

引江济太调水试验 关键技术研究

水利部太湖流域管理局 编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

引江济太调水试验 关键技术研究

水利部太湖流域管理局 编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书主要是依托太湖流域引江济太调水试验开展的关键技术研究成果,内容包括关键技术研究综述、引江济太水量水质联合调度研究、调水效果评估研究、望虞河西岸排水出路及对策研究、管理体制与机制研究、调水三维动态模拟系统开发研究,涉及到水文基础研究理论、水资源、水环境、水生态、水文模型、工程管理和信息技术,反映了在复杂平原河网地区水文科学研究、环境水利与评价以及水利工程管理技术取得的重要进展。

本书可供水文、地理、资源、环境、生态、管理、信息等方面的教学科研、规划设计以及关心太湖流域管理和治理的各界人士参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

引江济太调水试验关键技术研究/水利部太湖流域管理局编. —北京:中国水利水电出版社, 2010

ISBN 978 - 7 - 5084 - 6274 - 5

I. 引… II. 水… III. 太湖-流域-引水-水利工程-试验-研究 IV. TV882.953

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 074501 号

审图号: GS (2009) 1527 号

书 名	引江济太调水试验关键技术研究
作 者	水利部太湖流域管理局 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 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 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	北京中科印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 39 印张 925 千字 1 插页
版 次	2010 年 6 月第 1 版 2010 年 6 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	138.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

《引江济太调水试验关键技术研究》

编辑委员会

主任委员	叶建春				
副主任委员	吴浩云	朱 威	张长宽	杨桂山	
	匡尚富	石小强	张建云	朱耀龙	
顾问委员会	索丽生	高安泽	刘春生	孙继昌	
	王道根	吴泰来	欧炎伦	房玲娣	
	蒋传丰				
主 编	吴浩云	林荷娟	戴 甦		
副 主 编	翟淑华	胡维平	王船海	禹雪中	
	盛根明	颜志俊	万定生		

《引江济太调水试验关键技术研究》

参编单位名单

水利部太湖流域管理局

河海大学

中科院南京地理与湖泊研究所

中国水利水电科学研究院

上海勘测设计研究院

南京水利科学研究院

《引江济太调水试验关键技术研究》

主 要 编 写 人 员

综 述	吴浩云					
第 1 章	林荷娟					
第 2 章	王船海	金 科				
第 3 章	王船海	程文辉	王 鹏			
第 4 章	王船海	林荷娟	朱 琰			
第 5 章	王 鹏					
第 6 章	王船海	林荷娟				
第 7 章	林荷娟	王船海	金 科			
第 8 章	吴浩云	王船海				
第 9 章	戴 甦	廖文根				
第 10 章	翟淑华	廖文根	胡维平	禹雪中		
第 11 章	禹雪中	马 魏				
第 12 章	禹雪中	翟淑华	廖文根	张红举		
第 13 章	胡维平	翟淑华	李香华	张红举		
第 14 章	禹雪中	翟淑华	彭期冬	马 巍		
第 15 章	禹雪中	廖文根	彭期冬	潘彩英		
第 16 章	朱 威	翟淑华	胡维平	廖文根		
第 17 章	陈煜权	朱雪诞	朱桂娥	关许为	王朝辉	顾 萍
第 18 章	李 巍	陈瑞方	盛根明	韩 青	袁 欣	陈煜权
	徐家贵	关许为	朱桂娥	魏清福	孙大勇	
第 19 章	李 巍	徐雪红	陈瑞方	盛根明	袁 欣	
第 20 章	孙金华	吴志平	戴 星	倪深海		
第 21 章	颜志俊	吴志平	彭岳津	王会容		
第 22 章	颜志俊	徐春晓	王会容			
第 23 章	颜志俊	孙荣强	巫菡蕾	王会容		
第 24 章	吴浩云	颜志俊	顾 颖	刘静楠		
第 25 章	万定生	颜恩祝	高 山	郭学俊	刘惠义	
第 26 章	万定生	戴 甦	郭学俊			
第 27 章	郭学俊	颜恩祝				
第 28 章	吴浩云	万定生	刘惠义	高 山		

