尔滨以上为29.9%)。由于这种原因,造成降水量少的年份,年径流量更是急剧下降。20世纪60年代前,由于降水量大,侵蚀的泥沙未受到拦截直接进入河流,使得辽河输沙量大;1964年开始的输沙量明显降低,一方面是降水量变小,另一方面也应归因于红山水库于1962年建成蓄水。红山水库拦截了上游支流多沙河流老哈河的大量泥沙,至1999年,水库淤积达 9.41 亿 m^3 ,占总库容的58%。20世纪60年代后期到80年代初期、90年代后期开始这两阶段的降水量偏少,也使得土壤侵蚀减少,输沙量降低。

(2) 黄河利津站多年平均径流量为311亿 m^3 ,最小为18.6亿 m^3 (1997年),最大973亿 m^3 (1964年),年际变化较大;多年平均输沙量为7.66亿t,最小为0.16亿t(1997年),最大20.9亿t(1967年),年际变化也较大;从水沙动态图(图8)可见,水沙量的长期变化趋势明显同步下降。

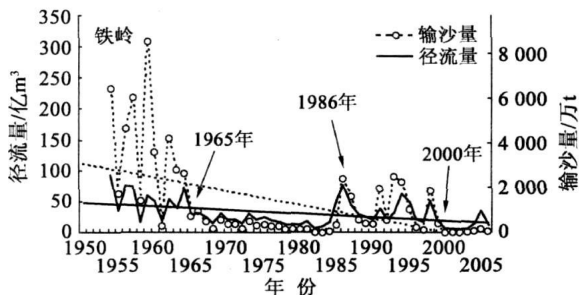


图7 辽河铁岭站水沙动态图

Fig. 7 Watersediment diagram of Tieling station on the Liaohe river

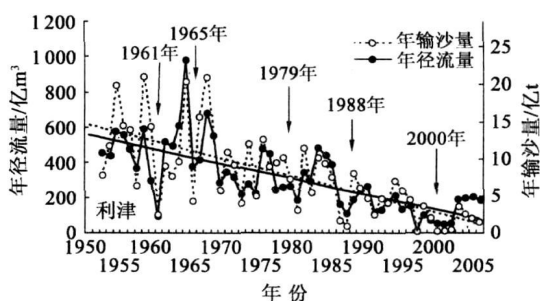


图8 黄河利津站水沙动态图

Fig. 8 Watersediment diagram of Lijin station on the Yellow River

首先分析年径流量下降的原因。①气候: 黄河流域上游玛多、达日、玛曲、合作、西宁和兰州6个雨量站建站至2006年的年降水量,各站近10年平均降水量与多年平均降水量的比值分别为1.03、1.00、0.99、0.99、1.12和0.92,可以认为黄河上游区年降水量无明显变化。黄河水量主要来源于兰州以上,约占全河径流量的58%,因此可以认为黄河水量的减少与气候影响关系不大。②引水: 黄河流域的主体地处半干旱地区,水资源短缺,用于农业灌溉、城市和工业用水及农村人畜用水等引水量日趋增加。据统计,20世纪70年代中期以后,黄河全流域年引水量基本都大于250亿 m^3 。《黄河水资源公报》1998–2006年数据显示,黄河全流域引水引起的耗水量为240亿~305亿 m^3 。引水量的增加,直接降低了河流径流量。③水土保持: 20世纪60年代末,黄河流域开始实施了大规模的水土流失治理,特别是80年代以后,水土保持范围迅速扩大,效益开始出现。水土保持措施改变了流域下垫面的状况,使产流、汇流和产沙过程发生变化,引起河流径流一定程度上的减少。④水利枢纽工程: 据2005年统计,黄河流域大、中型水库171座。黄河干流上已建水利枢纽工程共12座,总库容563亿 m^3 。水库的运行,改变了径流量的时间分配,使洪峰流量大为降低,导致汛期河道输沙能力的减弱,但对年径流量的影响相对较小。

从水沙动态图(图8)可以看出利津站的输沙量基本随径流量同步降低,另一方面也能观察到几次沙量的明显变化,如1961–1965年、1980–1988年和2000年后有3段输沙量明显低于平衡输沙量。1961年沙量的下降反映了三门峡水库建成,并开始蓄水拦沙;1965年后,三门峡水库运行方式先后改为滞洪排沙和蓄清排浑,

