

SHUILIXUE

LIUTILIXUE

LILUN JI

YINGYONG

ZHUANJI

# 水力学、流体力学 理论及应用专辑

郑邦民 著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

**SHUILIXUE  
LIUTILIXUE  
LILUN JI  
YINGYONG  
ZHUANJI**

**水力学、流体力学  
理论及应用专辑**

**郑邦民 著**



**中国水利水电出版社**  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

## 内 容 提 要

本书为郑邦民教授长期从事水力学、流体力学的教学和科研的论文集，包括水力学试验、流体数值模拟、洪水模拟计算、溃坝问题、河工变态模型试验、大型网河计算等内容。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

水力学、流体力学理论及应用专辑/郑邦民著. —北京:  
中国水利水电出版社, 2008  
ISBN 978-7-5084-5220-3

I. 水… II. 郑… III. ①水力学—文集②流体力学—文集  
IV. TV13-53 035-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 204636 号

书 名	水力学、流体力学理论及应用专辑
作 者	郑邦民 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: <a href="http://www.waterpub.com.cn">www.waterpub.com.cn</a> E-mail: <a href="mailto:sales@waterpub.com.cn">sales@waterpub.com.cn</a> 电话: (010) 63202266 (总机)、68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	184mm×260mm 16 开本 22 印张 522 千字 1 插页
版 次	2008 年 6 月第 1 版 2008 年 6 月第 1 次印刷
印 数	0001—1000 册
定 价	78.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

郑邦民教授毕业于清华大学水利系，长期从事水力学、流体力学的教学、科研工作。郑邦民教授出版的书籍大致可分为三类：教材类、计算水动力学类、水力学的工程应用类。出版的教材和专著都是他几十年教学、科研的工作总结和心得体会。郑邦民教授认真对待自己出版的每一本书，不吝将自己最深刻、最宝贵的学术经验都一一写入书中，力求出版的每一本书都能体现自己的特点，具有理论和实用价值。多年以来，我们在不断重读郑老师编写的教材和著作时，仍能时刻体会到他这种宽阔的胸襟和严肃认真的学术态度。

郑邦民教授从20世纪60年代就开始参与编写《水力学》教材。改革开放以来，在1985年参与编写的高等教育出版社出版的《水力学》书获得教育部教材一等奖。1988年和2001年他又先后主持编写了针对研究生教学的《流体力学》和《计算水动力学》。他编写的教材注意吸收国内外同类教材的长处，力求体现思想性、科学性。深入浅出，结合实际，着眼于提高读者的理论基础和处理实际问题的能力。时至今日，他的上述著作仍是许多教师、水利水电工程技术人员和学生的重要参考书籍之一。

# 序

郑邦民教授 1950 年从清华大学力学班毕业以后就一直在武汉大学从事教学科研工作，50 多年来，为武汉大学、武汉水利电力学院的水力学课程建设，教学、科研及人才培养无私地贡献了自己的精力、智慧和心血。其名师风范深受年轻一代的学者尊敬。

这本书是郑邦民教授半个世纪以来在水力学、流体力学方面的教学、科研的总结。其中包括理论分析、模型试验、数值模拟三方面内容。虽然不可能全面论述水力学、流体力学的各个方面，但也反映了这半个世纪以来，水力学、流体力学方面一些主要变化。

郑邦民教授在学术方面涉猎广泛，一个很大的特点是思维敏捷，对新的观点、方法有很强的敏感和接受能力，他是国内较早在水力学、流体力学领域运用计算机技术并取得成果的专家之一。本书一部分内容是郑邦民教授各个时期已发表过的论文，能反映他进行学术研究的历史轨迹。还有十几篇是郑邦民教授还未发表过的论文。其中大部分是他退休后撰写的，这一方面反映出郑邦民教授永远旺盛的学术生命力，另一方面也表现了他对我们国家的水利电力事业的热爱和对党的教育事业的拳拳之心。

