

高温工业的技术发展与耐火材料的科技进步

李红霞

中钢集团洛阳耐火材料研究院 洛阳 471039

1 我国耐火材料工业发展现状分析

耐火材料是钢铁、有色金属、建材、石化、能源、环保、电子、国防等基础工业领域重要的基础材料,是高温工业热工装备不可或缺的重要支撑材料,与上述工业的科学研究和关键技术的发展相互依存,互为促进。高温技术的发展,推动耐火材料技术的变革;耐火材料工业的科技进步与技术发展对相关工业领域工艺技术的发展起着不可替代的重要作用。

我国2005年的钢产量已达到3.49亿t,同比增长24.56%;水泥超过10.64亿t,同比增长9.4%;五种陶瓷砖(瓷质砖、炻瓷砖、细炻砖、炻质砖和陶瓷砖)总产量为41.82亿平方米,同比增长23.2%;玻璃纤维纱产量为112.64万t,同比增长22.9%,其中池窑拉丝64.72万t,同比增长45.6%。2005年,高温工业的如此迅猛发展,有力地推动了我国耐火材料科技和工业的发展。

我国耐火材料工业经过近二十年的努力,科技水平有了很大的进步,许多产品已达到或接近国际先进水平,耐火材料生产基本满足了国内高温工业需求。我国耐火材料总产量已居世界第一位,2005年,对全国1359家规模以上耐火材料企业统计,总产量达2276万t,同比增长32.15%,工业总产值666.5亿元,同比增长37.85%。2005年耐火原材料进口合计59.98万t,增长9.09%,其中耐火原料进口52.41万t,增长16.65%;耐火制品进口7.57万t,下降24.71%;全年耐火原材料出口合计683.5万t,增长24.61%;其中耐火原料出口530万t,下降22.14%,耐火制品出口153.38万t,增长33.94%。从我国耐火材料总产量看,我国已成为名副其实的全球耐火材料第一生产大国,而从全年出口数量上看,仍然以出口低附加值的原料为主。

然而,我国目前耐火材料技术发展滞后于迅速发展的冶金、有色、建材、石化、环保等高温工业技术进步的需要。以耐火材料最大的用户行业钢铁工业为例,钢铁工业用耐火材料的整体水平和工业发达

国家相比仍有较大差距:如日本和欧洲的吨钢耐火材料消耗为8.5~10kg,南美14kg、北美12kg。而我国的耐火材料总体水平较低,吨钢耐火材料消耗约为26kg,宝钢达到的最好水平是9.9kg。我国大型钢包使用寿命最好280次,吨钢耐火材料消耗为2.5kg,国外通过套浇和好的维护技术,钢包使用寿命达到了800余次,吨钢耐火材料消耗为0.92kg;生产高附加值钢、洁净钢等关键冶炼工艺的二次精炼用耐火材料的品种、质量和功能等方面与先进国家相比更存在较大差距;关键功能耐火材料如近终形连铸用浸入式水口、侧封板、塞棒、滑动水口等在设计、性能和使用寿命等方面也有很大差距;废弃耐火材料循环利用率国外达到60%以上,我国的再利用率不足20%,且尚属低级的利用。又如建材行业的水泥工业,回转窑大型化已成为当今水泥工业提高生产效率的最主要手段,欧、美、日等发达国家或地区已经开发出使用于日产万吨以上水泥熟料的大型水泥回转窑用耐火材料,而我国日产4000t以上的大型干法水泥回转窑关键部位用的高档耐火材料如镁铬砖、镁白云石砖、尖晶石砖等目前主要依赖进口。

仅从产量上看,我国已成为世界耐火材料生产第一大国。但从技术水平上看,我国耐火材料整体技术水平与国际先进水平相比,还存在着相当大的差距,这主要表现在:

(1) 现有科技成果大多是在剖析和跟踪国外产品的基础上形成的,缺乏具有自主知识产权的原创技术;

(2) 基础理论研究严重不足,缺乏耐火材料的应用基础研究和应用技术研究;

(3) 对环境友好型耐火材料、生态耐火材料的研究薄弱;

