

“3060”双碳目标下的 可再生能源新浪潮

——内生动力与跨界应用

**Development Trend of Renewable
Energy Under the “3060” Carbon
Peak & Neutrality Goal**

—— Internal Drive and Interdisciplinary Solution

版权和免责声明：

本报告由国际环保组织绿色和平与中华环保联合会基于在北京取得的临时活动备案共同发布。本报告中的引用的信息来源于已公开的资料，绿色和平对这些信息的准确性、及时性和完整性不作任何保证。报告的研究结果是本机构基于时限内所获得的信息进行独立分析所得。本报告中提及的企业仅作为研究示例，并不代表绿色和平对相关企业进行批评或推荐。除标明引用的内容以外，本报告内所有内容(包括文字、数据、图表、标识)的著作权及其他知识产权归绿色和平所有。如需引用本报告中的数据及图表，请标明出处。标明由绿色和平拍摄的照片必须取得绿色和平授权后方可使用。

作者：

张文俊 绿色和平北京办公室资深项目主任

吴雪莹 绿色和平北京办公室项目主任

张靖雯 绿色和平北京办公室传播主任

鸣谢以下人员对于此报告的贡献：

袁瑛、吕歆、贾森迪、赵馨玥

此外感谢

中国可再生能源学会风能专业委员会秘书长 秦海岩

隆基股份产业研究院专业总监 闻震利

卓尔德环境中心首席经济师 张树伟

英利集团保定嘉盛光电科技股份有限公司总经理 张翼飞

对本报告提出的宝贵意见和建议。

目录

序言	1
第一章：从碳达峰到碳中和，可再生能源的机遇与挑战	3
第二章：可再生能源产业的发展趋势	6
2.1. 可再生能源产业的驱动	7
2.2. 可再生能源大尺寸化	8
2.3. 可再生能源数字化	11
2.4. 可再生能源设备循环利用	12
第三章：可再生能源相关的跨部门减排技术	14
3.1. 重点减排部门	15
3.2. 工业脱碳与可再生氢	16
3.3. 交通脱碳与储能	17
3.4. 建筑脱碳与光伏建筑一体化	18
结语	20
参考文献	21

图目录

图1. 2060年中国净零排放电量构成	4
图2. 中国可再生能源发电容量与成本趋势	8
图3. 光伏产业链各环节成本构成	8
图4. 硅片尺寸增长趋势	9
图5. 中国新增装机的风电机组平均功率增长趋势与最大商用风机尺寸演变	10
图6. 世界8大轴承制造商及其市场份额	11
图7. 中国及主要国家地区2019年二氧化碳排放量的部门分布	15
图8. 中国长期氢能需求预测	16



序言

“乘风破浪”的可再生能源



2020年在中国国家主席习近平提出“3060双碳目标”后，可再生能源的地位与重要性进一步提升，掀起了许多专业性极强的研究报告关于此类话题的讨论热潮。绿色和平PowerLab能源创新实验室的《“3060”双碳目标下的可再生能源新浪潮——内生动力与跨界应用》简报总结了当下行业发展的热点趋势，以及可再生能源在工业、交通、建筑部门减排的“跨界应用”。此报告的篇幅较短，适合能源行业内人士快速了解相关趋势，而对“碳中和”与可再生能源感兴趣的投资人，也可以从中获得许多有价值的信息。

构建以“新能源为主体”新型电力系统的过程中，不同领域的发展进度有所差异。报告中提及的“大尺寸”、“数字化”、“光伏建筑一体化”的发展已较为成熟，良性的市场竞争是其发展的主要动力。储能、可再生能源制氢等热点“赛道”虽然在近期引起了行业内外的热烈讨论，但技术稳定性和经济性依然存在挑战，所以技术研发和规模化投资是现阶段的主要驱动。此外，报告指出的组件回收问题并未像其它几个主题一样得到普遍关注，目前当务之急是相关政策规范的制定与落实。

如今的可再生能源产业已经不像十年前那样缺少关注甚至被误解。“双碳”目标下，风电、光伏带来的环境效益已经无需赘言。以此，我更希望绿色和平PowerLab能源创新实验室的这份报告能够让更多圈外人士了解可再生能源的商业潜力与价值。祝愿以风电、光伏为代表的可再生能源行业在“碳达峰”、“碳中和”目标引领下开启新一季的征程。

秦海岩

世界风能协会副主席

中国可再生能源学会风能专业委员会秘书长

第一章

从碳达峰到碳中和， 可再生能源的机遇 与挑战

2020年9月,中国国家主席习近平在联合国大会上承诺中国将在2030年前完成“碳达峰”,2060年争取实现碳中和。在同年12月的气候雄心峰会上,习近平主席详述“净零排放”的路径,其中涉及可再生能源产业发展的定量目标包括:至2030年,可再生能源将占一次能源目标比重提高至25%;同时风电、光伏等可再生能源发电装机容量超过1200GW。

从双碳目标的时间表看技术发展趋势,可再生能源作为主体,与储能技术的协同发展,将成为能源生产端脱碳的核心途径。可再生能源制氢、电动车、光伏建筑一体化等用户端应用场景的拓展,是工业、交通、建筑部门共同实现“净零排放”的重要解决方案。

目前中国的电力部门贡献了中国总二氧化碳排放量的40%¹,而截止2020年底,风电、光伏为代表的非水可再生能源占总发电量比例达到11.44%²,同时2018年终端能源消费中的电气化水平仅为25.5%³。

高盛的研究报告预测¹:2060年达成碳中和之时,基于用能需求以及电气化水平的提升,中国整体发电量将是现有水平的三倍,并且风电、光伏等非水可再生能源在电力部门中的占比需要达到70%。

得益于中国的能源转型,过去十年间风电、光伏发电已经逐步在从辅助电源向主力电源身份转化,这一转变将在中国进一步迈向碳中和的进程中获得提速和最终完成。得益于技术进步、规模化效应、资金成本等因素,风电和光伏在过去十年的平准化度电成本(LCOE)整体下降了70%左右,已经基本和煤电的LCOE持平。

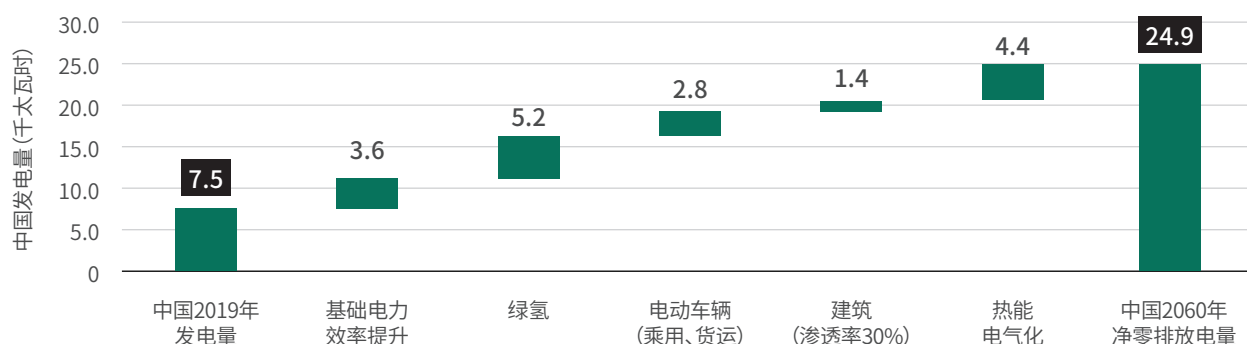
随着“3060”双碳目标的提出,值得关注的可再生能源产业的内生发展趋势包括:

- 短期来看,风机与光伏硅片大尺寸化的趋势有助于从上游的硬件层面推动可再生能源发电成本持续下降;
- 电力系统向数字化、智能化方向的转型,有助于提高可再生能源出力与负荷端相关性,实现高比例风电、光伏的并网;
- 组件回收将在2030年后成为风电、光伏行业的重要议题,上游原材料的科学循环利用帮助产业可持续的发展。

鉴于风电和光伏发电技术已经相当成熟且具备经济性,电力部门实现“碳中和”属于“低垂的果实”(Low-Hanging Fruit)。减排主要的挑战更多来自建筑、工业、交通等部门的非电力排放。目前上述三部门合计贡献了将近一半的中国二氧化碳排放量。如果不考虑短期内难以推广普及的碳捕集、封存与利用(CCUS)技术,可再生能源结合终端用能电气化,有望成为建筑、工业、交通三大减排领域的重要解决方案。

