

以废弃耐火材料制备再生料研究的新进展

张 巍

(派力固(大连)工业有限公司, 辽宁 大连 116600)

摘要:综述了废弃耐火材料再生利用的情况,主要介绍了国内对废弃镁铬砖、废弃镁碳砖、废弃铝镁碳砖、废弃镁钙砖、废弃滑板砖、废弃鱼雷罐砖等的再生利用研究成果与再生耐火材料的性能。结果表明,再生耐火材料的性能可以达到新产品水平。对废弃耐火材料的再生利用,可以有效地降低生产成本,同时也能减少对环境的污染,既带来了经济效益,也带来了社会效益。在此基础上,展望了废弃耐火材料今后的发展趋势。

关键词:废弃耐火材料;再生;环境保护;废弃镁铬砖;废弃镁碳砖;废弃铝镁碳砖;废弃镁钙砖;废弃滑板砖;废弃鱼雷罐砖

中图分类号:X705、TB332 文献标识码:A 文章编号:1006-8759(2013)04-007-05

NEW PROGRESS IN RESEARCH ON RECYCLING MATERIALS PREPARED FROM WASTED REFRACTORIES

ZHANG Wei

(Pibrico(Dalian) Industries Co., Ltd, Dalian 116600, China)

Abstract: The current status of the recycling of wasted refractories was overviewed. The research results of the recycling of wasted magnesia-chrome bricks, wasted magnesia-carbon bricks, wasted alumina-magnesia-carbon bricks, wasted magnesia-calcium bricks, wasted slide gate bricks and wasted torpedo bottle bricks at home as well as the performance of the renewed refractories were introduced. The results showed that the properties of the renewed refractories were closed to the level of the properties of the quality refractories. Recycling of wasted refractories can reduce production cost effectively and reduce pollution to the environment. And not only economic benefits can produced but also social benefits can produced. Based on these, the trend of investigation of wasted refractories are made.

Keywords: wasted refractories, recycle, environmental protection, wasted magnesia-chrome bricks, wasted magnesia-carbon bricks, wasted alumina-magnesia-carbon bricks, wasted magnesia-calcium bricks, wasted slide gate bricks, wasted torpedo bottle bricks

1 前言

废弃耐火材料是冶金、玻璃、水泥、陶瓷和化工等行业作为窑炉内衬材料使用服役后被拆除下来的废弃物。我国对于这些废弃耐火材料采取的主要措施是作为工业垃圾被废弃或者掩埋^[1,2]。这

不但浪费了大量的人力、财力、物力,同时也占据了大量的存储空间,部分废弃耐火材料具有放射性,有的还能产生粉尘、致癌物质等,这些都对环境造成了一定的污染。国外对这些用后废弃耐火材料的再生利用非常重视,已经上升到环保、资源利用、提高企业的经济效益和社会效益的高度去认识,并制定了相关的法令法规,成立专门研究机构,组建专业公司,资源化利用率高,例如日本、意

大利、美国、法国、德国等^[3-9]。我国随着矿产资源的日益枯竭,同样面临着资源短缺的现实问题,在全球大力发展低碳经济形势下,如果能将这些废弃的耐火材料进行再生利用,不仅可以节约了国家的矿物资源和能源,而且也减少了对环境的污染。因此,对废弃耐火材料进行再利用研究是非常有意义的。目前,我国也对节约能源,减少污染,保护环境等问题产生了高度重视^[10],相关的耐火材料企业、钢铁企业和高校、科研院所等也都在用后废弃耐火材料的再生利用方面开展了一些有益的工作。本文主要针对国内近年来用后废弃耐火材料再生技术取得的新进展进行综述,以推进我国用后废弃耐火材料再生利用的发展。

