

“双碳”背景下 有色冶金工业发展趋势*

有色金属技术经济研究院院长 林如海



2020年9月22日，国家主席习近平在第75届联合国大会一般性辩论上向全球做出我国“二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和”的重大承诺。“双碳”目标是中国积极应对全球气候变化、推动构建人类命运共同体的必担之责，也是新时代中国推动经济发展方式绿色转型、实现可持续发展的一项重要战略决策。

有色冶金工业是国民经济和国防建设的重要基础原材料产业。有色冶金工业发展水平能反映出国家工业化发展水平。在“双碳”背景下，有色冶金工业的绿色发展能够创新产业可持续发

展模式，突破资源、能源、环境等多重制约因素，是中国有色冶金工业未来发展的必经之路。

一、有色冶金工业是国民经济的基础产业，也是碳排放较多的工业领域之一

有色冶金工业是中国国民经济的基础产业，为典型的能源、技术、资金密集型产业。2020年中国主要有色金属产量达到6,168万吨，超过世界其他国家和地区的总产量，其中电解铝产量为3,730万吨，精炼铜产量为1,002万吨，分别占全球总产量的57%和43%。

有色冶金工业也是中国碳排放较多的工业领域之一。2020年有色金属行业二氧化碳总排放量达到6.99亿吨，约占我国二氧化碳总排放量的7%（图1）。其中，冶炼环节二氧化碳排放量为6.18亿吨，占比88.5%，是最大的排放领域；有色金属加工业排放为0.71亿吨，占比10.1%，居第二位；有色金属采选业排放仅为0.10亿吨，占比1.4%（图2）。分品种看，铝行业排放为5.60亿吨，居第一位，在有色金属行业中占比80.1%，主要来自铝冶炼（含电解铝、氧化铝、再生铝）行业的二氧化碳排放，为5.28亿吨。

二、有色冶金工业的排放环节和排放源

有色冶金工业碳排放包括四个方面：一是燃

* 本文根据作者在第十九届上海衍生品市场论坛有色论坛上的演讲内容整理。

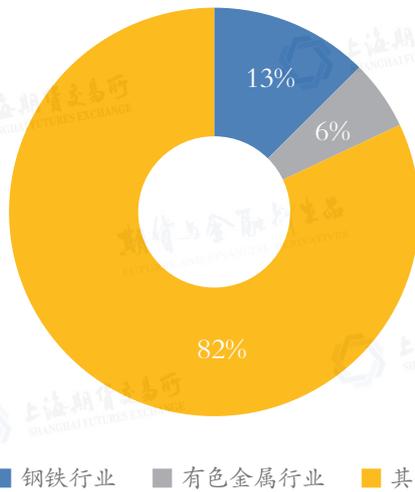


图 1：2020 年我国钢铁及有色行业二氧化碳排放占比情况

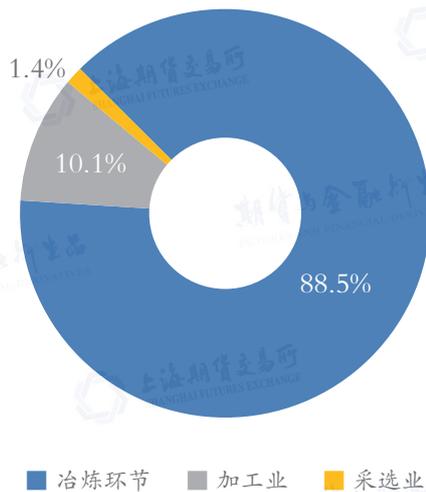


图 2：2020 年我国有色冶金工业二氧化碳排放占比情况

料燃烧排放，有色冶金工业有大量的各种类型的固定或移动的燃烧设备（如锅炉、窑炉、内燃机等），煤炭、燃气、油料等燃料在其中与氧气充分燃烧，产生二氧化碳排放；二是能源作为原材料用途的排放，因为其本身也是优质的碳质还原剂；三是有色冶金工业生产过程当中的排放，包括有色冶金过程当中大量反应产生的一些温室气体，以及有些电极的燃烧产生的温室气体；四是净购入的电力、热力消费产生的排放。

