



## News &amp; Highlights

## 输电基础设施挑战可再生能源的使用

Mitch Leslie

Senior Technology Writer

美国加利福尼亚州计划到2030年60%的电力将从可再生能源中获取[1]。但是，该州自身只能生产大约一半的电力，其余的则需要通过进口获得[2]。相比之下，到2030年，美国中西部地区的可再生能源发电量将超过所需电量的两倍，以至于该地区的风电场必须将其发电量削减61% [2]。

对于这种不平衡的问题，即如何将中西部地区的多余电力输送到加利福尼亚州，当前美国电网无法找到合适的解决方案。总部位于美国华盛顿州的贸易组织Wires包含电力公司、输电线路运营商和工程公司[2]，由其委托发布的一份最新报告指出，为实现各州和各公司设定的可再生能源目标，美国需要建立大量新的输电线路以在区域内和区域之间输送电力。

中国和欧盟面临着与美国相同的挑战。他们都试图将更多的可再生能源纳入其能源结构，因为电力需求最高的大城市不一定靠近可再生能源最便宜和最丰富的地区。但中国和欧盟采用与美国不同的策略来修改电网以分配电力。

在美国，风力发电的主要地带是该国的中部地区，即从得克萨斯州到加拿大边境[3]，而西南部各州则具有最大的太阳能发电潜力[4]。美国爱荷华州立大学电力系统工程学教授James McCalley说，由于建造新的输电线路要比建设收集可再生能源的设施便宜，如果这些设施位于这些能源丰富的黄金地段，消费者将会获得最便宜的电力。“理想情况下，我们希望在资源质量最好的地方建造设施，然后将能源输送到所需要的区域。”

美国麻省理工学院电气工程学教授John Kassakian表示，大家普遍认为美国电网正在崩溃且跟不上时代，但这种观点是错误的。“很明显，目前的电网满足了各处所需。”美国匹兹堡大学工程学教授Gregory Reed说，无论如何，美国电网的确需要进行大规模的升级，才能最佳地分配大量可再生能源。Reed说，一旦可再生能源设施开始提供千兆瓦的电力，而不是如今常见的兆瓦电力，“我们就没有充足的电网基础设施来输送了”。

然而，美国依靠的主要是3个独立的电力网络，而不是一个完整的全国性电网[5]。东部电力互联网络覆盖该国东部和中部大部分地区。西部电力互联网络为几乎整个大平原以西的地区提供电力。第三个电力网络服务于得克萨斯州的大部分地区。McCalley说，尽管电力可以在各个电力网络中传输，但是只有少量、低容量的连接将这3个系统连接在一起，并且它们几乎不共享电力。因此，内布拉斯加州的风能无法到达洛杉矶，而亚利桑那州的太阳能也无法被用于纽约。

Reed说，升级美国电网以优化可再生能源的分配“需要对高压直流输电进行大规模投资”。与在美国占主导地位的交流电（AC）相比，高压直流（HVDC）输电线路通过相同的路线可以传输8倍的电力，而且每公里损耗的功率更少[6,7]。Reed说，高压直流输电线路的建造成本也更低。但是，由于高压直流输电线路两端的地区都需要昂贵的换流站来与交流电进行电力转换[8]，除非它们的长度大于300 km，否则它们并不具有成本效益。McCalley说，美国目前有5条高压直流输电线路，

但只有两条被用于远距离传输可再生能源生产的电力。一条500 kV的线路从西北太平洋地区给加利福尼亚州南部地区带来1361 km外的水电，另一条450 kV的线路从魁北克地区传送水电到1480 km外的马萨诸塞州[9]。

许多改造美国电网并增加长距离高压直流输电线路的方案已被提出[7]。全球能源互联网发展合作组织（Global Energy Interconnection Development and Cooperation Organization）在2019年发布的一项计划要求，到2035年在北美增加10条新的800 kV超高压直流输电线路，以及多条新的高压交流电线路[10]。美国国家可再生能源实验室（US National Renewable Energy Laboratory）于2018年进行的一项研究，评估了建立东西部地区互联电网之间更牢固联系的3种方法[11]。例如，一项提议建议增加互联电网之间现有连接的能力。第二种方案是增加3条高压直流输电线路，将中西部和南部地区连接到西部各州。第三种方案是建设一条为全国大部分地区提供电力的高压直流输电“宏网络”。研究发现，这3种选择均优于仅增加每个互联电网中的交流线路数量的方法，且节省的成本在13%~26% [12,13]。如果美国采取碳定价政策，收益将更大。协助进行这项研究的McCalley说，增强互联电网之间的电力交换将会提高电网的可靠性、弹性和适应性。

但是，是否建造新的高压直流输电线路尚不确定。Reed说，美国没有升级完善国家电网以容纳更多可再生能源的国家战略。潜在的新线路面临经济和政治方面的障碍。Kassakian说，由于获得许可十分困难，因此“建立新的电力输送渠道是一个真正的挑战”。任何拟建的输电线路都需要得到其所在州的政府的批准，有些州不同意建造高压直流输电线路[14]。Kassakian说：“各州对



