



解读全天候绿电 PPA，展望 电网脱碳未来





在全球努力推动碳减排的进程中，可再生能源电力的占比不断提高，但风、光发电的间歇性也给电力系统带来一定挑战。全天候绿电购电协议（PPA）能加速可再生能源和长时储能的部署、投资与技术革新，优化清洁电力的供需匹配，进一步推动实现电网全面脱碳。

电力行业在全球温室气体减排的努力中占据了中心位置。当前，风能、太阳能等可再生能源在整个电力结构中的占比不断提升，但在大规模推广使用的同时，可再生能源的间歇性给电力系统带来的挑战也日益凸显。

由于风能与太阳能均不稳定，为了保证电力的供需平衡，系统不得不采用化石燃料发电等方式来填补供电缺口。为了充分发挥可再生能源的减排效应，进一步减少对化石燃料的依赖，并降低购电方的风险，“全天候绿电”购电协议（Power Purchase Agreement, PPA）逐渐得到市场认

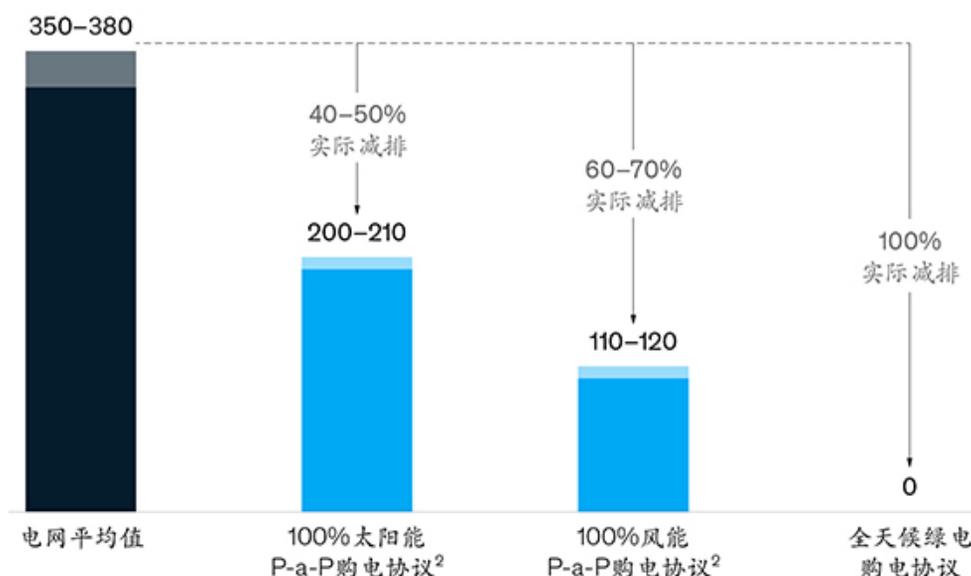
可。与目前市场主流购电协议相比，全天候绿电 PPA 能对可再生能源的供需进行更精确地匹配[1]。

近日，长时储能理事会 (LDES Council) [2]发布了一份与麦肯锡合作编撰的全天候绿电购电协议报告[3]。报告指出，相比当前“生产即付”模式 (Pay-as-Produced 以固定价格购买规定容量) 转嫁电力波动风险给购电方、用化石燃料发电填补风光间歇的购电协议相比，全天候绿电购电协议能显著提升减碳成效。报告估计，当前主流购电协议只能确保购电方用电量的 40%~70%实现脱碳，并且购电方还会面临可再生能源电力波动带来的市场价格风险，有时甚至超出很多购电方能够应对的程度。

相比之下，全天候绿电购电协议以更小的时间单位 (如小时) 计量用电量与温室气体排放，并通过混合能源系统 (如可再生能源发电+储能) 提供全天候可调度的清洁电力。对于希望大幅减少范围 2 (来自电力、热力和蒸汽采购) 碳排放的购电企业而言，全天候绿电 PPA 是一个更具吸引力的选择；同时，该类 PPA 也能有效助力电网实现全面脱碳。目前已有来自 175 个国家和地区的 300 多家公司加入“RE100” (100% Renewable Electricity) 倡议，承诺实现使用 100%的可再生能源电力，而全天候绿电购电协议能帮助他们走得更快、更稳、更远 (见图 1)。

图1 当前标准的购电协议仅能实现40%~70%用电量的减排，而全天候绿电购电协议可以弥补这一差距

不同购电方案的碳排放强度¹，
克二氧化碳当量/千瓦时电力消纳



¹基于德国与加利福尼亚州2021年的平均电网排放与可再生能源发电数据。电网与风能购电协议的排放强度：较低部分对应德国（海上风电），较高部分对应加利福尼亚（陆上风电）。太阳能购电协议的排放强度：较低部分对应加利福尼亚，较高部分对应德国。

²P-a-P购电协议，即Pay-as-Produced PPA，指购电方以事先约定的价格购买售电方的全部或特定比例的电力；100%表示电力消纳与发电的全年匹配度。从购电方角度计算每小时的排放量（可再生能源在发电小时内直接消纳，无碳排放；可再生能源发电不足时消纳电网电力，平均电网碳排放）。