《引江济太调水试验关键技术研究》

主要参加人员

太湖流域管理局

徐 洪 梅 青 江 溢 周小平 蒋英姿 罗 尖 孙永飞 张 怡
孙海涛 姜桂花 尤林贤 成 新 杨 威 程媛华 黄 莉 王 华
李爱珍 贾更华 胡 艳 伍永年 章元明 颜秉龙 黄志兴 徐 慧
朱灵芝 胡 宾 王得祥 陆晓春 颜婷莉 勾鸿量 沈 荣

河 海 大 学

董增川 姚 琪 王新光 韩龙喜 逢 勇 张希伟 钟平安 王何轶
丁训静 王 娟 卞海红 余宇峰 王 峰 李 青 张 华 倪海涛

中科院南京地理与湖泊研究所

陈永根 白晓华 谷孝鸿 陈宇炜 范成新 胡春华 龚志军 张发兵
韩红娟

中国水利水电科学研究院

周怀东 彭 静 沈 吉 马莉青 李锦秀

上海勘测设计研究院

杜心慧 孙永林 黄少丞

南京水利科学研究院

刘城鉴 陈 菁

序一

水是基础性的自然资源和战略性的经济资源，是生态与环境的重要控制性要素。水利作为国民经济和社会发展的基础设施，在建设生态文明和构建和谐社会中肩负着重要的职责。

太湖流域是我国最发达的地区之一，经济社会发展迅速，经济总量在全国占重要地位。2007年，太湖流域以占全国不到0.4%的土地面积、3.7%的人口，创造了占全国11.6%的国内生产总值。太湖流域经济的快速发展和人民生活水平的日益提高，要求流域水利提供更加安全的防洪保障，更加可靠的供水安全和更加良好的水环境、水生态。

随着经济社会的快速发展，流域废污水排放总量逐年增加，水体污染不断加剧，河湖健康正面临严重威胁。为保障流域供水安全和改善水环境，遵照温家宝总理提出的“以动治静，以清释污、以丰补枯、改善水质”的引江济太生态调水重要指示，从2002年起，在水利部的领导下，太湖流域管理局组织流域内的江苏省、浙江省和上海市实施了引江济太调水试验工程。

引江济太是在保证防洪安全的前提下，利用已建水利工程，将长江清水引入流域河网和太湖，以增加流域水资源量，加快水体流动，提高水体自净能力，改善太湖及流域水环境，并向太湖周边及下游地区供水。实践证明，引江济太有效缓解了流域水生态和水环境恶化趋势，改善了流域水环境，特别是在2007年太湖蓝藻暴发引发的无锡市供水危机中发挥了重要作用，取得了显著的社会、环境和经济效益，得到了国务院、水利部和流域各级政府及社会各界的好评。

在做好引江济太科学调度的同时，太湖流域管理局组织有关科研院校，开展了引江济太调水试验关键技术研究，积极探索提高流域水资源承载能力和水环境承载能力的有效途径和主要措施。可以说，引江济太对国家开展湖泊水环境治理和流域水资源综合管理有着重要的科学价值和实际意义，也是湖泊研究和流域管理研究的重要发展方向之一。

在对引江济太关键技术问题进行研究中，科研人员采用原型试验与数模结合、虚拟现实与信息集成等先进技术，建立了河湖调水效果评估指标体系和水量水质联合调度模型，完善了太湖富营养化模型，提出了望虞河西岸排

水出路工程布局，探索了引江济太管理体制和运行机制，取得了丰硕成果。这些成果深化了我们对太湖水文情势、水环境演变规律和水利工程综合管理的认识，为太湖流域水环境综合治理提供了有效技术、科学基础和实施依据。

为了全面反映引江济太调水试验研究成果，太湖流域管理局组织编写了《引江济太调水试验关键技术研究》一书。本书以翔实的资料和数据，从引江济太水量水质联合调度、调水效果评估、望虞河西岸排水出路及对策、引江济太管理体制和机制以及引江济太三维模拟系统等方面，阐述了引江济太调水试验论证和实践中所采取的重大技术措施的可行性、先进性和实用性。

