冶炼工艺

以绿色发展理念构建铜冶炼生态链

曲胜利
（山东恒邦冶炼股份有限公司，山东 烟台 264109）

［摘 要］ 铜是国民经济发展的重要基础原材料，随着铜产业规模的扩大，铜冶炼得到了快速发展，与此同时行业也面临着如原料安全、环境污染、能源利用等诸多问题，对铜冶炼行业的发展形成制约。本文结合“双碳”“双循环”“绿色发展”等时代背景，全面分析铜冶炼行业当前绿色发展态势，及资源、能源、“三废”治理及数字化转型等方面面临的技术难点。在充分分析的基础上对未来铜冶炼行业绿色发展的实施路径进行研判，提出了有价元素产品化、节能降碳、跨界整合、智慧冶炼以及构建铜冶炼生态链的发展路径，并为铜冶炼行业绿色发展提出了具体的实施建议。

［关键词］ 铜冶炼；绿色发展；三废治理；数字化转型；“双碳”目标；双循环；有价元素；智能化工厂
［中图分类号］ TF811 ［文献标志码］ A ［文章编号］ 1672-6103(2023)03-0001-07
DOI:10.19612/j.cnki.cn11-5066/tf.2023.03.001

随着我国制造业和建筑业的快速发展，大量的基础原材料被消耗，而铜由于其良好的综合性能得到了广泛应用，国内消耗量达到了世界产量的 50% 以上，巨大的市场使我国铜冶炼产业得到了快速发展。我国已经成为全球最大的精炼铜生产国及消费国，在全球铜产业占据重要位置。

1 国内铜冶炼技术发展历程

近年来，我国铜冶炼在产能规模不断扩大的同时，技术装备水平也发展迅速，经历了从引进技术到消化吸收再到国内自主研发投产应用的历程（图 1）。目前铜冶炼企业中鼓风炉、反射炉等污染严重的装置已在逐步淘汰[1]，取而代之的是国外引进的闪速炉、奥斯麦特炉等熔炼技术[2]，国内还自主创新旋浮冶炼、氧气底吹熔炼、富氧双侧吹熔炼及多枪顶吹连续吹炼技术[3]，目前铜冶炼自主研发设计能力、装备水平、智能化程度均达到了世界领先水平。

自主创新能力的提升，对打破国外技术垄断、实现铜产业结构优化、提高铜冶炼国际竞争力起到了关键作用。随着我国铜冶炼技术的不断发展，产业各项综合指标也得到了大幅提升。在国内铜冶炼产业不断发展的同时，也产生一些问题，主要有以下几个方面。

1）中国铜冶炼的发展受制于高耗能和高污染，一些减污降碳的技改项目因立项难、环评遇阻，无法得以实施。原生铜冶炼被大部分省份列入“两高”项目，再生铜行业被小部分省份列入两高行业，在碳达峰碳中和的大背景下，原生铜冶炼的新建项目、技改项目难以落地，不利于行业的持续健康发展。

2）铜矿资源保障程度不高。我国 80% 的铜矿资源为低品位矿，共伴生元素主要有金、钼、铅、锌等，且大矿少、中小矿多，铜矿平均品位 0.87%，不及世界主要生产国矿石品位的 1/3，富铜矿（品位 >1%）查明资源储量仅占总查明资源储量的 20%[4]。受铜矿资源限制，我国铜冶炼行业铜精矿自给率不到 30%，部分大型铜冶炼企业甚至不到 10%，铜精矿大量依赖进口，而矿权掌握在国外企业手中，国内企业议价能力不足，原料的高成本导致了

［收稿日期］ 2023-01-10 ［修订日期］ 2023-02-16
［录用日期］ 2023-02-21 ［出版日期］ 2023-06-28
［作者简介］ 曲胜利（1966—），男，山东烟台人，俄罗斯自然科学院院士，主要从事贵重金属冶炼、资源循环利用及新材料方面的研究。
［引用格式］ 曲胜利. 以绿色发展理念构建铜冶炼生态链[J]. 中国有色冶金，2023，52(3)：1-7.

