

中国现代科学全书·水利工程

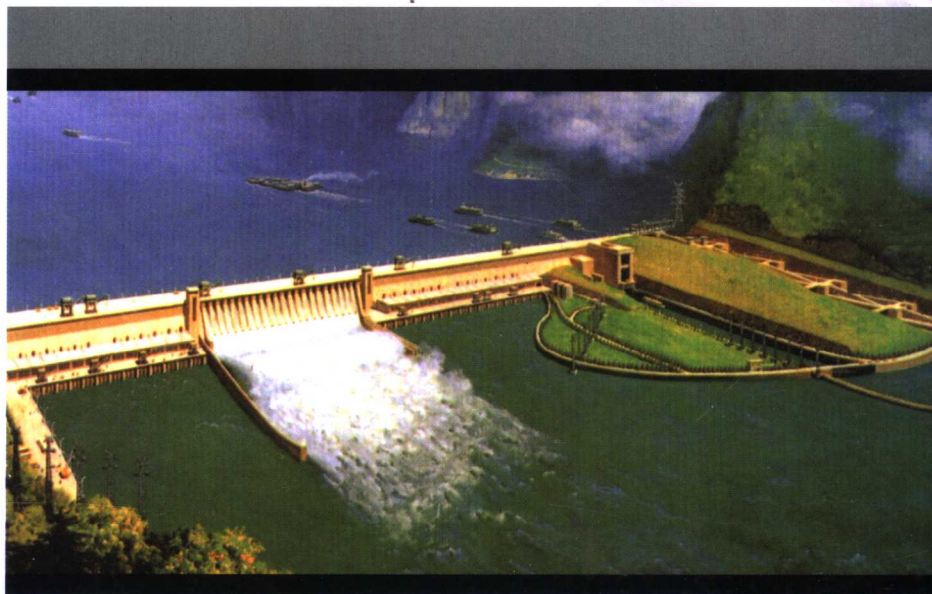
CHINESE ENCYCLOPEADIC SERIES OF MODERN SCIENCES

HYDRAULIC ENGINEERING

工程水力学

ENGINEERING HYDRAULICS

杨永全 汝树勋 张道成 肖白云 编著



中国环境科学出版社

中国现代科学全书·水利工程

工程水力学

杨永全 汝树勋 编 著
张道成 肖白云

中国环境科学出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

工程水力学/杨永全等编著. —北京: 中国环境科学出版社, 2003. 12

(中国现代科学全书·水利工程)

ISBN 7-80163-792-5

I. 工… II. 杨… III. 水工建筑物—水力学

IV. TV135

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 110688 号

工程水力学

杨永全 汝树勋 张道成 肖白云 编著

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.cn>
电 话: 010-67113409

印 刷 唐山丰电印务有限公司印刷
经 销 各地新华书店
版 次 2003 年 12 月第一版
印 次 2005 年 5 月第一次印刷
印 数 1—2500
开 本 850 × 1168 1/32
印 张 15.50
字 数 400 千字
定 价 48.00 元

【版权所有, 请勿翻印、转载, 违者必究】

中国现代科学全书总编辑委员会

名誉主编	胡 绳	钱伟长	吴阶平	周光召
	许嘉璐	罗豪才	季羨林	王大珩
	郑必坚			
主 编	姜士林	郭德宏	刘 政	程湘清
	卞晋平	王洛林	许智宏	白春礼
	卢良恕	徐 诚	王洪峻	明立志

水利工程卷编辑委员会

主 编	董曾南
编辑委员	(以姓氏笔画为序)
	王兴奎 李仲奎 麦家煊
	杨永全 薛鸿超

作者简介

杨永全,男,1940年8月生,1967年研究生毕业于原成都工学院水利系,长期从事水工水力学领域的教学与科研工作。曾在英国进修两年,在德国作高级访问学者半年。现任四川大学高速水力学国家重点实验室主任、教授、博士研究生导师。已培养硕士、博士研究生十多人,发表学术论文70多篇。先后承担了国家自然科学基金、国家“七五”、“八五”、“九五”重点科技攻关等科研项目十多项,研究成果有1项获四川省科技进步一等奖,2项获电力部科技进步二等奖,1项获国家教委科技进步三等奖,应用于二滩、小湾、溪洛渡等大型工程设计,产生了巨大的经济效益。1995年获国务院颁发的政府特殊津贴,1999年被评选为四川省学术技术带头人。

