

麦秸/木材三层结构无机刨花板的制备工艺

卢立, 潘亚鸽, 朱凌波, 唐钱, 吴义强, 李新功

(中南林业科技大学材料科学与工程学院, 湖南长沙 410004)

摘要: 以麦秸、木材碎料和无机胶黏剂制备麦秸/木材三层结构刨花板。研究麦秸与木材配比、板材密度、热压时间和温度对板材性能的影响。结果表明: 随麦秸配比增加, 板材抗弯性能降低, 内结合强度增大, 吸水厚度膨胀率(TS)减小; 随密度增加和热压时间延长, 板材力学性能增大, TS降低; 随热压温度升高, 板材力学性能先增大后减小, TS呈相反趋势。优化制板工艺为: 碎料配比 5:5, 密度 1.2 g/cm³, 热压时间 30 min, 温度 100 °C。

关键词: 麦秸; 木材; 三层结构刨花板; 无机胶黏剂; 优化工艺参数

中图分类号: TS653.5 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654 (2017) 06-0015-05

Three-layer Particleboard Made from Wheat Straw, Wood and Inorganic Adhesives

LU Li, PAN Ya-ge, ZHU Ling-bo, TANG Qian, WU Yi-qiang, LI Xin-gong

(School of Materials Science and Engineering, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, Hunan, China)

Abstract: With wheat straw and wood chips as raw materials, three-layer particleboard was made with Mg-based inorganic adhesive. Effects of wheat straw/wood ratio, board density, hot-pressing time and temperature on physical and mechanical properties of the board samples were studied. Results showed that modulus of rupture (MOR), modulus of elasticity (MOE) and thickness swelling (TS) gradually decreased and internal bond strength (IB) gradually increased with increasing the wheat straw in the wheat straw/wood ratio. As board density increased and hot-pressing time extended, MOR, MOE and IB gradually increased while TS decreased. As hot-pressing temperature raised, MOR, MOE and IB first gradually increased and then decreased, TS was in contrast. The optimal preparation parameters were: wheat straw-wood mass ratio of 5:5, board density of 1.2 g/cm³, hot-pressing time of 30 min and hot-pressing temperature of 100 °C.

Key words: wheat straw; wood; three-layer particleboard; inorganic adhesives; optimal parameter

我国农作物秸秆资源丰富, 年产量超过 10 亿 t, 且总量逐年增长^[1]。目前主要利用途径包括: 制备生

物质复合材料、生物燃料、有机复合肥料、家畜饲料以及发电、食用菌种植、制浆造纸等, 然而综合利用附加值低。因此, 开发高值化农作物秸秆综合利用新技术, 已成为研究的热点。

农作物秸秆具有比强度高、密度低、价格低廉、生物降解性好等特点, 是制备秸秆基复合材料的优质原料^[2-5]。目前, 秸秆基复合材料大都以异氰酸酯为胶黏剂, 生产成本高; 另外, 单纯以秸秆为原料

收稿日期: 2017-04-04; 修改日期: 2017-07-25

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2017YFD0601206); 国家级大学生创新创业训练计划项目 (201610538002)。

作者简介: 卢立 (1996—), 男, 中南林业科技大学材料科学与工程学院本科生。

责任作者: 李新功, 男, 中南林业科技大学材料科学与工程学院教授。

制备的板材易变形,防火性能差^[6],产品的应用市场逐渐萎缩。

无机刨花板是以木质/非木质植物碎料与无机胶黏剂复合,通过冷/热压工艺制备的人造板,通常有三种结构:秸秆与木质碎料均匀混合;木质碎料在表层、秸秆碎料在芯层;秸秆碎料在表层、木质碎料在芯层。研究显示,上述三种结构板材的性能均能达到相关的国家标准要求^[7],目前市场上多以第三种结构的板材为主。

本研究以无醛防火硅镁系无机胶黏剂与麦秸、木材碎料为原料,制备三层结构刨花板,探讨麦秸与木材碎料的配比、板材密度、热压时间和温度对板材物理力学性能的影响,通过优化制板工艺,降低生产成本、改善板材性能,为无机秸秆人造板的产业化提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

