

# 南水北调对长江口粗颗粒悬沙来量的影响\*

陈西庆 陈吉余

(华东师范大学河口海岸动力沉积、动力地貌综合国家重点实验室 上海 200062)

**摘 要** 探索了长江南水北调占总径流量 10% 情况下对长江粗颗粒悬沙 ( $0.05\text{ mm}$ ) 入海数量变化的可能影响。研究表明: 南水北调对入海细颗粒泥沙的影响主要为南沙北调, 但数量较小, 在 1% 左右, 而对粗颗粒悬沙的影响主要表现在入海流量减少导致的水体挟沙能力的降低。通过建立大通站典型枯水年 (1978), 平水年 (1987) 及洪水年 (1983) 月平均流量与月平均床沙质输沙率相关曲线, 估算出各典型年在典型流量  $23\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ ,  $30\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$  与  $40\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$  水平下调水流量  $3\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$  时导致的入海床沙质输沙率的变化。结果表明, 输沙率的相对变化在 -39% 至 -24% 之间, 且在较高的流量水平下, 输沙率相对变化较小, 但绝对变化增大, 经大通入海的床沙质数量每年约减少 2 350~4 700 万 t。

**关键词** 南水北调 长江口 粗颗粒悬沙 入海泥沙

**分类号** TV148.1

随着经济与社会的迅速发展, 水资源的紧缺已成为当今人类社会生存与发展面临的最严峻的问题之一。由于水资源分布在空间上的不平衡性, 许多国家都在筹划切合本国发展需要的跨流域调水工程, 如美国、加拿大、墨西哥三国合作的北美大陆跨国调水工程“北美水电联合规划”; 中国亦已建了一些颇具规模的地区性引水工程, 如引滦入津工程、引黄济青工程等。

早在 1959 年, 长江水利委员会在《长江流域综合利用规划要点报告》中就提出分别从上、中、下游引水, 解决黄、淮、海流域的缺水问题。

由于南水北调将减少长江的入海流量, 降低水流的挟沙能力, 特别是降低悬沙中  $0.05\ \text{mm}$  床沙质部分的入海数量, 从而对长江河口的发育与三角洲的侵蚀产生一定影响, 所以, 研究这一变化的可能幅度具有很大的学术意义与实用价值。

## 1 南水北调对入海泥沙量变化的影响

(1) 随着跨流域水量的运移, 水体中的含沙也随之运动, 南水北调势必南沙北调, 假如不考虑长江径流含沙在纵向、横向、垂向及时间上分布的不均衡性, 调 10% 的水量的同时也调走 10% 的泥沙。但由于调水多集中于旱季长江悬沙浓度相对较小的时期; 水源地多位于库

\* 本文于 1995 年 12 月 1 日收到, 1996 年 4 月 1 日收到修改稿。

\* 上海市科委重大项目“海平面上升对上海影响及对策研究”部分研究成果。

区相对静水环境(如2020年以前丹江口水库引水,2020年以后三峡库区引水),泥沙含量较小,所以南沙北调比南水北调的百分比要小得多,可能在1%左右,大致相当于悬沙中 $< 0.007 \text{ mm}$ 颗粒的百分比含量。这就是说,对应于调水10%,相应的南沙北调量约为470万 $\text{t}$ /年左右。显然,这部分泥沙属冲泻质的范畴,其入海总量主要由流域供给数量决定,与流量变化没有多大关系。但另一方面,这部分泥沙减少量在下游河床是不能弥补的。

