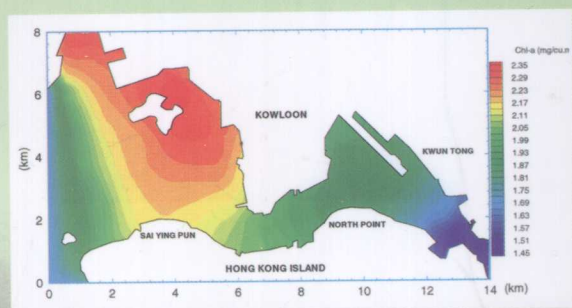
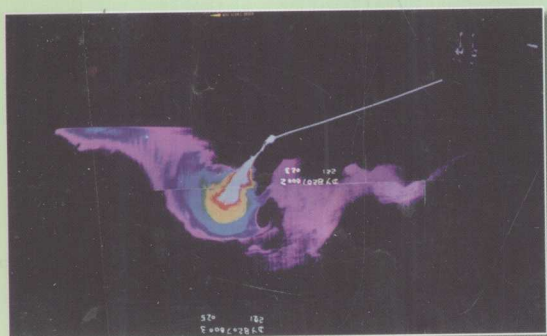


倪浩清环境工程 现代水力学论文集

许波 胡志斌 付云飞 编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

X52-53

6

倪浩清环境工程 现代水力学论文集

许波 胡志斌 付云飞 编

 水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本论文集初探了海洋工程中波与波力关系，对冷却水工程、水环境工程和水利水电工程湍流流动与传热及传质的特点，用近代的模拟技术开拓了八种新模式，并进行了室内外的验证实验。

本论文集共分四篇，第一篇介绍了波与波力关系，详细叙述了海洋工程中波力的原体观测，建立了波力的半经验公式。第二篇对浮力回流在水环境和火、核电中的应用，对标准的 $k-\epsilon$ 进行浮力修正，并对其湍流传热系数提出了一个半经验公式，进行了温差异重流数值模拟计算。对具有广泛应用价值的深度平均的大水域紊流全场模式，用现代的模拟技术进行模拟、推导和计算。第三篇建立了明渠弯道新模式，进行了数值模拟计算并与其实验作了论证和对比，两者结果较为一致，都证实了在有浮力的弯道流动中所产生的三个二次环流的新形态的存在，这对弯道内部的传热、传质具有重大作用。第四篇是综述、展望，对湍流液—固两相流进行数值模拟计算，解决了工程的冲淤问题，对水环境中的水污染生态问题有望近期解决。

本论文集论文内容新颖、概念清晰、论述详细，可供从事水环境、火电厂及核电厂冷却水、流体力学、水力学等领域的研究、设计人员以及高级教师及研究生参考使用。

图书在版编目（C I P）数据

倪浩清环境工程现代水力学论文集 / 许波，胡志斌，付云飞编. -- 北京：中国水利水电出版社，2014.1
ISBN 978-7-5170-1707-3

I. ①倪… II. ①许… ②胡… ③付… III. ①环境水力学—文集 IV. ①X52-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第017679号

书 名	倪浩清环境工程现代水力学论文集
作 者	许波 胡志斌 付云飞 编
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 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	三河市鑫金马印装有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 28.5印张 711千字
版 次	2014年1月第1版 2014年1月第1次印刷
印 数	0001—1000册
定 价	98.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社发行部负责调换
版权所有·侵权必究

关于倪浩清教授学术成果的推荐信（译文）

尊敬的学术评审委员会各位委员：

借此机会，我以极其诚挚的心情向各位学术委员热忱推荐倪浩清教授在工程湍流研究领域内的成就。

我和倪浩清教授相识已有十几年了，自那时起，他一直从事水利电力工程湍流流体力学方面的研究。最近，我有幸拜读了中国水利水电科学研究院集结的有关他及其同事们的研究成果汇编——浮力回流和浮力环流的工程湍流流动研究。

