[电网调频]

东北调频辅助服务优化方案设计研究

文/ 国家电网有限公司东北分部　张健男　张弘鹏　刘诚哲　孙　羽
北京清能互联科技有限公司　陈　婧　钟心蕊

新能源是时代发展的要求。风能是一种技术成熟、成本较低的新能源发电资源。本文研究分析了东北电网及其辅助服务市场的建设现状，提出了基于性能指标的调频资源的排序方法及混合能源调频辅助服务的交易方案，并讨论了该方案对频率质量提升与辅助服务市场建设的意义。

东北的风电装机发展迅猛。近 10 多年来，风电装机容量从2006年的85万kW增长到2019年的2 949万kW，装机规模增长了 36 倍之多。截至 2019 年，东北电网风电发电量 673 亿 kW·h，占全网总发电量的 12.69%，利用小时数达到 2 305 h。东北电网新能源装机容量占比、新能源发电量、发电占比和利用小时数在全国区域电网中都是较高的。

风电的迅猛发展引发了新能源消纳的问题。为此，东北以调峰辅助服务市场化为起点，为东北电力辅助服务市场的建设拉开了序幕。在巩固新能源消纳成果的基础上，解决新能源消纳所带来的频率质量降低的问题，进行调频辅助服务的优化方案设计，完善当前体系。本文提出了调频辅助服务的优化方案。

东北电网及其辅助服务现状分析

1．东北电网运行基本情况

截至 2019 年，东北电网装机容量达 1.49 亿 kW，其中火电机组装机占比最高，达到 64.26%；风电其次，占比 19.82%；太阳能、水电和核电的占比分别为 7.22%、5.69%和 3.01%。东北电网负荷呈现时空分布上的差异。时间上，夏冬两季为负荷高峰期，日负荷约 5 000 万～6 500 万 kW；春秋两季为负荷低谷期，日负荷约 4 000 万～5 500 万 kW；空间上，辽宁日负荷峰值约 3 300 万 kW，黑龙江约 1 450 万 kW，吉林约 1 250 万 kW，蒙东约 950 万 kW。从调度关系上，东北的各类机组分属东北网调、黑龙江省调、吉林省调、辽宁省调和蒙东调度管理。

东北电网是北电南送、西电东送的电网，与华北电网、山东电网和俄罗斯电网通过直流连接，内部受阻较为严重的外送断面有赤峰、黑龙江东部、通辽北部及赤峰北部断面。因新能源占比较高，东北电网频率有较为严重的“飘高”现象。

2．东北历史辅助服务市场建设情况

东北电网以调峰辅助服务市场的建设为起点，推进了电力供给侧改革，并逐步构建了适应东北电网特性的辅助服务市场体系。2014 年 10 月，东北正式开始电力调峰辅助服务市场的运行。2017 年，东北在原规则基础上形成了东北电力辅助服务市场体系。2019 年，东北电

力辅助服务市场新增了尖峰旋转备用交易等新型交易品种。当前东北的辅助服务市场包含：实时深度调峰交易、跨省调峰交易、火电应急启停调峰交易、火电停机备用交易、可中断负荷调峰交易、电储能调峰交易、抽蓄超额使用辅助服务交易、黑启动辅助服务和尖峰旋转备用交易。

在东北电力辅助服务市场体系建设过程中，不仅引入了市场化交易手段，还引入了“阶梯式”分摊机制和结算到厂的结算方式，明确了不同机组承担调峰义务的原则和方式。此外，通过引入跨省调峰机制、负荷参与机制，使得更多主体可以参与辅助服务的提供，获得相应的收益。在运营方面，引入了实时信息发布机制，利于市场主体获得实时信息的反馈，便于其决策制定，也有利于市场监管。同时，引入了发电能力作为衡量标准及配套的发电能力核查机制，完善市场的监管手段。