(4) 原料资源浪费严重,废弃耐火材料循环利用率低;

* 李红霞:女,1965年生,教授级高级工程师,博士生导师。

2 相关高温工业技术发展对耐火材料的要求

在未来5~10年中,由于国际钢铁市场激烈的竞争及铁矿石、焦炭等原材料价格的持续上涨以及环境负荷等因素的影响,“十一五”期间中国钢铁工业的重点是发展连续、紧凑和高效率的新一代钢铁流程,致力于优化产品结构,生产洁净钢、纯净钢及高附加值钢铁产品;减少资源消耗和对环境的负面影响。新一代钢铁流程的主要内容为高效、低成本、洁净钢流程技术集成;年产300万t级薄板坯连铸、连轧技术集成;发展较为前沿的熔融还原炼铁-精炼-近终形连铸紧凑型钢铁流程。为此,高炉长寿技术、熔融还原炼铁技术、快速吹氧气强化冶炼技术、炉外精炼技术等新的冶炼技术将得到发展和应用;中厚板坯高效连铸和近终形连铸(薄板坯连铸和薄带连铸)技术将得到进一步的提升和推广应用,同时钢铁工业对资源和环境给予更多的关注。因为环境负荷的加重和世界范围内焦煤资源缺乏,非焦炼铁工艺特别是熔融还原制铁工艺将得到发展并会在未来成为制铁的主要发展方向,其生产规模和效率是实现“熔融还原-近终形连铸”新一代紧凑型钢铁流程的关键。因此,为适应钢铁行业的上述发展和推动新一代钢铁制造流程技术集成,高品质、长寿命、多功能、对熔钢低污染或无污染的新一代钢铁工业用耐火材料的研发与使用将得到更多关注和发展。

有色冶金发展的趋势是不断采用新工艺、新技术及更新窑炉设备,强化冶炼操作,提高生产率。最近几年,有色冶炼新的工艺装备技术如闪速炉、奥斯麦特炉、艾萨炉、诺兰达炉等已先后引进我国有色工业,这些工艺设备结构复杂,要求生产可靠、维修量少、炉体寿命长,并且能够节能降耗,有利于环保。这些装备技术的引进,推动了我国有色冶金用耐火材料向抗高温、耐侵蚀、长寿命和环保、节能方向发展。

水泥工业干法窑外分解技术的发展和水泥窑的大型化,以及越来越多地使用废弃燃料资源,使得其关键部位对耐火材料性能要求越来越苛刻,全球环保意识加强和环境保护法律的规定,使得用不污染环境的无铬碱性耐火材料取代镁铬砖的呼声越来越高。美国水泥回转窑耐火材料已完全无铬化,欧美发达国家水泥窑用耐火材料的无铬化步伐也越来越快。我国也开始了无铬碱性耐火材料的研究与开发。

中国的垃圾已占到全世界年产垃圾的1/4以上,未来5~10年,环保工业垃圾焚烧处理将在我国

得到迅速发展。目前,发达国家为减少垃圾焚烧处理过程中高致癌物二恶英的产生及对生态环境造成的污染,大力发展垃圾焚烧-灰渣熔融处理技术,既能解决城市生活垃圾和工业废弃物的处理难题,又节约土地,还能发电供热和保护环境,是典型的循环经济。上世纪90年代,垃圾焚烧炉的平均温度达1300℃,而到90年代后期,一系列减少二恶英和灰分的温度在1600℃以上的灰渣熔融炉得到快速发展。其所用耐火材料面临严酷的工作环境,窑炉使用寿命短,目前所使用的为含铬耐火材料,开发适用于新型高温灰渣熔融炉的新一代耐火材料以及进一步提高耐火材料的使用寿命非常必要。

