RAYTRON

MATERIALS / PROCUREMENT / ENGINEERING

铜铝复合光伏焊带
采购选型指南

把材料选对，把每瓦的账算明白

A PRACTICAL GUIDE

给第一次采购的您，
也给需要一起签字的工艺、研发和质量同事。

看懂材料 → 选对规格 → 用对工艺 → 算清每瓦成本
成本案例：镀后 0.26 mm · 同成品吨价 · 含完整焊料

Engineering Every Micron.

V1.2 · 2026-11-11 · 中文版

阅读目录

从材料与规格，到串焊、采购和验收。点击章节可直接跳转。

01｜先看价值：值得评估，但要用对比较尺子 3

02｜它是什么：三层分工，不是三种名字混着叫 3

03｜TOPCon、HJT、BC、SMBB、0BB，先别排成一排 4

04｜选 CCA 还是 HTCCA：别只看“高强”两个字 4

05｜铜含量：先写 wt.% 或 vol.%，再讨论多少合适 5

06｜尺寸与铜层：把成品直径写清楚 6

07｜电阻与功率：组件用直流，不靠“趋肤效应”省铜 6

08｜力学性能：焊带不是越硬越高级 7

09｜焊料、助焊剂和串焊机：必须组成一套能工作的组合 8

10｜同成品吨价，怎么算出每块、每瓦和每 GW 的节省？ 9

11｜关于“650 W 组件约差 3 W”：把案例用在正确的地方 12

12｜从送样到量产：五步走，不靠一块漂亮样板拍板 12

13｜可靠性：不只测“拉得住”，还要测“之后怎么样” 13

14｜来料验收：让批次证明能对上这卷货 13

15｜产线常见问题：先看证据，别先给材料判刑 14

16｜包装、储存与交付：别让好材料输在仓库里 14

17｜标准与市场准入：分清材料、组件和应用三个层级 15

18｜怎样询价、怎样比较供应商 15

19｜采购常见问题 16

20｜把一卷材料，变成一个可批准的方案 17

术语速查 17

参考资料与数据说明 19

把材料选对，把每瓦的账算明白

焊带看起来只是一根细线，采购、工艺、研发、质量却都得在上面签字。采购希望便宜，串焊机希望好用，电池片希望别被拉裂，组件还得把瓦数交出来。

铜铝复合光伏焊带，就是在这些要求之间寻找更合适的材料组合：**让铝承担一部分导电工作，用铜提供可连接的外层，再用匹配工艺的焊料完成连接。** 它的价值不是“看起来像铜”，而是在满足组件要求后，降低实际焊带成本。[1][3]

本指南面向第一次接触这种材料的采购、研发、工艺和质量人员。覆盖互连圆线、扁线和汇流带；重点是晶硅组件内部连接材料，不是组件外部的光伏电缆，也不是现场更换已封装组件内部焊带的维修教程。

阅读路线：先了解材料，读第 1–5 节；准备选规格，读第 6–11 节；准备试产与采购，读第 12–18 节；快速答疑，读第 19 节。

TOPCon 替换先看这一条：使用本指南所述锐创铜铝复合圆焊带替代纯铜焊带时，串焊机原有的局部拍扁工序必须关闭或绕过。 这是锐创依据中国组件客户实际应用反馈提出的工艺要求；具体见第 9 节。[2]

> 好的替代方案，应该让采购单更好看，也让产线和组件成绩单一起过关。

01｜先看价值：值得评估，但要用对比较尺子

锐创铜铝复合焊带已用于累计超过 **50 GW 的组件**，覆盖 BC、TOPCon 等路线。部分中国组件客户项目所替换焊带的采购成本较原纯铜方案**降低超过 50%**。[2]

降幅以原方案中被替换焊带的采购费用为分母。

同吨价也能省。 第 10 节按镀后 0.26 mm、径向焊料 15 μm、CCA50 的完整成品重量计算。同吨价、同净长度时，互连焊带采购成本约下降 **42.44%**。

采购关心什么	有效的比较方式
每吨同价还能省吗	比较含焊料的成品米重；同吨价、同净长度时，少采购的重量就是采购节省
每块组件省多少	用每米成品价格、实际用量、生产损耗和良率核算
会不会掉瓦	做匹配电池片与材料清单的组件对照，比较功率分布
能不能稳定量产	在真实串焊机上看速度、停机、断线、焊接和返工
用得久不久	按适用方案检查热循环、湿热等试验后的电气与连接表现

不必一开始就把所有纯铜焊带全部换掉。更有效的起点是：**选一个规格清楚、用量可观、愿意安排对照试验的组件型号。**

02｜它是什么：三层分工，不是三种名字混着叫

典型结构从内向外是 **铝或指定铝合金芯 → 铜包覆层 → 焊料涂层**。铜和铝都参与轴向导电；最外层负责与电池金属化焊盘、汇流连接等形成适合工艺的连接。[1][3]

名称	具体含义	采购时还要写清
CCA	铜包铝复合基材	铜比例、芯材、交付状态和电性能

名称	具体含义	采购时还要写清
HTCCA	锐创的高强铜包铝合金系列	实际强度、屈服、伸长率与电阻；缩写不等于耐高温等级
铜铝复合光伏焊带	复合基材与焊料层组成的组件互连材料	形状、连接位置、基材及成品尺寸、镀层配方
互连焊带／圆焊线	电池片之间的电连接材料	焊盘、线数、走线、间距与串焊要求
汇流带	电池串与组件汇流回路的连接材料	回路电流、长度、转角和接线盒连接
合金焊带	需要进一步解释的商品或技术名称	是合金芯、焊料合金，还是某种复合结构？

铜包铝不是把铜和铝全部熔成一种均匀合金。裸 CCA 线也不是买回来就能直接上串焊机的成品焊带。

另外，“镀锡”通常是商品习惯叫法，最外层未必是纯锡，也可能是锡铅或其他锡基焊料。**银白色不是化学成分报告。**

03｜TOPCon、HJT、BC、SMBB、0BB，先别排成一排

这些名称不在同一分类层级。TOPCon、HJT 描述电池技术；BC 描述背接触结构；MBB、SMBB、0BB 描述金属化或互连设计。同一项目可能同时具有其中几个特征。[4][5]

