

煤矸石制备高强陶粒的研究

陈奎元 陈学刚 李明川 代文彬 徐小锋 苟海鹏 樊亚鑫

(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

[摘要] 当前,煤矸石堆放量巨大,将其制备成陶粒替代砂石骨料,可实现其大宗量消纳。以煤矸石作为主要原料,配加脱硫石膏、石灰石和白云石,进行煤矸石大掺量($\geq 80\%$)制备陶粒的试验研究。试验结果表明:90%煤矸石配加10%脱硫石膏造出的生球经1150℃焙烧60min后,制备的陶粒的堆积密度为729.80 kg/m³,吸水率为2.49%,筒压强度为8.15 MPa;90%煤矸石配加10%石灰石造出的生球经1150℃焙烧60min后,制备的陶粒的堆积密度为686.00 kg/m³,吸水率为1.43%,筒压强度为8.30 MPa;90%煤矸石配加10%白云石造出的生球经1150℃焙烧60min后,制备的陶粒的堆积密度为721.44 kg/m³,吸水率为5.40%,筒压强度为9.39 MPa。制备出的这三种陶粒性能均满足国家标准对高强陶粒的要求。

[关键词] 煤矸石; 高强陶粒; 堆积密度; 吸水率; 筒压强度; 大宗量消纳

[中图分类号] TD849+.5 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2097-2423(2024)06-0083-06

DOI:10.19610/j.cnki.cn10-1873/tf.2024.06.013

0 前言

煤矸石是指煤矿在开采过程中排出的含碳岩石,是煤矿建设、煤炭生产过程中排出的固体废弃物总称^[1]。煤矸石长期堆放会占用大量土地,还会导致土地盐渍化,破坏土壤中的有机养分^[2]。煤矸石中的硫化物在溶淋作用下会形成酸性液体,污染饮

用水^[3]。煤矸石可能发生自燃反应,生成SO₂、H₂S、CO等有害气体污染空气,其产生的扬尘会增加附近居民患呼吸道疾病的风险,严重时可能造成呼吸中毒等恶性事故^[4]。此外,煤矸石山呈自然堆积状态,稳定性差,易引发崩塌和滑坡,甚至泥石流灾害^[5-6]。鉴于煤矸石存在的诸上危害,加强煤矸石资源综合利用刻不容缓。

将煤矸石应用于建材化生产,是煤矸石目前最主要的资源化利用方式。煤矸石直接粉磨后,再与其他原料混合后造粒,通过高温烧制成陶粒,可作为混凝土用轻骨料使用。陶粒同时广泛应用于建材、园艺、食品饮料、耐火保温材料、化工、石油等部门。这种方法能实现煤矸石大宗量消纳。

用煤矸石生产的轻骨料性能良好,这种轻骨料可配制密度小、强度高、吸水率低,适于制作各种建筑预制件的高性能混凝土。煤矸石陶粒是大有发展前途的轻骨料,不仅为处理煤炭工业废料、减少环境污染开辟了新途径,还为发展优质、轻质建筑材料提供了新资源,是煤矸石综合利用的一条有效途径^[7-8]。

目前针对煤矸石制备陶粒的研究主要集中在低配加量的研究。李虎杰等^[9]采用煤矸石,并加入20%左右的页岩、1%的发泡剂和少量氧化铁,可制

[收稿日期] 2024-11-20

[基金项目] 国家重点研发计划“超大型铜熔池熔炼喷射冶金炉与核心部件研制及工程示范”(2023YFC2908003);云南省科技厅重大科技专项计划“多金属冶炼低碳节能及二次资源综合回收利用关键技术研究”(202302AB080014);五矿科创基金“电解锰渣全组分高值资源化技术开发及应用KC”(YG2302)。

[作者简介] 陈奎元(1988—),男,河南周口人,工程师,博士,主要从事金属冶炼及大宗固废资源化利用等方面的研究工作。

[引用格式] 陈奎元,陈学刚,李明川,等.煤矸石制备高强陶粒的研究[J].绿色矿冶,2024,40(6):83-88,100.

