



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107401140 B

(45)授权公告日 2019.04.12

(21)申请号 201710758377.7

(22)申请日 2017.08.29

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 107401140 A

(43)申请公布日 2017.11.28

(73)专利权人 武汉大学

地址 430072 湖北省武汉市武昌区珞珈山  
武汉大学

(72)发明人 孙昭华 高浩然 严鑫 熊海滨

(74)专利代理机构 武汉科皓知识产权代理事务  
所(特殊普通合伙) 42222

代理人 俞琳娟

(51)Int.Cl.

E02B 1/00(2006.01)

(56)对比文件

CN 105045954 A,2015.11.11,全文.

CN 104047255 A,2014.09.17,全文.

CN 103590363 A,2014.02.19,全文.

CN 104765935 A,2015.07.08,全文.

张玮等.长江下游感潮河段造床流量计算研究.《水运工程》.2017,(第527期),8-14页.

审查员 谢伟魏

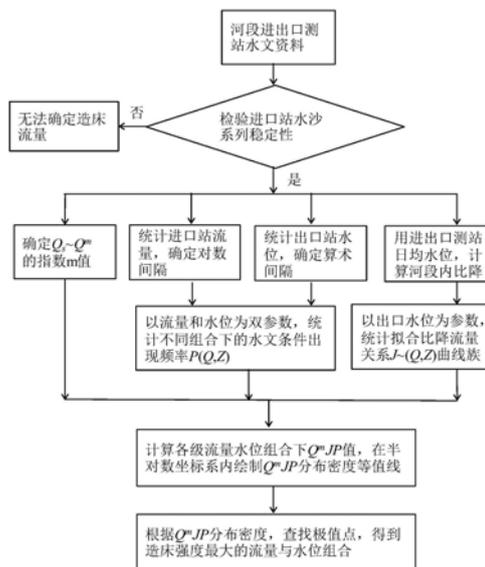
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

支流尾闾河段造床流量的确定方法

(57)摘要

本发明提供一种兼顾干、支流水文因素的支流尾闾河段造床流量确定方法,其特征在于,包括以下步骤:步骤1.支流河道来水来沙稳定状态判别以及输沙率指数确定;步骤2.河段进口水文站流量间隔划分与出口水文站水位间隔划分;步骤3.支流尾闾河段内比降关系曲线确定;步骤4.在进口流量~出口水位坐标平面内绘制造床强度,采用图解法求解造床流量。



1. 一种支流尾间河段造床流量的确定方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1. 支流河道来水来沙稳定状态判别以及输沙率指数确定,包括:

步骤1.1取不受干流顶托影响的尾间河段进口水文站M年,  $M > 10$ , 长系列日均流量 $Q$ 、输沙率 $Q_s$ 观测资料,判定来水来沙状态是否稳定,若多年来水来沙较为稳定,说明水沙系列具有一致性,否则,本方法应用的前提不成立;

步骤1.2在步骤1.1判定来水来沙状态稳定的情况下,读取 $Q_s = aQ^m$ 关系式中的输沙率指数 $m$ 值;

步骤2. 河段进口水文站流量间隔划分与出口水文站水位间隔划分,包括:步骤2.1针对河段进口水文站,取该站M年长系列日均流量资料 $Q$ ,将所有流量数据采用对数等间隔按从大到小划分为 $N_1$ 个等级区间,  $20 \leq N_1 \leq 30$ ,每个区间内保证有流量数据,计算每个等级区间的前后两个分隔点平均值作为该等级区间内代表流量值 $\bar{Q}_i$ ,  $i = 1 \sim N_1$ ;

步骤2.2针对河段出口水文站或汇合口附近干流水位站取M年长系列日均水位资料 $Z$ ,将所有流量数据采用算数等间隔按从大到小划分为 $N_2$ 个等级区间,  $10 \leq N_2 \leq 25$ ,每个等级区间内保证有水位数据,计算每个等级区间的前后两个分隔点平均值作为该等级区间内代表水位值 $\bar{Z}_j$ ,  $j = 1 \sim N_2$ ;

步骤3. 支流尾间河段内比降关系曲线确定,包括:

步骤3.1取M年内河段进口、出口两水文站日均水位数据,以两站每日日均水位数据计算河段内日均落差,并除以河段长度换算成河段内日均比降 $J$ ;

步骤3.2根据每日相应的进口日均流量 $Q$ 、出口日均水位 $Z$ 以及河段内日均比降 $J$ 的M年长系列资料,绘制 $J \sim (Q, Z)$ 关系曲线,得到相应于所有水位区间的 $N_2$ 个 $J \sim Q$ 关系曲线;

步骤4. 在进口流量~出口水位坐标平面内绘制造床强度,采用图解法求解造床流量,包括:

步骤4.1取M年长系列日均进口流量 $Q$ 、出口水位 $Z$ 实测资料,采用步骤2中划分的 $N_1$ 级流量间隔与 $N_2$ 级水位间隔,统计各级流量、水位组合情况下出现的数据个数 $DN_{i,j}$ ,并换算成频率 $P_{i,j} = DN_{i,j}/N_M$ ,  $P_{i,j}$ 为进口流量 $Q$ 处于 $i$ 区间同时出口水位 $Z$ 处于 $j$ 区间的水文条件出现频率,  $N_M$ 为M年的总天数;

