

# 废弃耐火材料再生利用研究进展

黄世谋<sup>1,2)</sup> 杨源<sup>1)</sup> 薛群虎<sup>1)</sup>

1) 西安建筑科技大学材料科学与工程学院 西安 710055

2) 三门峡职业技术学院

**摘要** 对废弃耐火材料的来源及其对环境的危害等进行了分析,通过国内外大量文献的对比研究,并结合我国实际,对废弃耐火材料的再生利用方向进行了探讨。

**关键词** 废弃耐火材料,环境保护,再生利用

钢铁、水泥、玻璃等高温产业及各类冶金和非冶金工业窑炉都毫不例外地要消耗大量的耐火材料,这势必会产生大量废弃耐火材料;另外,耐火材料生产企业在生产耐火材料制品的过程中也会产生大量废品和耐火材料废料。据统计,仅我国年废弃耐火材料就在 30 万 t 以上<sup>[1]</sup>。这些被作为垃圾的废弃耐火材料不但数量巨大,而且极难处理,除了极少数可以返回生产线再利用外,大部分废弃耐火材料的典型处理方式就是掩埋或降级使用。这样,不但企业需要买地堆积或掩埋这些日益增多的废料,增加了生产成本,也造成了可用资源的极大浪费和环境的严重污染。具体来讲,废弃耐火材料的危害主要表现在以下几个方面:

(1) 占用大量土地。面对数量巨大的废弃耐火材料,目前尚无很好的解决方法,废弃耐火材料大多堆积于厂区内、城市郊区公路、河流附近,占用了大量的空地存放,浪费耕地,成为城市的一大公害。

(2) 污染生态环境。大量的废弃耐火材料如果不能得到回收利用,将成为新的垃圾源,对城郊造成二次污染。废弃耐火材料中的一些物质在空气中暴露后会产生一些有害的物质并污染生态环境;这些废弃耐火材料有的填塘填湖,造成蓄水排涝能力下降,引发新的环境公害。

(3) 危害人类健康。有些废弃耐火材料中存在着有损人类健康的元素,例如  $Cr^{6+}$  (致癌物) 和耐火陶瓷纤维(可导致肺癌、皮肤病)等;有些在处理过程中会产生可呼吸到的  $SiO_2$  (会导致矽肺病);拆卸使用过的含碳制品可能产生较大的灰尘,这都不利于人的健康。

(4) 造成资源浪费。除了处理这些废弃耐火材料需要耗费巨大的人力物力外,废弃耐火材料如果得不

到回收利用,许多可回收有用成分将白白丢弃,造成了大量宝贵原材料的浪费。

随着高温工业的发展,废弃耐火材料的危害愈来愈严重,因此,每两年召开一次的联合国际耐火材料学术会议自 1989 年首次召开以来,每次都把“耐火材料的回收利用及新进展”作为会议的主要议题之一。在 2005 年耐火材料行业可持续发展战略研讨会上,李楠教授亦指出:要确立我国耐火材料强国的地位以及技术上的领先水平,必须在今后的耐火材料科研工作中实现可持续发展的战略目标,即实现资源与能源的最有效利用,抓好耐火材料的回收利用,减少与防止对环境的污染。可见,对废弃耐火材料进行再生利用是一项迫切需要解决的课题。这里通过国内外大量文献的对比分析,结合我国实际对废弃耐火材料再生利用的方向等进行了探讨。

## 1 钢铁工业废弃耐火材料的再生利用

### 1.1 国外钢铁工业废弃耐火材料的再生利用

国外许多国家,尤其是发达国家,对废弃耐火材料的再生利用非常重视并且发展很快,耐火材料的再利用率一般都比较高,如有的钢厂已达到了 80% 以上<sup>[1]</sup>。美国的钢厂每年产生约 100 万 t 废弃耐火材料,以前几乎全部被填埋,仅少量回收。随着 1998 年美国能源部、工业技术部和钢铁生产者延长耐火材料的使用寿命和回收利用废弃耐火材料计划的制定,用后耐火材料的利用率显著升高,其应用范围主要是脱硫剂、炉渣改质剂、耐火浇注料骨料等。美国密西里