我深信倪教授是现代湍流模式的开拓者之一，特别是在有浮力影响的湍流模式及其在水环境和火电工程中的应用。倪教授和他的同事们承担了将湍流模式应用于实际的火电工程中的艰巨任务，这项工作是在中国还没有适合于这样复杂数值计算的计算机设备的条件下完成的。倪浩清教授克服了各种困难，坚持不懈地进行了与火电工程有关的工程湍流流体力学问题的研究，诸如：明渠中的分层流、浅水渠道突扩湍浮力回流、明渠温差异重流中湍浮力回流、火电厂排取水口工程湍浮力回流、火电厂热扩散分析，以及河道取排水工程等。

倪教授对湍流模式的贡献还在于基础理论方面的研究，特别是在浮力湍流方面作出了巨大的贡献。他广泛地进行了环境问题中的应力代数模式和低雷诺数湍流模式的数值模拟研究。他开拓性地进行了热污染的双流体湍流模式方面的研究。他还对水环境和冷却池中深度平均的湍流模式的研究作出了贡献。

倪教授和他的同事们所取得的成就，使中国水利水电科学研究院成为世界浮力回流、浮力环流流动的研究中心。我恳请学术评审委员确认倪浩清教授在工程湍流流体力学的计算和数值模拟领域中作出的贡献及其在学科上的带头作用。

你诚挚的

陈景仁

（美国佛罗里达工学院院长）

1994年9月19日

RE: RECOMMENDATIONS AND ACHIEVEMENTS OF PROFESSOR HAOQING NI

September 19, 1994

Member and Panel of the Review Committee
Beijing, China

Dear Member and Panel of the Review Committee:

I would like to take this opportunity to give my eamest and enthusiastic recommendation for Professor Haoqing Ni for his membership of academic of sciences.

I have known Professor Haoqing Ni for more than ten years since he undertook the research of fluid mechanics related to the water conservancy and hydroelectric power. Recently, I had an opportunity to read the publications of the summary of work performed by Professor Ni and his colleagues, in the volume, issued by the Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power Research (IWHR) entitled, "Study of Turbulent Flow in Buoyance Recirculating Flow and Buoyant Environmental Flows."

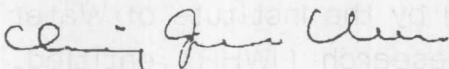
I believe Professor Ni is one of the pioneers in taking modern turbulence modeling and applying it to the environmental and hydroelectrical program particularly related to the effect of bouyancy. Professor Ni and his colleagues should be commended for undertaking such a difficult task in applying the turbulence model to the real world program in the electric power generation. This task was accomplished when China did not have adequate computer facilities in conducting numerical modeling of complex program. Profesor Ni was able to overcome the difficulties and still be persistant with his research in analyzing how fluid mechanics relate to the electric power generation, such as stratified flows in a open channel, buoyance circulating flow with sudden extension in a shallow water channel, with heated water discharging in a horizontal direction, the arrangement of intake and outlet systems of water supply in electric power station, a-

analysis of heat transfer at the thermal power station, and recirculation of a power plant discharge in the river.

Professor Ni also made fundamental contribution in turbulence modeling. He contributed greatly to the modeling of turbulent flow in buoyant flow. He has studied extensively in the numerical simulation of algebra stress and low Reynolds number turbulence model in environmental flows. He also pioneered in applying the two fluid model of turbulence to thermal pollution problems. Also, he has contributed to the depth average turbulence model for the water environment and cooling ponds.

Professor Ni and his colleagues contributions have made the Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power Research as one of the Centers of buoyant and environmental flow in the world. I urge the review panel to recognize his contributions and his leadership in the field of computer and numerical simulations of fluid mechanic problems associated to water conservancy and hydroelectric powers.

Sincerely yours.



Ching-Jen Chen

Dean

CJC/as

序 1

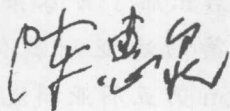
倪浩清同志的论文集终于编辑出版了，我应邀作序，感到很高兴。作为有幸和他相处数十年知之较深的老同事，我乐意写下几句。

