

· 专题一：双清论坛“行为科学与经济政策设计” ·

## 运筹学视角下的市场机制设计\*

曹志刚<sup>1</sup> 俞 宁<sup>2\*\*</sup>

1. 北京交通大学 经济管理学院, 北京 100044
2. 南京审计大学 社会与经济研究院, 南京 211815

**[摘 要]** 市场机制设计是微观经济学的一个前沿领域,其开创者们囊括了 2012 年和 2020 年两次诺贝尔经济学奖。市场设计与运筹学从学科关系到发展历史的方方面面都有密切关系,研究问题都既有理论渊源又深受现实问题驱动。本文从运筹学视角简要介绍市场设计的发展现状和趋势,特别介绍次模分析、离散凸分析、算法博弈论等基础方法,并概述市场设计在数字经济和智慧交通领域的潜在应用。最后介绍两个学科领域进一步深度交叉融合所面临的挑战,并给出推动相关科研和教学工作的浅见。

**[关键词]** 运筹学;市场设计;机制设计;博弈论;算法

### 1 市场机制设计简介

提及经济 and 经济学,首先映入很多人脑海的就是市场,是交易、价格和货币,是熙熙攘攘的交易者无组织地讨价还价或者按照某种价格进行买卖。随着科技的发展和人类社会的进步,越来越多市场被政府、企业等机构组织起来集中交易,有了人为设计的交易与分配规则,构成了“中心化市场”。它们包括证券交易所、在线拍卖平台、政府招标采购平台,也包括不采用货币为媒介的义务教育阶段学位分配系统、人体器官移植分配系统,而广义的“市场”更是包括所有呈现供给和需求关系的系统。市场机制设计,简称市场设计(Market Design),就是研究中心化市场应当如何设计交易与分配的经济学前沿领域。

诺贝尔经济学奖在 2020 年授予 Paul Milgrom 和 Robert Wilson,表彰他们在市场设计的重要研究分支——拍卖理论,特别是多物品拍卖机制设计方面的杰出贡献<sup>[1,2]</sup>。世界各国政府采用他们的“同步多轮拍卖”(Simultaneous Multiple-round Auctions)分配通讯频谱,获得数千亿美元的财政收入。在此之



**俞宁** 南京审计大学社会与经济研究院执行院长,国家杰出青年科学基金获得者,江苏特聘教授。研究领域包括市场机制设计、微观经济学和发展经济学。获得孙冶方经济科学奖、张培刚发展经济学青年学者奖、中国信息经济学乌家培资助计划、江苏省哲学社会科学优秀成果奖一等奖等荣誉。



**曹志刚** 北京交通大学经济管理学院教授,研究领域为博弈论及其应用。兼任中国运筹学会博弈论分会副理事长,获系统科学与工程青年科技奖等荣誉。主持国家自然科学基金优秀青年科学基金项目等。

前的 2012 年,诺贝尔经济学奖授予了 Alvin Roth 和 Lloyd Shapley,表彰他们在稳定匹配领域的开创性贡献。稳定匹配以及相关的理论经常应用于高校招生和器官移植等没有货币和价格的市场中稀缺资源的分配,也是市场设计领域的核心方向。

一个有趣的现象是,该领域前沿学者很多拥有运筹学学科背景,或者师承可以往上追溯至运筹学的学者<sup>[3,4]</sup>。基于作者的一些初步观察与思考,本

收稿日期:2023-08-15;修回日期:2023-10-26

\* 本文根据第 338 期“双清论坛”讨论的内容整理。

\*\* 通信作者,Email: nyu@nau.edu.cn

本文受到国家自然科学基金项目(71922003, 72325009, 72271016, 72073072)和北京市自然科学基金重点项目(Z220001)的资助。