东北辅助服务市场体系的建设在近些年中取得了成效，但仍有完善空间。东北辅助服务市场的建立在一定程度上改变了发电侧的物理基础，逐步淘汰落后的化石能源发电产能，并促使火电企业开展灵活性改造，通过机炉系统改造、固体电蓄热锅炉、电直热锅炉及抽气加热蓄热水罐等方式实现了调峰目标，进了清洁能源的消纳。东北辅助服务市场体系的建设创造了愈 10 亿元的新产业，促进了当地发电企业收益的二次分配。当前，东北电网辅助服务中，调频、调压等辅助服务仍通过“两个细则”实施考核管理，有待纳入东北辅助服务市场体系。本研究以调频辅助服务为研究对象，提出东北调频辅助服务交易的建设方案。

3．东北历史调频辅助服务情况

东北电网的频率调节是通过一次调频及二次调频实现的。并网发电机组需具备一次调频功能：发电厂单机 20 万 kW（新建 10 万 kW）及以上火电机组和单机 4 万 kW 及以上非径流式水电机组、省级调度直调的风电场及光伏电站要求具备 AGC 功能，进行二次调频响应。

对并网发电机组的一次调频考核包括月投运率考核，并需要满足特定的技术要求，对于技术要求不能满足的发电机组，则相应扣减一次调频的月投运率；对并网发电机组提供 AGC 服务的考核内容，包括 AGC 调度管理考核、AGC 机组的可用率和 AGC 调节性能考核三部分。AGC 考核指标包括调度管理指标 K_D，可用率指标 K_A，调节性能指标 K_1（调节速率）、K_2（调节精度）和 K_3（响应时间）。

一次调频为义务调频，不设置补偿。二次调频按可用率和 AGC 调整电量进行补偿。AGC 可用率达到 98% 以上，按 AGC 可用时间补偿 20 元/h。AGC 调整电量，每万 kW·h 补偿 1 200 元。风电场、光伏电站的 AGC 服务不予补偿。

东北地区采用省间联络线关口调度模式。从职权范围上，各控制区通过调节区域联络线控制偏差（ACE）参与频率调整，网调则直接针对电网实时频率调节频率。

4．现状与待解决的问题

在东北辅助服务市场体系建设亟待完善，且东北电网频率质量有待完善的大背景下，东北调频辅助服务交易的开展需提上日程。当前，东北调频由火电机组和水电机组承担，根据实时频率偏差和电网运行情况，由调度机构安排调用，并按照 AGC 调整电量进行补偿。这种调度模式便于操作，有利于即时地保障系统频率安全，但同时也存在着缺少对总体需求的把握，缺乏对全网调节能力的判断，机组调用无序，缺少激励的问题。在这种模式下，机组的调节收益完全取决于调节电量，与其调节性能无关，造成了无论机组调节性能高低，均不影响具体机组的收益的现状。这种“大锅饭”的模式不利于资源的合理配置，既无法判断调频需求体量及现有调频资源能力，又缺少对优质资源“能者多劳、多劳多得”的激励，使得管理者不了解调频服务的能力，服务者缺少提高自身服务能力的动力。

基于性能指标的调频资源排序与调频交易

1．调频交易建设目的

增设二次调频交易，有助于改善东北电网频率质量，同时可以完善东北辅助服务市场体系的建设。在调频交易的过程中引入基于调频性能指标的排序方法，形成综合考虑了性能指标和调频资源报价的排序价格序列，以作为实时调度和结算的依据。该方法可有效激励机组提

高自身调节能力，提高调频服务质量，从而实现提高东北电网频率质量的目标。

2．交易模式

市场模式层面，东北电网调度中心进行统一调频控制与二次调频交易组织。二次调频交易采用“日前报价、实时按需调用”的组织方式开展。二次调频市场独立于发电计划运行，日前申报信息封存到运行日，实时频率偏差超过 0.05 Hz 时二次调频市场开启，按排序价格由低到高调用，直至当次调频动作结束。

