

[风电]

关于应对弃风限电的区域思考

文/龙源（北京）风电工程设计咨询有限公司 赵旭光 丁伟

近年来我国风电迅速发展，风电装机居世界第一，但弃风限电情况却时有发生，尤其是东北、新疆、河北等地区弃风率较高，针对这种情况，国家从控制核准、建设大电网、增加调峰电源建设等方面促进风电消纳，风电企业也从不同区域考虑，通过风火置换、风电供热、风储结合等手段逐步解决限电问题。

我国风电现状

我国风能资源丰富，据国家气象局估算，全国风能密度为 100 W/m^2 ，风能资源总储量约 $1.6 \times 10^5\text{ MW}$ ，其中东南沿海、内蒙古、甘肃走廊、东北、西北、华北和青藏高原等地的陆上风能资源有较大的开发潜力，随着风机技术的成熟，近年来风电装机的迅速增长，2010年，我国成为世界上风电装机容量最大的国家，截止到2014年年底，全国累计并网装机容量达到9637万kW，其中内蒙古的风电装机居全国首位，其次是甘肃、新疆和河北地区。

在风电快速发展的同时，全国的限电情况却不容乐观，根据国家能源局2014年风电产业监测数据：2014年吉林、黑龙江、甘肃、新疆、河北地区的弃风率都达到了10%以上，内蒙、辽宁、云南等地也出现了一定比例的限电情况。

弃风限电的原因分析

由于我国的风电装机主要集中在三北地区（东北、西北和华北北部），经济相对落后、电能需求少且电能外送受电网结构和电能交易政策的影响，往往难以实现风电就地消纳。加之季节变化对生产和生活的影响，如供暖等，使得三北地区成为风电场弃风的重灾区。

通过对弃风地区的现状分析，影响我国风电场限电的因素主要有以下几个方面。

1) 风电发展缺乏统一规划，风电项目的核准

与建设速度较快，而电网的建设往往时间较长，使得电网滞后于风电场建设，并且风电开发主要在相对偏僻的地区，多处于电网的末端，消纳能力不足，尤其是跨大区电网的互联的规模不足，不利于地区的风电消纳。

2) 目前我国电源结构是以煤电为主。根据统计，截至2014年底，全国火电装机容量约9.2亿kW，火电设备利用小时数为4706h，2014年我国全社会用电量约为5.5万亿kW·h，如果按照9.2亿kW装机、运行6000h计算，我国的火电机组基本上可以包揽我国全部的用电需求，理论上已经挤占了所有的清洁能源和可再生能源的市场空间。

在风资源丰富的“三北”地区，供热机组占火电装机比重更大。供暖季为了满足供热需求，可供风电机组的调控空间十分有限。

3) 风电发展相关政策不完善，虽然国家规定了可再生能源发电保障性的收购政策。在实际运行过程中，在一些时段必须采取特殊措施，才能保证风电电量的收购，所付出的代价往往远超过该时段风力发电产生的效益。

4) 目前风电机组的技术和运行水平较低，对风功率的预测有待进一步提高，基于风力发电的不稳定性，发电侧不具备向电网调度部门报送发电出力的能力，不能满足风电调度运行的需要。

限电的区域性特点

根据统计，我国的弃风限电主要集中在华

北、东北和西北地区，以河北省张家口、吉林、甘肃酒泉、内蒙古自治区锡林郭勒盟、呼伦贝尔市和兴安盟等地区弃风限电最为严重。

为了缓解这种情况，国家近年来采取积极的措施，通过政策扶持、配套电网和电源建设等手段，提高风电上网率；风力发电企业，更需要积极地采取措施，通过电量交易、风储结合等手段促进风电消纳。2014年我国弃风限电情况有所好转，全国风电平均弃风率8%，同比下降4个百分点，弃风率达近年来最低值，除新疆地区外弃风率均有不同程度的下降。

1. 我国应对限电的措施

现阶段我国主要从控制国家核准、建设大电网和加大调峰电源建设等三个方面促进风电消纳。

1) 从2014年国家风电项目的核准看到，风电开发正在向消纳条件相对较好的中东部地区转移，其中，山西、新疆、江苏、湖南、广东等地的新增核准容量增快，而内蒙古、吉林、黑龙江、云南新增核准容量呈现下降趋势，距离消纳地近已经成为项目宏观选址的一个重要条件

