



## Views &amp; Comments

## 2018 年全球工程前沿简介

蔡方<sup>a</sup>, 吉久明<sup>b,\*</sup>, 蒋志强<sup>c</sup>, 穆智蕊<sup>d</sup>, 吴向<sup>d</sup>, 郑文江<sup>d,\*</sup>, 周炜星<sup>c</sup>, 涂善东<sup>e</sup>, 钱旭红<sup>f,g</sup><sup>a</sup> College of Distance Education, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China<sup>b</sup> Institute of Science and Technology Information, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China<sup>c</sup> Research Center for Econophysics & School of Business, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China<sup>d</sup> Centre for Strategic Studies, Chinese Academy of Engineering, Beijing 100088, China<sup>e</sup> Key Laboratory of Pressurized System and Safety, Ministry of Education & School of Mechanical and Power Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China<sup>f</sup> East China Normal University, Shanghai 200062, China<sup>g</sup> Shanghai Key Laboratory of Chemical Biology, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China

## 1. 引言

工程科技是改变世界的重要力量，工程前沿是工程科技未来方向的重要指引。把握全球工程科技大势，敏锐抓住科技革命新方向，已成为全球各国的战略选择。2017年起，中国工程院联合科睿唯安公司、高等教育出版社组织开展了“全球工程前沿”研究项目，期望能汇集全球工程科技人才的智慧，研判全球工程研究和工程开发重点前沿，为人类应对全球挑战、实现可持续发展提供行动参考。

全球工程前沿研究以数据分析为基础，以专家研判为依据，遵从定量分析与定性研究相结合、数据挖掘与专家论证相佐证、工程研究前沿与工程开发前沿并重的原则，每年向全球发布百项左右的工程研究前沿和百项左右的工程开发前沿，并分别重点解读27项工程研究前沿和27项工程开发前沿。本文重点介绍2018年项目研究的总体情况。

## 2. 研究方法

全球工程前沿研究中的“前沿”是指具有前瞻性、

先导性和探索性，对工程科技未来发展有重大影响和引领作用的主要方向，是培育工程学科创新能力的重要指南。

全球工程前沿以数据分析为基础、专家研判为依据，方法上结合文献数据分析和专家智慧聚焦的双重优势，采用数据分析与多轮专家建议及解读研判相结合的实施方案；研究流程上分数据对接、数据分析和专家研判三个阶段；组织上实现文献情报专家与领域专家深度合作；研究范围上涵盖工程科技9个领域53个学科组。具体实施流程见图1，其中绿色为数据分析的内容，紫色为专家参与的内容。

数据对接阶段主要通过领域专家和文献情报专家的交互，明确数据挖掘的范围。工程前沿的基础数据主要来自9个领域对应的全球高水平期刊、重要会议及德温特专利分类号，以及专家补充的关键期刊、论文或关键词。

数据分析主要通过聚类方法获得基于数据的研究热点和专利地图。在工程研究热点挖掘分析上，通过对9个领域2012—2017年间Web of Science核心合集中各年被引频次处于各学科前10%的SCI期刊论文和会议论文进行共被引聚类获得文献聚类主题。然后从每个领域的

E-mail addresses: [jjm@ecust.edu.cn](mailto:jjm@ecust.edu.cn) (J.-M. Ji); [zwj@cae.cn](mailto:zwj@cae.cn) (W.-J. Zheng)2095-8099/© 2018 THE AUTHORS. Published by Elsevier LTD on behalf of the Chinese Academy of Engineering and Higher Education Press Limited Company. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

英文原文: Engineering 2018, 4(6): 748–753

引用本文: Fang Cai, Jiu-Ming Ji, Zhi-Qiang Jiang, Zhi-Rui Mu, Xiang Wu, Wen-Jiang Zheng, Wei-Xing Zhou, Shan-Tung Tu, Xuhong Qian. Engineering Fronts in 2018. Engineering, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eng.2018.11.004>

