

学术引领系列



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION



国家科学思想库

“十二五”国家重点图书出版规划项目

中国学科发展战略

土木工程与工程力学

国家自然科学基金委员会
中国科学院



科学出版社



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION



国家科学思想库

“十二五”国家重点图书出版规划项目

中国学科发展战略

土木工程与工程力学

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

土木工程与工程力学/国家自然科学基金委员会, 中国科学院编.
—北京: 科学出版社, 2016.11

(中国学科发展战略)

ISBN 978-7-03-050750-1

I. ①土… II. ①国… ②中… III. ①土木工程-学科发展-发展战略-中国
②工程力学-学科发展-发展战略-中国 IV. ①TU-12②TB12-12

中国版本图书馆CIP数据核字 (2016) 第280121号

丛书策划: 侯俊琳 牛 玲

责任编辑: 侯俊琳 杨婵娟 吴春花 / 责任校对: 李 影

责任印制: 徐晓晨 / 封面设计: 黄华斌 陈 敬

编辑部电话: 010-64035853

E-mail: houjunlin@mail.sciencep.com

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>

北京市京华虎彩印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年11月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2016年11月第一次印刷 印张: 14 3/4

字数: 297 000

定价: 75.00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：王恩哥 朱道本 傅伯杰 李树深 杨 卫
武维华 曹效业 李 婷 王敬泽 高瑞平
王常锐 韩 宇 郑永和 孟庆国 陈拥军
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 孟庆峰 吴善超 李铭禄 董 超
孙 粒 王敬泽 王振宇 钱莹洁 薛 淮
冯 霞 赵剑峰

中国学科发展战略·土木工程与工程力学

项 目 组

组 长：程耿东

成 员：（以姓氏拼音为序）

陈祖煜 杜修力 赖远明 李 刚 李宏男

李 杰 茹继平 宋振骥 杨迪雄 詹世革

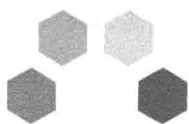
钟万勰

学术秘书：杨迪雄

编 写 组

组 长：程耿东

主要成员：杨迪雄 李 刚



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增长点或交叉学科，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 and 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

本书开展土木工程与工程力学学科发展战略的研究，重点是土木工程和工程力学的交叉领域。这一领域的研究成果和技术进步直接服务于我国重大基础设施的建设和安全服役。改革开放以来及今后相当长的一个时期，我国经济建设处于高速及中高速发展阶段，大规模基础设施建设已经并将在相当长的时间内持续地蓬勃发展。这些大规模基础设施的建设和安全服役对于提高国家综合实力、改善民生、发展经济，以及全面建成小康社会具有非常重要的意义。

土木工程是一门工程学科，主要研究人类社会生产、生活及国防中基础设施建设有关的工程与科学问题。各类不同的基础设施有不同的功能要求，土木工程学科的重点是从理论和技术上确保在各种可能出现的环境荷载下基础设施的完整性，以支撑基础设施满足其功能需求。工程力学、工程材料、工程实验、计算科学等学科或学科分支是土木工程的支撑学科。土木工程的实践和学科发展已有悠久的历史，从各种土木工程材料到各类结构，从设计施工监控到维护，国内外都有大量的规范/规程可以或必须遵循。但是，一是随着新结构、新材料、超规范/规程工程的出现，需要不断研究新理论和方法；二是由于环境的变化或社会对基础设施需求的变化，已有的规范/规程仍然需要不断地修改与完善。这些都推动着土木工程学科的发展。

力学是关于力、运动及其关系的科学，主要研究介质运动、变形、流动的宏微观行为，揭示力学过程及其与物理、化学、生物学等过程的相互作用规律。工程力学是力学与工程结合的学科分支，针对工程技术和科学中的力学问题，研究其理论、方法和应用，在