郑邦民教授这本论文集的出版使我联想到我们学院、我们学校乃至全国范围内有相当一部分像郑邦民教授这样的老一辈学者、教授，在退休以后仍然以各种方式、在各个领域为国家的社会稳定、经济发展、文化教育尽自己的能力，做自己的贡献。他们扎实的理论功底和丰富的学术经验是我们国家、民族的宝贵财富，他们这种自强不息、以国为家的精神更是我们国家、民族的骄傲。我希望能借此机会，表达我对他们的尊敬和感谢。

上善若水，厚德载物。学而不厌，诲人不倦。



2007 年 12 月 5 日

# 前 言

\*\*\*\*\*

我和我的学生希望有一本能反映这半个世纪以来，水力学和流体力学方面一些主要变化的书，供有兴趣的读者学习参考，这就是本书的写作目的。本书是我半个世纪以来在水力学、流体力学教学和科研方面的总结。

最初接触水力学是受教于夏震寰教授（理论方面）和李丕济教授（实验方面）。1940年一次暴雨洪水，我正乘马车冲过一条小河，看到上游洪水涌波，有一两米高，像火车头一样冲过来，这给我认识洪水波尤其间断波留下了深刻印象。1953年薄山水库洪水，河中用吊索铅鱼测流，使我每看到河渠总不禁要问此时流速是多少？流量有多大？不断积累着我对洪水的感性认识。

我最早接触水力学实验是建国初期官厅水库输水道的物理模型实验和荆江分洪的模型实验。1956年我院——武汉水利电力学院水力学实验室兴建，我设计了四个教学科研中型水槽，并首次采用折叠双层，以减小长度并保证水流平稳和满足消能的要求。为了给葛洲坝混合式水电站做水力学模型试验，我曾在1971~1973年三上青铜峡水电站，进行参观和测流，并于1972年在我院建起了（高）6.2m×（宽）1.2m×（长）60m的高速水流水槽，并用有机玻璃做了当时国内尚属首例的水轮机和泄水孔双层泄流（包括蜗壳与尾管）模型，此项试验获得了国家科技进步特等奖。

20世纪五六十年代我国水利工程的一些问题，诸如湖北丹江口各种泄流建筑物，有底孔、隧洞，梳齿等，联合泄流，有明满流；还有复杂管道的水锤计算和高速水流等问题，当时尚无电子计算机，对复杂问题只有依赖图解法去处理。当时高水头建筑物正在兴建，高速掺气水流模型试验在多处进行，关于脉动压力比尺是否按Froude律等于长度比尺，其频率比尺等不等于1出现争论。我经过研究发现，它们与掺气浓度 $C$ 大小有关，这一概念也将出现在挟沙两相流中，在模型相似律方面，Froude律与Euler律是似二而一的，而压力脉动却与涡运动有关。

流体数值模拟是我工作的重点。开始做溢流坝流动试验时采用的是有限元法解势流，证明这是可行的和符合实际的，实现了Von Karman多年来想通过理论方法计算溢形体的愿望；计算也表明溢流坝收缩流段除了边界附近外大部分区域都是符合势流流动的。此后，我又用变形坐标差分法解了坝面紊流边界层。20世纪50年代国外有人对此用差分法计算很不理想，我们用变换函数将 $\psi = \psi(x, y)$ 变为 $z = z(x, \psi)$ ，可以直接解具有自由面流动的溢流坝水力学问题。我们体会到，溢流坝水力计算的关键在于自由面边界条件是非线性的，或已知单宽流量要调整水头，或已知水头要调整单宽流量。而坝面又有缓流、急