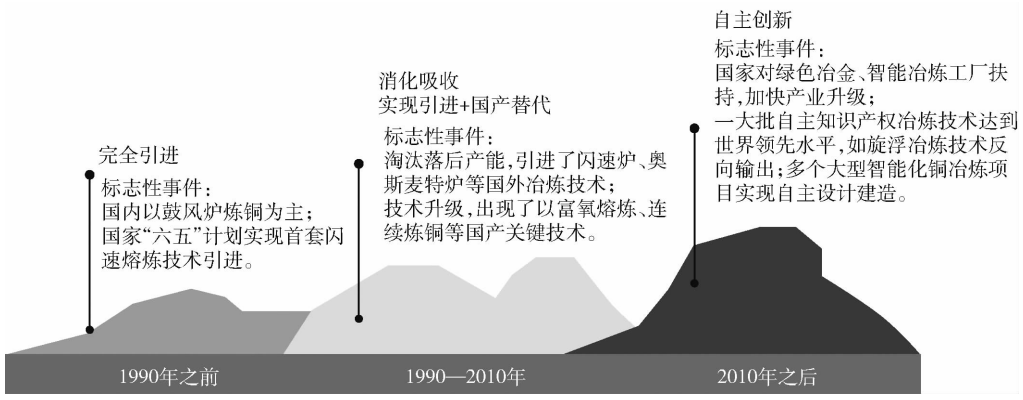

图 1 国内铜冶炼技术发展历程

Fig. 1 Development course of domestic copper smelting technology

国内铜冶炼企业普遍利润率不高，极大制约了铜冶炼行业发展。

3）排放标准日益严格，压缩了铜冶炼行业生存空间。随着日益严格的环保要求，执行排放限值要求的铜冶炼企业势必增多，执行特别排放限值甚至超低排放将成为一种趋势。实际铜冶炼过程中会产生硫化砷渣、石膏以及白烟尘，还会产生大量的高盐废水，另外，冶炼烟气中的低浓度 SO_2、NO_x、Hg、As 以及无组织烟气的治理问题仍然困扰着铜冶炼企业。

因此，本文主要着眼于铜冶炼产业的绿色发展，梳理了我国铜冶炼产业现状，研判制约产业发展的关键因素，提出产业发展方向以及措施建议，为铜冶炼产业的绿色发展提供参考。

2 我国铜冶炼行业绿色发展态势

我国铜冶炼行业已历经增产能、扩规模的阶段，从目前发展形势及政策规划来看，“十四五”时期中国铜冶炼行业主要发展方向为降能效、调结构，推动行业技术及装备升级，促进再生铜资源利用率，实现行业绿色化、高效化、智能化发展。根据工业和信息化部《工业能效提升行动计划》，到 2025 年，规模以上工业单位增加值能耗比 2020 年下降 13.5%；国家对再生铜利用比例及规模也提出了明确指标，到 2025 年，再生铜产量比例达到 35%，产量规模达到 400 万 t/a[5]。

近年来我国铜冶炼企业通过不断的努力和创新，行业整体工艺技术装备、经济指标和环保指标已达到世界先进水平，未来铜冶炼行业将呈现以下发展态势。

2.1 精炼铜产业持续向国内转移

2022 年，我国精炼铜产量达到了 1 106.3 万 t，同比增长 4.5%，近 10 年来，我国始终保持全球第一大精炼铜生产国[6]，且占全球产量比例呈上升趋势。随着制造业的发展，精炼铜产业将持续向国内转移，2020 年国内精铜消费量占世界总量的 54%，精炼铜产量占世界总量的 42%，未来这一比重将逐步提升到 50% 以上。国内产能的提升，引导铜冶炼产业的投入加大并带来了技术提升，单位能耗进一步下降。2022 年铜精矿冶炼工艺单位能耗为 187.8 kgce/t，同比下降了 12.8%，江铜贵冶铜冶炼综合能耗指标的先进性连续多年位列全球首位。因此，精炼铜产业向国内转移，对实现行业“双碳”目标，促进绿色发展有极大的带动作用。

2.2 由末端治理向清洁生产发展

当前，铜冶炼行业大多采用末端治理，侧重在污染物产生后如何处理达标上。末端治理方法和管理模式在工业发展历史上起到了一定的积极作用，而且有效地解决了一些突出的污染问题[7]，但并未从根本上解决工业污染问题，不符合当前铜冶炼行业绿色发展要求。

