

· 专题二:双清论坛“政策信息学与政策智能” ·

政策信息学与政策智能研究中的关键科学问题

曾大军^{1, 2*} 霍 红³ 陈国青⁴ 吴俊杰⁵ 骆祥峰⁶ 张 楠⁷

1. 中国科学院 自动化研究所, 北京 100190
2. 中国科学院大学 人工智能学院, 北京 100049
3. 国家自然科学基金委员会 管理科学部, 北京 100085
4. 清华大学 经济管理学院, 北京 100084
5. 北京航空航天大学 经济管理学院, 北京 100191
6. 上海大学 计算机工程与科学学院, 上海 200444
7. 清华大学 公共管理学院, 北京 100084

[摘 要] 基于第 260 期“双清论坛”, 本文分析了大数据和人工智能时代政策信息学与政策智能发展的国家重大需求, 围绕着政策决策建模与效果评估, 总结了“复杂政策决策场景建模、分析与优化”“政策推演理论与应用”“基于数字孪生的政策推演模型与方法”的国内外研究现状、相关研究热点与趋势, 凝炼了该领域未来 5~10 年的重大关键科学问题, 探讨了前沿研究方向和科学基金资助战略。

[关键词] 政策信息学; 政策智能; 场景建模; 政策推演

中国处于剧变的发展时代中, 正面临百年未有之大变局, 如何全面提高国家治理能力和治理水平是紧迫且必须解决的问题。党的十九大报告指出: 全面深化改革总目标是完善和发展中国特色社会主义制度、推进国家治理体系和治理能力现代化; 打造共建共治共享的社会治理格局, 提高社会治理社会化、法治化、智能化、专业化水平。改革的目标不仅要求政府和社会各界通力合作围绕政策这一核心变量建立更加完善的政策搜集、制定和评估机制, 同时也面向政策的理论、范式和应用研究提出了新的挑战和需求。

传统的政策制定和实施过程多依靠经验直觉、小规模沟通和有限民意调查等手段, 存在信息滞后、政策刚性交互不畅等难以克服的问题。信息技术的发展为解决这些问题提供了手段, 并催生了政策信息学——融合信息技术和政策研究的新交叉学科。面向日益复杂的公共管理与公共政策问题, 政策信息学基于信息通信技术与数据科学发展的解决



曾大军 中国科学院自动化研究所研究员, 复杂系统管理与控制国家重点实验室副主任, 中国科学院大学人工智能学院复杂系统教研室主任。1985—1990 年就读于中国科学技术大学少年班; 1998 年获卡内基梅隆大学博士学位。主要研究方向为政策智能、社会计算、多智能体系统、对抗博弈。获授 IEEE Fellow、AAAS Fellow。国家杰出青年科学基金获得者、获国家自然科学基金委员会创新研究群体等项目资助。

方案, 研究方法从最早的建模仿真向大数据技术不断扩展, 研究领域从政策过程变革到管理模式创新不断融合^[1-3]。

近年来, 大数据涌现特别是混合智能技术的突破为政策研究与实践提供了新的视角、管理范式和技术手段, 促使政策制定从信息化向智能化方向发展, 并逐渐受到学术界和政府部门的重视。政策智能可以视为政策信息学的升级, 目前正处于萌芽阶段, 属于国际前沿交叉领域, 相关政策亟待布局推进。

在此背景下, 为更好地促进该方向的跨学科交

收稿日期: 2020-12-31; 修回日期: 2021-05-24

* 通信作者, Email: dajun.zeng@ia.ac.cn

本文受到国家自然科学基金项目(71974111, 71621002)和科技创新 2030—“新一代人工智能”资助重大项目(2020AAA0103405)的资助。

叉研究,国家自然科学基金委员会(以下简称“自然科学基金委”)第260期“双清论坛”于2020年10月19~20日在北京召开。本次论坛由自然科学基金委主办,中国科学院自动化研究所(以下简称“自动化所”)协办,主题为“政策信息学与政策智能”。论坛主席由中国科技大学陈国良院士、自动化所徐波所长、自动化所曾大军研究员共同担任。来自北京大学、北京航空航天大学、北京理工大学、电子科技大学、清华大学、上海大学、上海交通大学、浙江大学、中国科技大学(以上单位名称根据机构拼音排序)等28所高校和科研机构的近50位专家学者应邀参加了本次论坛。与会专家围绕“复杂政策决策场景建模、分析与优化”“政策推演理论与应用”“基于数字孪生的政策推演模型与方法”三大主题进行了36个专题报告,针对政策信息学与政策智能的国内外研究现状、相关研究热点与趋势、未来科研规划与布局等开展了热烈探讨,并对未来5~10年自然科学基金委应如何支持政策信息学与政策智能研究、如何在顶层设计和队伍组织等方面发挥更大作用、如何促使我国科学家把握这次重大机遇提出了具体建议。

