



基于文献检索的电力技术成熟度分析方法

刘雯静¹, 张素香¹, 盛兴², 唐钰政³, 孙韬⁴, 贺冬珊⁵

(1. 国家电网有限公司信息通信分公司, 北京 100761;

2. 国家电网有限公司, 北京 100031;

3. 国网河南省电力公司电力科学研究院, 河南 郑州 450052;

4. 国网安徽省电力有限公司电力科学研究院, 安徽 合肥 230601;

5. 中国电力科学研究院有限公司, 北京 100192)

摘 要: 我国电力行业已经历了一段高速发展时期, 随着全球能源结构的转型, 我国提出了建设新型电力系统的发展目标, 为下一阶段电力技术的发展指明了方向。然而, 少有人对我国电力技术的成熟度评价方法进行研究。为此, 提出了基于高纳德回环曲线的电力技术成熟度预测方法。首先, 将成熟度曲线分解为研究热度和技术发展两个因素; 然后, 分别对电力科技文献和专利检索数据进行拟合, 建立了表征这两个因素发展历程的Logistic和Slogistic曲线模型, 并结合新型电力系统六大领域技术的现状, 对模型正确性进行了验证; 最后, 通过合成研究热度和技术发展曲线, 得到电力技术成熟度模型, 并对电力技术发展成熟期进行了预测。

关键词: 电力技术; 新型电力系统; 成熟度; 技术发展; 科技文献; 专利; 曲线拟合

中图分类号: TM7

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2025014

An analysis method for the maturity of power technology based on literature search

LIU Wenjing¹, ZHANG Suxiang¹, SHENG Xing², TANG Yuzheng³, SUN Tao⁴, HE Dongshan⁵

1. State Grid Corporation of China Information and Communication Branch, Beijing 100761, China

2. State Grid Corporation of China Limited, Beijing 100031, China

3. State Grid Henan Electric Power Company Electric Power Science Research Institute, Zhengzhou 450052, China

4. State Grid Anhui Electric Power Co., Ltd., Electric Power Science Research Institute, Hefei 230601, China

5. China Electric Power Research Institute Co., Ltd., Beijing 100192, China

Abstract: China's power industry has gone through a period of rapid development. With the transformation of the global energy structure, the development goal of building a new type of power system was proposed, which pointed out the direction for the next stage of power technology development. However, few people have conducted research

收稿日期: 2024-11-13; 修回日期: 2024-12-23

通信作者: 刘雯静, 18538279182@163.com

基金项目: 国家电网有限公司信息通信分公司自行管理科技项目 (No.529939230007)

Foundation Item: The Information and Communication Branch of State Grid Co., Ltd. Manages the Science and Technology Projects by Itself (No.529939230007)

on the maturity evaluation method of China's power technology. A method for predicting the maturity of power technology based on the Gartner Hype Cycle was proposed. Firstly, the maturity curve was decomposed into two factors: research popularity and technological development. Then, fitting was performed on the literature and patent search data of power technology, Logistpk and Slogistic curve models were established to characterize the development process of the two factors. The correctness of the models was verified by combining the current status of the six major fields of technology in the new power system. Finally, based on the synthesis of research popularity and technology development curves, a maturity model for power technology was obtained, and the maturity period of power technology development was predicted.

Key words: electric power technology, new power system, maturity, technological development, scientific literature, patent, curve fitting

0 引言

电力技术正在经历创新与变革的浪潮，智能电网、可再生能源、大数据与人工智能等新质生产力为电力行业发展注入了新的活力，这也是我国制定新型电力系统发展战略，以保障能源电力安全、满足经济社会发展的内在要求。新型电力系统技术代表了我国电力技术的最新发展方向，而其基础仍是交流同步运行机制。新型电力系统的构建是一个渐进式的发展过程，既是对传统电力技术的继承，也是对其的演进与升华。

目前，行业内对新型电力系统技术的展望和分析大多停留在定性层面，较少采用定量评估模型对技术发展的成熟度阶段进行评估和预测。技术成熟度评估的概念源于美国航空航天局提出的技术就绪水平（technology readiness level, TRL），它最初是一个用于航天领域的技术成熟状态七等级描述表格。技术成熟度评估及预测方法在我国军事、信息技术、机械制造、医药等多个学科领域已经得到了应用和发展。例如，文献[1]借鉴美国国防部的基于TRL的军事科学技术成熟度模型，实现了对武器装备研制项目各环节技术状态的准确把握。文献[2]基于发明问题解决理论（theory of inventive problem solving, TRIZ）的技术进化工具，通过专利、技术文献等分析了电动

自行车的技术状况，并与技术生命周期标准曲线对比，提出了产品或技术的未来发展趋势和方向。文献[3]利用高德纳（Gartner）曲线对信息技术领域的可扩展商业报告语言（extensible business reporting language, XBRL）的成熟度进行了分析和研究，给出了对该项技术进行大量投入的最佳时机。文献[4]通过文献、专利变化分析了 mRNA 疫苗的技术成熟度，在生物技术领域应用中发挥了启示作用。然而，电力技术的发展阶段评估和成熟度预测研究尚未得到开展。

基于TRL的技术成熟度评估是最早用于成熟度评价实践的方法，该方法能实现技术发展状态的判定，并用于指导投资者是否能够进行项目立项，但该方法在预测技术发展的趋势方面存在不足。当前技术成熟度研究的主流方法是通过对反映技术发展状态的指标进行检索，并绘制技术发展的高德纳曲线。本文首先构建了符合电力技术发展的成熟度评估模型，以描述关键技术的演进过程，然后通过文献、专利调研对新型电力系统技术领域多个主题的检索数据进行拟合，最后，得出考虑技术发展和研究热度双重影响因素的电力技术成熟度曲线。