CHEN Kuiyuan, CHEN Xuegang, LI Mingchuan, et al. Study on preparation of high strength ceramsite from coal gangue [J]. Sustainable Mining and Metallurgy, 2024, 40(6): 83-88, 100.

备出高强 35 型陶粒;王雁冰^[10]利用煤矸石与页岩(配比 7:3),添加 2%的水玻璃,在预热温度 450 °C、预热时间 20 min、焙烧温度 1 150 °C、保温时间 10 min 条件下烧制出符合 700 级高强轻集料要求的高强陶粒;王志英^[11]采用煤矸石、粉煤灰按 50:50 的配比,在焙烧温度为 1 250 °C、保温时间为 30 min 的条件下制备出各项性能指标均符合陶粒支撑剂行业标准要求的陶粒;张雷^[12]采用 46%煤矸石、42%粉煤灰和 12%污泥的配比,在焙烧温度为 1 180 °C、保温时间为 30 min 的条件下制备出高强陶粒。杨艳茹等^[13]采用成孔剂添加量 30%,粉煤灰与煤矸石质量比 46.2:19.8,在烧制温度 1 120 °C、保温时间 30 min 条件下制备出多孔陶粒;田玉明等^[14]采用铝矾土和煤矸石 40:60 的配比,在焙烧温度为 1 250~1 450 °C、保温时间 30 min 的条件下制备出各项性能指标均符合陶粒支撑剂行业标准要求的陶粒;张西玲等^[15]采用 80%煤矸石、10%粉煤灰和 10%污泥的配比,在预热温度 300 °C、预热时间 15 min,焙烧温度 1 100 °C、保温时间 45 min 的条件

下制备出高强陶粒;杨艳茹等^[16]采用煤矸石掺量 20%、成孔剂 15%、粉煤灰掺量 65%,在 1 160 °C 温度条件下焙烧,可制备多孔陶粒。

综上所述,目前研究的煤矸石的最高添加量不超过 80%,不利于煤矸石的大宗量消纳。因此,本文进行煤矸石大掺量($\geq 80\%$)制备陶粒的探索研究,确定适宜的配比和热制度。

1 试验

1.1 试验原料

试验所用原料为济源某选煤厂产出的煤矸石,其粒径为 50~150 mm。由于煤矸石含有一定量的碳和有机物,所以先对煤矸石进行烧失量和碳含量分析,测得其烧失量为 19.75%,碳含量为 2.17%。对烧失后的煤矸石进行元素含量分析,结果见表 1。由表 1 可知,煤矸石中氧化硅含量为 62.07%,氧化铝含量为 21.94%,二者之和占了总含量的 80% 以上。此外,煤矸石还含有少量的氧化铁、氧化钾、氧化镁和氧化钛等化合物。

表 1 煤矸石(干基)化学成分

组分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	TiO ₂	Na ₂ O	CaO	SO ₃	其他
含量/%	62.07	21.94	6.47	3.71	1.01	0.86	0.78	0.33	0.09	2.64

对煤矸石进行 XRD 分析,结果如图 1 所示。由图 1 可知,Si 主要以石英形式存在,还有部分 Si 和 Al 以高岭石形式存在,Fe 以黄铁矿形式存在,剩余的碱金属以云母形式存在。

