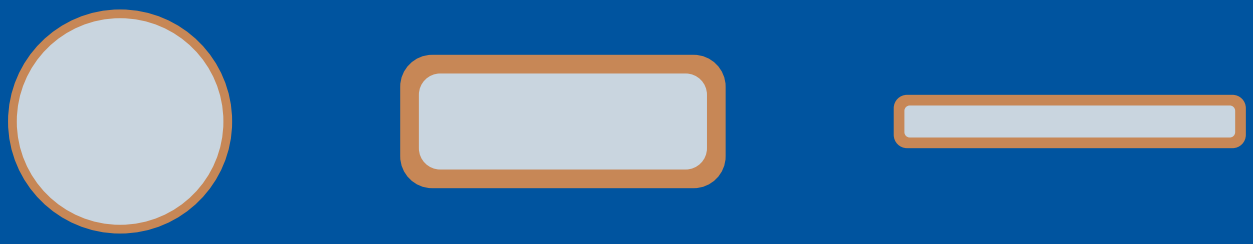
RAYTRON

MATERIAL SELECTION / PROCUREMENT / QUALITY

铜包铝材料
采购选型指南

选对规格 算清成本 验收交付

ROUND WIRE / FLAT WIRE / STRIP / FOIL / PV RIBBON



材料结构

铜表面 轻质芯材 一份完整的采购判断

从材料结构与含铜量，到电阻、铜层、连接、应用、比价和验货。附选型表、计算示例、询价清单及可查阅的原始资料。

Engineering Every Micron.

www.raytron.group

阅读导航

第一次了解材料，可从第01节开始。准备询价，可直接查看第17节。

01 先用一分钟判断是否值得评估 . . . 3
02 铜包铝是什么 . . . 3
03 铜包铝能带来什么 . . . 4
04 含铜量先问单位 . . . 5
05 看懂电阻率 导电率和载流量 . . . 6
06 圆线 扁线 带和箔各怎么选 . . . 7
07 铜层看平均值 更要看最薄点 . . . 7
08 工艺重要 结果更要能检验 . . . 8
09 按应用选择验证重点 . . . 8
10 光伏焊带要把采购账和组件账放在一起 . . . 10
11 公用事业与建筑线 有路线就按路线走 . . . 11
12 连接与环境决定材料能否长期工作 . . . 11
13 成本按每米 每件和合格产出来算 . . . 12
14 从试样到量产 让一次试验解决一个问题 . . . 13
15 验货清单 把颜色放在最后 . . . 14
16 全球采购 文件和交付也要选对 . . . 15
17 可以直接复制的询价清单 . . . 16
18 采购会议上最值得纠正的十句话 . . . 17
19 常用公式与中英文术语 . . . 17
20 带着现用规格 找到下一种选择 . . . 18
参考资料 . . . 19

从看懂材料，到选对规格、算清成本、验收交付

适用产品：铜包铝圆线、铜包铝合金线、微扁线、带、箔，以及铜铝复合光伏焊带。

铜包铝的想法很朴素：在需要铜表面性能的地方保留铜，让较轻的铝承担一部分导电工作。选对了，材料可以更轻，每米或每件的采购成本也有机会下降。

真正要买的，是适合你产品的那一种铜包铝：铜占多少、芯材是什么、做成什么形状、如何连接、最终在哪里使用。这几个问题，比"看起来像不像铜"重要得多。

这份指南按采购的实际顺序展开。第一次接触这个材料，也可以从头读懂；已经准备询价，可以直接使用第17节的参数清单。

01 先用一分钟判断是否值得评估

如果现用铜材的重量、每米成本或供货成本让你头疼，同时产品允许调整材料或截面，铜包铝值得进入候选名单。先把下面六项弄清楚，通常就能避免大量无效试样。

先弄清什么	对选型有什么影响
材料在产品里做什么	导电、信号传输、焊接、接触、屏蔽，优先指标不同
产品卖到哪里、按什么标准交付	决定材料是否可用、需要哪些成品验证与批准
哪些条件不能改	外径、厚度、端子、模具、电阻、温升、客户图纸
原材料如何加工与连接	拉拔、轧制、冲压、弯折、镀层、焊接、压接
使用环境与工作方式	持续电流、频率、弯折次数、温度、潮湿和化学介质
成本按什么单位比较	每米、每件、每个合格组件；同时看良率和配套成本

最容易推进的项目，是要求清楚、验收标准清楚、试样后能算清账的项目。

02 铜包铝是什么

铜在外面，铝在里面，两者都工作

典型铜包铝线由铝芯和连续铜包覆层组成。铜提供外部接触表面，并参与导电；铝芯减轻重量，也参与导电。把铝芯说成"只负责填充"，会低估它的作用。[R01][R17]

这是一种复合结构。铜与铝仍是不同的材料区域；它与把铜、铝熔炼成一种合金，是两件事。



市场上的“合金焊带”还可能指合金芯材、焊料配方或其他材料体系。名称相近时，先看截面和成分。

切断圆线，看见中间银白色的铝芯，是正常结构；如果要求全包覆的线身外侧出现露铝、铜层开裂或分层，则应按技术条件检查。看颜色可以认识材料，不能完成验收。

常见名字要翻译成具体规格

名称	它通常表示什么	采购时还要确认什么
CCA	Copper-clad aluminum，铜包铝	铜比例、铝芯牌号、状态、尺寸、电阻
CCAA / HTCCA	指定铝合金芯的铜包覆产品；HTCCA是锐创产品系列名称	实际芯材与性能；缩写本身不证明耐高温，也不自动代表AA-8000系列
镀锡铜包铝	铜包铝基材外增加锡或焊料层	镀层成分、厚度、镀前或镀后尺寸、焊接适配性
铜包铝扁线、带、箔	铜铝复合材料的不同交付形态	截面结构、哪些面包铜、边部状态、宽厚组合
CCS	Copper-clad steel，铜包钢	钢芯带来的力学、电气和磁性差异，不能与CCA混用
聚合物基复合铜箔	聚合物芯层与铜层组合的另一类材料	它与金属铝芯CCA箔的结构和用途不同

