

黄河下游河道萎缩过程初步分析

陈界仁, 宫学文

(河海大学水资源环境学院, 江苏 南京 210098)

摘要 黄河下游河道萎缩与来水来沙条件具有复杂的响应关系. 根据黄河下游汛期实测水沙过程及断面形态资料, 采用河槽过水面积、来沙系数、同流量水位变化、河相系数变化描述河道萎缩过程. 结果表明 20 世纪 90 年代以来, 由于来水来沙条件的变化, 黄河下游来沙系数增大, 同流量的水位进一步抬高, 河道过水面积大大减少, 河道萎缩进一步加剧, 并且河道萎缩与来沙系数有一定的关系, 当来沙系数大于某一值后, 河道由冲刷转化为淤积, 河道过流能力下降. 随着河道的萎缩, 河床形态会有一定的调整, 二者关系密切.

关键词 黄河下游, 河道萎缩, 水沙条件, 断面形态

中图分类号: TV147 文献标识码: A 文章编号: 1000-1980(2003)05-0501-04

黄河下游河道萎缩是自然因素和人类活动共同作用的结果. 由于黄河水少沙多, 水沙异源, 水沙年际分配及年内分配极不均匀, 加上上中游水资源利用程度的提高及水利枢纽的调节作用, 下游河床淤积抬高, 河道萎缩难以避免.

黄河下游河道萎缩与来水来沙条件具有复杂的响应关系. 对于不同类型的水沙组合、不同频率的水沙过程, 其演变方向及结果是不相同的. 即在水量一定而沙量不同, 或洪水过程一定而输沙过程不同的条件下, 所形成的灾害大小及成灾机理是各不相同的. 探讨来水来沙条件下水沙共同致灾机理, 预测黄河下游洪水灾害的发生过程, 具有重要的理论价值和一定的实际意义. 本文依据黄河下游河道实测水沙资料及河道断面资料, 对河道萎缩过程进行分析.

1 河道萎缩因子的确定

河道萎缩实际上就是在一定的来水来沙条件下, 泥沙淤积, 河床抬高, 断面过流能力下降, 同时河道断面形态发生调整. 影响河道萎缩的主要因素有来水来沙条件、河道边界条件等, 因此, 选择如下几个反映河道萎缩变化的因子.

1.1 来沙系数

水沙过程的平均含沙量与平均流量之比为来沙系数, 每一场洪水的平均含沙量与平均流量的比值即为洪水的来沙系数. 来沙系数较大, 表明含沙量相对较大、水量相对较小. 因此, 该系数可反映水沙量的平均对比组合情况.

1.2 河槽过水面积变化量(ΔA)和同流量水位变化量(ΔZ)

河道冲淤使河床过水断面面积发生变化, 用洪水前后或汛前汛后平滩水位下的断面面积变化量来反映河道的冲淤变化, 断面积增大时说明河道冲刷, 河道淤积说明断面面积减小. 断面面积的大小反映了行洪能力的大小, 因此断面面积是河道萎缩的基本因子.

由于实测大断面资料较少, 不易通过断面资料反映洪水前后河床的冲淤变化, 考虑到水沙过程资料较丰富, 且同流量下的水位变化与河床冲淤变化关系密切, 故采用同流量水位变化来间接反映河槽的冲淤变化. 这样, 既能弥补实测大断面资料的不足, 也能反映水沙条件对河床冲淤调整的影响.

1.3 断面形态

冲积河流河床断面形态调整取决于河床的升降及河宽的变化. 河床横断面形态一般采用河相系数 $B^{0.5}/H$ 即河宽(B)的平方根与平均水深(H)之比来表示, 而河床断面形态的调整过程则采用下式来表达:

$$\xi' = (B^{0.5}/H)_{后} / (B^{0.5}/H)_{前}$$

式中: ξ' ——河相系数变化因子 $(B^{0.5}/H)_{后}$ ——调整后的河相系数 $(B^{0.5}/H)_{前}$ ——调整前的河相系数. 计算河相系数时, 均采用平滩水位下的河宽和平均水深.

2 河道萎缩因子的变化特性

2.1 来沙系数

通过分析黄河下游花园口、夹河滩、高村、孙口站的汛期实测水沙资料, 计算了各站的逐年汛期来沙系数. 图1给出了花园口站来沙系数年际变化情况, 表1给出了黄河下游4个站来沙系数的统计结果.

