

导 言

随着科学工程技术的不断进步,新能源相对传统化石能源逐渐体现出清洁、经济、环保和可持续等无可替代的优势。能源的绿色低碳转型已经成为全球新一轮产业革命和科技革命最重要的驱动力之一。当前,世界各国结合各自的能源资源禀赋,在新能源领域积极开展战略布局,加快新能源领域的工程科技人才培养,加速推进能源转型。

本报告选取在新能源领域发展具有比较优势的丹麦、德国、法国、美国、加拿大、日本、韩国、中国及澳大利亚,对各国的新能源战略发展动向和竞争格局进行研判,对上述国家在新能源领域的技术创新、人才培养等方面进行了分析。新能源可持续发展离不开工程科技人才培养,报告还剖析了欧洲、北美、东亚等高校和科研机构在新能源领域人才培养的典型模式,总结了我国新能源领域人才培养的典型经验。

与欧美发达国家相比,我国新能源领域人才培养存在学科建设相对滞后、区域人才储备、自主创新能力、政产学研合作、师资队伍建设、人才保障措施不足等差距。在分析世界主要国家新能源发展战略比较的基础上,借鉴主要发达国家工程科技人才培养的典型模式,结合我国新能源领域人才培养的典型经验,针对新时期我国新能源领域的工程科技人才培养,从学科建设、区域发展、产学研合作、师资培养、人才保障五个方面提出十条政策建议。

“十四五”是我国实现碳达峰的关键期、推进碳中和的起步期,新能源领域创新型工程科技人才培养至关重要。研究报告以期为加快我国能源转型、推动经济社会绿色低碳发展、实现碳达峰碳中和目标提供智力支撑。

第一章 全球新能源领域的战略发展 动向与竞争格局

世界各国正在积极推动可再生能源的发展,以减少对化石燃料的依赖,实现低碳经济和减缓气候变化等目标。本章选取在新能源领域发展具有比较优势的欧洲国家——丹麦、德国、法国,北美国家——美国、加拿大,东亚国家——日本、韩国,以及澳大利亚,对各国的新能源战略发展动向和竞争格局进行了研判,并对上述国家在新能源领域的技术创新等方面进行了分析。

一、欧洲

(一) 丹麦新能源领域的战略发展动向

丹麦政府一直在推动可持续发展,推动能源绿色转型,不断优化其能源系统,通过发展可再生能源,提高节能技术,加强公众节能意识,改变消费者行为,同时出台相关标准、协议、计划等措施提高能源效率,减少能源消耗。经过几十年的努力,丹麦将绿色增长、绿色转型应用到能源系统中。丹麦的风电、生物能源、太阳能等可再生能源产业已经走在世界前列。

1. 丹麦能源战略发展历程

丹麦曾经是一个几乎所有能源都需要进口的国家。丹麦能源系统转型始于1970年,随后又经历了两次重要的战略转型。20世纪70年代,全球石油危机爆发,丹麦能源系统受到冲击,为了保障能源安全和稳定,丹麦能源战略开始转型。1976年,丹麦推出了首个国家能源计划。丹麦在增加能源相关税的

比例和范围、推广多元化的能源供应、增加煤炭减少石油进口等方面有所行动。丹麦北海油气资源开采有效缓解了能源几乎全部需要进口的局面。但是,在此时以及随后的 20 年间,丹麦的能源供应体系依旧属于高碳化结构。1985 年,丹麦议会否定发展核能提议,建议大力发展风电。1991 年,丹麦建成全球首个海上风电场,一举成为世界风电行业的佼佼者。2000 年后,北海油气田减产、气候变化、温室气体排放等问题,促使丹麦再次进行能源战略转变。风电、生物质等多元化能源的快速发展,新技术新手段的研发应用,为丹麦摆脱化石能源供应提供了足够资本。2011 年,《能源战略 2050》提出到 2050 年完全摆脱对化石能源的依赖。2019 年丹麦出台《国家能源和气候计划》(NECP),涵盖可再生能源脱碳、能源效率、内部能源市场、研究创新和竞争力五个维度。

2. 丹麦新能源发展趋势

1) 调整能源结构,推动绿色能源转型。丹麦正在逐步减少石油天然气的消耗,整体能源结构向绿色能源系统过渡。北海的开发让丹麦成为欧盟最大的产油国,为丹麦能源体系和收支平衡做出了积极贡献。2020 年,丹麦议会决定终止北海进行新的油气勘探并在 2050 年前逐步淘汰石化燃料生产。在减少石化能源的同时,大力发展风力发电。作为世界风力发电的先驱者,丹麦在陆上和海上建立大量风电场。过去 20 年是丹麦生物能源发展最为迅速的时代,生物质和沼气使用明显增加。和太阳能、风能相比,生物能源在保障供应安全方面更具优势。

