

# 河流泥沙国际学术讨论会 论文集续编

1983年10月11-16日 中国 南京

Proceedings of the Second International  
Symposium on River Sedimentation (Continuation)

11-16 October, 1983 Nanjing China

水利电力出版社

Water Resources and Electric Power Press

# 第二次河流泥沙国际学术讨论会

中 国 南 京

1983年10月11~16日

主办单位:

中国水利学会

国际水文计划中国国家委员会

筹办单位:

南京水利科学研究所

华东水利学院

赞助单位:

联合国教科文组织

联合国开发计划署

# **The Second International Symposium on River Sedimentation**

**Nanjing, China**

**11—16 October, 1983**

Sponsored by

Chinese Society of Hydraulic Engineering  
Chinese National Committee for the IHP

Arranged by

Nanjing Hydraulic Research Institute  
and

East China Technical University of Water Resources

With support from

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization  
United Nations Development Programme

# 前 言

第二次河流泥沙国际学术讨论会已于1983年10月11日至16日在中国南京举行。这是继1980年3月在北京召开的河流泥沙国际学术讨论会之后泥沙界的又一次盛会。向这次会议提交论文和出席这次会议的有亚洲、欧洲、非洲、北美和拉丁美洲的二百多位专家、学者，其中外国学者一百余人。新老朋友欢聚一堂，回顾了泥沙研究的发展，交换了最新研究成果，探讨了今后的研究方向，增强了泥沙界各国学者之间的友谊和合作。

在这次会议上，针对河流泥沙的五个重要方面，提出了11篇总报告和108篇论文，引起了与会学者的极大兴趣，并对其进行了热烈的讨论。其中98篇论文已在会前出版的论文集集中刊出。这本会后出版的论文集则包括了11篇总报告和未能编入会前集的10篇论文，以及在这次会议上的部分讨论发言和会议的有关资料。这些文章和讨论发言反映了各国学者在泥沙基本理论和实际应用中取得的一些重要成果和经验。我们相信，这本论文集续编的出版必将象上本论文集一样引起泥沙界的广泛兴趣。

到会学者对召开河流泥沙国际学术讨论会给予了高度的评价，对继续召开国际学术讨论会寄予了很大期望。不少学者建议和支持在中国设立河流泥沙国际学术讨论会的常设秘书处，组织和安排今后的国际学术讨论会。我们确信，定期召开国际学术讨论会必将推动泥沙研究的更快发展和泥沙问题的更好解决。

这次河流泥沙国际学术讨论会是由中国水利学会和国际水文计划中国国家委员会联合召开的，并得到了联合国教科文组织和联合国开发计划署的资助。我们非常高兴，这次会议在各国学者的热心支持和友好合作下取得了圆满成功。在此谨向有关国际组织和各国学者，对他们的支持和合作表示衷心的感谢。我们也非常感谢为召开这次会议和出版会议论文集付出辛勤劳动的所有人员。

组织委员会主席

严 恺

组织委员会副主席

兼秘书长

窦国仁

1983年12月于南京

## Preface

Following the International Symposium on River Sedimentation held in March 1980, the Second International Symposium on River Sedimentation (Second ISRS) held in Nanjing, China, from October 11 to 16, 1983, was another significant gathering of specialists in the field of river sedimentation. Authors presenting papers and participants from Asia, Africa, Europe, North America and Latin America total more than two hundred, including some one hundred from abroad. During the symposium, fellow river engineers, meeting together, reviewed new developments in the research of river sedimentation, exchanged the latest findings and discussed future research needs, thus strengthening the friendship and cooperation between scientists of various countries.

Presented in the symposium were 11 general reports and 108 papers covering five major themes in river sedimentation, which aroused immense interest of the participants and brought forth heated discussions. Of the papers mentioned above, 98 have been published in the first volume of the proceedings; this second volume carries 11 general reports, 10 late papers, discussions and other relevant documents. The papers and discussions mirror the major achievements and experiences of the river sedimentation specialists from various countries both in fundamental theories and in actual practice. The publication of the proceedings, we believe, will attract great attention in the circles of river sedimentation.

