

2016 年度国家自然科学奖申报项目——

生态水力学物理模型理论与数值模拟方法公示材料

一、项目名称：

生态水力学物理模型理论与数值模拟方法

二、推荐单位意见：

水生态环境效应及其调控是水资源和水能资源开发利用的瓶颈，已经成为水利科学的国际前沿研究领域；生态水力学理论与方法是量化工程水生态环境效应和优化调控措施的关键，是我国水生态环境保护的巨大需求。

该项目围绕工程水生态环境效应机制和调控方法中的关键科学问题，开展了系统的原创性工作，取得了突破性成果：系统建立了水动力对目标生物生理与行为作用机制的实验理论和识别方法，创新和发展了生态水力学物理模型理论；克服了水动力模型和生态模型时空尺度耦合的瓶颈，构建了系统的空间显式生态水力学数值模拟体系；成果可应用于湖库水华风险控制和坝下生态优化调度，解决了生态水力学的工程应用难题。这些研究在国际上引领了生态水力学的若干研究方向，发展的新方法得到了广泛应用，推动了生态水力学的发展。

相关研究成果发表在本领域著名 SCI 收录期刊，得到国际同行引用与好评，产生了重要的国际影响；其中 8 篇代表性论文 SCI 他引 166 次，20 篇主要论文 SCI 他引 383 次，单篇最高他引 102 次；出版专著 4 部；项目获授权发明专利 6 件，软件著作权 10 项。项目完成人中，1 人受聘担任 SCI 期刊 *Ecological Informatics* 副主编和 *Journal of Ecohydraulics* 副主编；近 5 年，受邀做国际学术大会主旨报告 7 次。

研究成果获得省部级一等奖 3 项，省部级二等奖 2 项，并为我国首次获得 IAHR（国际水利环境工程学会）John F Kennedy 论文一等奖，2009 年 9 月于加拿大温哥华获奖。

推荐该项目为国家自然科学奖二等奖。

三、项目简介

1、所属学科领域

研究领域为水利工程基础科学（TV1）。

2、主要研究内容

① 生态水力学物理模型实验理论与方法：研究目标植物对水分和水流胁迫响应机制的识别方法；研究藻类水华爆发的水动力机制和鱼类行为对水动力适应性机制；建立生态水力学模型实验理论与方法，解决生态水力学物理模型和原型观测相似性问题。

② 空间显式生态水力学数值模拟体系：建立水生植物、鱼类和底栖动物等目标生物对水动力因子的响应曲线；针对藻类水华空间斑块现象、水生植物局部竞争性演替以及底栖指示性动物群落结构的变化，研究基于元胞自动机的藻类、岸边带植被和底栖动物动态模型；针对鱼类生境变化，研究基于个体的鱼类动态模型；构建生态水力学数值模拟体系。

③ 湖库水华风险控制与生态调度：揭示大型水库分层异重流产生机制，建立分层异重流发展过程模型；确定栖息地不同修复程度下的河流生态流量过程，研究工程生态调度与经济效益之间耦联关系；提出面向湖库水华风险控制和坝下生态流量需求的生态调度模式。

3、发现点

① 系统建立了水动力对目标生物生理与行为作用机制的实验理论和识别方法，创新和发展了生态水力学物理模型理论；

② 突破了水动力模型和生态模型时空尺度耦合的瓶颈，构建了系统的空间显式生态水力学数值模拟体系；

③ 建立了湖库水华风险控制和坝下生态调度优化技术，解决了生态水力学的工程应用难题。

4、科学价值

① 水动力因子对目标生物生理与行为的作用机制是量化水文及水动力变化对水生态系统累积性影响的核心，生物对水动力响应关系的物理模型理论与识别方法深化了生态水力学理论，奠定了工程水生态系统效应分析的基础。

② 生态水力学数值模拟解决了工程对水生态系统累积影响定量评价的难题，是准确量化河道生态基流的关键，也是湖库藻类水华预测预警的关键，空间显式生态水力学数值模拟完善和深化了生态水力学定量研究方法。

③ 水体垂向临界紊流强度是湖库水华控制的关键，坝下河道生态流量过程是水库生态调度的根本依据，通过优化调度合理平衡了生态需求和工程效益之间的矛盾，最终体现生态水力学研究的工程应用价值。

相关研究成果发表在 Water Research, Environmental Science and Technology, Hydrobiology, Ecological Modelling 等本领域著名 SCI 收录期刊，得到国际同行引用与好评，其中 8 篇代表性论文 SCI 他引 166 次，20 篇主要论文 SCI 他引 383 次，单篇最高他引 102 次；出版专著 4 部；项目获授权发明专利 6 件，软件著作权 10 项。项目完成人中，1 人受聘担任 SCI 期刊 Ecological Informatics 副主编和 Journal of Ecohydraulics 副主编；近 5 年，受邀做国际学术大会主旨报告 7 次。