流, 两区调整关系不同, 这一点在 20 世纪 80 年代德国有人计算尚未理会。计算成果使我们有两点发现: 第一, 通常人们认为堰顶断面是临界水深断面, 我们发现曲线型水流临界流断面是曲面, 并随流量的加大, 向上游移动, 而不是固定断面, 这一点与我们在水槽中对于实用堰水流, 用测针所测的干扰波之传播相一致; 第二, 我们发现非真空实用堰 (WES) 最小的负压值是  $p/r = -0.62H_0$ , 而不是 WES 实验值  $p/r = -0.59H_0$ 。人们将“实践是检验真理的唯一标准”误解为只是“实验是检验的唯一标准”, 殊不知实验亦有误差, 精度不够, 虽然 WES 曾在 1 寸距离内埋有 3 根测压管也没有完全抓住负压极小点, 而数值计算网格却可以无限加密的。我们的这一成果刊于《中国科学》1985 年 A 辑 3 期。同时在解此问题的还有南京水利科学研究院丁道扬和四川大学的研究人员, 中国学者对解此问题具有其自身的特色。

在流场、温度场方面我们用有限元法做了湖泊型温度流计算, 解决了姚孟电厂白龟山冷却池热污染的问题。这一工作后来又用坐标变换差分网格做过计算, 也用随机游动法计算进行了对比。同时还做了汉川电厂河道型取排水口的二维流速、温度分布计算, 并有实验相配合, 这是国内较早期进行的环境数模计算。

我们用一般曲线坐标变换, 采用张量表述作了三维  $K-\epsilon$  紊流模型, 用于淹没射流计算, 在理论、应用上均有特色, 论文选在第 17 届国际理论与应用力学大会的“中国学者论文集锦”(中国力学学会编, 北京大学出版社出版, 1991 年)。

对重要工程如长江三峡水电站进水口的单孔、双孔方案, 都做了三维紊流数值分析与计算, 提供了重要的科学依据。

我所从事的另一部分工作是洪水模拟计算。黄河北金堤分滞洪区洪水演进, 原来采用日本程序, 10 天洪水过程需计算 12 个小时, 不能满足指挥部移民搬迁的要求, 希望用 4 小时完成计算, 我们的程序改进之后只要 1 小时 20 分钟, 随着计算机速度的加快, 现在只需 20 分钟了。我们计算发现: 通常所说的守恒型 (散度型) 格式水量并不守恒, 分滞洪区, 从渠村闸 10 天入流 28 亿  $m^3$ , 金堤河入流 7 亿  $m^3$ , 而由网格各点水深和面积积分有 32 亿  $m^3$ , 两者相差 3 亿  $m^3$ 。分滞洪区平均宽 40km, 长 140km, 计算水位精度误差如在 1cm 以内 (这一点是难于做到的, 通常精度误差约为 10cm), 水量就差 5000 万  $m^3$ , 这对近年缺水断流的黄河而言是不可思议的。我们在天津海河潮汐计算时并未发现此问题, 有人认为在类似计算中, 如海河口勃海潮计算中的重点并不在潮流量, 究其原因, 我们所用是平面二维浅水方程, 认为垂向平均流速为常数, 实际上未必如此, 阻力计算也未必精确, 经改进后误差控制在 5%。另外, 我们用的是清水、泥沙耦合模式, 这对多含沙量的黄河浑水也未必合适, 这点将在以后论及。

另外, 所谓守恒型式叫散度型, 是指不可压缩流速散度  $\nabla \cdot \underline{u} = 0$ , 还是质量守恒  $\partial_t \rho + \nabla \cdot (\rho \underline{u}) = 0$ , 而对自由面流动  $\rho \rightarrow h$  而言呢? 这也是值得商榷的。

后来, 我研究“溃坝水力学”, 开始用 Saint - Venant 方程 Ritter 理论解于溃口断面作为上、下游溃坝波传播的边界条件, 溃口最大单宽流量按  $q_m = \frac{8}{27} \sqrt{g} H_0^{3/2}$ , 即溃口水深  $h_d = \frac{4}{9} H_0$ , 流速  $v_d = \frac{2}{3} \sqrt{g H_0}$ 。也就是说溃口断面为临界流这是在符合静压分布的前

提下得出的。我们用 MAC 按流体力学一般方程计算，发现溃口在初瞬的几个  $\Delta t$  时段，由于水流是曲线水面，压力分布不符合静压力，溃口水深也是变化的，而不是常数  $h_d = \frac{4}{9}H_0$ ，这说明 Ritter 解太理想化了。