汝树勋,男,1933年生于云南省,1956年毕业于原成都工学院水利系。随即留校任教,先后任助教、讲师、副教授,1989年作为高级访问学者赴美国访问半年,1990年任教授及高速水力学国家重点实验室副主任,并获国务院颁发的政府特殊津贴。一直从事水力学的教学、科学研究及指导研究生工作。先后完成国家基金及其它重大科研任务十余项,已出版学术专著2部,发表学术论文26篇。

张道成,男,1939年12月生,1961年成都工学院水利系毕业,随即留校任教,历任助教、讲师、副教授及教授。长期从事水力学、计算水力学及高含沙非牛顿流体的教学与研究工作。曾任水利部高等学校水利水电专业教学指导委员会河流泥沙组副组长。1986年赴日本国作访问学者一年。主要著作有:《水力学》,人民教育出版社,1979年(参编);《水力学》,(台湾)文京图书有限公司大扬出版社,2000年。

肖白云,女,1941年10月出生,1963年毕业于成都工学院(现四川大学)水利系,中国水电顾问集团成都勘测设计研究院教授级高级工程师,享受国务院政府津贴专家,全国优秀科技工作者。曾主持多个大中型水电站设计,现任规模仅次于三峡工程的金沙江溪洛渡工程设计总工程师。长期从事水工水力学的设计和研究,主持完成的“九五”科技攻关专题——“溪洛渡水电站泄洪消能关键技术研究”解决了溪洛渡工程设计中的重大技术难题。

内 容 简 介

全书分十四章。第1~4章为水力学的基本知识,本书融合流体力学的内容和方法,加强了水力学的基础理论。第5~11章分别从管流及明渠流的恒定与非恒定流动、堰闸出流、泄洪消能及渗流等方面介绍了水力学的主要专业知识及其学科新发展。第12~14章简要介绍了高速水流、计算水力学等新兴分支学科,并从理论研究、数学模型、实验与应用研究等方面预测了水力学的近期发展趋势。本书在有限的篇幅内,全面地介绍了水力学的主要内容及新发展,可作为从事科技管理或综合性技术工作人员的专业知识参考书。对于水利水电专业人员,也是一本便捷高效的参考资料。

《水利工程》卷编写说明

1998 年春,我接受了清华大学水利水电工程系的委托,承担《中国现代科学全书》的《水利工程》卷的主编。《中国现代科学全书》是在全国人大常委会办公厅研究室、全国政协研究室、中共中央党校教研部、中国现代文化研究中心的共同组织下进行编辑工作的。其目标为系统地、全国地概述现代自然科学和社会科学各学科的建设、发展及其学术研究成果,为繁荣和发展我国和科学文化事业,提高全民族的科学文化素质,增进我国与世界各国之间的科学文化交流服务。显然,这是一项迎接 21 世纪的科学文化建设工程。

1998 年 5 月 28 日由全国人大常委会办公厅研究室主持召开了第一次编撰工作会议。全国人民代表大会常务委员会副委员长布赫和中国人民政治协商会议全国委员会副主席钱伟长、罗豪才等参加了会议,讨论了这套规模宏大的全书的编撰方针与原则。根据《中国现代科学全书》编委会的卷目规划大纲,全书分 12 个门类,690 卷。其中《水利工程》卷属于工学门类,又包括五个分卷,分别是《水力学》、《河流动力学》、《水工结构工程》、《水利水电工程》、《海岸及近海工程》。水利工程对我国具有特殊的重要性。这几卷的内容尚不能反映水利工程学科的全貌(如水文水资源已被归入《水文学》卷中),但由于卷数的限制,只能遵守《中国现代科学全书》编委会的决定。

