

石灰石细度对紫色砂页岩烧结砖质量的影响

冯志刚, 刘江, 李会娟, 蔡萍莉, 黄爱武

(南华大学核资源与安全工程学院, 湖南 衡阳 421001)

摘要:模拟砖厂现行的烧结工艺,在800℃下,通过对石灰石细度为 $>-1\Phi$ 、 $>0\Phi$ 、 $>1\Phi$ 、 $>2\Phi$ 、 $>3\Phi$ 和 $>4\Phi$ 等6种系列的紫色砂页岩砖坯小样的室内烧结实验,获得了以下认识:1)石灰石细度是影响紫色砂页岩烧结砖质量的一个至关重要的因素.在不同细度下,烧结砖发生石灰爆裂的石灰石临界含量不同,并且其临界含量随着石灰石细度的增大而降低;2)石灰石细度不同,对烧结砖质量影响的方式也不同.粒度越粗,由游离CaO吸湿消解产生的膨胀应力越集中,越容易产生石灰爆裂现象;粒度越细,产生的膨胀应力越容易被分散,越有助于减弱或消除石灰爆裂的发生.另外,建立了石灰石细度与烧结砖发生石灰爆裂的石灰石临界含量之间的关系曲线,可为砖厂的现实生产提供指导.

关键词:石灰石细度;石灰爆裂;紫色砂页岩烧结砖;烧结实验

中图分类号:P58

文献标识码:A

The Influence of Granularity of Limestone on the Quality of Sintering Bricks of Purple Sandy Shale

FENG Zhi-gang, LIU Jiang, LI Hui-juan, CAI Ping-li, HUANG Ai-wu

(School of Nuclear Resource and Safety Engineering, University of South China, Hengyang, Hunan 421001 China)

Abstract: At 800℃, simulating active sintering process of local brickyards, through indoor sintering experiment on pint-sized adobes of purple sandy shale in which granularities of limestone are $>-1\Phi$, $>0\Phi$, $>1\Phi$, $>2\Phi$, $>3\Phi$ and $>4\Phi$, respectively, this paper draws conclusions as follows: 1) the fineness of limestone is a vital factor impacting on the quality of sintering bricks of purple sandy shale. In condition of different finenesses, the critical contents of limestone which causes lime burst in sintering bricks are distinct, and lower along with augment of the fineness of limestone; 2) when the finenesses of limestone are variant, their influencing modes on the quality of sintering bricks are different too. The

收稿日期:2009-03-05

基金项目:湖南省教育厅优秀青年基金资助项目(07B066)

作者简介:冯志刚(1970-),男,内蒙古武川人,南华大学核资源与安全工程学院副教授,博士.主要研究方向:砌体材料、风化作用地球化学.

more coarse is the grain - size of limestone, the more concentrative is the swelling stress derived from reaction between free - CaO and H_2O , the more serious is the lime burst of sintering bricks, and vice versa. In addition, relation curve between the fineness of limestone and the critical contents of limestone is established, and it may guide production of local brickards.

Key words: granularity of limestone; lime burst; sintering brick of purple sandy shale; sintering experiment

0 引言

石灰石(又名方解石,化学成分为 $CaCO_3$)是页岩、煤矸石等岩石中常见的组成矿物,也是导致这类碎屑岩烧结砖发生石灰爆裂的罪魁祸首^[1-2]. 石灰石对烧结砖质量的影响,在业界已引起高度关注,其中在原岩中的含量和细度通常被认为是影响烧制品品质的两个主要因素^[3-6]. 紫色砂页岩是湖南省湘中地区主要的岩石类型,由于富含粘土矿物、具有烧结性,成为当地砖瓦企业生产烧结性红砖的主要原料. 由于原岩中普遍富含石灰石,导致紫色砂页岩烧结砖存在不同程度的石灰爆裂问题,从而影响了制品质量. 笔者就此问题曾进行过初步探讨^[7]. 石灰石在紫色砂页岩中的存在形式,大多以隐晶质赋存于碎屑颗粒的胶结物中;但在一些局部地段,以 $n\text{ mm} \sim 1\text{ cm}$ 大小的颗粒存在,甚至在原岩的裂隙及空洞中形成尺度更大的晶簇状集合体. 主要针对粒状赋存的石灰石,模拟当地现行的烧结工艺,开展不同石灰石细度下对紫色砂页岩烧结砖质量影响的定量实验研究,为砖厂的生产实践提供指导.