输沙量恢复; 20 世纪 80 年代输沙量的再次降低主要原因: ① 流域引水量的明显增加引起河流径流量的降低; ② 黄河上中游的水利水土保持工程发挥作用^[10]; ③ 龙羊峡水库 1986 年蓄水以后, 与刘家峡水库联合运用。据实测资料, 龙刘两水库联合运用后, 使中游的汛期沙量由刘家峡水库运用前(1967 年) 80%~90% 降到 60%~82%; ④ 此阶段降水多集中在少沙来源区, 造成流域产沙量降低^[11]。2000 年后黄河的输沙量降低, 一方面应归因于上游引水量增加造成径流量降低, 另一方面应是 1999 年小浪底水库的建成蓄水。

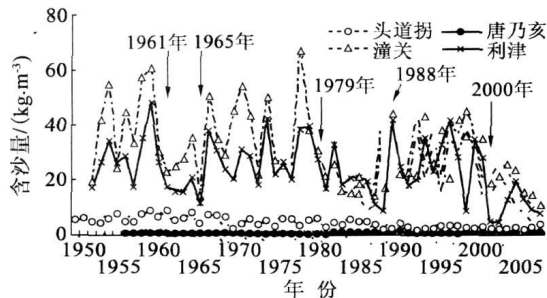


图 9 黄河上下游含沙量变化

Fig. 9 Changes of sediment concentrations of the Yellow River

1980–1988 年和 2000 年含沙量明显较低。此图可以反映出黄河源区水沙量尚未受到人类活动的明显影响, 上游后段沙量已经受到水库兴建的影响; 其后, 愈往下游, 受到人类活动影响因素愈多、影响愈大。

2.2.3 水量和沙量同步略降低

松花江哈尔滨站多年平均径流量为 421 亿 m^3 , 最小为 153 亿 m^3 (1979 年), 最大 964 亿 m^3 (1998 年); 多年平均输沙量为 646 万 t, 最小为 152 万 t (1979 年), 最大 1350 万 t (1998 年)。其年径流量和年输沙量的长期变化趋势略下降, 并几乎完全同步变化(图 10)。水沙量呈丰枯交替, 如 20 世纪 70 年代后期水沙较枯; 80 年代水沙较丰; 90 年代至今, 除个别年份外, 水沙量又进入较枯阶段。这种变化主要是受降水量的影响, 当然, 自 20 世纪 60 年代开始的松嫩平原的农业开发、工业和城市用水增加也可能是水沙量减少的原因^[12], 如 1998 年正式通水的引松入长(春)调水工程设计年引水量达 3.08 亿 m^3 。虽然松花江上游有红石、丰满、白山等大中型水库的兴建, 但该站水沙量具有良好的相关关系, 没有明显的突变, 主要原因是因为松花江上游植被良好、森林覆盖面积大、居民相对较少, 河流受到人为干扰较小, 河流含沙量不大(多在 0.1~0.5 kg/m^3)。

2.2.4 几近断流断沙

海河流域永定河雁翅站多年平均径流量为 6.5 亿 m^3 (1963–2006 年数据), 最小为 1.3 亿 m^3 (2006 年), 最大 16.2 亿 m^3 (1967 年); 多年平均输沙量为 13.2 万 t, 最小为 0 万 t, 最大 381 万 t (1967 年)。由图 11(本图左右纵坐标刻度不是按平衡水沙比相对应) 可见, 永定河径流量低并下降, 20 世纪 80 年代后维持在较低的水量上。输沙

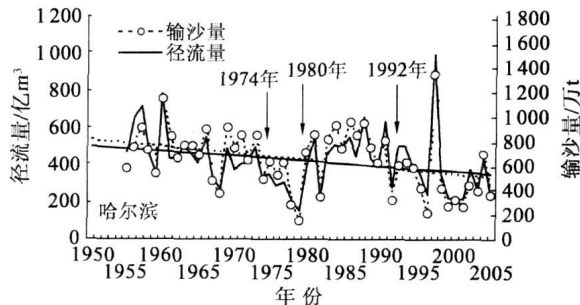


图 10 松花江哈尔滨站水沙动态图

Fig. 10 Water sediment diagram of Harbin Gauge Station on the Songhua river

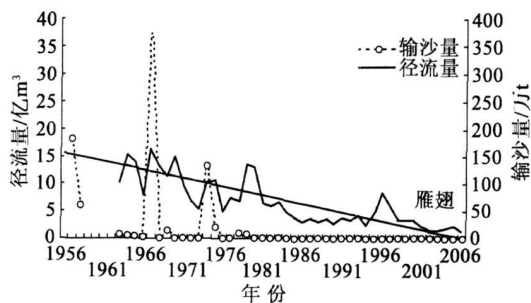


图 11 永定河雁翅站水沙变化图

Fig. 11 Changes of water and sediment loads at Yanchi Gauge Station on the Yongding river

