

铜产业链的脱碳挑战

五矿证券研究所首席分析师 王小芑

五矿证券研究所高级分析师 于柏寒

一、铜在绿色脱碳进程中不可替代性

2020 年全球采矿业碳排放总量，已相当于 2050 年全球实现净零排放所需的整个碳预算。2020 年铜产业碳排放约 0.89 亿吨，占比全球碳排的 0.26%。2023 年中国有色金属行业碳排放 6.72 亿吨，占比全国碳排放约 5%。其中中国铜行业碳排放 0.28 亿吨，占比有色约 4.2%。

铜产业链在全球绿色转型中既是重要支撑者，也是高碳排放行业之一。一方面，铜作为能源、电力、交通及制造业脱碳过程中不可替代的基础金属，其导电、导热与可回收特性决定了在构建低碳能源体系中将扮演关键角色；另一方面，铜产业自身的开采、冶炼及加工环节仍存在较高碳排放与能耗，脱碳压力不容忽视。因此，在“双碳”目标约束下，如何在支撑全球电气化进程的同时实现自身绿色转型，成为铜产业未来发展的核心命题。

（一）电气化进程几乎为绿色脱碳的主战场

全球碳排放的 70%以上来源于能源系统，脱碳实质上是一个能源结构转型过程。要实现“全球升温不超过 2°C”的目标，脱碳的四大核心领域包括：电力系统脱碳、交通运输电动化、工业制造减碳及建筑与终端能效等。其中，主要的代表技术包括光伏、风电、储能、电网数字化、电动汽车、

充电设施等。而铜作为目前主要导电金属，其在绿色脱碳中扮演核心角色。

图 1：能源领域碳排结构：能源电力、交通、工业制造的占比最大

领域 (碳排占比)	可行的脱碳路径	代表技术/措施
能源与电力系统 (42%)	从煤炭/天然气转向风电、光伏、核电等零碳电源；电网智能化	可再生能源、电网升级、储能、智能电网建设
交通运输 (22%)	电动化、氢能燃料、公共交通化	电动车、充电网络、氢能燃料替代
工业制造 (24%)	电气化、低碳材料（绿色钢铁、再生金属）、工艺改造	电解冶炼、氢冶金、水泥替代
建筑与居民用能 (8%)	能效提升、电气化、热泵系统	电热泵、智能建筑、分布式光伏