2) 提高可再生能源份额,构建多元化能源结构。丹麦风能资源丰富,风力发电是其使用最为广泛的可再生能源之一。丹麦 1/3 以上的电力生产来自风力涡轮机。Kriegers Flak 海上风电厂 2020 年建于波罗的海,能够满足 60 万户家庭的年能源消耗(相当于丹麦所有家庭的 23%),成为无化石能源的里程碑。生物能源占丹麦可再生能源总消费量的 2/3 以上,在绿色能源转型道路上起了关键作用。生物质是丹麦最主要的可再生能源来源。沼气遍布丹麦全国,产量快速增长,从 2012—2020 年总产量增长大约 2 倍以上。太阳能是帮助丹麦达成 2050 年摆脱化石能源依赖目标的重要可再生能源。丹麦计划,2030 年可再生能源消费占最终消费总量的 55%。

3) 提高能源效率,减少能源消耗。石油危机之后,提高能源效率成为丹麦

重点考虑的问题。提高建筑物能源标准,加强公众节能意识,与企业签订节能协议等都成为提高能源效率减少能源消耗的重要措施。该国在能源效率方面的坚持和努力,使得其在能源消费总量稳定的前提下,经济出现显著增长。丹麦计划在 2021—2030 年将继续推出相关举措和措施。

4) 保证能源安全性,建立弹性能源系统。丹麦正在建立更具弹性的能源系统,提高能源系统的灵活性,进行系统化的监测。为保证能源安全性,丹麦增加了可再生能源的份额,减少对第三国进口的依赖。

5) 加强能源系统运作,积极开展能源联动。丹麦认为能源系统运作良好和跨国界能源市场的重要性日益增加。了解能源结构及政策,与邻国展开合作越来越重要。丹麦参加了波罗的海能源市场互联计划(Baltic Energy Market Interconnection Plan),与德国、波兰、芬兰、瑞典等国就基础设施、市场、天然气、电力等以及供应安全、可再生能源整合等相关事项进行合作。丹麦还与英国在“Viking Link project”项目中合作,利用丹麦和英国之间 760 公里长的电力互连线路,使可再生能源得到更有效地利用,改善电力供应安全性。

6) 增加绿色能源投资,开展新技术创新。丹麦希望成为绿色创业国家,在新技术的研发和应用上增加大笔投资。丹麦已经承诺投资 5.8 亿美元,用于能源和气候相关新技术的研究与创新。此外,丹麦政府希望加强能源部门的出口促进活动,2019—2024 年将达到 1.74 亿丹麦克朗。^① 国家为确保在温室气体排放、进一步发展可再生能源、提高能源效率、确保能源安全等方面实现目标,积极推动新能源和气候技术及工具的研究、开发与示范,涉及清洁技术、低碳技术等领域。

3. 小结

丹麦能源系统将能源效率、可再生能源和系统集成开发有机结合,部门之间相互支持,在保持经济增长和提高人民生活水平的前提下,对能源系统进行了优化。丹麦以可持续发展为目标,以绿色能源转型为抓手,调整能源结构,构建多元化能源结构,减少能源消耗,提高能源效率,保障能源安全,建立弹性能源系统,在能源领域创新,发展核心竞争力,积极开展多国能源联动。丹麦为保证能源安全和稳定,加大国内能源供应,扩大可再生能源的使用,建立更

^① 2019《国家能源和气候计划》(NECP)。

加节能的能源系统。目前,丹麦能源自给率达到 100%,能源功能多元化,可再生能源领域已经形成了独特技术优势。

(二) 德国新能源领域的战略发展动向

德国是重工业国家,其能源体系以石化燃料为主,石油、天然气、煤炭等传统能源占比较高是主要的支撑能源,生物能源、风能和太阳能等可再生能源也在快速崛起。德国的可再生能源在发电领域增长迅速,但是在运输、交通、建筑、工业等领域不尽如人意,一部分原因在于现有的燃料和电力税收制度,给部门耦合造成障碍。德国希望能源转型计划能够帮助其在 21 世纪中叶实现低碳、无核能的目标。

