

电力系统新能源等效消纳能力及其工程应用

常中飞

(中电建新能源集团股份有限公司, 辽宁 沈阳 110000)

【摘要】随着能源和环境问题的日趋严重,世界上许多国家纷纷制定了建设高比例新能源发电系统的目标和规划。中国将在2030年前达到峰值,努力在2060年之前实现碳中和。因此,必须转变当前主要依靠化石燃料的发电方式,提高清洁能源如太阳能和风能的比例。我国新能源发展迅速,截至2023年一季度,全国可再生能源装机达到12.58亿千瓦,2023年一季度,全国可再生能源发电量达到5947亿千瓦时,同比增长11.4%。随着新能源的迅猛发展,系统消纳问题日趋严重。

【关键词】电力系统; 新能源; 等效消纳能力; 工程应用

引言:

随着世界能源结构的转变,新能源在电网中所占比重越来越大。新能源具有间歇性、波动性等特点,对电网安全运行提出了新的要求。等效消纳作为衡量新能源接纳能力的一个重要指标,关系到电网的稳定和可持续发展。

一、新能源等效消纳能力概述

等效消纳能力是指当新能源进入电网后,电网可持续稳定地运行,同时也能满足电网的负荷需要。综合考虑新能源消纳能力,主要研究新能源出力预测、调度策略及系统稳定分析。电力预测可以帮助我们更好地理解新能源发电能力与用电需求之间的关系,从而为新能源发电计划的制定提供基础;在电力系统运行过程中,必须兼顾系统的稳定性、经济性以及新能源消纳能力;对其进行深入的研究探索新能源并网条件下,新能源并网对电网稳定运行的影响规律,并提出相应的调控策略。等效消纳能力在电力系统中的实际运用,主要表现在调度运行、稳定控制以及规划设计等方面。拟在新能源发电预测精度提升、调度策略自适应性与鲁棒性提升、系统稳定性分析等方面展开深入研究。

二、整体思路

在对全省及以上电网进行供电计划时,往往要制定多个新能源装机计划。在方案评价过程中,需对各方案的弃电量进行估算,以确定电网的调峰需求,并对电网的弃电量进行规划,并将弃电量控制在合理范围内。在实际的计划编制中,每个计划都需要利用仿真软件进行计算,这是一个比较费时的工作;其次,很难对电网的调峰需求进行量化分析。另外,由于不能简单地判定电网调峰电源的大小,只能通过不断地调整调峰电源的方案,采用仿真试算的方法来确定调峰电源的大小。针对上述问题,将考虑新能源的特征

曲线,引入新能源等效消纳能力,实现对新能源弃电率的快速估算,实现对电网调峰需求的量化估计,并初步判定调峰电源规模。

三、新能源消纳全局方案

从整体上看,新能源消纳的总体思路是:兼顾总量的有序增长与质量的高效提高,对新能源发展的规模、布局与时序进行合理规划,并主动推动储能设施的建设,帮助新能源科学、有序地开发、就近接入、就地消纳。优化服务系统,改进新能源接入程序,加强内部与各专业的合作,为新能源开发提供一站式、全链条的服务;深入开展节能减排行动,在工业、建筑、交通等重点行业开展能源利用效率提升,促进生产和生活方式的绿色低碳发展;坚持规划引导,围绕发展布局、电网结构优化、重大项目用电等要素,突出重点地区,按照功能需求和电压等级,分别对电网规划进行分类修正。

四、新能源等效消纳能力评估方法

(一) 功率预测

新能源发电功率预测是评价其等效消纳能力的前提,通过对新能源的短时及超短日功率预测,掌握新能源出力与负荷之间的匹配关系,为优化调度方案提供依据。目前,电力系统的功耗预测主要有物理模型法、统计学习法以及混合模型法。物理建模方法是在新能源发电机理研究的基础上,综合考虑气象条件和负荷需求,对新能源出力进行预测。在此基础上,提出了一种基于新能源发电负荷预测的新能源电力预测方法。通过对相关内容进行研究提出了一种新的混合方法,即将物理建模方法与统计学习方法相结合,以提高预测的准确性和可信度。电力负荷预测的准确与否,将直接关系到电网规划与电网稳定运行的成败。因此,研究更加精确的负荷预测方法,对于提升电网有效消纳容量至关重要。

（二）调度策略

在新能源并网条件下，新能源并网时，需兼顾系统稳定性、经济性及新能源消纳能力。常见的调度方法有基于规则的调度方法、基于优化的调度方法以及基于人工智能的调度方法。在此基础上，提出了一种新的基于规则的调度方法。最优排程就是把排程问题转换成最优问题，并利用最优算法来解决；人工智能调度是指运用机器学习和深度学习等人工智能方法，对生产过程进行建模和决策。各种调度方法都有各自的优点和不足，要结合具体的应用环境来选择最适合的方法。同时，也要充分考虑新能源的波动与不确定因素，针对新能源的特点，对其进行有效的调控与调节，确保电网的安全稳定运行。

