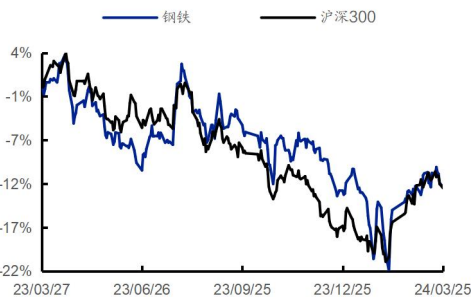


研究所:
 证券分析师: 谢文迪 S0350522110004
 xiewd@ghzq.com.cn
 联系人: 林晓莹 S0350123070003
 linxy02@ghzq.com.cn

华光如梦：大宗商品潜力几何（下篇）

——钢铁与大宗商品行业深度研究

最近一年走势



行业相对表现

表现	1M	3M	12M
钢铁	0.5%	0.6%	-13.1%
沪深 300	1.0%	5.3%	-12.4%

相关报告

《钢铁与大宗商品行业周报：央行积极松动态度，短期汇率异动（无评级）*钢铁*谢文迪》——2024-03-25

《钢铁与大宗商品行业周报：降息+“反向扭转操作”预期，有色金属成最大受益方（无评级）*钢铁*谢文迪》——2024-03-11

《钢铁与大宗商品行业专题&周报：春节以来大宗商品动向（无评级）*钢铁*谢文迪》——2024-02-26

《钢铁与大宗商品行业周报：超预期降准叠加地产融资迎利好，商品价格偏强运行（无评级）*钢铁*谢文迪》——2024-01-28

《钢铁与大宗商品行业深度研究：华光如梦：大宗商品潜力几何（上篇）（无评级）*钢铁*谢文迪》——2024-01-19

投资要点：

- **2023年中国光伏新增装机创下历史新高，对各工业品的需求也呈现近翻倍的增长，显著提高各工业品占其总需求的比例。随着中国光伏装机趋稳，各工业品单耗降低的主旋律贯穿其中，带动了对应工业品的需求增长放缓。**
- **硅料供应相对过剩，价格上升空间有限。**硅料是光伏产业链的核心原料，是上中下游应用开发的核心主线。随着硅片薄片化、技术路线迭代与新材料竞争不断演绎，每GW单吨硅耗下降。我们预计2023-2026年全球光伏年均用工业硅136万吨，CAGR可达9.5%。但2023年起中国的多晶硅、工业硅产能大幅释放，从中期维度来看，需求增长对提升价格作用相对有限。
- **光伏用铝“影响力”提升。**铝在光伏产业中主要应用于电池、边框、支架及逆变器，为光伏系统运行提供支撑功能。不同形式的光伏电站用铝量不同，分布式电站每GW单耗2.43万吨，集中式电站单耗0.77万吨。随着轻量化及技术推进，光伏用铝单耗也在递减。我们预计2023-2026年全球光伏用铝CAGR可达12.2%，至2026年光伏用铝占全球铝消费比重由2022年的5%提升至13%。
- **光伏产业拉动钢材需求，稳中有升。**钢材在光伏产业链中用量最大的环节在集中式电站的光伏支架我们预计2023-2026年全球光伏新增装机带来年均用钢量1413万吨的用钢增量，复合增速达15.3%，国内光伏新增装机用钢需求较为稳定，复合增速为5.3%。
- **光伏白银支撑工业用银需求增长。**银作为光伏电池片结构中核心电极材料，P型电池和TOPCon电池使用高温银浆，HJT电池使用低温银浆，且HJT电池对低温银浆的使用量更大。随着多主栅技术的发展和栅线宽度的减小，电池片正银消耗量降低，N型电池市占率的提升也难以阻挡总体耗银量边际递减的趋势。我们预计2023-2026年全球光伏新增用银CAGR为5.3%，全球白银供给趋于稳定，预计可提高3.5个百分点的需求占比。
- **光伏需求难以改善纯碱供需矛盾。**纯碱是光伏玻璃的主辅料，双面、大尺寸、薄化成为光伏玻璃的发展趋势。全球90%的光伏玻璃来自中国，我们预计2023-2026年国内光伏装机带来的年均纯碱需求量

509 万吨，至 2026 年中国的产能稳定在 4235 万吨。假设产能利用率、产销率稳定，2026 年国内光伏用纯碱需求占比提高到 15.1%，较 2023 年带来 3 个百分点的占比拉动，总体而言难以扭转纯碱供应盈余扩大的情况。

- **光伏用铜对整体铜需求的影响力正持续扩大。**随着光伏产业在全球推进，2021 年后光伏用铜对用铜总需求影响加大，我们预计 2023-2026 年全球光伏新增装机年均用铜 241 万吨，CAGR 达 11.9%，全球光伏用铜占比总消费量为 9.8%。
- **大宗价格波动对光伏装机的影响：“秤砣‘不小’，可压千斤”。**2023 年国内光伏新增装机量达到了前所未有的高度。其中硅料及下游组件价格显著下降，对提高光伏装机收益和刺激装机量功不可没。我们通过建模测算大宗价格波动对光伏装机 LCOE 和 IRR 的敏感性分析，得到了如下结论：一是光伏项目对铜价波动的容忍度最低，对纯碱价格波动的容忍度最高。二是对不同类型光伏电站，大宗的成本传导机制稍有差异：1) 针对集中式光伏电站，成本主要通过多晶硅、钢材和铜等大宗商品传导；2) 针对分布式光伏电站的，成本主要通过多晶硅、铜、铝传导。
- **新能源电价市场化加速，收益不确定性增强，在此背景下，大宗价格波动影响度加强。**参与市场化交易的光伏项目对大宗商品价格波动容忍度降低。电站投资需要更加重视市场化交易电价以及大宗商品价格波动的影响。
- **风险提示：**宏观经济增速放缓；光伏新增装机并网不及预期；政策推进不及预期；大宗商品价格剧烈波动；测算偏差风险；国内国际市场不可完全对比；研究方法的局限性。

内容目录

1、 光伏对大宗商品的影响：需求扩容	7
1.1、 硅料：面临薄片化、技术路线升级与新材料竞争带来的需求削弱	8
1.2、 铝：2023-2026 年全球光伏用铝 CAGR 可达 12.2%	12
1.3、 钢材：增量集中于型钢材料	16
1.4、 白银：光伏支撑工业用银需求增长	18
1.5、 纯碱：双玻组件渗透率带动单耗下降	20
1.6、 铜：光伏用铜扰动整体用铜需求	23
2、 大宗价格波动对光伏装机的影响：秤砣“不小”，可压千斤	26
2.1、 大宗商品影响几何：装机关键一环	27
2.2、 新能源电价市场化的影响：大宗价格波动影响度加强	32
3、 总结：大宗商品与光伏不可须臾离	35
4、 风险提示	36
5、 附录	37
5.1、 附录 1：测算详表	37
5.2、 附录 2：第三章测算模型假设	38

图表目录

图 1: 光伏产业链图示	7
图 2: 国内多晶硅生产工艺优缺点对比	8
图 3: 硅片厚度下降趋势	9
图 4: 2022-2030 年各种电池技术平均转化效率变化趋势	9
图 5: 光伏装机新增耗硅量测算	10
图 6: 多晶硅扩产进度以及产需情况表 (万吨)	11
图 7: 工业硅扩产进度以及产需情况表 (万吨)	12
图 8: 光伏组件成本构成	13
图 9: 不同光伏边框材料对比	13
图 10: 光伏支架成本占比	14
图 11: 2016-2023 年跟踪支架市场占比情况	14
图 12: 光伏耗铝量新增需求测算	15
图 13: 光伏电站常见钢支架示意图	16
图 14: 不同组件布置形式下各钢种用量占比	17
图 15: 光伏支架用钢量新增需求测算	17
图 16: 银粉形貌对银浆性能的影响	18
图 17: 光伏电池片用白银需求测算	19
图 18: 全球光伏支撑白银工业需求	19
图 19: 全球光伏用白银需求占比情况	19
图 20: 光伏玻璃在组件的位置	20
图 21: 2017-2022 单/双面组件市占率情况	20
图 22: 不同厚度玻璃对应的每 GW 装机玻璃单耗	21
图 23: 光伏玻璃用纯碱新增需求测算	22
图 24: 国内纯碱产能进度表 (万吨)	22
图 25: 2021 年中国及全球精炼铜消费结构	23
图 26: 光伏各部件用铜比例	23
图 27: 全球光伏用铜新增需求测算	24
图 28: 2021 年起全球光伏的铜消耗量对整体铜需求的影响力持续扩大	25
图 29: 2023 年多晶硅料价格较 2022 年巅峰下滑近 8 成	26
图 30: 2023 年组件价格下降 45% 以上	26
图 31: 光伏产业链上中下游盈利变化趋势	26
图 32: 光伏产业链细分板块毛利率变化	26
图 33: 各省及地区煤电上网基准价	27
图 34: 组件及 BOS 系统成本构成	27
图 35: 多晶硅/钢价格-度电成本 LCOE 敏感性分析 (元/W)	28
图 36: 铜/铝价格-度电成本 LCOE 敏感性分析 (集中式电站, 元/W)	28
图 37: 铜/铝价格-度电成本 LCOE 敏感性分析 (分布式电站, 元/W)	29
图 38: 白银/纯碱价格-度电成本 LCOE 敏感性分析 (元/W)	30
图 39: 多晶硅/钢价格-全投资 IRR 敏感性分析	30
图 40: 铜/铝价格-全投资 IRR 敏感性分析 (集中式)	31
图 41: 铜/铝价格-全投资 IRR 敏感性分析 (分布式)	31
图 42: 部分省市出台新能源电价交易新规	32
图 43: 多晶硅/钢价格-全投资 IRR 敏感性分析 (参与市场化交易)	33
图 44: 铜/铝价格-全投资 IRR 敏感性分析 (集中式, 参与市场化交易)	33

图 45: 铜/铝价格-全投资 IRR 敏感性分析 (分布式, 参与市场化交易)	34
图 46: 参与市场化交易的情况下光伏项目对大宗商品价格波动容忍度降低	34
图 47: 参与市场化交易的情况下, 不同 IRR 标准下的光伏项目对大宗商品价格波动边界	34
图 48: 弃光率对光伏项目收益的影响	35
图 49: 2022-2026 年光伏新增装机对工业品需求量汇总表	35
图 50: 光伏支架细节测算表	37
图 51: 光伏用纯碱细节测算表	38

报告研究框架及目的

本研究报告旨在探讨光伏行业与大宗商品之间的联系,为了保证报告的可信度与逻辑完整性,我们将从光伏行业历史发展、当前光伏行业现状、光伏行业对大宗商品的影响以及大宗商品价格波动对光伏装机景气度的影响等方面进行展开,以期对相关领域的研究提供参考和借鉴。由于篇幅原因,我们将报告分为上下篇。

上篇:旨在对全球光伏行业的发展进行简单的梳理与总结,并对全球光伏行业发展的现状与行业核心驱动力进行深入探讨。在第一章,我们将对光伏行业的历史发展进行复盘,包括其起源、发展阶段以及产业特点等方面的内容。通过对光伏行业的历史发展进行梳理,可以更好地了解光伏行业的发展轨迹和特点,为后文展开奠定基础。第二、三章将对当前全球光伏行业的现状进行展开,包括市场规模、技术水平、政策环境等方面的内容。通过对当前光伏行业的现状进行深入分析,可以更加全面地了解光伏行业的发展现状和趋势,并对全球装机需求作出预测,为后续的研究提供支撑。

下篇:重点探讨光伏行业对大宗商品的影响以及大宗商品价格波动对光伏装机景气度的影响。在下篇第一章,我们通过测算判断光伏行业对各类大宗商品的影响程度。光伏行业作为新能源产业的代表之一,在近年来的快速发展中已经成为大宗商品市场的重要参与者,其对各类大宗商品的影响程度也逐渐显现出来。因此,通过量化的方法来评估光伏行业对大宗商品市场的影响,从而更好地了解其在市场中的作用和地位。在第二章,大宗商品价格波动是市场中常见的现象,其对光伏行业的发展也有着不可忽视的影响。通过构建模型、量化测算的方法,我们将分析大宗商品价格波动与光伏行业装机需求之间的关系,以更好地了解大宗商品价格波动对光伏行业的影响程度和作用机制。同时,这也可以为光伏企业提供参考,帮助其更好地应对市场的波动和变化。

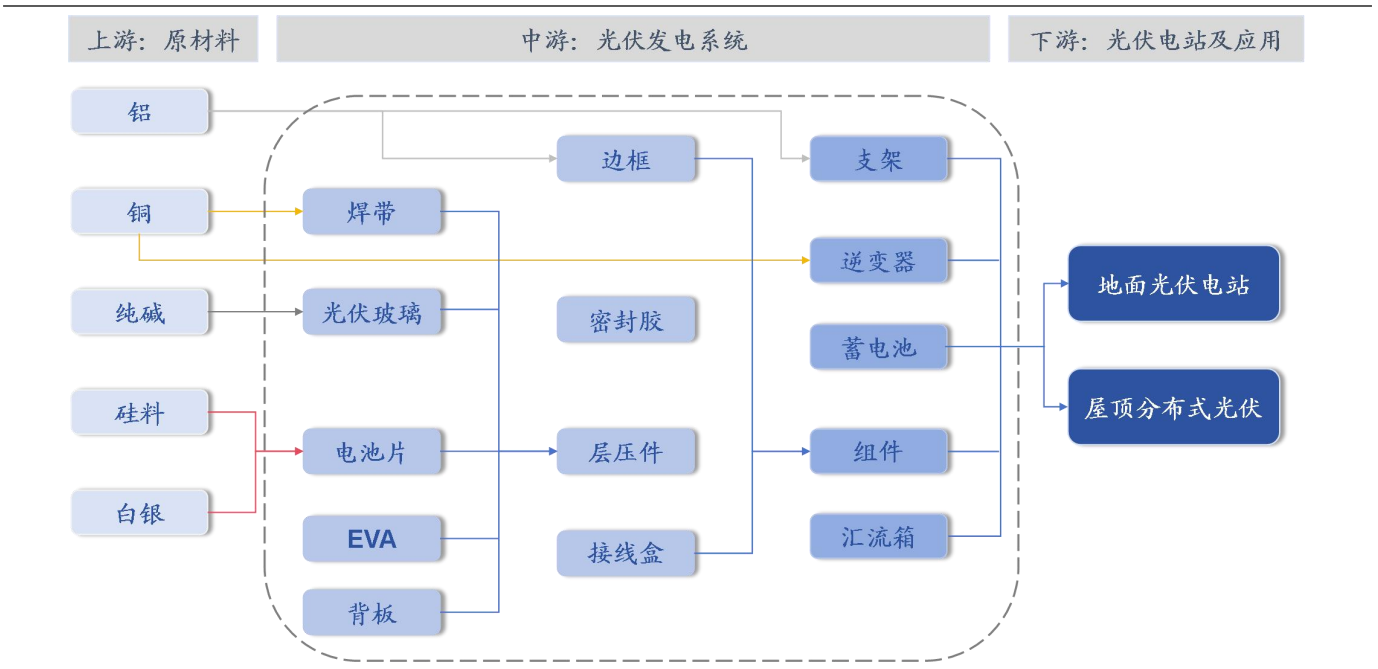
综上,本报告将从量化的角度出发,深入探讨光伏行业与大宗商品之间的联系,研究其相互影响的机制和程度。通过对这些问题进行深入研究,为相关领域的研究提供参考和借鉴。

1、光伏对大宗商品的影响：需求扩容

光伏产业发展的基本原理是光生伏特效应（又称光伏效应），通过光照使不均匀半导体或半导体与金属组合的不同部位之间产生电位差，从而使太阳光射到硅材料上产生电流直接发电。以硅材料的应用开发为核心主线，形成的产业链为光伏产业链，上中下游包括硅料、硅片、电池、组件、电站等多个环节。大宗商品在光伏产业中的渗透范围广泛，涵盖了从原材料供应到相关设备的生产制造、系统运营等等。大宗商品在光伏产业的渗透是一种相互促进的关系，这种渗透不仅推动了光伏产业的发展，同时为大宗商品注入新的活力。

光伏产业链上游主要是原材料采集加工，例如高纯度多晶硅等硅料生产、单/多晶硅的冶炼/铸锭，以及硅片的生产。除了硅料外，光伏产业链所需的大宗商品还包括白银、铜、铝、钢材、纯碱、锡等，这也是本文重点讨论的大宗品种。

图 1：光伏产业链图示



资料来源：iFinD，国海证券研究所

中游主要是组件制造和系统集成环节，核心环节在电池加工与组件封装。辅配件包括光伏玻璃、背膜、EVA 胶膜、焊带等。生产商通过切割、清洗、涂覆导电膜、封装和加框，将生产好的电池芯片组装成电池板。在太阳能电池板的基础上，将电池片与其他必要部件（如光伏玻璃、EVA 胶膜、背膜、接线盒等）结合在一起，形成太阳能光伏组件。另一重要环节是系统集成，即光伏发电系统。光伏发电系统一般由太阳能电池组件、控制器、逆变器、蓄电池（储能设备）及其他配件组成，利用太阳能电池直接将太阳能转换成直流电，然后通过控制器将直流电输送到逆变器中，逆变器将其转换为交流电，最后通过电网输送到各个用电设备。

下游为应用系统环节，主要包括光伏电站的建设、运营和维护等环节。该环节涵盖太阳能电力系统的安装、发电运营管理、电力输出以及对电力市场的接入，是整个光伏产业最终应用和输出阶段。运营商通过将光伏设备与电网相连，向电网输送电力。其中电站分为集中式和分布式两种形式。集中式光伏一般建在荒漠、戈壁等场景，因此多建在西北地区；分布式光伏一般安装在小型空地或建筑物表面，以华北华南地区居多。

随着全球可再生能源的发展，能源结构向绿色低碳转型，太阳能光伏作为一种绿色清洁能源将逐步替代传统化石能源，成为未来各国的重要能源来源之一。在这样的趋势下，光伏的发展将显著带动部分大宗商品的消费。

1.1、硅料：面临薄片化、技术路线升级与新材料竞争带来的需求削弱

工业硅，又称金属硅、结晶硅，由硅石（ $\text{SiO}_2 \geq 99.2\%$ ，通常为石英石或鹅卵石）和碳质还原剂（石油焦、精洗煤、木炭等还原剂）在矿热炉内经高温还原形成的产物。工业硅可分为化学级和冶金级两大品类，化学级工业硅主要下游是有机硅、多晶硅和三氯氢硅，冶金级工业硅主要用于生产铝合金、硅锰合金等其他合金金属。