1 新型电力系统技术领域分析

电力技术的发展是一脉相承的，构建以新



能源为主体的新型电力系统是未来几十年的发展目标,新型电力系统既是电力技术发展的继任者,又是对前一阶段电力技术的总结。开展电力技术成熟度分析,首先要明确支撑新型电力系统建设的关键技术点,才能开展进一步的数据检索。产学研各界研究人员围绕新型电力系统的多源互补、源网协同、供需互动和灵活智能等重要特征,从源、网、荷响应3个角度,提出了多源互补与灵活发电技术、电网友好型先进发电技术、新型用电方式与供需协同机制、新型电网结构与特高压输电技术、电网智能调度控制与安全防御技术、可平移负荷资源利用与储能技术六大技术领域^[5]。

文献检索是掌握技术发展状态的一种工具,检索文献需要明确各技术领域的检索主题。本文借鉴了科技成果评价指标体系构建常用的专家咨询法来筛选出各领域检索主题^[6],检索主题为明确的技术关键词,注重实际化的设备或具体化的方法,而非概念理论,新型电力系统相关技术及检索主题见表1。在提出“新型电力系统”目标之前,我国已在相关领域开展了技术攻关,本文对设置的检索主题与新型电力系统提出前的技术进行衔接统一,使检索数据连续有效,如不使用“整县屋顶光伏”作为直接检索词,将其并入“光伏、太阳能发电”,不直接使用“供需协同”而使用“源网荷储”“一体化调度”等多个主题来刻画。

以“电网友好型先进发电技术”为例,本文通过调研,最初确立了友好型电站、构网型变流器、新能源同步机、新能源并网、光伏并网等检索主题。其中友好型电站属于概念性指标,通过检索发现,未有成体系的相关技术文献,多数出现于网络上的宣讲报告,因此将其剔除。构网型变流器、新能源同步机为友好型发电领域的新技术,而聚焦于光伏、风电的并网控制策略研究则处于起步发展阶段,从2020年开始逐步成为研究热点,将其作为检索主题是为了更全面地刻画新能源发电的技术发展趋势。

2 技术成熟度预测模型

2.1 技术发展过程

一般技术的进化发展规律与生物进化模式的S曲线——Logistic模型比较相符,一般技术的成熟度发展曲线如图1所示,技术发展初期为指数增长模型,进入技术发展中期之后,增长放缓,势必会脱离指数阶段的快速增长期。

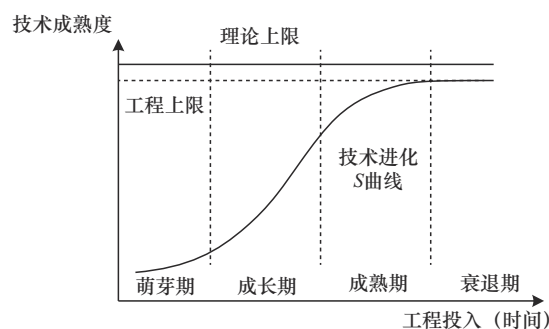


图1 一般技术的成熟度发展曲线

表1 新型电力系统相关技术及检索主题

新型电力系统技术领域	主要检索主题
多源互补与灵活发电技术	新能源发电、可再生能源发电、光伏、太阳能发电、风力发电、海上风电、机组灵活性改造
电网友好型先进发电技术	构网型变流器、新能源同步机、新能源并网、光伏并网、风电并网、新能源主动支撑
新型用电方式与供需协同机制	再电气化、电能替代、用户画像、负荷预测、用电定制化、电力供需、源网荷储、一体化调度
新型电网结构与特高压输电技术	交直流+电网、电力系统、特高压、柔性直流、智能电网、微电网、有源配电网、直流配电
电网智能调度控制与安全防御技术	惯量、虚拟电厂、新能源、光伏、风电+功率预测、新能源+稳控配置、连锁故障、三道防线、受端电网、强直弱交
可平移负荷资源利用与储能技术	新能源汽车、电动汽车车网互动、需求侧响应、储能、氢储能、电化学储能、抽水蓄能

由于社会经济和信息技术的快速发展,现代新技术普遍在发展初期容易出现过度宣传,主要体现为文章的大量发表、媒体的过度炒作渲染等,仅通过文章数量统计对技术成熟度评估容易出现偏差,不能提供有效的决策依据。因此,需要对图1所示的成熟度发展曲线进行修正,本文引入热度因素,采用高德纳回环曲线 Hype Cycle 对新技术的发展过程进行了修正描述^[7],基于 Hype Cycle 的技术成熟度发展曲线如图2所示,该曲线主要反映了技术发展的5个阶段。

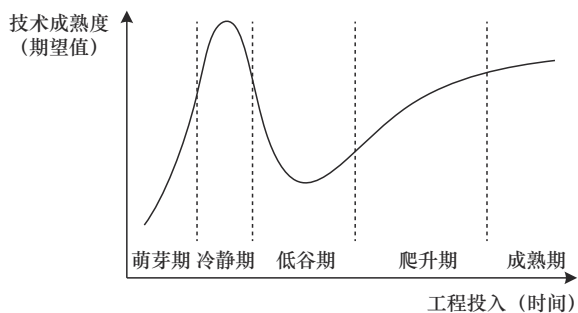


图2 基于Hype Cycle的技术成熟度发展曲线

（1）萌芽期

这一时期是技术探索的初期,新概念不断涌现,伴随着大量文章的发布,提升了社会公众对技术的关注度,表1中列出的构网型变流器、新能源同步机、电动汽车车网互动技术等均处于这一阶段。

（2）冷静期

这一阶段是典型的狂热期,人们对新技术过度关注,产生了一些不现实的期待。由于技术本身的局限性,消极影响或者失败案例逐步增加,研究人员对其关注度开始下降。例如,整县屋顶光伏开发技术就处于这一阶段,部分地区分布式光伏开发缺少科学规划,引发了较为严重的配电网功率返送和电压越限问题,迫使人们重新审视整县屋顶光伏开发工作,并对其配电网承载力评估及相应的调控技术完善。