如图1所示,2060年中国的“净零排放”总发电量可能达到2019年的3倍。除去电力部门生产效率提升带来的3.6千

2060年中国净零排放量构成 | 图 1



来源: BP统计年鉴, 高盛

太瓦时的增量，其余增量可能都来自于终端用户的需求。绿氢、电动车和建筑用电三大用能场景贡献了9.4千太瓦时的电量，占“双碳”目标路径下总发电量的38%。

绿色和平能源创新实验室(PowerLab)近年来一直专注于可再生能源领域的开放创新实践，发掘了许多能源主题相关的初创团队，并为这些团队提供了与龙头能源企业对接资源和深度合作的机会。基于上述工作中的一些发现与成果，本报告重点探讨了与可再生能源产业链密切相关的工业、交通、建筑三大部门减排的解决方案。

- **随着经济效益和供需规模得到显著提升，可再生能源制氢（即绿氢）在工业、交通领域等一些难以通过电气化实现碳减排的环节将发挥重要作用；**
- **锂离子电池为代表的电化学储能技术的应用规模与经济性的持续提升，不仅能在发电端通过光伏/风电加储能的配套设施改善可再生能源的稳定性，更可以逐步减少乘用车领域对化石燃料的依赖，助力交通部门的碳中和；**
- **光伏建筑一体化（BIPV）的创新与发展，一方面符合国家关于集中式与分布式并举和大力发展绿色建筑等行业政策，更有助于减少建筑部门使用火电带来的上游碳排放。**

本报告的研究方法以桌面文献研究为主，同时通过业内人士分享，了解相关行业的动态。“碳中和”目标的驱动下，光伏、风电、储能、制氢等领域的技术正以前所未有的速度加快迭代。由于本团队专业知识有限，撰写内容难免有错误与疏漏之处，仅希望借此报告抛砖引玉，与更多行业同仁共同探讨电力、工业、交通、建筑四大部门的创新升级之路。

PowerLab由国际环保组织绿色和平创立，是国内第一个专注于可再生能源的非营利孵化器。在致力于孵化与赋能可再生能源创新创业团队和个人的基础上，PowerLab引入“开放式创新”的概念和实践，希望通过可再生能源产业的开放式创新，以场景赋能、协调创新等多种形式助力能源领域初创团队。

第二章

可再生能源产业 的发展趋势

2.1 可再生能源产业的驱动

风电和光伏产业长期发展动力，首先来自于“3060目标”下从宏观到产业逐步明晰的**政策支持**。特别是绿色电力证书、“可再生能源电力消纳保障机制”等政策机制，在能源消费端将会发挥越来越重要的积极作用，助力上游产业规模的持续扩大。

2030年，在可再生能源占一次能源比例25%的国家自主贡献减排目标驱动下，全国电力消纳可再生能源的比例预计将达到40%，而非水可再生能源平均消纳水平有望达到25.9%⁴。可再生能源电力消纳保障机制使消纳责任归属更明确，以此激励地方政府大力扶持，促使企业直接增加新能源容量和电网企业完善电网规划，以及优化新能源资源的时空配置，进而直接达到增加可再生电力需求的目的。

其次，**市场因素**和消纳保障机制等政策互为补充，市场引导与强制约束共同促进可再生能源的生产与消纳。随着电力市场改革的深入，未来针对可再生能源品类的交易机制将逐步得到完善，终端电力用户能够通过市场化的途径直接采购可再生能源。

全国碳市场在2021年6月正式开始运行，目前仅发电行业列入全国市场，但未来覆盖范围将逐步扩大，最终覆盖发电、石化、化工、建材、钢铁、有色金属、造纸和国内民用航空等八大行业，排放总量将超过50亿吨。2021-2025年间碳排放交易量有望在2016-2020年的基础上增加3到4倍。而预计在2030年“碳达峰”时的累计交易额或将超过1000亿元⁵。

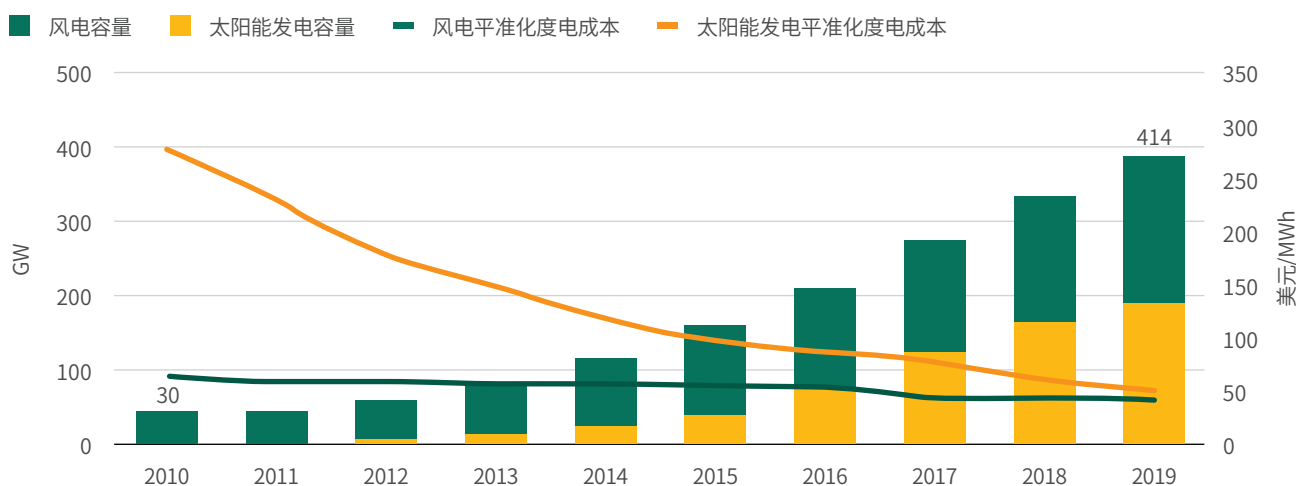
而随着欧盟提高2030年碳减排目标，日本、韩国相继提出远期碳中和目标，美国重回巴黎协议等外部积极因素的影响下，海外市场未来对可再生能源生产设备的需求也将迎来一波相当可观的上涨。

最后，作为电力部门脱碳的核心解决方案，中国可再生能源产业经过多年发展，**技术创新**与进步带来了持续的可再生能源平准化度电成本（LCOE）下降，其阶段性的里程碑就是2021年起国内新建的集中式光伏和陆上风电项目全面取消国家补贴，实现发电端平价上网。具体而言，成本的下降从全生命周期发电小时数、电站运维成本和系统造价成本三个维度得到实现：

- 光伏、风机设备和系统集成的综合进步有望使系统使用寿命延长到30年甚至更长；
- 随着智能设备与运维技术的普及，电站运维的人工成本有望进一步下降；
- 设备尺寸的持续升级、原材料的循环利用等措施，将进一步降低组件的材料和能耗成本，同时摊薄土地费用、管理费用等非材料成本。

如图2所示，过去十年间，国内风电和光伏发电的LCOE分别下降了约40%和80%。而截至2020年底，风电累计并网装机容量为281GW，光伏累计并网装机容量为253GW，合计达到534GW⁶。经历了如此大幅度的成本下降与规模增长后，可再生能源产业需要克服新的瓶颈与挑战，才能够在未来十年乃至更长的时间保持“倍速增长”。而“大尺寸”、“数字化”和“循环利用”三大发展趋势，是本报告总结的重点，未来可再生能源产业保持长期高质量发展的重要条件。

