球团

低品位膨润土改性及其在球团中的应用研究

陆启财[1,2]，陈铁军[1,2]，罗艳红[1,2]，周仙霖[1,2]，胡 钺[1,2]
(1. 武汉科技大学 资源与环境工程学院，湖北 武汉 430081；2. 冶金矿产资源高效利用与造块湖北省重点实验室，湖北 武汉 430081)

摘要： 为了更好地利用低品位钙基膨润土用于球团生产，本文采用半干法对此类膨润土进行改性并进行造球试验。结果表明：膨润土经最佳半干法钠化后，2 h 吸水率和膨胀容由161.1%和3.1 mL/g分别提高至349.03%和18.1 mL/g；经钠化改性和复合改性后，当配比均为1.6%时，生球落下强度由原土的3.9次/(0.5 m)分别提高至钠化土的5.4次/(0.5 m)和复合土的6.6次/(0.5 m)；此外，复合土改性后在球团中的配比较原土可由1.6%降低至1.0%以下，且复合土球团爆裂温度较原土提高100 ℃以上。

关键词： 膨润土；半干法；螺旋挤压；改性；球团
中图分类号： TF046.6 **文献标识码：** A **文章编号：** 1000－8764(2021)03－0039－08
doi： 10.13403/j.sjqt.2021.03.037

Research on modification of low－grade bentonite and its application in pellets

LU Qicai[1,2], CHEN Tiejun[1,2], LUO Yanhong[1,2], ZHOU Xianlin[1,2], HU Yue[1,2]
(1. *School of Resources and Environmental Engineering, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan* 430081, *Hubei, China*; 2. *Hubei Province Key Laboratory for Efficient Utilization and Agglomeration of Metallurgic Mineral Resources, Wuhan* 430081, *Hubei, China*)

Abstract: In order to make better use of low-grade Ca-based bentonite for pellets production, semi-dry method is used to modify this kind of bentonite and the pelletizing test is carried out. The results show that, after the bentonite is sodium-modified by the best semi-dry method, the water absorption and swelling volume in 2 hours are increased from 161.1% and 3.1 mL/g to 349.03% and 18.1 mL/g, respectively. After the sodium modification and compound modification, when the proportion is 1.6%, the green ball falling strength increases from 3.9 times/(0.5 m) of the original soil to 5.4 times/(0.5 m) for sodium-modified soil and composite bentonite of 6.6 times/(0.5 m) respectively. In addition, after the modification of the composite soil, the proportion of the original soil in the pellets can be reduced from 1.6% to less than 1.0%, and the burst temperature of the composite soil pellets is higher than that of the original soil by more than 100 ℃.

Key words: bentonite; semi-dry method; screw extrusion; modification; pellets

蒙脱石作为膨润土的主要成分，是一种2∶1型的层状硅酸盐黏土矿物，其单位晶层由两层硅氧四面体夹着一层铝氧八面体构成。由于蒙脱石结构中的Al^{3+}和Si^{4+}易被低价阳离子类质同象取代[1]，使得蒙脱石片层通常具有永电负性，为达到电荷平衡，蒙脱石层间通常含有可交换阳离子(Ca^{2+}、K^+、Na^+、Li^+等)，由于Ca^{2+}的结合能较大[2]，蒙脱石层间更易吸附Ca^{2+}，所以，天然形成的膨润土主要以钙基膨润土为主。

膨润土作为铁矿石球团的优良黏结剂，具有提高铁精矿成球性能、稳定和提高生球质量，

收稿日期：2021－02－04；修回日期：2021－03－04
基金项目：湖北省教育厅科学研究计划资助项目(Q20191110)
作者简介：陆启财(1996—)，男，硕士研究生，从事烧结球团方面的研究。
通讯作者：罗艳红(1985—)，女，讲师，从事烧结球团和直接还原方面的研究。

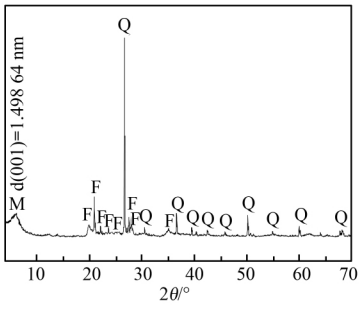
(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