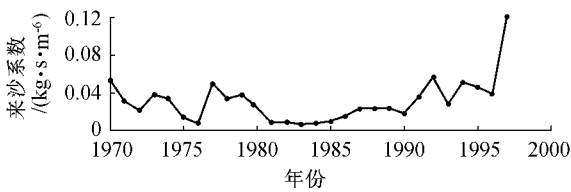


图1 花园口站汛期来沙系数变化

表1 黄河下游来沙系数统计
Table 1 Statistics of incoming sediment coefficient for lower Yellow River

起止年份	花园口	夹河滩	高村	孙口
1970 ~ 1979	0.032	0.029	0.028	0.031
1980 ~ 1989	0.015	0.014	0.014	0.014
1990 ~ 1997	0.049	0.044	0.038	0.049

Fig.1 Variation of incoming sediment coefficient at Huayuankou station during flood season

由图1和表1可知: 1970~1979年来沙系数基本处在一个高位值上, 平均值为 $0.032 \text{ kg}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-6}$, 表明该时期来水含沙量相对较大; 1980~1989年来沙系数处在低位值上, 平均值为 $0.015 \text{ kg}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-6}$, 说明该时期来沙相对较少, 水量相对较丰, 水沙条件较好; 1990~1997年, 来沙系数平均值为 $0.049 \text{ kg}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-6}$, 1997年达最大值, 表明该时期黄河下游水沙处于相对不利状态.

表1所列4个站的来沙系数, 同一时期不同测站之间差别较小, 而不同时期之间差别较大, 其中1990~1997年最大, 1970~1979年次之, 1980~1989年最小, 1990~1997年的平均值分别为1980~1989年平均值的3.35倍、3.24倍、2.77倍、3.47倍. 这说明, 1990年后黄河下游来水来沙条件发生了明显的变化, 即水量相对减少, 含沙量相对增大, 高含沙水流出现几率也相应增大. 由此可知, 不利的水沙条件加剧了黄河下游河道的淤积, 是导致黄河下游河道萎缩的主要因素.

2.2 断面面积的变化

黄河下游花园口、夹河滩、高村、孙口站汛前汛后平滩水位下河槽断面面积变化分析结果见表2. 由表2可知, 断面面积, 1980~1989年最大, 1970~1979年次之, 1990~1997年最小. 这说明: 1980~1989年黄河下游河道来水来沙条件较好, 过水断面面积较1970~1979年普遍有所增加; 1990~1997年, 不利的来水来沙条件使断面面积进一步减少, 河槽明显萎缩, 过流能力大大减小.

表2 黄河下游不同时期断面面积统计

Table 2 Statistics of sectional area of lower Yellow River for different periods

起止年份	花园口	夹河滩	高村	孙口
1970 ~ 1979	3 704	3 980	3 783	3 602
1980 ~ 1989	4 665	4 058	4 406	3 859
1990 ~ 1997	2 847	2 695	3 622	3 097

2.3 同流量水位变化与含沙量的关系

统计分析了黄河下游水文站洪水前后同流量($Q = 3\,000 \text{ m}^3/\text{s}$)水位变化与最大含沙量的关系, 结果见图2. 根据统计分析, 汛期洪水同流量下水位有升有降, 但总的来看, 同流量水位以降为主. 其中花园口站的58场洪水中, 水位下降的有41场, 平均降幅为 0.042 m ; 水位升高的有17场, 平均升幅为 0.033 m ; 最大水位降幅为 1.2 m , 最大水位升幅为 0.5 m , 均发生于1977年, 这是由于该年份汛期出现高含沙水流, 河床冲淤变化剧烈所致.

从图2可看出, 花园口站水位变化与最大含沙量之间有一定的关系: $S_{\max} < 100 \text{ kg}/\text{m}^3$ 时, 水位大多降低, 河床冲刷; $S_{\max} = 100 \sim 400 \text{ kg}/\text{m}^3$ 时, 水位大多升高, 河床淤积; $S_{\max} > 400 \text{ kg}/\text{m}^3$ 时, 水位再次降低, 河床冲刷. 由此可知, 水位变化与含沙量之间存在2个冲淤临界点^[1]. 但花园口以下的水文站, 这一双临界现象不明显, 如图2(b)所示.

