

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

控制科学

中国科学院



科学出版社

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

控制科学

中国科学院

科学出版社
北京

图书在版编目(CIP)数据

控制科学/中国科学院编. —北京: 科学出版社, 2015.

(中国学科发展战略)

ISBN 978-7-03-041069-6

I. ①控… II. ①中… III. ①自动化技术—学科发展—发展战略—中国
IV. ①TP2-12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 127757 号

丛书策划: 侯俊琳 牛玲

责任编辑: 邹聪 程凤 / 责任校对: 韩杨

责任印制: 赵博 / 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>

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

*

2015年7月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2015年7月第一次印刷 印张: 41 3/4

字数: 780 000

定价: 198.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

中国学科发展战略

指 导 组

组 长：白春礼

副组长：李静海 秦大河

成 员：詹文龙 朱道本 陈 颢

陈宜瑜 李 未 顾秉林

工 作 组

组 长：李 婷

副组长：王敬泽 刘春杰

成 员：钱莹洁 马新勇 申倚敏

薛 淮 张家元 林宏侠

冯 霞 赵剑峰

中国学科发展战略·控制科学

专 家 组

成 员：（以姓氏拼音为序）

包为民 柴天佑 陈翰馥

丁荣军 郭 雷 李衍达

王天然 王子才 吴 澄

吴宏鑫 钟万勰

研 究 组

成 员：（以姓氏拼音为序）

段志生 黄 琳 李忠奎

刘 蕾 王金枝 杨剑影

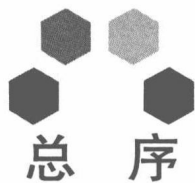
杨 莹

中国学科发展战略·控制科学

工 作 组

成 员：(以姓氏拼音为序)

蔡开元	曹希仁	曹一家
陈关荣	陈虹	陈杰
陈宗基	程代展	褚健
丛爽	董海荣	段广仁
耿志勇	关新平	桂卫华
郭宝珠	洪奕光	胡包钢
胡豁生	黄捷	姜钟平
匡森	柳嘉润	吕金虎
梅生伟	宁滨	钱锋
谭民	王成红	王飞跃
王宏	王科俊	王龙
王行愚	席裕庚	谢立华
张化光	张纪峰	赵千川
周东华	邹云	



九层之台，起于累土^①

白春礼

近代科学诞生以来，科学的光辉引领和促进了人类文明的进步，在人类不断深化对自然和社会认识的过程中，形成了以学科为重要标志的、丰富的科学知识体系。学科不但是科学知识的基本的单元，同时也是科学活动的基本单元：每一学科都有其特定的问题域、研究方法、学术传统乃至学术共同体，都有其独特的历史发展轨迹；学科内和学科间的思想互动，为科学创新提供了原动力。因此，发展科技，必须研究并把握学科内部运作及其与社会相互作用的机制及规律。

中国科学院学部作为我国自然科学的最高学术机构和国家在科学技术方面的最高咨询机构，历来十分重视研究学科发展战略。2009年4月与国家自然科学基金委员会联合启动了“2011~2020年我国学科发展战略研究”19个专题咨询研究，并组建了总体报告研究组。在此工作基础上，为持续深入开展有关研究，学部于2010年底，在一些特定的领域和方向上重点部署了学科发展战略研究项目，研究成果现以“中国学科发展战略”丛书形式系列出版，供大家交流讨论，希望起到引导之效。

根据学科发展战略研究总体研究工作成果，我们特别注意到学

^① 题注：李耳《老子》第64章：“合抱之木，生于毫末；九层之台，起于累土；千里之行，始于足下。”

科发展的以下几方面的特征和趋势。

一是学科发展已越出单一学科的范围，呈现出集群化发展的态势，呈现出多学科互动共同导致学科分化整合的机制。学科间交叉和融合、重点突破和“整体统一”，成为许多相关学科得以实现集群式发展的重要方式，一些学科边界更加模糊。

二是学科发展体现了一定的周期性，一般要经历源头创新期、创新密集区、完善与扩散期，并在科学革命性突破的基础上螺旋上升式发展，进入新一轮发展周期。根据不同阶段的学科发展特点，实现学科均衡与协调发展成为了学科整体发展的必然要求。