以及改善成品球冶金性能等优点[3-4]。目前，膨润土在国内球团工艺中的地位仍无法被取代。钠基膨润土应用于球团较钙基膨润土能实现更好的生球性能以及焙烧球性能[5-6]。国内球团工艺用的钠基膨润土大多由天然钙基膨润土经过堆法钠化而成，钠化周期较长，钠化土质量较差，而采用螺旋挤压方式对钙基膨润土进行钠化可以实现钙基膨润土在较短时间内充分钠化[7]。另外，膨润土通过复合改性也可以显著提高其球团性能[8]。关于膨润土钠化改性和复合改性并应用于球团的研究，其对象主要是基于蒙脱石质量分数较高(均大多在75%以上)的膨润土，而对于低品位膨润土直接改性并应用的研究很少。本文采用半干法对某低品位膨润土直接进行钠化与复合协同改性，并进行造球试验，以探究低品位膨润土在球团中应用的可行性。

1 原料及方法

1.1 试验原料

试验用膨润土(原土)产自湖北某地，其XRD分析和化学成分组成如图1和表1所示。



M—蒙脱石；Q—石英；F—长石。

图1 原土XRD

Fig. 1 XRD pattern of raw bentonite

表1 原土化学成分(质量分数)

Table 1 Chemical compositions of raw bentonite %

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	P	S	其它	LOI
60.71	15.65	5.32	1.48	2.01	1.85	0.84	0.055	0.051	1.61	10.42

由图1与表1可知，原土主要成分为蒙脱石、石英和长石，其衍射峰d(001)=1.498 64 nm，具有钙基膨润土的典型特征，其理化性能表2所示。由表2可知，原土蒙脱石质量分数、2 h吸水率和膨胀容分别仅为49.55%、161.1%和3.1 mL/g，品质较低。

表2 原土理化性能

Table 2 Physical and chemical properties of raw bentonite

2 h吸水率(质量分数)/%	膨胀容/(mL·g^{-1})	吸兰量/(g·(100 g)$^{-1}$)	蒙脱石占比(质量分数)/%	-0.074 mm粒级占比(质量分数)/%	pH值
161.1	3.1	21.80	49.55	98.13	7.68

试验用铁精矿原料为程潮球团厂高压辊磨产品，其主要化学成分和物理性能分别如表3、4所示。由表3可知，铁精矿TFe质量分数较高，为66.16%，FeO质量分数超过23%，SiO_2

表3 铁精矿主要化学成分(质量分数)

Table 3 Chemical compositions of iron concentrate %

TFe	FeO	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	S	P	LOI
66.16	26.89	3.52	1.56	1.41	0.98	0.42	0.01	-1.57

表4 铁精矿粒度分布和比表面积

Table 4 Concentrate particle size distribution and specific surface area of iron concentrate

粒度组成(质量分数)%			比表面积/(cm^2·g^{-1})
-0.038 mm	0.038~0.074 mm	+0.074 mm	
56.63	27.65	15.72	1 372

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

质量分数较低为 3.52%，属于优质的磁铁精矿。由表 4 可知：铁精矿 −0.074 mm 粒级占比为 84.28%，−0.038 mm 粒级占比为 56.63%，微细粒占比较少，且表面积只有 1 372 cm^2/g，成球性能较差。

1.2　研究方法

膨润土改性方法：采用半干法对原土进行钠化改性和复合改性，具体流程如图 2 所示。以 Na_2CO_3（分析纯）为钠化剂，每次取 200 g 膨润土（干料）与一定配比的 Na_2CO_3 混匀后，外加一定量水并搅拌均匀，然后用螺旋挤压机进行挤压，挤压后在室温条件下陈化一定时间，主要探究钠化剂用量、钠化水分、挤压次数和陈化时间对钠化效果的影响，最后将陈化后的膨润土烘干并破碎至 −0.074 mm。通过吸水率、膨胀容的检测来分析不同钠化条件下的钠化效果。复合土制备过程与钠化流程一致，以 300 万分子量的阳离子型有机大分子 A 为复合剂，称取膨润土（干料）质量 1% 的复合剂 A 与钠化剂混合，在最佳钠化工艺条件下进行复合改性后制成复合土，并对原土、钠化土和复合土进行 XRD、SEM 等分析。

