

九、工程管理

1 工程研究前沿

1.1 Top 10 工程研究前沿发展态势

在工程管理领域，本年度 10 个全球工程研究前沿分别是人机协同决策中的人机信任与合作机制研究、基于区块链技术的数据安全研究、能源系统低碳转型管理与驱动机制研究、基于智能技术的建筑业可持续发展研究、信息物理融合系统风险与安全管理研究、网络平台治理方法研究、人工智能对产业转型和要素分配的影响研究、重大传染病疫情的建模与预测研究、万物互联下的人车路网云融合交通管理研究、战略性矿产资源全产业链复杂系统管理研究，其核心论文发表情况见表 1.1.1 和表 1.1.2。其中，重大突发公共卫生事件下的医疗物资供应与配置研究、供应链韧性、重大工程社会责任研究为重点解读的前沿，后文会详细对其目前发展态势以及未来趋势进行解读。

(1) 人机协同决策中的人机信任与合作机制研究

当今时代，随着信息技术的快速发展，信息技

术已与人类生产、生活深度融合，世界万物呈现互联化，全球数据呈现海量积聚趋势。人机交互逐渐变得无处不在、无时不在，人类与机器正在协同决策！人类智能体现在直觉、推理、经验、学习等方面，机器智能在计算、存储、搜索、优化等方面具有明显优势。虽然，智能机器在某些方面将逐渐拥有类似于人类的智慧和主动认知，以实现快速感知、分析、决策、交流和行为，但是人类智能和机器智能单独都是弱勢的，因此将融合人类智能与机器智能逐步形成新的人机混合社会大脑。人类和智能机器关系的转变，将不可避免地催生人类与智能机器共生、博弈和互进的新社会形态。其中，人机协同决策是实现增强人机混合智能的关键技术，旨在人类和机器进行交互、学习、协同决策，发挥人类和机器的各自优势，最终实现人类与机器的混合智能。当前，人机协同的研究方向主要包括：部分可观测信息下的人机系统动态建模、人机交互、数据驱动的人机混合自适应学习、不确定环境下基于博弈论的人机协同决策与优化控制、人机协同决策中的人机信任与合作机制等。研究人机协同决策可

表 1.1.1 工程管理领域 Top 10 工程研究前沿

序号	工程研究前沿	核心论文数	被引频次	篇均被引频次	平均出版年
1	人机协同决策中的人机信任与合作机制研究	39	1 121	28.74	2017.1
2	基于区块链技术的数据安全管理研究	27	1 793	66.41	2018.9
3	能源系统低碳转型管理与驱动机制研究	66	6 203	93.98	2016.7
4	基于智能技术的建筑业可持续发展研究	7	17	2.43	2020.0
5	信息物理融合系统风险与安全管理研究	37	1 597	43.16	2017.4
6	网络平台治理方法研究	24	1 359	56.62	2017.5
7	人工智能对产业转型和要素分配的影响研究	4	627	156.75	2017.5
8	重大传染病疫情的建模与预测研究	11	670	60.91	2017.2
9	万物互联下的人车路网云融合交通管理研究	30	901	30.03	2016.6
10	战略性矿产资源全产业链复杂系统管理研究	15	795	53.00	2016.5

表 1.1.2 工程管理领域 Top 10 工程研究前沿核心论文逐年发表数

序号	工程研究前沿	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年
1	人机协同决策中的人机信任与合作机制研究	8	9	7	5	7	3
2	基于区块链技术的数据安全研究	0	0	1	9	11	6
3	能源系统低碳转型管理与驱动机制研究	17	14	16	13	5	1
4	基于智能技术的建筑业可持续发展研究	0	0	0	0	0	7
5	信息物理融合系统风险与安全管理研究	4	3	13	10	6	1
6	网络平台治理方法研究	3	1	5	11	3	1
7	人工智能对产业转型和要素分配的影响研究	0	0	2	2	0	0
8	重大传染病疫情的建模与预测研究	1	4	1	3	1	1
9	万物互联下的人车路网云融合交通管理研究	7	7	9	5	1	1
10	战略性矿产资源全产业链复杂系统管理研究	5	4	3	0	3	0

以融合人类和机器的智慧，为复杂人机工程系统和复杂人机社会系统中的管理与决策场景提供重要技术支持，具有重要的战略科学意义。

（2）基于区块链技术的数据安全管理研究

随着万物互联技术的普及，数据成为信息资源的重要载体，与海量数据一同喷涌而来的，还有社会各界对数据安全的担忧。区块链技术与数据具有共生关系。区块链技术是指分布式数据存储、点对点传输、共识机制、加密算法等计算机技术的新型应用模式，是一套以几乎无法伪造或篡改的方式构建而成的数据存储数学架构，可用于存储各类有价值的信息，可以保证数据的安全性和可信度。区块链技术在构建全球大数据重建中发挥关键作用，在生产环节数字化、经济全息化、大数据安全等方面不可或缺。基于区块链技术的数据安全研究主要集中在共识机制、隐私保护、智能合约、监管等几个主要研究方向，在物联网、医疗、物流等领域得以广泛应用。未来研究主要聚焦于区块链技术的数据安全在身份验证、访问控制、数据保护等领域的横纵向技术深化。着力解决大数据的安全性问题，同时保证数据的隐私性，有利于全面保障数据流通使用中的安全合规。

（3）能源系统低碳转型管理与驱动机制研究

能源系统是社会经济系统的重要子系统，涵盖

将自然资源转变为人类社会生产和生活所需特定能量服务形式的整个过程，通常包括勘探、开采、运输、加工、转换、存储、输配、使用和环保等环节。面对全球气候变化挑战和日益趋紧的资源与环境约束，低碳化、清洁化、高效化成为全球能源系统加速发展的必然趋势。其中，低碳化主要是指能源系统中二氧化碳排放量的大幅降低，具体可通过能源结构转变、能效提升和末端治理等途径实现。而这些途径的实施往往涉及能源系统中的多个环节，甚至引发整个能源系统的根本性变革。能源系统低碳转型管理就是以能源系统低碳化为目标，以技术、经济、社会、自然条件等为约束，对能源系统进行规划、设计、实施和优化的一门学科。近年来，能源系统低碳转型路径、低碳技术应用与推广模式、配套基础设施与管网规划等，成为能源系统低碳转型管理领域的重点研究方向，受到国内外学者的广泛关注。同时，学者们也注意到，能源系统的低碳转型与其他社会经济系统及自然系统息息相关，政策引导、公众认知、市场环境、地理资源等多方面因素共同作用于能源系统低碳转型方向与进程。因此，能源系统低碳转型的驱动机制也是近年来国内外相关领域学者重点关注的研究前沿。此外，“大云物智移”等数字化信息技术的迅猛发展为能源系统转型带来新机遇，在能源系统低碳转型过程中耦

合新型信息技术，打造更为稳固可靠的智慧能源系统，正逐渐引起学者们关注。

（4）基于智能技术的建筑业可持续发展研究

可持续发展，是指满足当前需要而又不削弱子孙后代满足其需要之能力的发展。作为关乎国计民生的基础性产业，建筑业为社会提供了大量就业机会，为经济发展做出重大贡献；然而，建设过程中消耗大量能量与自然资源，其代谢物对环境造成潜在危害。因此，促进建筑业可持续发展对于实现人类可持续发展总体目标至关重要。当前研究已经对建筑业可持续发展进行了探讨，例如通过优化设计减少建筑材料消耗、通过采用新产品和新工艺减少建筑废物产生、通过优化管理流程提高生产效率、通过职业教育提升施工人员环保意识等。随着科技的进步，智能技术为建筑业可持续发展提供了新的契机，未来研究趋势包括：基于建筑信息模型（BIM）技术对项目全生命周期的成本、质量、进度、碳排放等多方面进行统筹管理；基于传感器监测、计算机视觉、第五代移动通信技术（5G）、云计算、物联网（IoT）等进行场内及场外管理；通过虚拟现实（VR）、增强现实（AR）、混合现实（MR）等技术提高工作效率和创新能力；通过3D打印节约材料及缩短生产时间；通过无人机、建筑机器人等实现高效、安全施工；通过人因工程关注建筑从业者的心理与身体状况；通过区块链技术保障项目数据的真实性和安全性。

（5）信息物理融合系统风险与安全管理研究

信息物理融合系统（cyber physical systems, CPS）是综合计算、网络和物理环境的智能系统，实现大型工程系统的实时感知、动态管控和信息服务。在数字化、网络化、智能化为主要特征的新科技革命下，大数据、人工智能、物联网等相关技术被广泛应用，使得新型基础设施的物理要素和信息要素在交通、能源、教育、医疗、金融等城市功能的场景下实现有效融合。面对故障失效、自然灾害、网络黑客等信息与物理协同攻击的威胁，传统的风

险分析、系统优化和管理理论及方法难以有效应对。因此，围绕各种CPS系统，许多国家的学者提出了新的系统风险及韧性理论，并探讨了相应的安全管理策略和方法。物理系统与信息系统的高度融合，改变了人类与自然物理世界的交互方式，在复杂的风险环境下对人的管理和控制决策提出新的挑战，有效预防、控制、应对信息物理协同风险和突发事件，成为学术界和工业界共同关注的热点问题。信息物理融合技术的快速发展，给相关领域包括工程管理学科带来了深刻变革。给以智能电网、智能楼宇、智慧医疗、智能交通、智能水网、工业互联网等为代表的新型基础设施进行有效的风险管理，提高系统智能规划和运营水平，保障信息物理融合系统的安全运行，将产生重大的经济效益和社会效益，也将形成多学科交叉的国际研究新前沿和新方向。

（6）网络平台治理方法研究

在线社交网络和移动互联网平台已全面渗透到人们工作和生活的诸多层面。网民群体的网上—网下互动倾向和网络空间的社会化倾向不断加剧。一方面，由于受到网络平台中意见领袖的选择性发布以及受众群体的从众心理等因素的影响，信息呈现出“破碎化传播”“片面化呈现”等特征，导致各种虚假或失真的信息通过网络平台快速扩散并持续放大。另一方面，由于网络平台的个性化推荐技术和网络信息的恶意操控，使得“信息茧房”“数字回声”“赢者通吃”“大数据杀熟”等现象普遍发生。这种由网络平台触发的新风险与群体社会活动、区域经济发展等诸多因素关联交织在一起，呈现出耦合性和级联性，局部风险演化成系统性风险的可能性加大，严重破坏了社会的健康发展，极大地影响了社会创新的边际效应。当前，网络平台的边界划定和治理策略尚在不断探索之中，世界各地政府正在积极研究网络平台治理的科学方法，尝试运用人工智能等先进技术赋能网络平台治理体系，其关键科学问题概括起来主要包括：实时感知网络社会演化态势，实现热点事件与异常信息的自动发现；

全面解析网络平台生态体系，实现网络平台全链条和内外影响因素的量化分析；开展人网融合环境下的系统级建模，实现人网融合社会新常态下的系统行为的全景化理解；探索网络平台触发的社会风险的智能化预警，实现平台风险的超前发现与快速处置，为网络平台的健康有序发展提供决策支持。