三是学科发展的驱动因素、研究方式和表征方式发生了相应的变化。学科的发展以好奇心牵引下的问题驱动为主，逐渐向社会需求牵引下的问题驱动转变；计算成为了理论、实验之外的第三种研究方式；基于动态模拟和图像显示等信息技术，为各学科纯粹的抽象数学语言提供了更加生动、直观的辅助表征手段。

四是科学方法和工具的突破与学科发展互相促进作用更加显著。技术科学的进步为激发新现象并揭示物质多尺度、极端条件下的本质和规律提供了积极有效手段。同时，学科的进步也为技术科学的发展和催生战略新兴产业奠定了重要基础。

五是文化、制度成为了促进学科发展的重要前提。崇尚科学精神的文化环境、避免过多行政干预和利益博弈的制度建设、追求可持续发展的目标和思想，将不仅极大促进传统学科和当代新兴学科快速发展，而且也为人人才成长并进而促进学科创新提供了必要条件。

我国学科体系系由西方移植而来，学科制度的跨文化移植及其在中国文化中的本土化进程，延续已达百年之久，至今仍未结束。

鸦片战争之后，代数学、微积分、三角学、概率论、解析几何、力学、声学、光学、电学、化学、生物学和工程科学等的近代科学知识被介绍到中国，其中有些知识成为一些学堂和书院的教学内容。1904年清政府颁布“癸卯学制”，该学制将科学技术分为格致科（自然科学）、农业科、工艺科和医术科，各科又分为诸多学

科。1905年清朝废除科举，此后中国传统学科体系逐步被来自西方的新学科体系取代。

民国时期现代教育发展较快，科学社团与科研机构纷纷创建，现代学科体系的框架基础成型，一些重要学科实现了制度化。大学引进欧美的通才教育模式，培育各学科的人才。1912年詹天佑发起成立中华工程师会，该会后来与类似团体合为中国工程师学会。1914年留学美国的学者创办中国科学社。1922年中国地质学会成立，此后，生理、地理、气象、天文、植物、动物、物理、化学、机械、水利、统计、航空、药学、医学、农学、数学等学科的学会相继创建。这些学会及其创办的《科学》、《工程》等期刊加速了现代学科体系在中国的构建和本土化。1928年国民政府创建中央研究院，这标志着现代科学技术研究在中国的制度化。中央研究院主要开展数学、天文学与气象学、物理学、化学、地质与地理学、生物科学、人类学与考古学、社会科学、工程科学、农林学、医学等学科的研究，将现代学科在中国的建设提升到了研究层次。

中华人民共和国建立之后，学科建设进入了一个新阶段，逐步形成了比较完整的体系。1949年11月新中国组建了中国科学院，建设以学科为基础的各类研究所。1952年，教育部对全国高等学校进行院系调整，推行苏联式的专业教育模式，学科体系不断细化。1956年，国家制定出《十二年科学技术发展远景规划纲要》，该规划包括57项任务和12个重点项目。规划制定过程中形成的“以任务带学科”的理念主导了以后全国科技发展的模式。1978年召开全国科学大会之后，科学技术事业从国防动力向经济动力的转变，推进了科学技术转化为生产力的进程。

科技规划和“任务带学科”模式都加速了我国科研的尖端研究，有力带动了核技术、航天技术、电子学、半导体、计算技术、自动化等前沿学科建设与新方向的开辟，填补了学科和领域的空白，不断奠定工业化建设与国防建设的科学技术基础。不过，这种模式在某些时期或多或少地弱化了学科的基础建设、前瞻发展与创新活力。比如，发展尖端技术的任务直接带动了计算机技术的兴起

与计算机的研制，但科研力量长期跟着任务走，而对学科建设着力不够，已成为制约我国计算机科学技术发展的“短板”。面对建设创新型国家的历史使命，我国亟待夯实学科基础，为科学技术的持续发展与创新能力的提升而开辟知识源泉。

反思现代科学学科制度在我国移植与本土化的进程，应该看到，20世纪上半叶，由于西方列强和日本入侵，再加上频繁的内战，科学与救亡结下了不解之缘，新中国建立以来，更是长期面临着经济建设和国家安全的紧迫任务。中国科学家、政治家、思想家乃至一般民众均不得不以实用的心态考虑科学及学科发展问题，我国科学体制缺乏应有的学科独立发展空间和学术自主意识。改革开放以来，中国取得了卓越的经济建设成就，今天我们可以也应该静下心来思考“任务”与学科的相互关系，重审学科发展战略。

