

黄河入海水、沙通量变化对黄河口及邻近 海域环境资源可持续利用的影响 I. 黄河入海流量锐减和断流的成因 及其发展趋势*

李 凡 张秀荣

(中国科学院海洋研究所)

黄河干流长 5464 km, 流域面积 752443 km², 流经我国西北、华北地区, 降水量较少, 水资源贫乏。20 世纪 50, 60 年代以前, 由于人口较少, 经济处于低水平运转的时代, 水资源尚能满足沿黄地区经济发展和生活的需要。20 世纪 70 年代以来, 随着经济的迅速发展, 工农业及生活用水量急剧增加, 水的供需矛盾充分暴露出来, 下游断流日趋严重, 成为制约沿黄流域经济发展的重大障碍。黄河水资源问题不但给中、下游的经济发展和人民生活带来很多危害, 而且危及河口及其邻近海区海洋生态环境和生物资源的可持续利用, 人口、环境和资源得不到协调发展。由于以前黄河口区的治理与开发很少考虑到黄河入海物质通量变化对海洋环境和生物资源的影响, 因而给该区今后海洋经济的持续发展带来很大困难。陆地和海洋是通过大江、大河联系起来的统一有机体, 但世界上因只顾治河、不顾海洋而贻害无穷者不乏其例。黄河是一条水少、沙多, 受人类活动影响巨大的河流, 其水资源利用率高达 60% 左右, 为世界大河之最。大量提水、引水造成下游严重断流, 给黄河口及其近海区生态环境和生物资源带来了灾害性的影响。本文通过研究历史资料, 对关于黄河水、沙通量变化对黄河口及其邻近海域环境资源可持续利用的影响问题进行了初步分析, 为解决黄河断流、全面开发利用黄河, 也为实施河口及其邻近海区可持续发展战略提供科学依据。

一、黄河入海水、沙通量变化

黄河具有水少、沙多、季节性变化明显等特征, 花园口站多年 (1919—1975 年系

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 4039 号。

中国科学院重点资助项目, KZ952-SI-424 号; 山东省软科办重点资助项目, 97-8 号。

收稿日期: 2000 年 3 月 6 日。

列) 平均年径流量为 $559.2 \times 10^8 \text{m}^3$, 年均输沙量 (1919—1985 年系列) 为 $16 \times 10^8 \text{t}$ (席家治, 1996), 其年径流量只有长江的 6.1%, 而输沙量则为长江的 3.5 倍。黄河干流径流量季节性分配极不平衡, 7—10 月间, 径流量占全年总径流量的 59.3%, 其年际差异也十分明显, 20 世纪 50 年代以前, 最大年径流量为最小年径流量的 3.4 倍。历史上黄河年径流量曾经有丰水年与枯水年交替变化和连续丰水年与连续枯水年交替的年际变化特征, 20 世纪以来出现过两次连续偏枯水年, 即 1922—1931 年和 1969—1974 年, 其年径流量分别为多年平均径流量的 70% 和 87% (陈先德, 1996), 建国以来黄河入海水、沙通量变化也显示出了上述特征。以利津站为代表, 1950—1996 年系列的实测资料表明, 其年均径流量为 $362.2 \times 10^8 \text{m}^3$, 输沙量为 $9.1 \times 10^8 \text{t}$, 其年际变化分别见图 1 和表 1。