（3）低谷期

这一阶段,技术发展进入低谷,由于技术未能达到预期而被淡化,发展速度放缓,媒体报道和讨论热度降低,技术效果受到一定质疑。以光伏并网、风电并网为关键检索词的文献呈现低谷区的状态,反映出新能源经历了高速发展建设后,输、配网面临的安全运行问题逐步凸显,管理部门、学者、投资方都需要重新审视新能源发展实践中的痛点和难点,调整攻关方向,以保障新能源并网技术的高质量发展。

（4）爬升期

这一阶段,新技术的提出不再是主旋律,通过研究院所和企业的持续努力,人们对新技术的理解和实践水平有了进一步提升,积累了宝贵的实践经验,并形成了较多的知识产权。更多的组织对新技术进行应用,对其风险和收益有了更清晰的认识,推动新技术逐步走向商业化,智能电网、储能技术的发展状态最接近这一阶段的描述。

（5）成熟期

这一阶段,新技术已经趋于成熟,其应用价值被普遍接受,技术正逐步稳定地占有市场。例如,我国的特高压技术已进入稳步、有序发展时期,正逐步接近成熟期。

采用曲线法对技术成熟度进行描述较为直观,且容易理解,为从宏观上把握技术的成熟情况提供了判断依据。表1所示的新型电力系统各分支领域技术研究处于不同发展阶段,通过对各分支关键技术的检索(论文、专利),得到了年度发表量数据,并拟合出成熟度曲线,适用于对电力技术的成熟度进行整体评价。

2.2 量化分析模型

为方便后续分析,本文将图2所示的高德纳回环曲线 Hype Cycle 分解为技术曲线和热度曲线^[8]。高德纳回环曲线 Hype Cycle 的分解如图3所示。

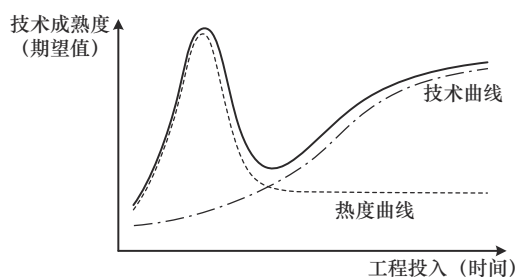


图3 高德纳回环曲线Hype Cycle的分解

技术曲线可以用函数 $Y_{\text{tech}}(t)$ 表示, 该函数广泛应用于分析事物的增长趋势:

$$Y_{\text{tech}}(t) = \frac{k}{1 + ae^{-p(t-t_0)}} \quad (1)$$

其中, k 为技术的理论上限, a 为常数, p 为技术曲线的上升速率, t_0 为增长起始时间。将技术曲线函数定义为 Sigmoid-Logistic1 (Slogistic1) 型函数。

热度曲线反映了社会媒体的关注度, 用于分析技术发展的速度, 可以用技术曲线 Y_{tech} 的导函数表示^[9]:

$$Y_{\text{hit}}(t) = \frac{4Ae^{-z}}{(1 + e^{-z})^2} + A_0 \quad (2)$$

其中, $z = \frac{t-t_0}{w}$, A 、 A_0 、 t_0 、 w 均为待定系数。

将热度曲线函数定义为 Logistpk 函数。

2.3 基于文献计量学的统计分析方法

电力科技文献和专利是技术发展的重要载体, 专利是科学技术研究具体化的产物, 由知识转化而成的专利累积量可以代表当前技术的发展水平, 适合用技术专利分析 (technology patent analysis, TPA) 方法对电力技术发展的水平进行预测评估, 文献的年度发表量体现了科技焦点与社会关注度, 适合用技术文献计量 (technology bibliometrics, TBM) 方法对电力技术发展的热度进行预测评估^[10]。

2.4 评估流程

本文设计的电力技术成熟度预测评估流程如图4所示。首先, 根据表1所示的检索主题制定文献检索策略, 然后, 对所得的数据绘图按式

(1) 和式 (2) 所示的函数进行拟合, 验证其整体趋势与当前状态吻合后, 将热度曲线、技术曲线归一化合并, 得到技术成熟度曲线。

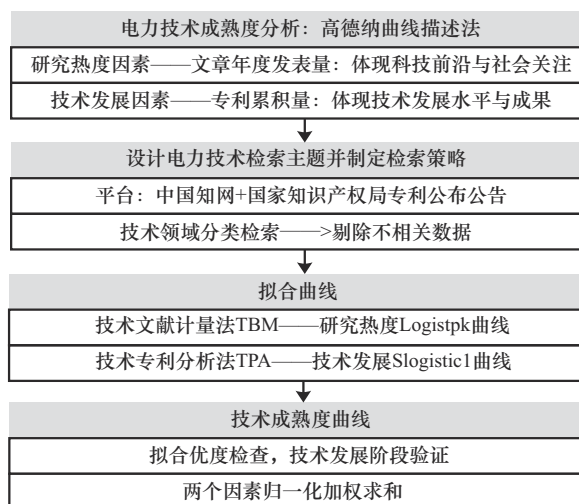


图4 电力技术成熟度预测评估流程

3 新型电力系统领域技术成熟度预测

3.1 数据检索

根据表1所示的检索主题, 对每个技术领域进行文献、专利检索。文献检索依托中国知网数据库进行高级检索, 范围主要包含期刊、学位论文; 专利检索则通过国家知识产权局专利公布公告数据库进行。以多源互补与灵活发电技术为例, 设置“主题”“关键词”或“摘要”为检索对象, 检索的策略为: 可再生能源发电+新能源发电+(光伏+太阳能)*发电+风力发电+海上风电+机组灵活性改造, 其中, “*”代表“与”的逻辑关系, “+”代表“或”的逻辑关系, 检索“摘要”时, 为提升准确性, 检索词频需要2次以上。