中国可再生能源发电容量与成本趋势 | 图 2



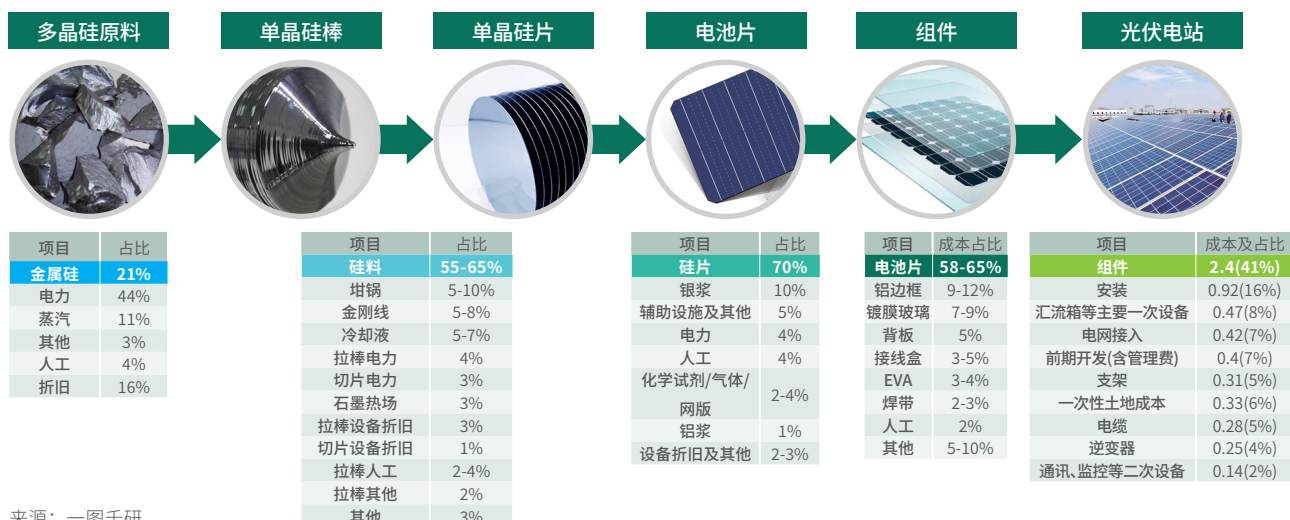
来源：AFRY

2.2 可再生能源大尺寸化

想达到可再生能源发电效率的提升或度电成本降低，在硬件层面上最具经济性的方式之一，就是通过增加产品的尺寸来提升输出功率。光伏硅片或风机叶片尺寸的增加使产业链成本的降低，不仅体现在自身成本能降低多少，更重要的在于，因大而带来的非原料（硅或碳纤维）成本的摊薄，其进一步提升产业链各环节的相对竞争力，提高投资收益率。

以光伏产业链为例，单晶硅光伏产业链各个环节的成本大致构成如图3所示⁷，包括硅片、电池片、组件、电站等环节。虽然光伏技术的核心原料就是硅，但从上游多晶硅到下游光伏电站，硅原料的成本占比是逐渐降低的。具体而言，金属硅的成本只占电站成本的1.9%，如果计算到单晶硅片环节，硅片成本也只占电站成本的16%左右。

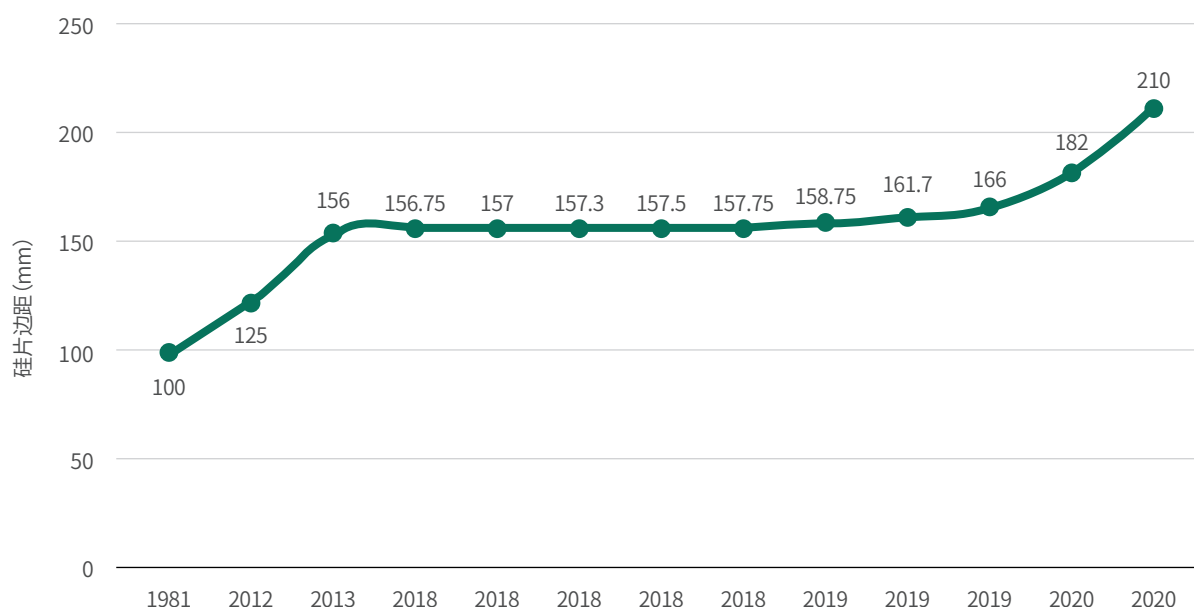
光伏产业链各环节成本构成 | 图 3



来源：一图千研

光伏技术是否有价值的最核心评价标准就是——能否降低度电成本。在此原则下：光伏组件沿着更高组件效率、更优可靠性、更高发电能力的方向发展，经历了单晶替代多晶、PERC电池替代BSF电池、双面组件在地面电站上取代单面组件的产业级技术变化。目前正在酝酿的新一轮的迭代，将是异质结与TOPCon技术对当下主流PERC电池替代。结合大尺寸的发展趋势，多数商家在2020年推出600W、700W甚至是800W的高瓦数组件，将组件的竞争带到600W以上⁸⁹。

硅片尺寸增长趋势 | 图 4

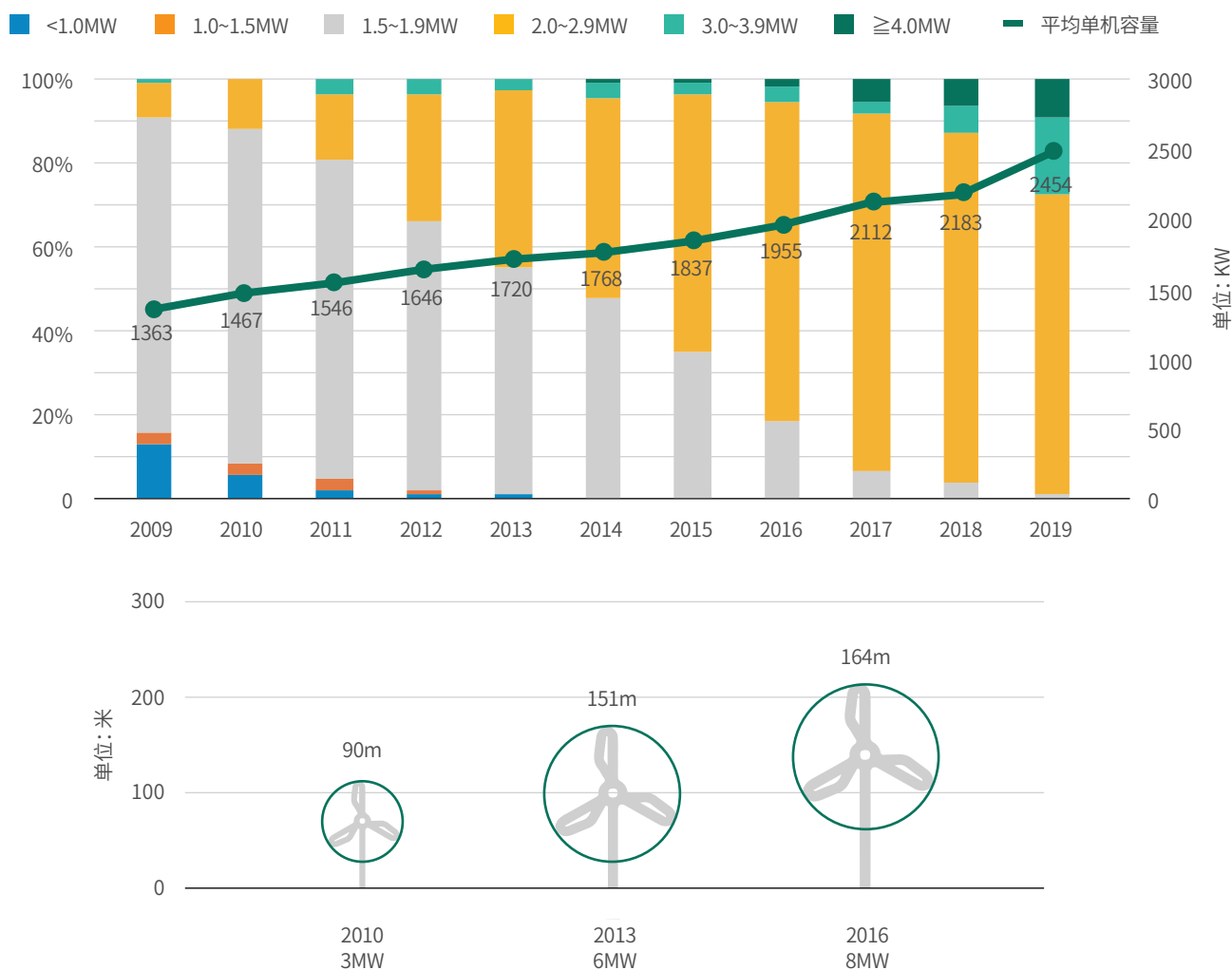


来源：北极星太阳能光伏网

长期来看，硅片的大尺寸趋势是不可逆的。但是硅片的生态环境里涉及上游的设备、中游各环节产线更新换代和下游开发商的选择。其规格与现有产线的兼容性，决定了短期内硅片尺寸增长的幅度与上限。2020年开始愈演愈烈的182和210两大尺寸的竞争，体现了成本竞争力的“最优者”与产线兼容性的“最适者”之间的较量，短时间内或难以落幕¹⁰。