进入 21 世纪，中国水问题依然是一个大问题，太湖流域在水资源管理和水环境治理方面还有很多工作要做，对水量、水质变化规律的掌握、对水利工程联合调度模式的优化等，都有待于进一步深化研究。我们要以探索求真的精神，继续做好治水理论的创新工作，希望本书的出版，为关注水资源可持续利用的各界人士提供一份有价值的参考资料，为流域综合管理和流域水环境综合治理起到积极的推动作用。

水利部副部长

A stylized, cursive handwritten signature in black ink, likely belonging to Huo Yifan, the Vice Minister of the Ministry of Water Resources.

2010 年 5 月 18 日

序二

太湖流域地处长江三角洲核心区域，北依长江，南濒杭州湾，东临东海，西以茅山、天目山为界，地理条件得天独厚，行政区划分属江苏、浙江、上海、安徽三省一市，流域总面积 36895 万平方公里。太湖流域属典型的平原水网地区，地势低平，水流速度缓慢，湖泊河网密布。太湖位于流域的中心，面积 2338 平方公里，是流域最重要的饮用水水源地。太湖流域以仅占我国国土面积 0.4% 的土地，养育了占全国 3.7% 的流域人口，2007 年流域国内生产总值 GDP 总量 28648 亿元，占全国的 11.6%，人均 GDP 已超过 7000 美元，城市化率达 73%，是我国经济最具活力的地区之一。

在经济社会高速发展的同时，太湖流域也产生了水资源开发利用与保护不相协调的诸多水问题，如流域水环境恶化，洪涝灾害加剧，水质型缺水明显，河湖健康遭受严重破坏。尤其是太湖富营养化严重，蓝藻水华频繁暴发，严重威胁城乡供水安全，制约着流域经济社会的可持续发展。如何科学、有效地解决这些水问题，不仅引起社会各界的广泛关注，也得到中央政府和各级地方政府的高度重视。作为国务院确定的太湖水环境综合治理的重要举措之一，引江济太就是要从流域的层面，通过水利工程进行水量水质联合调度，促进太湖流域的水环境改善和水生态修复。然而，在高度受到人类活动影响的大型复杂平原河网和湖泊地区开展流域尺度的水量水质联合调度在国内外尚无先例，存在着诸多迫切需要加以解决的重大技术问题。

由水利部太湖流域管理局组织有关科研院校开展的引江济太调水试验关键技术研究，紧密围绕太湖流域水资源管理和水量水质联合调度的科技支撑需求，积极探索了利用水利工程调控达到“以动治静、以清释污、以丰补枯、改善水质”的重大科技问题。该研究以 2002 年开始实施的引江济太调水原型试验为依托，采用水文学、水动力学、环境科学、生态学、信息技术等多学科交叉的途径，进行了技术攻关、系统集成和应用实践。关键技术研究以太湖流域感潮河流和滨江临海为边界，把流域概化成 1438 条河流、120 个湖泊、178 座水利工程的数字化系统，收集、监测了 52 万条水文、环境、气象、泥沙和生态数据；在深入研究流域经济社会发展、生态环境保护、洪涝灾害防治及水资源保障供给等耦合关系的基础上，开发了大型平原感潮河网与湖泊

地区的分布式水文模型和水量水质联合调度模型，建立了水量水质联合调度系统，研制了调水效果评估系统，开发了三维动态模拟系统，研发了效果综合评估系统；完善了引江济太工程布局体系，建立了现代化流域调度管理体系，确立了引江济太管理运行机制，形成了产学研联合攻关体系。项目突破了传统的水利工程调度模式，理念和手段先进、方法科学，多角度提出了调水修复及改善河湖水环境的新理念，对抑制蓝藻暴发、改善水环境等具有重要的示范作用。研究成果对维护河湖健康，开展流域调水、改善河湖水环境等研究和应用，推进行业技术进步具有重大意义。

