

上游河道宽度变化对河相关系影响之研究

连惠邦

(逢甲大学水利工程学系 台湾台中)

王基安 林忠义

(逢甲大学土木水利研究所)

摘要 上游河道整治时,其治理宽度常涉及到沿岸土地取得的问题,使治理工作有时变得困难,最后只好依现况宽度或将宽度窄缩,以迁就现实。惟因溪流治理宽度直接影响溪流本身的排洪、导流及输砂等多项功能,如不能依照必要的溪流宽度及其相关配套措施予以整治时,对国土资源及人民生命财产或有不利之影响,故有必要加以探讨。据此,本文针对床砂粒径组成及来水来砂量等条件为已知的上游河道,在各种可能的治理宽度下,通过一定的理论推导及渠槽试验方式,建立溪流宽度及其相应的水深、溪床坡度及流速等水力要素间之河相关系式,并提出溪流治理宽度、护岸高度及基础深度等工程措施之设计模式,提供现场工程设计之参考。

关键词 治理宽度 河相关系 渠槽试验

Study on the Effect of Morphological Relationships by Regulating Width on the Upstream Channel

Hui-Pang Lien

(*Department of Hydraulics Engineering, Feng Chia University Taichung Taiwan*)

Ji-Ann Wang Chung-Yi Lin

(*Institute of Civil and Hydraulics Engineering, Feng Chia University Taichung Taiwan*)

Abstract Land ownership of floodplain is usually the major problem for upstream channel regulation such that design channel width is often forced to fit the current condition. However, regulating width of the channel also effects several functions of water resources such as flood sluicing, flow diversion and sediment transportation. A complete concept of channel regulation with appropriate channel width and auxiliary operations not only can have the conservation utility for natural resources but also can reduce the potential loss of human life and property. Hence, this study plans to structure the morphological relationships for related hydraulic factors (i. e., channel width, corresponding flow depth, channel slope, and flow velocity) through theoretical inference and flume experiment under different combinations of grain size distribution of bed material and clear-water discharge in this year. With this relationship, design model

of construction operations for channel improvement width, dike height, and foundation depth can then be provided for the field operation.

Key words regulating width morphological relationship flume experiment

1 前言

由于台湾本岛地狭人稠,在经济及生活品质的需求之下,加上可资开发的平地面积相当有限,山坡地的开发建设和集约化经营,如雨后春笋般迅速发展,其中上游河道沿岸土地及其下游扇状地被大量开发垦殖后,因人口集中且土地利用形态渐趋多元化,使得溪流治理从过去只单纯考量工程本身配置之合理性,到今日还必须顾及邻近地区民众之权益和反应等非工程因素,尤其是当溪流治理宽度涉及到沿岸的土地问题时,常使治理工作变得更加困难。

一般上游河道具有坡陡、流短、水急和床砂级配宽广等特性,处于不断地冲刷下切及展宽的发育阶段,岸坡水土流失严重,土砂生产相当旺盛,故应实施治理工程,以有效控制土砂生产及移动,稳定流心,减少洪水及泥砂之危害,促进溪流沿岸土地之有效利用及水源涵养之功能。其中,溪流治理宽度或断面大小,不仅攸关排洪、导流及输砂之能力,同时亦牵涉溪流沿岸土地的利用形态及私有权问题,而与民众私人权益密切相关。因此,为避免治理时因土地取得问题而引发附近民众非理性之抗争,加深工程执行的困难度,针对溪流治理宽度的选取,尤其是迁就现实或其他自然因素而必须予以窄化时,所引起水深、底床坡度及流速等参量的相应变化,以及对工程本身安全性之影响,实有必要加以探讨。

本文针对上游河道治理宽度及其水力要素间的河相关系进行研究,最终目标乃为提升山坡地治山防灾工程之相关技术及治理成效。其研究方法兹分述如下:

(1) 针对上游河道因构筑防砂坝、沉砂池或水库之后,水中泥砂含量突然骤减的清水流流况,同时充分考量上游河道的各种宽度变化、床砂组成及溪床坡度等相关物理参数进行渠槽试验,经由渠槽试验所获得之实测资料,透过一定的统计分析方式检定河相关系模式及其待定参数,以建立上游河道治理宽度及其相应水深、底床坡度及流速等水力要素间之河相关系式。