项目特征	选型先看什么	对照验证重点
PERC／TOPCon 互连	电池尺寸、焊盘布局、线数、单线截面和镀层	串焊、连接、EL 与功率；本指南的 TOPCon 复合圆焊带替换必须关闭／绕过原拍扁工序
MBB／SMBB	圆线尺寸、定位、张力、焊点一致性	断线、偏移、遮光与电损耗之间的平衡
0BB	实际连接方式、焊料或其他连接体系、固定工艺	细栅接触、定位、连接连续性和材料兼容性
BC	背面正负极布局、跨接路径、绝缘和折弯位置	电极间隔离、贴合、应力和连接可靠性
HJT／SHJ	电池及金属化的热预算、焊料与助焊剂	实际温度曲线、润湿、剥离及老化后稳定性
汇流回路	电流路径、有效截面、长度、连接节点	回路电阻、接点质量与局部温升

0BB 不等于没有互连导体。 没有传统主栅，不表示电流可以凭意念跨过电池片。不同 0BB 工艺也不能共用一套未经验证的焊带配方。[4]

“适用于 HJT”同样不能只凭一个低熔点标签。熔化温度、串焊机设定温度、焊点实际温度和电池片承受的热历史，是不同的量。[4]

04｜选 CCA 还是 HTCCA：别只看“高强”两个字

选材首先看约束：电阻预算有多紧，允许多大截面，放线需要怎样的强度，薄电池片能承受多少装配应力。HTCCA 不是所有项目的自动升级款；更高的抗拉指标与不同的电阻指标，应一起比较。[1]

以下摘录自锐创 **Spec201910 Rev.4，2026-09-15 发布版**。电阻率为 20°C 下**基材上限**，密度为标称参考，不是镀后成品的实测值，也不是所有组合的现货承诺。[1]

基材牌号	基材电阻率上限 Ω·mm²/m	标称密度 g/cm³
TU1 铜基材	0.017241	8.90
CCA30	0.027	3.42
CCA40	0.026	3.74
CCA50	0.025	4.15
CCA60	0.024	4.64
CCA70	0.023	5.27
HTCCA30	0.029	3.42
HTCCA40	0.028	3.74
HTCCA50	0.027	4.15
HTCCA60	0.026	4.64
HTCCA70	0.025	5.27

以这份文件为例，CCA50 与 HTCCA50 的密度参考值相同，电阻率上限不同。**牌号相近，不等于电气表现相同。**

裸材规格、光伏基材规格和镀后成品数据可能采用不同的条件。下单时用一份双方批准的技术协议，不从几张表里各挑一个最好看的数字。

05｜铜含量：先写 wt.% 或 vol.%，再讨论多少合适

质量分数 wt.% 是铜占基材重量的比例；**体积分数 vol.%** 是铜占基材体积的比例。恒定截面下，后者也对应铜截面积占比。两种百分数不能直接比较。

锐创裸材规格的 CCA30、CCA40 等牌号采用铜重量百分比口径。[3] 光伏订单应进一步明确“含铜量针对镀前复合基材”，并写出允许范围、检测方法，以及原表 Cu+Ag 表头的订单解释，不能把锡或焊料重量混入分母。

下面是换算示例，使用铜密度 8.960、铝密度 2.705 g/cm³；不含焊料层，合金芯采用实际密度另算。[3]

铜质量分数	计算铜体积分数
30 wt.%	约 11.46 vol.%
40 wt.%	约 16.75 vol.%
50 wt.%	约 23.19 vol.%
60 wt.%	约 31.17 vol.%
70 wt.%	约 41.33 vol.%

50 wt.% 铜不是 50 vol.% 铜。 两家供应商都报“50%”，可能根本不是同一种结构。

铜比例并非越低越好，也并非越高越值钱。真正要满足的是成品电阻、最薄铜层、弯折与连接质量，以及最后的每瓦成本。

06｜尺寸与铜层：把成品直径写清楚

采购尺寸至少分两层：**镀前基材尺寸**与**镀后成品尺寸**。

成品圆焊带常用标称直径为 **0.22、0.24 和 0.26 mm**。本指南的尺寸、电阻和成本算例统一采用 **0.23 mm 基材、单边 15 µm 焊料层**，即每侧 0.015 mm，理想成品直径为：

> $0.23 + 2 \times 0.015 = 0.26\ \text{mm}$

这里，**0.23 mm 是镀前基材直径，0.26 mm 是镀后成品直径**；两侧镀层合计增加 0.03 mm。计算成品电阻和米重时，分别计入基材与焊料截面积。

第 6、7、10 节采用同一组尺寸，便于直接对照成品规格、每米电阻与采购成本。报价和图纸同时注明基材尺寸与成品尺寸。

规格项	建议写法
圆线	镀前直径及公差；镀后直径及公差；椭圆度要求
扁线／汇流带	镀前厚×宽；成品厚×宽；圆角、毛刺和镰刀弯
铜层	铜体积比或明确的质量比；截面最薄铜层与检测位置
焊料层	成分；单边／径向厚度；局部均匀性和覆盖要求
卷材	连续长度、接头政策、盘具、排线、放线方向

Rev.4 所列基材厚度／直径公差为 ±0.01 mm，扁材宽度公差为 ±0.05 mm，焊料层为单边／径向 15±5 µm，扁线及汇流带镰刀弯为 ≤3 mm/1000 mm。这些是该文件的参考条件；更细规格、高速线或特殊焊盘，可在订单中单独约定更适配的要求。[1]

平均铜比例不能代替最薄铜层。偏心、轧制边角、弯折位置和局部缺陷都需要看真实截面。理想圆线的铜厚公式，只能解释均匀同轴结构：

> $t_{铜} = D_{基材} \div 2 \times [1 - \sqrt{(1 - v_{铜})}]$

扁线与异形截面不直接套这个公式。切断面露出铝芯属于结构本身；线身侧面意外露铝、铜层开裂或分层是另一回事。切断端如何被焊料、封装材料及组件结构保护，要在成品中评价。[1][3]