The participants spoke highly of the convocation of international symposia on river sedimentation and expressed the hope of continuing the events of this kind. Many of them suggested and supported the establishment of Standing Secretariat of International Symposium on River Sedimentation in China, which will take charge of the preparation and arrangement of the future symposia. We are convinced that the regular convention of international symposia will surely contribute to the advancement of the river sedimentation research and better solution of problems in the field.

This symposium, sponsored by the Chinese Society of Hydraulic Engineering and the Chinese National Committee of the IHP and supported by the UNESCO and the UNDP, ended successfully. We would like to take this opportunity to extend our heartfelt gratitude to the international organizations and scholars of various countries concerned for their great efforts, kind support and sincere cooperation. Thanks are also due to those who have dedicated their efforts to the successful convention of the symposium and to the timely editing and publishing of the proceedings.

**Prof. Yen Kai**

Chairman, the Organizing  
Committee of the Second  
ISRS

**Dr. Dou Guoren**

Vice-Chairman and Executive  
Secretary, the Organizing Com-  
mittee of the Second ISRS

Nanjing, China  
December 1983

# 目 录

## 前 言

### 第一部分 总报告

- 中心议题A——冲积河流水力学……………夏震寰、M. 德佛瑞斯 3, 23  
中心议题B——泥沙运动……………范家骅、C. F. 诺丁 41, 54  
中心议题C——河床演变……………谢鉴衡、T. 卡斯坦斯 90, 95  
中心议题D——河道整治……………李保如、K. G. R. 雷丘 123, 131  
中心议题E——河流模型试验及原型观测技术……………李昌华、W. R. 怀特、J. 比奇 173, 179

### 第二部分 迟到论文

- A 21 松散边界水力系统的模拟方法……………王书益(美国) 219  
  
B 30 摩洛哥鲁考斯流域泥沙侵蚀的评价……………M. 贝拉杰(加拿大) 241  
B 31 朝鲜西北地区河流泥沙迳流量的计算方法……………崔万植(朝鲜) 246  
B 32 法国卢瓦尔河及其河口的泥沙沉积过程……………S. 马尼卡姆(日本) 251  
  
C 15 人类活动对达莫尔河河床的影响……………  
……………B. K. 班纳吉、M. N. 蒙德尔、R. J. 普雷沙德(印度) 282  
C 16 冲积河流的自动调整……………B. 辛格(印度) 295  
C 17 泥沙输移与河流——某些定性原因及其影响……………E. M. 劳尔森(美国) 304  
C 18 水力工程中的河床变形预测……………B. F. 斯尼辛柯(苏联) 320  
  
E 21 一般水工物理模型及河工模型……………E. M. 劳尔森(美国) 328  
E 22 明尼苏达河某一桥梁附近的冲淤模型试验……………G. 帕克(美国) 339

### 第三部分 分组讨论发言

- J. F. 肯尼迪…………… 361  
A 1 K. G. R. 雷丘、窦国仁…………… 362  
A 7 张启舜…………… 363  
A 12 K. G. R. 雷丘…………… 365  
  
B 3 J. 麦克马纳斯…………… 366  
B 4 P. A. 曼茨…………… 367  
B 7 P. A. 曼茨、李昌华…………… 368  
B 13 韩其为…………… 369

B 15	丁君松	370
B 17	P. A. 曼茨、K. G. R. 雷丘	372
B 20	林泰造	373
B 23	陈枝霖	375
B 26	P. A. 曼茨	377
B 28	J. F. 肯尼迪、E. M. 劳尔森、李昌华、杨志达	378
B 32	J. 麦克马纳斯	380
C 11	余文畴	381
C 12	张定邦、R. D. 海伊	382
C 17	麦乔威	384
D 1	曾庆华	385
D 2	曾庆华	386
D 8	T. 卡斯坦斯	387
D 9	李保如	388
D 11	荣天富、段文忠	389
D 13	戴泽衡、T. 卡斯坦斯	391
D 14	万声淦	393
E 11	张瑞瑾、陈怀汲、张开泉	394
E 13	柴挺生	396
E 15	J. 麦克马纳斯	397
E 16	J. 麦克马纳斯	398
E 18	龙毓蹇、L. 拉戈科齐	399
E 20	J. 麦克马纳斯、C. F. 诺丁	400