1. 德国能源战略发展历程

在过去的 40 多年里,德国的能源供应已经从煤炭和石油的明显主导转向了一个更加多样化的体系。20 世纪 70 年代首次引入的核能,正被更多的可再生能源所取代,符合德国的能源转型目标。2000 年,德国开始实施《可再生能源法》(EEG),成为全球能源转型的标杆。EEG 明确能源转型对于德国能源安全、环保和经济成功至关重要,转型后的能源要安全、清洁、负担得起。德国老房子建筑能耗非常高,1977 年德国颁布了第一部建筑节能法规。2015 年,德国提出《建筑能效战略》,希望到 2050 年,建筑的能源消耗几乎不对气候产生影响。^① 2020 版《建筑能源法》规定的近零能耗建筑的能耗上限值较为宽松,并明确 2023 年将重新审核并确定严格的建筑能耗上限。2016 年,德国政府发布《电力 2030》展望未来,聚焦未来能源政策任务,目标是将温室气体排放减少 80%~95%,并确保安全、有成本效益和对气候友好的电力供应。2019 年,德国政府出台《2030 年气候保护计划》,包括在交通和供热行业制定碳排放价格,期望达成 2030 年温室气体排放比 1990 年减少 55% 的目标。^② 2018 年,《第七能源研究计划——能源转型创新》是德国资助创新能源技术的原则,主要用于援助满足能源转型要求的技术,明确了能源效率和可再生能源主题为其优先事项。2019 年,德国政府通过《2050 能源效率战略》。德国首次设定到

^① 联邦经济和气候保护部 <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/energieeffizienzstrategiebaeude.html>.

^② 联邦经济和气候保护部 <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/netze-und-netzausbau.html>.

2030 年减少一次能源消耗的目标,制定相关措施为进一步公布能源效率政策。德国希望其经济成为世界能源效率最高的经济体。^① 2020 年 6 月,德国通过国家氢能战略,建立国家氢能委员会,并制订一系列相关发展行动计划。

2. 德国新能源发展趋势

1) 能源转型的目标明确方向清晰。德国能源转型的目标是安全、清洁、负担得起。德国能源转型的四个方向:第一,优化能效,提高能效和可再生能源的扩张同样重要。第二,整合未来能源系统,能源供应正逐渐向可再生能源转变,协调多种能源供应,共同提供综合能源系统开发解决方案。第三,定位参与相关方,鼓励人人参与,为政治、商业、科学和社会参与者提供交流协调平台。第四,参与国际能源转型,在能源问题上,全球面临共同挑战,应通过项目和经验交流开展国际合作。^②

2) 可再生能源在发电领域表现出色。2000 年,可再生能源占电力消费的 6%,2020 年该比例上升至 46%,明显超过 2020 年 35% 的目标。《可再生能源法》(EEG)中明确,到 2025 年德国电力消耗 40%~45% 来源于可再生能源。2020 年 6 月,德国政府将 2030 年可再生电力占比目标从 50% 提高到 65%。^③

3) 可再生能源结构多元化。风能是非常重要的可再生能源,在可再生能源中发挥主导作用。2019 年,德国风能占总发电量的 16.1%。由于德国风能规模扩张,目前风能成本明显降低。海上风能是德国能源和气候政策的重要战略组成部分。海上风能具有更高的风力发电量。德国在公海建造海上风电场,离海岸远,也比其他欧洲各国建造的海上风电场面临更多的技术挑战,例如技术要求高、融资风险大、与德国电网连接、建设和维护等方面。

4) 太阳能光伏处于世界领先地位。截至 2019 年年底,超过 160 万个光伏系统发电量约为 47.5 吉瓦,仅次于陆上风能,占可再生能源发电系统的第二大份额,装机容量超过 52 吉瓦。德国提议将 2030 年光伏容量目标提高到 100 吉瓦。

5) 生物质是用途最为广泛的可再生能源。生物质占可再生能源发电量的 23%。生物质能的使用将进一步扩大在热力、交通和电力领域,但是技术开发

① 联邦经济和气候保护部 <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/energieeffizienz.html>.

② <https://www.dena.de/startseite/>.

③ 《德国 2020 能源政策评估报告》(IEA)。

成本非常高。德国最重要的生物能源是木材。在过去的 20 年中,德国木材原材料消费不断增加。

6) 氢能在能源转型中具有核心作用。国家氢能战略为氢的生产、运输和使用以及创新与投资创造了一个连续的行动框架,是氢技术市场增长的重要基石。在氢主题和国家氢能战略目标与措施之外,德国还在支持和推动氢技术在本国、欧洲和国际上的快速增长。目前,德国实际参与的氢主题项目涉及工业、运输、研发等方向,具体项目包括“BLUEPOWER”项目,开发能量供应通过燃料电池和电池作为动力缓冲器实现的,用于垃圾收集车和清扫车的电动传动系统;“Carbon2Chem”项目,将钢铁生产过程中产生的冶金气体通过跨部门合作转化为经济上可用的燃料、塑料或者化肥产品,预计可令德国钢铁工业年二氧化碳排放量减少 2000 万吨。2020 年,德国政府经济刺激计划和国家资金将提供数十亿欧元用于促进绿色氢的生产、氢基础设施以及氢在工业和交通领域的使用。2021 年 2 月,德国各地提交了大约 200 个关于氢技术和系统的项目大纲。^①