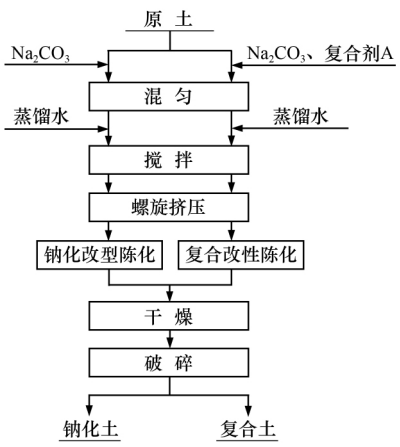


图 2　原土钠化改性和复合改性流程

Fig. 2　Flow diagram of sodium modification and compound modification

颗粒录影显微镜（Particle Video Microscope，PVM）测试方法：采用实时在线 PVM 对原土和钠化土在溶液中的微观变化进行分析，在膨胀容试验的条件下分别将原土和钠化土配置成矿浆溶液后，将 PVM 插入溶液中进行 2 min 的录像，并截取 0.5、1、2 min 时的图像进行分析。

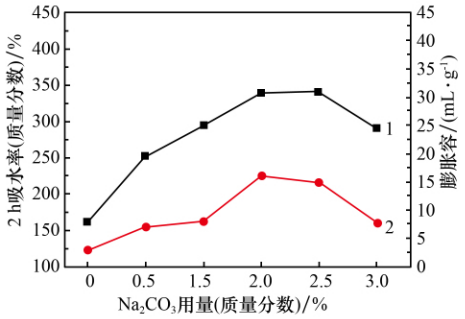
球团试验方法：首先将一定量的 3 种土与 4 kg 铁精矿混合均匀，并在直径为 800 mm、倾角为 47°、转速为 25 r/min 的圆盘造球机上进行生球制备，控制造球时间为 12 min 左右，并紧密 2 min，生球水分维持在 8% 左右；再对制成的生球主要进行落下强度、爆裂温度检测；最后将生球烘干，并进行 SEM 分析。

2　结果与分析

2.1　钠化改性试验

2.1.1　钠化剂用量的影响

在螺旋挤压 2 次、水分为 24%、陈化时间为 3 d 的条件下，钠化剂用量对钠化效果的影响如图 3 所示。



1—2 h 吸水率；2—膨胀容。

图 3　钠化剂用量对钠化效果的影响

Fig. 3　Influence of sodiumizing agent dosage on effect of sodiumization

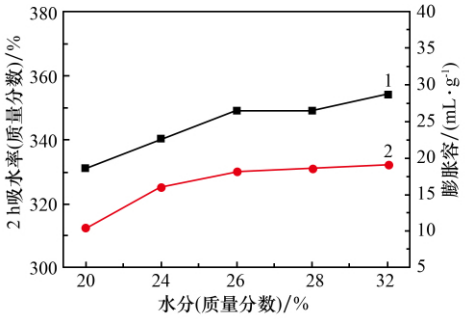
由图 3 可知：随着 Na_2CO_3 用量的增加，钠化土吸水率和膨胀容呈现先增高后降低的现象。当 Na_2CO_3 用量为 1%～2% 时，随着 Na_2CO_3 用量的增加，吸水率和膨胀容迅速上升。当 Na_2CO_3 用量为 2% 时，膨胀容和吸水率分别为 340.15% 和 16.2 mL/g。当 Na_2CO_3 用量为2.0%～3.0%时，随着 Na_2CO_3 用量的增加，膨胀容逐渐减小。分析可知：钠化剂用量低，则 Na^+ 与 Ca^{2+} 交换不完全；钠化剂用量过高，则会恶化 Na^+ 与 Ca^{2+} 交换反应[9]。综合考虑，在半干法中，Na_2CO_3 最佳用量为 2% 左右。

2.1.2　水分的影响

在 Na_2CO_3 用量为 2%、螺旋挤压 2 次、陈

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

化时间为 3 d 的条件下，水分对钠化效果的影响如图 4 所示。



1—2 h 吸水率；2—膨胀容。

图 4 水分对钠化效果影响

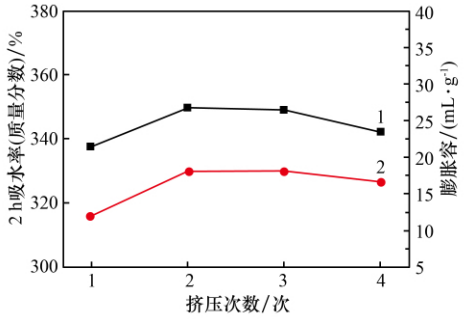
Fig. 4 Influence of moisture on the effect of sodiumization