土木工程、水利工程、海洋工程、交通工程、机械工程、航空航天工程、材料工程等工程科学中都起着支撑作用，是这些学科的基础学科之一。

《中国学科发展战略·土木工程与工程力学》着重围绕我国经济建设和社会可持续发展对该学科的重大需求，论述了学科领域的科学意义与战略价值。遵照学科发展的自身规律和基础研究的特点，把握世界范围内土木工程与工程力学学科的前沿、动态，以及信息化、智能化的时代特征，研究了该领域发展的中长期趋势和新方向，调查了解了我国土木工程实践与科技工作者在相应学科领域研究中的贡献和地位。结合我国国民经济和国防建设的重大需求，综合本领域一批科技工作者的意见，对学科前沿重大科学问题、重大战略方向和资助机制提出了建议。从六个方面探讨了土木工程与工程力学学科的重点发展方向，包括：城市化进程中的基础设施建设；能源需求牵动的土木工程；重大基础设施的防灾减灾；可持续发展的土木工程；土木工程信息化和数字化；土木工程中的工程力学。

中国科学院技术科学部于2011年1月启动了“土木工程与工程力学学科发展战略研究”项目，2013年1月该项目被立为国家自然科学基金委员会和中国科学院联合资助的发展战略研究项目。项目组由来自大连理工大学、国家自然科学基金委员会、中国科学院、中国水利水电科学研究院、同济大学、北京工业大学、山东科技大学等单位长期从事土木工程与工程力学领域分支学科研究的著名专家和中青年学者组成。在“土木工程与工程力学学科发展战略研究”项目执行期（2011年1月～2015年12月），我们对相关领域内国家自然科学基金项目资助情况、国家重点基础研究发展计划（973计划）等发布的研究指南和有关的项目申请，以及国家科技奖励获奖情况，进行了一定的调研；参加或旁听了中国工程院和中国科学院组织的多个相关论坛；和大连理工大学图书馆专家合作，调研了国内外相关重要期刊和出版物的近期出版情况。

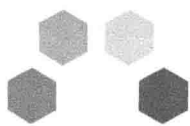
在“土木工程与工程力学学科发展战略研究”项目的研讨、报

告撰写和修改过程中，得到了我国相关领域的众多院士、专家的鼎力支持和帮助。我们召开了多次土木工程与工程力学学科发展战略研讨会，与会专家在研讨会上提出了宝贵、中肯的意见与建议；邀请了一批相关专家，特别是一批 973 计划项目首席科学家提供相关资料，撰写或修改了战略研究报告的部分内容；各部分的内容先后分送给了相关专家审阅。专家为《中国学科发展战略·土木工程与工程力学》的撰写、修改和审阅付出了心血和智慧，对提高研究报告的质量做出了重要贡献。在本报告的编写过程中，杨迪雄教授投入了大量的精力执笔和审阅，李刚教授执笔了部分文稿。

由于土木工程与工程力学学科发展战略研究覆盖的内容浩瀚如海，项目组人员知识和视野有限，不足之处敬请读者批评指正。

程耿东

2016 年 6 月



摘 要

土木工程是一门工程学科，主要研究人类社会生产、生活及国防中基础设施建设有关的工程与科学问题。各类不同的基础设施有不同的功能要求，土木工程学科的重点是从理论和技术上确保在各种可能出现的环境荷载下基础设施的完整性，以支撑基础设施满足其功能需求。工程力学、工程材料、工程实验、计算科学等学科或学科分支是土木工程的支撑学科。土木工程理论与应用发展到今天，从各种土木工程材料到各类结构，从设计施工监控到维护，国内外都有大量的规范/规程可以或必须遵循。但是，一是随着新结构、新材料、超规范/规程工程的出现，需要不断研究新理论和方法；二是由于环境的变化或社会对基础设施需求的变化，已有的规范/规程仍然需要不断地修改与完善。这些都推动着土木工程学科的发展。

力学是关于力、运动及其关系的科学，主要研究介质运动、变形、流动的宏、微观行为，揭示力学过程及其与物理、化学、生物学等过程的相互作用规律。工程力学是力学与工程结合的学科分支，针对工程技术和科学中的力学问题，研究其理论、方法和应用，在土木工程、水利工程、海洋工程、交通工程、机械工程、航空航天工程、材料工程等工程科学中都起着支撑作用，是这些工程学科的基础学科之一。

工程力学覆盖了非常广泛的问题，不同的工程领域关注不同的力学问题。本报告提及的工程力学是指与土木工程基础设施建设有关的力学理论、方法与试验，而不涉及航空航天工程、船舶工程等学科中的薄壁结构力学、空气动力学、水动力学等内容。因此，本