1 政策信息学与政策智能研究面临的重大机遇与挑战

数据思维、大数据驱动及人工智能(AI)技术赋能切入政策制定、执行、沟通、评估的全流程是目前总体趋势。从国家重大需求和相关顶层设计的视角来看,《新一代人工智能发展规划》中特别强调了人工智能在政府决策与服务中能够起到的重要作用,并专门提到研制“决策引擎”,并应用于“复杂社会问题研判、政策评估、风险预警、应急处置”等方向。为应对新冠肺炎疫情引起的国际经济金融体系的大变局,习近平总书记于2020年3月在二十国集团峰会上反复强调应当加强国际宏观经济政策协调;在能源领域,国际上对于利用政策手段激发技术发展、提高能源使用效率的重大意义也达成了诸多共识;恰当的气候政策组合也被认为可以在全球范围提振GDP增速。国家、国际上对于科学、智能政策分析的需求极为迫切。

从学术研究视角来看,政策分析信息化、智能化成为多学科交叉研究的热点。在国际范围内,纽约大学、亚利桑那州立大学等知名研究机构相继成立了政策信息学研究团队;ACM、IEEE旗下多个重要会议和期刊都有深入研究政策信息学的内容和议

题;在Web of Science平台上以“policy informatics”为主题进行检索,共发现相关学术成果2473篇,被引频次总计42189次,其中2016至2021年共发表640篇,相关研究数量呈现逐年增长态势。聚焦国内,自然科学基金委对政策信息学领域的研究也进行了大力支持,2017—2020年间共有141个基金项目获得支持;在CNKI数据库以“政策信息学”作为关键字检索,国内发表相关论文共50篇,2016—2021年期间共发表14篇;Web of Science平台上,中国大陆学术机构发表的政策信息学论文数量在2016—2021年期间排在同期全球各个国家和地区同类论文数量的第五位。

将领域限定为人工智能,同样发现相关研究在近两年呈现爆炸式增长趋势,总体而言,政策信息学方兴未艾,政策智能现在正处于刚起步的阶段。政策分析技术主要经历了三个发展阶段,1.0阶段主要聚焦于采集、分析高质量且与政策紧密相关的内部数据,从应用角度来看,关注的是信息的网络化与流程的自动化。2.0阶段自2011年开始,更加关注内部外部大数据的融合,注重于分析提供各种各样自动化的服务,1.0和2.0阶段统称为政策信息学。现在正处于3.0的启动阶段,其标志是人工智能技术开始体系化地嵌入到政策分析中,在1.0和2.0阶段的基础上挖掘数据和模型的价值,在与大数据思路建立强衔接关系的同时,又通过人工智能方法和技术的导入实现了一定的超越,既有应用上的延展也有方法上共性的提升。

政策信息学与政策智能的发展面临环境要素、认知和行为、目标及计算四种复杂性的挑战。

一是环境要素的复杂性,环境是广义的,政策相关的自然环境、经济产业环境、人文环境、社会环境等等,存在因素繁杂,噪音大等问题,各种依从关系千条万绪。

二是认知和行为的复杂性,受政策影响,各方行为和交互的模式十分复杂,认知理解难度极高,反馈链条极长。政策领域与商业领域应用存在极大不同,商业领域应用中可以迅速得出决策的实施效果,而政策领域链条本身存在的各种噪音信号会导致无法做出充分理解。

三是目标的复杂性,政策目标往往内涵丰富,存在各种潜在的内在冲突,需要考虑各种各样的平衡。多数政策决策广泛使用较为模糊的决策目标,以追求达成充分的政治共识,而实际政策目标需求往往存在多向、矛盾、不可通约等特点,强加功利主义的