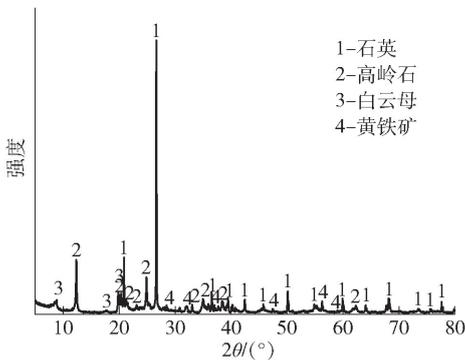


图 1 煤矸石 XRD 分析

为了研究煤矸石的晶型和质量随温度的变化,对煤矸石进行差热分析,温度从室温升至 1 400 °C,升温速率 10 °C/min,结果如图 2 所示。

从图 2 可知,煤矸石的质量从 400 °C 开始减少,主要是煤矸石中结晶水的烧失,到 600 °C 时趋于平

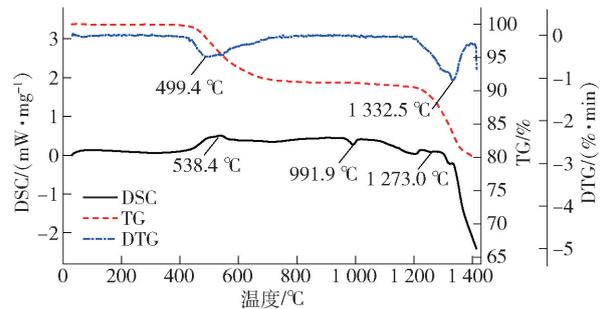


图 2 煤矸石差热分析

衡,然后在 1 200 °C 时又继续开始减少,到 1 400 °C 时质量分数降至 80.06%,质量总体减少了 19.94%,这与之前测得烧失量结果吻合。从 DSC 曲线可知,煤矸石在 420 °C 左右开始出现吸热反应,此时应为结晶水的挥发,在 920~1 020 °C 时出现放热反应,应为晶型转变所致。

试验过程中通过添加不同比例辅料(脱硫石膏、石灰石、白云石),探讨辅料成分对煤矸石制备陶粒的影响。石灰石、白云石、脱硫石膏等辅料的成分组成见表 2。

表2 各辅料化学成分

成分/%	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	SO ₃	F	其他
脱硫石膏	33.38	2.69	0.32	2.38	0.543	36.58	5.5	18.61
石灰石	27.72	10.04	0.57	18.32	1.36			42.00
白云石	52.33	3.94		0.68				43.04

1.2 试验过程

首先进行煤矸石协同脱硫石膏制备陶粒的研究。分别将煤矸石和脱硫石膏放入球磨机中粉磨45 min,取出后过200目筛,装入10号密封袋中。分别称取380 g煤矸石粉与20 g脱硫石膏粉(5%)、360 g煤矸石粉与40 g脱硫石膏粉(10%)、340 g煤矸石粉与60 g脱硫石膏粉(15%)、320 g煤矸石粉与80 g脱硫石膏粉(20%)混合均匀后,在圆盘造球机中进行造球,待生球尺寸为10~15 mm时,取出生球。

将烘干后的料球放在刚玉托盘上,置于马弗炉中进行焙烧。先以5℃/min的升温速率升温至300℃,随后以10℃/min的升温速率升温至1150℃并保温60 min;达到设定保温时间后随炉冷却;待冷却至200℃时取出试样。对冷却后的试样进行堆积密度、吸水率和筒压强度的测定。

煤矸石协同石灰石和煤矸石协同白云石制备陶粒采用相同的试验方法。

1.3 试验结果测定方法

焙烧后的陶粒的堆积密度、吸水率和筒压强度测定方法参考国家标准《轻集料及其试验方法 第二部分:轻集料试验方法》(GB/T 17431.2—2010)方法进行测定。

1.3.1 堆积密度

堆积密度测定具体步骤如下:

先在电子计数秤上称量容量筒的质量,然后用料铲将试样从离容器口上方50 mm处均匀倒下,使试样自然落下,不得碰撞容量筒。装满后,用直尺沿容量筒边缘从中心向两边刮平,表面凹陷处用粒径较小的样品填充后,放在电子计数秤上称量容量筒与所装陶粒的总质量。

根据公式(1)计算出陶粒的堆积密度,每个样品测量两次,取其平均值作为该样品的堆积密度。

$$\rho_{bu} = (m_t - m_v) \times 1000 / V \quad (1)$$

式中, ρ_{bu} 为堆积密度,kg/m³; m_t 为容量筒与所装陶粒的总质量,kg; m_v 为容量筒的质量,kg; V 为容量筒的体积,L。

1.3.2 吸水率

陶粒吸水率测定具体步骤如下:

1)把制备的陶粒拌合均匀,分成三等份,然后分别称取其质量。

2)将称量后的试样分别放入盛水容器中,如有颗粒浮与水上,将其压入水中。

3)试样浸水1 h后取出,放在孔径3 mm的方筛上滤水1~2 min,然后倒在拧干的湿毛巾上,用手捏住毛巾两端,使其成为槽型,让试样在毛巾上来回滚动8~10次后,称量其质量。

根据公式(2)计算出陶粒的吸水率,以3次测量的算术平均值作为该样品的试验结果。

$$\omega_{吸} = (m_1 - m_0) \times 100 / m_0 \quad (2)$$

式中, $\omega_{吸}$ 为吸水率,%; m_1 为陶粒吸水后的总质量,g; m_0 为陶粒吸水前的总质量,g。

1.3.3 筒压强度

筒压强度具体步骤如下:

1)筛取5~20 mm的陶粒试样装入带筒底的承压筒内至高出筒口,放在混凝土振动台上振动3 s,再装试样至高出筒口,放在混凝土振实动台上振动5 s,齐筒口刮(或补)平试样。

2)装上导向筒与冲压模,使冲压模的下刻度线与导向筒的上缘对齐。

3)把承压筒放在万能试验机的下压板上,对准压板中心,以每秒300~500 N的速度均匀压荷;当冲压模压入深度为20 mm时,记下压力值。

按照公式(3)计算陶粒的筒压强度。以3次测量的算术平均值作为该样品的试验结果。若三次最大值和最小值之差大于平均值的15%时,应重新取样进行测定。

$$P = (F_0 + F_1) / S \quad (3)$$

式中, P 为筒压强度,MPa; F_0 为冲压模重力,N; F_1 为冲压模压入深度为20 mm时的压力值,N; S 为承压面积,即为冲压模面积10 000 mm²。

2 结果与讨论

2.1 不同比例脱硫石膏对制备陶粒性能的影响

不同脱硫石膏配比制备的试样如图3所示。

由图3可知,煤矸石配加5%脱硫石膏的生球经1150℃焙烧60 min后颜色较浅,为浅黄色;当配

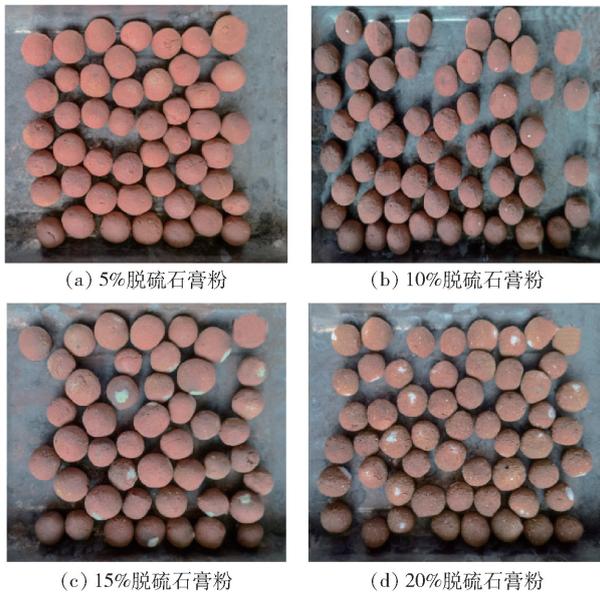


图3 配加不同比例脱硫石膏焙烧后的陶粒的样品图片
加脱硫石膏比例大于10%时,制备的陶粒熟球颜色加深变为灰褐色。4个脱硫石膏比例制备的陶粒的成品率均很高,无破裂颗粒出现。

煤矸石含有一定量的碳,在升温过程中两者会发生氧化反应生成CO,在该气氛条件下,脱硫石膏的主要成分硫酸钙在温度1000~1100℃时能够发生分解反应^[17],生成CaO、SO₂和O₂,反应过程如式(4)所示。产生的气体可以起到造孔剂作用,产生的氧化钙可以起到助熔剂的作用。