文尝试探讨运筹学是否还能进一步推动市场设计的发展,市场设计的成功又给运筹学提供了哪些启发。

需要注意,作为两门各自独立的学科,今天运筹学和经济学的研究前沿侧重点有相当的差异。比如运筹学与经济学相比更偏重技术方法、离数学更近,其应用和前沿交叉更多来自管理科学和人工智能等学科,除具备一定的社会科学特点外,整体上更接近理科和工科。而经济学是一门典型的社会科学,在研究范式和评判标准方面都与运筹学有一定差距。经济学家的确经常使用凸分析和非线性规划,但是这些知识大都是几十年前发明的成熟技巧,与运筹学优化领域的前沿相去甚远;运筹学领域大量的优化专家持续在算法方面对各种优化问题发明了种种高效算法,但是经济学家对算法的重视程度相对较弱。经济学家最常使用并持续创新的方法工具是博弈论和计量经济学。尽管博弈论早期也可以看成运筹学的一个分支,但是经济学家深度介入乃至主导了博弈论的发展,经济学家对博弈论的重视程度远超运筹学家和数学家,大批微观理论专业的经济学毕业生受到了良好的博弈论训练甚至本身就是博弈论专家,使得经济学家使用博弈论的时候不需要跟运筹学或数学背景的博弈论学家有太多交流合作。

在目前这种运筹学和经济学渐行渐远的大趋势下,却有一个很有活力的前沿方向同时受到经济学家、运筹学家以及理论计算机科学家的关注,那就是市场设计。本文从运筹学的视角简要介绍微观经济理论这个前沿方向,分析其发展现状、趋势与挑战,呼吁中国的经济学家和运筹学家更多关注此领域的进展。由于运筹学和市场设计都是非常宽广的学科领域,限于学识和篇幅,本文的探讨很难绝对客观更全面。本文内容的取舍更多来自作者本人研究中的理解和体会,难免挂一漏万(比如我们对行为运筹和运营管理与经济学的交叉介绍很不充分),旨在起到抛砖引玉的作用、希望引起同行更多的关注。

大多数读者对市场设计这个概念可能会陌生,但是对机制设计可能不陌生。机制设计也可以叫做“逆向博弈论”,主要研究在各种环境下如何设计博弈规则,使得给定的博弈结果符合效率和公平等预期目标。市场设计是机制设计的一个重要分支,聚焦市场中的制度设计。一般来说,市场设计包含有货币的拍卖机制设计和没有货币的匹配机制设计两大分支,研究历史也很悠久。但是市场设计这个概念的提出是相对新近的事情。具体来说,市场设计是针对一类具体的机制设计问题,借助于博弈论、算

法、仿真、实验和实证等方法设计或修正交易规则、分配规则,实现提升效率和公平等目标的一个研究方向。市场设计不仅研究现实市场中的各种机制如何运作,更致力于设计更有效更公平的定价、拍卖、匹配等机制。从上述定义看出,市场设计是一个很综合交叉的研究方向<sup>[5,6]</sup>。

运筹学与经济学有很多天然的联系,这从学科历史、学科定位和学科分支三个维度都容易看清楚。

学科历史方面,经济学家与数学家、物理学家等一起参与了二战后运筹学的创建。很多经济学家,包括 Leonid Kantorovich、Wassily Leontief、Tjalling Koopmans 和 Kenneth Arrow 等,在线性规划和库存理论等运筹学基础理论方面都做出了重要贡献,冯诺依曼更是同时被两个学科公认做出过奠基性贡献的学者。市场设计的奠基性学者中,Lloyd Shapley 和 Robert Wilson 都是重要的运筹学家,Alvin Roth 和 Paul Milgrom 也都深具运筹学背景。运筹学在市场设计的发展历史上起到了重要作用:早期的稳定匹配问题主要由运筹学家和理论计算机学家推动;指派博弈来自运筹学中著名的指派问题;市场设计领域的很多早期重要文献,包括 Roger Myerson 经典的最优拍卖,经常发表在运筹学的著名期刊 *Mathematics of Operations Research*。

学科定位方面,经济学家主要研究稀缺资源的配置问题,经常处理各种约束最优化,这正是运筹学的核心研究问题。很多市场设计的相关学者自称属于经济工程学派,是微观经济学家作为经济学中工程师的杰出代表。经济工程学派与作为科学家的多数经济学家风格有明显不同,不是通过抽象的故事理解现实,而是致力于从具体问题出发改变现实。这与运筹学家务实的研究风格很一致。学科分支方面,决策科学和博弈论都同时隶属于运筹学和经济学,是其中的基础研究分支。经济学家和运筹学家在决策科学和博弈论的研究中,各有侧重,各有特色,但交叉融合,共同推进了人类知识前沿。这些因素都使得两门学科有千丝万缕的密切联系。