决策结果将与现实和伦理发生冲突。人工智能技术的导入则不可避免地需要对多数相悖目标进行权衡或加权,目前无法为模糊目标提供更加明确的解决方案。

四是计算的复杂性,政策相关大数据结构复杂、数据量大,不少场景时效要求高,特别在加入人工智能各种分析技术以后,需要具备很强的算力,同时又关注可解释性。相对政策信息学而言,政策智能更加重视对政策生命周期全流程、全晰的理解,更加重视对深层规律的解析,更加关注“关联+因果”的决策诉求,实现对决策本身的有力支撑。

为解决上述复杂性带来的挑战,人工智能密切相关的分析和决策方法包括:动态的竞合博弈、因果推理、人机混合智能、多智能体仿真推演等等,正在为政策智能赋能,其本质是以政策信息学本身为基础,需要采用更加主动全面的视角面向未来发生的场景进行积极的推演预测。

2 政策信息学与政策智能的主要研究内容及进展

2.1 复杂政策决策场景建模、分析与优化

面向复杂政策决策场景进行建模、分析与优化,是政策信息学与政策智能的核心科学问题。与会专家从政策智能决策全生命周期、政策智能决策的核心关键技术以及政策智能的情境特点和应用前景等方面进行了充分阐述。

一、知识计算驱动的政策智能决策全生命周期。通过政策智能缩短政策制定的周期,快速评估政策执行效果并实现政策动态更新。政策智能决策涵盖了数据感知,知识萃取和人机协同决策等重要环节。面向政策制定的全生命周期,数据感知是政策决策的入口^[4],具体包括开源大数据、政务大数据、部门事务大数据等,为政策制定提供知识支持,服务于政策情报的获取、公共安全的感知,和政策方向的识别等。以汇聚的政策数据为基础,实现面向政策方向和政策问题的知识萃取,如实体关系的识别等。此外,需要将人机协同作为核心问题融入到政策智能的知识使用过程中,考虑不同主体的决策偏好和协同行为,形成机器智能和人类决策实质性的交互和协作^[5]。

二、政策智能的关键技术构建。一是政策构建所需的多源数据感知、融合技术,核心是如何从开放的感知源中选择传感器以完成政策数据感知任务^[6];在此过程中还需考虑数据隐私保护、追溯和确

权,因此区块链技术也是政策智能中的关键技术。二是政策文本的精细化分析的问题^[7],其中涉及到自然语言处理^[8,9]、知识图谱^[10]等知识计算技术,实现结构化的政策文本表征和精准匹配。三是政策的影响预测与推演分析^[11],难点包括对政策未来演化趋势的预判^[12],需要进一步发展深度强化学习、多智能主体建模、数字孪生技术等,为未来政策推演提供模型和政策效果的环境,实现对未来政策的预判和推演,让政策制定更加具有科学性。

三、政策智能的情境特点和应用前景。在政策智能的决策场景下,反馈链条相对较长,决策者和参与的公众行为较为复杂性,给政策信息学和政策智能研究带来机遇和挑战。在疫情防控、金融等具体应用场景的政策制定中,政策态势研判受到时效性、非线性和混沌性的影响,对于政策制定提出了更为严苛的挑战。同时,个体、群体等不同层次的政策相关人员行为较为复杂,也会极大地影响政策的制定过程,人类行为动力学需要作为政策智能的重要环节^[13]。此外,政策智能中涉及到的隐私伦理、AI算法的公平性与安全性等问题也是应用过程中需要考虑的关键问题^[14]。

2.2 政策推演理论与应用

政策信息学与政策智能是公共管理与信息科学交叉融合的新方向。在公共管理生态体系中,政策信息学与政策智能包括理论构建与知识发现、研究方法与分析范式、政策评估与智能推演、交叉关联与学科凝练等方面研究内容^[3,15]。

一、理论构建与知识发现。一方面是与经典公共管理理论的衔接与融合。基于政策文本等政府衍生大数据,对府际关系、政策创新与扩散等经典公共管理理论进行推演测量,或解决公共管理场景下的新挑战与新问题(如非传统安全问题,AI政策应用伦理等)^[16];另一方面是新公共管理知识的发现。如通过政策网络关系推演、知识图谱分析,对政策信息学与政策智能出现的新趋势、新知识进行梳理总结^[17,18]。

