

项目名称：水资源系统的优化分析与风险调控

提名意见

提名者：倪晋仁

提名意见：水资源安全是我国大部分地区的瓶颈问题，牵系我国社会经济的可持续发展。该方面研究一直是水利科学与工程领域的国际研究前沿，符合国家重大需求。研究团队通过多年的合作，致力于对水资源系统中多重矛盾问题、现象与规律及其间互动效应的研究，并在此基础上创建并发展了一套水资源系统的优化分析与风险调控理论与方法，取得了一些重要成果。项目成果创新性突出，所提出的理论与方法，为复杂条件下水资源风险管理提供了创新性的科学手段，为我国水资源管理学科（尤其水资源系统风险分析与管理这一分支学科）的发展以及研究水平的提高起了重要的推动作用。所创建的方法在我国多个流域系统得到应用。同时，完成人多年来作为联合国开发计划署中国农村水资源管理与饮水安全首席科学家，通过主持或参与许多国际合作研究项目，更致力这些方法在多个其它国家的推广应用。

提名该项目为国家自然科学奖 二 等奖。

提名者：程春田

提名意见：水资源风险防控是关系人民生命财产安全的重大问题。过去几十年来我国频发的洪涝灾害与生态破坏事件，造成了严重的社会经济影响。完成人创建和发展了水资源风险分析和优化调控的理论与方法，并进行了一系列实践验证。所提出的技术能有效处理多种复杂因素对水资源系统的影响。这些技术被应用于我国多个流域系统，并在其后经联合国开发计划署推荐被多个国家所应用。这些研究显著提高了流域系统管理的科学性。研究还揭示了我国传统水资源管理中重视实体水，轻视虚拟水所带来的一系列问题，并为统筹实体水和虚拟水提供了前沿性的技术手段。上述成果引领了水资源系统的复杂性研究，为我国水资源安全保障提供了重要的理论基础和技术手段，推动了水利学科的发展和相关行业的技术进步，并为区域水资源风险管理提供了科学支持。

提名该项目为国家自然科学奖 二 等奖。

提名者：夏星辉

提名意见：完成人长期从事水资源风险分析与管理研究。三位完成人连续多年入选 Elsevier 高被引学者（其中第一完成人在相关领域排名第三），以及 Elsevier 全球环境学科高被引学者（全球 300 人，中国 9 人），并相继主持 2 个 973、3 个杰青及多个基金委重点项目。完成人从系统科学的角度出发，将不同参数的多维不确定性、同一参数的多重不确定性以及多参数的不确定性关系交互性地集成于一个优

化框架下，以有效地反映水资源系统中不确定性参数的多重、多层交叉与互动特征。通过创建水资源系统的优化分析与风险调控理论与方法体系，完成人在多方面取得了重大创新，推动了水资源风险管理领域的技术进步，尤其所提出的水资源风险调控技术能有效处理多种复杂因素对多维系统行为的影响。这些研究有助指导我国流域社会经济可持续发展，并提高水资源管理与规划的科学性，避免错误决策所带来的巨大的社会经济后果。

提名该项目为国家自然科学奖 二 等奖。

项目简介

水资源管理涉及社会、经济、政策、资源、人口、环境等诸多子系统。每个子系统又包含多个层次与组分，且各子系统间及其内部组分间存在错综的互动、互补与矛盾关系，如确定性与不确定性、物质与能量、实体水与虚拟水等。把握和反映这些复杂关系既是流域系统研究所必需，同时也是解决我国水资源匮乏、洪水肆虐、生态环境恶化及水土流失严重等一系列问题的关键。多年来，完成人致力于对水资源系统中多重矛盾问题、现象与规律及其间互动与互补效应的解构，并在此基础上整合分析这些效应在多维时空上对系统行为的复合影响，进而优化相应的调控手段与策略。通过上述努力，完成人得到以下几方面重要发现。

完成人创建并逐步完善了针对多重不确定性与多阶段优化问题的水资源风险管理理论与方法，经历了从“特解（双重不确定性与两阶段优化）”到“通解（多重不确定性与多阶段优化）”的研究发展历程。尤其对其中风险与收益、可能性与似然性、连续与离散等互动关系及其深层次的复合叠加问题作了多方位探索。所创建的方法能反映不确定性系统组分及阶段间的交互作用与动态演变，并能通过递进追索，支持模糊随机风险识别与分析，以最小化不确定性信息带来的决策失误。