步骤4.2根据各流量区间的代表流量 $\bar{Q}_i$ 值、各水位区间的代表水位 $\bar{Z}_j$ 值以及步骤3中得到的各级水位下 $J \sim Q$ 曲线计算出相应的比降值 $J_{i,j}$ ,进一步基于马卡维耶夫方法,计算各级水文条件的造床强度 $\bar{Q}_i^m J_{i,j} P_{i,j}$ 值,其中 $m$ 为步骤1.2中所得指数;

步骤4.3以 $\bar{Q}_i^m J_{i,j} P_{i,j}$ 散点值为基础绘制其等值线,根据等值线图中的汛、枯期极值点对应纵横坐标,可得到洪、枯两级造床流量及其对应出口水位,

其中,在所述步骤1.1中,判定来水来沙稳定状态是否稳定的方法为:

第一,取各年洪峰流量 $Q_{fi}$ 、各年年均流量 $Q_{Yi}$ ,分别通过式 $\tilde{Q}_{fi} = Q_{fi} / \sum_{i=1}^M \frac{Q_{fi}}{M}$ 、 $\tilde{Q}_{Yi} = Q_{Yi} / \sum_{i=1}^M \frac{Q_{Yi}}{M}$ 将其标准化为 $\tilde{Q}_{fi}$ 、 $\tilde{Q}_{Yi}$ ,绘制 $\tilde{Q}_{fi}$ 、 $\tilde{Q}_{Yi}$ 各自随时间变化的线性趋势线,若趋

势线的斜率均在-0.1至+0.1之间,则说明流量系列较为稳定,其中, $i=1\sim M$ ;

第二,取全部日均流量 $Q$ 及其对应日均输沙率 $Q_s$ 数据,在双对数坐标系内,以函数 $Q_s = aQ^m$ 拟合两者之间趋势线关系,得到该趋势线的决定系数 $R^2$ ,其中

$$R(Q_s, aQ^m) = \frac{\text{Cov}(Q_s, aQ^m)}{\sqrt{\text{Var}[Q_s]\text{Var}[aQ^m]}}$$

, $\text{Cov}(Q_s, aQ^m)$ 为实测输沙率 $Q_s$ 与计算输沙率 $aQ^m$ 的协方差, $\text{Var}[Q_s]$ 为 $Q_s$ 的方差, $\text{Var}[aQ^m]$ 为 $aQ^m$ 的方差,当拟合的决定系数 $R^2 \geq 0.7$ 时,说明来沙量与来流量之间关系较为稳定;

同时满足以上两个条件则说明来水来沙状态稳定。

2. 根据权利要求1所述的支流尾间河段造床流量的确定方法,其特征在于:

在步骤2.1中,应将流量等级的划分在20~30级之间,先取为30级,然后根据历史最大流量值 $Q_{\max}$ 和最小流量 $Q_{\min}$ ,算出对数等间隔的参数 $h = \left(\frac{Q_{\max}}{Q_{\min}}\right)^{\frac{1}{30}}$ ,由此得到流量区间的 $N_1+1$

个分界点为 $Q_{\min}$ 、 $Q_{\min}h$ 、 $Q_{\min}h^2$ 、 $\dots$ 、 $Q_{\max}$ ,检查每个等级区间内是否都有流量数据,若某个区间内流量数据为0个,说明划分的区间跨度不够大,将流量等级数减小1级变为29级,重复以上步骤,直至每个区间内都有流量数据,确定出区间数 $N_1$ 以后,以各区间前后两个分隔点均值作为该区间代表流量 $\bar{Q}_i, i=1\sim N_1$ 。

3. 根据权利要求1所述的支流尾间河段造床流量的确定方法,其特征在于:

在步骤2.2中, $N_2$ 个等级区间的区间间隔取0.25S、0.50S、0.75S或S,S为水位数据的标准差,划分区间个数应在10~25之间,为保证区间划分较为精细,间隔值应从最小值0.25S开始尝试,计算等级区间个数 $N_2 = \frac{(Z_{\max} - Z_{\min})}{0.25S}$ ,其中 $Z_{\max}$ 、 $Z_{\min}$ 分别为最大、最小水位值,若 $N_2$ 不

在10~25范围内,则说明0.25S的间隔值太小、划分等级数不满足要求,可增大间隔值改取为0.50S,重复上述步骤,直至 $N_2$ 满足要求。

4. 根据权利要求1所述的支流尾间河段造床流量的确定方法,其特征在于:

在步骤3.2中,绘制 $J \sim (Q, Z)$ 关系曲线的具体过程为:分别取步骤2中划分的各级水位区间 $j, j=1\sim N_2$ ,在 $Q \sim J$ 坐标平面内以第 $j$ 区间内的 $Q$ 、 $J$ 数据作散点图,并以对数函数 $J = b \ln(Q) + c$ 拟合散点的趋势线,其中 $b$ 、 $c$ 为拟合过程中得到的常数,由此得到的曲线即为相应于 $j$ 区间代表水位值 $\bar{Z}_j$ 的 $J \sim Q$ 关系曲线,以此类推,可以得到相应于所有水位区间的 $N_2$ 个 $J \sim Q$ 关系曲线。

5. 根据权利要求1所述的支流尾间河段造床流量的确定方法,其特征在于:

在步骤4.3中,是对 $i=1\sim N_1$ 级流量间隔和 $j=1\sim N_2$ 级水位间隔的组合,分别得到各种组合情况下的造床强度 $\bar{Q}_i^m J_{ij} P_{ij}$ ,在流量为横轴且取对数坐标、水位为纵轴且取普通坐标的半对数坐标平面内,以 $\bar{Q}_i^m J_{ij} P_{ij}$ 散点值为基础绘制其等值线。

