

共生矿产与尾矿综合利用

电解水对生石膏超细磨的影响及作用机理

王雯雯, 王宇斌, 田家怡, 雷大士, 桂婉婷

西安建筑科技大学 资源工程学院, 陕西 西安 710055

中图分类号: TD921.4; TQ177.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2022)06-0159-08
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2022.01.038

摘要 利用电解水改善胶体磨对生石膏的超细粉磨效果, 并采用 FTIR 等手段对溶液和超细磨产品进行了表征。结果表明, 电解改性水对生石膏超细磨效果的改善作用明显。在料浆质量浓度为 16%、超细磨时间为 25 min 的条件下, 利用电解 20 min 的改性水可使生石膏超细磨产品的 d_{90} 从 54.6 μm 减小至 2.21 μm , 比表面积则从 203 cm^2/g 增大至 2 265 cm^2/g 。当水经电解处理 20 min 时, 水体中自由水的羟基总含量增大了 2.42 百分点, 强化了生石膏表面钙离子活性点与水之间的亲和作用, 导致生石膏料浆黏度减小了 16.74 $\text{mPa}\cdot\text{s}$ 。上述作用可改善生石膏料浆的流动性并强化胶体磨齿轮对生石膏的剪切作用, 使生石膏超细磨产品内部裂纹增多并有利于改性水渗入生石膏内部, 使其最强峰面间距、微观应变和位错密度增大而结晶度和晶粒尺寸变小, 最终提高了生石膏超细磨效率。

关键词 生石膏; 超细磨; 电解改性; 水体; 晶体结构

引言

超细粉磨可使生石膏的晶体结构和表面电子结构发生一定变化, 使其在补强性、分散性和触变性等方面优于其他常规粉体材料^[1], 因此超细石膏粉体可广泛应用于医学、电子和光学等领域^[2-4]。目前常见的超细粉体制备工艺主要有干式和湿式两种工艺, 如殷鹏飞等^[5]利用干式球磨的方法制备出了碳酸钙超微粉, 但其结果表明利用干式球磨制备的超微粉体颗粒团聚现象严重, 并且颗粒粒度分布不均匀。其他研究也表明, 利用干式磨矿工艺虽能制备出不同种类的超细矿物粉体, 但仍存在微粉团聚、排料困难、磨机内控温难以及产品粒级分布宽等缺点^[6-7]。为克服上述缺点, 有研究采用湿式磨矿工艺制备超细粉体^[8-9], 并在湿式超细磨矿时采用助磨剂提高矿物的超细粉磨效果。如王宇斌等^[10-12]利用乙二醇四乙酸等药剂来解决生石膏超细磨过程中颗粒的团聚问题, 发现适量助磨剂能有效解决颗粒的团聚现象; 又如冯作锋等^[13]的研究发现, 六偏磷酸钠在改善石灰石超细磨效果的同时会吸附在石灰石表面, 进而影响石灰石的表面电性等。由于在湿法超细磨过程采用助磨剂会导致其在过滤水中残留而不能直接排放, 因此寻找无二次污染的清

洁湿式超细磨工艺迫在眉睫, 利用改性水来提高非金属矿物的超细磨效果是可供借鉴的思路。迄今为止, 常见的水体改性方法主要有电解预处理、磁化预处理和超声预处理等^[14-17], 这些方法均会使水的性质如水中的不同种类水分子的分布比例、 H^+ 和 OH^- 离子数目等发生一定程度的变化。虽然有研究将磁化改性水应用于矿物的浮选过程, 如荀婧雯等^[18-20]利用磁化水提高了辉钼矿等矿物的分选效率, 但尚未见有关将改性水与矿物的磨矿过程有机结合的报道。基于此, 为进一步拓展改性水在超细磨领域的应用, 我们研究了利用电解改性水提高石膏超细粉磨效果, 以期超细石膏粉体大规模生产提供技术参考和理论依据。