市场设计有如下三个特点特别值得中国学者关注。首先,市场设计领域的不少研究技术难度较大,可以充分调动我国在数学等基础学科上的积累,促进经济学和数学分别作为社会科学和自然科学中的基础学科的进一步交叉融合。其次,市场设计领域的相关研究成果相对而言很容易落地,成果容易写在祖国大地上。中国目前正处于深化市场改革的进程中,资源配置效率有待进一步提升,该领域研究的

定价、拍卖和匹配等机制有望在此进程中发挥应有的重要作用,助力中国经济保持中高速增长。最后,市场设计领域的研究科学性强、结果相对客观,很少涉及意识形态争议。这使得科学之外的因素较少会影响本领域研究。总之,市场设计是经济学中少有的可以同时做到顶天和立地的研究方向,值得中国经济学家特别关注。

## 2 发展现状与趋势

自 20 世纪 90 年代 Paul Milgrom 与 Alvin Roth 合作开设市场设计课程以来,该领域飞速发展,成为微观经济理论方面最活跃的研究领域之一。国际经济学界涌现出一批重量级成果,国内的发展也是欣欣向荣、产出了若干有一定国际影响力的代表性研究成果。本文无法全面介绍所有重要的工作,只能就作者比较了解的若干问题简要介绍和总结。方法、交叉和应用是市场设计发展的三个重要驱动力,我们分别从这三个角度对其发展趋势进行简要论述。

### 2.1 基础方法

微观经济理论大量使用现代优化理论,这些理论并不是(或不仅仅是)以微积分为基础,而大多是由运筹学家发展出来的新工具<sup>[7]</sup>。凸集分离定理、Farkas 引理和 KKT(Karush-Kuhn-Tucker)条件等都是微观经济学家耳熟能详的运筹学工具,对偶理论和变分互补理论等也都是市场设计研究中经常采用的方法。这些方法都是运筹学里相对成熟的理论,不再位于研究前沿。

目前运筹学的若干前沿进展跟市场设计依然有密切关系。我们仅就笔者比较熟悉的次模理论和离散凸分析做一简要介绍。需要注意,次模分析和凸分析相互平行,没有什么包含关系,尽管次模表面上看跟凹很像。次模函数的性质有时候的确跟凹函数很接近,有时候则跟凸函数更接近。把次模分析与凸分析结合在一起的理论是离散凸分析。历史上, Kenneth Arrow 和 Lloyd Shapley 等都在凸分析方面做出过重要贡献。今天,运筹学家在凸分析相关领域的前沿进展依然为市场设计的前沿研究特别是前沿基础理论研究提供技术支持和发展动力。

#### 2.1.1 次模分析

互补和替代是经济学中的基本概念和视角,具有和凸性同等重要的地位。互补和替代在市场设计研究中,特别是多物品拍卖和不可分物品的一般均衡理论研究中,也起到基础性作用。粗略来讲,替代

对应优化理论中的次模,互补对应超模。次模理论经 Jack Edmonds、Donald Topkis、László Lovász 和 Satoru Fujishige 等运筹学家、数学家的发展,是优化中的重要理论,直到今天依然有很多前沿进展。

次模理论最早被博弈论学家重视,先后融入合作博弈论和非合作博弈论,成为凸博弈和策略互补博弈的数学基础。由于核选择性是市场设计的重要原则,可以阻止参与人的场外交易,而凸博弈是最重要的保证核非空的合作博弈之一,凸博弈理论经常应用于市场设计。而策略互补博弈可以同时处理策略空间连续和离散两种情况,已经成为博弈论里仅次于不动点定理的证明纯策略纳什均衡存在性的重要工具。次模分析的系统性介绍可参考 Fujishige 的经典著作<sup>[8]</sup>。