(2) 由于流量与悬移质输沙量有下述关系

$$Q_m = KQ^n$$

式中  $Q_m$  为悬移质输沙量;  $Q^n$  为流量,  $n$  为大于1的指数;  $K$  为来沙系数,与上游泥沙供应量有关。

对于颗粒较粗的悬沙,特别是属于床沙质的那一部分,上述关系较好。根据Knighton,这一关系足以用来作为一级近似估计<sup>[1]</sup>。如在Rio Grande河的Albuquerque站,对于粒径 $> 0.063 \text{ mm}$ 的悬沙,有关系式

$$Q_m = 2.19Q^{1.96}$$

由于河流悬移质中包含冲泻质与床沙质两部分,挟沙力与流量的函数关系主要是对床沙质而言,对于长江这类大河,一定时间尺度内上游床沙质来量的短缺可在中下游河道中得到补充,但流量的减少对挟沙力的影响是无法弥补的。南水北调对入海泥沙量的影响将主要表现在对入海床沙质数量的影响。

## 2 入海水量变化对床沙质数量的影响

建立上游来水量变化与入海床沙质之间的相互关系,估算南水北调的影响幅度:

(1) 选取典型枯水年(1978),平水年(1987)及洪水年(1983)作为典型个例分析,其水文,泥沙参数如表1。

表1 典型水文年大通站流量、输沙率变化

Table 1. Comparison of discharge and sediment discharge for the typical hydrological years in Datong station

水 文 年	枯水年 (1978)	平水年 (1987)	洪水年 (1983)
大通年平均流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	18 100	26 500	35 200
最大月流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	41 800	48 000	66 200
最小月流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	9 790	7 600	13 500
最大月输沙率 ( $> 0.05 \text{ mm}$ , $\text{kg}/\text{s}$ )	6 679	4 840	21 245
最小月输沙率 ( $> 0.05 \text{ mm}$ , $\text{kg}/\text{s}$ )	36.5	9.12	372

(2) 根据资料,推算大通站 $> 0.05 \text{ mm}$ 床沙质的月平均输沙率。

(3) 用指数曲线  $S = KQ^n$  拟合大通站月平均流量~月平均输沙率的变化关系,得

$$\text{枯水年 (1978): } S = 2.57 \times 10^{-12} Q^{3.3375}$$

$$R = 0.9709$$

$$\text{平水年 (1987): } S = 2.17 \times 10^{-13} Q^{3.5146}$$

$$R = 0.9678$$

$$\text{洪水年 (1983): } S = 4.84 \times 10^{-10} Q^{2.8480}$$

$$R = 0.9356$$

从各年的相关系数来看, 都达到  $R = 0.93 \sim 0.97$ , 显著程度很高, 完全可以用来估算南水北调导致的输沙率变化幅度。

### 3 南水北调对入海床沙质数量的影响

根据规划目标, 至2020年后长江沿线各南水北调工程将调水  $800 \sim 900$  亿  $m^3$ , 约占长江总径流量的10%, 年平均调水流量近  $3\,000 m^3/s$ , 并且调水量在时间分布上是不均衡的, 旱季调水多, 洪季调水少。即使每月调水量相等, 它们在长江流量中所占的百分比也是不同的。现仅考虑下述三种典型流量下各月平均调水  $3\,000 m^3/s$  的影响。

(1)  $23\,000 m^3/s$ , 相当于大通站历年4月份的平均流量, 这时我国北方多为春旱季节, 调水  $3\,000 m^3/s$  后入海流量相对变化为  $-13\%$ 。

(2)  $30\,000 m^3/s$ , 相当于大通历年平均流量, 调水  $3\,000 m^3/s$  后相对变化为  $-10\%$ 。

(3)  $40\,000 m^3/s$ , 相当于大通历年6月、9月份的月平均流量, 6月份北方仍为少雨期, 且这时又是水稻大田移栽, 农田用水高峰时期, 淮河流域俗称“卡脖子旱”, 调水  $3\,000 m^3/s$  相对变化  $-7.5\%$ 。

表2是典型枯水年、平水年与洪水年对应上述三种典型流量水平下调水流量  $3\,000 m^3/s$  造成的大通挟沙力变化估算, 从表可见:

表2 大通典型月平均流量状况下南水北调  $3\,000 m^3/s$  导致的输沙率变化 ( $> 0.05$  mm 床沙质)

Table 2. Variation of the typical monthly mean sediment discharge in the Datong station due to water diversion ( $3\,000 m^3/s$ ) ( $> 0.05$  mm in grain-size)

月平均流量变化 ( $m^3 \cdot s^{-1} / \%$ )	输沙率变化 ( $m^3 \cdot s^{-1} / \%$ )		
	枯水年	平水年	洪水年
23 000 ~ 20 000 / - 13	927 ~ 582 / - 37.2	463 ~ 284 / - 38.7	1280 ~ 859 / - 32.9
30 000 ~ 27 000 / - 10	2 251 ~ 1 583 / - 29.7	1 180 ~ 814 / - 31.0	2 729 ~ 2 020 / - 26.0
40 000 ~ 37 000 / - 7.5	5 879 ~ 4 532 / - 22.9	3 242 ~ 2 465 / - 24.0	6 187 ~ 4 955 / - 19.9

①当大通月平均流量处在较高水平时, 尽管调水流量百分比减少, 但各典型年输沙率减低值仍较大, 这主要是流量~输沙率的指数函数变化关系决定的。

②枯水年与洪水年输沙率下降幅度基本接近, 且明显大于平水年(大1倍左右), 其原因是与典型水文年样本的选取有关, 因为1987年是典型平水少沙年, 但该年输沙率的相对变化( $-38.7\% \sim -24.0\%$ )还是和其它典型年基本一致。

③尽管随流量水平增高, 调水后输沙率减低的绝对值也增高, 但输沙率的相对变化百分比却较低, 这主要是调水  $3\,000 m^3/s$  在高流量水平下, 占的相对权重较少。

④各典型年, 典型流量水平下, 调水  $3\,000 m^3/s$  导致输沙率相对变化幅度为  $-20\% \sim -40\%$  之间。

考虑大通年平均输沙(悬移质)  $4.70$  亿 t, 其中  $> 0.05$  mm 的床沙质占  $25\%$ , 则  $-20\% \sim -40\%$  的变化幅度对应的床沙质减少量为  $2350 \sim 4700$  万 t/年。即至2020年后, 南水北调  $10\%$  的情况下(约近  $3\,000 m^3/s$ ), 经大通入海的  $> 0.05$  mm 床沙质数量每年约减少  $2\,350 \sim 4\,700$  万 t。

在上述估算中,没有考虑 $< 20\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 较小流量的情况,它们主要出现在1~3月份与12月份,这4个月的多年平均流量为 $10\,000\sim 15\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 之间。这是因为这4个月大通 $> 0.05\text{ mm}$ 输沙率比4月份(平均流量 $23\,000\text{ m}^3/\text{s}$ )小1~2个数量级,故对年变化的影响不大。

应该说明的是,在上述估算中,笔者选用丰水、平水和枯水年三种代表年作为样本,在年径流总量相近的情况下,降水过程的时空分布对每年入海泥沙量的影响很大,所以在上述分析中,笔者只提出了一个总的判断,即-20%~-40%相对变化幅度,由于降水过程在时空分布上的差异性,使在一定流量下,粗颗粒悬沙输移率能在一定范围内发生较大变化,从而能出现枯水中沙、平水少沙及丰水中沙不同的水沙组合情况,如在本文选择的代表水文年中,1987年属较典型的平水( $26\,500\text{ m}^3/\text{s}$ )少沙( $> 0.05\text{ mm}$ 粗颗粒悬沙)年,1978年属枯水中沙年。根据1990年以前大通站历年水沙组合情况,丰水平沙年出现机会较少,仅1973年较典型,年平均流量 $34\,100\text{ m}^3/\text{s}$ ,年输沙量为4.61亿t。一般来说,利用历年的年流量与年入海泥沙资料建立起来的 $S\sim Q$ 关系估算平水少沙或丰水平沙年调水对某一年入海泥沙总量的影响,倾向于高估其影响;而对枯水中沙年的影响容易低估。而本文是通过建立代表性年内各月的 $S\sim Q$ 关系,强调在给定的年内降水时空分布特征下调水的影响,这种分布特征下水沙关系已在 $S\sim Q$ 关系中体现出来,并且只是着重分析调水后对入海泥沙的相对影响幅度,如1987年平水少沙情况下,相同的调水流量对入海泥沙量的影响要比1978年与1983年小1~2倍,但其相对影响幅度与其余2年相近,仍落在-20%~-40%的范围之内。