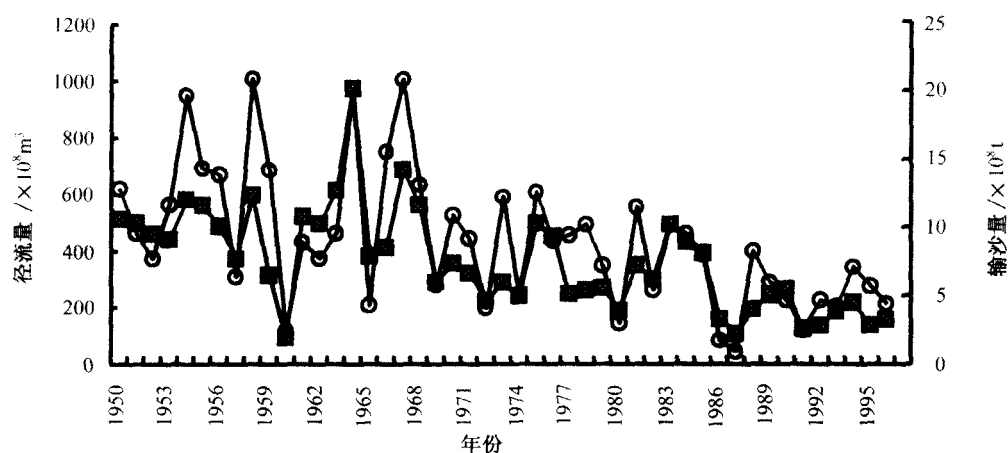


图 1 黄河入海年径流量和输沙量

■ 径流量; ○ 输沙量

表 1 黄河径流量、输沙量变化 (利津站)

年 份	径流量/ $\times 10^8 \text{m}^3$	输沙量/ $\times 10^8 \text{t}$
1950—1959	481.9	13.2
1960—1969	501.2	10.9
1970—1979	313.8	9.0
1980—1989	284.1	6.5
1990—1996	173.6	4.8
最 大	971.3	20.88
最 小	91.1	0.9
1950—1996 (平均)	362.2	9.1

从图 1 可以看出, 黄河下游入海径流量也呈现出明显的年际变化和丰、枯水年交替的特征, 例如 1950—1969 年, 年均径流量为 $491 \times 10^8 \text{m}^3$, 为该站多年平均径流量的 135.6%, 其中仅有 2 年的径流量小于多年平均值, 若以多年平均径流量为丰水年和枯水年的划分界线, 则这一时段可视为丰水年。1986—1996 年, 年均流量仅为多年平均值的 48%, 其中年均径流量全部小于多年平均值 (1999 年年径流量仅为 $18 \times 10^8 \text{m}^3$), 故可视为枯水年。1970—1981 年, 则出现连续性的丰水和枯水交替现象。但总的来看, 近

年来入海水、沙通量呈现出日益减少的趋势。据黄委会利津水文站实测资料统计, 20 世纪 50 年代黄河年均入海水、沙通量分别为 $481.9 \times 10^8 \text{m}^3$ 和 $13.2 \times 10^8 \text{t}$; 80 年代分别减少了 41% 和 51%; 90 年代的前 7 年又进一步减少, 其年入海水、沙通量分别只有 50 年代的 36% 和 36.1%。同时, 近半个世纪以来, 黄河入海水、沙通量的年变化明显增大, 如最大年入海径流量为 $971.3 \times 10^8 \text{m}^3$ (1964 年), 最小仅为 $91.1 \times 10^8 \text{m}^3$ (1960 年); 最大年入海径流量约为最小年入海径流量的 10.7 倍, 最大年输沙量 $20.88 \times 10^8 \text{t}$ (1967 年) 为最小年输沙量 $0.9 \times 10^8 \text{t}$ (1987 年) 的 23.2 倍。入海水、沙通量的变幅比 50 年代以前增大。

上述丰、枯水的变化分别受天气和人类活动因素的影响。1922—1931 年的枯水时段主要因为降水量连年偏少; 1997 年受 El Niño 严重影响, 整个华北地区大旱, 沿黄地区引水量剧增, 所以全年无水入海。1950—1969 年的丰水时段主要因为降水量相对偏多, 同时沿黄流域引、提水量尚未明显增加, 人类活动影响相对较小。20 世纪 70 年代以来, 特别是 80 年代至今, 下游河道入海径流量锐减, 甚至断流, 其直接原因主要是受人类活动的影响。

