

# 2017年国家自然科学奖推荐项目公示

**项目名称：**水利工程复杂动边界水流精细模拟理论与方法

**推荐单位：**四川省

## 推荐单位意见：

我国的水能资源居世界首位，约占世界总量的12%。由于水利工程动边界水流问题的复杂性，使得对水利工程领域的许多复杂现象仍然缺乏认识，严重制约了工程问题的解决。林鹏智、许唯临教授牵头的“水利工程复杂动边界水流精细模拟理论与方法”，通过对基本理论、数值算法和仿真平台的系统研究，成功地实现了对两种性质、两种尺度复杂动边界水流的精细模拟，取得了具有开创性的成果。该研究成果丰富了水力学理论，解决了工程实际问题，为小浪底、向家坝等一系列国家级水利水电战略工程提供了理论和方法支撑。

成果得到国内外同行的高度评价，许多国际同行对本成果进行了跟踪研究。本领域权威刊物《J. Water, Port, Coastal and Ocean Engineering》主编 Demirbilek 教授和 Panchang 教授评价成果“对本领域做出了突出的贡献”“全面而权威”“涵盖了广泛的工程应用与研究方法”“把本领域看似无序、繁杂的研究内容以一种非常系统、优雅的方式呈现出来”。国际大坝委员会主席 Schleiss 评价“将水力学从宏观尺度引入到细观尺度”“处于世界上该领域的前沿”。国际水利与环境工程学会主席 Goodwin 评价“为全球性的知识做出了贡献，为未来世界范围内的类似工程提供了宝贵的模式”。

经审查，推荐材料真实有效，栏目填写符合要求。推荐该项目为国家自然科学奖二等奖。

## 项目简介：

复杂动边界是水利工程中水流运动的突出特点，其精细模拟对于水利工程安全、水灾害防治和水环境保护等都具有十分重要的意义，同时也是本学科最具挑战性的科学问题之一。水利工程中的动边界从性质上可以分为固体动边界和水气界面动边界，从尺度上可以分为宏观与细观尺度（气泡、水滴尺度）动边界。该项目通过对基本理论、数值算法和仿真平台的系统研究，成功地实现了对上述两种性质、两种尺度复杂动边界水流的精细模拟，取得了具有开创性的成果，并在水利工程实践中发挥了重要作用。主要发现点如下。

1. 发现了动边界水流运动控制机制，建立了动边界水流运动的质量与动量源理论，解决了复杂动边界水流运动统一数学表达的难题。该项目发现了源项在动边界水流中的控制作用规律，在经典流体力学控制方程基础上引入质量与动量源项，将不同动边界对水流运动的影响纳入到统一的源项表达式中，结合高阶非线性紊流模型，解决了水利工程复杂动边界水流精细模拟的核心理论难题。

2. 发现了复杂动边界水流精确高效数值求解途径，提出了一整套处理动边

界的数值算法,使水利工程复杂动边界水流模拟的适应能力、求解精度和计算效率显著提高。数值求解方法是精细模拟的第二个关键环节。该项目建立了非惯性坐标下动边界水流模拟的“动力耦合法”、固定网格系统中固体动边界和自由面动边界共同作用下的水流运动模拟的“局部相对静止法”、复杂边界形状模拟的“虚拟边界力法”以及无网格拉格朗日模拟的“改进镜像粒子法”,从而可模拟水利工程中各种复杂动边界水流,并具有模拟精度高、计算速度快的优点。

3. 建立了统一的复杂动边界水流数值仿真平台,实现了水利工程中各种复杂动边界水流的精细模拟。数值仿真平台的建立是完成精细模拟的最后一个环节。该项目基于上述统一的数学方程组和一整套数值算法,建立了具有实验室水槽和水池基本功能,但比实验更加高效、成果更加详尽的数值仿真平台。成功地实现了水利工程中各种复杂动边界水流的精细模拟,并在机理研究、工程优化、方案论证等方面发挥出重要作用,极大地丰富了水利工程水流问题的研究手段,有力地支撑了水利工程的建设和运行。