图1. 过去20年，中国积极扩大了高压输电能力。图为新建运行的1100 kV的超高压直流输电线路的一部分。该线路是输送距离最长、电压最高的线路，连接中国西北部的新疆和东部的安徽，全长3293 km。图片来源：人民网湖北频道，2019年9月28日。

建造线路基本上都是垄断的。”

而且，并非所有人都认为需要建造这些新的运输线路。美国加州大学伯克利分校电气工程和计算机科学副教授Alexandra von Meier说，一些替代方法，如增加本地电力存储和更好地控制需求等，可以在不用建造大量新线路的情况下更多地使用可再生能源。她说：“如果建造输电线路是必须的，我支持，但是在这样做之前，我们应该考虑其他解决方案并权衡取舍。”

与美国不同，中国在积极提高其高压直流输电线路的输电能力，目前已有22条超过800 kV的超高压线路，数量超过了其他所有国家[15,16]。中国计划至少再建造11条超高压线路[15]；巨大的电压容量使远距离传输成为可能，因为线路损耗的电力将更少[15]。2019年，中国建成了世界上距离最长、电压最高的输电线路，这条超高压直流输电线路可输送1100 kV的电力，覆盖了从中国西北部的新疆到中国东部的安徽之间的3293 km的距离（图1）[17]。中国电网现代化的另一个关键部分是超高压交流电输电网络，该网络将超高压直流输电线路输送的电力进行分配[16]。

中国升级换代的输电系统使它能够更好地利用其可再生资源。例如，在2017年，新疆不得不削减或阻止其电网发电量中20%的太阳能发电和25%的风力发电[17]。新的1100 kV线路使更多的电力可以到达中国所需电力的地区。然而，该线路仅能携带约50%的可再生能源所产的电力，其余的来自燃煤电厂[17]。

中国的电网现代化确实有一些局限性。它价格昂贵，新疆至安徽的电力运输线路花费了超过407亿元人民币（约合58亿美元）[15]。关于电路系统中的高压直流和高



图2. 图为新建的1100 kV输电线路的两台巨型变压器之一，该输电线路在中国新疆和安徽之间延伸3293 km。变压器位于运输线路的终点，长37.5 m、重816 t。变压器的效率高于99%，可将超高压线路的直流电转换成交流电，并分配给城市。图片来源：Siemens（新闻稿）。

压交流电部分如何配合仍然存在问题（图2）[15]。

欧盟将可再生能源并入电网的战略着眼于增加其电力系统之间的整合。与美国类似，欧盟包括具有不同权力组合和战略的国家。例如，德国目前有46%的电力来自可再生能源[18]，瑞典有50%以上[19]，而卢森堡则约有10% [20]。欧盟目前的目标是要求成员国到2020年将其发电量的10%进行跨境输送，而到2030年将其发电量的15%输送出去[21]。人们认为这样的传输可以更好地实现电力的供需平衡，并将可再生能源转移到需要的地方。

欧盟成员国也在计划或正在建造新的高压直流输电线路，以重新分配可再生能源。例如，在2019年，德国批准了第一条高压线路，将北海的风能引入该国南部地区[22]。一条位于北海下面、从挪威通往英国苏格兰的高压直流输电电缆也在2019年获得了批准[23]。Reed说，与中国不同，欧洲高压线路的建设并不积极。他说：“就像美国的电网一样，他们的电网已经被很好地建立起来了。”