图 2：国内多晶硅生产工艺优缺点对比

工艺	优点	缺点
改良西门子法	①原料可循环利用（包括氢气、三氯氢硅、氯化氢、四氯化硅），降低了原料消耗成本； ②采用大直径、多对棒还原炉，可有效降低还原炉能耗； ③还原炉反应器呈钟罩式，这种设计更好地实现了产物的高沉积率； ④出炉产品纯度高，可以高达9N，甚至可以达到11N。	①还原炉的电耗高，生产用电成本较高； ②原料反应转化率低； ③多晶硅生产中三氯氢硅的合成、转化过程中添加的盐酸具有毒性及腐蚀性，增加了生产的安全性要求。
流化床法	①生产效率（可保证硅烷的连续进料、成品多晶硅的连续取出）； ②所选用的晶种因比表面积大，产物沉积速度更快，反应时间、反应成本低； ③生产出的多晶硅不需经过拆炉、破碎的过程，减少工艺程序，提升工作效率； ④硅烷气的热分解产物为氢气，减少了对设备的腐蚀、磨损。	①大量的硅沉积在反应器内的壁面上，降低了流化床的传热效率，甚至会诱发器壁的破裂，硅沉积严重时，需对装置进行停车清理，影响正常生产运行； ②颗粒硅的生产危险性更高； ③小颗粒的多晶硅更易受到污染，导致产品的性能受到影响。
硅烷法	①Komatsu硅化镁法工艺的优点：生产操作简单，反应条件易达到，原料成本低，产物环保。 ②金属氢化物工艺的优点：生产原料四氯化硅（ SiF_4 ）可采用化肥制造企业的副产物——氟硅酸来制得，产物氟化铝钠（ Na_3AlF_6 ）可作为电解铝的助熔剂、砂轮配料出售，产生经济价值；可实现大规模生产，技术成熟。 ③歧化法工艺的优点：反应条件易控制，生产成本低，适合大规模生产；生产可实现闭路循环，工艺环保；所制备的硅烷气纯度高，产出的多晶硅产品纯度高。	硅烷法工艺的痛点在于，生产出的中间产物硅烷气易爆炸，存在较大的生产安全隐患。 ①Komatsu硅化镁法工艺的缺点：需要从产物中分离、回收氨以实现氨的循环利用，增加工艺的流程及难度；反应为间歇式生产，不连续，导致硅烷的产率低。 ②金属氢化物工艺的缺点：生产原料成本较高，同时生产出的多晶硅纯度及导电性尚待提升。
气液沉积法	①反应可连续进行，工艺更加高效； ②相较于改良西门子法，气液沉积法没有硅棒破碎的流程，工艺流程更加简化； ③生成的多晶硅以液态形式沉积在石墨管底部，与流化床法相比，不存在硅沉积在反应器内壁面的问题； ④反应温度高，产物沉积速率快（约为改良西门子法的10倍）	多晶硅品质受限：受限于设备材质及反应工艺，产出的多晶硅中碳元素、金属元素含量较高，对多晶硅品质产生了一定的影响。
碳热还原法	制备的多晶硅纯度非常高，主要杂质只有碳，只需脱碳即可。	工艺开发时间较短，尚未得到广泛推广。
熔盐电解法	工艺操作简单，工艺环保。	电解过程中电极易被腐蚀，这除了对电极材料提出了更高的要求之外，还会造成新的杂质沉积在生成的硅中，导致硅的纯度受到影响。
冶金法	冶金法相比较来说是一种能耗低、污染小的制备工艺。	工艺制备的多晶硅中硼、碳元素的含量较高，对多晶硅的品质有一定的影响。

资料来源：《国内多晶硅生产工艺发展探讨》王美娟，国海证券研究所

工业硅的主要下游产物之一——多晶硅是光伏产业生产晶硅太阳能电池的主要原料。多晶硅是以工业硅为原料，通过三氯氢硅西门子法、硅烷流化床法等制备方法得到的一定纯度（太阳能多晶硅纯度通常在6N-9N）的非金属材料，具有

单方向导电特性、热敏特性、光电特性以及掺杂特性等优良性能。太阳能级多晶硅对杂质有严格的要求，生产过程具有高载能、高技术壁垒的特点，因而高纯多晶硅的制备是光伏产业链中技术含量较高的环节。

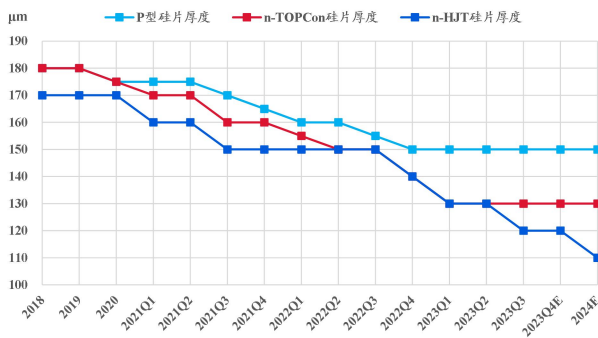
将多晶硅料做成硅棒或硅锭后，将其切割成片，制成硅片，用于制备电池。根据下游生产硅片的不同，多晶硅材料可以分为单晶（拉棒）用料产品和多晶（铸锭）用料产品，单晶用料产品在质量方面要求更高，单晶硅电池片价格较高，光电转换效率也较高。

薄片化、大尺寸、转换效率提高的进程将拉低光伏单位用硅需求。

1) 硅片的薄片化可以有效降低硅耗和硅片成本，使得硅片更加柔韧，给电池、组件端带来更多的可能性。2023 年主流的 P 型硅片厚度基本维持在 150 μm 附近，而 N 型硅片平均厚度已经达到 125-130 μm 。根据我们的计算，2023 年 P 型单晶硅片较 2021 年可降低约 8.6% 的成本，组件功率可提升 9.4%¹。根据 CPIA 预测，未来 P 型硅片平均厚度将稳定在 140 μm ，2030 年 N 型硅片理论厚度极限可能降至 100 μm 左右。

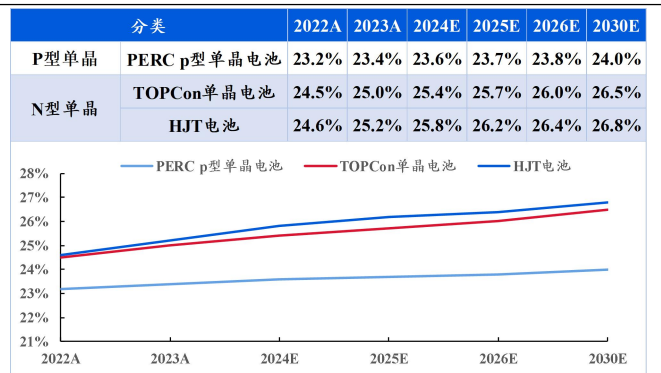
2) 大尺寸硅片可以提升太阳能电池的接受面积，提高光电转换效率、组件效率，同时提高电池生产效率。经济性而言，大尺寸硅片有利于降低光伏成本、达到降本增效的目的。根据 CPIA，2023 年 M10 硅片占比已提升至 78%，210 硅片占比达 20%，硅片大型化趋势已成定局。

图 3: 硅片厚度下降趋势



资料来源:《光伏技术趋势报告》InfoLink, 国海证券研究所

图 4: 2022-2030 年各种电池技术平均转化效率变化趋势



资料来源: CPIA, 国海证券研究所

注: 1.背接触 N 型单晶电池目前处于中试阶段; 2.均只记正面效率; 3.预测机构为 CPIA, 国海证券研究所

3) 提高电池转换效率可以增加组件功率，进而提高整体光伏系统发电效益。转换效率的提高会使得单位面积上的组件产生更多的电力，从而会降低单位 GW 光伏装机所需要硅耗量。2023 年 P 型单晶电池均采用 PERC 技术，平均转换效率 23.4% (同比+0.2pct)²，逼近 24.5% 的理论极限效率，未来提升空间较小。

¹ 控制转换效率、金刚线径等变量不变的情况下得到的结果 (以 2022 年的数值为准)

² 数据来自 CPIA, 见图 4。

根据 ISFH 数据，N 型电池理论上限 28.7%，2023 年 TOPCon/HJT 电池平均转换效率 25.0%/25.2%，未来仍有较大发展空间。根据 InfoLink 统计，截至 2023 年 9 月高效电池技术的产能已突破 2000 GW，其中超过 1700 GW 为 TOPCon 技术。随着 TOPCon 产能的快速增长，预计 N 型对 P 型电池的将快速迭代。InfoLink 预测 2024 年 N 型硅片占比可能达到 70% 以上。

综上，硅片厚度、尺寸、电池转换效率、电池市占率变化等都将影响单位耗硅量。因此本文的耗硅量测算基于以下假设：①硅片厚度薄片化。P 型硅片厚度由 2023 年的 150 μm 降至 2026 年的 140 μm，N 型硅片厚度由 2023 年的 130 μm 降至 120 μm。②尺寸大型化。假设 G12 (210mm) 市占率提升至 2026 年的 31%，M10 市占率降至 2026 年 69%，其他型号则逐渐淡出市场。③N 型电池 2024-2026 年市占率假设为 60%/75%/82% (保守假设)。④电池转换效率稳定提升 (见图 4)；⑤假设电池片良率、组件良率分别为 95%、98%。

根据以上假设，2021-2026 年单位 GW 对应的耗硅量为 0.255/0.224/0.215/0.198/0.195/0.192 万吨，CAGR 为 -5.5%。其中 2022 年单位耗硅量显著下降的原因是硅片厚度下降明显，2023-2024 年的主要影响因素是 N 型电池市占的提升，2025-2026 年单位耗硅量下降趋势有所趋稳。

图 5：光伏装机新增耗硅量测算

	单位	2021A	2022A	2023E	2024E	2025E	2026E	2023-2026 CAGR	2023-2026 平均
P 型硅片厚度	μm	170	155	150	140	140	140	-	-
N 型硅片厚度	μm	165	140	125	120	120	115	-	-
单位光伏用硅量	万吨/GW	0.255	0.224	0.215	0.198	0.195	0.192	-3.6%	0.200
	yoy	%	-12.1%	-4.0%	-7.9%	-1.5%	-1.3%	-	-
中国光伏新增装机量	GW	55	87	217	230	245	260	-	-
全球光伏新增装机量	GW	165	232	419	475	554	614	-	-
容配比	-	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	-	-
中国光伏对多晶硅料需求	万吨	17	24	58	57	60	63	2.4%	59
全球光伏对多晶硅料需求	万吨	52	65	112	117	135	148	9.5%	128
中国光伏对工业硅需求	万吨	19	26	62	60	63	66	2.4%	63
	yoy	-	40%	138%	-2%	5%	5%	-	-
全球光伏对工业硅需求	万吨	56	69	119	124	143	156	9.5%	136
	yoy	-	24%	73%	4%	15%	9%	-	-

资料来源：WIND，国家能源局，中政网，CPPIA《中国光伏产业发展路线图（2021 年/2022-2023 年/2023-2024 年）》，InfoLink，全球光伏公众号，太阳能光伏网，每日经济新闻，破茧云伏官网，国海证券研究所

按照光伏装机量与光伏组件 1.25 的容配比，我们预计 2023-2026 年中国光伏新增装机对多晶硅料需求量分别为 58/57/60/63 万吨，按照一吨多晶硅需要消耗 1.06 吨工业硅的比例计算，2023-2026 年中国光伏新增装机对工业硅的需求量分别为 62/60/63/66 万吨，年均消耗 63 万吨 (较 2022 年翻 1.4 倍)，2023-2026 年 CAGR 为 2.4%。2023-2026 年全球光伏新增装机对多晶硅料需求量分别为 112/117/135/148 万吨，对应工业硅的需求量分别为 119/124/143/156 万吨，2023-2026 年 CAGR 为 9.5%。

图 6: 多晶硅扩产进度以及产需情况表 (万吨)

扩产进度												
企业	新增产能 (万吨)	投产时间	生产工艺		2024E 新增投产	2025E 新增投产	2026E 新增投产					
内蒙古润阳悦达	8	2024-03	改良西门子法		173.50	-	-					
宁夏晶体新能源	12.5	2024-04										
青海南玻日升	5	2024-06										
云南通威	20											
信义硅业(云南)	6											
合盛硅业(鄯善)	10											
合盛硅业	10											
新疆其亚硅业	10	2024-08										
新疆大全新能源	10	2024-09										
晶体新能源	25											
合盛硅业(鄯善)	10											
信义硅业(云南)	12											
戈恩斯能源	20	2024-09						硅烷法		-	31.0	-
宝丰能源	10	2024-10						改良西门子法				
晶诺新能源	5	2024-12										
四川丽豪半导体	10	2025-03										
内蒙古新特硅材	10	2025-06										
天合光能(青海)	6											
东方日升	15	2025-07	硅烷法									
天宏瑞科	7	2025-12	改良西门子法									
信义硅业(云南)	20											
宁夏晶体新能源	4											
天合光能	15											
阿特斯	5	2027-06										
	2020A	2021A	2022A	2023E	2024E	2025E	2026E					
产能	47.0	55.7	111.7	240.8	414.3	445.3	445.3					
产能利用率	83.5%	90.7%	76.8%	58.2%	44.2%	59.3%	65.8%					
产量	39.2	50.5	85.7	140.26	183.2	263.9	293.2					
全球光伏新增装机对应的多晶硅需求	-	52.4	64.8	112.4	117.4	134.9	147.6					
中国光伏新增装机对应的多晶硅需求	-	17.5	24.4	58.2	56.9	59.7	62.5					

资料来源: CPIA, 百川盈孚, 国海证券研究所 (统计时间截至 2024 年 3 月 23 日)

截至 2023 年 12 月, 中国多晶硅产能 240.8 万吨, 全年产量约 140 万吨³, 仅国内剩余产能就超出后期全球新增装机所需的硅料需求。根据百川盈孚统计的国内多晶硅扩产情况, 2024-2025 年多晶硅新增扩产 204.5 万吨, 其中 2024/2025 年新增产能分别为 173.5/31.0 万吨, 2025 年多晶硅产能达到 445.3 万吨。假设按照新增产能 60% 的产能利用率计算, 2024-2026 年多晶硅产量为 183.2/263.9/293.2 万吨, 远高于对应年份的全球光伏装机新增用硅需求 (117/135/148 万吨)。因此全球光伏新增装机对多晶硅价格支撑有限, 2023 年起多晶硅料就已步入过剩周期。

2023 年全球光伏新增装机将推动中国多晶硅在工业硅需求占比增长 12 个百分点。在大幅扩产背景下, 2024-2026 年全球新增装机对工业硅需求占比稳定在 32% 左右。根据百川盈孚数据, 截至 2023 年 12 月, 我国工业硅产能 700.5 万吨, 2023 年产量 375.5 万吨。2024 年将有大规模新增产能投产, 一半集中在 2024 年 12 月, 在投产顺利的情况下预计有 170.5 万吨产能释放, 2024 年产能达到 871.0 万吨。2025 年新增投产 31.0 万吨, 总产能达到 902 万吨。2023 年我国工业硅表观消费量 318.9 万吨, 我们预计光伏装机将推动光伏用工业硅需求占比增长约 12 个百分点。在大幅扩产背景下, 至 2026 年, 我们预计光伏新增装机用硅需求约占国内工业硅总需求的 32.8% 左右, 量级不可忽视, 但考虑产能情况, 需求端拉动对提升价格帮助相对有限。

³ 数据统计自百川盈孚。

除薄片化、技术路线升级等削弱用硅需求以外，随着钙钛矿、氮化镓等第二、第三代半导体材料技术的成熟，多晶硅料将面临更大竞争。钙钛矿太阳能电池双层理论极限光电转换效率可达45%，约为当前N型TOPCon电池转换效率的两倍。截至2024年1月，钙钛矿技术在技术和产业上不断实现新的突破：①技术层面，2023年12月14日，协鑫光电宣布其369mm×555mm钙钛矿叠层光伏组件光电转换效率达到26.34%；2023年12月15日，极电光能宣布其研发的810.1平方厘米大尺寸钙钛矿组件稳态效率达到19.5%；2024年1月11日仁烁光能在完全量产化的工艺下，30cm*40cm光伏组件可实现21%以上的光电转化效率。②产业化方面，2023年12月27日，协鑫光电在昆山举办全球首个GW级大规格（2.4m*1.2m）钙钛矿生产基地奠基仪式，启动建设2GW钙钛矿生产线，分两期建成。CPIA预计到2030年，我国钙钛矿光伏组件的渗透率有望达到30%，将进一步削弱太阳能级多晶硅料的需求。

图7：工业硅扩产进度以及产需情况表（万吨）

扩产进度											
企业	新增产能	投产时间	生产工艺	2024E 新增投产	2025E 新增投产	2026E 新增投产					
特变电工	20	2024-03	-	170.5	-	-					
天合光能	15	2024-05	电弧炉碳还原法								
商南中剑实业	10	2024-06									
京科发电	1.5	2024-06									
新安硅材料	10	2024-09									
永昌硅业	10	2024-12									
合盛硅业	4	2024-12									
弘元绿色能源	15	2024-12									
宝丰能源	35	2024-12									
大全新能源	30	2024-12									
特变电工	20	2024-12		-	-	31.0	-				
大全新能源	30	2025-01									
东方日升新能源	20	2025-08									
合盛硅业	40	2025-12									
清电硅材料	40	2025-12									
特变电工	100	2025-12									
通威股份	20	2025-12									
通威股份	30	2027-05									
	2020A	2021A	2022A					2023E	2024E	2025E	2026E
产能	517.56	528.10	645.80					700.50	871.00	902.00	902.00
产能利用率	43.6%	52.7%	50.8%	53.6%	46.9%	56.2%	57.6%				
产量	225.8	278.3	327.8	375.5	408.1	507.0	519.4				
中国表观消费量	-	201.1	266.3	318.9	339.1	400.5	410.3				
全球光伏装机对应的工业硅需求	-	55.5	68.7	119.2	124.5	143.0	156.5				
中国光伏装机对应的工业硅需求	-	18.5	25.9	61.7	60.3	63.3	66.3				
全球光伏装机对应的中国产量	-	43.7	58.8	108.4	109.5	124.5	134.6				
光伏装机用多晶硅占比	-	21.7%	22.1%	34.0%	32.3%	31.1%	32.8%				

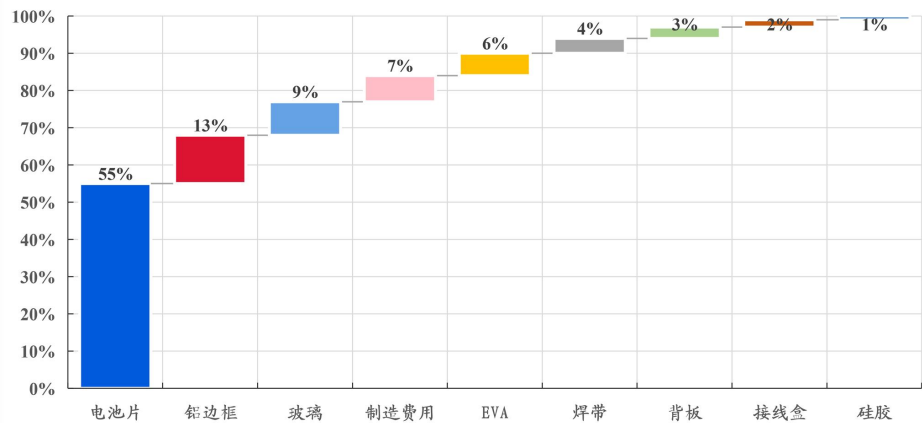
资料来源：百川盈孚，澎湃新闻，京报网，国海证券研究所（统计时间截至2024年3月23日）