#### 2.1.2 离散凸分析

优化理论主要分连续优化和组合优化两大类。由于有凸分析和微积分等强有力的数学工具,连续优化的理论相对完整、比较统一。与之相比较,由于缺乏强有力的数学工具,组合优化的理论比较支离破碎,没有统一的分析范式。次模分析已经在组合优化研究中起到了重要作用,然而该理论跟大家所熟知的凸分析还是比较割裂。为了更好地理解次模分析和凸分析之间的关系,以及为组合优化建立更完整的理论基础,Murota 等<sup>[9]</sup>在次模分析的基础上建立了离散凸分析理论。离散凸分析里最基本的概念是 M-natural 凹函数,它可以粗略理解为次模函数和凹函数的结合。

总替代(Gross Substitute)是不可分物品一般均衡理论中保证瓦尔拉斯均衡存在性的基本条件,是市场设计中的核心概念之一<sup>[10]</sup>。令人惊讶的是, M-natural 凹恰好跟总替代等价<sup>[11]</sup>。由于这种关系,离散凸分析受到了市场设计领域的高度重视。关于离散凸分析的系统性介绍可参考 Murota 的专著<sup>[12]</sup>;离散凸分析在经济学方面的应用可参考两篇权威的文献综述<sup>[13,14]</sup>;离散凸分析从算法方面的综述可参考 Paes Leme 在 2017 年发表的论文<sup>[15]</sup>。

## 2.2 交叉融合

市场设计领域早期由运筹学家、经济学家和理论计算机科学家共同推动,该领域要进一步发展,仍离不开三个学科学者的通力合作。另外,现实中的参与人一般是有限理性而非完全理性,市场设计的成果要在现实世界成功落地,与行为科学的合作也必不可少。

#### 2.2.1 算法博弈论

运筹学,特别是其中的组合优化,与理论计算机



一直在深度交叉融合,比如后者的计算复杂性理论也是组合优化的理论基础。市场设计与理论计算机的交叉融合则是比较新近的事情,以算法博弈论这个方向的迅速崛起为突出代表。算法博弈论介于博弈论、理论计算机和理论经济学的交叉位置,其研究内容主要有均衡求解、均衡效率分析和算法机制设计等,其中算法机制设计的很多研究内容与市场设计相关<sup>[16-18]</sup>。

算法博弈论在理论计算机界是一个公认的前沿而主流的研究领域,比如2012年的哥德尔奖授予了该领域几位主要开拓者。与主流经济学家相比,计算机学家在分析问题复杂性、设计高效算法、进行最坏情况分析以及分析近似均衡方面有很大优势。算法博弈论领域的学者很重视机制或者算法的计算效率,在问题规模比较大以及线上交易情形中,这种研究对于机制落地非常有现实意义,因为理论上存在的好的机制不一定容易计算出来也就不一定能真正应用。此外,动态不确定性环境下的市场设计问题,往往无法得到理论上完美的答案,但可以用算法博弈论方法比较不同机制的优劣,并得到明确结论。

运筹学、经济学、理论计算机三个学科的学者在算法博弈论领域共同努力,持续推动该领域快速发展。尽管不同学科背景的学者同台竞技、研究相同的问题,但是研究视角、范式和评判标准还是有一些明显的不同。比如经济学家更重视机制的解读和思想渊源,理论计算机学家更重视各种近似比的改进,而运筹学家跟管理科学特别是运营管理联系更紧密,相对更了解业界的情况,从而研究问题相对更鲜活。总之,三个学科背景的学者交叉融合,都尝试借助现代信息技术实现大规模交易的算法机制设计,致力于提高稀缺资源的配置效率。

### 2.2.2 行为市场设计

行为经济学研究个体心理、社会偏好以及认知和情感因素如何影响现实中的参与者决策。行为经济学认为,人们经常基于启发式、偏见和其他非完全理性的因素做出决策,而这些有限理性或者不理性的行为具有一定的规律,包括风险厌恶、损失厌恶、模糊厌恶、锚定效应、时间不一致和亲社会行为等。把这些规律归纳总结起来,我们就可以拓展经典决策模型或博弈模型,来建立预测更加准确的行为模型——因此行为经济学研究与运筹学紧密相关。当我们考虑现实世界中的人类行为如何影响市场设计规则的运行结果时,行为经济学就变得非常有意义。