量除 1967 和 1974 年异常高外, 其它年份均维持在 0 或接近 0 的水平。2 次异常高输沙量主要是官厅水库 1967 年 8 月洪水期泄流泄沙、1974 年 7 月利用较大降水过程排沙放水造成^[13]。永定河上游为水土流失严重地区, 流域产沙量极高, 永定河为多沙河流, 雁翅站 1952~1954 年的年径流量为 11.6 亿~29.0 亿 m^3 , 1952 年和 1954 年的输沙量高达 8010 万和 7130 万 t。1954 年官厅水库竣工后, 拦截了永定河上游大量泥沙。海河流域是中国水资源供需矛盾十分突出的地区, 人均水资源仅为 335 m^3 , 不足全国的 1/6^[14], 目前本地水资源供需分析结果年缺水近 100 亿 m^3 ^[15]。正是这种水资源的严重短缺, 加之河流上水库和引水工程的大量建设, 河流水沙条件受人为影响因素影响较大。海河水系其它河流水沙条件与永定河相近。

3 结 论

(1) 根据河流下游站历年水沙变化情况, 中国主要河流大致可以分为 4 类: ① 水量不变沙量降低。包括淮河、长江、钱塘江、闽江、珠江流域的东江与西江; ② 水量和沙量均降低。包括辽河和黄河; ③ 水量和沙量同步略降低。为松花江; ④ 几近断流断沙。如海河水系永定河。

(2) 按地域看, 中国淮河及其以南降水充沛, 虽然河流受到水利工程调节等人为因素影响, 但大多数河流年平均径流量无明显的改变趋势, 而年沙量呈明显下降趋势; 中国淮河以北地区降水量及水量偏低, 水资源匮乏, 除受人为干扰较小的松花江外, 河流水沙量均呈明显下降趋势, 近 10 年黄河径流量的平均值仅为多年平均值的 1/3, 年平均输沙量仅为多年平均值的 1/4, 而海河水系的河流下游几乎是断流断沙。总体上, 中国大多数河流的沙量明显下降, 本文所列的 10 条河流下游站近 10 年的输沙量年平均值低于多年平均值的 1/2。

(3) 淮河及其以南河流沙量的降低多与水库兴建、河道采沙和水土保持工程等有关; 北方河流水沙量的降低甚至断流断沙的主要原因: 河流引水量的大幅增加; 水库建设及其运行方式的改变; 水土保持工程的效益等。可见, 大多数河流下游水沙的入海量的明显降低主要是人类活动造成的, 人类活动明显改变了河流的水沙过程。

(4) 采用水沙动态图结合变化趋势线分析水沙量的变化, 能清晰表现水沙长期变化趋势, 反映水沙变化的相对关系, 表达输沙量的突变等, 具有一定优越性。

参考文献:

- [1] WALLING D E, FANG D. Recent trends in the suspended sediment loads of the world rivers[J]. *Global and Planetary Change*, 2003, 39: 111-126.
- [2] WALLING D E, Human impact on land and ocean sediment transfer by the world's rivers[J]. *Geomorphology*, 2006, 79: 192-216.
- [3] 水利部. 中国河流泥沙公报(2005) [R]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006. (Ministry of Water Resources. China Gazette of River Sedimentation 2005[R]. Beijing: China WaterPower Press, 2006. (in Chinese))
- [4] 水利部. 中国河流泥沙公报(2006) [R]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007. (Ministry of Water Resources. China Gazette of River Sedimentation 2006[R]. Beijing: China WaterPower Press, 2007. (in Chinese))
- [5] 王兆印, 黄文典, 李义天. 长江流域泥沙输移与概算[J]. 泥沙研究, 2007(2): 1-10. (WANG Zhao yin, HUANG Wen dian, LI Yi tian. Sediment budget of the Yangtze River[J]. *Journal of Sediment Research*, 2007(2): 1-10. (in Chinese))
- [6] 黎家作, 周 虹, 姚孝友. 从 2003 年淮河大水看水土保持的防洪减灾效益[J]. 中国水土保持, 2004(7): 7-8. (LI Jia zuo, ZHOU Hong, YAO Xiao you. Reviewing benefits of flood control and hazards reduction by soil and water conservation based on 2003 big floods happened in the Huaihe river[J]. *Soil and Water Conservation in China*, 2004(7): 7-8. (in Chinese))
- [7] 叶燕贻. 水电建设对闽江河口区的影响[J]. 水运工程, 2000(6): 33-38. (YE Yan yi. Influence of construction of Shukou hydropower station on Minjiang river mouth area[J]. *Port & Waterway Engineering*, 2000(6): 33-38. (in Chinese))
- [8] 陈海全, 黄恒熙, 周作付. 人工采沙对东江博罗河段水文特性的影响分析[J]. 广东水利水电, 2004(6): 56-58. (CHEN Hai quan, HUANG Heng xi, ZHOU Zu fu. Analysis on effects of sand mining on hydrology characteristics at Boluo reach of the Dongjiang river[J]. *Guangdong Water Resources and Hydropower*, 2004(6): 56-58. (in Chinese))
- [9] 俞日新, 廖正治. 西江干流泥沙冲淤变化分析[J]. 人民珠江, 2002(3): 7-8. (YU Ri xin, LIAO Zheng zhi. Analysis of change in scour and silting of sediment in the main stem of West river[J]. *Pearl River*, 2002(3): 7-8. (in Chinese))