## 支流尾间河段造床流量的确定方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于水利水运工程技术领域,具体涉及一种支流尾间河段造床流量的确定方法。

### 技术背景

[0002] 造床流量是指对冲积河床塑造作用与多年流量过程综合造床作用相当的某一流量的量级,是河床演变分析、河道治理规划及整治工程设计等领域中广为运用的重要参量,该参量确定的合理与否,将直接影响河道整治的成本、效果甚至成败。

[0003] 对于一般单一冲积河道,河道形态主要受上游来水来沙过程影响,造床流量可结合河段进口水沙资料由“马卡维耶夫法”等成熟方法计算得到。

[0004] 在干支流交汇口附近的支流尾间河段,河道形态同时受到支流来水来沙和干流水位顶托作用的影响,两方面因素具有随机性,相互之间又有一定独立性,使得常规计算方法无法应用。这种情况下,以往工程实践中多采用平滩流量法等间接方法,用与边滩高程齐平的水位倒推出代表性流量作为造床流量。上述间接方法增加了边滩地形、沿程水位等资料需求量,经验性强且可操作性差。尤其是在干流修建水库后,干流水位调整使得支流尾间河段的侵蚀基准面发生变化,边滩高程也将随之发生相应调整,依靠间接经验方法难以对新情况下的造床流量进行定量计算,无法满足河道整治规划与工程设计的需求。

### 发明内容

[0005] 本发明是为了解决上述问题而进行的,目的是针对支流尾间河段造床作用同时受到支流来水来沙和干流水位过程影响的特点,提供一种兼顾干、支流水文因素的支流尾间河段造床流量确定方法。

[0006] 本发明为了实现上述目的,采用了以下方案:

[0007] 本发明提供一种支流尾间河段造床流量的确定方法,其特征在于,包括以下步骤:

[0008] 步骤1.支流河道来水来沙稳定状态判别以及输沙率指数确定,包括:

[0009] 步骤1.1取不受干流顶托影响的尾间河段进口水文站M年( $M>10$ )长系列日均流量 $Q$ 、输沙率 $Q_s$ 观测资料,判定来水来沙状态是否稳定,若多年来来水来沙较为稳定,说明水沙系列具有一致性,否则,本方法应用的前提不成立;

[0010] 步骤1.2在步骤1.1判定来水来沙状态稳定的情况下,读取 $Q_s=aQ^m$ 关系式中的输沙率指数 $m$ 值;

[0011] 步骤2.河段进口水文站流量间隔划分与出口水文站水位间隔划分,包括:

[0012] 步骤2.1针对河段进口水文站,取该站M年长系列日均流量资料 $Q$ ,将所有流量数据采用对数等间隔按从大到小划分为 $N_1$  ( $20 \leq N_1 \leq 30$ )个等级区间,每个区间内保证有流量数据,计算每个等级区间的前后两个分隔点平均值作为该等级区间内代表流量值 $\bar{Q}_i$ ,  $i=1 \sim N_1$ ;

[0013] 步骤2.2针对河段出口水文站或汇合口附近干流水位站取M年长系列日均水位资

料Z,将所有流量数据采用算数等间隔按从大到小划分为 $N_2$  ( $10 \leq N_2 \leq 25$ )个等级区间,每个等级区间内保证有水位数据,计算每个等级区间的前后两个分隔点平均值作为该等级区间内代表水位值 $\bar{Z}_j$ ,  $j=1 \sim N_2$ ;

[0014] 步骤3.支流尾间河段内比降关系曲线确定,包括:

[0015] 步骤3.1取M年内河段进口、出口两水文站日均水位数据,以两站每日日均水位数据计算河段内日均落差,并除以河段长度换算成河段内日均比降J;

[0016] 步骤3.2根据每日相应的进口日均流量Q、出口日均水位Z以及河段内日均比降J的M年长系列资料,绘制J~(Q,Z)关系曲线,得到相应于所有水位区间的 $N_2$ 个J~Q关系曲线;

[0017] 步骤4.在进口流量~出口水位坐标平面内绘制造床强度,采用图解法求解造床流量,包括:

[0018] 步骤4.1取M年长系列日均进口流量Q、出口水位Z实测资料,采用步骤2中划分的 $N_1$ 级流量间隔与 $N_2$ 级水位间隔,统计各级流量、水位组合情况下出现的数据个数 $DN_{i,j}$ ,并换算成频率 $P_{i,j} = DN_{i,j}/N_M$ , $P_{i,j}$ 为进口流量Q处于i区间同时出口水位Z处于j区间的水文条件出现频率, $N_M$ 为M年的总天数;

[0019] 步骤4.2根据各流量区间的代表流量 $\bar{Q}_i$ 值、各水位区间的代表水位 $\bar{Z}_j$ 值以及步骤3中得到的各级水位下J~Q曲线计算出相应的比降值 $J_{i,j}$ ,进一步基于马卡维耶夫方法,计算各级水文条件的造床强度 $\bar{Q}_i^m J_{i,j} P_{i,j}$ 值,其中m为步骤1.2中所得指数;

[0020] 步骤4.3以 $\bar{Q}_i^m J_{i,j} P_{i,j}$ 散点值为基础绘制其等值线,根据等值线图上的汛、枯期极值点对应横纵坐标,可得到洪、枯两级造床流量及其对应出口水位。

[0021] 本发明提供的支流尾间河段造床流量的确定方法,还可以具有以下特征:

[0022] 在所述步骤1.1中,判定来水来沙稳定状态是否稳定的方法为:

[0023] 第一,取各年洪峰流量 $Q_{fi}$  ( $i=1 \sim M$ )、各年年均流量 $Q_{Yi}$  ( $i=1 \sim M$ ),分别通过式

$$\tilde{Q}_{fi} = Q_{fi} / \sum_{i=1}^M \frac{Q_{fi}}{M}, \quad \tilde{Q}_{Yi} = Q_{Yi} / \sum_{i=1}^M \frac{Q_{Yi}}{M}$$

将其标准化为 $\tilde{Q}_{fi}$ 、 $\tilde{Q}_{Yi}$ ,绘制 $\tilde{Q}_{fi}$ 、 $\tilde{Q}_{Yi}$ 各自随时间变化的线性趋势线,若趋势线的斜率均在(-0.1,+0.1)之间,则说明流量系列较为稳定;

[0024] 第二,取全部日均流量Q及其对应日均输沙率 $Q_s$ 数据,在双对数坐标系内,以函数 $Q_s$

$$= aQ^m \text{拟合两者之间趋势线关系,并计算 } R(Q_s, aQ^m) = \frac{\text{Cov}(Q_s, aQ^m)}{\sqrt{\text{Var}[Q_s] \text{Var}[aQ^m]}}$$

为实测输沙率 $Q_s$ 与计算输沙率 $aQ^m$ 的协方差, $\text{Var}[Q_s]$ 为 $Q_s$ 的方差, $\text{Var}[aQ^m]$ 为 $aQ^m$ 的方差,当拟合的决定系数 $R^2 \geq 0.7$ 时,说明来沙量与来流量之间关系较为稳定;

[0025] 同时满足以上两个条件则说明来水来沙状态稳定。

[0026] 本发明提供的支流尾间河段造床流量的确定方法,还可以具有以下特征:

[0027] 在步骤2.1中,应将流量等级的划分宜在20~30级之间,可先取为30级,然后根据

历史最大流量值 $Q_{\max}$ 和最小流量 $Q_{\min}$ ,算出对数等间隔的参数 $h = \left( \frac{Q_{\max}}{Q_{\min}} \right)^{\frac{1}{30}}$ ,由此得到流量区

间的 $N_1+1$ 个分界点为 $Q_{\min}$ 、 $Q_{\min}h$ 、 $Q_{\min}h^2$ 、……、 $Q_{\max}$ ,检查每个等级区间内是否都有流量数据,

若某个区间内流量数据为0个,说明划分的区间跨度不够大,将流量等级数减小1级变为29级,重复以上步骤,直至每个区间内都有流量数据,确定出区间数 $N_1$ 以后,以各区间前后两个分隔点均值作为该区间代表流量 $\bar{Q}_i, i=1 \sim N_1$ 。

[0028] 本发明提供的支流尾间河段造床流量的确定方法,还可以具有以下特征:

[0029] 在步骤2.2中, $N_2$ 个等级区间的区间间隔取0.25S、0.50S、0.75S或S(S为水位数据的标准差),划分区间个数应在10~25之间,为保证区间划分较为精细,间隔值应从最小值

0.25S开始尝试,计算等级区间个数 $N_2 = \frac{(Z_{\max} - Z_{\min})}{0.25S}$  (其中 $Z_{\max}$ 、 $Z_{\min}$ 分别为最大、最小水位

值),若 $N_2$ 不在10~25范围内,则说明0.25S的间隔值太小、划分等级数不满足要求,可增大间隔值改取为0.50S,重复上述步骤,直至 $N_2$ 满足要求。

[0030] 本发明提供的支流尾间河段造床流量的确定方法,还可以具有以下特征:

[0031] 在步骤3.2中,绘制 $J \sim (Q, Z)$ 关系曲线的具体过程为:分别取步骤2中划分的各级水位区间 $j (j=1 \sim N_2)$ ,在 $Q \sim J$ 坐标平面内以第 $j$ 区间内的 $Q$ 、 $J$ 数据作散点图,并以对数函数 $J = b \ln(Q) + c$ 拟合散点的趋势线,其中 $b$ 、 $c$ 为拟合过程中得到的常数,由此得到的曲线即为相应于 $j$ 区间代表水位值 $\bar{Z}_j$ 的 $J \sim Q$ 关系曲线,以此类推,可以得到相应于所有水位区间的 $N_2$ 个 $J \sim Q$ 关系曲线。

[0032] 本发明提供的支流尾间河段造床流量的确定方法,还可以具有以下特征:

[0033] 在步骤4.3中,是对 $i=1 \sim N_1$ 级流量间隔和 $j=1 \sim N_2$ 级水位间隔的组合,分别得到各种组合情况下的造床强度 $\bar{Q}_i^m J_{ij} P_{ij}$ ,在流量为横轴且取对数坐标、水位为纵轴且取普通坐标的半对数坐标平面内,以 $\bar{Q}_i^m J_{ij} P_{ij}$ 散点值为基础绘制其等值线。

[0034] 发明的作用与效果

[0035] 与现有技术相比,本发明的有益效果在于:

[0036] (1) 本发明提出的方法综合考虑了支流来水来沙和干流水位的出现频率及其对造床作用的影响,能同时得到支流造床流量及其相应的干流水位级,弥补了已有方法的不足;

[0037] (2) 本发明吸收了现有造床流量分析计算的基本理念,基于水流输沙强度和持续时间联合造床的原理,提出了估算支流尾间河段造床流量的图解法,该方法对流量采取对数等间隔分级、对水位采取算术等间隔分级,仅需干支流水文站观测资料便可对尾间河段的造床流量进行估算,普适性强,物理涵义清晰,操作简单,便于实践中应用。

