

三峡水库修建前长江宜昌-武汉段泥沙输移比及其影响因子

许炯心

(中国科学院地理科学与资源研究所, 中国科学院陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101)

摘要: 运用泥沙收支平衡 (Sediment budget) 的概念确定长江中游宜昌-武汉河段的泥沙输移比, 并运用数理统计方法, 研究了 1955~1997 年间河道泥沙输移比对水沙变化的响应。从总体上看, 河道泥沙输移比有较显著的增大趋势。输移比的变化可分为 4 个阶段: 1955~1962 年为快速增大; 1963~1975 年亦为增大, 但增速减慢; 1976~1979 年为迅速减小; 1980~1997 年为较快增大。在分析了若干水沙指标对河道泥沙输移比的影响的基础上, 建立了宜昌-汉口河段泥沙输移比与宜昌站的来水量和来沙量以及 3 口分水比和分沙比、宜昌站洪峰流量之间的多元回归方程。1980~1997 年间的方程表明, 宜昌站来水量越多、3 口分流比越小, 宜昌-汉口河段泥沙输移比越大; 宜昌站来沙量越少, 3 口分沙比越大, 泥沙输移比越大; 宜昌站洪水流量越大, 泥沙输移比越小。

关键词: 河道泥沙输移比; 泥沙收支平衡; 水沙变化; 长江

中图分类号: P343 P512.31

文献标识码: A

侵蚀、输移和沉积是流域系统最基本的地貌过程^[1], 对于地貌过程上述 3 个环节的相互关系, 可以用泥沙收支平衡 (Sediment budget) 的概念进行概括^[2-3]。某一给定流域在某一特定时段中的产沙量, 等于各侵蚀源中侵蚀量的总和, 减去不同地貌部位上沉积泥沙量中沉积量的总和。泥沙输移可以分解成为两部分, 即坡面上的泥沙输移与沟道、河道中的泥沙输移。着眼于河道的泥沙输移过程, 可以建立以河道为单元的泥沙收支平衡, 进而求得河道尺度上的泥沙输移比。前人对于长江的泥沙的输移、沉积过程进行了较多研究^[4-6], 但尚未对河道泥沙输移比进行过研究。我们运用泥沙收支平衡概念研究了黄河下游的泥沙输移比, 取得了一定的进展^[7]。本文将这一概念进一步运用于长江中游宜昌-武汉河段, 以期阐明长江中游宜昌-武汉河段泥沙冲淤过程对水沙变化的响应。

1 河道概况

宜昌为长江中游与上游的分界点。宜昌以下, 长江由山区进入长江中下游平原, 河道也变为冲积性河床。宜昌-汉口河段按照河床地貌特性的不同, 可以分为 4 个河段: (1) 宜昌-枝城河段, 为单一微弯河段, 上段尚受到基岩山丘和阶地的限制, 下段则发育于冲积平原之中。本河段中, 河床组成由砾石变为沙质; (2) 上荆江河段, 为弯曲河段, 但局部仍有江心洲发育; (3) 下荆江河段, 为蜿蜒性弯曲河段, 自然裁弯频繁发生; (4) 城陵矶-武汉河段, 为稳定分汊河段, 江心洲十分发育。

宜昌站的水沙条件受长江上游流域因素的控制, 该站的径流量和输沙量可以视为长江中下游河道的水沙输入条件。宜昌站所控制的流域面积为 $100.5 \times 10^4 \text{ km}^2$, 按 1950~1997 年平均, 宜昌站年悬

收稿日期 (Received date): 2007-09-20; 改回日期 (Accepted): 2007-12-30.

基金项目 (Foundation item): 国家重点基础研究规划项目 (2003CB415202) [Major State Basic Research Development Program of China (2003CB415202)]

作者简介 (Biography): 许炯心 (1948-), 男, 四川人, 研究员, 主要研究方向: 河流地貌、侵蚀产沙。E-mail: xujx@igsnrr.ac.cn [Xu Jiongxin (1948-), male, was born in Sichuan, professor. Fluvial geomorphology & erosion and sediment yield. E-mail: xujx@igsnrr.ac.cn]

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

移质输沙量为 $5.115 \times 10^8 \text{ t}$ 。如同世界上其他的河流一样,宜昌站和其他水文站均未进行推移质泥沙的测验。在荆江河段所进行的零星观测表明,推移质输沙量只占悬移质输沙量 $1\% \sim 2\%$ 。由于缺乏资料,我们在建立所研究河段的泥沙收支平衡时,依据的是悬沙资料。由于推移质泥沙只占极小的比例,不考虑推移质泥沙所导致的误差是可以忽略的。