（7）人工智能对产业转型和要素分配的影响研究

产业转型是指生产活动和生产要素在产业部门之间的再配置过程。要素分配是指劳动、土地、资本、技术、管理、知识和数据等生产要素在国民收入分配中所占的比重。作为推动新一轮技术革命和产业变革的通用技术，人工智能将重塑人们的生产方式和生活方式，从供给侧与需求侧同时影响产业转型和要素分配，进而推动经济效率与公平关系深刻调整。伴随着近几年人工智能在全球范围内的蓬勃兴起，市场规模迅速扩张，关于人工智能对经济管理的影响研究逐渐兴起。但是当前研究仍然缺少全面系统的理论范式和严谨规范的经验实证，难以以为宏观产业政策制定与科技工程项目管理提供实践指引。从产业转型视角看，人工智能在供给侧不同产业部门中的研发与应用呈现出什么样的差异化特征，人工智能对研发效率和生产技术与其他通用技术相比又有哪些区别和联系；人工智能在需求侧如何改变消费行为与需求结构，能否显著影响投资结构与出口结构。从要素分配视角看，人工智能与不同类型生产要素存在何种程度的替代互补关系，如何改变不同类型劳动力的供给与需求结构，如何影响生产要素配置效率，是否能够提升数据要素的分配比重。这些问题都将成为人工智能对产业转型与要素分配的影响研究领域的热点。

（8）重大传染病疫情的建模与预测研究

重大传染病疫情是指传染病集中在短时间内发生，波及范围广泛，出现大量感染病例或死亡病例的公共卫生事件，既包括由已知传染病高发病率和流行造成的疫情，如流感、甲型肝炎、鼠疫等，也

包括由新发、突发传染病形成的大规模传播事件，如SARS、埃博拉、新型冠状病毒肺炎（COVID-19）等。近年来，重大新发、突发传染病疫情频发，并随着现代便利的交通工具极易形成跨国传播，给全球人口健康带来巨大挑战。此外，重大传染病疫情也对环境、政治、经济造成巨大危害，严重影响社会稳定和经济发展。因此，开展重大传染病疫情的建模与预测研究，对提高流行病传播风险评估和预测能力、做好流行病暴发的监测预警、采取科学的疫情防控措施和降低重大传染病疫情的危害具有重要的理论和实践价值。由于存在传播的广泛性、影响的复杂性、危害的多样性等特点，传统的以均匀混合为基本假设的仓室模型（SI、SIR、SEIR等）在重大传染病疫情建模和预测中存在较大的局限性，而以谷歌趋势为代表的非医学数据疫情预测模型仍存在训练数据脱离医学实际、容易受热点事件影响等特点。在新型冠状病毒肺炎疫情全球化大流行的背景下，基于接触追踪技术等采集高精度人员物理接触数据，融合人口构成、社会行为、环境因素等多元数据建立更加精确的疫情传播模型，成为国内外亟待解决的关键科学问题。在智能传感设备、移动互联网、5G通信技术等的广泛应用和飞速发展的条件下，将传染病监测数据与非医学数据融合以建立更加灵敏的监测预警模型、贯通线上特征—线下行为的传染病接触传播风险综合预测模型、开发数字孪生的重大传染病疫情仿真推演平台、评估复杂社会条件下防控措施效果等，是未来研究的重点方向。

（9）万物互联下的人车路网云融合交通管理研究

融合交通管理是指在物联网、大数据、云计算等信息技术的支撑下，对“人、车、路、环境”等交通系统要素进行全时空动态信息采集，并基于人工智能技术，使“信息”发挥其在交通管理中的核心作用，对交通系统中的动、静态要素进行主动的管理与服务，使人和物安全、高效、环保地移动。

相较于传统的交通需求管理（如拥堵收费、禁限行）和被动的交通控制（如拥堵诱导）手段，万物互联下的人车路网云融合交通管理将通过搜集出行前、中、后的数字化信息，反馈给交通管理系统，从而达到个体出行服务与交通系统最优的目的。当前，融合交通管理的主要研究方向是：集聚数据与非集聚数据的采集与融合、移动主体与静态设施的协调与融合、实体系统与虚拟系统的孪生与融合、管理控制与个体出行的服务与融合、人类驾驶与自动驾驶车辆的协同与融合。随着汽车产业的自动化、共享化、网联化与电动化，第五代移动通信技术（5G）的推广与普及，人工智能技术的发展完善，交通系统的算据、算法、算力等“三算”要素将进一步充实。交通参与者、运载工具与基础设施的连接程度、智能化水平与交互范围将发生根本性变革，从而使出行更安全、畅通、环保与人性化，并被普遍认为是彻底解决人类交通问题的方法论所在。

（10）战略性新兴产业全产业链复杂系统管理研究

战略性新兴产业在新能源、新材料、信息技术等新兴产业和国防军工行业具有不可替代的作用，是支撑国家经济高质量发展的重要物质保障。战略性新兴产业全产业链是一个复杂系统，包含上游的勘探开发以及采掘和洗选等粗加工、中游的加工和产品制造、下游的行业应用，以及全过程的环境影响和循环利用等多个环节，涉及供应链、产品链、技术链、价值链和资本链等，多种关系链条形成了复合的交互机制，并引发全产业链各环节和多主体之间的复杂交互过程。基于复杂系统和大数据思维，从理论和方法层面提出一套针对战略性新兴产业全产业链复杂系统管理的思维范式、实践范式和研究范式，成为未来研究突破的重点。具体包括：战略性新兴产业全产业链复杂系统的重构建模、矿产资源全产业链中多主体复合动力学机制、矿产资源全产业链复杂系

统韧性、矿产资源全产业链复杂系统风险评估与预警、矿产资源全产业链复杂系统管理优化，以及后疫情时代战略性新兴产业全产业链复杂系统的全球治理等成为多学科交叉的前沿研究热点。

1.2 Top 3 工程研究前沿重点解读

1.2.1 人机协同决策中的人机信任与合作机制研究

人机协同决策旨在针对复杂问题研究人机交互的作用规律以及传导机制和人机智能协同决策方法。其特点体现在从完全信息到不完全信息、从集中式结构到分布式结构、从最优化思维到博弈思想。人机协同决策在国家社会治理、复杂工程与管理、社会生态、国防军事具有显著的交叉和丰富的应用，包括医疗健康、智能制造、企业管理、智能教育、公共安全以及交通汽车等。下面从人机交互、人机协同决策、人机信任机制三个角度进行更加深度的分析。

（1）人机交互

当前人机交互（human-computer interaction, HCI）技术的快速发展对人类生活和社会产生深远影响。人机交互技术结合了人类的灵活性、感知和智能，以及机器的可重复性和精度，为协作框架提供了优势，可以提高效率、灵活度和生产力，同时降低人的压力和工作量，更加符合人体工程学。早期的人机交互技术研究主要集中在远程操作、智能辅助设备上。特定的协作机器人能够与人类共享工作空间，并与之进行物理接触。近年来，人机交互技术研究涉及人类和机器的安全、协作、教学系统、模仿学习系统、视觉引导、语音交互、触觉和物理人机交互、人类-机器人的任务规划与协调、演示学习、多模态通信框架、认知系统、人机交互过程中的生理和心理研究等。

（2）人机协同决策

人机协同决策是通过优化人类与机器之间的关

系，促进人类与机器的相互协同，人类和机器能够发挥各自的智慧，完成人机决策分工与执行，实现人类和机器优势互补、扬长避短，是对人类行为和智能的延伸与拓展。目前，人机协同决策研究主要涉及协同感知、协同认知和协同规划与控制等基础理论研究，其应用场景包括康复医学、人机共驾、企业管理等。人机协同决策能够有效地分配人类与机器的任务，优化人机系统的性能，实现人类与机器的共商和共融。

（3）人机信任机制

人机信任机制研究是为了在人类与机器合作的过程中，让机器能够感知并响应人类的信任，挖掘信任对人类和机器协作的影响。信任本身包括三个方面：性格信任、情境信任、学习信任。性格信任是基于人类的特征，如文化、性别、年龄和个性。情境信任包括人类外部因素（如任务难度）和人类内部因素（如领域知识）。学习信任是基于智能机器经验的积累，并影响人类的初始思维方式。近年来该领域主要利用进化博弈论、统计方法、人工智能方法，研究面向控制的动态人类信任行为模型、信任的进化与更新、动态的人类动态信任行为模型、人类信任行为预测、基于信任的策略、任务协作安全性，还有学者研究影响人机信任的因素，并将信

任作为人机协同决策的指标。

“人机协同决策中的人机信任与合作机制研究”工程研究前沿中核心论文数量排名前三的国家分别是美国、德国和中国（见表 1.2.1），核心论文主要产出机构为帕特雷大学、维也纳工业大学和奥胡斯大学等（见表 1.2.2）。从核心论文主要产出国家合作网络（见图 1.2.1）来看，美国、中国、德国之间的合作较多，从核心论文主要产出机构来看，奥胡斯大学、维也纳工业大学、亚历山德拉研究所、哥本哈根信息技术大学和利默里克大学合作较为紧密（见图 1.2.2）。

由表 1.2.3 可以看出，美国的施引核心论文数量排名第一。由表 1.2.4 可以看出，排名靠前的机构是华东理工大学、伦敦大学学院和上海科技大学。

1.2.2 基于区块链技术的数据安全管理研究

区块链技术凭借着去中心化、点对点传输、透明、可追溯、不可篡改、保证数据安全等特点，是信息数据安全管理的天然保护伞，尤其在解决平台与合作之间的“信任”问题上，发挥重要作用，激发了学者们的研究热情。从区块链数据安全领域的高质量核心论文来看，不仅关注于区块链技术的算法及架构开发，而且注重区块链的商业化应用，如

表 1.2.1 “人机协同决策中的人机信任与合作机制研究”工程研究前沿中核心论文的主要产出国家

序号	国家	核心论文数	论文比例	被引频次	篇均被引频次	平均出版年
1	美国	13	33.33%	336	25.85	2016.9
2	德国	7	17.95%	140	20.00	2016.6
3	中国	6	15.38%	176	29.33	2016.8
4	希腊	5	12.82%	265	53.00	2017.4
5	英国	5	12.82%	125	25.00	2018.2
6	丹麦	3	7.69%	92	30.67	2017.0
7	西班牙	3	7.69%	63	21.00	2017.3
8	奥地利	2	5.13%	90	45.00	2016.5
9	爱尔兰	2	5.13%	71	35.50	2016.0
10	荷兰	2	5.13%	42	21.00	2017.0

表 1.2.2 “人机协同决策中的人机信任与合作机制研究”工程研究前沿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	篇均被引频次	平均出版年
1	帕特雷大学	2	5.13%	205	102.50	2016.5
2	维也纳工业大学	2	5.13%	90	45.00	2016.5
3	奥胡斯大学	2	5.13%	72	36.00	2015.5
4	麻省理工学院	2	5.13%	72	36.00	2017.5
5	斯坦福大学	2	5.13%	55	27.50	2017.0
6	重庆大学	2	5.13%	43	21.50	2017.0
7	亚历山德拉研究所	1	2.56%	59	59.00	2015.0
8	哥本哈根信息技术大学	1	2.56%	59	59.00	2015.0
9	利默里克大学	1	2.56%	59	59.00	2015.0
10	科兹明斯基大学	1	2.56%	58	58.00	2019.0