二、研究方法与分析范式。凡是有效解决政策信息学问题的方法都可以认为是政策信息学研究方法,应用比较多的方法主要有多智能体仿真、社会网络分析、计量分析、政策实验、大数据技术、机器学习、神经网络分析等。分析范式常根据应用场景进行适应性选择,如关注理论验证可参考假设检验分析范式,关注政策因果推断可参考“样本库+冲击实验+异质性评价+预测外推与优化”分析范式,关注

行为政策效果推演可参考“社会+心理+经济”分析范式^[19, 20]。

三、政策评估与智能推演。一是政策效果评估。将公共管理研究框架与数据驱动分析相结合,转变传统政策需求响应管理与效果评估^[21]。二是政策智能推演与预测。基于网络大数据、政府实时监测数据等对线下行为进行推演监测,帮助政府调适政策行为和沟通策略。三是指导政府实践迭代。指导政府政策数据汇聚及政策推演仿真基础平台建设,提高政府科学决策水平。

最后是交叉关联与学科凝练。一是衔接算法数据和知识。探索文本挖掘算法的结果和有价值的管理知识发现之间的“中间层”。二是衔接知识和政府实践。通过评估态势、掌握规律、预知发展和政策仿真等数据智能驱动,衔接政府数据分析和政府实践^[22, 23]。三是智能智慧总结凝练。基于以上知识、理论、方法和实践,凝练学科关键基础科学问题和总结学科发展趋势^[24]。

2.3 基于数字孪生的政策推演模型与方法

政策制定的失误有可能危及我国的经济、金融和科技安全,甚至危及到国家与政治安全。政策制定过程的可推演性是避免政策失误的有效手段,是政策智能研究的主要内容。在疫情防控、交通、金融、能源与可持续发展等具体应用场景的政策制定中,政策态势研判受到时效性、非线性和混沌性的影响,个体、群体等不同层次的政策相关人员行为较为复杂,对政策制定提出了更为严苛的挑战。多智能体仿真推演技术可为政策制定提供有效赋能,智能体可以模拟政策相关各方行为与环境的迭代式交互影响,通过复杂环境的建模和智能体间的互动实现政策推演,政策效果预测可被计算化、量化,可以构建现实中不具备的实验环境,同时可对多种虚拟环境进行并行推演和预测。

上述领域研究内容得到了国内外研究学者的关注与探索,具有重要的研究前景和巨大的创新空间。具体说来,在交通政策制定方面,政策智能研究不仅可以实现预测,还可以实现面向复杂交通环境的群体间复杂行为体系化评估。He等基于MATSim-NYC模型,帮助纽约市的机构评估不同的高峰期行车收费政策^[25];Wang等基于MATSim模型,对上海最大的共享汽车项目进行模拟,模拟不断提升汽车供应下单程共享需求的变化^[26];Al-Khulaidy和Swartz基于ABM模型,模拟美国—墨西哥边境上不同移民政策对社会与移民方式的影

响^[27];Tong基于Anylogic模型,以深圳火车站与OSM街道网络为例,模拟不同的行人与空间情况对TOD站的影响^[28]。

在经济政策方面, van Doren基于智能体建模动态系统,综合考虑组织流程和资金能力,优化公共研究组织中的合作结构^[29];Zheng等基于数据驱动的模拟方法,缓解经济政策难以设计和检验的问题^[30];Guerrero基于微观经济学的生成模型和显式交互协议的智能体模型,通过2500万英国的房产交互数据,分析现有政策对房产所有不平等性的影响^[31];Dulam等基于智能体建模方法,模拟消费者恐慌性消费对供应链的影响,通过模拟提出消费配额政策,从零售商层面解决供应链中断的问题^[32]。

在能源与可持续发展方面,如何分析现实环境中个人的主观能动性和节能关系的行为是节能政策评估的关键,主要是利用人机混合仿真进行节能政策评估。Guo和Adam运用Gas-GAME-Spot模型模拟合同约束对天然气贸易市场纳什库诺均衡的影响,捕捉需求市场和供应商之间的相互作用,对规避资产搁浅提出政策建议^[33];Wu等将基于智能体的模型与多准则决策分析(MCDA)进行结合,有效捕捉不同失衡结算方案中各智能体间的相互作用,提出了中国电力均衡市场失衡结算设计的政策启示^[34];Anatolitis和Welisch首次将基于智能体的建模方法用于对可再生能源拍卖定价规则的研究,从结果中总结经验教训,供政策制定者参考^[35];Liang等提出了一个基于智能体的节能改造(EER)决策模型,根据委托代理理论对政府和建筑业业主的决策行为进行建模,并以此为基础开发了一个平台,对不同情况下的激励政策进行优化^[36];Tang等提出了一个基于多智能体的排放权交易计划(EST)模拟模型,用于中国的碳配额拍卖设计^[37]。