2 研究方法 with 资料

由于受河道-湖泊耦合关系的影响,宜昌-汉口河段的泥沙收支平衡关系比较复杂。在长江荆江段与洞庭湖之间,历史上形成了复杂的分流河网系统,长江干流、网河和洞庭湖共同构成了一个复杂系统,即江湖耦合系统。这一系统对宜昌-汉口段的泥沙收支平衡有深远的影响。来自长江上游(以宜昌站为代表)的径流和泥沙的一部分,经过若干分流河道分泄入洞庭湖。荆江两岸筑有高堤,河面高出地面数 m 至 10 m。为了防洪的需要,大堤上保留有一系列的分水口,以分泄洪水,称为穴口。历史上分流口较多,1950年尚存在 4 个分流口,即松滋口、

太平口、藕池口和调弦口。1959年在调弦口建闸,1970年调弦口封闭,仅余 3 口。这就是习称的“4口分流”或“3口分流”。洞庭湖水系的来水来沙,以及经 4 口或 3 口分泄入湖的水沙,经过洞庭湖的调蓄和沉积之后,再经由入江水道进入长江干流,其控制站为城陵矶站。

长江中游的主要支流汉江,在汉口汇入长江,其控制站为汉江仙桃站。由于汉江仙桃站的资料系列不完整,一般以汉江皇庄(碾盘山)站作为汉江的水沙控制站。长江汉口站为本河段的出口控制站,该站位于汉江汇口以下不远处,既可以控制该站以上的干流水沙量,又可以控制汉江汇入的水沙量。

枝城以上宜都处有支流清江入汇,清江多年平均年径流量为 $13.5 \times 10^9 \text{ m}^3$,仅占宜昌站的 3.1% 。沙市附近有支流沮漳河入汇,年径流量仅为 $2 \times 10^9 \text{ m}^3$ 左右,对荆江的水量影响很小。清江和沮漳河的输沙量较小,分别占宜昌站的 1.7% 、 0.4% [4]。由于缺少长系列资料,忽略了这两条支流的来水来沙量。

宜昌至汉口河段的输入、输出关系可以概化为图 1。

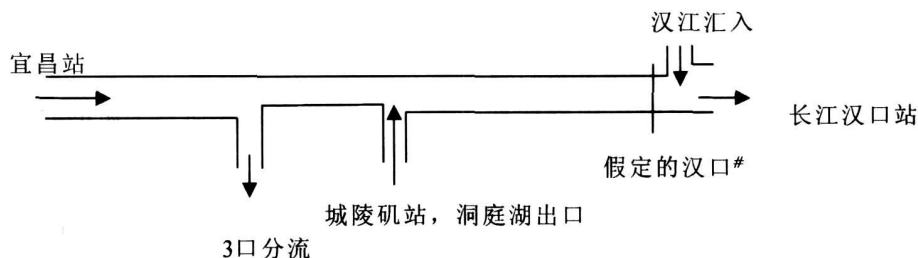


图 1 宜昌至汉口河段的输入、输出关系概化图

Fig 1 A diagram showing input and output of the Yichang-Hankou reach of Yangtze River

由于汉江来沙汇入的地点接近于河段末端,刚刚输入后即马上输出,对整个河段的淤积几乎没有影响。考虑到这一点,为了使问题简化,我们设想在紧靠汉江汇口以上处,存在一个控制断面,设为“汉口#”,该点可以作为宜昌-汉口河段的末端。引入汉口#以后,在考虑本河段的冲淤过程时,汉江的来沙即可以排除在外。在进行了上述处理以后,进行

本河段泥沙输移比计算时会更为合理。汉口#河段的输沙量为长江汉口站的输沙量减去汉江皇庄站的输沙量,此即为宜昌-汉口#河段的年输出沙量。该河段的输入年沙量为宜昌站的年输沙量 $Q_{s,宜昌}$ 加上洞庭湖水系的入汇沙量即城陵矶站的年输沙量 $Q_{s,城陵矶}$,再减去 3 口分沙量 $Q_{s,三口分流}$ 。按河道泥沙输移比的定义可写出

$$\begin{aligned} \text{宜昌-汉口\#河段泥沙输移比} (SDR_{Y-H\#}) &= \Sigma \text{河段输出沙量} / \Sigma \text{河段输入沙量} \\ &= (Q_{s,长江汉口} - Q_{s,皇庄}) / (Q_{s,宜昌} + Q_{s,城陵矶} - Q_{s,三口分流}) \quad (1) \end{aligned}$$

应该指出,在这里我们将三口分流泥沙从输入泥沙扣除,而不作为输出泥沙的一项来处理,因为三

口分流距河段出口尚很远,将三口分流泥沙视为输入沙量的减少量更为合理。

按照上式可以计算出宜昌 - 汉口河段的历年泥沙输移比, 公式中所涉及到的各个水文站的输沙资料均来自有关水文站。本文研究三峡水库修建前的河道泥沙输移特征, 资料年限为 1955~1997 年。在确定了泥沙输移比之后, 运用统计学方法, 将它们与河段的水文泥沙特征值相联系, 建立经验统计关系, 以揭示长江中游宜昌 - 武汉河段泥沙输移过程对水沙变化的响应。