\* 黄世谋:男,1976 年生,硕士研究生,讲师。

E-mail: hsm362826@163.com

收稿日期:2007-04-17

州还开发了将二次使用过的白云石耐火材料作为土壤调节剂,废高铝料用作耐火浇注料骨料等新技术,并通过采用这些技术,大幅度减少了掩埋废弃耐火材料的数量<sup>[1]</sup>。

日本废弃耐火材料再生利用率比较高,已达91.4%。鹿岛钢铁厂每月约产生900 t废旧耐火材料,其中60%被成功回收利用。回收的耐火材料可用作钢包和电炉的助炉剂、滑板的修补料、浇注料和捣打料,其中使用浇注料复原法和圆环镶嵌法可使修复后的滑板的使用寿命和新滑板一样<sup>[2]</sup>;出铁沟浇注料已有50%得到回收,主要用作出铁沟不定形耐火材料的骨料;用后镁铬砖可作偏心底出钢口的填料,其开浇率大于98%。另一家钢厂在MgO-C砖中加入超过30%的废MgO-C砖,在Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-尖晶石浇注料中添加超过20%的回收Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-尖晶石骨料,其抗侵蚀性和原产品非常接近;连铸水口也可回收,利用一种特殊的水泥结合剂将2个废水口重新制造一个新水口,它的强度甚至比原来的产品更高<sup>[3]</sup>。

意大利某公司开发出一种回收利用各式炉子、中间包、铸锭模以及钢包内衬耐火材料的方法,将所回收的耐火材料直接喷吹入炉膛以保护炉壁<sup>[4]</sup>。德国成功地将转炉用后MgO-C砖内衬用于生产钢包和转炉永久衬。韩国浦项钢铁公司统一一把用后耐火材料进行回收,经挑选和破碎后用作耐火材料原料、溅渣护炉料等冶金辅料和铺路料等,虽然没有提升附加值,但是绝大部分得到了回收利用<sup>[5]</sup>。伊朗利用废弃镁铬砖作骨料,制备了用作浇铸轮生产和出钢槽用耐火材料,减少了环境污染且获得一定的经济效益<sup>[6]</sup>。

文献[7-8]对滑动水口废弃Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-C质耐火材料进行了再利用研究,将其粉碎后(<5 mm)添加到Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiC质浇注料中,在预处理铁水包上进行了试验,虽然蚀损速度比原浇注料稍有增大,但耐用性与原来渣线用耐火材料相同,且不会增加耐火材料成本。文献[9]对AOD炉用后镁铬砖进行处理,制得了再循环利用原料,用其生产的镁铬砖性能与没使用再循环原料的原镁铬砖接近。

### 1.2 国内钢铁工业废弃耐火材料的再生利用

国内对废弃耐火材料的再生利用大多都处于试验阶段,再生利用率较低。作为我国钢铁界的龙头,上海宝钢在废弃耐火材料再生利用方面走在前列,该公司每年约产生废弃耐火材料100万t,其中相当一部分得到再生利用,如用后滑板作为中间包冲击板使用,有些炉衬砖在拆除后用作新炉子的永久衬砖使用,将用后硅质耐火材料用作玻璃生产的原料等。该

公司的田守信<sup>[1,10]</sup>利用废弃耐火材料研制了再生镁碳砖、再生镁碳质浇注料、再生镁铬砖和再生ASC质耐火材料等再生耐火材料。经检测,这些产品的性能能够接近甚至超过原产品的水平。其中利用80%以上的用后镁碳砖料生产出来的再生镁碳砖,其性能接近于镁碳砖黑色冶金行业标准的A级水平(结果见表1),显著优于日本再生镁碳砖的水平。表2给出了宝钢用后耐火材料再生利用分类表<sup>[5]</sup>。

