



2014—2015

系统科学与系统工程 学科发展报告

REPORT ON ADVANCES IN SYSTEMS
SCIENCE AND SYSTEMS ENGINEERING

中国科学技术协会 主编 中国系统工程学会 编著



中国科学技术出版社
CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

2014—2015

系统科学与系统工程

学科发展报告

REPORT ON ADVANCES IN SYSTEMS
SCIENCE AND SYSTEMS ENGINEERING

中国科学技术协会 主编
中国系统工程学会 编著

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

2014—2015 系统科学与系统工程学科发展报告 / 中国科学技术协会主编; 中国系统工程学会编著. —北京: 中国科学技术出版社, 2016.2

(中国科协学科发展研究系列报告)

ISBN 978-7-5046-7078-6

I. ① 2… II. ① 中… ② 中… III. ① 系统科学—学科发展—研究报告—中国—2014—2015 ② 系统工程—学科发展—研究报告—中国—2014—2015 IV. ① N94-12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 025849 号

策划编辑	吕建华 许 慧
责任编辑	郭秋霞
装帧设计	中文天地
责任校对	凌红霞
责任印制	张建农

出 版	中国科学技术出版社
发 行	科学普及出版社发行部
地 址	北京市海淀区中关村南大街16号
邮 编	100081
发行电话	010-62103130
传 真	010-62179148
网 址	http://www.cspbooks.com.cn

开 本	787mm × 1092mm 1/16
字 数	400千字
印 张	19
版 次	2016年4月第1版
印 次	2016年4月第1次印刷
印 刷	北京盛通印刷股份有限公司
书 号	ISBN 978-7-5046-7078-6 / N·206
定 价	76.00元

(凡购买本社图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换)



2014—2015

系统科学与系统工程学科发展报告

首席科学家 汪寿阳

专 家 组 (按姓氏笔画排序)

王红卫 朱桂龙 李一军 杨晓光 杨新民
狄增如 张纪峰 陈国青 凌 文 高自友
黄海军

学术秘书 房 勇 王 珏 部 慧

党的十八届五中全会提出要发挥科技创新在全面创新中的引领作用，推动战略前沿领域创新突破，为经济社会发展提供持久动力。国家“十三五”规划也对科技创新进行了战略部署。

要在科技创新中赢得先机，明确科技发展的重点领域和方向，培育具有竞争新优势的战略支点和突破口十分重要。从2006年开始，中国科协所属全国学会发挥自身优势，聚集全国高质量学术资源和优秀人才队伍，持续开展学科发展研究，通过对相关学科在发展态势、学术影响、代表性成果、国际合作、人才队伍建设等方面的最新进展的梳理和分析以及与国外相关学科的比较，总结学科研究热点与重要进展，提出各学科领域的发展趋势和发展策略，引导学科结构优化调整，推动完善学科布局，促进学科交叉融合和均衡发展。至2013年，共有104个全国学会开展了186项学科发展研究，编辑出版系列学科发展报告186卷，先后有1.8万名专家学者参与了学科发展研讨，有7000余位专家执笔撰写学科发展报告。学科发展研究逐步得到国内外科学界的广泛关注，得到国家有关决策部门的高度重视，为国家超前规划科技创新战略布局、抢占科技发展制高点提供了重要参考。

2014年，中国科协组织33个全国学会，分别就其相关学科或领域的发展状况进行系统研究，编写了33卷学科发展报告（2014—2015）以及1卷学科发展报告综合卷。从本次出版的学科发展报告可以看出，近几年来，我国在基础研究、应用研究和交叉学科研究方面取得了突出性的科研成果，国家科研投入不断增加，科研队伍不断优化和成长，学科结构正在逐步改善，学科的国际合作与交流加强，科技实力和水平不断提升。同时本次学科发展报告也揭示出我国学科发展存在一些问题，包括基础研究薄弱，缺乏重大原创性科研成果；公众理解科学程度不够，给科学决策和学科建设带来负面影响；科研成果转化存在体制机制障碍，创新资源配置碎片化和效率不高；学科制度的设计不能很好地满足学科多样性发展的需求；等等。急切需要从人才、经费、制度、平台、机制等多方面采取措施加以改善，以推动学科建设和科学研究的持续发展。