在税收政策制定方面,Salesforce研究院推出的人工智能经济学家AI Economist,在没有任何经济学模型假设的情况下完全通过智能体的交互,并应用亚马逊众包的平台人机混合博弈,从中寻找平衡生产力与分配平等性的最优税收策略,新方法所得税收政策与经典税收模型相比,可将经济平等与生产率之间的权衡提升将近20%^[38]。

3 未来5~10年政策信息学与政策智能的发展目标及资助重点

3.1 发展目标

如前所述,大数据政策情景下,人工智能在政策

决策中的广泛应用,引起了决策范式一系列转变^[15],为政策决策带来重大挑战,急需基于大数据和人工智能技术建立新型决策范式,决策模型和方法,提升我国政策智能水平,提高国家治理能力和治理水平。政策智能研究在我国刚刚兴起,需要管理科学、心理学与计算机科学等多学科的深度交叉融合,需要聚焦于典型应用场景,例如非传统安全、金融政策、公共服务、政务服务和区域发展等,充分体现政策智能的优势。因此,在未来 5~10 年,需要建立政策智能学科方向,凝练学科内涵、发展目标、核心科学问题、关键技术问题和典型应用场景;夯实学科理论基础,创新方法,培养政策智能方向人才,以应对大数据政策情景下政策智能人才需求、技术需求。

3.2 资助重点

本次双清论坛与会专家经过深入研讨,凝练了政策信息学与政策智能重大关键科学问题,并建议未来 5~10 年应着重围绕以下领域,通过多学科交叉开展原创性研究。

3.2.1 政策环境时空大数据实时获取、高效融合与情景感知

通过政策环境时空大数据按需获取技术,实现对复杂政策环境海量时空的实时获取,提升政策决策的实时性;通过多种耦合的复杂社会情境进行统一的表征建模,实现政策环境时空大数据高效融合;建立政策环境的情景模型,实现对政策情景的实时全息感知,形成数字孪生政策推演环境。

3.2.2 基于数字孪生的政策推演模型与方法

政策的复杂性、多样性与环境的复杂性、开放性导致政策环境认知和建模难。基于数字孪生,构建政策目标的多维度多粒度画像,形成决策目标粒度可缩放、因果关联可跨界、全局情景驱动以及预测可解释的政策决策开放环境认知模型。

3.2.3 面向政策智能的对抗博弈学习

政策的制定过程是利益再分配的过程,政策多方目标的博弈学习是实现政策推演的主要途径。主体复杂性及其行为多样性使得政策演化空间指数增加,通过对抗博弈学习获得政策演化的可能路径空间,减少政策失误的概率。

3.2.4 政策多级联动机制及效益评估

基于政策体系的多级联动机制,充分利用政策情景实时大数据,构建多级联动机制的动态效益评估模型,提升政策效益评估的全面性、时效性,发现政策执行过程中的痛点,提升政策的适应性。

3.2.5 现实与仿真结合的政策要素分析、生成及推演

通过现实空间和仿真空间的深度交叉融合和推演,实现对政策要素,以及交互过程、效果和结果分析和辅助决策,形成人机混合的政策智能,适应政策环境与主体的复杂性和多样性。

3.2.6 情景与政策的因果关联和动态推演

政策情境不断变化,政策增量式迭代增加,导致情境和政策关联难,建立动态情景和政策的因果等关联关系,提升政策的适应性;在动态政策情境下,构建可缩放可解释的政策推演体系,实现数据与知识混合驱动的情景与政策动态推演,适应大数据与人工智能环境下的新的决策范式。

4 结 语

随着人工智能技术迅猛发展、大数据和政策领域更紧密的结合,个体和群体复杂行为分析影响的评估、归因溯源进一步的深入,为政策研究与实践提供了新的视角、管理范式与技术手段,促使政策制定从信息化向智能化方向转变。政策智能作为政策信息学的升级,研究在我国正处于初期的快速起步阶段,需要采用更加主动全面的视角面向未来发生的场景进行积极的推演预测;需要管理科学、心理学与计算机科学等多学科的深度交叉融合;需要聚焦于典型应用场景,例如非传统安全、金融政策、公共服务、政务服务和区域发展等,充分体现政策智能的优势。今后需要进一步凝练研究方向,规划和推进跨学科攻关团队的培养,以推动政策分析科学进步,促进政策智能发展。根据相关研究热点与趋势,凝练出了该领域未来 5~10 年的重大关键科学问题,探讨了前沿研究方向和科学基金资助战略。