我们研究计算了澜沧江下游和小湾以下漫湾、大朝山、糯扎渡、景洪 5 个梯级溃坝问题，它们是否相互影响？经 580km 到达南阿河口，出国境线水位流量是多少？结论是：到达南阿河口，流量不超施工设计流量，不会因为小湾溃坝而造成额外影响，这一梯级联合溃坝洪水相互影响计算，既有峡谷区一维流间断波，干河，也有景洪二维平坝区，流动算出了小湾溃坝最大溃坝流量级约 30 万  $m^3/s$ 。类似于二滩电站，不及三峡水库溃决最大流量每秒百万立方米的量级。我们还研究了葛洲坝大江宽河高基流的溃坝，它们都是拱坝混凝土重力坝，溃决条件包括瞬间全溃和局部、部分溃，也分析了不同层面，薄弱部分溃决。

另外，我们也计算了新疆地区 4 个及武汉周边 7 个中小型土石坝的逐渐溃决模式及溃堤研究。结合土力学原理，土石坝溃决之关键在于溃决宽度，对 400 多个坝中 60 几个土坝进行分析，得到了溃决宽度经验关系。

对于大亚湾岭奥核电站、阳江核电站也进行了二维溃坝分析，以及溃坝下游水深对核岛的影响。

流体中物质传输是普遍存在的现象，不论是质量（浓度）、动量或能量（温度），都可归结为广义的物质输运，受控制于对流扩散方程：

$$\partial_t \phi_i + u_j \partial_j \phi_i = \nu \alpha_{jj} \phi_i + S_i$$

函数  $\phi_i$  可以是标量，向量或张量，求解方法有有限差分法（FDM）、有限元法（FEM）、有限体体积法（FVM）、有限分析法（FAM）等。有限差分法只求离散网络点的值，区域（单元）内点值是不知的；有限元法是给出单元内的插入值近似解；有限体体积法要给通量（flux）以一点假定；有限分析法是结合分析解，以单元内解析，单元边界及总体边界近似的一种数值解法，我比较欣赏，也用它解 2-D、3-D 问题，但随之发现当雷诺数  $Re$  高时，即  $2A_j = u_j \cdot \Delta x_j / \nu$  大时，其有限分析法权系数即丧失自动迎风性而变为简单迎风，上风点为 1，下风点为 0，并且如不采用标准 27 点格式，如混合有限分析，19 点、21 点等，斜迎风不能处理（Skew up-wind）。为此，我们对 FA 权系数求法进行了改善，在 2-D、3-D 计算中采用加权迎风式，保证了其迎风特性。原来有限分析法系数当  $Re = 60$  或上百、上千时就不行了，事实上它采用网格雷诺数  $Re = u \Delta x_j / \nu$  中用  $\nu_i = 0.05 \sim 0.2$  将  $\nu$  加大  $10^6$  倍，这就变成假紊流真层流了。

近来水利科研单位多在做河工变态模型试验，然而对它的精度与误差分析，国内外尚无人能回答。

相似与模型试验在水力学中获得广泛应用，有人也很推崇相似解，我在写《水力学》书中“相似原理”一章也曾提出什么是相似？如何保证相似？好在相似不是全同，只是一种近似，我们曾计算过空腔流当  $h/b = 1, 2, 3$  时，有完全不同的结果。如果  $h/b = 1$  是一个涡，当  $h/b = 2$  时，则有上、下两个涡了，当  $h/b = 3$  时，有三个涡（三级）。怎么能设想当变率  $h/b = 5 \sim 7$  时，还能否保证涡之相似，也就紊流场的相似？好在认可它是近



似,那么,必须回答近似到怎样的程度?误差是多少?用量纲分析的办法所建立的相似解,不能给出无量纲比例系数之值,必须依赖于实验,难怪Л. И. Семенов说“用量纲理论所得的结果是有限的,并在许多情况下的结果是非实质性的”。我们企图从基本方程入手,用数值分析法给出模型精度的误差。