3．市场准入

二次调频交易的参与方为市场服务提供方和市场服务购买方。二次调频交易的市场服务提供方为安装了储能装置的火电机组、风电场和光伏电站，以及第三方独立调频服务提供商和原“两个细则”下能跟踪各级电力调度机构调度指挥的 AGC 单元。单机 10 万 kW 以下的非径流式水电，可自愿参与调频市场，参与调频市场时，需要承担调频市场分摊，不参与调频市场时，不须承担调频市场分摊。二次调频交易的购买方是在运的风电、光伏、核电、火电以及单机 10 万 kW 及以上的水电机组或场站。

4．调用原则

基于调节性能指标 K_1（调节速率）、K_2（调节精度）和 K_3（响应时间），形成调节性能综合指标 K_d，对 AGC 单元提交的申报价格进行归一化处理。调节性能综合指标的确定，既要考虑机组的历史调节能力，也要考虑调频交易开展后所期望达成的目标。在历史调节能力方面，可参考东北电网各项调节性能指标的实际数值、各机组调节性能的分布和全网历史调频需求备用容量；在与未来发展的衔接方面，须综合考虑新能源计划装机造成的增量需求及机组参与调频市场开展技术改造后机组调节性能的分布等。

市场组织时，AGC 单元需每日提交申报信息，日前申报时，AGC 单元需申报次日调频里程价格（单位：元/MW）、调频能力上下限。调度中心根据历史的调节性能综合指标 K_d 对申报价格进行归一化处理，形成调整后的价格序列。实时阶段，当调频市场开启后，根据价格序列从低到高进行调用，直至实时频率达到 50 Hz。

5．收益与分摊原则

调频市场相关费用按照收支平衡原则、以月清月结的方式进行结算。调频市场结算与当月电费结算同步完成。AGC 单元调频交易费用包括调频里程补偿及 AGC 可用时间补偿费用。里程补偿按单位统计周期内各提供服务的 AGC 单元各次调频里程及出清的排序价格进行计算，为

$$F^{i,t}=\sum_{t=1}^{T}D^{i,j,t}\times B^{j}$$

式中，$F^{i,t}$ 是某提供调频辅助服务的市场主体 i 全天调频里程收益总和；T 是总时段数；$D^{i,j,t}$ 是市场主体 i 在时段 t 内第 j 次调节的调频里程；B^{j} 是第 j 次调节出清的排序价格。

单位统计周期取 15 min，与发电计划中的 96 点所对应的 15 min 重合。可用时间补偿初期可沿用两个细则中的补偿标准。AGC 可用时间按日统计。

基于混合能源参与调频辅助服务的方案设计

新能源装机和发电量的增长是电力体制改革深化的必经过程，对电力辅助服务市场化的引导需要摆脱“走过场”式的存量资源利益再分配。对于调频辅助服务的交易建设而言，除了需要完成对存量调频资源能力的挖掘和提升，还要逐步向增量调频资源引入的方向过渡。

在市场准入时，将包含储能的火电 AGC 单元、风光联合储能与独立储能纳入市场服务的提供方，可以有效引导存量的火电 AGC 单元开展灵活性改造，为调频提供更多优质的服务；将风光联合储能引入调频交易的市场服务方，在安全和不产生弃风弃光的前提下，可有效激励新能源企业转变其在电力系统安全中的角色，从单纯的享受者和付费方，转变为频率安全的责任承担方和获利方，从而引导新能源企业在电力系统稳定中实现其权利与义务的统一；通过引入独立储能机组，更好地扩宽市场的服务提供来源，为市场提供更多优质的储能资源；对于单机 10 万 kW 以下的非径流式水电，可自愿参与调频市场，为电力系统的稳定运行充分挖掘潜在的调频能力。