#### 第四部分 会议资料

##### 开幕式

开幕词	严恺	405
致词	冯寅、凌启鸿、S. 杜米特列斯库	409, 412, 416

##### 闭幕宴会

祝酒词	杨咏沂	420
讲话	严恺、J. F. 肯尼迪、S. AI-哈费夫、I. 布拉科夫人	422, 425, 430, 434
讨论会日程表		436
会后参观旅游日程表		450
组织委员会名单		452
代表名单		454

# Contents

## Part I General Reports and Keynote Addresses

Theme A—Hydraulics of Alluvial Rivers .....	<i>Xia Zhenhuan, M. de Vries</i> 12, 23
Theme B—Sediment Transportation in Rivers .....	<i>Fan Jiahua, C. F. Nordin</i> 54, 73
Theme C—Fluvial Processes .....	<i>Xie Jianheng, T. Carstens</i> 95,104
Theme D—River Training Means .....	<i>Li Baoru, K. G. R. Raju</i> 131,144
Theme E—Model Investigation and Prototype Measuring Techniques of Rivers .....	<i>Li Chunghua, W. R. White, I. Becchi</i> 179,188,200

## Part II Papers Lately Received

A21 Methodology on Modeling of Loose Boundary Hydraulic Systems .....	<i>S. Y. Wang (U. S. A.)</i> 219
B30 The Evaluation of the Sediment Degradation for Loukkos Watershed in Morocco .....	<i>Mohamed Berraju (Canada)</i> 241
B31 Calculation Method on River Sediment Discharge in North-West Area of Korea .....	<i>Choi Man Sik (D. P. R. of Korea)</i> 246
B32 Sedimentation Processes in the Loire River and Its Estuary Entrance, France: A Bio-Chemico-Sedimentological Approach .....	<i>S. Manickam (Japan)</i> 251
C15 Human Interference on the Bed of River Damodar .....	<i>B. K. Banerjee, M. N. Mondal, R. J. Prasad (India)</i> 282
C16 Self Adjustment of Alluvial Streams .....	<i>B. Singh (India)</i> 295
C17 Sediment Transport and Rivers; Some Qualitative Causes and Effects .....	<i>Emmett M. Laursen (U. S. A.)</i> 304
C18 Prediction of River Bed Deformations for Hydraulic Engineering .....	<i>B. F. Snishchenko (U. S. S. R.)</i> 320
E21 Physical Hydraulic Models in General; River Models in Particular .....	<i>Emmett M. Laursen (U. S. A.)</i> 328
E22 Modeling of Scour and Fill in the Minnesota River Near a Bridge .....	<i>Gary Parker (U. S. A.)</i> 339

## Part III Discussions at Panel Sessions

J. F. Kennedy .....	361
A 1 K. G. R. Raju, Dou Guoren .....	362
A 7 Zhang Qishun .....	363
A12 K. G. R. Raju .....	365
B 3 J. McManus .....	366



B 4	P. A. Mantz .....	367
B 7	P. A. Mantz, Li Changhua .....	368
B13	Han Qiwei .....	369
B15	Ding Junsong .....	370
B17	P. A. Mantz, K. G. R. Raju .....	372
B20	Taizo Hayashi .....	373
B23	Chen Zhilin .....	375
B26	P. A. Mantz .....	377
B28	J. F. Kennedy, E. M. Laursen, Li Changhua, Chih Ted Yang .....	378
B32	J. McManus .....	380
C11	Yu Wenchou .....	381
C12	Zhang Dingbang, R. D. Hey .....	382
C17	Mai Qiaowei .....	384
D 1	Zeng Qinghua .....	385
D 2	Zeng Qinghua .....	386
D 8	T. Carstens .....	387
D 9	Li Baoru .....	388
D11	Rung Tianfu, Duan Wenzhong .....	389
D13	Dai Zeheng, T. Carstens .....	391
D14	Wan Shenggan .....	393
E11	Zhang Ruijin, Chen Huaiji, Zhang Kaiquan .....	394
E13	Chai Tingsheng .....	396
E15	J. McManus .....	397
E16	J. McManus .....	398
E18	Long Yuqian, L. Rakoczi .....	399
E20	J. McManus, C. Nordin .....	400