2) 为促进风电的大规模开发和大范围消纳利用，必须加快跨省跨区大电网的建设。2014年，全国完成跨区送电量2 741亿kW·h，同比增长13.1%。其中，东北外送电量215亿kW·h，同比增长19.5%；华中外送电量1 353亿kW·h，同比增长17.5%，其中7月初正式投运的溪（洛渡）浙（江）±800 kV高压直流工程送电251亿千瓦时；西北外送电量549亿kW·h，同比增长20.0%，其中2014年1月正式投运的哈（密）郑（州）±800 kV高压直流工程送电130亿kW·h。

3) 加快燃气电站、抽水蓄能等调峰电源的建设规模。燃气电站、抽水蓄能电站是优化能源结构、促进新能源开发利用的重要手段。预计到2015年底我国燃气电站装机规模应达到7 000万kW。到2025年，全国抽水蓄能电站总装机容量达到约1亿kW，占全国电力总装机的比重达到4%左右。

2. 企业应对限电的区域措施

(1) 方式分析

风电属于国家重点支持的清洁能源，在电网中保障一定比例的装机容量，但过多的风电接入会对电网系统安全性造成冲击，虽然国家通过政策扶持、加快电网建设和增加调峰电源等手段积极的鼓励消纳吸收新能源，仍有部分地区在一段时间内还会存在弃风限电的问题。因此作为发

电企业，现阶段的方案以保证电网的稳定性为前提，在此基础上遵循经济性和高效性原则。

解决限电的手段主要有：

1) 风火置换。由风电企业与火电企业进行协商，购买火电企业的发电量，通过竞价等方式确定补偿价格，按照风电的上网电价和补贴进行发电，从而减少弃风限电。目前，此种方式多适用于火电和风电比重均较大且整个大区域送出线路不受阻的区域电网，如西北电网。

2) 风电供热。风电供热是指风电企业在建设或运营风电场工程的同时，配套建设和运行负荷谷期用电的冬季供热设施，用弃风的电量进行供热发电。这种风电供热模式需要风电企业、电网企业、供热单位三方商定协议，实现互利共赢。目前，此种方式适用于风电弃风严重的北方供暖区域。

3) 风储结合。储能发展是调峰的需要也是系统安全运行的保证，风电和储能的结合可以有效提高风电质量，提高了风电的竞争性。风电项目储能可采用的技术方案有物理储能方案，包括抽水蓄能、压缩空气储能和飞轮储能；电化学储能，包括铅酸、镍氢、镍镉、锂离子、钠硫和液流等电池储能；电磁储能，包括超导、超级电容和高能密度电容储能等。每一种储能技术都有自身的优缺点和适用范围。只要场地允许，风储方式几乎使用于任何地区。

(2) 区域策略

1) “三北地区”的应对措施

限电较为严重的黑龙江、吉林、辽宁、蒙东等地区，常年温度较低，供暖期较长，大部分火力发电厂都承担着民生供热的功能，风火置换在本省的空间不大，弃风现象还会存在较长时间。针对这种情况，考虑采取以下措施：

① “三北地区”中燃气机组装机比例较高的区域，可以利用燃气机组发电的机动性，寻求风气互补，提高电能质量。

② 与所在地的热力公司和当地电网沟通，尝试风电供热的可能性。吉林地区已有多多个风电供暖示范项目，已满足上万户居民的住宅供热需求

③ 通过详细的经济测算，建议对有建设条件，长期限电的地区，推广风电热储能技术，为提高效率，采用热电联产技术，既解决了限电问题，又满足当地的供热需求。

④ 可以进一步利用电网远距离输电，将电能运送到风电装机比例相对较低的华北地区进行电

量交易。

⑤通过跟进、了解大用户信息，采取直供方式，充分利用大用户供电的成本优势和直接交易的竞争力。

2) 新疆自治区的应对措施

新疆电网火电机组比重大，且火电中供热机组和小机组占有一定比重，水电以径流式为主，调节能力有限；2015年在考虑小火电机组起停调峰的情况下，仅仅从本省的消纳能力看，新疆地区目前的风电开发规模已超过了新疆电网2015年自身的风电消纳能力，新疆风电存在开发规模过大的问题。