## 附图说明

[0038] 图1为本发明实施例中涉及的支流尾间河段造床流量的确定方法的流程图;

[0039] 图2为本发明实施例中涉及的河段进口水文站流量-输沙率关系图;

[0040] 图3为本发明实施例中涉及的不同水位级下的流量-比降关系曲线图;

[0041] 图4为本发明实施例中涉及的造床强度分布密度示意图。

## 具体实施方式

[0042] 以下结合附图对本发明涉及的支流尾间河段造床流量的确定方法的具体实施方

案进行详细地说明。

[0043] <实施例>

[0044] 本实施例所采用水文资料为汇入干流河道的某支流尾间的水文观测资料,该水文资料包括尾间进口控制站(A站)30年内日均流量、输沙率和水位观测资料,以及干支流交汇口附近干流水文站(B站)同时期日均水位观测资料。

[0045] 如图1所示,本实施例所提供的支流尾间河段造床流量的确定方法包括以下步骤:

[0046] 步骤1.尾间河段来水来沙稳定状态判别以及输沙率指数确定:

[0047] 步骤1.1首先取A站(河段进口水文站)长系列流量资料,将各年洪峰流量 $Q_{fi}$  ( $i=1\sim 30$ )、各年年均流量 $Q_{yi}$  ( $i=1\sim 30$ )分别通过式 $\tilde{Q}_{fi}=Q_{fi}/\sum_{i=1}^{30}\frac{Q_{fi}}{30}$ 、 $\tilde{Q}_{yi}=Q_{yi}/\sum_{i=1}^{30}\frac{Q_{yi}}{30}$ 标准化,

在Excel软件中绘制 $\tilde{Q}_{fi}$ 、 $\tilde{Q}_{yi}$ 时间序列散点图,并拟合其趋势线,其斜率分别为-0.03和-0.04,在设定的阈值(-0.1,+0.1)之内,说明流量系列较为稳定;其次,取长系列流量、输沙率观测资料,在双对数坐标系内以函数 $Q_s=aQ^m$ 拟合两者之间趋势线关系如图2所示,其决定

系数 $R^2=0.86$ ,其中 $R(Q_s, aQ^m)=\frac{\text{Cov}(Q_s, aQ^m)}{\sqrt{\text{Var}[Q_s]\text{Var}[aQ^m]}}$ ,决定系数大于设定的阈值0.7,说明该

河段多年来来水来沙关系较为稳定;

[0048] 步骤1.2根据图2中流量-输沙率关系曲线,读取 $Q_s=aQ^m$ 关系式中的指数 $m$ ,一般情况下平原河流的 $m$ 值是在2附近,本实施例中 $m=1.81$ 。

[0049] 步骤2.河段进口水文站流量间隔划分与出口水文站水位间隔划分:

[0050] 步骤2.1统计该河段进口A水文站的30年系列流量资料,取流量日均观测值,对流量数据从大到小排序并按一定规则采用对数等间隔划分区间,计算每个区间内代表流量值;

[0051] 天然河流具有枯期流量变幅小,汛期流量变幅大的特点,采用对数间隔才能反映这种变化特点。根据国外的流量时间序列统计规范,流量间隔的划分宜在20~30级之间,建议从30级开始逐次试取;实施例中,根据30年系列中的最大流量值 $Q_{\max}=13500\text{m}^3/\text{s}$ 、最小流

量值 $Q_{\min}=192\text{m}^3/\text{s}$ ,解得对数等间隔的参数 $h=\left(\frac{Q_{\max}}{Q_{\min}}\right)^{\frac{1}{30}}=1.152$ ,由此得30个流量区间的31

个分界点为 $192\text{m}^3/\text{s}$ 、 $221\text{m}^3/\text{s}$ 、 $255\text{m}^3/\text{s}$ 、 $\dots$ 、 $13500\text{m}^3/\text{s}$ ,经检查,每个区间内均有流量数据,因此流量区间跨度合理;求各区间前后两个分隔点均值作为该区间的代表流量值 $\bar{Q}_i$  ( $i=1\sim N_1$ ),分别为 $207\text{m}^3/\text{s}$ 、 $238\text{m}^3/\text{s}$ 、 $\dots$ 、 $12608\text{m}^3/\text{s}$ 。

[0052] 步骤2.2对水文站B(汇合口附近干流站)取30年长系列日均水位资料,对水位数据从高到低排序并按一定规则采用算术等间隔划分区间,计算每个区间内代表水位值;

[0053] 冲积河流的水位变化较为平缓,可采用算术等间隔进行分级。根据以往研究中的水文统计经验,水文系列的算术间隔大小可以取 $0.25S$ 、 $0.50S$ 、 $0.75S$ 或 $S$ ,划分间隔个数应在10~25之间。本实施例中,30年长系列日均水位数据总计 $n=10958$ 个,水位标准差

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_i - \hat{Z})^2}{n}} = 3.961, \quad \text{其中 } Z_i (i=1 \sim n) \text{ 为日均水位, } \hat{Z} \text{ 为多年平均水位值, 试算水位间}$$

隔可为0.99m, 1.98m, 2.97m或3.96m, 为使区间划分尽量精细, 间隔值从0.99m开始试取, 区

间个数  $N_2 = \frac{(Z_{\max} - Z_{\min})}{0.25S} = 17.81$  满足要求, 将等级数取整数为18, 间隔值调整为0.98m, 由此可