本书既是对引江济太调水试验关键技术研究主要成果的一个总结，也展示了太湖流域的水资源管理和调度从单纯注重防洪与供水向兼顾生态与环境保护的重大转变。希望它的出版，能为太湖流域水资源、水环境、水生态的综合管理和流域水环境的预警预报提供有力技术支撑；期望更多的研究者和决策者进一步关注太湖流域管理和治理工作；也愿本书能为推进水利科技在水利工作中的引领作用、为解决水问题和水利的可持续发展、科学技术发展贡献绵薄之力。

中国工程院院士



2010年5月18日

前言

太湖流域位于长江三角洲的核心区域，地跨苏、浙、皖、沪三省一市，是中国经济最具活力的地区之一，流域总面积 36895 平方公里，平原地区河网纵横，湖泊星罗棋布。流域北面的长江水量充沛、水质良好，是太湖流域稳定的补给水源地。太湖位于流域中部，水面面积约为 2338 平方公里，是我国第三大淡水湖泊，具有防洪、供水、灌溉、水产养殖、航运、旅游等综合功能，对流域洪水调蓄和水资源配置起控制作用，也是苏州、无锡等城市和下游上海、嘉兴等地区重要水源地。

随着流域经济社会的发展，太湖流域洪涝、环境、资源和生态向我们提出了严峻挑战，流域河网水污染严重、太湖富营养化加重，太湖经常暴发藻类“水华”事件，影响周边地区供水安全，严重制约着流域经济社会的可持续发展。为贯彻中央水利方针，实践治水新思路，发挥水利工程的综合效益，遵照温家宝总理 2001 年在国务院召开的太湖水污染防治第三次会议上提出的“以动治静、以清释污、以丰补枯，改善水质”的重要指示，及国务院批复的《太湖水污染防治“十五”计划》，水利部于 2001 年 12 月批复了太湖流域管理局编制的《引江济太调水试验工程实施方案》，并于 2002 年 1 月正式组织实施引江济太调水试验。

引江济太调水试验的目标是在确保防洪安全的前提下，利用望虞河工程引长江水入太湖，并通过环太湖口门向周边供水，研究望虞河引水入湖能力、探讨引水与防洪、用水、排水的关系，分析清水入湖对改善太湖水体水质的作用，探索引江济太运行管理体制与机制，为保障流域防洪、供水和水生态安全提供技术支持。由于引江济太是一项十分复杂的系统工程，涉及到流域内社会、经济、生态环境、洪涝、水资源配置和泥沙淤积等方面的复杂因素，还与长江水位、水质密切相关，为此水利部同意结合调水试验开展“引江济太水量水质联合调度研究”、“引江济太调水效果评估研究”、“望虞河西岸排水出路及对策研究”、“引江济太管理体制与机制研究”、“引江济太三维动态模拟系统开发研究”等 5 个研究专题，2002 年 3 月，通过水利部组织的审查，并列为水利部科技创新项目。太湖流域管理局按照项目管理要求，组织河海大学、中科院南京地理与湖泊研究所、中国水利水电科学研究院、南京水利

科学研究院、上海勘测设计研究院等科研院校共同开展调水试验关键技术联合攻关研究。在项目执行过程中，太湖流域管理局和承担单位聘请专家对研究成果进行指导和咨询，确保研究成果的质量。水利部科学技术委员会分别于2002年3月19~22日和2003年12月8~10日前后两次对引江济太调水试验专题进行了调研，对引江济太调水试验及其关键技术研究提出了十分宝贵的建设性意见。

