市场导刊

□责任编辑:雷 蕾 □电话:59963181
□邮箱:leilei@sinopec.com
□审校:张春燕 □版式设计:侯燕明

中国石化新产品新材料推介（21）

高端针状焦:在超高功率石墨电极领域的创新之路

燕 燕 AI制图
（示意图非实物,以实际产品为准）

阅读提示:

随着我国钢铁行业转型升级及新能源产业蓬勃发展,超高功率石墨电极作为电弧炉炼钢的核心材料,重要性日益凸显。近年来,中国石化在超高功率石墨电极领域取得了显著进展。前不久,以中国石化高端针状焦为原料制造的首批直径700毫米UHP石墨电极成功交付,标志着中国石化针状焦产品在石墨电极领域高端化应用迈上新台阶。本版专题展示中国石化在超高功率石墨电极领域的创新之路,聚焦其从原料研发到产品应用的全流程突破,敬请关注。

本版文图由 耿存状 杜益军 陈伟伟 孙宝翔 王建慧 房 挺 张馨月 王 博 张 兴 提供

产品名片

• 什么是针状焦?

针状焦是一种高性能碳素原料,有金属光泽,呈银灰色,表面纹理呈纤维状或细长针形,有滑腻触感,内部有少量大孔,一般为椭圆形,具有良好的导电、导热和抗热震性能,热膨胀系数低,在炼钢石墨电极、航空航天等领域有着极其广泛的用途,已成为近年来国内外材料领域研究的热点和重点。

• 针状焦分为哪几类?

针状焦根据原料来源不同可分为煤系针状焦和石油系针状焦。煤系针状焦由煤焦油、煤焦油沥青或闪蒸油等原料经过高温炭化生产。石油系针状焦由乙烯焦油、减压和热裂化渣油、催化裂化油浆等原料经过高温炭化生产,由于其硫含量低、灰分低、金属含量低和易石墨化等优点,目前成为人造石墨的主要原料,但其生产成本较高,且对原料的要求较高。

• 针状焦在不同领域有何应用?

针状焦用途主要分为三类:高功率石墨电极、特种碳素材料和锂离子电池负极材料。经由针状焦制造的高功率石墨电极可用于电炉炼钢,电炉炼钢具有污染少、能耗低等优点,在炼钢企业中迅速推广。针状焦制造的高功率石墨电极具有热膨胀系数低、电导率高和机械强度高等优点,在电弧炉中能高效加热熔融金属。作为负极材料,针状焦作为软碳具有易石墨化、成本低等优点,经高温热处理制备成人造石墨,具有较好的循环稳定性和高比容量。

• 石墨电极有什么性能? 怎样分类?

石墨电极主要用于电弧炉炼钢、矿热电炉、电阻炉等领域。其中,由于电弧炉炼钢相比高炉炼钢更加环保,近年来各国政策都在向电弧炉炼钢行业倾斜。电弧炉炼钢规模不断扩大,拉动了对石墨电极的需求。在我国,石墨电极总用量的70%~80%被用作电弧炉炼钢用石墨电极材料。

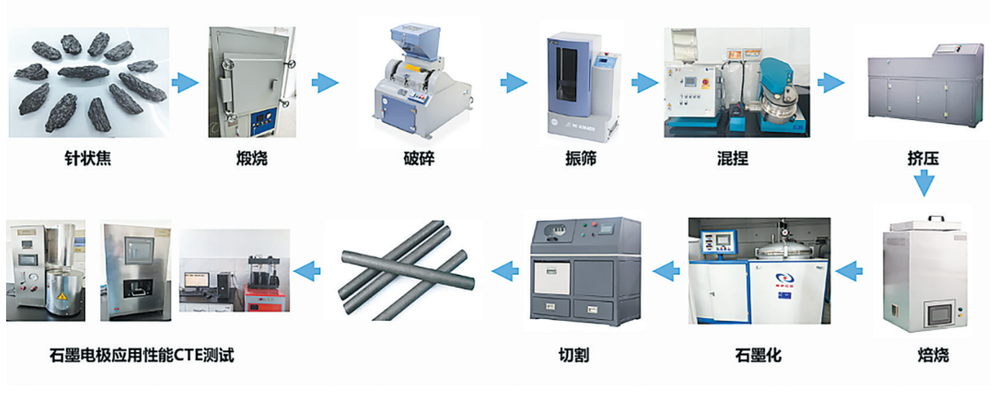
石墨电极根据其质量指标,分为普通功率(RP)石墨电极、高功率(HP)石墨电极和超高功率(UHP)石墨电极。从构成看,普通功率石墨电极骨料均为石油焦;在HP的骨料中,石油焦和针状焦所占比例分别为70%和30%;UHP的骨料中,针状焦的比例为100%。

