

集中式光伏 分析报告

第六组：房晨 崔霆予 燕书欣 聂齐越 马啸天

2022.6.15



/00

目录

- 光伏产业概况
- 集中式光伏产业链分析
- 光伏产业与碳中和
- 问题与挑战

/01

光伏产业概况

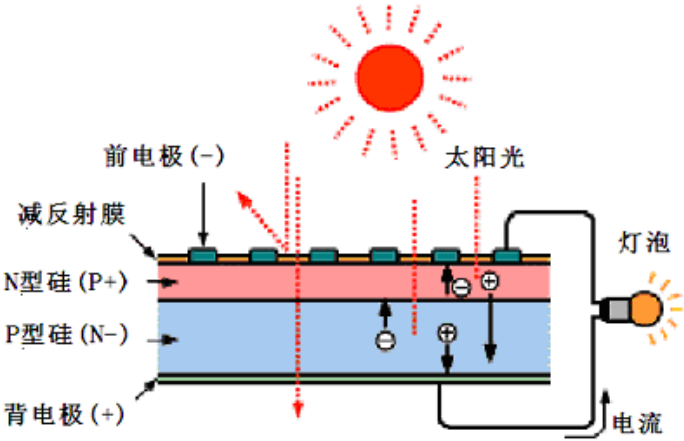
- 集中式光伏介绍
- 集中式光伏装机规模
- 中国集中式光伏在全球
- 政策梳理

集中式光伏介绍

光伏

- 概念：光伏发电是利用半导体界面的光生伏特效应而将光能直接转变为电能的一种技术。
- 原理：光伏电池是光伏发电效率的核心，而其核心部分是在P型硅片和N型硅片交界处形成的P-N结。P型半导体掺杂元素B，以空穴作为多数载流子主要参与导电；N型半导体掺杂元素P，以电子为多数载流子主要参与导电。
- 基本组件：电池组、汇流箱、逆变器、变压器
- 特点：设备精简，安装维护便捷，使用寿命长，适应性强，应用场合非常广泛

图：光伏电池发电原理



集中式光伏

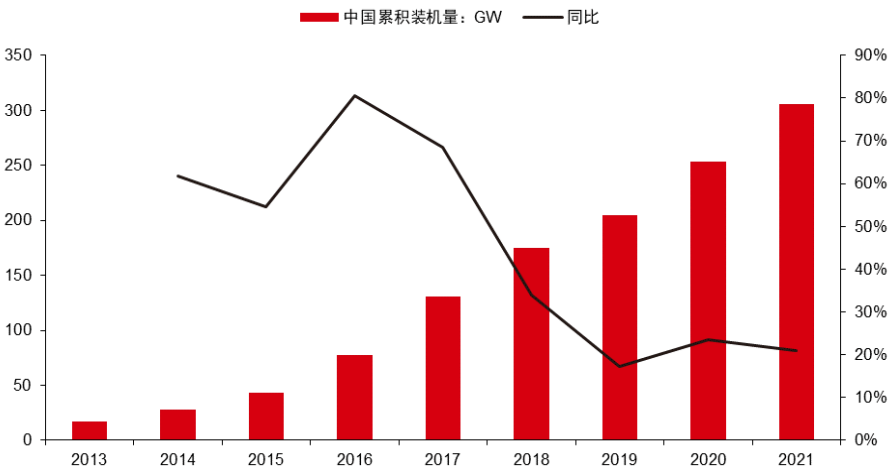
- 概念：集中式光伏——借助于荒漠地区辽阔地域和相对稳定的太阳能资源，建设大型的光伏电站，将电站发电直接接入电网，由电网统一调度后向用户输电。分布式光伏——依托于建筑物建设，就近解决用户的用电问题，同时通过并网来实现用电差额的补偿与外送。

表：集中式光伏与分布式光伏的主要区别

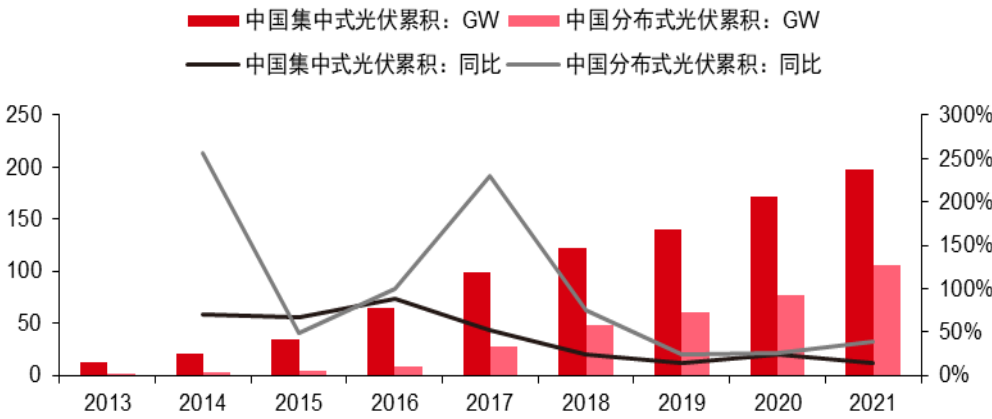
	集中式光伏	分布式光伏
规模	规模大，占地多	规模小，占地少
位置与输送损耗	远离终端用户，输电需经电网配送，线路电能损耗大	位于终端用户侧，无需长距离输电，线路电能损耗小
电量消纳速度	慢	快
系统效率与电能产量	高	低
扩容性	空间限制小，便于扩容	受建筑物限制，扩容有困难
无功与电压控制及电网频率调节	技术成熟，便于实现	技术难度高，实现有困难
对发电故障的应对能力	灵活性差，一旦发生故障可能会停止大部分发电，并影响终端用电	灵活性好，部分电网因在孤岛条件下工作始终能保持通电，减少对终端的影响
投资建设成本	选址地一般远离主基础设施，投资建设成本高	选址灵活，基础设施配套完善，投资建设成本低
维护成本	人口密度低，经济落后，维护成本高	人口密度高，经济发达，维护成本低

