



能源是人类生存和发展的基石，能源转型贯穿于人类发展的历史长河。随着人类对自身活动造成环境影响的认识加深，能源转型呈现出由自发到自觉的转变。2016 年《巴黎协定》的正式签署标志着以低碳发展为目的的能源转型成为世界共识。然而，正如斯米尔在《能源转型：数据、历史与未来》中对全球和九大经济体能源转型的深入分析得到的结论所说，冷静地看待能源转型，对于小型经济体，能源转型可以快速实现，而大型经济体或全球能源转型则是一个旷日持久的过程。不过斯米尔也在援引比尔·盖茨对加速能源创新的乐观态度时表示，技术和研发的加大将加速能源低碳转型。

信息技术与能源技术的结合、模式创新与技术创新的结合、数字革命与能源革命的结合，是通过“升维”的方式颠覆性地推动能源转型。能源互联网作为能源革命的实现手段和具体形态，正是在这样的背景下受到政、产、学、研、金、用多方的关注。世界主要国家已经在能源互联网的科技创新和研究能力发展方面进行了大量探索与实践，以期依靠能源互联网科技创新促进经济发展与碳排放的解耦，实现经济、高效、安全、低碳的可持续发展。

能源互联网领域学科广泛，研究方向众多，各方认知不尽相同。因此，本章首先通过剖析能源互联网的概念演变历程，给出具有广泛意义上的能源互联网概念、特征与架构。接下来，本书介绍以研究目标为导向，以广覆盖的数据来源为基础，以基于能源互联网概念凝练而成的检索关键词为手段作为基本研究方法。

1.1 能源互联网概述

1.1.1 能源互联网的概念

能源互联网（Energy Internet，EI）的概念最早可追溯到《经济学人》（*The Economist*）杂志于 2004 年 3 月 11 日发表的一篇文章《建设能源互联网》（*Building the Energy*



Internet)。文中指出,随着分布式能源占比的不断增加,若要在各种新的不确定性面前保障电网的稳定性和效率,需要通过借鉴互联网自愈和即插即用的特点,将传统电网转变为智能、响应和自愈的数字网络,也就是能源互联网。此后,国际上针对能源互联网进行了广泛的研究,着力研究下一代能源系统。2011年,美国学者杰里米·里夫金在其著作《第三次工业革命》中提出能源互联网是第三次工业革命的核心之一,使得能源互联网被更多人关注,产生了较大影响,并在2014年出版的《零边际成本社会》一书中对能源互联网进行了更加系统和全面的论述。

早在20世纪80年代,清华大学前校长高景德便提出了“CCCP”(现代电力系统是计算机、通信、控制与电力系统以及电力电子技术的深度融合)的概念。近年来,国内快速发展的智能电网也不断强调信息技术与现代电网的紧密结合。2012年8月首届中国能源互联网发展战略论坛在长沙举行,对能源互联网概念进行了初步介绍,之后国内学者专家对能源互联网的概念进行了深入拓展。2013年12月,北京市科委组织“第三次工业革命”和“能源互联网”专家研讨会。2014年2月,国家能源局委托江苏现代低碳技术研究院开展“能源互联网战略研究”课题。2014年6月,中国电力科学研究院牵头承担中国国家电网有限公司(下称“国家电网公司”)基础前瞻性项目“能源互联网技术架构研究”,着力构建未来能源互联网架构,搭建相应的能源互联网研究平台。

随着党的“十八大”提出能源革命战略、2015年政府工作报告推出“互联网+”行动计划,能源与互联网正不断实现深度融合,极大地促进了国内能源互联网的发展。2015年4月,国家能源局首次召开能源互联网工作会议。2015年4月,由清华大学发起并组织以“能源互联网:前沿科学问题与关键技术”为主题的香山科学会议在北京香山饭店召开,为中国能源互联网的发展建言献策,在国内外产生了重要影响。2015年6月,国家能源局开展“国家能源互联网行动计划战略研究”并将其作为国家“互联网+”行动计划的重要载体。2016年2月,国家发展改革委、能源局、工信部联合发布国家能源互联网纲领性文件《关于推进“互联网+”智慧能源发展的指导意见》,提出了能源互联网发展的路线图,明确了推进能源互联网发展的指导思想、基本原则、重点任务和组织实施。2016年3月,《国家“十三五”规划纲要》明确提出“将推进能源与信息等领域新技术深度融合,统筹能源与通信、交通等基础设施网络建设,建设“源—网—荷—储”协调发展、集成互补的能源互联网”。2016年4月,国家发改委、能源局正式发布《能源技术革命创新行动计划(2016—2030年)》,为未来中国能源互联网技术的发展制定了行动计划。