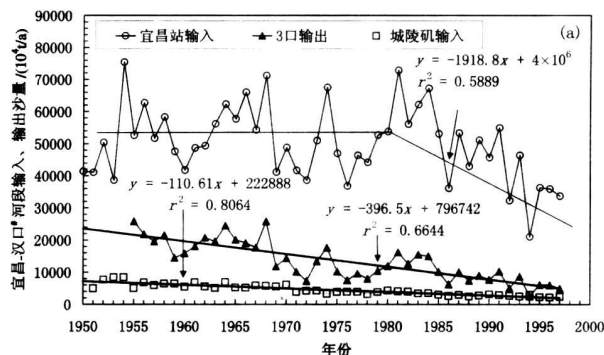
为了表征河段的水文泥沙特征, 我们引入了以下指标: (1) 宜昌站的年径流量、年输沙量; (2) 4 口 (3 口) 分流的年沙量、年水量, 以松滋河西支、松滋河东支、虎渡河、安乡河、藕池河 5 站的各年水量、沙量之和来表示年水量和年沙量; (3) 3 口分沙比、分流比, 分别按 3 口年分沙量和 3 口年分水量除以宜昌站的年沙量和年水量来计算; (4) 洞庭湖入汇的年沙量、年水量, 以城陵矶站的有关特征值来代表。

3 泥沙收支平衡各分量和河段泥沙输移比随时间的变化

如上文所述, 宜昌 - 汉口[#]河段的泥沙收支平衡分量包括宜昌站输入沙量 ($Q_{s, \text{宜昌}}$), 3 口分流输出沙量 ($Q_{s, \text{三口分流}}$), 洞庭湖城陵矶输入沙量 ($Q_{s, \text{城陵矶}}$) 和汉口[#]输出沙量 ($Q_{s, \text{长江汉口}^{\#}}$)。这 4 个分量随时间的变化已点绘在图 2 中。

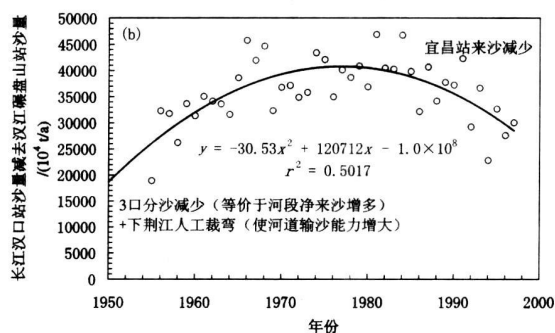
从图中可以看到, 宜昌站来沙量的时间变化可以分为两个阶段。从 1951~1979 年, 尽管来沙量的年际波动较大, 但并没有趋势性的变化。然而, 从 1980~1997 年, 呈现出明显的减小趋势。这一减少趋势与长江上游流域中水土保持措施的实施减少了侵蚀, 大量水库、塘坝的修建拦截了泥沙有密切的关系。3 口分沙量随时间而减小的趋势十分明显。河段出口输出沙量随时间而增大, 大致在 1980 年达到峰值, 然后再减小, 呈抛物线形。1955~1979 年间河段出口输出沙量的增大, 与 3 口分沙减少 (等价于河段净来沙增多) 和下荆江人工裁弯 (使河道输沙能力增大, 因而可以将更多的泥沙输送到河段出口以下) 有关, 1980 年以后的减少, 则与宜昌站来沙量的显著减少有关。

宜昌 - 汉口[#]河段历年的泥沙输移比 $SDR_{Y-H\#}$ 随时间的变化已点绘在图 2c 中, 其变化图形比较复杂。从总体上看, $SDR_{Y-H\#}$ 有较显著的增大趋势, $\ln SDR_{Y-H\#}$ 与时间的相关系数为 0.385, 显著性概率 < 0.01 。图中给出了点子的 5 a 滑动平均线, 据此



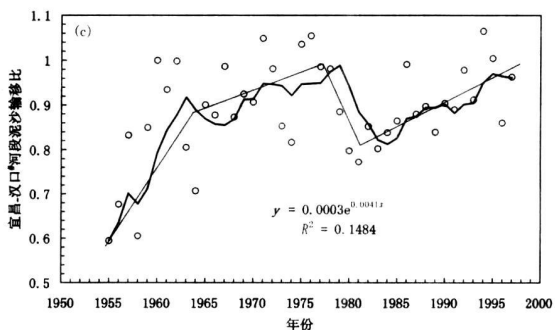
(a) 宜昌站输入沙量 ($Q_{s, \text{宜昌}}$), 3 口分流输出沙量 ($Q_{s, \text{三口分流}}$), 洞庭湖城陵矶输入沙量 ($Q_{s, \text{城陵矶}}$) 随时间的变化 (据文献 [9])

