

武汉大学  
百年名典

# 河流动力学

■ 张瑞瑾  
■ 谢鉴衡  
■ 陈文彪  
编著

山  
高  
水  
長  
流  
風  
長  
美

根  
深  
葉  
茂  
實  
亦  
聲  
洪



WUHAN UNIVERSITY PRESS  
武汉大学出版社





武汉大学  
百年名典

# 河 流 动 力 学

张瑞瑾

谢鉴衡

陈文彪

编著



武汉大学出版社  
WUHAN UNIVERSITY PRESS



## 图书在版编目(CIP)数据

河流动力学/张瑞瑾,谢鉴衡,陈文彪编著. —武汉: 武汉大学出版社,  
2007. 4

武汉大学百年名典

ISBN 978-7-307-05486-8

I. 河… II. ①张… ②谢… ③陈… III. 河流动力学  
IV. TV143

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 034909 号

责任编辑:李汉保      责任校对:黄添生      版式设计:支 笛

---

出版发行: 武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: wdp4@whu.edu.cn 网址: www.wdp.com.cn)

印刷: 武汉中远印务有限公司

开本: 720×980 1/16 印张: 26.75 字数: 381 千字 插页: 4

版次: 2007 年 4 月第 1 版 2007 年 4 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-05486-8/TV·27 定价: 48.00 元

---

版权所有, 不得翻印; 凡购我社的图书, 如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请与当地图书销售部门联系调换。



# 武汉大学百年名典

自然科学类编审委员会

主任委员 刘经南

副主任委员 卓仁禧 李文鑫 周创兵

委员 (以姓氏笔画为序)

文习山 石 兢 宁津生 刘经南

李文鑫 李德仁 吴庆鸣 何克清

杨弘远 陈 化 陈庆辉 卓仁禧

易 帆 周云峰 周创兵 庞代文

谈广鸣 蒋昌忠 樊明文

秘书长 蒋昌忠

## 张瑞瑾

(1917~1998)，出生于湖北巴东，是我国著名的水利科学家和教育家，1939年毕业于武汉大学土木系。先后在重庆中央水利实验处、湖北银行、中央水利委员会等部门任职。1945年赴美国垦务局和加利福尼亚大学进修一年，回国后任南京中央水利实验处研究员。1947年回母校武汉大学任副教授，1948年任教授，先后兼任武汉大学副教务长、工学院副院长、水利学院院长等职。他于1950年1月加入中国共产党，是武汉大学第一位教授党员，曾任校党组成员，校党总支委员。1954年11月水利学院从武汉大学分出，成立武汉水利学院（武汉水利电力大学前身），他先后任副院长、院长，1981年被批准为博士生导师，1983年被国务院任命为武汉水利电力学院名誉院长。

张瑞瑾教授在担任极为繁忙的行政领导职务的三十多年中，基本上是八小时之内在办教育，八小时之外进行科学研究，他的同期研究成果主要是在业余时间完成的。他长期致力于河流泥沙基本理论的研究，其中他提出的“水流挟沙力公式”至今仍在水利界广泛应用。他在国内最早出版了有关河流泥沙问题的专著《河流动力学》，推动了河流动力学学科的发展。20世纪80年代以来，我国河流泥沙研究工作处于世界领先地位，他是奠基人之一。

张瑞瑾教授在大江大河的治理开发决策上作出过十分重要的贡

献。黄河中下游的治理开发工作、三门峡水利枢纽的改建、小浪底工程开发目标的拟定等，都包含着他的科学研究成果。在长江葛洲坝工程建设中，以他为代表的泥沙研究人员，创造性地提出了“静水通航、动水冲沙”的运行调度原则，成功地解决了船闸引航道的泥沙淤积问题。20世纪80年代初期，作为研究协调组组长，他主持和协调了全国的三峡工程泥沙研究工作，提出了三峡工程可能存在的泥沙问题，拟定了研究方案和国内各单位间的合理分工，为以后三峡工程泥沙问题的解决开拓了道路。