制备试样的堆积密度、吸水率和筒压强度如图4所示。

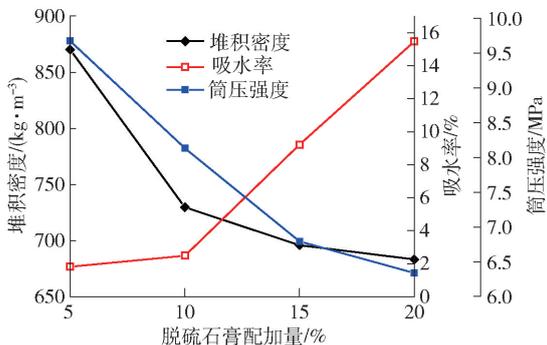


图4 配加不同比例脱硫石膏焙烧后的陶粒的性能测定结果

由图4可知,煅烧后试样的堆积密度随着脱硫石膏配加量的增加而降低。这是由于脱硫石膏配加量越高,高温焙烧后产生的气体越多,使制备的陶粒的内部孔洞越多,故而堆积密度越来越低。

制备陶粒的吸水率随着脱硫石膏配加量的增加

而增加。当脱硫石膏配加量为20%,在温度1150℃下煅烧60min后的试样的吸水率最高,达到了15.47%,超过了10%,不满足GB/T 17431.2—2010中轻集料对吸水率的要求(不大于10%)。这是由于配加脱硫石膏越多,产生的内部孔洞越多,尤其是配加量达到20%时,形成大量的开孔,导致其吸水率急剧增加。

煅烧后的试样的筒压强度随着脱硫石膏配加量的升高而降低,这是由于脱硫石膏添加量越大,焙烧后陶粒产生的内部孔洞越多,筒压强度随之降低。但最低仍大于6.0MPa,满足GB/T 17431.2—2010中轻集料对筒压强度的要求,且满足35型高强陶粒(不低于6.0MPa)要求。

2.2 不同比例石灰石对制备陶粒的影响

不同石灰石配比制备的试样如图5所示。

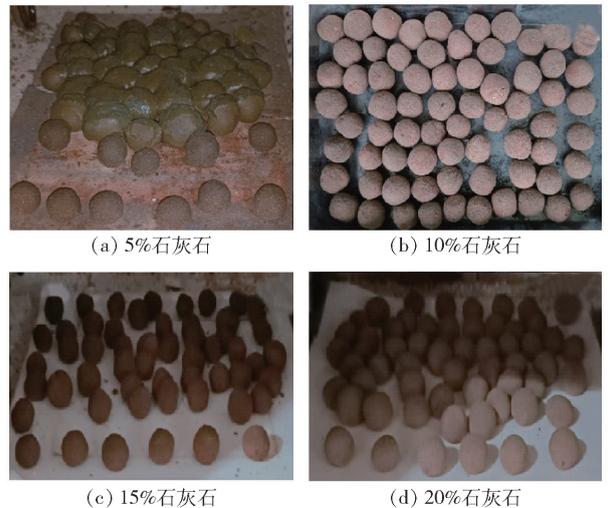
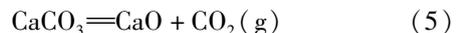


图5 配加不同比例石灰石焙烧后的陶粒的样品图片

由图5可知,煤矸石配加5%石灰石粉的生球在温度1150℃下焙烧60min颜色较浅,为浅黄色,但放置密集处出现陶粒团聚现象;当配加石灰石粉比例大于10%时,制备的陶粒熟球颜色加深,变为灰褐色。

石灰石主要成分为碳酸钙,在770℃以上开始发生分解反应^[18],生成CaO和CO₂,反应过程如式(5)所示。产生的气体可以起到造孔剂作用,产生的氧化钙可以起到助熔剂的作用。