引江济太调水试验关键技术研究以水利工程群原型调水试验为依托，采用水文学、水动力学、环境科学、生态学、信息技术等多学科交叉的途径，进行了技术攻关、系统集成和应用实践。项目以感潮河流和滨江临海为边界，把流域概化成1438条河流、120个湖泊、178座水利工程的数字化系统，收集、监测了52万条水文、环境、气象、泥沙、生态等数据；在研究经济社会发展、生态环境保护、洪涝灾害防治、水资源保障供给等耦合关系的基础上，开发了大型平原感潮河网湖泊地区分布式水文模型、水量水质联合调度等模型，建立了水量水质联合调度系统，研制了调水效果评估系统，开发了三维动态模拟系统；完善了引江济太工程布局体系，建立了现代化流域调度管理体系，确立了引江济太管理运行机制，形成了产学研联合攻关体系。关键技术研究成果及时应用于引江济太调水实践，成功化解了2003~2005年流域连续干旱和2003年黄浦江重大燃油污染事故，保障了流域供水安全，并且为2004年第二十八届世界遗产大会和2006年上海合作组织峰会在太湖流域召开期间创造了良好的水环境。特别在2007年应对无锡供水危机事件中，引江济太发挥了重要作用。引江济太有效提高了流域水资源和水环境承载能力，保障了流域重要城市和地区的供水安全，江苏、浙江、上海等地区普遍受益，取得了显著的社会效益、环境效益和经济效益，得到了国务院、水利部和省市党委政府领导的充分肯定和社会各界的广泛认可。2004年温家宝总理在水利部呈送的“关于引江济太调水工作有关情况的报告”上批示指出：“实践证明，‘引江济太’对于改善太湖水质是一项行之有效的办法”。2007年12月，引江济太调水试验关键技术研究顺利通过了水利部组织的验收和鉴定。

按照水利部全面系统总结引江济太调水试验的要求，太湖流域管理局组织相关单位在调水试验及其关键技术研究的基础上编写了本书，凝聚着广大引江济太参与者共同的心血和汗水。全书由吴浩云、戴甌具体组织编写，水量水质联合调度研究部分由林荷娟负责校核，调水效果评估部分由翟淑华负责校核，望虞河西岸排水出路对策、管理体制与机制、三维动态模拟系统部分由潘彩英负责校核，最后由吴浩云、林荷

娟负责统稿。

由于水平所限，书中的错误、遗漏在所难免，许多问题有待进一步研究和定论，殷切希望得到读者批评指正。

编者

2010年5月18日

目 录

序一	
序二	
前言	
综述	1

第 1 篇 引江济太水量水质联合调度研究

第 1 章 概述	15
第 2 章 基本资料收集和处理	18
2.1 太湖流域基本信息数字化	18
2.1.1 下垫面资料统计	18
2.1.2 下垫面信息数字化	20
2.2 太湖流域河网概化与太湖流域 GIS 信息归一化	26
第 3 章 模型研制与开发	28
3.1 降雨产流模型	28
3.1.1 降雨产流模拟	28
3.1.2 湖西山丘区产水量计算方法	32
3.1.3 浙西山丘区产水量计算方法	33
3.1.4 平原区河网汇流	34
3.1.5 平原区产流的河网分配方法	34
3.2 废水负荷模型	35
3.2.1 污染负荷模型路径图	35
3.2.2 污染负荷产生模块	35
3.2.3 污染负荷处理模块	41
3.2.4 污染负荷模型参数取值	41
3.3 河网和太湖水量模型	44
3.3.1 零维模型	44
3.3.2 一维模型	44

3.3.3	太湖湖区准三维水流模型	45
3.3.4	堰闸等过流建筑物模拟	46
3.3.5	圩区及圩外调蓄水面处理	46
3.3.6	节点方程求解	48
3.3.7	太湖流域供排水模拟	48
3.4	河网和太湖水质模型	53
3.4.1	来水组成	53
3.4.2	水质模型建立	58
第4章	太湖流域水量模型率定与验证	70
4.1	河网水量模型率定	70
4.1.1	流域产流计算	70
4.1.2	河网水量计算	74
4.2	河网水量模型验证	80
4.2.1	1998年、1999年模型验证	81
4.2.2	2002年、2003年模型验证	85
第5章	太湖流域水质模型率定与验证	89
5.1	水质模型率定	89
5.1.1	污染负荷计算	89
5.1.2	水质模型计算	93
5.1.3	率定结果及分析	95
5.2	水质模型验证	99
5.2.1	模拟计算	99
5.2.2	计算结果和分析	100
第6章	系统集成	104
6.1	设计原则	104
6.2	建设目标	104
6.3	系统结构设计	105
6.3.1	系统逻辑结构设计	105
6.3.2	系统应用结构设计	108
6.4	系统运行环境与开发环境	109
6.5	系统功能设计	109
6.5.1	外部信息的输入输出功能	109
6.5.2	模型构造系统功能	112
6.5.3	引江济太水量水质联合调度模型系统运行	117
6.5.4	流域水信息实时监控与分析	118
6.5.5	方案生成、分析、比选、入库等功能	118