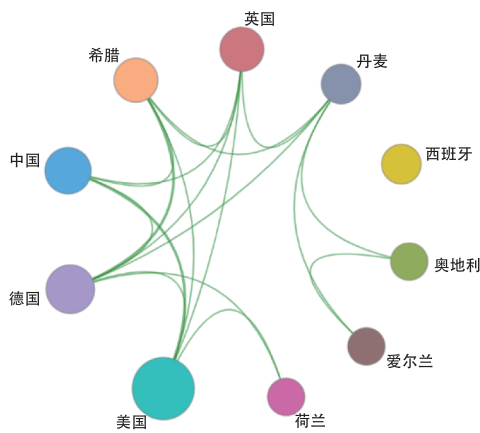


图 1.2.1 “人机协同决策中的人机信任与合作机制研究”工程研究前沿主要国家间的合作网络

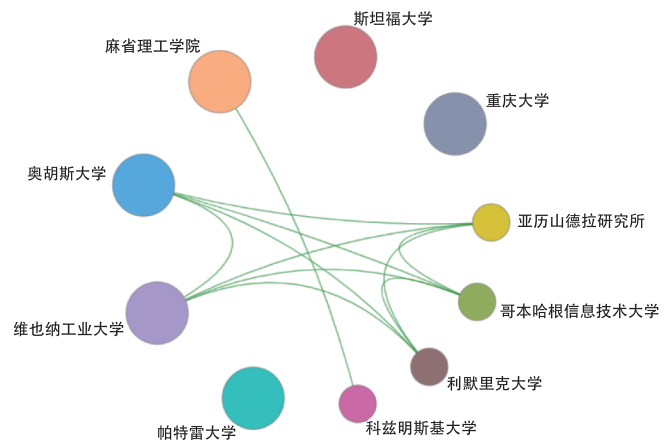


图 1.2.2 “人机协同决策中的人机信任与合作机制研究”工程研究前沿主要机构间的合作网络

表 1.2.3 “人机协同决策中的人机信任与合作机制研究”工程研究前沿中施引核心论文的主要产出国家

序号	国家	施引核心论文数	施引核心论文比例	平均施引年
1	美国	215	23.37%	2018.9
2	中国	185	20.11%	2018.9
3	英国	121	13.15%	2019.5
4	德国	95	10.33%	2019.0
5	意大利	73	7.93%	2019.6
6	西班牙	52	5.65%	2019.2
7	澳大利亚	42	4.57%	2019.5
8	加拿大	38	4.13%	2019.1
9	瑞典	34	3.70%	2019.1
10	韩国	33	3.59%	2019.3

表 1.2.4 “人机协同决策中的人机信任与合作机制研究”工程研究前沿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	华东理工大学	21	12.80%	2017.0
2	伦敦大学学院	20	12.20%	2019.3
3	上海科技大学	18	10.98%	2017.8
4	华盛顿大学	17	10.37%	2018.5
5	帕特雷大学	15	9.15%	2017.8
6	清华大学	14	8.54%	2018.7
7	萨塞克斯大学	13	7.93%	2018.9
8	米兰理工大学	12	7.32%	2019.6
9	西安交通大学	12	7.32%	2018.8
10	中国科学院	11	6.71%	2018.9

在电信领域、医疗保健领域、汽车行业、支付领域等开展技术应用。

“基于区块链技术的数据安全研究”工程前沿中，核心论文数量排名前三的国家分别为中国、美国和印度（见表 1.2.5）。在区块链数据安全建设方面，中国展现出较强实力，核心论文数量位居第一，借助区块链技术保护云中托管的医疗数据，并防止系统中恶意使用医疗数据，在保障患者隐私安全和维护医患关系上持续发力；美国紧随其后，主要聚焦在医疗及油气行业的区块链数据安全技术的运用上。另外，巴基斯坦和阿拉伯联合酋长国联合发表的论文呈现出较高的被引频次，重点关注区块链技术为物联网的智能化应用提供解决方案，为区块链数据安全在物联网领域运用奠定学术基础。韩国则着力于区块链技术在电信领域的应用。从平均出版年数据可以看出，中国、美国在区块链数据安全方面的研究起步更早，属于区块链数据安全领域的领跑者。由表 1.2.6 可知，各国均以高校为区块链技术数据安全领域的研发主体，其中中国高校展现出很强的研发活力，长沙理工大学和福建工程学院将区块链技术与身份验证相结合，在访问控制机制设计上提供了新的解决方案，并利用边缘计

算提高系统的数据储存能力。值得注意的是，哈利法科技研究大学与巴哈丁扎卡里亚大学的篇均被引频次较高，两所高校在物联网的安全建设方面展开合作技术研究，利用区块链技术为物联网建设保驾护航，获得该领域重要的学术成果，也是区块链技术跨国合作的典范。

从核心论文产出国家合作网络（见图 1.2.3）来看，在区块链技术的数据安全管理方面，国家之间呈现出合作网络不均衡的特点。其中，中国与美国的弧长最长，意味着两国在区块链数据安全方面重视对外合作，但具体的合作领域不同。中国与意大利、新加坡、印度、美国建立了紧密的合作关系，其中，中国、美国、意大利在医疗保健领域的数据安全建设上进行合作；中国、美国重在医疗数据共享、油气行业的区块链技术运用开展合作；中国与意大利在电子病历共享的数据安全方面进行合作；中国与新加坡研究区块链在外包服务中的运用；中国与印度则借用区块链开展身份验证方面的研究。另外，美国与新加坡、韩国的研究重点关注区块链的共识机制对电信行业的影响方面，而中国与新加坡的研究则侧重于构建区块链的云计算外包服务公平支付框架，以实现外包服务的公平支付。各国拓展研

表 1.2.5 “基于区块链技术的数据安全管理研究”工程研究前沿中核心论文的主要产出国家

序号	国家	核心论文数	论文比例	被引频次	篇均被引频次	平均出版年
1	中国	10	37.04%	675	67.50	2018.7
2	美国	5	18.52%	310	62.00	2018.2
3	印度	4	14.81%	128	32.00	2019.8
4	巴基斯坦	3	11.11%	591	197.00	2018.7
5	新加坡	3	11.11%	154	51.33	2017.7
6	阿拉伯联合酋长国	2	7.41%	582	291.00	2019.0
7	英国	2	7.41%	163	81.50	2019.0
8	西班牙	2	7.41%	70	35.00	2019.0
9	韩国	2	7.41%	50	25.00	2019.0
10	意大利	1	3.70%	192	192.00	2018.0

表 1.2.6 “基于区块链技术的数据安全管理研究”工程研究前沿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	篇均被引频次	平均出版年
1	长沙理工大学	3	11.11%	78	26.00	2019.3
2	福建工程学院	3	11.11%	78	26.00	2019.3
3	杰皮信息技术大学	2	7.41%	77	38.50	2020.0
4	尼尔玛大学	2	7.41%	77	38.50	2020.0
5	南洋理工大学	2	7.41%	68	34.00	2017.5
6	南京信息工程大学	2	7.41%	44	22.00	2019.0
7	巴哈丁扎卡里亚大学	1	3.70%	548	548.00	2018.0
8	哈利法科技研究大学	1	3.70%	548	548.00	2018.0
9	香港大学	1	3.70%	192	192.00	2018.0
10	萨勒诺大学	1	3.70%	192	192.00	2018.0

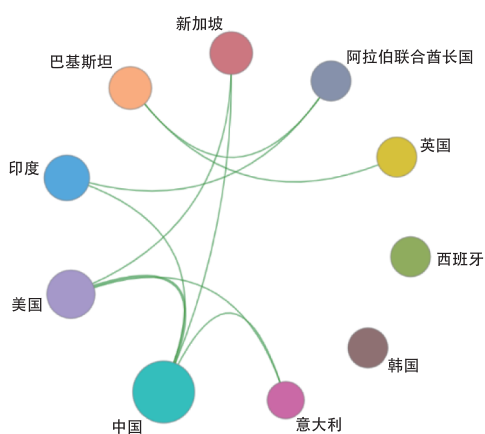


图 1.2.3 “基于区块链技术的数据安全管理研究”工程研究前沿主要国家间的合作网络

究边界，和不同主体合作有助于实现区块链数据安全领域的多元化探索。

根据图 1.2.4 可知，在区块链技术的数据安全管理方面，机构之间合作网络的不均衡性愈发明显。以长沙理工大学、福建工程学院及南京信息工程大学为代表的中国高校引领机构合作势潮。除中国以外的其他国家都以国内大学合作为主，在紧密程度和合作成果方面与中国存在一定差距，但国际合作创新必将成为区块链技术数据安全研究的重要范式。

由表 1.2.7 可以看出，中国的施引核心论文数量排名第一。同时由表 1.2.8 可以看出，排名靠前

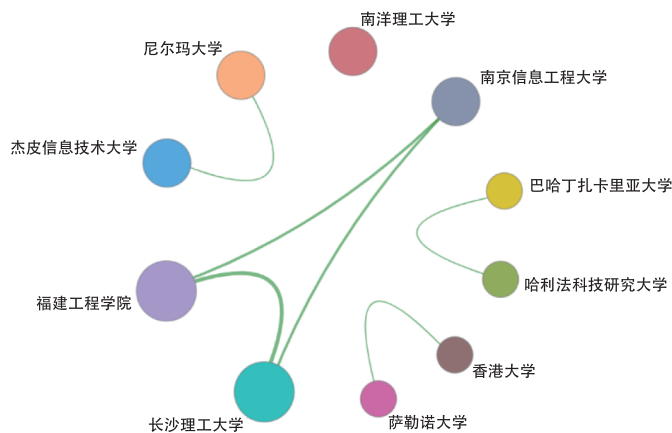


图 1.2.4 “基于区块链技术的数据安全研究”工程研究前沿主要机构间的合作网络

表 1.2.7 “基于区块链技术的数据安全研究”工程研究前沿中施引核心论文的主要产出国家

序号	国家	施引核心论文数	施引核心论文比例	平均施引年
1	中国	480	28.42%	2019.8
2	印度	233	13.80%	2020.0
3	美国	223	13.20%	2019.7
4	英国	147	8.70%	2019.9
5	阿拉伯联合酋长国	120	7.10%	2020.2
6	澳大利亚	117	6.93%	2019.9
7	韩国	107	6.34%	2019.9
8	巴基斯坦	81	4.80%	2019.9
9	意大利	68	4.03%	2019.9
10	加拿大	57	3.37%	2019.8

的机构是沙特国王大学、尼尔玛大学、西安邮电大学和亚洲大学。

1.2.3 能源系统低碳转型管理与驱动机制研究

20 世纪 80 年代，为应对石油危机，德国应用生态学研究提出“能源转型（energy transition）”的概念，以指代主导能源由化石能源向可再生能源的转变。随着气候变化问题被纳入国际议程以及相关研究的深入和延拓，“能源系统低碳转型（low-carbon transition of energy system）”的概念逐渐形成，涵盖从能源生产、存储、运输到终端消费等多环节去碳化过程，表现为主导能源种类、技术及体制等

多方位系统更替。目前，全球能源领域学者已达成共识，能源系统低碳转型既是应对全球气候变化、实现温室气体减排目标的核心途径，也是维护国家能源安全、达成可持续发展目标的关键着力点。