（三）稳定性分析

稳定分析是评估新能源消纳电力系统容量的重要方法，其目的在于掌握新能源发电的动力学特性与响应特征，评估新能源并网对电网稳定的作用，进而提出合理的调控策略。目前，国内外对其进行稳定性分析的研究主要有时域模拟、频域模拟和非线性动态仿真。时域仿真是在时域上用数值计算方法对整个系统进行仿真，可以直观地观测到系统的动力学响应及稳定性；频域模拟就是通过对各频率点的稳定度进行分析，以掌握其频率稳定度及负载特性；非线性动力学是指运用非线性动力学的原理与方法来分析与预测电力系统的动力学特性。各种方法都有其优缺点，要想得到更加精确的结果，就必须结合具体的情况选用适当的方法。在新能源并网背景下，新能源并网后，新能源的不确定与波动也将被纳入稳定分析范围，并对其加以调控，从而保证电网的稳定运行。

五、新能源等效消纳能力的工程应用

（一）调度运行

为使新能源尽可能多地消纳，电网调度必须充分考虑新能源的出力状况。在此基础上，考虑到新能源对电网负荷变化的影响，对传统能源进行合理的调节，确保电网安全稳定运行。在新能源功率预测中，应充分考虑新能源的特点，并与历史数据相结合，通过合理的预测方法对其进行预测。在实际运行过程中，应综合考虑新能源的特点、负荷需求和系统稳定等多种影响因素，建立合理的新能源发电调度方案。比如，按照新能源的特点，可以将其划分为可调度与非可调度两类，并设计出相应的新能源调度策略。考虑到新能源的变化，对新能源的出力进行合理的调节。新能源发电具有波动、不确定等特点，单靠新能源难以满足电网的负荷要求，必须通过常规能源的补充。在对常规能源进行调节的过程中，要综合考虑电网的负荷变化以及新能源的出力状况，对其进行适时的调节与优化，确保电网的安全稳定运行。

（二）稳定性控制

电网稳定控制是保证电网在遭受外界扰动或发生故障时，仍能保持平稳运转，并迅速回到稳定状态的关键。稳定控制是指通过调整发电机出力使之与负载相适应，使电网处于稳定状态。在实际操作中，可采用改变供油方式、调整机组水平位置和调节自动调节器的方法，达到调节负载的目的。其目标是使电网中的电压保持在一个适当的范围之内，从而使电网中的电压不至于过高或过低而受到不利的影响。其电压控制方式有：直接调整发电机的输出电压，也可以使用高精度的功率电子调整器。它的首要工作就是使电网的频率保持在适当的范围之内，从而使电网的正常工作。通过调整电源的输出频率，改变发电机的转速，改变转子的内部极性，改变发电机的励磁控制来达到频率的控制。大型电网中含有大量的发电机，变压器，输电线等，它们对电网的稳定运行有很大的影响。供电与负载的特征是影响系统稳定的主要因素。比如，一些负载会对系统的稳定起到消极的作用，而另一些功率的存在对系统的稳定起到一定的作用。

（三）规划设计

在电网规划与设计时，要充分考虑新能源在电网中的分布特点，并根据电网的实际情况，对其进行合理的调度。首先，在新能源的分配上，要综合考虑各种因素，如地理，气候，资源等。由于新能源资源在各区域的分布状况不尽相同，因此，如何对新能源进行合理的规划与优化，是一个有待解决的问题。要进一步研究新能源接入对电网稳定运行的影响，并对电网结构及设施进行合理的布局。其次，从新能源的特点出发，必须对各种新能源的产生特点及运行规律有深刻的认识。由于新能源种类多，其发电能力、工作效率和响应速度等各有特点，因此有必要对其进行全面的评价。还需解决新能源与负荷之间的匹配、新能源与常规能源的互补、协同等问题。基于这一认识，有必要制订相关的发展战略。比如，可以针对新能源的分布特点，对电源、输电、储能等进行规划。还将研究如何提升电网的稳定性能，如在电网中增设调峰电源、蓄能装置等，以增强电网的调峰能力与应急响应能力。另外，如何减少运营费用，增强经济与可持续发展也是一个有待解决的问题。

六、电力系统新能源等效消纳能力及其工程应用的策略

（一）明确消纳责任，把握售电时机

在发展绿色电力的进程中，各有关部门要充分意识到自己在市场上承担的责任，同时要注意准确地抓住“绿色销售”的时机。通过对其进行深入研究提出了一种新的发展思路，即“绿色电力营销”。为了推动绿色电力的发展，我国借鉴美国“配额制”的市场化方式，以市场为主导，以市场机制为主导，

实现绿色电力的消纳，并以此为基础，建立起相应的市场机制。电力企业是消纳的主体，在推动绿色电力营销的进程中，可以首先把业务重心放在耗电量较大、对价格较为敏感的工业用户和商业用户，特别是能耗相对较大、对价格较为敏感的需求端，为他们制订一套绿色能源供应方案，尽量在提升绿色电力市场的消纳能力的前提下，减少发电成本。通过筛选出具有代表性的企业，使其能够逐渐地参与到市场中来，从而缓解电力市场的压力。