水资源的“质-能”矛盾与互补关系是该系统的一个重要特征。完成人围绕水资源“质-能”复合效应，在多个层面与尺度解构了系统的多方面复杂性，进而加以抽象和表征。由之从独立到综合，从单体到整体，从微观到宏观，针对水资源系统的动态、互动、多目标、不确定性等特征，创建了“解构-分析-整合”的多层多维技术路线，并发现依此创建的“质-能”和谐管理思路与“质-能”系统优化方法有利提高系统的可持续性与环境经济效益。

完成人针对虚拟水系统、实体水系统以及“实体水-虚拟水”联合系统所展开的综合研究是对传统水资源系统分析理论和方法的延伸与完善。研究揭示了实体和虚拟水在系统中的运行规律、联动效应与时空演变规律；实体水向虚拟水转化的动态过程与虚拟水再分配机理；以及实体和虚拟水对水资源系统的驱动效应及其对区域水资源短缺的作用机制。研究还揭示了我国传统水资源管理中重视实体水，轻视虚拟水所带来的一系列问题，并为统筹“实体水-虚拟水”提供了前沿性的技术手段。

上述成果引领了水资源系统的复杂性研究，推动了水利工程与其它学科的交叉融合。部分成果获省部级自然科学一等奖和科技进步一等奖多项。发表 SCI 论文 158 篇，含影响因子大于 5.0 的 SCI 刊物论文 57 篇、ESI 高被引 1% Hot Papers 5 篇。8 篇代表性论文 SCI 他引 521 篇次、他引 646 篇次。美国工程院院士 C. A. Floudas 教授、美国工程院院士 D. P. Loucks 教授、美国科学院院士 P. H. Gleick 教授、加拿大皇家科学院与加拿大工程院院士 K. W. Hipel 教授、加拿大工程院院士 N. Djilali 教授和 Ed McBean 教授、英国皇家工程院院士 R. A. Falconer 教授、欧洲科学院院士 N. B. Chang 教授、丹麦皇家科学院院士 H. Madsen 教授等国际一流科学家均引用并肯定了项目研究工作。

客观评价

对发现点 1 的评价

德国水文与流域管理局主席、慕尼黑工业大学 E. Bekri 教授多年来追踪完成人创建的水资源风险优化管理方法。在其发表的姊妹论文中 (Water 2015, 7: 5305-5344, 6427-6466)，大幅引用完成人的 23 篇论文 (含代表性论文 4、6、8)，并将完成人的多阶段水资源随机规划法用于希腊 Alfeios 流域的水资源优化配置 (附件 13 代表性引文 5)。此外，欧洲科学院院士、美国中佛罗里达大学 N. B. Chang 教授二十余年来追踪完成人创建的不确定性优化法，他在 40 余篇发表的论文中大量引用并高度肯定了完成人在水资源风险优化管理与系统方面的贡献。Chang 还将完成人创建的方法应用于美国、欧洲、中国台湾；且他发表的综述文章 (Critic. Rev. in Environ. Sci. Tec. 2011, 41: 1449-1530) 重点介绍了完成人的 41 篇论文。

加拿大皇家科学院、工程院两院院士、滑铁卢大学著名教授 K. W. Hipel 在其论文中 (Water Resour. Mgnt. 2016, 30: 2997-3012) 引用代表性论文 6，高度肯定了完成人创建的针对多重不确定性的水资源系统耦合优化与风险管理技术；此外，加拿大工程院院士、国家水资源安全研究首席科学家 Ed McBean 教授引用并研究了完成人的 4 篇论文，不仅高度肯定了完成人在水资源系统风险分析方面的成果，并将其付诸实际应用 (Stoch. Environ. Res. Risk Assess. 2013, 27: 705-711)。

中国工程院院士、中国农业大学康绍忠教授最近发表的论文 (Agri. Water Mgnt. 2017, 179: 352-365) 引用完成人的 6 篇文章，肯定完成人在不确定性多目标水资源规划领域的贡献；此外，中国工程院院士、著名资源学家孙九林教授，引用和分析了完成人的 6 篇论文 (含代表性论文 6)，肯定了完成人在多阶段随机水资源优化领域的贡献 (Inf Sci 2014, 28(2):213-33, SCI IF=4.408)。

国际系统与控制科学院 Fellow、四川大学徐玖平教授团队多年追踪完成人的不确定性系统优化与风险管理方法。其发表的 10 余篇 SCI 论文引用并肯定了完成人 40 多篇论文成果，例如，Resour. Conserv. Recycl. 2015, 95: 156-73 引用了完成人 12 篇论文 (含代表性论文 6)，指出完成人为水资源管理研究的发展做出了重大贡献 (附件 14 代表性引文 6)；此外，澳大利亚联邦科学与工业研究组织 (CSIRO)