此外, 另一个值得注意的现象是, 从历史上看, 连续的枯水年之后常有大洪水发生, 如 1922—1931 年经历了连续 9 年的持续干旱之后, 1933 年汛期, 三门峡站出现了流量为 $22000 \text{m}^3/\text{s}$ 的罕见洪峰 (席家治, 1996); 1969—1974 年经过 5 年的枯水之后, 1976 年利津站测得流量大于 $3000 \text{m}^3/\text{s}$ 的洪峰出现 44 d。

二、断流的基本情况

黄河自从 1972 年出现断流以来, 不但入海径流量锐减, 而且断流形势发展日趋严重。20 世纪 70 年代和 80 年代的 20 a 间, 共出现断流 13 次, 平均每年断流 0.65 次, 进入 90 年代以来, 几乎年年出现断流, 而且有断流时间日益延长、断流日期日益提前和断流长度日益增加的趋势 (表 2)。据利津水文站资料, 1995 年和 1996 年断流时间均超过 120 d, 出现断流的日期由 4 月提前至 2 月, 断流长度最大增至 704 km。1997 年北方天气偏旱, 利津站断流达 226 d, 西河口以下全年无水入海, 而且出现跨年度断流和汛期断流现象。

表 2 黄河断流情况¹⁾

年 代	出现年数	年均断流天数	断流长度/km
70	6	8.6	242
80	7	10.5	256
1990—1997	7	89.6	427
1997		226	704

1) 陈效国, 1998, 黄河下游断流情况及对策 (内部资料)。

三、入海径流量锐减和断流原因分析

1. 大量水利工程的兴建是黄河入海径流量锐减和断流的直接诱发因素或外因。陈

先德(1996)根据1920—1928年呼和浩特等4个地区的降水量和花园口站的径流量资料综合分析认为,流域内降水量和径流量的丰、枯状况比较对应。尤联元等(1995)根据1970年以前河口镇至龙门之间的年均降水量和径流量资料的统计分析结果指出,其间的相关系数 $R=0.79$, 标准离差为 0.081, 表明两者之间呈良好的正相关。然而至 20 世纪 80 年代, 这种降水量和径流量之间的相关关系已经明显地遭到破坏, 如 1986—1994 年, 流域降水量年平均只减少了 3.04%, 而径流量则减少 50.2%; 1996 年降水量略大于多年的平均值, 而径流量却减少了 51.2%。破坏以上相关关系的直接因素是黄河流域经济的高速发展, 兴建了大量水利工程而导致工、农业用水量的急剧增加。目前, 黄河干流已建控制面积 $10 \times 10^4 \text{ km}^2$ 以上的大型水库 11 座, 其数量超过了世界上建造大坝最多的大河——科罗拉多河; 加上正在建设中的小浪底水库, 总库容达 $573.2 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中有效库容 $355.6 \times 10^8 \text{ m}^3$ (席家治, 1996), 如果再加上各类中、小型水库, 其总数已达 3380 余座, 引水和提水工程 5 万余处 (钱意颖等, 1993)。黄河流域引黄有效灌溉面积 1956 年约为 $80 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 1995 年急增至 $766.7 \times 10^4 \text{ hm}^2$; 1949 年总用水量为 $74.2 \times 10^8 \text{ m}^3$, 近 10 年的年平均引水和提水量约为 $300 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中 1989 年为 $334 \times 10^8 \text{ m}^3$, 水资源利用率高达年平均径流量的 57.4%。黄河水大部分已被用于农业灌溉或工业生产, 其中农业灌溉占总用水量的 80% 以上, 因此入海的径流量大幅度减少, 断流形势日趋严重 (图 2)。

