

学术引领系列



国家科学思想库

中国学科发展战略

水利科学与工程

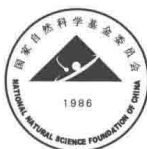
国家自然科学基金委员会
中国科学院



科学出版社



国家科学思想库



中国学科发展战略

水利科学与工程

国家自然科学基金委员会
中国科学院

科学出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

水利科学与工程/国家自然科学基金委员会, 中国科学院编—北京: 科学出版社, 2016

(中国学科发展战略)

“十二五”国家重点图书出版规划项目

ISBN 978-7-03-047110-9

I. ①水… II. ①中… ②国… III. ①水利工程-学科发展-发展战略-中国 IV. ①TV-12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 015842 号

丛书策划: 侯俊琳 牛 玲

责任编辑: 吴凡洁 刘翠娜 耿建业/ 责任校对: 郭瑞芝

责任印制: 张 倩/ 封面设计: 黄华斌 陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 3 月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2016 年 3 月第一次印刷 印张: 51 1/4

字数: 995 000

定价: 238.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

中国学科发展战略

联合领导小组

组 长：陈宜瑜 李静海

副组长：秦大河 姚建年

成 员：詹文龙 朱道本 陈 颢 李 未 顾秉林
贺福初 曹效业 李 婷 王敬泽 刘春杰
高瑞平 孟宪平 韩 宇 郑永和 汲培文
梁文平 杜生明 柴育成 黎 明 秦玉文
李一军 董尔丹

联合工作组

组 长：李 婷 郑永和

成 员：龚 旭 朱蔚彤 孟庆峰 吴善超 李铭禄
刘春杰 张家元 钱莹洁 申倚敏 林宏侠
冯 霞 王振宇 薛 淮 赵剑峰

中国学科发展战略·水利科学与工程

专 家 组

组 长：张楚汉 王光谦

成 员：（以拼音为序）

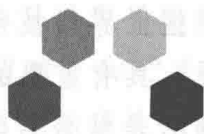
曹树良	曹文宣	陈 进	陈 喜	陈改新
陈文学	陈晓宏	陈永灿	程晓陶	崔 鹏
董哲仁	樊启祥	冯夏庭	傅旭东	贺德馨
胡春宏	胡黎明	金 峰	赖远明	李久生
李庆斌	李原园	林斌良	林鹏智	马吉明
卢文波	倪广恒	强茂山	任 冰	邵东国
施国庆	施鹏飞	唐洪武	王福军	王国玉
王忠静	谢 平	徐世烺	徐宗学	许唯临
杨 强	杨大文	姚仰平	余锡平	张国新
张建民	张俊华	赵成钢	郑垂勇	钟德钰
钟登华	周创兵	周建中		

主审专家：（以拼音为序）

陈祖煜	龚晓南	胡四一	康绍忠	李义天
林 皋	刘之平	陆佑楣	缪昌文	钱七虎
邱大洪	唐 澍	王 超	王 浩	张建云
张勇传				

秘 书 组

胡黎明 钟德钰 魏 秀 陈 敏 武明鑫 江婷婷



总 序

白春礼 杨 卫

17 世纪的科学革命使科学从普适的自然哲学走向分科深入，如今已发展成为一幅由众多彼此独立又相互关联的学科汇就的壮丽画卷。在人类不断深化对自然认识的过程中，学科不仅仅是现代社会中科学知识的组成单元，同时也逐渐成为人类认知活动的组织分工，决定了知识生产的社会形态特征，推动和促进了科学技术和各种学术形态的蓬勃发展。从历史上看，学科的发展体现了知识生产及其传播、传承的过程，学科之间的相互交叉、融合与分化成为科学发展的重要特征。只有了解各学科演变的基本规律，完善学科布局，促进学科协调发展，才能推进科学的整体发展，形成促进前沿科学突破的科研布局和创新环境。