#### **Part IV Literatures**

##### Opening Ceremony

Opening Address	Prof. Yen Kai .....	407
Speeches	Chief Eng. Feng Yin, Deputy for Mme. Qian Zhengying	
	Mr. Ling Qihong .....	410,414
	Dr. S. Dumitrescu .....	418

##### Closing Banquet

Toast Speech	Mr. Yang Yongyi .....	421
Addresses	Prof. Yen Kai .....	423
	Prof. J. F. Kennedy .....	427
	Dr. S. Al-Khafif .....	432
	Mme. I. Bruk .....	435

Conference Programme .....	439
Post-Symposium Tour Itinerary .....	451
Organizing Committee .....	453
List of Participants .....	462

第一 部 分

# 总 报 告

Part I

## **General Reports and Keynote Addresses**



# 中心议题 A 总报告

## 冲积河流水力学

夏 震 寰  
(清 华 大 学)

本议题的中文论文共有11篇，内容比较广泛。为了便于讨论起见，暂把11篇论文分成三类：  
I. 冲积河流的流动特性(A1~A5)；II. 冲积河流的数值模拟(A6~A9)；III. 冲积河流中的温度影响及金属污染(A10~A11)。

### 一、冲积河流的流动特性

按照论文A1~A5中所涉及的问题，可分为三方面：1) 冲积河流的紊动特性；2) 高含沙水流的运动特性；3) 高含沙水流的阻力特性。

#### 1. 冲积河流的紊动特性

目前研究紊动的途径大致可以归纳为以下三种：

1) 统计理论。虽则直接相互作用的近似法<sup>[1,2]</sup> (Direct-interaction approximation) 在紊流理论中是迄今考虑因素最全面，而且能够做到自相一致的唯一理论，但目前还难以应用到冲积河流中的紊动，虽则把这个方法推广到剪切紊流已开始迈出了第一步。

2) 半经验理论。从1925年 Prandtl 提出混掺长度学说以来，为分析和计算工程的紊流问题开辟了一个途径。在计算机问世以后，对各种紊流进行计算的混掺长度模型迅速发展，并取得了广泛的成就。目前半经验理论已成了工程上计算紊流的主要途径[见文献3]。

3) 数值模拟。随着大容量计算机的出现，直接用数值模拟求解紊流成了可能。但因紊流中大小尺度相差很大，要把所有尺度都模拟，不但现在计算机不能胜任，在可预测的将来也不很现实。目前多采用只模拟一部分大尺度紊动，模拟尺度以下的紊动则采用2)法<sup>[4,5]</sup>，即所谓的分层模型(Subgrid model)。目前这个方法也已推广到三维剪切紊流<sup>[6,7]</sup>。

论文A1系根据作者的紊流随机理论推导得出的二维明槽紊流中的脉动强度、紊动应力、相关系数及能谱密度等的公式。从性质上看，紊流随机理论属于以上2)类的一种理论。Prandtl<sup>[8]</sup>和 Маккавеев<sup>[9]</sup>在各自的紊流理论中，假定流速在传递过程中保持不变，而紊流随机理论<sup>[10]</sup>则假定涡旋轴心的速度在某一距离内保持不变。作者的脉动流速公式可看作为 Маккавеев 公式的发展和推广。