目前,对能源互联网的概念及技术形态有多种理解方式。其中,里夫金认为能源互联网是以新能源技术和信息技术深入结合为特征的一种新的能源利用体系。有学者提出,能源互联网是以互联网思维与理念构建的新型信息—能源融合“广域网”,它以大电网为“主干网”,以微网、分布式能源等能量自治单元为“局域网”,强调用互联网理念改造传统能源产业结构、设备和控制形态以实现根本革新,真正实现信息能源基础设施的一体化,实



现能源双向按需传输和动态平衡的使用。有学者认为,能源互联网是以电力系统为中心,以智能电网为骨干,以互联网、大数据、云计算及其他前沿信息通信技术为纽带,综合运用先进的电力电子技术和智能管理技术,将电力系统与天然气网络、供热网络以及工业、交通、建筑系统等紧密耦合,横向实现电、气、热、可再生能源等“多源互补”,纵向实现“源—网—荷—储”各环节高度协调、生产和消费双向互动、集中与分布相结合、能源与信息高度融合的下一代能源体系。

综合各方观点可以看出,能源互联网是一种互联网理念、技术与能源生产、传输、存储、消费,以及能源市场深度融合的新型生态化能源系统。其以可再生能源优先、以电力为基础,通过多种能源协同、供给与消费协同、集中式与分布式协同,大众广泛参与,实现物质流、能量流、信息流、业务流、资金流、价值流的优化配置,促进能源系统更高质量、更有效率、更加公平、更可持续、更为安全。其具有设备智能、多能协同、信息对称、供需分散、系统扁平、交易开放等主要特征。其中,互联网理念就是系统性思维、以用户为本,而互联网技术则主要包括云计算、大数据、物联网、人工智能、区块链、数字孪生等数字化技术。

1.1.2 能源互联网的特征

能源互联网作为新型能源系统,代表了未来能源系统的形态。与传统能源系统相比,“新型”的核心体现为六个主要特征:

(1) 能源协同化。通过多能融合、协同调度,提升能源系统整体效率及资金利用效率与资产利用率。通过能源互联网技术可实现电、热、冷、气、油、煤、交通等多能源链协同优势互补,其潜在效益包括:在产能侧,通过储热、电制氢等方式,可以应对可再生能源的不确定性,减少弃风弃光,提高可再生能源的消纳能力,支撑高比例可再生能源的接入;在用能侧,通过多能综合利用,实现梯级利用和余能回收,提高一次性能源综合利用效率,减少能源消耗和各种污染物排放等;多能源系统协同规划建设,减少重复建设导致的浪费,提高经济性;为用户多样化用能选择提供优化空间,以满足用户不同品位的能源需求,降低用能成本,提高供能的可靠性。

(2) 能源高效化。能源系统除了需要提高整体效率外,还需要注重效益、效用和效能的提升。通过风能、太阳能等多种清洁能源接入,保证环境效益、社会效益。以能源生产者、能源消费者、能源运营者和能源监管者等用户的效用为本,推动提升能源系统的整体效能。

(3) 能源商品化。还原能源商品属性,通过市场化激发所有参与方的活力,形成能源营销电商化、交易金融化、投资市场化、融资网络化等创新商业模式。探索能源消费新模式。通过以智能电网为配送平台,以电子商务为交易平台,融合储能设施、物联网、智能用电设施等硬件以及碳交易、数字金融等衍生服务于一体的绿色能源网络发展,实现绿色



