



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109137816 A

(43)申请公布日 2019.01.04

(21)申请号 201810968900.3

(22)申请日 2018.08.23

(71)申请人 湖北省水利水电规划勘测设计院
地址 430064 湖北省武汉市武昌区梅苑路
22号

(72)发明人 由星莹 唐金武 杨云平

(74)专利代理机构 武汉开元知识产权代理有限公司 42104

代理人 黄行军

(51)Int.Cl.

E02B 1/00(2006.01)

G06F 17/50(2006.01)

权利要求书2页 说明书16页 附图9页

(54)发明名称

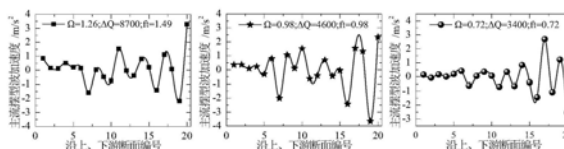
一种基于主流摆型波震荡机制的河型划分方法

(57)摘要

本发明涉及水利工程技术领域,具体地指一种基于主流摆型波震荡机制的河型划分方法。基于岩体动力传播的摆型波理论,对主流摆型波在河床介质的传播过程进行分析,获得主流摆型波传播过程中的河床动力响应模型:

$\ddot{x}(t) + \Omega \dot{x}(t) + \kappa x(t) = F(t)/M$ 根据上述响应模型绘制研究河段的主流摆型波加速度沿程变化图,依据变化图对河段进行研究分析;若变化图中进口以下沿程主流摆型波加速度均发生震荡,且震荡幅度呈由上游至下游逐渐增大的趋势,则研究河段为非阻隔性河段;反之为阻隔性河段。

本发明的河段河型划分方法简单、高效,可以针对不同河段进行快速准确的划分,便于在河段治理过程中为不同类型的河段提供理论依据,选择合适的治理方法,提高河段治理的效果。



1. 一种基于主流摆型波震荡机制的河型划分方法,其特征在于:基于岩体动力传播的摆型波理论,对主流摆型波在河床介质的传播过程进行分析;将研究河段内部的各个横断面等同于块系岩体中各个岩块、将上游河势调整后下游河段进口的主流摆动强度等同于对块系岩体的外界扰动、将研究河段内各横断面之间的河床介质对主流摆动施加的约束力等同于岩体间软弱连接介质的阻尼系数、将研究河段内因流量级变化导致水流动力轴线弯曲半径变化进而促使水体惯性能与动能之间相互转化的关系等同于岩体间软弱连接介质的弹性系数,获得主流摆型波传播过程中的河床动力响应模型:

$$\ddot{x}(t) + \Omega \dot{x}(t) + \kappa x(t) = F(t)/M$$

其中: Ω —— 各个断面的河道形态阻尼系数序列;

κ —— 主流摆型波传播过程中,反映因流量级变化导致主流摆动的流量惯性系数序列;

$F(t)$ —— 沿程各个断面的主流摆动强度, $t=0$ 时,表示初始时刻的主流摆动强度序列;

M —— 沿程各个断面的单位水体质量序列;

$x(t)$ —— 各个断面的主流摆动位移序列;

$\dot{x}(t)$ —— 各个断面的主流摆动速度序列;

$\ddot{x}(t)$ —— 各个断面的主流摆动加速度序列;

根据上述响应模型绘制研究河段的主流摆型波加速度沿程变化图,依据变化图对河段进行研究分析;

若变化图中进口以下沿程主流摆型波加速度均发生震荡,且震荡幅度呈由上游至下游逐渐增大的趋势,则研究河段为非阻隔性河段;

若变化图中进口以下主流摆型波加速度的震荡幅度呈从上游至下游逐渐衰减的趋势,则研究河段为阻隔性河段。

2. 如权利要求1所述的一种基于主流摆型波震荡机制的河型划分方法,其特征在于:所述的河道形态阻尼系数的计算方法为:

$$\Omega = \left(\frac{\log \overline{H}/\overline{D}}{\log h/d} \right) \cdot \left(\frac{\overline{H}}{h} \right)^{\frac{1}{6}} \cdot \left(\frac{h}{h_{\text{滩/槽}}} \cdot \left(\frac{R_{**}}{R_*} \right)^{0.2} \cdot \frac{l_i}{\sum l_i/n} \right)^{0.5}$$

其中: Ω_i —— 第 i 个断面对主流摆动的形态阻尼系数;

$\overline{H}_i$ —— 第 i 个断面的平均水深;

$\overline{D}_i$ —— 第 i 个断面的平均床沙中值粒径;

h_i —— 第 i 个断面主流线所在处的水深;

d_i —— 第 i 个断面主流线所在处的床沙中值粒径;

v_i —— 第 i 个断面的平均流速;

B_i —— 第 i 个断面的平滩河宽;

$h_{\text{滩/槽}}$ —— 第 i 个断面主流线所在处的边滩或深槽平均水深;

R_{**} —— 主流线的弯曲半径;

R_* —— 所在河湾的平面曲率半径。

3. 如权利要求1所述的一种基于主流摆型波震荡机制的河型划分方法,其特征在于:所述的主流摆型波传递过程中的流量惯性系数的计算方法为:

$$\kappa_i = 10^3 \cdot \frac{\Delta Q^2}{(A_i h_i)^2}$$

其中： κ_i ——反映流量级变化引起主流摆动的流量惯性系数；

ΔQ ——河段进口主流在摆动时段始、末时间点的流量的差值，忽略上、下游断面流量的传播时间，认为下游各断面的流量变化发生时间与进口处同步；

A_i ——第*i*个断面的过水面积；

h_i ——第*i*个断面的平均水深。

4. 如权利要求1所述的一种基于主流摆型波震荡机制的河型划分方法，其特征在于：所述的河段进口主流摆动强度的计算方法为：

$$F(t) = M[f(t)/m, 0, \dots, 0]^T$$

其中： $F(t)$ ——主流摆型波传播过程中，反映因流量级变化导致主流摆动的流量惯性系数序列；

M ——沿程各个断面的单位水体质量序列；

$f(t)$ ——初始时刻，河段进口处的主流摆动强度；

m ——河段进口处的单位水体质量。

5. 如权利要求4所述的一种基于主流摆型波震荡机制的河型划分方法，其特征在于：所述的 $f(t)$ 的计算方法为：

$$f(t) = m10^6 \frac{LV_0^2}{B_0^2}$$

其中： $f(t)$ ——初始时刻，河段进口处的主流摆动强度；

m ——河段进口处的单位水体质量；

L ——进口处，主流在摆动时段始、末时间点的位移相对于平滩河宽的比值；

V_0 ——进口处，主流摆动的初始速度；

B_0 ——进口处河道断面的平滩河宽。

一种基于主流摆型波震荡机制的河型划分方法

技术领域

[0001] 本发明涉及水利工程技术领域,具体地指一种基于主流摆型波震荡机制的河型划分方法。

背景技术

[0002] 河势是指河床演变过程中,水流与河床的相对态势,包括河道水流动力轴线的位置、走向以及岸线、深槽、洲滩等河床形态的分布及变化趋势。长江中下游河段河势调整往往会传播影响至下游较长河段,如19世纪中下叶,武汉河段上游白沙洲河段深泓靠右,经右岸蛇山节点挑流作用,深泓偏向武桥河段的左岸,进入下游天兴洲左汉,天兴洲左汉发展为主汉;至20世纪中叶,白沙洲河段深泓左移,经左岸龟山节点挑流作用,将深泓逼向武桥河段右侧,再进入天兴洲右汉,导致右汉发展成为主汉。在长江下游,芜裕河段陈家洲河岸的剧烈崩塌向下游传播,一直影响到南京河段八卦洲以下龙潭弯道的崩岸,影响范围长达150km,可见上游河势调整是下游河道演变的主要影响因素之一,而且这种连锁变形往往具有范围广、周期长的特点。

[0003]

[0004] 钱宁等学者认识到上游河势调整并不会一直向下游传播,他指出连续传播影响的距离,有时仅能影响到下游少数河段。长江中下游实测资料及河势演变分析成果也证实了这一点。根据历年实测资料,陆溪口水道年际变化表现为“洲头低滩切割、新中港产生→新中港发展下移→新、老中港合并→中港继续弯曲下移→新中港再次产生与发展”的周期性演变规律,自20世纪30年代以来,经历了5个演变周期:1935-1958年、1959-1970年、1971-1982年、1983-2005年、2006年至今。陆溪口水道下游的龙口水道为单一微弯河道,近几十年以来,深槽偏靠凹岸,凸岸边滩基本稳定。显然,陆溪口水道河势的周期性调整并没有传播至龙口水道。因此,明确上游河势调整是否会影响本河段河势演变;上游哪些河段的调整,会影响本河段下游多长范围内的河势演变,至关重要。这就要求明确能够阻隔上游河势调整向下游传递河段(阻隔性河段)的位置,两阻隔性河段之间的长河段,上游河势调整将向下游传递,直至本长河段尾部。从而,可以根据不同类型河段的特征提出因地制宜的河道整治方法。

[0005] 蜿蜒型河流动力演变过程研究表明,给蜿蜒型河道进口一个持续的动力干扰,是河湾形态得以不断向下游蠕动的条件。大多河湾通过不断地冲刷凹岸、淤积凸岸边滩和壮大河漫滩,逐渐加深曲折度并使河湾延长,向下游方向衍生出新的弯道,从而将进口动力干扰向下游传递,形成正弦派生曲线。Zolezzi研究表明,蜿蜒型河道是平面上具有多空间频率震荡特征的系统,采用连续小波变换方法能够将蜿蜒震荡的能量转化为较短谐波,从而将蜿蜒河段波群变形趋势与动力学中空间调整机制结合起来。

[0006] 由此可见,主流的平面摆动类似于蜿蜒波在平面上的震荡,可以基于现有蜿蜒河段波群变形特征,对主流的平面摆动进行定量化研究。目前传统的河势调控方法往往是基于实测资料,定性分析河道演变特征及规律,基于对演变趋势的预测提出控导方法,整个

过程偏于宏观。很少学者能够抓住主流摆动这一影响河势稳定的关键性要素,对不同河段的主流摆动特征进行系统归类,基于定量化程度较高的河演分析成果来提出整治措施。如果不对河段进行划分,笼统地将所有河段按照同一种整治方法进行河道调控无疑是不合理的,如何合理、科学地针对河段进行划分,并根据划分结果对河段进行治理是当前河段整治研究的重点突破方向。

发明内容

[0007] 本发明的目的就是要解决上述背景技术提到的现有技术难以精准的对河段进行划分、导致河段整治过于笼统、影响整治效果的问题,提供一种基于主流摆型波震荡机制的河型划分方法。

[0008] 本发明的技术方案为:一种基于主流摆型波震荡机制的河型划分方法,其特征在于:基于岩体动力传播的摆型波理论,对主流摆型波在河床介质的传播过程进行分析;将研究河段内部的各个横断面等同于块系岩体中各个岩块、将上游河势调整后下游河段进口的主流摆动强度等同于对块系岩体的外界扰动、将研究河段内各横断面之间的河床介质对主流摆动施加的约束力等同于岩体间软弱连接介质的阻尼系数、将研究河段内因流量级变化导致水流动力轴线弯曲半径变化进而促使水体惯性能与动能之间相互转化的关系等同于岩体间软弱连接介质的弹性系数,获得主流摆型波传播过程中的河床动力响应模型:

$$[0009] \quad \ddot{x}(t) + \Omega \dot{x}(t) + \kappa x(t) = F(t)/M$$

[0010] 其中: Ω ——各个断面的河道形态阻尼系数序列;

[0011] κ ——主流摆型波传播过程中,反映因流量级变化导致主流摆动的流量惯性系数序列;

[0012] $F(t)$ ——沿程各个断面的主流摆动强度, $t=0$ 时,表示初始时刻的主流摆动强度序列;

[0013] M ——沿程各个断面的单位水体质量序列;

[0014] $x(t)$ ——各个断面的主流摆动位移序列;

[0015] $\dot{x}(t)$ ——各个断面的主流摆动速度序列;

[0016] $\ddot{x}(t)$ ——各个断面的主流摆动加速度序列;

[0017] 根据上述响应模型绘制研究河段的主流摆型波加速度沿程变化图,依据变化图对河段进行研究分析;

[0018] 若变化图中进口以下沿程主流摆型波加速度均发生震荡,且震荡幅度呈由上游至下游逐渐增大的趋势,则研究河段为非阻隔性河段;