1 材料与方法

选择衡阳地区富含粒状石灰石的紫色砂页岩,粗碎后通过手工分拣的方法剔除掉原岩中肉眼可见的石灰石颗粒,获得足量的样品备用. 备用之样品的石灰石含量为 10% (用 1 mol/L 的稀盐酸对原岩碎样浸提进行计算^[8]). 在此基础上,用纯石灰岩(酸不溶物含量为 0.69%,测试方法同上)调节原岩中的石灰石含量,制成不同石灰石含量系列的紫色砂页岩样品. 其中掺入的石灰岩样品细度按照 Φ 值粒径分为 6 个等级,分别是 $> -1\Phi$ 、 $>0\Phi$ 、 $>1\Phi$ 、 $>2\Phi$ 、 $>3\Phi$ 和 $>4\Phi$,对应的毫米粒径分别为 $<2\text{ mm}$ 、 $<1\text{ mm}$ 、 $<0.5\text{ mm}$ 、 $<0.25\text{ mm}$ 、 $<0.125\text{ mm}$ 和 $<0.0625\text{ mm}$ (Φ 与毫米表示的粒径 d 之间的换算关系为 $\Phi = -\log_2 d$),其中 $<0.0625\text{ mm}$ 的细度已属隐晶质

范畴,用过 200 目筛的筛下部分近似代替. 模拟现行的生产工艺^[7],按照岩/煤比为 20:1 的质量比掺入内燃煤,破碎过 2 mm 筛,筛下部分喷水混合,用长方形模具挤压成型制成砖坯小样,阴干. 小样干重约 400 g.

发生石灰爆裂的紫色砂页岩烧结砖主要分布在轮窑的边缘区(即顶、帮和边角部位),而在中心区和过渡带由于具有更高的烧结温度,石灰石分解的 CaO 与煤烧渣及原料中的 SiO_2 、 Al_2O_3 等氧化物发生反应,生成 $3CaO \cdot SiO_2$ 、 $CaO \cdot Al_2O_3$ 以及结构更为复杂的稳定复合物^[9],使 CaO 转变为结构钙. 在边缘区,由石灰石分解形成的 CaO 主要以游离形式存在,故出窑后容易吸水消解膨胀,发生石灰爆裂现象. 根据现场测温获得边缘区的平均烧结温度约为 800°C . 模拟现场的烧结条件,室内用高温马弗炉在 800°C 的温度下烧结 10 h,以开展相关研究.

烧结砖的抗压强度用 RMT 岩石力学测定仪测定,在南华大学岩石力学实验室完成.

2 结果与讨论

按照上述石灰石细度的分级方式,各细度下的紫色砂页岩中石灰石含量范围设置为 11% ~ 35%,含量间隔为 2%. 用马弗炉在 800°C 的温度下烧结 10 h 出窑,气下静置 1 月后,进行烧结砖的质量鉴定. 表 1 列出了不同石灰石细度下的紫色砂页岩烧结砖的抗压强度值. 从不同石灰石细度下的石灰石含量与烧结砖的抗压强度之间的关系图解(见图 1)可以看出,除 $>4\Phi$ 外,其他细度下的烧结砖抗压强度随着石灰石含量的增大呈单调降低的趋势,直至完全散碎. 而前者在石灰石含量为 11% ~ 19% 的范围内,烧结砖的抗压强度未发生明显变化,基本保持稳定,尔后随着石灰石含量的进一步增大,其抗压强度降低. 另外,在石灰石含量相同的条件下,烧结砖的抗压强度随石灰石细度的增大而降低,无一例外. 根据《烧结普通砖》(GB/T5101-1998)之规定,合格烧结普通砖