清洁生产应从源头和过程中减轻铜冶炼对环境的影响，减轻了末端治理的压力，提升铜冶炼企业的生存发展空间。未来行业会加快推进建立重金属污染物排放指标体系，进一步完善铜冶炼行业清洁生产标准和污染物排放标准，推动行业的清洁生产水平向更高层次发展[8]。

2.3 实现有价元素资源化回收

原生铜矿大多伴生多种有价元素，多数铜冶炼

企业逐步开展稀散、稀贵等有价元素的资源化回收，但由于行业间发展不均衡，企业间技术实力相差较大以及行业技术壁垒导致部分稀贵金属回收不理想，有价元素流失，甚至对环境造成污染。以砷为例，每年 10 万 t 以上砷进入铜冶炼，但是只有约 2 万 t 被回收制成砷产品，而 80% 的砷元素未被回收，这对环境造成较大负担。多数铜冶炼企业已认识到这个问题，逐步加大研发投入，多元素回收已成为行业发展的热点课题。

2.4　铜冶炼工厂的智能化

2020 年工业和信息化部、国家发展和改革委员会和自然资源部联合发布《有色金属行业智能冶炼工厂建设指南（试行）》，要求推进工业互联网、大数据、人工智能、5G 等前沿技术在有色冶炼工厂的应用[9]，建成有色金属智能冶炼工厂，促进企业转型升级，提升企业的综合竞争力和可持续发展能力。目前，国内已经能够自主设计、建造大型智慧冶炼工厂，如江铜贵冶“铜冶炼智能工厂试点示范”、中色大冶弘盛铜业400 kt/a 铜智能工厂等项目已投产运行。未来，智能化将是我国铜冶炼行业的发展趋势。

3　我国铜冶炼行业绿色发展面临的技术难点

实现绿色发展具有巨大的生态价值，还能够实现调整产业结构，推动产业升级，从而达到行业效益提升的目标。未来铜冶炼行业的可持续发展，需客观分析行业发展的现状及问题，加大力度支持行业的技术转型，推进铜冶炼行业走绿色发展之路[10]，未来的发展主要存在以下技术难点。

3.1　高杂铜矿利用

近年来，由于优质铜资源减少，国内生产及国外进口铜精矿中杂质含量呈现上升趋势，铜冶炼企业必须面对铜精矿有害元素不断攀升的现实。

以砷为例，砷进入铜火法冶炼中，就会分散分布于烟尘、炉渣、冰铜或粗铜中[11]，随着铜精矿砷含量的升高，对生产和环境造成诸多不利影响。近几年在对进口铜精矿检测中多次发现砷含量超标的问题，且砷含量有进一步上升趋势。部分企业开展了相关研究，开发了熔炼脱砷 + 烟气骤冷收砷工艺，实现了砷的开路，降低了砷的分散，并实现了砷的产品化，但是该技术只在少数处理复杂铜精矿的冶炼企业有应用，未得到广泛推广，对多数铜冶炼企业来说，高杂铜矿的处理仍较困难。

3.2　能耗利用

我国目前余热利用率约占余热总量的 30%，接近世界平均水平，但与日本等发达国家相比差距较大。余热资源利用，主要受余热温度范围广、能量载体的形式多样、建设场地及投资的限制等因素影响，利用难度较大[12]。从目前工业余热现状来看，高温余热回收技术已在行业广泛应用。但对于中低温余热的利用还处于尝试和发展阶段，受投资和技术装备等因素制约，导致这部分热能不但无法利用还要损耗大量能源进行散热，造成了巨大的能源浪费。

3.3　废水治理

当前铜冶炼废水治理技术存在的主要问题是污酸处理产生的固体废物量大，污酸中和处理后产生大量含重金属的钙渣需占用大量土地堆存，并且渗透水可能对周边环境造成一定污染。此外，中和后的废水由于含盐量升高，导致废水难以回收利用。国内铜冶炼废水源头减排过程管控还比较粗放，废水资源化方面还有待提高。

3.4　废气治理

废气治理技术难点主要在冶炼烟气末端排放有害元素的控制上，目前我国大部分铜冶炼企业并没有针对烟气中的汞、砷和氟进行处理，未来将难以适应新的环保要求。特别是砷在我国现有铜冶炼的原料中占比较高，而在铜冶炼过程中，精矿中的固态砷多数以气态 As_2O_3 的形式进入烟气，对铜冶炼的后续生产及烟气排放均造成很大的影响。