[0019] 若变化图中进口以下主流摆型波加速度的震荡幅度呈由上游至下游逐渐衰减的趋势,则研究河段为阻隔性河段。

[0020] 进一步的所述的河道形态阻尼系数的计算方法为:

$$[0021] \quad \Omega_i = \frac{10^4 \cdot v_i}{B_i} \left(\frac{\log \overline{H_i/D_i}}{\log h_i/d_i} \right) \cdot \left(\frac{\overline{H_i}}{h_i} \right)^{\frac{1}{6}} \cdot \left(\frac{h_i}{h_{\text{滩/槽}}} \cdot \left(\frac{R_{**}}{R_*} \right)^{0.2} \right)^{0.5}$$

[0022] 其中： Ω_i ——第*i*个断面对主流摆动的形态阻尼系数；

[0023] $\overline{H_i}$ ——第*i*个断面的平均水深 (m)；

[0024] $\overline{D_i}$ ——第*i*个断面的平均床沙中值粒径 (mm)；

[0025] h_i ——第*i*个断面主流线(水流动力轴线)所在处的水深 (m)；

[0026] d_i ——第*i*个断面主流线(水流动力轴线)所在处的床沙中值粒径 (mm)；

[0027] v_i ——第*i*个断面的平均流速 (m/s)；

[0028] B_i ——第*i*个断面的平滩河宽 (m)；

[0029] $h_{\text{滩/槽}}$ ——第*i*个断面主流线所在处的边滩或深槽平均水深 (m)；

[0030] R_{**} ——主流线(水流动力轴线)的弯曲半径 (m)；

[0031] R_* ——所在河湾的平面曲率半径 (m)。

[0032] 进一步的所述的主流摆型波传递过程中的流量惯性系数的计算方法为：

$$[0033] \quad \kappa_i = 10^3 \cdot \frac{\Delta Q^2}{(A_i h_i)^2}$$

[0034] 其中： κ_i ——反映流量级变化引起主流摆动的流量惯性系数；

[0035] ΔQ ——河段进口主流在摆动时段始、末时间点的流量的差值，忽略上、下游断面流量的传播时间，认为下游各断面的流量变化发生时间与进口处同步；

[0036] A_i ——第*i*个断面的过水面积；

[0037] h_i ——第*i*个断面的平均水深。

[0038] 进一步的所述的河段进口主流摆动强度的计算方法为：

$$[0039] \quad F(t) = M[f(t)/m, 0, \dots, 0]^T$$

[0040] 其中： $F(t)$ ——沿程各个断面的主流摆动强度， $t=0$ 时，表示初始时刻的主流摆动强度序列；

[0041] M ——沿程各个断面的单位水体质量序列；

[0042] $f(t)$ ——初始时刻，河段进口处的主流摆动强度；

[0043] m ——河段进口处的单位水体质量。

[0044] 进一步的所述的 $f(t)$ 的计算方法为：

$$[0045] \quad f(t) = m 10^6 \frac{L V_0^2}{B_0^2}$$

[0046] 其中： $f(t)$ ——初始时刻，河段进口处的主流摆动强度；

[0047] m ——河段进口处的单位水体质量；

[0048] L ——进口处，主流在摆动时段始、末时间点的位移相对于平滩河宽的比值；

[0049] V_0 ——进口处，主流摆动的初始速度；

[0050] B_0 ——进口处河道断面的平滩河宽。

[0051] 本发明的河段河型划分方法简单、高效，可以针对不同河段进行快速准确的划分，便于在河段治理过程中为不同类型的河段提供理论依据，选择合适的治理方法，提高河段治理的效果，针对于河段治理领域具有极大的推广价值。

附图说明

- [0052] 图1:河床对主流摆型波传播的动力响应模型;
- [0053] 图2:实施例1荆江河段中石首水道主流摆型波加速度沿程变化图;
- [0054] 图3:实施例1荆江河段中大马洲水道主流摆型波加速度沿程变化图;
- [0055] 图4:大马洲水道整治方案布置图;
- [0056] 图5:实施例2城陵矶-汉口河段中簪洲湾水道主流摆型波加速度沿程变化图;
- [0057] 图6:簪洲湾水道整治方案布置图;
- [0058] 图7:实施例2城陵矶-汉口河段中武桥水道主流摆型波加速度沿程变化图;
- [0059] 图8:武桥水道整治方案布置图;
- [0060] 图9:实施例3汉口-湖口河段中阳逻水道主流摆型波加速度沿程变化图;
- [0061] 图10:阳逻水道整治方案布置图;
- [0062] 图11:实施例3汉口-湖口河段中武穴水道主流摆型波加速度沿程变化图;
- [0063] 图12:武穴水道整治方案布置图;
- [0064] 图13:实施例4荆江河段中斗湖堤水道主流摆型波加速度沿程变化图;
- [0065] 图14:斗湖堤水道整治方案布置图;
- [0066] 图15:实施例4荆江河段中调关水道主流摆型波加速度沿程变化图;
- [0067] 图16:调关水道整治工程布置图;
- [0068] 图17:实施例5城陵矶-汉口河段中龙口水道主流摆型波加速度沿程变化图;
- [0069] 图18:龙口水道整治方案布置图;
- [0070] 图19:实施例6汉口-湖口河段中黄石水道主流摆型波加速度沿程变化图;
- [0071] 图20:黄石水道整治方案布置图。

具体实施方式

[0072] 下面结合附图和具体实施例对本发明作进一步的详细说明。

[0073] 基于岩体动力传播的摆型波理论可用于研究非连续自应力块系岩体的动力响应与冲击地压的关系,Aleksandrova等根据Sadovsky提出的深部岩体等级块系构造理论给出摆型波传播的动力模型,如图1所示。

[0074] 摆型波传播模型为一组非连续自应力块系岩体组成。基于此模型建立了冲击扰动在块系岩体中诱发摆型波传播时的块体动力响应公式。其中, x_i 为非连续岩体,岩块间具有软弱连接,且岩块相比于块体间的软弱连接可抽象为刚体,其质量为 m_i ,岩块间的软弱连接简化为凯尔文黏弹性体,其中,弹性系数为 k_i ,阻尼系数为 c_i ,整体块系岩体由 n 个岩块组成,外界冲击扰动为 $f(t)$ 。

[0075] 假设外界冲击扰动 $f(t)$ 满足块系岩体中摆型波传播条件,摆型波传播过程中块系岩体动力响应微分方程的矩阵形式为:

[0076]
$$M\ddot{x}(t) + C\dot{x}(t) + Kx(t) = F(t) \quad (\text{式 } 1)$$

[0077] 其中, $M = \begin{bmatrix} m_1 & & \\ & m_2 & \\ & & \ddots \\ & & & m_n \end{bmatrix}$, $C = \begin{bmatrix} c_1 & -c_1 & & \\ -c_1 & (c_1+c_2) & -c_2 & \\ & \ddots & \ddots & \\ & & -c_{i-1} & (c_{i-1}+c_i) & -c_i & \\ & & & \ddots & \ddots & \\ & & & & -c_{n-2} & (c_{n-2}+c_{n-1}) & -c_{n-1} \\ & & & & & -c_{n-1} & (c_{n-1}+c_n) \end{bmatrix}$,

$K = \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & & \\ -k_1 & (k_1+k_2) & -k_2 & \\ & \ddots & \ddots & \\ & & -k_{i-1} & (k_{i-1}+k_i) & -k_i & \\ & & & \ddots & \ddots & \\ & & & & -k_{n-2} & (k_{n-2}+k_{n-1}) & -k_{n-1} \\ & & & & & -k_{n-1} & (k_{n-1}+k_n) \end{bmatrix}$, $x = [x_1, \dots, x_n]^T$ 为块系岩体位移向量, F

(t) = [f(t), 0, ..., 0]^T 为外界扰动。为进一步分析块系岩体的动力响应, 引入恒等式:

[0078] $M\ddot{x}(t) - M\dot{x}(t) = 0$ (式2)

[0079] 将式1与式2合并得到:

[0080] $\begin{bmatrix} C & M \\ M & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \ddot{x} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K & 0 \\ 0 & -M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \dot{x} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F(t) \\ 0 \end{bmatrix}$ (式3)

[0081] 令 $y(t) = [x(t) \quad \dot{x}(t)]^T$, 于是式3可写为

[0082] $A\dot{y}(t) + By(t) = \tilde{f}(t)$ (式4)

[0083] 其中, $A = \begin{bmatrix} C & M \\ M & 0 \end{bmatrix}$, $B = \begin{bmatrix} K & 0 \\ 0 & -M \end{bmatrix}$, $\tilde{f}(t) = \begin{bmatrix} F(t) \\ 0 \end{bmatrix}$

[0084] 则在初始脉冲扰动下式4的解为

[0085] $y(t) = [x_1(t), \dots, x_n(t), \dot{x}_1(t), \dots, \dot{x}_n(t)]^T = \Phi dq_0$ (式5)

[0086] 在式5中, 矩阵 $\Phi = [\phi_1, \dots, \phi_{2n}]$ 由状态空间中 $2n$ 阶非对称实矩阵 $B^{-1}A$ 的广义特征向量 ϕ_i 所张成, 即 $B^{-1}A\phi_i = \phi_i/\lambda_i$ 。 $d = \text{diag}(e^{\lambda_1 t}, e^{\lambda_2 t}, \dots, e^{\lambda_{2n} t})$, λ_i 为对应于广义特征向量 ϕ_i 的特征值。 $q_0 = a^{-1}\Phi^T A y(0)$, $a = \Phi^T A \Phi = \text{diag}(a_1, a_2, \dots, a_{2n})$, $y(0)$ 为初始条件, 其中, $x_i(0) = 0, i = 1 \dots n, \dot{x}_i(0) = 0, i = 2 \dots n$ 。此时, 向量 $y(t)$ 的前 n 行是各岩块的位移响应, 后 n 行是各岩块的速度响应; 向量 $\dot{y}(t)$ 的前 n 行是各岩块的速度响应, 后 n 行是各岩块的加速度响应。

[0087] 摆型波的传播及衰减与岩块尺度有着密切联系, 根据等级块系岩体构造理论, 获得不同等级尺度下的岩块尺寸并计算其质量; 结合岩体间软弱连接介质的弹性系数 k 、阻尼系数 c 以及初始脉冲扰动 $f(t)$, 可计算块系岩体中各个岩块各个瞬时的位移、速度、加速度, 从而获得某个岩块加速度的时域和频域变化曲线, 以及某个瞬时沿程各个岩块的加速度值域变化曲线。

[0088] 根据上述分析, 将上述模型应用于主流摆型波在河床介质的传播过程中。将块系岩体中各个岩块抽象为研究河段内部的各个断面, 外界扰动相当于上游河势调整后下游河段进口的主流摆动强度; 阻尼系数相当于各断面之间的河床介质对主流摆动施加的约束力; 弹性系数原指块体间的软弱连接受到外界扰动后, 恢复原长时固有的劲度系数, 当外界扰动施加于块系岩体时, 夹层介质将岩块动能以弹性势能形式贮藏起来, 待停止扰动

后再转为动能,这与流量级变化导致水流动力轴线弯曲半径变化,进而促使水体惯性能与动能之间相互转化的过程类似。

[0089] 以500m为间距提取断面,考虑到长江中下游单一河段长度在8~15km之间,平均每个研究河段选取20个典型断面进行研究。进口主流摆动距离L为考虑上游河势调整及节点挑流作用影响下的两个水文测次之间的实测深泓线间距。取主流区域内单宽水体作为研究对象,根据长期积累的河道演变及实测水文地形资料,计算各断面的形态阻尼系数 Ω_i ,以及流量级变化引起水流动力轴线摆动的惯性系数 κ_i ,将为式1等号两边同时除以单位水体质量M,得到主流摆型波传播过程中的河床动力响应模型,如式6所示。

$$[0090] \quad \ddot{x}(t) + \Omega \dot{x}(t) + \kappa x(t) = F(t)/M \quad (\text{式 } 6)$$

[0091] 其中: Ω ——各个断面的河道形态阻尼系数序列;

[0092] κ ——主流摆型波传播过程中,反映因流量级变化导致主流摆动的流量惯性系数序列;

[0093] $F(t)$ ——沿程各个断面的主流摆动强度, $t=0$ 时,表示初始时刻的主流摆动强度序列;

[0094] M ——沿程各个断面的单位水体质量序列;

[0095] $x(t)$ ——各个断面的主流摆动位移序列;

[0096] $\dot{x}(t)$ ——各个断面的主流摆动速度序列;

[0097] $\ddot{x}(t)$ ——各个断面的主流摆动加速度序列;

