

【专家简介】于坤山，男，1963.1 生，硕士，湖南临澧人，教授级高工。研究领域为电能质量、定制电力和灵活交流输电技术。1994 年被批准享受国务院政府特殊津贴的专家，1999 年获得人事部有突出贡献的中青年专家称号和首届中国电机工程青年科技奖。电力行业电能质量及柔性输电标准化技术委员会副主任委员。现任输配电及节电技术国家工程研究中心总工程师、中国电科院电力电子技术研究所副所



新能源接入电网引起的电能质量问题

——中国电力科学研究院电能质量专家于坤山专访

记者：于总，您好！非常感谢您百忙之中就电能质量的有关问题接受我们的采访。新能源是目前比较热点的话题，能否请您谈谈这方面的情况？

于坤山：新能源又称非常规能源。是指传统能源之外的各种能源形式。指刚开始开发利用或正在积极研究、有待推广的能源，如太阳能、地热能、风能、海洋能、生物质能和核聚变能等

具体来说新能源的各种形式都是直接或者间接地来自于太阳或地球内部伸出所产生的热能。包括了太阳能、风能、生物质能、地热能、核聚变能、水能和海洋能以及由可再生能源衍生出来的生物燃料和氢所产生的能量。也可以说，新能源包括各种可再生能源和核能。相对于传统能源，新能源普遍具有污染少、储量大的特点，对于解决当今世界严重的环境污染问题和资源（特别是化石能源）枯竭问题具有重要意义。同时，由于很多新能源分布均匀，对于解决由能源引发的战争也有着重要意义。

据世界断言，石油，煤矿等资源将加速减少。核能、太阳能即将成为主要能源。

联合国开发计划署（UNDP）把新能源分为以下三大类：大中型水电；新可再生能源，包括小水电、太阳能、风能、现代生物质能、地热能、海洋能（潮汐能）；穿透生物质能。

一般地说，常规能源是指技术上比较成熟且已被大规模利用的能源，而新能源通常是指尚未大规模利用、正在积极研究开发的能源。因此，煤、石油、

天然气以及大中型水电都被看作常规能源，而把太阳能、风能、现代生物质能、地热能、海洋能以及核能、氢能等作为新能源。随着技术的进步和可持续发展观念的树立，过去一直被视作垃圾的工业与生活有机废弃物被重新认识，作为一种能源资源化利用的物质而受到深入的研究和开发利用，因此，废弃物的资源化利用也可看作是新能源技术的一种形式。

新近才被人类开发利用、有待于进一步研究发展的能量资源称为新能源，相对于常规能源而言，在不同的历史时期和科技水平情况下，新能源有不同的内容。当今社会，新能源通常指核能、太阳能、风能、地热能、氢气等。

按类别可分为：太阳能 风力发电 生物质能 生物柴油 燃料乙醇 新能源汽车 燃料电池 氢能 垃圾发电 建筑节能 地热能 二甲醚 可燃冰等。

记者：在所有新能源中，目前已进入工业应用并对电网产生冲击和影响电能质量的新能源发电型式主要是什么？

于坤山：在所有新能源中，目前已进入工业应用并对电网产生冲击和影响电能质量的新能源发电型式主要为：太阳能发电和风力发电。

太阳能是各种可再生能源中最重要的基本能源，生物质能、风能、海洋能、水能等都来自太阳能。

太阳能发电包括两种技术形式：太阳能热发电技术和太阳能光伏发电技术。

风能是太阳辐射下流动所形成的。风能与其他能源相比，具有明显的优势，它蕴藏量大，是水能的10倍，分布广泛，永不枯竭，对交通不便、远离主干电网的岛屿及边远地区尤为重要。

风力发电，是当代人利用风能最常见的形式，自19世纪末，丹麦研制成风力发电机以来，人们认识到石油等能源会枯竭，才重视风能的发展，利用风来做其它的事情。全球风能可开发总量大于人类现有消耗各种能源容量的总和。估计地球上具备商业开发价值的风能总量为72 TW，2005年全球所有能源总计消费量的平均容量为15 TW。

