

九、工程管理领域

1 工程研究热点发展态势

在工程管理领域中，全球工程研究热点集中于以下 10 个部分，分别是模糊群决策方法、商业模式动力学与创新、基于物联网的服务平台和企业信息系统、人力资源：组织绩效和竞争力的影响、集装箱分配和班轮运输网络、基于仿真的医疗教学、基于最优状态的维修策略、多目标粒子群优化、单

车共享系统和可交易电子通行权机制，其核心论文情况如表 1.1 和表 1.2 所示。这 10 个工程研究热点集中包含了数学、经济、工业、计算机、信息和自动化等众多学科。其中，属于新兴前沿类别的有基于物联网的服务平台和企业信息系统、基于最优状态的维修策略、多目标粒子群优化和单车共享系统 4 个热点；属于传统研究深入类别的有模糊群决策方法、商业模式动力学与创新、人力资源：组织绩

表 1.1 工程管理领域 Top10 工程研究热点

序号	工程研究热点	核心 论文数	被引 频次	篇均被 引频次	平均 出版年	常被引论文 占比	专利引用 篇数
1	模糊群决策方法	40	2146	53.65	2011.80	35.0%	2
2	商业模式动力学与创新	48	2584	53.83	2011.92	10.4%	0
3	基于物联网的服务平台和企业信息系统	50	2227	44.54	2013.02	36.0%	0
4	人力资源：组织绩效和竞争力的影响	36	1764	49.00	2012.47	22.2%	1
5	集装箱分配和班轮运输网络	33	1227	37.18	2012.64	24.2%	0
6	基于仿真的医疗教学	34	1166	34.29	2012.88	20.6%	1
7	基于最优状态的维修策略	38	1260	33.16	2013.66	13.2%	0
8	多目标粒子群优化	39	1114	28.56	2013.92	41.0%	0
9	单车共享系统	43	1165	27.09	2013.51	20.9%	0
10	可交易电子通行权机制	36	844	23.44	2013.03	5.6%	1

表 1.2 工程管理领域 Top10 工程研究热点逐年核心论文发表数

序号	工程研究热点	2011	2012	2013	2014	2015	2016
1	模糊群决策方法	19	14	4	2	1	0
2	商业模式动力学与创新	21	16	7	2	2	0
3	基于物联网的服务平台和企业信息系统	7	11	6	26	0	0
4	人力资源：组织绩效和竞争力的影响	10	7	11	8	0	0
5	集装箱分配和班轮运输网络	7	9	9	5	3	0
6	基于仿真的医疗教学	6	8	8	8	4	0
7	基于最优状态的维修策略	7	1	7	8	13	2
8	多目标粒子群优化	0	3	12	10	13	1
9	单车共享系统	5	3	12	13	8	2
10	可交易电子通行权机制	6	7	11	5	6	1

效和竞争力的印象、集装箱分配和班轮运输网络、基于仿真的医疗教学和可交易电子通行权机制 6 个热点；没有属于颠覆性前沿类别的热点。

1.1 模糊群决策方法

随着科技技术与生产的发展，面向单个决策者的问题越来越少，更多的是面向多个决策者参与的群决策问题。并且，由于人类对事物的认识的局限性和模糊性，在对事物的评价上我们更应该采用模糊性的概念，这样也会更具有客观性，更适合处理一些复杂的决策问题。模糊群决策是在考虑多种因素影响的情况下，多个个体运用模糊数学工具对某个事物做出的统一的决策行为；是在模糊环境下集结群体成员的偏好以形成群的偏好，然后根据群的偏好对决策方案进行排序或从中选择群体最偏爱的方案。当前，模糊群决策研究热点中的关键问题为：模糊信息集结方法、模糊决策信息测度理论、模糊偏好关系及其排序方法等。在模糊信息的情况下，研究群决策过程中如何集结各个主体的偏好形成群体偏好，并根据属性对备选方案进行排序，对最大限度发挥专家在群决策中的作用、减少不合理因素具有重要意义。

1.2 商业模式动力学与创新

商业模式的概念最早由 Bellman et al. 提出，商业模式是组织或公司的经营理论，是一种战略思想。商业模式是指企业创造价值的基本逻辑，即企业在一定的价值链或价值网络中如何向客户提供产品和服务，并获取利润。商业模式是一个系统，由不同组成部分、各部分间连接关系及系统的“动力机制” 3 方面组成。商业模式创新指企业价值创造提供基本逻辑的创新变化，即把新的商业模式引入社会的生产体系，并为客户和自身创造价值。随着商业环境和信息技术的改变，商业模式的转换和创新成为新的研究热点。

研究主题主要聚焦于 4 个方面：企业商业模式的动态演变、创新和转换；中小企业的商业模式创新；商业模式创新与技术创新；商业模式及其创新的本质、分类、关键能力等理论问题研究。其中，新环境下企业商业模式的创新和转换引起了大量学者的关注，对商业模式本质探讨的理论研究有很大影响。

商业模式创新的研究主要覆盖管理学、心理学、金融学、社会学等多个学科，具有跨学科的特征，并且已累计了大量的研究，是传统研究深入热点。

1.3 基于物联网的服务平台和企业信息系统

在现代商业中，定制需求的频繁变化和企业业务流程的专业化要求企业收集实时数据和拥有有效、高效的业务流程。服务平台能够对产品生命周期进行管理，为数据集成和智能交互提供信息支持。而企业信息系统能够将业务流程管理、工作流管理、企业应用集成、面向服务的架构以及网络计算等技术进行组合。同时，物联网能够处理实时和异构数据，实现物体与物体之间状态信息的实时共享和智能化收集、传递、处理、执行。物联网的运用包含对大量不同的设备和异构网络的应用，以建立形式化和系统的服务平台和企业信息系统，支持数据采集、通信和所有决策活动。基于物联网的服务平台和企业信息系统这一热点目前的研究内容主要包括 5 个方面：基于物联网的云制造服务体系、企业云服务架构、企业信息系统架构分析、应急响应决策支持系统框架和基于物联网的可配置信息服务平台。

1.4 人力资源：组织绩效和竞争力的影响

伴随知识经济时代的到来，人才竞争日益激烈。人力资源是组织获得竞争优势的最重要资源。人力资源管理是有助于企业总体绩效水平提升的一项组织因素，被视为“创建和实现组织使命、愿景、战略和目标的潜在贡献者”。企业人力资源的研究主

要在人力资本、组织惯例和离职意愿三个方向进行了深入分析。首先，在人力资本方向，研究主要以资源基础理论为基础，将人力资本视作企业的核心资源，并认为由此带来的竞争优势可以帮助企业在长期发展中获得组织绩效的提升，同时会结合具体研究情景，从宏观和微观两个层面分析人力资本如何涌现并产生作用。然后，在组织惯例方向，一方面的研究基于组织学习的视角，聚焦于从个体和组织层面分析组织惯例形成和变化的过程，并且通过时间序列的分析证实了组织惯例更新可以提升组织绩效和企业创新力；另外一方面的研究指出组织惯例可以被视为企业在面对外部环境变化时的应对手段之一，主动寻求组织惯例的改变可以帮助企业更加持续稳定地发展。最后，在离职意愿方向，一方面的研究利用长期数据分析了离职率对企业绩效的影响，并针对不同离职类型（自愿离职和被迫离职）、企业规模和行业背景进行了具体探讨；另外一方面的研究关注集体离职这一企业新现象，深入研究集体离职的前因和后果，并在理论构建和实证分析两方面对这一现象进行剖析。近年来，学者们普遍认同一个观点：人力资源管理是组织绩效的战略贡献者，即战略人力资源管理逐渐取代传统人力资源管理日益成为组织尤其是知识型组织进行人力资源管理实践的指导思想。

人力资源：组织绩效和竞争力的影响的研究主要覆盖经济学、管理学、人才学等多个学科，具有跨学科的特征，并且已经累计了大量的研究，是传统研究深入热点。

1.5 集装箱分配和班轮运输网络

集装箱运输是一种便于在现代流通领域内运用大型装卸机械和大型载运车辆进行装卸、搬运作业和完成运输任务的高效率和高效益的运输方式。由于集装箱运输较其他海运方式具备更多的优势，集装箱技术成为了海运领域的重要组成部分。