三、中国有色冶金工业的现状

有色金属品种多，分重金属如铜、铅、锌、

镍等；轻金属如铝、镁、钛等；贵金属如金、银、铂、钯等；稀有金属如钨、钼、硅等。其中，中国的铝、铜、锌、铅、硅、镍等产量比较大。

（一）铝行业的生产现状和特点

中国的铝土矿资源相对比较贫乏且禀赋不佳。截至 2019 年底，中国铝土矿的储量仅 5.5 亿吨，占全球总量 2%。但中国的开采强度较高，截至 2020 年底，中国氧化铝年产能是 8,915 万吨，年产量是 7,101 万吨，电解铝年产能、产量和消费量分别达到 4,232 万吨、3,730 万吨和 3,835 万吨，在全球总量当中占比分别为 56%、

57% 和 61%。

中国电解铝生产用电模式分为自备电和网电。截至 2019 年底，国内电解铝自备电比例约

为 65%，均为火电发电；网电占总量的 35%，其中火电发电占 21%，清洁能源发电约占 14%（图 3）。

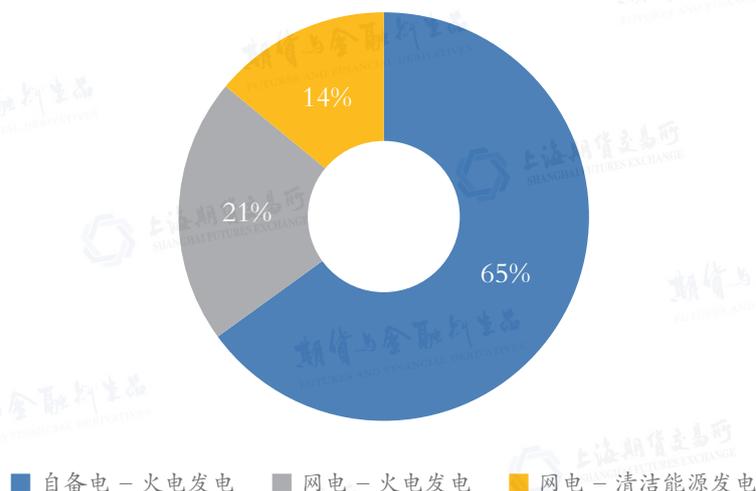


图 3：2019 年底中国电解铝生产用电构成情况

近年来铝冶炼行业还呈现出以下特点：一是产业布局稳步推进，逐步往清洁能源富集区布局；二是产业集中度提高，多家企业跻身全球前列；三是中国电解铝技术制作装备水平进入了世界先进行列；四是中国占全球铝材产能的比重达 60%，能够生产所有类别的铝材；五是中国铝加工的生产消费集中地区向“资源 + 消费”地区转移。

（二）铜行业的生产现状与特点

据国家统计局数据，2020 年中国铜精矿产量约为 168 万吨，中国的铜冶炼和精炼的产能分别是 905 万吨和 1,325 万吨。近期中国的铜冶炼和精炼的产能还在继续扩张，不过扩张的势头有所放缓。考虑到当前及未来很长一段时间，“双碳”背景以及中国铜精矿对外高达近 8 成的依赖度，中国的铜冶炼产能扩张势头将会受到一定的限制。

（三）铅锌行业的现状

根据国家统计局数据，2020 年中国铅、锌

产量分别为 644 万吨和 643 万吨，分别同比增长 9.4% 和 2.7%，铅锌产量占世界 40% 左右，消费量占世界 50% 左右，是世界最主要的铅锌生产和消费大国。其中铅 80% 以上都应用于铅酸蓄电池。

目前，中国的铅的生产工艺既有传统的烧结机 - 鼓风机粗铅冶炼工艺，也有像基夫赛特等较先进的冶炼炉。近三年液态高铅渣直接还原技术商业化应用取得了突破，使中国自主创新的炼铅工艺更趋于完善和提升。

近年来中国的锌冶炼工艺技术围绕综合回收、节能降耗、改善环境、清洁生产也有了很大的进步和发展。例如热酸浸出 - 低污染铁矾除铁工艺，硫化锌精矿直接浸出技术（常压富氧浸出、氧压浸出），浸出渣烟化炉强化挥发熔炼，回转窑富氧强化挥发无害化处理技术，以及低品位氧化锌矿和钢厂高氯高氟烟灰等浸出 - 萃取工艺都得到了产业化的开发应用。

四、中国有色冶金工业降低碳排放存在的困难和问题

（一）能源禀赋的制约

中国能源消耗中煤的占比很高，2020年中国能源消费总量为49.8亿吨标准煤，同比增长2.2%。煤炭消费量占能源消费总量的56.8%。中国依赖化石能源的禀赋特点，使有色冶金工业碳排放高于水电丰富的国家，这个不是行业自身能够轻易改变的。

