

北欧电力市场风电消纳能力提升策略

沈永波

国投电力控股股份有限公司 北京 310034

摘要：本文深入探讨了北欧电力市场在提升风电消纳能力方面所采取的具体策略，并详细分析了这些策略的实施效果。北欧地区以其丰富的风能资源和先进的电力市场机制，在提升风电消纳能力方面积累了丰富的经验。通过市场机制创新、电网灵活性提升、储能技术发展和政策引导与支持等多方面的努力，北欧电力市场成功应对了风电间歇性与波动性、电网传输能力限制等挑战，为其他地区提供了有益的借鉴。

关键词：北欧电力市场；风电消纳；市场机制；电网灵活性；储能技术；政策引导

引言

北欧地区风能资源丰富，风电装机容量持续增长。然而，风电的间歇性和波动性给电力市场的稳定运行和风电消纳带来了挑战。为了提升风电消纳能力，北欧电力市场采取了一系列具体策略，本文将对这些策略进行详细分析。

1 北欧电力市场及风电发展现状

1.1 北欧电力市场概述

北欧电力市场，涵盖了挪威、瑞典、丹麦、芬兰以及冰岛这五个国家，是欧洲电力市场中一颗璀璨的明珠，以其高度的市场化程度、深度一体化以及卓越的透明度而著称。这一市场构建了一套完备且高效的电力交易体系，辅之以严密的监管框架，确保了市场的公平与公正。北欧电力交易所（Nord Pool Spot）作为该区域的核心交易平台，不仅促进了电力的跨境自由流动，还通过引入长期合约与现货交易的双重机制，为市场参与者提供了多样化的交易选择，进一步增强了市场的灵活性与稳定性。

1.2 风电发展现状剖析

北欧地区，凭借其得天独厚的风能资源，已成为全球风电发展的前沿阵地。特别是丹麦，作为风电技术的先驱，至2023年底，其风电装机容量已突破5吉瓦大关，占据了该国总装机容量的50%，彰显了其在可再生能源转型中的领先地位。紧随其后，瑞典与挪威也不甘落后，分别实现了3吉瓦与2吉瓦以上的风电装机容量，标志着风电在这两国的能源结构中扮演着日益重要的角色^[1]。随着风电技术的持续革新与成本效益的不断提升，预计未来几年内，风电在北欧能源组合中的比重将进一步攀升，为北欧乃至全球的绿色能源转型树立典范。

2 北欧风电消纳面临的挑战

2.1 风电间歇性与波动性的实际影响

风电作为一种清洁但具有间歇性和波动性的能源，其发电能力直接受天气条件影响，导致电力输出在不同季节、甚至日内各时段间存在显著差异。在北欧，这种不稳定性尤为明显，冬季风力强劲时电量过剩，而夏季则可能因风力减弱而出现供电缺口。这种不可预测性对电网调度构成了严峻挑战，要求调度机构具备高度的灵活性和预见性，以确保电力供需的动态平衡，同时维持电力市场的稳定运行。

2.2 电网传输能力的物理与结构性局限

北欧电网虽已高度发展，但在面对大规模风电接入时，其传输能力仍显捉襟见肘。特别是当风电场多位于偏远海岛或山区，而消费中心则集中在人口密集的城市区域时，长距离输电不仅增加了损耗，还因电网结构的固有局限（如线路容量、变电站处理能力等）导致传输瓶颈频发。此外，电网升级扩建成本高昂且需时较长，短期内难以根本解决风电接入难题。

2.3 市场机制待完善的具体表现

尽管北欧电力市场成熟度高，但在风电消纳的市场机制设计上仍有待优化。一方面，风电电价的形成往往未能充分反映其环境价值和实际成本，导致在与传统化石能源竞争时处于不利地位。另一方面，辅助服务市场（如调峰、备用电源等）的发展尚不充分，难以为风电并网提供及时有效的调节和支持服务，进一步加剧了风电消纳的难度。这些机制性障碍需通过政策调整和市场设计创新来逐步克服。

3 北欧提升风电消纳能力的现有策略

3.1 市场机制创新

3.1.1 构建灵活的电力市场体系

北欧电力市场在应对风电间歇性与波动性方面，展现出了高度的创新性与适应性。通过引入实时电价机制，电力价格能够紧密跟随市场供需关系的变化而动态

调整。这一机制不仅鼓励了电力消费者在电价低谷时增加用电,如夜间或风力强劲时段,还促使生产者在风电高发期优化发电计划,减少对传统能源的依赖。同时,日前市场的设立为电力生产者提供了一个提前规划的平台,他们可以在交易日前一天提交次日的发电计划,并根据最新的天气预报和风电预测数据灵活调整,从而有效应对风电出力的不确定性,确保电网的稳定运行。