2 废弃镁铬砖的再生利用

镁铬砖是以 MgO 和 Cr₂O₃ 为主要成分,具有耐火度高,高温强度大,抗碱性渣侵蚀性强,抗热震稳定性优良,对酸性渣也有一定的适应性及低的热导率,合理的性价比等诸多优点,因此广泛应用于大型水泥回转窑烧成带上和平炉炉顶、电炉炉顶、炉外精炼炉以及各种有色金属冶炼炉等冶金工业。但用后的废镁铬砖如果不经处理就直接排放到环境中,由于使用时 Cr³⁺转化为了 Cr⁶⁺,Cr⁶⁺有毒且溶于水,会对人体造成危害,同时也会造成环境污染和地下水污染等问题。目前,一方面,这种废镁铬砖质量较好,具有较好的回收利用价值;另一方面,这种镁铬砖在短期内还无法被取代。因此,对这种用后废镁铬砖的再利用也成为近年来研究的热点。

云斯宁等^[11]指出,大型水泥回转窑烧成带用后直接结合镁铬砖,主要损毁于水泥熟料的液相侵蚀所引起的热面结构剥落以及水泥原料或燃料中的碱性成分(K、Na、S等)以液态或气态的形式进入气孔中固化导致的砖体结构脆化。因此,这种废镁铬砖中除了含有少量的水泥熟料以外,还含有碱盐和 Cr⁶⁺等大量杂质,这些杂质成分都严重影响了废弃镁铬砖再生利用的效果。钟黎声等^[12]和高里存等^[13]针对此情况,首先对这种废镁铬砖进行了预处理,具体包括:(1)去掉废镁铬砖上带有的窑皮、附渣层及渗透层;(2)对剩余原砖破碎后筛分为所需粒度;(3)高温下还原 Cr⁶⁺,同时蒸发掉部分碱盐,以此来减少废砖中的 Cr⁶⁺。对处理后的废镁铬砖进行 XRD 分析,结果表明:废镁铬

砖的主要矿物成分为方镁石和尖晶石固溶体,废镁铬砖经过处理后去除了大量的杂质,达到了使用要求。然后,用这种处理后的废镁铬砖替代镁砂原料引入到镁质浇注料中,研究了其加入量对镁质浇注料性能的影响,并与原先未加入废镁铬砖的试样进行性能对比。结果表明:随着废镁铬砖加入量的增加,试样的烘干、高温和中温耐压强度、抗折强度、体积密度均逐渐增大。当加入量 w (废镁铬砖)=37%时,其性能指标接近未加入废镁铬砖试样的。高里存等指出,加入适量的废镁铬砖细粉有利于提高镁质浇注料的烧结程度和强度,但加入量不能太多。通过 SEM 及 XRD 分析可知,添加废镁铬砖细粉的镁质浇注料经过烧结后,材料的主晶相为方镁石,次晶相几乎全为尖晶石或尖晶石固溶体,玻璃相较少,直接结合程度高,这些因素导致烧后试样强度和致密度提高。

国外,伊朗的一项研究表明^[14],将炼铜工业用的阳极炉、浇铸轮用后的废镁铬砖进行回收,然后将试样热面切去几厘米后碾碎,制成一定的粒度,再和高铝水泥混合制备出耐火浇注料。该废镁铬砖中虽含有少量的金属铜、渣和其他杂质,但用其制备出的浇注料颗粒尺寸分布和颗粒堆积情况较好,因此施工性能好,具有较好的力学性能。将该料应用于伊朗 SARCHESHMEH COPPER COMPLEX 熔炼厂阳极 3# 炉工作衬,使用结果表明:衬里使用了 8 h,并且没有出现较严重的侵蚀现象,使用效果良好。

3 废弃镁碳砖的再生利用

镁碳砖是以 MgO 和 C 为主要成分,其中 w (MgO)=60%~90%, w (C)=10%~40%。镁碳砖具有优良的抗渣侵蚀性、熔渣渗透性、抗热震性和导热性,广泛应用于炼钢氧化转炉的炉衬、出钢口,高功率电炉炉墙热点部位,以及炉外精炼炉内衬、盛钢桶渣线部位等。

镁碳砖在使用过程中因与钢水、钢渣接触而会受到严重侵蚀,其内部结构和化学成分都产生很大变化。在炼钢的高温过程中,MgO-C 砖中含有的金属铝粉和硅粉会与碳发生氧化还原反应,产生 Al₄C₃ 和 SiC。在高温下,Al₄C₃ 会与结合剂产生的水发生如下反应:



该反应产生 CH₄ 气体,同时反应生成的固体

体积也增大了 1.65 倍, 导致再生制品出现膨胀、开裂的现象, 影响使用性能。针对这种情况, 冯慧俊等^[15]采用高温化学反应的方法, 在特定的技术条件下, 使 Al_4C_3 按上述反应式进行化学反应, 去除了废 $MgO-C$ 砖中的 Al_4C_3 成分, 最终得到合格的制备新 $MgO-C$ 砖产品的二次颗粒原料。以这种二次颗粒原料为主要原料, 添加部分新原料, 制备出了新的 $MgO-C$ 砖产品, 该产品的指标已完全超过同类产品的国家行业标准。将该产品在宝钢分公司炼钢厂进行试验使用, 结果表明: 该产品使用 82 炉后, 未出现剥落、开裂和异常熔损等现象, 其使用中的表现、使用寿命和用后残厚均与现行的镁碳砖无差别, 其使用性能已达到目前宝钢炼钢厂正常使用镁碳砖的水平, 能满足多种精炼工况条件下大型钢包对上渣线的要求。

张国栋等^[16,17]和满斯林等^[18]也研究了用后钢包渣线镁碳砖的再生利用。张国栋等首先将废 $MgO-C$ 砖进行再生处理, 然后以这种 $MgO-C$ 砖回收料、镁砂、石墨-196、铝粉-325 为原料, 热固性酚醛树脂 5323 为结合剂, 制备出再生渣线镁碳砖, 并研究了回收料中残碳量和假颗粒对再生镁碳砖性能的影响。结果表明: 由于回收料中存在着一定量致密度较小的假颗粒, 同时回收料中含有数量较多且粒度小的残碳, 这些残碳使物料不容易被树脂润湿, 不容易混匀, 因此使试样的显气孔率增大, 体积密度减小。此外, 由于假颗粒的强度较低导致随着回收料加入量的增加, 试样的常温耐压强度和高温抗折强度有所降低。当 $w(\text{废镁碳砖})=60\%$ 时, 再生镁碳砖的性能符合行业标准的要求。通过半工业化试验发现, 检测结果与实验室的结果差距较大, 但规律相同, 即随着废镁碳砖的引入, 试样的各项性能下降。在半工业化实验中, 当 $w(\text{废镁碳砖})>80\%$ 时, 试样的各项性能恶化严重。满斯林等还研究了废镁碳砖的粒度对再生镁碳砖性能的影响。结果表明: 在再生镁碳砖中引入不同粒度的废镁碳砖均不同程度地降低了材料的致密度、常温耐压强度、高温抗折强度和抗渣侵蚀性, 其中以引入 $\leq 0.074\text{ mm}$ 的回收料对其各项性能降低程度影响最大, 引入 $5\sim 3\text{ mm}$ 的回收料对镁碳砖致密度影响最小, 引入 $3\sim 1\text{ mm}$ 的回收料对镁碳砖常温耐压强度和高温抗折强度影响最小。

国外的一项研究表明^[19], 废镁碳砖的再利用对炼钢具有积极作用。根据试验结果, 每炉次回收

1 t 废镁碳砖会改善渣起泡性能, 由于 MgO 的浓度接近于饱和极限, 因此会降低电能消耗, 延长耐火材料的使用寿命, 同时也能降低溶剂消耗, 减少熔炼时间。

4 废弃铝镁碳砖的再生利用

铝镁碳砖是以 Al_2O_3 、 MgO 和 C 为主要成分的含碳耐火材料, 其中 $w(Al_2O_3)=60\%\sim 69\%$, $w(MgO)=7\%\sim 14\%$, $w(C)=5\%\sim 12\%$ 。铝镁碳砖具有较好的抗渣侵蚀性和抗热震性。为提高其抗氧化性, 常在配料时加入适当添加剂, 如 Si 粉、 Al 粉、 SiC 粉或硅铁粉等。铝镁碳砖广泛应用于大型转炉和超高功率电炉钢包衬和炉外精炼炉衬等。