表1 宝钢再生镁碳砖的性能

再生砖种类	宝钢研	宝钢研	日本	
	制砖1 <sup>a</sup>	制砖2 <sup>b</sup>	研制砖	
废砖	>80	>90	90	
配比(w)/%	MgO	78.31	77	81
	C	11.1	13	13.1
性能	耐压强度/MPa	45	41	50
	显气孔率/%	3	4	5.1
	体积密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	2.93	3.00	2.83
	高温抗折强度/MPa	12	14	-

表2 宝钢用后耐火材料再生利用分类表

类别	主成分	年总量/万t	处理计划再生目标	用后耐火材料来源
镁碳质	MgO-C	1.2	转炉喷补再生原料	炼钢
硅酸铝质	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -SiO <sub>2</sub>	1.5	再生原料 建材回填	各类窑炉
镁铝质	MgO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5	再生原料	炼钢、石灰窑
铝碳化硅碳质	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -SiC-C	1.2	直镁再用 再生原料	TPC、铁沟、炼钢
镁铬质	MgO-Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.3	电炉喷补 再生原料	炼钢、石灰
含锆质	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -C-ZrO <sub>2</sub>	0.1	修补材 再生原料 加环修复	炼钢
其他		0.7		各类窑炉
合计		5.5		

济钢将废弃耐火材料破碎后用于铁沟捣打料来部分代替其中的高铝矾土,取得了较为理想的效果,提高了铁沟料的使用性能,增加了通铁量,降低了铁沟料的成本,实现了炼钢用含碳耐火材料的回收利用,每年回收铝碳质耐火材料约734 t<sup>[11]</sup>。安钢将钢包用后铝镁浇注料(每年约3000 t)加工成颗粒料,按20%的比例添入制成新浇注料进行实际使用,全年平均使用寿命为97.3炉,比原来的还高出3炉<sup>[12]</sup>。台湾某钢厂的废弃耐火材料(每年约4万t)经拣选、分类、加工或其他特别处理后可以成为有价值的耐火材料原料,部分可成为冶金辅料如渣剂、助熔剂等,回收利用率已达40%<sup>[12]</sup>。

郑海忠等<sup>[13]</sup>对废弃耐火材料再生利用的工艺流程进行了探讨,并介绍了文献[14]给出的废弃耐火材

料处理的一般流程以及文献[15]给出的 Valoref 公司的废弃耐火材料回收加工处理流程图,如图1、图2所示。可见,图1所列是对某一种耐火材料的回收处理的一般流程图,而图2所列则可大规模地处理废弃耐火材料。在实际生产中还需视具体情况采取相应的方案,如处理流程中不同工序的取舍,取决于原料条件及对成品料纯度和粒度的要求。如果废料中存在有害废料,处理过程中必须将其富集,以减少所处理材料的数量,降低处理费用。此外,处理前必须始终保持废弃耐火材料在拆卸及运输过程中的干净。

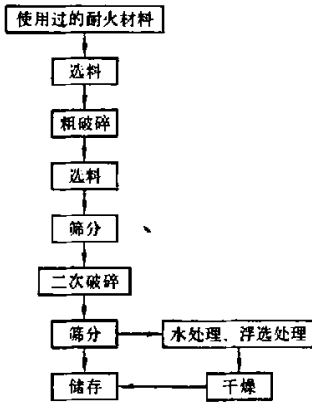


图1 废弃耐火材料处理的一般流程图

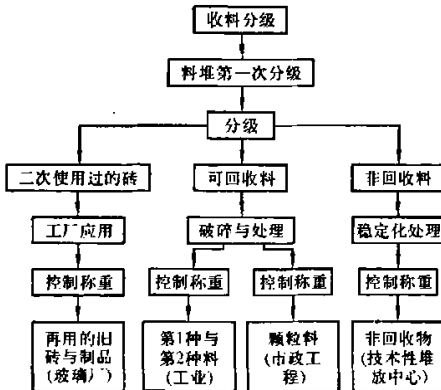


图2 Valoref公司的废弃耐火材料回收加工处理流程图

## 2 水泥工业废弃耐火材料的再生利用

水泥工业废弃耐火材料的量相对于水泥生产过程产生的其他废弃物的量而言是微量的,几乎可被完全回收。根据水泥工业自身的特点,采用相应的技术对废物进行处理不仅不会造成新的污染,还能使废物替代部分原材料,降低生产成本,起到变废为宝的功效。如对于水泥回转窑在生产中大量产生的废弃镁铬砖,可在还原气氛下将其中的六价铬还原成三价铬,再将还原后的镁铬砖经拣选除杂加工成再生原