我国引入近代科学后几经曲折，及至上世纪初开始逐步同西方科学接轨，建立了以学科教育与学科科研互为支撑的学科体系。新中国建立后，逐步形成完整的学科体系，为国家科学技术进步和经济社会发展提供了大量优秀人才，部分学科已进入世界前列，有的学科取得了令世界瞩目的突出成就。当前，我国正处在从科学大国向科学强国转变的关键时期，经济发展新常态下要求科学技术为国家经济增长提供更强劲的动力，创新成为引领我国经济发展的新引擎。与此同时，改革开放 30 多年来，特别是 21 世纪以来，我国迅猛发展的科学事业蓄积了巨大的内能，不仅重大创新成果源源不断产生，而且一些学科正在孕育新的生长点，有可能引领世界学科发展的新方向。因此，开展学科发展战略研究是提高我国自主创新能力、实现我国科学由“跟跑者”向“并行者”和“领跑者”转变的

一项基础工程，对于更好把握世界科技创新发展趋势，发挥科技创新在全面创新中的引领作用，具有重要的现实意义。

学科发展战略研究的核心是结合科学技术和经济社会的发展需求，在分析科学前沿发展趋势的基础上，寻找新的学科生长点和方向。在这个过程中，战略科学家的前瞻引领作用十分重要。科学史上这样的例子比比皆是。在 1900 年 8 月巴黎国际数学家代表大会上，德国数学家戴维·希尔伯特发表了题为“数学问题”的著名讲演，他根据过去特别是 19 世纪数学研究的成果和发展趋势，提出了 23 个最重要的数学问题，即“希尔伯特问题”。这些“问题”后来成为许多数学家力图攻克的难关，对现代数学的研究和发展产生了深刻的影响。1959 年 12 月，美国物理学家、诺贝尔奖得主理查德·费曼在加利福尼亚理工学院举行的美国物理学会年会上发表了题为《物质底层大有空间——一张进入物理新领域的请柬》的经典讲话，对后来出现的纳米技术作出了天才的预见。

学科生长点并不完全等同于科学前沿，其产生和形成不仅取决于科学前沿的成果，还决定于社会生产和科学发展的需要。1841 年，佩利戈特用钾还原四氯化铀，成功地获得了金属铀，可在很长一段时间并未能发展成为学科生长点。直到 1939 年，哈恩和斯特拉斯曼发现了铀的核裂变现象后，人们认识到它有可能成为巨大的能源，这才形成了以铀为主要对象的核燃料科学的学科生长点。而基本粒子物理学作为一门理论性很强的学科，它的新生长点之所以能不断形成，不仅在于它有揭示物质的深层结构秘密的作用，而且在于其成果有助于认识宇宙的起源和演化。上述事实说明，科学在从理论到应用又从应用到理论的转化过程中，会有新的学科生长点不断地产生和形成。

不同学科交叉集成，特别是理论研究与实验科学相结合，往往也是新的学科生长点的重要来源。新的实验方法和实验手段的发明，大科学装置的建立，如离子加速器、中子反应堆、核磁共振仪等技术方法，都促进了相对独立的新学科的形成。自 20 世纪 80 年代以来，具有费曼 1959 年所预见的性能、微观表征和操纵技术的

仪器——扫描隧道显微镜和原子力显微镜终于相继问世，为纳米结构的测量和操纵提供了“眼睛”和“手指”，使得人类能更进一步认识纳米世界，极大地推动了纳米技术的发展。

作为国家科学思想库，中国科学院（以下简称中科院）学部的基本职责和优势是为国家科学选择和优化布局重大科学技术发展方向提供科学依据、发挥学术引领作用，国家自然科学基金委员会（以下简称基金委）则承担着协调学科发展、夯实学科基础、促进学科交叉、加强学科建设的重大责任。继基金委和中科院于2012年成功地联合发布“未来10年中国学科发展战略研究”报告之后，双方签署了共同开展学科发展战略研究的长期合作协议，通过联合开展学科发展战略研究的长效机制，共建共享国家科学思想库的研究咨询能力，切实担当起服务国家科学领域决策咨询的核心作用。