1.2、铝：2023-2026年全球光伏用铝CAGR可达12.2%

在光伏产业链中铝的需求主要集中于光伏组件中的光伏边框和光伏支架，成本消耗仅次于电池片。在组件中，铝边框成本占比达13%⁴，高于EVA、玻璃、背板、焊带等其他辅材，是成本占比最高的辅材。

⁴ 数据来自中国光伏行业协会 CPIA 公众号(2023/8)

图 8：光伏组件成本构成



资料来源：中国光伏行业协会 CPIA 公众号(2023/8)，国海证券研究所

光伏边框是光伏组件重要的组成部分，位于光伏组件的外围，用于固定和保护太阳能电池板，对组件寿命影响较大，对材料耐候性要求较高。因铝合金具有良好的耐腐蚀性、强度高、轻质等特点，光伏边框通常采用铝合金材料制造。**2023 年铝合金材料渗透率达到 95% 以上⁵**。组件应用场景不断拓展，催生出一系列边框替代方案，例如无框双玻组件、橡胶卡扣边框、钢结构边框、复合材料边框等多种边框替代方案，以达到提高组件性能、降低成本的目的。

图 9：不同光伏边框材料对比

指标	铝合金材质	钢材	复合材料 (玻璃纤维及聚氨酯)
构成材料	6系铝合金	镀锌铝镁钢	玻璃纤维、聚氨酯
生产主要工艺	挤压、阳极氧化；挤压精度高，挤压效率高、产品定制化能力强	折弯、焊接成型，导致产品精度较低，边框产品形状受限	玻纤粗纱排布、注胶、挤压，模塑及固化
密度	2.7g/cm ³	7.85g/cm ³	2.1g/cm ³
重量	铝合金密度较低，具有轻质化特点	钢铁密度较大，增加了组件的单位重量及单位载荷要求	金属部件减少，重量相对较轻
耐腐蚀性	表面有致密而连续的氧化物保护膜，耐腐蚀性较强	锌铝镁镀层切断面易氧化，断面、接孔处耐腐蚀性较弱。若为增强其耐腐蚀性，加厚锌铝镁镀层需更高的成本	玻璃纤维、聚氨酯复合材料目前已通过实验室验证，具有一定耐腐蚀性
使用寿命	铝合金使用寿命长达30-50年	接地孔处易发生锈蚀，难以达到25年使用寿命	尚未得到长时间应用验证
承载性	抗扭拧性高、力学强度高，承载性较好	力学强度较高，但钢边框重量增加，加大了风压、雪载下的承重风险	抗扭拧性及力学承载性仍需经过大量实践应用测试
外观	经表面处理具有整洁、美观的优点	外观存在颜色不均匀现象	经功能图层喷涂后具有整洁、美观的优点
弹性模量	能够与光伏玻璃同步形变，不易发生组件爆板问题	铝合金弹性模量与光伏玻璃差距过大，有组件爆板风险	玻璃纤维、聚氨酯复合材料能够与光伏玻璃同步形变，不易发生组件爆板问题
环保与可回收性	具有较高的经济回收价值，回收经济价值比可达83%以上	钢材熔点较高，不易回收，回收过程耗费大量能源，回收经济价值比不足25%	玻纤、聚氨酯等材料不可回收，会造成一定程度的环境污染

资料来源：CPIA，国海证券研究所

尽管如此，铝合金钢边框仍具有一定的强度和成本优势。铝合金边框的承载性较好，具有较高的回收价值，循环利用工艺简单，随着 2022 年下半年起铝价稳

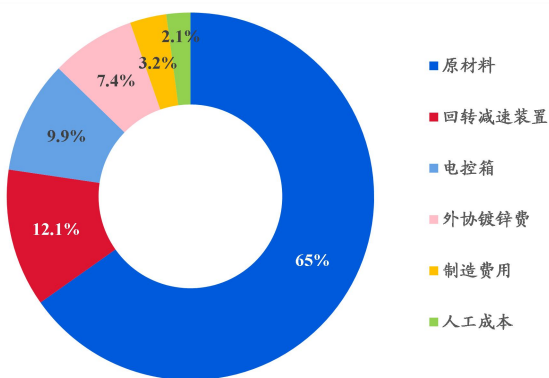
⁵ 数据来自中国光伏行业协会 CPIA 公众号(2023/8)

定在 1.8-2.0 万元/吨，铝合金材质的性价比优势愈发凸显，钢边框的降本优势有所削弱。同时，钢边框使用寿命明显低于铝合金边框，实际出货很少，2022 年实际出货占比不足 2%。复合材料边框耐候性较好，架设便捷，更适合在海洋环境应用。但由于其高分子材料的限制，且复合材料边框起步晚于金属边框，尚未有明确的验证数据，目前未被主流组件厂家接纳。无框双玻组件因汇流带层压应力不均匀、机械应力不均、热应力不均等问题易引起组件变形，正逐渐淡出市场。

除了组件边框，光伏支架也是铝合金材料主要应用的领域。光伏支架的作用在于支撑太阳能组件，使其能够稳固安装在地面、屋顶以及其他地形或支撑结构上。一般会根据光伏系统建设的具体位置、气候和太阳能资源条件等，将光伏组件以一定朝向、角度及间距进行排列。光伏支架的安装技术水平和性能优劣可直接影响光伏电站的发电效率、安全性及投资收益。按照安装方式可分为固定式支架和跟踪支架。其中固定式支架由立柱、主梁、斜撑等组成，不随太阳入射角变化而转动，常以深入地基的方式进行固定，受风、雪等自然环境的影响较小。跟踪式光伏支架则是有单独的操控系统，可通过机电或者液压装置，使光伏阵列随着太阳入射角的变化而改变倾斜角度。与固定支架相比，跟踪支架可以极大提高组件的发电量，单轴跟踪支架可提升 10%-30% 的发电量，双轴跟踪支架可提升 30%-35% 的发电量，头部企业的双轴跟踪支架甚至可提升至 40%⁶。跟踪支架每 W 单价、安装成本较固定支架分别高 5%-60%、7%-10%⁷，**但从长期维度看，跟踪支架可以有效缩减投资回收期，投资收益更加明显。**

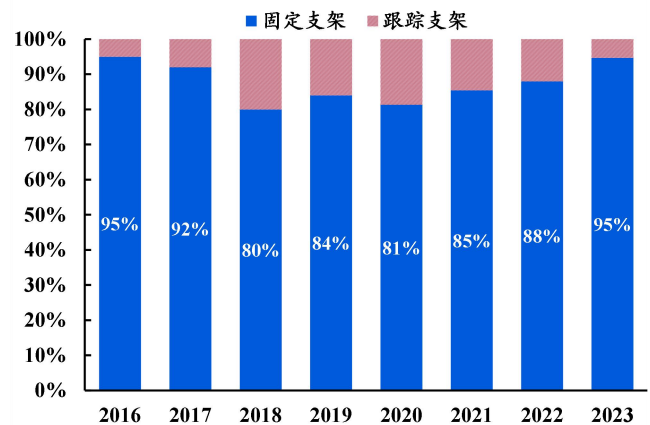
光伏支架可占系统成本的 10%-20%，其中原材料占支架成本的 65%，材料成本占比较大⁸。光伏支架常用的材料除了铝合金之外，还有不锈钢与镀锌钢材质，相较于后两者，铝合金支架的承载力较低，因而常用于民用建筑屋顶太阳能项目，镀锌钢和不锈钢支架则广泛应用于集中式电站。

图 10：光伏支架成本占比



资料来源：《光伏支架优缺点及应用科普分析》（王琨等，2023），国海证券研究所

图 11：2016-2023 年跟踪支架市场占比情况



资料来源：CPIA，国海证券研究所

⁶ 数据来自中科东方集团公众号和亿欧网

⁷ 数据来自中金协板材加工分会公众号和亿欧网

⁸ 据《光伏支架优缺点及应用科普分析》王琨等

由于铝具有良好的导电性、机械性能、耐腐蚀性和导热性，铝还应用于光伏电池的背电极和逆变器外壳及散热器，部分逆变器中的连接器和直接也会采用铝材料。电池背电极位于光伏电池的背面，与正电极相对，用于收集电子流并将其导出光伏电池。逆变器的外壳通常采用铝合金外壳，以保护内部电路板和元器件免受外部环境的影响。同时搭配散热器等部件，能有效将热量从功率器件传导出来并迅速散发到外部环境，保持逆变器的稳定工作温度。

我们在测算光伏铝需求时拆分为四部分：电池、边框、支架及逆变器。据 Nature 发布的文章⁹，①电池中仅 PERC 电池有铝需求，2021 年每片 M6 单面/双面光伏组件耗铝量分别为 800/200mg，且单面组件铝耗量逐年递减 10mg，并根据面积比例计算出 M10、G12 的耗铝量。②在计算边框与支架用量方面需要用到每平方米对应组件功率，我们基于《The Aluminium Demand Risk of Terawatt Photovoltaics for Net Zero Emissions by 2050》(Alison Lennon) 给出的假定，600W 组件面积为 2.83 m²，计算得到每平方米对应组件功率为 212W。组件边框铝耗量为 1.2kg/m²，支架部分仅分布式光伏装机用铝，耗铝量为 2.84 kg/m²，并以 0.5% 的速率逐年递减。③逆变器对铝的需求为 0.48kg/kw。

图 12：光伏耗铝量新增需求测算

	单位	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2023-2026 平均/CAGR	
全球光伏新增装机量	GW	165	232	419	475	554	614	-	
中国光伏新增装机量	GW	55	87	217	230	245	260	-	
电池总计耗铝	全球	万吨	1.82	2.29	2.36	1.37	0.96	0.74	-
	中国	万吨	0.61	0.86	1.22	0.66	0.42	0.31	-
铝边框对铝需求	全球	万吨	116	164	296	336	392	434	-
	中国	万吨	39	62	153	163	173	184	-
铝支架对铝需求	全球	万吨	132.3	191.3	323.8	357.5	407.4	443.1	-
	中国	万吨	49.0	85.2	160.0	174.5	193.0	195.3	-
逆变器耗铝	全球	万吨	9.9	13.9	25.1	28.5	33.2	36.8	-
	中国	万吨	3.3	5.2	13.0	13.8	14.7	15.6	-
光伏新增装机耗铝量	全球	万吨	260	372	648	723	834	915	780
		yoy	%	-	43%	74%	12%	10%	12.2%
	中国	万吨	92	153	328	352	381	395	364
	yoy	%	-	67%	114%	7%	8%	4%	6.4%
各部件用铝量占比(中国)	电池	%	0.7%	0.6%	0.4%	0.2%	0.1%	0.1%	-
	边框	%	42.3%	40.4%	46.8%	46.3%	45.4%	46.5%	-
	支架	%	53.4%	55.6%	48.8%	49.6%	50.6%	49.4%	-
	逆变器	%	3.6%	3.4%	4.0%	3.9%	3.9%	3.9%	-

资料来源：Solarpower Europe, WIND, CPIA, InfoLink, 《The Aluminium Demand Risk of Terawatt Photovoltaics for Net Zero Emissions by 2050》Alison Lennon 等，国海证券研究所（细节测算表详见附录）

综合以上数据及假设,我们计算得出 2023 年集中式光伏用铝量为 0.77 万吨/GW, 分布式光伏用铝量为 2.43 万吨/GW (其中光伏支架耗铝约 1.66 万吨)。我们预计 2023-2026 年全球光伏新增装机用铝量分别为 648/723/834/915 万吨, 2023-2026 年 CAGR 约为 12.2%。2023-2026 年中国光伏新增装机用铝量分别为 328/352/381/395 万吨, 2023-2026 年 CAGR 约为 6.4%。若按照气候变暖控制在 1.5℃ 以下的要求, 对铝需求量将更高。2021-2022 年全球电解铝的消费量级在 6800 万吨左右, 假设 2023-2026 年全球原铝消费以过去 5 年 (2018-2022 年) 的复合增速增长, 我们预计 2026 年全球光伏新增装机用铝占比能由 2022 年的 5% 提升至 13%。

⁹ 《The Aluminium Demand Risk of Terawatt Photovoltaics for Net Zero Emissions by 2050》Alison Lennon 等

全球电解铝产量整体取决于中国。根据 iFind 数据，截至 2024 年 2 月，中国电解铝建成产能 4481 万吨，运行产能 4204 万吨，现有政策下后期国内或缺乏新增铝冶炼产能。自 2021 年以来，我国电解铝供应不稳定性显著增加，河南（洪涝）、内蒙（双控）、西北（投产）、西南（降水）等省份电解铝产量贡献了全国电解铝产量的主要变化。铝产业链供给端核心仍在电解环节，氧化铝与铝土矿等原材料尚未成为电解铝投产的瓶颈，西南电力充裕度是未来几年电解铝产量变化的关键。海外方面，根据 SMM 统计，2024-2026 年海外将有超 800 万吨的电解铝新增产能建设，看似总体处于供应相对宽松的状态，但当前全球地缘政治环境不稳定，电解铝产能能否顺利落地需要实际跟踪。

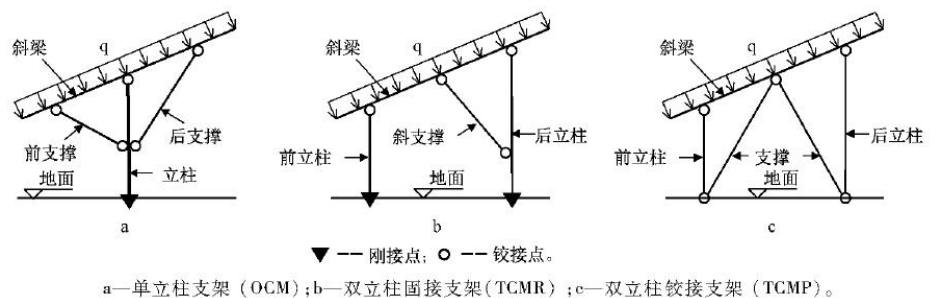
1.3、钢材：增量集中于型钢材料

钢材在光伏产业链中也发挥着举足轻重的作用，涉及产业链上下游各环节：上游环节用钢主要在制造加工设备用钢和硅片切割用钢丝（即金刚石母线材料高碳钢丝）；中游环节用钢集中在光伏支架的制作；产业链下游用钢主要包括基建环节用钢和电力输送环节电塔用钢。本文的测算重点在中游光伏支架环节。

在上一小节，我们讨论的是铝在光伏领域的应用，主要集中在边框和支架。其中，由于铝合金的承载性较弱、相对镀锌钢支架性价比不高，因此铝合金支架并不适用于较大型的光伏电站。光伏支架常需要在温差大、高风阻、高腐蚀的环境下使用，需要满足一定的承载要求，并保证 25 年内结构一直牢固可靠。目前行业内集中式电站的光伏支架普遍使用的是 304 不锈钢和 Q235+热镀锌钢件，具有性能稳定、工艺成熟、承载力高的优点，但在回收价值、环境保护层面仍处于劣势。

集中式光伏电站规模一般会比分布式规模大，所处的环境条件也会比分布式复杂。集中电站中的光伏支架按应用形式可分渔光、农光、山地式支架；按支撑结构划分，光伏支架可分为双钢柱支架、单钢柱支架和双立柱铰接支架。单、双钢柱支架的选择会根据电站所在经纬（支架角度）、风压、雪压以及经济性而决定。一般情形下，山地式光伏电站多采用双钢柱支架，渔光电站多用单钢柱支架。这三种支架在相同荷载作用及应力比条件下的用钢量不同，单钢柱支架为保持一定的稳定性及支撑作用，立柱和支撑用钢量较大，因此在总体用钢量上单钢柱支架 > 双钢柱支架 > 双立柱铰接支架。

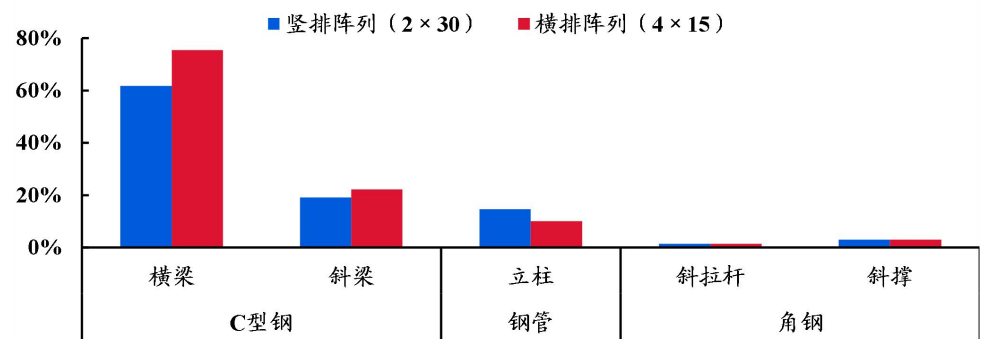
图 13：光伏电站常见钢支架示意图



资料来源：《固定式光伏支架结构选型及构件优化》文锋

按照组件布置形式分类，光伏支架设计一般有两种，一种为光伏组件横排布置，另一种为光伏组件竖向布置。从图 14 可以看到，横排阵列在横梁的用钢量多于竖排阵列，可提高组件的安全性，适用于风、雪再载荷比较大的地区。光伏支架的横梁、斜梁、斜拉杆以及斜撑一般材料都是型钢，材料占比达 88.4%，立柱材料主要是无缝钢管，材料占比在 11.6%左右¹⁰。

图 14：不同组件布置形式下各钢种用钢量占比



资料来源：《光伏组件横排及竖排布置时支架用钢量对比》（王敏，2019），国海证券研究所

1MW 光伏钢支架的重量取决于材质和设计，重量约在 40-100 吨/MW 之间，具体用量则取决于各项目的实际需求。根据国际可再生能源署的数据，光伏装机 1MW 对应的光伏支架大约使用 56 吨钢材。为谨慎起见，我们假设光伏用钢 50 吨¹¹钢材，并根据《光伏组件横排及竖排布置时支架用钢量对比》（王敏，2019）中各钢种的占比，算出对应所需钢种的单耗。因钢支架主要用于集中式电站，总体用钢量的变化还与集中式光伏占比相关。

图 15：光伏支架用钢量新增需求测算

	单位	2021A	2022A	2023E	2024E	2025E	2026E	2023-2026年 平均/CAGR	
全球光伏新增装机量	GW	164.6	231.9	418.9	475.0	554.0	614.0	-	
集中式占比	%	52%	51%	53%	54%	55%	56%	-	
中国光伏新增装机量	GW	54.9	87.4	216.9	230.0	245.0	260.0	-	
集中式占比	%	47%	42%	55%	54%	52%	54%	-	
单耗	C型钢	吨/MW	42.1						-
	钢管	吨/MW	5.8						-
	角钢	吨/MW	2.1						-
全球光伏新增装机钢材总需求量	万吨	428	586	1118	1291	1529	1713	1413	
	yoY	%	36.8%	90.9%	15.5%	18.4%	12.1%	15.3%	
-C型钢	万吨	361	493	941	1087	1288	1443	1190	
-钢管	万吨	50	68	130	150	178	199	164	
-角钢	万吨	18	24	46	53	63	71	59	
中国光伏新增装机钢材总需求量	万吨	128	181	602	621	637	702	640	
	yoY	%	41.5%	231.5%	3.2%	2.6%	10.2%	5.3%	
-C型钢	万吨	108	153	507	523	536	591	539	
-钢管	万吨	15	21	70	72	74	82	75	
-角钢	万吨	5	8	25	26	26	29	27	