集装箱班轮运输是指集装箱班轮公司按事先制定的船期表，在固定航线的固定挂靠港口之间，按规定的操作规则为非固定的广大货主提供规范的、反复的集装箱货物运输服务，并按“箱运价”来计收运费的一种营运方式。所以，集装箱班轮运输网络由集装箱港口、集装箱航线网络与在航线网络上运行的船舶组成。目前的研究热点主要包括：班轮运输路线网络的设计与优化、班轮运输网络中集装箱的运输问题、班轮运输网络中船队部署问题以及集装箱船调度优化问题。其中班轮运输网络设计中主要涉及的关键技术为对混合整数规划模型进行近似求解。目前的研究多集中于针对航线网络的各种约束细节进行拓展，使混合整数模型的参数条件更全面、更加接近实际运输情况。在求解中，利用各种复杂的数学工具进行创造性地求解，以使得模型解更加贴近真实情况。另外，全球联动运输网络问题中的基础理论是复杂网络理论，但该理论在本热点中的研究尚处于探索性的基础研究阶段，未来还需要继续深入探讨和研究。

集装箱分配和班轮运输网络的研究主要覆盖交通运输、经济学、自动化、计算机、铁路运输等多个学科，具有跨学科的特征，是传统研究深入热点。

1.6 基于仿真的医疗教学

随着医疗保健事业、计算机硬件技术和信息技术的不断发展，传统的医疗保健教学和培训方式已不能满足医学保健服务患者的要求。基于仿真的医疗教学是一种先进的训练方法，它将以计算技术为核心的虚拟仿真技术开发成模拟仿真系统，用于医学临床教学、医生培训、实践技能测试、技术学习、手术计划等方面的辅助教学，从而提升医生进行临床诊断的准确性及手术时的安全性、可控性及及时性，保证医疗保健质量。基于仿真的医疗教学研究涵盖了仿真技术和方法、概念框架的设计、任务报告的研究、教学训练活动的设计与运用、实践效果

分析与机理研究以及训练成果的临床转换等众多问题，综合运用了医疗仿真、训练理论、实证研究以及转化科学的理论和方法。当前的研究热点是：计算机图形学、人工智能、深度学习、人机接口技术、生物反馈、传感器技术以及并行实时计算机技术，同时还包括人的行为研究等关键技术在医疗保健职业中的应用。未来，智能且自适应的高仿真度的模拟病人的研发是医疗保健行业服务患者的关键要素。

1.7 基于最优状态的维修策略

现代生产设备技术含量高、结构复杂、系统特性强，其故障不但具有很强的随机性，而且故障损失严重，甚至具有灾难性。因此，合理的维修策略极其重要。设备维修理念从 20 世纪 50 年代以前的单纯的故障维修发展到定期的预防维修，现在正向基于最优状态的维修的方向转变。

基于最优状态的维修策略是一种先进的维修方式，它通过状态监测技术获取反映设备状态的有关信息，利用信号分析、故障诊断、可靠性评估、寿命预测等技术，判断设备的状态，识别缺陷状态的早期征兆，对缺陷情况以及缺陷状态的发展趋势做出分析和预测，并根据对设备缺陷状态诊断和预知的结果推荐最佳的维修策略。

缺陷状态的早期识别、缺陷状态的诊断和劣化程度的预知以及决策优化模型是该过程中三个关键的技术问题。缺陷状态的早期识别依赖于基于传感器技术的状态监测，以及通过隐马尔可夫模型、随机滤波等理论建模的缺陷发生时刻识别技术。诊断缺陷状态和预知劣化程度能为制定具体的维修方案提供科学依据，其解决途径主要包括短时傅里叶变换、小波变换等状态监测数据的分析和处理，以及人工神经网络方法、专家系统、有限元法等设备状态预知建模方法。决策优化模型是状态维修决策的核心部分。结合维修费用等经济因素，根据一定的优化目标，如停机时间的期望值最短、单位时间内

维修费用的期望值最小、系统的可用度期望值最大等，建立相应的决策优化模型。

基于最优状态的维修策略研究主要覆盖机械、管理、数学、自动化、计算机等多个学科，是新兴的前沿热点。

1.8 多目标粒子群优化

粒子群优化算法源于对鸟群觅食行为的详细研究，利用信息共享机制，使个体间可以相互借鉴经验，从而促进种群发展。粒子群优化算法是使用进化算法得到一群代表候选解以此解决问题的方法，其优点是概念简单、对优化问题要求较低、求解速度快、全局搜索能力强，是一种相对较新的启发式算法。粒子群优化算法分为收敛性分析、实际应用和理论优化三个研究方向。多目标粒子群优化属于理论优化。一个子目标的改善可能引起另一个或另几个子目标的性能的降低，因此多目标优化是对各个子目标进行协调和折中处理，得到一组不存在优劣关系的最优解，然后人为地从中选择。现实生活中多目标优化问题决策变量多，利用粒子群优化算法能够清楚、简单、高效地解决多目标优化问题。目前，针对多目标粒子群优化算法的研究主要集中在粒子群优化算法效率、多目标优化技术、针对特殊问题的改进三个方面。在算法机制改进方面，研究主要集中在求解算法参数随演化进展变化的自适应粒子群算法，求解离散问题的离散粒子群算法，以及求解模糊优化问题的模糊粒子群算法等问题；而在多目标优化机制方面，研究主要集中在非支配解的选择，外部档案集的修剪，保持非劣解集的多样性，以及全局最优解 g_{best} 和个体最优解 p_{best} 的合理选取等问题。

1.9 单车共享系统

单车共享系统的概念是 20 世纪 60 年代提出的，

但是直到 20 世纪 90 年代末，仍仅有少数城市提供共享单车服务。随着全球变暖、环境污染问题越发严重以及城市快速机动车发展带来交通压力剧增，可持续发展逐渐得到各国重视，共享单车作为一种绿色环保的出行模式逐渐流行。共享单车指提供自行车以便人们在自助服务的停车点用车和停放车。共享单车具有灵活流动性，可扩大公共交通的容纳性，减轻交通拥堵问题，并减少燃料使用和污染排放量。个体使用共享单车的原因、共享单车的使用情况、用户偏好以及共享单车使用对个人和社会的影响已经引起了广泛关注，近来研究的关键问题为：运营管理问题、车辆调配问题、维修保养问题、租赁点布局布设问题、路径容纳问题和系统规模问题等科学问题。研究者和管理者基于多种融合算法，如静态的调度优化算法 NP-hard 和启发式算法（禁忌搜索算法、遗传算法、模拟退火和蚁群算法等），通过仿真平台对多目标动态布局建立适应城市特点的优化模型进行验证。基于物流表示法和分支割断法解决混合整体线性规划问题，在原始网格规划中找到多种可行径；基于奔德斯分解法加强线性规划问题松弛性，解决基于车辆行驶路径的容量类问题。未来的发展趋势是通过集成全球定位系统（GPS）、E-Bike 平台和 Dockless 系统等共享系统，加强公共交通一体化；同时，推进使用单车的人数统计、使用频率及使用线路等目标的研究。

单车共享系统的研究主要覆盖经济学、交通运输、信息技术、汽车工业等多个学科，具有跨学科的特征，是新兴的前沿热点。

1.10 可交易电子通行权机制

可交易电子通行权机制是一种借鉴了环境领域碳排放交易机制的城市治堵新方案。在该机制下，政府将道路通行权以电子路票的形式在每个周期开始前免费发放给所有合格的市民，然后根据道路的拥堵程度在不同时段向不同路段上的车辆收取不

同数目的电子路票。市民可根据路票的扣取标准，自由地决定其出行方式和出行路径，并将多余的电子路票通过政府监管的交易平台卖给其他有需要的道路使用者。在这样的可交易电子通行权机制下，通过科学的路票总量和不同路段、时段扣取方案设计，政府能够有效地管控道路的车流总量，引导出行者的出行时间和路径选择，获得和最优拥堵收费方案相同的治堵效果。在移动互联网技术、GPS、无线通讯技术以及信息和交易平台管理技术日渐完善的今天，该方案有很强的可实施性。

现有的研究探讨了给定可交易电子通行权机制下的静态均衡和动态流量及价格演化过程；同质和异质用户、需求函数信息缺失和考虑交易成本等不同假设下的可交易电子通行权机制设计；可交易电子通行权机制与道路收费等其他机制的混合方案设计；以及类似可交易权利机制在停车位分配等其他领域的拓展应用等问题。为推动该机制的进一步落实，未来还需要解决的问题包括：如何保证初期电子路票分配的公平性；如何确定合理的电子路票发放和使用周期；以及通过仿真更加细致的刻画电子路票价格和道路流量的动态演化过程等。