料,加入适当添加剂后用于生产适合回转窑低温部位使用的镁铬砖。表3和表4是几种砖的热导率和水泥生产耗费比较表,试验证明,再循环利用镁铬砖具有优良的抗碱性和热导率低等特性<sup>[6,16]</sup>。

需要注意的是,用过的镁铬砖粘附有铁和浸透成分,如果不把它们处理掉,就不能用以生产再循环利用镁铬砖。可采取3个工序进行处理:(1)用初选法除去或减少附着物;(2)用磁选法除去铁和氧化铁浸透部分;(3)在用过的镁铬砖粉碎物中添加添加剂,通过烧成来减少六价铬。

表3 砖的热导率<sup>1)</sup>

项 目	再循环利用镁铬砖	镁铬砖	镁尖晶石砖
1 000 ℃时的热导率/ (W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> )	2.4	2.6	2.9
窑壳表面温度/℃	336	348	365
散热损失/(kJ·m <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup> )	29 689	31 920	35 182

1)数据是在回转窑直径5 m,内衬厚度250 mm,窑内气氛温度1 200 ℃的条件下计算所得。

表4 水泥熟料的生产费用(指数)<sup>1)</sup>

项 目	再循环利用镁铬砖	镁铬砖	镁尖晶石砖
砖的寿命	100	100	100
回转窑的热损失	90	95	100
砖的价格	80	90	100
一个窑役的费用	90	95	100

1)数值越小,表明费用越低。

## 3 玻璃工业废弃耐火材料的再生利用

玻璃工业是废弃耐火材料产生较多的产业之一。为更好地回收利用玻璃产业的废弃耐火材料,近年来开始了广泛的研究与开发。如玻璃窑中电熔 AZS 砖一般使用一窑期后即被废弃,池壁上部的砖侵蚀较严重,但下部仍有可利用价值,如四川玻璃公司将熔化部池壁进行整体切割,再次利用在池壁有效部位,取得了成功;也可将废弃的 AZS 砖表面附着的玻璃除去,用淬冷的方法使砖产生裂纹,经破碎、粉磨、筛选后得到不同粒级的骨料和细粉,用以生产廉价的高性能浇注料<sup>[17]</sup>。

欧洲玻璃工业在砌筑使用寿命为5~8年的窑炉上每年要使用10多万吨耐火材料,这些窑炉在拆除后会产生数千吨的废弃耐火材料,其中大部分送到技术性堆放中心或专有堆放场上。维苏威玻璃集团(VGG)公司为减少环境污染,多年来一直在窑役结束就对没有被污染的硅砖进行回收。硅砖是从玻璃窑的熔化池顶部或蓄热室拆下来的,碳酸钠、硫和其他废气组分会侵入硅砖内而改变其物理性能,因此,在开始加工之前,必须先去掉污染最严重的部分(与烟

气的接触面部分)。另外,为帮助用户降低送至垃圾填埋场的废弃耐火材料数量,VGC公司正与玻璃公司及窑炉拆除公司开展合作,确定了废弃物中污染物的接收标准,研制了用回收料制造的新产品。目前,该公司窑役结束后拆下的硅砖,有30%~35%可重新利用,制成另外两种硅砖,即工作池或蓄热室顶使用的硅砖和轻质隔热硅砖。眼下,该公司正在对玻璃工业中其他一些可对硅砖进行二次应用的部位进行研究<sup>[18]</sup>。法国Valoref公司专门从事耐火材料的回收利用已超过12年,尤其善于回收利用玻璃工业的废弃耐火材料,于1998年7月在法国的博莱纳投产了第一家废弃耐火材料综合回收利用工厂,能够处理来自于玻璃工业、钢铁工业、焚烧炉与化学工业的废弃耐火材料,回收率达90%,目前每年回收废弃的耐火材料3.6万t<sup>[19-20]</sup>。

