

混合发电

利用混合发电达到协同效应

组合发电技术可用来建设这样的电厂：它的全部发电量超过内部每一部分发电量的总和，但是工程上的挑战意味着这些项目绝非易事。

文 | Thomas W. Overton, JD

今天，当你想到“混合动力”这个词时，你首先想到的很可能是汽车，但是混合动力发电厂，同样开始在电力行业出现。将不同发电方式集于一处，这绝非一个新想法。当原有发电厂仍有空间时，使用这些空地是一个更简单和更经济的方法，而不是建立一个新电厂。

最新趋势是将具有不同性能特点的发电资源组合使用，取长补短，使总发电量超过两套系统独立发电量之和。这个新趋势的推动力是过去十年，风能和太阳能发电行业巨大的增长。和风力、和阳光的间歇性已经成为电厂和电网运营商的关注焦点。当其他电厂正积极对风电场和太阳能发电厂的波动输出进行补偿，电厂开发人员已经开始寻找一个能结合各种资源来降低这种间歇性输出的解决方案。

太阳能 + 天然气：带来热能

这种组合从装机容量来说可能是最大的一种，它构成了一个太阳能组合循环 (ISCC)。这 6 座 ISCC 发电厂把全部聚光太阳能动力 (CSP) 与传统的联合循环装置组合起来，使用 CSP 系统产生的蒸汽来减少一天中燃气轮机的燃料消耗。这种组合的主要好处是，两个系统采用相同的蒸汽循环，与传统的 CSP 厂



Ain Beni Mathar 集成太阳能联合循环电厂位于摩洛哥东部，生产能力达 470MW，其中 20MW 来自集中式太阳能系统

相比，节约了大量成本。同时它也提高了联合循环电厂的效率，降低每兆瓦电的总排放量。充足的太阳辐照和燃气轮机燃料的经济来源组合在一起能达到最理想的效果。毫不奇怪，到目前为止大多数已完工的 ISCC 工厂位于北非。

这个领域的大多数开发项目由西班牙阿文戈亚太阳能公司承担。它的第一座公用事业发电厂是阿尔及利亚的 HassiR' Mel，其发电能力为 150 MW，于 2008 年开始建设，2011 年中期投入

运营。工厂使用约 18 万 m² 的太阳能收集器，为天然气厂输出了约 25 MW 的电力。

并不是所有 ISCC 发电厂都属于新建项目，一些涉及将 CSP 加入原有的联合循环装置。而佛罗里达电力 & 光 (FPL) 的马丁新一代太阳能中心（一座建于 2011 年的工厂）是其中最大的一座，CSP 发电能力达到 75 MW。原有 3700 MW 马丁郡电厂在 2010 年完成改造并投入运营，46.4 万 m² 的 CSP 电场

将电流送到邻近的4×1循环机组8。

马丁发电厂经历了一些成长的烦恼，CSP系统出现多处传热流体泄漏。由于这些问题，以及与机组8同步运行方面的困难，工厂没能实现其预期发电量，因此CSP电厂输出得到高效利用。

其他大型的ISCC项目正在开发过程中。2015年1月份GE宣布，它已经与沙特阿拉伯签署了一份协议，向其600 MW的GreenDuba ISCC提供600 MW的涡轮机和蒸汽循环系统。该国西北地区的设施将包括两种机组，550 MW的通用电气循环发电厂，CSP生产能力为50 MW。

必须指出，实际上大多数表面上“仅采用CSP”的发电厂还有一定数量的燃气生产能力来加强CSP系统。一般来说，这部分增加的生产能力用于每天早晨对系统重新加热，在多云期间使输出更加顺利，而它并不连续运行。

太阳能+生物质：双重使命

CSP和生物质发电的组合产生的协同效应与上述CSP同天然气混合发电产生的协同效应类似。第一家这种工厂于2012年在西班牙的Les Borges Blanques投入运营。Abantia和ComsaEmte开发的22.5 MW的Termosolar Borges发电厂使用MAN和西门子的组件，将CSP油循环与生物质燃烧器进行集成。CSP循环产生的蒸汽使燃烧器过热，在夜间，仅依靠生物质进行发电。将天然气作为备用能源，在必要时使用。