新疆电网主要是通过小火电起停的措施提高系统接纳风电的能力。针对新疆的区域特性。建议采用以下措施：

①新疆地区已存在风火置换的试点工程，可以在本省进一步推广，同时新疆地区特高压线路的建成，可以与电能消纳地区进行跨省的风火置换。

②采用风电供热和风储结合（选用适合热联产的风热储能装置），目前新疆阿勒泰采用风电供暖，预计供暖面积10万m²，并已经作为国家试点。

3) 甘肃、蒙西等地的应对措施

2015年甘肃酒泉将建成千万千瓦级风电基地。随着配套电网的建设，酒泉绝大部分风电最终接入西北750 kV电网。电网建成后，将打捆火电能及时跟踪风电波动；在风电出力快速变化的时段，调用西北电网的水电、火电、抽水蓄能等系统资源（主要是青海水电），参与风电功率波动的跟踪，保持系统安全稳定运行。限电问题将得到很大程度的缓解。

内蒙古西部地区的风能资源丰富，但风电消纳能力不足。为促进蒙西风电的大规模发展，必须通过加强跨区电网建设，促进蒙西风电在华中和华东电网消纳。而内蒙地区的弃风电量，在近期的试点中也是以风电供热为主，鉴于内蒙风电的容量较大，限电一段时间内还会存在。可尝试与大客户直接交易和建设一定比例的储能设备进行风电消纳。

4) 河北的应对措施

河北千万千瓦级风电基地分布除大部分分布在京津唐电网外，还有少部分分布在河北南网的沿海地区。从电网联系看，目前京津唐电网和河北南网已通过6回500千伏线路相联，网间电力交换能力较强，不仅负责区域内的风电消纳，还负

责部分内蒙等地的新能源消纳。据统计，2014年河北地区的弃风率为12%，但到2015年配套电网已部分建成或有近期规划，风电消纳会有较大程度的缓解。

2015年张家口“三站四线工程”投入运营，张南至昌平规划风电送出120万kW，核准待建的张南—昌平500 kV线路预计2017年投产，形成三站五线，限电形势极大缓解。

同时国家电网已启动“张北—赣州”1 000 kV交流双回特高压项目，计划2015年下半年核准，2017年底投运。特高压投运后将新增约900~1000 kW瓦外送能力，大于整体风电规划，限电将进一步好转。

河北地区有望在短期内解决弃风限电的问题，由于风储结合需要相对较长的时间收回建设成本，并不适用，建议短期内采取风电供热，发电权置换，寻求大客户直供等方案解决弃风问题。

5) 云南地区

云南地区风电发展过快，当地消纳能力有限。区别于北方地区，云南地区的装机以水电装机为主，辅助一定的火电装机，因此云南地区供电的季节性较强，虽然有“风水互补”的天然优势，但在云南大理州的一些小水电，丰水期的限电已达到40%，而云南地区的弃风限电也主要集中于丰水期，经常会有弃风弃水限电的情况发生。

由于云南地区的火电的装机比重较低，在火电已经充分调减的情况下，可再生能源吸纳仍有困难，与水电这种可再生能源相比，风电也不具优势，目前除了与相关企业协商，采取大客户直送外缺少较好的限电解决方案。但相比于北方地区，云南地区的风电机组在限电情况下电量依然较高，经济性仍较好。

6) 未限电地区

受端风能资源较好的京津地区、山东、江苏地区，随着电网的日趋成熟，预计到2020年将具备开发建设千万千瓦级风电基地的风能资源条件和风电消纳能力。未来通过构建的“三华”同步电网，可进一步扩大风电的开发规模。预计到2020年“三华”电网的风电消纳能力可达到1.12亿kW，可进一步接收来自其他区域的清洁能源。

结束语

通过分析，可以看出北方限电地区的弃风电量多适合用于与火电的交换和风电供热，解决限

（下转第60页）

由此可知当前变频运行实际负荷率为:

$$P_p = I_p/I_g \times 100\% = 37.6/42 \times 100\% = 89.5\%$$

在此工况下变频器平均运行频率将为:

$$50 \text{ Hz} \times 89.5\% \text{ (实际负荷率)} = 44.8 \text{ Hz}$$

依据离心式风机的轴功率与频率的三次方近似成正比的相似定律,其变频调速节电率为:

$$\begin{aligned}\Delta_{\text{rhm}} &= [1 - (f_q/f_e)^3] \times 100\% \\ &= [1 - (44.8 \text{ Hz}/50 \text{ Hz})^3] \times 100\% = 28.1\%\end{aligned}$$

另外,变频器的效率为98%,电动机的效率为98%,按年300天运行节电量为:

$$371 \text{ kW} \times 89.5\% \times (28.1\% - 4\%) \times 10 \text{ h} \times 300 \text{ 天} \approx 24 \text{ 万kW}\cdot\text{h}$$