虽然产业链的现状存在一定差异，但风机设备的尺寸增大趋势也遵循类似的“第一性原理”。为了实现规模效益，大容量、长叶片、高塔架成为降低度电成本的主要手段¹¹。中国新增风电机组的平均功率从本世纪初的500KW左右，在不到20年间增长了5倍，达到了2.5MW。到2020年，新增陆上机组已经进入了5MW时代，海上机组进入了10MW时代。2010年，全球最大的商业风机风轮直径达到了90米，单机功率为3MW。经过十年的发展，目前全球最大的商用风机，以维斯塔斯在2021年2月推出的V236-15.0MW风电机组为例，其单机容量达到15MW，风轮直径236米，年发电量可达80GWh。

中国新增装机的风电机组平均功率增长趋势与最大商用风机尺寸演变 | 图 5



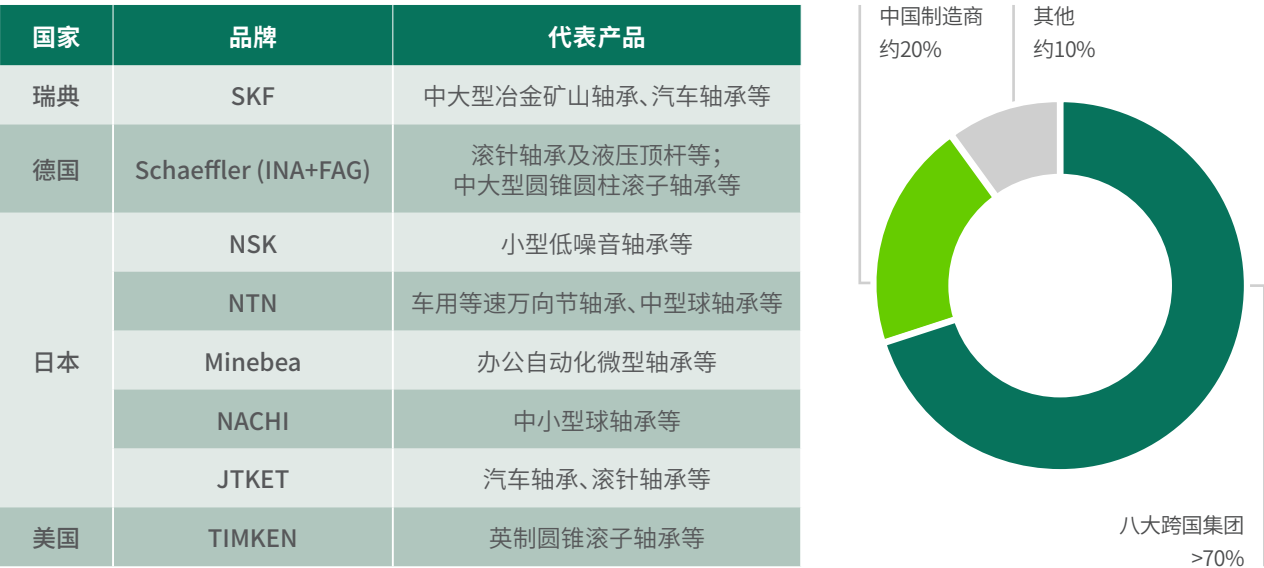
来源：IEA，万联证券，风能协会

“十三五”（2016-2020）期间，“一条覆盖风电开发建设、设备制造、技术研发、检测认证、配套服务的产业链进一步成熟”，中国已成为全球最大的风电装备制造基地。在2019年全球风电新增装机容量排名前五的风电整机厂商中，中国占据八席¹²。其中一些环节的国产化水平也成绩斐然，并催生出一批行业龙头，例如叶片环节的中材科技、塔筒环节的天顺风能、齿轮箱环节的南高齿等。

另一方面，中国风电的全球产业地位依然存在很大的提升潜力。不同环节的投资主体构成较为单一，且各个环节的水平参差不齐。在市场份额和核心技术方面，国外巨头仍举足轻重。中国风机制造商在全球市场依然要面对维斯塔斯、西门子歌美飒、GE等跨国巨头的强势竞争。

因此国内风电行业在“大尺寸”趋势下，进一步降低成本的创新机会，主要来自于一些关键环节短板的补齐，例如轴承、碳纤维等上游原材料和零部件的国产化。如下图所示，世界前八大的轴承厂商均为国际品牌，占据了中国50%+、全球70%+的市场份额，中国厂商不仅只能做中小轴承，而且只占20%的市场份额。

世界8大轴承制造商及其市场份额 | 图 6



来源：前瞻产业研究院，万联证券研究所

而风机“大尺寸”趋势对上游最直接的影响之一，就是碳纤维将逐步取代玻璃纤维，成为制造风机叶片主体、叶梁的主要材料。因为风电叶片尺寸的增大带来结构强度和刚性不足的问题，碳纤维复合材料以其轻质高强的特征，成为大尺寸风电叶片制造的理想材料。

2019年全球碳纤维超过四分之一的需求来自风电叶片的制造，达到了25,500吨，而国内同期的需求也有13,800吨，占整体碳纤维需求市场的37%¹³。随着全球对清洁能源的需求增长，到2025年，风电碳纤维需求量将达到9.73万吨，未来国内风电碳纤维需求的缺口将会非常可观。而近两年以光威复材为代表的国产碳纤维厂商的崛起，海外企业对风电用碳纤维材料的垄断将被打破。

2.3. 可再生能源数字化

中国化石燃料驱动的传统能源系统由于政策、市场、技术等原因，整体效率偏低，成为能源产业转型升级和结构调整的障碍。经历多年政策市场改革与产业升级调整，当前的能源行业整体处于信息化向智能化迈进的过程。各类能源系统由于特性差异，发展程度不尽相同。电力系统信息化基础较好，同时处于能源转型的关键期。因此电力基础设施主体作为净零排放的主力军，正在积极探索泛在物联的数字化技术集成创新，也有助于尽快确立可再生能源的主体地位¹⁴。

随着“3060”双碳目标的提出，构建以“新能源为主体的新型电力系统”¹⁵的重要性与紧迫性进一步得到提高。通过数字技术的应用，能够对新能源业务优化整合，打破“能源竖井”，提高可再生能源生产效率与消纳水平，实现“发输配售”一体化；提高能源优化配置能力，实现“风光水储”一体化，促进整个新能源产业链的协同发展。

能源生产数字化

电力部门向低碳化、分散化、智能化转变。电力消费服务市场向综合能源服务方向转变，倒逼生产环节要更加安全、高效、清洁，因此需要依靠数字技术，提高生产过程的智能化水平。

根据国家发改委对“新基建”的定义，深度应用互联网、大数据、人工智能等技术，支撑传统基础设施转型升级所形成的融合基础设施,将成为未来投资的重点之一。结合了最新数字化技术的能源设施,将会是后疫情时代拉动经济复苏的重要投资方向，而相关领域的能源创新也能进一步促进能源低碳化转型和“碳中和”目标的达成。