1998 年夏,经多方酝酿确定了《水利工程》卷各分卷主编:

《工程水力学》	四川大学杨永全教授
《河流动力学》	清华大学王兴奎教授

《水工结构工程》 清华大学麦家煊教授

《水利水电工程》 清华大学李仲奎教授

《海岸及近海工程》 河海大学薛鸿超教授

由以上五位教授和我本人共同组成《中国现代科学全书》的《水利工程》卷的编委会。经过五位教授辛勤努力,2000年初各卷书稿陆续完成,并由编委会分别聘请国内知名专家对书稿进行了审定。但是由于《中国现代科学全书》出版经费发生始料未及的变故,因而出版工作迟迟未能落实。直至2003年中期,经各卷主编多方筹措,并在《中国现代科学全书》编委会办公室协助下,出版工作方得以实施。现在这五卷书即将出版,实在是一件来之不易、值得高兴的事。

这五卷著作共同的特点是,它们都反映了本门学科国内外最新成就,密切结合我国实际,并对本门学科在21世纪的发展前景进行了深入分析与展望。因此我深信,这五卷书不仅对水利专业人士是很宝贵的参考书,而且对于希望了解水利事业的非专业人士也是极为有益的。

历经6年时间,这五卷著作终于出版面世了,我怀着衷心的喜悦再一次对所有参加编著的学者以及《中国现代科学全书》编委会办公室及出版社的努力表示深深的感谢与敬意。

董曾南

2004年6月30日

前 言

本书是规模宏大的《中国现代科学全书》系列学术专著中《工学》分卷《水利工程学》卷中的一本。本书的编撰本着《中国现代科学全书》的编写宗旨,力求全面介绍水力学的基本知识、基本概念,充分反映学科发展的最新成果,注意介绍水力学的新发展,简要介绍所形成的新兴分支学科。在篇幅有限的条件下,尽可能地达到知识的“全”与“新”。此外,要充分考虑非专业读者的接受能力,尽量少用高深的数学、力学知识,行文尽可能地做到深入浅出、通俗易懂。

水力学是水利工程学科的重要专业基础课程。传统水力学有悠久的发展历史,形成了完整的知识体系,积累了丰富的实践经验。随着计算机和现代量测技术的进步以及我国大型水利工程建设迅速发展,现代水力学不断吸取最新科技理论和方法,其知识体系已发生很大变化,新成果大量涌现,新兴分支学科发展迅速。针对上述水力学的特点,本书编撰的基本思想是:基本理论和知识要讲述清楚,工程中仍普遍采用的传统知识须摘要介绍,新成果及新兴分支学科的内容也要尽量吸纳。本书内容凝聚了编者几十年从事水力学教学的经验和心得,汇集了长期从事理论与工程应用研究的体会和成果结晶。但在十分有限的篇幅内,从浩瀚的水力学知识领域中摘要撷颖,难免带有片面性、主观性,实非易事。文字错漏之处,也在所难免。

本书主要编著者为杨永全、汝树勋、张道成、肖白云。全书共十四章,第一、五、六、七、八章由汝树勋教授编写,第二、三、四章由

张道成教授编写,其余各章的编写及全书的总编工作由杨永全教授负责,国家电力公司成都勘测设计研究院肖白云教授级高工校阅了全书。参加编写工作的还有郑永刚教授、黄国富博士、刁明军博士、夏勇博士、张建民博士和张昌兵博士。

西安理工大学李建中教授负责审阅了书稿,并提出了许多宝贵的修改意见。本丛书《水利工程》分卷总编、清华大学董曾南教授也审阅了书稿。我们根据两位教授的宝贵意见,对原书稿的篇幅做了大量删减,内容也做了许多修改。在此,特向两位教授表示衷心的感谢!