下面对近年来国内外学者重点关注的能源系统低碳转型路径、低碳技术应用与推广模式、配套基础设施与管网规划，以及能源系统低碳转型的驱动机制研究情况做进一步解析，并对未来发展趋势进行展望。

（1）能源系统低碳转型路径研究

关于能源系统低碳转型路径的研究起初主要围绕“能效提升”“结构转变”和“末端治理”这三

表 1.2.8 “基于区块链技术的数据安全研究”工程研究前沿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	沙特国王大学	47	16.97%	2020.0
2	尼尔玛大学	27	9.75%	2020.1
3	西安邮电大学	26	9.39%	2019.1
4	亚洲大学	25	9.03%	2020.3
5	中国科学院	24	8.66%	2020.0
6	长沙理工大学	23	8.30%	2020.0
7	阿卜杜勒阿齐兹国王大学	23	8.30%	2020.2
8	北京邮电大学	22	7.94%	2020.1
9	济州大学	21	7.58%	2020.4
10	西安电子科技大学	20	7.22%	2019.5

大途径展开，规划相关指标（如能源强度、清洁能源比例、碳强度）在不同层面（如国家、区域、行业）的时序变迁，后逐渐深入到具体技术路线的选择与进退机制，研究方法包括综合评估模型、规划模型、情景分析、系统仿真等。兼顾不同区域与行业异质性（如资源禀赋、能源需求、社会经济因素），设计因地制宜的能源系统低碳转型路径，是近年来的研究热点与难点。

（2）能源系统低碳技术应用与推广模式研究

低碳技术的大规模利用，是实现能源系统低碳转型的核心关键。针对清洁能源技术（如风能、光能、氢能、核能）、碳捕集与封存技术、能效提升技术等，国内外学者就其应用方式、商业模式、扩散规律、阻滞因素、推广政策等展开了系列研究，近几年尤以对氢能的关注热度极高。同时，新能源技术的应用推广也催生出一批新兴技术产业，如新能源汽车、储能系统、智慧电网等，相关技术产业的发展及其与新能源技术间的耦合机制成为近年来的研究前沿和难点。

（3）能源系统转型配套基础设施与管网规划研究

能源系统的有效运行需要以配套基础设施为支撑，如输配电网、油气管道、储能装置、充能站等。能源系统低碳转型既需要基于现有基础设施和

管网布局进行调整优化（如“电—热—气”网集成、可再生能源电力并网可靠性提升），又需要铺建新设施网络以服务新能源技术应用产业（如电动汽车充电桩、加氢站）。如何构建综合考虑多种现实因素的网络规划模型，准确估计参数取值范围，并设计有效的求解算法，是该研究方向的长期热点与难点。

（4）能源系统低碳转型的驱动机制研究

能源系统低碳转型的实际进程受政策、市场、社会、资源等多方面因素的共同影响，厘清各因素对能源系统低碳转型的驱动机理对推进能源系统低碳转型具有重要意义。近年来，国内外学者一方面基于观测数据，运用实证分析方法评估具体因素对能源系统低碳转型的影响程度；另一方面基于理论研究，运用建模分析方法探究不同因素对能源系统低碳转型的可能作用效果。不同类型驱动因素作用效果的比较，以及多因素间的交互作用影响，是该方向的研究前沿与难点。

（5）未来研究发展趋势

低碳转型是当前全球能源系统发展的大势所趋，能源系统低碳转型管理与驱动机制研究是实现这一系统工程的有力支撑。综合考量技术、经济、社会、自然系统与能源系统的交互影响，兼顾区域

与行业异质性，设计合理的能源系统低碳转型路径与保障机制，将持续是能源工程管理领域有待突破的研究前沿与热点。此外，将能源系统低碳转型与“大云物智移”等信息技术革命相耦合，协同打造更为可靠的智慧能源系统，也将逐步成为该领域学者关注的研究前沿。

“能源系统低碳转型管理与驱动机制研究”工程研究前沿中的核心论文数量排名前两位的国家分别是英国和美国，其次是部分欧洲国家和中国（见表 1.2.9），篇均被引频次排名前三位的国家

分别是葡萄牙、英国和美国。其中美国与中国、荷兰、奥地利、英国、德国之间的合作关系较多（见图 1.2.5）。核心论文数量排名靠前的机构主要集中在欧洲，美国的加利福尼亚大学伯克利分校和中国的清华大学也位列前十（见表 1.2.10），其中荷兰的乌得勒支大学的合作关系最多，德国的波茨坦气候影响研究所次之（见图 1.2.6）。由表 1.2.11 可以看出，中国的施引核心论文数量排名第一。由表 1.2.12 可以看出，施引核心论文排名靠前的机构是清华大学和伦敦帝国理工学院。

表 1.2.9 “能源系统低碳转型管理与驱动机制研究”工程研究前沿中核心论文的主要产出国家

序号	国家	核心论文数	论文比例	被引频次	篇均被引频次	平均出版年
1	英国	21	31.82%	2 496	118.86	2016.4
2	美国	19	28.79%	2 106	110.84	2016.5
3	荷兰	11	16.67%	985	89.55	2017.0
4	奥地利	9	13.64%	757	84.11	2017.2
5	德国	8	12.12%	706	88.25	2016.9
6	中国	8	12.12%	661	82.62	2017.5
7	丹麦	5	7.58%	380	76.00	2016.2
8	西班牙	5	7.58%	373	74.60	2017.4
9	加拿大	4	6.06%	270	67.50	2017.8
10	葡萄牙	3	4.55%	360	120.00	2016.7

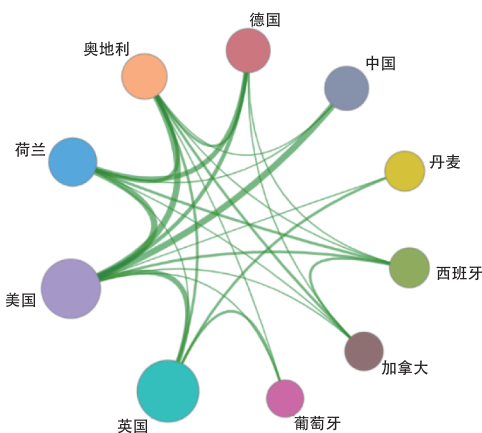


图 1.2.5 “能源系统低碳转型管理与驱动机制研究”工程研究前沿主要国家间的合作网络

表 1.2.10 “能源系统低碳转型管理与驱动机制研究”工程研究前沿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	篇均被引频次	平均出版年
1	乌得勒支大学	5	7.58%	660	132.00	2017.0
2	曼彻斯特大学	5	7.58%	467	93.40	2016.6
3	欧洲委员会	5	7.58%	336	67.20	2017.2
4	国际应用系统分析研究所	5	7.58%	302	60.40	2016.8
5	加利福尼亚大学伯克利分校	4	6.06%	684	171.00	2016.0
6	伦敦大学学院	3	4.55%	957	319.00	2017.3
7	伦敦帝国理工学院	3	4.55%	888	296.00	2017.7
8	清华大学	3	4.55%	379	126.33	2016.0
9	利兹大学	3	4.55%	253	84.33	2016.0
10	波茨坦气候影响研究所	3	4.55%	243	81.00	2016.3

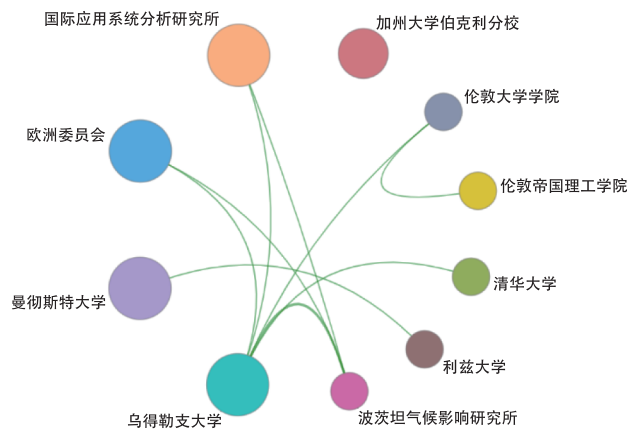


图 1.2.6 “能源系统低碳转型管理与驱动机制研究”工程研究前沿主要机构间的合作网络

表 1.2.11 “能源系统低碳转型管理与驱动机制研究”工程研究前沿中施引核心论文的主要产出国家

序号	国家	施引核心论文数	施引核心论文比例	平均施引年
1	中国	1 194	22.12%	2019.5
2	美国	932	17.26%	2019.0
3	英国	826	15.30%	2019.1
4	德国	612	11.34%	2019.3
5	意大利	295	5.46%	2019.2
6	荷兰	284	5.26%	2019.1
7	澳大利亚	279	5.17%	2019.2
8	加拿大	256	4.74%	2019.3
9	西班牙	256	4.74%	2019.3
10	印度	244	4.52%	2019.4

表 1.2.12 “能源系统低碳转型管理与驱动机制研究”工程研究前沿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	清华大学	136	14.02%	2018.7
2	伦敦帝国理工学院	129	13.30%	2019.2
3	苏黎世联邦理工学院	120	12.37%	2019.0
4	中国科学院	103	10.62%	2019.6
5	乌得勒支大学	94	9.69%	2019.0
6	伦敦大学学院	73	7.53%	2018.8
7	丹麦科技大学	70	7.22%	2018.9
8	加利福尼亚大学伯克利分校	63	6.49%	2018.6
9	萨塞克斯大学	62	6.39%	2019.0
10	波茨坦气候影响研究所	60	6.19%	2018.5

2 工程开发前沿

2.1 Top 10 工程开发前沿发展态势

在工程管理领域中，本年度的 10 个全球工程开发前沿分别是基于大数据的疾病诊断与预测系统及技术、城市信息模型 (CIM) 与平台、基于区块链的质量信息追踪方法与系统、数据驱动大型工程建造环境风险技术及方法、能源智能优化管理方法、供应链金融风险管控平台、智能可重构制造技术及系统、面向航天领域的智能规划与调度基础软件开发、区块链智能合约开发、智能仓储管理方法与

装备。其核心专利情况见表 2.1.1 和表 2.1.2。这 10 个工程开发前沿集中包含了能源、运输、医学、航天、建筑等众多学科。其中，基于区块链技术的供应链管理系统与方法、基于高速率移动网络的远程诊疗系统与方法、面向城市安全的综合应急技术为重点解读的前沿，后文会详细对其目前发展态势以及未来趋势进行解读。

(1) 基于大数据的疾病诊断与预测系统及技术

基于大数据的疾病诊断与预测系统是指以大数据技术为基础，通过采集千百万患者的医疗数据而建立的用于诊断或预测疾病的系统。将特定患者的

表 2.1.1 工程管理领域 Top 10 工程开发前沿

序号	工程开发前沿	公开量	引用量	平均被引数	平均公开年
1	基于大数据的疾病诊断与预测系统及技术	127	129	1.02	2018.9
2	城市信息模型 (CIM) 与平台	42	245	5.83	2016.9
3	基于区块链的质量信息追踪方法与系统	17	3	0.18	2019.9
4	数据驱动大型工程建造环境风险技术及方法	33	100	3.03	2017.2
5	能源智能优化管理方法	125	890	7.12	2016.7
6	供应链金融风险管控平台	106	496	4.68	2018.8
7	智能可重构制造技术及系统	39	1 803	46.23	2016.5
8	面向航天领域的智能规划与调度基础软件开发	41	262	6.39	2017.2
9	区块链智能合约开发	50	55	1.1	2019.8
10	智能仓储管理方法与装备	75	370	4.93	2016.6