成果得到国内外同行的高度评价,许多国际同行对本成果进行了跟踪研究。本领域权威刊物《J. Water, Port, Coastal and Ocean Engineering》主编 Demirbilek 教授和 Panchang 教授评价成果“对本领域做出了突出的贡献”“全面而权威”“涵盖了广泛的工程应用与研究方法”“把本领域看似无序、繁杂的研究内容以一种非常系统、优雅的方式呈现出来”。国际大坝委员会主席 Schleiss 评价“将水力学从宏观尺度引入到细观尺度”“处于世界上该领域的前沿”。国际水利与环境工程学会主席 Goodwin 评价“为全球性的知识做出了贡献,为未来世界范围内的类似工程提供了宝贵的模式”。8 篇代表性论著 SCI 他引 394 次,单篇最高他引 106 次。包括 Google Scholar、CSCD 和 CPCI-S 在内的他引总次数 782 次,单篇最高他引 209 次。成果在向家坝水电站、溪洛渡水电站等巨型水利水电工程中发挥了重要作用。

## 客观评价:

本项目成果已经被广泛的应用在各种水动力学问题的研究中,产生了丰富的研究成果,得到了国内外同行的高度认同。根据成果整理的专著《Numerical Modeling of Water Waves》(英文版)得到了包括本领域国际著名学术期刊 Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE 主编在内的国内外学者的高度评价,甚至作为多家国际知名大学的波浪理论课程教材。本项目成果的 8 篇代表性论文(SCI 收录)均获得了较高的同行评价,最高单篇引用次数高达 207 次,8 篇代表性论文合计被引 657 次(Google Scholar 结果)。成果也在解决工程问题方面发挥了重要作用,反映出成果不仅具有重要的理论价值,也具有显著的实用价值。

1. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE 主编的评价

Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE 是本领域著名国际学术期刊,两位主编 Demirbilek, Z. 和 Panchang, V 在该期刊上正式发表书评详细介绍了该研究成果:“林鹏智教授的专著《水波的数值模拟》是杰出的贡献.它具有很强的综合性和权威性,几乎涵盖了本领域所涉及的数值模拟方法与应用(Professor Pengzhi Lin's recent book Numerical Modeling of Water Waves is, simply stated, a superb contribution. It is comprehensive and authoritative, covering practically the entire

spectrum of modeling applications and methodologies that one encounters in this field)”,“林教授把本领域看似无序、繁杂的研究内容以一种非常系统、优雅的方式呈现 (Professor Lin has taken the sometimes chaotic and certainly voluminous body of research and development work in this field and presented it in a very systematic and elegant manner)”。(附件“国际学术期刊 (Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering) 主编 Demirbilek, Z. 和 Panchang, V. 公开发表的书评”)。

## 2. 论文的他引评价

### (1) 关于发现点 1 的评价

研究成果发表于国际水力学最权威刊物《Journal of Hydraulic Research》。自发表以来被世界各地专家学者广泛引用 (共计 27 次)。自从论文发表后, 引起了世界各地同行的广泛关注和后续的追踪研究。如 Puleo, Jack A. 教授和他的研究小组对该模型进行了系统的评估, 并采用他们设计的实验独立检验了该模型。对比结果使他们确认该模型“是对现有 (其他) 模型的重大改进”, “可为结构物功能和稳定分析以及其他许许多多相关的水动力特性研究提供非常有用的信息”, 因此, 该模型“是一个用于研究结构物周边详细流场的强而有力的工具”。而美国缅因州立大学 Zou, Qingping 教授和他的研究小组以该模型为基础, 对波浪作用下结构物周边的涡旋产生和耗散进行了详细的研究 (《Coastal Engineering》, 2010)。

### (2) 关于发现点 2 的评价

Yang, Jianming; Stern, Frederick 等在其发表于《JOURNAL OF COMPUTATIONAL PHYSICS》上的论文中评价: “林提出了基于笛卡尔网格的有限差分法来处理带自由面紊流与运动物体……, 特别是提出了‘相对静止’技术来处理运动物体对流体的影响。在论文中展示了物体入水等一系列固流耦合问题的数值模拟结果。(Lin also developed a finite difference Cartesian grid method for free-surface flows with a moving body……Especially, in [25], a “locally relative stationary” technique was developed for accounting for the effect of body motion. Various water entry/impact problems and other cases were shown in [25].)”(附件“施引文献 4”)。