经研究,废硅砖还可作为高质量的熔窑保温隔热材料使用,但是需要指出的是,主晶相是磷石英的硅砖作为保温材料较理想<sup>[17]</sup>。

#### 4 电解铝工业废弃耐火材料的再生利用

在铝电解过程中,阴极炭素内衬及其他筑炉材料不可避免地会受到钠、电解质和铝的侵蚀,吸收大量氟盐,同时侵蚀过程中产生的应力作用会使槽变形和内衬破损。铝电解槽大修时,要全部清除电解槽内炭素内衬及其他筑炉材料,即形成大修废渣。据统计,平均每生产1kg铝就会产生0.01~0.04kg废渣。这些大修废渣受雨雪冲刷和浸泡,其中的可溶性氟会浸出进入水中,渗入地下,有可能污染土壤和地下水。根据《危险废物鉴别标准——浸出毒性鉴别》(GB 5085.3-1996)中规定,浸出液中氟化物的质量浓度超过50mg·L<sup>-1</sup>即为危险废物。按此标准,电解槽大修废渣中氟化物一般超过标准,属于危险废物<sup>[21]</sup>。另外,废渣长期露天堆放,渣表面风化,形成粉尘,可产生二次扬尘而污染大气<sup>[22]</sup>。因此,国内外亦开始了处理和再生利用电解铝废渣的研究工作,目前再循环利用率约40%左右。

西欧铝工业废弃耐火材料每年约3万t,其中约50%可以作为正常的耐火材料原料,可直接用于耐火材料产业。其中,从污染的材料中分离出清洁部分的报废拆除耐火材料可以在耐火材料行业和其他产业中作为一部分原料用于生产低档次耐火材料,但一次和二次炼铝业的用后耐火材料污染得相当严重,不能直接用于耐火材料产业。关于这些污染材料的应用方法的研究开发工作正在进行之中,特别是在二次精炼领

域,为了减少耐火材料单耗和增大铝的生产能力以及减少铝熔解工序的热能单耗,加大了研究开发力度<sup>[23]</sup>。我国铝厂对耐火材料回收利用率不高,除部分大修槽废渣耐火材料得到回收利用外,其余的处理途径基本为填沟倾倒,或露天堆放,还没有妥善的处置措施<sup>[24]</sup>。

## 5 结语

### (1) 废弃耐火材料的再生利用势在必行

数量巨大的废弃耐火材料造成了可用资源的极大浪费和环境的严重污染,也会对人类的健康造成很大的危害。因此,要高度重视废弃耐火材料的再生利用工作,积极限制废弃耐火材料的大量产生,努力推动废弃耐火材料回收利用技术的开发研究。同时,各级政府还要加大对废弃耐火材料再生利用的政策法规及财政上的扶持力度;有关部门及相关人员应增强环保意识,限制废弃耐火材料的排放场所,防止企业为降低成本而就近随意填埋废弃耐火材料,以推进废弃耐火材料的综合利用工作。

### (2) 废弃耐火材料期待集中处理

以美国、日本为代表的发达国家在废弃耐火材料的再生利用方面走在世界的前列,而我国对废弃耐火材料再生利用的研究尚处于试验阶段,小规模的应用才刚刚开始,且仅仅局限于钢铁工业,而对水泥、玻璃、电解铝等行业废弃耐火材料再生利用的研究几乎还是空白,急需开展这些方面的研究和开发。同时,废弃耐火材料的来源太多,成分太复杂,再生利用工艺太繁琐,导致处理成本过高。因此,要加大在降低成本等方面的技术研究,建议采取法国Valoref公司的形式,建一家专门从事废弃耐火材料回收利用的公司,对各行业产生的废弃耐火材料进行回收后集中处理,以减少废弃耐火材料的处理成本。