其中,UHP石墨电极根据直径划分成不同牌号的产品,大直径UHP石墨电极电阻率更低、热膨胀系数更低、抗热震性能更好,在冶炼工业中既能够大幅提高电弧炉炼钢生产效率,又能够降低耗电量和电极消耗,能够有效助推能源产业绿色低碳发展。然而,UHP石墨电极直径越大,控制其热膨胀的难度也越大,对骨料针状焦的导电、导热、强度等技术指标要求越高,以维持石墨电极在使用过程中的结构均匀性和抗热震性。

• 超高功率石墨电极的市场情况如何?

据有关机构统计,2024年,我国石墨电极产量63.77万吨。其中,普通功率石墨电极产量7.23万吨、高功率石墨电极产量19.28万吨、超高功率石墨电极产量37.26万吨,与2023年相比,全年产量增长4.9%。据预测,2025年,我国电炉钢占比将从10%提升为15%~20%。随着电炉钢产量增加,未来对超高功率石墨电极总需求将进一步提升。

石墨电极生产示意图



企业实践

大连院:为石墨电极高端化应用提供技术支撑

2007年,大连院开启针状焦的自主研发工作,彼时国产油系针状焦品质较差,直径600毫米及以上UHP石墨电极用油系针状焦依赖进口。高端油系针状焦制备技术成为制约我国电弧炉炼钢、新能源等行业快速发展的“卡脖子”难题之一。大连院针状焦研发团队于2017年形成拥有自主知识产权的“THTD催化油浆生产优质针状焦技术”。在集团公司统筹指导和资源支持下,大连院、金陵石化、广州(洛阳)工程等单位联合攻关,2020年底,15万吨/年高端石墨工业装置于金陵石化顺利落成,并稳定运行至今,验证了大连院针状焦技术的领先优势和可靠效能。

自2022年起,大连院针状焦研发团队一方面全力推动金陵石化针状焦品质提升,另一方面积极布局下游高端产品精细化发展。UHP石墨电极是针状焦极其重要的下游产品应用领域,大连院深入探究原料、过程、产品的结构关系,以及工艺参数与产品质量、针状焦纹理及强度等指标的关联,构建了核心工艺参数体系。2024年,采用100%金陵石化针状焦制备的直径600毫米UHP石墨电极在国内4家钢铁厂成功应用,标志中国石化针状焦产品在石墨电极领域成功实现高端化应用。2025年,以中国石化高端针状焦为原料制造的首批直径700毫米UHP石墨电极在南通扬子碳素公司成功交付,标志中国石化针状焦产品在石墨电极领域高端化应用迈上新台阶。

金陵石化:生产高端针状焦产品满足客户需求

金陵石化积极打造高端碳材料“专精特新”产业链,将针状焦作为践行“油转特”战略的亮点产品。该公司根据新工艺、新技术特点,在大连院的共同努力下,成立高端碳材料研发中心,形成“研发-生产-销售”一体化攻关团队,每日派专人进行产品采样,对比分析每塔产品质量数据,根据分析结果有针对性地开展研讨,精细调整参数细节,并固化操作要求,攻克了原料性质不稳,针状焦粉焦量高、纹理差、硬度不高、含水率高等九大技术难题,针状焦纹理日渐清晰,硬度、哈式可磨指数等关键指标能够根据下游客户要求定制化调整。

2021年1月,中国石化首套自主研发设计的高端石墨装置在金陵石化成功产出合格产品,实现中国石化连续稳产高端针状焦产品零的突破。2022年,针状焦煅烧合资项目在江苏连云港建成投产。2024年,煅后针状焦生产的直径600毫米超高功率石墨电极在钢厂试用成功,负极材料用针状焦克容量等关键指标比肩国外进口高端针状焦产品。今年5月14日,采用金陵石化煅后针状焦生产的首批直径700毫米超高功率石墨电极产品在南通扬子碳素公司成功交付。