报告探讨“土木工程及其工程力学学科”的发展战略，但为了表述简洁，这里采用“土木工程与工程力学学科”的名称。

实际上，土木工程和工程力学在历史的进程中，不仅在各自的学科领域独立发展，而且一直在一些共同耕耘的领域相互支持、协同发展。混凝土结构的强度提高、开裂防治、破坏机理和防控问题的解决依赖于固体力学强度理论、本构理论和断裂力学、损伤力学理论，有限元理论和计算力学的发展不仅为土木工程界提供了复杂结构力学响应分析、破坏模拟的强大工具，并且彻底改变了土木工程结构设计、施工和运行管理的局面。土木工程发展中提出的一系列科学问题也为工程力学提供了知识创新的素材和动力，以及理论验证的平台，并且丰富和扩展了工程力学的学科内涵和知识范围。地震工程和风工程的发展需求大大推进了结构动力学、空气动力学、随机振动理论的深入发展，而结构动力学、空气动力学和随机振动理论的纵深发展带动了地震工程和风工程的内涵提升。在工程结构分析方面，土木工程和工程力学学者都为以有限元方法为代表的计算力学发展和应用做出了重要而不可或缺贡献。

在我国国民经济和国防建设中，大量的投资用于土木工程，包括建筑工程、道路桥梁和交通工程、港口和海洋工程结构、隧道和各类地下工程、水利水电核能风能等基础设施建设。随着国家综合实力的提高，拟建和在建的重大工程规模、数量和资金投入量之大是空前的，在世界范围处于领先地位。截至2015年，世界上高度前10位的高层建筑，我国有6座；世界上跨度最大的10座斜拉桥，我国有7座；世界上跨度最大的10座悬索桥，我国有5座。截至2015年，我国高速铁路运营总里程达到1.9万千米，位居世界第一；我国高速公路总里程达到11.8万千米，也居世界第一。近年来，我国相继制定了一系列重大能源和资源基础设施、交通基础设施和城市大型建筑等重大工程建设规划，如“西电东送”“西气东输”和“7918”国家高速公路网等。未来20~30年仍是我国大规模基础设施建设的高峰期，重大工程建设将是基础设施建设中的难点和重点任务。这些基础设施的建设质量及它们的经济性、安全性和耐久

性对于我们社会高速、稳定和持续发展至关重要，是我国经济发展和社会进步的重要方面。

我国这些重大工程设施，规模之宏大、数量之众多、环境介质之复杂是人类历史上前所未有的，它们对土木工程科学与技术提出了严峻的挑战，其成功建设和安全运行将高度体现我国科学技术的发展水平。抓住我国大规模工程建设的历史机遇，结合国家重大需求开展原创性研究，我国学者应该力争也一定会在工程设计、建设与维护理论和工程力学等方面的方法和理论上取得突破性、标志性成果，在新方法、新技术的发展上有更多的贡献，在世界土木工程和工程力学界具有更高的地位和影响力。

“土木工程与工程力学学科发展战略研究”项目的覆盖范围是土木工程和工程力学的交叉领域。这一领域的研究成果直接服务于我国重大基础设施建设和安全服役。我国正在努力实现全面建成小康社会的目标，在这一特定的历史发展阶段，大规模的重大基础设施建设是一个时代特征，也是国家实现现代化的一个重要基础。

《中国学科发展战略·土木工程与工程力学》着重围绕我国经济建设和社会发展对该学科的重大需求，论述了学科领域的科学意义与战略价值。遵照学科发展的自身规律和基础研究的特点，把握世界范围内土木工程与工程力学学科的前沿、动态，以及信息化、智能化的时代特征，研究了该领域发展的中长期趋势和新方向，调查了解了我国土木工程实践与科技工作者在相应学科领域研究中的贡献和地位。结合我国国民经济和国防建设的重大需求，综合本领域一批专家学者的意见，对学科前沿重大科学问题、重大战略方向和资助机制提出了建议。本项目主要研究土木工程与工程力学学科的发展战略，可为该学科领域的发展提供重要的参考。