在长达半个多世纪的学术生涯中，他先后在许多学术团体和机构中任职。先后担任中国水利学会泥沙专业委员会第一届主任委员，高等学校水利水电类教材编审委员会主任委员，国务院治黄规划组副组长，国家水利电力部三峡工程泥沙问题研究协调小组组长等。1959年他曾以中国教育工作代表团副团长身份去越南帮助筹建越南水利学院和越南水利科学研究院。1975年他以中国国家水文委员会主席身份赴巴黎出席国际水文计划会议，在这次会上，中国当选为国际水文计划三十个理事国之一。

## 出版前言

百年武汉大学,走过的是学术传承、学术发展和学术创新的辉煌历程;世纪珞珈山水,承沐的是学者大师们学术风范、学术精神和学术风格的润泽。在武汉大学发展的不同年代,一批批著名学者和学术大师在这里辛勤耕耘,教书育人,著书立说。他们在学术上精品、上品纷呈,有的在继承传统中开创新论,有的集众家之说而独成一派,也有的学贯中西而独领风骚,还有的因顺应时代发展潮流而开学术学科先河。所有这些,构成了武汉大学百年学府最深厚、最深刻的学术底蕴。

武汉大学历年累积的学术精品、上品,不仅凸现了武汉大学“自强、弘毅、求是、拓新”的学术风格和学术风范,而且也丰富了武汉大学“自强、弘毅、求是、拓新”的学术气派和学术精神;不仅深刻反映了武汉大学有过的人文社会科学和自然科学的辉煌的学术成就,而且也从多方面映现了20世纪中国人文社会科学和自然科学发展的最具代表性的学术成就。高等学府,自当以学者为敬,以学术为尊,以学风为重;自当在尊重不同学术成就中增进学术繁荣,在包容不同学术观点中提升学术品质。为此,我们纵览武汉大学百年学术源流,取其上品,掬其精华,结集出版,是为《武汉大学百年名典》。

“根深叶茂,实大声洪。山高水长,流风甚美。”这是董必武同志1963年11月为武汉大学校庆题写的诗句,长期以来为武汉大学师生传颂。我们以此诗句为《武汉大学百年名典》的封面题词,实是希望武汉大学留存的那些泽被当时、惠及后人的学术精品、上品,能在现时代得到更为广泛的发扬和传承;实是希望《武汉大学百年名典》这一恢宏的出版工程,能为中华优秀文化的积累和当代中国学术的繁荣有所建树。

《武汉大学百年名典》编审委员会

## 再版前言

1982年年初到1988年上半年,我曾有幸在张瑞瑾教授名下攻读硕士研究生和博士研究生,先生的才学品行和谆谆教诲至今历历在目。在我的眼中:

### 他是一位学者。

张瑞瑾先生长期致力于河流泥沙运动基本理论的研究,取得许多重要成果。20世纪50年代,他改进了紊动扩散理论,对重力理论作了系统评述,提出了泥沙沉速方式、泥沙起动公式和推移质输沙率公式。20世纪60年代,他提出了著名的水流挟沙力公式,该公式已在且至今仍在水利界得到广泛应用,荣获1978年全国科学大会奖,他本人被授予“在科学技术中作出重要贡献的先进工作者”称号。先生对河道环流结构和蜿蜒性河段演变规律也有较深的研究,20世纪70年代,他在大量野外调查和研究基础上发表了高含沙水流方面的研究成果,20世纪80年代,他提出了河工模型变态指标,推动了变态河工模型理论的发展。

先生还是一位敢于挑战不合理的国际权威假定和不合理的国际通用公式的学者。比如,他认为糙率 $n$ 的使用,虽方便,但不科学,因为无量纲且无理论基础,应尽可能使用和推广阻力系数 $f$ ;又比如对国际著名流体力学专家普朗特的掺长假定,他认为那是没有办法的办法,既无理论根据,也与事实不符,应通过量测技术的进步,真正的将雷诺应力 $-\rho\overline{u_x u_y}$ 测出来。对这两个问题,笔者于20世纪80年代在先生的指导下曾做过一些艰苦的探索和研究,但收效还不大。