### (3) 分类是废弃耐火材料再生利用的关键

耐火材料的品种太多,废弃耐火材料的种类也就太多,而不同种类的废弃耐火材料又需要用不同的处理工艺,所以,分类挑拣、分类堆放、分类处理是废弃耐火材料再生利用的关键。上海宝钢在对废弃耐火材料再生利用的分类处理方面做得非常好,走在全国同行业的前列,可为全国钢铁企业甚至其他行业废弃耐火材料的再生利用提供指导和借鉴。

## 参考文献

- [1] 田守信. 用后耐火材料的再生利用. 耐火材料, 2002, 36(6): 339-341
- [2] 王成. 废弃耐火材料的再生利用. 江苏冶金, 2003, 31(6): 56-57

- [3] 李光辉, 编译. 日本耐火材料的回收利用. 耐火材料, 2001, 35(2): 75
- [4] 兰若. 废旧耐火材料的回收及再生利用. 钢铁, 1999, 34(7): 78
- [5] 姜华. 宝钢用后耐火材料的技术研究与综合利用. 宝钢技术, 2005, (3): 9-11
- [6] 张丽, 译. 用回收废弃镁铬砖生产耐火浇注料的新途径. 国外耐火材料, 2006, 31(2): 12-14
- [7] 廖建国, 译. 用过的滑动水口再循环用于生产  $Al_2O_3 - SiC$  砖. 国外耐火材料, 2003, 28(6): 15-18
- [8] 金利萍, 译. 已用过滑板的再利用技术. 国外耐火材料, 2004, 29(6): 57-58
- [9] 廖建国, 译. 使用高级原料的砖再循环利用方法. 国外耐火材料, 2003, 28(6): 8-10
- [10] 田守信. 用后耐火材料的再生利用. 2005 年国际耐火材料技术、市场研讨会论文集, 北京, 2005
- [11] 马明锴. 炼钢用铝碳质耐火材料的回收利用. 耐火材料, 2006, 40(2): 151-152
- [12] 邢守涓. 耐火材料要适应高温产业的技术进步. 2005 年国际耐火材料技术、市场研讨会论文集, 北京, 2005
- [13] 郑海忠, 梁永和, 吴芸芸, 等. 含碳耐火制品的再生利用. 武汉科技大学学报(自然科学版), 2001, 24(4): 338-341
- [14] 李庆广. 镁碳的侵蚀机理及改进质量的途径. 耐火材料, 1982, 16(5): 61-65
- [15] Bennett J P, Kwong K S. Recycling alternate use of spent refractories. Electric Furnace Conference Proceedings, 1996: 457-461
- [16] 廖建国, 译. 水泥回转窑用再循环利用镁铬砖. 国外耐火材料, 2003, 28(4): 36-39
- [17] 戴宝刚, 刘世权, 张昭忠. 废电熔 AZS 砖的再利用. 耐火材料, 1999, 33(1): 57-58
- [18] 王集旻, 译. 用后耐火材料的处理. 国外耐火材料, 2003, 28(1): 19-21
- [19] Gerd kley. Thermochemical Treatment—Technologies recovery and utilizations of materials. The Chinese Journal of Process Engineering, 2006, 6(2): 231-236
- [20] Bennett J P, Kwong K S. An overview of recycling refractory materials. Industrial Ceramics, 2004, 24(3): 165-171
- [21] 肖建华, 译. 欧洲耐火材料的环境管理. 国外耐火材料, 2004, 29(6): 1-8
- [22] 李树恩, 李向红, 滕萍, 等. 甘肃电解铝厂大修槽废渣排放现状的调查研究. 甘肃冶金, 2001, (2): 28-30
- [23] Eschner A. Ecology refractory management in europe. Technical University of Clausthal, 2004, 53(7): 30-38
- [24] 刘新星, 海热提, 陈帆. 我国与世界电解铝工业清洁生产水平的差距. 环境保护, 2005, (3): 62-63

Research progress of recycling of used refractories/Huang Shimou, Yang Yuan, Xue Qunhu//Naihuo Cailiao. -2007, 41(6): 460

Source and harm to environment of used refractories were analyzed. Based on the comparative study of many documents at home and abroad, and Chinese actual situation, the recycling direction of used refractories was discussed.