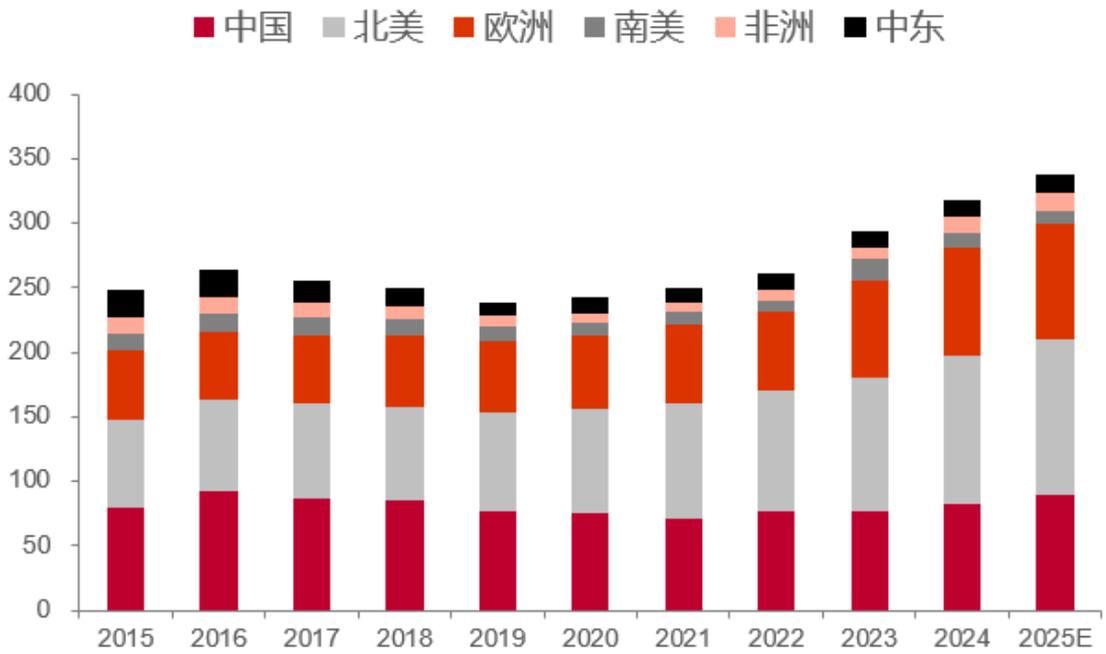
数据来源：IEA，五矿证券研究所

（二）电气化主线：电网建设的关键材料，2050 年需求拉动翻倍

铜具有高导电性、高导热性与良好可塑性，是所有电气系统中传输与储能的基础金属。铜导线和电缆用于发电、输电、配电系统，占全球铜消费的 20%以上。全球电力有望在 2050 年实现铜的需求翻倍以上增长。

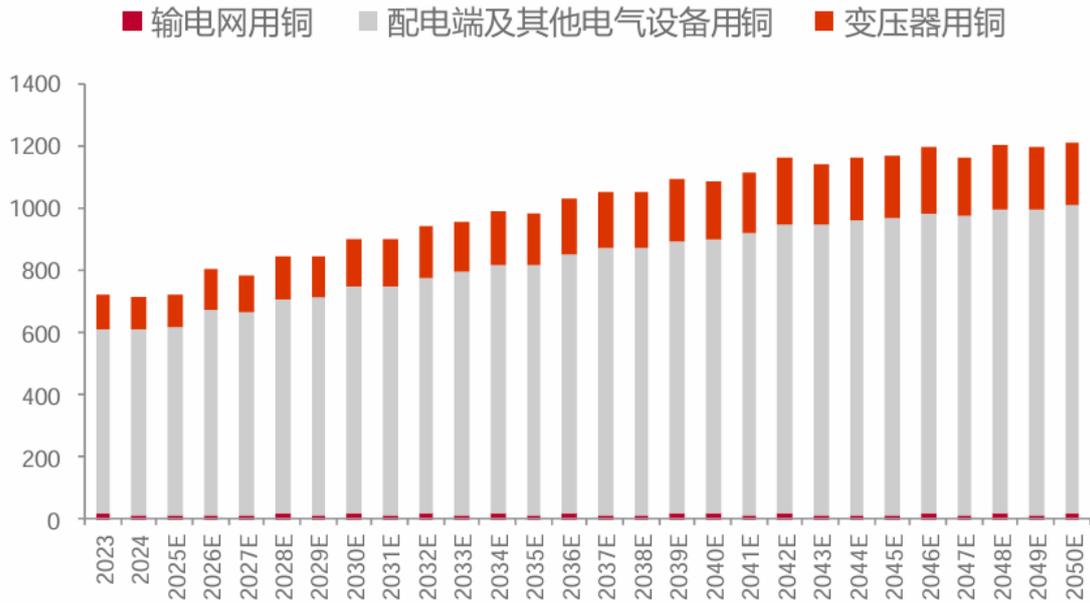
电力需求的增长来源于电网的扩张和加固。我们预计，翻新、终端用户的早期电气化和可再生能源的渗透助力电网投资；而电网扩张和输电升级将成为铜需求主要来源。

图 2：2024 年全球电网投资同比+9%



数据来源: IEA, 五矿证券研究所

图 3: 电网对铜需求拉动 (万吨)