## 4 结 语

随着黄河、淮河、海河流域的社会经济发展,水资源短缺对社会经济持续发展的制约作用将更加突出,从长江跨流域调水将成为缓和北方水资源紧缺的有效举措,但南水北调对长江河口三角洲的影响必须进行深入研究。研究表明,如考虑南水北调水量为长江总径流量的10%,则进入下游的细颗粒泥沙量( $< 0.007\text{ mm}$ )将减少470万t/a左右,入海粗颗粒悬沙( $> 0.05\text{ mm}$ )将减少2350~4700万t/a。这种变化在机理上不同于三峡大坝工程对入海泥沙的影响,后者并没有改变入海水体的数量,其影响取决于三峡大坝以下沿程补沙的数量问题。而南水北调对挟沙量的影响是不可恢复的。由于历年降水径流在空间与强度上的差异,目前尚不能建立历年平均入海径流量与入海粗颗粒悬沙数量的相互关系,而只能建立年内各月平均流量与入海粗颗粒悬沙的相互关系。另外,南水北调对长江口粗颗粒悬沙的影响是一个较为复杂的问题,还需采用多种其它方法多方面进行研究与估算。在这基础上,进一步研究对河口河槽演变与三角洲海岸发育趋势的影响。

## 参 考 文 献

- 1 Knighton D. Fluvial Forms and Processes. Edward Arnold. 1984. 45~84

# Effect of the South-to-North Water Diversion on the Coarse-Grained Sediment Discharge into the Yangtze River Estuary

Chen Xiqing and Chen Jiyu

(State Key Laboratory of Estuarine & Coastal

*Sediment Dynamics and Morphodynamics, East China Normal University, Shanghai 200062)*

**Abstract:** Because of the sharp spatial difference in water resource distribution, the present serious water shortage problem and the future increasing demands for water resource in the North China, the large-scale south-to-north water diversion will become an inevitable trend. This paper studies the effect of such engineering works on the coarse-grained sediment output into the Yangtze River Estuary under the background that about 10% of the total Yangtze River runoff discharge were diverted to the other drainage basins in the North China. The study indicates that under the typical hydrological years, for examples, 1978, 1978, 1983 representing dry year, ordinary year and flood year, respectively, a reduction of about  $3\,000\text{m}^3/\text{s}$  runoff discharge to the sea from the typical discharge level  $23\,000\text{m}^3/\text{s}$ ,  $30\,000\text{m}^3/\text{s}$  and  $40\,000\text{m}^3/\text{s}$  would result in a decrease of sediment discharge ( $> 0.05\text{mm}$  in grain-size) ranging from  $-39\%$  to  $-24\%$  of the total sediment output, corresponding to  $2350 \times 10^4 \sim 4700 \times 10^4$  tons in the sediment amount. The relationship between the monthly mean runoff discharge and coarse-grained sediment discharge shows that under the higher runoff discharge, the percent of decrease is smaller, but the absolute decrease in sediment amount become greater. Such a reduction of coarse-grained sediment discharge into the estuary is expected to exert significant effect on the estuarine and coastal sediment dynamics and morphodynamics in the coming 21st century.

**Key words:** south-to-north water diversion; Yangtze River Estuary;  
coarse-grained suspended sediment; sediment output to sea.