[0098] 式中, $\Omega = C/M$, $\kappa = K/M$ 。采用Matlab软件进行矩阵计算,从而获得研究河段中在某种进口主流摆动强度下,沿程各断面加速度的瞬时值域曲线。根据影响断面流速分布的糙率条件、水深条件、比降条件,可将上述影响因素分为平面、横断面、纵剖面等三大类,通过阻力公式来反应河道形态对主流摆动的影响,具体表示为:

$$[0099] \quad \Omega = \left(\frac{\log \bar{H}/\bar{D}}{\log h/d} \right) \cdot \left(\frac{\bar{H}}{h} \right)^{\frac{1}{6}} \cdot \left(\frac{h}{h_{\text{滩/槽}}} \cdot \left(\frac{R_{**}}{R_*} \right)^{0.2} \cdot \frac{l_i}{\sum l_i/n} \right)^{0.5} \quad (\text{式 } 7)$$

[0100] 本发明研究河段为可能具有阻隔性的单一河道,因此不考虑分汉系数的影响。为使河道形态阻尼系数量纲与C/M的量纲保持一致,在式1基础上加入断面流速、断面宽度项。同流量下过水面积、过水宽度越大,说明河道越为宽浅,断面形态对主流摆动的约束力越小;断面平均流速越小,主流区水体初始摆动动量越小,流量变化后主流区水体受摆动惯性力的影响越为显著,而形态阻尼系数的影响越为不明显。因此,河道形态阻尼系数可化简为:

$$[0101] \quad \Omega_i = \frac{10^4 \cdot v_i}{B_i} \left(\frac{\log \bar{H}_i/\bar{D}_i}{\log h_i/d_i} \right) \cdot \left(\frac{\bar{H}_i}{h_i} \right)^{\frac{1}{6}} \cdot \left(\frac{h_i}{h_{\text{滩/槽}}} \cdot \left(\frac{R_{**}}{R_*} \right)^{0.2} \right)^{0.5} \quad (\text{式 } 8)$$

[0102] 其中: Ω_i ——第i个断面对主流摆动的形态阻尼系数;

[0103] $\bar{H}_i$ ——第i个断面的平均水深(m);

[0104] $\bar{D}_i$ ——第i个断面的平均床沙中值粒径(mm);

[0105] h_i ——第i个断面主流线(水流动力轴线)所在处的水深(m);

- [0106] d_i ——第*i*个断面主流线(水流动力轴线)所在处的床沙中值粒径 (mm);
- [0107] v_i ——第*i*个断面的平均流速 (m/s);
- [0108] B_i ——第*i*个断面的平滩河宽 (m);
- [0109] $h_{\text{滩/槽}}$ ——第*i*个断面主流线所在处的边滩或深槽平均水深 (m);
- [0110] R^{**} ——主流线(水流动力轴线)的弯曲半径 (m);
- [0111] R^* ——所在河湾的平面曲率半径 (m)。
- [0112] 式中, Ω_i 的单位为 1/s, 式 4.4.1 中阻尼系数 C 的单位为 N/(m/s), Ω_i 与 C/M 的单位保持一致, 使式 6 保持量纲和谐。

[0113] 如前所述, 流量级变化将改变水流动力轴线弯曲半径的大小, 进而影响主流摆动, 这与块系岩体间夹层介质的弹性变形类似。对于上游河势而言, 流量变幅较大的汛前汛后时期, 主流位于边滩侧; 流量变幅较小的中枯水时期, 主流位于深槽侧。上游河势调整的影响较水沙条件的影响具有一定滞后性。对于前者而言, 上游河势促使下游进口主流维持在边滩侧, 主流由枯水河槽漫向河漫滩, 摆动幅度较大, 此时若处于汛前涨水期, 流量级增加导致水流动力轴线弯曲半径增大, 流量惯性力与主流摆动方向相同, 惯性势能转为水体动能而加速主流摆动; 若处于汛后落水期, 流量级减小导致水流动力轴线弯曲半径减小, 流量惯性力与主流摆动方向相反, 使主流区水体产生摆回深槽的趋势, 摆动速度减缓而转化为惯性势能贮藏。对于后者而言, 上游河势调整有利于下游主流由河漫滩摆向枯水河槽, 通常摆动幅度较小, 若处于中水向枯水的过渡时期, 流量级减小导致水流动力轴线弯曲半径减小, 流量惯性力与主流摆动方向相同, 将促进主流归槽, 惯性势能释放为主流区水体动能; 若处于枯水向中水的过渡时期, 流量级增大导致水流动力轴线弯曲半径增大, 流量惯性力与主流摆动方向相反, 使主流区水体产生摆离深槽的趋势, 水体动能再度转化为惯性势能贮藏。

[0114] 根据上述分析, 在流量惯性力方向与主流摆动方向相同的汛前涨水期、中水→枯水过渡期, 主流区水体惯性势能转化为动能, 增大了主流摆型波加速度的震荡幅度, 但相应的主流摆动幅度分别为较大、较小; 在流量惯性力方向与主流摆动方向相反的汛后落水期、枯水→中水过渡期, 主流区水体动能转化为惯性势能, 减小了主流摆型波加速度的震荡幅度, 但相应的主流摆动幅度分别为较大、较小。可见, 汛前涨水期及汛后落水期的流量变幅绝对值明显大于中水→枯水和枯水→中水过渡期, 相应地, 前两者主流摆动幅度也大于后两者, 因此主流摆动幅度与流量变幅的绝对值呈正比关系, 但同一流量变幅条件下, 主流摆型波加速度的震荡幅度可能增加也可能减小。

[0115] 此外, 流量惯性系数还与过水断面面积呈反比, 过水面积越大、水深越大, 相同流量变化幅度下水位升降幅度越小, 主流摆动范围缩减, 主流摆动对流量变化的敏感性降低。式 1 中的弹性系数 k_i 可转换为主流摆型波传递过程中的流量惯性系数 κ_i :

$$[0116] \quad \kappa_i = 10^3 \cdot \frac{\Delta Q^2}{(A_i h_i)^2} \quad (\text{式 } 9)$$

[0117] 其中: κ_i ——反映流量级变化引起主流摆动的流量惯性系数;

[0118] ΔQ ——河段进口主流在摆动时段始、末时间点的流量的差值, 忽略上、下游断面流量的传播时间, 认为下游各断面的流量变化发生时间与进口处同步;

[0119] A_i ——第*i*个断面的过水面积;

[0120] h_i ——第*i*个断面的平均水深。

[0121] 式中, κ_i 的单位为 $1/s^2$, 带入式9可保持量纲和谐。再者, 在式1中, $f(t)$ 表示岩石块系受到的外界冲击扰动强度, 在式6中可概化为河段进口主流摆动强度。为使式10量纲和谐, 该强度可表示为:

$$[0122] \quad f(t) = m10^6 \frac{LV_0^2}{B_0^2} \quad (\text{式 } 10)$$

[0123] 其中: $f(t)$ ——初始时间点, 河段进口处的主流摆动强度;

[0124] m ——河段进口处的单位水体质量;

[0125] L ——进口处, 主流在摆动时段始、末时间点的位移相对于平滩河宽的 比值;

[0126] V_0 ——进口处, 主流摆动的初始速度;

[0127] B_0 ——进口处河道断面的平滩河宽。

[0128] 式中, 进口主流摆动位移相对于平滩河宽越大, 扰动强度越大; 进口主流初始摆动速度越快, 摆动功率越大, 使进口主流摆动向下游传递的时间越短、频率 越高。 $f(t)/m$ 的单位为 m/s^2 , 带入式10可保持量纲和谐, 此时 $F(t)/M = [f(t)/m, 0, \dots, 0]^T = [ft, 0, \dots, 0]^T$ 。

[0129] 值得指出的是, 本节侧重研究于进口主流摆动发生后, 下游沿程各断面对进口主流摆型波的传播或衰减效应, 而并非侧重于某个断面在该进口扰动条件下主流摆动特征值的时域或频域变化曲线。同时, 考虑到主流摆型波的加速度能够反映主流摆动力的大小, 进而决定了摆型波继续向下游传递的可能性及摆动能量的 强弱, 因而选取摆型波加速度作为考量对象。综上所述, 通过摆型波加速度可以对研究河段进行分类划分。

[0130] 实施例1: 选取荆江河段中监利水道和大马洲水道作为研究河段, 取4个典型的实际深泓摆动测次, 统计分析各测次之间的实测摆动距离, 以及形态阻尼系数、流量惯性系数、及初始摆动速度, 计算并绘制主流摆型波加速度的沿程震荡 曲线, 如图2和3所示。

[0131] 如图2所示, 为监利水道主流摆型波加速度的沿程变化情况。通常一个水文 年内汛前涨水期和汛后落水期的流量变化幅度最大, $\Delta Q = 8700 m^3/s$ 时进口主流 摆动幅度、流量惯性系数最大、河床形态变化最为剧烈, 受河道剧烈冲淤影响, 河道形态阻尼系数也相对较大。如图2所示, 在进口主流摆型波初始冲击扰动下, 下游沿程断面主流摆型波的加速度均发生震荡, 且震荡幅度呈由上游至下游逐渐 增大的趋势, 说明进口主流摆动较强烈地影响到河段中下部, 使下游断面的主流 带摆型波产生较大的加速度及摆动力, 从而引发下游断面主流剧烈摆动, 为非阻隔型河段。在流量变化幅度减弱的中、枯水期, 进口主流摆动幅度、惯性系数、阻尼系数均进一步减小, 主流摆型波向下游传递的过程中, 同一断面摆型波加速度的震荡幅度继续减小, 且震荡减弱的断面位置逐渐提前, 如图所示, 当 $\Delta Q = 4600 m^3/s$ 时, 加速度的最大震荡强度为 $3.66 m/s^2$; 当 $\Delta Q = 3400 m^3/s$ 时, 加速度的最大震荡强度为 $2.69 m/s^2$, 且5#-15#断面的震荡幅度已大幅度减弱。

[0132] 如图3所示, 为大马洲水道主流摆型波加速度的沿程变化情况。整体来看, 进口初始冲击扰动强度随着流量变化幅度的增加而增大, 进口以下主流摆型波加速度的震荡幅度呈从上游至下游沿程增大的趋势。当 $\Delta Q = 12800 m^3/s$ 时, 进口主流摆动幅度、流量惯性系数、河道形态阻尼系数均较大, 下游断面的主流摆型波加速度的最大震荡强度达 $6.23 m/s^2$; 随着流量变幅减小, 进口主流摆动幅度、惯性系数、阻尼系数均进一步减小, 主流摆型波加速度的震荡幅度也相应减小, 当 $\Delta Q = 8060 m^3/s$ 时, 加速度的最大震荡强度 $5.62 m/s^2$;

当 $\Delta Q=3860\text{m}^3/\text{s}$ 时,加速度的最大震荡强度为 $3.38\text{m}/\text{s}^2$ 。

[0133] 从大马洲水道主流摆型波加速度的沿程变化情况来看,进口初始冲击扰动强度随着流量变化幅度的增加而增大,进口以下主流摆型波加速度的震荡幅度呈从上游至下游沿程增大的趋势,且当进口扰动减小后,主流摆型波的最大振幅仍未显著减小。整体来看,由于大马洲水道宽度较大、河岸抗冲能力不强,河床床沙质颗粒较细、流动性较大,导致其河道形态阻尼系数较小;另外,在监利水道与 大马洲水道交接处存在太和矶节点挑流,加之丙寅洲及大马洲边滩等均属于大范围的低矮边滩,水流在低滩带滞留时间过长,发生摆动的流量级差过大,因此流量惯性系数不会很小。

[0134] 当上游监利水道河势调整后,大马洲水道进口太和矶挑流作用使不同流量级下主流平面位置发散,中枯水流量下主流进入大马洲水道,从太和岭逐渐过渡至右岸,沿右岸深槽下行,至丙寅洲边滩中下段又逐渐向左岸过渡,过天字一号弯道以后主流复回归右岸侧。中洪水期,上游监利河段出口主流偏离乌龟洲右缘,对太和岭矾头顶冲作用减弱,大马洲水道上段主流偏左;受矾头挑流作用,加之大面积的低矮洲滩为主流摆动提供了形态阻力较小的充足空间,使大马洲水道主流摆型波加速度在向下游传播过程中震荡幅度逐渐增大。