07｜电阻与功率：组件用直流，不靠“趋肤效应”省铜

在光伏组件的直流工作条件下，铜和铝都参与导电。“电流只走铜皮，所以和纯铜一样”不是正确的解释。

采购最实用的电气指标是：**20°C 下，镀后成品每米电阻是多少？** 电阻率还需要真实截面积才能换算，单看一个 IACS 数字不够。[1]

对于均匀直导体，长度 L 用 m、面积 A 用 mm^2、电阻率 ρ 用 $\Omega \cdot mm^2/m$：

> $R = \rho \times L \div A$

把基材和焊料按有效纵向并联通道计算：

> 每米电阻 r = 1 ÷ [A基材 / ρ基材 + A焊料 / ρ焊料]

> 成品等效电阻率 = r × A成品

因此，增加较低导电率的焊料层，可能让**每米电阻下降**，但让按全部成品面积计算的**等效电阻率上升**。这不是矛盾，是面积口径变了。[1]

Rev.4 中的镀后电阻率范围是模型计算参考，**不是双边验收区间**。实测值低于计算下端点，不应因此被判为不合格；正式验收采用约定的成品电阻要求。[1]

一个不靠宣传词的计算示例

两方案均取 0.23 mm 基材直径、15 μm 径向焊料厚度，成品直径为 0.26 mm；纯铜和 CCA50 基材电阻率分别取 0.017241、0.025。焊料电阻率假设为 0.153 Ω · mm²/m，沿用 Rev.4 的参考计算情景。[1]

计算项	铜基材方案	CCA50 基材方案
基材直径 mm	0.23	0.23
理想成品直径 mm	0.26	0.26
基材截面积 mm²	0.04155	0.04155
成品每米电阻 Ω/m	约 0.402	约 0.576
成品等效电阻率 Ω · mm²/m	约 0.02136	约 0.03056

这说明同尺寸材料的电阻确实可能不同，**但不能把电阻增加百分比直接写成组件功率下降百分比。** 本节与第 10 节成本计算均采用 0.23 mm 基材、0.26 mm 成品直径。

组件里的损耗还取决于电池电流、互连根数、沿线汇集电流的分布、连接电阻和走线长度。不能把整块组件的电流，套到每一根细线的全部长度上，再把结果相加。光学遮挡和反射，也要计入组件对照。[4]

检测时建议约定四端法、有效测量长度、温度修正和取样位置；夹具与样品之间的接触问题，不应被误算成整根材料的性能。优先保存原始电阻、长度、温度和截面记录，而不只保存一个换算后的数字。

08｜力学性能：焊带不是越硬越高级

抗拉强度回答“多难拉断”；屈服强度回答“多大应力开始出现规定的永久变形”；伸长率回答“断裂前能拉长多少”。三个指标不能互相代替。

适当的强度有利于放线与输送，但过高的屈服、回弹或残余应力可能不利于贴合与薄电池片。过软同样可能带来变形和走线问题。要找的是产线与组件共同接受的窗口，而不是某一项的冠军。[4][5]

以下为 Rev.4 中指定形态的示例，**应力按镀后成品金属面积计算**；伸长率与抗拉是下限，Rp0.2 是上限。[1]

基材名义规格	CCA：伸长／抗拉／Rp0.2	HTCCA：伸长／抗拉／Rp0.2
圆线 Ø0.24、0.26、0.28、0.32 mm	≥20%／≥120 MPa／≤80 MPa	≥20%／≥135 MPa／≤95 MPa
圆线 Ø0.35 mm	≥20%／≥125 MPa／≤80 MPa	≥20%／≥135 MPa／≤85 MPa
扁线 0.16、0.18、0.25 × 0.6 mm	≥20%／≥105 MPa／≤80 MPa	≥20%／≥135 MPa／≤95 MPa

基材名义规格	CCA：伸长／抗拉／Rp0.2	HTCCA：伸长／抗拉／Rp0.2
文件所列汇流带规格	≥25%／≥120 MPa／≤120 MPa	≥25%／≥140 MPa／≤120 MPa

不要把一个尺寸的指标扩展成所有产品保证。试验标距、速度、夹持方式及面积口径也应一致。

MPa 不是拉力 N。 同样抗拉强度的两根线，截面不同，拉断力也不同。设置放线张力时，还要留出动态冲击和接续工序的余量。

为什么这条 TOPCon 路线不需要拍扁？

据锐创在中国大量组件客户的实际应用反馈，相比原纯铜焊带，适配该路线的铜铝复合焊带因铝芯而具有更好的柔顺性，在电池片边沿接触处更容易顺应变形，有利于降低局部施力及相应隐裂风险，因此不再需要原来为纯铜设置的局部拍扁动作。[2]

这里的“更软”，说的是**实际使用状态下的弯曲与接触柔顺性**，不是宣称所有 CCA／HTCCA 的抗拉或 Rp0.2 都低于所有退火铜。铜层、芯材、状态和几何要一起看；也不把定性客户反馈写成未经测量的隐裂降低百分比。Fraunhofer ISE 同样将互连过渡区和电池片边沿载荷作为应力优化的重点，但这不是该机构对锐创产品的测试证明。[5]

工艺结论不因此含糊：本指南所述 TOPCon 替换路线，原拍扁工序必须关闭或绕过。[2]

09｜焊料、助焊剂和串焊机：必须组成一套能工作的组合

不要只问“能不能焊”。应问：**用我的电池片、我的设备和速度，在多宽的工艺窗口里稳定焊好？**

TOPCon 必做项：关闭或绕过原纯铜焊带拍扁工序

使用本指南所述锐创铜铝复合圆焊带替换纯铜焊带时，串焊机原有的局部拍扁工序必须关闭或绕过，不能照搬纯铜配方继续拍扁。 这是锐创基于中国大量组件客户应用反馈的要求，不是“有条件可以试试”的可选建议。[2]