记者：根据您的研究，目前新能源接入电网相关标准都是哪些？

于坤山：国家有关新能源的标准，如下所列：

《光伏电站接入电网技术规定(试行)》

《国家电网公司风电场接入电网技术规定(修订版)》

《风电厂接入系统涉及内容深度规定(修订版)》

《小型电站(沼气、余热等)接入电网技术规定》

《电网企业全额收购可再生能源电量监管办法》

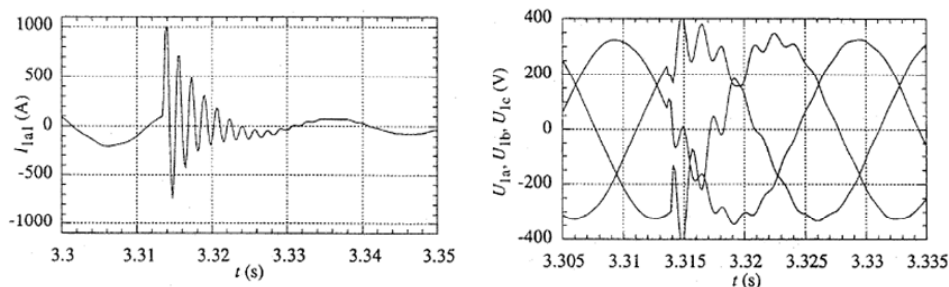
新能源接入电网相关标准的制定，说明国家电网已将新能源发电纳入标准化、规范化管理。这将是我国新能源发电走向市场化的重要一步，必将推动我国新能源产业的良性发展。

记者：接下来，请您具体介绍风电并网对电网电能质量的影响？

于坤山：风力发电机组大多采用软并网方式，但是在启动时仍会产生较大的冲击电流。当风速超过切出风速时，风机会从额定出力状态自动退出运行。如果整个风电场所有风机几乎同时动作，这种冲击对配电网的影响十分明显。不但如此，风速的变化和风机的塔影效应都会导致风机出力的波动，而其波动正好处在能够产生电压闪变的频率范围之内（低于 25 Hz），因此，风机在正常运行时也会给电网带来电能质量。主要是三个方面：

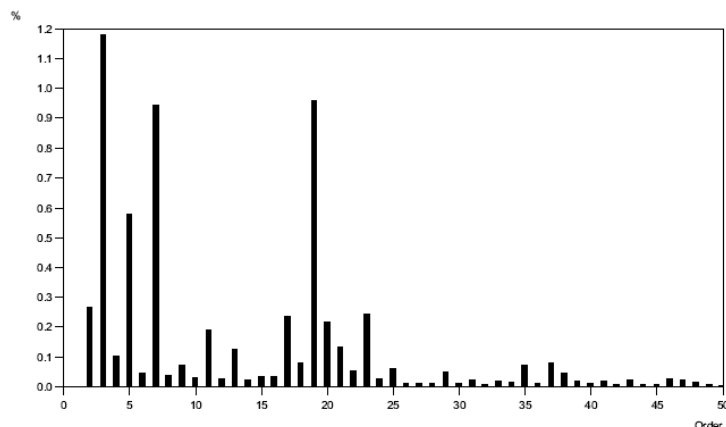
一：谐波

风电给系统带来谐波的途径主要有两种：一种是风力发电机本身配备的电力电子装置，可能带来谐波问题。对于直接和电网相连的恒速风力发电机，软启动阶段要通过电力电子装置与电网相连，会产生一定的谐波。