资料来源：Solarpower Europe, WIND, CPIA, 《光伏电站设计优化及增配储能系统可行性探讨》河北能源工程设计有限公司, 《光伏组件横排及竖排布置时支架用钢量对比》王敏, 国海证券研究所

¹⁰ 数据资料来自《光伏组件横排及竖排布置时支架用钢量对比》王敏，2019

¹¹ 数据参考自《光伏电站设计优化及增配储能系统可行性探讨》，河北能源工程设计有限公司

假设在平均用钢量不变的情况下，2023-2026 年全球光伏用钢的平均新增需求量在 1413 万吨，2023-2026 年 CAGR 为 15.3%，其中对于型钢的需求量较大，约有 1248 万吨，无缝钢管需求量为 164 万吨。中国在 2023-2026 年光伏用钢平均新增需求量为 640 万吨，其中型钢年均新增需求在 566 万吨，无缝钢管为 75 万吨。根据国家统计局，2018-2022 年，中国的型钢均产量近 6800 万吨左右，假设未来年份延续均值产量，我们预计 2026 年国内光伏新增装机将使光伏用型钢占比较 2023 年提升 1.3 个百分点¹²。

1.4、白银：光伏支撑工业用银需求增长

光伏银浆是光伏电池片结构中核心电极材料，用于光伏电池正面电极和负极，其性能可直接影响电池的转换效率。光伏银浆系配方型产品，其生产原料包括银粉（白银）、树脂粘结相、溶剂、添加剂、玻璃粉等。白银在银浆中的含量占比达 80%-90%，并且通常呈现粉末状形态，具备功能金属粉末特性，既有银单质的导电性，又具有粉末的独特性能。银粉的形貌、分散性、粒度大小、表面性质均会对银浆的性能产生影响。粒度分布更加均匀、振实密度更高的球形、类球以及片状银粉更适合用于制备光伏银浆，其中片状银粉接触面积大、导电性强，但堆积过程中容易团聚，因此往往会通过调配不同比例、不同径粒的球形、类球形以及片状银粉获得复合银粉。

图 16：银粉形貌对银浆性能的影响

银粉形貌类型	银浆性能表现	引起差异的主要原因
片状	容易团聚，印刷流动性较差，分子间接触部分导电性很强，烧结后致密性强，电阻低，常用作光伏电池背面银浆	堆积方式为线接触或面接触，容易存在堆叠缝隙，导线网格易出现断层
树枝状/花枝状	容易团聚，印刷流畅性较差，烧结后银膜孔隙率高，导电膜电阻大，附着力差	颗粒粗糙，比表面积大，银浆调制过程难以均匀分散到各介质
球状/类球状	分散性相对较好，印刷时流畅性较好，烧结后导电膜致密性相对较好，导电能力相对较强	堆积方式为点接触，比表面积相对较小，在有机体系更容易实现均匀分散，但烧结时球体收缩率较大，容易形成收缩空洞

资料来源：《光伏银浆配方原料对太阳能电池性能影响综述》廖志辉，中国粉体网，X 技术，天眼查，国海证券研究所

目前电池银浆分为高温银浆和低温银浆两种。P 型电池和 TOPCon 电池使用高温银浆，HJT 电池使用低温银浆，以免高温损坏其表面钝化层。银浆在电池片非硅成本占比最高，约为 33%¹³。由于低温银浆的导电性通常不如高温银浆，HJT 电池对低温银浆的使用量更大，导致 HJT 电池制造成本被推高。

¹² 不考虑钢支架直接出口/型钢间接出口的情况

¹³ 《光伏银浆配方原料对太阳能电池性能影响综述》廖志辉，2023

光伏银浆单耗呈下降趋势。目前主要通过多主栅技术以及减小栅线宽度来减少正银消耗量。同时随着电池片技术不断革新，电镀铜、铜膏等对银浆具有一定替代作用，光伏电池中银浆消耗量正缩减。根据 CPIA，2023 年 P 型电池正银消耗量由 2022 年的 65mg/片降至 59mg/片，背银消耗量约 25mg/片；HJT 电池双面低温银浆消耗量约 115mg/片，同比 2022 年 127mg/片下降 9.4%。降低银浆成本有助于降低生产成本、度电成本，从而推动下游市场需求，以量换空间。随着技术推进，HJT 电池相对 P 型电池的单位用银量已由 2021 年 2 倍降至 2023 年的 1.4 倍，因此 N 型电池市占率的提升也难以阻挡总体耗银量边际递减的趋势。

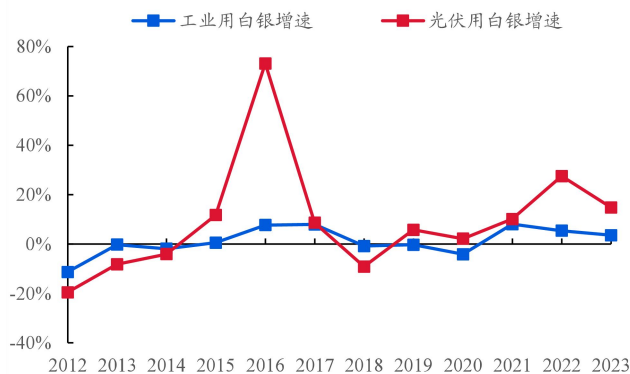
图 17：光伏电池片用白银需求测算

	单位	2021A	2022A	2023A	2024E	2025E	2026E	2023-2026 平均/CAGR	
全球新增光伏装机量	GW	165	232	419	475	554	614	-	
中国新增光伏装机量	GW	55	87	217	230	245	260	-	
电池占比	PERC	%	91%	91%	74%	40%	25%	18%	-
	TOPCon	%	3%	8%	23%	55%	67%	70%	-
	HJT	%	0%	1%	3%	4%	7%	10%	-
	其它	%	6%	0%	1%	1%	1%	2%	-
电池银耗									
P型	正银	吨/GW	15.0	14.3	12.4	11.7	11.0	10.3	-
	背银	吨/GW	3.5	3.2	3.0	2.8	2.6	2.4	-
TOPCon	双面银浆	吨/GW	18.3	17.4	13.6	12.9	12.1	11.3	-
HJT	双面银浆	吨/GW	27.5	25.0	22.5	20.7	19.0	17.9	-
光伏耗银浆量	全球	吨	2865	4058	6316	6524	7091	7379	-
	中国	吨	956	1529	3270	3159	3136	3125	-
光伏装机（电池片） 对应白银需求量	全球	吨	2436	3449	5368	5545	6027	6272	5803
	yoy	%	-	41.6%	55.6%	3.3%	8.7%	4.1%	5.3%
	中国	吨	813	1300	2780	2685	2666	2656	2696
	yoy	%	-	60.0%	113.8%	-3.4%	-0.7%	-0.4%	-1.5%

资料来源：CPIA《中国光伏产业发展路线图（2021年/2022-2023年/2023-2024年）》，帝尔激光公司公告，InfoLink《光伏技术趋势报告》2023，PV Magazine，《光伏银浆配方原料对太阳能电池性能影响综述》（廖志辉，2023），国海证券研究所

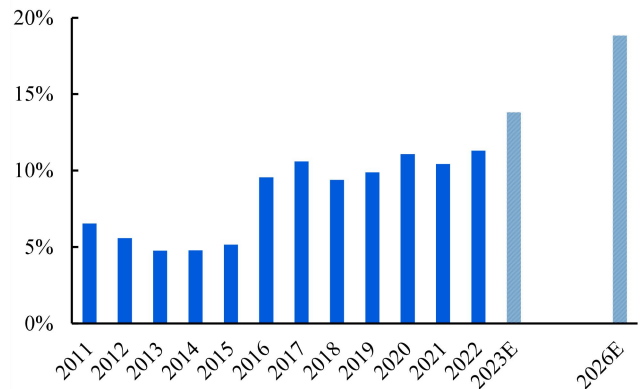
根据 InfoLink 预计的 N 型电池产能及出货占比，并且结合 N 型电池转换效率高正逐渐取代 P 型电池的现状，我们估算出 2024-2026 年各技术路线市场占比。其次，我们假设 2023-2026 年期间 P 型电池、TOPCon 电池、HJT 电池的单位银浆用量每年以 5%-8% 的速度递减。根据测算结果，我们估计 2023-2026 年全球光伏装机（电池片）所需的白银用量分别为 5368/5545/6027/6272 吨，CAGR 为 5.3%。

图 18：全球光伏支撑白银工业需求



资料来源：iFinD，国海证券研究所

图 19：全球光伏用白银需求占比情况



资料来源：iFinD，世界白银协会，国海证券研究所

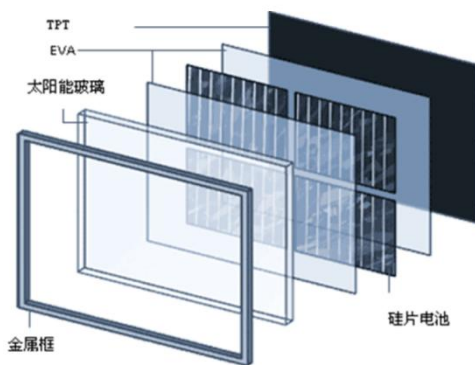
光伏用白银需求占比将继续扩大。作为有限矿产，未来白银供给量将趋于稳定，根据世界白银协会，2019-2022 年全球白银供应在 3.1-3.2 万吨波动。2021 年以来全球白银需求增长较为强势，2019-2022 年全球白银总需求在 3.3 万吨附近波动。假设 2026 年全球白银总需求为 3.4 万吨，光伏电池片用银需求占比可提升至 18.3%，较 2023 年提高 3.5 pct，光伏领域支撑白银工业需求增长。

1.5、纯碱：双玻组件渗透率带动单耗下降

纯碱是重要的有机化工原料，主要用于平板玻璃、玻璃制品和陶瓷釉的生产。玻璃工业是纯碱的最大消费领域，每吨玻璃消耗纯碱 0.2 吨¹⁴。根据密度的不同，纯碱主要分为轻质纯碱和重质纯碱，与轻碱相比，重碱具有密度高、吸湿低、不易结块、不易飞扬、流动性好等特点，主要应用于光伏玻璃、平板玻璃等。

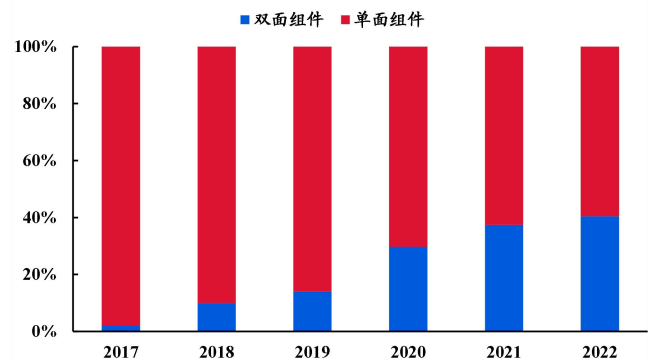
光伏玻璃也称为超白玻璃，透光率高达 92%（浮法玻璃 86%），需要在玻璃表面涂覆防反射涂层和透明导电层。光伏玻璃是光伏电池最重要的组件之一，位于组件正面的最外层，利用其较高的透射率为电池片提供光能，以及防氧化、防水、绝缘、耐腐蚀性能等机械性能，起到保护光伏电池及透光的作用。

图 20：光伏玻璃在组件的位置



资料来源：玻璃杂志公众号

图 21：2017-2022 单/双面组件市占率情况



资料来源：CPIA，国海证券研究所

根据不同的工艺，光伏玻璃可分为超白压延玻璃和超白浮法玻璃。超白压延玻璃是由玻璃液经压辊机辊压后推平制成，对原料精度高，主要用于晶硅电池。超白浮法玻璃是将玻璃液放置于锡液表面借助自重力及表面张力摊平制成，主要用于薄膜电池。晶硅组件可根据背板是否为玻璃区分为双玻和单玻组件，双玻组件采用玻璃替代了单玻组件的复材背板，双面采用玻璃封装。

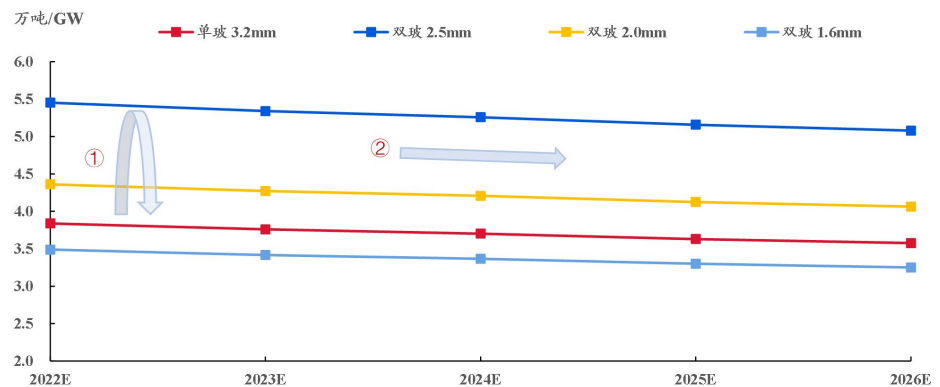
双面组件发电效率更高，正在成为市场主流。 双面组件一般有 2 种封装方式，一是双面双玻组件，常见的封装方式为前后位 2.0mm 钢化玻璃带边框，另一种则是双面单玻组件，组件正面是 3.2mm 全钢化玻璃，背面为高耐候透明背板，可有效解决双面双玻组件容易爆裂等痛点。相比单面组件，双面组件正面背面均有发电能力，背面可接受周围环境的反射光、散射光转换为电能。双面组件在系

¹⁴ 数据参考自双环科技投资者问答（2022 年 11 月 7 日）

统端体现出了优异的发电增益，其系统集成后发电功率相对于传统单面组件电站的增益约为 4%-30%¹⁵。随着下游应用端对于双面发电组件发电增益的认可，2023 年双面组件市场占比提升至 67%，双面组件已成市场主流，未来双面组件市场将趋于稳定。

双面、大尺寸、薄化成为光伏玻璃的发展趋势。前盖板玻璃厚度主要有 1.6mm、2.0mm、2.5mm、3.2mm 等规格，其中厚度 ≤2.5mm 的前盖板玻璃主要用于双玻组件。根据 CPIA，2023 年，由于市场对双面组件需求增加，厚度 2.0mm 的前盖板玻璃市场占有率达到 65.5% (+25.8pct)，厚度 1.6mm 玻璃市占率约有 1.5% (+1pct)，2.5mm 厚度玻璃早已淡出市场，而厚度 3.2mm 的前盖板玻璃市占率下降至 32.5% (-26.8pct)。

图 22：不同厚度玻璃对应的每 GW 装机玻璃单耗



资料来源：CPIA，北极星太阳能光伏网，国海证券研究所

注：假设 M6(72 片)对应组件尺寸为 2108*1048mm，M10(72 片)对应组件尺寸为 2278*1134mm，G12(66 片)对应组件尺寸为 2384*1303mm。

我们根据各技术路线下电池占比计算出各组件尺寸的平均功率，并假设双玻组件较单玻组件提高 10%发电效率，计算得到不同硅片尺寸、单/双玻组件每 GW 装机所需的玻璃面积。再根据不同硅片尺寸的占比情况，得到单/双组件每 GW 装机所需的玻璃平均面积。光伏玻璃密度是 2.5 吨/m³，我们可以得到在 2023 年每装机 1GW 单玻组件需要 3.76 万吨 3.2mm 光伏玻璃。对于双玻组件，2023 年每 GW 光伏装机需要 4.27 (3.42) 万吨 2.0mm (1.6mm) 光伏玻璃。

每 GW 装机玻璃单耗有 3 个变化特点：一是双玻组件中随着光伏玻璃薄化趋向更加明显，每 GW 装机所需要的玻璃需求量减少；二是双玻组件中 1.6mm 玻璃每 GW 单耗低于单玻 3.2mm，原因是双面双玻组件具有更高的输出功率；三是随着大尺寸、高效率电池片的发展，光伏组件的平均功率增加，单位装机容量所需要的组件数量就会减少，对应的玻璃需求量减少。

¹⁵ 数据来自北极星太阳能光伏网

图 23: 光伏玻璃用纯碱新增需求测算

	单位	2022	2023E	2024E	2025E	2026E	2023-2026年 平均/CAGR
全球新增装机量	GW	231.9	418.9	475.0	554.0	614.0	-
yoy	%	40.9%	80.6%	13.4%	16.6%	10.8%	-
光伏玻璃总需求	万吨	1175	2141	2380	2711	2946	-
中国光伏玻璃占全球产量	%	90%	90%	90%	90%	90%	-
中国光伏玻璃需求量	万吨	1057	1927	2142	2440	2651	-
每吨光伏玻璃纯碱需求	吨	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	-
全球光伏玻璃对应纯碱需求	万吨	235	428	476	542	589	509
中国光伏玻璃对应纯碱需求	万吨	211	385	428	488	530	458
yoy	%	-	82.2%	11.1%	13.9%	8.7%	11.2%

资料来源: CPIA, 北极星太阳能光伏网, 双环科技投资者问答(2022年11月7日), 国海证券研究所(具体测算细节详附录)
注: 假设 M6(72片)对应组件尺寸为 2108*1048mm, M10(72片)对应组件尺寸为 2278*1134mm, G12(66片)对应组件尺寸为 2384*1303mm。

我们预计 2023-2026 年全球光伏装机对纯碱需求约为 428/476/542/589 万吨, 对应 CAGR 为 11.2%。国内光伏玻璃产量约占全球 90%, 假定这一比例不变, 我们测算出 2026 年中国新增装机用到的光伏玻璃对应纯碱需求为 530 万吨。

根据百川盈孚, 2023 年中国纯碱产能约为 4025 万吨, 产量达到 3262 万吨, 表观消费量为 3144 万吨。考虑到 2023-2024 年纯碱产能投放达到 1100 万吨, 淘汰 70 万吨的产能, 在无其余新增产能的情况下, 预计至 2026 年, 产能将稳定在 4235 万吨左右。假设产能利用率、产销率稳定, 2026 年国内光伏新增用纯碱需求占比提高到 15.1%, 较 2023 年带来 2.9 个百分点的拉动, 总体而言难以扭转纯碱供过于求的情况。

图 24: 国内纯碱产能进度表(万吨)