集中式光伏装机规模-中国

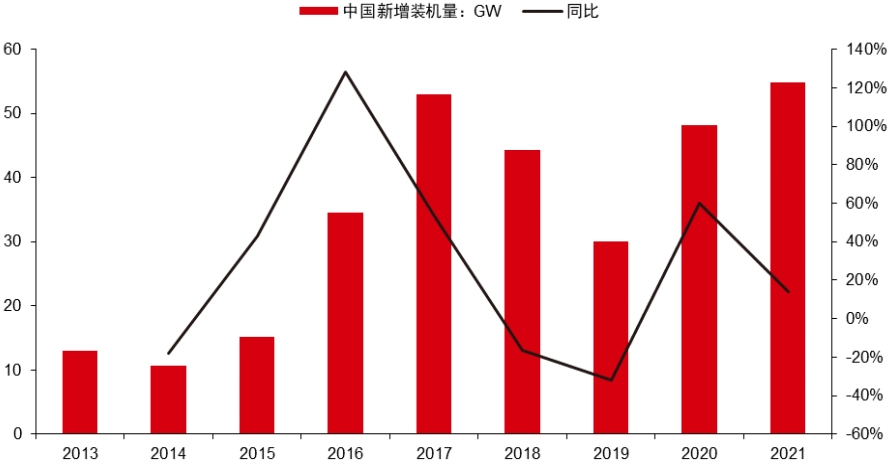
图：2013年以来中国光伏累积装机总容量



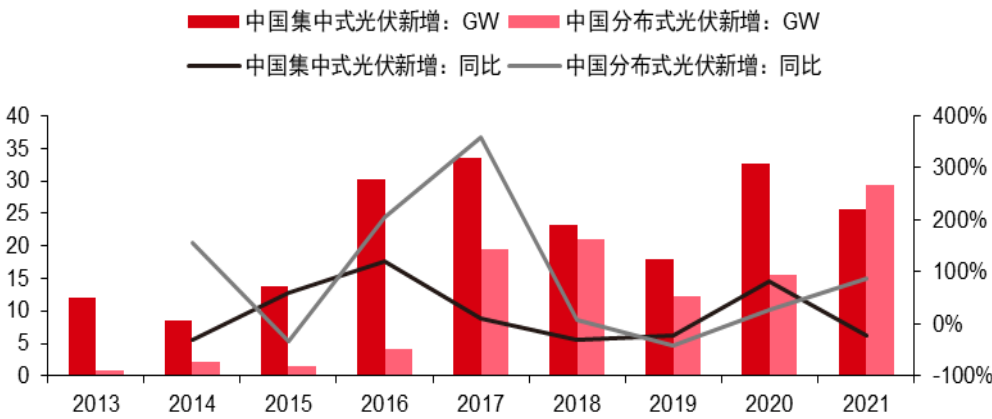
图：2013年以来中国集中式光伏与分布式光伏累积装机总容量



图：2013年以来中国光伏新增装机总容量

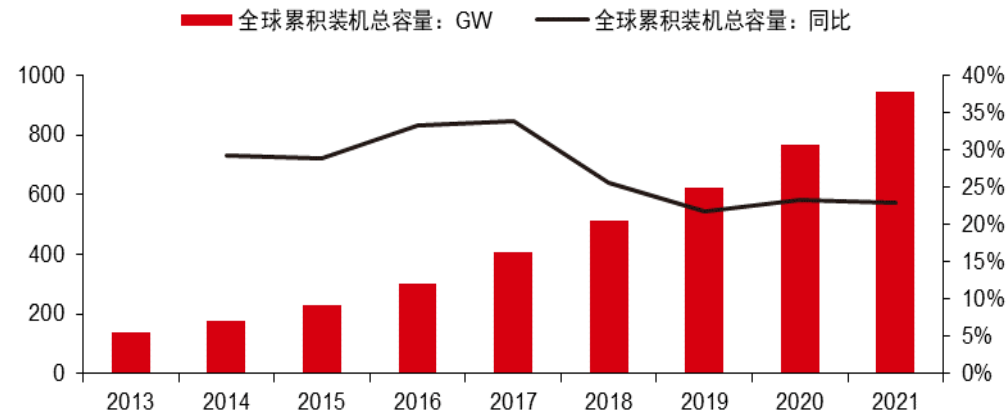


图：2013年以来中国集中式光伏与分布式光伏新增装机总容量

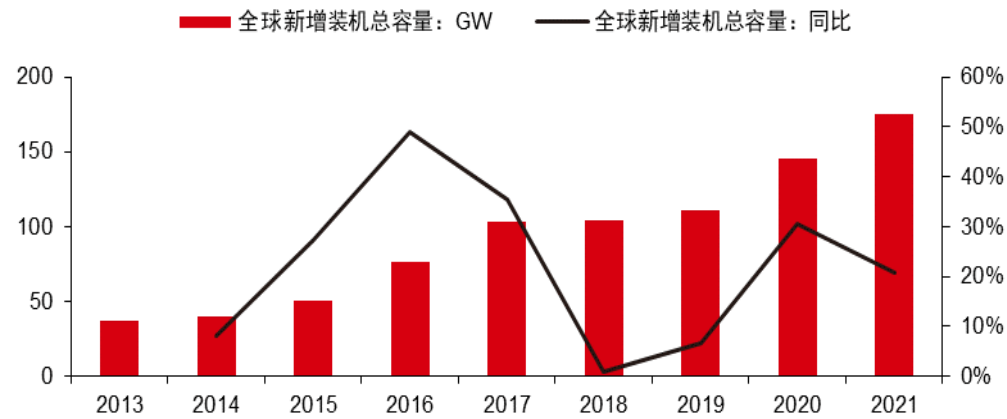


集中式光伏装机规模-全球

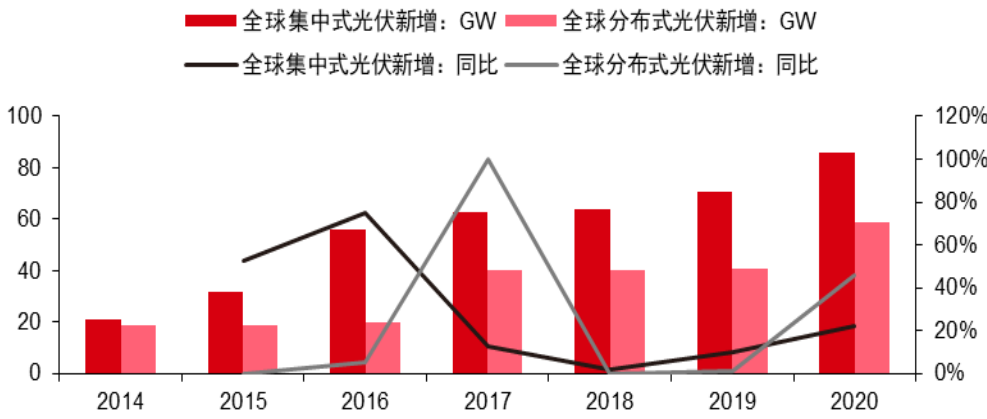
图：2013年以来全球光伏累积装机总容量



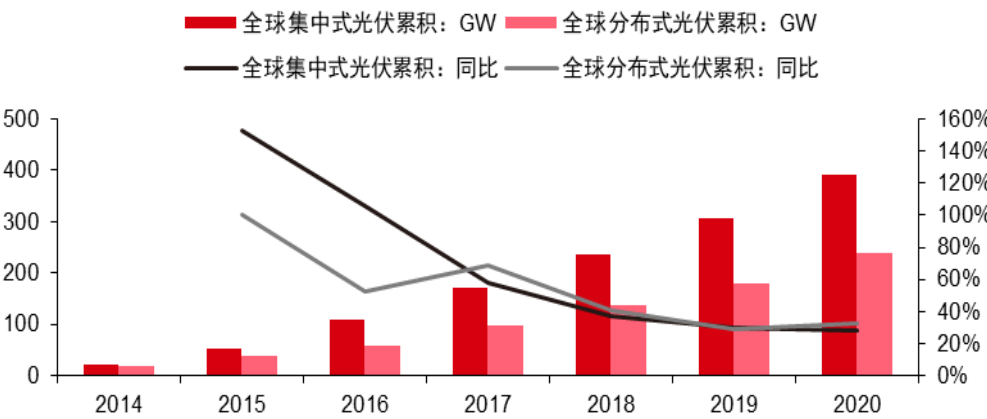
图：2013年以来全球光伏新增装机总容量



图：2014-2020年全球集中式光伏与分布式光伏累积装机总容量

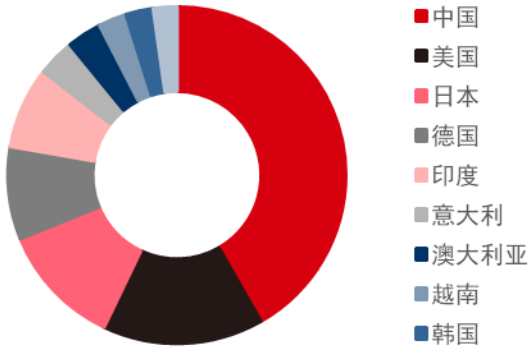


图：2014-2020年全球集中式光伏与分布式光伏新增装机总容量

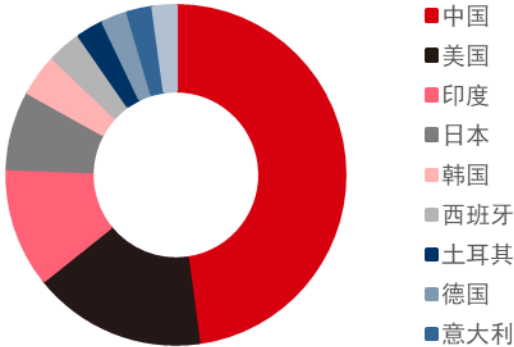


中国集中式光伏在全球——装机容量

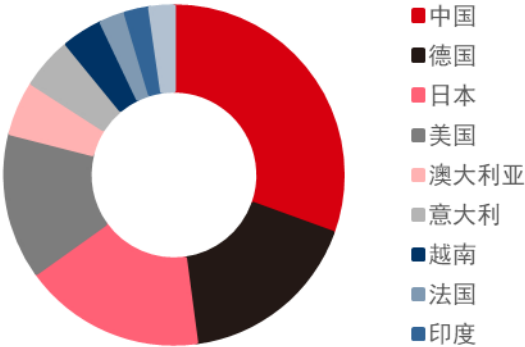
图：2020年全球光伏累积装机前10国规模占比



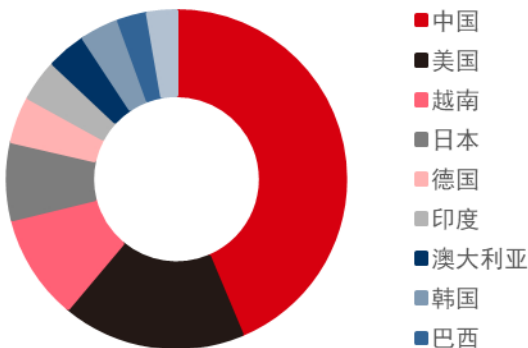
图：2020年全球集中式光伏累积装机容量前10国规模占比



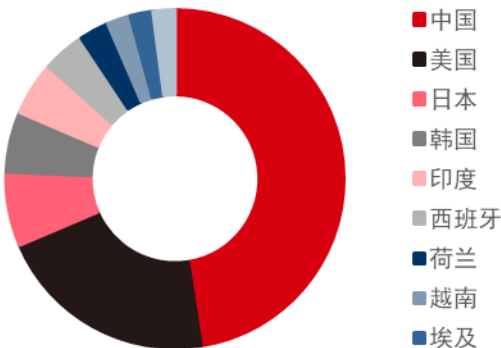
图：2020年全球分布式光伏累积装机容量前10国规模占比



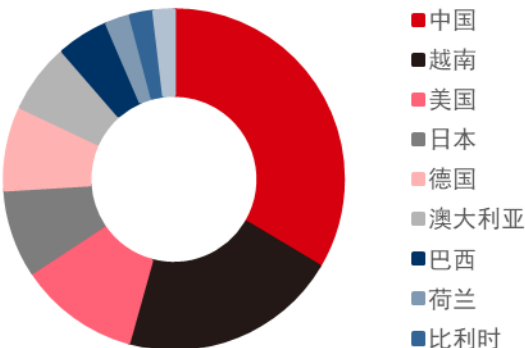
图：2020年全球光伏新增装机前10国规模占比



图：2020年全球集中式光伏新增装机容量前10国规模占比

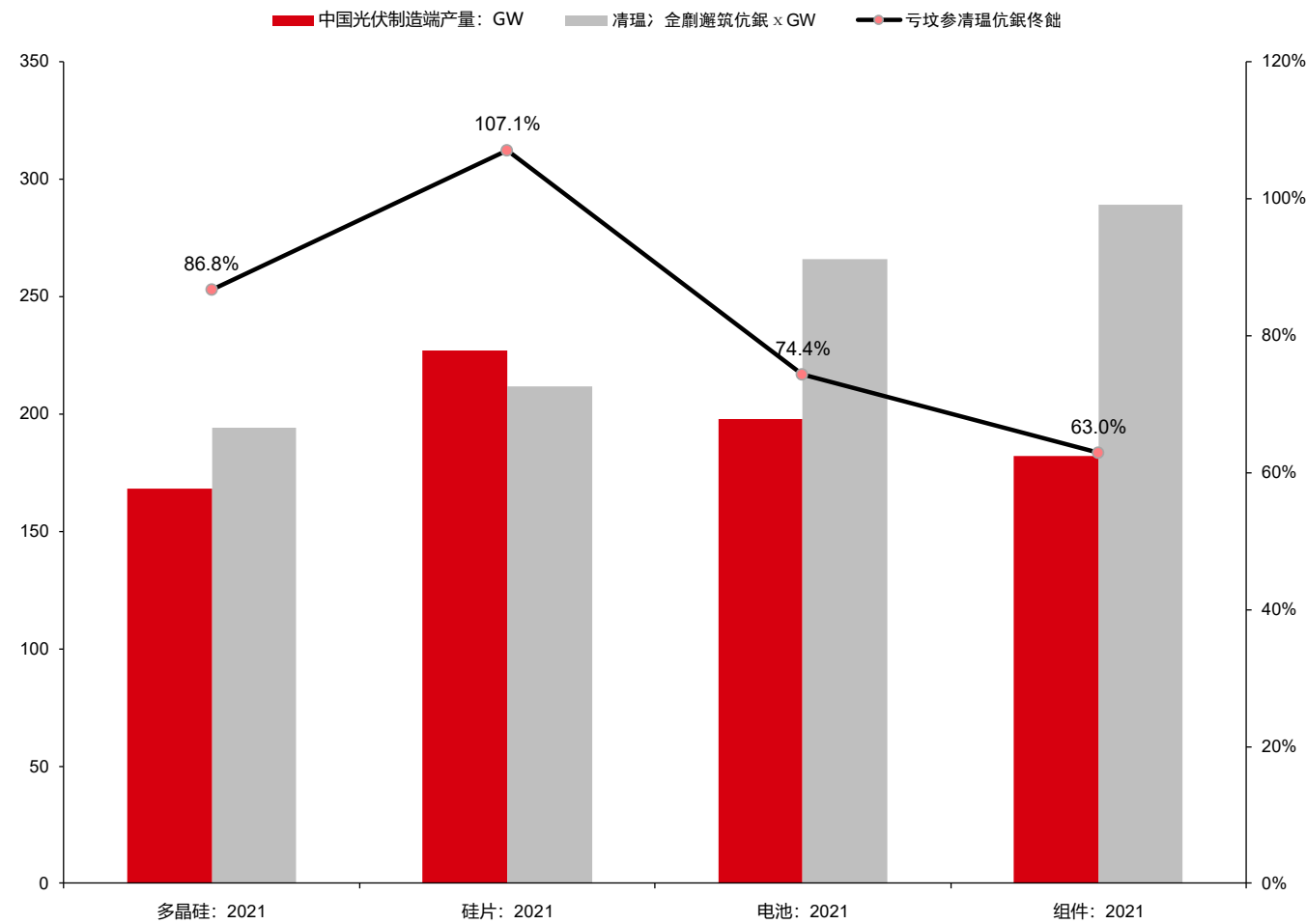


图：2020年全球分布式光伏新增装机容量前10国规模占比



中国集中式光伏在全球——产业链概览

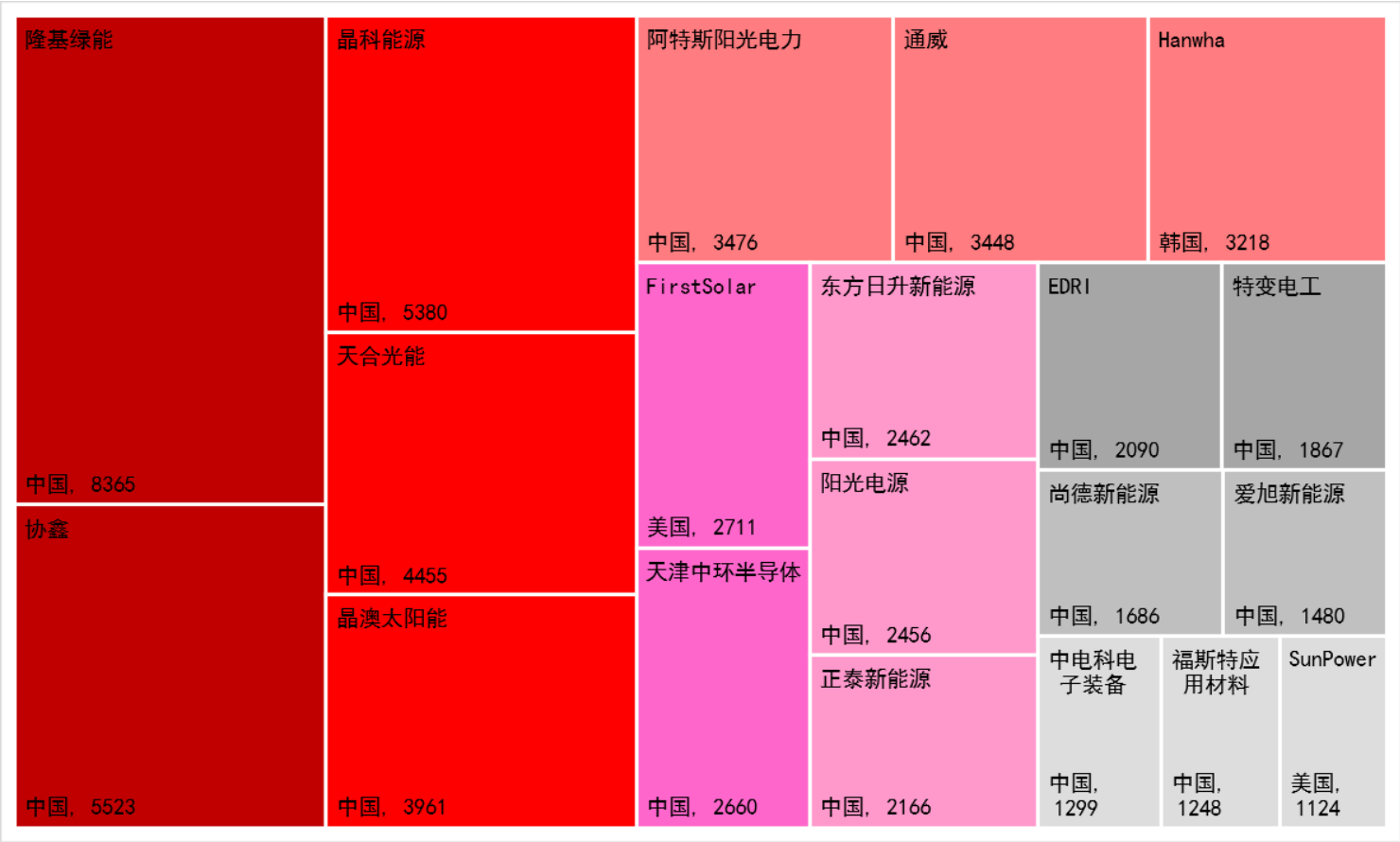
图：2021年中国与全球光伏制造端产量



- 我国光伏组件产量已连续15年居全球首位、多晶硅产量连续11年位居世界首位、光伏累积装机量连续7年位居全球首位。
- 2021年度数据显示，我国全年多晶硅、硅片、电池、组件产量分别达到505000mt、227GW、198GW和182GW，分别占全球光伏市场制造端产量的86.8%、107.1%、74.4%和63.0%。
- 此外，2021年我国光伏制造端（四环节）产值突破7500亿元，75家A股上市光伏公司总营收破8200亿元，光伏产品出口超284亿美元，占全球出口的超40%