的平均抗压强度要达到 ≥ 10 MPa。按照这一标准, $> -1\phi$ 、 $> 0\phi$ 、 $> 1\phi$ 、 $> 2\phi$ 、 $> 3\phi$ 和 $> 4\phi$ 细度下的石灰石临界含量分别约为16.5%、18%、19.2%、22.2%、23.4%和24%(用内插法计算得

到),即石灰石小于等于此含量的各细度烧结砖达到合格烧结普通砖的要求,不发生明显的石灰爆裂现象,不影响烧结砖的质量。

表1 不同石灰石细度下烧结砖的抗压强度

Table 1 The compressive strength of sintering bricks in condition of different finenesses

石灰石 含量/%	不同石灰石细度下烧结砖的抗压强度/MPa					
	$> -1\phi$	$> 0\phi$	$> 1\phi$	$> 2\phi$	$> 3\phi$	$> 4\phi$
11	25.4	25.8	26.2	27.0	28.4	29.1
13	20.5	21.3	23.3	24.9	26.5	28.7
15	11.3	13.9	18.4	24.0	26.1	28.3
17	9.6	11.4	15.0	19.5	22.2	28.5
19	6.4	8.7	10.2	15.3	18.6	28.2
21	3.3	5.6	8.5	12.6	14.6	21.2
23	-	3.2	6.3	8.4	10.8	11.5
25	-	1.2	4.7	6.0	7.2	8.5
27	-	-	2.1	2.8	4.7	6.5
29	-	-	0.6	1.1	1.5	3.2
31	-	-	-	0.6	0.8	1.2
33	-	-	-	-	-	0.5
35	-	-	-	-	-	-

注:“-”指静置条件下烧结砖完全散碎。

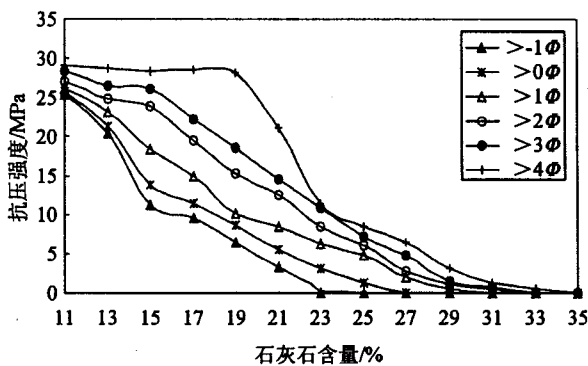


图1 不同石灰石细度下的石灰石含量与烧结砖的抗压强度之间的关系

Fig. 1 The relation between content of limestone and compressive strength of sintering bricks in condition of different finenesses

从上述数据可以求得石灰石细度与烧结砖发生石灰爆裂的石灰石临界含量之间的关系曲线(见图2)。从图中可以看出,原岩中石灰石细度越细,临界含量越高,同时,在 $> -1\phi \sim > 2\phi$ 范围内的斜率明显大于在 $> 2\phi \sim > 4\phi$ 范围内的斜率。其原因在于 ϕ 值越小的等差粒度分级,对应范围越宽的毫米粒度分级。