3 节能、环保和可持续发展战略对耐火材料工业的新要求

近年来,我国能源供需矛盾十分突出,我国工业能源消耗占总能源消耗的68.3%。据统计,2003年电力、钢铁、有色、石化、建材、化工、轻工、纺织8个行业主要产品单位能耗平均比国际先进水平高40%,如火电供电煤耗高达22.5%,大中型钢铁企业吨钢可比能耗高达21.4%,铜冶炼综合能耗高达65%,水泥综合能耗高达45.3%,大型合成氨综合能耗高达31.2%。我国能源利用效率与国外的差距表明,节能潜力巨大。耐火材料是所有高温工业的重要基础材料,耐火材料的蓄热、保温、热导率等性能与高温工业能耗或能源利用效率密切相关。发展节能耐火材料是耐火材料行业的重点任务,也是今后发展的主导方向和必须长期坚持的基本原则。

我国有丰富的耐火原材料资源,铝矾土、菱镁矿和石墨在世界耐火材料原料市场占有举足轻重的地位,是我国耐火材料工业发展的基础,也是世界耐火材料市场向中国转移的最为重要的原因。受我国冶金、建材、石化、环保等高温工业的高速增长拉动,同时由于我国耐火材料资源丰富,劳动力价格低廉,世界大型耐火材料跨国公司纷纷到我国建厂,以期利用其自身技术优势,加之中国的耐火原料资源优势 and 劳动力低廉优势,抢占我国巨大的耐火材料、特别是高端产品市场,并占领国际市场。据不完全统计,目前已有10个国家的42家耐火材料公司以技术和资金采用控股合资或独资方式在我国建厂生产。这些跨国企业不会向中国耐火材料行业输入技术,只是以其产品在中国市场获取巨额利润并消耗中国有限的耐火原料资源和紧张的能源。

耐火材料工业不仅是资源消耗型产业,也是能源消耗型产业。因为耐火材料工业的生产发展依赖于耐火原料资源,其制备加工过程又消耗大量的煤炭、石油、电力等重要能源资源。然而,我国目前大多数耐火材料企业为中小型,技术研发能力和产品技术含量低,产品大多数为消耗资源的低档产品或出口原料粗加工产品,如矾土、镁砂、石墨等,使我国有限的不可再生资源很难高附加值化,地方政府只顾当前利益,很难从长远和可持续发展方面考虑。现阶段我国无论钢铁行业或有色行业,耐火材料消耗高于世界平均消耗,大量用后耐火材料的再利用没有得到足够的重视,从而不仅造成资源的浪费,也造成一些环保问题。尽管国际耐火材料研发和生产中心向中国转移,但我国耐火材料行业的科技进步只能靠自己。否则,将面临极大的挑战和考验。因此,我国作为耐火材料生产第一大国,必须改变目前的现状,坚持科学的发展观和可持续发展战略,在政府的支持下做好资源的中长期规划和综合利用,加强原材料的高附加值化研究工作,提高资源、能源的综合利用水平,重视用后耐火材料的再生和循环利用,走资源和能源节约型道路,摆脱以高投入、高消耗、高排放、不协调、难循环、低效率为典型特征的传统经济发展模式。

4 我国耐火材料工业技术发展空间和方向

世界经济 2004、2005 年连续两年的强劲增长,以及中国经济连续十年的高速增长,都为中国和世界的钢铁工业持续发展奠定了坚实基础。2002 ~ 2004 年,中国固定资产投资同比增幅从 16.1% 上涨到 25.8%,2005 年增幅超过 25%,从而带动基础设施、制造业、电力、石油化工、汽车、造船等行业的发展。尽管目前我国一些行业产能集中释放造成相对过剩,需要宏观结构调整,但从长远看,中国钢铁、建材、石化、有色等工业总的趋势仍是发展。从目前情况看,中国还处于工业化中期,2004 年全国人均 GDP 只有 1200 美元,第三产业比重只达到 33%,要基本实现工业化还有很长一段时间。保守估计,2020 年以前,中国钢铁需求将保持稳步增长的态势。2006 年是中国“十一五”开局之年,要实现到 2010 年人均国内生产总值比 2000 年翻一番的目标,国民经济需要保持平稳较快发展,预计 GDP 增幅在 9% 左右。而另据联合国《2006 年世界经济形势和展望》以及世

界银行的报告预测,世界经济将继续保持 3% 的增长速度。宏观经济环境为钢铁产品提供了较大需求空间,为钢铁工业持续发展奠定了基础,由于耐火材料近 70% 用于钢铁行业,因此也为耐火材料提供了发展空间。

