

绿色氢和电解负荷系数：房间里的大象

目前，电力行业对使用“绿色”氢发电的前景感到非常兴奋。“绿色”意味着氢将使用称为电解槽的技术从可再生电能中生产，不会造成与气候变化相关的碳排放。

氢电解槽使用电从水中产生氢气。然后可以将产生的绿色氢储存起来，以备日后用于燃料电池或燃气轮机以再生电力。令人兴奋的是吹嘘可以使用“过剩”的可再生能源——否则会被浪费的可再生能源。

由美国能源部 (DOE) 和其他机构赞助的技术研究旨在解决当前生产和使用绿色氢的技术挑战。在大多数情况下，这些挑战包括安全性、提高电解槽性能、运输和储存氢气，以及核心挑战：将生产绿色氢气的成本从目前的每公斤 (kg) 5 美元至 6 美元 (US) 降低至 1 至 2 美元/公斤。

一旦产生了绿色氢气，在将其燃烧以用于公用事业涡轮机方面面临着额外的挑战。这包括控制一氧化氮 (NOx) 排放等问题，以及燃烧的氢气对目前用于制造涡轮叶片的材料具有腐蚀性这一事实。

出于本文的目的，我们假设所有这些技术挑战都将得到解决。但房间里仍然有一头众所周知的大象。似乎没有人谈论的大象降低绿色氢气生产成本的动力是悄悄地假设电解槽将以相对较高的年负荷系数运行，并且仅依赖电解槽本地的可再生能源，或其本地公用事业，甚至本地批发市场，将无法支持如此高的负载率，它们缺乏稳定性，重要的是缺乏时间多样性。

解决方案？通过具有成本效益的区域间电力传输，将时间多样化的可再生能源长距离汇集在一起。

示例项目

例如，考虑在犹他州三角洲附近的山间电力项目 (IPP) 站点正在进行的绿色氢项目。在那里，现有的 1,800 兆瓦燃煤电厂为犹他州和南加州的市政公用事业提供基本负荷电力。南加州市政当局已选择在 2025 年退役该工厂，比原计划提前两年。该工厂仍然存在，但其加利福尼亚客户将消失。

在洛杉矶水电部 (LADWP) 的领导下，一座 845 兆瓦的天然气联合循环燃气轮机 (CCGT) 电厂将作为南加州市政当局退役燃煤电厂的替代方案。尽管天然气的碳排放量低于煤炭，但它的碳排放量仍然很大。为了进一步减少碳排放，有人提议 CCGT 最初将使用 30% 的绿色氢气和 70% 的天然气混合燃烧，随着当前与氢气相关的技术和成本挑战得到解决，随着时间的推移增加到 100% 的氢气。

Figure 2
Conceptual Green Hydrogen Electrolyzer Production Cost Curve

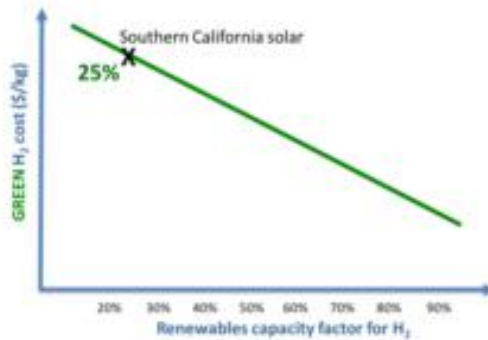


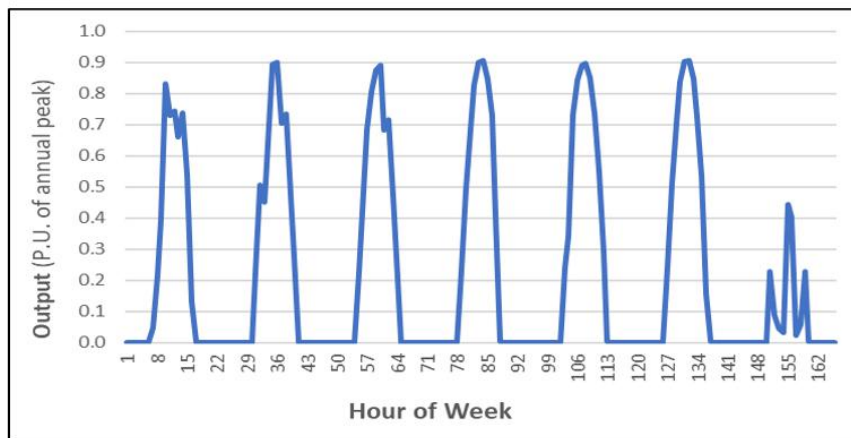
图 绿色氢生产的成本曲线作为可用可再生能源燃料容量因子的函数

每单位输出的预期成本目标，它们需要在高负载系数下运行——也就是说，将其大量资本成本分摊到大量能源输出上，运行电解槽的可再生电力的可用性越高，绿色氢输出的单位成本就越低。