“高强”“高导”“超软”适合做介绍。签订单时，请把它们换成数值、单位和试验条件。

03 铜包铝能带来什么

更轻，以及更值得认真算的每米成本

铜与铝的密度差别很大。本文教学计算采用铜8.96 g/cm³、铝2.70 g/cm³；实际交付材料的密度按具体芯材、铜比例及镀层确定。[R04][R05]

相同截面、相同长度的铜包铝通常明显轻于纯铜。即使为降低电阻而增加截面，仍可能保留减重空间。是否省钱，要把重量乘以成品材料报价，再加上实际加工与配套费用。

铜表面有用，整个截面也重要

在连接、焊接或某些高频应用中，铜表面具有实际价值。但铜层不能让下面的铝芯“自动拥有纯铜的全部性能”。同尺寸的铜包铝，直流电阻通常比纯铜高；导电、连接、力学和环境适应性要一起设计。

设计自由度，是一种常被漏算的价值

铜比例、芯材、状态、圆线或扁带截面、镀层，都可以成为设计变量。产品允许调整这些条件时，通常比只要求“外形不变、其他也全不变”更容易找到经济方案。

铜包铝的价值，最终体现在合格产品的成本、重量和制造表现上。采购报价只是第一张账单。

04 含铜量先问单位

“30%铜”不是一个完整的采购参数。 它可能是铜质量分数，也可能是铜体积分数。少写两个字，有时能多开三场会。

本文比较材料时优先使用铜体积分数 vol.%。对于截面均匀、长度一致的裸材，铜截面积占比与体积占比相同；铜质量分数写作wt.%。

体积比与重量比并不相等

下面按铜8.96、铝2.70 g/cm³计算，不含镀层；数值用于解释比例，不是产品供货表。

铜体积分数 vol.%	对应铜质量分数 wt.%	计算密度 g/cm³
10	26.94	3.326
15	36.93	3.639
30	58.72	4.578
40	68.87	5.204
50	76.84	5.830

反过来看，30 wt.%铜约为11.44 vol.%；40 wt.%约为16.73 vol.%；50 wt.%约为23.16 vol.%。所以，30 wt.%和30 vol.%不是同一种配比。

锐创部分既有规格中的“CCA30”等牌号采用铜质量分数口径。采购时应把实际比例及口径写全，不凭牌号数字推断；镀锡产品还要写明比例针对基材还是镀后全部金属。

铜越多不一定越划算

在芯材、状态和基材尺寸相同的条件下，增加铜比例，通常会提高导电率与铜层厚度，也会增加密度和材料成本。合理的目标是：在电阻、连接、成形和可靠性要求都满足的前提下，选择合适配比。

合同至少写清：比例口径、标称值或上下限、芯材、镀层是否计入、检验方法。

ASTM B566的10A、15A、10H、15H分别对应标称10%或15%铜体积比，A为退火态、H为硬拉态。“10A”在这里不是10安培。[R01]

05 看懂电阻率 导电率和载流量

三个容易混淆的指标

指标	人话解释	采购应该怎样写
电阻率	材料本身阻碍电流的程度，通常越低越好	20°C、Ω·mm²/m，注明裸材或成品面积口径
电阻	这一段实际导体的阻值，受长度、截面和温度影响	单根或回路、Ω/km或Ω/m、测量温度
载流量	在规定条件下允许持续通过的电流	与绝缘、环境、敷设、成束、连接件及允许温度一起确定

IACS是导电率的比较基准。20°C下，100% IACS对应约0.017241 Ω·mm²/m。[R03]

70% IACS不等于只能通纯铜70%的电流，也不等于可以直接套用纯铜的载流量。 温升取决于发热与散热的平衡；接头有时比导体本体更早成为限制。

一个透明的教学模型

假设铜为100% IACS、铝为61% IACS，两种金属都有效接入电流，界面连续，截面均匀，比较20°C下相同长度的直线裸导体。下面结果是计算值，不能替代具体牌号的实测或保证值。[R03]

铜体积比	理论导电率 %IACS	相同电阻所需面积倍数	圆线直径倍数	相同电阻时的质量比
10%	64.90	1.541	1.241	57.2%
15%	66.85	1.496	1.223	60.8%
30%	72.70	1.376	1.173	70.3%
40%	76.60	1.305	1.143	75.8%
50%	80.50	1.242	1.115	80.8%

倍数与质量比均以相同长度纯铜为100%。模型说明：为达到相近直流电阻，CCA通常需要增加截面，但仍可能更轻。合金芯、加工状态、镀层与实际尺寸会改变结果。

工频和高频要分开看

“电流都走铜皮，所以跟纯铜一样”不适用于直流，也不能拿来解释常见小线径在50/60 Hz下的表现。

高频时电流分布更靠近表面，这使铜层设计具有价值。但还要考虑频率、实际最薄铜层、导体形状、表面状况、邻近效应和连接。按理想非磁性铜计算，集肤深度在50 Hz约9.35 mm，在1 MHz约66 μm；这只是数量级说明，不是CCA传输性能保证。

集肤深度计算采用20°C、100% IACS铜及相对磁导率约1的假设；相关公式与数量级可参见NIST资料。[R27]