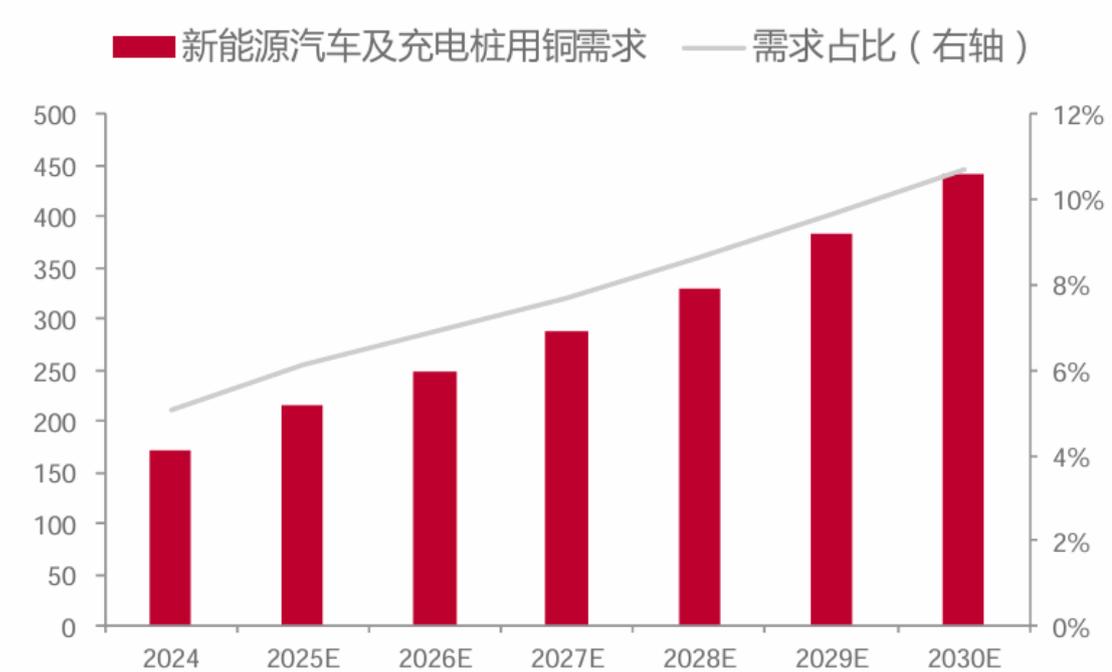
数据来源: IEA, SMM, 《Projected material requirements for the global electricity infrastructure - generation, transmission and storage》, 五矿证券研究所

(三) 新能源主线: 新能源革命的核心支撑

交通领域: 电动车用铜量约为传统燃油车的 2.5 倍左右, 2025 年新能源汽车与充电桩的用铜需求约为 210 万吨左右, 需求占比 6% 左右。随着新能源汽车渗透率的持续提升, 拉动用铜需求增长, 预计 2030 年交通领域需求占比将提升至 11%。

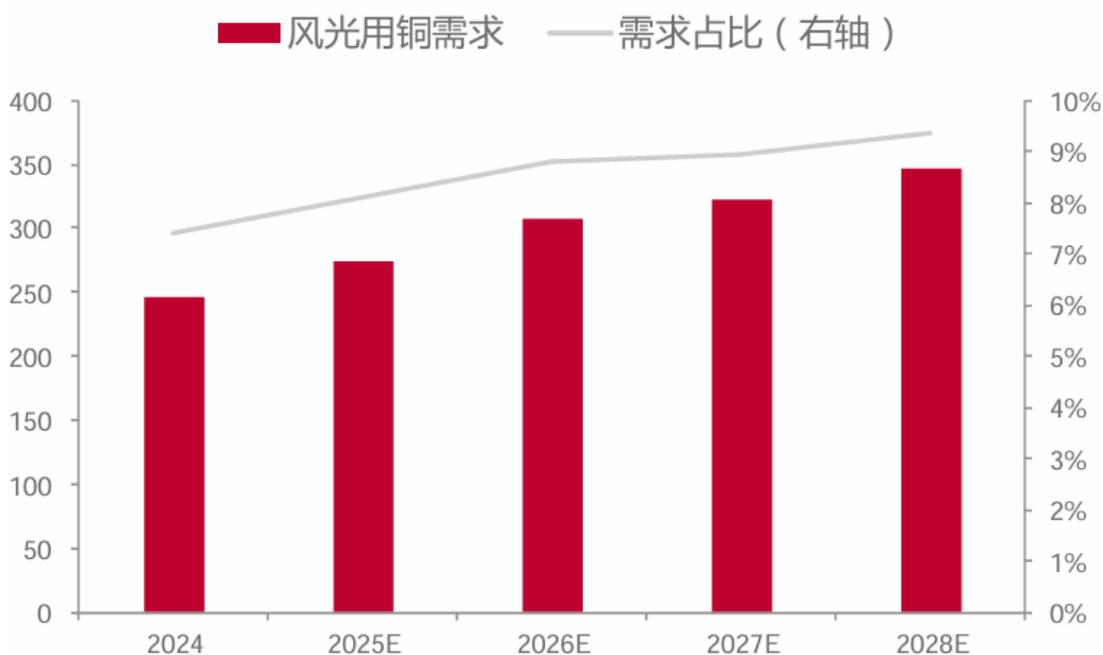
新能源发电领域：风光、储能等系统均以铜为关键导体。虽然光伏单耗用铜量近几年有下滑趋势（铝代铜），但风力和储能仍将拉动用铜需求，我们预计未来3年，风光用铜需求占比在8-10%左右。