水流和泥沙运动不仅遵循确定性的力学规律,也因受到诸多因素影响而具有随机性,符合统计规律,如紊流就是不同尺寸、不同频率、不同强度涡之运行,泥沙运行更是如此,因此,随机性概念和随机性方法是不可或缺的。

这里有一个重要的方法为随机游动(Random walk)方法,也可叫Monte-Carlo。其思想来源虽然古老久远,但在电子计算机出现之后,又重新焕发了青春。已有理论证明,随机游动与分子扩散是等价的,随机游动方法不仅能解确定性问题,如线性方程组、重积分、Poisson方程、对流扩散方程,我们也将它用之于各种水力学问题的各类方程、不规则边界、网格、河网的计算。

同时,我们直接用随机方法模拟了泥沙沉降、水库、泵站沉沙的淤积,不仅给出了淤积量也能给出淤积部位,用此法所作的三峡库尾重庆港淤积计算,尚有待于2008年汛后实测验证。

以往曾有争论:脉动流速 $u', v'$ 符合不符合正态分布,涡运行呢?应力 $\rho \overline{u'v'}$ 相关矩呢?现在,只要知道它们的分布,不管是否Garss分布,我们都可以在电子计算机上做模拟,并有现成程序可用。

虽然是一维流动,当量大起来就引起质变,对大型管网或河网计算会带来复杂性,这一般可采取分级解法,解大型稀疏矩阵(Sparse Matrix)。我们做了珠江三角洲网的计算,有2437个断面,200多个河道,还包含八大口门。上海苏州河嘉定区河网有200多个断面,50多条河道,我们采用图论观点应用关联矩阵、影响矩阵,先解汇点水位、流量,然后就可按简单河道处理了,我们对比了稀疏矩阵解与随机游动解两者是一致的。对于像珠江这样的大型网河计算,听说国外专家看后都觉得很难而未插手,我们所做河网计算成果已在近年用之于珠江防洪系统,并考虑潮与洪的相互遭遇问题,这一方法亦可用之于珠江盐水运行。

1982年国家教委让我在清华大学给全国水力学师资培训班主讲张量。物理力学规律是客观存在,而物理方程、公式必须依据一定的坐标系,张量法的任务就是寻找一种坐标变换下的不变形式,换句话说就是找出其变换关系。向量形式是不随坐标而变换的,但不方便数值计算,而张量式则兼有向量与坐标式的优点,且很利于计算机语言。正确的物理公式中的各项必须合乎两个原则:一是量纲和谐原则;二是张量注标和谐原则。

我对张量的认识,最早缘于李国平教授讲“外微分形式”及李灏教授在力学学会多次讲授,从向量到张量是上世纪下半叶连续介质力学发展上所形成的一个必然过程,这是一个古老的课题,我将它推广于一般正交曲线坐标表达,使它方便于网格生成与计算及水利工程中水库、湖泊、河流、河口这些不规则域及变动域,因为张量就是研究空间几何的运行的。我在流体力学方程的一般曲线上的张量表述做了一些研究工作,均已收入在有关的文献中了。

泥沙运行在本书中占一定篇幅。河流动力学形成一定的学科还是上世纪中叶以后的

事。最早，泥沙与河流运动还是从地理学角度去研究的，远未到泥沙动力学地步，而河道演变也是定性的描述多于定量的分析。

我对泥沙运动的认识是从基本概念入手，从基本方面做起，这有两相流的观点，是把质点和流体分开，还是混合流体？都须我们认识。我先从泥沙相颗粒受力出发，它所受的9种力的性质特性如何？如何在运动的过程中变化，水作为载体相间相互作用怎样？如果水沙作为连续体——浑水方程的运用，将会有怎样的结果？