由图 4 可知：随着水分的增大，钠化土吸水率和膨胀容均呈现越来越高的趋势。当水分由 20% 增加到 26% 时，吸水率和膨胀容分别由 331.05% 和 10.4 mL/g 迅速提高至 349.09% 和 18.1 mL/g。当钠化水分超过 26% 时，吸水率增大的趋势放缓，这主要是因为膨润土含水量过高，导致黏性增大，在挤压时易粘在设备上，使得螺旋挤压效率变低。膨润土通过螺旋挤压钠化时，水分充当 Na^+ 与 Ca^{2+} 交换的通道，水分过低时，钠化进行较缓慢，在较短的时间内钠化效果差；但水分过高时，又不利于膨润土受到充分的剪切作用，蒙脱石片层之间出现滑移现象少，不利于 Na^+ 与 Ca^{2+} 交换，且水分高不利于后续烘干。综合考虑，螺旋挤压钠化水分控制在 26% 左右为宜。

2.1.3 挤压次数的影响

在 Na_2CO_3 用量为 2%、陈化时间为 3 d、水分为 26% 的条件下，挤压次数对钠化效果的影响如图 5 所示。

由图 5 可知：当螺旋挤压次数由 1 次变为 2 次时，吸水率和膨胀容分别由 337.59% 和 12.0 mL/g 增大到 349.09% 和 18.1 mL/g；而继续增加挤压次数时，吸水率和膨胀容反而逐渐减低。膨润土受到挤压和剪切力的作用时，颗粒之间相互摩擦会产生热量，适宜的温度有利于离子运动的加快，促进钠化反应的进行；而膨润土受挤压次数过多，温度高，使得膨润土中的水



1—2 h 吸水率；2—膨胀容。

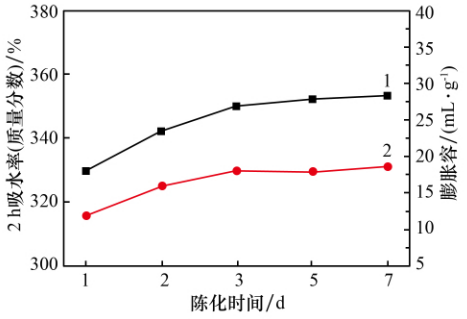
图 5 挤压次数对钠化效果的影响

Fig. 5 Influence of the number of extrusions on the effect of sodiumization

分迅速蒸发减少，导致膨润土钠化水分降低，从而使 Na^+ 与 Ca^{2+} 交换的速率降低。所以，螺旋挤压钠化次数确定为 2 次。

2.1.4 陈化时间的影响

在 Na_2CO_3 用量为 2%、螺旋挤压 2 次、水分为 26% 的条件下，陈化时间对钠化效果的影响如图 6 所示。



1—2 h 吸水率；2—膨胀容。

图 6 陈化时间对钠化效果的影响

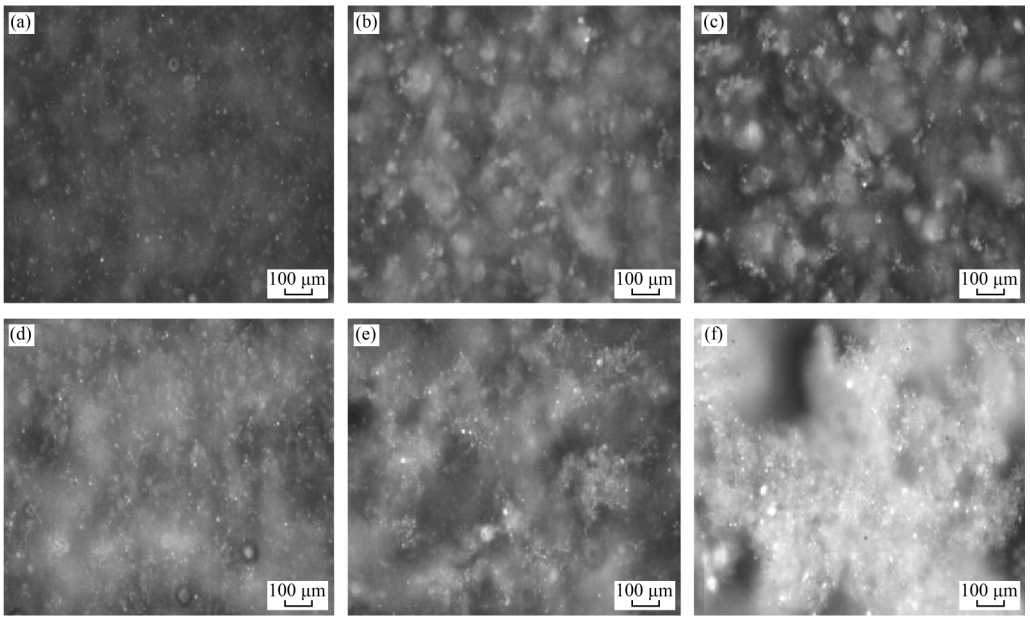
Fig. 6 The influence of aging time on the effect of sodiumization