### 他是一位大专家。

早在20世纪40年代,先生就开始黄河问题的研究,并多次对黄河进行了查勘,于1947年在《水利》杂志上发表有“黄河泥沙冲淤数量之



分析”等,在当时实测泥沙资料很少的情况下,分析提出了黄河三门峡站年均输沙量为 15 亿吨的科学数据。

20 世纪 70 年代在长江葛洲坝工程建设中,在当时特殊的政治环境下,先生敢于坚持真理,敢于阐述正确主张。以他为代表的泥沙研究人员,通过大量的试验和调查研究,创造性地提出了解决船闸上、下引航道泥沙淤积问题和基本途径——“静水过船、动水冲沙”。

有关黄河三门峡水利枢纽的改建和小浪底水利枢纽建设目标的调整,先生都提出了很好的意见和建议,并被采纳和实施。

20 世纪 80 年代初期,在先生担任三峡工程泥沙研究协调组组长期间,就三峡工程可能存在的泥沙问题的提出,研究方案的拟定和国内各单位间的合理分工等作了大量工作,为以后三峡工程泥沙问题的研究解决铺平了道路。

#### 他是一位教育家。

先生于 1939 年从武汉大学毕业后,曾去美国垦务局进修,回国后,历任武汉大学工学院副院长、武汉大学水利学院院长、武汉水利学院副院长、武汉水利电力学院副院长、院长等职,1983 任武汉水利电力学院名誉院长。在将武汉水利电力大学建成国内外有较大影响的全国重点大学的过程中,他付出了艰辛的劳动,特别是在专业设置、教材建设、教学管理、师资队伍建设和科学研究等方面发挥了重要作用。他曾任高等学校水利水电类教材编审委员会主任委员多年。

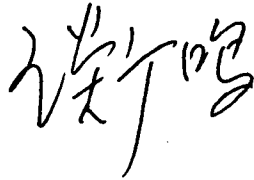
根据中国江河多泥沙这一国情,在先生的组织和领导下,武汉水利电力大学在 20 世纪 50 年代创办了世界上惟一的河流泥沙及治河工程本科专业。他创建的武汉水利电力大学河流泥沙研究室,已成为我国河流泥沙学科教学科研重要基地。他先后主编的教材有《水力学》、《河流动力学》、《河流泥沙动力学》,参编的有《河流泥沙工程学》。该专业创办至今,培养了一大批高级专门人才,已毕业博士生 50 余名,硕士生 150 余名,本科生 2700 余名,他们中的大多数已成为各单位的业务骨干,为我国的水利水电建设发挥了重要作用。同时,该专业的本科毕业生也是我国高校和研究院招收河流泥沙方向研究生的主要生源。

1960 年前后,张瑞瑾先生作为河流动力学及河道整治教研组惟一

的教授,组织谢鉴衡老师和陈文彪老师等编著了《河流动力学》一书,该书由中国工业出版社于1961年12月出版。他亲自执笔编写了第1章~第5章以及附录I、II、III,谢鉴衡老师执笔第6章~第8章以及附录IV,陈文彪老师执笔第9章。该书既是当时的治河防洪工程专业、航道开发与整治工程专业、陆地水文学专业的教科书,同时亦是国内第一本反映当时河流泥沙研究国际前沿学术水平的著作,该书的出版诞生了我国一个新的学科分支——河流动力学。1981年我国恢复学位制时,水力学及河流动力学科就是由水力学学科分支和河流动力学学科分支组成的。目前全国已有近30所高校和科研院所设有该学科。

《河流动力学》一书中融入了若干先生的研究成果。包括:第2章中有关泥沙沉降公式的研究;第3章中有关泥沙起动流速的研究,沙波运动与推移质输沙率的研究,对爱因斯坦关于推移质运动理论的评述,等等;第4章中关于悬移质沿垂线分布的研究,长江中游水流挟沙力的研究,以及对费里堪诺夫重力理论的评述,等等;第5章中有关蜿蜒性河段演变规律的研究;以及附录II中有关河道环流结构特别是河渠中因柯里奥利斯加速度而产生的环流的流速分布的研究,等等。