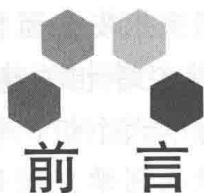
基金委和中科院共同组织的学科发展战略研究既分析相关学科领域的发展趋势与应用前景，又提出与学科发展相关的人才队伍布局、环境条件建设、资助机制创新等方面的政策建议，还针对某一类学科发展所面临的共性政策问题，开展专题学科战略与政策研究。自2012年开始，平均每年部署10项左右学科发展战略研究项目，其中既有传统学科中的新生长点或交叉学科，如物理学中的软凝聚态物理、化学中的能源化学、生物学中生命组学等，也有面向具有重大应用背景的新兴战略研究领域，如再生医学、冰冻圈科学、高功率高光束质量半导体激光发展战略研究等，还有以具体学科为例开展的关于依托重大科学设施与平台发展的学科政策研究。

学科发展战略研究工作沿袭了由中科院院士牵头的方式，并凝聚相关领域专家学者共同开展研究。他们秉承“知行合一”的理念，将深刻的洞察力和严谨的工作作风结合起来，潜心研究，求真唯实，“知之真切笃实处即是行，行之明觉精察处即是知”。他们精益求精，“止于至善”，“皆当至于至善之地而不迁”，力求尽善尽美，以获取最大的集体智慧。他们在中国基础研究从与发达国家“总量并行”到“贡献并行”再到“源头并行”的升级发展过程中，

脚踏实地，拾级而上，纵观全局，极目迥望。他们站在巨人肩上，立于科学前沿，为中国乃至世界的学科发展指出可能的生长点和新方向。

各学科发展战略研究组从学科的科学意义与战略价值、发展规律和研究特点、发展现状与发展态势、未来5~10年学科发展的关键科学问题、发展思路、发展目标和重要研究方向、学科发展的有效资助机制与政策建议等方面进行分析阐述。既强调学科生长点的科学意义，也考虑其重要的社会价值；既着眼于学科生长点的前沿性，也兼顾其可能利用的资源条件；既立足于国内的现状，又注重基础研究的国际化趋势；既肯定已取得的成绩，又不回避发展中面临的困难和问题。主要研究成果以“国家自然科学基金委员会—中国科学院学科发展战略”丛书的形式，纳入“国家科学思想库—学术引领系列”陆续出版。

基金委和中科院在学科发展战略研究方面的合作是一项长期的任务。在报告付梓之际，我们衷心地感谢为学科发展战略研究付出心血的院士、专家，还要感谢在咨询、审读和支撑方面做出贡献的同志，也要感谢科学出版社在编辑出版工作中付出的辛勤劳动，更要感谢基金委和中科院学科发展战略研究联合工作组各位成员的辛勤工作。我们诚挚希望更多的院士、专家能够加入到学科发展战略研究的行列中来，搭建我国科技规划和科技政策咨询平台，为推动促进我国学科均衡、协调、可持续发展发挥更大的积极作用。



前 言

水利是国民经济的命脉，与工业、农业、生态、环境、能源、防灾、民生、人文景观等社会经济部门紧密联系，与国家社会经济可持续发展休戚相关。水安全不仅涉及防洪安全、供水安全、粮食安全，还关系经济安全、生态安全、国家安全，水利科学与工程在自然、社会与工程学科领域中的重要性日益凸显。坚持以人为本，发挥水利科技引领作用，依靠科技进步，保障国家水安全是实现中华民族伟大复兴的重要环节。

水利科学与工程问题来源于人类社会生存和发展的需要，其目标是认识自然规律并通过多种工程技术措施，对自然界的水和水域进行人为的控制和调配，以防治水旱灾害、开发利用和保护水资源。当今，我国水安全问题新老交织，仍然面临较为严峻的形势，突出表现在水资源短缺严重、水污染问题突出、水灾害威胁加重、水生态退化严重等方面。同时，超强地震、超标洪水及特大地质灾害等因素，威胁高坝水电站长期安全运行，甚至诱发高坝失事、危害人民生命财产安全。从科学与技术层面来看，我们仍面临许多重大瓶颈科技问题需要突破。