1 试验

1.1 试验材料

试验原料取自陕西省某石膏厂, 研究分别对试验原料进行了多元素分析以及 XRD 检测, 结果分别如表 1 和图 1 所示。

由表 1 可知, 原料中主要有钙、硫、硅等元素, 且 CaO 含量为 31.47%, SO_3 含量为 44.68%。由图 1 可知, 试验原料的特征衍射峰峰型尖锐, 且无杂峰, 说明其

收稿日期: 2022-06-24

基金项目: 国家自然科学基金 (51974218)

作者简介: 王雯雯(1997—), 女, 陕西咸阳人, 硕士研究生, 主要从事矿物材料及资源综合利用研究, E-mail: www20201125@163.com。

通信作者: 雷大士(1993—), 男, 河北石家庄人, 博士后, 主要从事矿物材料及资源综合利用研究, E-mail: leidashi@xauat.edu.cn。

表 1 生石膏原料的多元素分析结果
Table 1 Chemical composition of gypsum

CaO	SO ₃	SiO ₂	MgO	Fe ₂ O ₃	烧失量
31.47	44.68	1.52	1.12	0.15	19.96

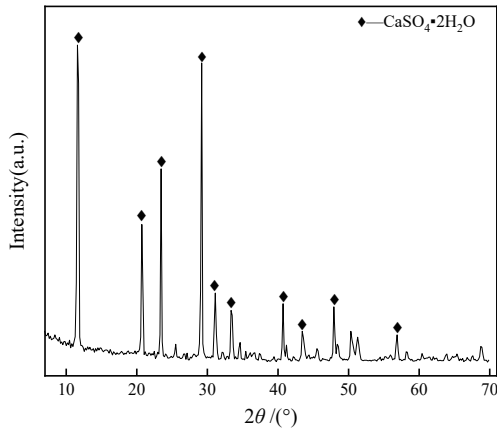


图 1 生石膏样品的 XRD 谱图

Fig. 1 The XRD pattern of gypsum

纯度较高。结合多元素分析可知, 试验原料中二水硫酸钙的含量超过了 95%。

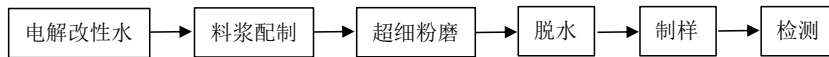


图 2 超细磨试验流程

Fig. 2 Test flow chart of ultrafine grinding

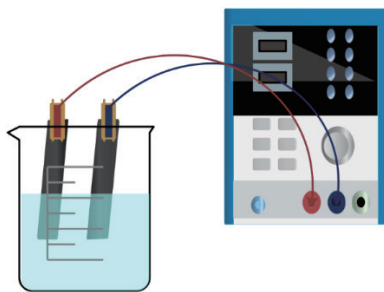


图 3 电解改性水试验示意图

Fig. 3 Test diagram of electrolytic modified water

1.4 检测方法

将适量的超细磨产品和蒸馏水配制成溶液, 经超声分散后, 利用 LS900 型激光粒度分析仪对超细磨产品进行粒度检测, 介质的折光率为 1.52。

利用 X' Pert Pro 型 X 射线衍射仪对适量经研磨后样品进行物相组成检测, 设备参数为铜靶, 管电压为 40 kV, 管电流为 40 mA, 扫描范围 $2\theta=5^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 。

使用 Haake Mars 40 型旋转流变仪进行生石膏料浆黏度测量, 检测时采用 4 面叶片, 在剪切速率为 150 s^{-1} 、剪切时间为 60 s 时进行搅拌, 并测得 100 个数据, 取有效数据的平均值作为生石膏料浆黏度值。

通过 tensor27 型傅立叶变换红外光谱仪并采用 KBr 压片法检测电解作用后水样的官能团种类及组

1.2 试验设备

主要仪器: 胶体磨(JNM-125 型, 浙江省温州市胶体磨厂); 电热鼓风干燥箱(101-3A13 型, 广州市典锐化玻实验仪器有限公司); 盘式真空过滤机(DL-5C 型, 江西伟铭机械设备有限公司); 直流稳压电源(KA3005P 型, 深圳卓越仪器仪表有限公司)。