研究成果获得湖北省科技进步奖一等奖 1 项，水力发电科学技术奖一等奖 2 项，大禹水利科技奖二等奖 1 项，教育部高等学校科学技术进步奖二等奖 1 项，并为我国首次获得 IAHR（国际水利环境工程学会）John F Kennedy 论文一等奖，2009 年 9 月于加拿大温哥华获奖。

四、客观评价

通过水槽藻类~水动力实验，深入探讨了藻类水华爆发的水动力作用机制，首次推导出了水华发生的临界紊流强度公式，相关成果在《Water Research》、《Aquatic Ecosystem Health & Management》、《Ecological Informatics》等期刊上发表。审稿人认为“Subject of the MS is of great value. The integration of biological, chemical and hydrodynamic variables into a tool that may help to explain or even predict blooms is surely of value. Innovative and new, compared to older more conservative type of research where (mostly separately) biologically and chemically driven phytoplankton success is treated”。该项研究成果受到了国际同行较好的评价，相关论文的单篇最高他引 43 次，应邀在香港大学作专题报告，受邀在 7 年一届的香港裘槎基金会高级研究院(Croucher Foundation Advanced Study Institute, 2009) 做邀请报告。该成果是“湖北省科技进步奖”一等奖的主

要组成部分。

水生植物、鱼类和底栖动物的水动力物理模拟成果在《Journal of Experimental Zoology》、《Ecohydrology》、《Hydrobiology》等期刊上发表。审稿人认为“an innovative effort made by the authors in this type of research in so far as to understand the interactions between flow conditions and species response... At the same time, the study encourages the potential for the results from previous studies... the results of the study lead to an appropriate technical profundity on this subject. ...the paper is appropriate for publication in the Journal and will be important for colleagues working in the field...”。该成果是“大禹水利科技奖”二等奖（2010）和教育部“高等学校科学技术进步奖”二等奖（2013）的主要组成部分

研究的藻类动态模型模拟了水生态系统局部相互作用等微观过程，有效解释了水华爆发的空间斑块现象。相关成果在《Ecological Modelling》、《Journal of Hydroinformatics》、《Journal of Environmental Sciences》等期刊上发表。审稿人认为“The methodology is novel and very promising in many aspects... The paper is both well written as well as well structured, and the authors should be applauded for having communicated a rather complex method and case study in a way that can be clearly understood...”; “The paper is clear and comprehensible... The methodology in the paper is of great interest that can indicate a way for algal bloom dynamics modelling more than in the actual results as applied to a specific case.” 该成果单篇论文最高他引 102 次。受邀在中加湖库富营养化论坛（2012, Waterloo, Canada）做特邀报告。

研究的空间显式水生态系统模拟模型完善和深化了生态水力学的定量方法。相关成果在《Ecohydrology》、《Ecological Modelling》、《Journal of Hydro-Environmental Research》、《Journal of Hydroinformatics》、《Ecological Informatics》、《Journal of Environmental Sciences》等期刊发表，这些成果是专著《河流生态水力学》、《水利水电工程生态环境效应模拟与调控》的主要内容；也是参与《Handbook of Ecological Modelling and Informatics》和《Practical Hydroinformatics》章节的主要内容，授权发明专利 4 项。关于植被动态模型，审稿人认为“The paper presents a hybrid model that integrates a hydrodynamics model with a cellular automaton, for simulating the riparian vegetation evolution...The paper presents a very interesting application, certainly novel and promising for the journal...”。关于鱼类动态模型，审稿人认为“This paper describes an ambitious individual-based modelling study applied to two species of carp in the Lijiang River. Overall, the work is outstanding and could be an important contribution to fish habitat modelling...I believe after some minor revisions, the paper should be of interested to many scientists in the field of fluvial geomorphology and fish habitat studies.” 受邀在第 3 届国际水信息学前沿与进展高层论坛（3rd HIW, 2007, 加拿大蒙特利尔）做特邀报告。该成果是“水力发电科学技术奖”一等奖（2014）和教育部“高等学校科学技术进步奖”二等奖（2013）的核心组成部分，其中植被动态模型成果 2009 年在温哥华获得 IAHR（国际水利环境学会）John F Kennedy 论文一等奖。