可再生能源生产端的数字化趋势,可能在以下四个方向带来创新机遇¹⁶：

1. 信息技术与运营技术的融合：风电光伏运营商有望通过数字化的平台性技术提高可再生能源的发电预测水平，提高可再生能源的消纳水平；
2. 移动技术及技术消费化：进入5G的移动通信时代，这些技术能够以极低延迟传输海量数据，运维人员可以通过非常直观的应用来帮助收集、利用、处理和分享相关工作数据。以及，可再生能源项目选址的特性（远离人口稠密地区）与移动平台性技术的结合，必将拓展实时数据和分析法的使用范围；
3. 颠覆性架构：云技术的普及能够使得能源企业将部分工作外包至云平台，有助于中小规模的企业专注于其具备核心竞争力的优势业务；
4. 大数据分析法与内存计算：软硬件的数字化创新可以大幅提升对海量数据的处理能力，这不仅为企业创造了业绩，更能提高整个可再生能源生产端的预测与消纳水平。

能源消费数字化

消费侧的能源转型方向，可以总结为发、配、用一体化的趋势¹⁷，特别是结合了分布式可再生能源的发展趋势和消费端的自发自用模式，使得原本的消费者(consumer)转变为生产消费者(prosumer)。能源消费数字化的趋势，体现在需求侧与生产侧，通过移动通信、云计算等技术手段进行联结，整合碎片化的消费端数据，提高需求侧响应的效率，最终带来系统性的变化。

根据国际能源署(IEA)的估算¹⁸，智能化的需求侧响应，可以为全球电力系统提供 185GW的灵活性，相当于节省2,700亿美元新建电力基础设施的投资。而数字化技术将能源需求与光照和起风时段相匹配后，可以大幅提高可再生能源的消纳水平。数字化需求响应（结合储能）可以在 2040 年将欧盟地区的弃光弃风率从 7%减少到 1.6%，相应减少三千万吨的碳排放。

2.4.可再生能源设备循环利用

光伏、风电的组件回收一直都是行业内关心的问题，这也关系到中国光伏、风电的行业发展。组件回收的问题不是一蹴而就的、责任也不是只有一方承担的，这需要政府和行业协会制定相关责任细节和行业标准，重点企业发挥“领头羊”的作用。只有这样，中国新能源才能在可持续发展的路上走得更远。

随着中国光伏产业进入倍速发展阶段，光伏板的回收问题是中国光伏人在下个十年所要重点关注的问题之一。按 250W的光伏组件19千克估算，1GW的报废组件的重量就可以达到7.6万吨。按照我国2019年光伏装机30GW来看，如果这些光伏组件没有妥善处理，将会产生228万吨的电子废弃物¹⁹。

一般光伏板的寿命是25年左右，但有专家预估中国第一批光伏板的寿命会是15年左右。如果将2010年第一批金太阳项目落地，看作是中国光伏产业的开端，那么在2025年中国的光伏板回收就会进入密集期，到2030年左右光伏板的回收会达到高峰期²⁰。在我国光伏板制造企业在世界舞台上取得耀眼成绩的同时，我国的光伏板回收体系仍是前路茫茫的状态。

目前我国在政策还有法律上对于光伏板回收处理的标准仍是空白，仅有一个在2017年编写的《晶体硅组件回收再利用通用技术要求》。另外，《光伏组件回收再利用通用技术要求》也已立项但是还未完成编写。也有学者表示，与光伏板极为相关的《废弃电器电子产品处理目录（2014年版）》中其实并不包含对于光伏组件回收处理的相关规定²¹。

目前国内的光伏组件回收大部分是由第三方的回收公司负责，因为回收的成本相对较高，国内这样的回收模式还没有发展成比较系统化并且有高端技术的回收体系。对于国内市场在光伏组件回收技术上的空缺，部分有前瞻性的企业已经开始在回收技术上探索。

在国内还未有成熟的回收体系之前，其他国家和地区的回收体系，也是值得我们借鉴参考的。在欧洲施行的光伏组件回收法令是——废弃电子电器管理法令（Waste Electrical and Electronic Equipment）。在这一法令中规定，对于废弃光伏板的处理还有其管理责任，是在其制造商一方。如果制造商想要将产品在欧盟的市场上进行售卖的话，就必须要对其产品的全生命周期进行妥善管理²²。制造商具体的责任包括三类：财务责任、披露、告知。财务责任是指制造商需要有资金承担回收产生的相应费用，除此之外，还需要为公共收集站以及一级处理设施筹集资金。披露责任是指，生产商有责任在相关的报告中披露回收的细节。告知责任是，需要生产商告知相关购买者光伏板的回收处理信息²²。

光伏板回收过程中的运费，是占比最大的额外支出，其余的额外支出，比如电费、设备费用都相对较低²³。虽然在整个过程中需要的投入较高，如果想要考虑到其经济价值的话，前提是需要有一个比较大的体量做积累，在这其中可以提取和恢复相应的原材料再出售到市场中²²。但是也有研究表示，光伏板回收的投入产出比不好计算，尤其是在回收的材料中，大部分都比较廉价，比如铝和玻璃。贵重的金属比如银，在可回收的原材料中占比非常小，只有11%左右²³。在这种情况下，为了保证责任相关方在市场中的生存问题，有一套健康并且有体系的政策支持是非常重要的。因此，中国的光伏板回收之路是任重道远的，这不仅是需要相关产业链的企业投入较大的精力去研发回收方法和技术，还需要有关部门和协会联手制定出相应的规定细则。

除了我国的光伏产业面临着回收的挑战，风电产业亦是如此。从2000年初的“零起步”到风电装机量世界第一，我国的风电可谓是经历了二十余载的发展。在风电产业大步向前的道路上，风机设备的循环利用仍是产业中的一个难题。风机整机的寿命大约是20年左右，我国第一批投入使用的风机即将面临大规模报废回收的挑战。维斯塔斯（Vestas）的研究数据表明，目前只有85%的风机可以回收，而风机叶片采用的均是不可回收的复合式材料，预计到2050年，单单是风机叶片所造成的废弃物就将达到4,300万吨²⁴。目前Vestas希望在2040年可以研发出，在风机全生命周期可以使用的零废弃物风机，以便全面应对风机的回收再利用的难题²⁵。

