

## 12: 电网



中国的电力系统正在计划进行扩张以及区域联接设计，以满足中国将来的电力需求，并加强电网以实现从电站特别是水电站到主要电力需求中心的大量电力输送。其核心是将成为长江沿线传输骨干网重要组成部分的三峡18.2GW水电工程。

### 12.1 广东电网简介

广东省500千伏的电网，围绕着中南部的广州形成一个环网。作为南方联合电网一部分，中南500千伏环网与西边紧密联接在一起。其它的500千伏电路

沿海岸线向东面和西面，以及向北延伸<sup>[60]</sup>。

广东从国内其它地方，通过铁路和海洋输入原煤到其省内的发电站，并从贵州输入一些原煤到其西北部。大部分水电来自于西边的云南省和贵州省，经由广西省进入广东。广东自身的水电储量有限，而且主要分布在北部地区<sup>[61]</sup>。

### 12.2 广东电网联接

在最近几年，中国由一个能源输出国变成能源输入国。广东

省在很大程度上是一个纯粹的能源输入省，大概占需求88%的能源都是由省外提供的<sup>[62]</sup>。全省电网共有五处500千伏的外省联接，其中有三个通过直流方式连接，而且全部联接都是到广东北部，特别是西部省区。由于广东自身能源的不足，这些联接电路对电力输入是极其重要的。西部的联接主要是用来输入水电<sup>[60, 62]</sup>。

广东电网联接虽然大部分用来输入能源，但是仍然可以认为广东电网系统发达，而发达的传

输网络十分有助于提高风电在电网上所占的比例。这一点在丹麦的例子中得以体现，有关案例分析在下文中讨论。

广东计划建更多的输电线，以便从贵州输入更多的水电(1800MW, 500千伏)，以及从广西调进更多的火电(直流方式)。亦有计划通过海底电缆的高压直流输电方式将海南联接到广东的主干电力系统中来。

## 12.3 区域状况

广东境内主要的电力需求集中在南部和中部的沿海地带，其次是东南和西南的沿海地带。这决定了电网从西部和北部输向南部的强大电流。随着这些地区的用电需求不断增长，横跨全省的输电电流可能会持续增大，导致电网可能需要升级。

许多地区的状况是，风资源丰富的地区往往远离主要的需求区域，这就给传输风电带来了困难，例如电网扩建问题。在世界各地，电网扩建一直是个大问题，一方面它导致了风电成本的升高，另一方面大范围的传输系统改造也会延迟风电的上网和使用。一个很好的例子是英国，在北部风能资源丰富地区的许多风

电项目被要求等上十年，到电网完成更新时，他们才能联网发电<sup>[63, 64]</sup>。

然而，非常幸运的是广东省风资源最丰富的地区都在南部的沿海地区，一般都比较靠近主要的用电需求中心。这就意味着风电的传输距离相对要短一些，电能的传输损失也会小一点。因此不需要大范围的电网改造，就可以很快而有划算地建设风电场并入电网。另外一个好处，就是利用洁净的风能在南部的主要用电需求中心周围发电，可以减小来自北部和西部水电的巨大流量，从而减小跨省的传输损失和电流量，也降低了对西北部的发电基地电网改造的要求。从其它省区输入广东的原煤需求也会因此而降低，从而带来更多的经济和环境效益；同时减少输入，提高自给率，也能降低电网联接点的电流。

沿海地区的电网建设相对落后，风电还需通过地方电网并入全省电网。但这只要用小规模的传输线路将风电并入到东部和西部沿海的500千伏传输系统，而不用进行大规模的电网改造。从沿海至500千伏电路的距离大部分都在50公里以下，而来自外省

的水电传输距离是几百公里甚至几千公里，相比而言，风电传输距离简直是微不足道的。对本地电网联接需求见<sup>[61]</sup>。

## 12.4 风电所占比例

一提到风电，常常就想到它的挑战性。这有两个主要原因：其一，风电增加了的电网需求的波动性；其二，风电找不到可以帮助其维持供电质量的辅助，第二个问题已经在现代风机的设计中被解决。

中国目前把各省电网中风电所占的比例上限设定为5%，考虑到电网可以接纳风电的能力，这个上限是值得讨论的<sup>[65]</sup>。与许多国家特别是丹麦的Eltra系统相比，这是明显偏低的。在丹麦的Eltra系统中，风电年发电量占整个电网的16–20%，而装机容量占整个电网的32%<sup>[66]</sup>。相对于具体的时间段，电网中风力比例则经常超过总的用电需求量，即大于100%。Eltra对它所辖区域内的风电场建设不加控制，它采取与挪威、瑞典和德国联网的方式来解决风力发电量波动的问题。最近Eltra开始要求风电场转变为“风能电厂”。这实际上意味着，风机真正的无功输出可以得到更为

灵活的管理和控制。同时风电场将如常规能源一样，将发电输往变电站。

Eltra指出：“由于风电所占比例大而且在持续增长，将风电纳入电网的观念显得非常的必要。由于规模和产能的原因，把海上风电场当作风能电厂来运营是很有意思的。新的技术和创新将使风电场的运营向常规能源电站靠拢，逐步能符合各种控制要求”。<sup>[67]</sup>