电力的点到点交易及实时配送和补贴结算。建设能源共享经济和能源自由交易，促进能源消费生态体系建设。

（4）能源众在化。首先，能源生产从集中式到分布式再到分散式实现泛在，能源单元之间对等互联，使能源设备和用能终端基于互联网进行双向通信和智能调控，实现分布式能源的即插即用，逐步建成开放共享的能源网络。其次，能源链所有参与方资源共享、积极合作，将促进前沿技术和创新成果及时转化，实现开放式大众广泛参与的创新体系，推动跨区域、跨领域的技术成果转移和协同创新。

（5）能源虚拟化。借鉴互联网领域虚拟化技术，通过软件方式将能源系统基础设施抽象成虚拟资源，盘活如分散存在的铅酸电池储能存量资源，突破地域分布限制，有效整合各种形态和特性的能源基础设施，提升能源资源利用率。

（6）能源数字化。第一，通过数字化技术打通能源链“源” — “网” — “荷” — “储”各个环节，提升业务链从规划建设到运行管理乃至监管各环节的效率和效能。第二，从设备到系统实现信息物理融合，实现由一个个具备自学习、自组织、智能化能力的信息物理综合体（Cyber-Physical Synthesis）组合而成的信息物理系统（Cyber-Physical System）。如有数百个传感器、通过几百万行控制代码的智能风机组成的智能风电场，就可以视为由信息物理综合体组成的信息物理系统。第三，能源基础设施本身能够像互联网一样，实现即插即用、模块组合、软件定义、灵活组网。

1.1.3 能源互联网的架构

能源互联网可以通过如图 1-1 所示的架构进一步描述。物理层要实现多能协同能源网络；信息层要支撑信息物理融合能源系统；应用层在提升现有应用水平的基础上更要实现创新的能源运营模式；机制层通过构建公平、高效的能源内外部生态为其他三层提供保障。

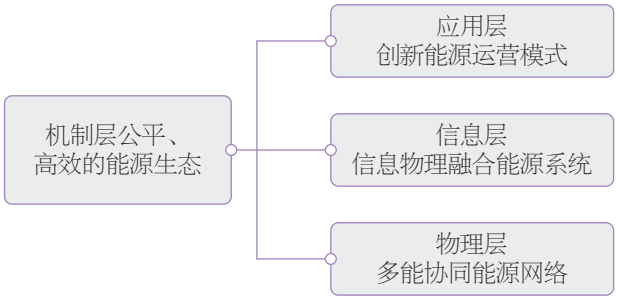


图 1-1 能源互联网的架构

从物理层来看，能源互联网的实现形态是在不同区域范围和规模内物质流、能量流、信息流、业务流和资金流的优化配置。类似于互联网按规模分为局域网、广域网和万维网，能源互联网将首先实现能源局域网，即多能源微网，将电、冷、热、水、气等网络互联协



调,实现能源的高效利用,并具备柔性、可扩展的能力,支持各类分布式能源的即插即用;以能源局域网为基本节点,以电网、管网、路网为骨干网架,由点及面形成广域互联,即能源广域网。多能协同能源网络为整个能源链的能源优化配置提供了物理基础。能源转换是多能协同的核心,其包括不同类型能源的转换(切换)以及不同承载方式的能源转换(变换)。不同类型的能源转换(切换)在能源生产端除了通常的利用发电机等各种技术手段将一次能源转换成电力二次能源外,还包括如电解水生成氢燃料,电热耦合互换等多种形式。在能源消费端,能源转换(切换)是能源消费者可以根据效益最优的原则在多种可选能源中选择消费。不同承载方式的能源转换(变换)主要体现在能源传输环节,如在电网中,有交流电和直流电之间通过变频器的转换、不同电压等级通过变压器的转换;在天然气网中,有液态和气态之间的转换;在热网中,低温高温的转换通过热泵实现。