表 2.1.2 工程管理领域 Top 10 工程开发前沿核心专利逐年公开量

序号	工程开发前沿	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年
1	基于大数据的疾病诊断与预测系统及技术	2	5	19	12	35	54
2	城市信息模型 (CIM) 与平台	5	3	4	12	7	4
3	基于区块链的质量信息追踪方法与系统	0	0	0	0	1	16
4	数据驱动大型工程建造环境风险技术及方法	6	3	6	12	6	0
5	能源智能优化管理方法	32	32	25	22	12	2
6	供应链金融风险管控平台	1	4	6	12	36	43
7	智能可重构制造技术及系统	2	3	3	3	5	12
8	面向航天领域的智能规划与调度基础软件开发	9	3	9	3	8	6
9	区块链智能合约开发	0	0	0	3	6	41
10	智能仓储管理方法与装备	14	20	26	10	5	0

个体数据输入到诊断系统中，可准确地诊断患者的疾病，获得更好的治疗方案，提高患者的疾病治愈率。同时，预测系统可识别特定个体或人群的健康风险因子，预测疾病发生的概率，进而对健康风险因子进行干预，达到预防疾病发生的目的。随着医学与大数据发展的相互融合，健康医疗大数据在医药研发、卫生服务、健康管理、疾病诊疗、疾病预防、个体化精准医疗等领域展现出了广阔的应用前景。此外，随着精准医疗的提出及大数据相关的新技术、新理论和新方法的不断产生，基于大数据的疾病诊断与预测系统及技术的研发已成为学界的研究热点。在疾病诊断与预测系统中，大数据处理技术处于核心地位。然而，健康医疗大数据存在着数据量巨大、数据处理技术参差不齐、数据壁垒、隐私保护等问题，使得大数据在医疗中的应用面临诸多挑战。因此，医疗数据的标准化构建、多源异构数据分析技术的研发、数据共享平台的研发等新兴技术，以及在隐私保护、安全性等领域的优化，是未来的重要研究方向。

(2) 城市信息模型 (CIM) 与平台

城市信息模型是以建筑信息模型 (BIM)、地理信息系统 (GIS)、物联网 (IoT) 等技术为基础，整合城市地上-地下、室内-室外、历史-现状-

未来多维多尺度信息模型数据和城市感知数据，构建起三维数字空间的城市信息有机综合体。CIM 平台是三维地理信息系统 (3D GIS)、建筑信息模型 (BIM) 的融合，既可以存储城市规模的海量信息，又可以作为云平台提供协同工作与数据调阅功能。同时和物联网 (IoT)、大数据 (big data)、云计算 (cloud computing) 等技术结合起来，还能提供满足城市发展需求的集成性管理系统。CIM 平台是利用物联网技术将 CIM 模型和城市连接起来形成一个可更新的数据库，同时利用云计算和大数据等形成一个可实现信息共享与传递的工作平台，以支持各项应用。此外 CIM 平台是针对同一个物理空间以及附着在其上的信息形成的由政府组织建设和管理，对居民和企业有选择性地开放，从而解决城市发展进程中的一系列问题的信息平台。CIM 包含城市所有设施物理特性和相关信息，可以存储、提取、更新和修改所有城市相关信息。构建一种面向城市治理的智慧城市平台，充分运用物联网、大数据建模、人工智能、3D GIS 可视化、BIM、CIM 等技术，坚持高起点、全面性、系统性的设计原则，实现立体交通、环境信息、政务服务、经济运行、安全生产、城市基础设施等方面的智慧城市治理，同时建立城市 3D GIS 模型，叠加城市物联感知数

据，融合城市预警形成 CIM 预警模型，利用人工智能技术实现城市的智慧治理，设计城市运行管理流程，对城市事件进行智能甄别处理，建立智慧城市平台，实现整个城市的智慧治理。

（3）基于区块链的质量信息追踪方法与系统

作为新一代信息管理技术的重要演进，区块链通过集成密码学、对等式网络、分布式共识等技术，确保链上数据具备不可篡改、透明、可追溯等特征，有望通过信息追踪和价值共创为质量管理提供全新的思路。传统的信息系统是集中式、非对称的架构，其安全性低、透明度差，难以满足质量问责的需求，易引发纠纷。区块链的技术特点使其适用于存证追踪场景，真实可靠地记录产品全生命周期、全要素的质量信息，且信息来源明确、不可抵赖。一旦发生质量问题，可以快速回溯，识别责任相关方。此外，链上信息互联互通、全网一致，打破了“信息孤岛”，解决了信息不对称、沟通效率低等问题，有助于实现工程产品质量的持续改进，推动各参与方之间的质量价值共创。有效集成区块链、物联网、云计算、大数据、人工智能等技术，实现质量信息采集、共享、分析、溯源等各项应用需要进一步研究。此外，质量信息往往来源广泛、形式多样，信息规模随项目推进而累积，在确保“去中心化”及“安全可靠”的前提下，提高区块链系统的“可扩展性”值得进一步关注。

（4）数据驱动大型工程建造环境风险技术及方法

图灵奖获得者 Jim Gray 将数据驱动看作继经验、理论、计算之后数据科学的第四种分析范式，因此，从数据科学的角度来看，数据驱动大型工程建造环境风险技术及方法是指采用科学的方法、过程、算法和系统从结构化和非结构化的工程大数据中提取知识，并将知识用于大型工程建造环境风险的识别、评估、响应和控制。由于信息技术的快速发展，工程建设领域已进入大数据时代，将基于数据驱动的分析范式引入工程建造风险管理等业务范

畴，是推动建筑业转型升级的重要引擎之一。相关理论和实践研究已有不少探索，从工程问题来看，大型工程建造环境风险不仅包含施工现场结构、机械、工人等作业环境及既有建（构）筑物、管线、行人等周边环境受建造过程影响产生的进度、成本、质量、安全、环保等狭义风险，也包括建设工程的市场、政策等广义环境风险；从技术手段来看，采用专家系统、机器学习和深度学习等方法，针对报告文本、监测数据、流媒体等不同类型工程环境大数据进行挖掘并提供决策支持是当前主流方向。然而，工程建设环境具有较大的流动性和复杂的内联机制，需要有机结合不同的环境因素，从工程建造各场景、全过程和多参与方出发进行动态分析；另外，不同的环境风险因素其感知手段不同，造成数据形式不一，需要采用多种技术手段进行解译。因此，基于多源异构数据针对工程建造多场景、全过程的环境风险进行动态识别、分析与预测，为参建各方提供基于数据驱动的风险解决方案，将是未来研究的一大趋势。

（5）能源智能优化管理方法

能源智能优化管理指结合传统建模方法、现代优化算法、预测技术以及智能技术，即时获取大量可靠数据用于智能分析；通过对能源全过程、全方位的管理、优化与控制，实现能源管理的场景化、智能化、自动化。区别于单纯形法、基于梯度的各类迭代算法等传统优化方法，智能优化方法能克服其只能解决结构化问题的局限，适应现代能源系统的显著复杂性和系统性，发挥更高的管理效能。能源智能优化管理对能源在生产与转换、传输与分配、存储与消费等环节的智能监测、控制与预测，达到优化用能结构，节能降耗、提质增效、控制成本等目标。其所涉及的技术方法不仅包括传统优化决策方法（如智能算法、深度学习等），还蕴含新信息技术（如物联网、大数据、人工智能等）和能源技术（如储能、需求响应、多能互补等）的交叉融合。根据对国内外专利的梳理，能源智能优化管

理方法可应用于智能电网、能源互联网、用能终端等多复杂场景，助力建设高效智慧能源系统、支撑多能协调优化互补、提升能源互联网能效管理。能源智能优化管理方法仍将以信息化为依托，促进可再生能源的渗透，提高传统能源的利用效率。新一代信息技术具有较好的适应性和灵活性，能有效解决现代能源管理中所含有的非线性、不确定性强、耦合性强、多变量等问题，对于提高能源系统的效率、安全可靠性以及智能化水平将起到重要作用。利用能源智能优化管理方法，优化能源生产、传输、交易和消费环节的资源配置能力、安全保障能力和智能互动能力，实现能源企业智能化、数据化、信息化运营管理与能源行业的智慧化发展是未来的主要发展趋势。

（6）供应链金融风险管控平台

供应链金融风险管控平台是指依托真实交易数据，评估并预判企业信用，监控企业运营，提高风控质量，降低风控成本，为中小微企业提供优质供应链金融服务的数字化信息平台。供应链金融是根据产业特点，围绕供应链上核心企业或核心企业群或核心数据掌控者，基于交易信用数据向供应链上下游相关企业提供的综合金融服务。供应链金融的主要风险包括政策—技术—经济周期风险、供—需系统不确定性风险、核心企业主体风险、业务操作风险和虚假交易、重复融资和自融资风险等。现阶段，金融科技（如人工智能、大数据、云计算、物联网、区块链、5G通信等）驱动的供应链金融风险平台是发展趋势，但是多数基于优质核心企业或政府信用兜底。优质核心企业的稀缺和中小微企业交易信用数据的高度分散形成的数据壁垒成为主要发展障碍。因此，利用金融科技和反垄断政策推动政府部门、金融机构、供应链上下游企业以及商业平台进行整合，实现数据互联、互通、互享、互访成为破除瓶颈的主要思路。而追溯评估中小微企业的信用数据，并将其作为可质押的资产，有助于摆脱核心企业硬性担保要求。未来，供应链金融风险

管控平台将基于中央统一信用系统，对接政、企、银，既交叉验证又保证数据安全，自动识别并预警风险，动态监督贷后供应链交易，稳定产业链供应链，支持实体经济提质增效。

（7）智能可重构制造技术及系统

可重构制造系统是能够通过制造系统结构及其组成单元进行快速重组或更新，及时调整制造系统的功能和生产能力，以迅速响应市场变化及其他需求的一种制造系统。关键使能技术包括成组技术、布局规划与优化技术、在线诊断技术、离散事件仿真技术等。可重构制造系统网络化、数字化、智能化转型升级过程中，探索智能化可重构制造技术，形成智能可重构制造系统。智能可重构制造技术及系统从物理/逻辑、多层次等维度对自身结构进行自适应调控，是极有可能从根本上优化制造系统来应对市场个性化需求不确定波动的重要理论之一。主要研究方向包括但不限于：智能可重构制造使能技术、智能可重构制造系统建模与仿真、智能可重构制造系统重构决策、智能可重构制造系统性能评估、网络化制造系统智能协同重构、数据驱动的智能重构、工业机器人与智能可重构制造系统、多层次耦合智能重构和AGV驱动的智能可重构制造系统。可重构制造技术从设计之初就赋予制造系统高度生产柔性。可重构制造技术智能化研究是实现智能制造多样化、个性化、定制化生产的关键。随着产业分工合作愈加明确，网络协同制造逐渐成为一种新趋势，核心制造企业与其配套供应商形成紧密的制造网络，考虑到需求的不确定性和供应链敏捷变动，核心制造企业与多层级供应商利用新一代信息技术（人工智能、大数据和数字孪生等）进行有效协同重构，以提高制造效率和质量，是智能可重构制造技术及系统未来的重要发展趋势。