另外,从烧结砖的表观特征也反映出石灰石细度对制品质量影响的异同性。石灰石处于临界含量以下的烧结砖,砖体规则、不变形、敲击声音清脆,在断面上,随着石灰石细度的增大,出现零星斑状的白色粉末 $\text{Ca}(\text{OH})_2$,但对砖体强度未产生明显影响。而在临界含量以上,在石灰石含量相等的条件下,石灰石细度越粗,烧结砖的石灰爆裂越剧烈。图3显示了石灰石含量为23%时不同石灰石细度下烧结砖的表观特征(在气下静置1月后观察)。可以看出,图3a~3b是石灰石粒度较粗的样品(< 2 mm、 < 1 mm),由于颗粒粗大,烧结后形成的游离 CaO 吸湿消解膨胀,爆裂应力集中,产生的破坏作用强烈,制品几乎完全破裂碎散;图3c~3d是石灰石粒度中等的样品(< 0.5 mm、 < 0.25 mm),产生的膨胀应力被分散,其结果是在制品上产生微细的裂纹,在宏观上尚能保持砖体的完整性,但抗压强度已达不到合格普通烧结砖的要求;图3e~3f是石灰石粒度较细的样品(< 0.125 mm、 < 0.0625 mm),微细的石灰石颗粒分解成游离 CaO 后,尽管同样会产生吸湿消解,但由于膨胀应力被进一步分散,对制品产生的石灰爆裂作用大大减弱,从而使烧结砖达到了合

格普通烧结砖的强度要求.

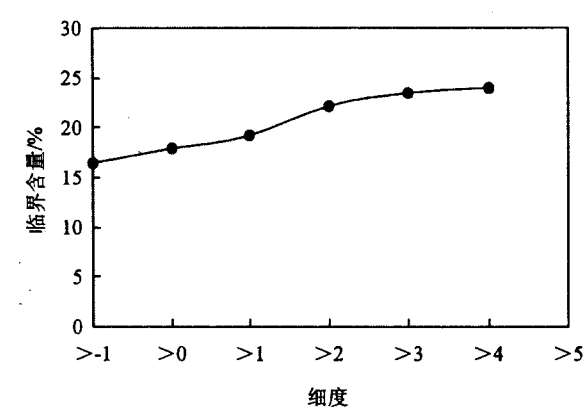


图 2 石灰石细度与烧结砖发生石灰爆裂的石灰石临界含量之间的关系

Fig.2 The relation between limestone fineness and critical content of limestone which causes lime burst in sintering bricks

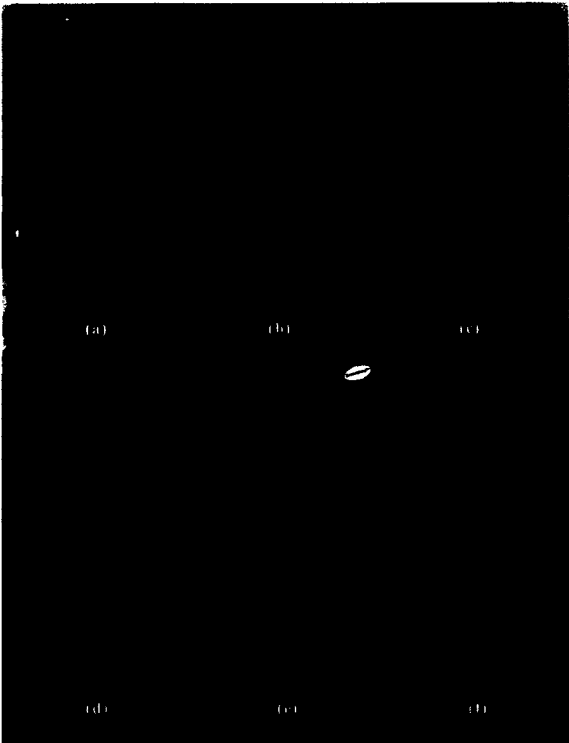
上述研究表明,石灰石对紫色砂页岩烧结砖质量的影响,除含量外,其细度是一个至关重要的因素. 粒度粗,膨胀应力集中,产生的石灰爆裂作用强烈,破坏作用大,因此临界含量低,反之亦然. 从图 1 也可以看出,石灰石 $>4\Phi$ 细度的曲线形态与其余(较)粗细度的曲线形态存在明显差异,尤其石灰石含量在 11% ~ 19% 的范围内,其抗压强度无明显变化,指示了细粒度对膨胀应力产生了明显的分散作用,从而大大减弱了对烧制品结构的破坏性. 对于本次实验的原岩中掺入的不同细度石灰石,是在以石灰石的背景含量为 10% (主要呈隐晶质赋存形式) 的基础上配制的,这也基本符合当地紫色砂页岩中石灰石的实际赋存特征. 从区域上采集了不同地点的 14 件紫色砂页岩样品的分析结果显示,石灰石含量范围为 19% ~ 35%,甚至更高. 由此可以看出,在砖厂现行的破碎烧结工艺下, $>-1\Phi$ 和 $>0\Phi$ 的石灰石细度下的烧结砖基本上都会发生石灰爆裂现象(石灰石的临界含量分别为 16.5% 和 18%).