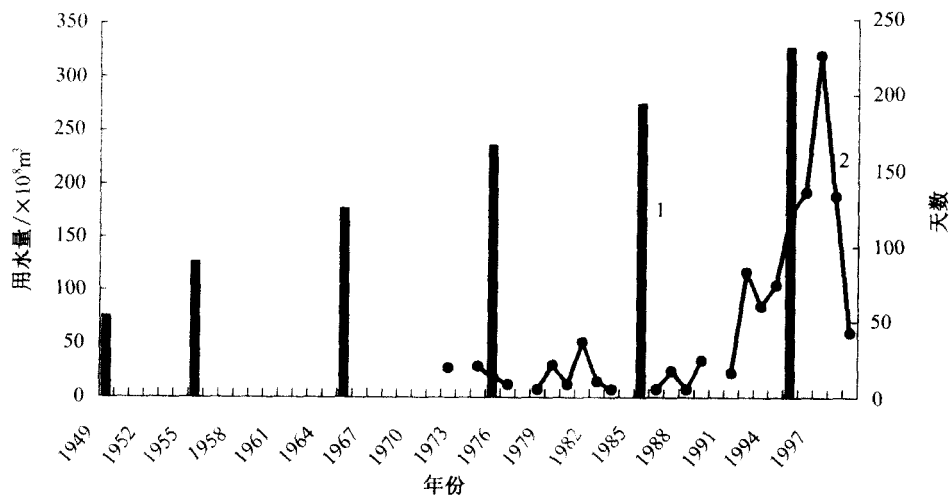


图2 黄河用水量增长和断流天数

1. 用水量; 2. 断流天数

黄河水资源量不但缺乏, 而且分布具有明显的季节性变化 (图 3), 3—6 月黄河的径流量仅占全年总量的 15% 左右 (据利津水文站), 此间正值春灌高峰季节, 农业提水和引水量约占全年总用水量的 70%—80%。沿黄流域的大量用水, 提、引水量超过了黄河干流的承受能力, 使黄河水资源缺乏这个潜在的危机充分暴露出来, 因此形成断流势在必行。

2. 黄河流域水资源缺乏是入海水量锐减和断流的根本原因或内因。黄河流域内约

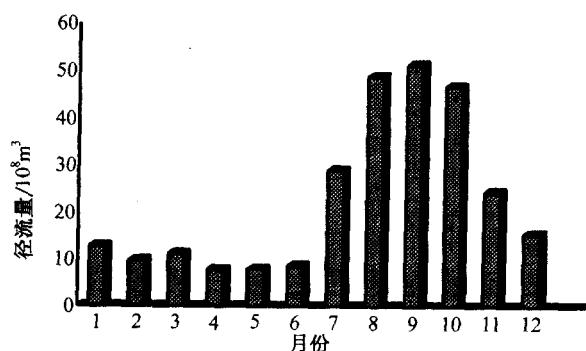


图3 黄河月均径流量变化(利津站, 1973—1993年)

37%为干旱、半干旱地区,其年均降水量200—650 mm,多年平均476 mm,仅为长江流域的44.5%、珠江流域的30.8%和全国年均降水量的73.3%;流域内径流深为77.4 mm,仅为长江流域的15%、珠江流域的9.8%和全国平均径流深的28.1%。然而流域内蒸发量与降水量的百分比却远大于长江、珠江流域和全国,其值分别为81.6%,50.9%和47.8%(席家治,1996),大的陆面蒸发量与降水量之比值使很少量的降水又遭到巨大的消耗,因而不能充分形成径流。长江干流的长度和流域面积分别是黄河的1.2倍和2.4倍,而年径流量却是黄河的15.9倍;珠江干流长度和流域面积分别仅为黄河的58.7%和60.2%,而径流量却是黄河的6.1倍。黄河流域土地或人均相对占有水资源量与我国其他主要河流相比皆是最小。