[0135] 该河段的整治思路在于,如图4所示,一方面需要采取工程措施增大河道形态阻尼系数,包括新河口边滩护滩带、丙寅洲洲体护滩带、大马洲一带的护岸工程等;另一方面,由于主流摆动范围大,相应的流量区间较长,级差变化较大,且太和矶矾头的挑流作用进一步导致不同流量下主流流路的发散,因此削弱太和矶矾头的挑流作用,是减小流量惯性系数的有效方式之一。该河段的具体整治措施包括:在新河口边滩头部布置6道护滩带,主要起到稳定新河口边滩的作用;对乌龟洲已护岸线进行加固;对右岸丙寅洲采用护坎工程守护;对大马洲水道左岸进口段已护岸段进行加固;对左岸沙家边至窑湾段岸坡进行守护。

[0136] 实施例2:选取城陵矶-武汉河段中簪洲湾水道和武桥水道作为研究河段,取4个典型的实际深泓摆动测次,统计分析各测次之间的实测摆动距离,以及形态阻尼系数、流量惯性系数、及初始摆动速度,计算并绘制主流摆型波加速度的沿程震荡曲线,如图5和7所示。

[0137] 图5为簪洲湾水道主流摆型波加速度的沿程变化情况。整体来看,进口主流扰动强度随着流量变化幅度的增加而增大。当 $\Delta Q=16400\text{m}^3/\text{s}$ 时,沿程各断面主流摆型波均发生震荡,且由上游至下游有增大的趋势,为非阻隔型河段,且最大震荡强度为 $7.27\text{m}/\text{s}^2$ 。当 $\Delta Q=7300\text{m}^3/\text{s}$ 时,主流摆型波加速度的震荡程度有所减弱,仅在6#、15#断面有显著震荡,最大震荡强度为 $3.58\text{m}/\text{s}^2$ 。当 $\Delta Q=3320\text{m}^3/\text{s}$ 时,处于枯水→中水过渡期,此时主流尚未摆离深槽,但流量增大产生了使主流摆离深槽的惯性力,惯性力方向与主流摆动方向相反;加之主流归槽后,连续弯曲河槽的形态阻尼作用明显增大,导致摆型波加速度震荡幅度显著减小,最大震荡强度近为 $2.03\text{m}/\text{s}^2$,且位于河段进口附近,说明该河段在主流归槽后具有一定约束主流摆动的能力,针对性地采取整治措施后有望由非阻隔性转变为阻隔性河段。

[0138] 从簪洲湾水道主流摆型波加速度的沿程变化情况来看,进口主流扰动强度随着流量变化幅度的增加而增大。簪洲湾水道主流摆型波加速度的震荡强度沿程呈发散趋势,

这种现象的主要原因在于,簪洲湾水道两岸堤距较宽,为主流提供了较大的摆动空间,使其洪水期与中枯水期主流流路区别较大;中枯水期主流能够集中在蜿蜒的枯水河槽内下移,主要依赖于两岸抗冲性较强的天然岸坡或护岸工程等对枯水河槽的塑造作用;边滩淤积物质通常颗粒粒径较小,抗冲能力相对较弱,使其河道形态阻尼系数较小。由于簪洲湾水道土地洲、团洲等洲缘的高程相对较低矮,范围较广,导致水流漫滩时间较长,相应流量惯性系数并不小,不利于约束主流摆动。在退水期,主流尚未归槽,随着流量锐减,水流动力轴线弯曲半径迅速变小,此时惯性力与主流摆动力方向相反,且连续弯曲的枯水河槽对主流摆动产生较大阻力,有利于限制主流摆动。这也说明针对性地采取整治措施后,簪洲湾水道有望由非阻隔性转变为阻隔性。

[0139] 因此该水道整治思路在于,如图6所示,约束主流进入枯水河槽,保持平顺、稳定岸线,缩小不同流量级下的主流摆动幅度,避免崩岸发生后,河道展宽、滩体散乱,为主流摆动提供空间。具体整治方案布置方案如下:一是守护现状相对稳定河势,加强岸线守护,防止崩岸发展,塑造窄深型断面以约束主流摆动,同时减轻弯道凸岸侧滩体的淤长下移趋势,抑制弯顶进一步弯曲,避免向畸湾方向发展;二是加强簪洲湾尾部纱帽山和赤矶山对峙节点对河势的控制作用,同时避免在河段内部产生新的挑流节点,因此主要采用平顺型护岸型式,对包括肖潘、虾子沟、刘家堤、胡家湾~新沟、复元洲~黑埠段、邓家口、通津、簪洲镇、沙堡~赤矶山段等险段进行守护。

[0140] 如图7所示,为武桥水道主流摆型波加速度的沿程变化情况。整体来看,进口以下主流摆型波加速度的震荡幅度呈从上游至下游呈沿程增大的趋势,为非阻隔型河段。当 $\Delta Q=34400\text{m}^3/\text{s}$ 时,沿程各断面主流摆型波的震荡幅度均较大,最大震荡强度为 $11.06\text{m}/\text{s}^2$ 。 $\Delta Q=18000\text{m}^3/\text{s}$ 处于汛后落水阶段,主流位于深槽与潜洲、汉阳边滩等低滩带的交接处,河道形态阻尼系数高达 $5.79/\text{s}$;流量减小使主流产生摆回深槽的惯性力,由于阻力作用主流尚且维持在边滩,使得惯性力方向与实际摆动方向相反,形态阻力大于惯性力,进口摆动强度也较弱,此时主流摆型波加速度的最大震荡强度仅为 $6.04\text{m}/\text{s}^2$;随着流量变幅及阻力作用进一步减小,当 $\Delta Q=9326\text{m}^3/\text{s}$ 时,加速度的最大震荡强度仅为 $3.57\text{m}/\text{s}^2$ 。

[0141] 从武桥水道主流摆型波加速度的沿程变化情况来看,进口以下主流摆型波加速度的震荡幅度呈从上游至下游沿程增大的趋势。由于武桥水道相对较宽阔,河岸抗冲能力较差,主流摆动空间较大,而水道内分布的白沙洲、潜洲、汉阳边滩、荒五里边滩等洲滩高程较为低矮,而中低滩带也是枯水期主槽边界的组成部分,综合来看河道形态阻尼系数适中。水道进口存在龟山、蛇山对峙节点,不同流量级下两节点交替发挥挑流作用,致使主流摆动持续时间较长,流量惯性系数较大。

[0142] 因此,如图8所示,河道整治思路应从进一步增大河道形态阻尼系数、减小流量惯性系数两方面展开。具体整治方案布置情况如下:控制长顺坝尾部左挑角度,将顺坝尾部调整为折线,进一步增强顺坝向左导流作用;依靠潜洲和长顺坝的挤压顺导作用,使潜洲左汉的水流集中,控制潜洲尾的斜向水流,导引水流冲刷汉阳边滩,制约汉阳边滩的淤积,加大汉阳边滩退水期冲刷力度。同时为保持潜洲的高大完整,确保长顺坝的稳定,加强对潜洲左汉守护,在长顺坝左侧中下段布置4道鱼骨坝;平面布置以滩型较好年份的潜洲4m等深线为基准,达到守护左汉和加强尾部挑流冲刷汉阳边滩突嘴的目的。

[0143] 实施例3:选取武汉-湖口河段中阳逻水道和武穴水道作为研究河段,取4个典型

的实际深泓摆动测次,统计分析各测次之间的实测摆动距离,以及形态阻尼系数、流量惯性系数、及初始摆动速度,计算并绘制主流摆型波加速度的沿程震荡曲线,如图9和11所示。

[0144] 如图9所示,为阳逻水道主流摆型波加速度的沿程变化情况。整体来看,进口冲击扰动强度随流量的增加而增大。当 $\Delta Q=39000\text{m}^3/\text{s}$ 时,在河段中下部主流摆型波加速度的震荡幅度较大,由上游至下游有增大的趋势,为非阻隔型河段,最大震荡强度为 $12.37\text{m}/\text{s}^2$ 。随着流量变幅及进口扰动减小,当 $\Delta Q=20500\text{m}^3/\text{s}$ 时,处于主流漫滩阶段,流量增加产生的惯性力方向与实际摆动方向相同,且主流漫滩后摆动空间骤然增大,河道形态阻力相应减小,使得惯性力明显大于形态阻力,最大震荡强度为 $3.68\text{m}/\text{s}^2$;当 $\Delta Q=8690\text{m}^3/\text{s}$,主流逐渐从高滩回落至窄深河槽,受较强的边界约束力制约,主流摆型波加速度的震荡强度也相应减小,最大震荡强度仅为 $3.52\text{m}/\text{s}^2$,且仅发生于河段进口附近,下游主流几乎不发生摆动,说明该河段在主流归槽后,边界条件约束主流摆动的能力更强,针对性地采取整治措施后可由非阻隔性河段转变为阻隔性河段。

[0145] 从阳逻水道主流摆型波加速度的沿程变化情况来看,其进口冲击扰动强度随流量的增加而增大,进口以下主流摆型波加速度的震荡幅度呈从上游至下游沿程增大的趋势。阳逻水道河道形态阻尼系数较大,由于其弯道凸岸边滩高程较高,主流漫滩临界流量相对较大。在小水→中高水的过渡期时,主流较难漫上高滩,流量增加产生的惯性力与实际摆动方向相反,能够体现枯水河槽边界对水流的制约作用。中高水→小水的过渡期时,主流逐渐从高滩回落至窄深河槽,受较强主槽边界约束力影响,流量减小产生的惯性力与实际摆动方向相同,但需加强枯水河槽岸坡防护工程,以防止流量惯性系数过大,破坏护岸而引发主流大幅度摆动。总之,采取针对性的整治措施后可由非阻隔性河段转变为阻隔性河段。

[0146] 因此,如图10所示,阳逻水道的整治思路为,依托目前相对稳定的河势条件,采用平顺护岸工程,削弱阳逻矶头的挑流作用;同时加强对青山高滩带以及凹岸岸线守护,防止不利年份水流冲刷导致滩体散乱、主流摆动空间加大,而不利于归顺不同流量级下的主流平面位置。具体整治方案为:在阳逻一带布置平顺护岸,减弱阳逻矶头挑流作用;在窑头、水口一带加强岸线守护,防止主流顶冲弯道凹岸引起岸线的剧烈崩退,进而引发主流大幅度摆动以及河势的剧烈调整。

[0147] 如图11所示,为武穴水道主流摆型波加速度的沿程变化情况,主流摆型波加速度的震荡幅度均呈由上游至下游逐渐增大的趋势,为非阻隔型河段。当 $\Delta Q=20900\text{m}^3/\text{s}$ 时,由于武穴水道为宽浅的“U”型断面,洪水条件下滩槽高差较小、床沙粒径分布相对均匀,使得主流漫滩所受的形态阻尼系数较小,沿程主流摆型波加速度的震荡幅度均较大,最大震荡强度为 $17.95\text{m}/\text{s}^2$ 。随着流量变幅减小,水位逐渐回落,导致滩槽高差相对于水深逐渐增大,河床阻力逐渐增加,摆型波加速度的震荡幅度相应减小,当 $\Delta Q=12100\text{m}^3/\text{s}$ 时,最大震荡强度为 $17.60\text{m}/\text{s}^2$;当 $\Delta Q=3900\text{m}^3/\text{s}$ 时,最大震荡强度为 $2.11\text{m}/\text{s}^2$,且发生于河段出口与下游龙坪河段相衔接的放宽段。

[0148] 因此,如图12所示,武穴水道的治理思路为,采用低水整治建筑物,以稳定鸭儿洲心滩滩体,减少漫滩水流,增加南槽进口槽内流量、流速,减少中洪水淤积,促进退水冲刷。整治建筑物的主体部分布置在鸭儿洲心滩滩脊上,从而合理调整南、北两槽分流比。武穴

水道具体整治措施包括,北槽中下段#1~#3实施三道护底带,使北槽始终保持较小的过水面积,控制北槽中下段的冲刷发展,使南、北槽分流比保持稳定;在鸭儿洲心滩的高滩部分布置护滩带,防止其冲刷下降,避免漫滩水流增加;在鸭儿洲心滩的中低滩部份布置顺坝,拦截横向漫滩水流,使水流集中于南槽进口,加大南槽浅区冲刷速度。

[0149] 实施例4:选取荆江河段中斗湖堤水道和调关水道作为研究河段,取4个典型的实际深泓摆动测次,统计分析各测次之间的实测摆动距离,以及形态阻尼系数、流量惯性系数、初始摆动速度,计算并绘制主流摆型波加速度的沿程震荡曲线,如图13和15所示。