## References

- [1] Domooske C. California sets goal of 100 percent clean electric power by 2045 [Internet]. Washington, DC: National Public Radio; 2018 Sep 10 [cited 2020 Mar 22]. Available from: <https://www.npr.org/2018/09/10/646373423/california-sets-goal-of-100-percent-renewable-electric-power-by-2045>.
- [2] Informing the transmission discussion [Internet]. Atlanta: ScottMadden Management Consultants; [cited 2020 Mar 22]. Available from: <https://www.scottmadden.com/insight/informing-the-transmission-discussion/>.
- [3] Nusca A. Top 10 states for wind power in the United States [Internet]. ZDNet; 2010 Feb 22 [cited 2020 Mar 22]. Available from: <https://www.zdnet.com/article/top-10-states-for-wind-power-in-the-united-states/>.
- [4] Sengupta M, Xie Y, Lopez A, Habte A, Maclaurin G, Shelby J. The national solar radiation data base (NSRDB). *Renew Sustain Energy Rev* 2018; 89:51–60.
- [5] US electric system is made up of interconnections and balancing authorities [Internet]. Washington, DC: United States Energy Information Administration; 2016 Jul 20 [cited 2020 Mar 22]. Available from: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=27152>.
- [6] Sneed A. A comeback for electricity tech once championed by Thomas Edison [Internet]. *Scientific American*; 2017 Jun 1 [cited 2020 Mar 22]. Available from: <https://www.scientificamerican.com/article/a-comeback-for-electricity-tech-once-championed-by-thomas-edison/>.
- [7] Temple J. How to get Wyoming wind to California and cut 80% of US carbon emissions [Internet]. Boston: MIT Technology Review; 2017 Dec 28 [cited 2020 Mar 22]. Available from: <https://www.technologyreview.com/s/609766/how-to-get-wyoming-wind-to-california-and-cut-80-of-us-carbon-emissions/>.
- [8] Larson A. Benefits of high-voltage direct current transmission systems [Internet]. *Power*; 2018 Jul 31 [cited 2020 Mar 22]. Available from: <https://www.powermag.com/benefits-of-high-voltage-direct-current-transmission-systems/>.
- [9] Assessing HVDC transmission for impacts of non - dispatchable generation [Internet]. Washington, DC: United States Energy Information Administration; 2018 Jun [cited 2020 Mar 22]. Available from: <https://www.eia.gov/analysis/studies/electricity/hvdc/transmission/pdf/transmission.pdf>.
- [10] Fairley P. China's grid architect proposes a "Made in China" upgrade to North America's power system [Internet]. New York: IEEE Spectrum; 2019 Sep 12 [cited 2020 Mar 22]. Available from: <https://spectrum.ieee.org/energywise/energy/renewables/chinas-grid-architect-offers-made-in-china-upgrade-to-north-americas-power-system>.
- [11] Interconnections seams study [Internet]. Golden: National Renewable Energy Laboratory; 2018 Jul 26 [cited 2020 Mar 22]. Available from: <https://www.terrawatts.com/seams-transgridx-2018.pdf>.
- [12] Roberts D. We've been talking about a national grid for years. It might be time to do it [Internet]. *Vox*; 2018 Aug 3 [cited 2020 Mar 22]. Available from: <https://www.vox.com/energy-and-environment/2018/8/3/17638246/national-energy-grid-renewables-transmission>.
- [13] It's time to tie the US electric grid together, says NREL study [Internet]. New York: IEEE Spectrum; 2018 Aug 8 [cited 2020 Mar 22]. Available from: <https://spectrum.ieee.org/energywise/energy/the-smarter-grid/after-almost-100-years-of-talk-time-might-be-right-to-strengthen-the-interconnect>.
- [14] Tomich J. Battle reignites over \$2.5B midwest transmission line [Internet]. Washington, DC: E&E News; 2019 Dec 19 [cited 2020 Mar 22]. Available from: <https://www.eenews.net/stories/1061847775>.
- [15] Fairley P. China's ambitious plan to build the world's biggest supergrid [Internet]. New York: IEEE Spectrum; 2019 Feb 21 [cited 2020 Mar 22]. Available from: <https://spectrum.ieee.org/energy/the-smarter-grid/chinas-ambitious-plan-to-build-the-worlds-biggest-supergrid>.
- [16] Temple J. China's giant transmission grid could be the key to cutting climate emissions [Internet]. Boston: MIT Technology Review; 2018 Nov 8 [cited 2020 Mar 22]. Available from: <https://www.technologyreview.com/s/612390/chinas-giant-transmission-grid-could-be-the-key-to-cutting-climate-emissions/>.
- [17] Fairley P. China's state grid corp crushes power transmission records [Internet]. New York: IEEE Spectrum; 2019 Jan 10 [cited 2020 Mar 2]. Available from: <https://spectrum.ieee.org/energywise/energy/the-smarter-grid/chinas-state-grid-corp-crushes-power-transmission-records>.
- [18] Renewable energy's share of German power mix rose to 46% last year: research group [Internet]. London: Reuters; 2020 Jan 3 [cited 2020 Mar 22]. Available from: <https://www.reuters.com/article/us-germany-power-outputmix/renewable-energys-share-of-german-power-mix-rose-to-46-last-year-research-group-idUSKBN1Z21K1>.
- [19] Meyer D. More renewables than fossil fuels: as the UK reaches an energy milestone, here's how far others have gotten [Internet]. *Fortune*; 2019 Oct 15 [cited 2020 Mar 22]. Available from: <https://fortune.com/2019/10/15/uk-renewable-energy-40-percent-fossil-fuel/>.
- [20] Oglesby K, Jacquemot P. 10% of electricity in Luxembourg from renewable sources [Internet]. *Luxembourg Times*; 2019 Oct 16 [cited 2020 Mar 22]. Available from: <https://luxtimes.lu/luxembourg/38764-10-of-electricity-in-luxembourg-from-renewable-sources>.
- [21] Electricity interconnection targets [Internet]. Brussels: European Commission [updated 2020 Mar 17; cited 2020 Mar 22]. Available from: [https://ec.europa.eu/energy/topics/infrastructure/electricity-interconnection-targets\\_en](https://ec.europa.eu/energy/topics/infrastructure/electricity-interconnection-targets_en).
- [22] German energy regulator approves first part of ultranet power line [Internet]. London: Reuters; 2019 Jan 21 [cited 2020 Mar 22]. Available from: <https://www.reuters.com/article/germany-powerline-ultranet/german-energy-regulator-approves-first-part-of-ultranet-power-line-idUSL8N1ZL2OE>.
- [23] McPhee D. Scotland to Norway supercable granted marine licenses [Internet]. *Energy Voice*; 2019 Feb 15 [cited 2020 Mar 22]. Available from: <https://www.energyvoice.com/otherenergy/192855/scotland-to-norway-supercable-granted-marine-licences/>.