2 工程研究焦点解读

2.1 模糊群决策方法

决策在经济、政治、社会等各个领域无处不在，科技的飞速发展使得知识和信息量出现了爆炸式的增长，各类决策问题变得错综复杂。越来越多的决策问题同时包含定量指标和定性指标，形成了复杂的多属性决策问题。随着决策理论的发展，模糊群决策问题成为近年来受到人们关注的新课题，它在军事、经济、管理、系统工程等诸多方面有着广泛的理论研究意义和实际背景。虽然对模糊群决策的研究已经取得了一些成果，但从理论和实际应用方面来看，还迫切需要进一步深入的研究。

下面主要对在群决策过程中如何集结各个主体的偏好形成群体偏好，如何根据属性对备选方案进行排序以及模糊决策信息测度理论等问题进行更加深度的分析。

2.1.1 模糊信息集结方法研究

对于模糊信息的决策问题，研究者普遍采用集结算子，将多维的模糊决策信息集结为一个单一值，然后根据备选方案的决策信息集结值进行排序，供决策者进行分析决策。因此，集结算子在模糊信息的决策过程中发挥着重要的作用。

目前研究最成熟的集成算子是 1988 年由 Yager 提出的有序加权平均算子，其作用是对评价信息进行排序，然后根据排序位置对信息进行加权后集结。关于模糊信息集结方法的研究热点主要包括：根据直觉模糊集、犹豫模糊集和模糊语言等不同的模糊信息的表达方式研究相应的集结算子；将当前的有序加权平均算子拓展形成更多的广义集结算子；以及研究这些集结算子的交换性、幂等性和单调性等期望性质。目前，在直觉模糊集集结算子方面的研究较为成熟；在犹豫模糊集和语义模糊信息等方面的研究较少，在此方面具有更大的研究发展空间。

2.1.2 模糊决策信息测度理论研究

测度理论在模糊决策方法中起到重要作用，主要集中在模糊信息的距离测量和相似度测量，是众多决策方法的基础。距离和相似度指标主要用于度量数据之间的距离和相似度。

该类研究主要可以分为基于传统的欧氏距离、汉明距离等的距离测度，基于有序加权距离、混合加权距离和模糊有序加权距离的加权距离算子测度以及信息熵理论。关于模糊决策信息测度理论研究热点主要包括：研究将距离测量拓展到模糊决策、直觉模糊决策、区间直觉模糊决策和犹豫模糊决策

中；研究基于加权距离算子、Choquet 积分、几何距离模型等理论推广形成的一系列的直觉模糊信息和区间直觉模糊信息的距离测度和相似性测度方法；以及基于直觉模糊信息和区间直觉模糊信息的相对熵的信息测度方法等。

2.1.3 模糊偏好关系及其排序方法研究

偏好关系描述了在决策问题中决策者对属性或准则等目标进行表达时的偏好信息，通过比较每两个目标的关系可得到所有目标的排序。

模糊偏好关系在当前研究中较为成熟，其核心是希望在单位闭区间 $[0,1]$ 中取任意值的隶属度函数和非隶属度函数来表达决策者对不同的两个目标之间的偏好关系。研究热点主要包括：采用区间直觉模糊偏好矩阵来解决在区间直觉模糊集背景下条件信息不充分的问题；针对由于决策者自身能力有限和事物具有模糊性的特点，研究单个偏好的一致性和全体偏好关系的共性来解决单个偏好关系不一致或者群体偏好关系不相容问题；研究如何采用一些广义的有序加权平均算子的一致性指标来反应对区间模糊偏好关系；以及如何解决在专家权重未知情况下如何表征偏好关系的方法。

2.1.4 发展现状与未来发展趋势

决策者对备选方案进行排序主要依赖集结方法将多维模糊决策信息集结为单一值，并以此作为依据进行排序。因此研究多种模糊信息形式下的集结方法成为当前的研究热点，研究人员在现有的有序加权平均算子的基础上进行推广得到许多广义集结算子，并定义了运算法则和研究了该集结算子的期望性质；越来越多的决策问题同时包含定量指标和定性指标，形成复杂的多属性决策问题，从这些问题中，研究人员提出了区间梯形模糊数的多属性群决策方法，三角形模糊数、直觉模糊数、区间直觉

模糊数、犹豫三角模糊信息和模糊数字直觉模糊信息的多属性群决策方法，直接模糊数形式属性的多属性群决策方法；为解决决策过程中包括决策信息模糊、权重不确定、多准则等众多问题，研究者们提出了多种决策方法，比如多准则区间直觉模糊决策法，在决策方法中使用汉明距离、充足率系数等方法将决策者偏好信息参数化，在决策者提供的区间直觉模糊决策信息的背景下测量决策者的权重，通过以区间数的形式使用、推广 TOPSIS 法，从个人决策中确定决策者们的权重。

我国的专家学者在模糊决策信息集结方法研究、模糊决策信息测度理论研究和模糊偏好关系及其排序方法研究方面均有成果，提出了多种模糊群决策方法，对模糊群决策研究做出了重要贡献。

该热点主要涉及数学、经济学、自动化、决策学、工业经济、计算机等科学，属于传统研究深入热点。

2.1.5 模糊群决策方法重点研究国家和机构

“模糊群决策方法”工程研究焦点中核心论文数量排名前3的国家分别为中国、西班牙和美国(表 2.1.1)，篇均被引频次排名前3的国家/地区分别为中国台湾、西班牙和中国(表 2.1.1)。从核心论文产出国的合作网络(图 2.1.1)来看，在论文数量排名前6的国家中，中国、美国和西班牙合作较多。

核心论文数量排名前3的机构分别为巴塞罗那大学(Univ Barcelona)、重庆文理学院和安徽大学(表 2.1.2)。从核心论文产出机构排名前10的

表 2.1.1 “模糊群决策方法”工程研究焦点中核心论文的主要产出国家或地区

序号	国家/地区	核心论文数	论文比例	被引频次	被引频次比例	篇均被引频次	常被引论文数	专利引用篇数
1	China	28	70.0%	1306	66.80%	46.64	6	0
2	Spain	13	32.5%	662	33.86%	50.92	1	2
3	USA	4	10.0%	147	7.52%	36.75	1	0
4	Taiwan of China	2	5.0%	112	5.73%	56.00	0	0
5	Canada	2	5.0%	73	3.73%	36.50	1	0
6	England	1	2.5%	16	0.82%	16.00	0	0

表 2.1.2 “模糊群决策方法”工程研究焦点中核心论文的主要产出机构

序号	机构	核心论文数	论文比例	被引频次	被引频次比例	篇均被引频次	常被引论文数	专利引用篇数
1	Univ Barcelona	13	32.5%	662	33.86%	50.92	1	2
2	Chongqing Univ Arts & Sci	11	27.5%	572	29.26%	52.00	3	0
3	Anhui Univ	6	15.0%	231	11.82%	38.50	1	0
4	Ohio State Univ	3	7.5%	111	5.68%	37.00	1	0
5	Cent S Univ	2	5.0%	128	6.55%	64.00	1	0
6	Guangdong Ocean Univ	2	5.0%	79	4.04%	39.50	0	0
7	Tianjin Univ	2	5.0%	73	3.73%	36.50	0	0
8	Zhejiang Wanli Univ	2	5.0%	64	3.27%	32.00	0	0
9	Shandong Econ Univ	1	2.5%	80	4.09%	80.00	1	0
10	Chang Gung Univ	1	2.5%	69	3.53%	69.00	0	0

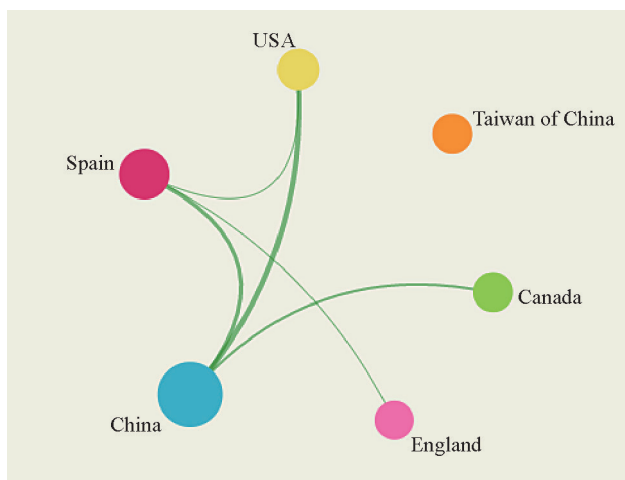


图 2.1.1 “模糊群决策方法”工程研究焦点主要国家或地区间的合作网络¹

合作网络（图 2.1.2）来看，俄亥俄州立大学（Ohio State Univ）、安徽大学和巴塞罗那大学合作较多。

2011—2016 年间，我国发表的与“模糊群决策方法重点研究国家和机构”工程研究焦点相关的核心论文有 28 篇（表 2.1.1），发表核心论文数量较多的大陆机构为重庆文理学院和安徽大学等（表 2.1.2）。