(a) Inflow sediment at Yichang station ($Q_{s, \text{Yichang}}$), outflow sediment through "three outfalls" ($Q_{s, \text{3outfalls}}$) and inflow sediment from the Dongting lake ($Q_{s, \text{Chenglingji}}$)



(b) 汉口[#]输出沙量随时间的变化 (据文献 [9])

(b) Sediment outflow sediment at Hankou[#]



(c) 宜昌 - 汉口[#]河段泥沙输移比随时间的变化

(c) Sediment delivery ratio of the Yichang-Hankou[#] reach

图 2 泥沙收支平衡各分量随时间的变化

Fig. 2 Temporal variations in four components of the channel sediment budget of the Yichang-Hankou[#] reach

可将河道泥沙输移比的变化分为 4 个阶段。1955~1962 年为快速增大, 1963~1975 年亦为增大, 但增速减慢; 1976~1979 年为迅速减小, 1980~1997 年为较快增大。图 3 中点绘了宜昌 - 汉口[#]河段的年输出沙量与年输入沙量的关系。设定拟合直线通过原点, 得到的回归方程为: 年输出沙量 = $0.8698 \times$ 年输入沙量。由此可知, 在多年平均的意义上, 河道泥沙输移比为 0.8698。

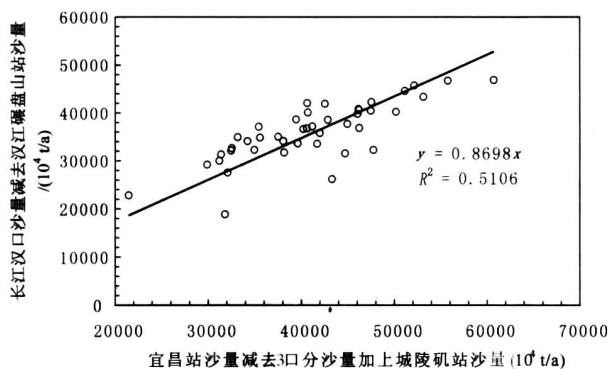


图 3 宜昌-汉口#河段历年输出与输入沙量的关系

Fig. 3 The relationship between the annual input and output sediment of the the Yichang-Hankou# river reach

4 宜昌-汉口#河段泥沙输移比与水沙条件的关系

从图 2 可以看出, 宜昌站的来沙量和河段的输出沙量, 在 1980 年前后均有较大差别。河段泥沙输移比在 1980 年前后亦有较大差别。因此, 将 1955~1997 年划分为 1955~1979 年和 1980~1997 年两个阶段, 分别研究河段泥沙输移比与水沙条件的关系。

4.1 泥沙输移比与来水条件的关系

宜昌-汉口#河段的来水条件包括宜昌站的年径流量、3 口分流的水量及分流比、宜昌站的洪峰流量等方面。宜昌-汉口#河段泥沙输移比与上述 4 个指标的关系已点绘在图 4 中, 并以不同的符号表示 1955~1979 年和 1980~1997 年两个阶段的点子。可以看到, 在 4 个关系图中, 后一时期的相关程度都明显高于前一时期。还可以看到, 对于其他关系而言, 也存在着类似的情形。这是由于, 在前一阶段中的 1967 年和 1969 年, 分别在中洲子河段和下车湾河段实施了人工裁弯工程, 1972 年又发生了沙滩子自然裁弯, 共缩短河长 78 km^[7], 使下荆江的弯曲系数由 3.0 下降为 2.0。人工裁弯和自然裁弯增大了局部河段的比降, 因而使河道的挟沙能力增大, 导致裁弯点以下的河道冲刷下切。裁弯点以下河床的下切降低, 会引起逐渐向上游发展的溯源侵蚀, 使得河床降低。冲刷产生的泥沙向下游搬运, 并可能在下游河道中发生淤积。上述裁弯的发生, 引起了河道的剧烈调整, 加之在前一阶段中, 4 口分流分沙比也发生了剧烈变化, 也会引起河道的剧烈调整。文献[9]的研究表明, 接近 1980 年河道有稳定下来的趋势, 说明在后一阶段中, 河道调整趋于缓和, 接