(2) 针对一般河道以含浑流流况为主,考虑水流泥砂含量未达饱和、饱和(或平衡)或超饱和等入流条件下,且考虑上游河道的不同宽度、床砂组成及溪床坡度等参数进行渠槽试验,经由渠槽试验所获得之实测资料,透过一定的统计分析方式检定河相关系模式及其待定参数,以建立上游河道治理宽度及其相应水深、底床坡度及流速等水力要素间之河相关系式。

2 文献回顾

(1) 黄克中及钟恩清(1991),为在平原河流航道整治中,设计航道整治线宽度以达到预期的整治水深,根据最小单位水流功率理论及输砂平衡理论原则,对整治前后河川的宽深进行推导。由于河流总朝单位水流功率最小的要求调整其流速、坡降、糙度及断面形状,当整治前后的河川的单位水流功率达最小时,即

$$(U_1 S_1)_{\min} = (U_2 S_2)_{\min} \quad (2-1)$$

式中,下标 1、2 分别表示整治前后河段已达相对平衡的数值。利用(2-1)式的观念,假设整治前

后流量不变($Q_1 = Q_2$), 并考虑一般冲刷深度不大, 不会导致河床粗化, 因此糙率 $n_1 = n_2$ 。配合连续方程 $Q = BhU$ 及曼宁公式 $U = \frac{1}{n}h^{2/3}S^{1/2}$ 可推得

$$B_2 = B_1 \left(\frac{h_1}{h_2} \right)^{13/9} \tag{2- 2}$$

$$h_2 = h_1 \left(\frac{B_1}{B_2} \right)^{9/13} \tag{2- 3}$$

另外, 若配合输砂平衡原则进行推导, 即 $Q_1 S_{*1} = Q_2 S_{*2}$ (S_{*} 为水流挟沙力), 则亦可得 (2- 2) 、 (2- 3) 式。

(2) 前苏联国立水文研究所根据前苏联一些平原河流的资料, 建议采用以下公式:

$$\frac{\overline{B}}{H} = \xi \tag{2- 4}$$

式中: B ——平滩流量时的河段平均河宽 (m); H ——平滩流量时的河段平均水深 (m); ξ ——河相系数, 对于砾石河床取 1. 4, 一般粗砂取 2. 75, 极易冲刷的细沙河床取 5. 5。上式公式虽然是经验性的, 但结构简单, 同一河型的 ξ 值变化不大, 在实际应用上得到广泛应用。

(3) 阿尔图宁根据前苏联中亚西亚河流的资料, 对 (2- 4) 式进行修正, 得

$$\frac{B^j}{H} = \eta \tag{2- 5}$$

式中: j 和 η 因河段所处位置而异。

(4) Brav 根据加拿大艾伯塔地区 70 处卵石河段的资料, 得到如下的关系:

$$\frac{B}{H} = \alpha Q_2^{0.20} \tag{2- 6}$$

式中: Q_2 ——两年频率洪水, (m^3/s); α ——一系数, 与河岸组成物质有关。

Brav 更进一步考虑河床物质组成的影响, 得到如下的关系:

$$\left. \begin{aligned} B &\sim Q_2^{0.53} d_{50}^{-0.07} \\ H &\sim Q_2^{0.33} d_{50}^{-0.025} \\ B/H &\sim Q_2^{0.20} d_{50}^{-0.045} \end{aligned} \right\} \tag{2- 7}$$

式中, d_{50} ——床砂中径, (mm)。

3 理论分析

根据河床演变学得知, 集水区加诸于溪流宽度、深度及坡度等水力要素(或称之为河相关系) 的三个因素为: (1) 来自集水区的水量及其过程; (2) 来自集水区的泥砂量及其过程; (3) 溪流的边界条件。其中, 第三个因素溪流边界条件是指溪床及两岸组成物质的种类及其相对的可冲性, 这个因素一方面决定于当地的地质条件, 一方面又和进入溪流的泥砂种类有关。事实上, 在一定的边界组成物质的条件下, 溪流所以要取得一定的几何形态和坡度, 水流所以要达到一定的流速, 完全是为了要排放来自上游的水量及泥砂量。换句话说, 溪流水力要素或河相关系, 系由挟砂水流与河床长期相互作用和自动调整, 来满足输水输砂之要求, 以保持一定形式之平衡。

就宏观角度, 保持平衡的时均水流条件通常采用定量均匀流来描述, 且水力要素中起主导作用的是单位重量水体之能耗率 US 。当集水区来水来砂条件发生变化时, 溪流将主要通过调整能