（8）面向航天领域的智能规划与调度基础软件开发

面向航天领域的智能规划与调度基础软件指专门求解卫星、空间站、载人飞船、深空探测器等航

天器发射与在轨运行管理过程中出现的规划与调度问题，以智能化手段辅助航天器管控机构制定发射与在轨工作计划、消解计划冲突的计算机仿真软件。随着人类航天事业的快速发展与应用普及，航天领域中的规划与调度需求激增，亟须开发专门的智能规划与调度基础软件，吸纳运筹学、智能优化等相关领域最新研究成果，为卫星、空间站、深空探测器等航天规划与调度系统的设计研发和柔性拓展提供技术支撑。从国内外专利和文章来看，面向航天领域的智能规划与调度基础软件开发迫切需要解决好以下关键技术：面向各类航天器的规划与调度建模、复杂航天约束条件下的高性能规划与调度、不确定太空环境下的实时自主规划与调度、面向大规模组网的航天器集群自主协同与规划调度等。展望未来，在问题层面将由单一航天器规划调度向大规模、网络化、异构航天器集群规划调度发展；在组织层面将由地面管控中心统一规划调度向航天器集群在轨自主协同与规划调度发展；在方法层面将由基于传统运筹学方法的规划调度向运筹学、机器学习、博弈论等多学科融合方法的规划调度发展。

（9）区块链智能合约开发

智能合约是一种以信息化方式传播、验证或执行合同的计算机协议，具有制定的高效性、维护的低成本性和执行的高准确性等特点。区块链技术为智能合约提供了可编程的环境，推动了智能合约的发展和应用。智能合约去中心化、去信任、自主交易、不可篡改等特性允许合约各方在无需任何信任基础或可信第三方的情况下完成交易，同时，作为一种嵌入式程序化合约，智能合约可以内置在任何区块链数据、交易或资产中，有望促成各种可编程的智能资产和系统，深入变革金融、物联网、医疗等诸多传统领域。随着区块链技术的普及和应用不断深入，新兴的智能合约技术在学术界和产业界吸引了广泛的关注。比如利用区块链提供的点对点、去信任交易环境和强大的算力简化金融交易流程，

在此基础上利用金融智能合约实现可编程货币和可编程金融体系；利用区块链和医疗智能合约实现医疗数据共享和药品溯源；实现物联网复杂流程的自动化，促进资源共享，保证安全与效率，节约成本；此外，区块链智能合约也可以用于房产交易、合同支付、政府采购、供应链管理、通信服务、能源交易、知识产权管理、投票管理、智能制造、数字资产交易、电子档案等众多领域。目前智能合约开发平台主要包括：Ethereum、Hyperledger Fabric、NEM、Stellar 和 Waves 等。然而，由于受到区块链系统本身性能限制，尚无法处理传统合同中的复杂逻辑和高吞吐量数据，且缺乏隐私保护，在实现跨链方面仍存在一定难度。因此，未来除了探索智能合约的可能应用场景外，解决智能合约实施过程中面临的隐私问题、性能问题、机制设计与安全问题和形式化验证，也将是学术界和工业界广泛关注的前沿研究热点。

（10）智能仓储管理方法与装备

智能仓储系统是以多种相互关联的智能仓储装备协同工作为基础的技术生态系统，可以实现货物的自动接收、组织、分类、包装和配送，为企业提供高效、低成本智能化物流服务。物联网与人工智能的快速发展推动了智能仓储管理系统、智能库存控制平台、智能机器人等装备在仓储系统的广泛应用，形成了以智能机器人订单履行系统、人机协同订单拣选系统、智能机器人分拣系统等为代表的智能仓储系统。与传统仓储系统不同，智能仓储系统中的智能装备可产生并接收实时数据，并采用独立控制模式，在物联网环境下实现数据驱动的协同作业。智能仓储管理的现有研究主要聚焦：① 系统绩效评估与结构设计优化，主要采用智能仿真、随机排队模型和期望行走时间模型等方法；② 运行策略优化，包括订单调度、机器人调度、订单指派、路径优化等问题，主要采用混合整数规划与智能优化算法相结合的研究范式。当前，智能仓储管理方法有待研究的关键问题为：数据驱动的智能设

备协同策略、数据驱动的人机协同作业策略、大规模智能机器人路径规划与调度问题、机器人路径拥堵的影响等。智能仓储管理水平的提升，将大幅提升企业供应链智能化水平，为物流系统的智慧化升级和发展提供重要的支撑条件。

2.2 Top 3 工程开发前沿重点解读

2.2.1 基于大数据的疾病诊断与预测系统及技术

伴随着物联网、互联网、人工智能等新兴技术的发展，大数据已经渗透到各行各业中。近年来，大数据在健康管理、个体化精准医疗、医药研发、疾病诊断与预防等方面逐渐显出优势。基于大数据的疾病诊断与预测系统的构建是多学科融合发展的成果，使得疾病诊断不再局限于电子病历信息，而是能深度挖掘与患者相关的生活环境、公共卫生、营养保健、生物组学等多维数据的价值，从而更加准确地诊断疾病并对疾病的发生进行预测。

健康医疗大数据的数据量大、模式多、产生速度快、价值大，但价值密度低等特点制约了大数据在疾病诊断与预测系统中的应用。因此，医疗数据的标准化构建、多源异构的健康医疗数据的分析技术研发、新型大数据采集、传输和交换共享平台研发是未来促进基于大数据的疾病诊断与预测系统及技术发展的主要趋势。从专利分析来看，基于大数据的疾病诊断与预测系统及技术主要包括大数据采集、大数据平台、疾病预警监测。

(1) 大数据采集

大数据采集是根据疾病诊断或预测的目标抽象出的在数据分析与应用中所需要的表征信息，通过多种方式从特定的数据产生环境中获取原始数据并对数据进行预处理操作的一系列技术，是大数据分析与应用的基础，为后续的数据处理和应用提供了所需的数据集。现有的技术难以对具有数量巨大、生成速度快、多源性、冗余性、隐私性等特点的健康医疗大数据进行有效采集。因此医疗数据的标准

化构建、多源异构数据分析技术的研发等在未来需要重点关注。

(2) 大数据平台

大数据平台是指集数据采集、清洗、融合、分析、管理、质量控制等于一体，能支撑各类应用的平台。目前，基于平台化技术的数据处理与综合服务平台已成为医疗领域大数据处理的最佳选择。在大数据处理中尚存在数据采集共享困难、建模分析技术混乱、缺乏有效的推广机制等问题。通过集成数据共享接口、数据交互、云计算等技术而研发的健康管理，基于远程医疗系统的大数据处理等平台，可实现健康医疗数据的集成、处理以及面向疾病诊断或预测的大数据建模分析与应用。

(3) 疾病预警监测

疾病预警监测是利用大数据分析技术，将个人电子病历、医院的临床治疗经验以及专家学者们的科研实验成果等诸多医疗数据进行整合分析，并通过贝叶斯神经网络等算法构建风险预测模型，从而建立疾病分析与治疗方案模型，预测疾病发生率，有效推动健康医疗的发展。

从发表专利的数量来看，专利数量排名前两位的国家分别为中国和韩国（见表 2.2.1）。平均被引数排名前两位的国家分别为美国和中国（见表 2.2.1）。从专利产出国家来看，各国之间尚未形成合作关系。专利数量排名前三位的机构分别为康评医疗健康有限公司、阳光保险集团股份有限公司和山东大学（见表 2.2.2）。从专利产出机构的合作网络（见图 2.2.1）来看，区域性合作的规模已初步形成，但尚未形成跨区域合作。中国的康评医疗健康有限公司、阳光保险集团股份有限公司和山东大学在疾病风险预测、数据管理、数据获取等领域有合作。

不同国家在“基于大数据的疾病诊断与预测系统及技术”的核心专利具有不同的研究特点。中国注重疾病预测系统的建立及平台搭建，研发

了多个不同疾病的预测系统和大数据管理及运用系统，如心脏疾病数据队列生成方法和风险预测系统、疾病数据结构化方法及甲状腺癌风险预测系统、疾病数据调度管理方法和骨癌风险预测系统、大数据健康管理平台、基于大数据的学生学习行为分析系统等，这些系统将大数据、人工智能等先进技术巧妙地应用到疾病监测预警及健康管理中。韩国比较关注数据获取技术及平台搭建，如通过足底压力测量提供健康信息的系统、基于开放 API 的大数据医疗保健培训 AI 系统、基于大数据的医疗咨询服务方法、基于医疗服务的酒店操作系统及其方法等。美国研发的可穿戴式个人数字设备的专利引用量远高于其他专利，该专利有利于个体健康数据的获取。而日本则利用电子信息处理装置搭建了一个计算患者最佳用药剂量的平台，可根据患者信息推导患者最佳的用药量。不同机构的研究重点也有所差异。例如，

康评医疗健康有限公司关注各类疾病的风险预测系统的搭建，提出了逐步筛选的泌尿系统重疾指标确定方法及风险预测系统、疾病数据结构化方法及甲状腺癌风险预测系统、疾病数据结构化方法及甲状腺癌风险预测系统、疾病数据调度管理方法和骨癌风险预测系统等，对不同的疾病数据进行管理，并对疾病风险进行预测的系统。美国 AMobilePay 有限公司关注于大数据的采集，研发可穿戴式个人数字设备，可用于个体健康数据的获取。韩国关东大学研发了一种基于各种采集组件的移动医疗应用系统以及基于组件的移动健康应用程序，该系统可通过多个医疗设备、信息采集服务器收集信息，兼容不同的通信协议。

2.2.2 城市信息模型 (CIM) 与平台

城市信息模型 (city information modeling, CIM) 是以城市信息数据为基础，建立起三维城市空间模

表 2.2.1 “基于大数据的疾病诊断与预测系统及技术” 工程开发前沿中核心专利的主要产出国家

序号	国家	公开量	公开量比例	被引数	被引数比例	平均被引数
1	中国	73	57.48%	92	71.32%	1.26
2	韩国	51	40.16%	14	10.85%	0.27
3	美国	1	0.79%	22	17.05%	22.00
4	日本	1	0.79%	1	0.78%	1.00

表 2.2.2 “基于大数据的疾病诊断与预测系统及技术” 工程开发前沿中核心专利的主要产出机构

序号	机构	公开量	公开量比例	被引数	被引数比例	平均被引数
1	康评医疗健康有限公司	19	14.96%	5	3.88%	0.26
2	阳光保险集团股份有限公司	5	3.94%	0	0.00%	0.00
3	山东大学	5	3.94%	0	0.00%	0.00
4	深圳市前海安测信息技术有限公司	2	1.57%	15	11.63%	7.50
5	北京拓明科技有限公司	2	1.57%	10	7.75%	5.00
6	韩国关东大学	2	1.57%	2	1.55%	1.00
7	成都淞幸科技有限责任公司	2	1.57%	0	0.00%	0.00
8	韩国 Suhwooms 科技有限公司	2	1.57%	0	0.00%	0.00
9	美国 AMobilePay 有限公司	1	0.79%	22	17.05%	22.00
10	美国 World Award 研究院	1	0.79%	22	17.05%	22.00