第 7 章 水量水质联合调度方案研究 120

7.1 2003 年引江济太现状调度分析 120

7.1.1 水量计算成果分析 120

7.1.2 水质计算成果分析 120

7.2 太湖水量水质联合调度方案研究 125

7.2.1 方案设计 127

7.2.2 计算成果分析 129

7.3 武澄锡虞区水量水质联合调度方案研究 132

7.3.1 武澄锡虞区概况 132

7.3.2 方案设计 133

7.3.3 计算成果分析 135

7.4 杭嘉湖区水量水质联合调度方案研究 151

7.4.1 杭嘉湖区概况 151

7.4.2 方案设计 152

7.4.3 计算成果分析 153

7.5 最佳引水时机分析 166

7.5.1 调水历时与太湖水质变化分析 167

7.5.2 调水时间与太湖水质变化分析 168

第 8 章 主要结论与创新 170

8.1 关键技术 170

8.1.1 河网、湖泊、水量、水质耦合计算 170

8.1.2 引江济太水量水质联合调度方案研究 170

8.1.3 下垫面信息栅格化处理 170

8.1.4 河网水量模型中关键处理方式 171

8.1.5 系统底层集成 171

8.2 主要结论 171

8.3 技术创新 172

 第 2 篇 引江济太调水效果评估研究

第 9 章 概述 175

第 10 章 评估范围和技术路线 177

10.1 河网评估范围和技术路线 177

10.1.1 河网评估范围 177

10.1.2 河网评估技术路线 177

10.2 太湖评估技术路线和评价方法 180

10.2.1	技术路线	180
10.2.2	评价方法	182
10.3	水源地论证技术路线	186
10.3.1	水源地论证主要内容	186
10.3.2	水源地论证原则和技术路线	186
10.4	泥沙影响研究技术路线	187
10.4.1	实测资料分析	187
10.4.2	数学模型建立	188
10.4.3	泥沙运动模拟分析	188
第 11 章	基础数据库和效果评估系统的建立	189
11.1	基础数据库建立	189
11.1.1	标识符编写规则	189
11.1.2	数据库表结构	189
11.1.3	基础资料	193
11.2	效果评估系统建立	198
11.2.1	开发目标	198
11.2.2	系统设计	198
第 12 章	河网引水效果综合分析	201
12.1	评估指标体系与评估方法	201
12.1.1	水质评价指标	201
12.1.2	水质影响评估方法	201
12.2	河网水质效果评估	202
12.2.1	引水过程分析	202
12.2.2	引水影响分析	203
第 13 章	太湖改善效果综合分析	212
13.1	影响太湖生态环境因素分析	212
13.1.1	水深变化对水质、藻类变化的影响	212
13.1.2	温度对水质、藻类变化的影响	219
13.1.3	降雨对太湖水质、藻类变化的影响	222
13.1.4	营养元素含量及其与藻类生长的关系	231
13.2	调水对太湖环境指标影响实测资料评估	240
13.2.1	2002 年、2003 年太湖整体水质变化趋势分析	240
13.2.2	2002 年引江济太调水对太湖环境指标影响评估	241
13.2.3	2003 年引江济太调水对太湖环境指标的影响	259
13.2.4	引江济太对太湖浮游生物与底栖生物的影响	281
13.3	太湖水动力学—湖流、水质—水生态模型评估	295
13.3.1	模型建立	295