我们做过芜湖长江大桥泥沙推移质计算，发现各家公式可以相差10倍之多。也听说三峡水库淤积量各家计算结果差异也非常之大，至于挟沙力公式实验点子对经验公式真如满天星斗。我们设想，关于实际工程中的泥沙运动问题如果能有50%的把握和80%~90%的（概率）可能性，这样的结果也算是有所进展，有所前进了吧！为此，我们做泥沙的随机沉降、处理水库淤积这一较简单的课题，与此同时，我们还研究了群体流速及紊流涡黏性系数 $\nu_t$ 作为场变量的物理实质及其表达式。

我们也做过一些中小型水库采沙、排沙试验，探讨其模型率与泥沙运动的模型比尺。鉴于河流泥沙起动与冲刷过程是更为复杂的现象；在近年测量观察仪器不断发展的情况下，如激光、超声、高速、高频摄影等，对近壁的细观结构，提出了细观认识的看法，在微米的尺度下进行分析，如黏性边界层、过渡区、对数层， $y^+$ 由1~100~1000范围结构性状，并感到所谓过渡区是质变的性质，是更为复杂的。

与此同时，我们对浑水二维洪水演进，泥沙运动，采用耦合模型，发现在低、中、高含沙情况下浑水与清水的试验结果相比，水位、流速有差异，有爬高和上滩、滞留时间的不同。这些在黄河这样的河流和突发暴雨洪水泥石流、山地灾害防治中有重要影响。我们对二维浑水冲积河流研究中，提出特征多模（Mode）形式，我们认为既然一维河渠非恒定流是一种波动现象，有特征线 $\pm\lambda = u \pm \sqrt{gh}$ ，明渠浅水微幅波波速 $C = \sqrt{gh}$ ，对于二维也可得公式为 $\lambda_i = u_i \pm \sqrt{gh}$ ，不同于一维的是它是特征维，它不像一维分析时那样，上游、下游非常分明。

进一步说，既然清水有波动现象，水沙混合流的浑水非恒定流运动也毫无例外地有波动表述，如果清水模式（Mode）特征线 $\lambda$ 用 $\lambda_1$ 表示，我们写出浑水混合流体有 $\rho = \rho(1-C) + \rho_2 C$ 。而含沙量 $S$ 与体积比含沙浓度 $C$ 之间的关系为 $S = r_1 C$ 。混水动量 $\rho u_i = \rho_1(1+C)v_i + \rho_2 c\omega_i$ ，式中 $\rho$ ， $\rho_1$ ， $\rho_2$ 分别为浑水（混合流体）、清水与泥沙之密度，而其中 $u_i$ ， $v_i$ ， $\omega_i$ 则分别为浑水，清水、泥沙运动速度。一般来说，清水作为流体应该是一种载体，它的动量应该有一部分耗散在沙上，从而有混合流体之动量，故而，我们认为 $v_i > u_i > \omega_i$ ，对于浑水波动也应有特征值。如令 $\lambda = \lambda_1$ （第一种模式），则浑水 $\lambda_2 = u_i \pm \sqrt{ghs}$ 。浑水波之速度 $c_2 = \pm \sqrt{ghs}$ 。它与含沙量 $s$ 有关，如 $s=0$ ，则为清水 $\lambda = \lambda_1 = \lambda_2$ ，如 $s=0.1 \sim 0.3$ ，则浑水波速为 $C_2 = \sqrt{ghs}$ ，于同样水深而随 $s$ 而变。这是将沙不分悬移与推移，笼统看的，实际是以悬移为主的，如果单考虑推移质，于近河底处一层厚度 $\xi < h$ ，河底推移质运动（推移）则有 $\lambda_3 = \omega_i \pm \sqrt{g\zeta}$ ，如 $\zeta$ 这一层厚度包括沙波运动，沙的形态在河底已有不少实测资料，当大量底沙形成一个沙波波形，需要大量质点和不少时间的，这一点可以用电子计算机做出。由此，以沙波运动为主的河床变形，推移质运动也就可以模拟了，我们模拟了顺直河