两种碎料规格分布以及含水率见表1。

表1 两种碎料规格分布及含水率

Tab.1 Size and moisture content distribution of two kinds of raw materials

碎料类别	≤10目/ %	10~20目/ %	20~50目/ %	≥50目/ %	含水率/%
麦秸	13.2	34.1	44.8	7.9	11
杨木	9.6	37.5	39.5	13.4	11

无机胶黏剂:主要成分为氯化镁、硫酸铝、硅酸钠、磷酸钠、硫酸亚铁,均为工业纯。

1.2 仪器设备

DCS-R-100 万能力学试验机;Quanta450 型扫描电镜;XD-2 型 X 射线衍射仪。

1.3 试验设计

在前期研究的基础上,选取7种麦秸与木材碎料配比,制备麦秸/木材三层结构刨花板,研究不同配比对板材性能的影响。

在优化配比的基础上,选取板材密度、热压时间、热压温度为变量,采用单因素试验,探讨各因素对板材性能的影响(表2)。

1.4 板材制备

胶黏剂制备:将氯化镁、硫酸镁按比例加入到

定量的水中,搅拌1min后放置12h,再加入氧化镁、硅酸钠、磷酸钠、硫酸亚铁搅拌2~3min,得到乳白色粘稠状液体。

表2 试验因素及水平

Tab.2 Experimental factors and levels

因素	水平						
$m_{\text{麦}}:m_{\text{木}}$	0:1	3:7	4:6	5:5	6:4	7:3	1:0
密度/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	0.9	1.0	1.1	1.2			
热压时间/ min	15	20	25	30			
热压温度/ ℃	70	80	90	100	110		

注:加粗字体表示其他因素水平变化时,某一因素选取的水平。

根据前期研究,确定麦秸碎料的施胶量为70%(质量分数)、木材碎料的施胶量为59%(质量分数)。采用手工分层铺装板坯(麦秸碎料为表层,木材碎料为芯层),厚度规控制板材厚度,热压后的板材自然养护两周,在100℃的温度下干燥含水率至10%左右。试板规格为300mm×300mm×10mm。

1.5 性能检测

按照GB/T 21723-2008《麦(稻)秸秆刨花板》,测试静曲强度(MOR)、弹性模量(MOE)、内结合强度(IB)和2h吸水厚度膨胀率(TS)等性能,重复试件3个,结果取平均值。

2 结果与讨论

2.1 麦秸/木材碎料配比

不同麦秸与木材碎料配比,制备刨花板的物理力学性能,如图1所示。

由图1a可以看出,随着麦秸比例的增加,三层结构刨花板的MOR、MOE逐渐减小。这是因为刨花板的抗弯性能与各单元的结合状况以及自身的抗弯性能有关。表层的麦秸质地轻,脆弱易断,芯层的木材密度大,强度高;另外,麦秸表面的硅质层,也会影响麦秸的胶合强度^[8]。

由图1b可见,三层结构刨花板的IB和TS介于纯木材刨花板和纯麦秸板之间。纯木材刨花板的IB最高,TS最小;三层结构板材随麦秸碎料比例的增加,板材IB逐渐增大,TS逐渐减小。因为板材的IB取决于板材表层的内结合强度,随着麦秸的比例