耗率 US 来反映这种变化,其沿程调整量为 $d(US)/dx$,其中流速及能量坡降(或溪床坡降)可分别表为

$$U = \frac{Q}{BH} \quad (3-1)$$

$$S = \frac{Q^2 n^2}{B^3 H^{10/3}} \quad (3-2)$$

式中: Q ——建槽流量; H ——水深; n ——曼宁粗糙系数。

设流量及粗糙系数为已知,则能耗率沿程调整量可表为

$$\frac{d(US)}{dx} = Q^3 n^2 \left(-\frac{3}{B^4 H^{13/3}} \frac{dB}{dx} - \frac{13}{3B^3 H^{16/3}} \frac{dH}{dx} \right) \quad (3-3)$$

当河道处于相对平衡状态时,单位重量水体能耗率 US 达最小值,故由上式可得

$$\frac{dB}{dx} = \frac{13B}{9H} \frac{dH}{dx} \quad (3-4)$$

积分(3-4)式得

$$\frac{B^{-9/13}}{H} = \chi_0 \quad (3-5)$$

式中: χ ——河相系数。根据二维曼宁公式得知,

$$Q = \frac{B}{n} H^{5/3} S^{1/2} \quad (3-6)$$

若建槽流量(Q)及溪流宽度(B)为已知,结合(3-5)及(3-6)式可得

$$S = \chi \frac{Q^2}{B^{-4/13}} \quad (3-7)$$

$$H = \chi^1 B^{-9/13} \quad (3-8)$$

式中: 河相系数 χ 可表为

$$\chi = n^2 \chi_0^{10/3} \quad (3-9)$$

利用连续方程式 $Q = BHU$, 亦可得

$$U = \chi_0 \frac{Q}{B^{4/13}} \quad (3-10)$$

上述(3-7)、(3-8)及(3-10)等式即为河相关系式,旨在表征溪流深度、速度及底床坡度与流量和溪流宽度间之关系。故当溪流流量及宽度为已知时,可据以推估其相应的水深、底床坡度及流速等参数,而式中各河相系数可通过渠槽试验予以确立。

4 渠槽试验

由于本文旨在探讨清水流及含滓流等两种流况下,河道宽度的变化对于河相关系之影响。因此,根据渠槽试验于渠底铺上一层厚度均匀、具有不同的粒径组成及分布特性的饱和堆积砂层,改变不同的宽度,在不同流量及不同坡度下,在上游供给水量、加砂量进行试验,并在渠槽之预定断面及其下游端分别量测水深、冲刷深度及冲出土砂量。在本试验的渠槽配置及所采用之控制因子分别如图4-1及表4-1所示。

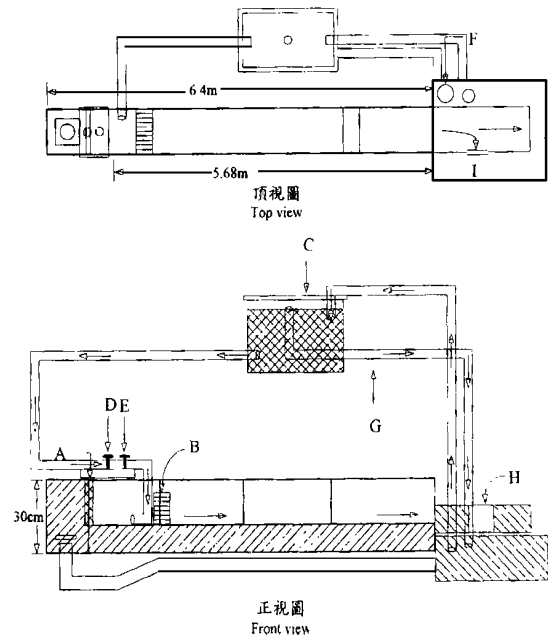


图 4- 1 试验渠槽配置示意图

表 4- 1 渠槽试验之控制因子	
控制变因	控 制 变 量
渠槽流量 (L/s)	0. 17、0. 60、1. 16、1. 49、2. 14 2. 70、3. 26、3. 77、4. 23 等 9 种
渠槽宽度 (cm)	9、12、15、20
渠槽坡度 (%)	3、4、5
床质材料	A、B、C 等 3 种试体(如图 4- 2)