基于完全理性假设设计的市场机制在现实中可

能不会按预期运行,市场设计领域的学者要可以考虑这些影响才能设计出符合预期的机制。通过了解行为偏见,市场设计者可以通过“助推”机制实现更好结果;市场设计者可以利用大家的公平偏好创建既高效又公平的机制;市场设计者还可以利用框架效应改变市场中信息的呈现方式从而影响市场主体的行为。总之,通过考虑行为偏见,市场设计者可以创建更有效、公平和稳健的机制。

行为经济学和市场设计这两个领域都受益于实验方法。行为经济学家经常使用实验来揭示偏见,而市场设计者使用实验来测试新机制。两者相结合可以测试行为偏见如何影响市场结果,具体可以参考 Vulkan 等在2013年出版的 *The Handbook of Market Design* 第3章<sup>[5]</sup>。市场设计与行为和实验经济学的融合有悠久的历史。事实上,市场设计的开拓者 Roth 本人也是实验经济学的开拓者。市场设计与行为经济学交叉的最新进展可以参考 Chen 等<sup>[19]</sup>在2021年发表的论文。另外,运筹学与行为科学的交叉也正以行为运筹的名义迅速往前推进。

### 2.3 应用拓展

应用是市场设计研究领域发展最重要的驱动力。市场设计的经典应用领域包括拍卖、教育、医疗和就业等领域,在无线电频谱拍卖、学生录取、肾脏交换以及住院医师匹配等方面取得了举世瞩目的成就。市场设计在食品捐赠、金融市场、难民安置、生态环境以及知识产权等领域的应用可参考 Kominers 等<sup>[20]</sup>在2017年发表的论文。我们下面简要介绍市场设计对数字经济和智慧交通这两个对中国有特别意义的领域的潜在应用。

#### 2.3.1 数字经济

数字经济是近些年世界经济特别是中国经济发展的重要引擎,引起各国政府和学术界高度重视。如何抓住数字化机遇助力经济发展是学术界关注的一项重要课题,有关数字经济课题的研究也为经济学、管理学、数学、计算机科学等多个学科带来众多挑战。数字经济的蓬勃发展也为市场设计理论提供了众多发展机遇。双边平台是数字经济的重要交易场所,也是一种与传统上研究的垄断、竞争、寡头和垄断竞争都不同的市场结构。在这种市场结构下,平台主导了交易规则的制定和修改,主导了市场监管和治理,部分替代了政府的功能。这使得市场设计的工具和成果更加容易实施。另外,互联网带宽是数字经济中的重要基础设施,互联网服务提供商需要在用户之间分配带宽,市场设计可以使用定价

或拍卖机制有效分配这一稀缺资源。

以拍卖为例,这种价格发现的工具有一个明显的问题就是交易成本较高。互联网和智能手机普及以后,越来越多的拍卖线上进行,不仅节省了拍卖场所租赁费和拍卖师的费用,竞拍者不必现场交易也大大节约了其参与成本。网络拍卖还有公开透明以及轻松吸引全国乃至全世界竞拍者等优势。在线拍卖是阿里巴巴、京东和 eBay 等销售商品的重要方式。网络拍卖的挂单、注册、出价、获胜、支付和延时等规则都可以影响拍卖效率和用户满意度,都是市场设计的重要问题。像 Google 这样的搜索引擎和像 Facebook 这样的社交媒体平台使用拍卖来分配和定价广告位。这些广告拍卖的设计都会影响平台收入、广告商利益和用户体验。特别地,数字经济往往涉及多物品的同时拍卖(例如通讯频谱的拍卖),会涉及异常复杂的约束问题。而约束优化正是运筹学的研究重点,因此运筹学家在多物品拍卖机制的设计工作中也可能发挥关键作用。

### 2.3.2 智慧交通

中国是一个交通大国和强国,在高铁和出行服务方面有很多世界领先的实践,理应在相应的管理和市场设计方面做出开创性贡献。交通优化也是运筹学的一个经典方向,大量的运筹学家长期耕耘于交通流和交通网络设计。交通问题还以其显著的负外部性很早就得到了经济学家的关注并持续至今。智慧交通还是数字经济的重要内容,滴滴和 Uber 这样的应用将司机与乘客匹配,是一个典型的双边市场。这些平台的定价、匹配算法和评级系统可以影响用户体验和平台盈利,都是市场设计的重要内容。自动驾驶和无人机等技术也都对市场设计提出了新需求。这些市场设计问题常常涉及动态不确定性环境下的优化,是运筹学家所擅长的。