图 4：新能源汽车用铜需求（万吨）



数据来源：S&P、Wind，五矿证券研究

图 5：风光用铜需求（万吨）



数据来源：S&P、Wind，五矿证券研究

二、铜供应体系的结构性挑战与 2° C 目标的冲突

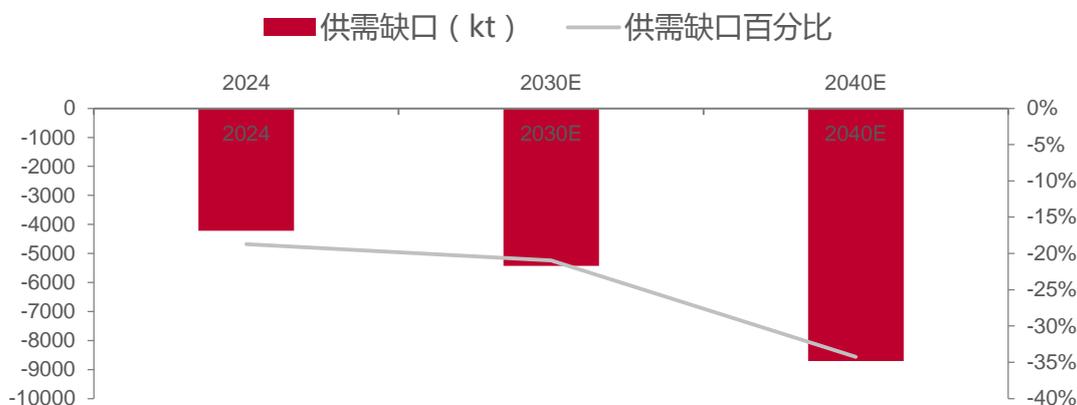
(一) 铜供应体系的结构性问题将持续

铜矿面临资源集中度在海外、矿山品位下降、投资周期长、ESG 约束等问题：从资源分布来看，前三大矿山国（智利、秘鲁、刚果（金））贡献全球产量的近 50%。据彭博 NEF 报道，铜矿品位从 1900 年的 2.0% 下降到 2020 年的 0.7%，预计到 2030 年将达到 0.5%，铜矿品位下滑成为趋势。除此之外，新矿开发周期约为 15 年以上，资本回收期长。铜矿面临较强供给约束。

铜将迎来超过 30% 的供需缺口。据 IEA，基于现有及已宣布的铜矿开采项目规划，在既定政策情景下，2035 年铜供应缺口将达到 30%。在已宣布承诺情景（APS）和净零排放情景（NZE）下，2035 年的供应缺口将分别扩大至 35% 和 40% 以上。即便在高产量情景下，2035 年既定政策情景中的铜供应缺口仍将达到 20%。由于我国铜矿