多能协同能源网络整体效能的最大化离不开信息物理系统的融合。信息层要充分利用云计算、大数据、物联网、移动互联网、人工智能、区块链等数字化技术,实现计算、通信与物理系统的一体化,实现数据的实时协同,实现多种能源系统的信息共享,信息流与能量流通过信息物理融合系统(CPS)紧密耦合。在能源互联网下,信息系统和物理系统将渗透到每个设备,并通过适当的共享方式使得每个参与方均能获取到需要的信息,信息流将贯穿于能源互联网的全生命周期,包括其规划、设计、建设、运营、使用、监控、维护、资产管理和资产评估与交易。

能源互联网除互联网形态的物理特性外,还兼具互联网形态的服务特性,即能源互联网的价值实现途径——创新能源运营。应充分运用互联网思维,以用户为中心,实现业务价值。能源价值链每个环节与互联网相结合,都可以产生各式各样的商业模式,如B2B(企业对企业)、B2C(企业对消费者)、C2B(消费者对企业)、C2C(消费者对消费者)、O2O(线上线下)各种形式的能源服务新模式、新业态。依靠能源互联网,可以去除无效的中间环节,打造高效的供应体系,实现能源的“从厂到端”(F2C)模式。应用层的基本作用也不能忽视:基于能源物理实体与信息网络的深度融合,基于大数据分析、分布式控制、智能计算和复杂网络等新技术,对不同的能量流动环节进行整体优化,提高能源的利用效率,并通过不同能源间的替代和转化,提高可再生能源应用比例。

技术依赖于市场,市场依赖于模式,模式依赖于机制。机制层通过现代能源体系的市场机制引导、政府管制和法律规制三者统一协调,构建促进未来能源系统生态化发展政策保障体系,利用递进式的政策演进,消除由于市场失灵导致的能源发展的负外部性效应,通过还原能源商品属性,使能源价格真正反映出环境和资源成本,进而引导经济结构调整,引领能源技术创新,降低能源强度和污染水平,实现可再生能源对常规能源的替代。核心需要政府构建一个公平公正开放的机制环境来加以实现。此外,企业、机构等也需要构建内部公平高效的科技创新、产业转化、人才发展等机制。



1.2 研究方法

1.2.1 研究目标

1. 能源互联网发展驱动力概览

基于对 2011—2020 年两个阶段（即 2011—2015 年、2016—2020 年）国际及主要国家支持的能源互联网相关基金项目、学术与专利人才的分析，综合评估能源互联网发展的两个阶段及多维度驱动力。

2. 能源互联网研究热点概览

基于对 2011—2020 年不同阶段国际及主要国家学术出版物和专利产出的主题分布，从词云图、高产出研究主题和高增长研究主题 3 个角度，结合复合年增长率、归一化影响因子（FWCI）、突出度百分位数以及专利分类号等指标，挖掘能源互联网研究发展的核心热点领域，同时，关注学术出版物与专利产出在该领域中的异同性，为能源互联网研究工作的开展提供参考方向。

3. 能源互联网成果与影响力概览

基于对 2011—2020 年两个阶段（即 2011—2015 年、2016—2020 年）国际及主要国家学术出版物和专利的产出与变化趋势对比，采用归一化影响因子指标来综合评估能源互联网的科研影响力，并从被引用次数、专利转让和授权占比来综合评估专利影响力，同时关注基于高被引文献与高影响力期刊分析的高学术影响力研究成果。

4. 能源互联网学术和专利合作概览

基于学术合作和专利合作的成果统计，通过综合评估跨地域合作、产学研合作和作者合作的成果数量、年度变化趋势、影响力等，构建能源互联网领域学术与专利的合作网络，分析能源互联网合作网络中网络主体的行为偏好和发展趋势。

1.2.2 研究内容

1. 能源互联网发展驱动力

基金项目部分，主要分析 2011—2020 年国际及主要国家支持的能源互联网相关基金项目。基金数据来自 Funding Institutional 数据库。本领域的相关基金项目将使用下述“所采用的学科分类”中声明的基金检索策略来定义。其内容包括：