参 考 文 献

- [1] Johnston EW. Governance in the information era: theory and practice of policy informatics. Routledge: Taylor and Francis, 2015.
- [2] Zeng D. Policy informatics for smart policy-making. IEEE Intelligent Systems, 2015, 30(6): 2—3.
- [3] 张楠, 马宝君, 孟庆国. 政策信息学: 大数据驱动的公共政策分析. 北京: 清华大学出版社, 2019.
- [4] Liu Y, Liu X, Gao S, et al. Social sensing: a new approach to understanding our socioeconomic environments. Annals of the Association of American Geographers, 2015, 105(3): 512—530.

- [5] Amershi S, Weld D, Vorvoreanu M, et al. Guidelines for human-AI interaction// Proceedings of the 2019 chi conference on human factors in computing systems. (2019-05-02)/[2020-12-31]. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3290605.3300233>.
- [6] Yuan K, Liu G, Wu J. Whose posts to read: finding social sensors for effective information acquisition. *Information Processing and Management*, 2019, 56(4): 1204—1219.
- [7] Hagen L, Harrison TM, Uzuner Ö, et al. Introducing textual analysis tools for policy informatics: a case study of e-petitions// Proceedings of the 16th annual international conference on digital government research, 2015.
- [8] Smith NA, Cardie C, Washington A, et al. Overview of the 2014 NLP unshared task in poliinformatics// Proceedings of the ACL 2014 Workshop on Language Technologies and Computational Social Science, 2014.
- [9] Chung W, Zeng D. Social-media-based public policy informatics: sentiment and network analyses of US Immigration and border security. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 2016, 67(7): 1588—1606.
- [10] Goren P. Political sophistication and policy reasoning: a reconsideration. *American Journal of Political Science*, 2004, 48(3): 462—478.
- [11] Xiao H, Huang M, Meng L, et al. SSP: semantic space projection for knowledge graph embedding with text descriptions. (2017-02-04)/[2020-12-31]. <https://dl.acm.org/doi/10.5555/3298483.3298685>.
- [12] Kleinberg J, Ludwig J, Mullainathan S, et al. Prediction policy problems. *American Economic Review*, 2015, 105(5): 491—495.
- [13] Barabasi AL. The origin of bursts and heavy tails in human dynamics. *Nature*, 2005, 435(7039): 207—211.
- [14] Bellamy RK, Dey K, Hind M, et al. AI Fairness 360: an extensible toolkit for detecting and mitigating algorithmic bias. *IBM Journal of Research and Development*, 2019, 63(4/5): 4—1.
- [15] 陈国青, 曾大军, 卫强, 等. 大数据环境下的决策范式转变与使能创新. *管理世界*, 2020, 36(2): 95—105.
- [16] 徐晓林, 刘帅, 毛子骏, 等. 公共管理研究的非传统安全命题. *中国行政管理*, 2018(10): 121—126.
- [17] Alemu EN, Huang J. Health Aid: extracting domain targeted high precision procedural knowledge from on-line communities. *Information Processing & Management*, 2020, 57(6): 102299.
- [18] 苏竣, 魏钰明, 黄萃. 社会实验: 人工智能社会影响研究的新路径. *中国软科学*, 2020(9): 132—140.
- [19] Wang B, Wang Z. Heterogeneity evaluation of China's provincial energy technology based on large-scale technical text data mining. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 202: 946—958.
- [20] Zhao Y, Fan B. Exploring open government data capacity of government agency: based on the resource-based theory. *Government Information Quarterly*, 2018, 35(1): 1—12.
- [21] Munteanu I, Newcomer K. Leading and learning through dynamic performance management in government. *Public Administration Review*, 2020, 80(2): 316—325.
- [22] Yue T, Long R, Chen H, et al. Energy-saving behavior of urban residents in China: a multi-agent simulation. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 252: 119623.
- [23] 吴俊杰, 郑凌方, 杜文字, 等. 从风险预测到风险溯源: 大数据赋能城市安全管理的行动设计研究. *管理世界*, 2020(8): 189—201.
- [24] Gu DX, Yang XJ, Deng SY, et al. Tracking knowledge evolution in cloud health care research: knowledge map and common word analysis. *Journal of Medical Internet Research*, 2020, 22(2): e15142.
- [25] He BY, Zhou J, Ma Z, et al. A validated multi-agent simulation test bed to evaluate congestion pricing policies on population segments by time-of-day in New York City. *Transport Policy*, 2021, 101(C): 145—161.
- [26] Wang D, Ye J, Axhausen KW. Modelling one-way electric carsharing in the city of Shanghai, China// Proceedings of the 20th Swiss Transport Research Conference, 2020.
- [27] Al-Khulaidy A, Swartz M. Along the border: an agent-based model of migration along the United States-Mexico border// Proceedings of the 2020 Spring Simulation Conference, 2020: 1—12.
- [28] Tong X. Spatial organization and walking service efficiency surrounding Shenzhen transit-oriented development (TOD) stations, 2020.
- [29] van Doren D. Enabling innovation within public research institutes: a modelling approach. *Advances in Social Simulation*, 2020: 441—449.
- [30] Zheng S, Trott A, Srinivasa S, et al. The AI economist: improving equality and productivity with AI-driven tax policies. (2020-04-28)/[2020-12-31]. <https://arxiv.org/abs/2004.13332>.
- [31] Guerrero OA. Decentralized markets and the emergence of housing wealth inequality. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2020, 84: 101541.