在英国，输电系统运营商表示，在符合某些技术标准基础上，电网中风电比例占10%到20%应该没有问题。其它国家和地区也持相似的态度<sup>[68]</sup>。

在达到一定的比例之前，风能不能给系统运营商带来大麻烦。这是因为相对于需求来说，风电随时间的波动性显得并不显著，当考虑到电力储量的边际性时风电容量小到可以忽略不计，而其它能源所提供的电能足以维持供电质量。比例增加到某一程度，给系统运作造成的困难取决于整个系统的特点，如规模、各种发电量比例、需求分布等等。通常把20%作为基准，这也应该适用于像广东这样庞大的电网系统。事实上，广东电网的联接性

较好，即使电网中风电的比例象丹麦一样超过20%也应该可以管理。由于广东电网有大量的水电，这也提高了高风电比例的可行性。因为水电动性好，反应迅速，通常被认为是最适合与风电互补的能源<sup>[69]</sup>。

有关高风电比例地区电网的评估，可参考南澳大利亚电力供应工业署公布的一份报告<sup>[68]</sup>。这份报告包括了丹麦、英国、德国、西班牙和其它国家的情况。有力地证明了电网中风电的比例超过5%，是完全可以实现的，特别是在大型的、联接良好的电网。如在第三章中的讨论，广东20GW的风电发展目标可能会导致电网中风电比例达到大约20%，这还是比丹麦32%的比例要低得多。

风电达到100%的比例，其实没有什么特别的技术障碍，最终决定的各种发电方式所占比例的是经济原因。即使没有风电，运营系统也一样要解决需求和产量变化的难题。一切都是以服务需求为信念，以发电和电网稳定为前提。各种不同的发电方式起着不同的作用：核电是缺乏灵活性的基本量；水电便于储存，可作迅速

反应；而火电中期的机动性可以解决需求的日变化问题。以集中的大型发电单位为支撑的电网系统最容易因为突发事件而断电，而分布式电网系统，如包括许多比较小型而且分散的风电场的电网系统，自然会比较可靠。

## 12.5 其它问题

中国特别是广东的主要输电网络还存在的其它问题包括：稳定性、低频电振荡和电压变动<sup>[70]</sup>。这些问题大部分都因国内各省到广东漫长的输电线路而产生的。而广东省境内的风电场却可以建立在离需求中心不远的地方，这些问题也可因此淡化，也并没有因此加重电网的负担。此外，现代的风机具备新的技术性能，包括：功率控制、无功功率控制、频率响应、电压控制以及经受传输系统故障的考验。风电可以为传输系统的管理和运作作出积极的贡献，而且可以像常规电站那样工作。值得注意的是，丹麦和西班牙等国家运用的是技术非常基础的风机，不过还是实现了远不止5%的高风电比例。

预测设备的使用提高了风电产量的可预测性，同时新的风

电储蓄技术，或是对应更广的储电技术，都开始在市场上涌现。从中短期来讲，电网应用的储存可能要依靠传统储存能源的传统化学容器。水电有望成为问题的解决方案，不过还有待进一步的研究。

## 12.6 结论

现阶段，广东省大约88%的用电需求依赖于北部和西部省份火电和水电的输入。大部分都是通过500千伏直流或交流输电线从省外输入到广东，并且联接点和容量都有扩充的计划。另外，大量的原煤通过铁路和海运运往广东。

广东大部分的用电需求都集中在以广州为中心的南部和中部，以及从东部沿海和最西端。而这些地区正是风能储量丰富的地区，因此从电力的前景来看，风电可能给广东带来许多方面的利益，包括：

- 减少对输入原煤和水电的依赖；
- 减小从北部和西部到用电需求中心的电流量，同时也降低了对改造电网和建立新联接点的需求；
- 减少电能损耗，通过发电源与

用电需求中心距离的缩短。

由于大部分的500千伏输电线路都布设在沿海50公里左右的地带，而且在沿海地带还有电压稍低的输电网，风电场上网需要做的电网建设工作并不多。

考虑到电网稳定的问题，现阶段中国设定了风电场装机容量不超过电网容量5%的上限。而其它国家的经验却证明这是保守的，而且有一种说法被越来越广泛地接受，就是大部分的电网系统可以容纳20%的风电比例，而电网的运行状况并不会因此而变得糟糕。这在一些国家特别是丹麦已经得到证实，丹麦电网系统风电的比例达到16%，瞬时风电比例可以超过100%。西班牙和德国的风电基本发电量比例也到了大概15%的水平。

除了上述事实，现时的风机实际功率和无功功率都可以得到有效的控制，因此可以帮助输电系统进行频率和电压控制，在电网故障时仍可保持在网。这样，风电场可以协助电网的运营和控制，因此变得更有吸引力——因为它不会加重电网负担，却可以协助电网更顺畅的运行。



© 绿色和平/胡威