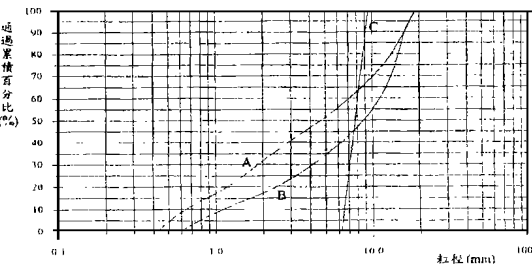


图 4- 2 粒径累积分布曲线图

5 结果分析与讨论

A 为不锈钢滤网 B 为蜂巢整流管
C 为定水头水箱 D 为水流开关阀门
E 为流量控制阀门 F 为 5 马力抽水机
G 为回水管 H 为闸门
I 为蓄水箱

图 4- 1 试验渠槽配置示意图

(在冲积河流中本身又是来水来砂条件的函数) 的特征物理量之间, 常存在某种函数关系, 这种函数关系称为河相关系。河相关系为冲积河流水力计算和河道整治的依据, 乃河道演变研究中的重要课题之一。

5. 1 清水流试验

本文根据最小能耗率、水流连续方程及阻力方程式所推导出之河相关式, 即

$$\frac{B^{-9/13}}{H} = \chi_o \tag{3- 5}$$

式中: χ_o ——河相系数。

将试验所获得的资料代入式(3- 5) 进行分析, 由图 5- 1 ~ 图 5- 3 之关系中可发现, 河相系数 χ_o 并非为一常数, 而是与 Q 、 d_{50} 及 S 有关。故将宽深比 $\frac{B}{H}$ 、流量 Q 、河床粒径组成 d_{50} 及坡度 S 表为一函数关系, 即

$$\frac{B}{H} = f(Q, d_{50}, S) \tag{5- 1}$$

根据白金汉 π 定理(Buckingham's π Theorem) 分析, 且经由试验数据进行分析可得

$$\frac{B}{H} = 4. 04 \left(\frac{Q^2}{gd_{50}^5} \right)^{-0. 34} \left(\frac{B}{d_{50}} \right)^{1. 69} (S)^{0. 42} \tag{5- 2}$$

经由转换后

$$\frac{B^{-9/13}}{H} = 4.04Q^{-0.68} \cdot g^{0.34} \cdot d_{50}^{0.01} \cdot S^{0.42} \quad (5-3)$$

式中: B ——河道宽度(m); H ——水深(m); g ——重力加速度(9.81 m/s^2); S ——原河床坡度(%); d_{50} ——床砂中值粒径(m)。经简化后可得清水流况下河道达稳定时之宽深比

$$\frac{B^{-9/13}}{H} = 8.78Q^{-0.68} \cdot d_{50}^{0.01} \cdot S^{0.42} \quad (5-4)$$

上式自变数与因变数间具有高度之相关性, 其相关系数 $r = 0.93$ 。比较式(3-5)及式(5-4), 由于根据理论所推导出的河相系数 χ , 假设为一常数, 但是, 从试验资料进行分析所获得的公式得知河相系数并非为一常数, 而是与该溪流之水文(Q)、地文(S)及地质(d_{50})等条件有关。

5.2 含滓流试验

将含滓流试验所获得的数据资料进行分析, 如图5-4~图5-6所示, 亦可看出河相关式系统中的河相系数 χ 并非为一常数, 而是在不同的坡度 S 、河床粒径组成 d_{50} 及流量 Q 下对应不同的河相系数 χ , 故将宽深比 B/H 、流量 Q 、河床粒径组成 d_{50} 及坡度 S 表为一函数关系, 即

$$\frac{B}{H} = f(Q, d_{50}, S)$$

根据白金汉 π 定理(Buckingham's π Theorem)分析, 且经由试验资料进行分析可得

$$\frac{B}{H} = 3.34 \left(\frac{Q^2}{gd_{50}^5} \right)^{-0.41} \left(\frac{B}{d_{50}} \right)^{1.83} (S)^{0.22} \quad (5-5)$$

经由转换后

$$\frac{B^{-0.83}}{H} = 3.34Q^{-0.82} \cdot g^{0.41} \cdot d_{50}^{0.22} \cdot S^{0.22} \quad (5-6)$$

式中, B ——河道宽度(m); H ——水深(m); g ——重力加速度($= 9.81 \text{ m/s}^2$); S ——原河床坡度(%); d_{50} ——床砂中值粒径(mm)。