编 者

2000 年 12 月

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 水力学的定义及研究领域	(1)
第二节 水力学的创立及其历史沿革	(1)
第三节 液体的主要物理力学性质及作用在液体上的力	(4)
第四节 水力学的研究方法	(10)
第二章 水静力学	(11)
第一节 静水压强及其特性	(11)
第二节 液体平衡微分方程及其积分	(14)
第三节 重力作用下液体的平衡	(17)
第四节 两种质量力作用下的液体平衡	(22)
第五节 液体压强的测量	(23)
第六节 作用于平面上的静水总压力	(26)
第七节 作用于曲面上的静水总压力	(31)
第八节 浮力及浮体的稳定	(33)
第三章 水动力学的理论基础	(38)
第一节 分析液体运动的方法及基本知识	(38)
第二节 液体质点运动的分析	(47)
第三节 液体运动的连续性方程	(54)
第四节 理想液体的运动方程	(57)

第五节	黏性液体的运动方程	(64)
第六节	恒定平面势流	(72)
第七节	因次分析法及液流相似原理基础	(79)
第八节	恒定总流的能量方程式	(90)
第九节	恒定总流的动量方程式	(102)
第四章	液流形态与水头损失	(108)
第一节	水头损失及其分类	(108)
第二节	液体运动的两种形态	(111)
第三节	紊流的基本特性及其微分方程式	(115)
第四节	均匀流沿程水头损失的基本公式	(124)
第五节	恒定均匀层流运动	(127)
第六节	恒定均匀紊流运动	(131)
第七节	边界层理论基础	(153)
第八节	局部水头损失	(166)
第五章	有压输水道中的恒定流	(172)
第一节	概 述	(172)
第二节	有压输水道内恒定流的基本方程式	(172)
第三节	有压输水道水力计算问题	(177)
第四节	有压输水道水力计算的特例分析	(180)
第六章	明渠恒定流	(187)
第一节	明渠恒定流的基本概念	(187)
第二节	明渠恒定均匀流	(194)
第三节	明渠恒定非均匀渐变流	(199)
第四节	明渠恒定急变流	(221)

第七章 堰流与闸孔出流	(235)
第一节 概 述	(235)
第二节 堰 流	(237)
第三节 闸孔出流	(256)
 第八章 水工建筑物下游的水流衔接与消能	(264)
第一节 引 言	(264)
第二节 建筑物出流收缩断面的水力要素	(266)
第三节 底流式消能	(268)
第四节 面流及戽流消能简介	(281)
第五节 挑流消能	(285)
第六节 泄洪消能技术上的一些新进展	(297)
 第九章 有压管中的非恒定流	(313)
第一节 有压管中非恒定流的性质	(313)
第二节 水击现象及其分析的重要性	(314)
第三节 阀门突然关闭时有压管中的水击	(316)
第四节 阀门逐渐关闭时有压管中的水击	(325)
第五节 非恒定流的基本方程组	(327)
第六节 水击的基本微分方程组及其解法简介	(330)
第七节 水击计算的解析法	(332)
第八节 调压系统的水面振荡	(335)
第九节 减小水击压强的措施	(338)
 第十章 明渠非恒定流	(340)
第一节 引 言	(340)
第二节 明渠非恒定渐变流的基本方程式	(346)
第三节 圣·维南方程组解法简介	(350)

第四节	明渠非恒定急变流	(358)
第十一章	渗流水力学	(366)
第一节	渗流的基本概念	(366)
第二节	渗流的达西定律	(369)
第三节	渗流微分方程式及其解法简介	(372)
第四节	均匀多孔介质中的无压渗流	(375)
第五节	水工建筑物透水地基中的渗流	(381)
第六节	裂隙介质中的渗流	(382)
第七节	渗流水力学的新发展	(385)
第十二章	高速水力学	(387)
第一节	引 言	(387)
第二节	掺气水流	(390)
第三节	空化与空蚀	(401)
第四节	高速水流脉动压力	(413)
第五节	水流诱发的建筑物振动	(421)
第六节	明渠急流冲击波及其控制	(425)
第十三章	计算水力学基础	(430)
第一节	引 言	(430)
第二节	微分方程的类型及数值求解方法	(433)
第三节	有限差分法	(438)
第四节	模型方程的定解条件及其边界条件处理	(446)
第五节	紊流数学模型简介	(451)
第十四章	21 世纪水力学发展趋势展望	(458)
参考文献		(474)