制备试样的堆积密度、吸水率和筒压强度如图6所示。

由图6可知,煅烧后的试样堆积密度随着石灰石配加量的增加而降低。这可能是由于石灰石配

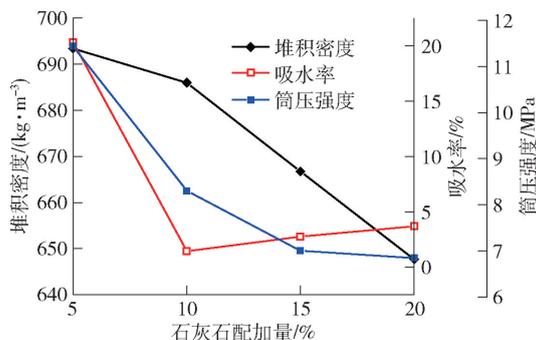


图6 配加不同比例石灰石焙烧后的陶粒的性能测定结果

加量越高,石灰石高温焙烧后产生的气体越多,使制备的陶粒的内部孔洞越多,故而堆积密度越来越低。

配加5%石灰石,经过温度1 150℃煅烧60 min后的试样的吸水率最高,达到了20%,不满足GB/T 17431.2—2010轻集料对吸水率的要求(不大于10%)。这是由于配加5%石灰石制备的陶粒出现了团聚现象,将其分散成单个颗粒时,颗粒表面破裂,出现了较多的开孔,导致其吸水率很大。而配加石灰石10%~20%时,制备样品的吸水率小幅增长,但均小于5%,满足GB/T 17431.2—2010轻集料对吸水率的要求。

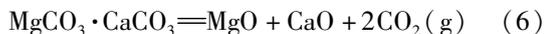
煅烧后的试样筒压强度随着石灰石配加量的升高而降低,但最低仍大于6.5 MPa,满足GB/T 17431.2—2010轻集料对筒压强度的要求,且满足40型高强陶粒(不低于6.5 MPa)要求。这是由于石灰石添加量越大,焙烧后陶粒产生的内部孔洞越多,筒压强度随之降低。

2.3 不同比例白云石对制备陶粒的影响

不同白云石配比制备的试样如图7所示。

由图7可知,煤矸石配加不同比例白云石粉焙烧制备的陶粒熟球颜色较浅,均为浅黄色。所有制备的陶粒试样均发生膨胀,且不能直接从坩埚中倒出,在后续扩大试验中要注意制备成品的脱除,避免太过粘连,导致成品率较低。

白云石主要成分为 $MgCO_3 \cdot CaCO_3$,在温度800℃以上开始发生分解反应^[19],生成氧化镁、氧化钙和二氧化碳,反应过程如式(6)所示。产生的气体可以起到造孔剂作用,产生的氧化钙可以起到助熔剂的作用。



制备试样的堆积密度、吸水率和筒压强度如图8所示。



图7 配加不同比例白云石焙烧后的陶粒的样品图片

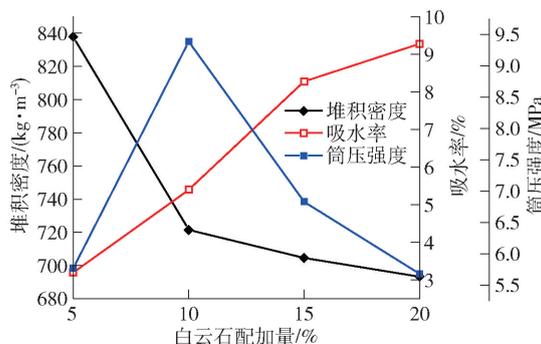


图8 配加不同比例白云石焙烧后的陶粒的性能测定结果

由图8可知,煅烧后的试样的堆积密度随着白云石配加量的增加而降低。这可能是由于白云石配加量越高,白云石高温焙烧后产生的气体越多,使制备的陶粒的内部孔洞越多,故而堆积密度越来越低。

制备的陶粒的吸水率随着白云石配加量的增加而增加。这可能是由于配加白云石量越多,产生的孔洞越多,故而样品的吸水率随之而增加。配加20%白云石、经过温度1 150℃煅烧60 min后的试样的吸水率最高,达到了9.28%,仍满足GB/T 17431.2—2010轻集料对吸水率的要求(不大于10%)。

煅烧后的试样的筒压强度随着白云石配加量的升高先升高后降低,但最低仍大于5.5 MPa,满足GB/T 17431.2—2010轻集料对筒压强度的要求,且满足30型高强陶粒(不低于5.0 MPa)要求。这可