从概念上讲，可以使用来自南加州的太阳能。但那里的太阳能资源的年容量系数约为 25%——无论是在分布式屋顶上生产还是从公用事业规模的太阳能农场生产，因为这些太阳能资源彼此之间缺乏时间差异。它们要么全部开启，要么全部关闭，这取决于太阳的昼夜循环。单独使用加州太阳能在电解槽成本曲线上看起来并不好（图 2）。大象在这里大声对我们说话。

Figure 3: Elephant Antidote: Time Diversity

So. California Solar



解决方案

公用事业、公司和电解槽公司仅使用当地的可再生能源无法实现高水平的可再生能源。相反，他们还需要从其他地区获取时间多样化的可再生能源。这是迄今为止公用事业公司尚未充分探索的一个选项，但他们需要。考虑位于 IPP 站点的大型电解槽，仅使用类似数量的南

加州太阳能进行燃烧。图 3 描绘了典型一周的这种设置，电解槽电源随太阳峰落，并且平均只有大约 25% 的时间可用。

Figure 4: Elephant Antidote: Time Diversity

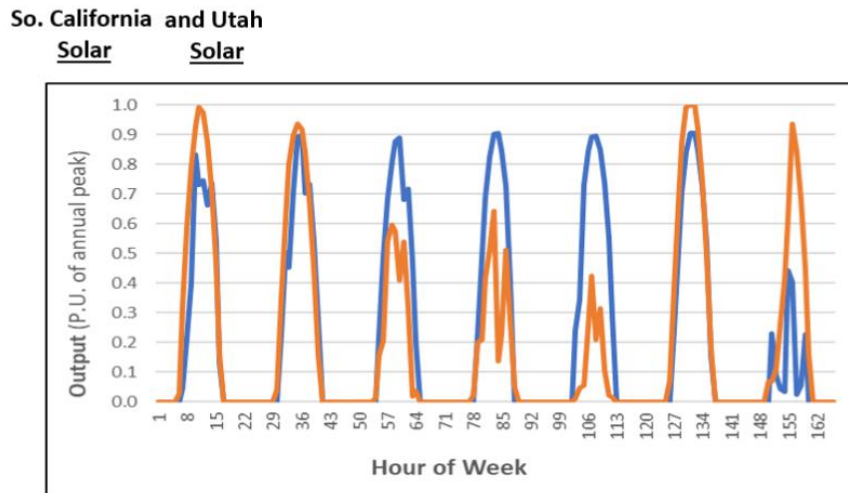
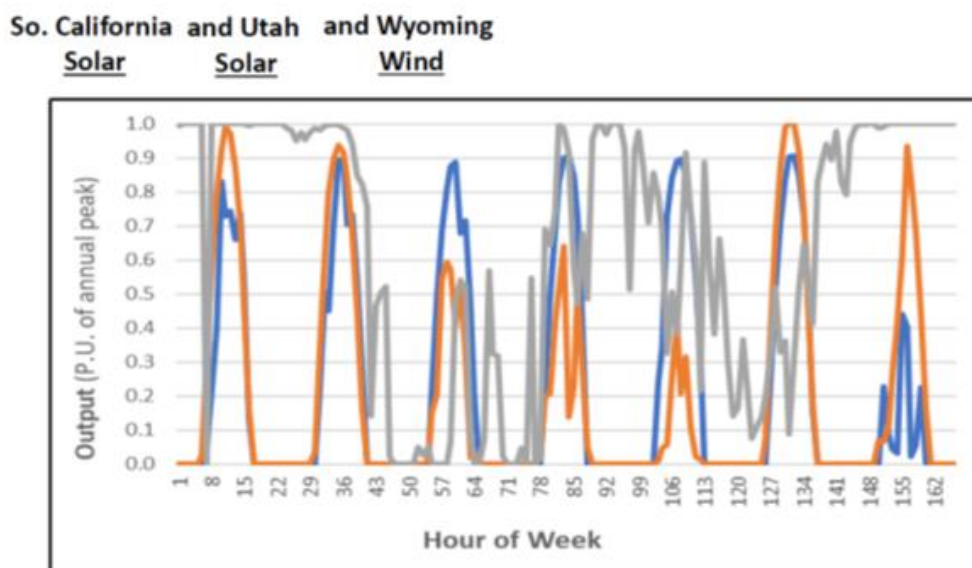