在国内, 仅武钢一家钢厂全年产生的 1 万多吨废弃耐火材料中, 废铝镁碳砖就多达 4 000 t。如果这些废弃的铝镁碳砖能有效的加以再利用, 就能解决环境污染问题, 同时也能节约材料的成本, 为企业带来效益。邓良奎等^[20]利用废弃镁铝碳砖为主要原料, 再配以棕刚玉、 SiC 、酚醛树脂、 Al 粉等原料, 制备出 $Al_2O_3-MA-SiC-C$ 质铁沟捣打料。结果表明: 随着废铝镁碳砖加入量的增加, 试样的体积密度减小, 显气孔率增大; 经过 $1\ 500\text{ }^\circ\text{C}$ 热处理后试样的线膨胀率增大; 经过 $200\text{ }^\circ\text{C}$ 烘干后试样的常温抗折强度和耐压强度减小; 经过 $1500\text{ }^\circ\text{C}$ 热处理后试样的常温抗折强度和耐压强度增大; 试样的抗氧化性能下降, 失重率和脱碳面积上升; 试样的高温抗折强度减小; 试样的侵蚀指数先减小后增大, 当 $w(\text{废铝镁碳砖})=60\%$ 时, 试样被侵蚀程度最小, 抗渣性能最好。研制的这种捣打料虽然具有价格低, 容易施工等优点, 但是这种材料不耐冲刷, 使用寿命短, 而且原料中的沥青与树脂在加热过程中产生的烟尘有毒, 对环境造成了一定的污染。针对这种问题, 邓良奎等还利用废弃镁铝碳砖混碎料、 SiC 、棕刚玉为主要原料, 分别以纯铝酸钙水泥+ SiO_2 微粉, 硅铝凝胶粉和镁质结合剂为结合剂, 外加分散剂、有机纤维和金属 Al 粉, 制备出 $Al_2O_3-MA-SiC-C$ 质铁沟浇注料。结果表明: 结合剂为镁质结合剂时, 试样具有较高的体积密度、较低的显气孔率以及较高的常温抗折强度和耐压强度, 较高的高温抗折强度和较好的抗渣侵蚀性能。在抗爆裂性能方面, 以纯铝酸钙水泥+ SiO_2 微粉为结合剂制备的试样抗爆裂温度高, 抗爆裂性能最好; 以镁质结合剂为结合剂制备的

试样次之。李新健等^[21,22]也以武钢废弃铝镁碳砖颗粒、镁铝尖晶石、特级矾土、电熔镁砂、白刚玉、石墨为主要原料,以热塑性酚醛树脂作为结合剂,以金属 Al 粉、Si 粉、硼玻璃为添加剂,制备出钢包铝镁碳砖。结果表明:随着废铝镁碳砖加入量的增加,材料经过 200 ℃、1 000 ℃热处理后的体积密度变化规律相同,均是先减小后增大;经过 1 500 ℃热处理后的体积密度先增大后减小再增大。材料经过 200 ℃热处理后的体积密度大于经过 1000 ℃和 1 500 ℃热处理后的。随着废铝镁碳砖加入量的增加,材料经过 1 000 ℃热处理后呈现收缩,并且相差不大;经过 1 500 ℃热处理后呈现为膨胀,线膨胀率先减小后增大再略微减小。常温抗折强度方面,随着废铝镁碳砖加入量的增加,材料经过 200 ℃热处理后强度先增大后减小;经过 1000 ℃热处理后强度增大;经过 1 500 ℃热处理后强度先减小后增大再减小。耐压强度方面,随着废铝镁碳砖加入量的增加,材料经过 200 ℃热处理后强度先增大后减小再增大;经过 1 000 ℃热处理后强度先增大后减小再略微增大;经过 1 500 ℃热处理后强度先减小后略微增大再减小。材料经过 200 ℃热处理后的常温抗折强度和耐压强度均最大。随着废砖加入量的增加,材料的抗氧化性能下降,抗渣侵蚀性能提高。同时还研究了废铝镁碳砖的颗粒级配对再生铝镁碳砖性能的影响,结果表明:随着 3-1 mm 废砖骨料的减少,材料的体积密度逐渐降低,显气孔率逐渐上升,常温抗折强度和耐压强度下降,侵蚀指数上升,材料的抗渣侵蚀能力下降。在废砖加入量不同的情况下,最佳的颗粒级配均为: $w(3-1\text{ mm 废铝镁碳砖})=40\%$, $w(1-0\text{ mm 废铝镁碳砖})=25\%$, $w(<0.076\text{ mm 废铝镁碳砖})=35\%$ 。