确定18个水位区间的分界点分别为9.7m、10.67m、11.65m、…、27.33m; 经检查, 各区间内均有水位数据, 选取的水位区间跨度合理, 计算各区间前后两个分隔点均值得到其代表水位值分别为10.19m、11.17m、…、26.84m。

[0054] 步骤3. 河段内比降关系曲线确定:

[0055] 根据已有研究经验, 天然河道中水位流量关系可表达为水位与流量对数值之间的多项式函数。对于本实施例中的A站, 其水位流量关系不受交汇口水位 $Z_B$ 回水顶托影响, 可近似表达为 $Z_A = x \ln(Q) + y$ , 其中 $x$ 、 $y$ 为常数, 设 $L$ 为河段距离, 则A、B两站之间比降为 $J = (Z_A - Z_B) / L = [x \ln(Q) + y - Z_B] / L$ , 在固定 $Z_B$ 的情况下, 比降可表达为 $J = b \ln(Q) + c$ , 其中 $b$ 、 $c$ 为常数, 基于上述理论分析, 本步骤具体过程如下:

[0056] 步骤3.1取A站、B站同日水位 $Z_A$ 、 $Z_B$ , 计算河段内日均落差 $\Delta Z = Z_A - Z_B$ , 再除以河段长度153km, 得到河段日均比降 $J$ ;

[0057] 步骤3.2将30年共10958组流量、水位、比降数据, 按照步骤2中确定的水位间隔将数据分为18个区间群组, 对每个群组根据流量、比降值作散点图, 然后以对数函数 $J = b \ln(Q) + c$ 拟合散点数据的趋势线, 得到18组以区间代表水位为参数的比降~流量关系曲线如图3所示(为便于显示, 图中给出其中9组)。

[0058] 步骤4. 绘制不同水流条件下造床强度平面分布图, 采用图解法求解造床流量及其相应水位。

[0059] 根据地貌学界提出的地貌功概念, 特定水流条件对河道形态的塑造作用不仅与其强度有关, 而且与其持续时间有关; 而根据应用较广的马卡维耶夫造床流量计算方法, 水流的造床强度由流量高次方和比降乘积联合决定; 基于上述理论原理, 本步骤具体过程如下:

[0060] 步骤4.1以30年的长系列实测资料为对象, 根据步骤2.1中确定的30个流量区间与步骤2.2中确定的18个水位区间, 统计540种不同流量、水位组合区间内流量出现天数 $DN_{i,j}$ , ( $i=1 \sim 30, j=1 \sim 18$ ), 然后将各区间内天数除以总天数10958, 换算成各区间的流量出现频率 $P_{i,j}$ ;

[0061] 步骤4.2以步骤2中依据流量间隔得到的30个代表流量级, 以及依据水位间隔得到的18个代表水位级, 计算各级代表流量、代表水位组合下的540个造床强度 $Q^m J P$ 值(其中的 $m$ 为步骤1中确定的指数,  $J$ 根据步骤3.2中的曲线方程计算确定,  $P$ 在步骤4.1中确定), 然后以A站流量为横轴并取对数坐标, B站水位为纵轴并取普通坐标, 在半对数坐标系内点绘 $Q^m J P$ 散点图, 再依据散点数据绘制 $Q^m J P \sim (Q, Z)$ 关系曲面如图4所示。由图4可见, 在 $(1200 \text{m}^3/\text{s}, 12.2 \text{m})$ 和 $(7800 \text{m}^3/\text{s}, 22.0 \text{m})$ 附近存在两个极值区域, 极值点对应的流量 $1200 \text{m}^3/\text{s}$ 、 $7800 \text{m}^3/\text{s}$ 分别为中枯水期和洪水期的造床流量。

[0062] 支流尾闾河段水流造床作用受到来水来沙与干流水位顶托双重作用, 图4中得到造床作用最大流量级的同时, 也得到了与其相应的水位级, 在堤防设计、河道及航道整治等

工程实践中,需要注意造床流量与相应的水位共同决定了造床作用最大的水流条件,二者需联合使用。

[0063] 以上实施例仅仅是对本发明技术方案所做的举例说明。本发明所涉及的支流尾闾河段造床流量的确定方法并不仅仅限定于在以上实施例中所描述的内容,而是以权利要求所限定的范围为准。本发明所属领域技术人员在该实施例的基础上所做的任何修改或补充或等效替换,都在本发明的权利要求所要求保护的范围内。