- ◎ 能源互联网国际资助项目变化趋势
- ◎ 能源互联网国际资助项目数量最多的 10 个基金组织
- ◎ 能源互联网国际资助金额最高的 10 个项目



学术人才部分，主要分析能源互联网的科研人才现状。其内容包含：

- ◎ 能源互联网研究所有相关作者分析，相关作者即至少发表过 1 篇被 Scopus 收录文献的作者

- ◎ 能源互联网活跃研究者（活跃研究者：1996 年统计日累计发表 10 篇文献且最近 5 年至少发表 1 篇文献的学者；或者最近 5 年累计发表 4 篇文献的学者。）

专利申请人部分，主要分析能源互联网的专利人才现状。其内容包含：

- ◎ 国际能源互联网专利的申请人和发明人变化趋势（2011—2020 年）
- ◎ 主要申请人排名、技术分布、申请人之间专利合作关系分析（2011—2020 年）
- ◎ 领域内的活跃研究者（活跃研究者：2011—2020 年累计申请 1000 项专利以上的申请人）

2. 能源互联网热点研究及趋势

能源互联网热点研究及趋势包括关键概念和变化趋势，以及热点研究主题。

核心概念和趋势部分，通过提取能源互联网领域的关键短语，分析核心概念的变化趋势。关键短语基于爱思唯尔的 Finger Print Engine，利用数据挖掘和自然语言处理技术从文献的标题、摘要和作者关键词，以及专利主题名称、摘要信息、发明人等关键词中提取。本部分内容包括：

- ◎ 国际能源互联网重点关键词网络图（2016—2020 年）
- ◎ 变化趋势：2016—2020 年，国际能源互联网每年词频最高的 5 个关键词

出版物热点研究主题部分，通过提取全球能源互联网的热点研究主题对标分析，分析主要国家的热点研究主题异同（2011—2020 年）。其内容包括：

- ◎ 2011—2020 年能源互联网国际热点研究主题的主题圈图
- ◎ 2011—2020 年能源互联网国际发文量最高的 10 个热点研究主题
- ◎ 2011—2020 年能源互联网国际发文增长最快的 10 个热点研究主题
- ◎ 2011—2020 年各个主要国家能源互联网产出最高的 5 个热点研究

领域内专利热点研究主题部分，通过提取国际能源互联网的热点研究主题对标分析，分析主要国家的热点研究主题异同（2011—2020 年）。其内容包括：

- ◎ 2011—2020 年能源互联网专利热点研究主题的主题圈图
- ◎ 2011—2020 年能源互联网专利量最高的 10 个热点研究主题
- ◎ 2011—2020 年能源互联网专利增长最快的 10 个热点研究主题
- ◎ 2011—2020 年各个主要国家申请量最多的 10 个热点研究

3. 能源互联网科研表现概览

本部分主要基于学术出版物和专利的数据与方法，分析 2011—2020 年国际及主要国家在“能源互联网”领域的研究进程，包括科研产出、科研影响力和发展趋势。

学术产出部分，分析国际及主要国家在能源互联网领域的学术产出和全球学术产出领先的国家与机构。其内容包括：

- ◎ 能源互联网的科研产出变化趋势（2011—2020 年）



- ◎ 能源互联网学术产出前 10 名的国家（2011—2020 年）
- ◎ 主要国家在能源互联网的学术产出变化趋势（2011—2020 年）
- ◎ 能源互联网全球学术产出前 20 名的机构（2011—2020 年）
- ◎ 多学科性：能源互联网相关学术成果在两个时间段的学科分布变化（2011—2015 年、2016—2020 年）

专利产出部分，分析国际及主要国家在能源互联网的专利产出和国际专利产出领先的国家与申请人。其内容包括：

- ◎ 能源互联网专利产出变化趋势（2011—2020 年）
- ◎ 能源互联网专利产出前 10 名的国家（2011—2020 年）
- ◎ 主要国家能源互联网的专利产出变化趋势（2011—2020 年）
- ◎ 能源互联网专利产出前 20 名的申请人（2011—2020 年）
- ◎ 能源互联网的相关专利成果在两个时间段的专利分布变化（2011—2015 年、2016—2020 年）