原纯铜工艺通过局部拍扁，减小跨越电池边沿时的厚度和局部施力，降低边沿隐裂风险。相关公开专利也将片间区域应力和边缘隐裂作为这一工艺要解决的问题。[17] 适配本路线的锐创复合焊带依靠更好的柔顺性，不再需要该动作；继续沿用它反而可能损伤铜包覆层。InfoLink 在 2025 年 5 月的研究中曾指出，细径 TOPCon SMBB 复合焊带的串焊压扁可能造成露铝。[16]

上机前后	必须落实的动作
配方切换	为复合焊带建立对应配方，关闭／绕过片间局部拍扁；不把“减小拍扁量”当作已经关闭
动作确认	由设备／工艺人员确认材料经过该位置时不再被拍扁；保留配方版本与实际动作记录
首件与小批	在关闭拍扁的正确路线下，复核走线、张力、边沿过渡、焊点、EL 与功率；再进入常规批量放行

这里关闭的是**串焊机针对原纯铜圆焊带的局部拍扁动作**，不是取消正常的焊接压具、定位、层压，也不是禁止供应商按受控工艺制造复合扁焊带。设备无法关闭或旁路时，先由设备方解决该动作，再按本路线试产。

2025 年文献记录的是当时细线叠加拍扁的工艺障碍；不能把它继续解释为所有 TOPCon 复合焊带都无法量产。锐创这里提供的是后续实际应用中的工艺要求。[2][16]

> 材料已经换了，配方也要跟着换。别让铜的老动作，替铝芯做主。

Rev.4 列有 Sn60Pb40、Sn50Pb50、Sn43Pb43Bi14、Sn32Pb43Bi25，并注明名义纯锡可按需提供。它们不是同一配方，也不是对所有电池技术的推荐清单。[1]

项目	采购与试样时的动作
焊料成分	写完整牌号与允许范围；需要无铅时明确要求及证明
镀层厚度	同时看平均与局部覆盖，结合焊点体积和尺寸控制
助焊剂	确认润湿能力、残留、与封装材料和电池金属化的兼容性
温度曲线	测实际焊接位置的温度、时间和冷却，不只抄设备设定值
压力与定位	记录压具、张力、焊盘对中与前后面的位置关系
产线速度	在目标节拍下验证，不只看低速手工样片

细焊盘、薄金属化和更细导线，会让定位、热量和焊料体积的窗口更敏感。[4] 试产排查时，先锁定基准，再有计划地改变参数；不要一边换材料、一边换电池批次、一边换助焊剂，最后只问焊带为什么变了。

低温不等于无铅，含铋不等于无铅，镀锡也不等于纯锡。 焊料配方必须看成分，不看名称联想。

10｜同成品吨价，怎么算出每块、每瓦和每 GW 的节省?

锐创的成品报价经验显示，两种焊带按重量计价时单价往往接近。铜铝复合焊带的焊料质量占比更高，镀锡效率和加工条件也影响成品报价。本节按**纯铜成品与 CCA 成品每吨同价**比较。[22]

> 不是一公斤便宜了，而是完成同样的连接，需要买更少的公斤。

10.1｜固定比较条件：0.26 mm 是镀后成品

项目	本例条件
参考组件	650 W、132 半片、6×22 排版、16BB
每块互连圆焊带	451.2 m；按下表几何预算，不是工厂领料实测
两种成品直径	**镀锡后均为 0.26 mm**
径向／单边焊料厚度	15 µm，名义输入，非本次实测
镀前基材直径	**0.26 − 2×0.015 = 0.23 mm**
复合基材	CCA50，铜占基材质量 50 wt.%（约 23.19 vol.%）
焊料	两方案均为 Sn60Pb40，不把整层当作纯锡
采购价格	两种完整成品使用相同的 P 元/吨；统一税费与交货条件
比较范围	只替换互连圆焊带；未更换的汇流带不计入

算例采用晶澳 JAM66D45-650/LB 的公开版型作为几何参考，参数为 650 W、132 半片和 16BB。105 mm 沿线覆盖长度取自同系列电池尺寸。[18][19]

焊带长度要把正、背面都算进去。 跨片焊带分别覆盖相邻电池的不同表面，不是只数正面照片上的线。[20]

长度组成	本例算式	m/块
正面片上覆盖	132×16×105÷1000	221.76
背面片上覆盖	132×16×105÷1000	221.76
片间跨接	12 小串×10 处×16 根×2 mm÷1000	3.84
串首尾外伸	12 小串×2 端×16 根×10 mm÷1000	3.84
合计		**451.20**

每串 11 片、片间路径 2 mm、每端外伸 10 mm 是本模型的几何输入；实际焊盘退让、弯曲路径和切线记录优先。没有额外添加任意损耗比例。

10.2｜把镀后米重算完整，不能只看铝芯有多轻

质量计算统一使用铜 8.960、铝 2.705、Sn60Pb40 焊料 8.50 g/cm³。前两项来自锐创裸材计算资料，焊料密度沿用制造商物性；本节不使用第 4 节规格表中四舍五入后的标称密度。[3][21]

> 基材截面积 = π×0.23²÷4 = 0.041547563 mm²

> 焊料截面积 = π×(0.26²−0.23²)÷4 = 0.011545353 mm²

> CCA50 密度 = 1÷(0.5÷8.960 + 0.5÷2.705) = 4.155473639 g/cm³

在这些单位下，截面积 mm² × 密度 g/cm³ = 米重 g/m。分别计算基材和焊料，再相加：

计算项目	纯铜成品焊带	CCA50 成品焊带
基材米重 g/m	0.372266	0.172650
焊料米重 g/m	0.098136	0.098136
镀后成品米重 g/m	**0.470402**	**0.270785**
焊料占成品重量	**20.86%**	**36.24%**
每块所需基材 g	167.966	77.900
每块所需焊料 g	44.279	44.279
每块成品采购重量 g	**212.245**	**122.178**
每公斤成品长度 m	2,125.84	3,692.96

两种成品的焊料米重相同。 按吨计，纯铜成品每吨约含 208.62 kg 焊料，CCA50 成品每吨约含 362.41 kg 焊料。[22]

裸基材减重约 53.62%，但焊料层并没有同比减少。计入焊料后，成品减重是 **42.44%**。相同重量能多提供约 73.72% 的长度，这是另一个分母，不能写成节省 73.72%。