计算方法或公式的优点应表现在以下三个方面：

1) 精确度或可靠性；

- 2) 适用的范围;
- 3) 简单程度或经济性。

A1的公式从作者的验证计算结果来看,精度完全满意。但要在工程上广泛应用,则还需要随着实测资料的取得,反复地进行验证,以便取得工程师们的信任。

在适用范围上,A1公式可同时用于光滑和粗糙床面,这是很大的优点。但还限于二维流动。冲积河流中的实际流动与二维流动常有相当的出入。如同流在紊流模型中是一个难点,在冲积河流中却常可见到。所以怎样把理论结果运用于实际流动自然是需要进一步研究的课题。

A1公式在形式上还是比较繁琐的,但与各种紊流模型来比,只是一般的代数方程,无需用计算机求解。在紊流模型中,一种模型的经济性用上机时间的长短来衡量。相形之下,这个方法还是经济的。

可见A1公式有相当的优越性。

现有明槽紊动资料主要是清水流动的,少量是低含沙水流的。论文A2对高含沙水流的紊动进行了量测的尝试。要在含沙体积浓度高达25%的流动中进行紊动量测,实验条件上的困难是显而易见的。没有适用的脉动流速仪。A2中所用的仪器只能测一个方向的脉动。A2的资料表明,随着含沙浓度的增大,紊动强度 $\sqrt{u'^2}/v^*$ 及紊动主频率都趋于减小。

这个结果并不意外,但还不能据此而得普遍性结论。颗粒对紊动的影响是个复杂的问题[见文献11],尤其是高浓度中颗粒间的相互作用不能忽略,情况更为复杂。

## 2. 高含沙水流的运动特性

实验表明,高含沙水流也有层流和紊流。层流主要发生在浓度很高,水沙已形成具有宾汉特性的一相结构体的时候。按照宾汉体的流变关系,代入明槽流动中的切应力分布式,即可求得层流的流速分布式<sup>[12]</sup>:

$$u = \frac{y}{2\eta} (2\gamma_m h J - \gamma_m y J - 2\tau_B) \quad (1)$$

式中 $h$ 为全部水深, $y$ 为从床面量起的距离, $J$ 为比降, $\gamma_m$ 为水沙混合体的容重, $\tau_B$ 为宾汉极限切应力, $\eta$ 为刚性系数。论文A4中层流异重流的流速分布与上面的式(1)是一样的,只要把参数、坐标作相应的改变即可。

在宾汉体中,如流动切应力 $\tau$ 小于宾汉极限切应力 $\tau_B$ ,则浆体将不产生相对运动,只有整体的运动,即形成流核。式(1)中的流速分布只有在床面以上某一距离以内, $\tau > \tau_B$ 时才适用。从式(1)可得流核区的 $y$ 为:

$$y > h - \frac{\tau_B}{\gamma_m J} \quad (2)$$

在用实验资料验证层流流速分布式(1)的时候,论文A4发现实际的 $\tau_B$ 和 $\eta$ 值要比用粘滞仪测出的为大,因而提出高含沙浆液具有触变特性。可以认为A4的这个论点很重要,将影响高含沙水流今后的研究。

泥浆之所以从稀浓度时的牛顿体变到高浓度的宾汉体,是因为颗粒絮凝发展成网状结构,从而使浆液具有塑性和结构特性。但絮凝结构体是脆弱的。在流动的剪切作用下,结构体会发生一定程度的破裂。因此,在同样的颗粒和水质的条件下,结构体的强度随浓度的提高而加强,又随剪切作用的加强而减弱。所以同一浓度的泥浆,其结构性能将随剪切作用的不同而变化。这种现

象可以称为絮凝结构体的不同“结构层次”，以适应不同程度的剪切作用。不同的结构层次自然意味着不同的结构强度。

管道输送中曾观测到同样情况<sup>[13]</sup>。泥浆在管道中停止运动一段时间。因为没有剪切作用，泥浆就建立起较高的结构层次，具有较高的结构强度。所以开泵起动时所需要的功率比连续运转时为大。

明槽流动中，各流层具有不同的剪切应力。所以各流层的泥浆将有不同的结构层次。因而流变参数  $\tau_0$ 、 $\eta$  等值也将随流层位置不同而不一样。因为各流层的泥浆都要调整它的结构层次，在调整没有达到平衡以前，流变参数  $\tau_0$  和  $\eta$  等将随时间而变化，这就称为触变性。