炼油销售公司:产销协同助力石化高端材料国产化

2024年,炼油销售公司通过资源整合和优化配置,推动技术协同和质量提升,累计销售针状焦产品逾12万吨。

该公司充分发挥产业链协同优势,整合金陵石化等上游炼厂的优质原料资源,通过科学的供需匹配机制,为下游头部企业供应高端针状焦产品。同时,建立“生产-加工-应用”全链条技术协作体系:一方面将下游石墨电极制造企业的工艺需求反馈给炼厂,指导针状焦产品指标持续优化;另一方面联合实验室,共同攻克降低CTE(热膨胀系数)等行业技术难题,显著提升国产针状焦的品质稳定性。

此外,该公司积极构建覆盖钢铁行业的立体销售网络,推动金陵石化针状焦制品成功进入龙头企业供应链。通过收集终端用户对电极断裂率、吨钢消耗等关键指标的反馈,形成市场需求-产品改进-价值提升的良性循环。该公司还首创“产能锁定+联合研发”合作模式,与上下游企业建立长期战略伙伴关系,为石化高端材料国产化提供可复制的产销协同样板。目前,该公司正探索将炼厂低碳工艺与下游碳足迹追溯系统对接,既能保障产业链稳定运行,又为行业绿色转型提供了创新实践。

金陵石化首车石墨电极用针状焦外运出厂。

客户反馈

强强联合实现高效价值传递

对话南通扬子碳素股份有限公司负责人

问:贵公司为何选择和中国石化合作?

答:长期以来,我国大口径超高功率石墨电极的生产依赖进口针状焦,不仅成本高昂,且供应受国际局势影响。国家《新材料产业发展指南》明确提出加快高性能碳材料的自主化,金陵石化作为中国石化的重点企业,承担了针状焦国产化的战略任务。

国内针状焦企业主要供应中低端市场,金陵石化依托中国石化渠道和技术优势,聚焦UHP石墨电极用高端针状焦,填补国内空白。我公司作为国内领先的石墨电极生产厂家,凭借行业领先的技术与工艺、稳定的产能与交付能力、市场口碑与客户基础等核心优势成为金陵石化的战略合作伙伴。双方合作形成“针状焦-石墨电极-钢铁企业”闭环,能够快速验证产品性能并迭代优化。

问:中国石化生产的直径700毫米UHP石墨电极产品应用效果如何?

答:金陵石化所产针状焦的低硫、较高颗粒强度等特性与我公司工艺高度匹配,生产的直径700毫米UHP石墨电极理化性能检测指标已达到YB/T 4090-2015标准,且大多数指标优于标准。我公司通过优化生产工艺,进一步提升了针状焦的导电性和抗热震性能,在电弧炉冶炼中也表现突出,吨钢电极消耗量满足钢厂指标要求。我们还建立联合实验室,对“针状焦原料-石墨电极-钢厂终端使用效果”进行全链条数据分析,为金陵石化优化针状焦指标提供重要参考。

问:您对中国石化超高功率石墨电极产品有哪些期待?

答:目前,用金陵石化高端针状焦生产的超高功率石墨电极已批量供应宝武、南京钢铁、太钢等企业,产品在电弧炉中使用质量及吨钢电极消耗表现稳定,低断裂率减少了冶炼过程中的停机维护频次。

部分客户希望进一步优化超高功率石墨电极的耐热冲击性能,降低CTE,以适应更高电流密度的极端工况。

金陵石化针状焦与我公司技术、市场应用的强强联合,已验证了从原料到终端的高效价值传递。我们希望能够进一步同中国石化深化交流、加强合作,持续探索金陵石化针状焦的低碳生产工艺与我公司石墨电极碳足迹追溯系统的对接,共同推动中国石墨电极产业链的持续稳定和高质量发展。

新闻会客厅

推动石墨电极用针状焦全面国产化

嘉宾:

炼油销售公司首席专家、技术服务部经理 **罗望群**

中国石化突出贡献专家,金陵石化炼油三部党总支书记 **顾承瑜**

大连院第十四研究室副主任 **初人庆**

问:尺寸越大的石墨电极生产难度越高,在突破直径700毫米UHP石墨电极用针状焦技术中,研究院做了哪些创新性尝试?