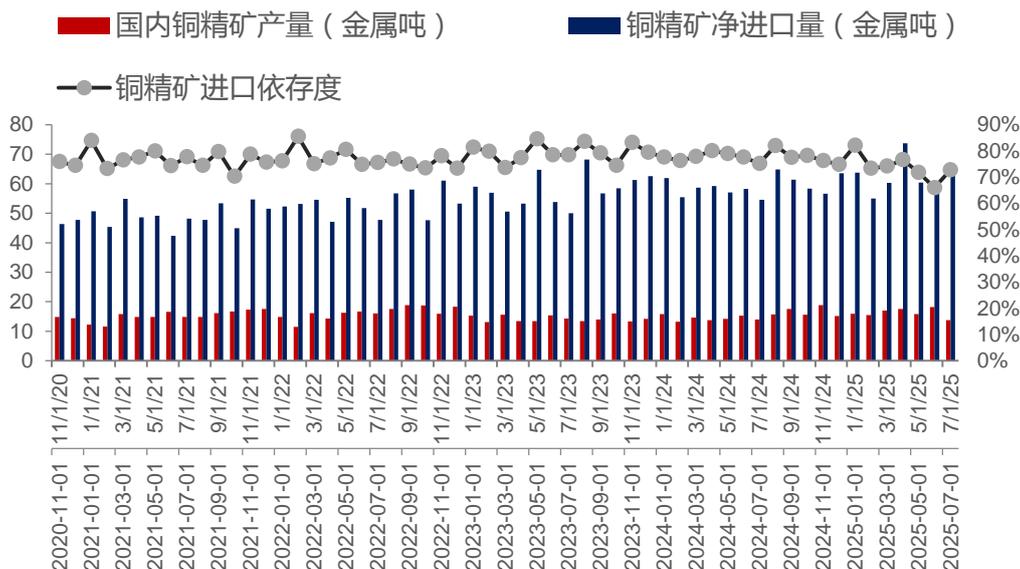
对外依存度高于 70%，或面临的情况更甚。

图 6：远期铜矿将迎来 30%以上缺口



数据来源：IEA，五矿证券研究所（基于现有及已宣布的铜矿开采项目规划、在既定政策情景下）

图 7：中国铜精矿对外依存度高于 70%



数据来源：彭博、SMM，五矿证券研究所

（二）铜产业链脱碳仍然面临很大挑战

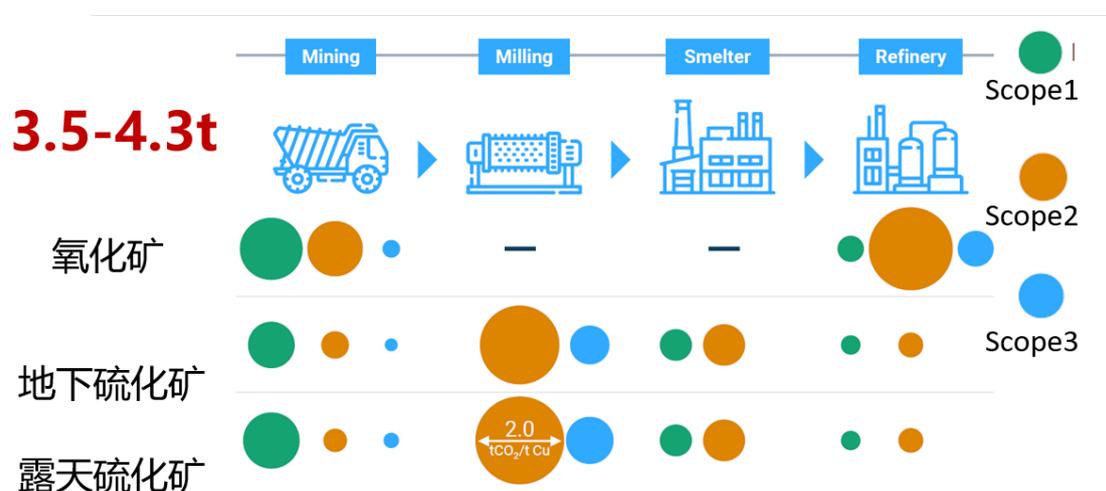
开采环节碳排有所下降，但水资源与尾矿仍存问题：2024 年全球精炼铜碳排约 1.1 亿吨，可再生能源带来原生铜碳排总量开始下行，但仍面临水资源与尾矿污染等问题。如拉美地区环保抗议频发。

选矿和精炼环节是产业链减排的核心矛盾：每生产 1 吨精炼铜全排放 3.5–4.3 吨 CO_2 ，其中采矿环节合计占比约 70%，冶炼环节中能

源消耗占总成本 30%。为满足 2°C 铜需求的大幅增长，铜冶炼必须加快绿色化，否则脱碳进程将被增长带来高排放阻碍。多个国家和企业针对冶炼的相关政策，如对现有技术和设备的升级改造，从严控制铜冶炼新增产能等。