中国集中式光伏在全球——企业表现

图：2021年全球20强光伏企业所属国及营收（单位：百万美元）



- 在全球20强光伏企业中，隆基、协鑫、晶科以超过50亿美元的营收强势位列前三，天合光能、晶澳等企业紧随其后，中国企业占据了全球光伏20强排行榜中的17席。
- 在全球光伏产业链头部企业中，中国公司的数量为——单晶硅前十强中占6席、硅片前十强包揽、电池和光伏组件各有8家进入前十强。
- 整体上看，我国头部光伏企业的经营稳定，竞争规模优势显著，强者恒强的格局非常稳固。

政策梳理

表：光伏产业政策历程梳理

年份	政策	简介
2006年1月1日	《可再生能源法》	明确支持和鼓励可再生能源并网发电，提出全网分摊、合理上网电价和全额收购三大原则
2009年3月	《太阳能光电建筑应用财政补助资金管理暂行办法》 《关于加快推进太阳能光电建筑应用的实施意见》	中央财政可以安排部分资金用于支持太阳能光伏应用在城乡建筑领域的示范与推广，光伏市场的重要转折点——太阳能屋顶计划
2009年7月	《关于实施金太阳示范工程的通知》	对并网光伏发电项目以及偏远无电地区独立光伏发电系统进行适当补助与贴息
2011年8月	《关于完善太阳能光伏发电上网电价政策的通知》	确定了全国范围内的统一光伏发电标杆上网电价
2012年10月	《关于做好分布式光伏发电并网服务工作的意见》	确定了分布式光伏界定标准，明确表示为并网工程开辟绿色通道
2017年12月	《关于2018年光伏发电项目价格政策的通知》	2018年1月1日起投运的分布式光伏发电项目的全电量度电补贴标准降低0.05元，调整为0.37元/千瓦时
2018年5月31日	《关于2018年光伏发电有关事项的通知》	“531”新政，再度下调分布式光伏发电度电补贴标准，下调至0.32元/千瓦时
2019年	《关于完善光伏发电上网电价机制有关问题的通知》	再度降低分布式光伏补贴标准
2020年	《关于2020年光伏发电上网电价政策有关事项的通知》	
2021年4月	《关于2021年新能源上网电价政策有关事项的通知（征求意见稿）》	2021年纳入当年中央补贴规模的新建户用分布式光伏全发电量补贴标准为0.03元/千瓦时，2022年新建的则不再补贴，开始平价上网

政策驱动期（2014-2017）——固定标杆上网电价

2018年以前，国家对光伏发电执行高于燃煤标杆上网电价的固定电价收购政策，通过电价补贴促进光伏装机需求。
中国光伏企业在政策支持、技术进步以及产能扩张的带动下，产业规模迅速扩大，各环节成本优势越加明显，确立了全球竞争力与领先地位。

转型过渡期（2018-2020）——技术主导产业变革竞价上网

2018年以后，在光伏装机成本不断下降的过程中，补贴政策也加速退坡，制造企业盈利的影响因素由政策主导向技术主导转变。

经济驱动期（2021-至今）——向平价迈进的产业格局重塑

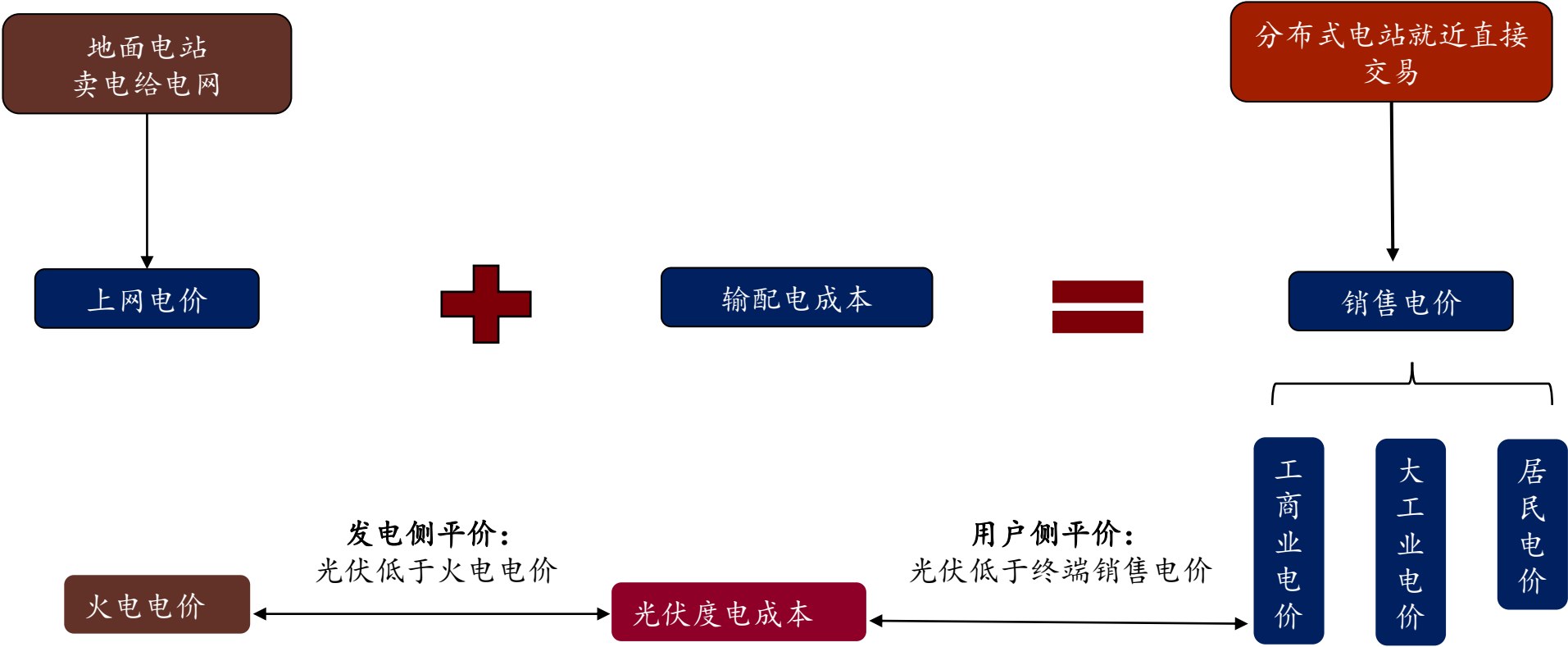
随着补贴政策取消，政策对行业影响越加淡化，光伏产业链盈利构成要素将从“政策+资本+技术”转变为“资本+技术”。