进入 21 世纪,各类高温工业技术的进步与发展日益突出自主创新和技术集成,耐火材料的重要性将会显得更加突出。许多冶金新技术的进步和实现将有赖于关键耐火材料的技术突破,进而关联到耐火材料的同步发展。为适应这些变化,耐火材料工业的科技进步必须改变目前以剖析、仿制、跟踪为主的发展模式,要立足自主创新,突出具有带动效应的原创性技术开发,强化基础理论和使用技术研究,更加突出系统技术集成,解决已凸现的基础理论薄弱、资源综合利用低、环境污染和能耗高等深层次的问题,以自主创新推动耐火材料工业的科技进步和技术创新系统集成,逐步实现由耐火材料产量大国转变为耐火材料技术强国。

发展新一代耐火材料,重点是开发满足高温工业技术发展的高技术或功能型耐火材料和可持续发展的节能、环保型耐火材料。具体而言:

(1) 重点围绕高温工业发展急需的关键耐火材料进行持续研究开发,及时实施产业化,满足高温工业发展需要;

(2) 以基础研究和应用基础研究带动原始创新,逐步实现以剖析、跟踪为主到原始创新为主的创新战略,实现技术跨越式发展;

(3) 加强节能产品、高效功能化产品、环保型耐火材料产品技术开发,替代高能耗、低效产品和对环境有害的耐火材料产品;

(4) 开发耐火材料生产新工艺以降低耐火材料生产中的能源消耗;

(5) 加强环境保护,提高废弃耐火材料再利用率,坚持走可持续发展道路。

5 耐火材料主要研究领域和内容

5.1 高温工业新工艺、新技术发展需要的耐火材料

5.1.1 高炉长寿集成技术研究

发展一代炉役寿命超过 15 年无需大修、具有较高生产率的大型高炉是目前我国高炉炼铁工艺的主要发展趋势。对高炉而言,炉腰、炉腹及炉缸用材料的性能是决定高炉寿命的关键因素。通过控制耐火材料的抗铁水侵蚀性、抗碱性、抗渗透性、热导率及

对孔径进行评测,开发具有更高导热性的微孔碳砖(孔径小于 $0.2\ \mu\text{m}$)及超微孔碳砖(孔径小于 $0.02\ \mu\text{m}$)、微孔 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiC-C}$ 砖及 C-SiC 砖。另外,随着高炉朝着大型化和长寿化发展,高炉出铁口用环保型优质炮泥也应得到相应发展。高炉长寿是一个多因素和技术相互作用集成的综合结果,需作为一个包括耐火材料应用技术、在线修补护炉技术等在内的系统工程来研究,以取得最佳效果,提升耐火材料的使用价值。

5.1.2 熔融还原炼铁用主要耐火材料

由于焦炭资源的短缺、铁矿价格的上涨、焦炉及烧结设备带来的污染,熔融还原炼铁技术受到重视并被视作非常具有发展前途的炼铁工艺。影响COREX炉寿命及生产效率的关键因素在于内衬结构的设计及内衬不同部位用耐火材料的选择,特别是流化燃烧区、风口、炉缸壁用耐火材料。加强模拟熔融还原条件下耐火材料的行为、熔损机理的研究,开发适应此类技术的新型高效耐火材料并进行技术集成和工业化生产,推动此类技术在我国的应用和发展。

5.1.3 二次精炼用耐火材料和钢包长寿综合技术研究

二次精炼技术在洁净钢甚至高纯钢冶炼以及提高冶金生产效率方面起了越来越重要的作用。为了获得高附加值产品和洁净钢甚至高纯钢,采取了脱气、合金化、成分均化、夹杂物形状控制、深度去除C、O、H、S、P、N等不同的二次精炼技术,如:RH、LF、AOD、VD等。研究适应不同冶金条件(高温、真空、气体搅拌、电弧加热等)和不同品种钢冶炼用的耐火材料,研究开发高抗侵蚀渣线材料、高抗热震超低碳镁碳砖、 $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO-CaO-(ZrO}_2\text{)}$ 碱性材料等,以适应洁净钢、纯净钢冶炼的需要,并配合研究综合砌炉、套浇、湿式喷射等维护和应用技术,提高钢包使用寿命。