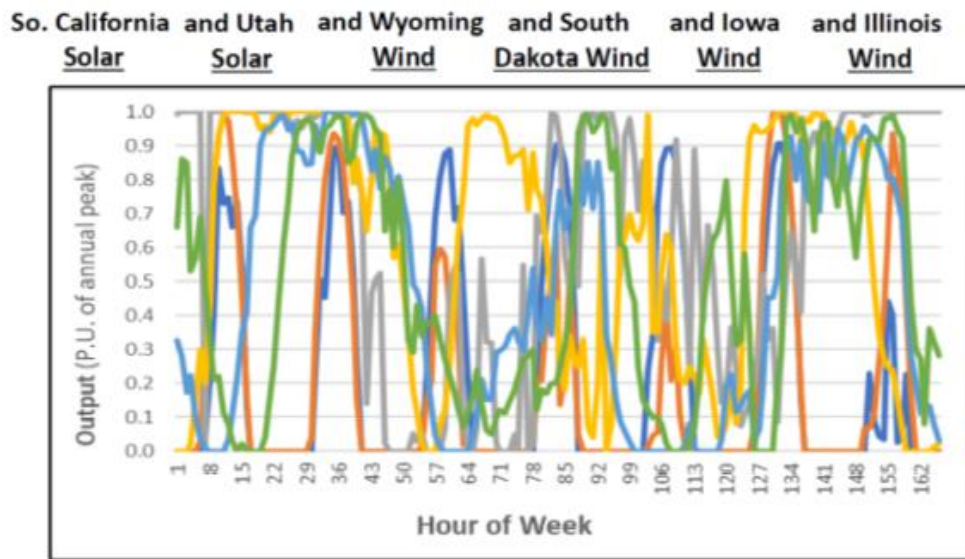
Figure 5
Adding Wyoming Wind



如果我们在犹他州增加当地的太阳能供应会怎样？据报道，达美的传输互连队列中有很多新的太阳能容量在等待。图 4 显示了结果。可悲的是，南加州太阳能和犹他州太阳能之间几乎没有或没有时间多样性（但可能有一点云层多样性）。它们在经度上相距不远。太阳大约在同一时间到达和离开它们。所以这没有多大帮助。

如果我们想得更广泛呢？如果我们将怀俄明州的风从远处引入 IPP 会怎样？有几个项目提议使用高压直流 (HVDC) 传输来做到这一点。图 5 (下图) 描述了同一周内 Delta 的情

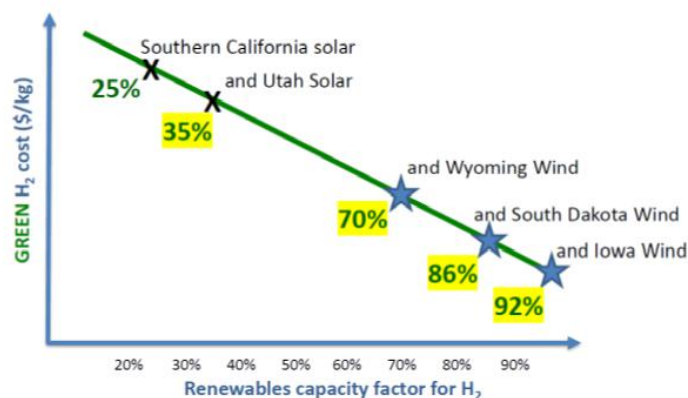
况。现在事情看起来好多了。在这个例子中，一周中的三个晚上现在有可再生能源供应，以配合白天的太阳能。



到现在为止还挺好。如果我们将南达科他州（或内布拉斯加州）、爱荷华州和伊利诺伊州的风添加到图片中会怎样（如图 6）？这导致每小时相对稳定的可再生能源供应。这只是一个示例周。随机选择您想要的任何一周；图片是相似的。时间多样性很重要。您当地的可再生能源可能经常运行。但是，如果您可以访问时间多样化的可再生能源，几乎总能在某个地方找到它们。

