

DOI :10.3880/j.issn.1006-7647.2011.06.002

分汊河道分流比估算方法

童朝锋^{1 2}, 严以新², 孟艳秋², 岳亮亮²

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098 ;
2. 河海大学港口海岸与近海工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要 利用冲淤平衡的多分汊河道各分汊含沙量基本相等和冲积分汊河流在分汊口两支汊水流满足动量守恒条件的特点, 推导出 2 种计算分汊河道分流比的简便方法, 即等含沙量法和动量平衡法。利用珠江河口共 8 处的分汊口分流资料进行验证, 结果表明, 与实际分流比相比, 等含沙量法计算的分流比平均相对误差为 21%, 动量平衡法计算的分流比平均相对误差为 6.4%, 认为所提出的等含沙量法和动量平衡法适用于分汊河道分流比的估算。

关键词 分汊河道; 分流比; 等含沙量法; 动量平衡法

中图分类号: TV131.4 文献标识码: A 文章编号: 1006-7647(2011)06-0007-03

Methods for evaluating flow diversion ratio of bifurcated rivers // TONG Chao-feng^{1 2}, YAN Yi-xin², MENG Yan-qiu², YUE Liang-liang² (1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China ; 2. College of Harbor, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract : Based on the suspended sediment concentration in each branch being basically equal in the multi-branch river with steady riverbed and the momentums of the two branches keeping conservation along the right direction of the main river of an alluvial river, two convenient methods to estimate the diversion ratios of bifurcated rivers were derived, i. e., equal suspended sediment concentration method (ESSCM) and momentum conservation method (MCM). The flow diversion data of eight branch mouths in the Pearl River were validated by means of the above two methods. The results show that the flow diversion ratios calculated by ESSCM and MCM have averaged relative errors of 21% and 6.4% respectively compared with the actual ones. The proposed two methods can be employed to estimate the flow diversion ratios of bifurcated rivers.

Key words : bifurcated river ; flow diversion ratio ; equal suspend sediment concentration method ; momentum conservation method

分汊河道在冲积河道中是一种常见的河流平面形态^[1-2], 分流比是分汊河道的一个重要参数, 其大小和变化将决定分汊河道各支汊的兴衰, 影响航道变迁、防洪布局等^[3-5]。长期以来, 对于有分汊段的河道整治工程, 人们往往特别关注各支汊的分流比变化, 希望河道改变以后分汊河道的分流比按设计的方向发展。例如长江口深水航道工程整治以后, 要确保南支北槽的分流比不至于大幅度缩小, 防止建堤工程实施后北槽萎缩^[6]。同样的问题也出现在珠江河口, 珠江八大口门整治的分流比要求便是增大南北向河道的分流比, 减小东西向河道的分流比, 以利于排洪, 因此预测和控制分流比是工程中需要考虑的重要因素^[7-8]。

预测分流比可以采用数学模型等方法进行精确

计算, 但这需要详细的水文地形资料, 并进行复杂的计算, 所需要的周期较长^[6]。严以新等^[9-12]、葛亮等^[13]曾利用最小能耗原理建立分流比与分流角的关系式, 为分流比的估算提供了较好的方法, 但需要进行迭代试算, 计算较复杂; 文献^[14]利用分汊河道各支汊分流和汇流点之间的水位差相等计算分流比, 可称为等水位法, 推导过程较为严谨, 其缺陷是只适用于闭合的分汊系统, 不适用于无汇流点或者汇流复杂的河网。

针对上述情况, 笔者提出了 2 种估算分汊河道分流比的方法, 即等含沙量法和动量平衡法。对于河床相对稳定的河流系统, 沿程流量也相对恒定, 各断面的含沙量基本保持恒定, 否则势必引起河床的调整。这同样适用于分汊河道, 各支汊河道的含沙

基金项目 国家自然科学基金(50709007) ; 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室基本科研业务费项目(2010585312) ; 河海大学中央高校基本科研业务费项目(2009B09614) ; 水利部公益性行业科研专项(200701026)

作者简介 童朝锋(1973—) , 男, 浙江宁波人, 副教授, 博士, 从事河口海岸动力学研究。E-mail : chaofengtong@hhu.edu.cn