通过储能装置及其与传统发电方式的结合，各市

（下转第 46 页）

火灾报警系统的设置

设置火灾报警系统要根据 GB50016 规范的 8.4.1 条文确定，然后再依据 GB50116《火灾自动报警系统设计规范》进行设计。根据 GB50016，一般情况下冷库建筑不需要设置火灾报警系统，但要注意其它专业是否设置了火灾时需要联动的消防设备。如电梯前室的防烟系统等，如果有此类需要联动的设备在相应场所或部位，必须考虑设置火灾报警系统。根据 GB50116 要求，至少要采用集中报警系统，设置消防控制室和消防应急广播，这样的做法是可以探讨的，本文不再累赘。

GB50072 中 4.2.2 条文说明中，对冷库冷间内是否设置火灾自动报警和自动喷淋消防设施作出了分析。分析认为根据冷间工况，对起动消防系统的控制温度难以设定，设置过低误动作的可能性很大。如按正常火情温度设定，达到正常火情温度时已是较为严重的程度。因此在冷间内设置自动报警对冷库的冷间而言，意义不大，日常维护、管理费用不小，故此措施不可取。

GB51157 第 15.8.1 条规定，每座占地面积大于 1 000 m^2 的丙类存储型建筑要设置火灾自动报警系统。第 15.8.1 条规定建筑高度大于 12 m 的低温场所宜设置吸气式感烟火灾探测器。以往冷间存货包装参差不一，密封性也不好，存品周转次数少，存放时间长，冷间内空气中水分多在低温下容易结霜，特别是顶排管送冷形式，对传统探测设备有影响。而现代物流冷库存品包装规范，采用冷风机送冷居多，虽然局部仍会结霜，但冷间内空气相对干燥，对电气设备影响小，可考虑采用吸气式火灾探测器（也称为空气采样火灾探测器）。吸气式火灾探测器的工作原理是通过在防护空间布置空气采样管网，并在采样管网上打采样孔，通过采样孔把保护区的空气吸入探测器进行分析，从而进行火灾探测。可见冷库如果要设置火灾探测器，采用空气采样火灾探测器比较适合。是否冷库都要设置，要根据冷库的性质用途、冷间内环境条件和工艺制冷方式确定，让安装的设备起到需要的效果。

冷库建筑看上去比较单一，但实际上由于制冷工艺的不同，用途的不同，结构形式的不同，存在着多样性和复杂性，设计时不能一概而论。随着物流行业的发展，上下游产业的规范化，让冷库建筑在使用功能和空间布局上有了很大的变化，自动化、智能化存储方式必然是未来冷库建设的主题。**EA**

（收稿日期：2020.11.03）

(上接第 32 页)

场主体还可以在更好地履行系统频率稳定义务的同时，通过辅助服务市场收益对其机组改造的成本进行容量成本的回收。调频辅助服务交易也为“新能源安装储能装置谁来付费”的困境提供了一种破局思路与成本疏导方式。

结束语

本研究阐述了东北电网及其辅助服务市场的发展现状，指出了东北电网频率存在的频率质量低、机组调用无序、缺乏激励及规模不明的问题。在此基础上，提出了调频交易的建设方案，从建设目的、交易模式、市场准入、调用原则以及收益与分摊原则的角度，提出了调频交易的方案。最后，从市场准入的角度总结了该方案的设计亮点，讨论了综合能源参与的必要性及对应能源所应承担的角色。

如何让新能源更好地参与电力市场必将是时代发展的重点问题，因此，如何解决新能源出力随机性和波动性带来的电网频率波动也必将是后续调频辅助服务交易建设的重点问题。东北电网可以考虑风光应急调频服务、一次调频服务、爬坡和惯量等新兴交易品种，将每项对电网频率安全有贡献的维度指标化、量化，完善市场的激励机制，更好地完善并网发电企业辅助服务的补偿机制。同时，考虑到电力现货市场的不断建设，与调频辅助服务提供的实时属性，也可以在东北辅助服务市场不断发展和完善的过程当中，探索调频辅助服务与电能量市场衔接或联合优化的运行方式。从而切实做好网源协调，发挥市场在资源配置中的作用。**EA**

（收稿日期：2020.10.10）