图 7（下图）重新审视了之前的电解槽生产成本曲线，添加了时间多样化的可再生能源。显然，这种时间多样性对于解决绿色氢梦想所面临的房间里的大象问题很重要。

Figure 7
Conceptual Green Hydrogen Electrolyzer Production Cost Curve
with Time-Diversified Renewables

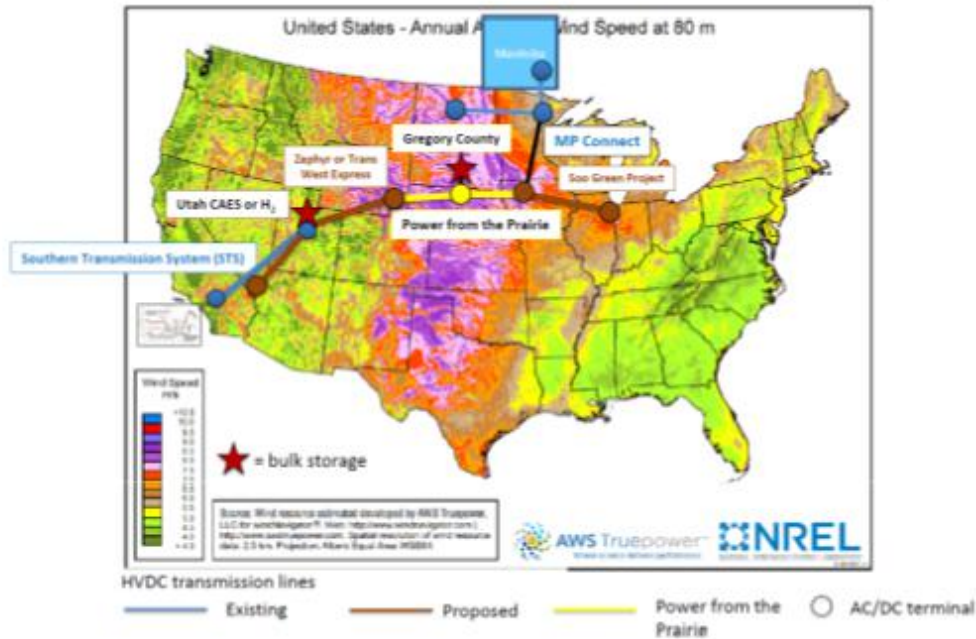


我们如何实际实现时间多样化的可再生能源来制造绿色氢？或者就此而言，任何人都可以实现高水平可再生能源的目标？答案是区域间高压直流输电。

Power from the Prairie LLC（以下简称 PftP LLC）开发了这样一个项目。来

自草原的电力是一条拟议的 4000 MW 高压直流输电线路，从怀俄明州的风场延伸，穿过南达科他州或内布拉斯加州，到达爱荷华州西北部的风场（底部图 8）。它将在中间有一个 DC/AC/DC 换流站，以实现全国一些最好的风力资源中数千兆瓦的新风电项目的互连，这些资源目前因缺乏输电和市场准入而被内陆。

Figure 8
Power from the Prairie – Project Illustration



该项目还可以包括大型、持续时间长的电网级储能，如拟议的南达科他州格雷戈里县抽水蓄能项目（1200 至 1800 兆瓦，24 至 36 小时的存储时间），如果发现除了线。或相反亦然。

结合现有和拟议的风载高压直流输电项目，来自草原的电力将使时间多样化的可再生能源从洛杉矶到芝加哥和向东的双向交换成为可能。通过启用双向交换，这种输电线路的经济性从风到负荷的商业模式得到了显著改善。

在对长期能量存储的持续关注中，它的作用类似于“虚拟”存储。一个地区可以通过高压直流输电输出其过剩的可再生能源，然后从另一个地区进口时间多样化的可再生能源。物理存储真的发生了吗？不必要。返回的能源可能是其他地区时间多样化的可再生能源过度发电。

除了支持绿色氢的生产外，此类开发还可以用于使加利福尼亚州实现其计划的高水平可再生投资组合标准（到 2045 年达到 100%）。当加利福尼亚不可避免地从其太阳能光伏装置中产生过多的发电量与客户在太阳能日期间的负荷相比，它可以通过网络将过剩的生产输出到其他州，然后从先前签订的合同中“交换”可

再生能源。太阳落山时的其他状态。

作者：Power Engineering

罗伯特舒尔特和弗雷德里克弗莱彻