[0150] 如图13所示,为斗湖堤水道主流摆型波加速度的沿程变化情况。如图所示,无论进口主流摆型波初始冲击扰动强度如何,下游断面主流摆型波加速度的震荡幅度呈从上游至下游逐渐衰减的趋势,为阻隔型河段,且一定初始条件下主流摆型波在传播过程中将发生停滞,根据初始冲击的强弱不同,下游摆型波加速度停止震荡的断面位置存在差异。这说明进口主流摆型波的扰动小于一定幅度时,可能无法影响至河段的中下部,导致下游断面的主流摆型波加速度逐渐趋于0,从而阻止了上游主流摆动向下游的传播效应。当 $\Delta Q = 7890\text{m}^3/\text{s}$ 时,进口扰动及形态阻尼系数均较大,加速度的最大震荡强度仅为 $2.89\text{m}/\text{s}^2$,在18#断面附近基本停滞震荡。随着流量变幅逐渐减小、进口扰动减轻,加速度的最大震荡强度也减小为 $2.32\text{m}/\text{s}^2$ 和 $2.26\text{m}/\text{s}^2$,且在6#断面就基本停滞震荡,这说明随着进口扰动减轻,下游断面主流摆型波的加速度的震荡强度将明显降低,且这种震荡现象在摆型波向下游传播的过程中将更快地衰减至消亡。

[0151] 从斗湖堤水道主流摆型波加速度的沿程变化情况来看,无论进口主流摆型波初始冲击扰动强度如何,下游断面主流摆型波加速度的震荡幅度呈从上游至下游逐渐衰减的趋势,且一定初始条件下主流摆型波在传播过程中将发生停滞,当进口扰动较弱时停滞震荡的位置距离进口较近。这说明斗湖堤弯道凸岸青安二圣洲洲体高程较高,两岸均实施了护岸工程,塑造出相对窄深的中枯水河槽,成为较大的形态阻尼系数。

[0152] 这类河段的整治思路在于,一方面抓住有利河势,维持较大的形态阻尼系数,另一方面降低其流量惯性系数对主流摆动的促进作用。在中水→枯水过渡期,青安二圣洲等高滩塑造出优良的枯水河槽边界,有利于水流动力轴线回归主槽,此时主流摆动方向与惯性力方向一致,惯性力将强化主流摆动;此时若高滩边缘被水流冲刷出现窜沟或者中、低滩交接带后,主流上滩时间变长,冲刷作用时间延长,势必增大滩体崩塌或切割的可能性。在枯水→中水过渡期,水流较难漫上高滩,主流摆动方向与惯性力方向相反,惯性力将不利于主流摆动。因此斗湖堤水道的主要治理思路在于,通过守护高滩边缘完整性,避免主流长期作用于高、低滩交接带导致滩体冲刷切割;通过加强岸坡防护工程,塑造完整的枯水河槽边界,避免在同向流量惯性力作用下,主流冲刷滩缘及岸线强度过大,而导致滩缘或河岸崩塌,枯水河槽边界造成破坏,从而丧失对主流摆动的约束能力,导致主流线大幅度摆动。

[0153] 具体整治方案布置情况如下:如图14所示,通过高滩滩缘守护工程,加强对凸岸高滩青安二圣洲上中部洲缘的守护,避免主流长期冲刷作用导致洲面出现窜沟或倒套,引起洲缘大幅度冲刷崩退,增大主流摆动空间;同时,采用平顺护岸工程,避免出现西湖庙附近矾头挑流导致不同流量级主流大幅度摆动,避免高滩被冲刷切割为低矮边心滩,延长主流漫滩时间、增大流量惯性系数,进而对河势稳定不利。

[0154] 如图15所示,为调关水道主流摆型波加速度的沿程变化情况。如图所示,无论进口主流摆型波初始冲击扰动强度如何,下游沿程断面主流摆型波加速度的 震荡幅度呈从上游至下游逐渐衰减的趋势,为阻隔型河段,且一定初始条件下主流摆型波在向下游传播过程中发生停滞,从而不继续向下游传递。当 $\Delta Q=5700\text{m}^3/\text{s}$ 时,进口扰动强度、流量惯性系数较大,主流摆型波加速度的最大 震荡强度为 $3.11\text{m}/\text{s}^2$ 。随着流量变幅减小、进口扰动减轻,加速度的震荡强度逐渐减小。当 $\Delta Q=2874\text{m}^3/\text{s}$ 时,由于主流处于滩槽交接部位,水深变幅较大,形态阻尼系数也较大,最大震荡强度减小为 $2.36\text{m}/\text{s}^2$;当 $\Delta Q=1466\text{m}^3/\text{s}$ 时,最大震荡强度仅为 $2.24\text{m}/\text{s}^2$,且在5#断面就基本停滞震荡,这说明水流归槽后河道形态阻力进一步增大,进口较小的初始扰动将无法影响至阻隔性河段的中下部,主流摆型波加速度逐渐趋于0,从而阻止了上游主流摆动向下游的传播效应。

[0155] 从调关水道主流摆型波加速度的沿程变化情况来看,无论进口主流摆型波初始冲击扰动强度如何,下游沿程断面主流摆型波加速度的震荡幅度呈从上游至下游逐渐衰减的趋势,当进口扰动较小时,主流摆型波在距离进口较近的河床部位即发生停滞。由于调关水道河宽较窄,对主流摆动具有较强的控制作用,不同流量级下主流平面位置基本一致,河道形态阻尼系数适中;因其主流较难发生大幅度摆动,主流摆动对应的流量区间范围相对较小,因此流量惯性系数也较小。这类河段的整治思路着重在于加大河道形态阻尼系数。

[0156] 针对调关水道出现的凸岸边滩冲刷降低、凹岸侧浅滩淤展或有倒套,主流向凸岸侧摆动可能发生撇弯切滩等问题,其整治工程思路为:充分依托左、右岸稳定的岸线以及较有利的滩槽形态,依托已存在的高大洲滩,以控导守护为主,维持现有稳定弯道的滩槽形态。防止凸岸侧上游段岸滩持续冲刷,造成过渡段崩岸以及主流进一步分散,同时防止大水切割凸岸边滩形成多槽分流的不利局面,实现上、下游深槽的平顺过渡。

[0157] 具体整治方案布置为:如图16所示,对凸岸边滩滩缘进行守护,减轻凸岸侧滩持续冲刷后退以及尾部出现倒套对水流集中的不利作用;对凹岸侧岸线或滩体进行防护,防止凹岸侧边滩淤展下移过程中,冲刷出倒套甚至形成心滩,增大河床形态阻尼系数,强化其对主流摆动的约束作用。采用平顺护岸措施,削弱调关矶挑流作用。

[0158] 实施例5:选取城陵矶-武汉河段中龙口水道作为研究河段,取4个典型的实际深泓摆动测次,统计分析各测次之间的实测摆动距离,以及形态阻尼系数、流量惯性系数、及初始摆动速度,计算并绘制主流摆型波加速度的沿程震荡曲线,如图17所示。

[0159] 如图17所示,为龙口水道主流摆型波加速度的沿程变化情况。如图所示,进口以下沿程断面主流摆型波加速度的震荡幅度呈从上游至下游逐渐衰减的趋势,为阻隔型河段,且主流摆型波在传播过程中均发生停滞。当 $\Delta Q=5200\text{m}^3/\text{s}$ 时,进口扰动强度、流量惯性系数及形态阻尼系数均较大,主流摆型波加速度的最大震荡强度为 $9.53\text{m}/\text{s}^2$,在#10断面附近加速度停止震荡;随着流量变幅减小、进口扰动减轻,加速度的最大震荡强度逐渐减小,当 $\Delta Q=3700\text{m}^3/\text{s}$ 时,河段中上部摆型波加速度的最大震荡强度仅为 $3.44\text{m}/\text{s}^2$,在#7断面附近加速度停止震荡;当 $\Delta Q=3200\text{m}^3/\text{s}$ 时,上游陆溪口进口赤壁山弱挑流作用导致下游龙口水道进口的主流扰动强度增大,但由于水流归槽后边界约束力较强,摆型波加速度的最大震荡强度进一步减小,仅为 $2.93\text{m}/\text{s}^2$,且在6#断面就基本停滞震荡,这说明进口初始扰动无法影响至阻隔性河段的中下部,下游河道的主流摆动加速度逐渐趋于0,从而

阻止了上游主流摆动向下游的传播效应。

[0160] 从龙口水道主流摆型波加速度的沿程变化情况来看,进口以下沿程断面主流摆型波加速度的震荡幅度呈从上游至下游逐渐衰减的趋势,且主流摆型波在传播过程中均发生停滞。由于不同流量变幅条件下,龙口水道主流平面位置变化不大,因此其流量惯性力对主流摆动影响较小。三峡水库蓄水后,套口凸岸边滩出现滩尾倒套上溯现象,因此河道整治思路主要在于,通过守护凸岸边滩,避免滩尾倒套上溯发展为滩体切割,加强凹岸岸线守护,塑造良好的枯水河槽形态,以增大河道形态阻尼系数,防止滩体散乱而失去对主流的控制作用。整治方案布置具体为:如图18所示,在套口边滩滩尾已经出现倒套的部位进行守护,防止倒套进一步上溯发展及其可能引起的凸岸边滩切割;加强弯道凹岸守护工程,防止岸滩崩塌引起河道展宽,而丧失对主流的控制作用。

[0161] 实施例6:选取武汉-湖口河段中黄石水道作为研究河段,取4个典型的实际深泓摆动测次,统计分析各测次之间的实测摆动距离,以及形态阻尼系数、流量惯性系数、及初始摆动速度,计算并绘制主流摆型波加速度的沿程震荡曲线,如图19所示。

[0162] 如图19所示,为黄石水道主流摆型波加速度的沿程变化情况。如图所示,进口以下沿程断面主流摆型波加速度的震荡幅度呈从上游至下游逐渐衰减的趋势,为阻隔型河段,且主流摆型波在传播过程中均发生停滞现象。当 $\Delta Q=19780\text{m}^3/\text{s}$ 时,即便进口扰动强度、流量惯性系数均较大,但形态阻尼系数更大,从而限制了主流漫滩后的大幅度摆动,使5#断面处主流摆型波加速度的震荡强度便削减为0;随着流量变幅减小、进口扰动减轻,加速度的最大震荡强度也逐渐减小,当 $\Delta Q=13270\text{m}^3/\text{s}$ 时,中上部摆型波加速度的最大震荡强度仅为 $5.25\text{m}/\text{s}^2$;当 $\Delta Q=4900\text{m}^3/\text{s}$ 时,加速度的最大震荡强度仅为 $4.71\text{m}/\text{s}^2$,且在5#断面就基本停滞震荡,这说明进口初始扰动不会影响至阻隔性河段的中下部,下游断面的摆型波加速度逐渐趋于0而不会发生剧烈震荡,从而阻止了上游主流摆动向下游的传播效应。

[0163] 从黄石水道主流摆型波加速度的沿程变化情况来看,进口以下沿程断面主流摆型波加速度的震荡幅度呈从上游至下游逐渐衰减的趋势,且主流摆型波在传播过程中均发生停滞现象。黄石水道边滩高程较高,对枯水河槽约束力较强,河道形态阻尼系数较大;当进口扰动较轻时,主流摆型波加速度的震荡强度在较靠近进口断面处就剧烈减小,基本停滞。河道整治思路主要在于削减流量惯性力对主流摆动的促进作用:如图20所示,加强对黄石水道凸岸中高滩防护,削减高滩滩缘被冲刷切割的可能性,防止中低滩带扩大而增加主流摆动空间,避免主流漫滩后持续时间过长而增大流量惯性系数;加强对中枯水岸线守护,稳定枯水河槽,强化中枯水边界对主流的约束作用,避免退水期流量惯性力与主流摆动力方向一致时,造成凹岸岸线的大幅度淘刷,而引起崩岸、主流大幅度摆动及其他不利河势调整。

[0164] 如实施例1——荆江河段中的石首水道和大马洲水道,实施例2——城陵矶-武汉河段中的簪洲湾水道和武桥水道,以及实施例3——武汉-湖口河段中的阳逻水道和武穴水道为例,对于上述这类非阻隔性河段而言,进口以下沿程断面主流摆型波的加速度均发生明显震荡,震荡幅度呈从上游至下游逐渐增大的趋势,且最大震荡强度通常发生于河段尾部,此时,进口的初始扰动可导致河段中下部的摆型波产生较大的加速度及摆动力,引起下游河段主流发生剧烈摆动。对于汛前、汛后流量变化幅度较大的时段,进口主流