学术影响力部分，主要评估能源互联网学术成果的学术影响力。学术影响力通过被引用次数和引用次数标准化的指标归一化影响因子（FWCI）来评估。其内容包括：

- ◎ 国际能源互联网学术影响力变化趋势（2011—2020 年）
- ◎ 各主要国家的能源互联网学术影响力。本部分除了评价各国所有能源互联网文献的学术影响力，还将评估作为主要贡献者发表的文献的学术影响力
- ◎ 国际总被引次数前 20 的机构

专利影响力部分，主要评估能源互联网专利成果的专利影响力。专利影响力通过被引用次数、专利转让和授权占比进行评估。分析内容包括：

- ◎ 能源互联网专利影响力变化趋势（2011—2020 年）
- ◎ 各个主要国家能源互联网的专利影响力
- ◎ 国际总被引次数前 20 的申请人、专利转让或授权占比前 20 的申请人

高学术影响力研究成果部分，主要分析国际及主要国家在能源互联网上高影响力的学术产出。其内容包括：

- ◎ 国际前 1%/10% 高被引文献，并分析 1% 高被引文献发文量最多的 10 个机构
- ◎ 国际前 1%/10% 高影响力期刊发表的文献，并分析发文量最多的 10 本前 1% 高影响力期刊
- ◎ 国际被引用次数居前 20 名的文献列表，包括文献标题、关键词、期刊、发表年、作者和作者机构

高专利影响力研究成果部分，将提供国际及主要国家在能源互联网领域的高影响力专利产出分析。其内容包括：

- ◎ 国际前 1%/10% 高被引专利，并分析 1% 高被引专利最多的 10 个申请人
- ◎ 国际被引用次数居前 20 名的专利列表，包括专利标题、申请和授权日期、申请人信息

4. 研究合作

本部分基于领域内不同合作类型（包括国际合作、国内合作和机构内合作），分析



2011—2020 年能源互联网领域的研究合作程度与趋势。其内容包括：

- ◎ 跨地域合作
- ◎ 产学合作
- ◎ 作者合作

1.2.3 数据来源

本书中关于学术界和产业界能源互联网研究发展的数据来自 Scopus、SciVal 和 Funding Institutional、智慧芽提供的全球 126 个国家或地区的专利数据库以及 120 个国家或地区的可查询专利法律状态的法律信息数据库，根据这些数据库的数据对论文期刊、资金数据与专利进行抽取和分析。上述数据库的简介如下：

1. Scopus

Scopus 是爱思唯尔旗下的数据库，主要存储同行评审文献的摘要与引文，覆盖了共 7 100 万份文件，主要来自 5 000 家出版商发行的 23 700 种活跃期刊、图书和会议论文。

Scopus 的覆盖范围是多语种和全球性的：Scopus 中大约 46% 的出版物是以英语以外的语言发布的（或以英语和其他语言双语或多语种发布的）。此外，超过一半的 Scopus 内容来自北美以外地区，代表了欧洲、拉丁美洲、非洲和亚太地区的许多国家。

Scopus 的覆盖范围还包括所有主要研究领域，其中关于自然科学刊物约 13 300 种，健康科学 14 500 种，生命科学 7 300 种，社会科学 12 500 种（后者包括大约 4 000 种与艺术和人文有关的出版物）。所涉及的刊物主要是系列出版物（期刊、丛书和会议材料），相当数量的会议论文也在独立的会议记录卷（特别是在计算机科学中，会议论文是一个重要的传播机制）中涉及。Scopus 认识到，所有领域（尤其是社会科学和艺术与人文学科）的大量重要文献都是以图书形式出版的，因此在 2013 年开始增加图书覆盖率。截至 2018 年，Scopus 共收录 186 万册图书，其中社会科学类 40 万册，人文艺术类 29 万册。在专利方面，Scopus 包含了 5 个主要知识产权局或专利局：美国专利及商标局（USPTO）、欧洲专利局（EPO）、日本特许厅（JPO）、英国知识产权局（UKIPO）和世界知识产权组织（WIPO）的约 4 370 万个专利。Scopus 数据的更新频率以天为单位，每天会更新约 1 万篇。