拥堵收费是世界各国持续讨论了几十年的话题,限购和车牌管制也是治理交通拥堵的重要手段。如何分配车牌号这种稀缺资源,摇号和拍卖各有哪些优缺点?这吸引了不少市场设计研究者的兴趣。除道路拥堵外,停车越来越成为另外一个难题。一方面很多人无法顺利停车,另外一方面很多停车位白天经常闲置无法得到利用。共享停车就成为很有价值的实践尝试和研究话题,里面涉及到很多匹配、定价和补偿等问题。

## 3 合作障碍与挑战

总体而言,作为一门社会科学,经济学有自己持

续关注的现实问题,有对经济系统乃至社会系统运行规律的深刻理解和洞见。作为数学的一个分支,运筹学在优化等方面有自己独到的技术方法。更难能可贵的是,经济学家和运筹学家彼此能深度对话,所以两个学科交叉有天然的便利。作为对比,数学特别是基础数学家跟经济学家很难深度对话;基础数学家已经在抽象的道路上走得很远。

但是正如前言所提到的,经济学和运筹学今天总体而言是渐行渐远。市场设计这个前沿领域今天跟运筹学依然有不少交叉,促进两个学科的健康发展,这是很令人欣喜的事情。举例来说,2017 年,Paul Milgrom 领衔设计了美国联邦通讯委员会的激励拍卖(FCC Incentive Auctions)。由于不同地区不同频段的通讯频谱之间存在干扰,形成了复杂的分配约束,激励拍卖无法在拍卖动态过程中实时给出满足约束的绝对最优分配;但是通过与计算科学家通力合作,激励拍卖能得到接近最优的结果,最终取得了成功。

那么为了促进运筹学与市场设计乃至整个经济学的进一步交叉,让双方进一步受益,目前面临哪些挑战?

首先,运筹学和市场设计交叉的领域进一步发展面临不少技术难题。以不可分物品的一般均衡理论为例,目前的研究大多基于总替代的各种变形,很难把互补性的情形进行实质性研究。带互补性不可分物品的一般均衡理论是市场设计领域需要攻克的一个技术难题,该问题的突破可能需要离散凸分析的创新性思维。这是经济学家与运筹学家合作的很好机会。

其次,研究范式方面双方还有待进一步磨合。多数运筹学家的主要研究兴趣和精力是算法设计与分析,但是经济学家总体而言对算法不太感兴趣,这是目前双方大规模交叉合作的一个重要障碍。市场设计领域的专家相对于经济学其他领域对算法更加重视,因为机制和算法有天然的联系。数字经济蓬勃发展的今天,算法在生产 and 生活中起的作用越来越大,我们希望在一种局面下经济学家能更加重视算法研究。经济学家若能一定程度上突破不重视算法研究的研究范式,算法设计和计算复杂性理论的思维与方法有可能会在经济学研究中发扬更重要作用。

除研究范式外,在学科分工日趋细密的今天,不同学科有不同的发表文化,对同一本期刊的认可程度会有差异。运筹学的几个标志性学术期刊,比如 *Mathematics of Operations Research*、*Operations Research*、*Management Science* 和 *Mathematical*

Programming 都发表过不少经济学方面的经典论文,这些运筹学的期刊今天依然是市场设计领域的重要发表渠道,常常与经济学中的 *Journal of Economic Theory*、*Theoretical Economics* 和 *Games and Economic Behavior* 等期刊竞争稿源。但由于学科间认可程度的差异,运筹学家与经济学家合作时,投稿顺序上常会有不同意见。