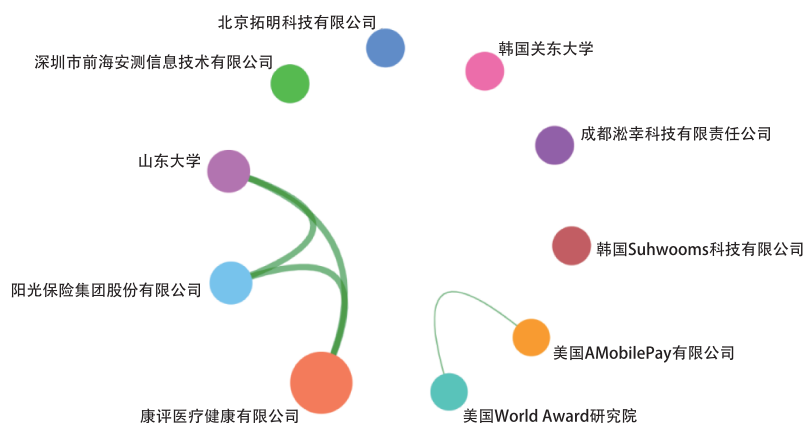


图 2.2.1 “基于大数据的疾病诊断与预测系统及技术”工程开发前沿主要机构间的合作网络

型和城市信息的有机综合体。从范围上讲是大场景的 GIS 数据 + 小场景的 BIM 数据 + 物联网的有机结合。伴随着全球城镇化的推进以及信息技术的普遍应用，智慧城市在经济社会可持续发展以及微观城市管理方面发挥了更多的积极作用。20 世纪 90 年代，中国开始 3D GIS 的研究，第一步只实现数字化，也就是将建筑和场景进行数字表达，展示在屏幕上。到 21 世纪初，数字化逐步转变为信息化，在展现的同时，也加入了属性信息和关联信息。近年来，信息化实现了跨部门、跨学科的融合，真正将信息化技术应用到了生产、生活中。未来，结合 IoT、大数据、人工智能、BIM 和 GIS，多种围绕城市信息的采集和使用的相关应用会大范围开展。

城市中存在着信息传递的神经系统，不可见的人流、信息流、资金流等。整个城市的生命体每天都在更新，相比建筑的稳定系统，城市每天都在变化。城市从单体建筑，走向全系统运行管理。所有的智能建造、意识、构建全部整合起来，形成一个新体系。从“以形定流”走向“以流定形”的群落规划设计。将结合城市已有的各种物联感知数据，实现各种的“城市流动”，结合人工智能技术，进行城市的智慧施工与运维。总体上，把 BIM 作为 CIM 的细胞，将建筑作为城市细胞，首先建立城市 3D GIS 可视化数据模型。进行城市物质子系统建

模，基于城市 3D GIS 可视化模型建立 CIM 的工作底板，结合物联感知数据，实现多种数据的导入，实现城市时空数据的接入与可视化。基于物联网、云计算和移动互联网的新一代信息技术，充分运用信息和通信技术手段感测、分析、整合城市运行应用系统，对城市管理和发展的各种需求做出智能响应，以提升城市基础设施的运作效率和运行管理，让人们的生活变得更加美好。

从专利分析上看，城市信息性模型与平台的工程研发可以从架构角度和应用角度进行分类。从架构角度出发，相关的研发主要有物联网技术的研发、CIM 数据管理的研发、可视化技术的研发。从应用角度出发，相关的研发主要分为智慧城市管理调度管理平台、城市立体交通管理平台、城市环境信息管理平台、城市政务服务管理平台、城市经济运行管理平台、城市安全生产管理平台、城市基础设施管理平台。

(1) 物联网

在数据采集过程中，物联网技术发挥了不可或缺的作用。物联网是基于通信网络和互联网技术，通过传感设备和通信模块对物品信息进行识别、定位、收集、处理和传输的扩展应用与网络扩展。基于信息交互，物与人之间相互联系。物联网基于“感知层、网络层、平台层、应用层”的整体网络架构

提取底层数据，最终实现其在城市建设多个领域的广泛应用。其中，感知层是通过传感器监控物体，通过通信模块返回采集到的信息；网络层主要负责数据传输；平台层可以将采集到的数据进行整合使用；应用层通过将互联网技术与各个领域相结合，实现万物互联的最终目标。从感知层的信息收集到应用层各个领域的应用，每一层都是多种技术的结合。可以说，物联网是多项高新技术的综合应用。

（2）CIM 数据管理

在现代城市中，由于城市的基础设施和设备繁多，涉及交通、楼宇、电网、安防、环保、水务等，这些设施、设备所使用的应用系统均是基于单个独立项目建设的，每个基于 CIM 的应用系统都有自己单独的存储和数据库，不同的系统不能共享资源和互相访问，造成数据孤岛和管理复杂的现状。在智慧城市应用集统一管理系统增加新应用的方法及装置，能够快速、方便地对智慧城市应用集统一管理系统进行更新，提高可靠性。再者，致力于实现多个城市应用的联动、关联，解决了烟囱式应用结构造成的数据孤岛、管理孤岛的城市问题，使城市内相应的各个应用在同一平台进行统一管理。将所有数据统一存储到基于云平台的数据湖泊中，可以方便地将相应应用的数据整合进而进行多维、多层深度分析。基于容器技术构建城市信息模型，并利用相应的容器引擎运行所述城市信息模型，可扩展性和可移植性好，安全可靠。搭建云计算操作平台，可以大规模地协调云，管理计算资源、存储资源、网络资源等基础架构。

（3）可视化技术

城市是个生命体，是具有典型生命特征的复杂巨系统，它承载的城市细胞元素通过时间维度、空间维度、数据类型等多维的信息数据体现。使用 CIM 技术，可以将传统数据与图纸升级为多维模型。使用数字孪生技术，将城市整体进行数字化复制。建筑物物理状态和空间地理信息的虚拟现实，使人们可以直接观察数据。并且在实现建筑和

地理信息可视化的同时，通过数字技术实现物联网数据的可视化，使物联网采集到的数据与实体连接起来。通过 BIM+GIS+VR+ 物联网、云计算等全生命期信息数据的融合、流动，构成城市生命体运行的 CIM，并通过多种终端智慧应用，如桌面端、WEB 端、移动端、大屏（环幕、球面、CAVE、沙盘等）、VR 头盔等，从多方面体现 CIM 全要素，如 BIM+GIS 模型、地上-地下、室内-室外、过去-未来、时间-空间模型以及多源数据叠加模型等方式，并通过多种不同终端应用，达到一云多端的智慧应用。

（4）智慧城市管理调度管理平台

智慧城市建设需要建立健全日常接报协同处置快速反应机制，提高日常事件处理及应急处置能力。智慧城市管理调度系统开发贯穿于整个管理调度流程中，提供强大的数据采集接报的能力，对统一接报的信息进行智能数据分析处理，系统具备日常事务管理和应急处置能力，系统功能涵盖日常管理工作及应急处置的业务需求，根据“采集上报—指挥派遣—处置反馈—任务核查—结单归档”的五步闭环协同处理流程，并将事件处理的过程、结果及时地反馈。系统具备数据采集、综合业务管理、日常指挥派遣、协同工作、数据库管理及资源管理等功能。

（5）城市立体交通管理平台

城市立体交通专题系统基于地理空间信息展示城市交通运行态势，对区域交通、市内交通和城际交通的综合运行监测与态势分析，实现城市交通态势一张图，为政府决策、行业监管、企业运营和百姓出行提供信息支撑。城市交通专题系统主要包含道路重点设施及单位展示、道路交通运行情况展示、公共交通运行情况展示、新能源汽车交通管理、综合态势展示分析、公共交通专题展示和跨部门治理展示分析等功能。通过对空中交通、水路交通、地面交通三大交通网络，民航客运、水路客运、公路客运、铁路客运四大城际交通方式的综合运行监测

和协调联动，对政府决策、行业监管、企业运营、百姓出行方面进行综合城市交通治理展示分析。

(6) 城市环境信息管理平台

城市环境信息管理平台包含环境信息专题信息接入、环境综合监测展示、环保污染违规监测信息展示分析、重点污染源污染模拟分析预警、城市生态环境综合评价、环境风险管控应急管理、大气环境治理分析以及河长制管理服务等功能。基于地理空间信息系统生成“环保监管一张图”，利用城市环境大数据进行形势综合研判，为环境政策措施制定、环境风险预测预警、重点工作会商评估提供可视化依据，从而展现出城市生态环境综合治理科学化水平、环境保护参与经济发展与宏观调控能力的提升，为科学治霾、监测预警等政府职能提供监管的主动性、准确性、有效性及创新性。

(7) 城市政务服务管理平台

城市政务服务专题系统在智慧治理中心统一应用服务的基础之上，汇聚各相关部门政务服务和社会公共服务信息，进行集中展示和分析，推进政府各项改革，转变执政理念，创新治理方式，由电子政务向智慧政务升级，不断提高政府工作的效率和效能。系统包括专题信息接入、政府服务生态发展展示、政务成果管理、社会公共服务展示分析等功能。系统提供政府各项改革、转变执政理念、创新治理方式的综合显示，分析城市电子政务向智慧政务升级成效，不断提高政府工作的效率和效能。以及为不同社会主体提供交流的平台和反馈的渠道，使政策更精准、更具针对性，使老百姓有真正的获得感、归属感和幸福感。

(8) 城市经济运行管理平台

通过经济运行专题系统建设可以将重点领域经济运行以及金融、税收、消费等领域的情况进行追踪展示、监测分析，准确把握全市主要行业及重点领域的发展情况和波动趋势，提高相关领域经济形势分析的科学性；促进与经济运行调度监测以及管理部门间的信息共享，提高工作效率和政府领导的

科学决策水平。经济运行专题系统由专题信息接入、企业服务展示、经济专题数据管理、数字经济评估结果展示、重点产业发展管理、双创环境评估分析、营商环境评估分析、经济运行统计分析展示、审计大数据分析展示以及跨境贸易电商分析展示等功能组成。

(9) 城市安全生产管理平台

深度应用大数据、物联网、云计算等现代科技信息技术，推进城市各行业安全生产数据互联互通，推进安全生产数据多维度分析应用，推进城市安全生产资源数据共享，创新社会安全生产监管手段，增强新形势下安全生产的驾驭能力，打造与经济社会发展水平相适应的平安高地。系统由全市安全生产态势“一张图”展示、安全事故变化态势分析展示、两重点一重大态势分析展示、隐患排查治理态势分析展示、安全生产事故后果模拟分析、危险化学品运输综合治理分析、VR模拟演练展示、事故救援和应急处理展示等功能组成。系统将推进城市各行业安全生产数据互联互通，推进安全生产数据多维度分析应用，推进城市安全生产资源数据共享，创新社会安全生产监管手段，增强新形势下安全生产的驾驭能力，打造与经济社会发展水平相适应的平安高地。