3.2 数据拟合检查与技术现状分析

对6个技术领域进行数据检索和拟合, 各曲线的拟合优度指标 R^2 接近于1, 拟合曲线优度良好, 各领域的技术发展均符合高德纳回环曲线规律。为确保分析结果的正确性, 对拟合的热度和技术发展曲线还要做技术现状比对。

3.2.1 多源互补与灵活发电技术现状

新型电力系统建设目标提出之前, 新能源开发一直是研究热点, 新能源开发经历了十余年的高速发展, 成果比较丰富。2023年10月, 国家发展改革委、国家能源局印发的《关于加强新形势下电力系统稳定工作的指导意见》(以下简称《指导意见》)提出, 要构建多元互补的综合能源供应体系, 核心内容是增强常规电源调节支撑能力, 协同推进大型新能源基地、调节支撑资源和外送通道的开发建设^[11]。新能源的开发利用遇到了新的要求, 其研究热度进入了冷静期, 由图5所示的多源互补与灵活发电技术检索数据拟合结果可知, 研究热度依旧处于高位, 每年仍有3 000篇的文献发表, 这个状态与当前实际情况比较相符。通过专利累积数据分析发现, 技术发展仍处于上升期, 目前技术发展成熟度约为66%。

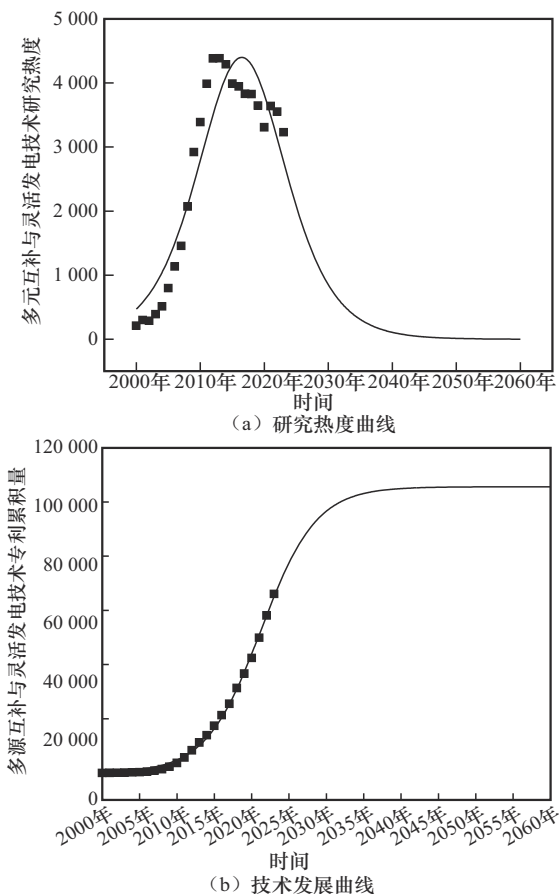


图5 多源互补与灵活发电技术检索数据拟合结果

3.2.2 电网友好型先进发电技术现状

“电网友好”一词最早由瑞典教授Thiringer于2002年提出, 目前, 电网友好型先进发电技术的研究主要集中于新能源并网技术方面, 旨在提高可预测性、可控性和稳定性, 减少对电网的不利影响, 提升电网的平衡能力和新能源接纳能力。电网友好型先进发电技术检索数据拟合结果如图6所示。在研究热度方面, 与多源互补与灵活发电技术类似, 新型电力系统建设目标明确以后, 大家对新能源并网控制技术的研究进入了冷静期, 但依旧是当前研究热点, 主要是根据新形势下发电技术的要求, 调整思路 and 方向, 使新能源并网控制对电网更加友好, 并能够对电网运行进行主动支撑。从专利检索数据来判断, 目前技术发展成熟度预计已超过70%。

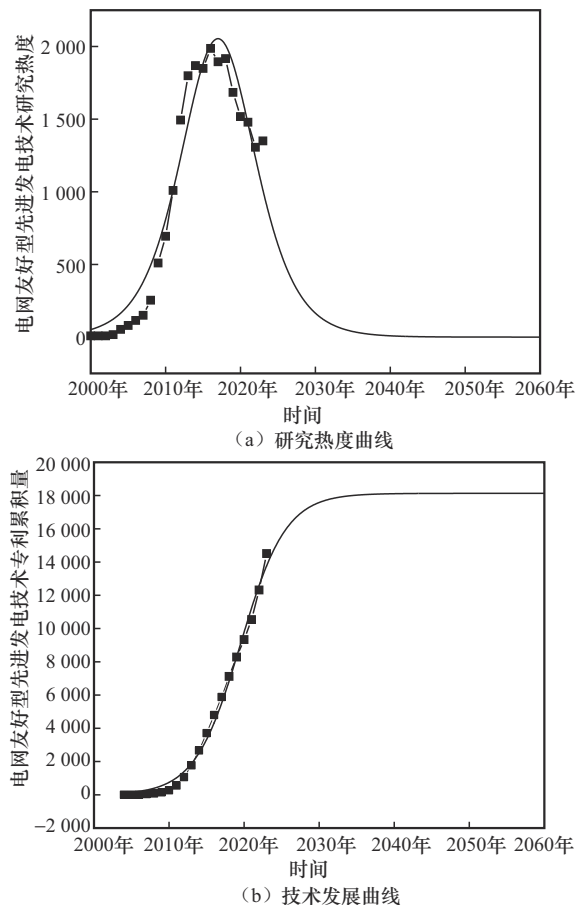


图6 电网友好型先进发电技术检索数据拟合结果



3.2.3 新型用电方式与供需协同机制现状

新型电力系统要求电网运行特性由“源随荷动”单向计划调控向“源网荷储”多元协同互动转变，这是电网公司及相关院所关注的热点技术，主流技术研究历程不超过6年，仍处于起步阶段。新型用电方式与供需协同机制检索数据拟合结果如图7所示，从科技文献检索结果来看，其研究热度尚未达到顶峰。因需要通过长期实践总结才能形成稳定的运行机制，技术方面仍处于萌芽期，成熟度不到10%，新型用电方式与供需协同机制预计在2040年进入技术成熟期。