理论计算机学家主导的算法博弈论这个方向的很多改革或许值得我们借鉴。计算机与几乎所有学科都有一个非常不同的发表文化,即学术会议是多数论文的最终发表渠道。为促进经济学家与理论计算机学家的交叉融合,双方都做了很多努力。比如算法博弈论领域的顶级会议 ACM EC (Economics and Computation) 和 WINE (Web and Internet Economics) 为了适应经济学不把会议作为最终发表渠道的文化,允许接受的论文只发表一页的摘要以便将来全文可以继续到经济学期刊发表,甚至与 *Management Science* 等期刊做了“转发至期刊”(Forward to Journal) 形式的合作。计算机学家还创办了新的期刊 *ACM Transactions on Economics and Computation* 发表与经济学交叉领域的研究。经济学家也做出了相应努力,比如著名博弈论学家、博弈论领域标志性期刊 *Games and Economic Behavior* 创始人 Ehud Kalai 在国际博弈论学会设立的 Kalai 奖,只奖励算法博弈论领域的杰出学者。而不少经济学期刊也邀请运筹学和计算机背景的专家担任编委乃至副主编等重要职务。这都对经济学与运筹学和计算机如何进一步深入交叉合作提供了有益启示。

#### 4 启示与建议

市场设计是一个有深刻理论背景的研究领域,与一般均衡理论、机制设计、产业组织等经济学核心方向有密切联系,市场设计可以看成是对这些理论的进一步发展。但是总体而言,市场设计领域的多数进展由现实问题驱动。没有无线电频谱拍卖和器官移植等越来越多重量级的应用,市场设计不可能像今天这样引起如此多的关注,也很可能不会在 William Vickrey 早在 1996 年就已经因拍卖方面的贡献获得当年的诺贝尔经济学奖的情况下,于 2012 年和 2020 年两度获奖。

市场设计的成功可以对运筹学的发展提供一些启示。尽管运筹学的很多方向也都有悠久的历史渊源,包括凸分析和优化理论在内的很多重要理论方

向都是数学家创立,在数学学科中有一定的理论深度,运筹学的最终发展还是要靠现实问题而不是运筹学家智力上的好奇心来驱动,这跟数学特别是基础数学很不一样。运筹学要取得更大的成就,在数学、管理学和经济学等相关科学中获得更高的学科地位,很可能也需要在一些重要应用领域取得重大突破。

对于中国的运筹学家和市场设计领域的经济学家而言,双方可能面临同样的诉求,就是在中国找到全新场景,进而在理论方面实现原创性突破。在经济学里,市场设计是一门既顶天又立地的学问,从理论到应用的链条非常短。相关领域的中国学者在过去的十几年间取得了有一定国际影响力的可喜成绩,是中国微观经济理论方面最有希望和前景的方向之一<sup>[21-26]</sup>。我们认为,市场设计理论要在中国真正生根发芽,中国学者要想取得更多更有创新性的学术成果乃至形成有影响力的“中国学派”,可能需要在突破场景约束方面发力。只有找到真正具有中国特色的重要问题,在国民经济主战场找到“杀手级”应用、解决关系国计民生的重大问题,才有可能提出市场设计中的原创理论。跟整个经济学在国内的发展现状类似,完成此目标还任重道远。另外,市场设计在国内经济学中目前依然比较小众,不仅从事相关领域的经济学家过少,了解该领域的同行和公众也还太少,针对大同行和公众的科普宣传非常有必要。

基金资助方面,我们建议国家自然科学基金委员会加强对运筹学经济学交叉研究领域的资助,特别是加强对离散凸分析和算法博弈论等基础领域的资助。教学改革方面,我们建议:在《运筹学》课程中增加最近的市场设计方面的成功应用案例;在《数理经济学》和《经济数学》等课程中加强运筹学的前沿内容,特别是次模分析等内容;在《高级微观经济学》中增添市场设计部分的内容。

#### 参 考 文 献

- [1] 曹志刚, 乔哈, Yang ZF. 拍卖理论与设计: 2020 年诺贝尔经济学奖评述与启示. 管理评论, 2020, 32(10): 3-10.
- [2] 俞宁, 于奕. 设计市场——2020 年诺贝尔经济学奖得主 Paul R. Milgrom 的贡献. 中央财经大学学报, 2020, 12: 126-133.
- [3] Roth AE. Author spotlight in conversation with Alvin E. Roth. (2023-01-20)/[2023-08-14]. <https://pubsonline.informs.org/page/moor/roth>.
- [4] Roth AE, Wilson RB. How market design emerged from game theory: a mutual interview. *Journal of Economic Perspectives*, 2019, 33(3): 118-143.
- [5] Vulkan N, Roth AE, Neeman Z. *The handbook of market design*. Oxford: Oxford University Press, 2013.