现代科学不仅表现为其最终成果的科学知识，还包括这些知识背后的科学方法、科学思想和科学精神，以及让科学得以运行的科学体制，科学家的行为规范和科学价值观。相对于我国的传统文化，现代科学是一个“陌生的”、“移植的”东西。尽管西方科学传入我国已有一百多年的历史，但我们更多地还是关注器物层面，强调科学之实用价值，而较少触及科学的文化层面，未能有效而普遍地触及整个科学文化的移植和本土化问题。中国传统文化以及当今的社会文化仍在深刻地影响着中国科学的灵魂。可以说，迄20世纪结束，我国移植了现代科学及其学科体制，却在很大程度上拒斥与之相关的科学文化及相应制度安排。

科学是一项探索真理的事业，学科发展也有其内在的目标，探索真理的目标。在科技政策制定过程中，以外在的目标替代学科发展的内在目标，或是只看到外在目标而未能看到内在目标，均是不适当的。现代科学制度化进程的含义就在于：探索真理对于人类发展来说是必要的和有至上价值的，因而现代社会和国家须为探索真理的事业和人们提供制度性的支持和保护，须为之提供稳定的经费支持，更须为之提供基本的学术自由。

20世纪以来，科学与国家的目的不可分割地联系在一起，科

学事业的发展不可避免地要接受来自政府的直接或间接的支持、监督或干预，但这并不意味着，从此便不再谈科学自主和自由。事实上，在现当代条件下，在制定国家科技政策时充分考虑“任务”和学科的平衡，不但是最大限度实现学术自由、提升科学创造活力的有效路径，同时也是让科学服务于国家和社会需要的最有效的做法。这里存在着这样一种辩证法：科学技术系统只有在具有高度创造活力的情形下，才能在创新型国家建设过程中发挥最大作用。

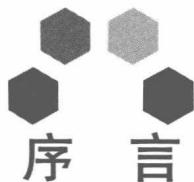
在全社会范围内创造一种允许失败、自由探讨的科研氛围；尊重学科发展的内在规律，让科研人员充分发挥自己的创造潜能；充分尊重科学家的个人自由，不以“任务”作为学科发展的目标，让科学共同体自主地来决定学科的发展方向。这样做的结果往往比事先规划要更加激动人心。比如，19世纪末德国化学学科的发展史就充分说明了这一点。从内部条件上讲，首先是由于洪堡兄弟所创办的新型大学模式，主张教与学的自由、教学与研究相结合，使得自由创新成为德国的主流学术生态。从外部环境来看，德国是一个后发国家，不像英、法等国拥有大量的海外殖民地，只有依赖技术创新弥补资源的稀缺。在强大爱国热情的感召下，德国化学家的创新激情迸发，与市场开发相结合，在染料工业、化学制药工业方面进步神速，十余年间便领先于世界。

中国科学院作为国家科技事业“火车头”，有责任提升我国原始创新能力，有责任解决关系国家全局和长远发展的基础性、前瞻性、战略性重大科技问题，有责任引领中国科学走自主创新之路。中国科学院学部汇聚了我国优秀科学家的代表，更要责无旁贷地承担起引领中国科技进步和创新的重任，系统、深入地对自然科学各学科进行前瞻性战略研究。这一研究工作，旨在系统梳理世界自然科学各学科的发展历程，总结各学科的发展规律和内在逻辑，前瞻各学科中长期发展趋势，从而提炼出学科前沿的重大科学问题，提出学科发展的新概念和新思路。开展学科发展战略研究，也要面向我国现代化建设的长远战略需求，系统分析科技创新对人类社会发展 and 我国现代化进程的影响，注重新技术、新方法和新手段研究，

提炼出符合中国发展需求的新问题和重大战略方向。开展学科发展战略研究，还要从支撑学科发展的软、硬件环境和建设国家创新体系的整体要求出发，重点关注学科政策、重点领域、人才培养、经费投入、基础平台、管理体制等核心要素，为学科的均衡、持续、健康发展出谋划策。