道怎样形成弯曲河道的过程。

以上只是对水力学、流体力学某些点的认识和所作的分析，更多的未知领域留待后来者去开拓。水力学、流体力学领域的知识只有几百年，模型试验的发展近百年，数值模拟仅几十年，留下的问题远未解决，如紊流、涡动力学、水沙动力学数值模拟。虽然本书是一本有关水动力学方面的书，但也涉及两相流和多相流体。我们受专业限制没有谈及波浪力学与水力机械方面的问题，多侧重于江河、水库，重点在水利工程。在当今信息膨胀的年代，本书诸多内容，也装不满两张光碟。

如果说这本书是我短暂一生中留下的一些东西，不如说遗下更多的未知的问题！

这本书看来接触甚广，有些也只是浅尝辄止，有待进一步深入。水力学和流体力学的领域像广阔无限的星空，非一人甚至一代人所能认识终结的。希望有志于此的人，继续开拓前行。书中不当之处，欢迎批评指正，本人将不胜感谢。

郑邦民

2007年12月识于武汉大学

## 第二版前言

为适应现代通信技术的迅速发展，通信专业院校的学生和通信企业的技术人员迫切需要一本全面介绍现代通信技术的教材。为此，我们在我校讲授“通信概论”的基础上整理成本教材。本书全面地讲述了现代通信应用的各种通信技术，每一章讨论一个课题，除阐述其基本原理外，还讨论了与其相关的实际应用技术及其相关学科领域的技术发展，循序渐进、深入浅出。通过学习本书，能够建立起通信全程全网的概念。

全书分上、下两册。上册内容侧重有线通信方面，包括：模拟信号数字化、电话交换技术、数据通信技术、现代通信网技术等，下册内容侧重于光纤通信和无线通信方面，包括：同步数字体系、光纤通信、微波与卫星通信、移动通信等。

本书自2002年第一版出版后已为多所院校选为教材，本次出版是在第一版的基础上进行修订和补充，删除了部分较陈旧的内容。为适应新技术的发展和培养实用型人才的需要，本书在上册中补充了Internet及宽带IP城域网、软交换及下一代网络技术等内容，在下册中补充了波分复用、光网络的发展趋势等内容。

本书在编写过程中除参阅了一些文件和资料外，还参阅了谢希仁主编的《计算机网络》、秦国主编的《现代通信网概论》及张民主编的《宽带城域网》等书籍，在此向这些资料和书籍的作者表示感谢。

由于时间仓促，作者水平有限，在编写过程中难免有不妥之处，请读者予以指正。

编者  
2007年1月

# 目 录

序  
前言

## 已发表的部分学术论文

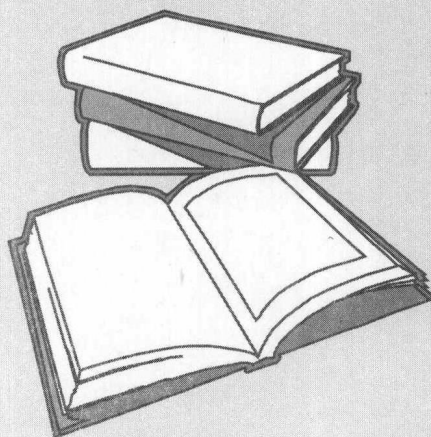
隧洞导流流态判别、水力计算及与其他泄水建筑物联合工作水力计算的图解法	3
水击现象某些基本概念的流体力学分析	12
掺气紊动水流基本方程式的应用	30
温度流的有限元数值模型	35
流体力学中正交曲线坐标张量的应用	45
溢流体形的数值模拟	52
Numerical Modeling of Spill Way Profiles	61
简化边界元法	72
湖泊型温度流的数值分析	80
流场中生成的一般坐标变换	87
河道型取排水口数值模型	91
垂直平板在黏性不可压缩流体中的突然启动	97
溢流面陡坡段上紊流边界层数值分析	106
天然河道非恒定流条件下阻力系数变化规律的研究	114
带有取、排水口的河道三维流计算	124
Prevent the Calamity of Dam - Break	132
三维紊动对流扩散的数值分析	137
Grid Generation in Space and Calculation For 3 - D Turbulent Flow	147
计算水力学国内外进展	153
沉沙池中泥沙的随机运动	163
三维一般曲线坐标变换、网格生成及流场、温度场计算	170
Finite Analytic Numerical Method of Incompressible Three - Dimensional Navier - Stokes Equation	174
A Turbulence Model for Varying Density Flow in General Curvilinear Coordinates	179
Numerical Simulation of 3 - D Turbulent Flow for the Inlet of Three Gorge Power Station	187