射频产品应看插入损耗、回波损耗和完整组件测试。绕组还要看工作频率下的交流损耗。等直流电阻只解决一个问题，不能替代整机评价。

06 圆线 扁线 带和箔各怎么选

形态	优先写清的几何条件	容易漏掉的项目
圆线	直径、公差、椭圆度	铜层偏心、最薄点、连续卷长
微扁线	厚×宽、圆角、允许截面积	轧后边角铜层、弯曲方向、回弹
带材	厚×宽、镰刀弯、平整度	分切毛刺、边部包覆、冲压后的露芯位置
箔材	总厚、铜层结构、厚度均匀性	针孔或缺陷、收放卷、芯筒、卷绕张力
镀锡或焊料涂层产品	基材尺寸与成品尺寸分别定义	镀层成分、局部厚度、焊接和储存要求

带与箔的名称在不同供应商、不同标准中可能有不同厚度划分。图纸上写具体毫米或微米，比争论叫带还是叫箔更有用。

锐创当前产品页面提供的参考范围

圆线参考直径为0.10-4.00 mm；部分扁线产品页面参考宽度上限为6 mm；精密CCA带与箔页面公开的宽度范围为0.5-12 mm。[R17][R18][R19]

这些是不同形态的参考范围，不能把最大宽度、最小厚度、最薄铜层和最严公差自由拼成一个可交付规格。发送实际宽厚组合或图纸，由锐创确认材料、状态、表面、卷长和公差。

特别关注哪些面包铜

全包覆圆线轧成的扁材，与双面Cu/Al/Cu层状材料，可能具有不同的边部结构。应在图纸中标明上表面、下表面、侧边和连接位置的包覆要求。

交付时全包覆，并不表示分切、冲孔或切断后的所有新表面仍然包铜。加工会暴露新的截面；这些位置要结合连接和环境设计。[R18][R19]

铜包铝箔也不应因名字里有“铜箔”，就被直接当作纯铜电池集流体、任意宽幅屏蔽箔或PCB铜箔采购。先确认结构、幅宽、用途和成品要求。

镀后电阻与镀后总金属截面计算出的，是成品的等效电阻率，不能直接当作裸基材电阻率。焊带等涂镀产品，优先把成品每米电阻约定清楚。

07 铜层看平均值 更要看最薄点

总含铜量相同，铜层分布仍可能不同。一根线的平均铜比例合格，不代表每个方向都一样厚；扁材的边角、轧制过渡区和接触位置尤其需要关注。

对理想同心圆线，不含外加镀层的基材外径为D、铜体积分数为f时，径向铜层厚度为：

$$t = D \div 2 \times [1 - \sqrt{(1 - f)}]$$

例如外径1.00 mm、铜体积比10%，理想铜层厚度约25.7 μm；15%时约39.0 μm。外径缩小到0.20 mm时，对应约5.1 μm和7.8 μm。铜比例相同，细线的绝对铜厚仍会变薄。

这条公式不能直接套在轧制后的扁带上。实际最薄铜层，要看有标尺的真实截面，并约定取样位置、统计方法和判定限值。

如果供应商写“铜层相对厚度偏差 ≤ 某百分数”，要继续问：分母是平均厚度、标称厚度，还是其他基准？同一名称可以隐藏不同算法。把公式写进技术协议，数字才有可比性。

08 工艺重要 结果更要能检验

铜铝复合可采用不同的制造路线。采购不必背全工艺百科，但要知道最终质量由什么决定。

关注环节	为什么影响你的产品	可以索取什么证据
芯材与铜层原料	决定基础电气、力学和加工表现	材料牌号与批次记录
表面准备与复合	影响界面连续性和后续变形能力	真实截面、适合该形态的结合试验
拉拔与轧制	改变尺寸、铜层分布、表面和状态	尺寸与电阻记录、关键位置截面
热处理	改变软硬、伸长与界面组织	与实际规格对应的力学、电气及后续加工结果
镀层与收卷	影响连接、储存和客户上线	镀层、表面、包装及放线要求

锐创公开的工艺说明把材料准备、复合成形、热处理与成品检查连接起来，并强调按具体产品确认路线与验收方法。[R21]

对铜铝界面，热处理需要匹配材料和工艺。过度反应形成的界面组织、缺陷和局部损伤，都可能影响性能；某篇论文中的最佳温度，不能直接成为所有产品的退火配方。[R24]

不要仅凭“电镀”“包覆”“轧制”几个字给所有产品判好坏。采购更有用的问题是：它是否满足约定结构，在你的弯折、焊接、压接或热循环之后，是否仍满足要求。

09 按应用选择验证重点

下表给的是选型方向，不是所有市场的自动准入表。

应用	值得评估的价值	最先核实什么
光伏组件内互联与汇流	减少铜用量，降低焊带采购成本	成品电阻、串焊、良率、组件功率和可靠性
同轴电缆与天线	减重，结合铜表面设计射频性能	频率、铜厚、衰减、阻抗、端接和整缆要求
CAT 5e / CAT 6网线导体	已有大规模应用，用于降低导体重量与材料成本	成缆传输性能、直流电阻及不平衡、端接；PoE项目另看压降与温升
电缆屏蔽带	铜包铝带已开始替代铜带，用于减重与材料降本	屏蔽功能、铜层结构、厚宽与搭接、连续性和连接；承担故障电流时核算短路能力
中压电缆金属屏蔽线	在允许结构中平衡电阻、重量与成本	屏蔽电阻、故障电流与时间、连接和客户规范

应用	值得评估的价值	最先核实什么
低压同心中性导体或接户线	部分公用事业规范已有具体应用路线	指定位置、结构、版本、短路与成缆评价
建筑用电线	目标市场有对应合规路线时开发	芯材、材料与成缆认证、线规、端子、当地采用规范
轨道灯及设备内导电件	在有限空间内比较截面和成本	工作电流、接触压力、温升、磨损与整机要求
电子连接带与窄箔件	减重与材料结构优化	冲压弯折、焊接或压接、露芯边缘、接触稳定性
绕组及电磁部件	在可调整设计中比较重量与成本	槽满率、直流及交流损耗、绝缘、温升与引出连接
频繁弯折电缆与焊接电缆	需要按成缆结构单独开发	柔性、股线疲劳、占空比、温升、端子与产品标准