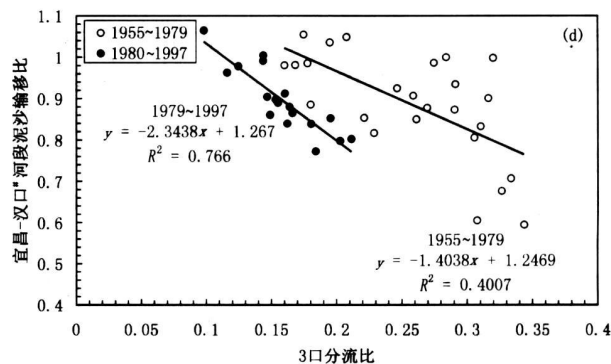
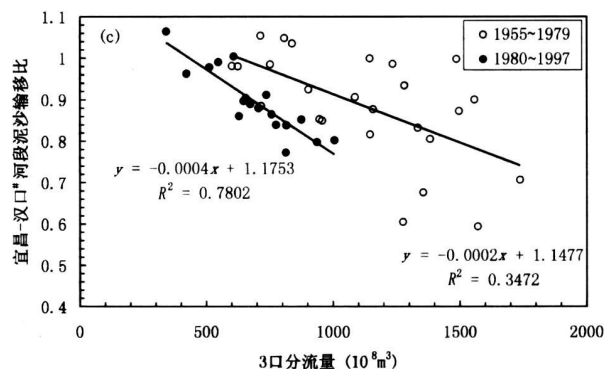
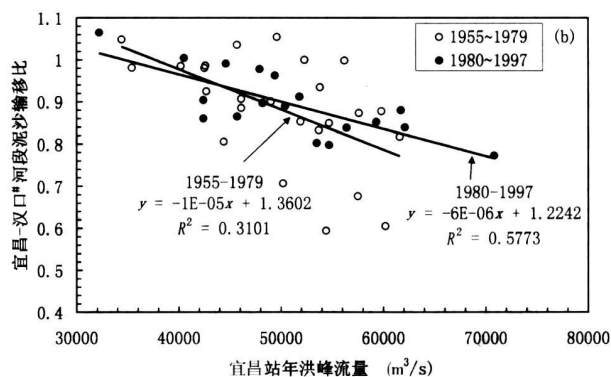
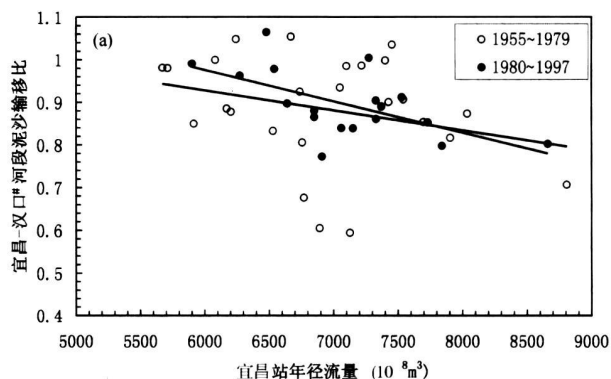


图 4 宜昌-汉口#河段泥沙输移比与宜昌站年水量 (a)、洪峰流量 (b)、3 口分流量 (c) 3 口分流比 (d) 之间的关系

Fig. 4 The relationships of sediment delivery ratio of the Yichang-Hankou# river reach with annual river flow (a) and flood discharge (b) at Yichang station and the water diversion (c) from the 3 outlets and its ratio (d) to the river flow at Yichang station

近于平衡。因此, 后一阶段的河道泥沙输移比与泥沙条件的相关性要明显好于前一阶段。

图 4a 显示, 河段泥沙输移比与宜昌站年径流量之间虽有负相关关系, 但点子十分分散。河段泥沙输移比与宜昌站洪峰流量之间的相关性则要强得多, 1980~1997 年间相关系数的平方达到 0.577 3, 大大超过了显著性程度为 0.01 的相关系数平方临界值 0.154 6。河段泥沙输移比与 3 口分流量和分流比的相关性进一步加强, 1980~1997 年间相关系数的平方分别高达 0.780 2 和 0.766 0。

由上述可见, 3 口分流对于宜昌 - 汉口[#]河段河道泥沙输移比的影响很大, 超过了洪水流量和年径流量的影响。这是由于, 3 口分流量呈明显的减小趋势(图 5)。3 口分流量的减小, 等效于干流流量的增多, 将导致干流挟沙力增大。一般而言, 河道水流挟沙力与流量的平方成正比例^[10], 分流易淤, 合流则可减淤。设原流量为 Q , 增加的流量为 ΔQ 。一般而言, 挟沙力正比于流量的平方, 若原来处于平衡状态, 则与 Q 和 ΔQ 相应的平衡输沙量分别为 aQ^2 和 $a(\Delta Q)^2$, a 为常数。合流后的平衡输沙量应为 $a(Q + \Delta Q)^2 = aQ^2 + a(\Delta Q)^2 + 2a(Q \Delta Q)$ 。此值大于与 Q 和 ΔQ 相应的平衡输沙量之和 $aQ^2 + a(\Delta Q)^2$ 。这意味着, 若原来已达到平衡, 则按其挟沙能力而言, 流量增加后的水流所能携带的泥沙量将超过所供应的泥沙量。因此, 干流有可能冲刷。显然, 这一因素使得河道泥沙输移比增大, 因而出现了宜昌 - 汉口[#]河段河道泥沙输移比与 3 口分流量与分流比之间的负相关关系(见图 4c、4d)。