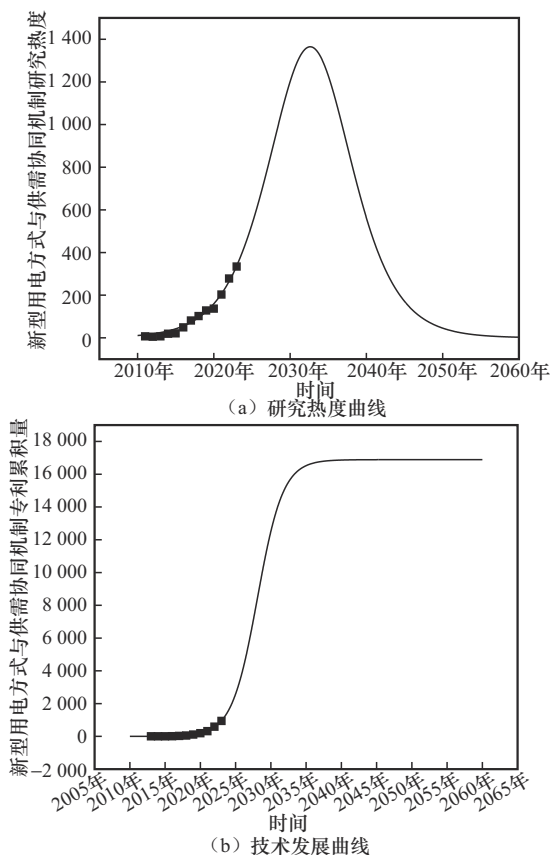


图7 新型用电方式与供需协同机制检索数据拟合结果

3.2.4 新型电网结构与特高压输电技术现状

我国在特高压交直流输电领域的技术水平已经相对较高，随着设备国产化率不断提升、运维技术不断优化，特高压技术及产业逐步进入成熟

期。我国在有源配电网、直流配电技术领域的研究起步也较早，国内已有不少示范工程建成。无论是特高压交直流输电还是配电网领域，我国的技术基础相对较为成熟，随着新型电力系统的建设，新能源输送与消纳将是新型电网结构与特高压技术新的增长点，尤其是在配网层面，国家发展改革委、国家能源局于2024年2月发布的《关于新形势下配电网高质量发展的指导意见》明确指出，到2030年，基本完成配电网柔性化、智能化、数字化转型，实现主配微网多级协同、海量资源聚合互动、多元用户即插即用，促进分布式智能电网与大电网融合发展^[12]。新型电网结构与特高压输电技术检索数据拟合结果如图8所示，该领域整体技术研究热度已经度过冷静期，更加注重研究质量，目前技术成熟度约73%，预计将在2035—2040年进入成熟期。

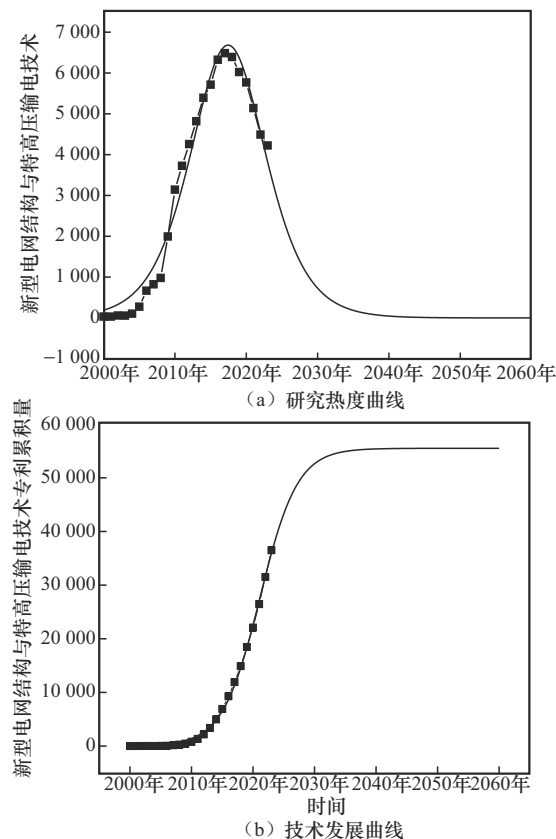


图8 新型电网结构与特高压输电技术检索数据拟合结果

3.2.5 电网智能调度控制与安全防护技术现状

新型电力系统的低惯量、低阻尼、弱电压支撑等问题凸显，安全稳定运行面临严峻挑战。《指导意见》指出，要强化系统运行控制能力、故障防御能力，构建智能化的调度技术支持系统，巩固和完善高度电力电子化系统的安全防御“三道防线”。电网智能调度控制与安全防护的技术需求是随着电力系统的不断演进而产生的，促使人们的认知体系发生重构，并势必引导研究者对电力系统控制技术和故障防御技术进行革新。通过对相关主题的论文检索发现，该领域研究热度尚处于起步阶段，近十年的专利累积量趋势表明，该技术发展水平也处于萌芽期，技术成熟度约20%。