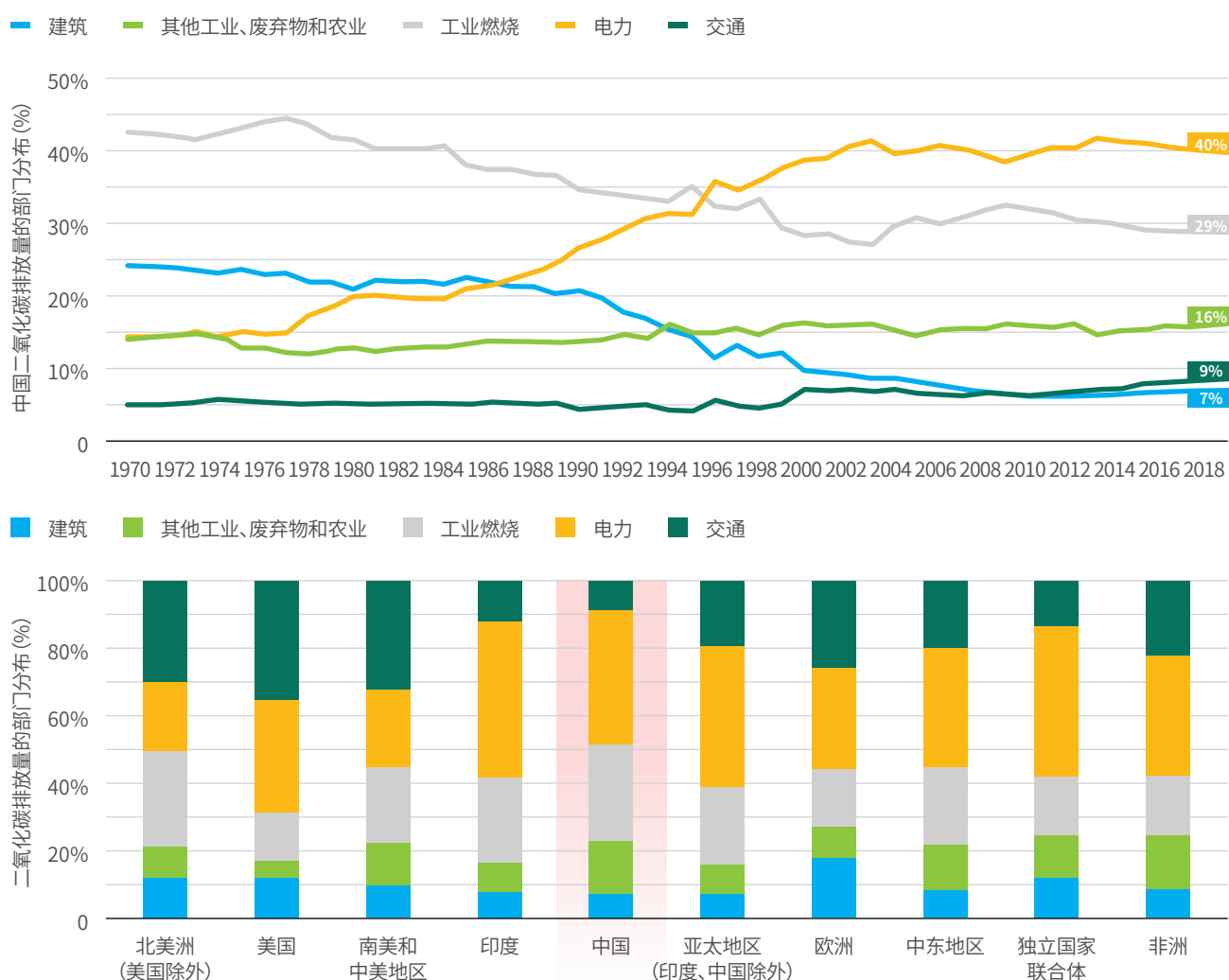
第三章

可再生能源相关的 跨部门减排技术

3.1 重点减排部门

研究显示¹，中国电力与工业（燃料燃烧）占据了2018年全国总二氧化碳排放量的前两位，分别达到了40%与29%。而建筑与交通部门的排放仅占总排放的16%。我国碳排放结构上与主要发达国家存在显著差异。截至2020年，中国城镇化率突破60%，未来仍有一定的上升空间。即使考虑电气化水平、能效提升等因素，2030年全面“碳达峰”前，建筑、交通等部门的碳排放依然存在上涨压力。

中国历年及主要国家地区2019年二氧化碳排放量的部门分布 | 图 7



来源：高盛，欧盟委员会联合研究中心，全球大气研究排放数据库

而为了实现2060年“碳中和”的目标，电力系统以外的，具有经济性与技术可行性的解决方案至关重要。炼钢技术路线中，电炉的普及、电动汽车对燃油车的替代、建筑采暖中煤改电等解决方案，均属于通过电气化水平的提升来实现碳排放的减少。但电能无法满足所有终端用户的能源需求，例如高耗能工业的部分生产流程（兼做燃料与原料）和航空运输等环节，需要可再生氢、生物质燃料等具有绿色低碳属性的能源形式，来实现电力系统以外的用能环节的深度减排。

本章从可再生能源产业技术创新的角度出发，重点聚焦工业、交通、建筑三大部门中与可再生能源相关的非电力系统的解决方案。工业领域重点介绍处于早期发展阶段的可再生能源制氢（绿氢），及其在工业部门减排方案中的重要性；发展多年但仍有创新潜力的电化学储能技术，在电池容量、经济性等关键指标上的提升，对可再生能源和交通部门减排的推动都非常关键；在绿色建筑行业标准、政策助推下，建筑领域重点关注了光伏建筑一体化（BIPV），BIPV作为相对成熟的可再生能源技术，其创新集中在提高发电效率的同时，满足建筑材料的审美需求。

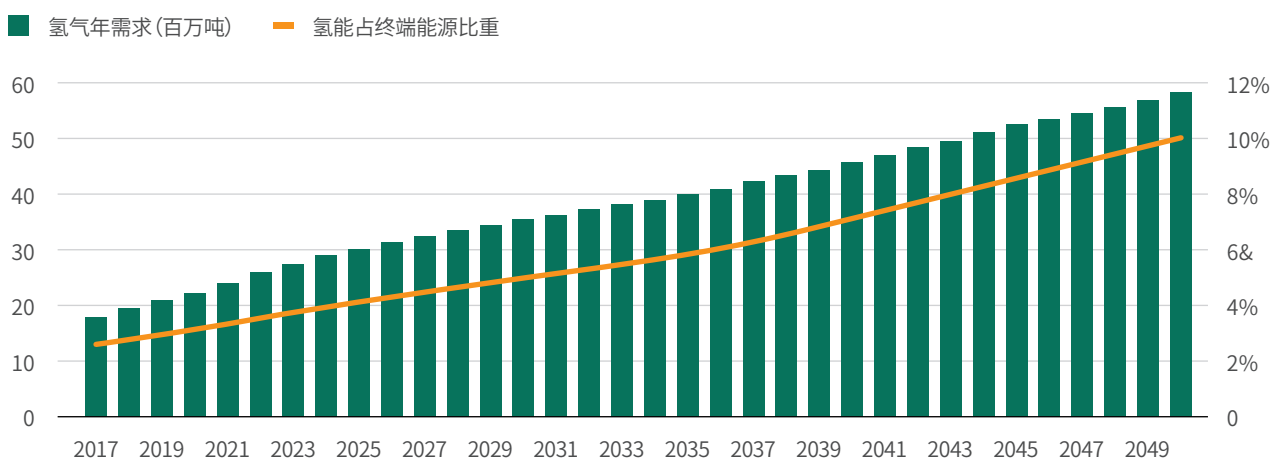
3.2 工业脱碳与可再生氢

目前中国将近30%的碳排放源于工业用能(不含电网供电)。相关碳排放主要来源包括：工业流程以及现场使用化石燃料供电与供暖。为实现“碳中和”目标，包括钢铁、化工、水泥、冶金等工业部门必须进行深度脱碳，技术层面的主要实现路径可以概况为电气化、使用替代燃料、碳捕获与储存（CCS）等三个方向：

- 加快锅炉和窑炉电气化：这一进程已经发生，除了采购“绿证”、分布式用电、市场化采购等企业主动采购绿电的模式，还有工业用电脱碳，其进度更取决于电力部门，即所在区域电网的可再生能源消纳水平；
- 煤炭转换为低碳燃料：无法电气化的环节，需大力投资低碳氢气生产及其相关运输基础设施，通过规模化和技术进步来逐步降低可再生氢的生产运输成本。
- 在需要继续使用化石燃料的工业生产环节，加大CCS应用的研发力度。

欧盟、加拿大和智利等国家相继在2020年宣布氢产业发展路线图，被广泛认为是氢能产业发展的转折点。而目前中国作为世界上最大的制氢国，氢能市场潜力巨大。根据中国氢能联盟的预测²⁶，2050年，中国氢气需求有望达到6,000万吨，其中最大的需求来自工业领域，占总需求的56.2%，远高于交通、建筑等领域的用氢需求。工业部门中最大需求来自化工，将从2018年8,900万吨标准煤增加至2030年的1.06亿吨标准煤；2030年后，由于化工领域整体产量有所下降，氢能消费量也随之下行，到2050年，化工领域氢能消费量预计回落至8,700万吨标准煤。未来工业领域氢能消费增量主要源自钢铁行业，到2030年，钢铁领域氢能消费量将超过5,000万吨标准煤，到2050年，将进一步增加到7,600万吨标准煤，占钢铁领域能源消费总量的三分之一。整个工业部门氢能消费规模整体呈现上升趋势，尤其在2030年前增速较快，此后逐步放缓。

中国长期氢能需求预测 | 图 8



来源：中国氢能联盟

在可再生氢能生产成本构成中，电力成本占比超过80%²⁷，“风光”电价的持续下降是可再生氢能成本快速下降的最大驱动力。即使不考虑可再生能源成为主力电源的倍速发展潜力，单纯从减少“三弃”（弃水、弃风、弃光）的存量优化角度出发，这部分潜在的低成本电量，为可再生氢提供了具有竞争力的电力供应。保持风电光伏高比例消纳前提下，依然会有绝对量相当可观的可再生能源无法被电网消纳。以2020年为例，弃水、弃风、弃光电量总计519.6亿千瓦时²⁸，若按1Nm³氢气耗电量5.5千瓦时计算，中国利用可再生能源弃电制氢的潜在产能约有94.5万吨，可以满足同期氢能总需求的5%。

但是单纯降低电价（可变成本）还不够，可再生氢生产成本快速下降的另一个重要驱动力在于，电解槽技术的迭代，与相关产业技术的规模化带来的单位产能固定资本的投资减少。例如全球电解槽企业目前以每年将近3GW的速度在扩大产能。2019年质子交换膜(PEM)电解槽的基准造价为1,400美元/kW，仅用了一年时间，价格就下降了30%²⁹。研究显示³⁰，2030年电解槽相关资本支出有望下降到200-250美元/kW。