综合分析当前形势和前瞻未来发展，土木工程与工程力学学科的国际研究前沿和基本发展趋势表现在以下诸方面。

1. 从单一学科领域研究到多学科综合研究的发展

工程结构安全研究已从传统的以力学为核心的研究发展到以力学为基础，融合材料学、数学、物理学、信息技术乃至生物学多

方位综合的研究格局。非线性、多尺度、多场耦合、纳米科学、生物技术等日益成为土木工程与工程力学学科共同关注的焦点。

2. 从单一灾害研究向多种灾害、多重风险综合研究的发展

进入 21 世纪,从 20 世纪 50 年代的地震工程学、70 年代的风工程学、90 年代的火灾工程学,逐步自觉地发展为考虑多种灾害、多重风险的研究格局。

3. 从确定性设计理念向考虑不确定性的工程决策发展

工程中存在的各种不确定性及其所引发的风险,日益得到国际学术界、技术界与公共社会的关心,深入研究各类不确定性的表征、量化和传播规律,基于可靠性分析和风险评估进行重大工程决策正在世界范围内达成共识。

4. 从对工程安全极限状态的关注向综合考虑工程全寿命服役功能发展

大规模的工程建设高潮之后,以综合考虑工程全寿命服役功能的基础研究、实现基于性能的工程全寿命设计成为过去 20 年国际工程科学学术前沿的鲜明标志。

5. 信息与智能技术在工程建设领域引发一系列新研究方向

基于图像的实验测量技术、结构控制与健康监测、智能建筑、智慧城市、智能工程、工程数字化设计与运行、建筑信息建模 (building information modeling, BIM) 技术应用等,不断形成全新的研究方向。

6. 对工程建设的社会效应研究开始走向工程科学研究前沿

重大基础设施建设和安全服役直接关系到民生和社会安全,将工程、技术、经济和社会等因素加以综合,进行自然科学与社会科学层面的综合研究开始走向国际学术舞台前沿。

《中国学科发展战略·土木工程与工程力学》着重面向我国国民经济建设和社会可持续发展的重大需求及信息化、智能化的时代潮流,结合学科前沿和发展趋势,围绕我国基础设施建设的实践和发展需求来探讨土木工程与工程力学学科发展面临的挑战与机遇。按照这样的视角和理解,本书从以下六个方面来探讨土木工程与工程力学学科的重点发展方向。

1. 城市化进程中的基础设施建设

人类社会已经进入“城市世纪”。如何应对快速城市化、贫困、资源与环境等方面的挑战将在很大程度上决定着世界的未来。在应对这些挑战时，大规模的基础设施建设起着关键的作用。城市化是发展中国家向发达国家发展过程中的必然趋势。发展中国家的城市化呈现出明显的人口向中心城市集聚的趋势，出现了城市连绵区和巨型区域。但是，城市和城市连绵区发展到一定阶段会产生很多问题，概括为“城市病”。世界城镇化面临的这些问题使得新时期的城镇化正处在结构转型的关键时期，发达国家绿色城市化和新的城乡统筹模式探求成为新的趋势。中国也在适应时代的需要，大力推进基于可持续性理念的新型城市化战略，以城市群、网络化城市为未来城镇化进一步推进的主体形态，即通过现代化的交通、通信体系，把一个区域内的特大城市和中小城市整合起来，形成城市网络，并通过城市间基础设施一体化实现大中小城市的“同城化”。在这一过程中，一大批超高层建筑、超大跨结构、城市地下交通及城市间交通、供电供气供水及通信等基础设施在我国各地建成或正在建设，其对设计、建设和维护提出了大量的科学和技术问题，解决这些问题对于国家经济发展和社会稳定具有十分重要的意义，也是社会可持续发展的科学基础。此方面的主要研究方向包括：超高层和超大跨等重大工程结构的全寿命设计；城市地下交通、地下工程和城市间交通工程（包括高铁、地铁等轨道交通及隧道、大型地下空间）的施工建设和服役中的安全性和可靠性。

2. 能源需求牵动的土木工程

自 2011 年，我国已经超过日本成为继美国之后的第二大经济强国。根据 2013 年 7 月发布的《2013 年 BP 世界能源统计年鉴》(BP Statistical Review of World Energy June 2013)，从 2009 年开始，中国一次能源消费量连续 4 年位居世界第一。2014 年 2 月 24 日，国家统计局发布《2013 年国民经济和社会发展统计公报》，经初步核算，2013 年全年能源消费总量为 39 亿吨标准煤，比 2012 年增长 3.7%。能源问题已经成为制约我国经济、社会更好更快发展的瓶颈。没有