中国和西班牙在该研究热点中的成果最多，且篇均被引频次均较高，处于领跑地位；美国和加拿大也有部分研究。中国与这些国家之间均有合作关系。各国的不同研究机构之间互有合作，形成众多合作子网络。

从分析结果可以看出，西班牙的巴塞罗那大学、中国的重庆文理学院和安徽大学在该研究热点中做出了重要贡献，这三家机构的研究成果占到总研究成果的 75%（表 2.1.2）。

2.2 基于物联网的服务平台和企业信息系统

物联网的概念最初来源于美国麻省理工学院在 1999 年提出的网络无线射频识别系统，2005 年国际电信联盟在突尼斯举行的信息社会世界峰会上正式确定了“物联网”的概念。狭义上的物联网指连

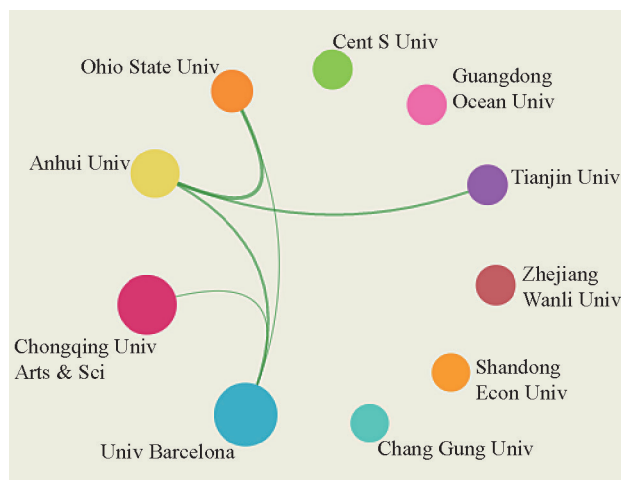


图 2.1.2 “模糊群决策方法”工程研究焦点主要机构间的合作网络

接物品到物品的网络，可实现物品的智能化识别和管理；广义上的物联网则可以看作是信息空间与物理空间的融合，将一切事物数字化、网络化，在物品之间、物品与人之间、人与现实环境之间实现高效信息交互方式，并通过新的服务模式使各种信息技术融入社会行为，是信息化在人类社会综合应用中达到的更高境界。服务平台利用抽象信息模型，将产品生命周期管理中的信息封装、组合、拆卸、传输、跟踪和交互，为数据集成和智能交互提供信息支持。企业信息系统是集成改进企业业务流程功能的任何一种信息系统，能够处理大量的数据，以支持大型和复杂的组织或企业。物联网被看作是信息领域的重大发展和变革机遇，基于物联网的服务平台和企业信息系统能够支持灵活和可配置的模式的使用，覆盖不同生命周期阶段的分布式和异构产品数据的统一管理。

基于物联网的服务平台和企业信息系统包含基于物联网的云制造服务体系、企业云服务架构、企业信息系统架构分析、应急响应决策支持系统框架和基于物联网的可配置信息服务平台这 5 个前沿分支工程。

2.2.1 基于物联网的云制造服务体系

在网络化制造时期，运营模式、制造资源共

¹ 图中，节点表示国家/地区，节点大小表示论文数量，节点连线表示有合作发表论文，连线粗细表示合作论文数量，全文相同。

享与分配、终端物理设备智能接入、安全解决技术和手段都不够完善。云计算能改变服务模式；云安全能解决网络化制造的安全问题；结合物联网技术的发展，云制造能解决复杂的制造问题和开展大规模协同制造。云制造是一种利用网络和云制造服务平台，按用户需求组织网上制造资源（制造云），为用户提供各类按需制造服务的一种网络化制造新模式。与信息化制造技术相比，云制造与物联网的融合有 5 个更为突出的技术特征，分别是制造资源和能力的物联化、虚拟化、服务化、协同化和智能化；同时可解决 10 大类关键技术，分别是总体技术、资源感知与接入技术、资源能力的虚拟化和服务化技术、虚拟云制造服务环境构建与管理技术、虚拟化云制造服务环境运行技术、虚拟化云制造服务环境评估技术、云制造可信与安全制造服务技术、云制造普适人机交互技术、云制造服务平台应用技术和信息化制造技术。目前基于物联网的云制造服务体系正在实施阶段，各国也十分重视云制造产业。

2.2.2 企业云服务架构

现代企业的 IT 服务需要更大的灵活性、可扩展性和成本优势，企业云服务提供按需和可扩展计算服务。企业云服务构架是将企业的 IT 资源整合成可操作的、基于标准的服务，使其能被重新组合和应用。云服务是基于互联网的相关服务的增加、使用和交付模式，通常涉及通过互联网来提供动态易扩展且经常是虚拟化的资源。云服务可以划分为基础架构服务、软件服务和平台服务。利用云服务，能够实现服务的快速接入、较少的前期成本投入和灵活的付费模式。目前企业云服务构架发展趋势有 5 点：开发服务水平协议感知企业云服务架构；发展中小企业特定企业云服务；开发通用云服务接口；制定评估标准和决策支持工具；进行企业云迁移因素调查。

2.2.3 企业信息系统架构分析

信息系统架构是一个体系结构，反映了一个政府、企业或事业单位的信息系统的各个组成部分之间的关系，以及信息系统与相关业务、信息系统与相关技术之间的关系，是指应用程序、技术和数据的相应选择和投资组合的定义，硬件、软件和通讯的配置等。企业信息系统架构的优点在于能够给企业提供一个更敏捷的系统；能够更好地重用企业现有的 IT 资产；减少开发成本和增加重用；给整个系统提供更完善的集成；将每个应用看作服务，形成共享，从根本上解决“信息孤岛”的问题。企业的决策者只需要根据企业管理层面的战略来制定流程，而 IT 系统变化时只需把业务应用作为服务模块拿来就用，而不用考虑底层的架构方法和实现细节。信息系统架构依然存在一定的问题：安全性不能完全保证；信息系统架构的目的性不强；对信息系统架构的原则研究较少。目前未有与信息系统架构技术研究相关的著作；学位论文大多是关于对已经存在或成熟的技术在某些领域的应用。在为企业信息系统选择软件结构体系时，要考虑多个且经常发生冲突的质量属性。

2.2.4 应急响应决策支持系统框架

应急响应决策支持系统需要协助决策者评估应急计划，并在紧急情况下选择适当的应急计划，支持异构的应急响应数据源，并为决策者提供适当的应急救援知识。它还需要提供差异化服务来满足要求。系统是否有效取决于它所依据的框架。应急响应决策支持系统主要用于制定应急预警、应急预案，协调指挥应急活动，管理资源，提供相关知识。应急响应决策支持系统框架的主要组成部分是电子政务、信息技术基础设施库和决策反馈机制。应急响应决策支持系统是支持政府应急响应的电子政务的重要组成部分。应急响应决策涉及到组织、部门、人员、资源和法律问题。应急响应决策的根本挑战是如何使应急响应决策支持系统应用程序有效应对紧急情况，

以及如何使遇难者在紧急救援过程中获得满意。应急决策体系框架的研究分为四个方向：实施应急响应决策支持系统的核心模块；通过互联网研究应急方案和建议，并在应急决策支持系统中学习知识仓库运行机制；将新技术应用到新建立的工业信息集成工程和企业系统中，将现有系统开发成高度集成的系统；整合数据挖掘、物联网、粒子群优化、社交网络等新技术或概念体系来提高现有系统性能。

2.2.5 基于物联网的可配置信息服务平台

物联网软件不仅需要处理实时和异构数据，还需要支持业务的复杂应用，支持使用灵活和可配置的模式，对覆盖不同生命周期阶段的分布式和异构产品数据的统一管理至关重要。可配置信息服务平台可以为数据集成和智能交互提供信息支持，有利于开发基于物联网的应用程序。可配置和开放的基于物联网的应用程序软件平台涵盖整个产品生命周期，从而可以将异构和分布式产品信息集成到产品制造数量管理内部组织。基于物联网的可配置信息服务平台包含生命周期、产品结构和信息三个维度。基于物联网的可配置信息服务平台能够在移动环境中设计、开发和执行企业应用程序，综合解决多层次产品生命周期管理的问题。