量应与河道分流前基本相等,由此推导出适用于多分汊河道分流比的计算公式,该方法为等含沙量法。在冲积河床条件下的二支汊河道,在无岩基或人工建筑物等不可冲刷物体限制条件下,分汊处的两分流水体垂直河道主轴方向满足动量守恒条件。利用动量守恒条件可推导出分汊河道的分流比,该方法称之为动量平衡法。

1 等含沙量法

图1是二支汊河道的示意图,图中 J, B, H, Q, L 分别表示河道的水面比降、宽度、水深、流量以及长度,下标0表示分汊河道的主河道,下标1表示分汊河道的左汊道,下标2表示分汊河道的右汊道, θ_1 和 θ_2 分别为二支汊河道的偏转角度。

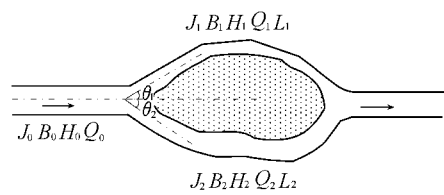


图1 二支汊河道示意图

根据文献[15],在冲积河流中,各分汊河床稳定、断面差异不悬殊的分汊河段,各汊含沙量接近或者相等。若含沙量变化较大或者各分汊之间含沙量相差悬殊,在进入分汊河道前后势必需要和河床泥沙进行强烈交换,才可出现上述情况,而这导致河床的冲刷或者淤积,造成河床不稳定,和河床相对稳定的前提相悖,即使泥沙在水体和河床之间发生强烈交换,通过冲淤调整,河床也会在一段时间后维持稳定,泥沙交换减弱,沿程含沙量继续保持恒定状态。等含沙量法利用分汊河道各分汊含沙量近似相等的条件计算支汊河道的分流比。

平衡状态的含沙量表达式^[14]:

$$s = k \left(\frac{u^3}{gH\omega} \right)^m \quad (1)$$

式中: s 为含沙量; k, m 为系数; u 为断面平均流速; g 为重力加速度; H 为河道水深; ω 为泥沙的沉降速度。

利用分汊河道分流前后含沙量相等或相近的条件得出

$$k \left(\frac{u_1^3}{gH_1\omega_1} \right)^m = k \left(\frac{u_2^3}{gH_2\omega_2} \right)^m = k \left(\frac{u_0^3}{gH_0\omega_0} \right)^m \quad (2)$$

由于分流前后泥沙沉速不变,即 $w_1 = w_2 = w_0$,再利用 $Q = Au$ 的关系,得出

$$\frac{Q_1^3}{A_1^3 H_1} = \frac{Q_2^3}{A_2^3 H_2} = \frac{Q_0^3}{A_0^3 H_0} \quad (3)$$

式中: A 为过流断面面积。

令 $Q_1 = n_1 Q_0, Q_2 = (1 - n_1) Q_0$,其中 n_1 表示左支汊的分流比,代入式(3)得

$$n_1 = \frac{\frac{A_1 \left(\frac{H_1}{H_2} \right)^{1/3}}{A_2 \left(\frac{H_1}{H_2} \right)^{1/3}}}{1 + \frac{A_1 \left(\frac{H_1}{H_2} \right)^{1/3}}{A_2 \left(\frac{H_1}{H_2} \right)^{1/3}}} \quad (4)$$

假设河道过流断面为矩形,则 $A = BH$ 。依据冲积河道分汊前与各支汊的河相关系相似原理($H = \sqrt{B/\xi}, \xi$ 为河相关系数)^[14],式(4)可进一步简化为

$$n_1 = \frac{\left(\frac{B_1}{B_2} \right)^{5/3}}{1 + \left(\frac{B_1}{B_2} \right)^{5/3}} \quad (5)$$