由图 6 可知：随着陈化时间的增加，钠化土吸水率逐渐增大。当陈化时间由 1 d 增加到 3 d 时，吸水率变由 329.54% 增大至 349.03%。当陈化时间超过 3 d 时，吸水率上升趋势变缓，说明钠化反应接近完全。所以，半干法钠化陈化时间 3d 左右为宜。

综合以上分析可知：经过单因素优化试验后，得到原土经螺旋挤压钠化的最佳工艺条件：Na_2CO_3 用量为 2%、钠化水分为 26%、螺旋挤压 2 次、陈化时间为 3 d。最佳钠化土 2 h 吸水率和膨胀容分别由原来的 161.1% 和 3.1 mL/g

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

提高至 349.03% 和 18.1 mL/g，原土和最佳钠化土的 PVM 测试结果如图 7 所示。由图 7(a)~(c)可知：原土溶液在 2 min 之内从一开始的分散状态迅速絮凝成较致密的团状，并快速沉降，这主要是因为原土属于钙基膨润土，吸水膨胀性和分散性较差[10]，原土中蒙脱石颗粒之间易发生絮凝沉降，故原土膨胀容很低。由图 7(e)~(f)可知：钠化土溶液中的颗粒之间以较为分散的方式连接，即具有明显的纤维化连接特性，钠化土中蒙脱石层间迅速水化膨胀形成明显的“卡房式”结构相互支撑[11-12]。所以，钠化土膨胀容较原土得到提高。



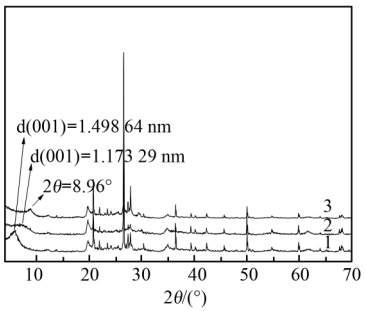
原土：(a) 0.5 min；(b) 1 min；(c) 2 min。钠化土：(d) 0.5 min；(e) 1 min；(f) 2 min

图 7　原土和钠化土 PVM 图

Fig. 7　PVM patterns of raw bentonite and sodiumized bentonite

2.2　原土、钠化土和复合土 XRD 和 SEM 分析

对原土、最佳钠化条件的钠化土和复合土进行 XRD 检测，结果如图 8 所示。由图 8 可知：钠化土蒙脱石衍射峰由 d(001) = 1.498 64 nm 降低到 d(001) = 1.173 29 nm，表明钠化效果充分，且蒙脱石改性后其晶体结构有序度较低；蒙脱石结晶度越低且颗粒越细，则其 XRD 衍射峰越不明显；此外，蒙脱石结晶度变差，新增更多的断面，其活性会增强[13]；而原土经钠化复合改性后，蒙脱石峰消失，且在 2θ = 8.96°出现新的晶相衍射峰，表明复合土晶体结构发生改变，使得蒙脱石结晶度变差，且复合剂与蒙脱石之间发生了复合作用。



1—原土；2—钠化土；3—复合土。

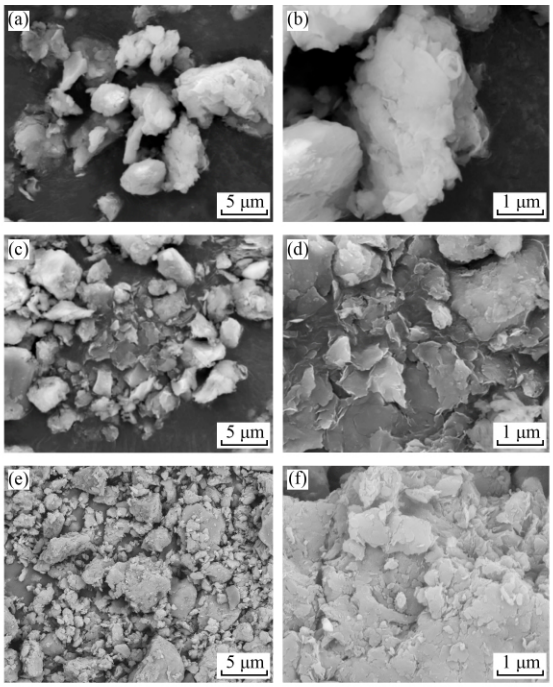
图 8　原土、钠化土、复合土 XRD

Fig. 8　XRD patterns of raw bentonite、sodiumized bentonite and composite soil bentonite