（二）再生的保级利用水平发展受限

在工业用的金属当中，像铝、铜、不锈钢等可回收性很高。这些金属抗腐蚀性能高，多数情况下其使用期间基本不被腐蚀，几乎可以得到全部的回收。但是由于回收体系不健全，废旧金属资源混杂现象严重，部分优质废旧金属原料被降级使用，造成了很大的资源浪费。

（三）技术创新进程有待加快

在相同工艺条件下，中国冶金生产环节的能耗水平已经居于世界领先地位，但仍然有一定改进空间，尤其是铜、铝、铅、锌、锡、镍以外的其它金属。另外，像余热回收等综合节能技术、智能化管理水平技术、先进电极技术、碳捕集技术等实现有色冶金工业节能减排的革命性技术，目前因为研发投入不足、技术瓶颈等原因，进展缓慢或者发展不均衡。

五、“双碳”背景下，有色冶金工业的发展趋势

（一）冶炼产能规模将有控有增，产业结构进一步优化

对于电解铝，根据产能“天花板”控制之下的电解铝项目建设进度和中长期铝消费预测进行判断，中国的铝行业乃至整个有色金属行业要在2025-2030年前实现碳达峰，必须严控电解铝的产能总量。这也是由工业和信息化部等部委联合

印发的《工业领域碳达峰实施方案》提出的明确要求。

所以在整体上冶炼产能有控有增的情况下，产业结构将进一步优化，将来的存量会得到优化。一方面是引导冶炼企业结合自身条件，进行产能调整和技术改造，引导在大气污染重点防控区、环保绩效差、能耗高、工艺落后的有色金属冶炼产能的逐步退出，形成排放总量和强度双控的约束机制。另一方面是进一步推动产业结构调整，加强对碳排放的源头控制，以限制传统能源的比例、阶梯式补贴等方式，建立清洁能源与有色冶金工业的协同机制。建立冶炼、合金和加工联合体或是产业集群，能够减少中间环节能源消耗，是实现碳减排的有效途径。

交通工具的轻量化，对于新能源汽车意义非常重大。轻量化趋势正在逐渐地强化铝、镁等对其他材料的需求替代。铝、镁及其合金具有轻质、节能、可循环利用的优良性能，扩大铝、镁的轻量化金属的应用，势必推动有色轻金属的产业化发展。

此外，对以硅、锂为代表的有利于碳减排的能源材料的需求将快速增长，产能也将加速地扩张。伴随着全球数字信息时代的到来，5G、电子消费、大数据中心、人工智能、工业互联网的发展，带动了对铝、铜、硅、锂、镍、钴、银等有色金属的需求，相关消费韧性足。

（二）行业集中度将会显著提升

现期中国有色冶金工业多数子行业的行业集中度都有待提高。较低的行业集中度使国内有色冶金企业缺少市场话语权，导致行业的盈利波动剧烈。在“双碳”背景下，有色冶金工业在技术实力、管理水平、资本实力等方面的竞争将更趋激烈，行业竞争力相对较低的企业的市场份额可能会逐步地被侵蚀，或者企业自身被同行所兼并，

有色冶金工业整体的集中度将会显著提升。

在影响有色冶金企业竞争实力的这些要素当中，低碳领域的技术实力可能是最重要的。有色冶金工业龙头企业在低碳技术储备、工艺改进和新技术拓展上的实力相对更强，可以利用自身的技术实力在吨金属的碳排放量上获得更优的表现，或者以更低的成本实现碳减排的目标。因此行业龙头企业无论在低碳环保达标和经营成本上可能都更有优势，未来在有色冶金工业当中会占有更高的市场份额。

（三）产业布局将得到优化，产能合作将加强

在产业布局方面，电解铝、工业硅、金属镁等吨金属碳排放量高的产能，将向可再生能源富集的地区转移，使用绿电比例将会升高。风能、水能、氢能、太阳能等清洁能源在有色冶金工业中还鲜有大规模应用，这是今后推进碳减排的重点领域。涉重金属企业将逐步“退城入园”搬迁升级改造，生态工业园建设将得到加强，以充分释放工业园区在综合环境治理和系统性节能减排方面的得天独厚的优势。

产能合作今后在跨界合作方面也会得到加强。在产能合作方面，有色冶金工业产业链牵涉甚广，冶炼环节需要使用还原剂或者电力提供能源，生产伴随的热能又可以用于发电、供热，生产的废弃物又可以用来生产其他的化工产品。因此在“双碳”背景下，二氧化碳能源化、二氧化碳的资源化、跨行业联产等都将逐步成为有色冶金工业未来的发展方向。