Scopus 数据库提供许多不同类型的多元指标，供使用者针对研究文献、期刊、研究者从不同角度评估文献与期刊的影响力、研究的学术产出。

2. SciVal

SciVal 是一款强大且灵活的即用型解决方案，能够使用户直观地了解科研工作，与同行对标，建立合作关系，并分析科研趋势。

SciVal 可以方便、快捷地访问全球 1.6 万家机构和 230 个国家的科研查询。SciVal 基于 Scopus 数据库，实现了科研成果产出和趋势的可视化。凭借先进的数据分析技术，SciVal 能在几秒内处理大量数据，生成可视化图像。SciVal 根据全球 5 000 家出版商出版的 21 915



份期刊、4 600 万份出版物计算得出了共 170 万亿项指标。

SciVal 使用 Scopus，从 1996 年到现在，其数据涵盖了 5 000 家出版商 2.1 万个系列中的 4 800 多万条记录。这些记录包括：

- ◎ 2.2 万多份同行评审期刊
- ◎ 360 份行业出版物
- ◎ 1 100 本报告系列
- ◎ 550 万篇会议论文

3. Funding Institutional

爱思唯尔的 Funding Institutional 数据库能够访问 710 多万个奖项信息，涵盖全球 70 多个国家（地区）的 4 500 多个资助机构（包括政府、基金会、慈善机构、学术组织），以确保资助机会具有全球性和全面性（数据截至 2020 年 3 月）。通过获得最相关、可赢的资助机会和对资助格局的更全面洞察，机构可以增加赢得资助申请的概率。这个平台提供了一个竞争优势，包括提供了研究资金全景的整体视图，并使用一个单一的解决方案，提供了超过 1.8 万个资助机会和来自广泛的资助者超过 300 万研究资助的信息。资助机构提供下列内容：

- ◎ 3 500 多个政府和私人资助机构，包括美国的 2 000 名资助人
- ◎ 1.8 万美元 + 的融资机会
- ◎ 价值 980 亿美元的积极融资机会
- ◎ 300 万美元以上资助
- ◎ 1.6 万亿美元以上的赠款

4. 专利数据库

专利数据库中包括中国、美国、日本、韩国、欧盟等全球 33 个主要国家或地区的专利数据库以及全球其他 93 个国家或地区的专利数据库，基本囊括全球专利数据，共计包括 126 个国家（地区）1.6 亿多条专利数据，82 个国家（地区）外观设计专利数据，62 个国家（地区）专利数据，数据的更新频率以周为单位。

5. 专利法律信息数据库

智慧芽提供 120 个国家或地区专利的法律状态、转让、许可、诉讼、无效等信息，其中包括 70 个以上国家（地区）许可数据，涉及 25 万件许可，关联专利近 40 万条，数据的更新频率以周为单位。

1.2.4 检索方法

本书数据检索方法通过设定合适关键词进行检索，对检索结果进行汇总分析。

首先，根据能源互联网广泛认可的核心概念确定能源互联网（Energy Internet，EI）核心关键词，如能源互联网、智能电网、数字能源、微电网、配电网、综合能源系统等。能



源互联网核心关键词如表 1-1 所示。

表 1-1 能源互联网核心关键词

能源互联网核心关键词	Energy Internet Keywords
能源互联网	Energy Internet, Internet of Energy
智慧能源, 数字能源	Smart Energy, Digital Energy
综合能源系统	Integrated Energy System, Multi-energy System, Multi-Vector Energy System, Multi-Carrier Energy System
能源路由器	Energy Router
智能电网, 智能配电网, 微电网	Smart Grid, Smart Energy Grid, Smart Power Grid, Smart Distribution Grid, Microgrid
智能电表, 智能量测	Smart Meter, Smart Metering

其次, 能源互联网以现代通信技术 (Information and Communication Technology, ICT) 为主对能源电力系统进行互联, 为了体现能源互联网的多学科性和数据分析的全面性, 使用 ICT 关键词在能源和电力领域进行检索, ICT 关键词如表 1-2 所示。文献检索的规则为在“能源电力”领域内检索“标题/索引关键词”中含有信息通信技术关键词并通过遴选相关期刊组成, 所包含的期刊参见附录。专利检索的检索规则为 ICT 关键词和专利 CPC 分类号结合, 检索专利“标题/摘要/权利要求”字段中含有 ICT 关键词, 检索过程中确定的能源电力相关学术主题分类及专利 CPC 分类号参见附录相关说明。