从等含沙量法的推导结果分析,分汊河道的分流比与各支汊的宽度比有关,宽度越大,其对应支汊河道的分流比也越大。

2 动量平衡法

冲积平原河道河床一般由均质泥沙组成,平面上具有各向同性的特征。在水流作用下,河道形态可以按照水流和河床相互作用响应规律协调发展。在冲积平原区域无岩基或人工建筑物等不可冲刷物体的分汊河道,分汊口处的两分流水体垂直河道主轴方向满足动量守恒条件。根据此原理得到

$$Q_1 u_1 \sin \theta_1 = Q_2 u_2 \sin \theta_2 \quad (6)$$

利用 $Q = Au$,式(6)转换为

$$\frac{Q_1^2}{A_1} \sin \theta_1 = \frac{Q_2^2}{A_2} \sin \theta_2 \quad (7)$$

令 $Q_1 = n_1 Q_0, Q_2 = (1 - n_1) Q_0$,代入式(7)得

$$n_1 = \frac{\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^{1/2} \left(\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} \right)^{1/2}}{1 + \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^{1/2} \left(\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} \right)^{1/2}} \quad (8)$$

假设河道过流断面为矩形,并依据河相关系相似原理,式(8)可写成

$$n_1 = \frac{\left(\frac{B_1}{B_2} \right)^{3/2} \left(\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} \right)^{1/2}}{1 + \left(\frac{B_1}{B_2} \right)^{3/2} \left(\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} \right)^{1/2}} \quad (9)$$

由此可见,分流比除与各支汊断面面积(或河宽)有关,还与分汊角度有密切的关系。分汊角度越大,其所对应的分流比越小,该支汊处于衰落状态,此趋势与严以新等^[9-12]推导得出的分流比变化趋势一致。

3 算例验证

以珠江作为验证河道。珠江是我国重要的河流

之一 ,主要由西江、北江和东江等河道组成 ,存在着大量的分汉 ,如图 2 所示(L 表示左汉 ,R 表示右汉)。珠江河网各支汉的水量、沙量分配关系到河道的演变和变迁 ,因此 ,珠江河网各河道的分流研究备受关注。

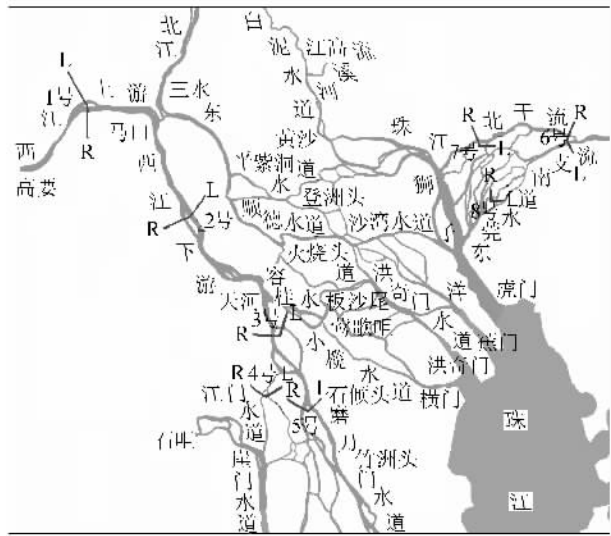


图 2 珠江河网各分汉河道位置示意图

选取珠江河网中的西江和东江较典型的 8 处分汉进行验证 ,所选分汉河道分布见图 2 ,其中 1 ~ 5 号分汉位于西江河网 ,6 ~ 8 号分汉位于东江河网。验证结果见表 1。由表 1 可见 ,误差较大的是东江 7 号分汉 ,用等含沙量法计算的分流比绝对误差为 0.115 ;用动量平均法计算的西江 1 号分汉的分流比绝对误差最小 ,为 0.001。与实际分流比相比 ,等含沙量法计算的分流比平均相对误差为 21% ,动量平衡法计算的平均相对误差为 6.4%。

4 讨 论

等含沙量法和动量平衡法均需要提供河道的宽度 ,但因所利用的物理条件不同 ,如何有效确定用于计算的河宽成了保证计算精度的关键。对于等含沙量法 ,河宽宜取在分汉河道河床稳定的典型断面。由于动量平衡法利用的是分流处的动量平衡原理 ,

因此选择靠近分流处的河宽比较适宜。

就应用范围而言 ,等含沙量法基于各分汉河床稳定、过流断面相近的冲积河流分汉河段各汉含沙量相等的条件得出 ,对于各分汉断面比较悬殊 ,特别是各分汉水深相差悬殊直接导致分汉河道含沙量差异大的分汉河道 ,用等含沙量法计算分流比误差较大 ,因此等含沙量法适用于各汉断面地形相近的分汉河道 ;同时 ,根据等含沙量法的原理 ,对于二支汉以上的多分汉河道断面相近的冲积河流分汉河段 ,等含沙量法也同样适用。