废气治理的另一个技术难点是铜冶炼无组织排放问题，该问题主要存在于转炉吹炼环节。虽然 PS 转炉吹炼环集烟气量最大，但目前 PS 转炉仍是国内主要骨干铜冶炼企业以及全球主要铜冶炼厂的主要装备。因此，随着环保要求的日益严格，如何控制 PS 转炉烟气的无组织排放是我国铜冶炼企业面临的重要问题。

3.5　废渣治理

废渣治理的技术难点主要有 2 方面。

1）废渣利用及处置，铜冶炼行业危险废物包括废触媒、含砷废渣及含铅废渣。废触媒一般交由专业生产厂家负责更换，回收废触媒进行再生；含铅废渣出售给铅冶炼企业；含砷废渣由于成分复杂，利用困难，成为行业难点。目前，国内出台

一系列砷废渣的利用处置相关规范,主要涉及固化稳定化后进行填埋以及资源化利用技术,但缺少对含砷废渣利用处置技术的污染控制要求。另外,由于含砷废渣成分复杂,物相组成波动明显,从中综合回收各有价金属并对其进行资源化,目前很难有统一规范的处理工艺。

2)危废的转移途径。大多数铜冶炼企业只能处理少部分危废,这些危废大多数是冶炼中间产物,其他危废需要转移处置,由于行业和地域间政策差异,危险废物转移相对困难,导致多数危废积压,不断增加环境风险,严重影响企业的正常运行[13]。

3.6 数字化转型

近年来,国内外许多冶炼企业已逐步开展自动化改造,自动控制的主要方法是采用智能仪表或集散控制系统,从而为操作人员提供了离线指导以及在线控制。但这只是数字化应用的初级阶段,随着数字化、信息化技术的发展,国内铜冶炼行业部分企业已开展了智慧冶炼的探索,如智能工厂建设、铜冶炼物质流智能化技术与应用等方面的技术,向生产智能化、管理可视化、大数据智能化等方面深入推进,将物质流、能量流与信息流延伸至生产过程,实现为企业创造更多效益的目标。

对于铜冶炼行业来说,数字化转型存在较大难度,大多数传统铜冶炼企业缺乏数字化转型的战略规划,其面临的投资、技术难度、人才储备等问题更是对企业形成了壁垒,目前仅在少数头部铜冶炼企业开展了示范化建设。目前,我国的信息化及工业化融合度不高,应用深度还不够广,影响范围还需要提高。

4 未来铜冶炼行业绿色发展路径

4.1 有价元素全产品化,提高资源利用率

提高资源利用率是铜冶炼行业发展的必然趋势,当前铜冶炼行业原生矿铜回收率普遍达到了98%以上,但其他伴生元素的回收仍有较大空间,特别是砷、铋、锑等元素具有较大的回收潜能(图2),元素综合回收对实现原料替代、降低环境影响、发展绿色冶金具有重大意义。

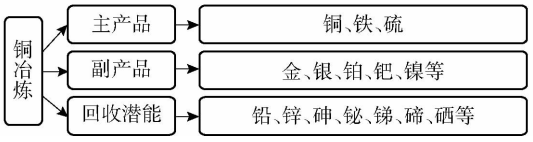

图2 铜冶炼有价元素回收潜能

Fig. 2 Recovery potential of valuable elements in copper smelting

4.2 节能降碳,提升热能利用率

我国工业发展面临的能源资源约束依然突出,特别是在能耗“双控”政策的影响下,能源的供需问题仍是产业发展的主要矛盾[14]。对铜冶炼而言,更应重视热能利用,提高能源利用率,这也是冶炼行业降低能耗约束、实现碳中和目标的关键(图3)。