英国 Shao, Songdong 在其发表于《INTERNATIONAL JOURNAL FOR NUMERICAL METHODS IN FLUIDS》上的论文中评价该项目“林在基于雷诺时均方程的模型中引入了相对静止的概念, 并研究了圆柱入水问题。该固流耦合模型中, 固体运动采用拉格朗日法, 而固体周围的流体运动采欧拉方法 (Lin used the concept of a locally relative stationary in his Reynolds-averaged N-S (RANS) modeling to study the water entry of a circular cylinder with prescribed falling velocity. In the model the solid motion is tracked using a Lagrangian method whereas the fluid motion around the solid body is solved using an Eulerian approach)”(附件“施引文献 5”)。

### (3) 关于发现点 3 的评价

Akyildiz, Hakan 等在其发表于《JOURNAL OF SOUND AND VIBRATION》的论文中评价: “他们采用数值模拟的方法研究了带隔板水箱三维晃荡问题。他们的研究表明竖直隔板比水平隔板能有效地液体晃荡振幅以及边墙压力。(Liu and Lin studies 3-D liquid sloshing in a tank with baffles using the numerical approach. They showed that the vertical baffle is more effective

than the horizontal baffle in reducing the amplitude and the pressure on the wall. The commercial CFD code has been utilized to investigate the liquid sloshing recently. They showed good agreement with the experimental data.)” (附件“施引文献6”)。

Rebouillat, S. 和 Liksonov, D. 在其发表于《Computers & Fluids》上的论文中评价：“内部隔板常用来削减液体晃荡，他们采用的 VOF 方法是目前最为广泛使用的 (Internal baffles in tanks are also widely used for efficient sloshing wave damping. The volume-of-fluid method appears to be the most widespread.)” (附件“施引文献7”)。

### 代表性论文专著目录：

序号	论文专著 名称/刊名 /作者	影 响 因 子	年卷 页码 (xx 年 xx 卷 xx 页)	发表 时间 年月 日	通讯作 者	第一作 者	国内 作者	SC I 他 引 次 数	他 引 总 次 数	知识 产权 是否 归国 内所 有
1	Numerical Modeling of Water Waves/林鹏智		2008, 1-504	2008 /1/1	林鹏智	林鹏智	全部作者	33	44	是
2	NEWFLUME: a numerical water flume for two-dimensional turbulent free surface flows / J. of Hydraulic Research / 林鹏智 许唯临	1.34 7	2013, 71: 113-123	2006 /1/1	林鹏智	林鹏智	全部作者	25	34	是
3	A numerical study of three-dimensional liquid sloshing in tanks / Journal of computational physics /Dongmin Liu, 林鹏智	2.48 5	2008, 227(8): 3921-3939	2008 /4/1	林鹏智	刘东明	全部作者	104	139	是
4	A high-speed photographic study of ultrasonic cavitation near rigid boundary / Journal of Hydrodynamics / 白立新, 许唯临, 田忠, 李乃稳	0.65 9	2008, 20(5): 637-644	2008 .10	许唯临	白立新	全部作者	10	14	是

5	Numerical study of ring baffle effects on reducing violent liquid sloshing / COMPUTERS & FLUIDS / 薛米安 林鹏智	1.53 2	2011, 52: 116-1 29	2011 /12/3 0	林鹏智	薛米安	全部 作者	24	32	是
6	A fixed-grid model for simulation of a moving body in free surface flows / COMPUTERS & FLUIDS / 林鹏智	1.53 2	2007, 36(3): 549-5 67	2007 /3/1	林鹏智	林鹏智	全部 作者	64	86	是
7	Three-dimensional liquid sloshing in a tank with baffles / OCEAN ENGINEERING / Dongmin Liu, 林鹏智	1.33 7	2009, 26(2): 202-2 12	2009 /2/1	林鹏智	刘东明	全部 作者	67	90	是
8	An improved incompressible SPH model for simulation of wave-structure interaction / COMPUTERS & FLUIDS / 刘鑫 Haihua Xu Songdong Shao 林鹏智	1.53 2	2013, 71: 113-1 23	2013 /1/30	林鹏智	刘鑫	全部 作者	29	39	是
合 计										