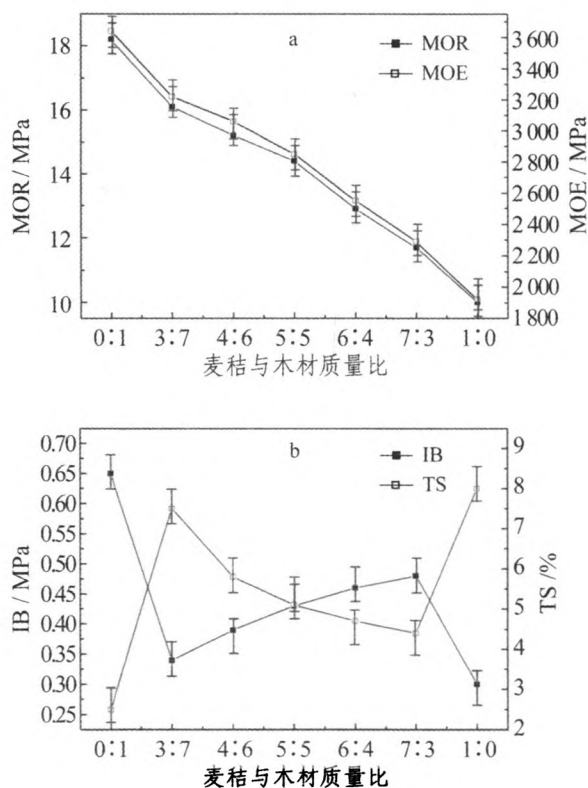


图 1 不同麦秸与木材配比制备三层结构刨花板的物理力学性能

Fig.1 Properties with different wheat straw/wood ratio

增加, 板材表面的密度增加, 且麦秸对无机胶黏剂水化反应的“屏障”效应减弱, 从而使起胶作用的水化产物增多; 纯麦秸刨花板易出现表层密度高、芯层低的现象^[9], 相对于密度均匀的三层结构刨花板, 纯麦秸刨花板的 IB 最低, TS 最大。

当 $m_{\text{麦}}:m_{\text{木}}=4:6$ 和 $5:5$ 时, 试板的物理力学性能均能达到 GB/T 21723-2008 的要求。综合考虑, 优选配比为 $5:5$ 。

2.2 密度对板材性能的影响

图 2 为不同密度三层结构刨花板芯层断面的扫描电镜图。

当板材的密度为 0.9 g/cm^3 (图 2a) 时, 木质碎料的导管清晰可见, 密度为 1.0 g/cm^3 时 (图 2b), 导管已经被压扁, 说明木质碎料塑性变形增加, 孔隙率减小。密度从 1.1 g/cm^3 增加到 1.2 g/cm^3 时 (图 2c、d), 水化产物交叉, 连生紧密, 形成复杂的空间网状结构^[10], 说明木质碎料对无机胶黏剂水化反应的“屏障”效应减弱, 水化反应进行的更充分, 水化产物增多。