(10) 城市基础设施管理平台

城市基础设施信息有着典型的空间分布特征，是城市正常运行的基础，在汇聚全市生命线、市政、环卫、照明等设施信息的基础上，建设城市设施专题系统，不仅可以方便地实现路、灯、桥等市政信息的空间化、可视化管理，而且能对水、电、气等信息进行有效的汇聚展示。从而既可以提高日常管理工作的质量和效率，节约管理成本，又能提升管理的层次，辅助领导更为科学、快捷与准确地进行城市治理与规划决策。应用场景主要有城市供水设施展示分析、城市供气设施展示分析、城市消防设施展示、城市防汛设施管理、城市桥梁实时监测展示、城市部件综合展示、城市建设设施展示、

城市市容设施展示、城市设施共治应用及城市园林绿化设施展示等。

从发表专利的数量来看，专利数量排名前二的国家为中国和美国（见表 2.2.3），中国主要聚焦于城市安全生产和城市立体交通平台管理，美国则更关注城市经济运行平台管理。从专利产出的国家来看，各国之间还未形成合作关系。专利数量排名前二的机构为国家电网有限公司和中国南方电网有限责任公司（见表 2.2.4），体现出中国有关电力行业在城市信息模型与平台中具有较高的研发能力。从专利产出机构合作网络图来看（见图 2.2.2），中国的国家电网有限公司、中国南方电网和江苏省电力公司信息通信分公司联系较为紧密。

2.2.3 基于区块链的质量信息追踪方法与系统

区块链技术是分布式数据存储、点对点传输、共识机制、加密算法等计算机技术的新型应用模式，

具备链上防篡改、可验证、可追溯、业务执行自动化等特征。基于以上特征，区块链有望打破多方合作中的“信息孤岛”，创造可靠的“合作”和“信任”机制，为解决现有工程产品质量管理中存在的问题提供了潜力。

从目前工程产品质量管理领域的相关专利分析来看，国家专利数量方面，排名前三的国家分别是中国、韩国和美国（见表 2.2.5），其中未出现跨国的合作网络。从机构专利数量排名来看，排名第一的机构是山东爱城市网信息技术有限公司（见表 2.2.6），各个机构间未出现跨区域的合作网络。从以上主要国家、机构研究的专利内容分析来看，区块链技术在工程产品质量管理领域的研究与开发主要聚焦于质量信息追踪方法与系统。具体来说主要包括以下两大类。一是基于区块链的质量信息溯源方法及系统。该类研发旨在解决质量信息的溯源难题：涉及工程产品生产全生命周期、全要素的质

表 2.2.3 “城市信息模型 (CIM) 与平台” 工程开发前沿中核心专利的主要产出国家

序号	国家	公开量	公开量比例	被引数	被引数比例	平均被引数
1	中国	37	88.10%	118	48.16%	3.19
2	美国	2	4.76%	111	45.31%	55.50
3	印度	2	4.76%	16	6.53%	8.00
4	韩国	1	2.38%	0	0.00%	0.00

表 2.2.4 “城市信息模型 (CIM) 与平台” 工程开发前沿中核心专利的主要产出机构

序号	机构	公开量	公开量比例	被引数	被引数比例	平均被引数
1	国家电网有限公司	17	40.48%	84	34.29%	4.94
2	中国南方电网有限责任公司	7	16.67%	19	7.76%	2.71
3	上海仪电（集团）有限公司中央研究院	4	9.52%	0	0.00%	0.00
4	印度塔塔咨询服务公司	2	4.76%	16	6.53%	8.00
5	美国 HealthMantic 公司	1	2.38%	94	38.37%	94.00
6	美国英特尔公司	1	2.38%	17	6.94%	17.00
7	冶金自动化研究设计院	1	2.38%	14	5.71%	14.00
8	上海和辉光电有限公司	1	2.38%	10	4.08%	10.00
9	江苏省电力公司信息通信分公司	1	2.38%	9	3.67%	9.00
10	上海交通大学	1	2.38%	8	3.27%	8.00

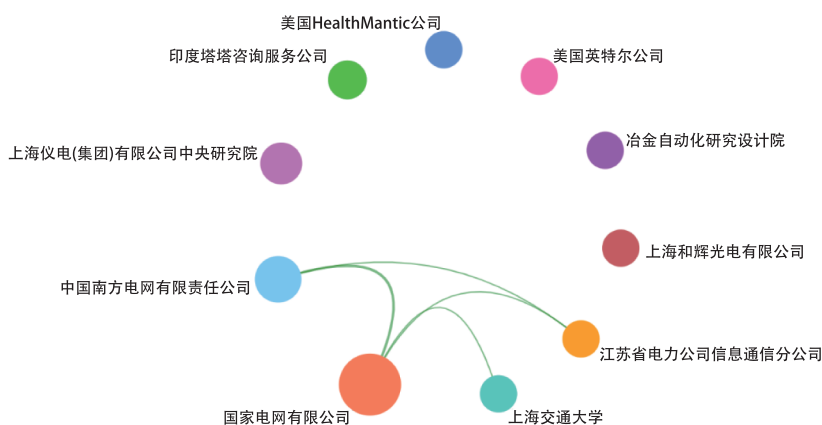


图 2.2.2 “城市信息模型 (CIM) 与平台” 工程开发前沿主要机构间的合作网络

表 2.2.5 “基于区块链的质量信息追踪方法与系统” 工程开发前沿中核心专利的主要产出国家

序号	国家	公开量	公开量比例	被引数	被引数比例	平均被引数
1	中国	13	76.47%	3	100.00%	0.23
2	韩国	3	17.65%	0	0.00%	0.00
3	美国	1	5.88%	0	0.00%	0.00

表 2.2.6 “基于区块链的质量信息追踪方法与系统” 工程开发前沿中核心专利的主要产出机构

序号	机构	公开量	公开量比例	被引数	被引数比例	平均被引数
1	山东爱城市网信息技术有限公司	3	17.65%	1	33.33%	0.33
2	深圳点链科技有限公司	2	11.76%	0	0.00%	0.00
3	中国大唐集团有限公司	1	5.88%	1	33.33%	1.00
4	北京工商大学	1	5.88%	1	33.33%	1.00
5	LG 化学公司	1	5.88%	0	0.00%	0.00
6	广东科创工程技术有限公司	1	5.88%	0	0.00%	0.00
7	四川艾欧特智能科技有限公司	1	5.88%	0	0.00%	0.00
8	中化现代农业有限公司	1	5.88%	0	0.00%	0.00
9	天津科技大学	1	5.88%	0	0.00%	0.00

量信息被离散地存储于产业链参与方，信息的不安全、不互通、不透明使其易于被人为篡改，从而导致工程产品质量出现问题，难以追责、纠纷不断。二是基于区块链的质量价值共创方法及系统。该类研发主要为破除工程产品质量面临的“价值共创困境”：信息不对称、沟通效率低等问题引发供给侧与需求侧之间的不信任，终端用户参与价值共创的意

愿低下，质量信息在生产—消费上下游流动中存在鸿沟并最终成为沉默的信息，难以为实现质量持续改进提供支持。

(1) 基于区块链的质量信息溯源方法及系统

基于区块链的质量信息溯源方法及系统主要包括但不限于信息采集模块、上链模块和远程服务器模块。信息采集模块：基于物联网等技术对物理世

界的质量信息进行采集。上链模块：利用分布式共识机制，将质量信息封装到区块，经相关责任方确认后发布到区块链系统，形成一条有关于项目全过程、全要素的质量信息的“证据链”。远程服务器模块：质量各责任方调用区块链系统中的质量信息，实现质量信息的实时查询以及追溯。基于区块链的质量信息溯源方法及系统致力于实现产品全过程、全要素的质量信息可信任、过程流转高透明、质量责任可追溯。一旦发生质量问题，可以快速回溯，识别责任相关方，避免纠纷，进而提升质量管理和服务水平。

（2）基于区块链的质量价值共创方法及系统

如今，各类企业纷纷从大规模批量化生产模式转型，将个性化、定制化生产作为企业未来的发展战略，以充分满足终端用户及消费者的多元化需求。在此过程中，企业核心竞争力的提升依赖于拉动上下游客户参与到研发—设计—生产过程，通过互动与适应实现价值共创，从而生产出高质量、令客户满意的产品。

产品使用信息的获取、畅通无阻的信息流动和相互信任的合作环境是实现质量价值共创的前

提，区块链为实现这一前提提供了必要的技术支持。目前，基于区块链的质量价值共创方法及系统主要围绕产品使用信息获取、上下游互动与价值创造三个环节展开。产品使用信息获取方面，区块链系统通过与产品物联网相集成，使产品使用过程中产生的多元质量信息能够被全方位采集、存储、分类、传输和检索，区块链的身份认证机制保障了用户隐私不被窃取。上下游互动方面，产品信息在多方协同过程中被完整记录，使用户与上游产业链的各生产方与供应方的互动能被全过程追溯，有助于厘清产品增值价值与知识产权归属，保障各方无形财产。价值创造方面，终端用户的介入及使用信息的全方位采集丰富了产品质量大数据，区块链系统通过与人工智能技术的集成使得沉默信息中的价值得以被挖掘并向前端生产反馈，从而为产品的设计与生产决策提供支持，形成价值持续创造的回路。综上所述，区块链打通了产业链上下游，使工程产品质量信息得到严格的保护，并实现高效和低成本流动，使用户参与的质量价值创造得以贯穿从资源开发、设计到生产和消费价值获取的价值产生全过程。

领域课题组成员

课题组长：丁烈云 何继善 胡文瑞 向巧

专家组成员：

丁烈云 何继善 胡文瑞 向巧 陈晓红
柴洪峰 陈清泉 傅志寰 刘人怀 陆佑楣
栾恩杰 凌文 孙永福 邵安林 王基铭
王礼恒 王陇德 汪应洛 王玉普 王众托
薛澜 许庆瑞 徐寿波 杨善林 殷瑞钰

袁晴棠 朱高峰 郑静晨 赵晓哲

Mirosław Skibniewski Peter E. D. Love

毕军 蔡莉 陈劲 丁进良 杜文莉
方东平 高自友 胡祥培 华中生 黄季焜
黄伟 江志斌 康健 李恒 李永奎
李政 刘晓君 骆汉宾 任宏 唐加福
唐立新 唐平波 王红卫 王慧敏 王孟钧
王先甲 王要武 魏一鸣 吴德胜 吴建军
吴启迪 许立达 杨海 杨剑波 叶强

曾赛星 周建平 程 哲 冯 博 李 果
李晓冬 李玉龙 林 翰 刘炳胜 刘德海
罗小春 吕 欣 马 灵 欧阳敏 裴 军
司书宾 王宗润 吴 杰 肖 辉 杨洪明
杨 阳 於世为 袁竞峰 张跃军 镇 璐
周 鹏 朱文斌

工作组成员：

钟波涛 王红卫 骆汉宾 聂淑琴 常军乾
郑文江 穆智蕊 张丽南 李 勇 董惠文
潘 杏 盛 达 向 然 郭家栋

执笔组成员：

研究前沿：

程 洪 彭知南 黄 瑞 李 果 华连连
周 鹏 吴泽州 房 超 郑晓龙 郭凯明
吕 欣 江泽浩 安海忠 高湘昀 李华姣
方 伟 黄书培 安 峰

开发前沿：

徐顺清 马 灵 钟波涛 吴海涛 王 帆
於世为 牛保庄 董 健 黄思翰 邢立宁
李惠敏 徐贤浩 邹碧攀