倪浩清同志 1956 年天津大学水利系毕业后，一直就职于水利水电科学研究院。最初从事波浪方面的试验研究；70 年代参加全国水文防汛预报工作，1984 年起，进入了流体力学中的一个核心领域——湍流问题的研究。通过刻苦自学，从实变函数、复变函数、概率论、数理方程到自动控制理论，无师自通。结合学习心得，编写出相应讲义，传授学生。进而联同自己的理论探索和切身的工程实践，写出了不少富有创新见解的文章，登载在中国科学、力学学报、水利学报及一些国际专业协会的论文集上，得到国内外学术界的好评，获得了国家科技进步二等奖、能源科技进步一等奖等奖励。

倪浩清同志的理论贡献，主要反映在水力热力学中湍流模型的设立和应用上，开拓性地进行了热污染的双流体湍流模型研究，提出了冷却水温差水体的湍流全场模型，成功地应用于营口、陡河、嵩屿等多座火电厂的水力热力模型预报中，开创了冷却水专业湍流工程数值模拟的先河；对其中陡河电厂利用水库的冷却水运动，还有效进行了难度相当大的现场观测和模型检验。

他半个世纪以来，为水利水电科技发展作出了不小贡献，适今年逾八旬，老骥伏枥，志在千里，仍在努力耕耘，自强不息，开拓创新，难得的春天精神。

中国水利水电科学研究院原冷却水研究所所长



于 2013 年 8 月

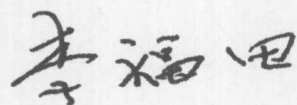
倪浩清教授是国内知名的湍流模式理论专家,经过自20世纪70年代末至今50余年的精心研究,曾先后在国内外各大期刊上(国际水力学协会论文集,亚洲流体力学会议论文集和国内的科学通报、中国科学、力学学报、力学进展、自然科学进展、水利学报等)发表论文60余篇,并著有专著《现代水力学工程湍流数值模拟及其应用》,均得到了国内外学术界的肯定和好评。

国际上著名湍流模式理论专家美国佛罗里达工学院院长陈景仁教授于1994年9月9日关于倪浩清教授学术成果评价的推荐信中指出:“倪教授对湍流模式的贡献还在于基础理论方面的研究,特别是在浮力湍流方面作出了巨大的贡献。他广泛地进行了环境问题中的代数应力模式和低雷诺数湍流模式的数值模拟研究。他开拓性地进行了热污染的双流体湍流模式方面的研究。他还对水环境和冷却池中深度平均的湍流模式的研究作出了贡献。”“我深信倪教授是现代湍流模式的开拓者之一,特别是在浮力影响的湍流模式及其在水环境和火电工程中的应用。”“倪教授和他的同事们所取得的成就,使中国水利水电科学研究院成为世界浮力回流、浮力环流及浮力旋流的流动研究中心。”

科学巨匠周培源教授在1986年11月全国湍流与稳定性学术会议上称赞倪教授撰写的《重叠式排取水口工程的湍浮力回流数值模拟》及《湍流数学模型在水力热力学中的应用》两篇论文是湍流应用的研究典范。

倪教授的9项研究成果获国家级及部级科学技术进步奖,1992年获“为发展我国工程技术事业作出突出贡献的专家”荣誉,享受政府特殊津贴。倪教授的名字及其传略1998年7月被香港中国国际交流出版社收录刊登在《世界名人录》(中国卷)大型国际交流系列史册中;1993年12月被山西高校联合出版社收录刊登在《中国当代科学发明家大辞典》中。1986年9月至2001年9月倪教授先后出席了日本东京第三届亚洲流体力学会议、瑞士洛桑国际水力学会议、香港第四次亚洲流体力学会议、北京国际水力学协会亚太地区分会、韩国Taeion第五届亚洲流体力学会议、新加坡第六届流体力学会议、美国哈城国际第六届水流模拟与湍流量测学术会议,以及中国香港国际环境水力学会议,并作了湍流模式的数值模拟计算讲演报告。同时,倪教授和梁在潮、李炜两位湍

流理论专家、教授一起于 1989 年筹建了中国环境水力学学组，于 1995 年又筹建了中国工程紊流与流动模拟学组，促进了交流，提高了我国水利界现代水力学的学术水平，解决了水环境中一批疑难理论计算模式问题，诸如：热、核、电厂热效应，江河、湖泊、水库、海湾的热污染，低放射性核素排放对生态的影响，流动和水质模拟，以及高速水流中的空化空蚀等问题。

A handwritten signature in black ink, reading '李福田' (Li Fuyuan). The characters are written in a cursive, flowing style.