2.2.6 发展现状与未来发展趋势

目前的物联网研究主要集中在物体识别或事件处理，研究重点是设计和制造，大部分研究没有高水平的综合智能交互，在产品的使用、维护和维修等各个阶段，缺乏完整的信息表征。传统的企业信息系统主要在层次结构上实现，它们不能灵活地适应变化和不确定性。产品信息仅包含一些完整的参数，部件的语义关系在组装过程中丢失。而未来，基于物联网的信息和服务平台将不仅能够支持产品生命周期管理和无缝集成来自不同阶段的异构数据，还可以将这些对象的语义关系无缝集成，以支持智能交互。

该热点主要涉及计算机、经济、工业、电信、自动化等学科，属于新兴前沿热点。

2.2.7 基于物联网的服务平台和企业信息系统重点研究国家和机构

“基于物联网的服务平台和企业信息系统”工程研究焦点中核心论文数量排名前3的国家分别为中国、美国和泰国(表2.2.1)，从核心论文数来看，中国基本处于领跑地位。篇均被引频次排名前3的国家/地区分别为威尔士、美国和英格兰(表2.2.1)。从核心论文产出国的合作网络(图2.2.1)来看，

表 2.2.1 “基于物联网的服务平台和企业信息系统”工程研究焦点中核心论文的主要产出国家或地区

序号	国家/地区	核心论文数	论文比例	被引频次	被引频次比例	篇均被引频次	常被引论文数	专利引用篇数
1	China	46	92%	1657	81.87%	36.02	1	0
2	USA	44	88%	1864	92.09%	42.36	3	0
3	Thailand	5	10%	171	8.45%	34.20	0	0
4	England	4	8%	166	8.20%	41.50	0	0
5	Sweden	3	6%	71	3.51%	23.67	0	0
6	Wales	1	2%	86	4.25%	86.00	0	0
7	Poland	1	2%	36	1.78%	36.00	0	0
8	Taiwan of China	1	2%	26	1.28%	26.00	0	0
9	Scotland	1	2%	25	1.24%	25.00	0	0
10	Finland	1	2%	23	1.14%	23.00	0	0

在论文数量排名前 10 的国家 / 地区中，中国和美国合作较多。

核心论文数量排名前 3 的机构分别为欧道明大学 (Old Dominion Univ)、中国科学院和上海交通大学 (表 2.2.2)。从核心论文产出机构排名前 10 的合作网络 (图 2.2.2) 来看，中国科学技术大学、上海交通大学、中国科学院和欧道明大学合作较多。

2011—2016 年间，我国发表的与“基于物联网的服务平台和企业信息系统”工程研究焦点相关

的核心论文有 46 篇 (表 2.2.1)，发表核心论文数量较多的大陆机构为中国科学院、上海交通大学和中国科学技术大学等 (表 2.2.2)。

2.3 基于仿真的医疗教学

基于仿真的医疗教学是指将信息、演示和实践学习整合到医疗教学活动中，通过仿真的手段进行知识和技能的训练。具体研究主要围绕医疗保健职业的教学训练活动。基于仿真的医疗教学研究涵盖

表 2.2.2 “基于物联网的服务平台和企业信息系统”工程研究焦点中核心论文的主要产出机构

序号	机构	核心论文数	论文比例	被引频次	被引频次比例	篇均被引频次	常被引论文数	专利引用篇数
1	Old Dominion Univ	43	86%	1850	91.40%	43.02	3	0
2	Chinese Acad Sci	30	60%	1131	55.88%	37.70	0	0
3	Shanghai Jiao Tong Univ	22	44%	740	36.56%	33.64	0	0
4	Univ Sci & Technol China	17	34%	552	27.27%	32.47	0	0
5	Beihang Univ	7	14%	314	15.51%	44.86	0	0
6	Indiana Univ Purdue Univ	7	14%	261	12.90%	37.29	0	0
7	Chulalongkorn Univ	5	10%	171	8.45%	34.20	0	0
8	Northeastern Univ	4	8%	178	8.79%	44.50	0	0
9	Corp Res	3	6%	71	3.51%	23.67	0	0
10	ABB	3	6%	71	3.51%	23.67	0	0

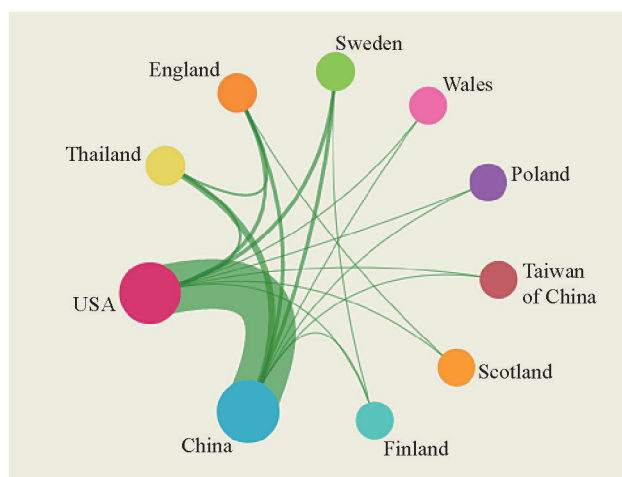


图 2.2.1 “基于物联网的服务平台和企业信息系统”工程研究焦点主要国家或地区间的合作网络

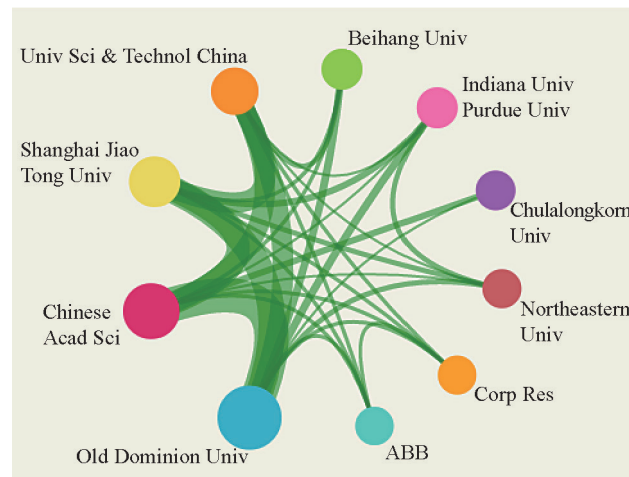


图 2.2.2 “基于物联网的服务平台和企业信息系统”工程研究焦点主要机构间的合作网络

了仿真技术和方法、概念框架的设计、任务报告的研究、教学训练活动的设计与运用、实践效果分析与机理研究以及训练成果的临床转换等众多问题，综合运用了医疗仿真、训练理论、实证研究以及转化科学的理论和方法。

医疗教学中仿真的运用可以认为源自航天领域的飞行模拟。传统的医疗教学类似学徒制，学员一开始就处于一个高风险的实际手术操作环境，而基于仿真的医疗教学可以在接触病人之前为学员提供一个安全的技能训练环境。另一方面，相关研究证实相对于课堂学习，基于仿真的医疗教学在临床技能的学习中具有更好的训练效果。

经过几十年的发展，基于仿真的医疗教学已经在医疗领域中大量运用，涵盖了从社区医院到学术型医疗机构、从学生到医疗专家、从临床手术到团队沟通的众多方面，并发挥着重要的作用。大量文献充分论证了基于仿真的医疗教学的训练效果和重要意义，作为一个传统研究热点，目前的热点文献涉及医疗保健学科、教育学科、工效学和心理学。

2.3.1 工程科学主流及分支工程科学

从工程科学的角度，基于仿真的医疗教学的研究热点主要包含医疗保健研究和训练问题研究。

医疗保健学科是一个包含综合护理、物理治疗、职业疗法和健康经济学等众多学科在内的泛学科研究。作为医疗保健与服务学科的一部分，基于仿真的医疗教学侧重通过仿真教学的方法，训练医护人员的知识技能，并最终提高实际的医疗保健水平。研究关注的重点包括：

(1) 针对医疗教学的仿真教学技术和方法的研究，通过仿真工具的运用和仿真环境的研究提高仿真的科学性、灵活性和真实性，从而提高基于仿真的医疗教学的效果。该方法强调仿真技术的创新，将演员模拟病人、物理人体模型、多媒体计算机系统和标准化病人等用于医疗教学。