HARADA官方历史记载其在2008年开发CCA同轴电缆，说明铜包铝在同轴领域有实际应用历史；这不表示所有同轴结构都可以直接替换，也不表示HARADA使用锐创材料。[R23]

CAT 5e / CAT 6网线：从导体到成缆一起选

CCA导体已经在CAT 5e和CAT 6网线中大规模使用。对网线制造商，它是降低导体重量与材料成本的一条实际选材路线。[R30]

选型时，把线径、铜体积比、芯材和状态，与绝缘、绞距及端接共同确定。材料验收看尺寸、20°C直流电阻、力学性能和铜层；成缆验证看约定类别、频段与长度下的插入损耗、回波损耗、串扰及电阻不平衡。简单说，既要信号跑得过去，也要各线对互不添乱。

用于PoE供电时，再把供电等级、链路长度、回路压降、成束温升和连接器列入条件。只传数据与同时供电，验收重点不同。

订单中明确写出CCA导体、测试依据、限值和用途。要求符合指定TIA、ISO/IEC或当地安装规范的项目，还应核对相应导体材料条款及认证。试验报告写清测试类别、长度和项目；“100米测试通过”应对应具体记录，不能代替全部符合性要求。[R13]

电缆屏蔽带：用铜包铝带替代铜带

铜包铝带已开始用于电缆屏蔽带，替代原有铜带。[R30] 它是铜铝金属复合带，采购时应与铝塑复合带、铜塑复合带等不同结构分清。屏蔽带与电缆芯线也是两个不同部件，各自按承担的功能选型。

先问屏蔽层要做什么。 用于信号或电磁屏蔽，关注工作频段、绕包或纵包方式、覆盖与搭接、屏蔽连续性，以及排流线或连接点；按成缆要求评价屏蔽效果。若作为电力电缆金属屏蔽并承担接地故障电流，还要核算屏蔽电阻、有效金属截面、故障电流与持续时间、允许温度及接地连接。两种任务可能出现在同一结构中，要求应同时满足。

再把带材和包覆条件写清。 至少包括厚×宽、公差、铜体积比或规定铜层结构、最薄铜层、软硬状态、边部毛刺、铜层结合，以及搭接宽度或搭接率。搭接率须约定计算基准；分切边、接头和接地位置的接触与保护要求也要在图纸中明确。

比价时，按每公里电缆实际用带量计算，把带厚、带宽、包覆节距、搭接、加工损耗和连接成本一起计入。等厚不等于等屏蔽性能，也不等于等短路能力。用成缆结果确认替代方案，成本账才算完整。

需要优先排除的情况

客户图纸明确要求纯铜且不允许改材；材料或成品规范没有对应路线；尺寸不能增加而电阻已无余量；连接和环境条件无法得到验证。在这些情况下，应先解决约束，再安排替代试样。

10 光伏焊带要把采购账和组件账放在一起

光伏组件的采购、工艺、研发和质量，关心的是同一根焊带的不同侧面。采购希望降本，工艺希望稳定串焊，研发关心功率，质量关心隐裂、连接和长期可靠性。合理的选型应让这些指标同时落在一张表里。[R20]

铜包铝焊带的成本机会

部分项目中铜铝复合焊带材料成本较纯铜焊带降低50%以上。这个比例指焊带材料成本。 具体节省额按你的规格、采购价格、实际用量和良率核算。[R22]

锐创铜铝复合焊带已累计应用于超过50 GW组件。[R29]

成本比较需要给出分母。焊带成本下降50%，并不表示组件总成本下降50%；每GW节省多少，还取决于对应产量、实际焊带用量和组件输出。

要验证的五组数据

数据组	至少记录什么
材料	基材与镀后尺寸、铜比例、成品每米电阻、屈服或规定塑性延伸强度、伸长率
焊接	焊料成分、助焊剂、温度曲线、拉力或剥离方法、焊点一致性
生产	相同统计口径下的串焊速度、停机、断带、返工、碎片与合格率
组件	EL结果、功率分布、接触和串联电阻相关表现
可靠性	按产品和认证要求确定的热循环、湿热及其他适用试验，连同试验后电气与外观结果

MBB、SMBB、0BB、BC、HJT等名称不能单独确定焊带规格。先确认电池结构、互联方案、接触位置、工艺温度与设备，再选基材和镀层。细线或低温工艺尤其不能只沿用上一款产品的参数。

“镀锡”不自动等于纯锡、无铅或任意工艺都能焊。应写清实际焊料成分、厚度和环保要求。铜层厚度与焊料层厚度也要分开测、分开写。

每瓦成本的比较方法

焊带材料成本/瓦 = 每个合格组件对应的焊带材料成本 ÷ 该组件实际输出功率。

如果比较整块组件，就用同口径的全部组件成本作为分子，同时纳入良率、工艺变化和实际输出。不能用焊带降本额直接充当整组件每瓦降本比例。

同样地，某个项目中测得的功率差，不能直接写成所有组件固定损失多少瓦。使用同一电池批次、同一结构、同一测试条件的对照组，才有讨论价值。

组件设计变更应与认证机构确认复测范围。IEC TS 62915:2023提供与IEC 61215、IEC 61730相关的变更复测框架；通过设计鉴定也不能直接换算成某个确定的实际使用寿命。[R14][R15][R16]

11 公用事业与建筑线 有路线就按路线走

三个可以查到的公用事业例子

来源	可确认的内容	采购如何使用
ENEL GSCC014，01/2025修订	为意大利Type I-III部分低压同心电缆引入CCA同心中性导体；Type II/III仍要求铜均衡带	按具体型号、位置、导体电阻和项目文件开发
EPM ET-TD-ME01-18 Rev.2，2018	历史公开规范列出CCA同心接户电缆；CENS目录列为更新中	作为应用线索，向客户确认当前受控版本
Eskom 240-56063805 Rev.3，2022	部分CCAA低压接户及多芯低压控制电缆有试点或试用路径	按指定试点、项目尺寸与批准条件推进