有色冶金工业不仅需要革新自身的生产过程，加强有色冶金子行业间的联合，还需要通过与钢铁、化工、能源等其他行业进行融合发展，从全产业链的角度来降低二氧化碳的排放。

产能合作也将体现在国际产能合作得到加

强。结合“一带一路”倡议，有色冶金工业将进一步加强国际产能的合作，推动产业的海外布局，加快形成产业的国外要素资源的合理、高效、集约配置。

（四）再生金属资源占比将大幅提高

再生金属产业具有全生命周期能源消耗低、污染物排放低、二氧化碳排放量低的显著特点，随着中国金属消费和社会蓄积量的大量增长，将对原生金属形成持续替代。目前中国正在进入废旧金属的加速回收期，围绕高质量发展再生金属产业，高水平承接原生金属的需求，有效降低对原生金属的依赖。在废料的收集、回收、再生等各个环节都有深入细致的工作需要做。

再生金属的废旧资源的组织模式将会得到变革。未来可能会出现一批区域性的废旧金属资源回收的预处理配送中心，实现金属资源的分类回收；生产企业和消费企业可能合作，实现新废料的闭环回收；将在更多贵重或对环境可能造成危害的有色金属产品领域推动生产者责任延伸制度，实施重点品种的废弃产品规范收集、闭环回收和循环利用。随着进口二次资源标准的制定与实施，境外二次资源利用产业将可能会再次获得发展。绿色采购体系的推行与完善，将推动企业优先采购废金属资源作为原料，企业和消费者也将会优先选用或采用低碳资源生产的绿色金属和制品。

（五）围绕低碳，有色冶金工艺技术将不断优化创新

一是基于现有技术进行工艺优化，实现节能减排。在生产全流程管理方面，有色冶金企业可以通过数字化、智能化改造全面提升节能和能效水平。智能工厂、智能矿山建设，将使得行业整体管理水平得到大幅的提升。

二是现有技术工艺路线方面也将有改进空

间。铝行业将进一步提升铝水直接合金化的比例，推广高品质阳极应用和新的节能降耗解决方案；高效低耗的铝电解工艺及装备、蓄热式竖罐炼镁、工业硅大型矿热炉生产技术和全封闭的工业硅炉型、流化床颗粒硅加连续加料直拉单晶技术和大尺寸薄片化硅片生产等一批节能减排技术将得到广泛应用。未来或许还有革命性的技术出现：如电解铝行业，或将进行惰性阳极等革命性技术的研发。另外对还原法冶金工艺来说，最低碳的方式应当是氢还原。氢气可以通过不消耗化石能源的方式制取，例如用风光能电解水、收集其他化工生产中的副产氢。氢还原工艺在有色金属行业已被提出，但迄今还未真正开始实施。

（六）碳排放评价体系将完善，碳排放交易将趋活跃

产品全生命周期的绿色发展理念将逐步得到认可。生态产品设计将趋于活跃，这将吸引像交通、建筑、家电、电池、电线、电缆等重点下游用户行业趋向于使用绿色化的有色冶金产品。行业的数据公司、评价公司将建立健全冶金产品生命周期数据库，组织开展产品的绿色评价工作。有色冶金产品生产企业选用绿色原辅料、装备、物流，促进全产业链的绿色转型升级。

有色冶金工业碳排放权交易将在某个或者几

个子行业首先展开，通过市场化的手段形成成本梯度，淘汰高碳排放的产能，提升产业碳资产管理水平，定期开展碳核查，将培育出一批专业化机构，为碳排放交易以及碳达峰、碳中和提供技术支持。

（七）有色冶金工业能源使用和碳排放的成本将上升

消耗化石能源，产生大量二氧化碳，对环境影响较大。“双碳”目标要求推进传统化石能源碳减排及大力发展风电、光伏发电，提高新能源发电的电量，将不可避免增加终端电价上涨的压力，导致整个行业能源使用成本的阶段性上升。

随着国家碳排放交易或者碳税制度的实行，部分有色冶金企业还需要购买碳排放的指标，或为超额碳排放缴纳碳税，这无疑都会加重有色冶金企业的成本负担。

目前，碳交易市场也正在扩容。除了电力行业以外，有色金属、钢铁等行业也有望纳入碳交易范畴，参与主体持续扩大。尽管初期有免费配额的发放机制，但是随着有偿分配比例逐步提高，这些都不可避免地会增加有色冶金企业碳排放的经济成本。

（责任编辑：周力琛）