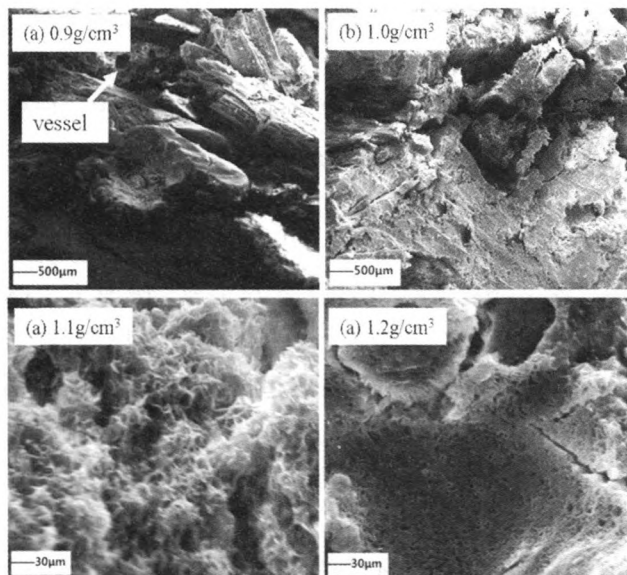


图 2 不同密度的三层结构刨花板断面扫描电镜图

Fig.2 SEM with different board densities

不同密度三层结构刨花板的物理力学性能, 如图 3 所示。

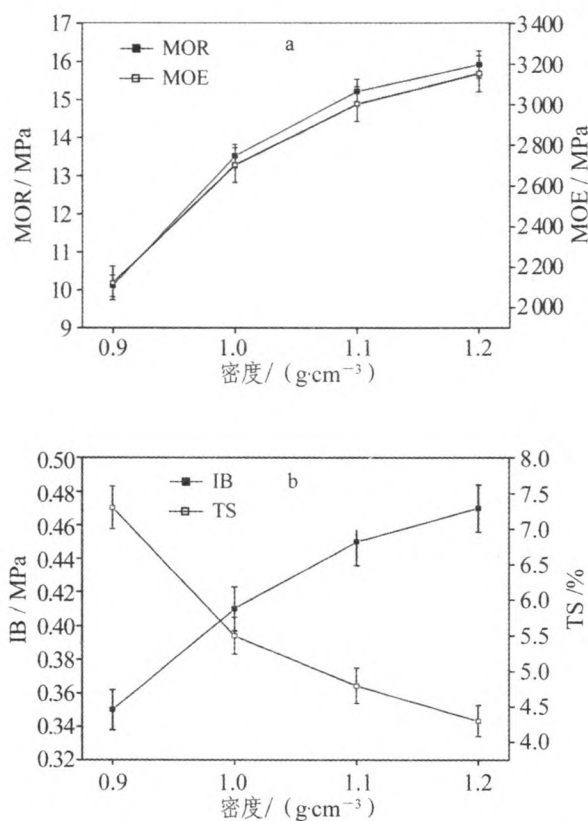


图 3 不同密度的三层结构刨花板的物理力学性能

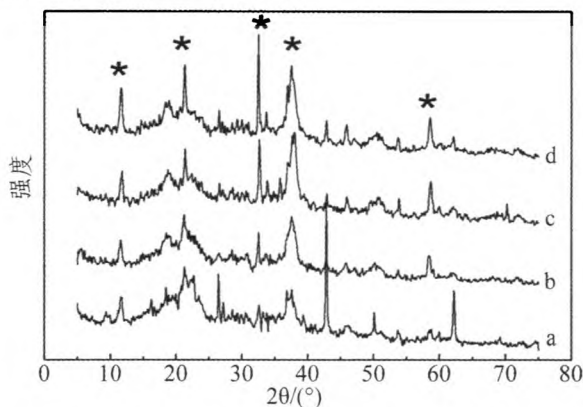
Fig.3 Physical and mechanical properties with different board densities

图3(a)显示,随着板材密度增加,MOR、MOE逐渐增大。因为板坯密度增加,碎料的塑性变形增大,无机胶黏剂与碎料之间的胶接点增多,碎料对无机胶黏剂水化反应的“屏障”效应减小,水化反应完全,板坯内部结合更加紧密,结构更加稳固,故可以承受的破坏载荷更大^[11]。

图3(b)显示,随板材密度增加,IB增大,TS减小。IB和TS主要取决于板材中无机胶水化产物的多少。板材密度越大,生成起胶合作用的水化产物越多,界面结合点越多,对板材吸水膨胀的抑制作用越大;另外,板坯密度增大,板材内部的孔隙率减小,从而TS变小。

2.3 热压时间对板材性能的影响

图4为不同热压时间的三层结构刨花板的X射线衍射分析(XRD)图谱。



热压时间/min: a—15; b—20; c—25; d—30。

图4 不同热压时间的三层结构刨花板XRD图谱
Fig.4 XRD curves with different hot-pressing time

无机胶黏剂水化产物衍射峰强度,反映了板材内部水化产物的数量和结晶度^[10-13]。由图4可知,不同衍射曲线中衍射峰的位置基本相同,说明不同热压时间制备的板材中,生成的结晶产物相同。随热压时间的延长,峰形逐渐变尖锐,衍射峰强度逐渐变大。说明无机胶黏剂水化反应进行的更完全,板材中高强度网状结构增多。

不同热压时间制备的三层结构刨花板的物理力学性能,见图5。

图5显示,随着热压时间的延长,板材MOR、MOE、IB先大幅增加然后趋于平衡,TS呈相反的变化趋势。在热压时间为30 min时,板材MOR、MOE、IB分别趋于最大值,TS趋于最小值。因为热压时间