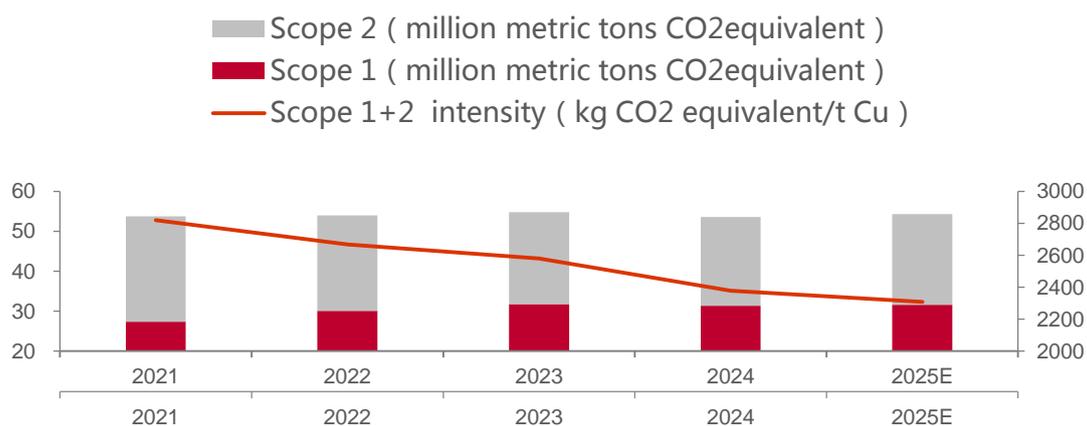
再生铜比例仍需大幅提升：2024 年全球再生铜占比仅有 21%，远低于碳中和所需的 50% 水平。

图 8：不铜原料原生铜完全碳排放仍在 3.5-4 吨左右



数据来源：IFC Net zero roadmap to 2050，五矿证券研究所

图 9：不铜原料原生铜完全碳排放仍在 3.5-4 吨左右



数据来源：S&P, 五矿证券研究所 注：Scope 1: 矿企在自身运营过程中直接产生的温室气体排放；Scope 2: 矿企从外部购买的电力、蒸汽、热能、制冷等所导致的间接排放

三、铜的绿色转型路径与战略启示

(一) 铜矿开发关注能源、选矿、运输、尾矿四个方面

从能源端看，矿山作业高度依赖电力，因而使用可再生能源是削减间接排放（Scope 2）最有效的途径。企业正通过与大型风电、光伏项目签订长期购电协议、自建清洁能源设施及配置储能系统，实现供能脱碳，如 Escondida 与 Kamoā 铜矿即为代表，但该路径受高投入与区域资源限制约束。

从工艺端看，选矿环节能耗占比高，通过“矿石预分选（Sensor-Based Sorting）”和“高压研磨（HPGR）”技术可降低能耗 15% - 30%，典型案例包括智利 Los Bronces 铜矿，但其技术适配性受矿石性质影响较大。

运输环节的脱碳以设备电气化为主，采用纯电动矿卡与氢燃料电池矿卡可显著降低直接排放（Scope 1），如蒙古 Oyu Tolgoi 与刚果 TFM 矿区已率先应用，但受制于电池技术与基础设施成本。

尾矿处理环节的减排潜力在于“尾矿充填”与“尾矿碳化”，前者有助于减少地表储量、恢复生态空间，后者通过与 CO₂ 反应形成稳定碳酸盐矿物实现碳汇封存，如紫金山铜矿已有试点，但碳化工艺成本仍高。

总体来看，铜矿脱碳路径正由能源替代向工艺节能、电气化与碳封存并行推进，形成“可再生能源使用—选矿优化—运输电气化—尾矿碳化”一体化的绿色转型路线，但高成本、技术成熟度与区域配套条件仍是主要制约因素。

（二）铜冶炼可以从源头、过程、循环与再生铜四个方面关注

源头脱碳方面，重点在于通过原料优化、清洁能源替代

和燃料转型来降低直接与间接排放，具体包括优先采购低毒害铜精矿、采用绿电 PPA 或自建清洁电力、以天然气或氢气替代燃油，如五矿铜业和西南铜业即在推进此类项目，但需注意高投入成本与区域资源约束。

过程脱碳则通过技术升级与能效提升实现节能 20% - 30%，包括采用氨冶金、连续吹炼等先进铜精炼技术，缩短冶炼流程、推广余热循环利用等，如铜陵金冠、紫金铜业等企业均已布局。

循环利用环节通过“固废资源化”与“智能减排”实现经济与环保双效提升，如将冶炼废渣回收再用、建设智能排放监控体系和 LIBS 激光分析系统，典型案例包括江西贵溪冶炼厂。