洪峰流量与河道泥沙输移比呈负相关(见图 4b), 则是由于洪水发生时, 水流漫滩, 大量泥沙淤在滩地上, 输送到出口断面以下的泥沙量减少, 使得河段泥沙输移比减小。

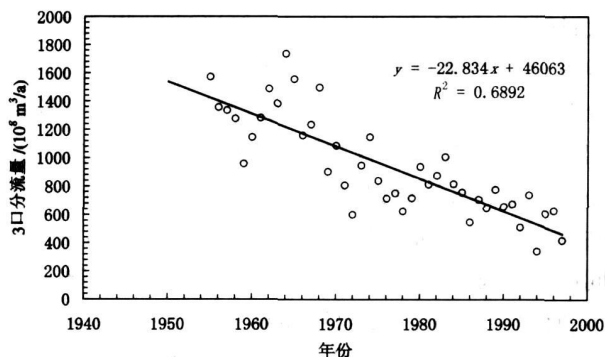


图 5 3 口分流量随时间的变化

Fig 5 Water diversion from the 3 outfalls varying with time

4.2 泥沙输移比与来沙条件的关系

从宜昌 - 汉口[#]河段泥沙输移比与宜昌站年来沙量之间的关系可以看到(图 6), 二者之间存在着显著的正相关关系, 1980~1997 年间相关系数的平方高达 0.773 0。

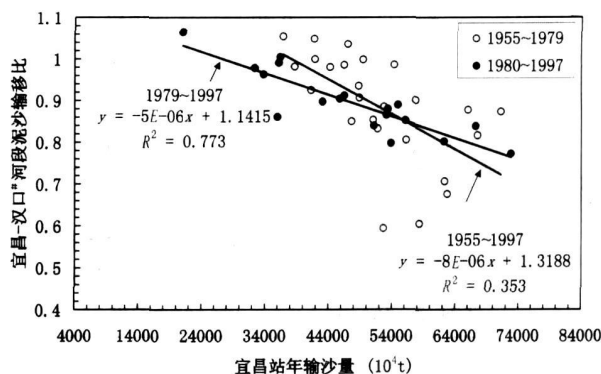


图 6 宜昌 - 汉口[#]河段泥沙输移比与宜昌站年来沙量之间的关系

Fig 6 Relationship between sediment delivery ratio of the Yichang-Hankou[#] reach and annual sediment load at Yichang station

5 多元回归分析

为了揭示所研究河段泥沙输移比与来水来沙条件的关系, 采用了回归分析的方法。影响所研究河段冲淤量的主要因素是宜昌站的来水量 Q_w , 宜昌、来沙量 $Q_{s, \text{宜昌}}$ 、年最大流量 $Q_{\max, \text{宜昌}}$ 以及 3 口分水比 $R_{w, \text{div}}$ 和分沙比 $R_{s, \text{div}}$ 。如上文所示, 1980 年以前和以后, 所研究河段的冲淤有较大差异。我们按 1955~1997 年和 1980~1997 年两个系列的数据, 分别计算出了相关系数矩阵(表 1、表 2)。

为了定量评价宜昌站的来水量 $Q_{w, \text{宜昌}}$ ($10^8 \text{ m}^3/\text{a}$) 和来沙量 $Q_{s, \text{宜昌}}$ (10^4 t/a) 以及 3 口分水比 $R_{w, \text{div}}$ 和分沙比 $R_{s, \text{div}}$ 的变化对于冲淤量 $S_{\text{dep } Y-H}$ (10^4 t/a) 的相对贡献率, 我们以 1980~1997 年和 1955~1997 年两个时间系列的数据分别建立了多元回归方程。

以冲淤量 $S_{\text{dep } Y-H}$ 作为因变量, 以宜昌站的来水量 $Q_{w, \text{宜昌}}$ 、来沙量 $Q_{s, \text{宜昌}}$ 、年最大流量 $Q_{\max, \text{宜昌}}$ 以及 3 口分水比 $R_{w, \text{div}}$ 和分沙比 $R_{s, \text{div}}$ 作为影响变量, 运用 1980~1997 年的资料, 经计算后得到如下方程:

$$\begin{aligned} SDR_{Y-H} = & 1.1863 + 2.5521 \times 10^{-6} Q_{w, \text{宜昌}} - \\ & 3.5568 \times 10^{-6} Q_{s, \text{宜昌}} - 3.4159 R_{w, \text{div}} + \\ & 2.5050 R_{s, \text{div}} - 1.1049 \times \\ & 10^{-6} Q_{\max, \text{宜昌}} \end{aligned} \quad (2)$$