上述数据从不同侧面说明黄河水资源的缺乏。由于水资源量少,所以经受不起用水量急剧增长的冲击。20世纪80年代和90年代,黄河提水和引水的总量约为 $300 \times 10^8 \text{ m}^3$,这一数量只有长江多年平均径流量的3.3%,珠江的8.6%,而对于黄河,则超过其多年平均入海径流量的1/2,因而造成了入海水量锐减或断流的严峻形势。由此证明,极度缺乏的黄河水资源已不能满足黄河流域的经济发展对于黄河水资源日益增长的需求,这才是造成入海径流量锐减和断流的根本原因或内因。

四、黄河入海径流量锐减和断流的发展趋势预估

今后黄河入海径流量的变化和断流的形势将会怎样发展呢?据黄委会等有关部门统计,按2010年水平,黄河流域总需水量为 $723 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中计划由黄河供水 $408 \times 10^8 \text{ m}^3$ (席家治,1996),与国务院规定分配水量相比超过了 $38 \times 10^8 \text{ m}^3$,这样,按花园口多年平均径流量计算,仅有 $151 \times 10^8 \text{ m}^3$ 水可以入海,已经少于专家们估计的 200×10^8 — $240 \times 10^8 \text{ m}^3$ 冲沙入海的水量,两者相差约 50×10^8 — $90 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。有关部门对2010—2020年利津站来水量预测认为,按75%保证率计,年均来水量约为 93×10^8 — $123 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中3—6月的总量小于 $5.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ ¹⁾,然而仅东营一市的计划用水量已达 38.6

1) 河口治理与水资源专家组,1997,UNDP支持黄河三角洲可持续发展研究报告(内部资料)。

$\times 10^8 \text{ m}^3$, 其中3—6月按现有工程条件, 引水和提水能力可达 $6.2 \times 10^8 \text{ m}^3$, 超过了上述同期预测来水量。另据有关部门测算, 2000年小浪底水库建成后, 4—7月间花园口的下泄流量大部分时间控制在 $400 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{s}$ — $900 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{s}$, 然而目前山东境内现有工程设计的提水、引水能力已达 $2400 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{s}$ (戴同霞, 1996), 为小浪底下泄量的2.5倍, 显然, 这种情况构成了黄河断流的极大潜在威胁。尤联元等(1995)曾经根据黄河干流之丰水和枯水期的长周期变化及温室效应之间的关系预测, 到2050年左右, 受温室效应的影响, 由降水量增加导致的黄河径流量可以增加约 $29.5 \times 10^8 \text{ m}^3$, 人类活动利用黄河的水资源量将增加 $101 \times 10^8 \text{ m}^3$ — $141 \times 10^8 \text{ m}^3$, 即人类活动消耗的水资源量将是温室效应导致水资源量增加数量的3.4—4.8倍, 因此未来50年内若无重大措施, 黄河的水资源量不可能有明显增加, 相反, 其用水量有可能缓慢增加, 水资源的供需矛盾将会进一步加剧, 断流形势进一步严峻, 断流危机随时可能暴发。除丰水年外, 黄河下游将会变成季节性河流。虽然采取各种节水、保水等有效措施, 特别是统一调度管理全黄河上、下游的水量, 能够使断流得到缓和或控制, 但是入海径流量大量减少的局面仍无法扭转。

五、解决黄河入海径流量锐减和断流的策略

综上所述, 形成黄河下游断流和入海水量锐减的内因是水资源缺乏, 外因是沿黄地区工农业发展用水量的增加, 因此, 解决上述问题必须从内因和外因两个方面着手进行才是最有效的办法。江泽民主席提出“缓解黄河水资源供需矛盾必须坚持开源、节流和保护三者并重”的方针, 显然, 这个方针是从内因和外因、近期措施和长远战略两个方面综合考虑提出的。“开源”主要是从长远的战略目标出发, “节流”和“保护”虽然具有长远的战略意义, 但主要是对于缓和当前供需矛盾、缓解下游断流形势起重要作用, 因而是当前的紧迫任务。1999年, 黄委会采取了全河上、下水资源统一管理的措施, 使全年的断流天数减至43d, 有效地缓解了下游断流的形势。以上措施再加上建立《黄河法》和推广全民节水等, 黄河断流形势将会进一步得到缓和。