因此,笔者建议,在进行紫色砂页岩烧结砖生产的过程中,应定期测定原岩中石灰石的含量以及观察石灰石在原岩中的赋存形式. 根据图 2 所示的石灰石细度与烧结砖发生石灰爆裂的石灰石临界含量之间的关系曲线,针对具体情况,开展相应的生产工艺改进措施.

1) 对于石灰石呈隐晶质形式赋存的原岩,当石灰石在临界含量之下,现行的生产工艺可行,而

超过临界含量时,进一步细化石灰石粒度已不现实,需要改进烧结工艺. 其中笔者提出的以硫固钙(用高硫煤作为内燃煤,用煤中硫固定游离 CaO) 的防烧结砖石灰爆裂的工艺流程是一种行之有效的解决方案(已有另文论述).

2) 对于含有颗粒状石灰石的原岩,首先考虑在经济上可行的前提下,对富含颗粒状石灰石的部分进行单独破碎,如能达到临界含量以下的细度,即按现行烧结工艺生产. 否则,改进烧结工艺,方法同上.



(a) - $>-1\Phi$ ($<2\text{ mm}$); (b) - $>0\Phi$ ($<1\text{ mm}$);
(c) - $>1\Phi$ ($<0.5\text{ mm}$); (d) - $>2\Phi$ ($<0.25\text{ mm}$);
(e) - $>3\Phi$ ($<0.125\text{ mm}$); (f) - $>4\Phi$ ($<0.0625\text{ mm}$)

图 3 石灰石含量为 23% 时不同石灰石细度下烧结砖的表现特征

Fig.3 The apparent characteristics of sintering bricks in condition of different finenesses of limestone with content of 23%

3 小结

1) 石灰石细度与其含量一样,是影响紫色砂页岩烧结砖质量的一个至关重要的因素. 在不同细度下,烧结砖发生石灰爆裂的石灰石临界含量不同,并且其临界含量随着石灰石细度的增大而降低.

(下转第 54 页)

4 结束语

马柯维茨的证券组合理论是现代投资理论和投资实践的基础,他的均值-方差模型给出了投资决策的最基本也是最完整的框架.本文在Markowitz均值-方差模型的基础上,利用隶属度函数转化了投资组合预期收益与风险方差的函数关系表达式,构建了模糊目标及模糊约束在不同权重系数下资产组合集成模型,引入遗传算法的选择、交叉、变异算子的迭代优化求解有效地解决了其最优组合投资满意度决策问题.并以我国资本市场三种最基本的金融资产——股票、基金、债券为例开展实证分析,并应用模糊集成建模及遗传算法求得三类资产的最佳配比与最大满意度值.本文希望能够对我国证券市场的投资者,尤其是机构投资者的证券投资活动有所裨益.

参考文献:

- [1] Markowitz H. Portfolio selection[J]. Journal of Finance, 1952,3(7):77-91.
- [2] Konno H. Piecewise linear risk functions and portfolio optimization[J]. Journal of the Operations Research Society of Japan, 1990,33(2):139-156.
- [3] Mansini R, Speranza M G. Heuristic algorithms for the portfolio selection problem with minimum transaction lots[J]. European Journal of Operational Research, 1999,

114:219-233.