原土、钠化土和复合土 SEM 如图 9 所示。由图 9(a)、(b)可以观察到：原土中蒙脱石晶体形态呈不规则多边形迭片状、迭层状和堆叠状，蒙脱石多以团状集合体出现，薄片较少，这主要是因为钙基膨润土分散性较差，不易形成薄片[14,15]；另外，原土蒙脱石单体颗粒较厚，这主要是因为钙基蒙脱石普遍具有更大的径厚比[16]；由图 9(c)、(d)可以观察到，原土经钠

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

化后，粗颗粒表面及其周围出现大量薄片，且轮廓清晰，而且蒙脱石单体颗粒细小；由图 9(e)、(f) 可知，复合土中存在大量细小颗粒，细粒级占比较高，且粒度分布较均匀，大多为形状不规则、表面粗糙，原土复合改性后，比表面积增大，有利于活性增强。



(a)、(c)、(e)：原土、钠化土、复合土放大 10 000 倍；
(b)、(d)、(f)：原土、钠化土、复合土放大 30 000 倍。

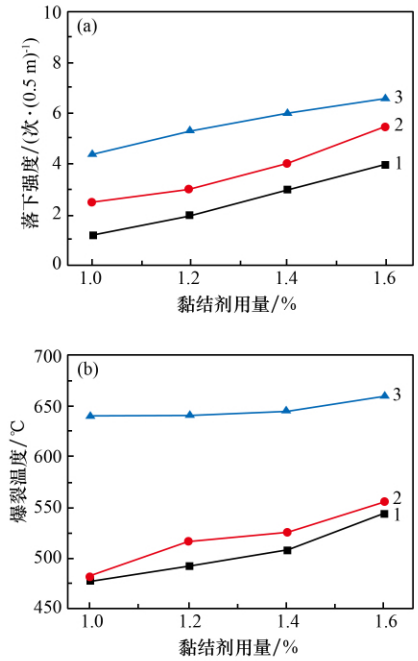
图 9 原土、钠化土、复合土 SEM

Fig. 9 SEM patterns of raw bentonite, sodiumized bentonite and composite soil bentonite

2.3 球团试验

将原土、钠化土和复合土进行造球试验，结果如图 10 所示。

由图 10(a) 可知：复合土生球落下强度最好，而原土整体落下强度最低。当配比均为 1.6% 时，原土生球落下强度仅为 3.8 次/(0.5 m)，而钠化土和复合土生球落下强度则达到 5.4 次/(0.5 m) 和 6.6 次/(0.5 m)。在配比仅降低至 1.4% 时，原土和钠化土的生球落下强度迅速降低，且钠化土降幅较大，这主要与原土蒙脱石占比低有关，而随着复合土配比的减少其生球落下强度下降较为缓慢。当复合土为 1.0% 时，生球落下强度仍为 4.4 次/(0.5 m)，



(a) 生球落下强度；(b) 生球爆裂温度
1—原土；2—钠化土；3—复合土。

图 10 不同黏结剂及其用量对生球性能的影响

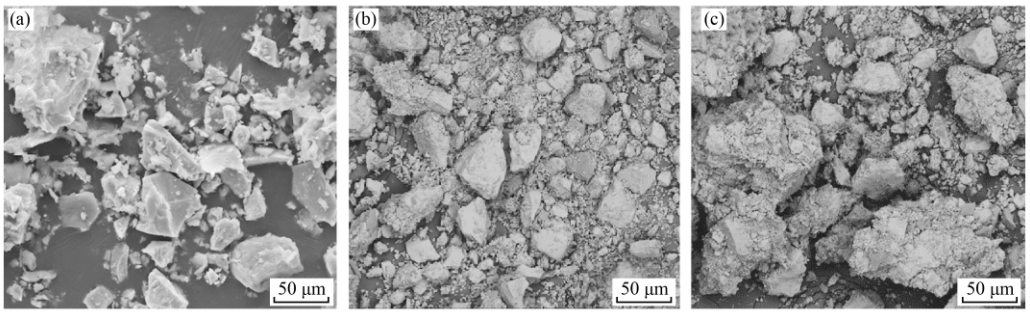
Fig. 10 Influence of different binders and amounts on the properties of green balls