企业	产能增减	投产时间	生产工艺	扩产进度				2023-2026年 CAGR/拉动
				2023A 新增投产	2024E 新增投产	2025E 新增投产	2026E 新增投产	
金大地化工	30	2023-01	联碱法	800	-	-	-	新增产能
中盐红四方	20	2023-05	-					
博源银根化工	150	2023-08	天然碱					
博源银根化工	150	2023-09	-					
湘渝盐化	20	2023-09	-					
金大地化工	200	2023-11	-					
博源银根化工	100	2023-11	天然碱					
阜丰生物科技	30	2023-12	联碱法					
博源银根化工	100	2023-12	天然碱					
德邦化学工业集团	60	2024-01	联碱法					
天冠企业	30	2024-05	天然碱	-	210			
连云港碱业	120	2024-06	联碱法					
金天化工	-40	2023-12	-					
金天化工	-30	2023-12	联碱法	-70				淘汰产能
	2020A	2021A	2022A	2023E	2024E	2025E	2026E	
产能(累计值)	3317	3258	3295	4025	4235	4235	4235	1.71%
产能利用率	84.8%	89.4%	88.6%	81.1%	83.9%	84.5%	85.5%	-
产量	2812	2913	2920	3262	3553	3580	3621	3.54%
中国纯碱表观消费量	2654	2840	2752	3144	3407	3457	3502	3.66%
光伏新增装机用纯碱占比	-	-	7.7%	12.3%	12.6%	14.1%	15.1%	2.88pct

资料来源: 百川盈孚, iFinD, 国海证券研究所(统计时间截至 2024 年 3 月 23 日)

若从光伏玻璃产量的角度考量, 2024 年光伏玻璃有望拉动用碱 131 万吨。截至 2023 年 12 月底, 国内超白压延玻璃日容量为 10.0 万吨/日, 同比增加 31.17%, 2023 年全年新增产能 2.6 万吨/日¹⁶。2024 年仍有较多在建产线, 部分玻璃企业积极布局光伏市场, 因此整体光伏玻璃供应宽松局势不变。卓创资讯预计 2024

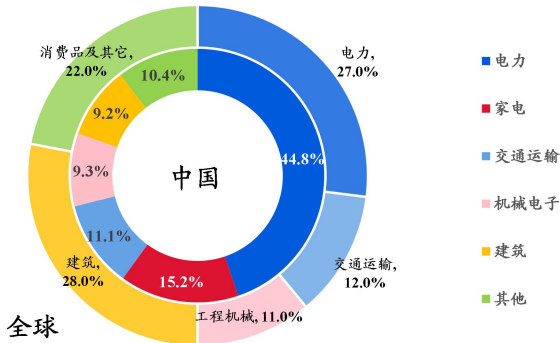
¹⁶ 数据来自卓创资讯

年光伏玻璃新增产能为 1.8 万吨/日，2024 年光伏行业用纯碱 858 万吨，能拉动 131 万吨的新增纯碱需求（光伏新增装机口径仅拉动 43 万吨）。

1.6、铜：光伏用铜扰动整体用铜需求

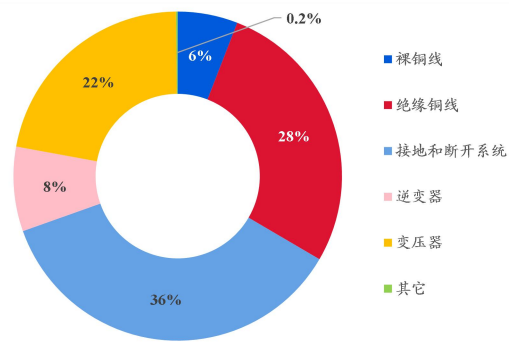
集中式电站的光伏阵列产生的直流电通过传输，经直流汇流箱汇流后，由逆变器集中逆变转换为三相交流电，再传输到升压变压器，经由升压站接入电网。分布式电站的设计类似于集中式电站，光伏面板产生的直流电通过一个或多个逆变器，将交流电通过变压器再发送到服务入口和双向电表，根据实际需求从双向电表输送到住宅或电网。在可再生能源领域，铜依旧是作为发电、变电、传输的首选材料，特别是在接地与防雷方面。分布式光伏的用铜强度与集中式电站的用铜强度差别不大¹⁷，集中用于连接面板、接地系统和安装一个或多个逆变器。

图 25：2021 年中国及全球精炼铜消费结构



资料来源：华经情报网，国海证券研究所

图 26：光伏各部件用铜比例



资料来源：《Market Study: Current And Projected Wind And Olarrenewable Electric Generating Capacity Ndresulting Copper Demand》（BBF Associates, 2011），国海证券研究所

在光伏领域中，汇流箱、变压器、铜导线等组件含铜较多，具体来说，铜在这些部件中的形式包括铜线、铜带、铜排和铜管等。铜带在光伏产业中主要可用于生产电器元件、灯头、电池帽、钮扣、密封件、接插件，以及电气元器件、开关、垫圈、垫片、电真空器件、散热器、导电母材等；铜排可用于光伏交流汇流箱，以及光伏发电过桥等；铜管可用于太阳能光伏组件，便于导热等；铜线则常见用于制作电缆等。

2021 年中国电力/家电/交通/机械电子耗铜量占比分别为 45%/15%/11%/9%¹⁸。铜在新能源增量空间可观，2021 年新能源对铜需求仅占 7%，随 2023 年风、光装机量翻倍式增加，新能源行业显著助力铜的需求增长。2023 年铜价全年高位震荡，表现出较强的价格韧性，同时也催生出低价金属的替代需求。因铝具有良

¹⁷ 《Market Study: Current And Projected Wind And Olarrenewable Electric Generating Capacity Ndresulting Copper Demand》BBF Associates

¹⁸ 数据来自华经情报网

好的性能优势、丰富储量以及价格优势，近几年电力行业存在着铝代铜的现象，促使电力行业整体铜单耗呈下降趋势。

图 27：全球光伏用铜新增需求测算

	单位	2021	2022	2023E	2024E	2025E	2026E	2023-2026 平均/CAGR
全球光伏新增装机量	GW	165	232	419	475	554	614	-
中国光伏新增装机量	GW	55	87	217	230	245	260	-
光伏用铜单耗	吨/GW	4916	4843	4792	4721	4650	4580	-
铜线	吨/GW	1643	1619	1602	1578	1554	1531	-
接地系统与断开系统	吨/GW	1777	1751	1732	1706	1681	1656	-
变压器	吨/GW	1079	1079	1079	1079	1079	1079	-
逆变器	吨/GW	408	408	408	408	408	408	-
其它	吨/GW	8	8	8	8	8	8	-
全球光伏新增装机对应铜需求	万吨	81	112	201	224	258	281	241
yoy	%	-	39%	79%	12%	15%	9%	11.9%
-铜线	万吨	27	38	67	75	86	94	-
-接地系统与断开系统用铜	万吨	29	41	73	81	93	102	-
-变压器用铜	万吨	18	25	45	51	60	66	-
-逆变器用铜	万吨	7	9	17	19	23	25	-
-其它用铜	万吨	0.14	0.20	0.36	0.40	0.47	0.52	-
中国光伏新增装机对应铜需求	万吨	27	42	104	109	114	119	111
yoy	%	-	57%	146%	4%	5%	5%	4.6%
-铜线	万吨	9	14	35	36	38	40	-
-接地系统与断开系统用铜	万吨	10	15	38	39	41	43	-
-变压器用铜	万吨	6	9	23	25	26	28	-
-逆变器用铜	万吨	2	4	9	9	10	11	-
-其它用铜	万吨	0.05	0.07	0.18	0.20	0.21	0.22	-

资料来源：CPIA，北极星太阳能光伏网，CDA，Visualcapitalist，《Copper is the new oil》Goldman Sachs，《Market Study: Current And Projected Wind And Olarrenewable Electric Generating Capacity Ndsresulting Copper Demand》BBF Associates 国海证券研究所

2026 年全球光伏新增装机用铜需求有望达到 281 万吨。关于单 GW 光伏新增装机对铜的需求用量，不同研究机构所给的参数略有差距，我们假设 2021 年每 GW 对应铜需求为 4916 吨¹⁹，设定各部件对铜的消耗比例不变，得出每 GW 装机需要消耗 1643 吨铜线，接地系统和断开系统耗铜 1777 吨，变压器和逆变器分别耗铜 1079/408 吨。假设存在铝代铜的情况，铜单耗每年以 1%-1.5% 的速度递减，我们测算出 2023 年中国及全球光伏用铜量分别为 104/201 万吨，至 2026 年中国及全球光伏用铜量分别为 119/281 万吨（见图 27）。

光伏耗铜量对整体铜需求的影响力持续扩大，2023 年新能源行业拉动铜需求明显增长。全球方面，2022 和 2023 年全球铜消费增速分别为 2.5% 和 4.6%，其中 2023 年达到 2701.3 万吨²⁰。从我国精铜消费来看，我国已连续多年成为全球最大精铜消费国。2022 年即使受到疫情因素影响，我国精铜消费依然保持了较快增速(+5.9%)，精铜表观消费量为 1468.4 万吨，占全球精铜消费量的 56.3%，成为推动全球精铜消费增长的主要力量。根据我们计算，2023 年中国铜消费量约为 1600 万吨，较 2022 年增长 9%²¹。据中国有色金属工业协会数据，2023

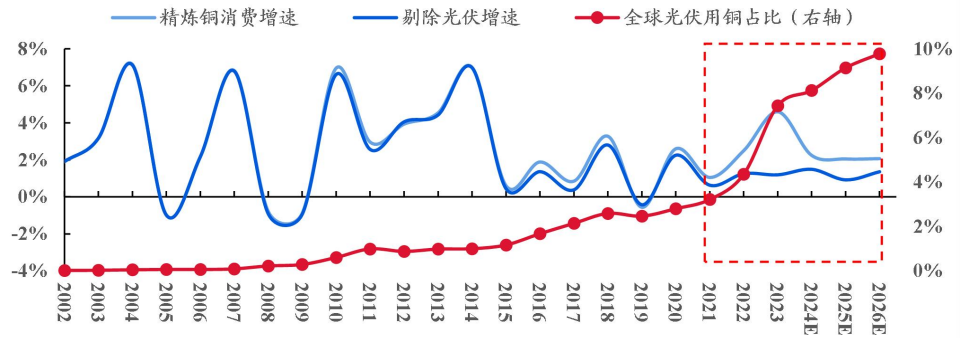
¹⁹ 将 2020 年不同机构（Goldman Sachs、Navigant Research、CDA）给出的铜单耗取平均值，并假设 2021 年铜单耗以 2% 的速度递减，求得 2021 年每 GW 装机耗铜 4916 吨。

²⁰ 数据来自 ICSG

²¹ 数据来自 ICSG

年我国新能源行业明显拉动铜需求增长，用铜需求增幅较 2022 年高出 52%，约占全国铜消费比重的 19%。

图 28：2021 年起全球光伏的铜消耗量对整体铜需求的影响力持续扩大



资料来源：WIND, ICSG, CME Group, iFinD, 国海证券研究所

随着光伏产业在全球的进一步推进，2021 年后光伏用铜需求对用铜总量波动形成明显扰动（见图 28），我们预计 2023-2026 年全球光伏用铜新增需求 CAGR11.9%，增速较为可观，至 2026 年全球光伏用铜占精炼铜消费比重可达 9.8%。

2、大宗价格波动对光伏装机的影响：秤砣“不小”，可压千斤

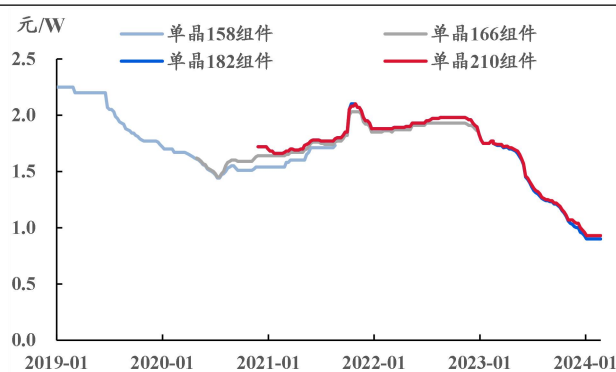
2023年中国光伏新增装机量达到了历史新高，这一辉煌的实现离不开成本端下滑所带来的帮助。其中，硅料和组件价格的显著下降对投资收益的增加功不可没。光伏项目的建设成本大幅减少，吸引了更多的运营商参与到光伏市场中，推动了光伏装机规模的扩大。2023年光伏产业链中多晶硅产能逐步释放，多晶硅成原材料价格波动最大的一环，而其他大宗商品则处于较为稳定的低波动状态²²。

图 29：2023 年多晶硅料价格较 2022 年巅峰下滑近 8 成



资料来源：PV InfoLink，国海证券研究所

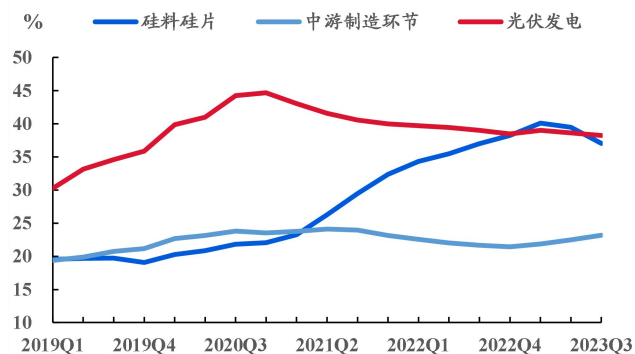
图 30：2023 年组件价格下降 45%以上



资料来源：PV InfoLink，国海证券研究所

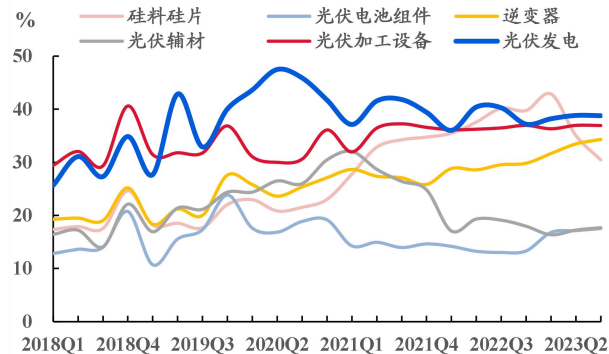
随着多晶硅料、组件产能大规模释放，高度竞争下光伏产业链板块盈利分化，利润向中下游环节集中。例如 2023 年硅料硅片环节整体毛利率有所下降(见图 31)；中游环节，尤其是逆变器板块盈利较为可观。整体来说上游多晶硅等原材料价格的回落，一是使得光伏中下游的盈利情况改善；二是刺激下游运营商装机需求的释放。

图 31：光伏产业链上中下游盈利变化趋势



资料来源：WIND，国海证券研究所（注：数据指标为滚动 1y 毛利率；以 3 月 27 日各板块上市公司的市值为权重）

图 32：光伏产业链细分板块毛利率变化



资料来源：WIND，国海证券研究所（注：以 3 月 27 日各板块上市公司的市值为权重）

²² 参考 2023 年 12 月的外发报告《低波之下，方寸之间——2024 年大宗商品策略展望》（2023/12/16）

2.1、大宗商品影响几何：装机关键一环

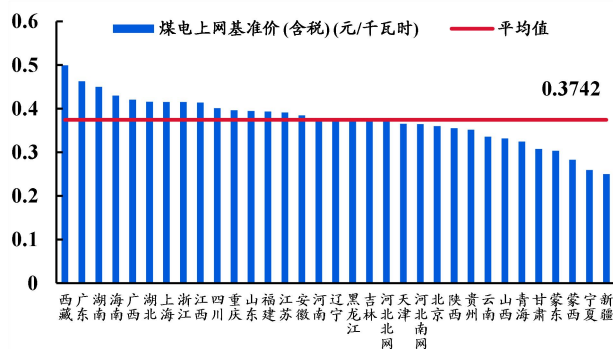
大宗商品价格波动从多方位影响光伏发电运营。首先，大宗商品价格的波动直接影响光伏发电项目的建设成本和项目的投资回报率，即光伏发电项目的市场竞争力。其次，大宗商品价格的波动也会影响到光伏发电系统的运营成本。例如铜、铝等金属的价格波动也会影响到设备维护和修复成本。因此大宗商品在光伏降本增效的主流发展路径中举足轻重。

为检验大宗商品对光伏装机的影响程度，我们针对大宗商品价格变化对光伏项目的平准化度电成本（LCOE）和项目资金 IRR 进行弹性测算。LCOE 和 IRR 是运营商判断装机项目性价比的重要因素。（具体模型假设详见附录 2）

光伏项目内部收益率（IRR）需考虑运营周期内，每年现金流入及流出情况。现金流入主要为项目并网售电收益，由于目前光伏步入平价时期，不考虑度电补贴且全额上网的情形下，售电价格参考全国燃煤平均基准上网电价约 0.3742 元/KWh。按照本文假定的调峰配储费用及 10%的配出比例，加权平均后的上网电价为 0.3442 元/kWh（含税）。

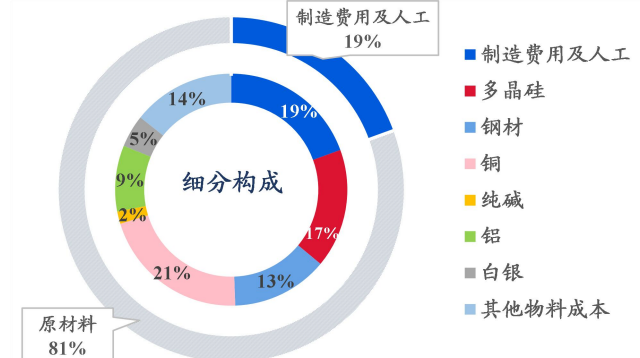
参考上一章节测算的各品种单耗数据，我们对模型假设的光伏项目成本进行拆分。我们假设 100MW “光伏+储能” 一体化清洁能源示范项目需耗多晶硅 215 吨、钢²³约 5000 吨、铜 479.2 吨、铝 773.1 吨、白银 1.3 吨、纯碱 1001.9 吨，价格以 2023 年各原材料年均价为准，可以得到各原材料的成本构成，组件及 BOS 系统²⁴中原材料成本占 81%左右，多晶硅、钢材、铜、铝、白银、纯碱成本占比分别为 17%/13%/21%/9%/5%/2%。

图 33：各省及地区煤电上网基准价



资料来源：北极星火力发电网，国海证券研究所（截至 2024 年现行基准价）

图 34：组件及 BOS 系统成本构成



资料来源：iFinD，国海证券研究所（注：适用于集中式电站）

通过对光伏及 BOS 系统组件物料成本估算，多晶硅料/钢/铜/铝/白银/纯碱每瓦装机需要约 0.26/0.21/0.33/0.14/0.071/0.027 元。其中铜、多晶硅料、钢、铝的成本占相对较大，我们对其进行度电成本和内部收益率的价格敏感性分析。本模型假定下，100MW 光储一体化项目的度电成本为 0.2670 元/W，符合典型光伏项目的常规情况。

²³ 以镀锌钢为例。

²⁴ BOS（Balance of System）组件是光伏系统中的辅助设备，用于支持太阳能电池组件的安装、连接和运行。

图 35: 多晶硅/钢价格-度电成本 LCOE 敏感性分析 (元/W)