McKinsey
& Company

资料来源：《通过全天候绿电购电协议走向电网全面脱碳之路》，长时储能理事会与麦肯锡，2022年5月；麦肯锡电力模型

与当前市场主流购电协议相比，全天候绿电购电协议能对可再生能源电力的供需进行更精确地匹配。

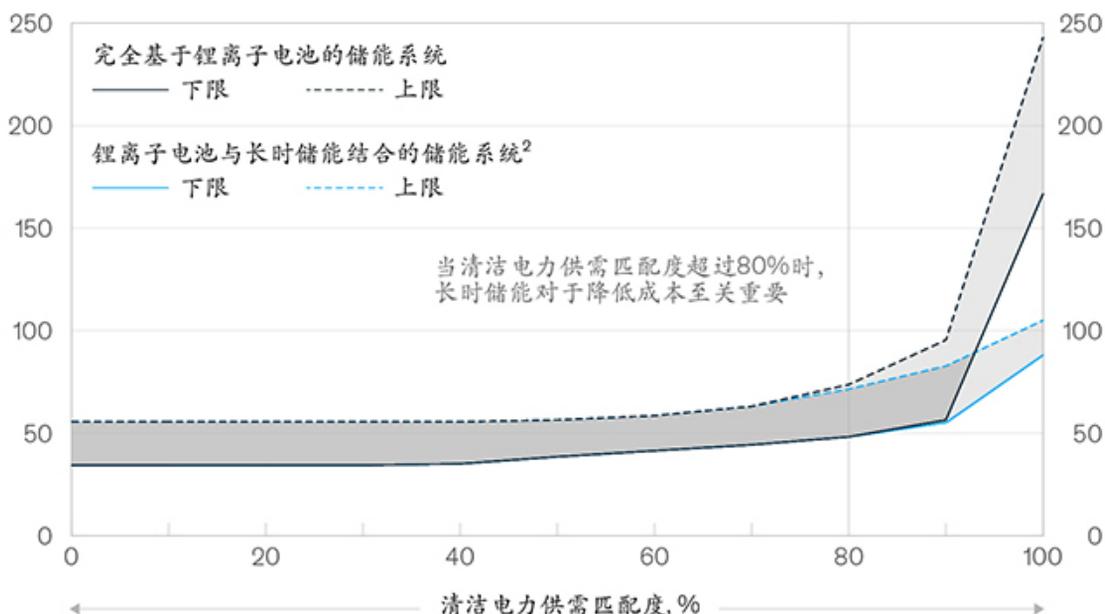
该报告也指出，成本相对较高、缺乏公认标准是推广全天候绿电购电协议的两大阻碍，但行业的共同努力能够最终扫清路障。

首先来看成本方面。利用目前主流的储能技术实现 100%脱碳，成本

会极其高昂，比如在大多数地区，风能、太阳能搭配锂离子电池储能的混合系统平准化发电成本可达每兆瓦时 200 美元以上。但如果长时储能等基于新型储能技术的解决方案能得到加速部署，预计在不久的将来，全天候稳定输出的可再生能源电力成本即可降至每兆瓦时 100 美元以下(见图 2)。

图2 高度匹配需求的清洁电力供应成本高昂，长时储能是降本的关键

针对清洁电力的不同供需匹配度，可再生能源+储能的平准化发电成本¹，2025年
平准化发电成本，美元/兆瓦时



¹基于对平均平准化发电成本地区（英国）与最佳平准化发电成本地区（澳大利亚）基础负载的建模。

²长时储能：储能时长达8-24小时及24小时以上的储能技术。

McKinsey
& Company

资料来源：《通过全天候绿电购电协议走向电网全面脱碳之路》，长时储能理事会与麦肯锡，2022年5月；麦肯锡电力模型

长时储能技术品类丰富，有机械储能（如抽水蓄能和逐渐规模化的压缩空气储能）、热能储能（如熔盐）、电化学储能（如液流电池）、化学储能

(如氢能)等。麦肯锡的研究表明,对于超过 6~8 小时的储能需求而言,长时储能可能是最具成本竞争力的解决方案。预计到 2030 年,长时储能技术应用于 24 小时储能需求的单位成本约为锂电池技术的 45%。而全天候绿电购电协议将成为推动长时储能解决方案加速应用的重要工具之一,能促进针对储能作为可调度发电装机的投资,加速实现规模效应,驱动技术降本。

此外,为了推进全天候绿电购电协议的广泛采用,还需要一个统一的、公认的标准。该报告认为,制定一个能够兼容不同减碳目标水平的标准化质量评估框架,能描绘出通往大规模采用全天候绿电购电协议的路径,并提升清洁电力供应与用电需求的匹配度(见图 3)。

图3 一个标准化的质量评估框架，是通向推广全天候绿电PPA的必经之路，并将有效提升清洁电力的供需匹配

质量评估框架的维度

| 清洁电力供需匹配度的最低水平, % | | 可再生能源的额外性 | 灵活/可调度装机容量容量的额外性 ³ |
|-------------------|------------------|--|--|
| 入门级 | 80 | 无要求 | 指定装机已使用的时间不能超过10年 |
| 白银级 | 80 | 如可再生能源是最终系统设计的一部分，100%的装机容量都应是额外的（包括改造） ² | 如果系统需要，100%的可调度装机容量都应是额外的（包括升级改造） ² |
| 黄金级 | 90 | | |
| 铂金级 | >98 ¹ | | |

¹在标准天气年份接近100%。

²只要带来发电体系中可再生能源/储能净容量增加即可，如对锂离子电池储能进行全面改造以增加可用容量也符合“额外性”要求。

³包括多种可调度的发电技术，如水力发电。

McKinsey & Company

资料来源：《通过全天候绿电购电协议走向电网全面脱碳之路》，长时储能理事会与麦肯锡，2022年5月；麦肯锡电力模型。

“入门级”全天候绿电购电协议的准入门槛相对较低，将成本控制在当前许多地区电力市场的平均价格范围内(每兆瓦时约 70 美元)。相应地，“铂金级”购电协议则代表了最高目标水平，清洁电力的供需匹配度接近100%，专为脱碳领先企业设计。随着技术的成熟与规模的扩大，高质量全

预览已结束，完整报告链接和二维码如下：

https://www.yunbaogao.cn/report/index/report?reportId=1_46976