再生铜环节则被视为实现全行业碳减排的终极路径，通过提高再生原料占比与政策激励，可使冶炼碳排放降低 70% 以上，目前西南铜业已积极布局再生铜生产。

总体而言，铜冶炼脱碳路径正形成以“源头—过程—循环—再生”为核心的闭环体系，但在高成本、技术适配与原料标准体系上仍面临显著挑战。

（三）政策与产业协同——全球低碳铜溢价认证标准执行

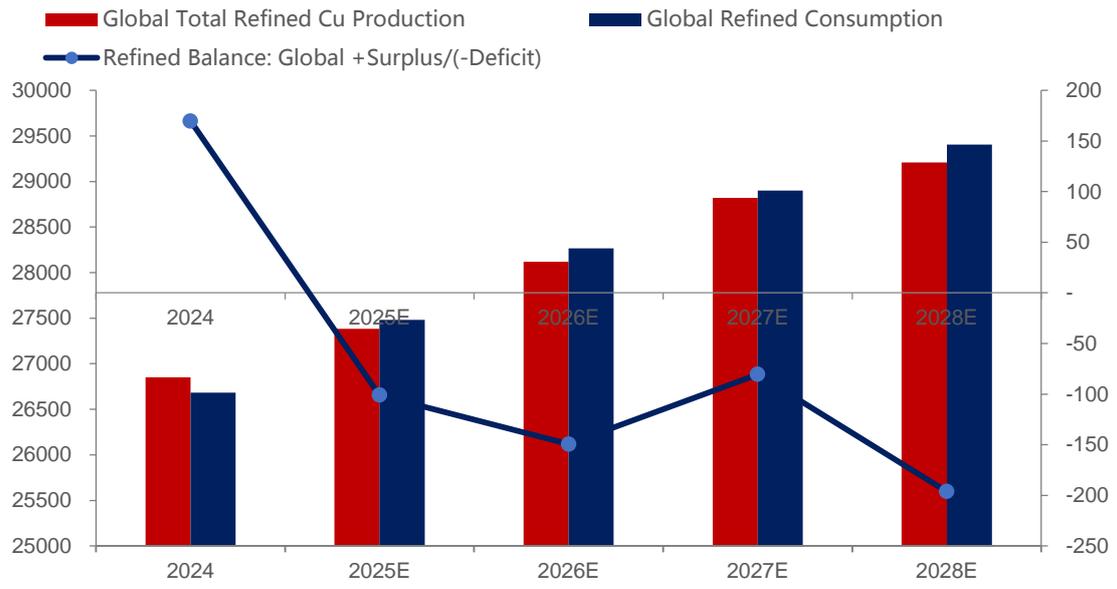
铜产业的绿色转型正从企业自发行动转向政策引导与产业协同，全球低碳铜定价与认证标准体系正在加速构建。国际上，欧盟已启动“绿色金属认证体系”，伦敦金属交易所（LME）则探索“可持续金属”溢价定价机制，推动将碳

排放和可持续性纳入铜产品的交易体系。根据 LME 标准，品牌生产商须满足碳足迹 ≤ 5 吨 CO₂/吨铜(按国际铜业协会 ICA 碳足迹方法计算)的要求，并通过第三方可持续性认证体系——“The Copper Mark”审核；合格企业的信息需在 LME Passport 平台披露，同时还可通过 MetalsHub 平台（LME 战略合作方）注册交易，享受低碳铜带来的价格溢价。国内方面，《“十四五”有色金属工业规划》与《有色金属碳达峰实施方案》明确提出，到 2025 年再生铜占比达 24%，到 2030 年再生铜产量可能达到 1200 万吨。

（四）2°C 目标下，铜价中枢将持续上行

展望未来，铜有望成为绿色竞争新焦点，“低碳铜”或也可具备结构性溢价。我们认为，铜价中枢长期看稳中上行，绿色铜企业估值或也将高于传统冶炼。近几年铜矿干扰率提升，在铜矿品位下滑导致铜产量增速难言乐观，在目前铜矿产量规划下，我们认为随着铜供需缺口逐步扩大，有望支持中长期的铜价中枢。

图 10：铜供需平衡表 (kt)



数据来源: S&P, SMM, 五矿证券研究所