任美锷院士认为¹⁾, 将龙羊峡和刘家峡水库改为以调蓄水资源为主, 把汛期的一部分水和11月至翌年2月的大部分天然径流量储蓄在水库, 则3—6月灌溉用水的高峰期可为下游提供 $100 \times 10^8 \text{ m}^3$ 水, 如果再加上三门峡和小浪底两个水库的 $110 \times 10^8 \text{ m}^3$ 有效库容, 3—6月份农灌高峰期可为下游提供大于 $100 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的水供灌溉使用。关于农业灌溉方面, 目前存在着很大的浪费现象, 灌溉的有效利用率仅为40%—50%, 干旱地区利用系数为0.4左右, 因此农业节水潜力巨大。据黄委会等有关部门估算, 通过采用田间工程配套等措施, 黄河上、中、下游合计可节水 $76.88 \times 10^8 \text{ m}^3$ (席家治, 1996), 加上其他节水措施, 特别是加大高科技节水措施研究的投入, 今后, 除特别干旱年份外, 黄河断流虽不能从根本上解决, 但却能大大缓解。

开源的主要措施是实行南水北调, 以增加黄河的水资源量和入海生态水量。黄河流域人均水资源量不足 $500 \times 10^8 \text{ m}^3$, 根据我国北方水资源分布的总形势分析, 随着沿黄流域人口增加和社会经济的发展, 人均水资源量可能减至 400 m^3 以下, 从长远来看, 这种