2013 年 8 月

于中国水利水电科学研究院

目 录

关于倪浩清教授学术成果的推荐信 (译文)

RE: RECOMMENDATIONS AND ACHIEVEMENTS OF PROFESSOR HAOQING NI

序 1

序 2

绪论 1

第一篇 波 与 波 力

二维强迫波的分析 7

孤立圆柱体上波力的研究 13

力谱在海洋工程中的应用 20

对水库波浪要素和砌石护坡等问题的分析 28

钻井平台圆柱体上波浪作用力的现场试验 34

地震激起水体表面波的壅高分析 47

第二篇 浮 力 回 流

河道排取水问题的 $k-\epsilon$ 方法数值模拟 61

单边突扩通道中 $k-\epsilon$ 方法数值模拟 72

紊流数学模型在环境预测中的研究及其展望 81

MATHEMATICAL MODELING OF TURBULENT BUOYANT RECIRCULATING

GRAVITY-STRATIFIED FLOWS IN A 2 - DIMENSIONAL OPEN CHANNEL ... 94

浅水渠道突扩湍浮力回流数学模拟 104

明渠温差异重流中湍浮力回流的数学模型 111

重叠式排取水口工程的紊浮力回流数学模拟计算 122

NUMERICAL SIMULATION OF NONISOTROPIC TURBULENT BUOYANT

RECIRCULATING FLOWS BY AN ALGEBRAIC STRESS MODEL 128

APPLICATION OF TURBULENCE MODELS IN THERMOHYDRAULICS 138

湍流数学模型在水力热力学中的应用 145

紊浮力回流的双流体模型 154

应力代数模型在各向异性紊浮力回流中的应用 164

NUMERICAL SIMULATION OF TURBULENT BUOYANT RECIRCULATING

FLOW IN AN INTAKE-UNDER-OUTLET SYSTEM	172
NUMERICAL SIMULATION OF AN INTAKE-UNDER-OUTLET SYSTEM BY ALGEBRAIC STRESS AND LOW-REYNOLDS-NUMBER TURBULENT MODELS	178
应力代数及低雷诺数的湍流数学模型在重叠式排取水口工程中的模拟计算.....	183
THE APPLICATION AND DEVELOPMENT OF TURBULENCE MODELS IN BUOYANT RECIRCULATING FLOWS	194
THE TWO-FLUID MODEL OF TURBULENCE AND ITS APPLICATION TO THERMO-POLLUTION PROBLEMS	209
深度平均的紊流全场水环境新模型及其在大水域冷却池中的应用.....	218
深度平均的 $k-\epsilon$ 紊流全场模型及其验证	225
潮汐水域中污水侧向排放的数值模拟.....	235
紊动浮力回流的流场及其紊流特征的研究.....	242
油—水两相湍浮力回流双流体模型.....	249
水面石油蒸发过程的数值模拟.....	258
近海水域两相非恒定湍流全场数值模拟.....	265
完全三维湍流数值模拟及其在冷却水工程中的应用.....	271
A NEW DEPTH-AVERAGED TURBULENCE MODEL FOR THE ENTIRE WATER ENVIRONMENT AND ITS APPLICATION IN COOLING POOLS OF LARGE WATER BODY	284
THE TWO-FLUID MODEL OF TURBULENT BUOYANT RECIRCULATING TWO-PHASE FLOW	289
有蒸发的气—水二维湍流流动的数值模拟.....	300
湍流模型在浮力回流中的应用与其发展.....	309

第三篇 浮 力 环 流

NUMERICAL MODELING OF THREE-DIMENSIONAL TURBULENT BUOYANT FLOWS IN AN OPEN CURVED CHANNEL	325
明渠弯道环境水力学的几种改进湍流模型.....	333
明渠弯道中三维浮力湍流流动的数值模拟.....	366
明渠弯道温差异重流特征研究初探.....	373