国家发展改革委员会于2021年3月发布的《关于推进电力源网荷储一体化和多能互补发展的指导意见》³¹中，明确鼓励大型“风光储”项目的可再生能源本地消纳，为可再生氢项目提供了关键的电源支持。大型“风光储一体化”基地能够有效解决单一可再生电源（风电或光伏）制氢存在的产能利用率偏低的问题，进一步提升可再生氢生产效率。得益于可再生电力成本下降、电解槽投资成本下降、风光规模化一体化利用等三大因素，麦肯锡预测在部分条件优越的地区，2030年可再生氢的生产成本有望降至1.4美元/公斤，和传统“灰氢”的生产成本持平³⁰。

3.3 交通脱碳与储能

2019年，中国交通部门碳排放占总排放的9%，低于16%的全球平均水平。但是在电力、工业排放增速放缓的情况下，交通部门碳排在过去十年持续增长，逐渐上升成为中国第三大碳排放部门。根据中金的估算，2019年交通运输行业碳排放量为11.4亿吨，其中公路运输占绝大多数，达到了82.1%³²。因此电动车对燃油车的替代，不仅是公路交通最成熟的减碳方式，更是交通脱碳的最核心解决方案。

得益于中国电动车领域“纯电驱动”产业路线的制定、政策补贴及汽车限购政策，中国在道路交通的电气化上进展迅速³³。新能源车补贴逐步退坡后，禁售燃油车的时间表也有望在“十四五”期间开始研究规划。上述进展表明，未来中国电动车产业在政策层面的不确定性相对较小。

未来中国电动车渗透率进一步提升的主要障碍在于，充电设施不足和动力电池能量密度的技术瓶颈。基于大规模政府投资与政策鼓励，充电桩的问题将逐步得到解决。而电动车续航里程和充电效率的提升，则有赖于动力电池供应商的技术进步与规模化发展。

中国动力电池市场在装机量迅速扩大的同时，产能结构性过剩。2019年装机量同比增长9.2%，达到62.2GWh³⁴。但是在政策鼓励与资本流入的背景下，一方面低端动力电池产能严重过剩，利用率不足；另一方面高端产能由于优质资源的稀缺，产能相对不足。

随着缺乏技术与规模优势的企业被淘汰，行业集中度进一步提升，动力电池产能过剩的状况有望逐步改善。目前行业向头部企业集中的趋势已经非常明显，宁德时代与比亚迪两家头部企业携手瓜分了三分之二的市场³⁴。

“双碳”目标驱动交通部门加速脱碳，以及在中国电动车产业弯道超车下蓬勃发展起来的动力电池产业，将和电化学储能以及电力部门脱碳产生越来越紧密的关联。锂离子动力电池技术也可以应用于大规模储能。由于受到汽车的体积和重量限制以及启动加速等要求，动力电池比普通的储能电池有更高的能量密度要求。而储能锂电池主要的使用场景，包括了调峰调频电力辅助服务和可再生能源并网等领域。储能电池其核心需求在于，比动力电池更长的使用寿命和循环次数上。

抽水储能是目前最成熟，单位成本最低的储能技术。截至2019年，全球抽水储能的装机容量占比高达92.6%³⁵，处于绝对的领先地位。但是抽蓄储能建设受限于水源，以及高低落差等环境条件，无法在水资源紧缺但是“风光”资源丰富的中国西北地区大规模部署。相反，锂电池占主导地位的电化学储能得益于安装灵活、建设周期短、应用范围广等优势，全球装机占比从2017年的1.7%上升到了2020年的7%左右。

电动车以及动力电池产业对储能发展的影响，首先体现在动力电池龙头企业加速布局储能电池业务。早在2011年3月，宁德时代就中标了张家口风光储示范项目。直到2018年，全球电化学储能新增装机规模达到3.7GW，同比增长305%³⁶，宁德时代才单独设立储能事业部，开始斥巨资投入储能研发，联手国家电网等企业，全方位布局储能上下游。宁德时代等龙头企业对储能产业的促进在于：

- 动力电池企业能更好地设计能量密度要求更低的储能电池产品；
- 储能电池的生产可以沿用动力电池产线，有利于提高产能利用率；
- 国内动力电池擅长的磷酸铁锂技术路线，更符合成本低、放电稳定、安全性高、循环寿命长的储能电池需求。

另一方面，从电动汽车上退役的动力电池通常还保有初始容量70-80%的剩余容量，有望在对能量密度要求不高的固定储能场景实现梯次利用。随着电动汽车渗透率的不断提升，退役电池的储能应用潜力将稳定在车载电池储能容量的15%左右³⁷。而电力部门退役电池较适合的应用场景，是备用电源和调峰，备用电源主要关注电池的日历寿命，而调峰场景下更关注电池的循环寿命。但是目前退役电池在可再生能源发电端大规模梯次利用上依然存在一些挑战³⁸：

- 首先，需要建立一个更完整的动力电池数据采集、存储体系，进而提升退役电池状态、安全隐患、剩余寿命评估的准确度；
- 其次，有待提高退役电池状态评估、安全隐患识别、剩余寿命预测、电池重组和管理等关键技术，明确不同状态电池适用的应用场景以及边界使用条件；
- 最后，有必要开展备用电源、调峰应用场景的小规模工程应用，逐步完善优化梯次利用电池储能系统的运维技术。

3.4 建筑脱碳与光伏建筑一体化

2019年，中国建筑部门二氧化碳排放占总排放量的6%。相比于工业与交通领域，建筑运行能耗中的制冷、照明等需求大部分依赖于电力。因此光伏建筑一体化(BIPV)，不仅是实现“绿色”建筑目标的重要技术手段，更是通过分布式用能的方式实现建筑部门脱碳的主要途径。

随着建筑能耗不断降低，可再生能源在建筑能源系统中的作用越发明显。近零能耗建筑的冷热负荷通过被动式设计、遮阳、热回收等技术实现大幅降低以后，如何满足用电用能需求成为更关键的技术因素。因此BIPV产品成为实现“零能耗”甚至正能源建筑（即产能大于耗能的建筑）的关键。

2020年被誉为是BIPV元年，政策、行业、市场三大要素推动下BIPV成为落实双碳目标的重要细分赛道。

政策上，2020年7月24日，住建部等七部门印发《绿色建筑创建行动方案》，为我国绿色建筑的今后发展奠定政策基础。“十四五”相关规划政策也强调了推进建筑业全面转型升级，明确建筑行业未来绿色低碳、信息化、新型工业化大方向。有利于推动BIPV行业快速发展。国家能源局新能源司领导在公开场合还提到，未来有望出台建筑物上安装光伏的强制性国家标准³⁹。

上游巨头、海外颠覆者纷纷进入BIPV市场，推动行业加速整合。除了在2005年就开始BIPV探索之路的“老牌”光伏企业英利集团之外，目前硅片和组件环节的龙头企业隆基，也于2020年8月发布了首款BIPV产品。电动汽车龙头企业特斯拉(Tesla)的CEO马斯克(Elon Musk)曾表示，“太阳能屋顶会变成特斯拉的一个主要业务”⁴⁰。

我国现有的建筑面积可安装光伏400GW，每年竣工建筑面积可安装40GW，潜在市场达千亿元⁴¹。预估“十四五”期间，BIPV新增装机容量有望达到120GW。而光伏成本在过去20年下降了近90%，带动了BIPV投资成本持续下降。内部收益率高、投入回收快，是BIPV市场得以发展的根本原因⁴²。特别是工商业屋顶，有着大面积、标准化、以及自发自用的高电价优势，项目投资回收期已缩至5~8年，对应内部收益率(IRR)达12%以上。

正如BIPV的阐释概念，光伏建筑一体化市场潜力充分发挥的前提是，光伏与建筑行业的深度嵌合。而光伏与建筑的“一体化”之路还面临着一些挑战：

- 在行业标准层面，虽然住房和城乡建设部已经出台了一些关于BIPV的技术规范，但是BIPV的产品、设计、施工、建筑等方面的相关标准与规范仍需要进一步完善；
- 在设计层面，作为光伏系统与建筑设计的交叉领域，光伏从业人员与建筑设计人员在设计理念、用户需求理解等方面存在差异，两个行业还需要更充分的沟通交流，并在建筑设计早期阶段植入BIPV的需求，以提高后续设计与施工的效率；
- 在产品层面，光伏板应用于建筑外立面时，不仅要生产电力，还需要具备建筑材料应有的使用寿命、保温、防漏、散热等功能。更重要的是，BIPV产品在满足功能性需求的同时，还需具备色彩、造型等建筑设计的美学属性。BIPV企业与上游材料企业以及建筑设计需求方在产品的设计、研发等环节需要更深度的合作，才能更好地满足这一类需求。