可用 Moore 的触变模型<sup>[14]</sup>建立触变体的本构方程。为此，设  $\lambda$  为结构层次，则流变特性可用一系列状态方程或曲线

$$\tau = \tau \left( \frac{du}{dy}, \lambda \right)$$

表示。对某一特定的剪切变形率  $du/dy$ ，最后达到一个平衡的结构层次  $\lambda_e = \lambda_e(du/dy)$ ，相应的切应力为  $\tau_e = \tau_e(du/dy, \lambda_e)$ 。这个平衡的结构层次是经过一定时间的调整过程而达到的。在调整过程中，结构层次的调整率  $d\lambda/dt$  可表示为：

$$\frac{d\lambda}{dt} = g \left( \frac{du}{dy}, \lambda \right)$$

平衡的结构层次  $\lambda_e$  可令  $d\lambda/dt = 0$ ，即从  $g(du/dy, \lambda_e) = 0$  中得出。

对泥浆来讲，可用以下的函数关系表示：

$$\tau = \tau' + K \left( \frac{du}{dy} \right)^n \quad (3)$$

其中  $n$  可取为 1，则上式成为宾汉体的流变关系。其中的  $\tau'$  与结构层次有关，可表示为：

$$\tau' = \tau'_0 + \lambda \tau'_1 \quad (4)$$

及

$$\frac{d\lambda}{dt} = a(1 - \lambda) - b\lambda \frac{du}{dy} \quad (5)$$

$\lambda$  应在  $0 \rightarrow 1$  之间变化。当  $\lambda = 0$  表示没有结构体；如  $\lambda = 1$  为已达到可能最高的结构层次。所以触变体有 6 个物性参数： $K$ 、 $n$ 、 $a$ 、 $b$ 、 $\tau'_0$ 、 $\tau'_1$  才能表达它的力学特性。

令  $\frac{d\lambda}{dt} = 0$ ，得

$$\lambda_e = \frac{a}{a + b \frac{du}{dy}} \quad (6)$$

将此代入式 (3) 及式 (4)，得

$$\tau_e = \tau'_0 + \frac{a \tau'_1}{a + b \frac{du}{dy}} + K \left( \frac{du}{dy} \right)^n \quad (7)$$

这就是触变体在平衡时的流变方程。从上式可以看出：

$$\text{当 } \frac{du}{dy} = 0,$$

$$\tau_c = \tau'_0 + \tau'_1$$

$$\text{当 } \frac{du}{dy} = 1,$$

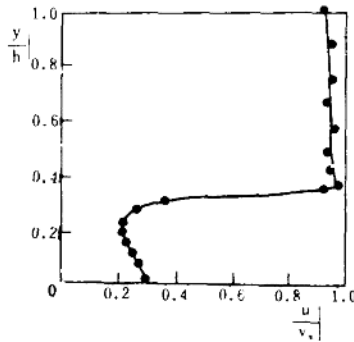
$$\tau_c = \tau'_0 + \frac{\tau'_1}{1 + \frac{b}{a}} + K$$

$$\text{当 } \frac{du}{dy} \text{ 趋向无穷大, 则 } \tau_c \text{ 趋向 } K \left( \frac{du}{dy} \right)^n$$

有关的流变参数需从实验得出<sup>[15]</sup>。

触变体一般指结构层次随剪切作用的加强而递减的物体。也有少数物体，其结构层次随剪切作用的加强而提高的。后者有时称为反触变体。泥浆一般认为是触变体，而不是反触变体。

因为泥浆的触变性质，可能出现一些复杂的流动情况，包括不稳定的浆河现象。文献[16]中曾观测到层流中一种不同的流速分布，如图1所示。



浓度  $571 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  有效雷诺数  $Re = 108.9$