这次武汉大学出版社推出百年名典系列,将张瑞瑾先生等编著的《河流动力学》重新出版,是对先生诞辰90周年的最好纪念。同时因为该书在社会上的存本已很稀少,再次出版该书有利于我们后人了解我国河流动力学学科的起源,亦便于我们进一步学习和探索。



2007年3月12日

(谈广鸣为武汉大学水利水电学院院长/水资源与水电工程科学国家重点实验室主任,教授,博士生导师)

## 前 言

本书是作为高等学校治河防洪工程专业及航道开发与整治专业的教学用书而编写的。在编写过程中,特别着重基本概念的阐释,并注意体现理论与实践统一的观点。

本书除对若干问题提出了作者的论点和分析方法外,比较广泛地引用了国内外有关科学研究机构和学者的研究成果。在引用的地方,都作了说明。此外,一些符号及其下角说明,凡不是国际通用的,在本书中皆采用了汉语拼音字母。

在 1958 年以后,我们曾经编写了河流动力学讲义,在治河防洪工程专业两度试用。这次公开出版,又进行了全面改写的工作。为此,设立了由张瑞瑾(召集人)、谢鉴衡、陈文彪、王伟复、林树敏等组成的编写小组。本书的第 1 章~第 5 章及附录 I~附录 II 由张瑞瑾执笔;第 6 章~第 8 章及附录 IV 由谢鉴衡执笔;第 9 章由陈文彪执笔;王伟复参加了第 7 章、第 8 章两章的部分编写工作;刘百松参加了第 4 章中个别资料的分析工作。全书的图的绘制由林树敏负责,杨慧中、彭东泉等参加了部分的工作。全书的汇总、编辑由王伟复负责。张瑞瑾、谢鉴衡担任了校阅和定稿的工作。编写过程中的重要问题在教研组全体成员的会议上进行了讨论。付印之前,由学院组织了审查小组进行审查。

本书难免还存在着缺点,读者的指正和批评是我们衷心欢迎的。

作 者

1961 年 7 月 14 日

## 目 录

第 1 章 绪论	1
§ 1.1 河流动力学的研究对象	1
§ 1.2 人类与江河作斗争的历史过程简述以及河流动力学的形成和发展	3
§ 1.3 学习河流动力学的方法	6
第 2 章 泥沙的特性	8
§ 2.1 泥沙的粒径和粒配曲线	8
§ 2.2 泥沙的密实重率和干容重	11
§ 2.3 泥沙的水力粗度	15
第 3 章 推移质运动	27
§ 3.1 泥沙的起动	28
§ 3.2 沙波运动	41
§ 3.3 推移质输沙率	54
第 4 章 悬移质运动	66
§ 4.1 概述	66
§ 4.2 悬移质中的冲泻质与床沙质	68
§ 4.3 水流挟沙力	71
§ 4.4 悬移质含沙量沿水深的分布	86
第 5 章 异重流	97
§ 5.1 概述	97
§ 5.2 蓄水库中因挟沙水流而形成的异重流	102