坝下河道生态流量过程是水库生态调度的根本依据，生态流量过程推求方法建立了生态水力学理论方法与工程技术的纽带；生态调度优化合理平衡了生

态流量需求和工程效益需求的矛盾，最终体现了生态水力学研究的工程价值。相关成果在《Ecological Modelling》、《Hydrology and Earth System Sciences》、《Ecological Engineering》、《Journal of Hydroinformatics》、《Journal of Environmental Sciences》等期刊上发表，是专著《河流生态水力学》、《水利水电工程生态环境效应模拟与调控》的主要内容，也是“湖北省科技进步奖”一等奖、“水力发电科学技术奖”一等奖（2015）和教育部“高等学校科学技术进步奖”二等奖（2013）二等奖的主要组成部分。审稿专家认为“The paper is really interesting, and well written. I found very useful ideas about modelling the habitat changes to explain the consequences of reservoir operation...”, “Overall, aside from editorial and structural issues, the material is interesting and integrates cellular automata and fuzzy logic models in a novel way.” 受邀在第8届国际生态信息学大会（8th ISEI, 2012, Brasilia, Brazil）做主旨报告。

五、代表性论文专著目录

1. 代表性论文专著目录（不超过 8 篇）

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	SCI 他引 次数	他引 总数	知识 产权 是否 国内 所有
1	Effects of vertical mixing on phytoplankton blooms in Xiangxi Bay of Three Gorges Reservoir: Implications for management/ <i>WATER RESEARCH</i> / Liu, Liu; Liu, Defu; Johnson, David M.; Yi, Zhongqiang; Huang, Yuling	5.528	2012 年 46 卷 7 期 2121-2130 页	2012 年 1 月 31 日	Liu, Defu	Liu, Liu	Liu, Liu; Liu, Defu; Yi, Zhongqiang; Huang, Yuling	31	43	是
2	Development and application of a two-dimensional water quality model for the Daqinghe River Mouth of the Dianchi Lake/ <i>JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCES-CHINA</i> / Chen, Qiuwen; Tan, Kui; Zhu, Chuanbao; Li, Ruonan	2.002	2009 年 21 卷 3 期 313-318 页	2009 年	Chen, Qiuwen	Chen, Qiuwen	Chen, Qiuwen; Tan, Kui; Zhu, Chuanbao; Li, Ruonan	16	18	是
3	Three-dimensional eutrophication model and application to taihu lake, China/ <i>JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCES-CHINA</i> / Mao, Jingqiao; Chen, Qiuwen; Chen, Yongcan	2.002	2008 年 20 卷 3 期 278-284 页	2008 年	Chen, Qiuwen	Mao, Jingqiao	Mao, Jingqiao; Chen, Qiuwen; Chen, Yongcan	45	47	是
4	Aerobic swimming performance of juvenile Schizothorax chongi (Pisces, Cyprinidae) in the Yalong River, southwestern China/ <i>HYDROBIOLOGIA</i> /Tu, Zhiying; Yuan, Xi; Han, Jingcheng; Shi, Xiaotao; Huang, Yingping	2.275	2011 年 675 卷 1 期 119-127 页	2011 年 7 月 8 日	Huang, Yingping	Tu, Zhiying	Tu, Zhiying; Yuan, Xi; Han, Jingcheng; Shi, Xiaotao; Huang, Yingping	5	9	是
5	Hydroinformatics techniques in eco-environmental modelling and management/ <i>JOURNAL OF HYDROINFORMATICS</i> / Chen, Qiuwen; Morales-Chaves, Yenyory; Li, Hong; Mynett, Arthur E	1.388	2006 年 8 卷 4 期 297-316 页	2006 年 10 月	Chen, Qiuwen	Chen, Qiuwen	Chen, Qiuwen	13	13	是
6	Development and application of a hybrid model to analyze spatial distribution of macroinvertebrates under flow regulation in the Lijiang River/ <i>ECOLOGICAL INFORMATICS</i> / Chen, Qiuwen; Yang, Qingrui; Lin, Yuqing	1.727	2011 年 6 卷 6 期 407-413 页	2011 年 8 月 19 日	Chen, Qiuwen	Chen, Qiuwen	Chen, Qiuwen; Yang, Qingrui; Lin, Yuqing	6	6	是
7	Unique Ability of BiOBr To Decarboxylate D-Glu and D-MeAsp in the Photocatalytic Degradation of Microcystin-LR in Water/ <i>ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY</i> /Fang Yanfen; Huang Yingping; Yang Jing; Wang, Pan; Cheng, Genwei	5.330	2011 年 45 卷 4 期 1593-1600 页	2011 年 1 月 19 日	Huang, Yingping; Cheng, Genwei	Fang Yanfen	Fang Yanfen; Huang Yingping; Yang, Jing; Wang, Pan; Cheng, Genwei	40	47	是
8	Modelling the riparian vegetation evolution due to flow regulation of Lijiang River by unstructured cellular automata/ <i>ECOLOGICAL INFORMATICS</i> / Ye, Fei; Chen, Qiuwen; Li, Ruonan	1.727	2010 年 5 卷 2 期 108-114 页	2010 年 3 月	Chen, Qiuwen	Ye, Fei	Ye, Fei; Chen, Qiuwen; Li, Ruonan	10	12	是
合 计								166	195	