经简化后可得含滓流流况下河道达稳定时之宽深比

$$\frac{B^{-0.83}}{H} = 8.52Q^{-0.82} \cdot d_{50}^{0.22} \cdot S^{0.22} \quad (5-7)$$

上式自变数与因变数间具有高度之相关性, 其相关系数 $r = 0.94$ 。

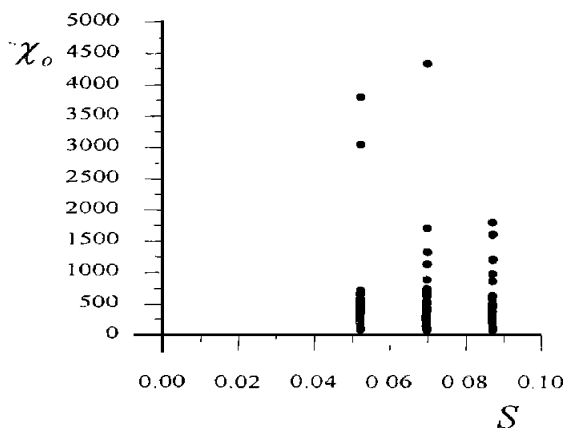


图 5-1 坡度 S 与河相系数 χ 之关系图

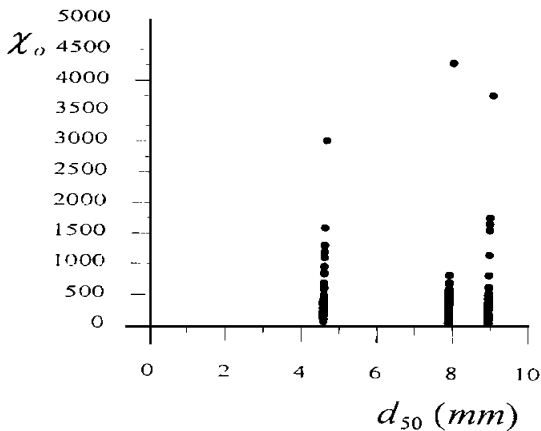


图 5-2 粒径 d_{50} 与河相系数 χ 之关系图

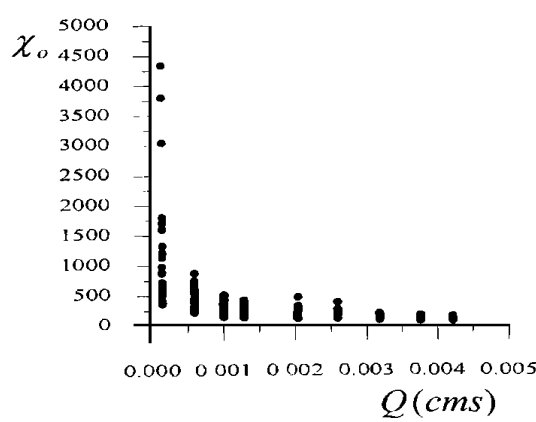


图 5- 3 流量 Q 与河相系数 λ_o 之关系图

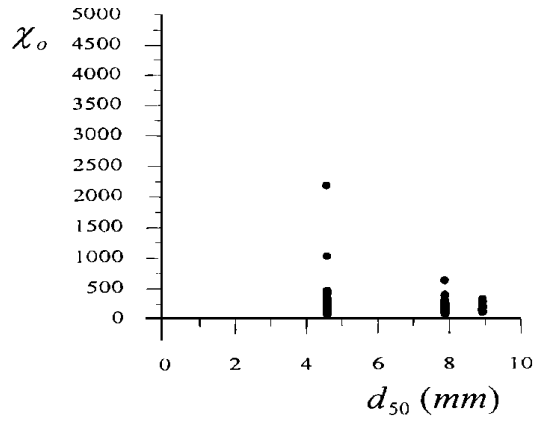


图 5- 5 粒经 d_{50} 与河相系数 λ_o 之关系图

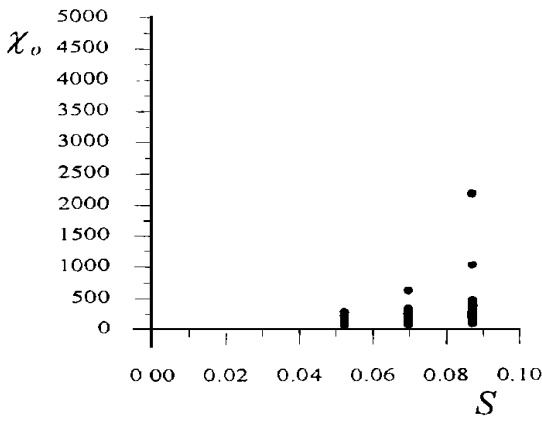


图 5- 4 坡度 S 与河相系数 λ_o 之关系图

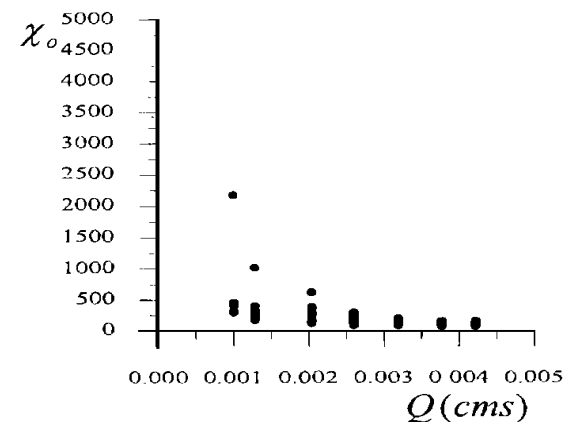


图 5- 6 流量 Q 与河相系数 λ_o 之关系图

6 结论与建议

6. 1 结论

(1) 河道的稳定系指在短时间内河道断面形态不随时间改变。就力学观点来看河道的稳定取决于水流对于泥砂的作用力与泥砂对于水流的抵抗力; 就流域整体观点来看河道的稳定取决于流域来水量及其过程、流域来砂量及其过程及河槽边界条件。而在本文中所求得之横断面的宽深比即是反应河道断面形态的稳定。

清水流流况

$$\frac{B^{-9/13}}{H} = 8.78Q^{-0.68} \cdot d_{50}^{0.01} \cdot S^{0.42}$$

含滓流流况

$$\frac{B^{-0.83}}{H} = 8.52Q^{-0.82} \cdot d_{50}^{0.22} \cdot S^{0.22}$$