10.3｜同吨价下，互连焊带采购成本下降 42.44%

设两种完整成品的共同采购价为 P 元/吨。451.2 m 对应的重量分别为 0.212245231 kg 和 0.122178329 kg：

> 纯铜采购费/块 = 0.212245231×P÷1000

> CCA50 采购费/块 = 0.122178329×P÷1000

> 节省/块 = 0.090066902×P÷1000

同吨价、同净长度时，价格在相对降幅中抵消：

> **采购成本降幅 = 1 − 0.122178329÷0.212245231 = 42.4353% ≈ 42.44%**

这是本结构下**被替换互连圆焊带的采购降幅**，分母为原纯铜互连圆焊带的采购费用。

10.4｜共同吨价决定每块、每瓦和每 GW 的金额

表中吨价为演算输入。每瓦和每 GW 的节省按原 650 W 基准组件归一。

共同成品价 元/吨	纯铜 元/块	CCA50 元/块	节省 元/块	节省 元/基准 W	节省 万元/基准 GW
80,000	16.98	9.77	**7.21**	**0.011085**	**1,108.52**
100,000	21.22	12.22	**9.01**	**0.013856**	**1,385.64**
120,000	25.47	14.66	**10.81**	**0.016628**	**1,662.77**
150,000	31.84	18.33	**13.51**	**0.020785**	**2,078.47**

差额按未四舍五入的数据计算。**例如两种成品均为 10 万元/吨时，每块省约 9.01 元，折合 1.39 分/基准 W、约 1,386 万元/基准 GW。** 若共同吨价为 15 万元/吨，则约省 13.51 元/块、2.08 分/基准 W、2,078 万元/基准 GW；两档价格的相对降幅都是 42.44%。

含税报价得到同口径含税采购差额，未税报价得到未税采购差额。本例不预设税率，也不把两种税费口径混在一起。

10.5｜用每 GW 的成品采购吨数再核对一次

> 基准 1 GW 对应块数 = 10^9÷650

计算项目	纯铜成品焊带	CCA50 成品焊带
每基准 GW 互连线长度	约 6.9415 亿米	约 6.9415 亿米
每基准 GW 成品采购量	**326.531 吨**	**187.967 吨**

每基准 GW 少采购 **138.564 吨成品焊带**。因此：

> **节省元/基准 GW = 138.564464684 吨 × P 元/吨**

没有用“焊带占组件成本多少”倒推，也没有把省下的铜原料价值冒充客户采购价差。这里只需要几何／实测米重、实际用量和完整成品报价。

10.6｜换成自己的订单：四项输入，算同一笔账

把本例的**成品米重、实际净用量、完整成品吨价、组件实测功率**换成自己的数据。相同吨价模型的绝对金额随价格线性变化；实际两种吨价有差异时，分别代入：

> 节省/块 =（纯铜成品 kg/块 × 纯铜元/吨 − CCA 成品 kg/块 × CCA 元/吨）÷1000

> 每交付瓦的焊带节省 = 原每块焊带采购费÷原实测功率 − 新每块焊带采购费÷新实测功率

上式乘以 10^9，即为**交付相同 1 GW 实测功率时的焊带项节省**。

退料、可回收废料、开机损耗、返工与报废按一致口径处理。已经按实际净耗与合格组件数计算，不再重复除一次良率。不要将另一 0.24 mm 项目的约 3 W 功率差套到本节 0.26 mm 模型中。

TOPCon 替换须关闭或绕过原局部拍扁工序。 实测的节拍、维护、能耗和良率改善单独记录。[2]

11｜关于“650 W 组件约差 3 W”：把案例用在正确的地方

锐创提供的一个 TOPCon 项目记录为：**650 W 级组件，采用标称 0.24 mm 的 CCA 焊带与标称 0.24 mm 纯铜焊带比较，功率差约 3 W。** 相对 650 W 约为 **0.46%**。[2]

分别测量导体电阻和组件功率。第 7 节电阻算例与第 10 节成本算例统一采用 0.23 mm 基材、15 μm 单边焊料层、0.26 mm 成品直径。上述标称 0.24 mm 客户项目保留其实际功率对比结果。

新项目对照时，纯铜与复合方案分别使用正确配方：本指南的 TOPCon 复合圆焊带方案必须关闭／绕过局部拍扁。不能为了“保持条件完全相同”，让复合材料继续承受不适用的纯铜动作。[2]

新项目先选一条最符合约束的路线：

路线	适用的约束	怎么判断结果
保持原几何起步	设备、定位或图纸改动空间较小	用实际组件功率、焊接、良率和成本评价
按电阻重新配截面	电阻预算明确，尺寸允许变化	同时检查遮光、焊盘、应力与设备适配
联合优化设计	电池版型或互连方案允许调整	铜比例、形状、线数、走线与涂层一起比较

例如对均匀裸基材做等电阻计算，电阻率由 0.017241 换成 0.025 时，**0.23 mm 铜基材对应的复合基材直径约为 0.277 mm**：$0.23 \times \sqrt{(0.025 / 0.017241)} \approx 0.277$ mm。两个直径均指镀前基材；成品选型还需计入焊料导电、电流分布和光学效果。

12｜从送样到量产：五步走，不靠一块漂亮样板拍板

下表是建议的项目工作方法，不是标准强制规定的固定样本数或周期。

阶段	做什么	进入下一步前留下什么
需求对齐	固定组件型号、基准焊带、不可改条件和目标	一页规格与验收目标
材料初检	尺寸、米阻、铜层、镀层、拉伸、放线	样品批号与实测记录

阶段	做什么	进入下一步前留下什么
工艺试样	先确认 TOPCon 复合方案拍扁已关闭／绕过，再找到稳定的焊接与输送窗口	配方及拍扁状态记录、焊点与 EL 对照
组件验证	配对制造、功率与可靠性评价	报告、差异解释、批准适用范围
小批与量产	多卷、多批次、实际节拍验证，完成变更审批	批准样、受控图纸、控制计划与追溯