LCOE		多晶硅价格变化											
		-80%	-50%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	50%	80%	100%
钢价格 变化	-80%	0.2375	0.2436	0.2477	0.2498	0.2518	0.2538	0.2559	0.2579	0.2600	0.2641	0.2702	0.2743
	-50%	0.2424	0.2486	0.2527	0.2547	0.2567	0.2588	0.2608	0.2629	0.2649	0.2690	0.2752	0.2792
	-30%	0.2457	0.2519	0.2560	0.2580	0.2600	0.2621	0.2641	0.2662	0.2682	0.2723	0.2785	0.2825
	-20%	0.2474	0.2535	0.2576	0.2597	0.2617	0.2637	0.2658	0.2678	0.2699	0.2740	0.2801	0.2842
	-10%	0.2490	0.2552	0.2593	0.2613	0.2634	0.2654	0.2674	0.2695	0.2715	0.2756	0.2818	0.2858
	0%	0.2507	0.2568	0.2609	0.2630	0.2650	0.2670	0.2691	0.2711	0.2732	0.2773	0.2834	0.2875
	10%	0.2523	0.2585	0.2626	0.2646	0.2667	0.2687	0.2707	0.2728	0.2748	0.2789	0.2851	0.2891
	20%	0.2540	0.2601	0.2642	0.2663	0.2683	0.2703	0.2724	0.2744	0.2765	0.2806	0.2867	0.2908
	30%	0.2556	0.2618	0.2659	0.2679	0.2700	0.2720	0.2740	0.2761	0.2781	0.2822	0.2884	0.2924
	50%	0.2589	0.2651	0.2692	0.2712	0.2733	0.2753	0.2773	0.2794	0.2814	0.2855	0.2917	0.2957
80%	0.2639	0.2700	0.2741	0.2762	0.2782	0.2803	0.2823	0.2843	0.2864	0.2905	0.2966	0.3007	
100%	0.2672	0.2733	0.2774	0.2795	0.2815	0.2836	0.2856	0.2876	0.2897	0.2938	0.2999	0.3040	

资料来源: WIND, 太阳能公司公告, 北极星电力网, iFinD, 国海证券研究所

注: ①光伏支架多用型钢, 本文采用 2023 年型钢均价 4219.30 元/吨、多晶硅致密料价格均价 12.12 万元/吨, 并以此作为测算基础 (即 0% 所代表的价格)。②2023 年铜/铝/白银/纯碱均价 6.83/1.87/555.6/0.27 万元/吨, 并假设价格不变。

整体上, 光伏及 BOS 系统组件中大宗商品成本构成比较分散, 大宗对集中式光伏电站的成本传导将主要通过多晶硅、钢材和铜进行; 大宗对分布式光伏电站的成本传导将主要通过多晶硅、铜、铝进行。

根据我们的测算结果, 在控制其他大宗品种价格保持不变时, 多晶硅料价格每上涨 10%, LCOE 约上涨 0.77%, 钢材价格每上涨 10%, LCOE 约上涨 0.62%。从 LCOE 与含税加权上网电价的对比角度来看, 当其他大宗品种价格保持不变时, 整体多晶硅和钢材价格的变动空间较大, 每种情形下的度电成本都低于含税加权上网电价。只有当多晶硅料和钢价格较 2023 年上涨 3.8、4.7 倍时 (对应多晶硅料 579.2 元/kg、型钢 2.39 万元/吨), 才会出现度电成本低于含税上网电价的极端亏损情况, 历史上多晶硅料仅在 2011 年之前才达到 400 元/kg 的价格, 而型钢/镀锌钢价格难以达到 2 万元/吨以上的价格, 对于集中式电站完全采用不锈钢支架则难以符合项目的建设经济性条件。此外, 当其他条件不变的情况下, 多晶硅价格下跌 10% 时的 LCOE (此时 LCOE 等于 0.2650) 等于钢价下跌 12.4% 的 LCOE, 多晶硅价格变动对光伏项目成本的影响是钢的 1.2 倍。

图 36: 铜/铝价格-度电成本 LCOE 敏感性分析 (集中式电站, 元/W)

LCOE		铜价格变化											
		-80%	-50%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	50%	80%	100%
铝价格 变化	-80%	0.2375	0.2452	0.2503	0.2529	0.2554	0.2580	0.2606	0.2631	0.2657	0.2708	0.2785	0.2836
	-50%	0.2409	0.2486	0.2537	0.2563	0.2588	0.2614	0.2639	0.2665	0.2691	0.2742	0.2819	0.2870
	-30%	0.2432	0.2508	0.2560	0.2585	0.2611	0.2637	0.2662	0.2688	0.2713	0.2765	0.2841	0.2893
	-20%	0.2443	0.2520	0.2571	0.2597	0.2622	0.2648	0.2673	0.2699	0.2725	0.2776	0.2853	0.2904
	-10%	0.2454	0.2531	0.2582	0.2608	0.2634	0.2659	0.2685	0.2710	0.2736	0.2787	0.2864	0.2915
	0%	0.2465	0.2542	0.2594	0.2619	0.2645	0.2670	0.2696	0.2722	0.2747	0.2799	0.2875	0.2927
	10%	0.2477	0.2554	0.2605	0.2631	0.2656	0.2682	0.2707	0.2733	0.2759	0.2810	0.2887	0.2938
	20%	0.2488	0.2565	0.2616	0.2642	0.2667	0.2693	0.2719	0.2744	0.2770	0.2821	0.2898	0.2949
	30%	0.2499	0.2576	0.2628	0.2653	0.2679	0.2704	0.2730	0.2756	0.2781	0.2833	0.2909	0.2961
	50%	0.2522	0.2599	0.2650	0.2676	0.2701	0.2727	0.2753	0.2778	0.2804	0.2855	0.2932	0.2983
80%	0.2556	0.2633	0.2684	0.2710	0.2735	0.2761	0.2787	0.2812	0.2838	0.2889	0.2966	0.3017	
100%	0.2579	0.2656	0.2707	0.2732	0.2758	0.2784	0.2809	0.2835	0.2861	0.2912	0.2989	0.3040	

资料来源: WIND, 太阳能公司公告, 北极星电力网, iFinD, 国海证券研究所 (注: ①本表采用 2023 年铜均价 6.83 万元/吨、铝均价 1.87 万元/吨, 并以此作为测算基础 (即 0% 所代表的价格)。②2023 年型多晶硅致密料/铜/白银/纯碱均价 12.12/0.42/555.6/0.27 万元/吨, 并假设价格不变。)

对于集中式和分布式光伏电站，用铝强度并不一致，根据我们的测算，集中式电站每 GW 用铝 0.77 万吨，分布式电站每 GW 用铝 2.43 万吨。相对应地，铝在这两种形式的电站中的成本占比分别为 9%和 29%。在集中式电站中，在控制其他大宗品种价格保持不变时，铜价格每上涨 10%，LCOE 约上涨 0.96%，铝价格每上涨 10%，LCOE 约上涨 0.42%。而在分布式电站中，铝价格每上涨 10%，则 LCOE 约上涨 1.33%，影响是集中式电站的 3 倍。

从 LCOE 与含税加权上网电价的对比角度来看，当其他大宗品种价格保持不变时，同样铜、铝价格的变动空间较大。只有当铜、铝价格较 2023 年上涨 3.0、6.8（集中式；分布式 2.2）倍时，才会出现度电成本低于含税上网电价的极端亏损情况。

图 37：铜/铝价格-度电成本 LCOE 敏感性分析（分布式电站，元/W）

LCOE		铜价格变化											
		-80%	-50%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	50%	80%	100%
铝价格变化	-80%	0.2288	0.2364	0.2416	0.2441	0.2467	0.2493	0.2518	0.2544	0.2569	0.2621	0.2698	0.2749
	-50%	0.2323	0.2400	0.2451	0.2477	0.2502	0.2528	0.2554	0.2579	0.2605	0.2656	0.2733	0.2784
	-30%	0.2359	0.2436	0.2487	0.2512	0.2538	0.2564	0.2589	0.2615	0.2641	0.2692	0.2769	0.2820
	-20%	0.2394	0.2471	0.2522	0.2548	0.2574	0.2599	0.2625	0.2651	0.2676	0.2727	0.2804	0.2856
	-10%	0.2430	0.2507	0.2558	0.2584	0.2609	0.2635	0.2660	0.2686	0.2712	0.2763	0.2840	0.2891
	0%	0.2465	0.2542	0.2594	0.2619	0.2645	0.2670	0.2696	0.2722	0.2747	0.2799	0.2875	0.2927
	10%	0.2501	0.2578	0.2629	0.2655	0.2680	0.2706	0.2732	0.2757	0.2783	0.2834	0.2911	0.2962
	20%	0.2537	0.2614	0.2665	0.2690	0.2716	0.2742	0.2767	0.2793	0.2819	0.2870	0.2947	0.2998
	30%	0.2572	0.2649	0.2700	0.2726	0.2752	0.2777	0.2803	0.2828	0.2854	0.2905	0.2982	0.3033
	50%	0.2643	0.2720	0.2772	0.2797	0.2823	0.2848	0.2874	0.2900	0.2925	0.2977	0.3053	0.3105
80%	0.2750	0.2827	0.2878	0.2904	0.2930	0.2955	0.2981	0.3006	0.3032	0.3083	0.3160	0.3211	
100%	0.2821	0.2898	0.2949	0.2975	0.3001	0.3026	0.3052	0.3078	0.3103	0.3154	0.3231	0.3283	

资料来源：WIND，太阳能公司公告，北极星电力网，iFinD，国海证券研究所

注：①本表采用 2023 年铜均价 6.83 万元/吨、铝均价 1.87 万元/吨，并以此作为测算基础（即 0%所代表的价格）。②2023 年型多晶硅致密料/铜/白银/纯碱均价 12.12/0.42/555.6/0.27 万元/吨，并假设价格不变。

对比其他大宗品，纯碱和白银价格变动对光伏的度电成本及内部收益率影响较弱。因白银用量相对较低、纯碱价格基数低，使得白银和纯碱在组件及 BOS 系统中的成本占比仅为 2%和 5%，其价格波动对平准化度电成本的影响较小，光伏产业下游对白银、纯碱价格向上波动风险具有较高的承受力。当白银/纯碱价格上涨 10%，LCOE 分别上涨 0.21%/0.08%。此时当其他原材料价格不变，白银价格翻 15 倍或者纯碱翻 36 倍时，才会出现度电成本低于含税上网电价的极端亏损情况。仅考虑纯碱和白银的价格变动使得光伏项目具有投资价值的情况，商品价格变动幅度将远远超出市场合理波动范围。即使是二者价格均翻倍的情形下，项目全投资 IRR 仍接近 6.17%。

电站运营商收入为正并不意味着光伏项目本身具有投资价值，当大宗商品涨价超过某种程度时将会抑制光伏运营商投资热情，进而降低装机需求。为进一步研究大宗商品价格波动对光伏项目经济效益的影响，我们对本项目模型全投资 IRR 进行敏感性分析。由于白银和纯碱价格波动对风电场运营的影响较小，本文仅对多晶硅、钢材、铜、铝价格波动进行分析。根据本模型的假设，我们测算出总投资为 4.5 亿元的 100MW 光储一体化项目的内部收益率为 6.54%，假设若以 6%的全投资 IRR 作为判断项目投资可行性的临界点，项目投资具备良好的投资收益。

图 38: 白银/纯碱价格-度电成本 LCOE 敏感性分析 (元/W)

LCOE		白银价格变化											
		-80%	-50%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	50%	80%	100%
纯碱 价格 变化	-80%	0.2614	0.2631	0.2643	0.2648	0.2654	0.2660	0.2666	0.2671	0.2677	0.2688	0.2705	0.2717
	-50%	0.2616	0.2633	0.2645	0.2651	0.2656	0.2662	0.2668	0.2673	0.2679	0.2690	0.2708	0.2719
	-30%	0.2618	0.2636	0.2647	0.2653	0.2658	0.2664	0.2670	0.2675	0.2681	0.2693	0.2710	0.2721
	-20%	0.2621	0.2638	0.2649	0.2655	0.2660	0.2666	0.2672	0.2678	0.2683	0.2695	0.2712	0.2723
	-10%	0.2623	0.2640	0.2651	0.2657	0.2663	0.2668	0.2674	0.2680	0.2685	0.2697	0.2714	0.2725
	0%	0.2625	0.2642	0.2653	0.2659	0.2665	0.2670	0.2676	0.2682	0.2688	0.2699	0.2716	0.2728
	10%	0.2627	0.2644	0.2655	0.2661	0.2667	0.2673	0.2678	0.2684	0.2690	0.2701	0.2718	0.2730
	20%	0.2629	0.2646	0.2658	0.2663	0.2669	0.2675	0.2680	0.2686	0.2692	0.2703	0.2720	0.2732
	30%	0.2629	0.2646	0.2658	0.2663	0.2669	0.2675	0.2680	0.2686	0.2692	0.2703	0.2720	0.2732
	50%	0.2629	0.2646	0.2658	0.2663	0.2669	0.2675	0.2680	0.2686	0.2692	0.2703	0.2720	0.2732
80%	0.2629	0.2646	0.2658	0.2663	0.2669	0.2675	0.2680	0.2686	0.2692	0.2703	0.2720	0.2732	
100%	0.2633	0.2650	0.2662	0.2668	0.2673	0.2679	0.2696	0.2713	0.2730	0.2742	0.2759	0.2770	

资料来源: WIND, 太阳能公司公告, 北极星电力网, iFinD, 国海证券研究所

注: ①本表采用 2023 年白银均价 555.6 万元/吨、纯碱均价 0.27 万元/吨, 并以此作为测算基础 (即 0% 所代表的价格)。②2023 年型多晶硅致密料/钢/铜/铝均价 12.12/0.42/6.83/1.87 万元/吨, 并假设价格不变。

若以 6% 的收益率作为判断项目投资可行性的临界点, 当项目条件设定、其他原材料价格不变时, 从组合来看, 投资性临界值约在硅料价格上涨 55.5% 或钢价涨幅达 68.8%²⁵ (对应价格为多晶硅料 188.6 元/kg、钢 7121.8 元/吨) 时达到, 当价格突破此临界值时, 预计运营商对地面大型光伏项目的投资热情将减弱。

图 39: 多晶硅/钢价格-全投资 IRR 敏感性分析

全投资 IRR		多晶硅价格变化											
		-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	40%	60%	80%
钢价格 变化	-50%	7.52%	7.41%	7.30%	7.18%	7.07%	6.97%	6.86%	6.75%	6.65%	6.55%	6.35%	6.16%
	-40%	7.43%	7.32%	7.09%	7.09%	6.99%	6.88%	6.77%	6.67%	6.57%	6.47%	6.27%	6.08%
	-30%	7.34%	7.23%	7.12%	7.01%	6.90%	6.79%	6.69%	6.59%	6.49%	6.39%	6.19%	6.01%
	-20%	7.25%	7.14%	7.03%	6.92%	6.81%	6.71%	6.61%	6.51%	6.41%	6.31%	6.12%	5.93%
	-10%	7.16%	7.05%	6.94%	6.83%	6.73%	6.63%	6.53%	6.43%	6.33%	6.23%	6.04%	5.86%
	0%	7.07%	6.96%	6.86%	6.75%	6.65%	6.55%	6.45%	6.35%	6.25%	6.15%	5.97%	5.79%
	10%	6.98%	6.88%	6.77%	6.67%	6.57%	6.46%	6.37%	6.27%	6.17%	6.08%	5.89%	5.71%
	20%	6.90%	6.79%	6.69%	6.58%	6.48%	6.38%	6.29%	6.19%	6.10%	6.00%	5.82%	5.64%
	30%	6.81%	6.71%	6.60%	6.50%	6.40%	6.31%	6.21%	6.11%	6.02%	5.93%	5.75%	5.57%
	40%	6.73%	6.62%	6.52%	6.42%	6.32%	6.23%	6.13%	6.04%	5.95%	5.85%	5.68%	5.50%
60%	6.56%	6.46%	6.36%	6.27%	6.17%	6.07%	5.98%	5.89%	5.80%	5.71%	5.54%	5.37%	
80%	6.40%	6.30%	6.21%	6.11%	6.02%	5.93%	5.83%	5.74%	5.66%	5.57%	5.40%	5.23%	

资料来源: WIND, 太阳能公司公告, 北极星电力网, iFinD, 国海证券研究所

注: ①本表采用 2023 年型钢均价 4219.30 元/吨、多晶硅致密料价格均价 12.12 万元/吨, 并以此作为测算基础 (即 0% 所代表的价格)。②2023 年铜/铝/白银/纯碱均价 6.83/1.87/555.6/0.27 万元/吨, 并假设价格不变。

截至 2024 年 3 月 1 日, 多晶硅致密料价格降至 68 元/kg, 较 2023 年均价下降 43.9%, 型钢价格 4134 元/吨, 下降 1.8%, 对应的 IRR 区间为【6.96%, 7.16%】, 具有良好的项目收益率。

²⁵ 相对 2023 年均价的涨幅幅度, 全文同。

图 40: 铜/铝价格-全投资 IRR 敏感性分析 (集中式)

全投资 IRR		铜价格变化											
		-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	40%	60%	80%
铝价格变化	-50%	7.52%	7.38%	7.23%	7.10%	6.96%	6.83%	6.70%	6.57%	6.44%	6.32%	6.08%	5.85%
	-40%	7.46%	7.31%	7.17%	7.03%	6.90%	6.77%	6.64%	6.51%	6.39%	6.26%	6.03%	5.80%
	-30%	7.39%	7.25%	7.11%	6.98%	6.84%	6.71%	6.58%	6.46%	6.33%	6.21%	5.98%	5.75%
	-20%	7.33%	7.19%	7.05%	6.92%	6.78%	6.65%	6.53%	6.40%	6.28%	6.16%	5.92%	5.70%
	-10%	7.27%	7.13%	6.99%	6.86%	6.73%	6.60%	6.47%	6.35%	6.23%	6.11%	5.87%	5.65%
	0%	7.20%	7.07%	6.93%	6.80%	6.67%	6.54%	6.42%	6.29%	6.17%	6.05%	5.82%	5.60%
	10%	7.14%	7.01%	6.87%	6.74%	6.61%	6.49%	6.36%	6.24%	6.12%	6.00%	5.77%	5.55%
	20%	7.08%	6.95%	6.81%	6.68%	6.56%	6.43%	6.31%	6.19%	6.07%	5.95%	5.72%	5.51%
	30%	7.02%	6.89%	6.76%	6.63%	6.50%	6.38%	6.25%	6.13%	6.02%	5.90%	5.68%	5.46%
	40%	6.96%	6.83%	6.70%	6.57%	6.44%	6.32%	6.20%	6.08%	5.96%	5.85%	5.63%	5.41%
60%	6.84%	6.71%	6.59%	6.46%	6.34%	6.21%	6.10%	5.98%	5.86%	5.75%	5.53%	5.32%	
80%	6.73%	6.60%	6.47%	6.35%	6.23%	6.11%	5.99%	5.88%	5.76%	5.65%	5.44%	5.23%	

资料来源: WIND, 太阳能公司公告, 北极星电力网, iFinD, 国海证券研究所

注: ①本表采用 2023 年铜均价 6.83 万元/吨、铝均价 1.87 万元/吨, 并以此作为测算基础 (即 0% 所代表的价格)。②2023 年型多晶硅致密料/钢/白银/纯碱均价 12.12/0.42/555.6/0.27 万元/吨, 并假设价格不变。