动量平衡法基于分流处的动量平衡原理 ,显然 ,在水流作用下 ,河道形态发展符合水流和河床相互作用响应规律 ,即水流的动量作用必须能在河床地形上反映 ,若存在岩基或人工建筑物等不可冲刷物体 ,动量平衡法存在比较大的误差 ,因此该方法适用于由均质泥沙组成的冲积平原分汉河道。

文献 [9-13] 利用最小能量法计算分流比 ,该方法只适用于二支汉河道。文献 [14] 采用等水位差法计算分流比 ,但分汉必须是闭合的。与最小能量法比较 ,等含沙量法可以应用于多分汉河道中 ;与等水位差法比较 ,等含沙量法和动量平衡法均不需要满足分汉河道必须闭合和分汉口至汇流口各支汉无侧流进出条件 ,因此等含沙量法和动量平衡法适用于相对复杂的分汉河道。但也需要指出 ,等含沙量法和动量平衡法是对分汉河道的分流比进行粗略计算的方法 ,其计算结果的精确程度不如数值模型方法 ,这是概化模型的弊端。

5 结 语

作为河道基本平面形态之一的分汉河道 ,分流比变化决定了分汉河道各支汉的兴衰 ,因此分汉河道的分流比变化一直受到水利工程界的关注。预测分流比可以采用数学模型等方法进行精确计算 ,但需要详细的水文地形资料 ,计算复杂 ,且周期较长。

利用冲淤平衡的多分汉河道各分汉含沙量基本

表 1 珠江河网各分汉河道分流比计算验证结果

分流位置	分汉编号	河宽/m		偏转角(°)		实际分流比	左汉分流比					
		左汉	右汉	左汉	右汉		等含沙量法			动量平衡法		
							计算值	绝对误差	相对误差/%	计算值	绝对误差	相对误差/%
西江	1	715	950	32	13	0.385	0.326	0.059	15	0.384	0.001	0
	2	1 250	1 180	15	29	0.554	0.588	0.034	6	0.524	0.030	5
	3	109	690	75	10	0.058	0.096	0.038	66	0.044	0.014	24
	4	410	75	8	65	0.938	0.901	0.027	3	0.944	0.006	1
	5	889	943	33	35	0.483	0.495	0.012	2	0.475	0.008	1
东江	6	249	339	41	25	0.356	0.389	0.033	9	0.374	0.018	5
	7	206	497	35	25	0.192	0.307	0.115	60	0.187	0.005	3
	8	185	194	70	25	0.429	0.393	0.036	8	0.480	0.051	12

(下转第 90 页)

型[J].中国管理科学,2003,11(6):40-44.

[34] DAFNA E. Optimal allocation of tradable pollution rights and market structures[J]. Journal of Regulatory Economics, 2005, 28(2):205-223.

[35] 尚静石. 动态规划在河流初始排污权分配中的应用[J]. 东北水利水电, 2006(5):9-10.

[36] 赵海霞. 不同市场条件下的初始排污权免费分配方法的选择[J]. 生态经济, 2006(2):51-53.

[37] 李寿德, 黄桐城. 交易成本条件下初始排污权免费分配的决策机制[J]. 系统工程理论方法应用, 2006, 23(3):194-199.

[38] 赵文会, 高岩, 戴天晟. 初始排污权分配的优化模型[J]. 系统工程, 2007, 25(6):57-61.

[39] 黄显峰, 邵东国, 顾文权. 河流排污权多目标优化分配模型研究[J]. 水利学报, 2008, 39(1):73-78.

[40] 高慧慧, 徐得潜. 公平条件下水污染物排污权免费分配模型研究[J]. 研究与探索, 2009, 23(3):299-301.

[41] 王成勇. 基于成本效率的排污权初始分配模型试建[J]. 技术研发, 2010, 17(6):12-13.

[42] 李寿德, 伊胜萍. 排污权交易思想及其初始分配与定价问题探析[J]. 科学与科技技术管理, 2002, 23(1):69-71.

[43] ATHANASIONS K. Selecting permit allocation rules for agricultural pollution control: a bargaining solution[J]. Ecological Economics, 2003, 47:135-147.