开发具体项目时，按相应电力公司的型号、文件版本与批准程序执行。[R09][R10][R11][R12]

中压屏蔽线要算故障工况

屏蔽线不仅要看正常运行下的电阻，还可能承担故障电流。明确故障电流、切除时间、允许初末温度、屏蔽结构和接地连接，再做设计；不要直接套纯铜的短路热稳定常数。

假设客户要求20°C电阻率小于0.027 Ω·mm²/m，按100% IACS基准换算，应大于约63.86% IACS。这是一个给定技术条件的换算示例，不是所有电力公司的统一要求；验收仍以原始限值、测量不确定度和约定判定规则为准。

美国建筑线有配套要求

美国建筑线存在CCA合规路线，但普通裸CCA加上绝缘并不会自动获得使用资格。需要配套确认芯材、铜层、材料与成缆认证、线规、保护器件、端子，以及项目所在地采用的规范版本。[R07][R08]

其他市场同样从目标成品出发核查。符合材料标准、通过某项电阻测试、拥有质量管理体系证书，都不直接代替目标成品要求。

12 连接与环境决定材料能否长期工作

压接与螺接

确认连接器适用的材料、线规、实心或绞合结构、温度，以及工具、模具和安装参数。端子适用范围应以具体认证和制造商说明为依据；不要只凭外表面是铜作判断。[R07][R25]

试样时，除了初始电阻和拉脱力，还应按用途检查热循环或电流循环后的连接稳定性。需要抗氧化剂时，按连接器说明使用，不能擅自添加任何润滑剂或膏剂。

焊接与成形

先确认真正发生连接的是哪个表面、加工后铜层是否完整，以及热输入对基材和镀层的影响。能焊上一点，不代表批量焊接窗口已经确定。对焊、搭接、超声、电阻焊或激光焊，应按实际材料组合开发。

折弯时，把弯曲半径、方向、次数、速度和判定标准写清楚。软态伸长率较高，也不能直接证明高周往复弯折寿命。

潮湿与腐蚀

完整铜层可以改变外表面暴露条件，但切端、冲切边、划伤和进水部位仍需评价。存在电解质、铜铝接触和局部暴露时，要考虑电偶腐蚀相关风险，并通过适合环境的密封、连接或保护设计处理。[R26]

盐雾、湿热或浸泡试验应按用途选择。一个孤立的试验小时数，不能直接换算成户外使用多少年。

13 成本按每米 每件和合格产出来算

财务按公斤付款，产品按米工作。两边都得满意。

第一步 固定比较基准

比较路线	适合什么情况	重点看什么
保持尺寸	模具、卡槽或外形不能改变	电阻增加、温升和工作余量
保持直流电阻	允许增大截面	尺寸、质量、端子、绝缘及加工成本
重新设计部件	材料、形状或结构都有调整空间	完整产品性能与每个合格件成本

不要拿第一条路线的减重比例，配上第二条路线的电性能，再把两者写成同一个产品。

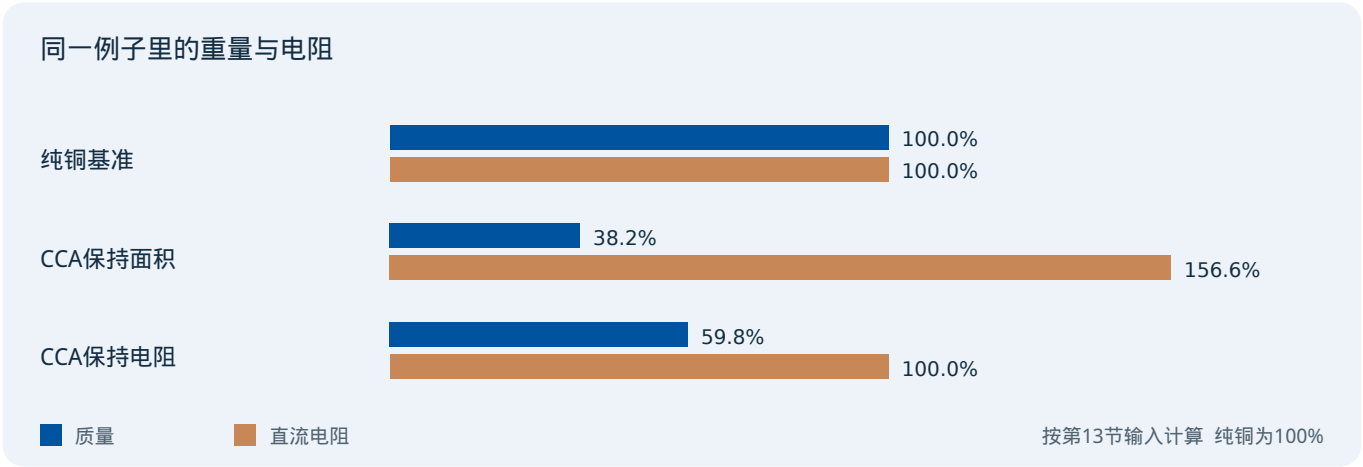
第二步 看一个可以复算的例子

比较1 km直线裸导体，20°C。假设纯铜面积2.50 mm²、电阻率0.017241 Ω·mm²/m、密度8.96 g/cm³；CCA电阻率0.027 Ω·mm²/m、密度3.42 g/cm³。这是一组独立教学输入，不对应前文理想配比表，也不是锐创某牌号的保证值。

项目	纯铜基准	CCA保持面积	CCA保持电阻
金属面积 mm²	2.500	2.500	3.915
单根电阻 Ω/km	6.896	10.800	6.896
质量 kg/km	22.400	8.550	13.390
相对纯铜减重	基准	61.8%	40.2%
圆线直径变化	基准	不变	增加约25.1%