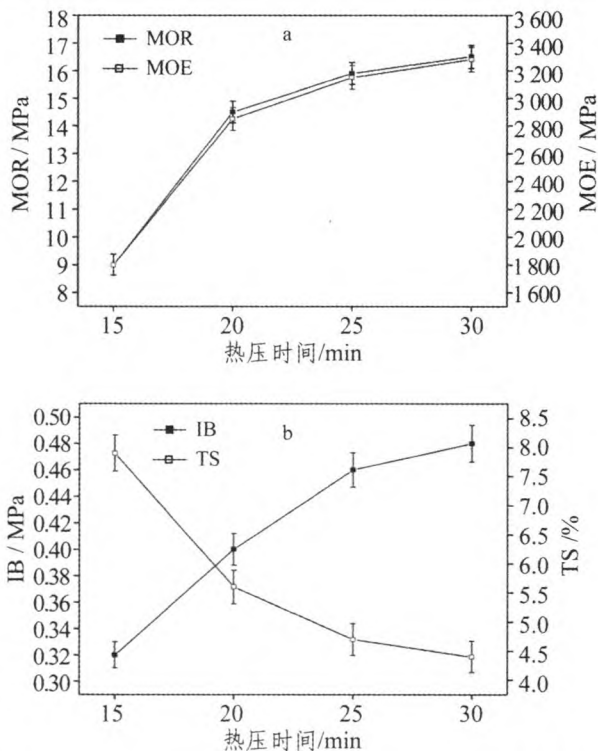


图5 不同热压时间制备的三层结构刨花板的物理力学性能
Fig.5 Properties with different hot-pressing time

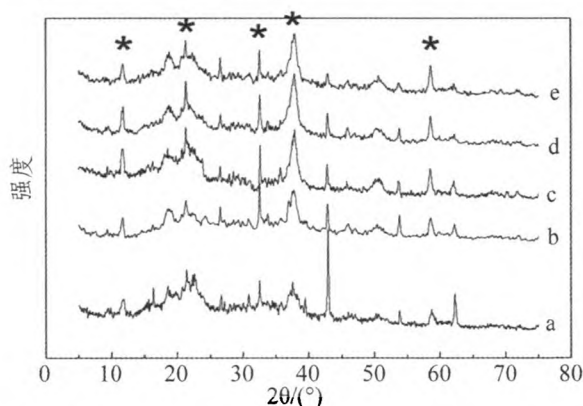
较短时,水化反应不完全,芯层尤为显著,卸压后板材易发生回弹,造成力学性能降低;随着热压时间的延长,无机胶黏剂水化反应进行较充分,生成起胶合作用的水化产物增多,碎料与无机胶黏剂之间的胶结更加紧密^[10-11],从而形成高强度的网状结构,可以承受更大的破坏载荷。表现为板材的MOR、MOE、IB逐渐增大;胶合作用越强,对板材吸水膨胀抑制作用亦越大,TS越小。

2.4 热压温度对板材性能的影响

根据XRD图谱(图6)可知,当热压温度从70℃升高到100℃时,衍射峰强度逐渐变大,说明板材内部无机胶黏剂水化产物逐渐增多,结晶度增加;继续升温至110℃,衍射峰强度反而下降,说明高温阻碍了结晶相的生成,水化产物减少。

采用不同热压温度制备的三层结构刨花板的物理力学性能,见图7。

由图7可见,随热压温度升高,板材MOR、MOE和IB先增大后减小,TS呈现相反的趋势。在热压温度为100℃时,板材MOR、MOE和IB分别达到最大值,TS达到最小值。适当的热压温度可以加快无机成分的水化反应速率^[11-12];当热压温度较低时,