对照时建议保持电池来源、分档、厚度、封装材料和关键工艺一致；纯铜方案与新方案均采用合理且记录完整的工艺，而不是故意让其中一个跑在不合适的参数下。

功率比较应考虑测试设备校准、温度、光谱、测量重复性及不确定度，并保留单块分布，不能只挑最高瓦数的样板。IEC 60904-1 提供 I–V 测量程序的标准入口。[6]

样本量、试验批次、周期和放行限值由客户、质量与认证方案确定。材料供应商的一卷样线，不能代替完整组件批准。

13｜可靠性：不只测“拉得住”，还要测“之后怎么样”

建议围绕实际失效路径安排检查，再由适用标准与认证方案确定试验条件。[7][8][9]

检查／试验	主要回答的问题	建议保留的结果
铜铝与涂层截面	是否有局部薄层、开裂、分层或异常界面	带标尺原图、位置与判定
润湿与焊点剥离	材料、焊料和金属化是否形成稳定连接	角度、速度、温度、单位、力值分布及断裂位置
EL 与 I–V	是否新增隐裂、连接异常或功率变化	前后同条件图像及电气记录
热循环 TC	热胀冷缩后，焊点和连接能否维持	功率、电阻、EL、连接外观与必要的破坏分析
湿热 DH	湿热环境下界面、封装和连接是否稳定	功率、电阻、腐蚀及接触状态
湿冻、机械载荷等	特定环境与机械应力下是否出现问题	按项目试验顺序及判据记录
绝缘、湿漏电等安全评价	变更是否影响组件安全	按安全认证范围进行复核

“剥离力 1 N”没有试验方法，比较价值很有限。90°与180°、单线与多线、N 与 N/mm、平均值与最小值，都必须分开。还要记录是焊料界面失效、金属化层剥离、焊带断裂，还是硅片先破坏。

短时加速试验不等于自然服役时间的直接换算。IEC 61215 的设计鉴定结果也不应被当作组件寿命的定量预测。[7] 可以清楚写“什么型号、什么材料清单、做了什么试验、结果如何”，不要把一张报告变成所有规格的终身通行证。

14｜来料验收：让批次证明能对上这卷货

第一次认可供应商，要看体系和能力；每一批放行，更要看该批材料。技术数据表说明“按什么交付”，批次检验记录说明“这批测到了什么”。[1][10]

验收项目	核对方式
身份与追溯	牌号、芯材、镀层、图纸版本、批次和盘号相互对应

验收项目	核对方式
尺寸与外观	按约定位置抽样；检查直径／厚宽、锡珠、划伤、氧化和缺镀
电气	记录温度与有效长度，检查成品米阻及波动
铜层与焊料层	依控制计划检验铜比例、最薄点、覆盖和界面
机械	按一致标距与面积口径核对抗拉、Rp0.2、伸长率
放线与包装	盘具、排线、接头、净重、长度、真空封装和运输损伤
文件	本批检验单、符合性资料及订单约定的其他证据

缺锡露铜、铜层意外露铝、切断面露芯，属于不同现象，不能只写成“表面异常”。判定照片和缺陷样板往往比一段模糊形容更好用。

抽样数量、判退规则、复检方法和争议实验室应在合同或检验计划中约定。本指南不随意给所有产品套同一抽样验收质量限（AQL）。

15｜产线常见问题：先看证据，别先给材料判刑

以下是排查顺序建议，不是只凭症状就能确定的根因。

看到的现象	优先查什么
断线增加	实际直径、拉断力、放线张力、导轮损伤、卡线与接头
焊带跑偏或贴不住	镰刀弯、回弹、定位、夹具、排线和张力波动
润湿差、虚焊	表面状态、焊料成分、助焊剂、真实温度与时间
剥离值下降	断裂位置、金属化层、焊料体积与工艺变化
EL 新增边沿隐裂／局部露铝	TOPCon 替换先查原拍扁动作是否确实关闭／绕过，再查电池厚度、压具、张力、热历史与过渡走线
功率下降	先复核测量和电池分档，再查米阻、接点、线位与光学变化
老化后电阻漂移	截面与焊点损伤、腐蚀路径、封装材料及工艺变化
同批不同卷差异大	批次定义、卷内／卷间取样、尺寸与涂层分布、放线条件

把“异常卷＋正常卷＋实际工艺参数”一起保留，排查通常比仅发一张照片更有效。

16｜包装、储存与交付：别让好材料输在仓库里

Rev.4 的储存条件为清洁、干燥、无腐蚀性化学品的库房，温度 ≤35°C、相对湿度 ≤60%；在其规定的室内恒温干燥条件下，真空未开封保质期为 6 个月，开封后为 3 个月。特殊焊料、包装与客户条件以对应订单为准，不把这些期限扩展为所有焊料的通用寿命。[1]

建议先进先出并记录开封时间；运输受潮、真空破损或经历异常环境的卷材，应按质量程序复核，而不是只看日历是否过期。冷料进入温暖潮湿环境时，先防止开封后结露。

盘具必须与放线机匹配。确认轴孔、外径、宽度、绕向、排线和允许净重；不能只说“给我 160 盘”。连续卷长及接头政策直接影响自动线，值得在询价时一并谈清。

海外采购统一比较币种、税费、贸易术语、运费、金属计价日和交付地点。铜铝复合产品含有焊料和加工成本，不能只用当天铜价与铝价做一张简单加权表，当作最终成品报价。

17｜标准与市场准入：分清材料、组件和应用三个层级

资料	它主要解决什么	采购怎么用
锐创规格与客户技术协议	材料交付要求	锁定牌号、尺寸、状态、涂层与验收
GB/T 31985-2015	光伏涂锡焊带产品标准	官方目录本次显示现行；核对完整范围，不能仅凭标题推定覆盖所有 CCA 产品
IEC 61215 系列	组件设计鉴定与型式认可	对指定组件结构安排相应评价
IEC 61730 系列	组件安全	复核构造与安全试验要求
IEC TS 62915:2023，含 2024 勘误	组件设计与材料变更后的复测	与认证机构确定本次替换涉及的复测
IEC 60904-1:2020	光伏器件 I–V 测量	对照功率测试的方法入口
IEC 62941:2019	组件制造质量体系	管理材料选择、变更和生产一致性