§ 5.3	异重流的力学基本关系式 .....	106
§ 5.4	异重流的运动状态 .....	112
§ 5.5	异重流的孔口出流 .....	123
§ 5.6	异重流的混合现象 .....	132
<b>第 6 章</b>	<b>河道演变</b> .....	<b>137</b>
§ 6.1	河道演变的基本概念 .....	137
§ 6.2	河流的形成及其一般特性 .....	145
§ 6.3	蜿蜒性河段 .....	154
§ 6.4	微曲性河段 .....	168
§ 6.5	游荡性河段 .....	175
§ 6.6	浅滩 .....	182
§ 6.7	河相关系 .....	193
<b>第 7 章</b>	<b>河床变形预测</b> .....	<b>210</b>
§ 7.1	水库淤积和坝下游一般冲刷的描述 .....	211
§ 7.2	水库淤积和坝下游一般冲刷的计算 .....	218
§ 7.3	水库淤积和坝下游一般冲刷略估 .....	226
§ 7.4	河床细部变形计算 .....	239
§ 7.5	坝下游局部冲刷计算 .....	244
§ 7.6	床沙粗化计算 .....	253
§ 7.7	桥渡建筑物附近的河床变形计算 .....	262
§ 7.8	防护建筑物附近的局部冲刷计算 .....	280
§ 7.9	河床平面变形和河型变化问题 .....	285
<b>第 8 章</b>	<b>河工模型试验的理论基础</b> .....	<b>288</b>
§ 8.1	河工模型试验的种类及其应用范围 .....	288
§ 8.2	相似理论的基本概念 .....	289
§ 8.3	定床河工模型试验 .....	292
§ 8.4	比尺动床模型试验 .....	300

---

§ 8.5	自然河工模型试验 .....	313
§ 8.6	气流河工模型试验 .....	317
<b>第 9 章</b>	<b>河工模型试验的设备、制造及试验工作 .....</b>	<b>322</b>
§ 9.1	试验设备 .....	322
§ 9.2	模型制造 .....	332
§ 9.3	模型检验 .....	336
§ 9.4	辅助试验 .....	339
§ 9.5	量测仪器 .....	343
§ 9.6	试验操作与资料整理及分析 .....	353
<b>附录 I</b>	<b>因次分析法则——<math>\pi</math> 定律 .....</b>	<b>357</b>
<b>附录 II</b>	<b>环流 .....</b>	<b>366</b>
<b>附录 III</b>	<b>水流平面图 .....</b>	<b>381</b>
<b>附录 IV</b>	<b>天然河流的糙率 .....</b>	<b>390</b>
<b>再版说明</b>	<b>.....</b>	<b>415</b>

# 第 1 章 绪 论

## § 1.1 河流动力学的研究对象

人类为了发展生产和丰富自己的生活,从很早的时候起,便不断与江河进行斗争。在长期的斗争过程中,逐渐积累了这方面的系统的科学知识,首先是关于整治河道的工程技术方面的知识,其次是关于河流运动发展的基本规律的知识。前者属于治河工程学的范畴,后者属于河流动力学的范畴。

河流是水流与河床交互作用的产物。河水作用于河床,使河床发生变化;河床也回转头来作用于水流,影响水流的结构。二者构成一个矛盾的统一体,相互依存,相互影响,相互制约,永远处于变化和发展的过程中。

例如冲积平原中的蜿蜒性河段,常常从微弯转化为一般的弯曲;再转化为剧烈的弯曲;在条件适合的情况下,出现自然裁直;继而又转化为微弯。此后再重复上述过程,不过不是简单的重复,而是新的发展。

从上面这个例子可以看出,一条河流,不仅河水不断地运动着,发展着;河床也不断地运动着,发展着。只是相对说来,后者的运动、发展要比前者慢一些而已。如果只认为河水在运动,而把河床看成固定不变的东西,这是不正确的。在地貌学、河流动力学的文献中,有所谓“稳定”或“平衡”河道之说,读者应该明确,关于一条河流或一个河段的稳定或平衡,只能做相对的理解,绝对稳定或绝对平衡的河流或河段是自然界中不存在的。

河流的运动和发展,虽然也存在一些偶然性的因素,但主要是按着

河流本身固有的客观规律进行的。这种客观规律,不以人的意志为转移。不过,当我们了解并掌握了这些规律以后,就有可能运用这些规律对河流加以改造,使河流的运动、发展有利于生产,为社会造福。因此,为了很好地从事河道整治工作,对江河运动的发展规律作深入系统的研究,是完全必要的。河流动力学便是研究河道在自然状态下以及受人工建筑物控制以后在水流与河床相互作用的过程中运动发展的力学规律的科学。河流动力学所研究的基本矛盾是水流与河床之间的矛盾。这是读者在学习本书时,应当自始至终把握住的。