六、主要完成人情况表

姓名	陈求稳	排名	1
技术职称	研究员	行政职务	主任
工作单位	水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院		
完成单位	中国科学院生态环境研究中心		
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>本研究依托的重点基金、国际重大合作研究基金的项目主持人。负责国内外研究前沿把握，研究思路创新，方法设计，具体实施技术指导以及难点攻关，最终成果的理论凝练。具体承担了藻类水华预测模型、基于元胞自动机的植被动态模型和基于个体的鱼类动态模型的研究，对应发现点（2）；揭示了水库生态调度的经济效益与生态效益耦联机制，建立了生态调度方法，对应发现点（3）中的②。</p>			

姓名	刘德富	排名	2
技术职称	教授	行政职务	校长
工作单位	湖北工业大学		
完成单位	湖北工业大学		
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>研究发现水库支流分层异重流现象，探明分层异重流的环境效应及其影响支流水华暴发的机理，揭示了“潮汐式”运行模式控制水库藻类水华的机制，建立了相应的方法，对应发现点（1）和发现点（3）中的①。</p>			

姓名	黄应平	排名	3
技术职称	教授	行政职务	副校长
工作单位	三峡大学		
完成单位	三峡大学		
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>负责发明和设计实验，研究水动力条件变化对水生植物生长、鱼类和底栖动物行为影响机制，建立定量响应关系，对应发现点（1）中的①和②；同时研究了藻类水华风险控制方法，对应发现点（3）中的①；进行成果理论创新点的凝练。</p>			

姓名	李若男	排名	4
技术职称	助理研究员	行政职务	无
工作单位	中国科学院生态环境研究中心		
完成单位	中国科学院生态环境研究中心		
对本项目主要学术贡献： 引入景观生态学理论，提出了河流生物栖息地质量评价方法，改进了鱼类栖息地模型；结合鱼类不同生命阶段对应重要研科学发现（2）空间显式生态水力学数值模拟体系中的③，以及（3）分层取水的生态调度中的①、②。及径流季节性变化，建立了生态流量过程推求方法，突破了坝下生态基流精准确定的科技难题。			

名	毛劲乔	排名	5
技术职称	教授	行政职务	无
工作单位	河海大学		
完成单位	中国科学院生态环境研究中心		
对本项目主要学术贡献： 研究了全三维、耦合水体与沉积物之间作用关系的湖库藻类动态数值模型，成功用于分析水动力（风生流）对藻类水华的影响。对应重要研科学发现（2）空间显式生态水力学数值模拟体系中的①。			

七、完成人合作关系说明

项目主要完成人陈求稳、刘德富、黄应平共同承担了陈求稳主持的“雅砻江梯级水电开发生态环境效益和影响定量研究及调控机制”（国家基金委，重点基金，50639070），并于2010年顺利结题（结题评价“优秀”）。在该合作研究中，刘德富教授承担了生态调度专题，黄应平教授承担了植物水力胁迫实验和鱼类行为生态学实验研究，研究成果共同获得了“大禹水利科技”二等奖（2010）。2009年，陈求稳研究员成功申请依托三峡大学执行“楚天学者”人才计划，继续合作开展湖库生态水力学研究，期间共同获得授权发明专利3项，联合发表论文十余篇，并于2013年共同获得教育部“高等学校科学技术进步奖”二等奖。

项目完成人李若男为陈求稳指导的硕士、博士研究生，毕业后留在陈求稳课题组工作，是本项目鱼类栖息地模型和生态流量过程研究的主要完成人，博士论文为“鱼类生境模型及河流生态流量过程研究”。合作完成代表性论文2、8和主要论文12、14、16；共同获得了“大禹水利科技”二等奖（2010）教育部“高等学校科学技术进步奖”二等奖（2013），和“水力发电科学技术奖”一等奖（2015）。

项目完成人毛劲乔为陈求稳研究组的组员，2005 年清华大学博士毕业后加入到陈求稳生态水力学研究组，共同承担了水华模型研究，并在太湖、滇池进行了应用。联合发表代表性论文 3。