把实际成品材料报价填入，纯铜为P铜、CCA为P复合，单位均为同一货币/kg，税费与交付条件一致。每公里材料费分别为：22.400×P铜、8.550×P复合、13.390×P复合。

这个例子说明，即使每公斤报价相同，保持电阻的CCA方案仍因用量较轻，使导体材料采购费下降约40.2%。实际项目按对应规格的报价与质量重新计算，并纳入下面的配套成本。



第三步 把其他账算进去

成本项	怎么取数
材料采购	成品材料单价×实际购入质量；同币种、同税费、同交付条件
良率与损耗	采用真实试产的投入量、合格产出和废料回收值
客户加工	速度、断线、停机、人工、焊接、返工
配套材料	绝缘、护套、端子、焊料、胶、密封件等增减量
一次性投入	模具、设备调整、验证和认证，按预计有效产量摊销
物流与资金	运输、包装、库存与付款条件的真实变化
使用阶段	适用时比较电损耗、维护和更换，使用相同工况与期间

每个合格件的净材料成本 = (投入材料费 - 可回收废料价值) ÷ 合格件数量。

某项费用未知，就保留为待核项；“不知道”与“零费用”是不同的数字。

金属价加加工费的报价怎么读

如果报价采用铜、铝金属价加加工费，应按质量分数加权，并写清金属价来源、日期或点价规则、币种、税口径、损耗与加工费包含项目。体积分数不能直接拿来乘每吨金属价。

镀层、特殊包装和额外加工是否包含，也要确认。只有把同一口径的成品价格与实际用量放在一起，比较才成立。

14 从试样到量产 让一次试验解决一个问题

先冻结一张基准卡

记录现用铜材规格、图纸、实际电阻、加工参数、合格率和当前成本。没有基准，很容易把设备状态变化当成新材料效果。

再按四步推进

1. 纸面筛选。 确认允许使用的材料、尺寸空间、电阻目标、连接方式和目标市场，选少量有明确差异的方案。

2. 材料试样。 验尺寸、电阻、铜层和力学性能；让样品批号对应检验报告。

3. 真实工艺试产。 使用计划量产的设备、端子、焊料和操作条件，记录速度、缺陷、良率与产品性能。

4. 确认并放量。 完成适用的可靠性与批准工作，冻结图纸、检验项目、包装及变更通知要求，再安排量产。

样品阶段提前约定通过条件。试验结果应告诉你"哪个指标通过，哪个需要调整"，而不是只有一句"感觉还行"。

供应商的免费样品很有用，但它只是试验材料。真正值得购买的是之后每一批都能重复交付的能力。

15 验货清单 把颜色放在最后

以下是建立验收协议的框架。限值、抽样与频次应来自适用标准和双方确认的技术条件，不能把示例清单当作统一强制标准。

项目	怎么检查	报告至少写什么
身份与追溯	标签、订单、卷号和批号相互核对	材料、规格、状态、批次、交付数量
尺寸	按约定位置测径或测宽厚	实测值、公差、镀前或镀后、仪器与取样
直流电阻	合适的四线法或规定方法，控制长度和温度	原始电阻、长度、温度、换算依据和单位
铜比例与铜层	金相截面图像分析，必要时采用约定成分方法	比例口径、标尺、位置、最薄点与平均值
界面与连续性	适合产品形态的截面、弯折、扭转、剥离或剪切试验	方法、载荷或几何条件、判据与结果
力学	拉伸与适用的成形试验	抗拉强度、伸长率、标距，必要时Rp0.2
镀层	成分、厚度与覆盖检查	基材和镀层分别标识、局部或平均厚度
表面与边部	检查划伤、裂纹、毛刺、污物及露芯位置	缺陷位置、尺寸及约定允许情况
实际连接	用量产连接方法制作接头	初始和规定老化后的电阻、强度或温升
卷装与数量	称重、卷长、芯筒和放线检查	净重、皮重、长度、接头及绕向

几个特别容易误判的地方

手持仪器测到表面是铜，不代表整根都是铜，也不能单独证明总体铜比例。 表面成分分析与整个截面比例分析是不同任务。

只称重量，无法单独确认铜含量。 长度、截面、镀层、盘具和芯材都会影响结果。称重适合做交叉核对。

磁铁通常不能区分纯铜和铜包铝。 不吸磁，不等于纯铜。

漂亮的截面照片，只证明那个取样位置。 新供应商、变更后的产品和重要批次，应约定有代表性的取样。是否需要卷头、卷中、卷尾或不同卷样，应与生产方式和风险相匹配。

型式验证与日常放行可以分开。并非每卷都重复全部长期试验，但量产检验必须能发现影响交付的变化。

电阻测量需要控制温度，换算到20°C时采用适合该材料及方法的修正依据，不能把纯铜的温度系数直接套给所有复合产品。ASTM B193-25提供金属导体电阻率测量方法。[R28]

表面涡流电导率读数与整段导体的纵向直流电阻是不同测量；用于多层复合材料时，应先确认方法适用性。

16 全球采购 文件和交付也要选对

把四层要求分开

层次	它回答的问题
材料标准或技术协议	这一批线、带或箔本身要满足什么
成品标准与认证	做成电缆、组件或部件之后要满足什么
市场和安装规定	产品在目的地如何销售、安装和使用
客户或项目规范	这个客户的具体型号、版本和验收要求是什么

ASTM B566适用于其规定的裸圆线类别。中国GB/T 29197-2012《铜包铝线》在官方平台列为现行。IEC 60228:2023公开范围列出铜、铝和铝合金等导体要求，不能仅凭CCA电阻达到某项限值，就据此宣称整个产品符合该标准。[R01][R02][R06]