王义龙等^[23]以用后钢包内衬废铝镁碳砖替代部分高铝矾土熟料和棕刚玉,再配以 SiC、球沥青、铝酸盐水泥等,制备出 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiC-C}$ 质浇注料。在这种浇注料体系中,对废铝镁碳砖加入量的研究,王义龙等得出了不同于以上作者的结论。其研究结果表明:随用后废铝镁碳砖加入量的增加,试样经过 1 000 ℃和 1 400 ℃热处理后的显气孔率增大,常温抗折强度和耐压强度减小,高温抗折强度下降,抗钢渣侵蚀能力降低。废铝镁碳砖的粒度方面,在浇注料中引入粗粒度的再生料有利于提高产品的性能。 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiC-C}$ 质浇注料中引入

8-5 mm 用后废铝镁碳砖的综合性能最佳。

5 废弃镁钙砖的再生利用

镁钙砖是一种以方镁石为主晶相,以硅酸三钙为次晶相的镁质耐火材料,其中 $w(\text{MgO})=80\%\sim 87\%$, $w(\text{CaO})=6\%\sim 9\%$, CaO/SiO_2 比在 2.2~3.0 之间。镁钙砖具有气孔率低,荷重软化温度高,抗碱性渣性能良好等特点,广泛应用于炼钢侧吹转炉风眼处、平炉炉顶和吹氧转炉上等部位。

梁义勇等^[24]以废镁钙砖和镁钙砂为原料,以石蜡为结合剂,制备出再生镁钙砖。结果表明:随着废镁钙砖加入量的增大,再生镁钙砖的体积密度减小,常温抗折强度和耐压强度下降,高温抗折强度也随之下降,荷重软化温度降低,但是抗渣性能提高。综合来看,当加入量 $w(\text{废镁钙砖})=5\%$ 时,再生镁钙砖的性能最佳,与镁钙砖的性能相当。

6 废弃滑板砖的再生利用

滑板砖在钢铁生产中起着举足轻重的作用,它是滑动水口的核心组成部分,是直接控制钢水、决定滑动水口功能的部件,因此是一种具有重要功能的耐火材料。

彭耐等^[25]以用后废弃 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-MgO-C}$ 滑板砖、SiC、特级矾土熟料、叶蜡石和鳞片石墨为原料,以热固性酚醛树脂为结合剂,研制出不烧 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiC-C}$ 砖。结果表明:随着 3-1 mm 滑板再生料加入量的增加,试样经过 200 ℃、1000 ℃和 1500 ℃热处理后的显气孔率、常温抗折强度和耐压强度均呈现先增大后减小的规律,体积密度相差不大。当不同粒度废滑板料加入量为 $w(3-1\text{ mm})=45\%$ 、 $w(1-0\text{ mm})=20\%$ 、 $w(<0.088\text{ mm})=35\%$ 时,试样达到最紧密堆积,试样颗粒级配较为合理。此时,试样的显气孔率最小,线膨胀率最小,常温抗折强度和耐压强度最大。研制的不烧 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiC-C}$ 砖具有较高的强度、良好的抗渣性和抗氧化性。在这种不烧 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiC-C}$ 砖中添加适量的叶蜡石能够增强材料的体积稳定性,这与作者等^[26-30]研究的将叶蜡石引入到不定形耐火材料中的研究结果相同。同时还能够增大材料的体积密度,减小气孔率,提高常温抗折强度和耐压强度,进一步改善材料的抗氧化性能,但会影响材料的抗渣性能。

岳昌盛等^[31]以首钢用后废 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-C}$ 滑板砖、废硅砖、废黏土砖为原料,以羧甲基纤维素钠为结合