第四篇 模式的综述与展望——多相流及生态水力学

工程湍流模式理论的综述与展望	387
悬沙淤积问题的湍流液—固两相流动的数值模拟.....	407
曲线坐标下三维综合生态水力学模型的建立.....	415
悬沙冲淤问题的湍流两相模式.....	426
水环境中生物化学时均反应率的研究.....	434

绪 论

本论文集对现代水力学的波与波力、湍流流动与传热、湍流流动与传质的湍流模式的规律性进行了研究,并将此模式联系实际运用到海洋工程、冷却水工程及生态工程中去,以便取得波力载荷、温度效应、水质浓度、污染物浓度、冲淤效应及生态效应良好的定量结果,同时作者还开拓和改进了原有的湍流理论模式。

鉴于我国石油事业迅猛发展,1966年由国家科学技术委员会组织了“海上大会战”,钻井平台圆柱体上波浪作用力的现场试验就是大会战的内容之一。由于波浪力的剪切作用,可使输油钻井管道破裂,造成了严重的泄油事件,污染了受纳水域,破坏了生态环境。所以,波力的研究具有十分重大的意义。我们对前进波、击瓶波及其爬高进行了统计分析,建立了前进波高与击瓶波高具有的相关关系,于是便可间接地求得与前进波高相对应的波力关系。根据现场观测到的波高、波力及绕射现象等资料,建立了波压、单位高度波力及波的总水平推力的经验公式。钻井平台圆柱体上波浪作用力的现场试验成果获得了1978年全国科技大会的奖励。

湍流现象普遍存在:上至茫茫宇宙,下至滚滚熔岩,远至波涛汹涌的海洋、奔腾不息的河流,近至日常可见的锅炉、反应器、涡轮、水泵中流动,到处可以看到湍流。湍流研究不仅与工农业生产、国防建设密切相关,而且是一个饶有兴味又困难重重的基础理论课题。百余年来,世界上不少著名科学家为了探索其中的奥秘,花费了巨大的精力,创造了一些实际可用的湍流理论和湍流统计理论,特别值得指出的是,我国著名科学家周培元教授研究湍流已逾60多年,为之作出了举世公认的突出贡献。早在20世纪30年代末、40年代初,他就提出了剪切湍流著名的17方程理论,把湍流理论大大推进了一步,开创了模式理论的新领域。即在世界上他首先建立了一般湍流的雷诺应力的输运方程,在国际上产生了重大影响,同时也获得高度评价,他由此被公认为湍流模式的奠基人。1951年联邦德国的Rotta发展了周培元所开创的工作,提出了现代雷诺应力湍流理论模式。这一类模式的优点是可以准确地考虑各向异性效应、旋转效应、曲率效应、两相流效应等。可以预测,随着计算技术的发展及模式的改进,在今后的若干年内,工程解决湍流问题主要依靠雷诺应力湍流的模式。另一类是有效性模式,最具有代表性和广为人们所接受的首推 $k-\epsilon$ 双方程湍流模式,这个模式先后由周培元(1954)、Davidov(1961)、Harlow-Nakayama(1969)、Jonas-Launder(1972)提出,近年来已得到广泛的应用。大量预报结果及其与实验的对照,已证明该模式可以完成或基本上成功地用于以下几种状况:无浮力平面射流,无旋及弱旋的二维及三维回流流动。 $k-\epsilon$ 双方程模式试用于以下几种情况则遇到较大问题或者说不成功:强旋流(旋流数大于1),浮力流,重力分层流,曲壁边界流,低雷诺数 Re 数流动,圆射流。W. Rodi(1978)对雷诺应力湍流输运方程作了简化的近似,即直接假定应力(热流)的产生与耗散达到局部平衡、对流与扩散也达到局部平衡。因此,便可得到介于前两类模式之间的代数应力模式(ASM)。显然,ASM模式反映了浮力及旋流效应有关的各向异性的基本特征,也

无需分别给出应力及通量的分量的进口边界条件,同时与雷诺应力模式相比大大削减了方程数目,这是当前最为热门的一种模式。

本论文集作者从 20 世纪 80 年代中期至今,根据水流运动的特点,在上述的湍流模式理论的基础上提出了扩展的 $k-\epsilon$ 、双流体和简化的代数应力(热流)的湍流模式,并建立了深度平均的 $k-\epsilon$ 、深度平均的代数应力的湍流全场模式、明渠弯道模式、悬沙冲淤问题的液—固两相模式及水环境中的生态水力学模式。现将其模拟特色分别简介如下。