结语

中国能源转型在全球能源产业发展中扮演着极其重要的角色，其改革的东风与创新实践的动力更是推进全球气候治理的有效手段。在“3060”双碳目标下，我们的眼光已经不仅仅限于可再生能源本身的讨论和传统模式的发展，可再生能源的“内需”已经可以更多地借助跨界应用来增效。

而跨部门的产业合作和更系统的规则制定，无疑是我们将会面临的挑战。但是在挑战的背后，也同样是能源企业所应当及时把握的机遇。开放创新技术与大尺寸化和智能化的“风口”有机结合是势在必行的，投资新技术新能源的同时，处理新的资源浪费与减轻环境保护负担将是我们共同的责任。在大规模开发利用可再生能源和高效整合跨部门合作的议程下，我们也不可忽略“拔苗助长”的误区，详细的规则制定与有力的市场监管需要及时到位。

可再生能源产业优化与开放创新技术是PowerLab持续关注重点，本报告在“3060”双碳目标下探讨可再生能源发展趋势的内生动力和跨界应用，是整合行业资讯与助力新风向的加速器。

PowerLab将继续建言献策可再生能源创新技术的产业孵化与跨界合作的应用场景，阳光下的未来与可持续发展将不再是“一家之言”或者一句空话！

参考文献

1. Goldman Sachs. Carbonomics China Net Zero: The clean tech revolution[EB/OL].2021-1-20.
2. 国家能源局. 国家能源局2021年一季度网上新闻发布会文字实录[EB/OL]. 2021-1-30.
3. 中国电力企业联合会. 《中国电气化发展报告2019》 [M]. 2020-5-11.
4. 国家能源局. 《关于征求2021年可再生能源电力消纳责任权重和2022—2030年预期目标建议的函》 [M]. 2021-2-10.
5. 证券时报.1000亿级大市场，交易规模翻4倍！全国碳市场交易将启动[EB/OL]. 2021-3-1.
6. 全国新能源消纳监测预警中心. 2020年四季度全国新能源电力消纳评估分析[EB/OL]. 2021-2-5.
7. 北极星太阳能光伏网. 深度解析：光伏大硅片之争，谁主沉浮[EB/OL]. 2019-9-11
8. PVInfoLink. 大尺寸组件供应链的发展现状及趋势分析[EB/OL]. 2020-11-17.
9. 行业研究报告. 《2020年光伏组件行业研究报告》 [M]. 2021-1-11.
10. 北极星太阳能光伏网. “晶晶隆” VS “天升环”：182、210战火不休，500W+组件订单激增20GW+、产能直奔125GW[EB/OL]. 2021-1-19.
11. 酷玩实验室. 从砸死地方官到全世界第一，中国风电35年的血与火之歌[EB/OL]. 2020-12-6.
12. 风能专委会CWEA. 《风能》特别策划|数说风电十三五[EB/OL]. 2021-3-10.
13. 华安证券. 中国碳纤维行业领军者[EB/OL]. 2020-12-21.
14. 百度智能云&赛迪顾问. 《智慧能源白皮书——拥抱数字时代，育先机开新局》 [M]. 2020-3-9.
15. 中央财经委员会第九次会议. 习近平：构建以新能源为主体的新型电力系统 [EB/OL]. 2020-3-16.
16. 埃森哲. 破解能源业数字化之惑[EB/OL]. 2015-05-27.
17. 中国电建. 数字化转型与未来能源发展[EB/OL]. 2019-12.
18. International Energy Agency. <Digitalization & Energy> [M]. 2017-12.
19. 绿色和平能源创新实验室. 助力碳中和，阳光下的新机遇--光伏产业创新趋势报告[M]. 2021-1-18.
20. 北极星太阳能光伏网. 组件回收路茫茫 2025年我国光伏组件回收进入密集期[EB/OL]. 2020-3-4.
21. 中国科学报. 光伏组件：“扎堆”退役，无力回收[EB/OL]. 2020-8-12.
22. International Renewable Energy Agency. End of life management: Solar photovoltaic Panels[M]. 2016-6.

-
23. Elizabeth Markert & Ilke Celik & Defne Apul. Private and Externality Costs and Benefits of Recycling Crystalline Silicon (c-Si) Photovoltaic Panels, *Energies*, MDPI, Open Access Journal, vol. 13(14), pages 1-13. 2020-7.
 24. NS Energy. Vestas plans to produce zero-waste turbines by 2040 [EB/OL].2020-1-21.
 25. 科技新报. 离岸风电热潮持续，风机叶片回收课题不可忽略[EB/OL]. 2020-1-22.
 26. 中国氢能联盟.《中国氢能源及燃料电池产业白皮书》（2019版）[M]. 2019-6-26.
 27. 香橙会研究院. 可再生能源制氢经济账,电价低于2毛6就有成本优势(附实测数据模型)[EB/OL]. 2020-12-26.
 28. 新华网. 2020年全国可再生能源发电量同比增长约8.4%. [EB/OL]. 2021-1-30.
 29. 彭博新能源财经BloombergNEF. 碳中和展望 | 氢能产业发展的下一道槛：需求. [EB/OL]. 2021-3-17.
 30. Mckinsey & Company and Hydrogen Council. < Hydrogen Insights 2021> [M]. 2021-2-17.
 31. 中华人民共和国国家发展与改革委员会. 国家发展改革委 国家能源局关于推进电力源网荷储一体化和多能互补发展的指导意见 [M]. 2021-2-25.
 32. 中金点睛. 碳中和，离我们还有多远：交运篇[EB/OL]. 2020-12-7.
 33. 高瓴产业与创新研究院和北京绿色金融与可持续发展研究院.《迈向”碳中和2060”，迎接低碳发展新机遇》[M]. 2021-3-17.
 34. 中国汽车技术研究中心.《2020动力电池产业发展报告》[M]. 2020-12-16.
 35. 前瞻产业研究院. 2020年全球及中国储能行业发展现状分析 抽水蓄能均占据绝对主导地位[EB/OL]. 2020-7-31.
 36. 知勇. 锦缎. 碳中和的“龙脉”：储能 [EB/OL]. 2021-3-8.
 37. 刘坚. 储能科学与技术. 电动汽车退役电池储能应用潜力及成本分析[J]. 2017, 6(2):243-249.
 38. 来小康. 储能科学与技术. 关于动力电池梯次利用的一些思考[J]. 2020, 009(002):598-602.
 39. 国际能源网/光伏头条. 2020年中国光伏行业年度大会: 国家能源局任育之：“十四五”将开展光伏储能示范项目；中国光伏行业协会王勃华：“十四五”国内年均新增规模有望达90GW. [EB/OL]. 2020-12-11.
 40. 索比光伏网. 光伏巨头高调进军，工商业BIPV迎来最强风口[EB/OL]. 2020-8-5.
 41. 中国能源报. 这两个行业深度融合，BIPV能不“香”吗？ [EB/OL]. 2020-8-27.
 42. 中国能源报. 助力“碳中和”，超20个省市发布BIPV政策[EB/OL]. 2021-2-4.
-

关于PowerLab

2016年，国际环保组织绿色和平创立了国内第一个专注于可再生能源的非营利孵化器——PowerLab。在致力于孵化与赋能可再生能源创新创业团队和个人的基础上，PowerLab引入“开放式创新”的概念和实践，希望通过可再生能源产业的开放式创新，以场景赋能、协调创新等多种形式助力能源领域初创团队。同时，通过与创新团队的高效合作，引导有实力的能源企业注入多元创新基因、搭建企业创业生态，进而推动中国再生能源多元应用的发展。

2021年，PowerLab继续从可再生能源产业的内部创新出发，基于产业龙头企业的实际业务需求，经过国内/海外项目征集，为企业发现并对接到合适的项目与团队，并予以网络/技术/资金/人才上的深度支持。





GREENPEACE 绿色和平

绿色和平是一个全球性环保组织，
致力于以实际行动推动积极的改变，
保护地球环境与世界和平。

地 址:北京东城区东四十条94号亮点文创园A座201室

邮 编:100007

电 话:010-65546931

传 真:010-64087851

www.greenpeace.org.cn