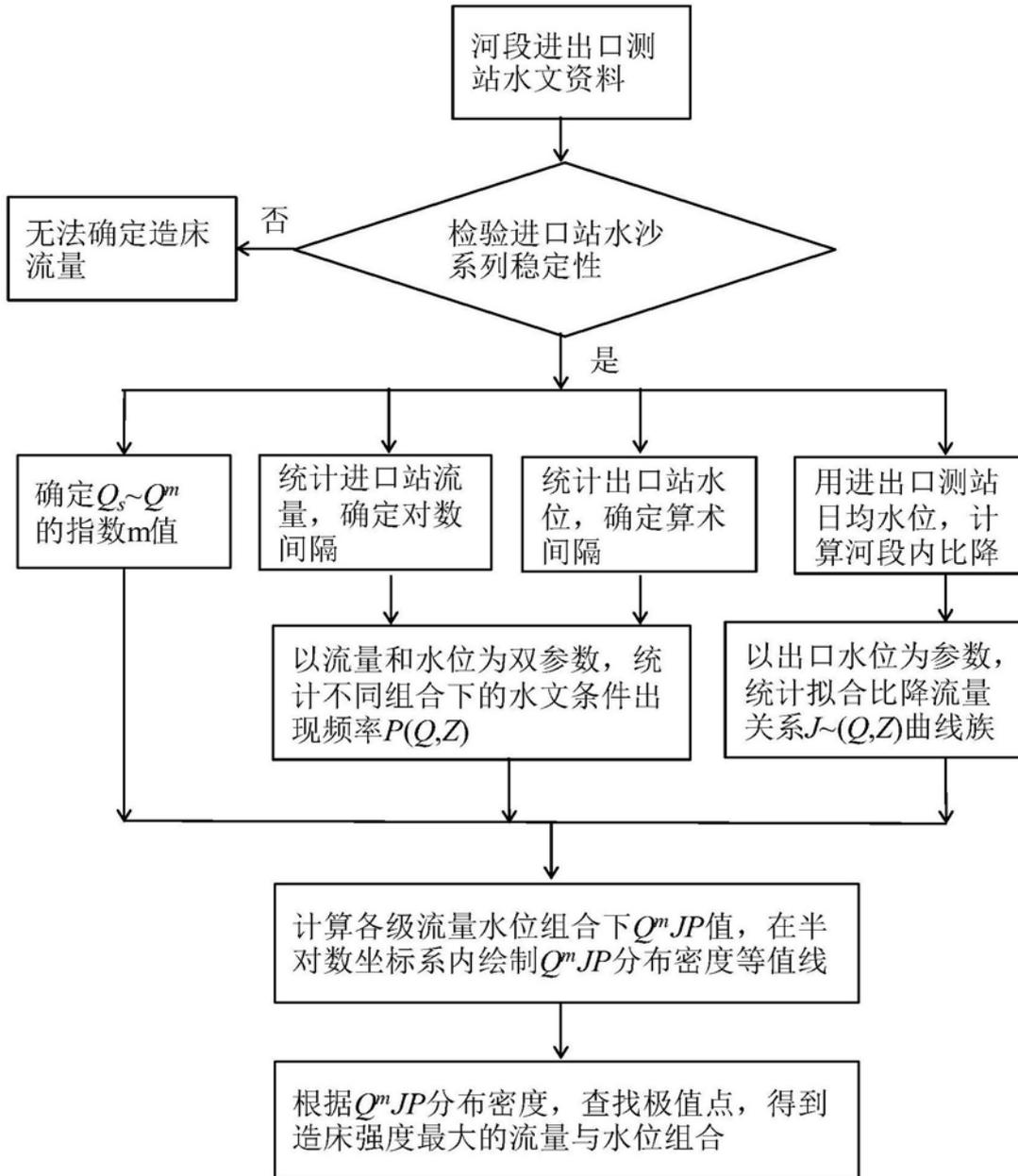


图1

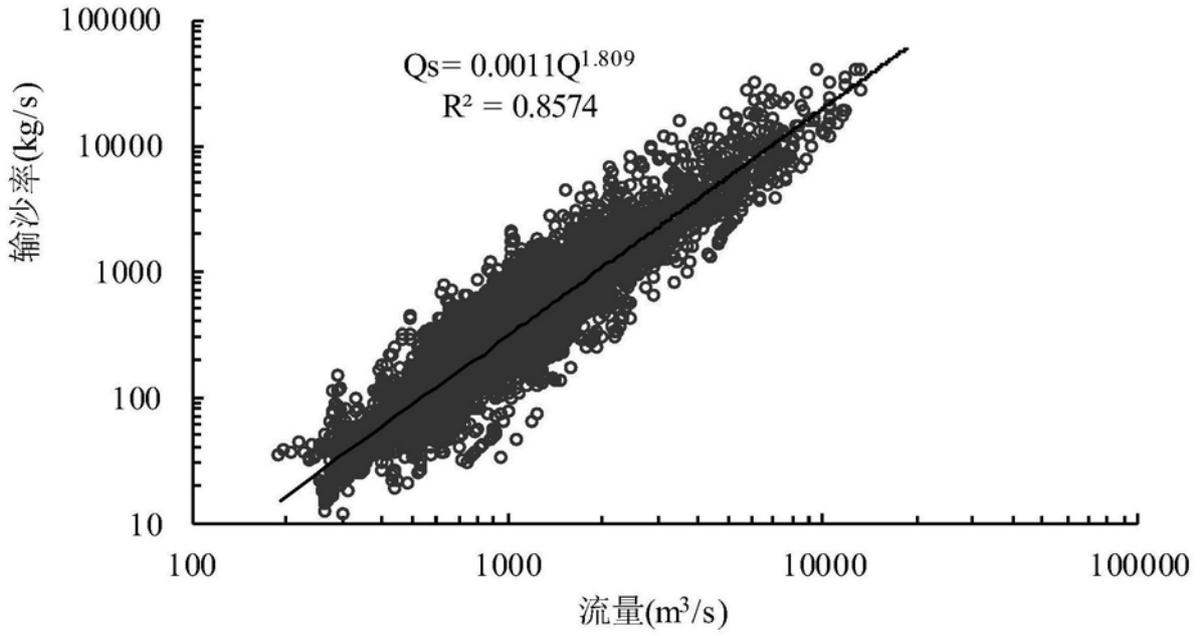


图2