1) 任美锷, 1999, 黄河断流如何解决 (科学时报)。

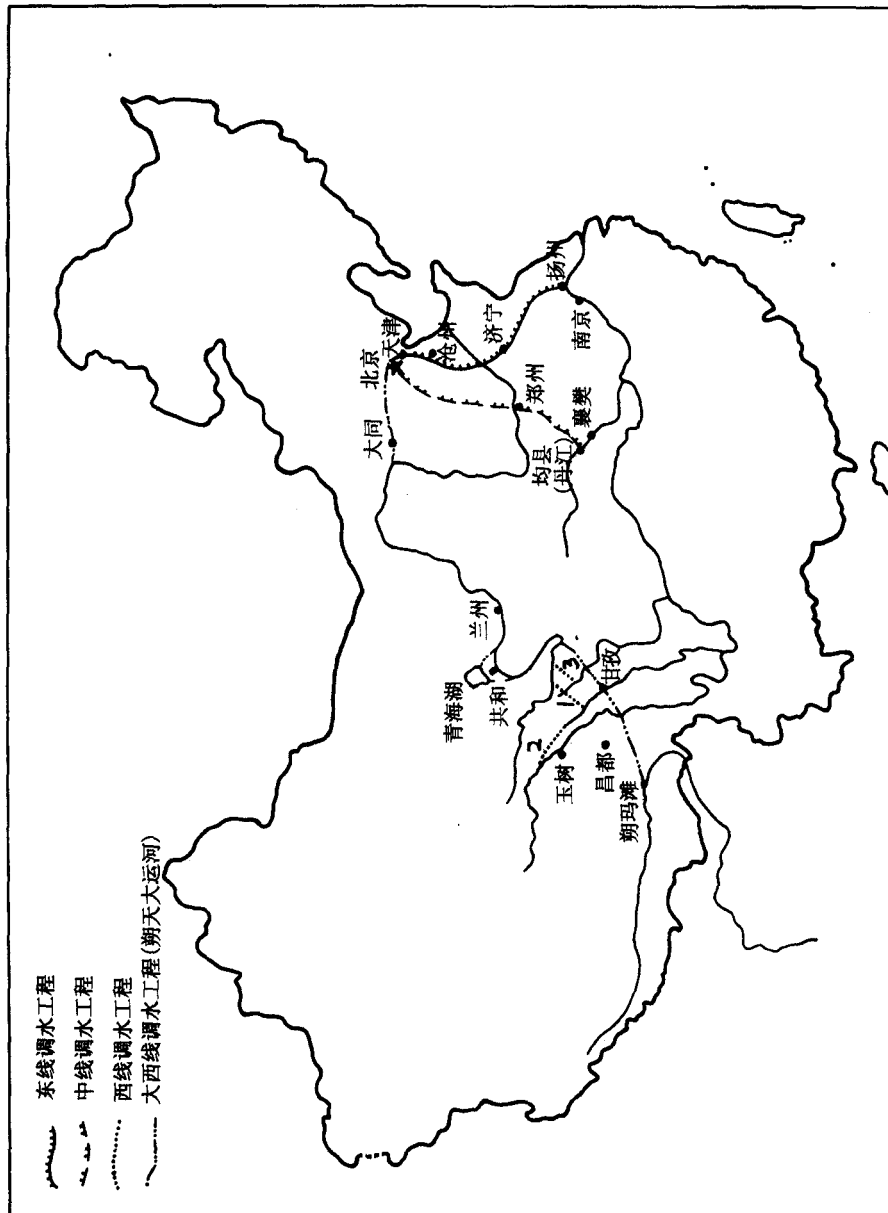


图4 南水北调工程示意图
 (参考席家治, 1996; 曾本枢, 1994; 郭开, 1999等)
 1. 雅砻江工程; 2. 通天河工程; 3. 大渡河工程

严峻的缺水形势,单纯靠“黄河法”或某些“节水”措施是不能够从根本上解决的。同时,即使勉强维持下游不断流,但是黄河入海径流量大幅度减小的问题,也难以用“法”或“节水”措施解决,而入海径流量的减少,将会给河口及其邻近海域的海洋生态环境和生物资源带来众多灾害(将另文论述)。以上情况对于我国实行陆地和海洋两大国土资源的可持续利用,以及实现该区的可持续发展战略都是非常不利的,因此,南水北调应当视为解决黄河水资源供需矛盾的根本大计。然而南水北调的前期研究工作已经进行了半个世纪,但至今连个共识的方案也没产生,其原因除了因工程浩繁、调查任务艰巨和耗资巨大外,主要是缺少对解决水资源缺乏问题的紧迫感,因而没有统一的领导和规划,组织分散。目前南水北调已有东线工程、中线工程¹⁾、西线工程、大西线(即朔天运河)工程,藏水北调工程,中、东线结合工程等多种方案(图4,参考席家治,1996;曹本枢,1994²⁾;郭开,1999³⁾等)。东线工程规划从扬州提水,沿京杭大运河向北,经洪泽湖、南四湖等湖泊北上,于山东位山穿过黄河向北输入京津地区,设计调水量 $192 \times 10^8 \text{ m}^3$;中线工程规划从汉江的丹江口调水,沿伏牛山、太行山一带开渠,在郑州穿过黄河,经石家庄,送入京津地区,设计调水量 $141 \times 10^8 \text{ m}^3$;西线工程包括雅砻江、通天河、大渡河等三处调水工程,设计每年从长江上游调水 $195 \times 10^8 \text{ m}^3$ 入黄河(按2030年水平)(席家治,1996)。大西线工程规划从西藏之朔玛滩引雅鲁藏布江水入黄河,最后送至天津入海,故又称“朔天大运河工程”,全长约1800 km,调水 $2006 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。东线、中线和西线工程均是早在20世纪50年代初期提出的,经过大量调研勘测,于90年代提出初步方案;大西线工程于1994年正式提出,也做了大量的现场调查研究工作。东线和中线工程虽无水调入黄河,但是由于能够解决华北部分地区的用水,减少了黄河的压力,客观上也能够增加黄河入海的生态水量。上述诸方案各有长短,有必要由国家立项,组织统一的领导班子,避免门户之见或先入为主,对现有之各方案统一组织对比、研究,早日形成共识的方案。目前,中国工程院设置了《北方地区水资源的合理布置和南水北调》课题组,旨在超脱学科与行业之上,以两院院士名义开展南水北调的研究,得出较为客观的科学方案,早日实现南水北调。希望能够对各种方案重新进行深入分析和科学论证,筛选出最佳方案。应着重指出的是,在解决南水北调的问题时,应当在着眼于缓解断流形势、解决沿黄工农业和群众生活用水的同时,要河、海兼顾解决增大入海生态水量的问题,以便落实河口及其近海区海洋环境资源可持续发展战略。