7) 可再生能源技术领域蓬勃发展。德国科学家正在研究风能优化系统技术的项目,包括塔架、变速箱、发电机和电力电子设备的原件。随着现代风力涡轮机越来越大,更多组件正在达到弹性极限。因此,新材料的研发就显得尤为重要。海上的恶劣条件如盐水、阵风和强浪使海上风力涡轮机承重和腐蚀受到挑战。德国研发用于塔外部的涂层和填充材料技术,已实现其安全性。^②集成光伏技术成为开辟新领域的重要一环,小型房屋屋顶系统和大型开放空间系统目前是应用较为普遍的,还可以考虑安装在建筑立面以及车辆上和农田周边。以晶体硅作为半导体的电池也处于技术前沿,当前标准是 PERC (Passivated Emitter and Rear Contact) 技术。^③ 太阳能和风能是一种不稳定的能量来源,为了确保电力供应,需要临时使用传统风电厂,也需要灵活地应对天气波动,同时采取高效运行模式,使可再生能源和传统能源以最佳方式互连,改造能源系统。这就要求对可持续发电技术的研究成为电力系统发展的重要支撑。

① <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/wasserstoff.html>.

② <https://www.strom-forschung.de/projekte/windenergie/offshore-windenergieanlagen-neue-beschichtungen-schuetzen-vor-korrosion>.

③ <https://www.strom-forschung.de/themen/photovoltaik>.

能源转型离不开资源效率的创新技术。随着社会的发展进步,世界对能源的需求越来越高,资源变得稀缺也昂贵。因此,如何使用更少的资源成为能源研究的核心任务。电力存储技术将发电供应和消耗的时间与地点分离。电力存储的大规模使用,要求其必须价格合理、高效且耐用。符合要求的电力存储技术包括电化学、电气和机械存储,以及用于电力存储的高温蓄热技术。^①

3. 德国新能源发展机遇和挑战

1) 过度依靠传统能源致使新能源发展受到抑制。德国能源供应在很大程度上依靠化石燃料,但是国内产能有限,大量依赖国外进口。不稳定因素导致化石燃料价格涨幅不可控,德国不得不采取措施缓解压力,例如暂时取消为扩大可再生能源而征收的税款,间接削弱可再生能源的快速发展。

2) 核电和煤电退市将带来挑战和机遇。核能和化石能源是德国电力系统的能源供应大户。德国面临能源短缺和价格上涨的压力,意味着原计划实施的核电关闭和煤电退市时间节点将有可能无法按照进度实施。若按照原计划进行关闭,则意味着德国将付出更多努力,采取额外补救措施。另外,德国的一系列问题或许能够推动其能源转型进度。IEA 认为德国逐步淘汰煤炭是大幅减少温室气体排放的有效工具,但是考虑到 2022 年核能的完全淘汰以及对经济和社会的影响,煤炭作为最主要的发电来源有必要采取分阶段的方法。政府认为德国应该以不增加不同部门(电力、热力和运输)之间能源使用价格差异的方式分步骤逐步淘汰煤炭,以便不妨碍部门之间的耦合;重新利用即将废弃的煤电厂和煤矿,为系统服务提供能源过渡。^②

3) 可再生能源发电输送给德国电网带来新挑战。德国可再生能源在电力领域表现优秀,风力发电、太阳能发电、核能发电都能占据一席之地。但是,如果在其他领域没有一个明确的战略,即使可再生能源在电力领域表现再优秀,德国都很难在 2030 年实现提出的可再生能源占能源总量 30% 的目标。德国北部和东部以及海上离岸风电发达,而大型工业企业却集中在西部和南部。长距离输电线的搭建成为急需解决的问题。为了保证电源的顺利送达,电网成为能源转型的支柱。德国架设高压直流电路(HVDC 线路)即电力高速公路,加强与欧洲邻国的联系。目前,三条长距离高压输电线路 A-Nord,

^① <https://www.energiesystem-forschung.de/forschen/stromspeicher>.