说明原土经有机复合之后其成球性能更好。

此外，在配比均为 1.6% 时，将原土、钠化土和复合土干球轻轻压碎后进行 SEM 检测，结果如图 11 所示。由图 11(a) 可知：原土干球压碎后，颗粒之间无明显黏结，大颗粒表面较干净，且细颗粒较为分散分布，表明原土在球团中分散较差，对铁精矿颗粒表面性能改善较低，所以原土生球落下强度低；由图 11(b) 可知：钠化土球团中铁精矿细颗粒聚集，且大颗粒表面有细颗粒粘附，这是因为原土钠化土后具有更好的水化能力、分散能力。另外，钠化土纤维化特性使得钠化土球团中铁精矿颗粒之间能够更好地黏结[17]；而由图 11(c) 可知，复合土干球压碎后，其铁精矿仍然以大块紧密相连，且大颗粒表面粘附大量精细颗粒，说明复合土在球团中分散均匀且能强化铁精矿之间的相互连接作用，生球落下强度更好[18]。

同时，由图 10(b) 可知：原土钠化后生球爆裂温度得到提高，这主要是因为钠化土对水分子吸附能力更强，从而起到更好的平衡水分

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



(a) 原土；(b) 钠化土；(c) 复合土

图 11　不同粘结剂干球 SEM

Fig. 11　SEM patterns of different binder in dry ball

的作用[19]；当原土经有机复合改性后，其生球爆裂温度大幅提高，在相同配比的条件下复合土生球爆裂温度比原土和钠化土生球的爆裂温度提高 100 ℃以上。

3　结　论

(1) 半干法钠化最佳条件：Na_2CO_3 用量为 2%、水分为 26%、挤压 2 次、陈化时间为3 d；原土在最佳条件下钠化后，2 h 吸水率和膨胀容由 161.1% 和 3.1 mL/g 分别提高至 349.03% 和 18.1 mL/g；钠化后膨润土纤维特性明显。

(2) 原土分别经过钠化改性和复合改性后，其生球落性能得到明显提升，在配比均为 1.6% 时，生球落下强度由原土的 3.9 次/(0.5 m) 分别提高至钠化土的 5.4 次/(0.5 m) 和复合土的 6.6 次/(0.5 m)；原土经复合改性后，在球团中的配比可由 1.6% 降低至 1.0% 以下；复合土球团爆裂温度比原土和钠化土球团提高 100 ℃以上，膨润土钠化复合协同改性对低品位膨润土在球团中的应用具有重要意义。

参考文献:

[1] 赵云良，白皓宇，易浩，等. 二维蒙脱石的制备及环境功能应用[J]. 金属矿山，2020(10)：70－81.
ZHAOYunlaing，BAI Haoyu，YI Hao，et al. Preparation and environmental applications of two-dimensional montmorillonite nanosheets[J]. Metal Mine，2020(10)：70－81.

[2] CHEN T，YUAN Y，ZHAO Y，et al. Effect of layer charges on exfoliation of montmorillonite in aqueous solutions[J]. Colloids and Surfaces A：Physicochemical and Engineering Aspects，2018，548：92－97.

[3] 刘桂阳，朱德庆，潘建，等. 改性膨润土改善铁矿球团性能的工业试验[J]. 烧结球团，2005，30(4)：13－16.
LIU Guiyang，ZHU Deqing，PAN Jian，et al. The industrial test for improving iron ore pellets properties with adding of organic activated bentonite[J]. Sintering and Pelletizing，2005，30(4)：13－16.

[4] 郑长文，管俊芳，郑佳敏，等. 矿业领域膨润土应用的研究进展[J]. 矿产综合利用，2020(3)：22－27.
ZHENG Changwen，GUAN Junfang，ZHENG Jiaming，et al. Progress in the application of bentonite in mining industry[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources，2020(3)：22－27.

[5] 张汉泉. 膨润土在铁矿氧化球团中的应用[J]. 中国矿业，2009，18(8)：99－102.
ZHANG Hanquan. Application of bentonite in iron ore oxidation pellets[J]. China Mining Magazine，2009，18(8)：99－102.

[6] 翁兴洋. 六偏磷酸钠对球团中钙基膨润土改性及其作用机理[J]. 烧结球团，2020，45(6)：69－73.
WENG Xingyang. Research on sodium hexametaphosphate influence to calcium bentonite modification and its mechanism from pellets[J]. Sintering and Pelletizing，2020，45(6)：69－73.