- [4] Speranza M G. Linear programming models for portfolio optimization[J]. Finance, 1993,14:107-123.
- [5] Young M R. A minimax portfolio selection rule with linear programming solution[J]. Management Science, 1998,44:673-683.
- [6] Cai X Q, Teo K L, Yan X Q, et al. Portfolio optimization under a minimax rule[J]. Management Science, 2000, 46:957-972.
- [7] Alexander G J, Baptista A M. Economic implications of using a mean - VaR model for portfolio selection: A comparison with mean - variance Analysis[J]. Journal of Economic Dynamics and Control, 2002, 26: 1159-1193.
- [8] 李仲飞,汪寿阳. EaR 风险度量与动态投资决策[J]. 数量经济技术经济研究, 2003, 20(1): 45-51.
- [9] 姚京,李仲飞. 基于 VaR 的金融资产配置模型[J]. 中国管理科学, 2004, 12(1): 8-14.
- [10] 韩其恒,唐万牛,李光泉. 机会约束下的投资组合问题[J]. 系统工程学报, 2002, 17(1): 87-91.
- [11] 刘庆伟,彭大衡. 投资机会与 VaR 约束下的投资组合分析[J]. 经济数学, 2002, 19: 85-89.
- [12] 王燕青,唐万生,韩其恒. 基于遗传算法的概率准则组合证券模拟求解[J]. 管理科学学报, 2002, 5(6): 29-33.
- [13] 曹国华,黄薇. 安全第一的证券组合优化模型与绩效管理[J]. 重庆大学学报, 2000, 23(3): 94-96.

(上接第25页)

2) 石灰石细度不同,对烧结砖质量影响的方式也不同. 粒度越粗,由游离 CaO 吸湿消解产生的膨胀应力越集中,越容易产生石灰爆裂现象;粒度越细,产生的膨胀应力越容易被分散,越有助于减弱或消除石灰爆裂的发生.

3) 根据石灰石细度与烧结砖发生石灰爆裂的石灰石临界含量之间的关系曲线,可以有效地指导生产实践.

参考文献:

- [1] 梁嘉琪,尚江山. 治理石灰爆裂的“16字方针”与固化剂应用兼谈产生泛霜的原因及解决办法[J]. 砖瓦, 2004(8): 23-25.
- [2] 冯书保,侯海江,袁东海. 解决煤矸石烧结砖“石灰爆裂”的方案[J]. 砖瓦, 2008(8): 44-45.
- [3] 石新城,阎法强,姜洪义. 高钙煤矸石细度与石灰爆

裂关系的研究[J]. 硅酸盐通报, 2002(4): 60-62.

- [4] 刘家弟,刘凤春,丁东业,等. 煤矸石烧结空心砖的原料选择和生产工艺影响因素研究[J]. 非金属矿, 2004, 27(4): 18-20.
- [5] 缪正坤,林丽娟. 煤矸石中氧化钙氧化镁对煤矸石烧结砖质量的影响[J]. 砖瓦, 2007(3): 14-16.
- [6] 承德让. 石灰石对煤矸石粘土烧结砖质量的影响[J]. 砖瓦, 1993(6): 17-19.
- [7] 冯志刚,史文革,王清良,等. 紫色砂页岩烧结砖存在的问题及工艺改进研究[J]. 非金属矿, 2005, 28(4): 36-37.
- [8] 王世杰,季宏兵,欧阳自远,等. 碳酸盐岩风化成土作用的初步研究[J]. 中国科学(D), 1999, 29(5): 441-449.
- [9] 李宁,周俊虎,岑可法. 高温固硫物相的研究[J]. 浙江大学学报(工学版), 2003, 37(5): 612-616.