中国科协所属全国学会是我国科技团体的中坚力量，学科类别齐全，学术资源丰富，汇聚了跨学科、跨行业、跨地域的高层次科技人才。近年来，中国科协通过组织全国学会

开展学科发展研究，逐步形成了相对稳定的研究、编撰和服务管理团队，具有开展学科发展研究的组织和人才优势。2014—2015 学科发展研究报告凝聚着 1200 多位专家学者的心血。在这里我衷心感谢各有关学会的大力支持，衷心感谢各学科专家的积极参与，衷心感谢付出辛勤劳动的全体人员！同时希望中国科协及其所属全国学会紧紧围绕科技创新要求和国家经济社会发展需要，坚持不懈地开展学科研究，继续提高学科发展报告的质量，建立起我国学科发展研究的支撑体系，出成果、出思想、出人才，为我国科技创新夯实基础。

A handwritten signature in black ink, reading '韩东明' (Han Dongming), written in a cursive style.

2016 年 3 月

随着中国经济社会的快速发展，系统科学和系统工程在解决中国社会和经济发展中的重大管理问题时其作用越来越重要。近几年，我国系统科学与系统工程领域的广大科技工作者取得了骄人的成绩，及时全面地向社会展现这些系统科学与系统工程领域的杰出成果非常必要也尤为重要。

作为中国科协领导的一个重要学术组织，中国系统工程学会一直致力于推动和促进系统科学与系统工程的研究与发展，团结广大系统科学和系统工程科技工作者，鼓励研究工作不断创新，加强系统科学与工程在我国国民经济建设和社会进步中的广泛应用，促进优秀人才健康成长和两大学科快速进步。从 2006 年起，中国系统工程学会就积极参与了《中国科协学科发展系列研究报告》的编写工作。今年，学会将再度在中国科协的领导下发布《2014—2015 系统科学与系统工程学科发展报告》，总结我国在这两大领域取得的重大突破和最新进展，探讨学科发展趋势，把握学科未来发展。

系统科学与系统工程是中国科学家在国际上最早参与发展起来的两个学科，中国科学家不仅参与发展了系统科学的一些理论和方法，而且运用系统工程原理和方法解决了我国社会、经济、军事和科技等发展中的一系列重要问题，在系统科学理论与方法、宏观经济管理、工程管理、创新管理、城市管理、交通管理、能源管理、资源管理以及灾害管理、低碳经济等领域成绩斐然，许多工作获得了国家自然科学奖、国家科技进步奖、复旦管理学杰出贡献奖、系统科学与系统工程终身成就奖、一大批省部级奖励和国际重要奖励。我国系统科学与系统工程领域的期刊论文发文量占世界发文量的比例，从 2010 年的 23.5% 增长到 2015 年的 32.1%，成为全球本领域发文数量领先的国家。与此同时，一批优秀科研人员已经成长为学科的领军人才。

目前，中国经济社会发展进入了一个转折期，世界经济也正处在全球经济再平衡的新阶段，这对于系统科学与系统工程学科提出了许多新的挑战，也为系统科学与系统工程的发展提供了巨大的发展空间。未来，中国系统科学与系统工程学科将以服务国家重大战略需求为牵引，以国际学科发展前沿为导向，发挥多学科交叉的优势，瞄准制约中国社会和经济发展的重大瓶颈，聚焦解决国家重大实践问题，培养一大批学科创新人才，推动整个学科发展迈上新的台阶。

我们相信系统科学和系统工程将越来越显现出其强大的生命力和重大的科学价值，进而成为推进我国社会主义现代化建设事业全面、协调、可持续发展的强大理论武器和重要工具手段，成为全人类的宝贵财富！