- [32] Dulam R, Furuta K, Kanno T. An agent-based simulation to study the effect of consumer panic buying on supply chain. Highlights in Practical Applications of Agents, Multi-Agent Systems, and Trust-Worthiness. the PAAMS Collection. The PAAMS Collectio, 2020; 255—266.
- [33] Guo YJ, Adam H. Asset stranding in natural gas export facilities; An agent-based simulation. Energy Policy, 2019, 132(C): 132—155.
- [34] Wu Z, Zhou M, Zhang T, et al. Imbalance settlement evaluation for China's balancing market design via an agent-based model with a multiple criteria decision analysis method. Energy Policy, 2020, 139: 111297.
- [35] Anatolitis V, Welisch M. Putting renewable energy auctions into action—an agent-based model of onshore wind power auctions in Germany. Energy Policy, 2017, 110: 394—402.
- [36] Liang X, Yu T, Hong J, et al. Making incentive policies more effective: an agent-based model for energy-efficiency retrofit in China. Energy Policy, 2019, 126: 177—189.
- [37] Tang L, Wu J, Yu L, et al. Carbon allowance auction design of China's emissions trading scheme: a multi-agent-based approach. Energy Policy, 2017, 102: 30—40.
- [38] Zheng S, Trott A, Srinivasa S, et al. The AI economist: improving equality and productivity with AI-driven tax policies. (2020-04-28)/[2020-12-31]. <https://arxiv.org/abs/2004.13332>.

Key Scientific Questions in Policy Informatics and Policy Intelligence

Zeng Dajun^{1, 2*} Huo Hong³ Chen Guoqing⁴ Wu Junjie⁵ Luo Xiangfeng⁶ Zhang Nan⁷

1. Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190

2. School of Artificial Intelligence, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

3. Department of Management Sciences, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085

4. School of Economics and Management, Tsinghua University, Beijing 100084

5. School of Economics and Management, Beihang University, Beijing 100191

6. School of Computer Engineering and Science, Shanghai University, Shanghai 200444

7. School of Public Policy and Management, Tsinghua University, Beijing 100084

Abstract Based on the presentations and discussions at the 260th Shuangqing Forum, this article analyzes the major national needs for the development of policy informatics and policy intelligence in the era of big data and artificial intelligence (AI). The current status of research, and the emerging hotspots and trends are discussed in three related areas: “Modeling, Analysis, and Optimization of Complex Policy Decision Scenarios” “Theory and Applications of Policy Inference” “Policy Inference Models and Methods Based on Digital Twins”. This article also summarizes the major key issues in 5—10 years and concludes with a discussion of research directions as well as funding strategies in the important cross-disciplinary field.

Keywords policy informatics; policy intelligence; scenario modelling; policy inference

(责任编辑 姜钧译)

* Corresponding Author, Email: dajun.zeng@ia.ac.cn