为此，中国科学院和国家自然科学基金委员会部署了“水利科学与工程”学科发展战略研究项目，由张楚汉院士和王光谦院士负责组织实施，并于2014年9月在北京举行了“水利科技前沿与水安全”论坛，百余名专家、学者讨论了全球气候变化下的我国水文趋势和水资源安全、河流水沙过程与调控、洪旱灾害与防灾减灾、河湖近海生态环境问题的安全与对策、高坝水电站枢纽长期安全高效运行等问题，围绕我国水利科技前沿与水安全的现状、国家需求

和发展趋势,深入探讨了国家水安全面临的挑战和关键问题,提出了解决水安全问题的有效途径等相关建议。在近3年的研究历程中,项目组按学科方向分为十六个组,包括水文学、水资源、农田水利学、河流动力学、环境水利学、水旱灾害、水能利用、海岸工程学、工程水力学、水工建筑学、水工混凝土、岩石力学与工程、土力学、水力机械动力学、水利工程管理和水利移民工程等学科方向。最后编写形成的《中国学科发展战略·水利科学与工程》一书反映了近年来水利学科与交叉学科研究的最新进展,系统地梳理了水利科学与工程学科发展规律和特点,凝练出关键的前沿科技问题,提出了水利学科领域战略发展建议。面对我国水安全情势和挑战,本书内容的撰写着重围绕下列问题展开。

(1) 全球气候变化与人类活动条件下的水文水资源与农业水资源高效利用。根据对近百年来气候变化的研究表明,全球气候变化和人类活动对水资源具有重要影响。20世纪90年代,我国雨带南移,降水呈南涝北旱趋势;进入21世纪后,雨带北抬,南方降雨减少,但暴雨干旱等极端气候事件频发。在全球气候变化与社会经济快速发展情况下,我国未来水文情势具有很大的不确定性,现状水资源供需矛盾在未来愈加突出。因此,该领域的主要研究内容是涉及未来我国水资源安全问题的前沿科技问题,包括变化环境下流域水循环演变、水资源系统科学与管理以及农业水资源高效利用,提出未来我国水资源安全面临的科技前沿问题,包括:变化条件下多尺度水文过程与水资源变化情势以及我国地面-地下-天空径流相互转换与调控机制研究;以水信息为基础的水文水资源预测评价模型与方法研究;跨流域调水的经济和社会影响、环境生态效应与关键技术研究;节水灌溉理论与技术、节水灌溉的水文及生态环境效应和粮食安全的水资源保障体系研究等。

(2) 河流、海岸水沙与生态环境的演变与调控。内容涉及泥沙运动力学与河流、海岸水沙环境演变的相关内容,包括泥沙运动力学、河床演变学、环境水利学与海岸工程学等。21世纪以来,随着水土保持与工程调控措施取得显著成效,黄河下游断流与严重淤

积现象得到缓解,然而我国河流-湖泊-近海泥沙与生态环境仍面临严峻形势,表现为水资源的过度开发,导致河流数目减少;河流泥沙淤积,导致河流功能衰减和河道萎缩、水环境恶化,河流、湖泊、水库、地下水水质污染问题突出;气候及人类活动综合作用引起黄河长江来水来沙量减少,导致近年河湖关系变化、河口海岸侵蚀,生态系统受到一定影响。因此,该领域主要前沿科技问题包括:水沙运动与生态环境的多尺度交互作用机理;各种人类活动因素、对生态环境影响的相互耦联作用;河流系统的宏观平衡与生态环境修复的关键要素等。

(3) 洪旱灾害成灾机制、风险评价与防御。内容涉及水旱灾害的成因机制、预测预报与风险决策的研究,其中包括江河洪水、城市洪涝、山洪泥石流、沿海风暴潮以及干旱等灾害。受极端气候条件和高强度人类活动的影响,我国水旱灾害尤其是大中城市区的城市洪涝、山地丘陵区山洪与滑坡泥石流威胁日趋严重。目前,我国大江大河防洪减灾体系已基本形成,但防御特大洪涝灾害能力仍较薄弱。水旱灾害防御的前沿科技问题包括:水旱灾害机理特别是大中城市洪涝灾害机理研究;灾害时空分布规律与预报预警方法、动态风险管理系统以及洪旱灾害防御中的信息化与决策应急系统研究等。