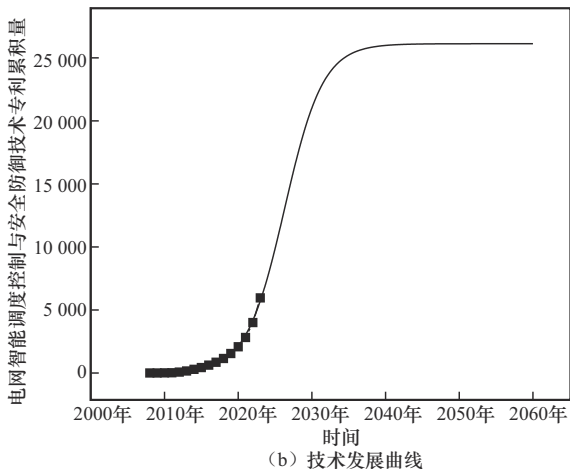
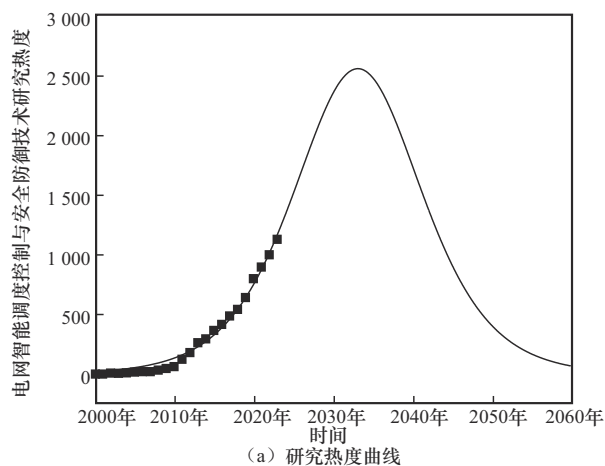


图9 电网智能调度控制与安全防护技术检索数据拟合结果

3.2.6 可平移负荷资源利用与储能技术现状

在可平移负荷资源利用技术领域，以储能和负荷管理技术最为热门，本文从这两个角度分析其研究热度情况。可平移负荷资源利用与储能技术检索数据拟合结果如图10所示。

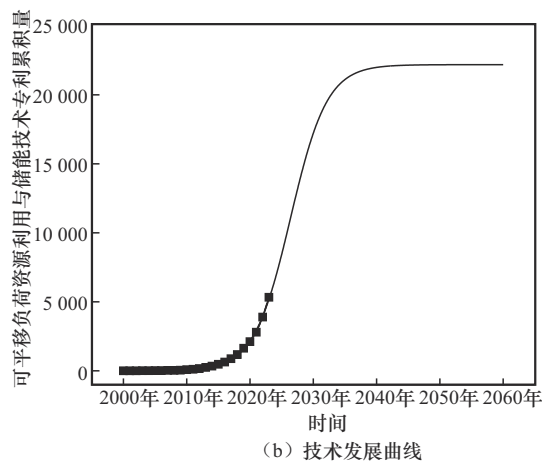
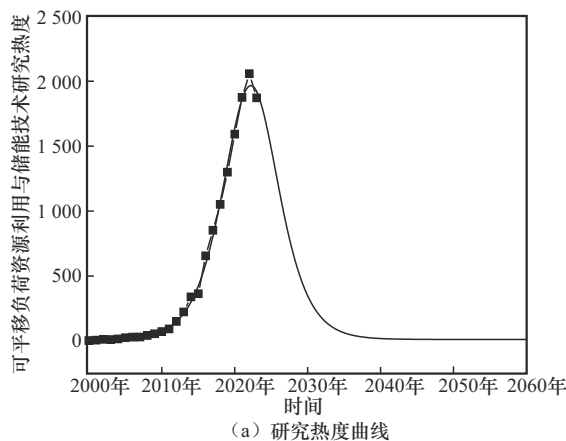


图10 可平移负荷资源利用与储能技术检索数据拟合结果

由图10可知，2017年开始我国对发展储能电站的政策比较明朗，电网侧、电源侧储能技术研究热度一度繁荣，后因国内外多起电化学储能电站事故的影响，储能的热度受到一定冲击，与此同时，储能经历了短暂的快速发展，业内竞争激烈，2023年出现了停产、减产的现象，储能热度有所波动，根本原因仍是储能技术发展不够成熟。《指导意见》要求积极推进各类新型储能建设，构建储能多元融合发展模式，提升安全保障水平和综合效率，这为新型电力系统下储能技术



的发展指明了新的方向。

在可控负荷、需求侧响应方面,国家发展改革委等部门出台了《电力需求侧管理办法(2023年版)》^[13]、《电力负荷管理办法(2023年版)》^[14],办法中指出将需求响应作为电力负荷管理的重要措施,按照“需求响应优先,有序用电保底”的原则,发展新型电力负荷管理系统,强化电力负荷调控管理能力。在政策出台前的2020年,这一技术的科技文献、主旨报告空前高涨,技术的不断发展也促进了上述政策的出台。

考虑新能源的需求侧响应机制、新型储能研究热度与图10(a)的趋势相吻合,技术正处于高速发展阶段,技术现状支撑了图10(b)所示的发展状态和趋势,其专利累积量表明该技术的成熟度约26%。

3.3 曲线合成

统筹技术发展和研究热度因素才能反映全面的技术成熟度,本文将两个指标归一化后加权求和,作为反映技术成熟度的指标。研究热度和技术发展的权重基于检索数据的离散系数进行计算,计算式如下。

$$\lambda_1 = \frac{c_1}{c_1 + c_2} \quad (3)$$

$$\lambda_2 = \frac{c_2}{c_1 + c_2} \quad (4)$$

其中, λ_1 为研究热度指标权重, λ_2 为技术发展指标权重, c_1 为文章检索数据的离散系数, c_2 为专利检索数据的离散系数。

离散系数基于两个序列检索数据的总体样本标准差和平均值计算而得,如下所示。

$$c_1 = \frac{\sigma_1}{\mu_1} \quad (5)$$

$$c_2 = \frac{\sigma_2}{\mu_2} \quad (6)$$

其中, σ_1 为文章检索数据的标准差, μ_1 为文章检索数据的平均值, σ_2 为专利检索数据的标准差, μ_2 为专利检索数据的平均值。

将各领域技术拟合曲线归一化处理,并对其研究热度和技术发展指标进行加权计算,新型电力系统各领域技术成熟度预测曲线如图11所示,新型电力系统各领域技术成熟度预测结果见表2。