3.1.2 风电绿色证书

为了进一步激发风电行业的发展活力,并提升其在电力市场中的竞争力,北欧国家创新性地实施了风电绿色证书交易制度。这一制度的核心在于,每当风电运营商成功发电并注入电网时,他们将获得由政府或相关机构颁发的绿色证书,作为对其环保贡献的认可。这些绿色证书不仅具有象征意义,更能在市场上进行自由交易,为风电运营商带来直接的额外经济收益^[2]。通过绿色证书的交易,风电项目的经济价值得到了显著提升,吸引了更多资本投入风电领域,进而促进了风电装机容量的快速增长和风电消纳能力的提升。此外,绿色证书交易制度还间接推动了电力市场的绿色转型,鼓励更多消费者选择使用绿色电力,共同助力北欧地区实现能源结构的优化与升级。

3.2 电网灵活性提升

3.2.1 跨区域电网互联

北欧国家深知,面对风电的间歇性和波动性,单一国家的电网难以独自承担全部消纳任务。因此,他们积极推动跨区域电网互联,构建了一个紧密相连、资源共享的电力网络。以挪威和丹麦为例,两国在能源资源上各具特色——挪威拥有丰富的水电资源,而丹麦则是风电的佼佼者。通过电网互联,挪威在水电充沛时可以向丹麦输送多余的电力,而丹麦在风电高发期则能将多余的电力输送给挪威,实现了电力资源的优势互补。这种跨区域的电力交换不仅有效缓解了局部地区的风电消纳压力,还提高了整个北欧地区的风电利用率和电网的灵活性。此外,电网互联还促进了北欧国家间的能源合作与交流,为共同应对能源挑战提供了有力支撑。

3.2.2 智能电网技术应用

在提升电网灵活性的过程中,北欧电力市场广泛采用了智能电网技术,为风电消纳注入了新的活力。其中,高级计量基础设施(AMI)作为智能电网的重要组成部分,通过安装在电网各节点的智能电表和传感器,能够实时监测电网的运行状态、电力流量以及用户的需求变化。这些数据为电网调度中心提供了准确、及时的信息支持,使得调度人员能够根据实际情况快速做出决

策,优化电力资源的分配和调度。同时,AMI还能帮助识别电网中的潜在故障点,提前采取措施进行预防和维护,确保电网的安全稳定运行。另一项关键技术是需求响应系统。该系统通过价格信号、激励机制等手段,引导电力用户在用电高峰时段减少用电,在低谷时段增加用电,从而平衡电网负荷和风电出力的波动^[3]。例如,在风电高发但用电需求较低的时段,需求响应系统可以向用户发送降价信号,鼓励他们增加用电;而在用电高峰但风电出力不足的时段,则可以通过提价或提供奖励措施,引导用户减少非必要用电。这种基于市场机制的用电行为调整,不仅提高了电网的灵活性和稳定性,还促进了用户节能意识的提升和能源消费结构的优化。

3.3 储能技术发展

3.3.1 大规模储能项目

在北欧地区,大规模储能项目正成为提升风电消纳能力的关键一环。抽水蓄能电站作为其中的佼佼者,凭借其独特的储能方式,在电力低谷时段,利用多余电能将水从低处抽至高处储存,而当电力需求激增或风电出力不足时,再放水发电,实现电能的时空转移。这种“能量银行”式的储能方式,不仅有效缓解了风电间歇性和波动性带来的电网压力,还提高了电力系统的整体效率和稳定性。与此同时,电池储能系统也在北欧地区得到了广泛应用。这些系统通过高性能电池组储存电能,并根据电网需求灵活释放,为风电消纳提供了又一层坚实的保障。特别是在风电高发但用电需求较低的时段,电池储能系统能够迅速吸收多余电能,避免电能浪费,而在用电高峰或风电出力不足时,则能及时释放电能,确保电网的平稳运行。

3.3.2 分布式储能系统

除了大规模储能项目外,北欧地区还积极推动分布式储能系统的发展,将储能设备安装在用户侧,实现电力的就地平衡和消纳。以丹麦为例,越来越多的家庭开始安装家用电池储能系统,这些系统通常与屋顶太阳能光伏板或风电发电机相连,形成一个小型的家庭能源系统。在风电或太阳能发电高峰时段,多余电能被储存到家用电池中;而在夜间或风电、太阳能发电不足时,电池则释放电能供家庭使用。这种分布式的储能方式不仅提高了家庭能源的自给自足率,还减少了电网的负荷压力,促进了能源消费的绿色转型。分布式储能系统的推广还带来了另一层面的变革,即能源消费者的角色转变^[4]。传统上,消费者只是被动的电能接收者,而现在,他们通过安装储能设备,积极参与到了能源的管理和调度中,成为了能源市场的积极参与者。这种变化不仅提高