- [6] Roth AE. Marketplaces, markets, and market design. *American Economic Review*, 2018, 108(7): 1609—1658.
- [7] Takayama A. 经济学中的分析方法. 刘振亚, 译. 北京: 中国人民大学出版社, 2002.
- [8] Fujishige S. *Submodular functions and optimization*. Amsterdam: Elsevier, 2005.
- [9] Murota K. *Discrete convex analysis*. *Mathematical Programming*, 1998, 83(1): 313—371.
- [10] Kelso AS, Crawford VP. Job matching, coalition formation, and gross substitutes. *Econometrica*, 1982, 50(6): 1483.
- [11] Fujishige S, Yang ZF. A note on Kelso and Crawford's gross substitutes condition. *Mathematics of Operations Research*, 2003, 28(3): 463—469.
- [12] Murota K. *Discrete convex analysis*. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, 2003.
- [13] Murota K. *Discrete convex analysis: a tool for economics and game theory*. *Journal of Mechanism and Institution Design*, 2016, 1(1): 149—271.
- [14] Shioura A, Tamura A. Gross substitutes condition and discrete concavity for multi-unit valuations; a survey. *Journal of the Operations Research Society of Japan*, 2015, 58(1): 61—103.
- [15] Paes Leme R. Gross substitutability; an algorithmic survey. *Games and Economic Behavior*, 2017, 106: 294—316.
- [16] Nisan N, Roughgarden T, Tardos E, et al. *Algorithmic game theory*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [17] Roughgarden T. *Twenty lectures on algorithmic game theory*. Cambridge: Cambridge University Press, 2016.
- [18] 程郁琨, 邓小铁. 社交网络·互联网·市场·人之算法博弈论. *中国计算机学会通讯*, 2013, 10(9): 24—31.
- [19] Chen Y, Cramton P, List J, et al. Market design, human behavior, and management. *Management Science*, 2021, 67(9): 5317—5348.
- [20] Kominers SD, Teytelboym A, Crawford VP. An invitation to market design. *Oxford Review of Economic Policy*, 2017, 33(4): 541—571.
- [21] Sun N, Yang ZF. Equilibria and indivisibilities; gross substitutes and complements. *Econometrica*, 2006, 74(5): 1385—1402.
- [22] Sun N, Yang Z. A double-track adjustment process for discrete markets with substitutes and complements. *Econometrica*, 2009, 77(3): 933—952.
- [23] Sun N, Yang ZF. An efficient and incentive compatible dynamic auction for multiple complements. *Journal of Political Economy*, 2014, 122(2): 422—466.
- [24] Kojima F, Sun N, Yu NN. Job matching under constraints. *American Economic Review*, 2020, 110(9): 2935—2947.
- [25] Kojima F, Sun N, Yu NN. Job matching with subsidy and taxation. (2020-07-14)/[2023-08-14]. [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=3624343](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3624343).
- [26] Echenique F, Miralles A, Zhang J. Constrained pseudo-market equilibrium. *American Economic Review*, 2021, 111(11): 3699—3732.

## An Operations Research Perspective on Market Design

Zhigang Cao<sup>1</sup> Ning Yu<sup>2\*</sup>

1. *School of Economics and Management, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044*

2. *Institute for Social and Economic Research, Nanjing Audit University, Nanjing 211815*

**Abstract** Market design lies in the frontier of microeconomics, with its leading researchers winning the Nobel Prize in Economics in both 2012 and 2020. It is closely related to operations research in terms of academic relationships and development history, with research questions rooted in theory and driven by real-world issues. This paper briefly introduces some hot topics of market design from the perspective of operations research, especially highlighting the angles of submodular analysis, discrete convex analysis, algorithmic game theory, etc. It also outlines the potential applications of market design in the digital economy and intelligent transportation. Finally, this paper discusses the challenges faced in the further integration of these two disciplines and offers suggestions for research funding and teaching.

**Keywords** operations research; market design; mechanism design; game theory; algorithm

(责任编辑 崔国增 姜钧译)

\* Corresponding Author, Email: nyu@nau.edu.cn