能是由于白云石添加量从 5% 增加到 10% 时,白云石焙烧后产生的氧化钙和氧化镁相对较多,与煤矸石中的硅铝氧化物生成性能较好的长石相,故筒压强度有增大趋势,而继续加大白云石添加量,焙烧后陶粒产生的内部孔洞越多,筒压强度也随之降低。

3 结论

根据煤矸石的原料特性,采用大掺量煤矸石,进行配加脱硫石膏、石灰石和白云石制备陶粒的试验研究,得到如下结论:

1)90%煤矸石配加 10%脱硫石膏造出的生球经温度 1 150 °C 焙烧 60 min 后,制备的陶粒的堆积密度为 729.80 kg/m³,吸水率为 2.49%,筒压强度为 8.15 MPa,满足国家标准对高强陶粒的要求。

2)90%煤矸石配加 10%石灰石造出的生球经温度 1 150 °C 焙烧 60 min 后,制备的陶粒的堆积密度为 686.00 kg/m³,吸水率为 1.43%,筒压强度为 8.30 MPa,满足国家标准对高强陶粒的要求。

3)90%煤矸石配加 10%白云石造出的生球经温度 1 150 °C 焙烧 60 min 后,制备的陶粒的堆积密度为 721.44 kg/m³,吸水率为 5.40%,筒压强度为 9.39 MPa,满足国家标准对高强陶粒的要求。

4)由于脱硫石膏也属于固体废弃物,利用煤矸石协同脱硫石膏制备高强陶粒的经济效益性最好,同时具有良好的环境效益和社会效益。

本研究制备的高强陶粒具备优异的性能,可用作建筑材料(混凝土和混凝土砌块)、园林或室内绿化的绿化材料、水处理中降解有害物质的工业过滤材料、石油和天然气工业中的支撑剂以及废水和废气处理中的污染物吸附材料等。这些应用展示了高强陶粒的多功能性和其在现代建筑和工业中的重要性。随着技术的进步和对环保材料需求的增加,高强陶粒的应用领域还在不断扩展。这些应用都将促进煤矸石的消纳,有利于煤矸石的资源化利用,减少煤矸石的堆存,具有良好的环境效益和社会效益。

[参考文献]

[1] LU S H, PAN J, ZHU D Q, et al. Investigation on activation technology of self-heating decarbonization of coal gangue by a sintering process[J]. Journal of Central South University, 2023, 30(4): 1158 - 1167.

[2] 王爱国, 刘朋, 孙道胜, 等. 煅烧煤矸石粉体材料活性

评价方法的研究进展[J]. 材料导报, 2018, 32(6): 1903 - 1909.