政策梳理

经济驱动期（2021-至今）
向平价迈进的产业格局重塑

随着光伏发电技术进步，“十四五”初期光伏发电将逐步全面实现平价。平价上网分为用户侧和发电侧平价。用户侧平价指与用户从电网适用的电价同价，其中包含输配电成本。发电侧平价指与火电上网电价平价，不含输配电成本。

图：光伏项目用户侧平价上网与发电侧平价上网示意图





GROUP 6

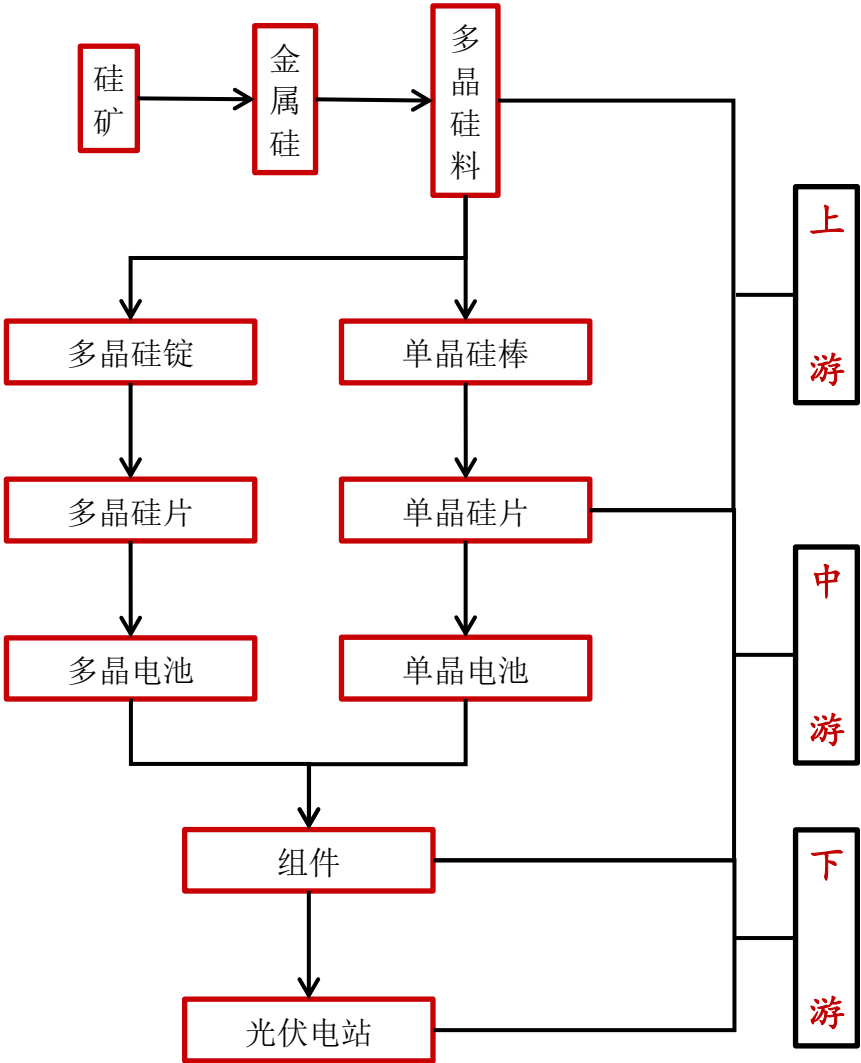
/02

集中式光伏产业链分析

- 产业链概览
- 上游硅片环节
- 中游电池和组件环节
- 下游集中式光伏电站环节

产业链概览

环节	步骤	步骤工序	需要设备
 硅料	生长/铸造/提纯	沙石原料在高温下发生还原反应得到冶金级硅，然后生成液态的硅烷，最后得到高纯度的多晶硅	电弧熔炉
	铸锭/拉棒	将高纯多晶硅铸成多晶硅锭或拉成单晶硅棒	铸锭炉/单晶炉
	截断/切方	将多晶硅锭/单晶硅棒切割成硅块	截断机、切方机
	切片	将硅块切割为硅片	多线切割机
 硅片	检测/分选	对生产过程中的硅片进行检测、分级	硅片分选机
	清洗、制绒	在硅片表面制备绒面，提高对光的吸收	湿法黑硅制绒设备
	掺杂、扩散	掺杂微量的硼、磷、锑等元素，使硅片形成PN结	扩散炉
	刻蚀	除去扩散形成的硅片边缘导通、磷硅玻璃等	刻蚀机
 电池片	镀膜	通过镀膜减少硅对太阳光的反射，钝化电池片表面从而降低表面复合	PECVD
	金属化	在电池片两面印刷正负极（栅线）	丝网印刷设备
	烧结	通过加热使电池片和金属电极之间形成良好的欧姆接触	烧结炉
	退火	通过退火，修复电池片缺陷，提升电池片效率	光注入退火炉
	检测/分选	电池片检测、分级	电池片分选机
	串焊	将电池片焊接成电池串	常规串焊机、多主栅串焊机、叠瓦机、激光划片机、贴膜机
 组件	叠层	将串焊后的电池串与玻璃、背板材料等叠层在一起	叠层设备
	层压	通过加热、加压把上述多层材料结合为整体	层压机
	检测	功率测试分选	功率测试设备
	系统组装	将组件以合适的方式进行排列并支撑固定	控制架/逆变器

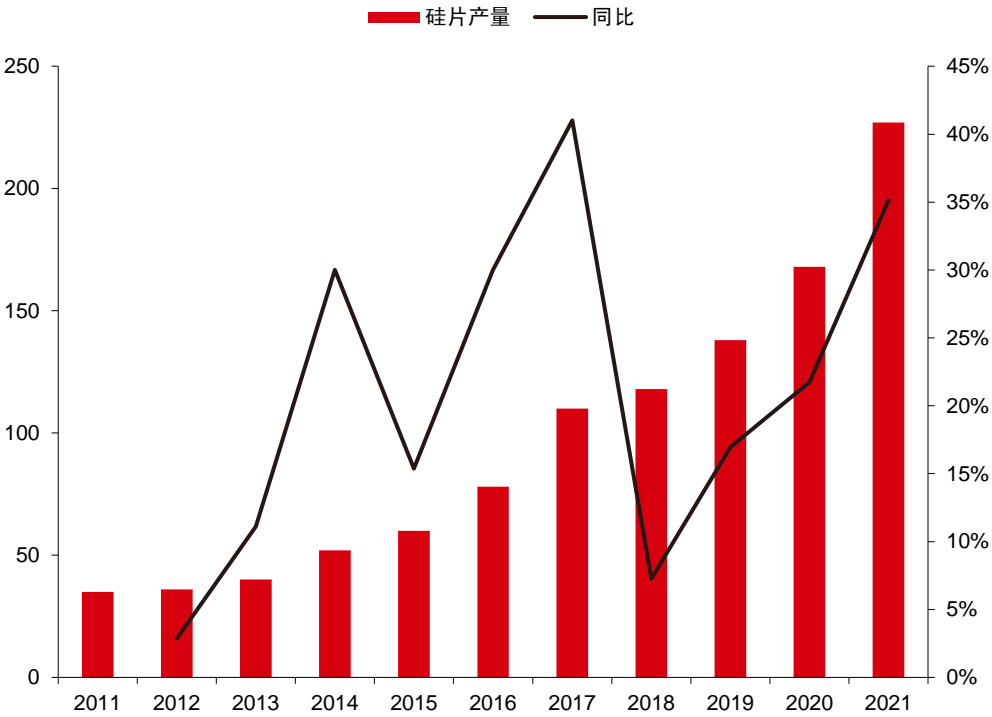


上游硅片环节：产量稳定增长，单晶硅占比变大

硅片产量稳步上涨

全球光伏硅片产量在近十年来快速稳步增长，2020年全球硅片总产能约为247GW，产量约为168GW，同比增长21.3%，**2021年硅片产量超过225GW，同比增长超过30%。**

图：全球硅片产量

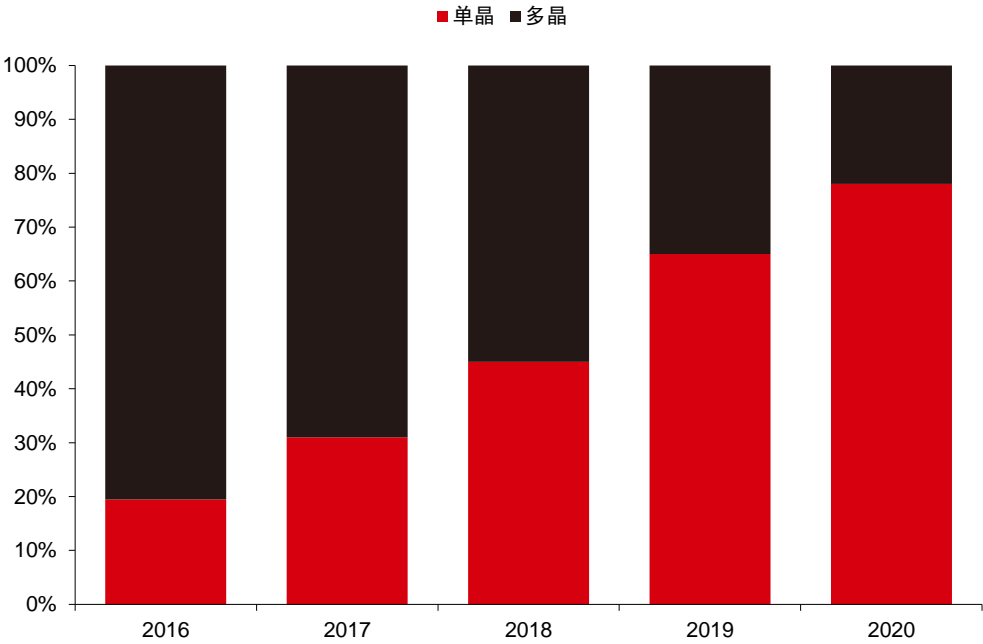


单晶硅占比增加

单晶硅晶体结构更规整，单晶硅电池比多晶硅电池的理论转化率高约2%。尤其是**单晶拉棒技术和金刚线切技术**的推广，使得单晶硅片的制备成本相较于多晶硅片而言，其成本的下降斜率更大。