2010年，在中国科学院各学部常委会的领导下，各学部依托国内高水平科研教育等单位，积极酝酿和组建了以院士为主体、众多专家参与的学科发展战略研究组。经过各研究组的深入调查和广泛研讨，形成了“中国学科发展战略”丛书，纳入“国家科学思想库—学术引领系列”陆续出版。学部诚挚感谢为学科发展战略研究付出心血的院士、专家们！

按照学部“十二五”工作规划部署，学科发展战略研究将持续开展，希望学科发展战略系列研究报告持续关注前沿，不断推陈出新，引导广大科学家与中国科学院学部一起，把握世界科学发展动态，夯实中国科学发展的基础，共同推动中国科学早日实现创新跨越！



序 言

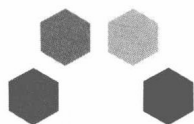
控制科学是关系工农业生产、交通运输、能源与资源的合理利用、计算机与通信网络、航空航天、武器装备乃至社会与经济管理等方面的重要技术科学，对我国经济、社会和国防的发展起着重要的作用。我们面临的环境日益复杂，如极端的工作环境，非线性、不确定性、时变性及多耦合的情况不断增多，要求高精度与高质量，尤其是当今时代信息丰富，呈现出许多新的特征，使控制科学面临前所未有的机遇和挑战。因而我们需要制定一个具有前瞻性的富有深刻意义的发展战略，以便更好地发展我国的控制科学，这也是我国从大国到强国转变所必须占领的一个制高点。

北京大学具有综合学科优势，科学研究氛围好，可以脱离单一学科的局限性，自由探索控制科学的发展趋势及其面临的重要需求。中国科学院信息技术科学部第十四届十二次常务委员会会议认为，依托北京大学由黄琳院士主持完成这项研究是非常合适的，常委会对这项研究寄予很高的期望。经过两年多的努力，发展战略研究组先后举办了两次研讨会和一次前沿论坛，邀请了45位专家做综述报告，在此基础上形成书稿。该书在回顾控制科学发展历程的基础上通过总结成功的经验，对当前新的挑战下控制科学可能的发展做出阐述并提出在新形势下促进其发展的建议，给人以深刻的启迪，是一本具有重要价值的著作。

中国科学院院士

李衍达

2013年12月



前 言

“控制科学学科发展战略”研究项目是经中国科学院信息技术科学部第十四届十二次常务委员会会议决定依托北京大学（简称北大）开展的研究任务，为期两年。接到任务后，我们深知这是一项十分艰巨而有重要意义的工作，仅靠北大的力量是根本无法完成的，必须依靠广大海内外的控制专家共同努力。我们遂积极组织了专家组与工作组，认真做好顶层设计及各项准备与组织工作。为了便于开展研究、尽快完成好报告，我们明确分工与责任，将项目分为总体组，控制理论、航空航天与运动体控制、过程控制、网络控制、交叉学科及其他五个专题组。总体组由北京大学学者组成，负责撰写总报告。我们在全行同行学者中邀请了五位学者担任专题组组长，并邀请了数十位知名学者参与到各专题组，他们或做学术报告或参加会议研讨；各分组又各自邀请了不少专家以开会研讨或撰写报告的形式参与了项目研究。参与本报告撰写与研讨的专家来自海内外数十家单位，他们凭着对控制科学发展的浓厚兴趣和对我国控制事业发展的责任，敢于担当，在科研任务都比较繁重的情况下，积极参与，为圆满完成本报告做出了重要贡献。

参与本研究的专家经过两年多的努力，先后举办了多次研讨会，最终形成了一个总报告与五个分组报告，这些报告凝聚了很多学者的智慧与汗水。总报告经过广泛深入的调研和研讨并部分地参考了分组报告的一些内容，从宏观与顶层的角度阐述了控制科学的发展脉络、分析了现状、提出了问题并给出了一些思考与建议；分组报告着眼于各自学科方向阐述了学科发展情况及未来发展存在的问题。几个分组报告是各组独立完成的，没有要求统一的风格与格