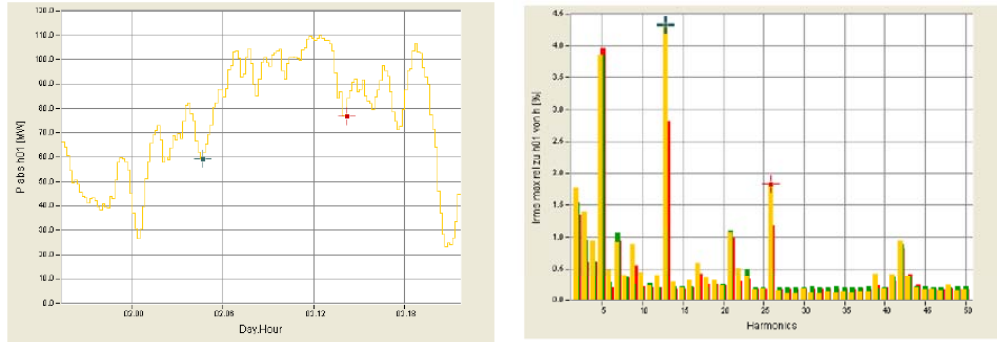


图一：恒速风电机组的电流和电压波形

对于变速风力发，变速风力发电机通过整流和逆变装置接入系统，如果电力电子装置的切换频率恰好在产生谐波的范围之内，则会产生很严重的谐波问题，随着电力电子器件的不断改进，这一问题也在逐步得到解决。另一种是风力发电机的并联补偿电容器可能和线路电抗发生谐振，在实际运行中，曾经观测到在风电场出口变压器的低压侧产生大量谐波的现象。



图二：1500kW 永磁直驱型风电机组输出谐波电流频谱



图三：风厂的电能质量：220kV 输出功率和电流谐波频谱

二：电压稳定性

大型风电场及其周围地区，常常会有电压波动大的情况，主要有以下三种。风力发电机组启动时，仍然会产生较大的冲击电流。单台风力发电机组并网对电网电压的冲击相对较小，但并网过程至少持续一段时间后(约几十秒)才消失。多台风力发电机组同时直接并网会造成电网电压骤降，因此多台风力发电机组的并网需分组进行，且要有一定的间隔时间。当风速超过切出风速或发生故障时，风力发电机会从额定出力状态自动退出并网状态，风力发电机组的脱网会导致电网电压的突降，而机端较多的电容补偿由于抬高了脱网前风电场的运行电压，引起了电网电压的急剧下降。

三：频率稳定性

大型电网具有足够的备用容量和调节能力，风电进入，一般不必考虑频率稳定性问题，但是对于孤立运行的小型电网，风电带来的频率偏移和稳定性问题是不容忽视的。

为保证电网安全稳定运行，电网正常应留有 2%~ 3%的机组旋转备用容量。由于风电具有随机波动特性，其发电出力随风力大小变化，为保证正常供电，电网需根据并网的风电容量增加相应的旋转备用容量，风电上网越多，旋转备用容量也越多。陕西是以火电为主的电网，火电机组的频繁启停费用较高，一台 50 MW 机组启停一次将消耗约 5 万元成本。为了满足风电机组并网运行，必须以降低网内其他电厂和整个电网运行的经济性作为代价。

记者：请您具体介绍光伏发电并网对电网电能质量的影响？

于坤山：先介绍一下太阳能光伏发电系统的组成：

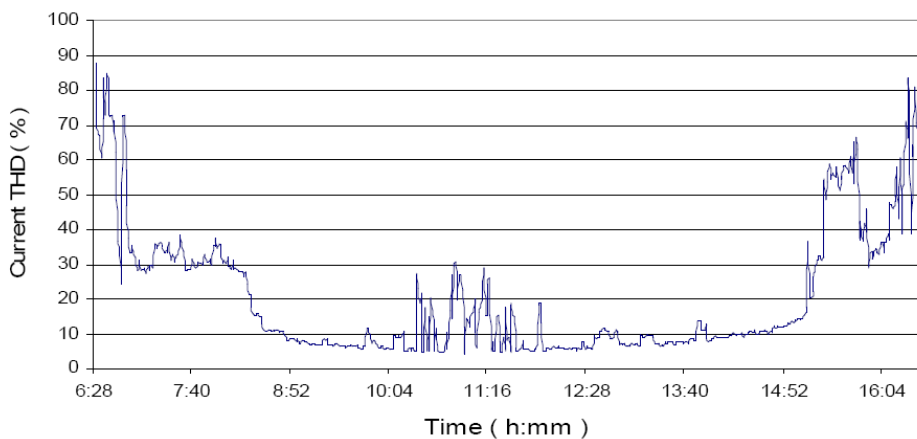
太阳能光伏发电系统主要由太阳能光伏电池组，光伏系统电池控制器，蓄电池和交直流逆变器是其主要部件。其中的核心元件是光伏电池组和控制器。各部件在系统中的作用是：