同样地, 我们以 6% 的收益率作为判断项目投资可行性的临界点, 当项目条件设定、其他原材料价格不变时, 当整体铜/铝价格相对 2023 年均价涨价 44.3%/100.3% 以上时 (对应价格为铜/铝 9.9/3.7 万元/吨), 当价格突破此临界值时, 运营商对集中式大型光伏项目的投资热情削减。

对于工商业分布式电站, 同样以 6% 的收益率作为临界点, 其他条件假设与前述一致, 铝投资性临界值约在铝价格上涨 31.9% (对应价格为铝 2.5 万元/吨) 时达到, 当价格突破此临界值时, 工商业分布式光伏项目的投资效益较差。从图 41 也可以看出, 分布式电站对于铝的价格波动较集中式更为敏感。

图 41: 铜/铝价格-全投资 IRR 敏感性分析 (分布式)

全投资 IRR		铜价格变化											
		-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	40%	60%	80%
铝价格变化	-50%	8.25%	8.09%	7.94%	7.78%	7.63%	7.49%	7.34%	7.20%	7.06%	6.93%	6.66%	6.41%
	-40%	8.03%	7.88%	7.72%	7.58%	7.43%	7.29%	7.15%	7.01%	6.87%	6.74%	6.48%	6.24%
	-30%	7.82%	7.67%	7.52%	7.37%	7.23%	7.09%	6.96%	6.82%	6.69%	6.56%	6.31%	6.07%
	-20%	7.61%	7.46%	7.32%	7.18%	7.04%	6.90%	6.77%	6.64%	6.51%	6.39%	6.14%	5.91%
	-10%	7.41%	7.26%	7.12%	6.99%	6.85%	6.72%	6.59%	6.46%	6.34%	6.22%	5.98%	5.75%
	0%	7.21%	7.07%	6.93%	6.80%	6.67%	6.54%	6.42%	6.29%	6.17%	6.05%	5.82%	5.60%
	10%	7.02%	6.88%	6.75%	6.62%	6.49%	6.37%	6.24%	6.12%	6.01%	5.89%	5.66%	5.44%
	20%	6.83%	6.70%	6.57%	6.44%	6.32%	6.20%	6.08%	5.96%	5.84%	5.73%	5.51%	5.30%
	30%	6.65%	6.52%	6.39%	6.27%	6.15%	6.03%	5.92%	5.80%	5.69%	5.58%	5.36%	5.15%
	40%	6.47%	6.35%	6.22%	6.10%	5.99%	5.87%	5.76%	5.64%	5.53%	5.43%	5.22%	5.01%
60%	6.13%	6.01%	5.90%	5.78%	5.67%	5.56%	5.45%	5.34%	5.24%	5.14%	4.94%	4.74%	
80%	5.81%	5.69%	5.58%	5.47%	5.37%	5.26%	5.16%	5.06%	4.96%	4.86%	4.67%	4.48%	

资料来源: WIND, 太阳能公司公告, 北极星电力网, iFinD, 国海证券研究所

注: ①本表采用 2023 年铜均价 6.83 万元/吨、铝均价 1.87 万元/吨, 并以此作为测算基础 (即 0% 所代表的价格)。②2023 年型多晶硅致密料/钢/白银/纯碱均价 12.12/0.42/555.6/0.27 万元/吨, 并假设价格不变。

截至 2024 年 3 月 1 日, 铜价为 6.88 万元/吨 (较 2023 年均价+0.7%), 铝价 1.90 万元/吨 (较 2023 年均价+1.3%), 对集中式模型中的 IRR 区间为【6.36%, 6.54%】, 对分布式模型中的 IRR 区间为【6.24%, 6.54%】, 均具有良好的项目收益率。

综上，随着大宗商品价格（主要是工业硅）的回落，目前光伏项目建设经济性已较为突出（IRR 7.00%²⁶）。其次，光伏项目对铜价向上波动的容忍度最低，对纯碱价格波动的容忍度最高。多晶硅、钢、铜、铝作为光伏及 BOS 系统中用量且成本占比较高的原材料，其价格波动对光伏装机存有一定的影响。本文通过构建光储一体化项目模型，在建设装机容量 100MW、平均有效利用小时数为 1300 小时的光伏场时，若上网电价为 0.3742 元/kWh（并考虑调峰费用），大宗商品的价格波动会在一定程度上影响光伏项目的投资收益，影响下游运营商的装机热情。

2.2、新能源电价市场化的影响：大宗价格波动影响度加强

我们在《华光如梦：大宗商品潜力几何（上篇）》（2024/01/19）提到未来新能源电力的发展趋势之一是电价市场化。各省市为进一步发挥电价信号作用、引导工商业用户错峰用电，更好保障电力系统安全稳定经济运行，采用新能源现货电力市场分时交易，改变了以往的商业模式。目前各省市现货电力交易规则不同、部分省市光伏出力大都处于谷段时期，短期内项目收益不确定性增加成为运营商建设光伏项目的新阻力来源。

图 42：部分省市出台新能源电价交易新规

省份	煤电基准价	发布时间&政策名称	2024年新能源电价政策	部分交易降幅 (元/度)
甘肃	0.3078	2023.10.27 《甘肃省2024年省内电力中长期年度交易组织方案》	全部参与交易，峰段（7-9点、18-24点）交易电价不高于0.4617元/度；平段（0-1点、5-7点）交易电价不高于0.3078元/度；谷段（9-17点）交易电价不高于0.1539元/度。	> 0.154
云南	0.3358	2023.12.14 《关于进一步完善新能源上网电价政策有关事项的通知》	2024年1月1日-6月30日并网的光伏项目35%的电量、7月1日-12月31日45%的电量参与交易。2023年1-12月清洁能源平均交易价约0.2167元/度。	0.1191 (注：以2023年均价为例)
河南	0.3779	2023.12.30 《关于印发河南省优化工业电价若干措施的通知》	自2024年1月起，除扶贫光伏外，风、光电量按不高于燃煤基准价参与交易。	-
广西	0.4207	2024.01.07 《关于明确新能源发电企业政府授权合约价格有关事宜的通知》	500小时以内按0.38元/度结算，其余参与交易。	> 0.041
湖南	0.4500	2023.12.29 《2024湖南省电力市场中长期交易方案》	集中式光伏电站（不含扶贫项目）均不安排优先发电计划，全部通过市场交易获得电量，参与绿色电力交易的市场主体申报绝对价格，包括电能量价格和绿色电力环境价值。	-
四川	0.4012(煤电) 0.2782 (水电标杆电价)	2023.12.29 《四川省2024年省内电力市场交易总体方案》	省内绿电交易首年开启。平价风电、光伏发电企业优先电量以外的部分，可参加绿电交易，绿电交易后剩余电量可参与风电、光伏市场电量交易。绿电交易价格上下限根据各水期水电上下限按30%、40%、60%打捆比例与非水电量价格加权后确定。	-
宁夏	0.2595	2023.12.07 《关于做好2024年电力中长期交易有关事项的通知》	新能源价格浮动比例提升至30%，即用户与新能源平段交易申报价格不超过基准电价，峰段交易申报价格不低于平段价格的130%，谷段交易申报价格不超过平段价格的70%。（谷段7-19点）	-
陕西	0.3545	2023.12.07 《陕西省2024年电力中长期市场化交易实施方案》	常规新能源发电企业在省内中长期交易中申报的交易价格不超过陕西电网燃煤基准价。	-
山东	0.3949	2023.11.09 《支持新型储能健康有序发展若干政策措施》	以“2030年新能源全面参与电力市场交易”为目标，逐步扩大新能源参与电力市场交易比例。售电公司零售套餐在高峰、低谷时段峰谷浮动系数约束比例由最低50%调整为最低60%，扩大终端用户峰谷价差。（春、秋、冬谷段为10-15点，夏季谷段0-6点）	0.0395 (注：谷段降幅)

资料来源：各地方发改委，国联资源网，全国能源信息平台百度号，昆明电力交易中心，中国电力网，广西工业和信息化局，红网，北极星电力网，国网山东电力，国海证券研究所

截至 2024 年 1 月，部分省市更新新能源电价政策，光伏上网电价相对于煤电基准价，预期最少下降 0.0395 元/度，最高下降超过 0.154 元/度。为此，我们改变模型中电价参数，模拟在光伏电价市场化的背景下大宗商品价格波动的影响度

²⁶ 多晶硅/钢/铜/铝/白银/纯碱商品价格均变动下的全投资 IRR（截至 2024 年 3 月 1 日多晶硅/钢/铜/铝/白银/纯碱相对 2023 年均价的涨跌幅：-43.9%/-1.8%/+0.7%/+1.3%/+6.2%/+1.3%）

变化。参照各省的交易新规，我们假定光伏项目有 35% 的电量参与市场化交易，并且参与交易的电量折价 20%，得到 0.3201 元/kWh 的含税加权电价。根据新的加权电价，我们重新计算了价格-全投资 IRR 敏感性分析表。（见图 43-46）

图 43: 多晶硅/钢价格-全投资 IRR 敏感性分析（参与市场化交易）

全投资 IRR		多晶硅价格变化											
		-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%
钢价格 变化	-50%	6.58%	6.47%	6.36%	6.26%	6.15%	6.05%	5.95%	5.85%	5.75%	5.66%	5.56%	5.47%
	-40%	6.49%	6.38%	6.28%	6.17%	6.07%	5.97%	5.87%	5.77%	5.68%	5.58%	5.49%	5.40%
	-30%	6.40%	6.30%	6.19%	6.09%	5.99%	5.89%	5.79%	5.69%	5.60%	5.51%	5.41%	5.32%
	-20%	6.32%	6.21%	6.11%	6.01%	5.91%	5.81%	5.71%	5.62%	5.52%	5.43%	5.34%	5.25%
	-10%	6.23%	6.13%	6.03%	5.93%	5.83%	5.73%	5.64%	5.54%	5.45%	5.36%	5.27%	5.18%
	0%	6.15%	6.05%	5.95%	5.85%	5.75%	5.65%	5.56%	5.47%	5.37%	5.28%	5.19%	5.11%
	10%	6.07%	5.97%	5.87%	5.77%	5.67%	5.58%	5.48%	5.39%	5.30%	5.21%	5.12%	5.04%
	20%	5.98%	5.89%	5.79%	5.69%	5.60%	5.50%	5.41%	5.32%	5.23%	5.14%	5.05%	4.97%
	30%	5.90%	5.81%	5.71%	5.61%	5.52%	5.43%	5.34%	5.25%	5.16%	5.07%	4.98%	4.90%
	40%	5.82%	5.73%	5.63%	5.54%	5.44%	5.35%	5.26%	5.17%	5.09%	5.00%	4.92%	4.83%
	50%	5.75%	5.65%	5.56%	5.46%	5.37%	5.28%	5.19%	5.10%	5.02%	4.93%	4.85%	4.77%
60%	5.67%	5.57%	5.48%	5.39%	5.30%	5.21%	5.12%	5.03%	4.95%	4.86%	4.78%	4.70%	

资料来源：WIND，太阳能公司公告，北极星电力网，iFinD，国海证券研究所

注：①本表采用 2023 年型钢均价 4219.30 元/吨、多晶硅致密料价格均价 12.12 万元/吨，并以此作为测算基础（即 0% 所代表的价格）。②2023 年铜/铝/白银/纯碱均价 6.83/1.87/555.6/0.27 万元/吨，并假设价格不变。

从图 43 可以看到，参与电价市场化后项目收益显而易见地减弱。在初始价格参数下（2023 年均价），项目 IRR 为 5.65%。截至 2024 年 3 月 1 日时点，光伏项目建设仍有经济性（IRR 6.09%）。

图 44: 铜/铝价格-全投资 IRR 敏感性分析（集中式，参与市场化交易）

全投资 IRR		铜价格变化											
		-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%
铝价格 变化	-50%	6.58%	6.44%	6.31%	6.18%	6.05%	5.92%	5.80%	5.68%	5.56%	5.45%	5.33%	5.22%
	-40%	6.52%	6.38%	6.25%	6.12%	5.87%	5.87%	5.75%	5.63%	5.51%	5.39%	5.28%	5.17%
	-30%	6.46%	6.32%	6.19%	6.07%	5.94%	5.82%	5.69%	5.58%	5.41%	5.34%	5.23%	5.12%
	-20%	6.40%	6.27%	6.14%	6.01%	5.88%	5.76%	5.64%	5.52%	5.41%	5.29%	5.18%	5.07%
	-10%	6.34%	6.21%	6.08%	5.95%	5.83%	5.71%	5.59%	5.47%	5.36%	5.24%	5.13%	5.03%
	0%	6.28%	6.15%	6.02%	5.90%	5.78%	5.66%	5.54%	5.42%	5.31%	5.20%	5.09%	4.98%
	10%	6.22%	6.10%	5.97%	5.84%	5.72%	5.60%	5.49%	5.37%	5.26%	5.15%	5.04%	4.93%
	20%	6.17%	6.04%	5.91%	5.79%	5.67%	5.55%	5.43%	5.32%	5.21%	5.10%	4.99%	4.88%
	30%	6.11%	5.98%	5.86%	5.74%	5.62%	5.50%	5.38%	5.27%	5.16%	5.05%	4.94%	4.84%
	40%	6.05%	5.93%	5.80%	5.68%	5.56%	5.45%	5.33%	5.22%	5.11%	5.00%	4.90%	4.79%
	50%	6.00%	5.87%	5.75%	5.63%	5.51%	5.40%	5.28%	5.17%	5.06%	4.96%	4.85%	4.75%
60%	5.94%	5.82%	5.70%	5.58%	5.46%	5.35%	5.23%	5.12%	5.02%	4.91%	4.80%	4.70%	

资料来源：WIND，太阳能公司公告，北极星电力网，iFinD，国海证券研究所（注：①本表采用 2023 年铜均价 6.83 万元/吨、铝均价 1.87 万元/吨，并以此作为测算基础（即 0% 所代表的价格）。②2023 年型多晶硅致密料/铜/白银/纯碱均价 12.12/0.42/555.6/0.27 万元/吨，并假设价格不变。）

若依照原先的标准，以 6% 的收益率作为判断项目投资可行性的临界点，在控制其他变量不变的情况下，集中式电站中多晶硅、钢、铜、铝的投资性临界值分别为 77.8 元/kg（-35.9%）、2344.3 元/吨（-44.4%）、4.9 万元/吨（-28.6%）、0.66 万元/吨（-64.8%）。分布式中铝的投资性临界值则是 1.5 万元/吨（-20.6%）。6% 的内部收益率下，本模型下除多晶硅以外的品种投资临界值均跌出成本线。

我们放宽标准，以 5.5% 的收益率作为判断项目投资可行性的临界点，在控制其他变量不变的情况下，集中式电站中多晶硅、钢、铜、铝的投资性临界值分别为

140.4 元/kg (+15.8%)、5044.3 元/吨 (+19.6%)、7.7 万元/吨 (+12.6%)、2.4 万元/吨 (+28.5%)。分布式中铝的投资性临界值则是 2.0 万元/吨 (+9.1%)。

图 45: 铜/铝价格-全投资 IRR 敏感性分析 (分布式, 参与市场化交易)

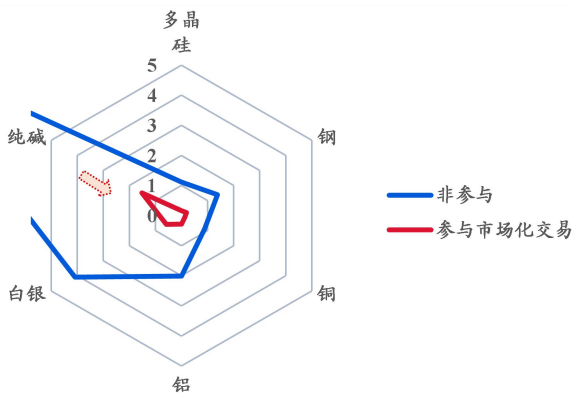
全投资 IRR		铜价格变化											
		-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%
铝价格变化	-50%	7.26%	7.11%	6.96%	6.81%	6.67%	6.53%	6.40%	6.27%	6.14%	6.01%	5.88%	5.76%
	-40%	7.05%	6.90%	6.76%	6.62%	6.48%	6.35%	6.21%	6.09%	5.96%	5.83%	5.71%	5.59%
	-30%	6.85%	6.70%	6.56%	6.43%	6.29%	6.16%	6.04%	5.91%	5.79%	5.67%	5.55%	5.43%
	-20%	6.65%	6.51%	6.38%	6.24%	6.11%	5.99%	5.86%	5.74%	5.62%	5.50%	5.39%	5.27%
	-10%	6.46%	6.32%	6.19%	6.06%	5.94%	5.81%	5.69%	5.57%	5.46%	5.34%	5.23%	5.12%
	0%	6.27%	6.14%	6.01%	5.89%	5.77%	5.65%	5.53%	5.41%	5.30%	5.19%	5.08%	4.97%
	10%	6.09%	5.97%	5.84%	5.72%	5.60%	5.48%	5.37%	5.25%	5.14%	5.03%	4.93%	4.82%
	20%	5.92%	5.79%	5.67%	5.55%	5.44%	5.32%	5.21%	5.10%	4.99%	4.88%	4.78%	4.68%
	30%	5.75%	5.63%	5.51%	5.39%	5.28%	5.17%	5.06%	4.95%	4.84%	4.74%	4.64%	4.54%
	40%	5.58%	5.46%	5.35%	5.23%	5.12%	5.02%	4.91%	4.80%	4.70%	4.60%	4.50%	4.40%
	50%	5.42%	5.30%	5.19%	5.08%	4.97%	4.87%	4.76%	4.66%	4.56%	4.46%	4.36%	4.27%
60%	5.26%	5.15%	5.04%	4.93%	4.83%	4.72%	4.62%	4.52%	4.42%	4.33%	4.23%	4.14%	

资料来源: WIND, 太阳能公司公告, 北极星电力网, iFinD, 国海证券研究所

注: ①本表采用 2023 年铜均价 6.83 万元/吨、铝均价 1.87 万元/吨, 并以此作为测算基础 (即 0% 所代表的价格)。②2023 年型多晶硅致密料/铜/白银/纯碱均价 12.12/0.42/555.6/0.27 万元/吨, 并假设价格不变。

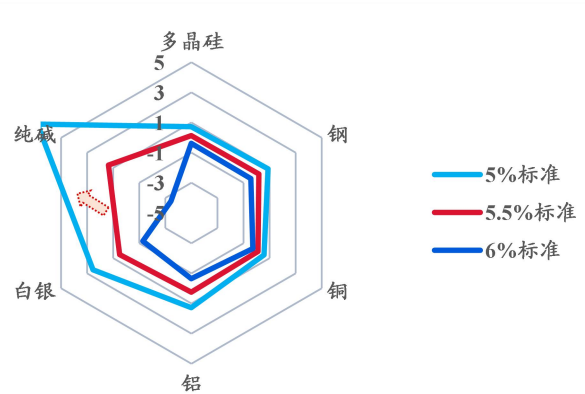
总的来看, 当新能源电价参与市场化时, 大宗商品对光伏项目的影 响是进一步 强化。随着新能源电价逐步参与市场化, 光伏项目的投资收益会受到多方面的压力, 例如投资回报受限、市场竞争加剧、政策调控不确定性, 此时对于光伏项目来说成本压力倍增。投资者需要更加关注市场价格波动对项目经营的潜在影响, 并采取有效的风险管理措施。