摆动幅度通常较大,但由于流量惯性力与实际主流摆动方向分别呈相同、相反的趋势,使其惯性力与河道形态阻力的对比关系时大时小,通常而言,下游主流摆型波加速度的震荡幅度较强;中水→枯水、枯水→中水过渡期,进口主流摆动幅度减小,流量惯性力与实际主流摆动方向分别呈相同、相反的趋势,使其惯性力与河道形态阻力的对比关系不一,通常下游主流摆型波加速度的震荡幅度较弱。部分河段在进口扰动较弱的条件下,由于主流归槽后受到边界条件的强烈约束,河段中下部加速度的震荡幅度逐渐减弱甚至消弭,从而削弱下游主流摆动幅度,这类河段通过采取针对性整治措施,有望由非阻隔性河段转变为阻隔性河段。

[0165] 如实施例4——荆江河段中的斗湖堤水道和调关水道,实施例5——城陵矶-武汉河段中的龙口水道,以及实施例6——武汉-湖口河段中的黄石水道为例,对于上述这类阻隔性河段而言,无论进口主流摆型波的初始冲击扰动强度如何,下游断面主流摆型波加速度的震荡幅度均呈从上游至下游逐渐衰减的趋势,且在进口扰动较小或窄深型河道约束能力较强的情况下,主流摆型波在向下游传播过程中将发生停滞,停滞点以下摆型波加速度为0,即其下游河道主流不具有摆动加速度及摆动力,从而阻止了上游主流摆动向下游的传播效应。根据初始扰动强度及边界约束力的不同,摆型波加速度停止震荡的断面位置存在差异。通常而言,当流量变幅较大时,进口扰动较强,形态阻尼系数相对不大,河段进口主流摆型波加速度的震荡幅度相对较大,且下游断面加速度停止震荡的断面位置相对靠近出口;当流量变幅较小时,进口扰动较弱,形态阻尼系数增大,河段进口主流摆型波加速度的震荡幅度明显较小,且下游断面加速度停止震荡的断面位置相对靠近进口,即震荡现象将更快衰减或消亡。

[0166] 综上所述,基于主流摆型波震荡机制提出的不同河型整治方法总结如下:对于非阻隔性河段而言,河道整治的重点在于限制主流摆型波在向下游传导过程中的震荡效应。以上实例分析表明,导致摆型波向下游传播过程中震荡愈发强烈的主要成因在于,或者河道形态阻尼系数过小,或者流量惯性系数较大。对于前者,增大河道形态阻尼系数的整治方案包括:对散乱的边滩、心滩或洲体采用护滩带守护,对泥沙粒径过细的河床采取床底加糙等措施,减弱床底泥沙流动性,增大主流摆动及沙波迁移的阻力,避免成型淤积体发生大幅度冲淤变形;加强岸坡防护工程,避免崩岸导致河道展宽、主流摆动空间加大,丧失对主流摆动的约束作用。对于后者,减低流量惯性系数的整治方案包括:对挑流矶头采取削咀等措施,削弱矶头控制作用,避免矶头挑流导致不同流量级下的主流平面位置发散,从而弱化流量变化过程中,同向惯性力对主流摆动的促进作用。

[0167] 对于阻隔性河段而言,河道整治的重点在于维护河道现状形态,保持河道对主流摆型波在传导过程中的阻断或衰减效应。根据以上实例表明,可以通过采取措施加强高大洲滩对中枯水期河槽的塑造作用,减小主流上滩时间以进一步降低流量惯性系数;避免水沙条件变化导致滩槽形态不完整,以维持或增加河道形态阻尼系数等。对于前者,具体整治方案包括:加强对高滩滩缘或洲缘的守护,维持滩体完整性,强化枯水河槽边界的塑造作用及对主流的控导作用;降低流量惯性系数,防止中高滩滩缘发生崩塌,或被冲刷出窜沟及倒套,以至最终切割成低矮边心滩,导致水流漫滩后持续时间过长、流量惯性系数增加,而加剧不利河势调整。对于后者,具体整治方案包括:加强岸坡防护工程,防止凸岸边滩冲刷后退或倒套窜沟发展,抑制凹岸边滩淤积下延过程中出现的尾部倒套,防止凹岸边

滩切割形成心滩,维持单一、窄深的枯水河槽,限制主流摆动。

[0168] 以上显示和描述了本发明的基本原理、主要特征和本发明的优点。本行业的技术人员应该了解,本发明不受上述实施例的限制,上述实施例和说明书中描述的只是说明本发明的原理,在不脱离本发明精神和范围的前提下本发明还会有各种变化和改进,这些变化和改进都落入要求保护的本发明范围内。本发明要求保护范围由所附的权利要求书其等同物界定。