4 结束语

本文按新型电力系统的典型特征对电力技术发展的关键技术进行了划分,采用技术专利分析、技术文献计量方法对各个技术领域的研究热度和技术发展进程进行了预测评估,得到的电力技术成熟度评估的主要结论如下。

(1) 多源互补与灵活发电技术和电网友好型先进发电技术的研究热度较高,且技术相对成熟,新能源开发利用在我国已经历了十多年的发展,在并网设备控制、多源综合调控方面均处于国际领先地位。目前,该领域处于快速发展期,预计在2035年后能够满足新型电力系统建设要求,进入成熟期。

表2 新型电力系统各领域技术成熟度预测结果

技术领域	研究热度指标权重 λ_1	技术发展指标权重 λ_2	技术发展水平	技术成熟预估时间
多源互补与灵活发电技术	0.631 3	0.572 9	66%	2040年
电网友好型先进发电技术	0.521 2	0.478 8	70%	2035年
新型用电方式与供需协同机制	0.575 0	0.425 0	小于10%	2050年
新型电网结构与特高压输电技术	0.595 9	0.404 1	73%	2035年
电网智能调度控制与安全防御技术	0.617 2	0.382 8	20%	2050年后
可平移负荷资源利用与储能技术	0.559 1	0.440 9	26%	2040年

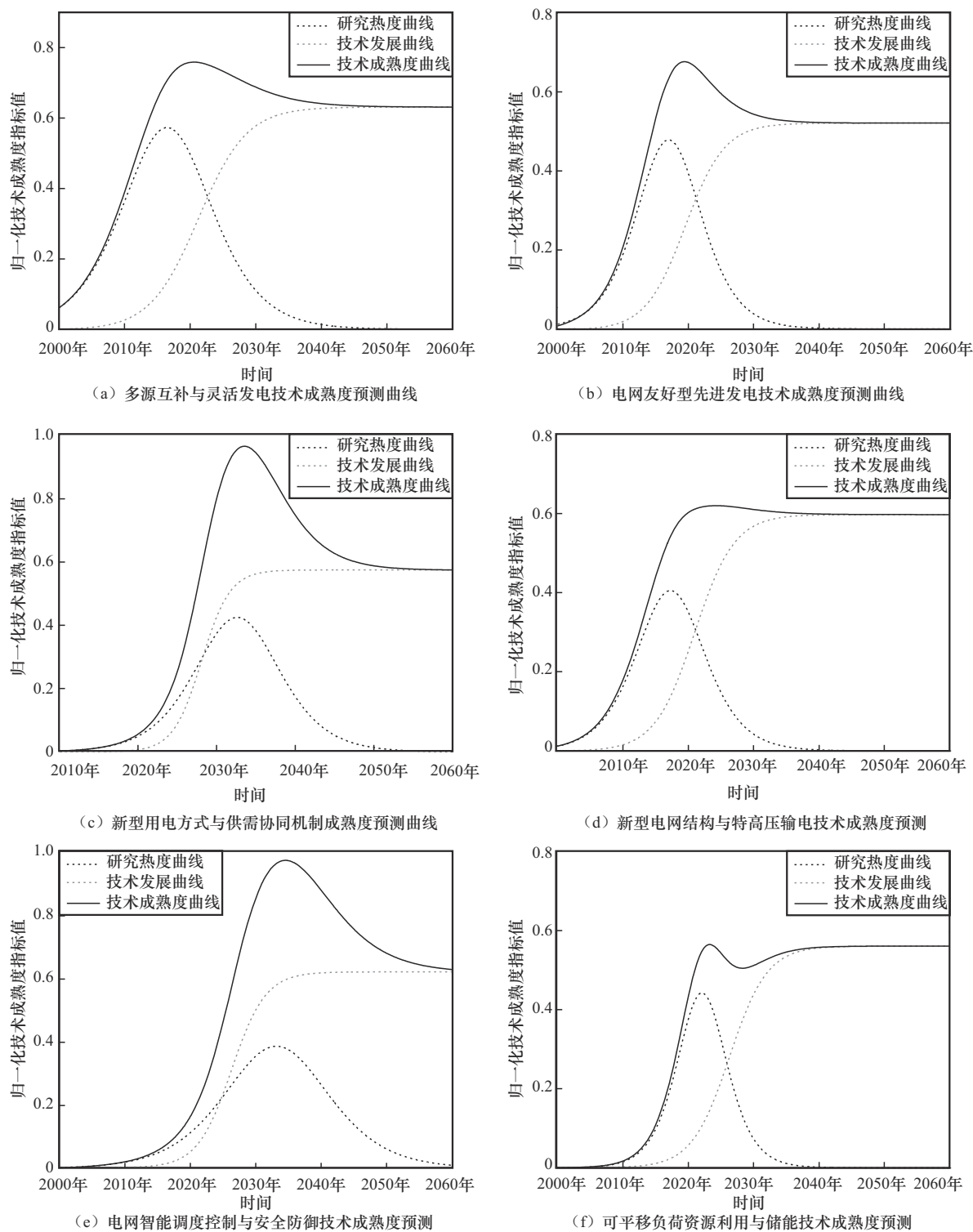


图11 新型电力系统各领域技术成熟度预测曲线

(2) 新型用电方式与供需协同机制、电网智能调度控制与安全防护技术是相对较新的领域, 涉及大电网安全调度运行, 技术门槛较高, 研究

热度正处于快速增长阶段, 技术成熟度较低, 现阶段技术发展状况的拟合数据显示, 这两个领域预计在2035年前后, 技术趋于稳定, 2050年后



进入技术成熟期。

本文方法对检索数据的拟合度较好,检索数据符合技术研究的规律,数据有效,但也可能存在不规律的变化,导致拟合结果发生较大偏差(涉及储能部分),因此,本文建议分析者持续关注相关领域的文献和技术专利累积情况,通过足够多的滚动数据,对拟合曲线进行优化,逐步逼近合理的预测结果。同时,有兴趣的研究人员可采用本文方法对某一领域中的细分技术进行专项分析,以提升预测精度。