[7] 李彩霞. 膨润土基冶金球团黏结剂研制及构效关系研究[D]. 阜新：辽宁工程技术大学，2011.
LI Caixia. Study on preparation of bentonite-based pellet and sar for iron pellet[D]. Fuxin：Liaoning Technical University，2011.

[8] 张元波，欧阳学臻，路漫漫，等. 腐植酸改性膨润土在铁矿球团中的应用效果[J]. 烧结球团，2018，43(4)：27－32.
ZHANG Yuanbo，OUYANG Xuezhen，LU Manman，et al. Application effect of humic acid modified bentonite binder in iron ore pellets[J]. Sintering and Pelletizing，2018，43(4)：27－32.

[9] 蒋冲，曹佳宏，石云良. 桃源膨润土钠化改性研究[J]. 矿

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

冶工程,2004,24(6):21 – 23.
JIANG Chong, CAO Jiahong, SHI Yunliang. Modification of bentonite of taoyuan with sodium carbonate [J]. Mining and Metallurgical Engineering,2004,24(6):21 – 23.

[10] WOLFE T A,DEMIREL T,BAUMANN E R. Adsorption of organic pollutants on montmorillonite treated with amines [J]. Journal(Water Pollution Control Federation),1986:68 – 76.

[11] KUTSENKO L I,BOCHEK A M,VLASOVA E N,et al. Synthesis of carboxymethyl cellulose based on short fibers and lignified part of flax pedicels(boon) [J]. Russian Journal of Applied Chemistry,2005,78(12):2014 – 2018.

[12] 钟强,杨永斌,蒙飞宇,等. 铁矿球团用膨润土的流变特性[J]. 中南大学学报,2016,47(9):2907 – 2913.
ZHONG Qiang,YANG Yongbin,MENG Feiyu,et al. Rheological property of bentonite used in iron pellet [J]. Journal of Central South University,2016,47(9):2907 – 2913.

[13] 温淑瑶,杨德涌,陈捷,等. 膨润土及其酸化土、碱处理酸化土的X射线衍射特征及扫描电镜下的表面特征分析[J]. 矿物学报,2001(3):453 – 456.
WEN Shuyao,YANG Deyong,CHEN Jie,et al. X-ray diffraction characterization of bentonite,acidation bentonite and alkalization bentonite and surface characters underscanning electron microscope (SEM) [J]. Acta Mineralogica Sinica,2001(3):453 – 456.

[14] 李鑫,吴雪兰,龙红明,等. 低品质膨润土提质改性技术研究[J]. 硅酸盐通报,2020,39(3):837 – 843.
LI Xin,WU Xuelan,LONG Hongming,et al. Study on purification and modification technology of low-quality bentonite [J]. Bulletin of The Chinese Ceramic Society,2020,39(3):837 – 843.

[15] ZHANG Xian,YI Hao,BAI Haoyu,et al. Correlation of montmorillonite exfoliation with interlayer cations in the preparation of two-dimensional nanosheets [J]. Rsc Advances,2017,7(66):41471 – 41478.

[16] BAI Haoyu,ZHAO Yunliang,ZHANG Xian,et al. Correlation of exfoliation performance with interlayer cations of montmorillonite in the preparation of two-dimensional nanosheets [J]. Journal of the American Ceramic Society,2019,102(7):3908 – 3922.

[17] KAWATRA S K,RIPKE S J. Laboratory studies for improving green ball strength in bentonite-bonded magnetite concentrate pellets [J]. International Journal of Mineral Processing,2003,72(1 – 4):429 – 441.

[18] 王雨蒙. 有机物改性膨润土浆的制备及其提高铁矿球团强度的机理[D]. 长沙:中南大学,2014.
WANG Yumeng. The preparation of organic modified bentonite and the mechanism of organic modified bentonite improving the strength of iron ore pellets [D]. Changsha: Central South University,2014.

[19] 吴祚银,王富生,冯淑玲,等. 高效钠化膨润土的球团试验与生产[J]. 烧结球团,2004,29(3):12 – 16.
WU Zuoyin,WANG Fusheng,FENG Shuling,et al. Pelletizing experiment and production with addition of efficient sodium-ionized bentonite [J]. Sintering and Pelletizing,2004,29(3):12 – 16.

本刊调价声明

由于纸张及印刷费上涨,《烧结球团》从2020年起每本定价调为25元,仍为双月刊,全年六期,共150元。本刊邮发代号为42 – 23,请读者到当地邮局订阅。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net