1)加大热能收集技术的应用。通过热能收集技术对冶炼过程中产生的能量进行必要的转化,并应用到其他环节中以提高能源利用率[15],如采用

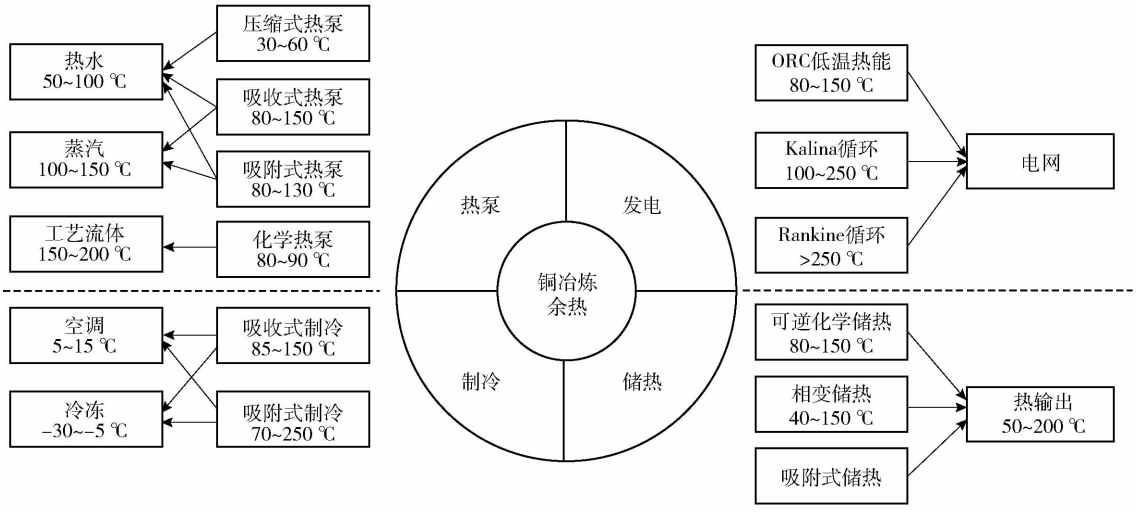

图3 铜冶炼余热利用路径

Fig. 3 Waste heat utilization path of copper smelting

HRS 低温位热回收技术、储能技术等。

2）优化冶炼工艺，合理利用铜冶炼期间产生的能源，从而起到更好的节能效果。如连续炼铜技术、制酸采用高浓度转化技术等。

3）合理改造装置，提升熔炼效率，提高产能规模。冶炼规模的提升有利于减少能源的消耗。

4）实现自热熔炼。在进行铜精矿冶炼期间，采用富氧熔炼技术，并通过合理的物料搭配实现自热熔炼，从而减少化石能源的消耗。

4.3　跨界整合，产业链不断延伸

随着中国铜企业的快速发展，铜产业集中度明显提高，企业间跨界整合案例增多，而跨界的关键就在于打破行业间的壁垒，实现资源的整合。在铜冶炼行业，头部企业已发展成为大型铜联合企业，形成产业集群。随着行业的集中化，产业链不断延伸，铜产业链大致分为上游的采选业务、中游的冶炼业务、下游的铜加工业务以及贸易和终端业务，大部分企业已逐步摆脱单纯的采矿或者冶炼业务，形成全产业链发展。产业链的延伸，将使铜冶炼产能得到调配、产业结构得到优化，并有利于废弃物的约束机制和政策释放，加快废弃物的内部消纳利用，有助于产业链资源循环，实现绿色发展。

4.4　智慧冶炼，步入新型工业化时代

铜冶炼流程实现绿色化、智能化的应用技术分布在节能、环保、低碳、资源综合利用以及信息化系统等多个领域，未来的发展方向更多体现在交叉应用领域，同时不拘泥于某单一工序环节，而更多地体现在全工序环节的应用（图 4）。