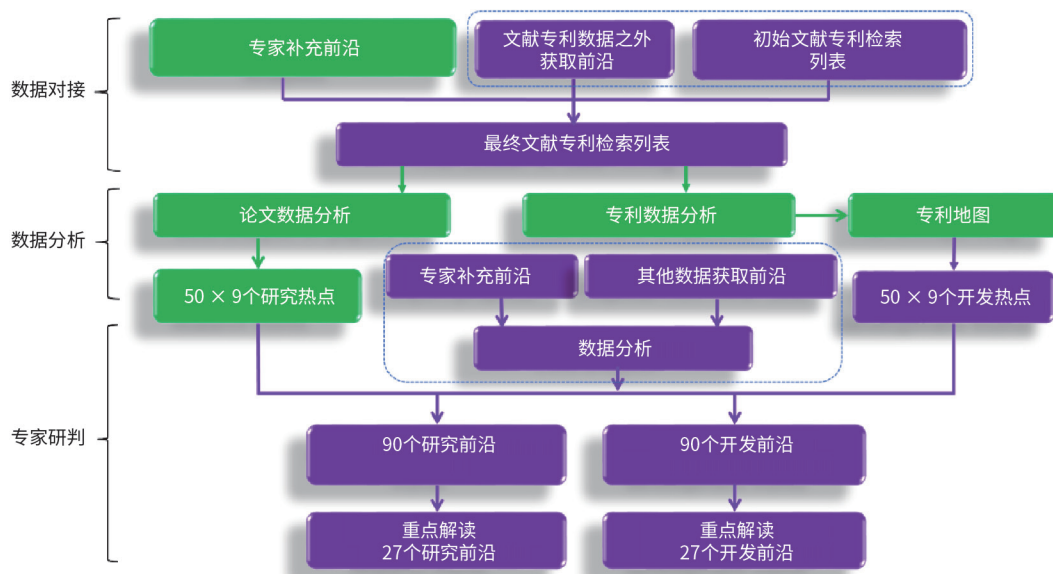


图1. 全球工程前沿研究实施流程图。

聚类主题中按被引频次、平均出版年、常被引论文的占比的指标遴选50个左右互不交叉的候选工程研究热点。为体现研究热点的新兴性，独立筛选平均出版年在2016年后的20个聚类主题。在开发热点挖掘分析上，对于专利数据，利用专利文本间的语义相似度，对9个领域53个学科组2012—2017年间德温特专利数据分享平台（Derwent Innovation）中被引频次前5000篇高被引的专利家族聚类，获得53张能快速直观呈现工程开发技术分布的ThemeScape专利地图。

专家研判主要通过专家提名、专家研讨、问卷调查确定最终前沿。领域专家对数据分析结果进行优化、提炼，对专利地图进行解读；同时，为弥补数据挖掘中因算法局限性或数据滞后所导致的研究前沿性不足的问题，鼓励领域专家对照数据分析结果查漏补缺，提名前沿。经过数据分析和专家提名，共获取候选研究前沿482个，候选开发前沿415个。而后领域专家开展了多轮研讨和问卷调查，最终遴选出2018年度每个领域10个左右工程研究前沿和10个左右工程开发前沿，并从中选出3个研究前沿和3个开发前沿进行重点解读。

### 3. 2018 年度工程前沿概况

《全球工程前沿2018》报告基于科睿唯安共被引聚类的134 988个工程研究前沿热点和Derwent Innovation的53张ThemeScape专利地图，通过数据遴选、专家研判修正获得94个工程研究前沿和96个工程开发前沿，

并重点解读了其中的27个工程研究前沿和27个工程开发前沿（见表1至表9内容中的加粗部分）。

#### 3.1. 机械与运载工程

机械与运载工程领域研判的Top10工程研究前沿和Top10工程开发前沿涉及机械工程、船舶与海洋工程、航空宇航科学技术、兵器科学与技术、动力及电气设备工程与技术、交通运输工程等学科方向。其中，“锂离子电池热管理技术”“认知无线网络”“基于触觉的目标识别”和“电/磁场强化纳米流体对流传热”为新兴工程研究前沿。“船舶新型推进系统”和“无人机”为新兴工程开发前沿。