[44] 施圣炜, 黄桐城. 期权理论在排污权初始分配中的应用[J]. 中国人口资源与环境, 2005, 15(1):52-55.

[45] 梅林海, 戴金满. IPO 定价机制在排污权初始分配中应用的研究[J]. 价格月刊, 2009(9):33-36.

[46] 肖江文, 罗云峰, 赵勇, 等. 初始排污权拍卖的博弈分析[J]. 华中科技大学学报, 2001, 29(9):37-39.

[47] 肖江文, 罗云峰, 赵勇, 等. 排污权交易制度与初始排污权分配[J]. 科技进步与对策, 2002(1):126-127.

[48] 吴亚琼, 赵勇, 吴相林, 等. 初始排污权分配的协商仲裁机制[J]. 系统工程, 2003, 21(5):70-74.

[49] 张颖, 王勇. 我国排污权初始分配的研究[J]. 生态经济, 2005(8):50-52.

(收稿日期:2011-09-23 编辑:骆超)

(上接第9页)相等和冲积分汊河流在分汊口两支汊水流满足动量守恒条件的特点,可推导出2种计算分汊河道分流比的简便方法。利用珠江河网共8处分汊口的分流资料进行验证,结果表明,与实际分流比相比,等含沙量法所计算的分流比平均相对误差为21%,动量平衡法计算的平均相对误差为6.4%。因此,所提出的等含沙量法和动量平衡法适用于分汊河道分流比的估算。

参考文献:

[1] 钱宁. 关于河流分类及成因问题的讨论[J]. 地理学报, 1985, 40(1):2-10.

[2] 钱宁, 张仁, 周志德. 河床演变学[M]. 北京:科学出版社, 1987.

[3] ZANICHELLI G, CARONI E, FIOROTTO V. River bifurcation analysis by physical and numerical modeling[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2004, 130(3):237-243.

[4] WANG Zheng-bing, WANG Zhao-yin, de VRIEND H J. Impact of water diversion on the morphological development of the Lower Yellow River[J]. International Journal of Sediment Research, 2008, 23(1):13-27.

[5] WEN Li, ROGERS K, LING J, et al. The impacts of river regulation and water diversion on the hydrological drought characteristics in the Lower Murrumbidgee River, Australia[J]. Journal of Hydrology, 2011, 405(3/4):382-391.

[6] LI Lu, ZHU Jian-rong, WU Hui, et al. A numerical study on

water diversion ratio of the Changjiang (Yangtze) estuary in dry season[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2010, 28(3):700-712.

[7] 谭超, 杨清书, 刘秋海, 等. 1950年代和1990年代西北江网河区水动力特征变化[J]. 水利水电科技进展, 2009, 29(S1):28-32.

[8] 朱金格, 包芸, 胡维平, 等. 近50年来珠江河网区水动力对地形的响应[J]. 中山大学学报:自然科学版, 2010, 49(4):129-133.

[9] YAN Yi-xin, GAO Jin, MAO Li-hua, et al. Calculation of diversion ratio of the north channel in Yangtze river estuary[J]. China Ocean Engineering, 2000, 14(4):525-532.

[10] 严以新, 高进, 诸裕良, 等. 长江口北槽优良河势的机制[J]. 水利水运工程学报, 2000(3):8-12.

[11] 严以新, 高进, 诸裕良, 等. 长江口深水航道治理与河床演变关系的初探[J]. 河海大学学报:自然科学版, 2001, 29(5):7-12.

[12] 严以新, 葛亮, 高进. 最小能耗率理论在分汊河段的应用[J]. 水动力学研究与进展:A辑, 2003, 18(6):692-697.

[13] 葛亮, 严以新, 高进. 河流的分流和汇流模式的应用研究[C]//中国海洋工程学会. 第十届中国海岸工程学术讨论会暨2003年海峡两岸港口及海岸开发研讨会. 北京:海洋出版社, 2003:149-152.

[14] 王昌杰. 河流动力学[M]. 北京:人民交通出版社, 2001.

[15] 钱宁. 泥沙运动力学[M]. 北京:科学出版社, 1987.

(收稿日期:2011-03-04 编辑:骆超)