(1) 明渠温差异重流中湍浮力回流的数学模式(1986 年 9 月)。通过计算发现标准的各向同性的 $k-\epsilon$ 模式所预报的温度分布不具有温跃层特点亦即是不存在温差异重流,或在浮力作用下,不存在冷热水上下分层流。本文提出了扩展的 $k-\epsilon$ 湍流模式,亦即对湍流传热系数提出一个半经验的处理方法,假设温跃层中热交换系数 σ_T 与 U 、 T 的垂向梯度有关,再据量纲分析,取

$$\sigma_T = C_{Tj} \left(\frac{\partial U}{\partial y} \frac{\partial T}{\partial y} \right)^{\frac{1}{4}} \left(\frac{\Delta x^2}{U_0 T_0} \right)^{\frac{1}{4}}$$

其中 C_{Tj} 为经验系数,通过模拟计算取 0.2,作先修正后预报所得的明渠温差分层流形成与消失过程和实验中物理现象完全一致。1980 年 Hossain, M. S. 和 Rodi 也曾应用 $k-\epsilon$ 标准方程来模拟分层流,未获成功,并摒弃了过去沿用的 1953 年 Schijf 和 Schoenfeld 建立的上下层异重流方程。本文集中提出的扩展的 $k-\epsilon$ 模式或湍流代数应力模式来确定分层流问题是成功的,这为冷却水运动研究奠定了理论基础,也是国内外分层流研究中的重大突破。

(2) 浮力回流中双流体湍流模式(1989 年 1 月)。Spalding(1984 年)提出了浮力射流中双流体湍流模式,1988 年 1 月本文作者提出了湍浮力回流中双流体模式,异于前者,第一,对双流体模型基本方法作出了新的改进,其中对相间质量交换提出了新的规律;第二,在数值解法上提出了由无滑移模型初步收敛解,再过渡到双流体的初特解法,从而大大加速收敛,节约了计算时间并容易得到稳定的解;第三,首次对浮力回流中的温跃层模拟成功。浮力回流中双流体湍流模式不仅对冷、热水而对油、水掺混的输移规律研究均有广泛应用价值。所取得预报成果与实验资料附合较好,温跃层模拟是成功的。

(3) 简化的代数应力模式(1987 年 7 月)。作者提出了与 Roid 不同的简化的代数应力模式,即

$$\overline{uu} = \frac{2}{3} \left(\frac{c_1 + c_2 - 1}{c_1} \right) k - 2 \left(\frac{1 - c_2}{c_1} \right) \frac{k}{\epsilon} \overline{uv} \frac{\partial U}{\partial y}$$

$$\overline{uv} = - \frac{1 - c_2}{c_1} \frac{k}{\epsilon} \left(\overline{vv} \frac{\partial U}{\partial y} - \beta g \overline{u\theta} \right)$$

$$\overline{vv} = \frac{2}{3} \left(\frac{c_1 + c_2 - 1}{c_1} \right) k - 2 \left(\frac{1 - c_2}{c_1} \right) \frac{k}{\epsilon} \beta g \overline{u\theta}$$

$$\overline{u\theta} = - \frac{1}{c_{T1}} \frac{k}{\epsilon} \overline{uv} \frac{\partial T}{\partial y} + \frac{c_{T2} - 1}{c_{T1}} \frac{k}{\epsilon} \overline{v\theta} \frac{\partial U}{\partial y}$$

$$\overline{v\theta} = - \frac{1}{c_{T1}} \frac{k}{\epsilon} \overline{vv} \frac{\partial T}{\partial y} + \frac{c_{T3} - 1}{c_{T1}} \frac{k}{\epsilon} \beta g \overline{\theta\theta}$$

$$\overline{\theta\theta} = -\frac{1}{c_{\theta 1}} \frac{k}{\epsilon} \overline{v\theta} \frac{\partial T}{\partial y}$$