Key words: Used refractories, Environmental protection, Recycling

Author's address: College of Materials Science and Engineering, Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an 710055, China

(上接 459 页)

Research and preparation of Al bonded magnesia - spinel - carbon slide plate/Wei Zhongxian, Han Xiangming, Huang Tianjie, et al//Naihuo Cailiao. -2007, 41(6): 457

Influences of different additives (fused corundum, magnesia - alumina spinel, SiC and AlON) on physical properties and thermal shock resistance, carbon types on physical properties and oxidation resistance, and types of anti-oxidants and adding ways on cold modulus of rupture and oxidation resistance of MgO - C material were researched, and the optimum additive was chosen and used for research and preparation of slide plate for continuous casting ladle. The results show that: (1) Adding spinel helps to improve thermal shock resistance; (2) Compared with carbon black, adding 597 graphite micropowder can improve obviously cold modulus of rupture, density and oxidation resistance of material; (3)  $B_4C$  and Si composite additive can improve cold modulus of rupture fired at middle- and high-temperature, and improve oxidation resistance as well; (4) Magnesia - spinel - carbon slide plate is better than reburned  $Al_2O_3 - ZrO_2 - C$  slide plate in anti-burring, which meets the requirements of steel company.

Key words: Aluminum, Alumina - magnesia spinel, Carbon, Slide plate, Antioxidant

Author's address: Henan Boma Co., Ltd., Xinxiang 453000, China

# 废弃耐火材料再生利用研究进展

作者: [黄世谋](#), [杨源](#), [薛群虎](#), [Huang Shimou](#), [Yang Yuan](#), [Xue Qunhu](#)  
 作者单位: [黄世谋, Huang Shimou\(西安建筑科技大学材料科学与工程学院, 西安, 710055; 三门峡职业技术学院\)](#), [杨源, 薛群虎, Yang Yuan, Xue Qunhu\(西安建筑科技大学材料科学与工程学院, 西安, 710055\)](#)  
 刊名: [耐火材料](#) **ISTIC** **PKU**  
 英文刊名: [REFRACTORIES](#)  
 年, 卷(期): 2007, 41(6)  
 被引用次数: 5次

## 参考文献(24条)

1. [田守信](#) 用后耐火材料的再生利用[期刊论文]-[耐火材料](#) 2002(06)
2. [王成](#) 废弃耐火材料的再生利用[期刊论文]-[江苏冶金](#) 2003(06)
3. [李光辉](#) 日本耐火材料的回收利用 2001(02)
4. [兰若](#) 废旧耐火材料的回收及再生利用 1999(07)
5. [姜华](#) 宝钢用后耐火材料的技术研究与综合利用[期刊论文]-[宝钢技术](#) 2005(03)
6. [张丽](#) 用回收废弃镁铬砖生产耐火浇注料的新途径[期刊论文]-[国外耐火材料](#) 2006(02)
7. [廖建国](#) 用过的滑动水口再循环用于生产Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiC砖[期刊论文]-[国外耐火材料](#) 2003(06)
8. [金利萍](#) 已用过滑板的再利用技术[期刊论文]-[国外耐火材料](#) 2004(06)
9. [廖建国](#) 使用高级原料的砖再循环利用方法[期刊论文]-[国外耐火材料](#) 2003(06)
10. [田守信](#) 用后耐火材料的再生利用[会议论文] 2005
11. [马明锴](#) 炼钢用铝碳质耐火材料的回收利用[期刊论文]-[耐火材料](#) 2006(02)
12. [邢守渭](#) 耐火材料要适应高温产业的技术进步[会议论文] 2005
13. [郑海忠](#); [梁永和](#); [吴芸芸](#) 含碳耐火制品的再生利用[期刊论文]-[武汉科技大学学报\(自然科学版\)](#) 2001(04)
14. [李庆广](#) 镁碳的侵蚀机理及改进质量的途径 1982(05)
15. [Bennett J P](#); [Kwong K S](#) Recycling alternate use of spent refractories 1996
16. [廖建国](#) 水泥回转窑用再循环利用镁铬砖[期刊论文]-[国外耐火材料](#) 2003(04)
17. [戴宝刚](#); [刘世权](#); [张昭忠](#) 废电熔AZS砖的再利用 1999(01)
18. [王集旻](#) 用后耐火材料的处理[期刊论文]-[国外耐火材料](#) 2003(01)
19. [Gerd kley](#) Thermochemical Treatment-Technologies recovery and utilizations of materials[期刊论文]-[The Chinese Journal of Process Engineering](#) 2006(02)
20. [Bennett J P](#); [Kwong K S](#) An overview of recycling refractory materials[外文期刊] 2004(03)
21. [肖建华](#) 欧洲耐火材料的环境管理[期刊论文]-[国外耐火材料](#) 2004(06)
22. [李树恩](#); [李向红](#); [滕萍](#) 甘肃电解铝厂大修槽废渣排放现状的调查研究[期刊论文]-[甘肃冶金](#) 2001(02)
23. [Eschner A](#) Ecologic refractory management in europe[外文期刊] 2004(07)
24. [刘新星](#); [海热提](#); [陈帆](#) 我国与世界电解铝工业清洁生产水平的差距[期刊论文]-[环境保护](#) 2005(03)