初人庆:与小尺寸UHP石墨电极相比,直径700毫米UHP石墨电极要求骨料针状焦电阻率更低、热膨胀系数更小、机械强度更大、大颗粒占比更多。

为突破直径700毫米UHP石墨电极用针状焦技术瓶颈,大连院针状焦研发团队围绕针状焦技术升级、生产工艺革新及质量稳定性控制等关键环节,开展一系列创新性探索。

在技术升级方面,通过原料预处理流程优化,从分子层面实现针状焦原料关键技术指标调控,采取“一原料、一工艺”策略科学制定与原料热反应性能匹配的工艺参数,有效控制类石墨微晶定向发育,逐一解决针状焦性能存在的问题。

在生产工艺革新方面,开展除焦、煅烧工艺参数优化试验,确定影响针状焦大颗粒占比的主要因素,制定标准化操作规程,有效解决粉焦量偏高等问题。

在产品质量稳定性控制方面,建立“原料-过程-产品”全链条数据联动机制,任何环节出现波动,下游均有相应的调控预案,保证针状焦产品性能稳定。

经过近一年攻关,金陵石化针状焦性能获得石墨电极企业认可,并成功完成直径700毫米UHP石墨电极工业化生产。

问:在生产高等级针状焦满足直径700毫米超高功率石墨电极的过程中,企业遇到的最大挑战是什么? 如何克服的?

顾承瑜:石墨电极是短流程电炉炼钢的重要元件,品质直接影响炼钢成本、效率和加工质量,而针状焦颗粒强度和CTE等关键质量指标直接影响石墨电极性能,我们前期产品的关键质量指标较国外进口高端针状焦有一定差距。

攻克大规格超高功率石墨电极势必要从其原材料针状焦入手,金陵石化充分发挥“原料-生产-煅烧”一体化优势,优化资源配置与管理,从源头入手,探究原料预处理工艺,实现杂质的高效脱除和有效芳烃的高选择性保留;建立“原料-结构-性能”关系,以千余条生产日志为基础,精细化调整生产工艺参数,稳步提升产品质量,配套变革除焦方式,探索最适宜的除焦方式,减少产品损耗。经持续优化,煅后针状焦颗粒强度和CTE等关键质量指标稳步提升,产品质量稳定性得到显著提升。

问:随着技术发展,在直径700毫米UHP石墨电极产品的基础上,研究院如何进一步提升针状焦品质?

初人庆:在直径700毫米UHP石墨电极用针状焦技术基础上,应进一步提升针状焦品质,为未来直径800毫米UHP石墨电极工业生产提供技术储备。与石墨电极本体用针状焦相比,接头用针状焦的性能有了质的改变,将对针状焦技术和生产工艺提出更严苛要求,大连院针状焦研发团队将以市场需求为导向,聚焦接头用针状焦技术研发,促进石墨电极行业用针状焦全面国产化。

未来,针状焦产品将更加注重定制化,根据下游客户需求开发满足特定性能要求的产品,并参照国外针状焦龙头企业实现产品分级销售,进一步提高市场竞争力。

问:直径700毫米UHP石墨电极的市场需求如何? 未来还有哪些市场增长空间?

罗望群:从政策层面看,“双碳”目标下钢铁行业碳配额收紧,电炉炼钢每吨钢减排1.5吨二氧化碳,将有效拉动超高功率石墨电极市场需求。

从需求端看,据世界钢铁协会发布的短期钢铁需求预测报告,2025年全球钢铁需求将增长1.2%,达17.72亿吨。据预测,2025年我国电炉钢占比预计从10%提升为15%~20%。随着电炉钢产量增加,未来对直径700毫米UHP石墨电极总需求将进一步上升,将有力带动中国石化优质针状焦需求的增长。随着电弧炉炼钢政策红利释放,我国700毫米以上UHP石墨电极需求年增速将保持12%~15%。在新能源领域,电池负极的需求不断增加,预计2025年锂电负极材料产量将进一步提升,也将拉动高端针状焦的市场需求。

从成本端看,连续石墨化技术突破(能耗降低40%),有望使高端动力电池用锂电负极材料生产成本大幅降低,带动高端针状焦需求稳定增长,另外,国际市场大规格超高功率电极的使用占比更高,基本都以600~700毫米规格为主。欧美企业因能源成本相对较高,我国石墨电极产品凭借成本优势将在国际市场上占据更多份额,对于优质针状焦需求拉动也将更为明显。