对浅水渠道中有水平热水出流的各向异性湍浮力回流模式进行了数值模拟, 所得预报成果和实验结果较为接近。该论文中指出, 代数应力模式是能较好地反映分层流和温差异重流的这类各向异性的湍流流动现象, 计算简单, 经济易行, 是一种较为实用的模型。

(4) 深度平均的 $k-\epsilon$ 及深度平均的代数应力的湍流全场水环境新模式 (1991 年 1 月、2010 年 9 月)。作者提出的全场模式, 突破了 40 多年来美国 List. E. J., Jirka, G. H., 德国 Hossian. M. S., Roid. W. 等所研究的近区模型界限。本成果首创的论点。在于计及了速度、温度垂向分布不均匀影响的流散效应, 更全面地建立了模拟热水或污染物注入大水体中掺混、扩散和输移的全场模式, 成功地对陡河电厂大水域冷却水池实例进行了精细的模拟计算, 其结果与原体、模型进行对比, 得到了较为一致的结果。最近发展起来的这种全场模式, 据流场各点当地的湍流特性确定湍流输运系数, 直接解流体力学偏微分方程组, 这样就不存在积分模式及扩散模式衔接等困难。据查新文献来看, 堪称是一项首创性工作, 对浅水域冷却水的计算也有较大实用价值。

(5) 水面石油蒸发过程, 有蒸发的气—水二维湍流流动的模式 (1992 年 2 月、1994 年 2 月)。过去水面蒸发、石油蒸发的研究在水利电力工程界一直是仅仅依赖实验手段, 本文用多流体模式理论及 Stefan 流概念开辟了油、水蒸发过程理论模拟计算新途径。将数值模拟的结果与物理模型实验资料进行对比, 得到了较为满意的结果。这对海洋环境石油污染评价、冷却水水域表面散热系数计算均有重要应用价值。

(6) 明渠弯道湍流流动模式 (1994 年 5 月)。本文作者根据浮力、离心力及非各向同性的雷诺应力三者间相互作用建立的明渠弯道三维环流新湍流模式。模拟计算结果与弯道实验资料作了对比, 两者趋势一致。明渠弯道温差异重环流的湍流模式, 在国内外同类研究中罕见, 特别是通过实验与数值模拟计算, 都证实了在有浮力的弯道流动中所产生的三个二次环流的形态, 是属首创, 这在弯道内的传热、热污染、传质、冲刷及其水环境评价方面均有重要作用。

(7) 悬沙冲淤问题的代数应力湍流两相模式 (2006 年 4 月)。这是从河口悬沙冲淤问题的 $k-\epsilon$ 型湍流两相模式发展起来的, 考虑了浮力、回流及旋流等影响, 建立了代数应力的液—固两相流模式, 适用于河口悬沙冲淤及水库泥沙异重流等工程问题的模拟计算。

(8) 水环境中的生态水力学模式 (2005 年 8 月)。这模式实质上是污染物质在水环境中因物理、化学、生物作用及影响因素之间相互关系的数学描述, 所以在污染物的浓度方程源项中增加了一项反应率, 以研究污染物物质的降解作用, 这对水环境容量的确定富有十分重要的理论和经济价值。

衷心感谢十多年来清华大学工程力学系周力行、林文漪两位教授, 在模式理论及其模拟计算技术方面给予的紧密合作和真诚相助。感谢我的学生沈永明教授、王能家博士、阳昌陆博士、李振海教授级高工、邹志军博士、付云飞教授、周俊洋教授, 他们在本论文集第一作者指导下为发展工程湍流的数值模拟计算作出了贡献, 他们的工作充实了本论文集的内容。

真挚地感谢我国水利水电工程界老前辈、工程湍流研究的倡导者与支持者林秉南院士、教授。

最后, 我要以最诚挚的态度, 感谢中国水利水电科学研究院原冷却水所所长、教授陈惠

泉,他以二元温差出流局部掺混实验成果,提供给“近代湍流全场的理论模式”进行验证。验证表明:所得流态、速度及温度分布与二元水槽试验结果完全一致;这种全场模式所预报的输移扩散规律,用于大水域的实际工程是可行的,也是成功的。

限于作者学识与水平,书中定会有不少疏误与不当之处,真诚期待读者指正。

第一篇

波 与 波 力