的首席科学家 A. Higgins 教授高度评价完成人创建的多阶段随机规划方法，指出该方法给出了一种新型的水资源管理手段，可全情景考虑时间、空间上的不确定性，支持风险调控；Higgins 教授并将该方法应用于西南昆士兰地区的水资源调配与风险管理（*Water Resour. Mgnt.* 2008, 22: 1445-1460）。

丹麦皇家科学院院士、丹麦技术大学著名教授 H. Madsen（*Water Resour. Res.* 2012, 48: W06525, 水资源领域旗舰杂志）以及加拿大皇家科学院院士、萨斯喀彻温大学 J.P. Giesy 教授（*Environ. Sci. Tech.* 2016, 50: 8640-8648, 环境领域顶级杂志, SCI IF 6.198）在水资源与环境领域的顶级杂志发表多篇论文，共同肯定完成人在集成地下水资源随机模拟与过程风险优化调控方面的贡献（*Adv. Water Resour.* 2008, 31: 1622-1635; *J. Hazard. Mater.* 2011, 190: 883-890, SCI IF 6.065）。

对发现点2的评价

加拿大工程院院士、国家能源系统设计首席科学家、维多利亚大学著名教授 N. Djilali 在权威刊物 *Applied Energy*（2015, 147: 402-412, SCI IF 7.182）发表论文，引用并高度评价代表性论文 3 和 5，指出该研究开创性地在随机优化框架下探索了不同技术情景带来的风险（附件 12 代表性引文 4）。美国斯坦福大学 Jain 教授团队在 *Nature* 子刊发表的文章（*Nature Energy* 2017, 2: 17112）也对代表论文 3 进行了正面引用。此外，欧洲科学院院士、国际能源旗舰期刊《*Applied Energy*》主编 J.Y. Yan 教授在他的论文中（*Applied Energy* 2015, 148: A1-A6, SCI IF 7.182），引用并肯定了完成人在水资源与能源系统研究中引入碳减排及相关风险约束所取得的成果（*Applied Energy* 2010, 87: 1033-1047, SCI IF 7.182）。

第三世界科学院院士、曾任国际土壤科学联盟主席的 R. Lal 教授在他的发表于资环领域顶级杂志 *Energy Environ. Sci.* 的文章中（*Energy Environ. Sci.* 2008, 1:86-100, SCI IF 29.518）引用并正面评价了完成人的不确定性系统模拟与决策支持方法研究，指出完成人构建的方法为系统风险管理提供了科学支持（*Pet. Sci. Technol.* 2008, 26: 813-843）；此外，英国皇家工程院院士、国际水环境工程与研究协会主席、英国卡迪夫大学著名教授 R. A. Falconer（*Int. J. River Basin Mgnt.* 2015, 13: 73-86）也引用并肯定了完成人构建的气候变化条件下集合水文水环境随机模拟与风险管理方法（*Water Res.* 2012, 46: 1207-1224）。

由西班牙阿尔梅利亚大学的 F. Manzano-Agugliaro 教授发表在 Top 刊物 *Renew. Sustain. Energy Rev.*（2011, 15: 1753-1766, SCI IF 8.05）的论文引用了完成人的代表性论文 1 和另 2 篇成果，指出完成人创建的联合规划法能给出复杂条件下水电与其它能源开发与扩建的优化决策方案，是该领域的突破性成果（附件 10 代表性引文 2）；此外，葡萄牙 Universidade Nova de Lisboa 的著名教授 A. Pires（*J. Environ. Mgnt.* 2011, 92: 1033-1050）系统追踪研究完成人的 13 篇论文，指出完成人所创建的方法体系能有效反映水资源系统及相关物质能量组分的多阶段、多不

确定性特征及其交互作用与动态变化，并延伸到其它领域。

对发现点 3 的评价

投入产出领域最权威期刊《Economic System Research》主编、该领域顶级专家 M. Lenzen 教授在他的刊于水资源领域的旗舰杂志 Water Resour. Res. (2009, 45: W09416) 的论文中，高度肯定了完成人的代表性论文 7。

美国科学院院士，麦克阿瑟天才奖获得者，美国太平洋研究院院长 P.H. Gleick 教授 (Water Resour. Mgnt., 2014 28: 3637-3649) 引用并肯定完成人的代表性论文 2，指出该研究对揭示区域内外产业间的水需求具有重大意义 (附件 11 代表性引文 3)；此外，美国犹他州立大学著名教授 C. Lant (美国大学水资源理事会奖获得者) 与南伊利诺大学 S. Lahir 教授联合发表论文 (Ecological Economics 2013, 93: 230-238)，引用并高度评价代表性论文 7，指出完成人的研究开创性地修正了之前有关中国虚拟水的片面性结果。