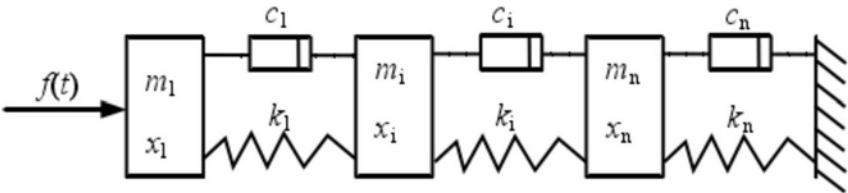


图1

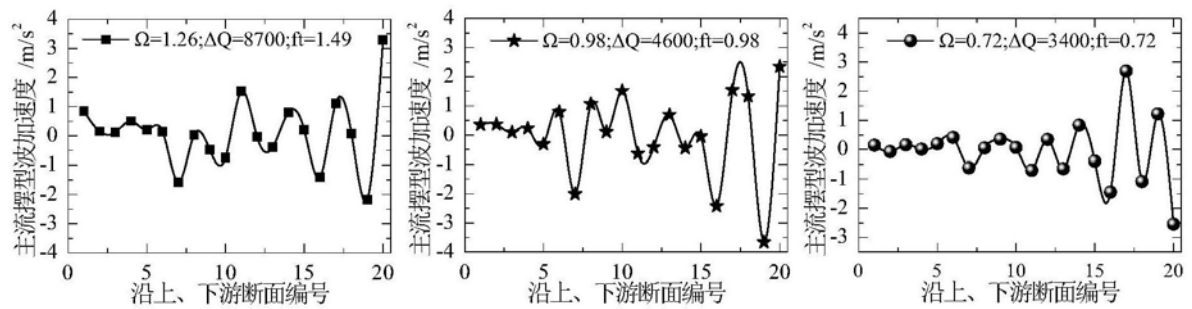


图2

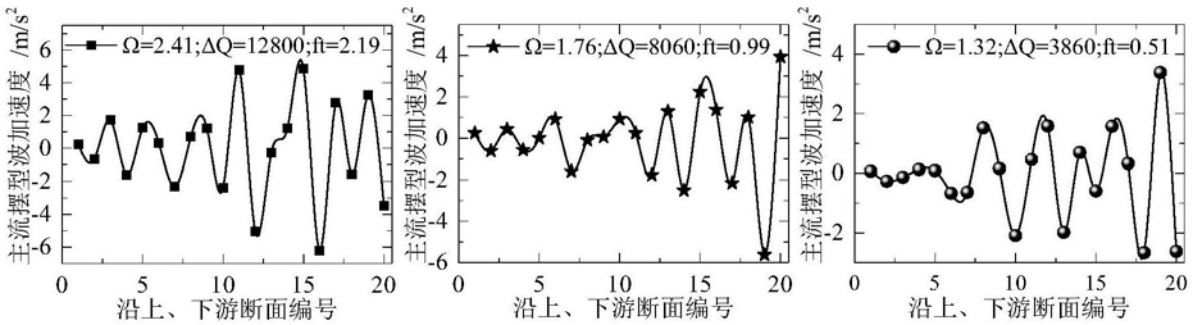


图3

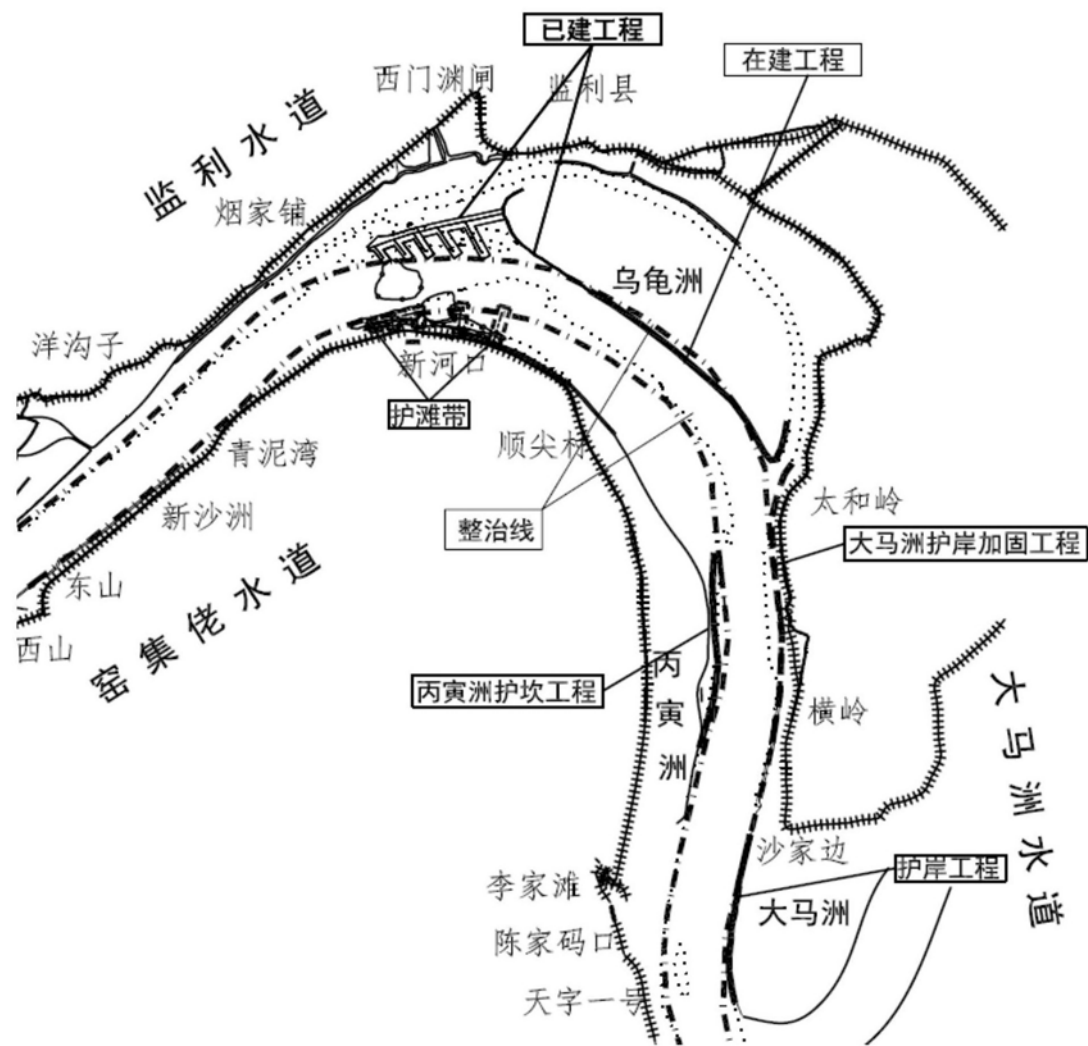


图4

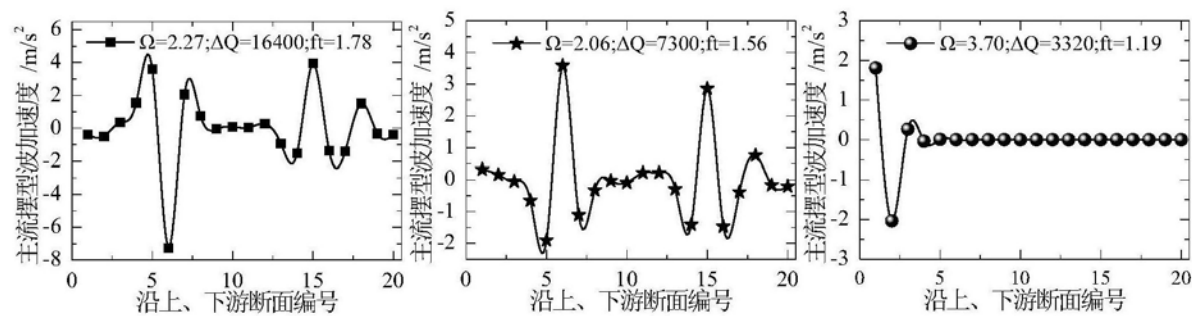


图5

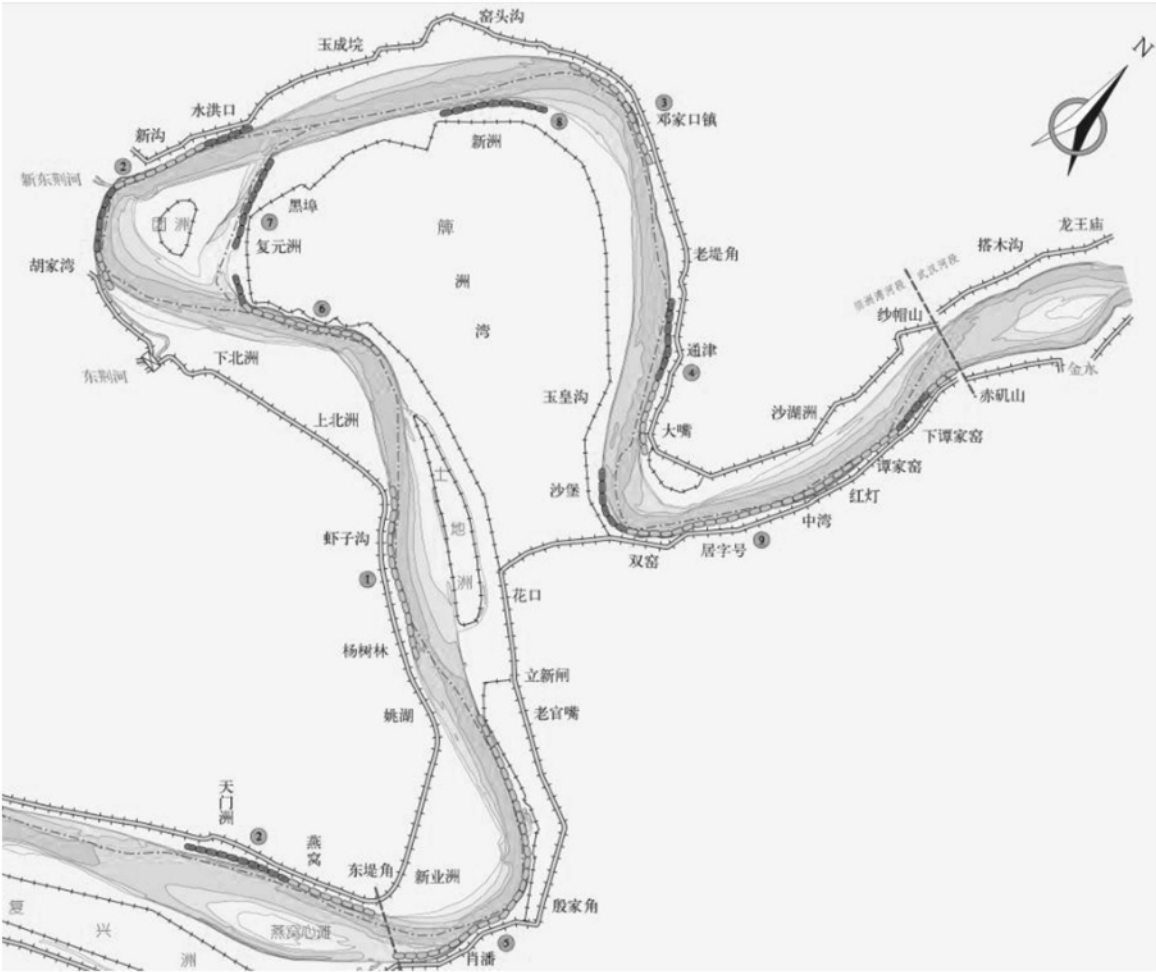


图6

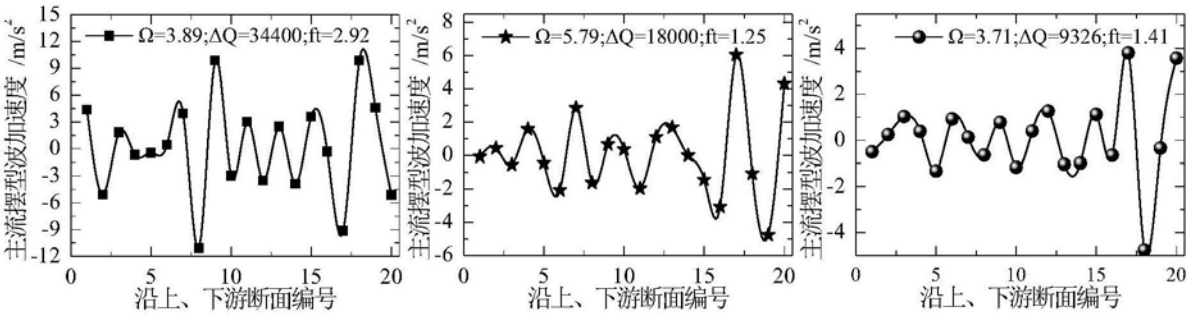


图7

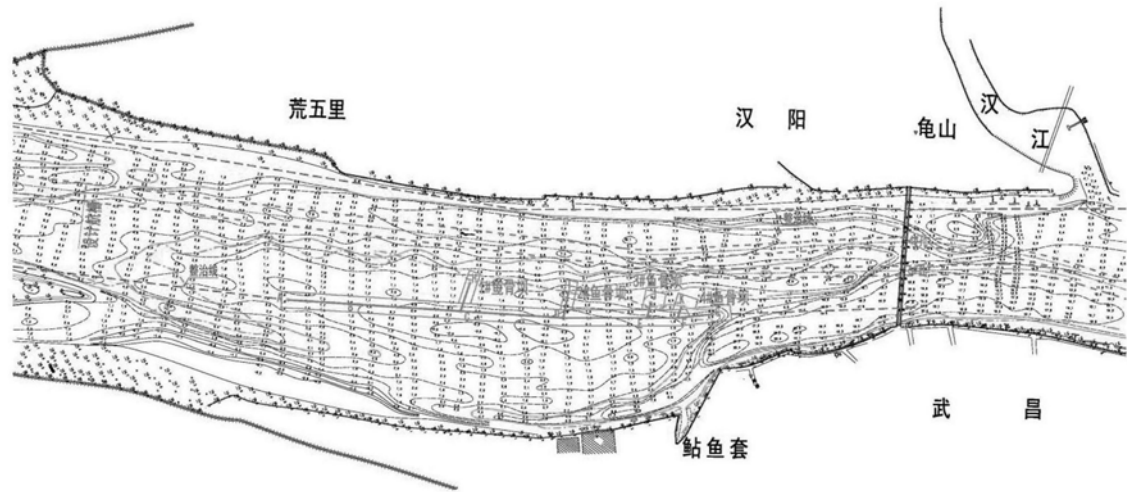


图8

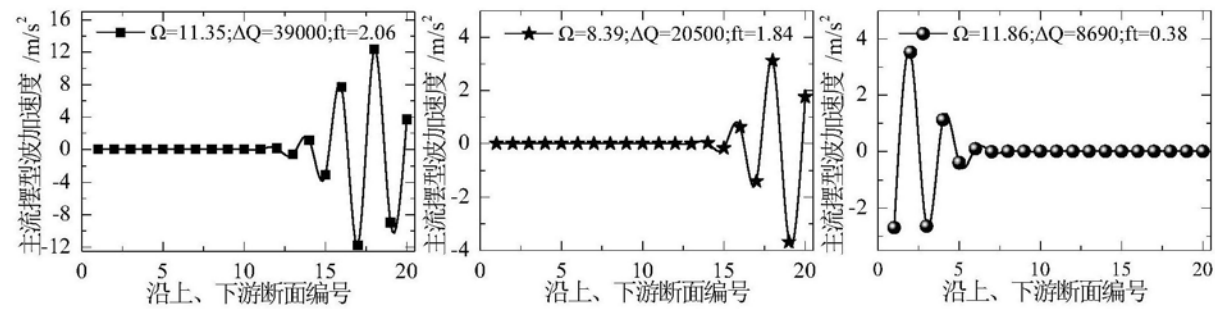


图9

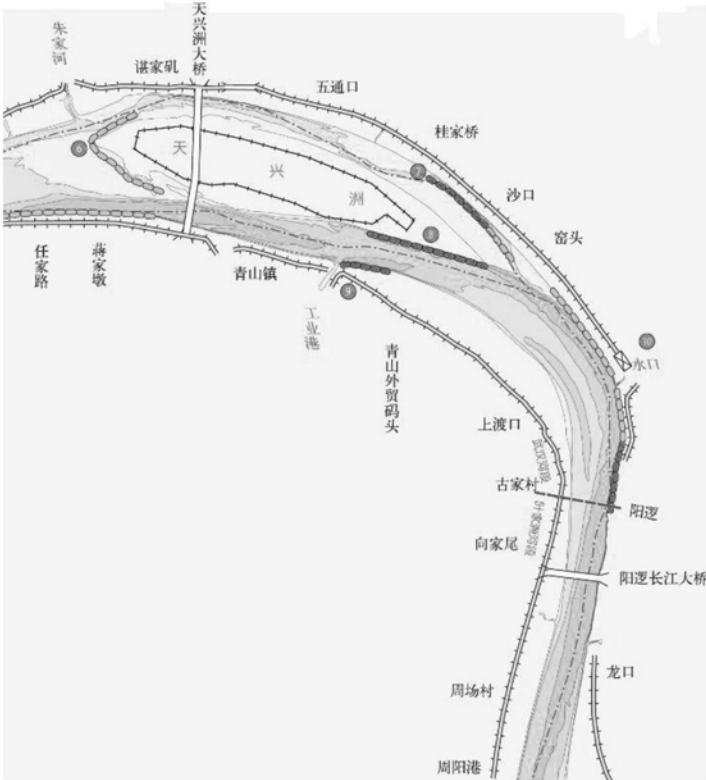


图10