#### 3.2. 信息与电子工程

信息与电子工程领域本年度获得的全球工程前沿涉

表1 机械与运载工程领域全球工程前沿

工程研究前沿	工程开发前沿
<b>自主水下航行器的自适应跟踪</b>	<b>MEMS传感器</b>
<b>多智能体系统的一致性控制</b>	<b>船舶新型推进系统</b>
<b>机械手的自适应神经网络控制</b>	<b>无人机</b>
水下自主导航系统	燃气轮机
锂离子电池热管理技术	海洋探测与定位技术
全球导航卫星系统优化	无人汽车的自主控制
认知无线网络	海上通信、导航与定位技术
基于触觉的目标识别	新一代图像显示技术
近海岸波浪能资源评估及利用	飞行器起降与飞行
电/磁场强化纳米流体对流传热	新型发动机技术

及电子科学与技术、光学工程与技术、仪器科学与技术、信息与通信工程、计算机科学与技术、控制科学与技术等学科方向。“可解释深度学习”“网络化协同感知和控制理论”“区块链技术”“硅基光互连芯片技术”工程研究前沿是基于专家提名经数据辅助分析获得。

### 3.3. 化工、冶金与材料工程

化工、冶金与材料工程领域的Top12工程研究前沿和Top12工程开发前沿涉及新能源材料科学与工程、复合材料与工程、金属材料工程、催化工程、冶金工程、细胞生物学工程等学科方向。“石墨烯、碳纳米管等纳米碳材料的功能化改性及复合材料”“以锂为代表的金属-空气电池”“卤化物钙钛矿基高效太阳能电池、高性能发光材料和灵敏探测器”“新型荧光分子探针在生物成像中的应用”“金属-有机骨架材料的可控制备、功能导向性修饰及应用”为新兴的工程研究前沿。“金属有机骨架材料的晶体工程与规模化应用”“石墨烯基功能

材料的关键制备技术及其在储能领域的应用”“增材制造(3D打印)技术及应用”“细胞治疗”是新兴工程开发前沿。

### 3.4. 能源与矿业工程

能源与矿业工程领域研判的Top13工程研究前沿中，“微电网与智能输配电系统”“三维地震数据分析和重构技术”“新一代太阳电池：包括钙钛矿、钙钛矿/硅异质结叠层、Cu<sub>2</sub>ZnSnSe<sub>4</sub>薄膜、聚合物及量子点敏化太阳电池”主要基于数据遴选获得；“新一代太阳电池”为颠覆性前沿；“先进核能技术：聚变-裂变混合堆技术”“煤炭与油气开采智能化关键工程技术、装备与材料”“基于大数据和认知理论的剩余油气资源空间分布预测技术”为融合交叉学科工程研究前沿。Top14工程开发前沿中“能源与电力系统中的先进储能技术”“无线电力传输及其相关设备的研究及应用”“可再生能源发电系统的运行与控制”“石油工程新工具新材料”“非

表2 信息与电子工程领域全球工程前沿

工程研究前沿	工程开发前沿
雷达隐形技术	无人机与车辆自动驾驶技术
可解释深度学习	多维度图像信息获取、处理与融合技术
新一代移动通信技术	虚拟现实与增强现实系统的显示、交互和操控技术
网络化协同感知和控制理论	光纤通信与全光网络
区块链技术	网络安全中的身份认证与访问控制
量子相干性测量与退相干管控	云计算平台
软体机器人控制方法	人-机交互传感方法及应用
高分辨率遥感场景分类和图像处理技术	阵列式传感器及阵列传感大数据处理技术
硅基光互连芯片技术	宽带无线通信系统
基于深度神经网络的人体姿态识别方法	基于非易失性存储器的新型存储系统