中国系统工程学会

2015 年 11 月

序 / 韩启德

前言 / 中国系统工程学会

综合报告

系统科学与系统工程发展研究 / 3

一、引言 / 3

二、系统科学与系统工程学科研究进展 / 5

三、国内外研究进展比较 / 18

四、学科发展趋势及展望 / 21

参考文献 / 30

专题报告

系统工程理论与方法研究进展 / 37

社会经济系统研究进展 / 73

交通运输系统工程研究进展 / 101

信息系统工程研究进展 / 115

教育系统工程学科研究进展 / 140

农业系统工程研究进展 / 163

林业、草业系统工程研究进展 / 179

军事系统工程研究进展 / 200

医药卫生系统工程研究进展 / 216

金融系统工程研究进展 / 232

ABSTRACTS IN ENGLISH

Comprehensive Report / 273

Advances in Systems Science and Systems Engineering / 273

Reports on Special Topics / 280

Advances in Systems Engineering Theory and Methods / 280

Advances in Social Economic Systems Engineering / 281

Advances in Transport Systems Engineering / 282

Advances in Information Systems Engineering / 283

Advances in Education Systems Engineering / 283

Advances in Development of Agricultural Systems Engineering / 285

Advances in Forestry and Pasture Systems Engineering / 286

Advances in Military Systems Engineering / 287

Advances in Medicine and Health Systems Engineering / 288

Advances in Financial Systems Engineering / 289

索引 / 291

综合报告





系统科学与系统工程发展研究

一、引言

（一）系统科学与系统工程学科定位

系统科学是研究系统的结构与功能关系、演化和调控规律的科学，是一门新兴的综合性、交叉性学科。系统科学以不同领域的复杂系统为研究对象，从系统和整体的角度，探讨复杂系统的性质和演化规律，目的是揭示各种系统的共性以及演化过程中所遵循的共同规律，发展优化和调控系统的方法，并进而为系统科学在社会、经济、资源、环境、军事、生物等领域的应用提供理论依据^[1-5]。

在系统科学体系中，系统工程是系统科学的工程应用层次，是一类综合性的整体技术、一种综合集成的系统技术、一门整体优化的定量技术。系统工程的主要任务是：确立工程开发目标，分析工程开发的环境，设计出使工程组态与社会环境和自然环境相融合的总体方案，控制最少的物质、人力和时间的均衡投入^[6-8]。它根据系统的总体目标要求，从系统整体性出发，将系统有关理论与技术方法有效结合起来，综合应用科学集成方法，以计算机为工具进行模拟分析，通过系统建模、仿真、分析、评估、优化与设计等途径，以求得最优、满意的系统方案。系统工程应用所涉及的领域极为广泛，涉及各个方面、各个层次，包括军事、工业、农业、交通运输、资源、能源、经济，直至行政、科研、教育、医疗等各个方面^[9, 10]。

系统科学与系统工程强调整体与局部、局部与全局以及层次性，两者之间相互融合交叉。系统工程注重工程技术方法，系统科学侧重研究的系统性与整体性，二者相互结合使得系统更能达到整体最优化^[11, 12]。

（二）系统科学与系统工程学科概貌

系统科学与系统工程是一门正在迅速成长的现代交叉学科，它是在系统科学、系统

工程、计算数学、信息技术、管理科学等学科的基础上产生的一门综合性学科,在我国的社会发展、经济建设、循环经济、节约型社会、工业信息化等方面发挥着不可替代的重要作用。

在推动和促进系统科学与系统工程学科发展方面,中国系统工程学会鼓励系统科学与工程不断创新,促进系统工程在各个领域中推出创新性理论成果和创造性应用成果,促进系统科学与工程在我国国民经济建设和社会进步中的应用。中国系统工程学会每四年召开一次会员代表大会,每两年召开一次学术会议并出版论文集,主题涵盖科学决策与系统工程、发展战略与系统工程、和谐发展与系统工程等。截至 2015 年,学会已成功组织了 18 届全国性学术年会。学会设有工作委员会 6 个,专业委员会 19 个。各专业委员会每年至少组织一次学术会议或工作会议。全国大部分省、市、自治区成立了系统工程学会。目前,全国已有 31 个省市自治区成立了系统工程学会。