参考文献:

- [1] 郭道勋. 基于TRL的技术成熟度模型及评估研究[J]. 国防科技, 2017, 38(3): 34-44.
GUO D Q. Research on technology maturity model based on TRL and its evaluation[J]. National Defense Science & Technology, 2017, 38(3): 34-44.
- [2] 王秀红, 周九常. TRIZ原理在产品技术成熟度预测中的应用[J]. 科技进步与对策, 2008, 25(3): 15-17.
WANG X H, ZHOU J C. Application of TRIZ principle in product technology maturity prediction[J]. Science & Technology Progress and Policy, 2008, 25(3): 15-17.
- [3] 于明亮, 朱建国. 光环曲线与XBRL成熟度研究[J]. 会计之友(上旬刊), 2009(1): 86-87.
YU M L, ZHU J G. Research on halo curve and XBRL maturity[J]. Friends of Accounting, 2009(1): 86-87.
- [4] 杨树俊, 谭洋, 周斌. mRNA疫苗技术成熟度分析及其对投资决策的帮助[J]. 中国医药工业杂志, 2023, 54(7): 1126-1131.
YANG S J, TAN Y, ZHOU B. Analysis on hype cycle and its assistance to investment decision of mRNA vaccines[J]. Chinese Journal of Pharmaceuticals, 2023, 54(7): 1126-1131.
- [5] 刘吉臻, 王庆华, 胡阳, 等. 新型电力系统的内涵、特征及关键技术[J]. 新型电力系统, 2023(1): 49-65.
LIU J Z, WANG Q H, HU Y, et al. Connotation, characteristics and key technologies of new power systems[J]. New Type Power Systems, 2023(1): 49-65.
- [6] 梁永刚. 医学科技成果评价指标体系建立及其应用研究[D]. 西安: 第四军医大学, 2010.
LIANG Y G. Establishment and application of evaluation index system of medical scientific and technological achievements[D]. Xi'an: The Fourth Military Medical University, 2010.
- [7] O'LEARY D E. Gartner's hype cycle and information system research issues[J]. International Journal of Accounting Information Systems, 2008, 9(4): 240-252.
- [8] DEDEHAYIR O, STEINERT M. The hype cycle model: a review and future directions[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2016, 108: 28-41.
- [9] 马志云, 许雅洁, 杨芳娟, 等. 新兴技术成长阶段动态监测方法研究[J]. 科学学研究, 2020, 38(6): 976-989.
MA Z Y, XU Y J, YANG F J, et al. Research on dynamic monitoring method of emerging technology growth stage[J]. Studies in Science of Science, 2020, 38(6): 976-989.
- [10] 王昭, 尤卫宏, 常宇, 等. 基于TBM和TPA方法的无损检验技术成熟度分析[J]. 科学技术创新, 2022(16): 21-24.
WANG Z, YOU W H, CHANG Y, et al. Maturity analysis of non-destructive testing technology based on TBM and TPA method[J]. Scientific and Technological Innovation, 2022(16): 21-24.
- [11] 国家发展改革委. 国家能源局关于加强新形势下电力系统稳定工作的指导意见[EB]. 2023.
National Development and Reform Commission. Guidance of the national energy administration on strengthening power system stability under the new situation[EB]. 2023.
- [12] 国家发展改革委. 关于新形势下配电网高质量发展的指导意见[EB]. 2024.
National Development and Reform Commission. Guidance on high-quality development of distribution network under the new situation[EB]. 2024.
- [13] 国家发展改革委, 工业和信息化部, 财政部, 等. 关于印发《电力需求侧管理办法(2023年版)》的通知[EB]. 2023.
National Development and Reform Commission, Ministry of Industry and Information Technology, Ministry of Finance, et al. Notice on the issuance of Power Demand Side Management Measures (2023 Edition)[EB]. 2023.
- [14] 国家发展改革委, 国家能源局. 关于印发《电力负荷管理办法(2023年版)》的通知[EB]. 2023.
National Development and Reform Commission, National Energy Administration. Notice on the issuance of the Electric Load Management Measures (2023 Edition)[EB]. 2023.

[作者简介]



刘雯静 (1984-), 女, 博士, 国家电网有限公司信息通信分公司高级工程师, 主要研究方向为电力科技成果培育、人工智能、电力信息通信等。



张素香 (1973-), 女, 博士, 国家电网有限公司信息通信分公司正高级工程师, 主要研究方向为智能配用电、信息抽取、物联网技术等。

盛兴 (1984-), 男, 国家电网有限公司高级工程师, 主要研究方向为科技成果培育及管理。

唐钰政 (1989-), 男, 国网河南省电力公司电力科学研究院高级工程师, 主要研究方向为电能质量评估与控制、配用电系统运维等。

孙韬 (1993-), 男, 国网安徽省电力有限公司电力科学研究院高级工程师, 主要研究方向为大型充油电力设备消防灭火技术。

贺冬珊 (1994-), 女, 中国电力科学研究院有限公司工程师, 主要研究方向为特高压直流输电技术。