太阳能+地热：清洁蒸汽

地热发电和太阳能之间的协同作用与天然气和太阳能一样，但它不需要燃料，也不产生废气。缺点是这种混合系统仅限于在拥有丰富地热资源和充足太阳能辐射的地区使用。幸运的是，在美国西部和其他地区有许多这样的地方。

首先，迄今为止最大的地热-太阳能混合发电厂仍是内华达州法伦的Stillwater（2012年发电量第一），它于

2012年5月投入运营。Stillwater的Enel Green Power North America拥有和经营一个33 MW的地热工厂，工厂内安装了26 MW的太阳能光伏（PV）面板。

这种组合有助于实现好多种协同效应。在中午时间，当光伏电池板输出达到最高值时（也就是风冷冷凝器与环境热量进行较量时），地热系统效率降到最低点。相反，在凉爽的夜间，当太阳能电池停止工作时，系统达到最高效率。组合发电使发电厂能稳定生产，进一步实现负荷跟踪。

太阳能+水能：罕见

有一个太阳能-水力混合发电系统正在运行，这可以说是全世界最大的混合发电系统，在中国中部的青海省，龙羊峡水电站新增一个320 MW的太阳能发电厂。虽然关于这个项目的信息量极少，但是我们知道这个太阳能发电厂于2013年投入运营，而大坝从1992年开始投入使用。

太阳能+风能：警报解除

面对关于间歇性输出的质疑，可再生能源拥护者的响应始终是风能和太阳能发电的间歇性往往能彼此抵消，至少在理论上是这样。在一天的中间时段太阳能输出最高，而风力发电在夜间达到高峰。但是如果两种资源被远远分开，电网运营商就必须努力平衡整个电网的输出竞争，从而减少协同效应。

风力和太阳能发电共同运行使电站运营商能从源头控制间歇性，大大降低电网负担。2013年，柏林的ReinerLemoine研究所和Solarpraxis发现，同一地点风能和太阳能联合发电在相同面积内会产生两倍的发电量，使风力发电的遮光效应降到最低。“事实上，风力和光伏发电向电网提供更稳定的电能，对电网稳定性产生积极影响。”ReinerLemoie研究所的管理董事Christian Breyer在发表的研究论文中宣布。

但是综上所述，大多数这类设施仍

在构想中，因为它们需要合理的位置。其中一个例子就是位于加利福尼亚州兰开斯特地区郊区的法国电力公司可再生能源公司的143 MW的卡特琳娜太阳能项目和140 MW的太平洋风力项目，它们利用当地充足的风力资源、广泛日照和政策支持。这个风力发电厂于2012年完工，太阳能工厂在2013年实现全面运行。尽管各自作为单独的建设项目，但两个工厂相距仅1 mile（1 mile = 1609.344 m）左右，共享电力和传输基础设施。根据法国电力公司的数据，合并后运行的输出功率约50%~60%，而单独运行的发电厂的输出功率为35%~40%。

风能+水能：充分覆盖率

抽水蓄能水电是一种资源，专门用来与可再生资源配合使用，例如西班牙加那利群岛中的耶罗岛。在当地，一个11.5 MW的风力发电站和一个11 MW抽水蓄能水电站为台湾提供100%的可再生能源。当风力涡轮机发电供过于求时，电能将水从地势较低的水库向上抽取达700 m高，直到另一个高地水库。当需求超过风力涡轮机能提供的限度时，通过水泵涡轮机排水，利用水力运行。

2014年上线的系统使台湾不再依赖昂贵的，而且岛屿电网指望不上的进口燃油。这个项目已经取得成功，目前正在欧盟的克里特岛和马德拉群岛等岛屿进行可行性研究。

前景展望

尽管其中一些项目和项目组合需要大量工作，但混合动力发电厂领域仍处于起步阶段，正在经历“成长的烦恼”。天然气和CSP的协同效应和互补技术，更不用说独立CSP发电厂的大笔费用，可能意味着ISCC在可预见的未来会继续保持领先地位。混合动力发电厂在可再生能源间歇性管理方面的潜力意味着，由于可再生能源的生产比例不断提高，越来越多的人将关注这一领域。MM