(2) 借助医药研发中转换研究的思想，研究基于仿真的医疗教学的教学成果在实际中的临床运用，包括设计教学效果的检测方法、如何促进训练成果的转换和如何将基于仿真的训练方法用于转换研究自身等。

训练是指通过采用系统的方法，以拓展受训者工作相关的知识、技能和态度，研究训练工具、训练方法、训练策略和训练内容等。作为训练研究在医疗领域的实际运用，基于仿真的医疗教学研究关注的重点包括：通过设计实验或者元分析等方法，对比和论证基于仿真的医疗教学的训练效果；从训练的角度出发，研究适用于医疗教学的学习理论与概念框架，用于指导设计基于仿真的医疗教学，如认知负载理论、团队训练理论、基于仿真的训练概念框架、任务报告和学员特征分析等；研究基于仿真的医疗教学的内在机理以及设计策略，分析从程序化的基础技能到复杂的手术等不同的运用带来的医疗教学差异等。目前的研究主要包括对教学人员的研究、医疗教学的成本效益比、仿真能力的分配以及设计辅助工具用于支持训练的各个环节。

2.3.2 发展现状与未来发展趋势

目前，基于仿真的医疗教学研究包括了仿真技术和方法的研究、学习理论和方法的研究、实际运用的研究以及训练成果的转换研究等众多领域。有关研究的现状和发展主要包括以下几个方面：

(1) 一般认为，医疗技术的研究存在三个阶段，从上游的 T1 阶段（实验室技术研究），到下游的 T2 阶段（病人护理的临床运用）和 T3 阶段（能够实际提高病人和公共卫生健康的运用）。将这一概念推广到基于仿真的医疗教学研究中可以发现，现有研究大多针对仿真教学的教学方法和技术（T1 阶段），近年来的少部分研究论证了其在临床实验（T2 阶段）和最终医疗水平的提高（T3 阶段）中取得成效的可行性。未来的研究思路由研发仿真系统扩展到临床应用，即如何测试仿真系统的实际效

果从而选择以及顺利操作系统；如何将仿真用于分析患者、技术、医疗保健职业和组织机构的关系等；如何将仿真中获得的知识转换为实际操作的指导原则或者实际的教学课程。这也是此次的分析中，大多数热点文章的关注点。

(2) 基于仿真的医疗教学以专门建立的仿真中心作为主要训练场所，与临床实际存在差异，带来了转换问题。一些研究开始关注原位模拟，将实际临床环境和仿真相结合。目前，原位模拟已经取得了一定进展，但主要还是局限在对外科手术等少量领域运用的描述上，缺乏全面系统的研究。

(3) 现有研究主要关注仿真技术和创新，忽视了“人”的因素。换句话说，研究主要围绕医疗教学的技术和方法，缺乏对教学人员自身的关注。教学人员作为医疗教学活动的组织者和引导者，对医疗教学具有重要影响。未来的研究应该更多地关注教学人员自身的作用，如教学人员自身的特性和行为对教学活动的影响、对教学人员激励机制的影响等。

(4) 在已有的实证研究中，在训练有效性的论证方面，研究者们更多关注“是否有效”，却很少探究“为什么有效”，以志愿者为主的实验设计模式也缺乏临床实际效果的验证。同时，许多现有研究缺乏对不同已有方法之间的比较研究。

(5) 仿真训练的一些重要环节，尤其是任务报告过程，是当前研究的重点。任务报告是指学员在教学人员的指导下展开的带有反思性质的讨论，通过讨论发现和填补教学活动中出现的缺陷，增强对知识技能的理解。任务报告是学习周期的重要一环，多篇热点文章分别从任务报告的效用、方法策略和概念框架、辅助工具的设计以及关键问题的分析等不同角度展开了研究。目前关于基于仿真的医疗教学中任务报告的研究还缺乏明确的理论框架，对于其内在机理以及辅助工具的研究也不完善。

该热点主要涉及计算机、自动化、电信、生物、医学等科学，属于传统研究深入热点。

2.3.3 基于仿真的医疗教学重点研究国家和机构

“基于仿真的医疗教学”工程研究焦点中核心论文数量排名前3的国家/地区分别为美国、加拿大和英格兰(表2.3.1)，篇均被引频次排名前3的国家/地区分别为瑞士、比利时和英格兰(表2.3.1)。从核心论文产出国的合作网络(图2.3.1)来看，在论文数量排名前9的国家/地区中，英格兰、加拿大和美国合作较多。

核心论文数量排名前3的机构分别为卡尔加里大学(Univ Calgary)、梅奥医院(Mayo Clin)和多伦多大学(Univ Toronto)(表2.3.2)。从核心论文产出机构排名前10的合作网络(图2.3.2)来看，多伦多大学、梅奥医院、卡尔加里大学和不列颠哥伦比亚大学(Univ British Columbia)合作较多。

这些结果进一步反映出无论在论文的数量还是质量上，美国和加拿大都处于领跑地位。此外，核心论文的产出机构以大学为主，可以认为大学是目前研究的主力，其他的研究机构主要是医院和医疗中心。同时，大学和医院的研究者之间存在明显的合作，这也证明了前文中所强调的当前研究对于临床实践的关注。

2011—2016年间，我国发表的与“基于仿真的医疗教学重点研究国家和机构”工程研究焦点相关的核心论文有0篇。

现有的核心论文均来自国外的研究，我国目前在基于仿真的医疗教学研究方面与国外存在明显差距。相对于国外从仿真教学技术到临床运用的全面研究，我国的研究在各个方面还处于比较基础的阶段，尤其是在对基于仿真的医疗教学在临床实际的运用方面缺乏有力的分析论证以及进一步的研究。我国在今后的研究中，不应该将目光局限在上游的仿真教学的方法和技术自身，而要落脚到实际，关注如何更加有效地提高下游的临床运用。

“基于仿真的医疗教学”工程研究焦点中施引核心论文的主要产出国家/地区为美国、加拿大、丹麦、英格兰、瑞士(表2.3.3)，主要产出机构为大学健康网络(Univ Hlth Network)、多伦多大学、

表 2.3.1 “基于仿真的医疗教学”工程研究焦点中核心论文的主要产出国家或地区

序号	国家 / 地区	核心 论文数	论文 比例	被引 频次	被引频次 比例	篇均被 引频次	常被引 论文数	专利引 用篇数
1	USA	23	67.65%	692	68.86%	30.09	6	1
2	Canada	12	35.29%	339	33.73%	28.25	1	0
3	England	4	11.76%	141	14.03%	35.25	1	0
4	The Netherlands	3	8.82%	84	8.36%	28.00	1	0
5	Denmark	3	8.82%	63	6.27%	21.00	0	1
6	Switzerland	2	5.88%	83	8.26%	41.50	0	0
7	Belgium	1	2.94%	39	3.88%	39.00	0	0
8	Brazil	1	2.94%	23	2.29%	23.00	1	0
9	Sweden	1	2.94%	15	1.49%	15.00	0	0

表 2.3.2 “基于仿真的医疗教学”工程研究焦点中核心论文的主要产出机构

序号	机构	核心 论文数	论文 比例	被引 频次	被引频次 比例	篇均被 引频次	常被引 论文数	专利引 用篇数
1	Univ Calgary	6	17.65%	181	18.01%	30.17	1	0
2	Mayo Clin	5	14.71%	155	15.42%	31.00	0	0
3	Univ Toronto	5	14.71%	73	7.26%	14.60	0	0
4	Northwestern Univ	4	11.76%	178	17.71%	44.50	0	0
5	Univ London Imperial Coll Sci Technol & Med	3	8.82%	69	6.87%	23.00	1	0
6	Univ British Columbia	3	8.82%	56	5.57%	18.67	0	0
7	Univ Hlth Network	3	8.82%	46	4.58%	15.33	0	0
8	McMaster Univ	2	5.88%	135	13.43%	67.50	0	0
9	Ctr Med Simulat	2	5.88%	82	8.16%	41.00	0	0
10	Harvard Univ	2	5.88%	82	8.16%	41.00	0	0