图 46: 参与市场化交易的情况下光伏项目对大宗商品价格波动容忍度降低



资料来源: WIND, 太阳能公司公告, 北极星电力网, iFinD, 国海证券研究所 (注: IRR 标准为 5.5%, 指标为价格投资临界变动百分比, 数值越高代表容忍度越高)

图 47: 参与市场化交易的情况下, 不同 IRR 标准下的光伏项目对大宗商品价格波动边界



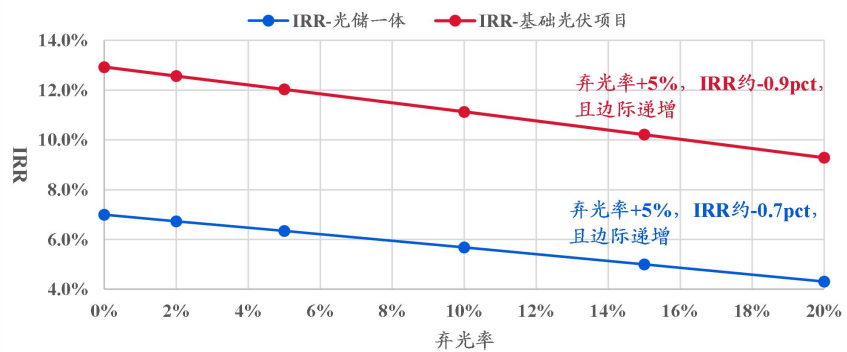
资料来源: WIND, 太阳能公司公告, 北极星电力网, iFinD, 国海证券研究所 (注: 指标为价格投资临界变动百分比)

3、总结：大宗商品与光伏不可须臾离

光伏行业作为新能源产业的代表之一，在近年来的快速发展中已经成为大宗商品市场的重要参与者，其对各类大宗商品的影响程度也逐渐显现出来。我们通过量化的方法来评估光伏行业对大宗商品需求的影响力。

2023年我国光伏新增装机创下历史新高，对各品种的需求也出现近翻倍需求增量，大幅度提高各品种占其总需求的比例。产业链各环节扩产意愿较为强烈，在组件产能大规模释放、技术效益提升的情况下，我们预计中国光伏新增装机将维持高位运行。但对于中国而言，光伏产业的发展绕不开消纳问题、用地受限、收益模式变化的“困扰”，因此2024-2026年的新增装机的增速相对2023年将大幅度放缓，由此带动对应工业品的需求增量同样放缓。

图 48：弃光率对光伏项目收益的影响



资料来源：WIND，太阳能公司公告，北极星电力网，iFinD，破茧光伏官网，国海证券研究所（注：基于本文的研究模型测算，7.0%的IRR对应2024年3月1日的大宗价格、0%弃光率得到的结果。）

中国工业硅、纯碱行业处于相对产能过剩的状态，随着大规模产能投放，光伏需求拉动相对有限。对于铜、白银全球供给相对受限的品种，光伏行业对其总需求的影响“话语权”将有所提高。

图 49：2022-2026 年光伏新增装机对工业品需求量汇总表

品种	项目	全球光伏新增装机拉动对应工业品需求量(万吨)			2023-2026 CAGR	中国光伏新增装机拉动对应工业品需求量(万吨)			2023-2026 CAGR	来自新增光伏需求占对应工业品总需求(以2022年为基)的比重			
		2022年	2023年	2026年		2022年	2023年	2026年		范围	2022年	2023年	2026年
工业硅	需求量	69	119	156	9.5%	26	62	66	2.4%	中国	18%	34%	42%
	增幅	24%	73%	31%		40%	138%	7%					
钢	需求量	586	1118	1713	15.3%	181	602	702	5.3%	中国(型钢)	2%	8%	9%
	增幅	37%	91%	53%		41%	232%	17%					
铜	需求量	112	201	281	11.9%	42	104	119	4.6%	全球	4%	8%	11%
	增幅	39%	79%	40%		57%	146%	15%					
铝	需求量	372	648	915	12.2%	153	328	395	6.4%	中国	5%	10%	12%
	增幅	43%	74%	41%		67%	114%	21%					
白银(电池片)	需求量	3449	5368	6272	5.3%	1300	2780	2656	-1.5%	全球	9%	14%	16%
	增幅	42%	56%	17%		60%	114%	-4%					
纯碱	需求量	235	428	589	11.2%	211	385	530	11.2%	中国	7%	12%	17%
	增幅	-	82%	38%		-	82%	38%					

资料来源：CPIA，iFinD，证券市场周刊，国海证券研究所（注：1. 2026年需求量增幅以2023年值为基期；2. 工业硅来自新增光伏需求占对应工业品需求占比以2023年为基。）

大宗商品价格的波动对下游行业的影响广泛而深远，涉及到下游的成本、市场需求、供应链稳定性、竞争环境等。2023年，对于光伏行业来说最明显的变化莫过于硅料的价格的下跌，由此带来的组件价格下降，光伏项目的投资收益增加。

大宗商品对光伏项目**最直接的影响在于建设成本的变化**，项目建设过程中需要大量的原材料，材料的波动可能导致项目资金投入增加，从而影响项目的可行性和吸引力。**其次是影响项目的建设周期和进度**，在波动较大的情况下可能会导致建设过程中出现供应受阻，延迟建设周期，增加项目的不确定性。另一方面，**大宗商品（例如能源）的波动会间接影响光伏项目的盈利能力和商业模式**，项目发电收益与煤电基准价和市场交易电价息息相关，对光伏项目的可持续发展性存在较大的影响。

我们通过构建光储一体化项目的模型测算大宗价格波动对光伏装机 LCOE 和 IRR 的敏感性分析，**结论是光伏项目对铜价波动的容忍度最低，对纯碱价格波动的容忍度最高**（影响力排序：铜 > 多晶硅 > 钢 > 铝 > 白银 > 纯碱）。此外，大宗对集中式光伏电站的成本传导将主要通过多晶硅、钢材和铜进行；而对分布式光伏电站的成本传导将主要通过多晶硅、铜、铝进行。

新能源电价市场化，对于绿电行业来讲是全新的机遇和挑战。传统的固定补贴或电价机制使得光伏项目在在一定程度上享受到了稳定的收益。**随着电价市场化的推进，绿电项目需要在市场竞争中自行获取收益**。这需要整个光伏产业链的共同努力，企业需要具备更高的技术、更低的成本、更好的管理能力。

电价市场化下光伏项目的投资收益会受到多方面的压力，例如投资回报受限、市场竞争加剧、政策调控不确定性，光伏项目成本压力倍增。**在此背景下，大宗价格向上波动的影响度加强，光伏投资相关方需要更加重视大宗商品行情变化**。此外，电价市场化也将为绿电行业带来其他的机遇，通过市场竞争，筛选优质绿电项目，引导绿电产业高质量发展，推动绿电行业的技术创新和产业升级。

4、风险提示

- 1) **宏观经济增速放缓**。经济运行存在不确定性，经济增速放缓，终端需求下滑，导致光伏新增装机受到一定程度的影响。
- 2) **光伏新增装机并网不及预期**。存在某些不可抗力因素使得光伏行业供应链物流受阻、行业开工不足，导致光伏新增装机受到影响。以及电网建设不及预期，影响新增光伏装机并网的能力的风险。
- 3) **政策推进不及预期**。光伏产业的发展受国家政策、行业发展政策的影响，相关政策的调整将会对光伏装机进程造成影响。
- 4) **大宗商品价格剧烈波动**。光伏装机所需要的原材料价格会受到市场供求关系、地缘政治、市场投机行为等因素的影响而大幅波动，进而影响下游行业及光伏装机成本。

5) 测算偏差风险。本文的部分测算是基于一定的假设，测算结果与实际结果存在误差项。

6) 国内国际市场不可完全对比。本文主要结论是针对国内光伏行业，并不完全适用于海外国际市场。

7) 研究方法的局限性。已通过敏感性测算的方式在一定程度上削弱各参数或各假设与现实存在偏差所带来的影响。

5、附录

5.1、附录 1：测算详表

光伏用铝测算表具体细节见图 50

图 50：光伏支架细节测算表

	单位	2021	2022	2023	2024	2025	2026		
全球光伏新增装机量	GW	165	232	419	475	554	614		
分布式	GW	79	115	195	217	248	271		
集中式	GW	86	117	224	258	306	343		
中国光伏新增装机量	GW	55	87	217	230	245	260		
分布式	GW	29	51	97	106	118	120		
集中式	GW	26	36	120	124	127	140		
容配比	-	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25		
电池部分									
PERC电池占比		97%	91%	74%	40%	25%	18%		
单面PERC占比	%	61%	54%	24%	12%	7%	5%		
双面PERC占比	%	36%	37%	49%	28%	18%	13%		
单面组件耗铝									
M6	mg/片	800	790	780	770	760	750		
M10	mg/片	962	950	938	926	914	902		
G12	mg/片	1280	1264	1248	1232	1216	1200		
双面组件耗铝									
M6	mg/片	200	200	200	200	200	200		
M10	mg/片	240	240	240	240	240	240		
G12	mg/片	320	320	320	320	320	320		
电池总计耗铝	全球	万吨	1.82	2.29	2.36	1.37	0.96	0.74	
	中国	万吨	0.61	0.86	1.22	0.66	0.42	0.31	
边框									
每平方米对应组件功率	W	212	212	212	212	212	212		
每平方米铝边框耗铝	kg	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2		
组件面积	全球	百万平米	971	1367	2470	2801	3266	3620	
	中国	百万平米	324	515	1279	1356	1444	1533	
铝边框对铝需求	全球	万吨	116	164	296	336	392	434	
	中国	万吨	39	62	153	163	173	184	
支架									
每平方米支架耗铝	kg	2.84	2.83	2.81	2.80	2.78	2.77		
铝支架对铝需求	全球	万吨	132.3	191.3	323.8	357.5	407.4	443.1	
	中国	万吨	49.0	85.2	160.0	174.5	193.0	195.3	
逆变器									
每GW耗铝	万吨	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048		
逆变器耗铝	全球	万吨	9.9	13.9	25.1	28.5	33.2	36.8	
	中国	万吨	3.3	5.2	13.0	13.8	14.7	15.6	
总计									
光伏耗铝量	全球	万吨	260	372	648	723	834	915	
		YOY	%	-	43%	74%	12%	15%	10%
	中国	万吨	92	153	328	352	381	395	
		YOY	%	-	67%	114%	7%	8%	4%
各部件用铝量占比(中国)	电池	%	0.7%	0.6%	0.4%	0.2%	0.1%	0.1%	
	边框	%	42.3%	40.4%	46.8%	46.3%	45.4%	46.5%	
	支架	%	53.4%	55.6%	48.8%	49.6%	50.6%	49.4%	
	逆变器	%	3.6%	3.4%	4.0%	3.9%	3.9%	3.9%	

资料来源：Solarpower Europe, WIND, CPIA, InfoLink, 《The Aluminium Demand Risk of Terawatt Photovoltaics for Net Zero Emissions by 2050》Alison Lennon 等, 国海证券研究所

光伏用纯碱测算表具体细节见图 51

图 51：光伏用纯碱细节测算表

	单位	2022	2023	2024	2025	2026
全球新增装机量	GW	231.9	418.9	475.0	554.0	614.0
yoy	%	40.9%	80.6%	13.4%	16.6%	10.8%
容配比	%	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
对应组件规模	GW	290	524	594	693	768
单玻组件渗透率	%	59%	33%	29%	28%	29%
双玻组件渗透率	%	41%	67%	71%	72%	71%
2.5mm组件占比	%	1%	0%	0%	0%	0%
2.0mm组件占比	%	98%	98%	93%	90%	87%
1.6mm组件占比	%	1%	2%	7%	10%	13%
单玻组件规模	GW	172	173	172	194	223
双玻组件规模	GW	118	351	422	499	545
2.5mm组件规模	GW	1	0	0	0	0
2.0mm组件规模	GW	115	343	392	450	476
1.6mm组件占比	GW	1	8	30	48	69
光伏玻璃单耗-单玻	3.2mm 万吨/GW	3.84	3.76	3.69	3.62	3.57
	2.5mm 万吨/GW	5.45	5.34	5.24	5.14	5.07
光伏玻璃单耗-双玻	2.0mm 万吨/GW	4.36	4.27	4.20	4.11	4.05
	1.6mm 万吨/GW	3.49	3.42	3.36	3.29	3.24
光伏玻璃总需求	万吨	1175	2141	2380	2711	2946
3.2mm	万吨	660	649	636	701	794
2.5mm	万吨	8	0	0	0	0
2.0mm	万吨	502	1465	1644	1850	1928
1.6mm	万吨	5	27	100	159	224
中国光伏玻璃占全球产量	%	90%	90%	90%	90%	90%
中国光伏玻璃需求量	万吨	1057	1927	2142	2440	2651
每吨光伏玻璃纯碱需求	吨	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
全球光伏玻璃对应纯碱需求	万吨	235	428	476	542	589
中国光伏玻璃对应纯碱需求	万吨	211	385	428	488	530
yoy	%	-	82.2%	11.1%	13.9%	8.7%

资料来源：CPIA，北极星太阳能光伏网，双环科技投资者问答（2022年11月7日），国海证券研究所（具体测算细节详附录）

注：假设 M6(72 片)对应组件尺寸为 2108*1048mm，M10(72 片)对应组件尺寸为 2278*1134mm，G12(66 片)对应组件尺寸为 2384*1303mm。

5.2、附录 2：第三章测算模型假设

1. **光伏项目情况&初始投资成本**：以集中式电站为例，建设“光伏+储能”一体化清洁能源示范项目 100MW。根据 CPIA 在《中国光伏产业发展路线图（2023-2024 年）》中统计的数据，地面光伏系统促使全投资成本为 3.4 元/W，我们参照中节能太阳能股份有限公司（下文简称“中节能太阳能”）公告中光储项目的储能系统费用，按比例推算建设 100MW 光储项目约 450 百万元，设备及安装工程、建筑工程、送出工程均按比例计算得出。由于测算所涉及大宗商品均与组件相关，剩余成本部分作为固定量分析。并假设初始投资额中固定资产占比为 95%。

2. **项目发电量情况**：年发电量=装机容量×年有效利用小时数×(1-累计衰减)，其中装机容量确定为 100MW。年有效利用小时数假设为 1300 小时，项目第一年发电衰减为 2.5%，剩余周期内年衰减率为 0.5%。

3. **融资成本**: 自有资金占比 50%，贷款利率 4%，折现率 5%，还款周期 15 年。

4. **运维成本**: 包括修理费、职工工资及福利费、保险费、材料费、其他费用等，参考中节能太阳能 2023 年公告披露数据。

①折旧费: 项目采用直线折旧法，残值率取 5%，折旧年限取 25 年。

②维修费: 项目按 1-5 年修理费占固定资产原值(扣除建设期利息)比例为 0.1%、6-10 年为 0.2%、11-15 年为 0.3%、16-20 年为 0.4%、其余年度按 0.5% 计算。

③职工工资及福利费、劳保统筹和住房基金: 项目定员按 10 人考虑，人年均工资按 8 万元计算，职工福利费及其他按工资总额的 50% 计算。

④保险费: 按固定资产原值的 0.08% 计算。

⑤材料费和其他费用: 材料费和其他费用分别按 9 元/kW、12 元/kW 计算。

5. **税金**: ①增值税率 13%，即征即退 50%; ②销售税金附加——城建税和教育费附加以增值税税额为基础计征，适用税率分别为 5%、5%; ③所得税率 25%，三免三减半。

6. **毛利率**: 光伏中上游毛利率假设按照行业加权平均计算²⁷，取值 25%; 此外本模型假定原材料价格变化均 100% 传导至下游运营商。

储能调峰: 假设储能调峰费用 0.3 元/kWh，需调节 10% 的电量。

²⁷ 按市值加权

【钢铁&大宗商品组小组介绍】

谢文迪，钢铁行业及大宗商品研究团队首席分析师，6年大宗商品投研经验，3年宏观研究经验。布里斯托大学金融投资学硕士，曾先后就职于鸿凯投资、东北证券、方正证券、民生证券，获2020年Wind金牌分析师第四名。

林晓莹，钢铁及大宗商品行业研究助理，华东师范大学本科，厦门大学硕士。主要负责黑色、有色、能化板块。

【分析师承诺】

谢文迪，本报告中的分析师均具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并注册为证券分析师，以勤勉的职业态度，独立、客观的出具本报告。本报告清晰准确的反映了分析师本人的研究观点。分析师本人不曾因，不因，也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接收取到任何形式的补偿。

【国海证券投资评级标准】

行业投资评级

推荐：行业基本面向好，行业指数领先沪深300指数；
 中性：行业基本面稳定，行业指数跟随沪深300指数；
 回避：行业基本面向淡，行业指数落后沪深300指数。

股票投资评级

买入：相对沪深300指数涨幅20%以上；
 增持：相对沪深300指数涨幅介于10%~20%之间；
 中性：相对沪深300指数涨幅介于-10%~10%之间；
 卖出：相对沪深300指数跌幅10%以上。

【免责声明】

本报告的风险等级定级为R3，仅供符合国海证券股份有限公司（简称“本公司”）投资者适当性管理要求的客户（简称“客户”）使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。客户及/或投资者应当认识到有关本报告的短信提示、电话推荐等只是研究观点的简要沟通，需以本公司的完整报告为准，本公司接受客户的后续问询。

本公司具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格。本报告中的信息均来源于公开资料及合法获得的相关内部外部报告资料，本公司对这些信息的准确性及完整性不作任何保证，不保证其中的信息已做最新变更，也不保证相关的建议不会发生任何变更。本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可能会波动。在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。报告中的内容和意见仅供参考，在任何情况下，本报告中所表达的意见并不构成对所述证券买卖的出价和征价。本公司及其本公司员工对使用本报告及其内容所引发的任何直接或间接损失概不负责。本公司或关联机构可能会持有报告中所提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等服务。本公司在知晓范围内依法合规地履行披露义务。

【风险提示】

市场有风险，投资需谨慎。投资者不应将本报告视为作出投资决策的唯一参考因素，亦不应认为本报告可以取代自己的判断。在决定投资前，如有需要，投资者务必向本公司或其他专业人士咨询并谨慎决策。在任何情况下，

本报告中的信息或所表述的意见均不构成对任何人的投资建议。投资者务必注意，其据此做出的任何投资决策与本公司、本公司员工或者关联机构无关。

若本公司以外的其他机构（以下简称“该机构”）发送本报告，则由该机构独自为此发送行为负责。通过此途径获得本报告的投资者应自行联系该机构以要求获悉更详细信息。本报告不构成本公司向该机构之客户提供的投资建议。

任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。本公司、本公司员工或者关联机构亦不为该机构之客户因使用本报告或报告所载内容引起的任何损失承担任何责任。

【郑重声明】

本报告版权归国海证券所有。未经本公司的明确书面特别授权或协议约定，除法律规定的情况外，任何人不得对本报告的任何内容进行发布、复制、编辑、改编、转载、播放、展示或以其他方式非法使用本报告的部分或者全部内容，否则均构成对本公司版权的侵害，本公司有权依法追究其法律责任。