第一章 绪 论

第一节 水力学的定义及研究领域

水力学是研究水的平衡和机械运动规律及其应用的一门科学。它是水利科学中的一门重要的基础学科。水利工程中的输水管、隧洞、河渠及水工建筑物的设计、施工、运行管理,都必须以水力计算作依据。国民经济的许多部门,包括城市建设、机械制造、石油化工乃至原子能工业,都涉及到许多液流现象,因而相应的水力学知识也是必不可少的。

与水力学相近的还有另外一门学科——流体力学,它是借助严密的数学分析工具,研究流体运动的普遍规律。水力学则是以水为研究对象,从一般的力学原理出发建立基本方程,并结合实验手段,力求解决工程中各类有关问题。水力学与流体力学同属应用力学的分支,水力学可认为是流体力学中的液体力学部分。

就其内容来说,水力学可分为基础水力学和专门水力学两部分。前者系研究水的平衡及运动的一些基本规律;后者系应用基本规律去解决工程中的水力学问题,如管、渠、闸、坝的过水能力,泄水建筑物下游余能的消除及其对下游河床的冲刷,透水地基中的渗流等等。

第二节 水力学的创立及其历史沿革

水力学是人类在控制、利用水的过程中,伴随生产的发展而形成的。

远在几千年前,在埃及、巴比伦、希腊和印度等地,开始修建灌溉渠系,以服务于农业和航运事业。在我国,远在 4000 多年前广为流传的“大禹治水”的传说,反映了古人在与洪水作斗争过程中对水流运动已有了朴素的认识。两千多年前先后修建的郑国渠、灵渠及都江堰工程,更是反映了我国人民的高度智慧。特别是都江堰工程中建成的“鱼嘴”及“飞沙堰”,巧妙地利用近代水力学中弯道环流及堰流的理论,将洪水按一定比例分别泄入内外江,洪水中的泥沙则通过“飞沙堰”排入外江,为防洪及灌溉起到了良好的控制作用。这说明古代人民对水流运动规律已有了相当深入的了解。然而,由于长期的封建统治阻碍了科学技术的发展,对水力学的认识始终仅停留在经验积累阶段,未能形成一门独立学科。

公元前 250 年,希腊哲学家阿基米德首次发表了“论浮体”的文献,成为水力学系统理论的萌芽。此后欧洲处于封建统治的黑暗时期,水力学方面没有什么新发展。

16 世纪初叶,意大利学者列昂纳德·达·芬奇发表了“论水的流动和水的测量”的论文,探讨了孔口泄流、管流及浮体等问题;1650 年建立了液体中压力传递规律的帕斯卡(B. Pascal)定理。1738 年荷兰物理学家丹尼尔·伯诺里(D. Bernoulli)创立了流体运动的能量方程式——伯诺里方程式;1755 年瑞士学者列昂纳德·欧拉创立了阐述理想流体运动的欧拉方程。18 世纪以后水力学开始形成一门独立的学科并沿着以应用严格的数学工具而发展的古典流体力学及以实验为主的实验水力学两个方向发展。显然,不结合实际的纯理论探讨和缺乏理论指导的盲目实验都会阻碍学科水平的提高。

19 世纪末至 20 世纪初,随着现代工业技术的发展,古典流体力学与实验水力学逐渐结合起来。1895 年著名流体力学家雷诺发表了管中流动的实验结果,发现了层流及紊流两种流动类型,并导出了液流相似的雷诺准则,使实验与理论进一步结合;1904 年