- [3] 陈凤阁. 基于无人机航测的煤矸石山治理 BIM 正向设计[J]. 煤炭工程, 2020, 52(12): 26 - 29.
- [4] 李铠驿, 蔡斌. 煤矸石骨料取代率和钢纤维掺量对混凝土梁抗弯性能影响的有限元分析[J]. 吉林建筑大学学报, 2022, 39(6): 5 - 8, 26.
- [5] 马雪晴, 魏世辉, 焦亚军. 煤矸石对沥青混凝土性能的影响研究[J]. 兰州文理学院学报(自然科学版), 2022, 36(2): 61 - 67.
- [6] 胡伯. 小保当煤矿矸石充填技术研究及应用[J]. 煤炭工程, 2021, 53(8): 16 - 19.
- [7] 赵爽, 刘挺, 王超, 等. 煤矸石对粉煤灰陶粒滤料性能的影响[J]. 有色冶金节能, 2015, 31(5): 43 - 45.
- [8] 邓友生, 董晨辉, 吴阿龙, 等. 我国煤矸石山综合治理现状及零碳治理探索[J]. 煤矿安全, 2024, 55(10): 120 - 128.
- [9] 李虎杰, 陶军. 煤矸石制备高强陶粒的试验研究[J]. 非金属矿, 2010, 33(3): 20 - 22.
- [10] 王雁冰. 砂岩质煤矸石陶粒的制备研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2016.
- [11] 王志英. 煤矸石粉煤灰烧结陶粒制备及物化性能研究[D]. 太原: 山西大学, 2021.
- [12] 张雷. 钙质岩煤矸石烧制轻集料研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2012.
- [13] 杨艳茹, 麻永林, 王军. 粉煤灰-煤矸石质多孔陶粒的制备研究[J]. 矿冶工程, 2018, 38(5): 96 - 99.
- [14] 田玉明, 朱保顺, 力国民, 等. 煤矸石掺量对陶粒支撑剂性能的影响[J]. 硅酸盐学报, 2019, 47(3): 365 - 369.
- [15] 张西玲, 陈林, 向芸, 等. 利用煤矸石制备陶粒的配比和烧结制度的试验研究[J]. 硅酸盐通报, 2015, 34(8): 2371 - 2375.
- [16] 杨艳茹, 王杰, 麻永林, 等. 正交设计优化粉煤灰-煤矸石质多孔陶粒的制备过程[J]. 佛山陶瓷, 2018, 28(1): 9 - 13, 21.
- [17] 章静. 脱硫石膏热分解特性的实验和机理研究[D]. 南京师范大学, 2012.
- [18] 亢庆锋, 张建良, 刘征建, 等. 烧结熔剂的高温分解实验研究[C]//中国金属学会炼铁分会, 昆明钢铁股份有限公司, 昆明理工大学. 2017 年全国高炉炼铁学术年会论文集(下), 2017: 456 - 460.
- [19] 左海滨, 徐承飞, 张建良, 等. 烧结熔剂高温性能的研究[J]. 钢铁研究, 2013, 41(6): 7 - 11.

Study on Incineration Process of Solid Recovered Fuel

ZHANG Bangchao, CHEN Yali, Hashentuliguer
(China ENFI Engineering Corporation, Beijing 100038, China)

Abstract: Urban solid waste has a wide range of sources and complex physical composition and morphology. The calorific value and combustion thermal efficiency of waste are the key factors of heat recovery during incineration. In this paper, typical industrial solid waste was selected as raw material, and the preparation process and product quality of solid recovered fuel were introduced. By comparing the incineration indexes of solid recovered fuel and general mixed solid waste, and comparing the incineration indexes of solid recovered fuel under the different main steam parameters, the incineration and waste heat utilization thermal efficiency of solid recovered fuel were analyzed, and the heat balance calculation and finite element simulation were carried out to study the energy flow distribution and heat recovery effect of incineration process.

Key words: municipal solid waste (MSW); industrial waste; SRF (Solid Recovered Fuel); heating recovering; burning heat efficiency

(上接第 88 页)

Study on Preparation of High Strength Ceramsite From Coal Gangue

CHEN Kuiyuan, CHEN Xuegang, LI Mingchuan, DAI Wenbin, XU Xiaofeng, GOU Haipeng, FAN Yaxin
(China ENFI Engineering Corporation, Beijing 100038, China)

Abstract: At present, there is a huge amount of coal gangue, which can be made into ceramsite instead of sand aggregate to achieve mass consumption. Using coal gangue as the main raw material, the experimental study on the preparation of ceramsite with desulfurized gypsum, limestone and dolomite were carried out. The results showed that when the raw ball made of 90% coal gangue and 10% desulphurized gypsum was calcined at 1 150 °C for 60 min, the packing density of the prepared ceramsite was 729.80 kg/m³, the water absorption rate was 2.49%, and the barrel compression strength was 8.15 MPa; When the raw ball made of 90% coal gangue combined with 10% limestone was calcined at 1 150 °C for 60 min, the packing density of the prepared ceramsite was 686.00 kg/m³, the water absorption rate was 1.43%, and the barrel compression strength was 8.30 MPa; When the raw ball made of 90% coal gangue and 10% dolomite was calcined at 1 150 °C for 60 min, the packing density of the prepared ceramsite was 721.44 kg/m³, the water absorption rate was 5.40%, and the barrel compression strength was 9.39 MPa. The properties of these three kinds of ceramsite can meet the requirements of national standards for high strength ceramsite.

Key words: coal gangue; high strength ceramsite; packing density; water absorption; barrel compression strength; bulk consumption