产业生态学专家、丹麦奥胡斯大学 M. Thomsen 教授发表论文 (J. Environ. Mgnt. 2013, 18: 21-31)，重点评价完成人的 3 篇论文，指出完成人的新成果和新发现证明生态网络分析有助改善水资源管理系统的效率与弹性，是该领域重要的理论创新；此外，著名系统分析专家、澳大利亚科廷大学副校长 C. Moran 教授基于完成人构建的生态网络分析方法 (Environ. Sci. Tech. 2012, 46: 1796-1803, SCI IF 6.198)，进一步提出应用社会网络分析的思路，以对水资源系统进行综合评价和规划 (J. Clean. Prod. 2017, 148: 915-922, SCI IF 5.715)。

代表性论文专著目录

- (1) Y. P. Cai, G. H. Huang, Z. F. Yang, Q. G. Lin, and Q. Tan, Community-scale renewable energy systems planning under uncertainty - An interval chance-constrained programming approach, Renewable and Sustainable Energy Reviews (Elsevier), 13(4), 721-735 (2009). SCI IF = 8.050
- (2) X. Zhao, H. Yang, Z. F. Yang, B. Chen, and Y. Qin, Applying the input-output method to account for water footprint and virtual water trade in the haihe river basin in China, Environmental Science & Technology (ACS), 44(23), 9150-9156 (2010). SCI IF = 6.198
- (3) Y. P. Cai, G. H. Huang, Z. F. Yang, and Q. Tan, Identification of optimal strategies for energy management systems planning under multiple uncertainties, Applied Energy (Elsevier), 86(4), 480-495 (2009). SCI IF = 7.182
- (4) Y. R. Fan and G. H. Huang, A robust two-step method for solving interval linear programming problems within an environmental management context, Journal of Environmental Informatics (ISEIS), 19(1), 1-9 (2012). SCI IF = 5.562
- (5) Y. P. Li, G. H. Huang, and X. Chen, Planning regional energy system in association with greenhouse gas mitigation under uncertainty, Applied Energy (Elsevier), 88(3), 599-611 (2011). SCI IF = 7.182
- (6) Y. P. Li, G. H. Huang, Y. F. Huang, and H. D. Zhou, A multistage fuzzy-stochastic programming model for supporting sustainable water resources allocation and management, Environmental Modeling & Software, 24(7), 786-797 (2009). SCI IF = 4.404

- (7) X. Zhao, B. Chen, and Z. F. Yang, National water footprint in an input-output framework -- a case study of China, *Ecological Modelling* (Elsevier), 220(2), 245-253 (2009). SCI IF = 2.363
- (8) Y. P. Li, G. H. Huang, and S. L. Nie, An interval-parameter multi-stage stochastic programming model for water resources management under uncertainty, *Advances in Water Resources* (Elsevier), 29(5), 776-789 (2006). SCI IF = 3.221

主要完成人情况

(1) 黄国和, 北京师范大学教授。是项目的总体设计者, 对“重要科学发现”第1-2点做出了创造性贡献: 创建针对多重不确定性与多阶段优化问题的水资源管理理论与方法, 揭示水资源系统中风险与收益、可能性与似然性、连续与离散等互动关系及其深层次的复合叠加与互动机制; 开创对水资源系统中多重矛盾问题、现象与规律及其间互动与互补效应的解构分析, 并依此揭示这些效应对系统行为在多维时空上的复合影响, 引领水资源系统的复杂性研究, 推动水利工程与其它学科的交叉融合。是代表性论文1、3、4、8通讯作者, 以及代表性论文5、6的主要作者。

(2) 李永平, 北京师范大学教授。对“重要科学发现”第1点做出了创造性贡献: 创建多阶段多维风险动态耦合分析模型, 以系统分析气候变化条件下洪旱与环境风险的多时空累积效应, 发现水资源系统中不确定性参数建具多重交叉互动, 并对水资源配置与水环境管理产生显著影响; 创建多重不确定性下多阶段水文水环境的随机风险分析与优化管理方法, 发现, 我国现行应对水文水环境风险的安全系数法仅基于统计推测, 缺乏科学性, 易于导致过分乐观或保守的设计方案, 造成重大损失。是代表性论文5、6的第一和通讯作者, 以及代表性论文8的第一作者。