单晶硅片占比从2016年的约20%快速而稳健地上升至2018年的45%，到达2020年的78%。

图：单多晶硅片占比



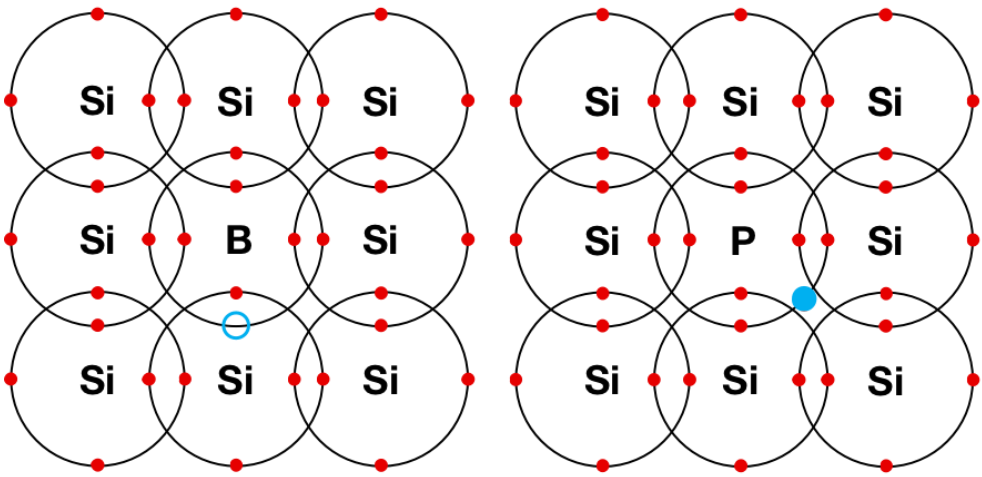
上游硅片环节：变大变薄，向N型进发

硅片类别

P型硅片限制电池转化效率，N型硅片是未来发展方向

- P型硅掺杂硼元素，利用硼原子的“空穴”导电，被称为“空穴型半导体”。P型硅存在硼氧（B-O）复合体导致P型硅晶电池光电转化效率衰减大；
- N型硅掺杂磷元素，利用磷原子的自由电子导电，被称为“电子型半导体”。N型硅片没有硼氧（B-O）复合结构造成的光致衰减效应，意味着N型光伏晶硅电池可获得更高的转化效率。

图：P型硅（左）和N型硅（右）结构



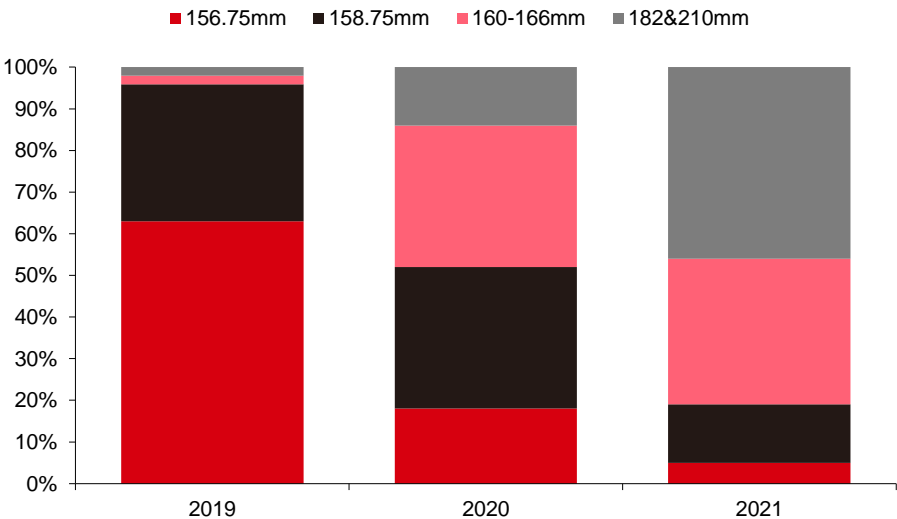
注：小红点是硅原子的核外电子，蓝环是硼的空穴，蓝圆是磷原子的额外电子

硅片尺寸

“大尺寸”和“薄片化”成为发展趋势

- 大尺寸：2019年硅片尺寸主要是156.75mm（占比约61%），2021年156.75mm尺寸占比降至约5%，182mm和210mm尺寸硅片占比快速增长至约45%；
- 薄片化：2020年P型单晶硅片平均厚度约175μm，N型单晶硅片厚度约168μm；2021年P型单晶硅片厚度降至170μm，N型单晶硅片厚度降至160μm左右。

图：不同尺寸硅片占比

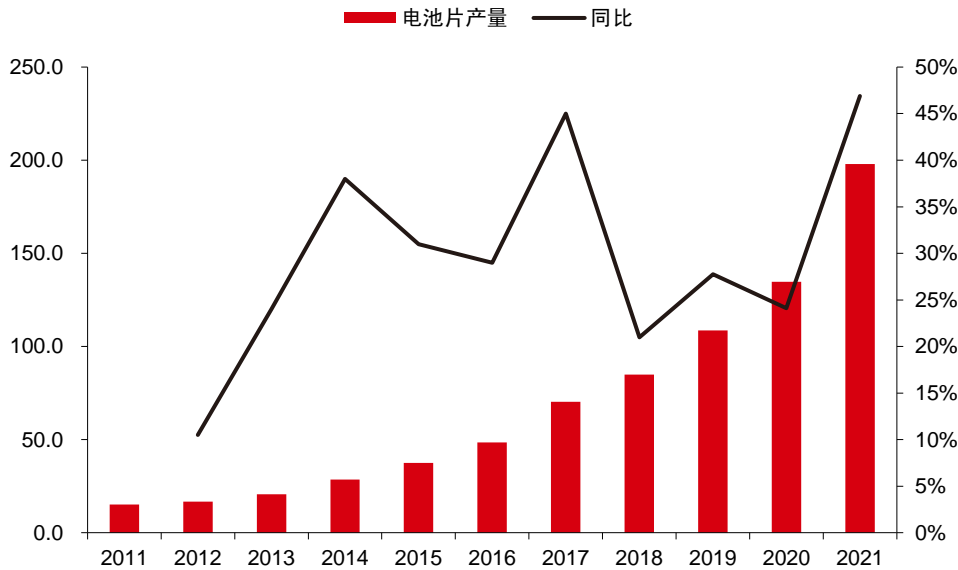


中游电池和组件环节：稳步上涨，协调一致

电池片产量稳步上涨

中国光伏电池片产量在近十年来快速稳步增长，中国2020年电池片产量约135GW，2021年增长至198GW，同比增长47%。

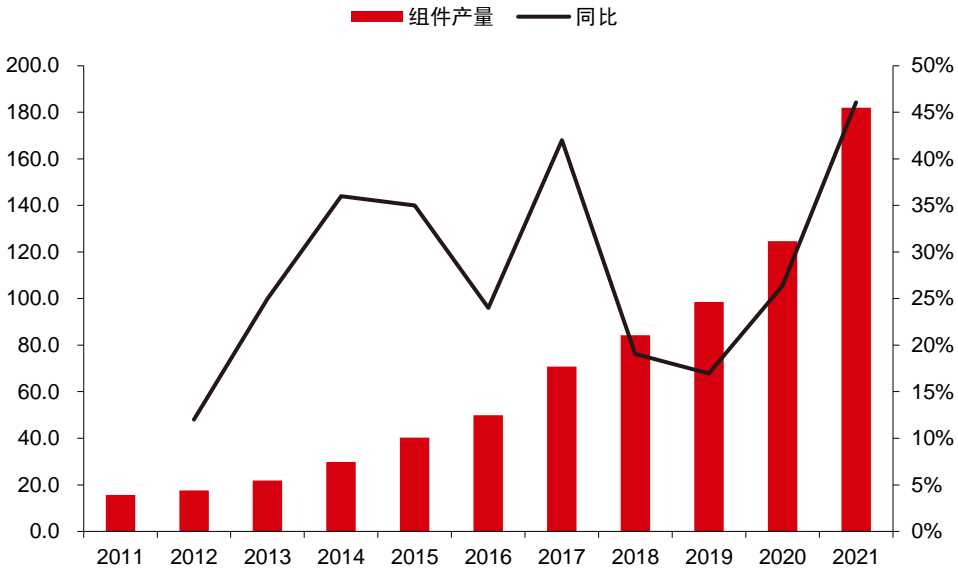
图：中国电池片产量



组件产量稳步增长

中国光伏组件产量在近十年来快速稳步增长，2020年国内组件产量约125GW，2021年产量增长至182GW，同比增长46%。

图：中国组件产量



- 与2016年国内电池片的48GW和组件的50GW产量相比，目前的光伏中游环节产量都实现了超过250%的增长。
- 国内电池片和组件的产量呈现协调一致的变动关系，其产量和同比变化几乎一样，尤其在2011至2018年，两者的产量基本维持相同。自2019年后，虽然近三年电池片产量开始持续高于组件产量，但两者的产量差距也始终维持在10GW附近。

中游电池和组件环节

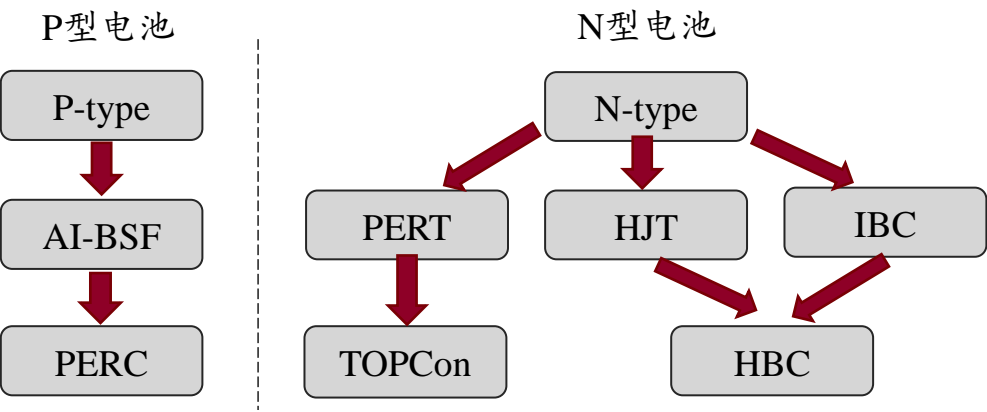
P型和N型电池片

对应于P型和N型硅料和硅片，光伏晶硅电池也有P型和N型之分。

P型电池的主要生产路线为铝背场技术（Al-BSF），目前主流的P型电池采用钝化发射极和背面电池技术（PERC, Passivated Emitter and Rear Cell），但目前的PERC电池转化效率逐渐接近效率极限。