图1 层流流速分布之一

下面我们转入讨论高含沙紊流中的流速分布。

现在所有资料，包括紊流异重流资料，都表明高含沙紊流遵循对数分布规律。无定河丁家沟站实测流速分布（图2）也符合对数分布<sup>[12]</sup>。所有的流速分布资料还表明，Karman 常数  $\kappa$  随含沙量的增大而减小。根据图2中所绘的流速分布线还可得出， $\kappa$  先随含沙量的增大而减小，然后又随含沙量的继续增大而回升<sup>[12]</sup>。

关于  $\kappa$  值因含沙量而减小的论点是有争议的，Coleman<sup>[17]</sup>的论点值得考虑。因对数流速分布只适用于边界层的内层（占边界层厚度的10~20%），并不适用于内层以外的流层。所以从流速分布来确定  $\kappa$  值时，也只能根据内层部分的流速分布，不应用全部深度的流速分布。如果是这样，过去曾用来表明  $\kappa$  值减小的资料也可得出不减小的结果。现在需要的是精确而系统的实测资料明确对数流速分布在明槽流动中是否适用全部水深，还是只限于内层。

### 3. 高含沙水流的阻力特性

论文A3及A4，文献[16]及[18]都对高含沙水流的阻力特性进行了探讨。各方面的资料没有性质上的差异。综合各方面资料，关于高含沙水流的阻力规律似可归纳如下：

1) 光滑紊流区，在雷诺数相同的情况下，高含沙水流的阻力系数接近或略小于清水水流的阻力系数。但如只有流速和水深相同，则高含沙水流的阻力损失的绝对值大于清水水流。

2) 高含沙水流的层流区, 阻力系数大于同一雷诺数的清水水流。如只有流速和水深相等, 则高含沙水流的阻力损失更多地超过清水水流的损失。

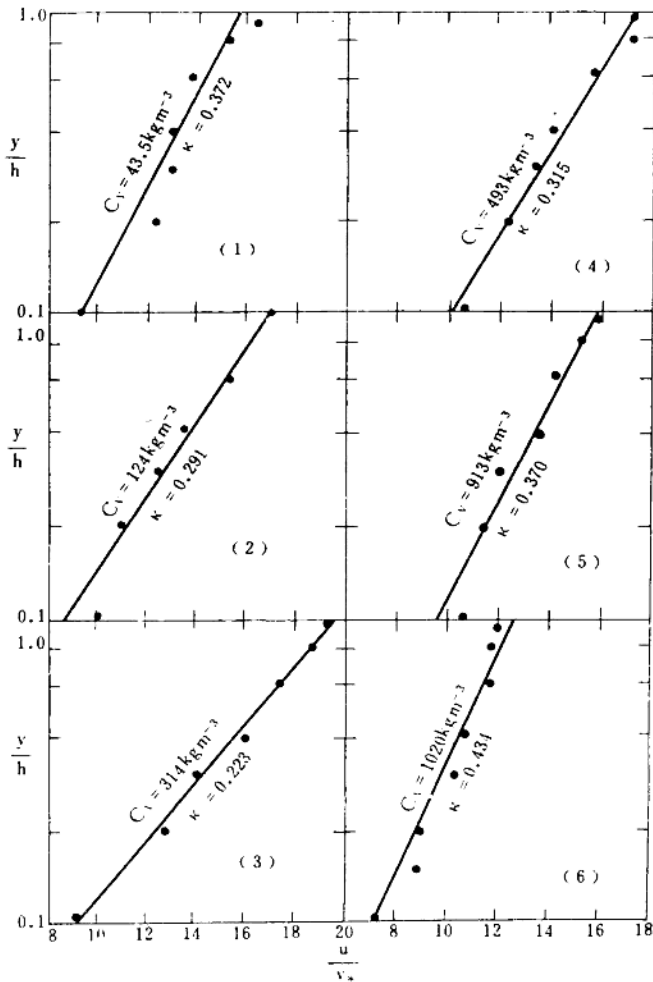


图 2 无定河丁家沟站实测流速分布

3) 如以有效粘度  $\mu_e$  组成雷诺数, 则自层流过渡到紊流的临界雷诺数和清水水流的一样, 约在2000左右。和清水流动比, 高含沙水流在较大的流速和水深时就可转入层流。