对于标准、团标和专利，分别看正式编号、版本、范围及文件状态。征求意见稿不等于已发布标准；拥有专利不等于获得产品认证；质量体系证书也不直接证明某个牌号已经通过客户应用验证。

订单至少明确这些商业条件

规格书与图纸版本、数量计量方式、单卷净重或连续长度、是否允许接头及其标识、包装、交期、币种、税费、价格有效期与金属点价规则。

接头要求先服从适用标准。按ASTM B566交付的成品裸圆线不得含接头或拼接；其他产品形态按相应标准和技术协议确认，不能用订单中的“允许接头”覆盖相应的交付要求。[R01]

国际订单还应写明交货术语及指定地点、运输与保险责任、目的地要求、所需单证，以及质量异议的证据和处理方式。不同交货条件下的数字，不能直接当作同一价格比较。

英制与公制混用时，写明主控单位及换算关系。AWG表示几何线规，不能自动表示电阻等效；CuEq必须说明等效的具体指标和基准。小写mΩ与大写MΩ相差十亿倍，字体虽小，误会很大。

收货和储存

检查包装是否受潮、破损或盘具变形；在清洁、干燥、避免腐蚀性介质的条件下存放，防止铜层被划伤。冷料进入温暖潮湿车间时，按包装与工艺要求处理冷凝问题。

焊接用途按供应商说明控制储存条件、开封管理和使用期限。若已氧化或受污染，不应自行用未经验证的酸洗、研磨或强清洗办法恢复表面，以免损伤薄铜层或镀层。

保留标签和批次对应关系。发生异常时先隔离相关卷，保留原始包装、样品和加工记录，再共同确认原因。

减铜 减重与减碳要分别证明

铜包铝可以通过结构设计减少铜用量，但减铜百分比不等于减碳百分比。碳足迹还与原料来源、再生比例、冶炼电力、加工、运输和使用阶段有关。需要环境声明时，用实际生命周期边界和数据比较。

废料应清楚标识为铜铝复合材料，并与纯铜、纯铝废料分别管理；回收价值按回收商对实际材料的报价核算，不按纯铜废料价格预填。

17 可以直接复制的询价清单

第一次联系，不需要填满所有格子。先发用途、现用规格或图纸、目标市场和大致用量，就可以开始沟通。 下面的详细项目在选型过程中逐步补齐。

字段	填写内容
用途与部件位置	最终产品、材料承担的功能
目标市场与客户要求	国家、项目、适用标准及版本
现用材料	纯铜、铝或已有复合材料；现用牌号与状态
当前尺寸	圆线直径，或厚×宽；公差、圆角和边部
不可改变的条件	空间、端子、模具、电阻、温升或其他条件
候选材料	CCA或指定合金芯；未知可由锐创协助比较
铜比例	vol.%优先；若用wt.%须注明，写清基材或镀后口径
电气要求	20°C电阻或电阻率；实际工作电流、频率和长度
力学与加工	软硬状态、拉伸要求、弯折、冲压、拉拔等
表面与连接	裸材、镀层成分与厚度；焊接、压接或接触方法
环境与验证	温度、潮湿、介质、运动工况、试验要求
数量与包装	试样量、月用量、连续卷长、盘具、是否允许接头
商业条件	交付地点、币种、交货条件与计划时间
所需文件	规格书、批次报告、符合性文件及其他客户要求

询价示例

我们目前使用0.20×2.00 mm纯铜带，用于设备内部导电连接片，采用冲压后压接。宽度不能增加，厚度允许调整；请比较达到现有直流电阻要求的CCA方案。产品销往德国，具体成品标准随图纸提供。预计每月使用300,000 m，请提供推荐结构、试样安排、成品尺寸、电阻、铜层与边部说明、包装和同交货条件的报价。

以上是填写示例，不是现成的材料替代结论。

18 采购会议上最值得纠正的十句话

容易说出口的话	应该怎样理解
外面是铜，所以性能和铜一样	外表面、整个截面和接头各有作用，按具体指标比较
含铜30%，大家都懂	先写wt.%还是vol.%
更轻，所以一定更便宜	用实际价格和每米或每个合格件成本计算
电阻一样，载流量就一样	还要看散热、绝缘、安装和连接
铜比例合格，铜层就一定均匀	最薄点与边部需要独立确认
软态好弯，所以耐反复弯折	一次成形能力与疲劳寿命不是同一个指标
镀锡就是无铅	看实际镀层成分与适用要求
测试仪通过，认证就通过	测试项目与材料、成品和安装符合性分别核查
某电力公司用了，所以全球能用	按具体地区、位置、结构和项目文件判断
材料省50%，产品就省50%	写明成本分母，保留工艺、良率与配套成本

19 常用公式与中英文术语

公式查用

以下用于初步工程计算。圆线与矩形近似应符合实际结构；实际绞合、镀层、圆角、路径和温度按产品修正。

用途	公式与单位
圆线面积	$A = \pi D^2/4$；D用mm，A为mm^2
近似矩形面积	$A \approx W \times T$；有明显圆角或异形时按真实面积
单根直流电阻	$R = \rho_e L/A$；ρ_e为$\Omega \cdot mm^2/m$，L为m，R为Ω
每公里质量	$M = d_m A$；d_m为g/cm^3，A为mm^2，M为kg/km
每米材料费	$C = pM/1000$；p为货币单位/kg
等电阻面积	$A_{新} = A_{铜} \times \rho_{e新}/\rho_{e铜}$；相同长度与温度
直流两线回路压降	$\Delta U \approx 2IL\rho_e/A$；L为单程长度，去回导体相同
导体发热	$P = I^2R$；采用实际工作温度下对应导体或回路电阻
导电率换算	$\%IACS = 0.017241/\rho_{20} \times 100$