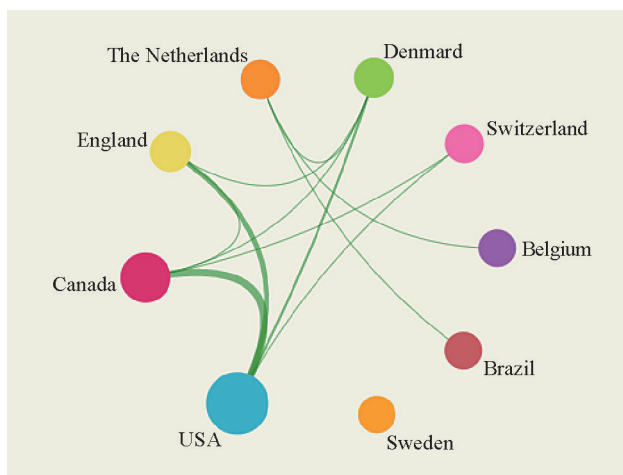


图 2.3.1 “基于仿真的医疗教学”工程研究焦点主要国家或地区间的合作网络

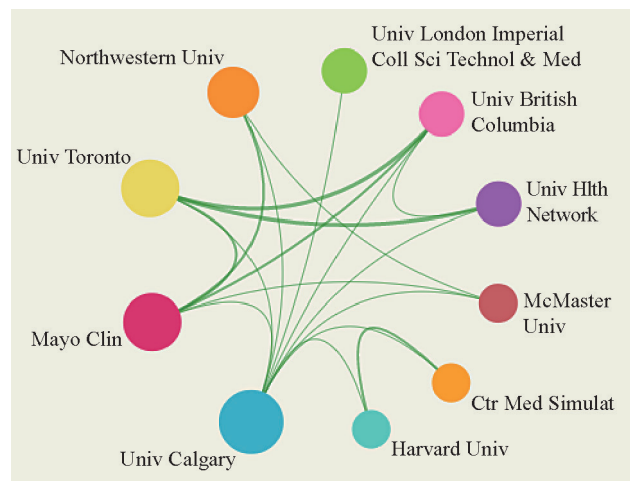


图 2.3.2 “基于仿真的医疗教学”工程研究焦点主要机构间的合作网络

芝加哥安 & 罗伯特·卢瑞儿童医院 (Ann & Robert H Lurie Childrens Hosp Chicago)、芝加哥洛约拉大学 (Loyola Univ Chicago)、卡尔加里大学、西北大学 (Northwestern Univ) (表 2.3.4)。由此看来,中国并非处于跟跑地位。

2.4 多目标粒子群优化

优化问题广泛存在于人们的生产和生活中,近年来,为了解决这些优化问题,涌现了大量关于优化方法的研究。传统的基于数学规划的优化方法理论虽然成熟,但求解优化问题时存在维数窄、要求目标函数连续可导等诸多限制和不足,因此,近几十年来,源于自然演化过程的群集智能优化方法得到极大发展,形成了一系列智能优化算法。粒子群优化算法由于其概念清楚、实现简单、求解效率高

而得到广泛的研究和应用。粒子群优化算法是受鸟群觅食过程中的迁徙和群聚行为的启发而提出的一种基于群集智能的全局随机搜索算法,自其被提出起,一直是智能优化算法研究的热点。2002年 Coello 等学者提出了多目标粒子群优化算法,而后该算法受到国内外相关领域学者的极大关注,研究成果层出不穷。多目标粒子群优化算法被广泛应用于能源、化工、经济、生物信息等诸多领域的多目标优化问题,如多目标可靠性的冗余分配问题、可靠性优化问题;电力系统领域中的最低成本发电扩张问题、电力系统多目标无功优化、发电机多目标约束下的电力系统经济环境调度问题等;经济领域中面向最大利益的股票交易决策多目标优化问题、油田多目标模型求解等;生物信息领域的基因多目标聚类问题、正交免疫克隆多目标优化问题等。

目前,针对多目标粒子群优化算法的研究主要

表 2.3.3 “基于仿真的医疗教学”工程研究焦点中施引核心论文的主要产出国家或地区

序号	国家 / 地区	施引核心论文数	施引核心论文比例	平均施引年
1	USA	6	42.86%	2014.0
2	Canada	5	35.71%	2014.2
3	Denmark	1	7.14%	2015.0
4	England	1	7.14%	2015.0
5	Switzerland	1	7.14%	2013.0

表 2.3.4 “基于仿真的医疗教学”工程研究焦点中施引核心论文的主要产出机构

序号	机构	施引核心论文数	施引核心论文比例	平均施引年
1	Univ Hlth Network	3	10.71%	2013.67
2	Univ Toronto	3	10.71%	2013.67
3	Ann & Robert H Lurie Childrens Hosp Chicago	2	7.14%	2015.00
4	Loyola Univ Chicago	2	7.14%	2014.00
5	Univ Calgary	2	7.14%	2013.50
6	Northwestern Univ	2	7.14%	2014.00
7	Alberta Childrens Prov Gen Hosp	1	3.57%	2015.00
8	ETH	1	3.57%	2013.00
9	Herlev Univ Hosp	1	3.57%	2015.00
10	Hosp Sick Children	1	3.57%	2014.00

注: ETH 代表 ETH Zurich。

集中在粒子群优化算法效率、多目标优化技以及针对特殊问题的改进研究。在算法机制改进方面，研究主要集中在求解算法参数随演化进展变化的自适应粒子群算法，求解离散问题的离散粒子群算法以及求解模糊优化问题的模糊粒子群算法等问题；而在多目标优化机制上方面，研究主要集中在非支配解的选择，外部档案集的修剪，保持非劣解集的多样性以及全局最优解 g_{best} 和个体最优解 p_{best} 的合理选取等问题。

2.4.1 工程科学主流及分支工程科学

目前，针对多目标粒子群算法的研究主要集中在粒子群优化算法效率、多目标优化技术以及针对特殊问题的改进研究等方面。在提高粒子群优化算法全局搜索能力和收敛速度方面，主要围绕粒子群优化算法自身的改进，如采用小生境、多种群模式提高算法的全局搜索能力，通过合理选择 p_{best} 、 g_{best} 以平衡算法全局搜索能力与收敛速度，惯性权重的动态自适应确定，以及和其他算法的混合以提高算法搜索能力等；在多目标优化技术方面，主要包括研究科学、合理的支配排序以降低计算复杂度，研究新的外部档案集裁剪技术以提高非劣解集的多样性与分布性；在结合实际工程应用方面，主要包括结合工程应用问题实际情况，对目标进行主从分析和分级分层，降低优化目标维度，降低算法求解复杂度，通过引入专家知识以缩减决策变量寻优空间，提高算法收敛速度，针对实际问题研究算法约束处理方法，提高算法求解效率。总体来说，目前各国学者针对多目标粒子群优化算法的研究大多结合实际工程问题开展，以解决实际工程问题为主要导向，专门从理论上研究算法的工作较少，这也是多目标粒子群算法研究需突破的关键问题及今后的发展趋势。

2.4.2 发展现状与未来发展趋势

十多年来，多目标粒子群算法备受关注，产生

了大量的学术论文和数量庞大的高引论文，目前仍是多目标优化领域的研究热点。目前，多目标粒子群算法研究工作围绕两个方面：算法机制改进，如算法参数随演化进展变化的自适应粒子群算法，求解离散问题的离散粒子群算法，以及求解模糊优化问题的模糊粒子群算法等；在多目标优化机制上的研究，如非支配解的选择，外部档案集的修剪，保持非劣解集的多样性，以及全局最优解 g_{best} 和个体最优解 p_{best} 的合理选取等。结合多目标粒子群优化算法的研究现状分析，其未来研究趋势包括：

(1) 粒子群拓扑结构研究。不同的粒子群邻居拓扑结构是对不同类型社会的模拟，例如星形连接、环形连接等；研究不同拓扑结构的适用范围，有利于粒子群优化算法的推广和应用。

(2) 粒子群算法的理论研究。目前算法研究多注重应用研究，算法的参数选择多采用经验的试错法，还缺乏理论指导，因此，需进一步加强对算法的收敛速度、参数鲁棒性、全局收敛性等相关方向的理论研究，包括在多目标、有约束条件等条件下对其特性的探讨。

(3) 高维多目标算法机制研究。面对高维多目标问题，传统的基于 Pareto 排序的多目标算法计算复杂度对优化目标数量增加呈指数增长，即存在维数灾问题。需要进一步研究更为合理、高效的非劣解排序与选取机制，在不降低搜索性能的条件下降低计算时空复杂度。