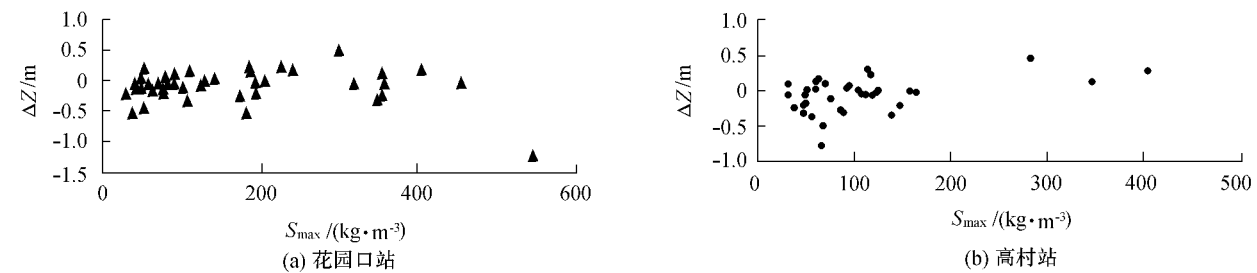


图 2 同流量水位变化与含沙量的关系

Fig.2 Variation of water level vs. sediment concentration under the same flow rate

2.4 洪水水沙频次

根据实测洪水水沙资料,以同流量水位变化反映河槽冲淤变化进行洪水水沙频次统计,并认为 $\Delta Z < -0.05\text{ m}$ 时河槽为冲刷, $-0.05\text{ m} \leq \Delta Z \leq 0.05\text{ m}$ 时河槽为冲淤平衡, $\Delta Z > 0.05\text{ m}$ 时河槽为淤积^[2]. 花园口、夹河滩、高村、艾山、孙口 5 个站洪水水沙统计结果见表 3.

表 3 不同水位变幅的洪水频率统计结果

站名	总洪水场次	$\Delta Z < -0.05\text{ m}$		$-0.05\text{ m} \leq \Delta Z \leq 0.05\text{ m}$		$\Delta Z > 0.05\text{ m}$	
		洪水场次	频率/%	洪水场次	频率/%	洪水场次	频率/%
花园口	58	31	53.4	15	25.9	12	20.7
夹河滩	46	28	60.9	14	30.4	4	8.7
高村	35	16	45.7	9	25.7	10	28.6
艾山	26	4	15.4	10	38.5	12	46.2
孙口	19	8	42.1	5	26.3	6	31.6

在汛期水沙条件下,不同河段的河床演变方向是不同的.如花园口、夹河滩站断面以冲刷为主,产生冲刷的洪水频次大于 53%,出现冲淤平衡的洪水频次为 25%~30%,产生淤积的洪水频次小于 20%.高村以下河道,产生冲刷的洪水频次不大于 45%,比花园口、夹河滩 2 个站有所减少,而产生淤积的洪水频次比这 2 个站有所增加,一般大于 30%.从 5 个站总的情况来看,汛期河床以冲刷及冲淤平衡为主的洪水频次为 76%,以淤积为主的洪水频次为 24%.这说明,在汛期洪水水沙作用下,同流量水位降低,河床产生冲刷.

3 河道萎缩过程初步分析

3.1 河道萎缩与水沙条件的关系

分析得出的断面面积变化量与汛期来沙系数的关系如图 3 所示.

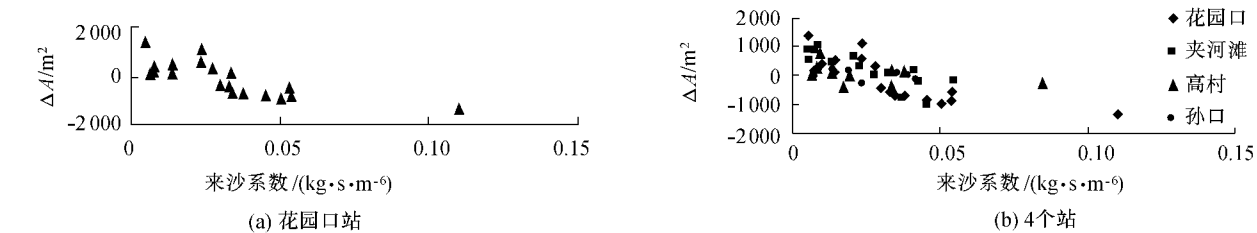


图 3 面积变化量与来沙系数的关系

Fig.3 Variation of sectional area vs. incoming sediment coefficient

从图 3(a)可看出:花园口站来沙系数小时断面面积增大,即河床产生冲刷;随着来沙系数的增大,断面面积也相应减少,即河床产生淤积.这表明,河道萎缩与来水来沙条件有较密切的关系.因此,可用来沙系数来判别河床的冲淤变化状况.当来沙系数大于 $0.028\text{ kg}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-6}$ 时,河槽会产生明显的淤积.图 3(b)所示为黄河下游 4 个站的汛前汛后面积变化与汛期平均来沙系数的关系,结果同花园口站类似,过水断面面积的变化与来沙系数有较密切的关系,即来沙系数较小时断面面积增大,随着来沙系数的增大,面积减小,河槽产生淤积.应当指出,各站的冲淤临界来沙系数是不同的.