中间包工作衬用耐火材料对连铸钢坯的质量产生较大的影响。重点研究对钢液有脱磷、脱硫、吸收夹杂物和改变夹杂物形态的具有净化作用的中间包用不同氧化钙含量的镁钙系烧成耐火材料或镁钙系浇注料及不烧砖,满足洁净钢或纯净钢生产需要。

5.1.4 近终形连铸用高寿命功能耐火材料的研究

功能耐火材料是薄板带等近终形高效连铸技术的关键相关技术,对近终形连铸工艺及效率有直接影响。我国薄板坯连铸发展迅速,但所用功能耐火材料发展相对滞后。开展具有自主知识产权的功能优越的使用寿命不低于15 h的薄板坯连铸用浸入式水口、长水口和整体塞棒的研究,使寿命达到或超过

国际先进水平。

薄带连铸是极具竞争潜力和正在工业化的近终形连铸技术,陶瓷侧封是该技术实现商业化运行的关键。研究开发具有优良的抗机械磨损性和抗化学侵蚀性、低热导率和低摩擦系数、不被钢水润湿,以及具有足够硬度和韧性的长寿命陶瓷侧封板具有重要意义。

5.1.5 废弃耐火材料再生资源化研究

我国目前年用后耐火材料约300万t,80%以上随着钢渣混杂而被废弃,占用土地,形成了污染。再利用率不足20%,且为附加值不高的初级使用。与国外60%以上用后耐火材料的再利用率相比有相当大的差距。采取钢铁企业、耐火材料企业和研究单位、大学合作的方式,研究用后耐火材料的回收、资源化技术和再利用技术,生产出附加值较高的产品,逐步使我国废弃耐火材料再利用率达到国外先进水平。

5.1.6 大型干法水泥窑用关键耐火材料的研究与开发

处置城市工业废弃物并实现无害化、资源化、减量化是当今世界性的研究课题,也是我国发展循环经济和节约能源、资源的发展需要。利用水泥窑处置工业废弃物,被国际公认为是处置工业废弃物最有效的方法。我国是水泥生产和消耗大国,以及随着我国循环经济的发展,二次燃料(由工业和家庭废弃物制备的燃料以及石油焦等)在未来替代煤作为燃料,更将加重了对耐火砖衬的化学侵蚀负荷。而且,随着水泥窑回转窑的大型化和高效化,水泥工业技术的发展对水泥内衬提出了新的和更苛刻的要求,尤其是环保和窑衬的使用寿命。传统水泥窑内衬不能满足大型水泥窑技术进步和环保上的要求,欧洲已经开发出了使用寿命长、环境友好的使用在回转窑的过渡带的碱性耐火材料,如大型水泥窑烧成带大量采用了镁白云石耐火材料,使用人工合成氧化镁制成的镁铝尖晶石砖、镁锆砖和镁铁尖晶石砖;在碱过量的窑中,开发出特别孔隙封闭的高铝砖显著地提高使用寿命。我国的水泥回转窑碱性砖中,镁铬砖依然占有主导地位,这种砖虽然具有荷重软化温度高、高温强度大、高温体积稳定性好等特点,但 $\text{MgO-Cr}_2\text{O}_3$ 砖用作大型水泥窑窑衬时不连续蚀损,而且抗剥落性也不够理想,同时带来对环境的污染。我国由于无铬的镁铝尖晶石砖和镁铁尖晶石砖技术与欧洲相差较大,因此,需要大力开发大型水泥窑用环境友好的优质无铬碱性耐火材料,如高质量长寿命的镁白云石砖、尖晶石砖及镁锆砖,气孔封

闭的高铝砖,并实施产业化,满足国内外市场需求。

5.2 节能型耐火材料

节能是我国经济和社会发展的一项长远战略方针,也是当前一项极为紧迫的任务,为此国家发改委和科学技术部于2005年发布了《中国节能技术政策大纲》。其中体现耐火材料对推动节能降耗,建设节能型社会,促进经济社会可持续发展具有重要现实意义。