N型电池继承了N型硅片的优点，转化效率高，是未来主要的光伏电池发展方向。目前主要的N型电池技术有发射结钝化全背场扩散技术（PERT, Passivated Emitter Rear Totally- diffused）、隧穿氧化层钝化接触技术（TOPCon, Tunnel Oxide Passivated Contact）和异质结技术（HJT, Heterojunction with Intrinsic Thin Layer）等。

两类电池片的技术路线



两类电池片的性能特征对比

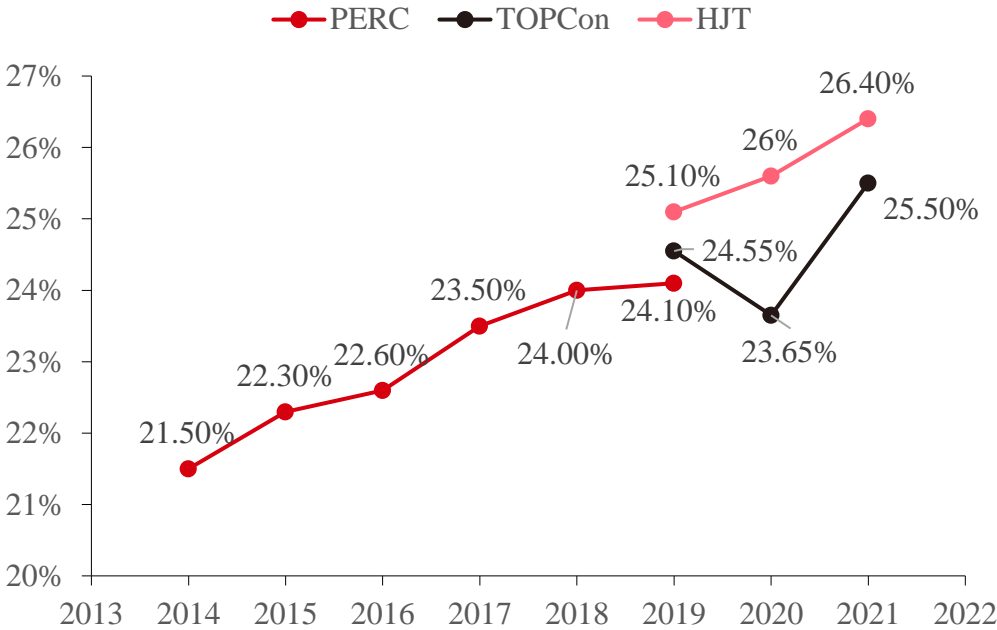
	P型电池	N型电池
掺杂物分凝系数	B: 0.8	P: 0.35
硅锭均匀性	高	低
硅片得率	高	低
功率衰减	大：在基区（B-O对）	小：在发射区（B-O对）
前表面钝化	氮化硅、二氧化硅	氧化铝
前表面钝化技术	PECVD（容易）	ALD、PECVD（难）
背表面钝化	氧化铝	氮化硅、二氧化硅
背表面钝化技术	ALD、PECVD（难）	PECVD（容易）
同等技术电池效率	低	高
工艺复杂性	低	高
成本	低	高

中游电池和组件环节

PERC电池效率变化趋势



光伏电池的实验室效率



- 当前，PERC电池仍然是市场主要的电池种类，并且各大厂商不断研发突破，其中隆基曾在2019年创下PERC转化效率24.1%的记录。
- N型电池蓄势待发，推进速度不断加快，企业纷纷开始布局量产线。
- N型电池有望快速放量，2022年，N型电池（异质结电池和TOPCon电池）占比有望从3%提升至13.4%。

中游电池和组件环节

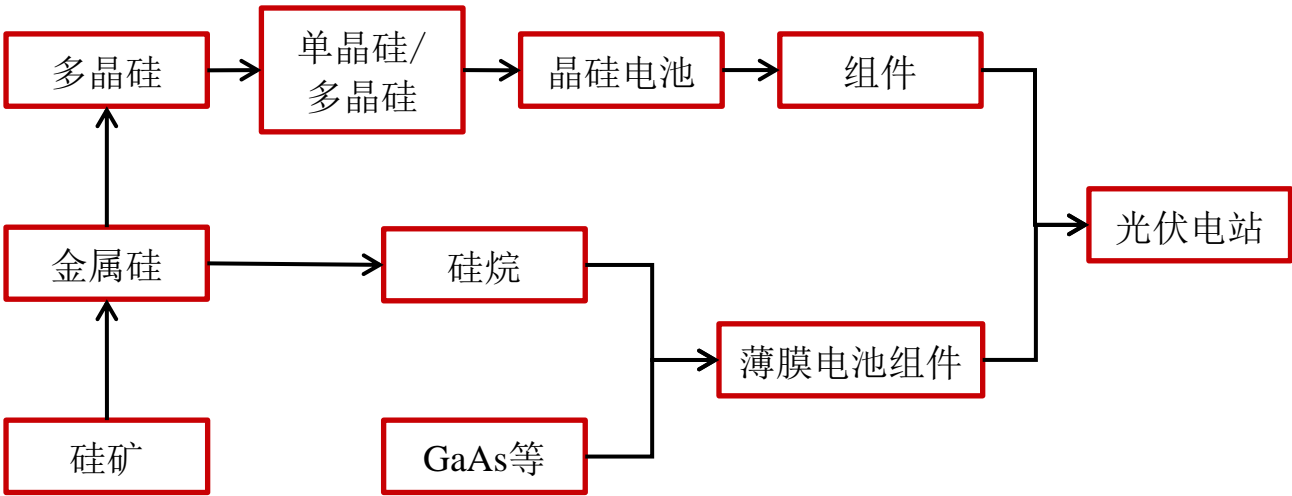
技术路线的对比

	PERC	N-TOPCon	HJT
硅片类型	P	N	N
量产效率	22.5%-23.5%	23.5%-24%	>24%
理论效率	24.50%	28.70%	钙钛矿叠层可达27-29%
技术难度	容易	难度高	难度很高
工艺难点	提升空间饱和	硼掺杂、多晶硅沉积	非晶硅钝化层
核心设备	ALD, PECVD, 激光	LPCVD, 硼扩散炉	PECVD, PVD/RPD
量产性	非常成熟	已可量产	已可量产
产业化现状	效率达到瓶颈	双面发电效率提升有双面提升效率值限, 降本难度大; 可得期待, 降本增效是主要任务	
与产线兼容性	现有产线成熟	可由PERC产线升级	完全不兼容
设备成本	1.5-2亿元	2.3亿元左右	4.5亿元左右
目前问题	后续提效路线不明朗	不量产难度高, 效率提升空间可能略低于HJT	与现有设备不兼容, 设备投资成本高
代表企业	通威股份、隆基乐叶、晶科能源、阿特斯、晶澳科技等	天合光能、中来股份、晶科能源	晋能清洁能源、钧石能源、通威股份等

薄膜电池技术

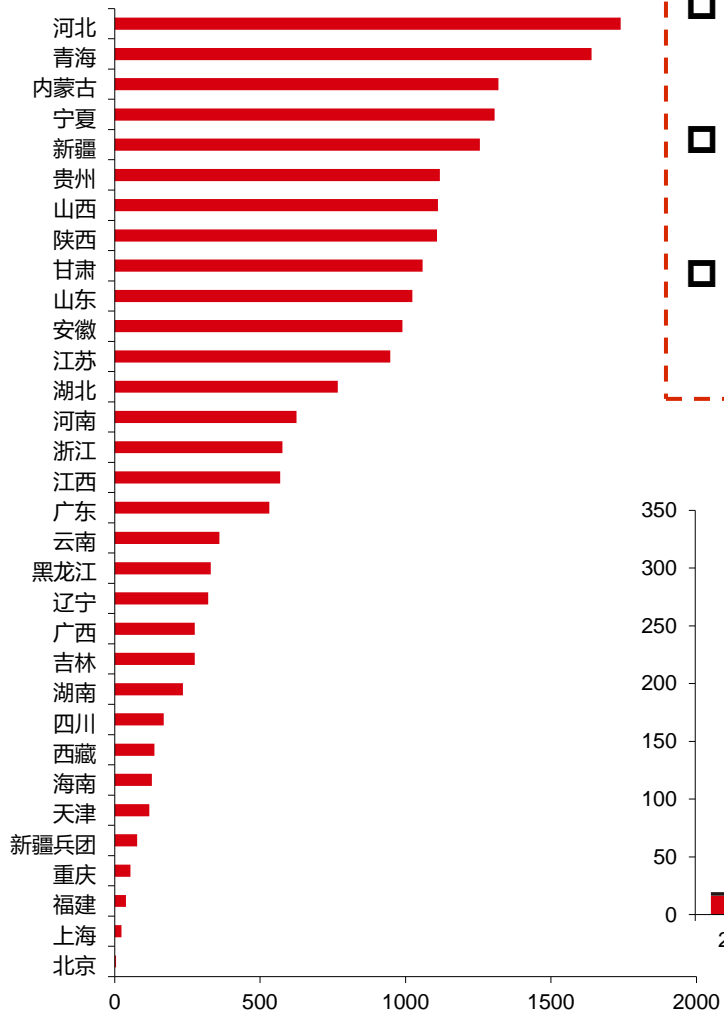
- ❑ 薄膜电池是继晶硅电池之后出现的新一代光伏电池，一般是通过工业硅料产生的硅烷结合少量的硼烷在光伏玻璃上附着生成的。
- ❑ 但由于其极高的技术壁垒和较短的发展年限，目前薄膜电池的生产工艺不成熟，生产设备价格昂贵，薄膜电池的市场份额仍然非常小。

图：晶硅和薄膜电池组件产业链



下游光伏电站环节：西部地区集中分布，集中式电站占比下降

图. 2022Q1省级集中式累计装机量 单位：万千瓦



- 中国光伏累计装机中，集中式占比始终高于60%，但近五年来集中式光伏装机增长趋缓，集中式占比逐年下降，从2016年的87%下降至2021年的65%；
- 新增集中式光伏装机量占比也呈下降趋势，2016年新增集中式光伏装机约30GW，分布式约4GW；而2021年新增集中式装机约25GW，分布式约29GW；
- 截至2022Q1，集中式光伏装机集中在中国西部地区，集中式装机量前九的省份都是（中）西部省份，而分布式光伏主要在中国东部地区。