(2) 就河床演变学的观点来看, 影响河相关系的因素包括^① 来自上游的流量及其过程; ④来自上游的泥砂量及其过程; ④溪流的边界条件, 其中包括河床和河岸的物质组成。但是, 根据前人所获得之稳定河道的宽深比都属于经验性质, 且考虑的因素不够全面, 在应用时往往有很大的局限性。而本文在充分地考量影响河相关系的因素获得稳定河道之宽深比的关系式, 在工程应用

上,若已知河道之坡度 S 、河床粒径组成 d_{50} 及其设计流量 Q 可求得稳定河道宽深之比值,以供溪流治理宽度及护岸基础深度及高度等工程设计。

6.2 建议

公式(5-4)及(5-7)的稳定河道宽深比之关系式系由室内渠槽试验所获得,若欲应用于实际工程之设计,还必须搜集现场实测资料,针对各种溪流特性,包括集水区面积、水文条件、流段宽度、底床泥砂粒径组成及溪床坡度等进行整理及分类,以作为模式验证之用。

参考文献

- 1 陈宪仁. 治河与防洪. 中国土木水利工程学会, 1987
- 2 钱宁, 万兆惠. 泥沙运动力学. 北京: 科学出版社. 第三版, 1991
- 3 钱宁, 张仁, 周志德. 河床演变学. 北京: 科学出版社, 1978
- 4 谢鉴衡, 丁君松, 王运辉. 河床演变及整治. 北京: 水利电力出版社, 1987
- 5 邓志强, 张开泉. 基于最大熵原理的河相关系. 全国泥砂基本理论研究学术讨论会论文集, 1992. 441 ~ 449
- 6 乐培九, 李旺生. 冲积河流航道整治线宽度问题的研究. 泥沙研究, 第2期, 1991. 46 ~ 51
- 7 黄克中, 钟恩清. 估算平原河流航道整治线宽度的理论与应用. 泥沙研究, 第2期, 1991. 69 ~ 73
- 8 Emmett M. Laursen, Scour at Bridge Crossings, Journal of Hydraulic Division, ASCE, 1960, (86), 2: 39 ~ 54

作者简介

连惠邦: 逢甲大学水利工程学系副教授。

王基安: 逢甲大学土木水利研究所研究生。

林忠义: 逢甲大学土木水利研究所研究生。