(4) 水能开发利用与风能、太阳能等其他可再生能源调节互补。涉及水力发电(包括抽水蓄能发电)、风力发电、太阳能发电,以及未来海洋能利用等在绿色、低碳、可再生能源发展中的作用与前沿科学问题。水电能源开发具有防洪、发电、供水、航运、改善环境等综合效益的同时,还对我国低碳能源战略的实施起重要作用,并对未来大规模风电、太阳能发电并网起调峰补偿作用。然而水能资源开发面临的主要问题是综合高效利用流域水能资源的同时,如何减少对生态环境的负面影响及解决水库移民问题。因此,水电能源开发需要研究的前沿科技问题有:水电能源开发与我国资源配置和能源结构调整的协同规划问题;梯级水电站群防洪、发电、航运、供水和生态环境等综合优化调度研究;河流梯级化流域

生态环境演化机制与调控问题以及移民问题等。

(5) 梯级高坝水电站群长期安全高效运行。高坝梯级水电站的长期安全运行涉及坝下游人民生命财产安全,是水安全的重要组成部分。截至2010年,我国已建在建30m以上大坝5564座,其中高坝梯级水电站主要集中于西南地区,坝高、装机、库容、泄洪流量等均超过国内外已有水平,同时坝址又处于地震高烈度区,地质条件复杂,地下电站规模巨大。因此,高坝水库群的长期运行安全是水安全保障的基本战略要求。这方面内容包含在第九至十四章等中。其中的前沿科技问题包括:高坝水电站长期性能与流固热力学行为研究;高坝地震“震源-坝址-大坝”响应全过程模拟,以及强震作用下库群灾害链与抗震关键技术研究;岩石地基与坝体材料宏细观力学性能及其非平衡演化与破坏机理研究;高坝泄洪消能与高土石坝洪水溃坝过程研究等。

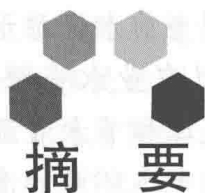
(6) 水利工程智能管理与水利移民工程。随着新中国的成立特别是改革开放后的经济转型,水利工程在大发展的同时经历了建设管理模式的巨大转变,面临水资源综合利用、包括移民在内的各利益相关方和谐管理及人与自然生态的可持续化发展等的严峻挑战,由此引发的社会问题突出。所以,水利工程是涉及社会、经济、生态环境及各利益相关方的复杂系统。基于我国水利工程的成功实践和经验积累,实现水利工程复杂系统的科学化、可持续化、智能化管理是该领域研究的核心内容。主要前沿问题包括:水利水电工程各利益相关方合作共赢的理论、基于系统论的工程决策、建设过程管理的信息化与智能化研究;水利移民补偿理论和模式、移民社会系统及其重构过程,以及水利移民实施管理研究。

在本战略研究报告的研讨与撰写过程中,由专家组提出总体框架和编写大纲,相关领域专家学者参与书稿的撰写工作,并由主审专家组逐章对文稿进行审阅并提出修改建议(各章撰写者与主审专家名单附后),在此对他们的辛勤工作表示诚挚感谢。我们在本战略研究报告中力求全面反映水利学科及其各分支学科的最新研究进展,但由于篇幅的限制,仍有部分专家学者的科研成果未能收入,

在此谨表歉意。此外，由于认识局限，书中难免存在缺陷和不足，敬请读者批评指正。

张楚汉 王光谦

2015年5月



摘要

本书系统阐述了水利科学与工程学科的现代发展历程、研究现状和发展趋势，展望未来前沿科学与关键技术问题。面对当今水安全情势与挑战，提出了保障我国水安全战略的若干建议。