(2) 在23:00~06:00等8 h为负荷低谷,其工况为变频调速运行,变频器输入电流平均值为 $I_p = 33.5 \text{ A}$ 。

由此可知当前变频运行实际负荷率为:

$$P_p = [I_p/I_g] \times 100\% = 33.5/42 \times 100\% = 80\%。$$

在此工况下变频器平均运行频率将为:

$$50 \text{ Hz} \times 80\% \text{ (实际负荷率)} = 40 \text{ Hz}$$

依据离心式风机的轴功率与频率的三次方近似成正比的相似定律,其变频调速节电率

$$\begin{aligned}\Delta_{\text{rhm}} &= [1 - (f_q/f_e)^3] \times 100\% \\ &= [1 - (40 \text{ Hz}/50 \text{ Hz})^3] \times 100\% = 48.8\%\end{aligned}$$

另外,变频器的效率为98%,电动机的效率为98%,按年300天运行节电量为:

$$371 \text{ kW} \times 80\% \times (48.8\% - 4\%) \times 10 \text{ h} \times 300 \text{ 天} \approx 40 \text{ 万kW}\cdot\text{h}$$

(3) 在07:00~10:00、21:00~22:00等6个小时为一天的平均负荷,其工况为变频器调速运行,变频器输入电流平均值为 $I_p = 35 \text{ A}$ 。

由此可知当前变频运行实际负荷率为:

$$P_p = [I_p/I_g] \times 100\% = 35/42 \times 100\% = 83.3\%。$$

在此工况下变频器平均运行频率将为:

$$50 \text{ Hz} \times 83.3\% \text{ (实际负荷率)} = 41.7 \text{ Hz}$$

依据离心式风机的轴功率与频率的三次方近似成正比的相似定律,其变频调速节电率

$$\begin{aligned}\Delta_{\text{rhm}} &= [1 - (f_q/f_e)^3] \times 100\% \\ &= [1 - (41.7 \text{ Hz}/50 \text{ Hz})^3] \times 100\% = 42\%\end{aligned}$$

另外,变频器的自身损耗为3%,按年300天运行节电量为:

$$371 \text{ kW} \times 83.3\% \times (42\% - 4\%) \times 10 \text{ h} \times 300 \text{ 天} \approx 35 \text{ 万kW}\cdot\text{h}$$

(4) 变频运行全年节电量 = 24 + 40 + 35 = 99万kW·h

当前平均电价: 0.53元/kW·h

全年节电价值: 0.53 × 99 = 52万元

全年平均节电率为:

$$(28.1\% + 48.8\% + 42\%)/3 = 39.6\%$$

结束语

通过对引风机的变频调速改造,可以使引风机随着锅炉负荷的变化无级调节其转速,有助于提高生产效率和机组自动化水平。经过较长时间的运行检验,该产品性能稳定可靠、功能齐全、技术先进,验证了国产自主开发的高压变频器在技术上已经处于世界先进水平。采用变频调速技术后,可以有效降低风机的振动和噪声,使引风机和电动机在启动时免受冲击,特别是减轻了风机叶轮、轴瓦、电动机轴承等的磨损,减少了风机和电动机维护量,降低了维修费用,延长了设备的使用寿命。电动机定子绕组大多数时间是在额定电压以下运行,定子绕组相对提高了绝缘水平,改善了风机和电动机的运行工况,变频调节风量节电效果显著,特别是在低负荷区段节电量随负荷下降而提高,功率因数的提高降低了大马拉小车带来的无功功率损耗,降低了企业生产成本,在高压变频改造领域具有极大的推广价值。EA

(收稿日期: 2015.09.25)

(编辑: 白文亭)

(上接第56页)

电的措施受限于电网层面特高压以及智能电网的建设,另一方面,目前用于提高风电电能质量的尝试较少,而要提高风电自身竞争力,还是要采取风储结合,风气互补等方式。而风储结合高昂的价格将限制其发展,从而使风储结合停留在为解决弃风限电不得不采取的技术手段。

通过有计划的国家引导、构建智能电网、完

善的电力市场情况将进一步促进风火置换、风电供热、风储结合技术的发展和运用,合理的使用应对措施,将保障电网运行的安全稳定,同时逐步提高清洁能源的上网比例。因此解决弃风限电需要国家和企业共同面对。EA

(收稿日期: 2015.10.11)

(编辑: 白文亭)