- [10] 饶素秋, 霍世青, 薛建国, 等. 黄河上中游水沙变化特点分析及未来趋势展望[J]. 泥沙研究, 2001(2): 74–77. (RAO Su qiu, HUO Shi qing, XUE Jiar guo, *et al.* Analysis on the characteristics of runoff and sediment and the outlook of their tendency in the future in the upper and middle Yellow River[J]. Journal of Sediment Research, 2001(2): 74–77. (in Chinese))
- [11] 曹文洪. 黄河下游水沙复杂变化与河床调整的关系[J]. 水利学报, 2004, 35(11): 1–6. (CAO Wen hong. Relationship between variation of sediment carrying flows and readjustment of riverbed in the lower reaches of Yellow River[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2004(11): 1–6. (in Chinese))
- [12] 叶柏生, 李, 杨大庆, 等. 我国过去 50a 来降水变化趋势及其对水资源的影响(I): 年系列[J]. 冰川冻土, 2004, 26(5): 587–594. (YE Bai sheng, LI Chong, YANG Da qing, *et al.* Variation trend of precipitation and its impact on water resources in China during last 50 years (I): Annual variation[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2004, 26(5): 587–594. (in Chinese))
- [13] 水信息网. 官厅水库[EB/OL]. <http://www.hwcc.com.cn/> (Water Information Networks. Guangting Reservoir[EB/OL]. <http://www.hwcc.com.cn/>)
- [14] 袁飞, 谢正辉, 任立良, 等. 气候变化对海河流域水文特性的影响[J]. 水利学报, 2005, 36(3): 274–279. (YUAN Fei, XIE Zheng hui, REN Li liang, *et al.* Hydrological variation in Haihe river basin due to climate change[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2005, 36(3): 274–279. (in Chinese))
- [15] 张光辉, 陈树娥, 费宇红, 等. 海河流域水资源紧缺属性与对策[J]. 水利学报, 2003(10): 113–118. (ZHANG Guang hui, CHEN Shu e, FEI Yu hong, *et al.* Property of water resources shortage in Hai River basin and counter measure[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2003(10): 113–118. (in Chinese))

Trends analysis of the water and sediment loads of the main rivers in China using water-sediment diagram

LIU Cheng¹, HE Yun², ZHANG Hong-ya³

(1. International Research and Training Center on Erosion and Sedimentation, Beijing 100044, China; 2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China; 3. Anhui Institute of Architecture and Industry, Hefei 230022, China)

Abstract: The trends in the water and sediment loads of the main rivers in China are analyzed with the data till 2006 from the series publication of *China Gazette of River Sedimentation* by using the water-sediment diagram. According to the trends in their annual runoff and sediment load entering to the sea main rivers in China can be classified into 4 groups: (1) rivers with stable water but decreased sediment loads, including Huaihe river and the rivers to its south; (2) rivers with decreased water and sediment loads, including Liaohe and the Yellow Rivers; (3) river with slightly synchroal decreased water and sediment loads, including Songhua river; and (4) rivers with greatly reduced water and zero sediment loads with example of Yongding river. Most river to the south of the Huaihe show no evident trend in their annual runoff, but dramatically decrease for their sediment load. Both water and sediment loads of rivers north of Huaihe river have the evident decreasing tendency. The recent 10 years the average values are only 1/3 of the long term average values for the Yellow River's runoff and 1/4 for its sediment load, and the water and sediment loads approach zero for the rivers in Haihe river system. In general, the sediment loads of most rivers in China decrease evidently. The drops in the water and sediment loads of the rivers are mainly caused by human activities. The reduced sediment loads of the rivers in south China are more closely related to the reservoir construction, sand mining and soil conservation activities. The decreasing water and sediment loads of rivers in north China are mainly the results of rapid increased water consumption, reservoirs and their operation modes, and effects of water and soil conservation measures. It also shows that it has advantages using water-sediment diagram in analyzing the trends in water and sediment loads of rivers.

Key words: water-sediment diagram; water-sediment change; river; China