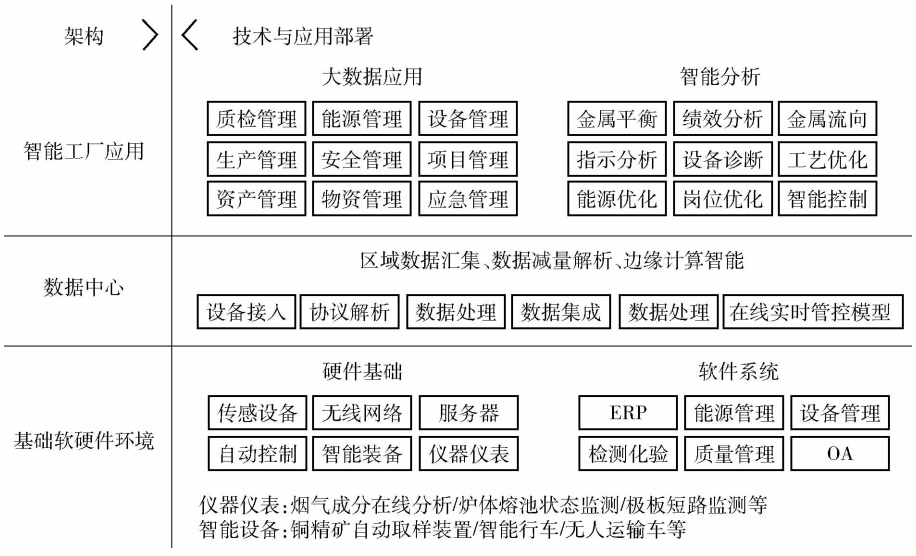

图 4　铜冶炼智能化工厂参考架构

Fig. 4　Reference framework of copper smelting intelligent factory

此外，为实现“双碳”目标，将绿色减碳行为与信息化智能化手段结合成为了当务之急。加快碳排放数据管理体系建设，明确碳排放总量和排放结构特点，挖掘降碳潜力。

结合铜冶炼流程在绿色化、智能化应用实践中的技术和手段，可以看到行业未来发展的方向和趋势，更多集中在综合性交叉应用。充分利用好数字化工具、研究工艺技术原理、优化交叉应用模式、配套工程实施基础，是实现冶炼流程绿色化、智能化发展的有效途径[16]。

4.5　构建铜冶炼生态链，打造循环经济

循环经济是以低碳、高效与资源循环利用为特征，强调经济发展与生态环境相平衡的可持续发展理念。铜冶炼生态链的构建是改变以往铜产业链从铜矿开采到冶炼、加工再到用户终端的单向模式，通过“减量化、再利用、资源化”的原则，实现产业链资源的循环利用，有助于铜冶炼“双碳”目标和生态化建设的实现（图 5）。此外，充分利用再生资源，大力回收废杂铜，发展再生铜资源直接生产铜加工材技术，一方面可以确保我国铜加工业持续、稳定的发展[17]，另一方面可以有效提高铜资源的循环经济价值，弥补我国铜消费缺口，对铜冶炼产业升级及绿色发展具有重要意义。

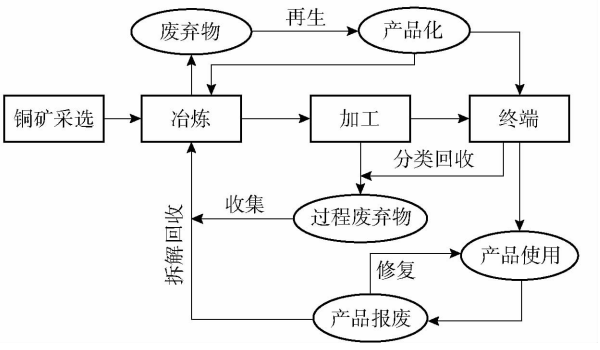

图 5 铜冶炼工业链与循环经济

Fig. 5 Copper smelting industrial chain and circular economy

5 铜冶炼行业绿色发展实施建议

5.1 以创新驱动行业绿色发展

自主创新仍是未来国内铜冶炼行业实现绿色发展的主要解决途径,通过布局关键技术攻关,来提升我国铜产业技术工艺开发能力。根据全球铜产业科技创新呈现出高端化和绿色化的发展趋势,围绕我国铜冶炼发展中重大关键技术领域,重点在铜绿色冶炼技术、再生铜回收、铜冶炼三废处理、铜冶炼能源利用等方面着力部署实施一批重大项目,突破行业发展中的"卡脖子"问题,支撑和引领我国铜冶炼行业的高质量发展[18],使铜冶炼产业从冶炼大国完成向冶炼强国的转变。

5.2 优化原料供应结构,保障原料供给安全

从当前铜冶炼行业资源供给、产业经营、需求形势及企业责任等角度看,我国矿产铜粗炼产能不应在没有自有铜矿资源供给的前提下继续扩张;企业应将未来发展战略转换至通过外循环保障铜资源供应链安全,以保障我国铜产业链内循环稳定和提升质量;持续扩张产能,既不符合绿色低碳发展的要求,也不适应我国经济高质量转型发展的方向。