表 1 河道泥沙输移比 $SDR_{Y-H\#}$ 与宜昌站的来水量 $Q_{w,宜昌}$ 、来沙量 $Q_{s,宜昌}$ 、年最大流量 $Q_{max,宜昌}$ 以及 3口分水比 $R_{w,div}$ 和分沙比 $R_{s,div}$ 之间的相关系数矩阵 (1955~ 1997)

Table 1 The correlation matrix among $SDR_{Y-H\#}$ and $Q_{w,Yichang}$, $Q_{s,Yichang}$, $Q_{max,Yichang}$, $R_{w,div}$ and $R_{s,div}$ (1955~ 1997)

	$Q_{w,宜昌}$	$Q_{s,宜昌}$	$R_{w,div}$	$R_{s,div}$	$Q_{max,宜昌}$	$SDR_{Y-H\#}$
$Q_{w,宜昌}$	1.00	0.70	0.40	0.38	0.49	- 0.43
$Q_{s,宜昌}$	0.70	1.00	0.53	0.46	0.71	- 0.64
$R_{w,div}$	0.40	0.53	1.00	0.97	0.33	- 0.50
$R_{s,div}$	0.38	0.46	0.97	1.00	0.33	- 0.48
$Q_{max,宜昌}$	0.49	0.71	0.33	0.33	1.00	- 0.59
$SDR_{Y-H\#}$	- 0.43	- 0.64	- 0.50	- 0.48	- 0.59	1.00

表 2 河道泥沙输移比 $SDR_{Y-H\#}$ 与宜昌站的来水量 $Q_{w,宜昌}$ 、来沙量 $Q_{s,宜昌}$ 、年最大流量 $Q_{max,宜昌}$ 以及 3口分水比 $R_{w,div}$ 和分沙比 $R_{s,div}$ 之间的相关系数矩阵 (1980~ 1997)

Table 2 The correlation matrix among $SDR_{Y-H\#}$ and $Q_{w,Yichang}$, $Q_{s,Yichang}$, $Q_{max,Yichang}$, $R_{w,div}$ and $R_{s,div}$ (1980~ 1997)

	$Q_{w,宜昌}$	$Q_{s,宜昌}$	$R_{w,div}$	$R_{s,div}$	$Q_{max,宜昌}$	$SDR_{Y-H\#}$
$Q_{w,宜昌}$	1.00	0.76	0.82	0.75	0.57	- 0.80
$Q_{s,宜昌}$	0.76	1.00	0.86	0.89	0.81	- 0.88
$R_{w,div}$	0.82	0.86	1.00	0.97	0.66	- 0.88
$R_{s,div}$	0.75	0.89	0.97	1.00	0.68	- 0.84
$Q_{max,宜昌}$	0.57	0.81	0.66	0.68	1.00	- 0.76
$SDR_{Y-H\#}$	- 0.80	- 0.88	- 0.88	- 0.84	- 0.76	1.00

上式的数据组数 $N = 18$ 复相关系数 $R = 0.9394$ F -检验结果 $F = 18.034$ 显著性概率 $p = 0.00003$ 剩余标准差 $SE = 0.0321$ 。上式表明,宜昌站来水量越多、3口分流比越小,宜昌-汉口[#]河段泥沙输移比越大;宜昌站来沙量越少,3口分沙比越大,宜昌-汉口[#]河段泥沙输移比越大;宜昌站洪水流量越大,宜昌-汉口[#]河段泥沙输移比越小。

运用 1955~ 1997年的资料,经计算后得到如下方程:

$$SDR_{Y-H\#} = 1.2824 + 1.2364 \times 10^{-5} Q_{w,宜昌} - 3.3434 \times 10^{-6} Q_{s,宜昌} - 3910 R_{w,div} - 3.8817 \times 10^{-6} Q_{max,宜昌} \quad (3)$$

上式的数据组数 $N = 43$ 复相关系数 $R = 0.7010$ F -检验结果 $F = 9.18$ 显著性概率 $p = 0.00003$ 剩余标准差 $SE = 0.0825$ 。应该指出,由于这一回归方程的复相关系数不是很高,3口分沙比与口分水比之间的相关系数却很高,同时选入易造成回归方程质量的降低,故上述方程中只选取了3口分水比,未选入3口分沙比,而3口分沙比的影响可以通过3口分水比而到反映。

6 结论

运用泥沙收支平衡 (Sediment budget)的概念确定长江中游宜昌-武汉河段的泥沙输移比,并运用数理统计方法,研究了河道泥沙输移比对水沙变化的响应。在多年平均 (1956~ 1997年)的意义上,宜昌-武汉河段河道泥沙输移比为 0.869 8。从总体上看, $SDR_{Y-H\#}$ 有较显著的增大趋势。河道泥沙输移比的变化可分为 4个阶段: 1955~ 1962年为快速增大; 1963~ 1975年亦为增大,但增速减慢; 1976~ 1979年为迅速减小; 1980~ 1997年为较快增大。在分析了若干水沙指标对河道泥沙输移比的影响的基础上,建立了宜昌-汉口[#]河段泥沙输移比与宜昌站的来水量和来沙量以及 3口分水比和分沙比、宜昌站洪峰流量之间的多元回归方程。1980~ 1997年间的方程表明,宜昌站来水量越多、3口分流比越小,宜昌-汉口[#]河段泥沙输移比越大;宜昌站来沙量越少,3口分沙比越大,泥沙输移比越大;宜昌站洪水流量越大,泥沙输移比越小。