（二）发挥资源优势，强化风险管理

在电力市场中，资源是最重要的市场竞争要素，通过开展绿色电力营销来提升其市场接纳能力，并充分发挥其在发展绿色电力市场中的优势，加强风险管理对市场消纳的正面影响。首先，在“绿色发展”进程中，要明晰新能源发电与市场需求的相互关系，通过多种方式进行新能源消纳，规避单条接入方式带来的风险，确保绿色电力的稳定供给。其次，要充分发挥技术在电力市场中的主导地位，利用大数据、云计算等技术，实现资源优化配置。最后，要加强自己的成本管控能力，改善自己的用电计划，利用智能技术，科学地调度绿色电能，减少运营费用，同时，要适应市场的变化，适时地调整电价，给用户提供一个价格缓冲期。

（三）等效消纳能力的工程应用

将新能源等效消纳能力纳入系统的研究中，也就是考虑弃电情况下新能源的可用能力。一般以5%为弃电率，对应95%新能源可供使用的最大功率为95%。该模型的物理含义是：若系统能确保消纳风电机组的50%，则可实现年弃电量不超过5%。通过求解电网的等效容量，可以快速求解出新能源发电规模下的弃电量。通过改变等效容量来实现电网的弃电量，如对火电机组的灵活改造，也可以用这种方法来快速地计算出系统的弃电量。在获得弃电量和调峰要求的基础上，对电网的调峰电源进行了规划。并以火力发电机组的灵活改造和蓄能为例进行了实例分析。

（四）新能源发电企业

拟从电力实时交易的视角，研究新能源消纳机理，为解决新能源发电的随机特性提供了一种有效的解决方案，能够在短期内提升新能源消纳空间。新能源发电可通过减少其边际成本来提高其市场占有率，并利用实时交易机制来解决大容量消纳问题。2021年，国家发改委公布了电力现货市场建设试点，逐步推动新能源进入市场，通过在网络上发布部分新能源项目，开展市场交易，促进绿色电力交易的推广，提升市场对绿色电力的消纳能力。

以“绿色电力交易”为切入点，以新能源发电为研究对象，提出了一种基于“无碳排放”“无能耗”“环境友好”的新能源发电方式，但与传统发电方式相比，

存在着本质的差异。“证电分离”交易模式要求新能源商品属性还原为核心，2021年国家开展了绿色电力交易试点，为绿色电力产品提供了属性识别与证书，使其能够在市场上流通。当前，我国不少沿海城市已初步构建了绿色能源交易的常态化运行机制，并在试点基础上构建了绿色电力消纳市场。

为此，本文拟从供给端视角，以“双碳”目标的实现为主线，以国家政策的支撑与引导为主线，构建基于市场化机制的电力市场消纳机制。从发电企业的观点来看，它主要是从提高供电可靠性、增强调频和调峰能力等方面来实现保障型电源的转型，以推动市场化机制下的绿色电力消纳。基于新能源视角，新能源发电企业主要通过建设、收购和参与市场交易等手段来提升自身消纳能力。在构建以市场为主导的绿色电力消纳机制的进程中，仍需通过政策引导，引入市场机制，构建丰富的交易方式，确保绿色电力市场化消纳，提升绿色电力市场的稳定运行。

（五）案例分析

以西北某电网为例。在2025年，电网的最大负荷量将达到6185万千瓦，直流输电能力将达到2200万千瓦；火电计的模数是8.918 kW，水力是10.324 kW，基础方案的风能是3100万kW，光伏是1550万kW。对电网进行了仿真，得到了电网的弃电率为5%，由此得到了等值消纳量为11930万千瓦。

通过对各种新能源发电方式的测算，得出了弃电量的分布情况，并与表1进行了比较。如果将火电机组进行灵活改造，则弃电量的变化情况与表2进行比较。实例计算的误差小于5%。

七、结论

新能源等效消纳能力增强是一项复杂的系统工程。要强化新能源的规划与管理，健全新能源的消纳网络，加大新能源的投入与建设，推进新能源的协调发展，大力推进新兴科学技术的研发，加速新能源的推广，推进能源互联网的发展，强化市场化运营与政策导向，使新能源的等效消纳能力得到有效提高。政府、企业及社会各界应积极参与，以促进新能源等效消纳能力，为我国能源结构转型升级作出应有的贡献。

参考文献：

- [1] 周孝信，陈树勇，鲁宗相，黄彦浩，马士聪，赵强. 能源转型中我国新一代电力系统的技术特征[J]. 中国电机工程学报，2018，38（7）：1893-1904.
- [2] 杨策，孙伟卿，韩冬，田坤鹏. 考虑风电出力不确定的分布鲁棒经济调度[J]. 电网技术，2020，44（10）：3649-3655.
- [3] 赵东元，胡楠，傅靖，贵树俊，訾振宁. 提升新能源电力系统灵活性的中国实践及发展路径研究[J]. 电力系统保护与控制，2020，48（24）：1-8.