该热点主要涉及自动化、工业、计算机、电信、航空航天、数学、机械等科学，属于新兴前沿热点。

2.4.3 多目标粒子群优化重点研究国家和机构

“多目标粒子群优化”工程研究焦点中核心论文数量排名前3的国家分别为伊朗、法国和南非(表 2.4.1)，篇均被引频次排名前3的国家分别为墨西哥、南非和法国(表 2.4.1)。从核心论文产出国的合作网络(图 2.4.1)来看，在论文数量排名前

10 的国家中,南非、法国、伊朗和墨西哥合作较多。

核心论文数量排名前 3 的机构分别为 KN 图斯大学 (KN Toosi Univ)、伊斯兰阿萨德大学 (Islamic Azad Univ) 和 KN 图斯工业大学 (KN Toosi Univ Technol) (表 2.4.2)。从核心论文产出机构排名前 10 的合作网络 (图 2.4.2) 来看,KN 图斯大学、KN 图斯科技大学、夸祖鲁 - 纳塔尔大学 (Univ KwaZulu Natal) 和法国化学工程与石油研究院 (IRGCP) 合作较多。

2011—2016 年间,我国发表的与“多目标粒

子群优化”工程研究焦点相关的核心论文有 5 篇。

在本研究热点中,伊朗是核心论文数量占绝对优势的研究国家,是领跑国家,法国、南非、中国、美国等国的核心论文数量也相对较多。

“多目标粒子群优化”工程研究焦点中施引核心论文的主要产出国家为伊朗、法国、南非、中国、印度(表 2.4.3),主要产出机构为德黑兰大学 (Univ Tehran)、KN 图斯大学、石油科技大学 (PUT)、KN 图斯工业大学 (表 2.4.4)。由此看来,中国并非处于跟跑地位。

表 2.4.1 “多目标粒子群优化”工程研究焦点中核心论文的主要产出国家或地区

序号	国家 / 地区	核心 论文数	论文 比例	被引 频次	被引频次 比例	篇均被 引频次	常被引 论文数	专利引 用篇数
1	Iran	27	69.23%	655	72.46%	24.26	1	0
2	France	9	23.08%	284	31.42%	31.56	0	0
3	South Africa	6	15.38%	210	23.23%	35.00	0	0
4	USA	5	12.82%	110	12.17%	22.00	0	0
5	China	5	12.82%	93	10.29%	18.60	0	0
6	India	4	10.26%	119	13.16%	29.75	0	0
7	Mexico	3	7.69%	127	14.05%	42.33	0	0
8	Israel	3	7.69%	64	7.08%	21.33	0	0
9	Malaysia	1	2.56%	29	3.21%	29.00	0	0
10	Turkey	1	2.56%	14	1.55%	14.00	0	0

表 2.4.2 “多目标粒子群优化”工程研究焦点中核心论文的主要产出机构

序号	机构	核心 论文数	论文 比例	被引 频次	被引频次 比例	篇均被 引频次	常被引 论文数	专利引 用篇数
1	KN Toosi Univ	12	30.77%	355	39.27%	29.58	0	0
2	Islamic Azad Univ	11	28.21%	245	27.10%	22.27	0	0
3	KN Toosi Univ Technol	9	23.08%	276	30.53%	30.67	0	0
4	Univ Tehran	8	20.51%	182	20.13%	22.75	0	0
5	PUT	7	17.95%	154	17.04%	22.00	0	0
6	IRGCP	6	15.38%	210	23.23%	35.00	0	0
7	Univ KwaZulu Natal	6	15.38%	210	23.23%	35.00	0	0
8	ENSEM	6	15.38%	161	17.81%	26.83	0	0
9	Univ Massachusetts	4	10.26%	79	8.74%	19.75	0	0
10	IPN	3	7.69%	127	14.05%	42.33	0	0

注: PUT 代表 Petroleum University of Technology; IRGCP 代表 Institut de Recherche en Génie Chimique et Pétrolier; ENSEM 代表 Ecole Nationale Supérieure d'Electricité et de Mécanique; IPN 代表 Instituto Politécnico Nacional。

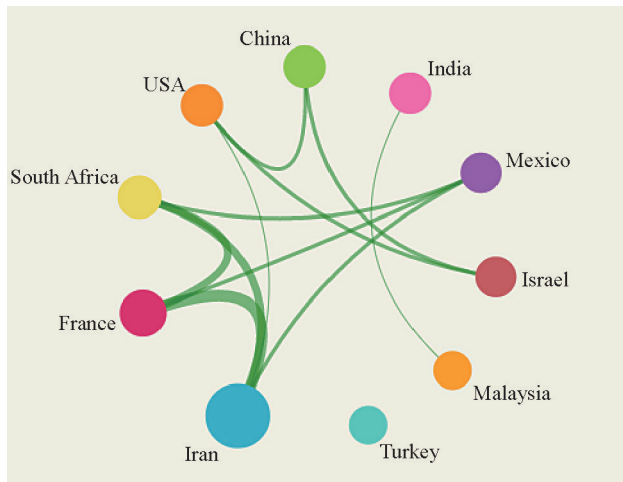


图 2.4.1 “多目标粒子群优化”工程研究焦点主要国家或地区间的合作网络

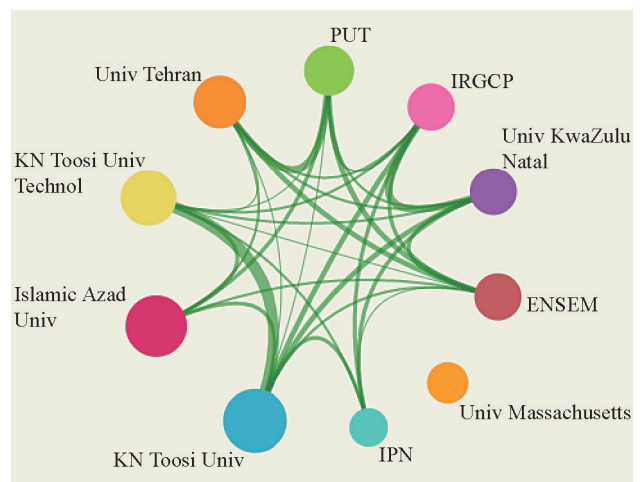


图 2.4.2 “多目标粒子群优化”工程研究焦点主要机构间的合作网络

表 2.4.3 “多目标粒子群优化”工程研究焦点中施引核心论文的主要产出国家或地区

序号	国家 / 地区	施引核心论文数	施引核心论文比例	平均施引年
1	Iran	25	45.45%	2014.60
2	France	9	16.36%	2014.11
3	South Africa	5	9.09%	2013.40
4	China	4	7.27%	2013.75
5	India	3	5.45%	2014.00
6	Israel	2	3.64%	2013.50
7	Mexico	2	3.64%	2013.00
8	USA	2	3.64%	2013.50
9	Australia	1	1.82%	2014.00
10	Malaysia	1	1.82%	2013.00

表 2.4.4 “多目标粒子群优化”工程研究焦点中施引核心论文的主要产出机构

序号	机构	施引核心论文数	施引核心论文比例	平均施引年
1	Univ Tehran	11	11.11%	2014.91
2	KN Toosi Univ	10	10.10%	2014.10
3	PUT	9	9.09%	2014.89
4	KN Toosi Univ Technol	8	8.08%	2014.38
5	ENSEM	7	7.07%	2014.43
6	Islamic Azad Univ	7	7.07%	2015.00
7	IRGCP	5	5.05%	2013.40
8	Univ KwaZulu Natal	5	5.05%	2013.40
9	Imam Khomeini Int Univ	4	4.04%	2015.00
10	Petr Univ Technol	4	4.04%	2015.25

项目参与人员

领域课题组人员

领域课题组组长：何继善 孙永福 丁烈云

其他人员：

王 安 郑静晨 杨善林 周建平 郭重庆
凌 文 胡文瑞 许庆瑞 汪应洛 向 巧
李一军 盛昭瀚 黄海军 高自友 陈晓红
石 勇 胡祥培 唐立新 方东平 李启明
王崑声 吕建中 王孟钧 黄 伟 王红卫
骆汉宾 于泽华 李志纯 钟波涛 李 勇
周 迎 方 吉 瓮晶波 胡诗倩 王 进
李帝铨

执笔组成员

丁烈云 王红卫 骆汉宾 钟波涛 贺 领
汪 旭 武建章 马叶钦 周净杨 赵 玲
覃 晖 陶婵娟 方伟立 徐 捷 张良斌
李凯蔓 盛 达 方 琦 孔刘林 董 超
雷 蕾

致谢人员

鲁耀斌 周建中 杨 海