未来应以围绕建立境外稳定供应渠道为重点开发境外资源,企业在走出去的同时,合理运用金融手段,以贸易、资本运作以及联合运营等方式开拓海外资源市场,保障国内原料供应,提升原料品质。此外,应加快构建废旧物资循环利用体系,优化原料供应结构,减少对进口铜精矿的依赖,保障原料供应安全。

5.3 加强政策引导,完善行业标准和监管体制

我国铜冶炼行业相关政策引导从增产能、扩规模到优化结构、绿色高效的转变。"十四五"时期中国铜冶炼行业主要发展方向为降能效、调结构,推动行业技术及装备升级,促进再生铜资源利用率。通过完善行业标准和监管体制,适时调整铜冶炼准入条件,加快铜冶炼行业升级改造,调整产业结构,引导产业健康发展。主动参与国际标准的制定,加强国际合作,提高中国铜冶炼的国际话语权。

5.4 实施人才培养战略

企业应制订长期的人才培养战略规划,建立并完善人才引进和培养制度,拓宽技术、技能人才成长渠道,为人才施展才华搭建舞台。一方面应与相关院校合作开展特色教学模式,针对企业需求进行专业性培养;另一方面企业内部开展人才选拔,应破除唯学历、唯资历论,实现自主培养行业亟需的高技能人才,增强行业发展实力的需求。另外,行业也要注重自身的宣传、引导,消除社会大众的偏见,鼓励青年人投身冶炼行业,为行业发展注入活力。

[参考文献]

[1] 刘冬博. 抑制产能盲目扩张[J]. 中国金属通报, 2010(38):2.
LIU Dongbo. Inhibiting blind expansion of production capacity [J]. China Metal Bulletin, 2010 (38): 2.

[2] 邵朱强,田丰. 中国有色金属行业绿色发展和技术转型[J]. 环境保护科学,2016,42(2):18 - 21.
SHAO Zhuqiang, TIAN Feng. Green development and technology transformation of non-ferrous metal industry in China[J]. Environmental Protection Science, 2016,42(2): 18 - 21.

[3] 李良斌, 代红坤, 李强,等. 旋浮熔炼 + 旋浮吹炼与富氧侧吹熔炼 + 多枪顶吹连续吹炼工艺比较[J]. 有色金属(冶炼部分), 2021(2):51 - 59.
LI Liangbin, DAI HongKun, LI Qiang, et al. Comparison of suspension smelting + Vortex floating converting and oxygen-enriched side blown smelting + multi top blown lance continuous converting process [J]. Nonferrous Metals (Extractive Metallurgy), 2021 (2):51 - 59.

[4] 张亮,杨建龙. 中国资源的供求格局及其前景展望[J]. 当代经济管理,2013,35(9):9 - 16.
ZHANG Liang, YANG Jianlong. Patterns and prospects of China's resources supply and demand [J]. Contemporary Economic Management, 2013,35 (9): 9 - 16.

[5] 朱逸慧. 勿让固有标签成为再生金属产业发展桎梏[J]. 中国有色金属, 2021(19):3.
ZHU Yihui. Do not let the inherent label become a constraint to the development of the recycled metal industry [J]. China Nonferrous Metals, 2021 (19): 3.

[6] 顾晓薇, 胥孝川, 王青,等. 世界铜资源格局[J]. 金属矿山, 2015(3):8 - 13.
GU Xiaowei, XU Xiaochuan, WANG Qing, et al. The world pattern of copper resource [J]. Metal Mine, 2015(3):8 - 13.

[7] 张晋强. 清洁生产是防治工业污染的新战略[J]. 山西科技, 2004(2):34 - 36.
ZHANG Jinqiang. The cleaner production is a new strategy for preventing industrial pollution [J]. Shanxi Science and Technology, 2004 (2): 34 - 36.

[8] 初征. 我国铜冶炼行业污染防治技术政策研究[J]. 矿冶, 2019,28(4):135 - 137.
CHU Zheng. Pollution control technology policy of copper smelting industry in China [J]. Mining and Metallurgy, 2019,28 (4): 135 - 137.