5.2.1 优质高性能不定形耐火材料

不定形耐火材料与定形耐火制品相比,具有节能、劳动生产率高、施工方便、适用性强、安全性高等优点,在各国都得到迅猛的发展。在日本,优质高效不定形耐火材料约占耐火材料总量的60%,美国占53%,欧洲国家优质高效不定形耐火材料约占耐火材料总量的45%~50%,而我国不定形耐火材料仅占30%。特别是在品种结构与新品种开发与发达国家差距较大。因此,需要大力开展节能型高性能不定形耐火材料、高性能碱性耐火浇注料、环保型不定形耐火材料和新型结合剂系统的研究开发。

5.2.2 保温功能型耐火材料的研究

通过耐火材料的组成、结构优化设计,实现对材料组织结构的控制,获得具有微气孔结构或梯度组成、性能的耐火材料,提高冶金容器的保温效果。

5.2.3 高温晶体纤维研究

耐火纤维具有耐高温、保温性能好、节能等优点,在工业窑炉已广泛推广使用,但使用温度可达1600℃以上的高温晶体纤维仍属空白。高温晶体纤维广泛应用于高温间歇窑炉、核反应堆等高温环境,同时也是金属增强、陶瓷增韧的高级添加材料,具有广阔的应用前景。开展高性能多晶氧化铝纤维的工业化生产技术研究,并实施产业化,占领国内外市

场,具有重要意义。

5.3 环保和资源再生

主要研究内容为焚烧炉与熔融炉用关键耐火材料的研究与开发;无铬、低铬及无碳、低碳等环保型耐火材料的开发与应用;用后耐火材料回收、再利用成套技术的研究与开发。

5.4 节能降耗先进装备的研究开发

跟随世界工业装备的发展步伐,努力按机械化、自动化、智能化和降低能耗的原则提高我国耐火材料的装备水平。从原材料的分选、混合、称量到成型、烧成及至加工的设备,除了应达到计量准确,混合均匀,窑温可控等要求外,必须尽量降低粉尘、废气排放和能源消耗,并开发节能型高温窑炉。

5.5 耐火材料应用基础理论研究

基础研究是原始创新的基础,对新产品开发具有指导作用。对耐火材料领域的新技术、新工艺、新方法进行深入研究,对耐火材料行业技术进步具有推动作用。

冶金过程用耐火材料主要毁损形式是与金属熔体、熔渣反应引起的侵蚀和剥落。研究耐火材料在高温使用过程中的行为,以科学选择适用不同钢种冶炼用的耐火材料,是耐火材料所有研究工作的基础。结合炉外精炼、电磁搅拌、熔融还原等强化冶金过程,开展耐火材料和钢液、熔渣作用过程的高温模拟实验及机理研究,对科学选择、优化相应冶金或高温过程用耐火材料,开发冶金新工艺、新技术、前沿技术用耐火材料的研究起非常重要的指导作用。长期以来,在这方面的研究一直是耐火材料研发工作中的薄弱环节,无形中限制了耐火材料研究的深度和创新。因此,必须将之放到重要位置,从而为自主创新、获得具有自主知识产权的新技术、新产品提供重要基础支持。

作者:

[李红霞](#)

作者单位:

[中钢集团洛阳耐火材料研究院, 洛阳, 471039](#)

本文读者也读过(6条)

1. [李红霞](#) 高温工业的技术发展与耐火材料的科技进步[会议论文]-2007
2. [张光磨, Zhang Guanghui](#) 浅谈我国耐火材料工业的发展[期刊论文]-中国建材2007(2)
3. [邢守渭, 靳家国](#) 循环经济与耐火材料工业[会议论文]-2006
4. [钟香崇](#) 我国耐火材料工业在新世纪战略发展的思考[期刊论文]-钢铁2003, 38(9)
5. [石凯](#) 论耐火材料工业的科技发展[会议论文]-2008
6. [Michel Rigaud, 周宁生, 叶方保](#) 从中国的观点看耐火材料工业的未来[会议论文]-2005

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Conference_6120109.aspx