紊动扩散系数研究及其应用.....	192
固体颗粒的群体沉降速度分析.....	198

### 近期的部分学术论文

流体力学基本方程在一般曲线坐标下的张量形式及应用.....	209
流体力学基本方程中 $\nabla^2 \vec{a}$ 的表达式与计算.....	218
颗粒在流体中的随机运动.....	221
一般二维对流扩散方程随机游动解.....	227
水库泥沙冲淤的三维动力研究和随机分析计算模拟.....	235
对流扩散方程的蒙特卡罗解法及其证明.....	240
三维流函数诠释及 $\Psi, \Omega$ 数值解.....	245
流函数 $\psi$ 涡度 $\Omega$ 解.....	253
对流扩散方程的数值解.....	257
非线性渗流的数值分析.....	266
顺直河道边壁性态涡的生长与扩散.....	273
河床附近紊流性状的研究与模拟.....	280
河工变态模型的三维流误差分析.....	291
论曲线型水流的临界水深.....	316
桥墩壅水影响.....	319
河渠非恒定流的适体坐标解法.....	322
附录一 作者已发表过的学术论文目录.....	329
附录二 作者已出版的教材、著作和译文.....	334
郑邦民教授论文简介.....	335

# 已发表的部分学术论文







# 隧洞导流流态判别、水力计算及与其他泄水建筑物联合工作水力计算的图解法

郑邦民

(武汉水利电力学院)

**【提要】** 本文叙述了导流隧洞的各种流态，并给出各种流态下的水力计算方法，以及提出了隧洞与其他泄水建筑物联合工作时的水力计算的图解法。

## 一、概述

导流在水利工程中有重要意义。隧洞导流具有：无压流、半有压半无压流、有压流三种主要流态，这些流态的水力特性和水力计算又兼有明渠导流、梳齿导流、泄水孔泄水之特点。

隧洞导流的无压流态又具有淹没不淹没，“长”、“短”洞，缓、陡坡问题，故较复杂，是本文分析的重点。

导流期间一般不只单个泄水建筑物工作。往往要求得不同频率的流量，在两种以上的泄流建筑物联合工作的情况。水力计算的基本内容一般是已知来流量  $Q$  与下游水位  $Z_H$  的关系曲线，求流量分配与上游水位  $Z_B$  的关系曲线。这种计算即使对一个拟定的方案进行，工作量也是不小的，而实际设计中要求一系列不同的方案就显得更加烦重了。而这种分流问题的计算却正是导流、泄流问题水力计算的主要内容。

单从隧洞泄流本身来说：流量由小到大，流态也往往相应地从无压（明）流过渡到有压（管）流。而对不同的泄流建筑物联合工作时也可能出现一个明流另一个是管流的情况。因而，如何判别水流流态就显得非常重要，只有在流态判明的基础上才能进行正确的水力计算。

现在的导流问题水流流态判别与水力计算方面的论述主要有：全苏《水工手册》；《隧洞设计规范》；吕兴祖著的《施工导流设计及计算》；清华大学的《水力学》；乌根秋斯、拉迪申可夫、罗赞罗夫的《关于涵洞隧洞水力计算》；水利水电科学研究院的《关于压力隧洞洞口压力分布问题》的论述。这些论述中全面和详细的应当是全苏《水工手册》，但对于流态的叙述过于纷繁。清华大学《水力学》书中概括得较好，论述尚正确，但水力计算方法，尤其是水面曲线分析计算有一些不妥之处。其他苏联著者对个别问题有独到的见解。水利水电科学研究院对隧洞出口压力分布问题的试验和实际观测资料是很宝贵的。