(3) 杨志峰, 北京师范大学教授。对“重要科学发现”第2、3点做出了创造性贡献: 揭示虚拟和实体水在水资源系统中的间接消耗及相应的再分配机理, 建立实体水在供应和消耗组分间的网络关联, 并发现水资源在产业间的再分配规律; 创建基于结构分解分析的虚拟水和水足迹产业耗水强度分析方法, 揭示部门内节水技术进步及部门间产业结构调整对水足迹强度变化的作用机理。发现我国传统水资源管理中重视实体水、轻视虚拟水所带来的一系列问题, 并为统筹实体与虚拟水提供了前沿性的技术手段。是代表性论文2、7的通讯作者, 以及代表性论文1、3的主要作者。

(4) 蔡宴朋, 北京师范大学教授。对“重要科学发现”第2点做出了创造性贡献: 开创对水资源系统中物质与能量这对矛盾解构分析, 揭示其间广泛存在的互动效应及其对水资源行为的复合影响; 创建气候变化条件下多重不确定、多阶段水资源“质-能”风险分析与优化管理方法, 发现多维时空上的“质-能”复合效应对水资源系统的影响显著, 且所创建的方法对改善“质-能”和谐、提高环境经济效益效果显著。是代表性论文1、3的第一作者。

(5) 赵旭, 河海大学副研究员。对“重要科学发现”第3点做出了创造性贡献: 创建自上而下的水-经济耦合模型, 揭示我国虚拟水贸易和水足迹的演变规律和政策内涵, 以及虚拟和实体水在水资源系统中的间接消耗及相应的再分配机理, 发现我国

是虚拟水净出口国，打破了国际上对我国水足迹及虚拟水贸易情况的固有认识；发现我国实体水调度和虚拟水贸易对水资源空间再分配的驱动效应，揭示实体和虚拟水在我国省份间的流动规律，阐明我国实体水调度和虚拟水贸易对水资源短缺的作用机制。是代表性论文 2、7 的第一作者。

完成人合作关系说明

本项目由北京师范大学环境学院（黄国和、李永平、杨志峰、蔡宴朋）和河海大学环境科学与工程学院（赵旭）共同合作开展。成果署名按贡献排序，商定无异议。本项目由5位师生历经20多年合作完成。第一完成人是第二、四完成人的博导，第三完成人是第四完成人的硕导、第五完成人的博导。五人合作多年，联合承担完成多项研究项目，如第二、三完成人参与了第一完成人任首席科学家的国家重点基础研究发展计划（973计划）项目“现代城市‘病’的系统识别理论与生态调控机理/2005CB724200”；第一、五完成人参与了第三完成人任首席科学家的国家重点基础研究发展计划（973计划）项目“黄淮海地区湿地水生态过程、水环境效应及生态安全调控/2006CB403300”；第一、二、四完成人共同参与了国家重点基础研究发展计划（973计划）项目课题“梯级库群溃决规模的激增机制/2007CB714105”；第四、五完成人参与了第二完成人主持的国家“水体污染控制与治理”科技重大专项课题（三峡水库优化调度改善水库水质的关键技术研究/2009ZX07104-004）；第二、四完成人参与了第一完成人主持的国家自然科学基金重大项目课题（变化环境下水利工程设计风险评估/51190095）。

5位完成人合作获多个省部级科技奖，如第一、二完成人的合作成果“面向流域系统的风险分析与优化调控理论”获2011年度教育部自然科学一等奖（排名第一、二）；第一、二完成人及其他学者的合作成果“梯级水库群面向生态的多目标综合调度关键技术及汉江流域应用”获2016年度湖北省科技进步一等奖（排名第九、十四）；第三、五完成人的合作成果“湿地生态需水整合模型、优化配置与生态调度技术”获2011年度教育部科技进步一等奖（排名第一、九）。

第一至四完成人同在北师大环境学院工作，合作完成了代表性论文1、3、5、6、8。第三和第五完成人作为师生共同完成代表性论文2、7。多年来，第一、二、四完成人作为师生在水资源系统的优化分析与风险调控领域开展了合作研究，合作完成超过100篇相关论文。

知情同意证明

本人以第一作者发表于Journal of Environmental Informatics的论文“A robust two-step method for solving interval linear programming problems within an environmental management context”系与黄国和教授共同完成。其中黄国和教授为导师兼通信作者。本人同意黄国和教授使用该论文报奖，并已知晓“获奖项目所用论文不得再次用于申报国家科技奖、未获奖项目所用论文专著不得连续两年使用”等有关规定。

特此证明。

Y. R. Fan and G. H. Huang, A robust two-step method for solving interval linear programming problems within an environmental management context, *Journal of Environmental Informatics*, 19(1), 1-9 (2012).

签名:

范玉瑞

2017年12月15日