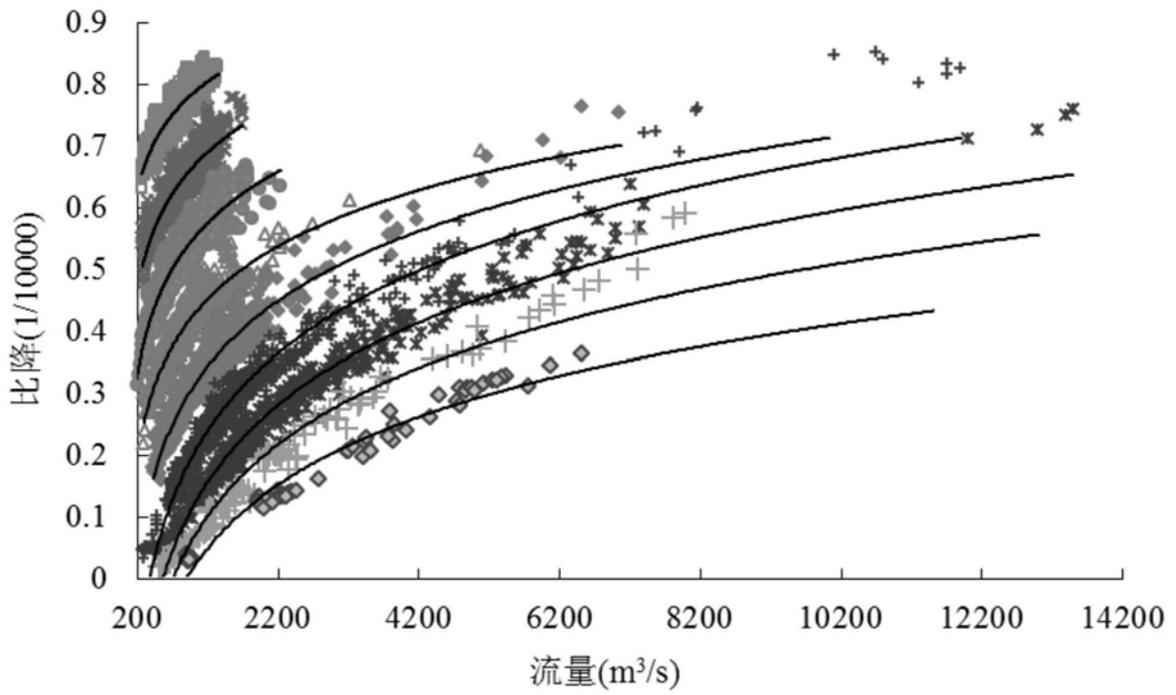


图3

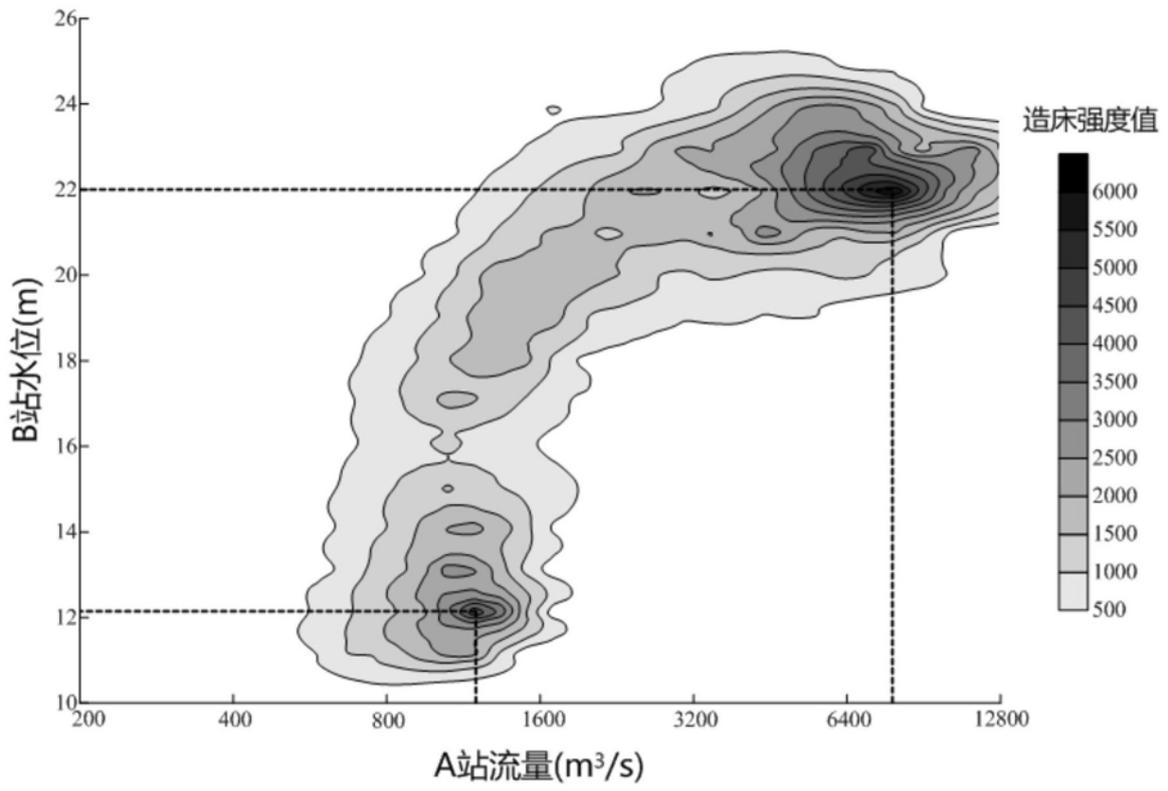


图4