三峡水库的修建拦截了来自长江上游的部分泥

沙,使中游的泥沙输移特性发生了很大的变化。对于这种变化,在获得足够资料之后将另文讨论。

参考文献 (References)

- [1] Schumm, S. A. The Fluvial System [M]. New York: John Wiley & Sons, 1977: 1~338
- [2] Dietrich, W. E. and Dunne, T. Sediment budget for a small catchment in mountainous terrain [J]. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 1978, 29: 191~205
- [3] Trimble, S. W. Changes in sediment storage in Coon Creek Basin, Driftless Area Wisconsin, 1853~1975 [J]. *Science*, 1981, 214: 181~183
- [4] Li Yitian, Ni Jinren. Influence of sediment transport on water level elevation in the middle reach of Yangtze River [J]. *Journal of Applied Basic Sciences and Engineering*, 1998, 6(3): 5~11 [李义天, 倪晋仁. 泥沙输移对长江中游水位抬升的影响 [J]. 应用基础与工程科学学报, 1998, 6(3): 5~11]
- [5] Li Yitian, Li Rong, Deng Jinyun. A study of sediment transport and flood control in the middle reach of Yangtze River [J]. *Journal of Sediment Research*, 2000, (3): 12~20 [李义天, 李荣, 邓金运. 长江中游泥沙输移规律及对防洪影响研究 [J]. 泥沙研究, 2000 (3): 12~20]
- [6] Li Yitian, Deng Jinyun, Sun Zhaohua *et al.* Sediment deposition and variation of flood storage in The Dongtinghu Lake [J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2000, (12): 48~52 [李义天, 邓金运, 孙昭华, 等. 泥沙淤积与洞庭湖调蓄量变化 [J]. 水利学报, 2000 (12): 48~52]
- [7] Xu Jiongxin, 2003. A study of sediment delivery by floods in the lower Yellow River, China [J]. *Hydrological Sciences Journal*, 48 (4): 553~566
- [8] Lu Jinyou. Study on laws of runoff and sediment diverted from three outfalls on the Jingjiang reach of the Yangtze River [J]. *Journal of Sediment Research*, 1996 (4): 54~61 [卢金友. 荆江三口分流泥沙变化规律研究 [J]. 泥沙研究, 1996 (4): 54~61]
- [9] Xu Jiongxin. Response of channel sediment budget to flow and sediment inputs: an example of the Yichang—Wuhan reach, Yangtze River, China [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(2): 337~348 [许炯心. 长江宜昌—武汉河段泥沙年冲淤量对水沙变化的响应 [J]. 地理学报, 2005, 60(2): 337~348]
- [10] Qian Ning, Zhang Ren, Zhouhide. River Channel Processes [M]. Beijing: Science Press, 1987. [钱宁, 张仁, 周志德. 河床演变学 [M]. 北京: 科学出版社, 1987.]

Influence of Flow and Sediment Inputs on Channel Sediment Delivery Ratio: an Example of the Yichang—Wuhan Reach, Yangtze River, China

XU Jiongxin

(Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Key Laboratory for Water Cycle and Related Land Surface Processes, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract Sediment delivery in a fluvial system can be divided into two coupled processes: the delivery on hillslopes and in river channels. The channel sediment delivery ratio (*SDR*) of the Yichang—Wuhan reach in the middle Yangtze River has been determined using the concept of sediment budget at channel—reach scale, based on which the variation in *SDR* from 1956~1997 has been studied in response to the variation in sediment load and flow inputs. The *SDR* showed an increasing overall trend, but its variation can be divided into 4 stages: (1) increased rapidly from 1955 to 1962; (2) still increased from 1963 to 1975, but the rate of increase became slower; (3) rapidly decreased from 1976 to 1979; and (4) increased rapidly from 1980 to 1997. Some indices describing flow and sediment load characteristics have been related to the *SDR*, and then a multiple regression equation has been established between *SDR* and these influencing factors. The equation based on data from the period from 1980 to 1997 indicates that *SDR* increases with the increase in the river flow at Yichang station and the decrease in the water diversion ratio from the 3 outfalls; it increases with the decrease in sediment load at Yichang station and the increase in the sediment diversion ratio from the 3 outfalls; it decreases with the increase in annual flood discharge at Yichang station.

Key words channel sediment delivery ratio; sediment budget at channel scale; flow and sediment load changes; Yangtze River