此外,自 2012 年起,系统工程学会设立系统科学与系统工程终身成就奖、系统科学与系统工程理论奖和系统科学与系统工程应用奖,分别奖励在系统科学与系统工程领域做出重大贡献、在系统科学与系统工程领域的理论方面做出的创新性成果以及在系统科学与系统工程领域做出的产生显著社会效益或经济效益的应用成果的个人。刘源张、汪应洛、王众托、于景元等领军学者获得系统科学与系统工程终身成就奖,陈光亚、顾基发、黄海军获得系统科学与系统工程理论奖,徐玖平、陈锡康、贾仁安、赵庆祯获得系统科学与系统工程应用奖,他们带领我国系统科学与系统工程的专家学者,推动我国系统领域科学事业蓬勃发展,在宏观经济、大型工程、城市交通、清洁能源,以及灾害管理、应急物流、低碳经济等领域都取得了一系列重要成果。

按国家学位委员会专门目录,系统工程学科属于控制科学与工程一级学科下的二级学科。截至 2015 年,全国共有 98 个控制科学与工程学科一级学科研究生学位授予单位,67 个系统工程二级学科研究生学位授予单位。系统科学属于理学部类下的一级学科,下有系统理论和系统分析与集成两个二级学科。至全国共有 40 个系统科学一级学科研究生学位授予单位,17 个系统理论二级学科研究生学位授予单位,23 个系统分析与集成二级学科研究生学位授予单位。此外,国内部分重点高校开设了系统科学专业或相关研究方向。例如:北京师范大学于 2013 年成立了系统科学学院。该院建立起一个系统科学研究方向的本、硕、博一体化的教学体系,在复杂系统基本理论和复杂系统控制与优化方面形成了一批重要的研究成果。四川大学、人民大学、山东大学等高校也开设了非线性系统分析与控制、系统分析与集成等重要研究方向。

系统工程学科专业是在钱学森先生的倡导下创建的,在钱学森系统科学思想研究方面,于景元研究员、狄增如教授、薛惠锋教授等多位学者对钱学森的系统科学思想进行了深入研究,并在钱学森同志系统工程理论基础上,对系统工程理论进行了深化研究^[11-15]。薛惠锋^[16]教授多次组织中国航天系统科学与工程研究院开展了系统工程专家访谈以及口述钱学森工程、系统工程高级研讨班、钱学森系统科学与系统工程讲座。在此基础上,进

一步深入研究和充分挖掘钱学森系统科学思想的起源、形成与发展。编写的《系统工程讲堂录》(第一辑)、《系统工程讲堂录》(第二辑)、《高山仰止 风范永存》,是对钱学森思想的继承和发扬,尝试着应用系统思维来重新解构各个学科,从思想、教育、法治、外交、社会治理、资源管理、交通等方面来研究系统科学在社会各子系统中的应用,从而推动我国各项事业迈向新高度。

(三) 系统科学与系统工程学科发展总体判断

以往,在钱学森、关肇直、许国志、刘源张、汪应洛、王众托、于景元等老一辈领军学者的带领下,中国系统科学和系统工程学科已经有了很大发展,从工程系统走向了社会系统,提炼出了开放的复杂巨系统理论和处理这种系统的方法论,即以人为主、人机结合,从定性到定量的综合集成法,在宏观经济、大型工程、城市交通、清洁能源以及灾害管理、应急物流、低碳经济等领域都取得了一系列重要成果^[17-27]。

当前,在国家三期叠加的特定阶段,在经济步入新常态的新形势下,系统科学与系统工程学科与国家战略结合、与企业发展结合、与现代信息技术结合、与实施创新驱动发展战略结合、与行为科学结合,在国家和社会发展的各个领域已凸显出其强大的交叉学科优势。未来,系统科学与系统工程学科的发展,应瞄准世界科学前沿,结合国家战略需求,凝练学科发展方向,集信息和知识之大成,完善系统科学体系,从系统工程、系统科学发展到开放的复杂巨系统,建立系统科学与系统工程方法论,培养学科创新人才,推动整个学科的发展迈上一个新台阶。随着科学技术与现代社会的复杂化发展,系统科学和系统工程将越来越显现出其强大的生命力和重大的科学价值,成为推进我国社会主义现代化建设事业全面、协调、可持续发展的强大理论武器,成为全人类的宝贵财富。