全书按子学科分类编写，共十七章，包括综论；第一章：水文学——变化环境下流域水循环演变与工程水文；第二章：水资源——系统分析理论与可持续利用；第三章：农田水利学——作物耗水过程与农业水资源高效利用；第四章：河流动力学——泥沙运动学与流域水沙环境演变；第五章：环境水利学——河流系统的水环境与生态；第六章：水旱灾害——成因机制、预测预报与风险决策；第七章：水能利用——水电与其他可再生能源的开发利用；第八章：海岸工程学——近岸动力过程及其工程响应；第九章：工程水力学——河渠水流特性及枢纽泄洪消能与水力调控；第十章：水工建筑学——梯级枢纽工程全生命期性能演化与安全；第十一章：水工混凝土——工程特性与多尺度力学；第十二章：岩石力学与工程——多场耦合条件下裂隙岩体非平衡演化与控制；第十三章：土力学——土的本构模型、数值方法与测评技术；第十四章：水力机械动力学——多相介质流动特性及流固相互作用与控制；第十五章：水利工程管理——建设管理过程信息化与智能化；第十六章：水利移民工程——综合经济、社会与管理的系统工程。

本书内容撰写着重围绕下列六个关键科技问题展开。

(1) 变化条件下的水文、水资源与农业水资源高效利用。主要内容集中于第一至三章。第一章重点阐述全球气候变化与人类活动环境下流域水循环演变规律、水文模型与预测预报方法以及工程水文学的新进展；第二章提出变化条件下水资源模型与分析方法，其中重点阐述自然与社会经济活动两者相互结合的“自然-社会”二

元水循环模型,提出了我国当前水资源形势与最严格水资源管理制度的内涵与关键;第三章以农业水资源高效利用和粮食保障为目标,论述农作物耗水过程机理和节水灌溉技术的发展。

(2) 河流、海岸水沙与生态环境的演变与调控。主要内容集中于第四、五、八章。第四章重点关注泥沙运动与流域水沙环境演变,涉及泥沙动力学、河流演变与工程泥沙问题;第五章阐述水动力与生态环境过程、河流生态环境模拟以及水利工程的影响与调控;第八章海岸工程学内容涵盖海岸水动力学、海岸泥沙与水环境以及海岸工程的研究进展与前沿问题。

(3) 洪旱灾害成灾机理、风险评价与防御。第六章总结了我国五大涉水灾害,即江河洪水、城市洪涝、山洪泥石流、沿海风暴潮与干旱等的成灾机理、预测预报模型方法与风险控制问题。

(4) 水能开发利用与风能、太阳能等其他可再生能源调节互补。第七章重点阐述水电与风电、太阳能、海洋能发电的关键技术以及各种可再生能源之间的调节互补作用。

(5) 梯级高坝水电站群长期安全高效运行。主要内容集中于第九至十四各章。第九章以河渠水流特性与高速水流为基础,重点围绕防洪、高坝泄洪消能与水力调控以及跨流域调水中的长距离输水等水力学问题阐述;第十、十一章围绕水电枢纽与高坝工程建筑的长期、安全运行目标,阐述高混凝土坝与土石坝、水工混凝土材料的长期性能演化规律,在水流、大气、环境温度以及在强震荷载作用下的响应行为与安全分析的模型方法,介绍了若干筑坝新技术与混凝土智能温度控制的理念与实践;第十二、十三章涵盖岩土力学与工程的研究进展与前沿问题,其中岩石力学与工程方面以岩体赋存环境、渗流与多场耦合、非连续介质力学为重点,运用非平衡力学理论解决岩石工程稳定控制问题;在土力学方面重点总结了土的本构强度理论模型以及非饱和土、冻土、土动力学前沿,叙述了土工测试技术的进展;第十四章阐述了水力机械内部流动理论,空化与多相流模型以及流-固耦合作用与响应。

(6) 水利工程智能化管理以及水利移民工程的科学化与可持续

发展。第十五章重点阐述水利工程从建设到运行全过程的信息化智能化管理；第十六章围绕水利移民的科学化与可持续发展目标，从经济学、社会学与管理学三个视角阐述水利移民工程的主要问题。

本战略研究报告可供政府部门、科研管理机构在制定相关学科战略规划时参考，也可供科研院所、高等学校的科技工作者、工程师和研究生在科学研究中参考。