表3 化工、冶金与材料工程领域全球工程前沿

工程研究前沿	工程开发前沿
石墨烯、碳纳米管等纳米碳材料的功能化改性及复合材料	大规模储能技术及其关键材料
开发新型燃料电池	化石资源和生物质催化转化新技术
金属材料纳米化及高性能	绿色化与智能化冶金制造流程
二氧化碳固定	增材制造(3D打印)技术及应用
以锂为代表的金属-空气电池	先进复合材料制备技术、结构连接及应用
高效光催化太阳能转化、污染物降解和有机合成	超级电容器关键技术及材料
功能梯度纳米级材料	新一代高比能锂硫电池、固态锂电池
超级电容器的设计及制备	石墨烯基功能材料的关键制备技术及其在储能领域的应用
高效电催化分解水	铝、镁、钛、锆等轻金属合金制备及应用
卤化物钙钛矿基高效太阳能电池、高性能发光材料和灵敏探测器	金属有机骨架材料的晶体工程与规模化应用
新型荧光分子探针在生物成像中的应用	稀有稀贵金属材料先进制备加工技术
金属-有机骨架材料的可控制备、功能导向性修饰及应用	细胞治疗

常规油气藏储层测井识别”主要基于科睿唯安的数据遴选获得;“先进核燃料技术研发”为颠覆性工程开发前沿;“电力系统高压大功率电力电子器件及装备”“能源与电力系统中的先进储能技术”“矿产和地热宽谱段遥感勘查”为融合交叉学科工程开发前沿。

### 3.5. 土木、水利与建筑工程

土木、水利和建筑工程领域获得的Top10工程研究前沿和Top10工程开发前沿涉及结构工程、土木工程材料、岩土及地下工程、桥梁工程、交通工程、建筑学、暖通空调、市政工程、城乡规划与风景园林、测绘工程和水利工程等学科方向。“建筑环境调控智能系统”“污水处理中微塑料等污染物迁移与转化机理”和“智慧城市地理时空大数据动态融合”是新兴研究前沿。“智能建造及其3D打印技术”“绿色规划及绿色建造技术”和“城市地下空间协同开发与利用”是新兴工程

开发前沿。

### 3.6. 环境与轻纺工程

环境与轻纺工程领域所研判的Top10工程研究前沿和Top10工程开发前沿涉及环境科学技术、环境工程、气象科学、海洋科学工程、食品科学工程、轻工科学工程6个学科方向。其中环境领域主要涉污染物污染机理、迁移转化机制、自动检测预警、修复治理及其资源回收与新能源和清洁能源技术;海洋领域主要集中在海洋酸化、数字模拟和海洋勘察技术;轻工科学工程主要集中于功能型与智能型可穿戴材料与设备及其生态皮革技术。

### 3.7. 农业

农业领域本年度获得的Top10工程研究前沿和Top10工程开发前沿涉及农业资源、应用生态学、作物

表4 能源与矿业工程全球工程前沿

工程研究前沿	工程开发前沿
<b>先进核能技术：聚变-裂变混合堆技术</b>	<b>化石能源（煤炭、非常规油气）开发利用系统与核心技术装备</b>
<b>可再生能源发电利用及储能、节能环保技术</b>	<b>电力系统高压大功率电力电子器件及装备</b>
<b>煤炭与油气开采智能化关键工程技术、装备与材料</b>	<b>乏燃料后处理及核设施仪器仪表</b>
微电网与智能输配电系统	能源与电力系统中的先进储能技术
先进高性能燃料电池关键技术	无线电力传输及其相关设备的研究及应用
煤炭高效、洁净加工和转化	可再生能源发电系统的运行与控制
页岩油地下原位改质机理与大规模开发关键技术	先进反应堆技术及设备研发
三维地震数据分析和重构技术	矿产和地热宽谱段遥感勘查
基于大数据和认知理论的剩余油气资源空间分布预测技术	石油工程新工具新材料
非常规油气微观渗流机理与高效开采技术	绿色采矿技术（煤、油、气、矿）
全智能一体化小型模块化反应堆技术	非常规油气藏储层测井识别
深空及深海核反应堆及电源技术	三维地质建模技术
新一代太阳电池：包括钙钛矿、钙钛矿/硅异质结叠层、Cu <sub>2</sub> ZnSnSe <sub>4</sub> 薄膜、聚合物及量子点敏化太阳电池	先进核燃料技术研发
	矿业安全智能精准开采技术与装备