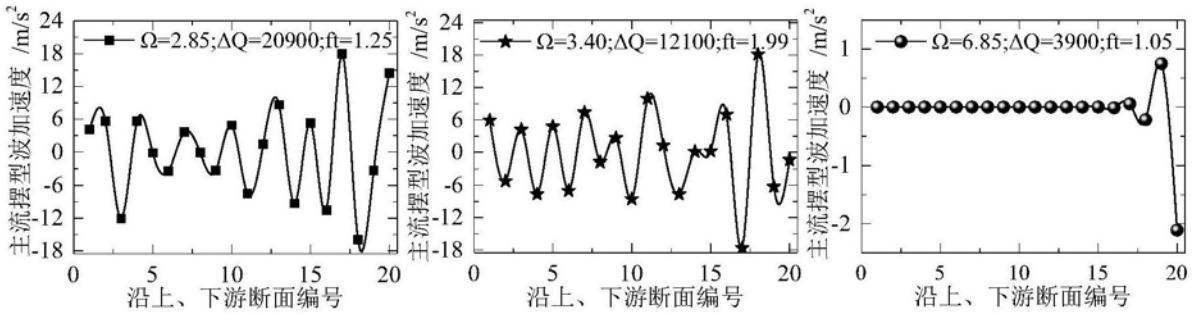


图11

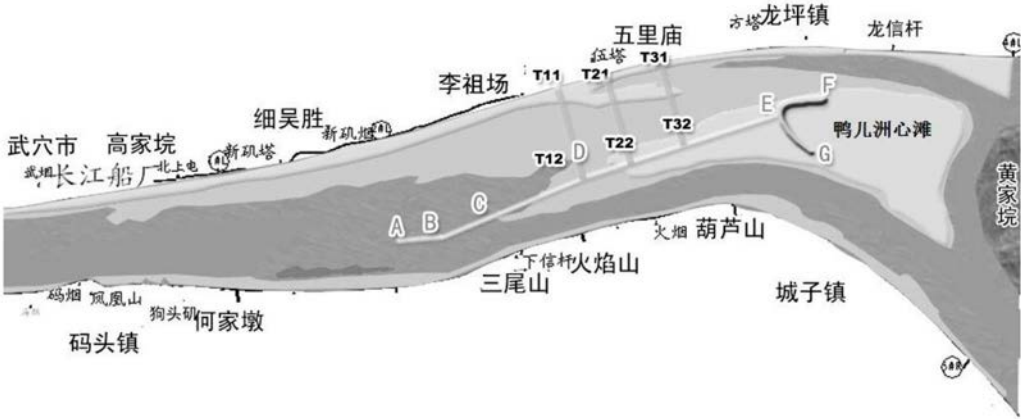


图12

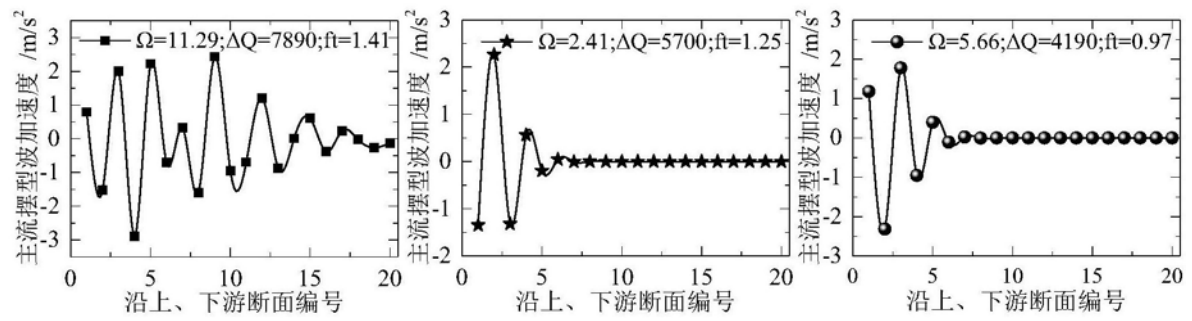


图13

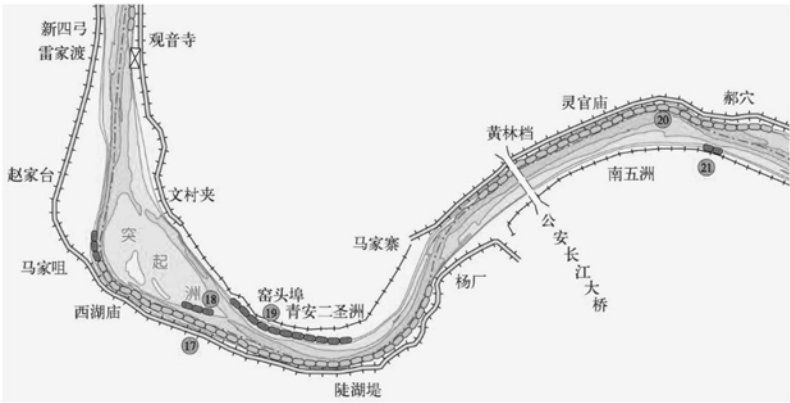


图14

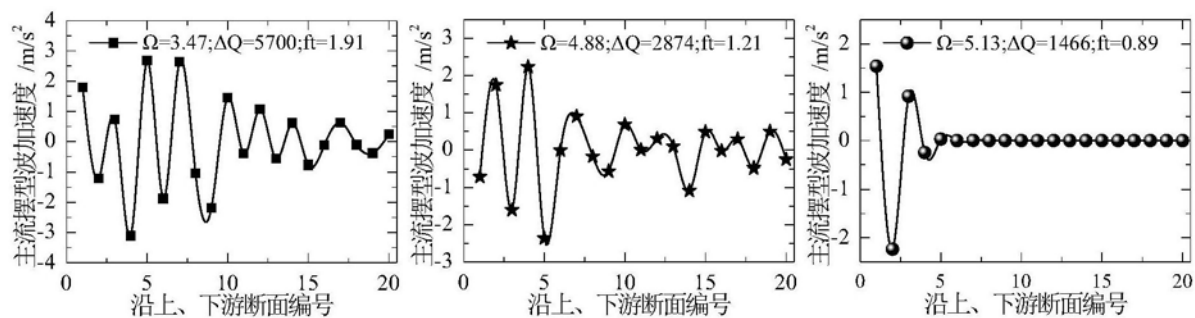


图15

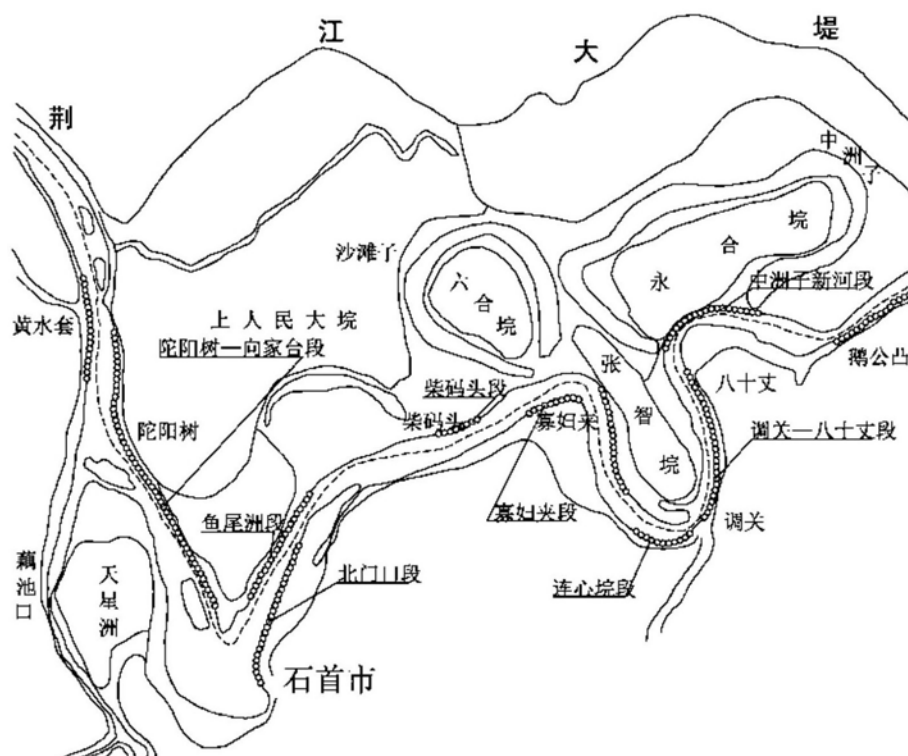


图16

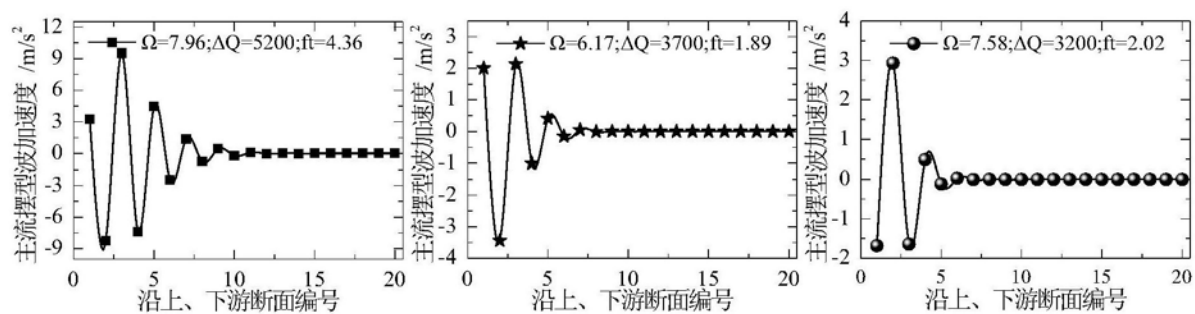


图17

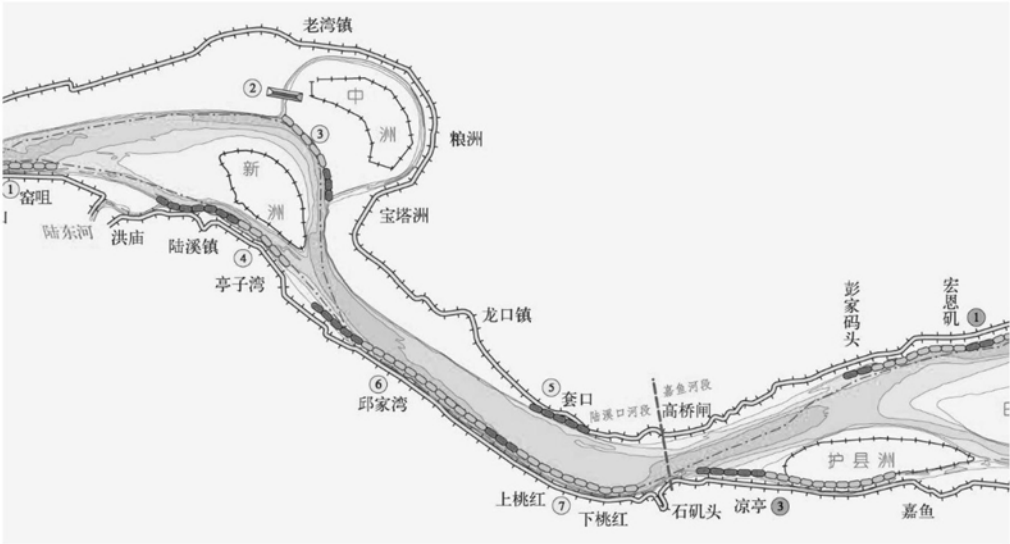


图18

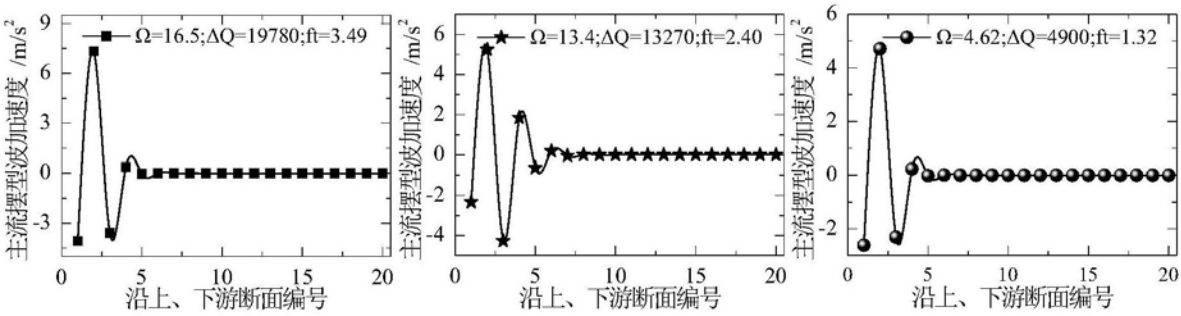


图19

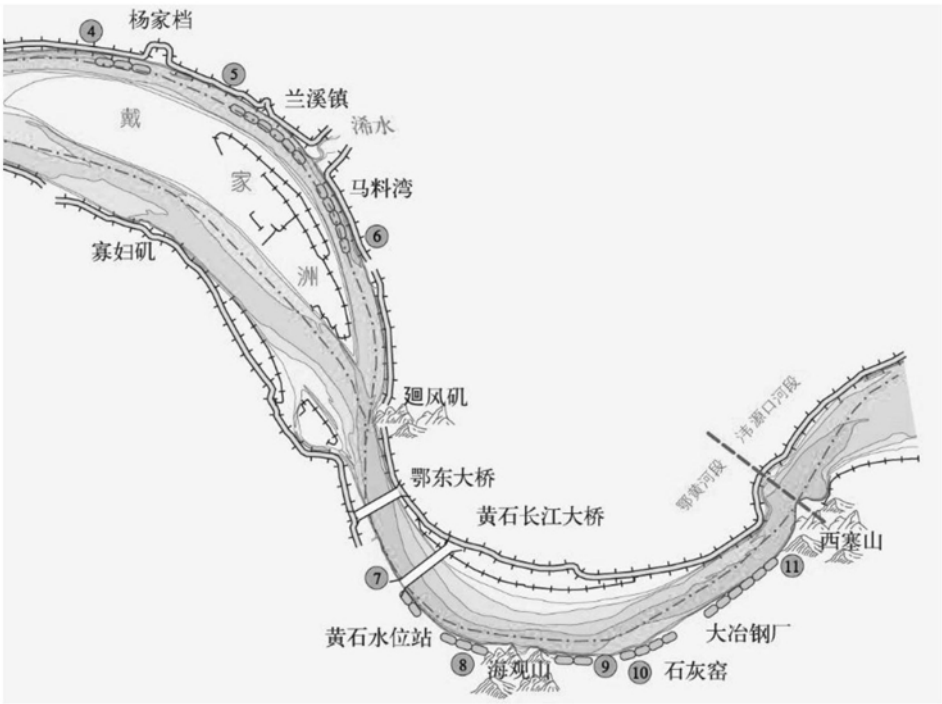


图20