式，而是由各专题组根据自己的实际情况由执笔人与各参与专家用自己认为合适的方式加以完成。

另外，在项目的研究过程中，很多专家在《自动化学报》上发表了综述文章以介绍相关学科分支的发展情况。在撰写分组报告过程中，部分报告采用了这些综述文章的相关内容。

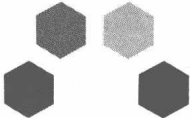
限于时间、能力与知识，本报告可能有很多不尽如人意之处，敬请广大读者批评指正！

本项目研究受中国科学院学部和国家自然科学基金（L1422044）的联合资助，对此我们深致谢意。本项目将在这一联合资助下对控制科学若干分支领域进行持续研究。

北京大学

黄琳

2015年1月



摘 要

控制科学发展的动力主要来自实际需求，实际需求促使我们建立新的理论与方法；学科本身的逻辑发展又促使理论与方法得到深化和完善并向其他领域延拓。这启发我们应该从战略发展的角度出发，根据当今时代信息丰富的特征，归纳总结重大需求和学科的逻辑发展带来的关键科学问题，分析控制科学新的重大需求，新的科技进展为控制科学发展提供的机遇和条件，控制学科发展的瓶颈和新的可能的学科生长点等。基于信息丰富时代对控制科学的定位，本书根据控制科学学科的发展历程，剖析学科发展规律，梳理发展趋势、前沿科学技术和潜在重大应用，凝练科学研究方向和问题，从战略角度形成控制科学相关学科的发展建议。在控制科学发展战略总体报告中，我们阐述了四个方面的内容：①控制科学的定位与学科分支；②历史回顾与启示；③现状分析与探讨；④需求分析、思考与建议。结合控制科学学科五个重点关注领域，即一个基本的和共性的领域——控制理论，以及四种应用领域——航空航天与运动体控制、过程控制、网络控制、交叉学科及其他，给出了五个分组报告。

控制科学属于技术科学的范畴，是实现自动化的核心。控制科学有别于一般的自然科学的地方在于，它更侧重于在认识世界的基础上改造世界，因此它更多地具有“使能科学”的特征。控制科学的定位应是：在信息科学层面，主要研究与控制器设计和实现有关的科学问题。计算机、数据处理、通信和传感技术的迅速发展是当今时代的主要特征。这些为控制科学的发展提供了良好的机遇，也

使控制科学呈现出一些新的特点，这些特点揭示了必须进行研究的新方向。数字化传感器的普及，通信技术和互联网的发展使大量信息的获取与传输越来越容易，这营造了一些控制系统必须面对的新环境，即网络化环境。网络化环境下需要处理的信息形式多样，数量巨大，这促使控制与信息的采集、传输和加工相结合，使信息融合、信息挖掘和信息隐藏等技术成为构建控制系统所需技术；在信息丰富的时代背景下，控制有时面对的不再是单个的对象或系统，而是一个相互有信息联系的系统群——控制网络和多自主体系统；信息技术的革命性变化为控制科学向其他领域的扩展创造了条件，扩大了控制科学“使能”的范围，如量子控制、脑控系统研究，都是当前发展迅速的交叉学科。这些研究都是在多学科交叉中产生和发展起来的，其必将在新兴科学思想的引领下，继续在多学科交叉中取得新的进展。

纵观整个控制理论的发展史，控制科学的重要发展来自人类改造自然的实际需求。解决实际问题的需求促进了控制科学的不断进步。时至今日，多种相对成熟的控制科学理论方法，如PID控制、最优控制、自适应控制、鲁棒控制、非线性动态逆控制、预测控制等，在众多领域内得到了广泛使用。回顾控制科学的发展历程，我们得到了深刻的启示：控制科学是技术科学，需求推动是第一位的；当前控制有哪些关键问题，解决了这些问题就可能带动一个分支发展；未来的发展趋势应该是围绕信息丰富的时代特征展开的；我国现在是制造业大国，但在重大装备制造上，控制器依然是研发与制造的瓶颈。从IT产品到汽车制造我国都是生产大国但并未掌握很多核心技术，其中很多均与控制有关；中国作为一个大国，其国防不可能依靠国外而必须自力更生。我国的国防力量相对于捍卫国家的经济利益和全球性战略利益来说还有较大差距，现代战争实际上是高科技的战争，其中控制科学的作用是显而易见的。今天，我们正处在一个强烈要求创新的时期，不论是出于国防还是企业转型的需要，自动控制势必成为大家关注的中心议题之一。