据作者研究,从黄河入海口区海岸地貌基本上保持动态平衡的观点出发,黄河入海径流量需增加 $230 \times 10^8 \sim 280 \times 10^8 \text{ m}^3$,如果能够实现南水北调之西线工程,加上上述各种缓解断流和节水措施,即可达到这一目标。届时,不但基本上能够使黄河口区冲淤保持动态平衡,除偶然事件外,海岸地貌不会发生大的变化,而且能够使黄河的入海水量接近于20世纪50年代的水平,对于黄河口及其邻近海域的生态环境建设和环境资源可持续利用将会有良好的作用。

1) 任美镔,1999,黄河断流如何解决(科学时报)。

2) 曹本枢,1994,南水北调中线工程简介(科学时报)。

3) 郭开,1999,中华朔天运河(科学时报)。

参 考 文 献

- 尤联元、杨治武, 1995, 环境变化对黄河下游来水来沙的影响, 地理学报, 50 (1): 25—34。
陈先德, 1996, 黄河水文, 黄河水利出版社, 83—85。
席家治, 1996, 黄河水资源, 黄河水利出版社, 27。
钱意颖、叶青超、周文浩, 1993, 黄河干流水沙变化与河床演变, 中国建材工业出版社, 7—8。
戴同霞, 1996, 小浪底工程兴建后黄河下游山东段面临问题的探讨, 山东水利科技, 4: 1—4。

**IMPACT OF VARIATION OF WATER AND SEDIMENT FLUXES
ON SUSTAINABLE USE OF MARINE ENVIRONMENT AND RESOURCES
IN THE HUANGHE RIVER ESTUARY AND ADJACENT SEA I .
REASON FOR THE CUT-OFF WATER FLOW AND LARGE
DECREASE OF RUNOFF AND DEVELOPING TREND OF THEM***

Li Fan, Zhang Xiurong

(*Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences*)

ABSTRACT

The 1972, cutoff water flow in the lower course of the Huanghe river worsened day by day. In the 1970s, the time of the cut-off water flow was 8.6 days annually, in the 1980s, it was 10.5 days, in the first 6 years of the 1990s, it was 89.6 days, in 1977, it was 226 days, when the cut-off water flow was 704km. Large increase in the use of water volume for industry and agriculture in the Huanghe River basin was external cause for the cut-off water flow; However, deficient of water resources was basic reason or internal cause. In 1949, use of water for industry and agriculture is only $74 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$, but it increase to $300 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ in 1990s. The utilization ratio of the Huanghe River water resources is 60%, the first level in the world. $300 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ only account for 3.3% annual runoff in the Yantze River and 8.6% in the Pearl River, but it is more than 1/2 of annual runoff in the Huanghe River. If preventive measures are not adopted, the situation of the cut-off water flow will worsen and be grimmer day by day. The situation of the cut-off water flow can be remedied by unified manage, proper allocate and conservation of the water resource in all basin, and adoption various cut-down water measures. However, allocation of water from the south to the north is the best method to resolve the problem of cut-off water flow and thus increase runoff to the sea and strengthen the construction of the ecological environment and enable sustainable use of the marine environment and resources in the Huanghe River estuary and adjacent sea area.

* Contribution No.4039 from the Institute of Oceanology, Chinese Academy of Science.