剂,进行了莫来石合成的研究。结果表明:分别以废滑板砖和废硅砖以及废滑板砖和废黏土砖为原料在 1 550℃和 1 600℃下保温 4 h 均能合成出莫来石,但是以废滑板砖和废黏土砖为原料合成的莫来石相的相对含量更大,常温抗折强度更高,其最佳合成工艺为:按照废滑板砖和废黏土砖 $n(\text{Al}_2\text{O}_3):n(\text{SiO}_2)=3.5:2$ 配料,1 600℃下保温 4 h。主晶相莫来石的相对含量可达 96.3%,长柱状的莫来石晶体彼此交联,结构较为致密。合成的莫来石虽然是以含有少量 TiO_2 、 MgO 和 Fe_2O_3 等杂质的用后废 Al_2O_3 -C 滑板砖、废硅砖、废黏土砖为原料制备出来的,但从其研究结果中不难看出,这并不影响莫来石的合成。此外,杨中正等^[32,33]和 Dong Y C 等^[34]的研究表明:这些杂质相可以促进烧结并提高制品的韧性。因此,与天然原料相比,这些用后废弃耐火材料杂质含量较低,组成较稳定,有益于莫来石材料的合成。

7 废弃鱼雷罐砖的再生利用

鱼雷罐砖具有耐铁水和熔渣侵蚀、抗冲刷能力强、抗热震性好、抗氧化性能好等特点,作为鱼雷车铁水罐各部位内衬材料使用。

袁海燕^[35]以 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)=65.35\%$, $w(\text{C})=6.96\%$ 的废鱼雷罐衬砖、90 矾石、白刚玉、碳素材料、结合剂和添加剂等为原料,制备出新的鱼雷罐衬砖。结果表明:随着废鱼雷罐衬砖加入量的增加,试样的显气孔率增大,体积密度逐渐减小,抗渣性能变化不明显。常温耐压强度下降,但是符合标准,能满足鱼雷罐衬砖的使用。综合考虑,当加入量 w (废鱼雷罐衬砖)=15%~30%时,再生制品的性能符合使用要求。

8 结语

目前我国对废弃耐火材料的再生利用虽然取得了一定的成绩,但仍处于起步阶段,再生利用率还不是很高。通过本文以上的论述,证明了将废弃耐火材料回收后,可以制备出品质优良的定形耐火材料和不定形耐火材料。一方面,利用废弃耐火材料进行再利用可以节约生产成本,给企业带来经济效益;另一方面,将废弃耐火材料再利用可以减少其对环境的污染,同时也释放了原先堆放这些废料的地理空间,保护了环境,也带来了社会效益。因此,今后以用后废弃耐火材料为原料进行其

它再生料生产的品种会继续增多,品质也会进一步提高,导致用后废弃耐火材料的再利用率也会迅速增大。随着我国科技实力的增强,对用后废弃耐火材料的分类、挑选、再利用等技术也会突飞猛进,最终有望实现用后耐火材料的零排放。