表 1-2 现代通信技术 ICT 关键词

ICT-关键词	Information and Communication Technology Keywords
人工智能	Artificial Intelligence, Deep Learning, Machine Learning, Artificial Neural Network, Reinforcement Learning
大数据	Big-data, Data-driven, Data Mining
区块链	Blockchain, Smart Contract, Distributed Ledger Technology
物联网	Internet of Things
云计算	Cloud Computing
信息物理	Cyber Physical
5G	5G Communication, 5G Mobile Communication Systems, 5G Network
数字孪生	Digital Twin
量子计算	Quantum Computing, Quantum Theory
算法	Genetic Algorithm, Learning Algorithm, Clustering Algorithm
数据管理、知识图谱	Data Management, Knowledge Management, Knowledge Graph
信息安全、数据安全	Information Security, Data Security
数据共享	Data Sharing
机器人、无人机	Robotic, Robot, Unmanned Aerial Vehicle
虚拟现实、增强现实	Virtual Reality, Augmented Reality
面部识别、计算机成像	Facial Recognition, Computer Vision
传感器	Sensor
分布式计算	Distributed Computing, Distributed System in Computing



最后，根据所确定的关键词及检索规则进行检索、筛选，初步得到多组关于不同关键词的检索结果，然后将上述多组检索结果进行汇总和去重分析，得到最终的总体检索结果。整体检索方法如图 1-2 所示。

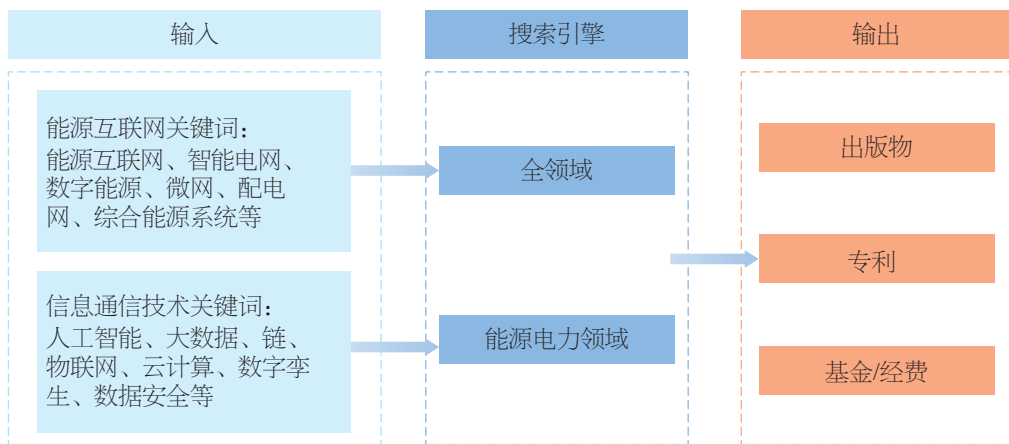


图 1-2 检索方法

1.3 本章小结

能源领域的变革对一个国家经济和社会发展具有重要的意义，随着新一代信息通信技术对能源领域的持续渗透，各国纷纷把能源互联网作为实现能源转型的突破口。本章首先介绍了能源互联网的概念及其演进过程，接着讨论了能源互联网的特征、组成架构及其关键技术。能源互联网是能源和互联网深度融合的结果，能够包容现有的理念，但具有更深刻的内涵。开放是其核心理念，互联网理念和技术的深度融入是其核心特征，能源系统的类互联网化和互联网+是其基本架构。先进的电力电子技术、信息技术是关键技术中的共性技术。第 1.2 节介绍了本章使用的数据来源及其检索方法。后续章节内容以能源互联网研究进展为主脉络，从驱动力、研究热点、影响力、国际合作、示范工程 5 个方面分析了 2011—2020 年国际能源互联网的发展现状与趋势，为能源互联网领域从业者在理论和实践方面提供参考。