图. 中国累计光伏装机量 单位：GW

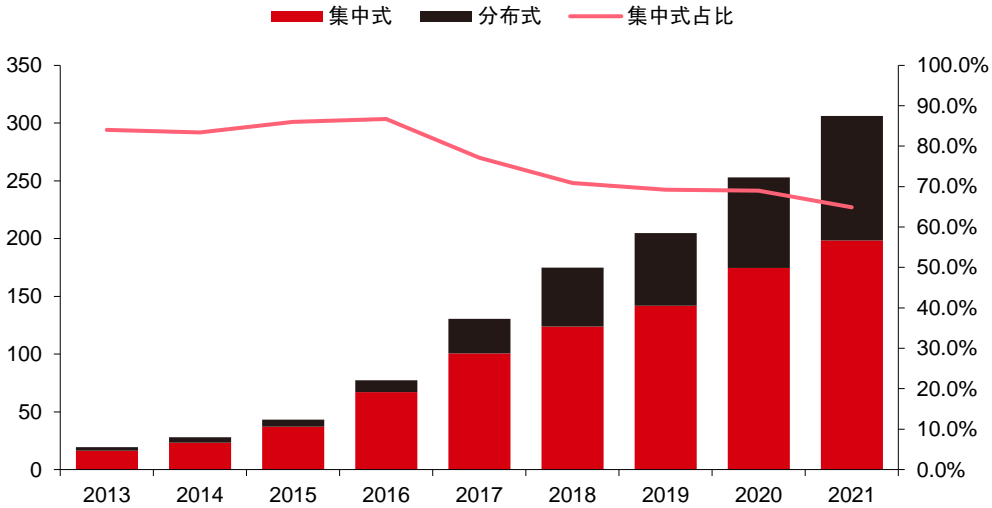
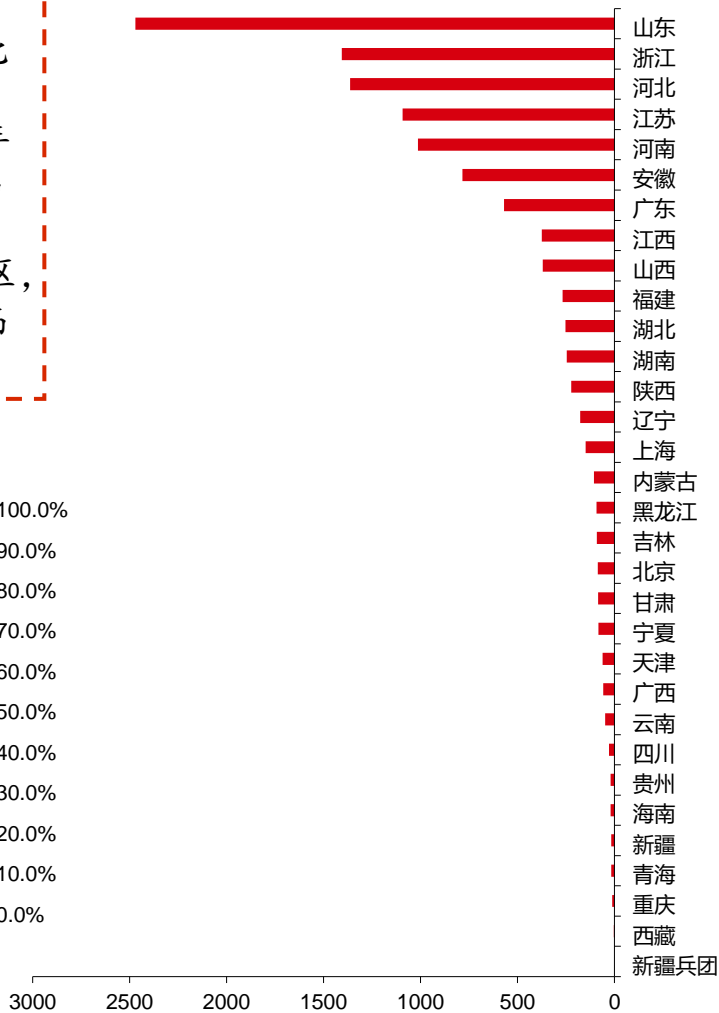


图. 2022Q1省级分布式累计装机量 单位：万千瓦



资料来源：中国电力企业联合会，国家可再生能源中心



GROUP 6

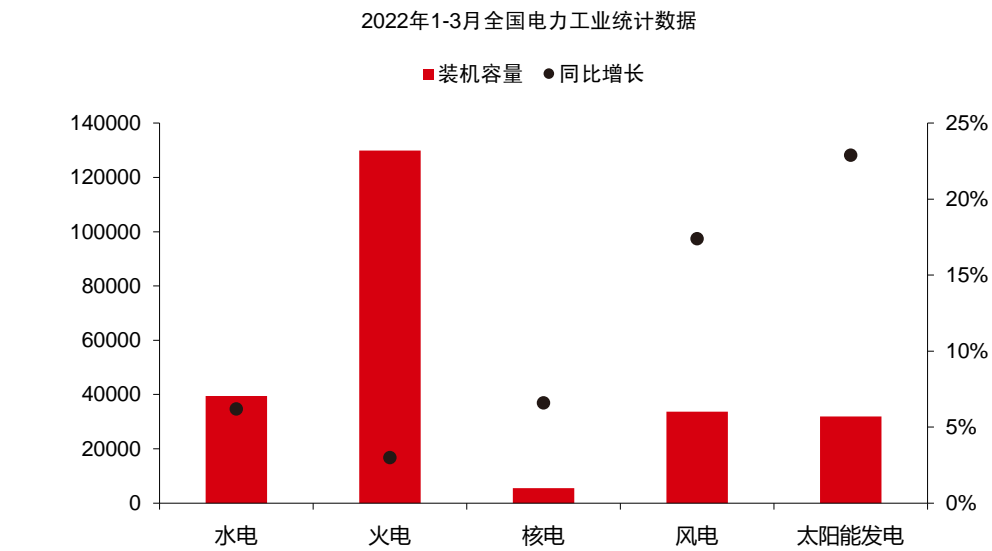
/03

光伏产业与碳中和

- 我国光伏发电规模
- 光伏发电未来减碳潜力

我国光伏发电规模

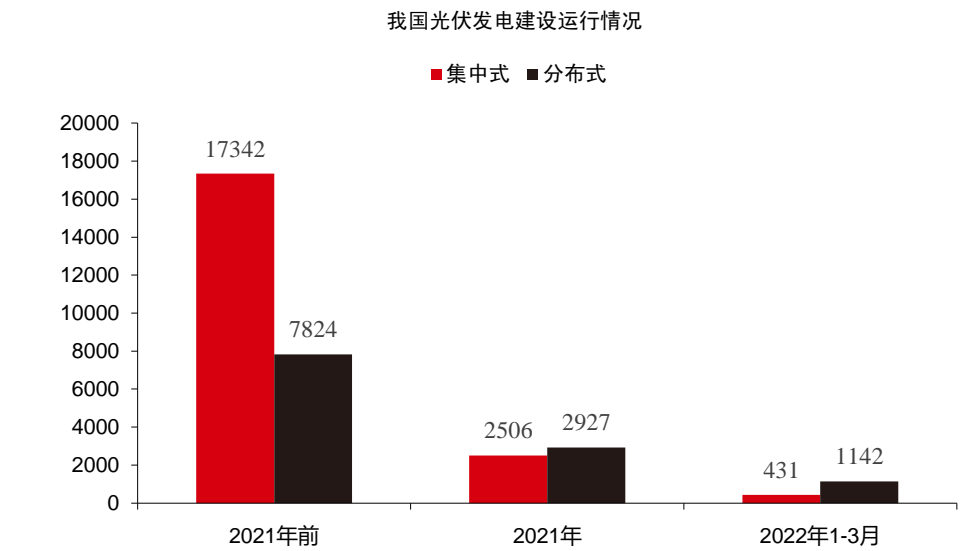
太阳能发电增速



太阳能发电增长迅速（2022年第一季度）

- 太阳能发电同比增长22.9%，是所有发电类型中增长速度最快的；
- 在2022年第一季度累计发电装机容量达到了31855万千瓦，占全国发电装机总量的13.3%。

光伏发电建设情况

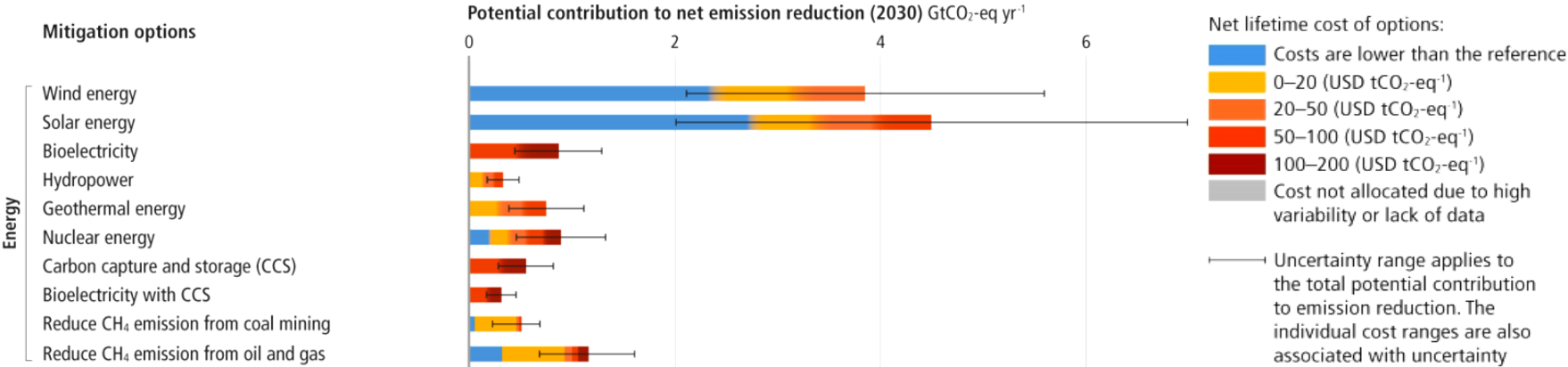


集中式光伏在现有光伏发电设备中占主导地位

- 2022年第一季度全国新增并网容量1321.0万千瓦，其中集中式光伏电站431.1万千瓦，分布式光伏共1141.7万千瓦；
- 截至目前，在光伏发电中，我国仍以集中式光伏电站为主，共20237.1万千瓦，并网容量大致为分布式光伏的两倍。

未来减碳潜力

未来减碳潜力（2030年）



☐ 太阳能发电在2030年被认为能以低于20美元/二氧化碳当量的成本实现2Gt以上的碳减排，并能够在可接受的成本范围内实现4Gt以上的碳减排，是能源领域中减排贡献最大的能源种类。

	2020	2030	2060
煤炭	87	86	16
石油	26	32	11
天然气	12	15	7
核能	4	7	19
水能	5	5	7
现代生物质能	4	11	16
传统生物质能	3	0	0
太阳能	3	10	33
风能	2	4	16
其他可再生能源	1	1	3
总量	147	173	129
非化石能源占比	16%	26%	80%

未来能源占比（2030、2060）

- ☐ 到2060年，非化石能源占比跃升至75%左右。
- ☐ 太阳能在2030年要占到一次能源需求的10%，到2045年左右成为一次能源总需求中占比最大的能源种类，在2060年要达到一次能源需求的33%，从而助力中国在2060年实现能源部门的碳中和。