参考文献

- [1] 黄世谋,杨源,薛群虎.废弃耐火材料再生利用研究进展[J].耐火材料,2007,41(6):460-464.
- [2] 杨富廷,陈力军,董和梅.莱钢固体废弃物综合利用现状与对策[J].山东冶金,2008,30(5):12-14.
- [3] 范志辉,陈建雄,徐延庆,等.用后耐火材料综合利用现状、问题与建议及产业发展的思考[J].耐火材料,2011,45(6):466-469.
- [4] Kabanov Y A, Stolyarskii O A. Recycling refractory wastes[J]. Metallurgist, 2004,48(1-2): 42-44.
- [5] Bennett J P, Kwong K S. An overview of recycling refractory materials[J]. Industrial Ceramics, 2004,24(3): 165-171.
- [6] Conejo A N, Lule R G, Rodriguez R. Recycling MgO-C refractory in electric arc furnaces[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2006,49(1): 14-31.
- [7] Lu Zhixin, Yu Yanwen. Reuse and reproduction of used refractories[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2007,46(z1):63-64.
- [8] 全荣,译.耐火材料再循环利用技术的开发[J].耐火与石灰,2008,33(5):15-18.
- [9] Gerd Kley. Thermochemical treatment—technologies recovery and utilizations of materials[J]. The Chinese Journal of Process Engineering, 2006,6(2): 231-234.
- [10] Xu Tao, Peng Huiqing. Formation cause, composition analysis and comprehensive utilization of rare earth solid wastes[J]. Journal of rare earths, 2009,27(6):1096.
- [11] 云斯宁,章道运.镁铬砖在大型干法水泥回转窑烧成带的损毁[J].耐火材料,2004,38(4):238-241.
- [12] 钟黎声,高里存,马小斌,等.废镁铬砖加入量对镁质浇注料性能的影响[J].硅酸盐通报,2009,28(2):366-369,378.
- [13] 高里存,钟黎声,马小斌.废镁铬砖细粉的加入对镁质浇注料烧结性的影响[J].硅酸盐通报,2009,28(4):850-853.
- [14] 张丽,译.用回收废弃镁铬砖生产耐火浇注料的新途径[J].国外耐火材料,2006,31(2):12-14.
- [15] 冯慧俊,田守信.宝钢用后废弃 MgO-C 砖的再生利用[J].宝钢技术,2006(1):17-19,51.
- [16] 张国栋,游杰刚,陈树江,等.钢包渣线用后镁铬砖的回收再利用研究[J].耐火材料,2010,44(6):447-449.
- [17] 张国栋,刘海啸,罗旭东,等.镁质含碳耐火材料回收再利用研究[J].武汉理工大学学报,2010,32(22):192-195.
- [18] 满斯林,张国栋,刘海啸,等.用后镁铬砖回收料加入量和粒度对镁碳砖性能的影响[J].耐火材料,2011,45(2):115-117.
- [19] 雷中兴,译.IMEXSA 电炉用 MgO-C 耐火材料的回收[J].耐火与石灰,2006,31(4):23-28.

首先,政府应加大机动车尾气排放管理的宣传工作,加速淘汰高污染车辆,可以对此类车辆实行淘汰补助机制,激励高污染车辆的淘汰;实施高污染车辆的限行措施。其次,升级公共自行车系统。已有的公共自行车系统已逐渐起到缓解交通拥堵,减轻汽车尾气排放,培养市民健康生活的作用。杭州可在原有的系统上继续提供更优质的服务。增设并调整自行车租赁点、停放点、修理点,将其优化到最佳布局;在部分路段设立自行车专用道;允许公共自行车带上地铁;加强铁路、水路、公路的交通联运功能,以公共自行车作为交通连接点,建立便捷、通畅、有序的立体化交通体系^[19]。

4.5 营造绿色消费氛围,重视低碳生活

杭州市经济发展水平较高,市民生活质量不断提升,但是生活方式并不科学。政府有责任和义务引导居民开展低碳的生活方式:少用塑料袋,多自备布袋,少用空调,尽量使用电扇,随手关灯,节约用纸等等方式。全市可以社区、村为单位,以宣传栏、宣传单、工作人员上门介绍为手段,将低碳理念灌输到每家每户。通过政府的大力宣传,加强低碳知识的普及,调动全民积极参与到低碳城市建设中来。

参考文献

- [1] 2050 中国能源和碳排放研究课题组.2050 中国能源和碳排放报告[M].北京:科学出版社,2009年。
[2] 木子林.中国公布首个低碳城市标准[J].山西能源与节能,2010