### 主要完成人情况:

姓名: 林鹏智

排名: 1

行政职务: 四川大学水力学国重室副主任

技术职称: 教授

工作单位: 四川大学

完成单位: 四川大学

对本项目技术创造性贡献: 引入高阶非线性涡粘模型, 结合传统紊流输运模型建立了高精度自由面紊流数值模型, 阐明了非恒定自由面紊流的运动机理; 提出了“当地相对静止法”、“多孔介质法”、“虚拟边界力法”等创新计算方法, 建立了一套可模拟各类水中结构物与非恒定水流相互作用的多功能通用数值模型平台;

姓名：许唯临

排名：2

行政职务：四川大学副校长、四川大学水力学国重室主任

技术职称：教授

工作单位：四川大学

完成单位：四川大学

对本项目技术创造性贡献：发现了决定空化是否引发空蚀破坏的三大效应；发现了水工水气两相流的气泡卷吸机制和气泡缓冲机制以及水沙两相流的颗粒吸引机制；提出了新型消力池消能方法，并合作完成了消力池细观消能结构研究；合作提出了明渠渐变流速度分布计算方法，发现了溃坝洪水波演进的细观机制等。

姓名：薛米安

排名：3

行政职务：无

技术职称：副教授

工作单位：河海大学

完成单位：四川大学

对本项目技术创造性贡献：引入非惯性坐标系，建立了可以模拟任意运动箱体内水体晃荡的两相流数值模型，揭示了粘性液体晃荡波的生成、传播、演化机理及与防晃隔板的耦合作用机制。

姓名：刘鑫

排名：4

行政职务：无

技术职称：讲师

工作单位：河海大学

完成单位：四川大学

对本项目技术创造性贡献：建立了基于不可压光滑粒子水动力学（ISPH）方法的固流耦合数值模型，揭示了运动结构物与水流相互作用机理。

姓名：白立新

排名：5

行政职务：无

技术职称：副研究员

工作单位：中国科学院声学研究所

完成单位：四川大学

对本项目技术创造性贡献：发现了水工水气两相流的气泡卷吸机制和气泡缓冲机制。

## 完成人合作关系说明：

2004年，林鹏智、许唯临共同获得2004年度教育部提名国家科学技术奖（自

然科学科)一等奖,“自由面紊流数值模拟方法研究”,分别为第一、第二完成人。

2006年,林鹏智与许唯临合著论文 NEWFLUME: a numerical water flume for two-dimensional turbulent free surface flows, 被SCI收录引用;

2008年,白立新与许唯临等合著论文 A high-speed photographic study of ultrasonic cavitation near rigid boundary, 被SCI收录引用;

2011年,薛米安与林鹏智合著论文 Numerical study of ring baffle effects on reducing violent liquid sloshing, 被SCI收录引用;

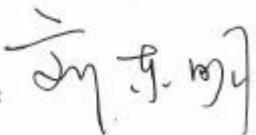
2013年,刘鑫与林鹏智等合著论文 An improved incompressible SPH model for simulation of wave-structure interaction, 被SCI收录引用。

## 知情同意证明:

### 知情同意报奖证明

本人为论文“A numerical study of three-dimensional liquid sloshing in tanks” (Journal of Computational Physics, 2008, 227(8): 3921-3939) 的第一作者,本人同意该论文作为代表性论文,列入“水利工程复杂动边界水流精细模拟理论与方法”申报 2017 年国家自然科学奖的报奖推荐材料内。

特此说明。

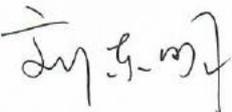
说明人:   
二零一六年十二月二十二日

## 知情同意报奖证明

本人为论文“Three-dimensional liquid sloshing in a tank with baffles”（Ocean Engineering, 2009, 26(2): 202-212）的第一作者，本人同意该论文作为代表性论文，列入“水利工程复杂动边界水流精细模拟理论与方法”申报 2017 年国家自然科学奖的报奖推荐材料内。

特此说明。

说明人：



二零一六年十二月二十二日