表5 土木、水利与建筑工程全球工程前沿

工程研究前沿	工程开发前沿
<b>土木工程结构与系统全寿命可靠性</b>	<b>智能建造及其3D打印技术</b>
<b>超高性能与智能水泥基复合材料</b>	<b>绿色规划及绿色建造技术</b>
<b>道路路面再生材料与材料再生</b>	<b>智能交通关键技术体系</b>
绿色本土建筑	超长、超深埋隧道修建技术与智能装备
基于人工智能的建筑设计方法	城市地下空间协同开发与利用
建筑环境调控智能系统	新型深水基础及缆索承重桥梁抗风
污水处理中微塑料等污染物迁移与转化机理	环境友好型建筑材料
多层次空天地遥感数据的融合处理	城市用水深度处理
智慧城市地理时空大数据动态融合	城市雨洪调控技术
水工程全寿命安全	高精度导航定位与时空大数据

科学、林业工程、农业生物工程、动物医学、农业机械工程、农业信息化等学科方向。其中，新兴工程前沿主要为“主要农作物分子设计育种”“智能农机装备”“植物对生物与非生物胁迫反应机理”“农业设施中太阳能的高效利用”“智能农机具的开发利用”。颠覆性工程前沿主要为“CRISPR/CAS9农业生物基因编辑”“动物干细胞利用技术”“动物模型及动物基因组编辑”等。

### 3.8. 医药卫生

医药卫生领域本年度研判获得的Top9工程研究前沿和Top10工程开发前沿涉及基础医学、临床医学、医学信息学与生物医学工程、药学、公共卫生与预防医学等学科方向。其中，医药卫生工程研究前沿大多属于最近的热点研究前沿，主要涉及衰老的预防与干预，药物安全性评测，疾病的分子机制、靶向治疗、干细胞治疗，新发高致病病毒发现及其疫情的预警与防控以及基于医学大数据的精准医疗研究等。新兴工程开发前沿主要为大数据人工智能与医学的融合，如“人工智能与疾病诊断”和“人工智能健康管理”。

### 3.9. 工程管理

在工程管理领域中，全球工程前沿主要由需求推动技术进步。在Top10工程研究前沿主要涉及机械、电气、能源、环境、医学、建筑、农业等学科的工程管管理，其中，“制造企业服务导向战略研究”“电动汽车充电策略”“共享社会经济路径下的土地资源利用”为新兴工程管理研究前沿。Top10工程开发前沿集中包含机械、运输、能源、医学、建筑、电子等学科，其中，“电动车充电管理方法与系统”“智能健康管理方法与系统”“智能网联汽车技术”为重点解读的前沿。

## 4. 讨论与展望

“工程造福人类，科技创造未来。”全球工程前沿研究基于现有工程科技论文和专利成果及其机构态势，从工程科技供给能力识别工程科技关键技术，对研判工程科技趋势、优化科技布局具有一定意义。但是，全球工程前沿研究是一项复杂的系统工程，涉及大量的数据分析及专家与数据的交互。2018年度工程前沿在数据挖掘