3.2 河床形态的调整

随着断面面积的变化,河床形态会有一些的调整,因此笔者分析了黄河下游 4 个水文站断面面积变化与河相系数的关系,结果如图 4 所示.

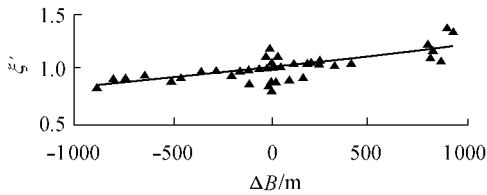


图 4 ξ' 与 ΔB 的关系
Fig.4 ξ' vs. ΔB

图 5 表明:河床淤积时相应断面的面积会减少,即断面变得宽浅,河相系数增大;河床冲刷时相应断面的面积会增大,即断面变得窄深,河相系数减小.断面面积变化量(ΔA)与河相系数(ξ')之间的关系可用下式来表示:

$$\Delta A = -4822.4 \ln \xi' - 14.372$$

从图 4 可看出,河床断面形态调整与河槽宽度变化有一定的关系.分析表明,经洪水水沙作用后,断面河相系数增大时对应的河槽宽度会增大,断面形态变得宽浅;河相系数减小时对应的河槽宽度会减小,断面变得窄深.二者之间的关系可用下式来表示:

$$\xi' = 1.0024 \exp(0.0002 \Delta B)$$

式中 ΔB 为河槽宽度变化量.由上式可知,随着主槽宽度的变化,河床形态会发生调整,即河相系数随 ΔB 的增大而增大.

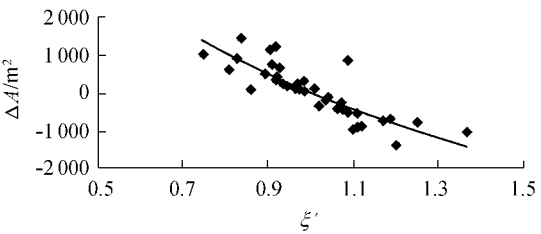


图 5 ΔA 与 ξ' 的关系
Fig.5 ΔA vs. ξ'

4 结 语

- a. 黄河下游,河道萎缩与其来沙系数有一定的相关关系,各站冲淤临界来沙系数有一定的差别,洪水期河槽以冲刷为主,河道冲淤变化会使河床形态发生相应的调整,过水面积变化与河相系数变化有较好的相关关系.
- b. 黄河下游河道萎缩与来水来沙条件的关系十分复杂,在分析河道萎缩过程时应应对河道萎缩机理、河道萎缩与水沙条件的复杂响应关系等问题进行深入研究.

参考文献:

[1] 许炯心. 宽变幅水沙两相流的冲淤双临界现象及其地貌学意义[J]. 地理学报, 2001, 56(7): 486—492.
[2] 冯相明, 许珂艳. 黄河河槽萎缩及其对洪水演进的影响[J]. 人民黄河, 1997, 19(7): 1—6.

Analysis of lower Yellow River shrinkage

CHEN Jie-ren , GUAN Xue-wen

(College of Water Resources and Environment , Hohai Univ. , Nanjing 210098 , China)

Abstract The shrinkage of the lower Yellow River has a complex relationship with the incoming water and sediment. Based on the measured data of water-sediment process and sectional form during the flood season of the lower Yellow River, the shrinkage of the river channel is analyzed according to the variation of the discharge area, incoming sediment coefficient, water level under the same flow rate, and coefficient of river facies. The results show that, since 1990, the variation of incoming water and sediment has resulted in increase of the incoming sediment coefficient, rise of water level under the same flow rate, and large decrease of the discharge area of the river channel, further accelerating the shrinkage of the river channel. It is also indicated that the shrinkage of the river channel has a certain relationship with the incoming sediment coefficient. When the incoming sediment coefficient is larger than a certain value, the deposition of the river channel will reduce its discharge capacity, and the further shrinkage of the river channel will also result in the adjustment of its bed form.

Key words lower Yellow River; river channel shrinkage; water-sediment condition; sectional form