本指南查阅的官方目录将 GB/T 31985 修订计划 **20264584-T-339** 列为“正在起草”。[6–12]

客户指定某项团体标准时，提供**标准编号、发布机构、版次、实施状态与全文**后再纳入协议。“合金焊带”名称、专利文本或正在起草的文件，都不能替代成品合格证明。

含铅、无铅和出口要求

先确定成分，再确定最终产品、目的地规则和客户合同。欧盟 RoHS 对满足特定条件、由专业人员设计安装并永久用于固定地点发电的光伏板设有范围排除；不能由此推导出“所有含铅焊带在全球都不受限制”。无铅声明、其他化学品义务、职业健康和客户限用清单仍需分别处理。[13]

ISO 9001 管的是质量管理体系，不是某根焊带的组件认证。某个材料或组件的报告，也不能自动覆盖所有规格、工厂、焊料和市场。北美等项目按实际认证和材料变更程序处理。[8][14]

18｜怎样询价、怎样比较供应商

第一次联系，先发六项就够：**组件／电池路线、连接位置、现用规格、不可改变的条件、目标市场、大致用量。** 有图纸或样品，比十个形容词更有效。

进入正式选型后，补齐下面这份清单。

模块	要填的内容
组件	型号、目标功率、电池尺寸／厚度／分档、互连根数、走线图
材料	CCA 或 HTCCA 候选、铜质量／体积口径、芯材与状态
几何	镀前与镀后直径／厚×宽、公差、圆角、最薄铜层
镀层	配方、单边厚度、含铅／无铅要求、助焊剂

模块	要填的内容
电气与力学	成品米阻、测试温度、抗拉、Rp0.2、伸长及试验条件
产线	串焊机、目标节拍、张力、温度曲线、焊盘与压具；TOPCon 拍扁的关闭／旁路能力及实际状态
验证	基准样、样本计划、功率、EL、剥离、可靠性与放行判据
交付	试样量、月用量、连续卷长、盘具、接头政策、交付地
商务与文件	计价口径、有效期、追溯、检验单、证书适用范围、变更通知

可复制询价模板：

> 我们生产 _____ 组件，电池技术／互连结构为 _____。计划替换的材料位于 **，现用规格见附件。尺寸中的 _____ 为镀前值，** 为镀后值。不能改变的是 _____，允许调整的是 _____。希望重点改善 _____。串焊设备和节拍为 _____，局部拍扁可关闭／旁路状态为 _____，目标市场为 _____，预计月用量 _____。请推荐材料及镀层方案，并提供成品米阻、力学指标、截面与试样资料、包装和同交货条件下的报价。

比较供应商时，看四件事：**规格说得清、样品对得上、量产能重复、变更会通知。** 实际批次截面和检验记录，比“高导、高强、高可靠”三个词更有用。

合同中写清未经批准不得随意更换芯材、铜比例、焊料或关键生产条件；同时约定偏离批准、异常处理、样品留存及受影响批次追溯。尽量沿用客户现有质量流程，不另建一套复杂的表单迷宫。[10]

19 | 采购常见问题

会不会必然降低组件功率？

对照匹配样品的组件功率分布。相同尺寸下电阻可能上升，组件功率也受设计、连接和光学因素影响。

铜比例越高，是不是越安全？

它会影响导电、铜层与成本，但不能替代最薄铜层、结合质量和成品验证。选满足要求的组合，不选最大的数字。

铝芯是不是完全不导电？

不是。直流下铜和铝都参与导电，光伏选材不能套用“电流全部在铜皮”的说法。

同尺寸、同颜色，能否直接换？

可作为几何起点，不能作为放行依据。先核镀前／镀后、米阻、机械、配方和产线结果。

HTCCA 是否耐温更高？

不能从缩写推断。它是指定合金芯系列，耐温与可靠性取决于整个材料及组件方案。[1][3]

TOPCon 换成锐创复合圆焊带后，还要不要拍扁？

不要，原局部拍扁工序必须关闭或绕过。 锐创大量中国客户反馈，该路线的铝芯复合焊带在电池边沿更柔顺，不需要原纯铜的拍扁动作；沿用拍扁还有损伤铜层的风险。这里的柔顺性不等于所有牌号的每项拉伸指标都更低。[2][16]

取消拍扁是不是可以直接加一笔降本？

节拍、能耗、维护和良率带来的节省，以对应产线的实测记录为准。

铜层包住铝，是不是完全不会腐蚀？

不能这样推断。切断面、缺陷、湿气、残留与封装结构要一起评价。良好的包覆与封装是设计措施，不是免检理由。

通过湿热和热循环，就能承诺任意年限吗？

不能直接换算。试验支持对应设计的评价；长期寿命还受真实环境、结构与制造一致性影响。[7]

通过测试以后，原组件证书自动有效吗？

按材料变更程序确认，并与认证机构确定复测范围。作为焊带供应商，锐创不能单方面宣布原证书继续有效。[9]

同样每公斤价格，为什么每块组件还能省钱？

相同连接长度所需的成品采购重量更少。第 10 节计入完整焊料层后，CCA50 与纯铜成品米重分别为 0.270785 与 0.470402 g/m。同吨价、同净长度时，采购成本约下降 42.44%。

省铜是否就等于碳排放降低同样比例？

不等于。碳足迹还受铝、铜和焊料来源、能源、加工与运输影响。要发布碳减排比例，应有清楚的核算边界和数据，而不是拿减重比例改个标题。

能否只替换汇流带，保留原互连线？

可以作为独立项目评估。汇流回路、连接和功率单独核算，整块组件的变更要求仍然适用。

20｜把一卷材料，变成一个可批准的方案

铜铝复合焊带的选型，不是采购独自寻找“更便宜的铜”，而是采购、工艺、研发和质量共同找到**在这款组件上更划算的连接材料**。

向锐创发送现用规格或样品、电池／组件路线、连接位置、目标市场和用量。我们从实际约束出发，比较基材、铜层、涂层、尺寸、工艺与成本，明确试样需要验证什么。

先把材料讲明白，再把样品做好，最后让合格组件和成本数据说话。

让每米材料为您创造更高价值。

Engineering Every Micron.