4) 边壁粗糙度在高含沙水流中, 因泥沙落淤而改变, 使阻力系数发生变化。例如原为混凝土衬砌的灌渠, 因有较粗的推移质落淤, 使  $n$  值高达0.03。在通过高含沙水流, 有细颗粒的淤积后, 边壁又趋于光滑,  $n = 0.014$  [12]。

值得注意的是, 高含沙水流从过渡区进入阻力平方区的雷诺数比清水的为大。A3 给出高含沙水流进入阻力平方区的粗糙雷诺数为400, 而 Nikuradze 及 Зегжла 试验结果分别为69和45。资料还表明, 过渡区的阻力系数较阻力平方区的小, 如图3 [16] 所示。所以在同样的水流条件下,



清水水流已进入阻力平方区，而高含沙水流有可能仍留在过渡区。这样，高含沙水流的阻力就比清水流动的为小，产生了减阻效果。

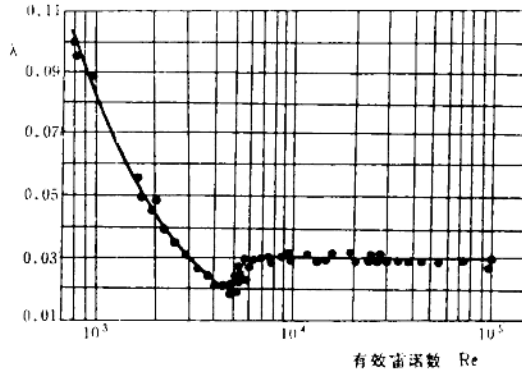


图 3 流量为定值时阻力系数随有效雷诺数的变化

论文 A5 在完全不同的流动条件下试验了高含沙水流的阻力规律。得出过渡区的减阻效果最为显著。并指出泥浆减阻是与絮凝结构的形成，从牛顿体转变到宾汉体联系在一起的。

## 二、冲积河流的数值模拟

数值模拟在冲积河流中的应用自 Isaacson 等人在 1954 年模拟 Ohio 及 Mississippi 河段进行洪水预报及整治的研究<sup>[19]</sup>开始的。此后发展甚为迅速，推广到各种水流问题。通过数值模拟在河流中的应用，现在已出现了一门新的学科分支——计算水力学。

这次有关数值模拟的论文共有四篇(A6~A9)，表明数值模拟在我国也正在推广发展。这四篇论文所模拟的对象各不相同，所采用的方法也不一样，分别评述如下。

论文 A6 是关于长江口的数值模拟。一般讲，河口流动比较复杂。常有河水和潮汐的两种流动，使水流变化剧烈。此外，还有盐水和淡水的相互作用，形成密度差。尽管如此，已有不少河口港湾的二维模型取得成功，三维模型也有几种正在发展。

长江口含盐量很低，可按充分掺混的河口考虑，即可不考虑密度的变化。但潮差与水深的比值较大。如果采用完全的三维模型，需要大储量计算机，上机时间也很长。所以 A6 提出一个准三维模型，即不考虑垂向流速在垂线上的变化。以便在中小型计算机上可以计算。为了适应自由水面的上下波动，引用了无量纲的坐标变换。对长江口南港河段验算结果，与实测值基本符合。

总的来说，这个模型是成立的，对我国来讲也是需要的。但在精度上，还未能尽如人意。S. A. Orszag 在 1974 年曾说<sup>[20]</sup>：“数值模拟现在仍然是一种艺术，在很大程度上取决于艺术家的技巧”。在 9 年以后的今天，数值模拟获得很大的发展，但看来还需要有艺术家的技巧作用。

论文 A7 为多沙河流水库及其下游河道提出的一个计算模型。这个计算模型适用于冲淤变化剧烈，冲淤数量巨大，河床自动调整作用显著的多沙河流。这种水库需要作出短期预报，如一次洪峰过程的冲淤变化。这个模型就是针对这种需要建立起来的。这个方法包括下游河段，可预测水库的运用方案对下游河段的影响。