铜体积比f与质量比w都用小数，例如15%输入0.15；dCu与dAl是质量密度：

d复合 = f×dCu + (1-f)×dAl

w = f×dCu ÷ [f×dCu + (1-f)×dAl]

f = (w/dCu) ÷ [(w/dCu) + (1-w)/dAl]

对满足前文假设的理想轴向导电模型：

σ复合 = f×σCu + (1-f)×σAl

因此电阻率应取加权电导率的倒数，不能直接把两种金属电阻率按体积比做算术平均。

这些简单式子用于均匀直线材。绞合导体的股线路径更长，应计入实际结构；多路径的电阻按导电通道计算，不能随意套一个平均绞入系数。

常用术语

中文	英文
铜包铝	Copper-clad aluminum / aluminium，CCA
铜包铝合金	Copper-clad aluminum alloy，CCAA
铜体积分数 / 质量分数	Copper volume fraction / mass fraction
基材 / 镀后成品	Substrate / coated finished product
退火态 / 硬拉态	Annealed / hard-drawn
铜层最小厚度	Minimum copper-cladding thickness
电阻率 / 电阻	Resistivity / resistance
导电率 / 载流量	Conductivity / ampacity
屈服 / 规定塑性延伸强度	Yield strength / proof strength
绞合 / 紧压	Stranded / compacted
材料数据表 / 批次检验报告	Technical data sheet / lot inspection report
询价 / 变更批准	Request for quotation，RFQ / change approval

20 带着现用规格 找到下一种选择

锐创提供铜包铝与指定合金芯复合导体、精密扁线、带、箔和铜铝复合光伏焊带。选型从你的产品出发：先明确必须满足的性能，再比较结构、重量、工艺与成本。[R17][R18][R19][R20]

你可以带来一张图纸、一段样线，或者一句具体的问题：这款太重、每米成本太高、空间太紧，还是焊接和成形不够稳定。我们把问题逐项变成可以测、可以算、可以试的参数。

发给锐创：用途、现用规格或图纸、目标市场、大致用量。

网站：www.raytron.group

联系：材料选型与询价

Engineering Every Micron.

参考资料

标准及公开网页核查日期：2026年11月5日。文件版本与适用范围在相关章节标明；订单采用双方确认的受控技术文件。

[R01] ASTM International. ASTM B566-04a(2025). 官方摘要及适用范围，裸圆铜包铝线。

[R02] 国家标准全文公开系统. GB/T 29197-2012 铜包铝线. 官方标准状态。

[R03] Copper Information Center. How does copper set the standard for electrical conductivity. IACS基准与铝的参考导电率。

[R04] NIST. Material composition Copper. 铜参考密度。

[R05] NIST. Material composition Aluminum. 铝参考密度。

[R06] IEC. IEC 60228:2023. 电缆导体标准公开范围。

[R07] UL Solutions. Wire and Cable Application Guide. 产品类别、标识及使用范围。

[R08] NFPA. NFPA 70 National Electrical Code. 标准版本入口；项目须核对当地采用版及完整要求。

[R09] ENEL. GSCC014 Rev.00及01/2025修订. 修订说明与§5.5，意大利指定低压同心结构。

[R10] EPM. ET-TD-ME01-18 Rev.2. 2018年历史公开同心接户电缆规范。

[R11] CENS. Especificaciones técnicas. 当前公开目录与更新状态。

[R12] Eskom. 240-56063805 Rev.3. 2022，§3.2.1(c)，指定试点或试用路径。

[R13] Fluke Networks. Application Note Copper Clad Aluminum Cables. 通信线测试与材料符合性；其中历史标准编号不作为当前版本引用。

[R14] IEC. IEC 61215-1:2021. 光伏组件设计鉴定与型式批准。

[R15] IEC. IEC 61730-1:2023. 光伏组件安全要求。

[R16] IEC. IEC TS 62915:2023. 组件变更复测；页面包含2024年勘误信息。

[R17] Raytron. Copper-Clad Aluminum Conductors. 当前公开产品形态与参考范围。

[R18] Raytron. Precision Copper-Clad Aluminum Strip. 带材宽度与交付截面、边部要求。

[R19] Raytron. Precision Copper-Clad Aluminum Foil. 窄箔范围与材料结构。

[R20] Raytron. Copper-Aluminum Composite PV Ribbon. 光伏互联材料及选型输入。

[R21] Raytron. How Raytron Produces Clad Conductors. 制造路线与检验关注点。

[R22] Raytron. 索比光伏网. 复合焊带 2026年组件非硅降本的黑科技. 2026-06-10。

[R23] HARADA. History. 2008年CCA同轴电缆开发记录。

[R24] Chen and Hwang. Effect of Annealing on the Interfacial Structure of Aluminum-Copper Joints. Materials Transactions 2007, 48(7), 1938-1947；铜铝界面热历史研究，不作为通用生产参数。

[R25] UL Standards & Engagement. UL 486A-486B Wire Connectors. 连接器适用范围以具体标准、认证及制造商说明为准。

[R26] U.S. Department of Energy. Managing and Mitigating Solar PV Corrosion. 异种金属、电解质与电偶腐蚀机制；不用于推算CCA产品寿命。

[R27] Kopanski et al., NIST. Scanning Probe Microscopes for Subsurface Imaging. ECS Transactions 2014；集肤深度公式及数量级参考。

[R28] ASTM International. ASTM B193-25. 金属导体材料电阻率测量的公开说明与范围。

[R29] 锐创. 铜铝复合焊带应用资料，2026年11月。累计应用超过50 GW组件。

[R30] 锐创. CCA网线导体与电缆屏蔽带应用资料，2026年11月5日。CCA导体已在CAT 5e / CAT 6网线中大规模应用；铜包铝带已开始用于替代电缆屏蔽铜带。具体项目按约定规格和成缆要求验收。

文中的比例、几何与成本表为按已列输入独立计算的教学示例；应用试验、验收与采购流程为工程建议。