## 本文读者也读过(10条)

1. [杨源](#), [黄世谋](#), [薛群虎](#), [Yang Yuan](#), [Huang Shimo](#), [Xue Qunhu](#) 废弃耐火材料的再生利用研究[期刊论文]-[陶瓷](#) 2007(5)
2. [冯慧俊](#), [田守信](#) 用后废弃耐火材料资源的再生利用[会议论文]-2005
3. [王成](#) 废弃耐火材料的再生利用[期刊论文]-[江苏冶金](#) 2003, 31(6)

4. [张寒, 赵惠忠, 废弃耐火材料的回收利用](#)[会议论文]-2008
5. [刘百臣, LIU Bai-chen 废弃耐火材料资源化的研究与实践](#)[期刊论文]-[工业加热](#)2007, 36(6)
6. [陈博, 黄朝晖, 房明浩, 刘艳改 用后废弃耐火材料的再生利用研究进展](#)[会议论文]-2008
7. [赛音巴特尔 国内外钢铁行业用后耐火材料的利用状况](#)[会议论文]-2006
8. [姜华, JIANG Hua 宝钢用后耐火材料的技术研究与综合利用](#)[期刊论文]-[宝钢技术](#)2005(3)
9. [周云鹏, 柯昌明 用后耐火材料的再生利用](#)[会议论文]-2006
10. [郑海忠, 梁永和, 吴芸芸, 邱文冬 含碳耐火制品的再生利用](#)[期刊论文]-[武汉科技大学学报\(自然科学版\)](#) 2001, 24(4)

#### 引证文献(5条)

1. [游杰刚, 张国栋, 罗旭东, 刘海啸, 陈磊 酚醛树脂加入量对钢包渣线再生镁碳砖性能的影响](#)[期刊论文]-[耐火材料](#) 2012(1)
2. [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](#)[期刊论文]-[耐火材料](#) 2008(5)
3. [崔庆阳, 黄鹏, 吴林林, 毛晓刚, 李有奇 废镁铬砖细粉对铝镁浇注料性能的影响](#)[期刊论文]-[工业加热](#) 2012(1)
4. [袁添翼, 刘芳, 李生英, 范志辉, 李远兵 废弃镁碳砖在中间包干式料中的应用研究](#)[期刊论文]-[冶金丛刊](#) 2011(5)
5. [赵艳龙, 宋金涛, 梁日忠 转炉钢包用后MgO-C砖资源化工程设计](#)[期刊论文]-[冶金能源](#) 2010(2)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_nhcl200706018.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_nhcl200706018.aspx)