年第3期。

- [3] 林衍.中国低碳城市发展:未上马,已脱缰 [N].中国青年报,2010年。
[4] 木子林.中国公布首个低碳城市标准[J].山西能源与节能,2010年第3期。
[5] 英国开始实施低碳经济国家战略.http://news.sina.com.cn/o/2009-07-17/132815970122s.shtml。
[6] 杜跃进,李新民.走进风电王国:“谁都阻止不了风”[N].经济参考报,2009年。
[7] 感受童话王国低碳生活.http://www.cenews.com.cn/xwz/hq/qt/201001/t20100104_629435.html。
[8] 罗宏,裴莹莹,冯慧娟,吕连宏.促进中国低碳经济发展的政策框架[J].资源与产业,2011年第2期。
[9] 刘文玲,王灿.低碳城市发展实践与发展模式[J].中国人口·资源与环境,2010年。
[10] 唐亿文,屠烜,黄玥等.低碳世博和上海低碳城市建设[J].上海节能,2011年第2期。
[11] 刘文玲,王灿.低碳城市发展实践与发展模式[J].中国人口·资源与环境,2010年。
[12] 百度百科:http://baike.baidu.com/view/3742.htm。
[13] 佚名.杭州人才引进有新招[N].青年时报,2010年。
[14] 陈周锡.50亿基金撬动低碳杭州[N].《经济观察报》.2010年。
[15] 汪璐,程超.杭州常住人口870.04万人[N].都市快报,2010年。
[16] 胡雷,王芳.我国低碳经济发展的研究与分析[J].消费导刊,2010年。
[17] 陈艳艳,伍桂桂,刘海陆.杭州市低碳城市建设策略研究[J].内蒙古科技与经济.2011年。
[18] 佚名.中国城镇化大跃进,杭州欲造10座新城[N].21世纪经济报道,2009年。
[19] 来尧静,沈明.丹麦低碳发展经验及其借鉴[J].湖南科技大学学报(社会科学版),2010年。

(上接第11页)

- [20] 邓良奎.用后镁铝碳砖在中小型高炉出铁沟中的应用研究[D].武汉:武汉科技大学,2010。
[21] 李新建.废弃铝镁碳砖的回收再利用[D].武汉:武汉科技大学,2006。
[22] 李新建,张子翼,张少伟,等.废砖加入量对再生 Al₂O₃-MgO-C 砖性能的影响[J].耐火材料,2006,40(5):369-371。
[23] 王义龙,卜景龙,王榕林,等.役后铝镁碳砖再生料应用于 Al₂O₃-SiC-C 浇浇注料 [J]. 河北理工大学学报:自然科学版,2010,32(4):98-102。
[24] 梁义兵,申向利.用后镁钙砖加入量对烧成镁钙砖性能的影响[J].耐火材料,2008,42(5):392-393。
[25] 彭耐.滑板再生料制备铁水罐内衬用耐火材料[D].武汉:武汉科技大学,2011。
[26] 张巍,戴文勇,叶腊石对焦宝石基喷涂料性能的影响[J].耐火与石灰,2008,33(6):5-10。
[27] 张巍,戴文勇.不同粒度叶腊石对铝矾土基喷涂料性能的影响[J].矿物学报,2010,30(2):230-234。

- [28] Zhang Wei, Dai Wenyong, Yu Xinfeng, et al. Effect of heat treatment temperature on properties of Chinese calcined flint clay based plastic refractories[J]. China's Refractories, 2009,18(2):27-29。
[29] 张巍,李雪东,戴文勇.SiO₂ 微粉含量对铝硅系耐火材料组织与性能的影响[J].金属热处理,2011,36(1):72-75。
[30] 张巍,李雪东,戴文勇.SiO₂ 微粉加入量对焦宝石基喷涂耐火材料抗热震性能的影响[J].机械工程材料,2011,35(8):30-32。
[31] 岳昌盛,郭敏,张梅,等.以用后硅砖、黏土砖和滑板砖为原料合成莫来石[J].耐火材料,2009,43(3):207-210。
[32] 杨中正,叶方保,钟香崇.以矾土和煤矸石合成莫来石均质料[J].耐火材料,2006,40(2):81-84。
[33] 杨中正,徐恩霞,葛铁柱.矾土基莫来石的工业化实践[J].耐火材料,2007,41(5):359-361。
[34] Dong Yingchao, Feng Xuyong, Feng Xuefei, et al. Preparation of low-cost mullite ceramics from natural bauxite and industrial waste fly ash[J]. Journal of Alloys and Compounds,2008,460(1-2):599-606。
[35] 袁海燕.鱼雷罐衬砖的回收和利用[J].本钢技术,2011(3):26-28。