^② 来源:《德国 2020 能源政策评估报告》。

SuedLink 和 SuedOstLink 已经计划或正在建设中,将风能从德国北部输送到该国南部和西部的工业中心地带。

4) 提高能源效率使德国更具竞争力也提出更高要求。德国希望提高能源效率使电力和热能的使用更加有效,减少资源使用和排放,创造成本优势。但是提高能源效率意味着使用更少的能源实现相同或者更高层级的目标。这不仅仅是行业的行为,也需要每个家庭、每个人遵从指导,共同努力提高能源效率,从而降低能源消耗,助力能源转型。德国制定了 2050 能源效率战略,提出国家能效目标,实施相关策略和行动计划,清晰描绘出能源效率路线图。

5) 节能减排计划的实施困难重重。德国虽然表示了积极应对气候变化的雄心壮志,但没有按计划实现其近期的减排目标。可再生能源发电的增长降低了排放,但逐步淘汰核电以及电力出口的增加抵消了一些排放带来的利好。政府计划逐步淘汰煤炭,希望帮助德国重新走上实现电力行业长期排放目标的道路。尽管如此,到目前为止,电力行业在能源转型计划的成本和进展中承担了相当大的份额。现在,政府需要重新调整工作重点,在其他行业实现更大幅度的减排,尤其是交通和供热行业。

4. 小结

德国能源转型步伐快,投资大,但却局限在电力领域,冷、热及交通等领域有待发展。可再生能源和提高能源利用率是德国新能源系统的两大支柱。德国是严重依赖石油进口的传统能源使用大户,但却是目前世界能源利用效率最高的国家之一。德国能源转型的目标是环保、可靠、负担得起。可再生能源在电力领域所占份额较大,近些年涨幅明显。德国是重要的工业基地,能源转型不能以牺牲工业竞争力为代价。德国能源应该从核能和化石能源向可再生能源以及提高能源效率转变。德国工业基础雄厚,产能大,对能源的消耗更大,对核能和化石能源的需求不能强行阻断,需要在安全、环保和经济性上找到平衡点,应有计划分步实施。

(三) 法国新能源领域的战略发展动向

为了应对当前和未来全球变暖的情况,法国一直在进行能源转型,积极研究结合核能和可再生能源的低碳能源系统。能源系统的控制和管理以及循环经济,也是其重点研究的方向。原油、天然气、石油是法国重要的能源进口产

品,核能在发电领域占比非常高,使其能源依赖进口的程度大幅下降。近些年,为了优化能源结构,应对全球气候变化,法国开始发展可再生能源,减少对核能发电的重度依赖。

1. 法国能源战略发展历程

1945年,法国启动核能发展计划,希望以低成本满足日益增长的电力需求。19世纪70年代全球石油危机后,法国石油政策从多重管制到基本开发,并开始进一步发展核能。1971—2016年,法国能源消费与能源供给的比例从79.2%下降到62.3%。^①2005年,法国议会批准《法国能源发展指导法案》。2014—2017年,德国发布了《国家能效行动计划》和《2050年气候行动计划》,通过了《电力市场进一步开发法案》和《能源转型数字化法案》,并两次修订了《可再生能源法案》。2015年8月,法国通过《能源转型绿色发展法案》(*Energy Transition for Green Growth Act*, ETGGA),该法案拟定了法国能源转型的路线图。2020年,法国生态部和经济部联合发布《法国国家无碳氢能发展战略(国家氢能战略)》,计划未来将大规模投入资金支持无碳氢能发展。法国向欧盟委员会提交了其最终版本《2030年国家能源计划》(NECP)。法国的目标是到2030年在其能源结构中使用33%的可再生能源。2022年2月,法国总统马克龙宣布了核能重启计划,将继续建造第二代EPR(欧洲先进水压堆),并延长核电站的使用期限50年,明确不再有“关闭目标”。

2. 法国新能源发展趋势

1) 核能大国重启核能计划。法国是全球核电大国,法国国内超过7成的电力来源于核能发电。核能从极大程度上提高了法国能源的自给率。法国核能产业的发展始于全球石油危机时期。石油价格的上涨令缺乏石油资源的法国感受到能源危机,法国希望核能的快速发展能够成为回归强国行业的推手。法国核电站的设计运行年限为40年,目前的反应堆大多于1977—1999年投入使用。2022年的核能重启计划,将符合条件的核电厂使用期限延长至50年。目前,法国正在运行的核电生产反应堆包括56座PWR反应堆,1座EPR反应堆。56个PWR反应堆包括32座900 MWe反应堆、20座1300 MWe反应

^① 环球印象投资分析法国事业部 <http://www.zcqtz.com/news/262678.html>.