[9] 刘艳彬. 有色企业数字化转型浅论[J]. 中国金属通报,2022(5):124 - 126.
LIU Yanbin. On the digital transformation of non-ferrous enterprises [J]. China Metal Bulletin, 2022(5): 124 - 126.

[10] 周飞霓. 中国有色金属行业绿色发展和技术转型[J]. 中小企业管理与科技(下旬刊),2021(12):58 - 60.
ZHOU Feini. Green development and technological transformation of China's non-ferrous metal industry[J]. Small and Medium-sized Enterprise Management and Technology, 2021 (12): 58 - 60.

[11] 刘志宏. 中国铜冶炼节能减排现状与发展[J]. 有色金属科学与工程, 2014, 5(5):1 - 12.
LIU Zhihong. Current situation and development of energy saving and waste reduction in Chinese copper smelting industry [J]. Nonferrous Metals Science and Engineering, 2014,5(5):1 - 12.

[12] 连红奎,李艳,束光阳子,等. 我国工业余热回收利用技术综述[J]. 节能技术,2011,29(2):123 - 128,133.
LIAN Hongkui, Li Yan, Shu Guang Yangzi, et al. An overview of domestic technologies for waste heat utilization [J]. Energy-saving Technology, 2011,29(2): 123 - 128,133.

[13] 殷小炜. 铜冶炼危险废物环境管理问题研究[J]. 资源节约与环保,2021(8):74 - 75.
YIN Xiaowei. Study on the environmental management of hazardous waste in copper smelting [J]. Resource Conservation and Environmental Protection, 2021(8): 74 - 75.

[14] 李朝阳. 我国有色冶炼及烟气制酸环保技术进展与展望[J]. 世界有色金属,2022(10):172 - 174.
LI Chaoyang. Progress and prospect of environmental protection technology for nonferrous smelting and acid production from off-gas in China [J]. World Nonferrous Metals, 2022 (10):172 - 174.

[15] 廖文江,余小华. 铜冶炼节能减排现状与发展[J]. 世界有色金属,2019(23):22, 25.
LIAO Wenjiang, YU Xiaohua. Current situation and development of energy saving and emission reduction in copper smelting [J]. World Nonferrous Metals, 2019(23): 22, 25.

[16] 周翔. 钢铁流程绿色化、智能化应用与分析[J]. 金属世界, 2022(6):1 - 5.
ZHOU Xiang. Application and analysis of green and intelligent on steel process [J]. Metal World, 2022 (6): 1 - 5.

[17] 曲永祥,王碧文. 现代铜材技术的推进者[J]. 中国有色金属, 2011(9):40 - 43.
QU Yongxiang, WANG Biwen. The promoter of modern copper technology [J]. China Nonferrous Metals, 2011 (9): 40 - 43.

[18] 黄洁,邓思杨,马晓婷,等. 全球铜产业发展现状与建议[J]. 现代矿业,2021,37(6):1 - 5.
HUANG Jie, DENG Siyang, MA Xiaoting, et al. Current situation of global copper industry development and suggestions [J]. Modern Mining, 2021,37(6): 1 - 5.

Constructing copper smelting ecological chain with the concept of green development

QU Shengli

(Shandong Humon Smelting Co. Ltd, Yantai 264109, China)

Abstract: Copper is an important basic raw material for the development of national economy. With the expansion of the copper industry, copper smelting has developed rapidly. At the same time, the industry is also faced with many problems such as raw material safety, environmental pollution and energy utilization, which restricts the development of copper smelting industry. Combined with the historical background of "double carbon" "double circulation" "green development", this paper comprehensively analyzes the current green development trend of copper smelting industry, and the technical difficulties in the aspects of resources, energy, waste treatment and digital transformation. On the basis of full analysis, the implementation path of the future green development of copper smelting industry is studied, and the development path of productization of valuable elements, energy saving and carbon reduction, cross-border integration, intelligent smelting and construction of copper smelting ecological chain is put forward, and specific implementation suggestions for green development of copper smelting industry are put forward.

Key words: copper smelting; green development; "three waste" treatment; digital transformation; carbon peaking and carbon neutrality goals; dual circulation; valuable elements; intelligent factory