从河流动力学研究的一般问题看来,水流与河床这两个矛盾着的方面,水流往往居于主导地位。在河道演变过程中,水流是一个很活跃的因素。正因为如此,在研究河道演变的有关问题的时候,首先要弄清楚流性、流型<sup>①</sup>。抓住了流性、流型,进一步分析河道演变发展的趋势,就比较容易。在从事河道整治的时候,也应当更多地着眼整治水流。水流整治好了,河床便有可能向着所要求的方向发展。作为治河工作者,明确这一点,无论在理论上,或者在实践上,都有很重要的意义。不过,我们对于这个问题,不可以作片面的理解。矛盾着的两方面,水流虽然往往居于主导地位,却不等于说,河床对水流不起作用。与此相反,河床并不是处于绝对被动的地位,河床对水流的流性、流型以及变化发展经常起着作用。而且,在一定的条件下,矛盾的主导方面,也可能从河流转化到河床。例如长江在流经三峡的时候,显示出一系列的极为特殊的水流性状。在这种情况下,就不能不承认河床对水流起着决定性的支配作用,而成为矛盾的主要方面。正因为如此,作为治河工作者,不仅要掌握与水流有关的水文情况和水力学情况,对于与河床有关的地形、地貌、地质等方面的情况也应该有比较充分的了解,借以明确河床对水流的具体作用以及在发展过程中可能出现的作用。只有全面地掌握了矛盾着的两个方面的相互关系,并将它们放在适当的位置加以考虑、分析,才能有利于河道整治问题的恰当解决。

<sup>①</sup> 本书所指的“流性”一般指滞性流、紊流、急流、缓流、高速水流、普通水流等不同的水流属性;“流型”一般指的是流速分布状态等。



在水流与河床交互作用的过程中,许多情况下,泥沙运动起着纽带作用。换句话说,二者的交互作用,在许多情况下,要通过泥沙运动来达到和体现。例如,在一种情况下,通过泥沙的淤积,使河床抬高;在另一种情况下,通过泥沙的冲刷,使河床降低。事实上,泥沙有时是河床的组成部分,有时又可能是水流的组成部分;在运动过程中,从矛盾的一个方面转化到矛盾的另一个方面。泥沙运动在水流与河床相互关系中的这种纽带作用,使得关于泥沙运动的基本规律的研究成为河流动力学中的核心问题。

概括地说,河流动力学可以视为由两个主要部分所组成,即:泥沙运动基本规律部分和河道演变基本规律部分。这两个部分是紧密联系、相互渗透、不可割裂开来的。本书的第2章~第5章,属于第一部分;第6章和第7章属于第二部分。第8章和第9章讲述研究这些规律的一种特殊方法——河工模型试验。此外,另将因次分析法则、环流、水流平面图以及天然河流的糙率等特殊课题列为附录。

## § 1.2 人类与江河作斗争的历史过程简述以及河流动力学的形成和发展

自然科学是关于生产斗争的科学。物质生产一方面向自然科学的形成和发展提出要求,另一方面又向自然科学的形成和发展提供材料和条件。因此,社会生产发展状态对于自然科学的发展起着决定的作用。河流动力学的形成和发展也不能离开这条普遍的规律,河流动力学与社会生产发展状态、人类与江河作斗争的历史过程是紧密联系着的。

在封建社会及其以前的时期中,社会生产以农业为主。广大农民群众,为了使农作物能够丰收,一方面要与洪水灾害和水土流失的现象进行斗争,另一方面要引水灌溉和排除渍涝。因此,这个长时期中的河道整治工作,大都以防洪为主,再加上水土保持、排涝和灌溉进水口附近的整治等。我国的史实以及印度、古埃及和古巴比伦的史实都说明了这一点。关于航运及其他方面的整治工程,在这一时期中也有一定的发展。我国的南北大运河,便是封建社会中的一个伟大的工程。不过,整个