热压温度/℃: a—70; b—80; c—90; d—100; e—110。

图6 不同热压温度制备的三层结构刨花板 XRD 图谱

Fig.6 XRD curves with different hot-pressing temperature

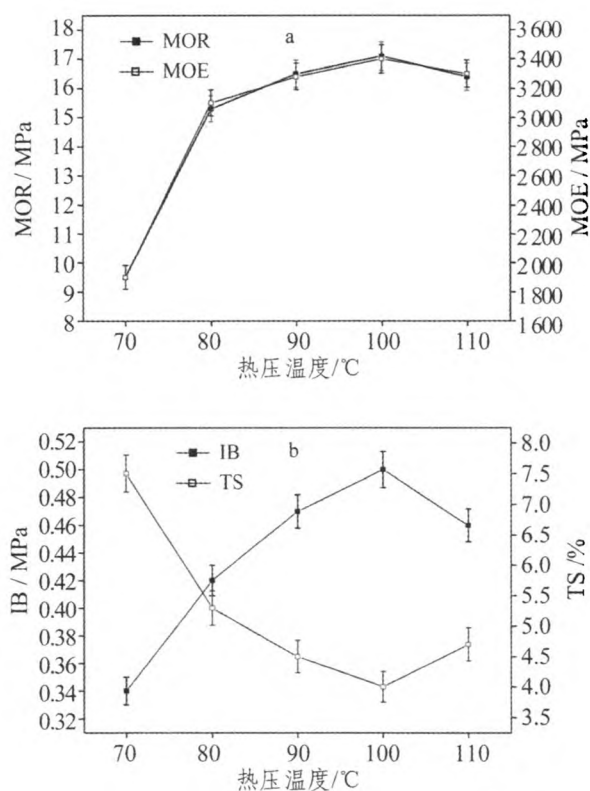


图7 不同热压温度的三层结构刨花板的物理力学性能

Fig.7 Properties with different hot-pressing temperature

无机成分水化反应速度缓慢,起胶结作用的水化产物生成较少,卸压后板材易发生回弹,强度降低;随热压温度升高,相同热压时间内水化反应进行的更充分,水化产物增多,增强了碎料与无机胶黏剂的界面胶合以及胶合强度。但热压温度过高时,无机胶黏剂中的水分蒸发过快,也会阻碍结晶相的生成,导致板材强度反而下降。

3 结论

1) 随麦秸与木材碎料配比的增加,麦秸/木材三层结构刨花板的 MOR、MOE 逐渐减小,IB 逐渐增大,TS 逐渐减小。综合考虑各性能指标,确定麦秸与木材碎料的优化配比为 5:5。

2) 在优化配比的基础上,随着试板密度增加,其 MOR、MOE、IB 逐渐增大,TS 逐渐减小;随着热压时间延长,板材 MOR、MOE、IB 大幅增加后趋于平衡,TS 呈现相反的趋势;热压温度升高,板材 MOR、MOE、IB 先增后减,TS 则先减后增。

3) 本试验范围内,确定三层结构刨花板的优化制板工艺为 $m_{\text{麦}}:m_{\text{木}}=5:5$,密度 1.2 g/cm^3 ,热压时间 30 min,热压温度 100°C ,制备板材的 MOR、MOE、IB 和 TS 均能达到 GB/T 21723-2008《麦(稻)秸秆刨花板》的要求。

参考文献:

- [1] 左迎峰,吴义强,李新功,等.阻燃抑烟型杨木单板/秸秆板复合材制备研究[J].建筑材料学报,2016,19(05):860-882.
- [2] Mueller C, Schwarz U, Thole V. On the utilization of agricultural residues in the wood-based panel industry[J]. European Journal of Wood and Wood Products, 2012, 70(5): 587-594.
- [3] Zhang Y H, Gu J Y, Tan H Y, et al. Straw based particleboard bonded with composite adhesives[J]. BioResources, 2011, 6(1): 464-476.
- [4] Nazerian M, Sadeghiipah V. Cement-bonded particleboard with a mixture of wheat straw and poplar wood[J]. Journal of Forestry Research, 2013, 24(2): 381-390.
- [5] 于文吉. 生物质资源农作物秸秆应用于人造板工业的可行性分析[J]. 木材工业, 2006, 20(2): 41-44.
- [6] 肖俊华,左迎峰,刘文杰,等. 秸秆人造板用胶黏剂研究进展[J]. 材料导报, 2016, 30(9): 78-83.
- [7] 潘亚鸽,朱凌波,唐钱,黄清华,李新功. 麦秸/木材均质复合无机碎料板的制备及其性能[J]. 材料导报,2017,31(4):78-83.
- [8] 吴义强,李新功,左迎峰,等. 农林剩余物无人造板研究进展[J]. 林业工程学报,2016, 1(1):8-15.
- [9] 姚飞. 稻草: 木纤维复合材料制造工艺研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2004.
- [10] Qiao J Z, Wang A J, Li X G. Preparation and performance of wheat-straw composite board with inorganic adhesive[J]. BioResources, 2016, 11(1): 819-826.
- [11] 陈茂,李新功,潘亚鸽,等. 无机杨木刨花板制备及性能[J]. 复合材料学报, 2016, 33(4): 939-946.
- [12] Dinnebie R E, Oestreich M, Bette S, et al. $2\text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ and $2\text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ two high temperature phases of the magnesia cement system[J]. Zeitschrift Fur Anorganische Und Allgemeine Chemie, 2012, 638(3-4): 628-633.
- [13] Runceviski T, Dinnebie R E, Freyer D. Dehydration of the sorel cement phase $3\text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ studied by in situ synchrotron X-ray powder diffraction and thermal analyses[J]. Zeitschrift Fur Anorganische Und Allgemeine Chemie, 2014, 640(1): 100-105.

(责任编辑 孟凡丹、姜征)