表6 环境与轻纺工程领域全球工程前沿

工程研究前沿	工程开发前沿
<b>大气污染的健康效应</b>	<b>土壤有机污染修复治理技术</b>
<b>高分辨率全球海洋环流模型</b>	<b>遥感雷达自动检测技术</b>
<b>功能型与智能型可穿戴柔性材料</b>	<b>农药残留监测技术电子化</b>
污染物在多介质、多界面下的迁移转化机理	新能源和清洁能源技术
大气复合污染机理	污-废水资源能源回收技术
环境纳米复合材料净污技术及其原理	大气污染控制技术
海洋酸化	灾害自动监测预警系统
天气气候的可预测性及模式发展	自主式水下航行器
基于肠道微生物组学的食品营养代谢机理研究	智能化可穿戴纺织品
染整废水的净化技术	生态皮革

表7 农业领域全球工程前沿

工程研究前沿	工程开发前沿
<b>主要农作物分子设计育种</b>	<b>动物干细胞利用技术</b>
<b>CRISPR/CAS9农业生物基因编辑</b>	<b>农业废弃物与生物质能源转化</b>
<b>智能农机装备</b>	<b>作物转基因技术</b>
全球气候变化与作物生产	高效低毒作物病害防治化合物研制
土壤菌群多样性与生物固氮	动物模型及动物基因组编辑
植物多样性与全球生物安全	抗病基因的导入与抗病新品种利用
土壤重金属污染及对农作物的胁迫	农业设施中太阳能的高效利用
作物营养供给与农业可持续发展	智能农机具的开发利用
植物对生物与非生物胁迫反应机理	林业信息数据库构建与生态系统建设
森林结构对森林碳循环的影响	作物自交系与杂交新品种选育

表8 医药卫生领域全球工程前沿

工程研究前沿	工程开发前沿
肿瘤分子分型与靶向治疗	干细胞技术
干细胞与细胞治疗	人工智能与疾病诊断
基于生物医学大数据的精准医学研究	生物医用材料
衰老的预防与干预	肿瘤免疫治疗
中药安全性评价、风险控制与质量标准	人工智能健康管理
再生医学与再生微环境	基因编辑
新发高致病病毒的发现及其疫情的预警与防控	机器人手术系统
神经退行性疾病的分子机制研究	远程医疗
肠道微生态和肿瘤的发生发展	个体化肿瘤治疗疫苗
	医用3D打印技术

表9 工程管理领域全球工程前沿

工程研究前沿	工程开发前沿
制造企业服务导向战略研究	电动车充电管理方法与系统
电动汽车充电策略	智能健康管理方法与系统
共享社会经济路径下的土地资源利用	智能网联汽车技术
气候变化对干旱地区水资源的影响研究	风险管理方法与系统
基于移动设备传感器的精神疾病状况诊断	基于BIM的建造管理系统
区域环境治理战略规划研究	基于定位技术的监控系统开发
基于分布式微型电网技术的能源管理	能源管理控制方法与系统
水-能源-粮食关联关系研究	物流管理方法与系统
生态系统服务在生态风险评估中的应用	医疗服务管理方法与系统
建成环境对通勤的影响研究	智能医疗管理方法与系统

方法、专家与数据交互和项目研究流程等创新上取得了一定的成果。但在原始数据范围、技术颗粒度、交互反馈机制、重点前沿解读数据支撑等方面还有待提升。例如，在国家发文优势上，采用的是识别聚类的极其少量高被引论文或专利，不能代表该前沿的整体全貌。在数据上使用是当前公开的工程科技论文和专利成果，具有一定的延迟性。后续的全球工程前沿研究，将引入不同类型的数据和不同的分析方法工具，改进数据与专家的交互方式。从需求出发，分析和判断新一轮科技革命和产业变革的突破口；从工程科学技术发展的规律出

发，在产学研深度融合中寻找新的生长点，凝练工程科技领域的重大理论研究问题和技术开发难题，为工程科技创新部署提供科学的决策支撑，推动人类文明进步。

## 致谢

全球工程前沿研究得到了中国工程院院士、中国工程院院刊“1+9+1”系列期刊、《中国工程科学》杂志社、中国工程科技知识中心以及相关领域专家和文献情报专家的指导和帮助，在此表示衷心的感谢！