了能源系统的灵活性和效率，还激发了消费者的节能意识和环保意识，为推动能源消费的革命性变革奠定了坚实基础。

3.4 政策引导与支持

3.4.1 明确风电发展目标

北欧国家在推动风电消纳的过程中，首先明确了风电发展的宏伟目标，并通过一系列政策引导和激励措施，为风电产业的蓬勃发展铺设了坚实的基石。以丹麦为例，该国政府不仅设定了到2030年风电发电量占比达到50%以上的雄心壮志，还通过税收优惠、直接补贴、贷款贴息等多种政策措施，全方位支持风电项目的建设和运营。这些政策不仅降低了风电项目的投资成本，提高了风电项目的经济可行性，还激发了社会资本的投资热情，推动了风电产业的快速发展^[5]。在具体实施上，丹麦政府通过设立专项基金，为风电技术研发、设备制造和项目建设提供资金支持；同时，通过税收优惠政策，减轻风电企业的税收负担，提高其盈利能力；此外，还通过制定风电并网标准、优化电网结构等措施，确保风电能够顺利接入电网并得到有效消纳。这些政策的实施，不仅促进了风电产业的快速发展，还提高了风电在电力市场中的竞争力，为风电消纳能力的提升奠定了坚实基础。

3.4.2 加强国际合作与交流

北欧国家在推动风电消纳的过程中，深知国际合作与交流的重要性。他们积极参与国际能源合作框架下的各项活动，与其他国家和地区分享风电消纳的成功经验和科技成果，共同探索风电消纳的新路径。例如，北欧国家与德国、英国等欧洲国家在风电技术、市场机制、电网调度等方面开展了广泛的合作与交流。通过组织国际研讨会、技术交流会等活动，北欧国家与合作伙伴共同探讨了风电消纳面临的挑战与机遇，分享了各自在风电技术研发、电网灵活性提升、储能技术应用等方面的最新进展和成功经验。这些交流与合作不仅促进了技术创新与成果共享，还推动了国际能源合作向更深层次、更宽领域发展，为全球风电消纳能力的提升贡献了北欧智慧与力量。

4 策略实施效果分析

北欧电力市场在提升风电消纳能力方面取得了显著成效。通过市场机制创新、电网灵活性提升、储能技术发展和政策引导与支持等多方面的努力，北欧地区成功应对了风电间歇性与波动性、电网传输能力限制等挑战。具体表现为：一是风电消纳率显著提高：北欧地区的风电消纳率逐年提高，部分国家甚至实现了100%的风电消纳。二是电网稳定性增强：通过智能电网技术和跨区域电网互联等措施，北欧电网的稳定性显著增强，能够有效应对风电波动对电网的影响。三是储能技术得到广泛应用：北欧地区建设了多个大规模储能项目和分布式储能系统，有效缓解了风电间歇性和波动性带来的挑战。四是国际合作与交流不断加强：北欧国家与其他国家和地区的合作与交流不断加强，共同推动风电产业的发展 and 风电消纳能力的提升。

结语

北欧电力市场在提升风电消纳能力方面取得了显著成效。通过市场机制创新、电网灵活性提升、储能技术发展和政策引导与支持等多方面的努力，北欧地区成功应对了风电消纳面临的挑战。这些成功经验为其他地区提供了有益的借鉴和参考。未来，随着技术的不断进步和市场的不断完善，北欧电力市场有望在风电消纳方面取得更大的突破。

参考文献

- [1]包铭磊,丁一,邵常政,等.北欧电力市场评述及对我国的经验借鉴[J].中国电机工程学报,2017,37(17):4881-4892+5207.
- [2]李奎刚.从北欧模式看我国电力现货发展路径[J].办公室业务,2019,(16):48-49.
- [3]樊宇琦,丁涛,孙瑜歌,等.国内外促进可再生能源消纳的电力现货市场发展综述与思考[J].中国电机工程学报,2021,41(05):1729-1752.
- [4]樊宇琦,丁涛,孙瑜歌,等.国内外促进可再生能源消纳的电力现货市场发展综述与思考[J].中国电机工程学报,2021,41(05):1729-1752.
- [5]李国栋,李庚银,周明,等.国外促进新能源消纳的典型市场机制分析[J].中国电力,2019,52(02):46-52+60.