GROUP 6

/04

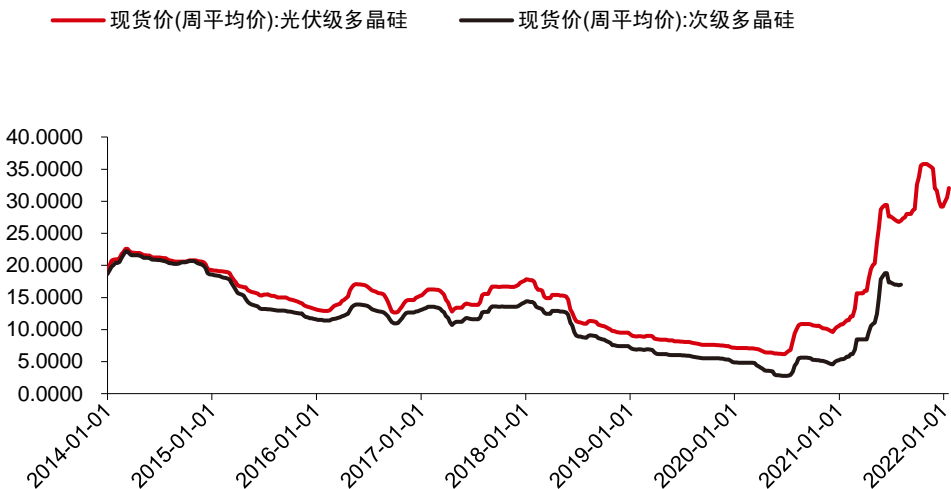
问题与挑战

- 产业端
- 技术端
- 社会治理端

产业端：短期全产业链成本承压，长期电站建设土地供给不乐观

短期：上游硅料供应紧张，全线涨价抑制需求

图：硅料价格走势（单位：美元/kg）



从光伏全产业链的角度看，以多晶硅为代表的原始硅料处于行业的最上游，其产能和价格走势直接决定了整个行业的形势。在短期内，受硅料新**产能释放不达预期**、国内硅料**运输车辆管控严格**、以及进口料受疫情影响**国际物流放缓**等外生冲击影响，**硅料供给相对紧张**，结合中游硅片环节新产能仍在继续释放、且相关企业接单要求较为积极的情况，上游硅料出现供不应求的失衡情况，国内多晶硅价格继续保持上涨趋势



长期：集中式光伏占地面积大，土地供给和土地成本是硬约束

光能属于低密度能源，每平方米土地对应约150瓦的光伏安装量。中国工程院江亿院士指出，面对可再生能源的实际发展需求，除了部分海上风电，未来需要**3-4万平方公里的土地**或空间才能满足。同时，中国能建山西分公司发布《“十四五”期间山西光伏发展面临的挑战和机遇》，明确指出“土地资源紧缺可能成为光伏项目发展最大拦路虎”。

表：光伏用地限制政策

日期	省份	文件	内容
2020/12/27	内蒙古	《关于实行征占用草原林地分区用途管控的通知》	内蒙古将全区50.46%的国土划入生态保护红线，明确在草原森林重要生态功能区，不再新上矿业开发和风电、光伏项目，并将新建五个自治区湿地公园和五个沙化土地封禁保护区
2021/11/2	山东省	《关于对光伏项目用地进行核查的通知》	对光伏项目土地利用情况进行重点核查，并要求文件下发即日起，停止光伏项目用地占用耕地的备案工作
2021/11/3	内蒙古	《关于实行征占用草原林地分区用途管控的通知》	将生态红线列为禁止开发区，严格控制已批准风电、光伏等各类项目新增占用林地。全国各地新建风电场项目禁止占用天然林、乔木林地，新建光伏电站项目阵列组件只能占用无林地

技术端：硅基能量转换率上限不高，调峰配套方案前景不明朗

异质性决定必须搭配电力调峰方案，但消纳方案尚未成熟

- 光照强度的日变化、季节变化、天气事件变化使光伏发电永远无法像火电一样充分可调
- 光伏发电设备存在转动惯量低、动态无功支撑能力弱、电压耐受能力不足等问题，导致电力系统抗扰动能力下降
- 短期火电调峰，长期依赖储能发展情况
- 调峰能力不足逐渐成为光伏发电消纳受限的主要因素

表：重点省份弃光原因

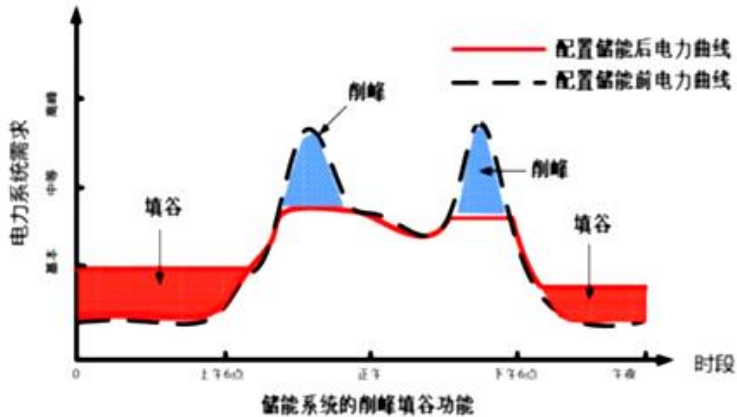
省市	弃光原因			
	调峰能力不足		传输能力有限	
	2015	2020	2015	2020
甘肃	39.6%	69.6%	60.4%	30.1%
宁夏	89.5%	96.6%	10.5%	3.4%
青海	69.8%	93.2%	30.1%	6.7%
新疆	73.0%	90.1%	27.0%	9.8%

硅基电池光电转换率有限，颠覆性电池革命尚未可知

表：不同种类电池转化率对比

电池类别	子类	光电转换率
多结砷化镓电池	三结	37.9%
	二结	32.6%
	四结及以上	38.8%
单结砷化镓电池	普通	27.5%
	搭配薄膜技术	28.8%
薄膜电池	CIGS	22.6%
	CdTe	22.1%
	非晶硅	14.0%
硅晶体电池	单晶硅	25.3%
	多晶硅	21.9%
	异质结构	26.6%
	多晶硅薄膜	21.2%

图：调峰原理示意图

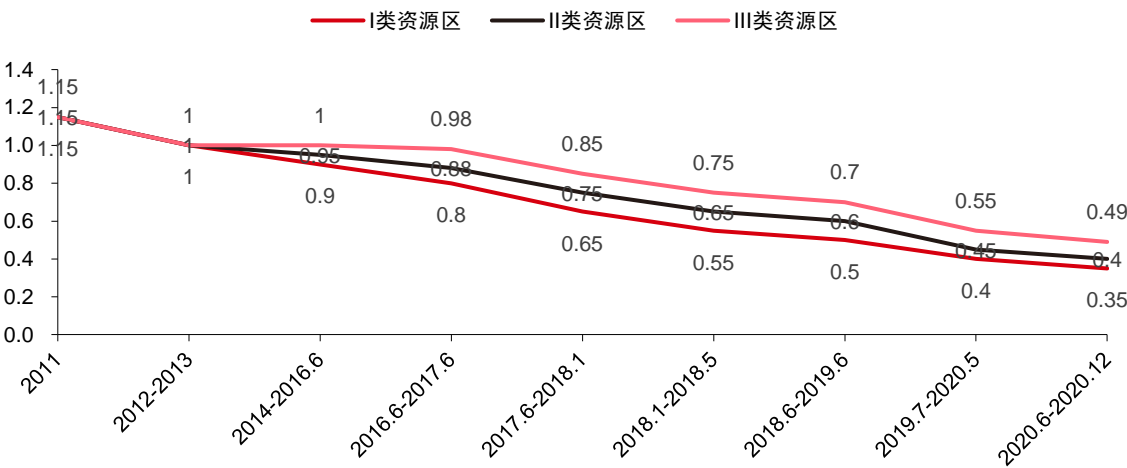


- 从物理性质的角度看，硅基电池的光电能量转换效率都绝非最优解，即便是性能更优的晶体硅，其理论效率也仅为29%，实际使用场景下仅略高于20%
- 空间用砷化镓三结太阳电池批产转换效率不低于29.5%，最高转换效率超过30%；地面用高倍聚光太阳电池批产转换效率不低于40%，最高转换效率超过41%

社会治理端：补贴退出政策利空，火电体系积重难返

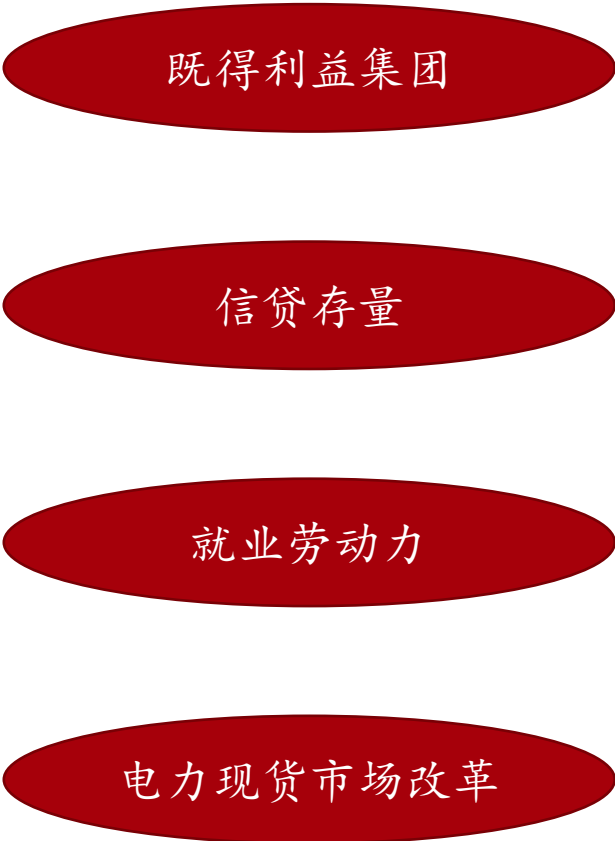
补贴退出形成考验，真实需求仍待观察

图：光伏补贴退坡路径



- 2021年6月，国家发改委印发《关于2021年新能源上网电价政策有关事项的通知》，明确2021年起，对新备案集中式光伏电站、工商业分布式光伏项目和新核准陆上风电项目，中央财政不再补贴，实行平价上网
- 补贴退坡逼出真实需求，光电落地积极性仍待验证。**在双碳目标的总路线上，新能源扮演着重要的角色，国家对相关产业的扶持节奏多为先大比例补贴保证项目启动、再尝试补贴退坡观察产业反应，新能源汽车近年来的故事已经印证了这一干预模式，但在补贴退坡的过程中发生了需求侧的锐减，暴露出之前被高额补贴掩盖的真实需求不足的问题

火电退出利益盘根错节，电力市场改革力度有限



谢谢！

第六组：房晨 崔霆予 燕书欣 聂齐越 马啸天

2022.6.15