术语速查

缩写／术语	在本指南里的意思
μm	微米；1 μm = 0.001 mm，注意单边厚度与总增厚不同
%IACS	相对国际退火铜标准的导电率百分数；不是载流量百分比
EL	电致发光检测；用图像辅助检查电池隐裂和连接异常
I–V	电流—电压特性；用于评估组件电气表现和功率
BOM	材料清单；具体电池、焊带、封装等组合，而非只有组件型号
TC／DH	热循环／湿热试验；条件与判据按适用试验方案确定
Rp0.2	0.2% 规定塑性延伸强度；用于规定这里的屈服指标

缩写／术语	在本指南里的意思
MBB／SMBB／0BB	多主栅／超多主栅／无传统主栅的设计用语；不单独确定焊带规格
成品米阻／米重	镀后材料每米的电阻／质量；是跨材料比价的重要输入
良率	合格品占投入产品的比例；说明工序与分母，避免重复计损耗

参考资料与数据说明

文档版本 1.2。成本模型更新于 2026-11-06。

[1] 锐创《光伏互连焊带及汇流带技术规格书》，Spec201910 Rev.4，2026-09-15 发布版。主要引用 §3.1、§3.3–3.7、§4–5。

[2] 锐创项目与应用记录，截至 2026 年 11 月。部分中国组件客户项目所替换焊带的采购成本降低超过 50%，累计组件应用超过 50 GW，覆盖 BC 和 TOPCon。记录还包括 650 W 级 TOPCon 组件采用标称 0.24 mm 焊带时约 3 W 的功率对比。中国组件客户反馈，适配 TOPCon 的复合圆焊带在电池边缘更柔顺。采用这一路线替换纯铜焊带时，须关闭或绕过原局部拍扁工序。

[3] 锐创《不镀锡铜包铝圆线／扁线／带材技术规格书》，Spec-CCA-UNTINNED Rev.2，2026-06-17，§3.1。

[4] Grübel, De Rose, Kraft，Fraunhofer ISE，Challenges for Solder Interconnection Pushed by High-Efficiency Solar Cell Developments，EU PVSEC 2024。 https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/conference-paper/41th-eu-pvsec-2024/Gruebel_Paper.pdf

[5] Fraunhofer ISE，Interconnection Technologies。互连形态、工艺与热机械应力背景。 https://www.ise.fraunhofer.de/en/business-areas/photovoltaics-production-technology-and-transfer/interconnection-and-encapsulation-technologies/interconnection-technologies.html

[6] IEC 60904-1:2020，Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics。官方公开范围。 https://webstore.iec.ch/en/publication/32004

[7] IEC 61215-1:2021，Terrestrial photovoltaic modules — Design qualification and type approval。官方公开范围及寿命解释。 https://webstore.iec.ch/en/publication/61345

[8] IEC 61730-1:2023，Photovoltaic module safety qualification — Requirements for construction；试验部分见配套 IEC 61730-2。官方公开范围。 https://webstore.iec.ch/en/publication/59803

[9] IEC TS 62915:2023，Photovoltaic modules — Retesting，官方页面说明已包含 2024 勘误。 https://webstore.iec.ch/en/publication/66172

[10] IEC 62941:2019，Quality system for PV module manufacturing。官方公开范围。 https://webstore.iec.ch/en/publication/61932

[11] 国家标准全文公开系统，GB/T 31985-2015《光伏涂锡焊带》状态与目录。 https://openstd.samr.gov.cn/bzgk/std/newGbInfo?hcno=A512A0E3C743198D490A382ACB13BFA2

[12] 全国标准信息公共服务平台，20264584-T-339《光伏组件用涂锡焊带》修订计划。 https://std.samr.gov.cn/gb/search/gbDetailed?id=5A7BF2612B688434E06397BE0A0AC1BB

[13] 欧盟 Directive 2011/65/EU，2026-07-01 合并文本，Article 2(4)(i)。 https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:02011L0065-20260701

[14] UL Solutions，UL1703 / UL 61730 — PV Module Safety Standards Updates: Making the Transition。材料清单变更与复测说明。 https://www.ul.com/news/ul1703-ul-61730-pv-module-safety-standards-updates-making-transition

[15] 锐创光伏焊带产品范围与联系入口。 https://www.raytron.group/products/pv-ribbon/ https://www.raytron.group/contact/

[16] InfoLink Consulting，Kyle Lin、Derek Zhao，《背接触技术重塑光伏格局：xBC的产业化进程与未来展望》，2025-05-19。讨论了细径 TOPCon 复合焊带局部拍扁时的露铝问题。 https://www.infolink-group.com/energy-article/cn/solar-topic-solar-back-contact-technology-industry-progress-outlook--xbc

[17] 安徽大恒能源科技有限公司，CN113042973A《一种光伏组件焊带现压扁工艺焊接方法》，公开日 2021-06-29。 https://patents.google.com/patent/CN113042973A/zh

[18] 晶澳 JAM66D45-625–650/LB 官方产品资料，Aus-EN-20250711A。参考版型为 650 W、132 半片、6×22、16BB。 https://www.jasolar.com/uploadfile/fujian/2025/0718/cb4feec76c9f3a.pdf

[19] Kiwa PVEL 2025 同系列型号记录。182×105 mm 电池尺寸来自同系列 580–625 W 档记录。 https://scorecard.pvel.com/2025/top-performers/

[20] 弘元光能官方工艺说明，涉及跨片焊带在相邻电池正背面的覆盖和 16 线 SMBB 互连。 https://module.hysolar.com/hygn

[21] CYNEL，Sn60Pb40 PRO 技术数据表。Sn60Pb40 合金密度为 8.50 g/cm³。 https://www.cynel.com.pl/images/products/enpdf/Sn60Pb40-PRO.pdf

[22] 锐创成品报价与成本模型输入。同成品吨价算例采用 0.26 mm 成品外径、15 μm 径向焊料层和每块组件 451.2 m 焊带用量。表中吨价为演算值。