二、系统科学与系统工程学科研究进展

近年来,我国系统科学与系统工程工作者在理论研究和方法应用方面,都取得了一系列突出成果。由于篇幅限制,本部分只对一些代表性的成果做简要介绍。详细的成果可参见学科发展分报告。

(一) 近年来科研成果

近年来,系统科学与系统工程学科的发展取得了重要突破,形成了大量优秀成果,本节按照学科领域对部分代表性成果进行分类总结,主要介绍系统科学方法与技术以及系统工程应用两方面的重要科研成果。

1. 系统科学方法与技术

在基础理论方面,狄增如^[28, 29]教授指出,系统科学在科学研究方法论的层面上要求我们从还原论走向系统论,其关注的核心科学问题是复杂系统的涌现性。复杂系统的涌现

性通常是指系统通过个体之间的非线性相互作用,可以在宏观层次上出现新的时空结构和功能。通过对各个领域复杂系统宏观涌现行为的研究,抽象出具有普适性的一般规律,是认识系统复杂性的基本途径。而复杂网络作为刻画系统相互作用的基本工具,是构建系统模型、研究系统性质和功能的基础。薛惠锋^[30]教授在对复杂社会系统的演化规律和卓越治理模式进行探索总结的基础上,提出了系统综合提升说,认为系统工程是利用一切可以利用的思想、理论、技术、模型和方法将系统状态由现状层提升到目标层的综合集成,强调系统工程的关键在于“提升”。系统综合提升说继承了钱学森同志的“综合集成”思想,进一步指出:“系统工程是动态的综合集成,是对每一个状态可用的思想、理论、技术、模型和方法的综合集成,从而实现系统状态的提升”。系统综合提升说是传承和发扬钱学森系统工程思想的重要体现和成果。

在系统动力学研究方面,国内学者积极探索将系统动力学理论和方法与复杂性科学研究结合,进行系统分析与模拟。李旭^[31]教授探索将系统动力学结合多主体建模方法,进行复杂系统的模拟探索。贾仁安^[32, 33]教授在流率基本人树建模法的基础上,进一步发展完善了该方法,发展了逐树深入仿真技术、枝向量行列式反馈环算法、新增反馈环的枝向量矩阵算法、反馈基模分析技术、政策实施反馈前传递延迟效应的因果链出树法等。该方法是系统动力学理论方法方面的创新。同时将该方法应用实际建模研究中去,取得很好的成果。徐寿波负责的“物流资源整合与调度优化研究”,主要通过对价值创造和最优利益分配原则研究,解决了对物流资源概念不清,价值创造原理以及分析和量化方法缺乏的科学问题;根据对物流资源整合过程的动力学分析与仿真结果,解决资源价值涌现规律不清的科学问题;使用云计算和物联网技术,解决物流资源整合中,运输整合平台架构研究理论与方法缺乏的科学问题。在王其藩教授的指导下,贾建国^[34]研究员等持续开展社会经济生态可持续发展模型研究,建立了国家及区域社会经济生态可持续发展模型体系,并将这些模型应用于具体的区域可持续发展研究中,例如黄河流域社会经济生态可持续发展评估,天津新区在海洋承载力制约下的社会经济生态发展,以及平潭岛社会经济生态可持续发展研究等,取得了较好的成绩。

在复杂系统研究方面,汪寿阳研究员提出 TEI@I 方法论,基于先分解后集成的思想,利用经济计量模型来分析对复杂系统呈现的主要趋势,利用人工智能技术来分析复杂系统的非线性与不确定性,利用文本挖掘等技术来分析复杂系统的突现性与不稳定性,系统地融合了文本挖掘技术、经济计量模型、人工智能技术及系统集成技术,研究者扩展了小样本建模、多尺度建模、区间计量学等数学建模方法,以得到更加接近现实问题的数学描述模型。后有很多学者在 TEI@I 的框架下构造了混合预测模型和综合集成预测模型,并进一步开发了多种不同的预测技术和方法来进行预测应用,并在宏观经济分析与预测,国民经济重要行业分析与预测上得到了良好的预测效果,取得国内外学术界的高度关注。