光伏电池：光电转换。

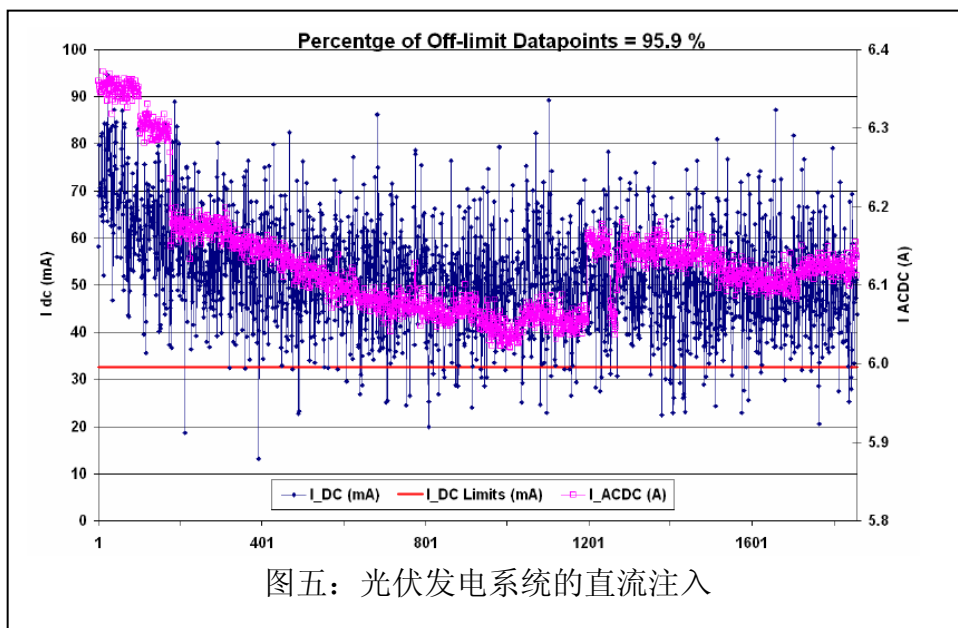
控制器：作用于整个系统的过程控制。光伏发电系统中使用的控制器类型很多，如 2 点式控制器，多路顺序控制器、智能控制器、大功率跟踪充电控制器等，我国目前使用的大都是简单设计的控制器，智能型控制器仅用于通信系统和较大型的光伏电站。

蓄电池：蓄电池是光伏发电系统中的关键部件，用于存储从光伏电池转换来的电力。目前我国还没有用于光伏系统的专用蓄电池，而是使用常规的铅酸蓄电池。

交直流逆变器：由于它的功能是交直流转换，因此这个部件最重要的指标是可靠性和转换效率。并网逆变器采用最大功率跟踪技术，最大限度地把光伏电池转换的电能送入电网。逆变器是通过半导体功率开关的开通和关断作用，把直流电能转变成交流电，是整流变换的逆过程。在此环节就会产生两个电能质量问题一是谐波问题；二是直流量注入问题。



图四：光伏发电系统的谐波电流 THD



图五：光伏发电系统的直流注入

记者：本次专访最后，能否请您谈谈针对这些新能源接入电网引起的电能质量问题，如何进行改善？

于坤山：总的来说可以从一下两个方面入手：

第一是改善新能源装置的性能，减少其对电网电能质量的影响，主要包括：

1. 采用高性能的电力电子装置，提高装置自身的功率因数、减少谐波发生量；
2. 安装电能质量治理装置，加强风电侧的无功支撑（如 SVC、STATCOM 等）；
3. 配备一定量的储能装置（采用飞轮、电池、超级电容等储能系统）；
4. 提高风电机组的低电压运行能力。

第二是提高系统接纳新能源的能力，包括：

1. 增加系统的旋转备用容量；
2. 采用先进的 FACTS 技术（柔性交流输电系统）；
3. 建设坚强的智能电网。

总结来说：新能源发电具有较强的不确定性，造成输出功率的随机波动性，从而引起电网频率偏差、电压波动与闪变。另外采用电力电子装置接入的新能源发电系统还需要关注注入电网的谐波和直流分量的影响。为应对未来新能源快速发展的趋势，电网需要加强自身建设，采用先进的技术积极构建坚强的“智能电网”。