在工程管理研究方面,盛昭翰^[35]教授在重大基础设施工程管理的研究方面提出一些基础理论与方法,并成功应用于苏通大桥、港珠澳大桥等。安实教授负责的“重大基础设

施工程管理基础理论创新研究”，主要研究我国重大基础设施工程管理系统认知与运行规律，影响重大基础设施工程管理制度与绩效的建设主体心理、行为与文化要素及相互作用机理，以及重大基础设施工程制度、管理与技术的协同创新机制等。

在社会经济研究方面，陈锡康研究员等对投入占用产出分析中乘数效应的时滞问题进行了探讨。他们指出投入产出乘数中的很多轮间接效应并不会在当年立即发生，因为新订单的签订以及产品的生产加工等需要花费大量时间。据此，提出了时滞投入占用产出分析，并给出了投入产出乘数时滞长度的计算方法。曾力生教授于2010年首次提出了经济系统中的两种平衡的新概念，并解决了为使经济系统达到上述两种平衡状态而对产出系统或价格系统进行调整的方案的存在性与唯一性问题。后来又对最终产出率、投入乘数、增加值率和产出乘数这四项指标给出了明确的经济含义，指出了最终产出率和增加值率越高对经济系统越有利，投入乘数和产出乘数越小对经济系统越有利。这些成果对于人们更加深刻地认识投入产出模型的内在机理或基本属性具有重要的意义。

在经济测算研究方面，杨翠红^[36-41]研究员等基于全球价值链，指出测算中国出口的增加值含量时需要在投入产出表中对加工贸易进行区分，否则会产生明显高估的偏差，这一结论已成为学术界的共识。忽视中国加工贸易生产投入结构的异质性还会对其他指标的测算产生影响。另外，在测算出口对中国经济增长（2002—2007）的贡献时，如果不对加工贸易进行区分，测算结果将被高估32%左右。研究表明，在世界投入产出表中如不区分加工贸易，会在很大程度上扭曲双边增加值贸易状况以及中国从不同产品的全球价值链上获得的利益。

在管理控制系统研究方面，陈国庆^[42, 43]教授基于资源配置的视角，结合中国企业实际，尝试建立一个引导企业资源配置的战略执行工具系统，该系统对战略执行过程进行控制，通过约束激励机制引导管理者决策和员工行为，通过财务信息和非财务信息的沟通支持管理者决策和员工行为，从而实现资源配置与战略目标的一致。黄建华教授和党延忠^[44, 45]教授提出基于时间阈值的多标准快递超网络优化方法，认为配送线路、成本和配送方式与时间阈值相关，该方法有助于解决快递企业在管理和控制配送成本与客户服务水平之间的矛盾，优化快递网络系统。高自友^[46, 47]教授等将动态城市交通路网与车辆路径问题相结合，提出一类将初始路径安排与实时路线调整相结合的求解策略。初始路径安排通过采用遗传算法求解常发性交通拥堵情形对应的时变网络车辆调度问题得到。在车辆行驶过程中，针对偶发性交通拥堵环境下的突发事件情形，引入一种在关键点更新路线的新机制，比已有的更新机制更加有效，且随着网络动态性增加其优越性更加明显。

在复杂金融经济系统研究方面，张维^[48, 49]教授基于复杂金融系统研究发展了计算实验金融方法，通过“自底向上”的微观建模方法，探索了复杂金融系统的运行规律与演化特性，拓展了传统经典金融理论的研究。该方法将金融市场视为包含多个异质主体的系统，应用信息技术来模拟实际金融市场，在既定的市场结构下，通过市场微观层次 Agent 的行为来揭示市场动态特性及其成因。相比传统方法在金融市场异象、市场微观结构、行