1.3 试验流程

超细磨试验流程如图 2 所示。

每次超细磨试验时将不同电解时间改性水与 500 g 的生石膏配制成质量浓度为 16% 的料浆, 利用立式胶体磨对料浆超细磨 25 min 后, 分别对生石膏料浆和超细磨产品进行性质检测。

采用 KA3005D 型直流稳压电源对自来水进行电解改性, 电解改性的条件为: 电解电流为 0.16 A、极板间距为 2 cm、阳极板材料为铝板、阴极板材料为石墨时, 在不同的电解时间下对水进行电解改性, 电解改性后的水用于生石膏的超细磨试验及相关性质检测。水的电解改性试验示意图如图 3 所示。

成。扫描范围为 $500\sim 4\,000\text{ cm}^{-1}$, 波数的精度为 0.01 cm^{-1} 。

2 结果与讨论

2.1 水的电解改性时间对生石膏粒度和比表面积的影响

水的电解改性时间对生石膏超细磨产品的 d_{90} 和比表面积的影响规律如图 4 所示。

由图 4 可知, 随着电解改性时间的延长, 生石膏超细磨产品粒度先减小后增大, 而比表面积则先增大后减小。当水的电解改性时间为 20 min 时, 生石膏超细磨产品粒度 d_{90} 达到最小值 $2.21\ \mu\text{m}$, 比表面积达到最大值, 为 $2\,265\text{ cm}^2/\text{g}$, 与利用未电解改性水进行超细磨的产品粒度相比, d_{90} 粒度减小了 $52.39\ \mu\text{m}$, 比表面积增大了 $2\,062\text{ cm}^2/\text{g}$ 。随着水的电解改性时间进一步延长, 生石膏产品粒度略有增大。由此可知, 当利用电解改性 20 min 的水进行超细磨时, 对生石膏超细磨改善效果最佳。为进一步了解不同改性时间的水对生石膏超细磨产品表面形貌的影响规律, 对不同条件下超细磨产品进行了 SEM 检测, 结果如图 5 所示。

由图 5 可知, 随着水电解改性时间的延长, 生石膏超细磨产品细颗粒数量明显增多, 表面裂纹变宽, 并且生石膏表面出现颗粒团聚现象。其中, 当水电解改性 20 min 时, 超细磨产品裂纹明显变宽。此外, 与

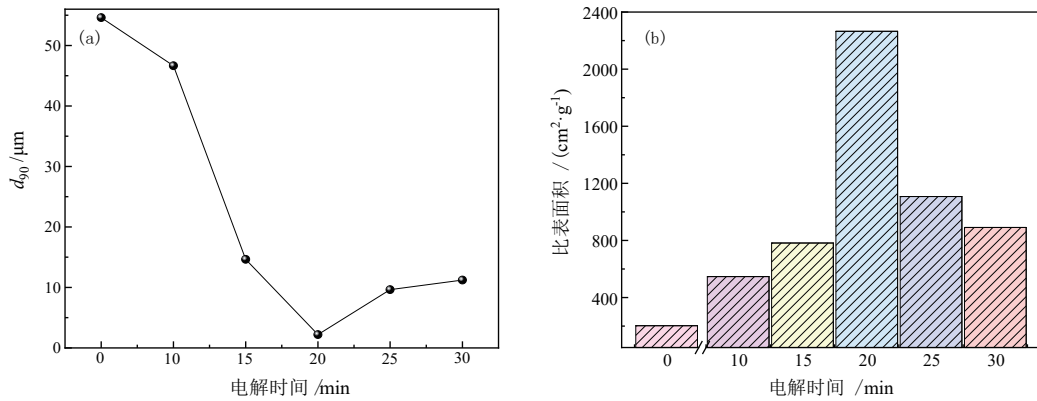


图 4 电解改性时间对生石膏超细磨产品粒度和比表面积的影响

Fig. 4 Effect of time of electrolysis modified water on particle size and specific surface area of ultrafine mill products of raw gypsum

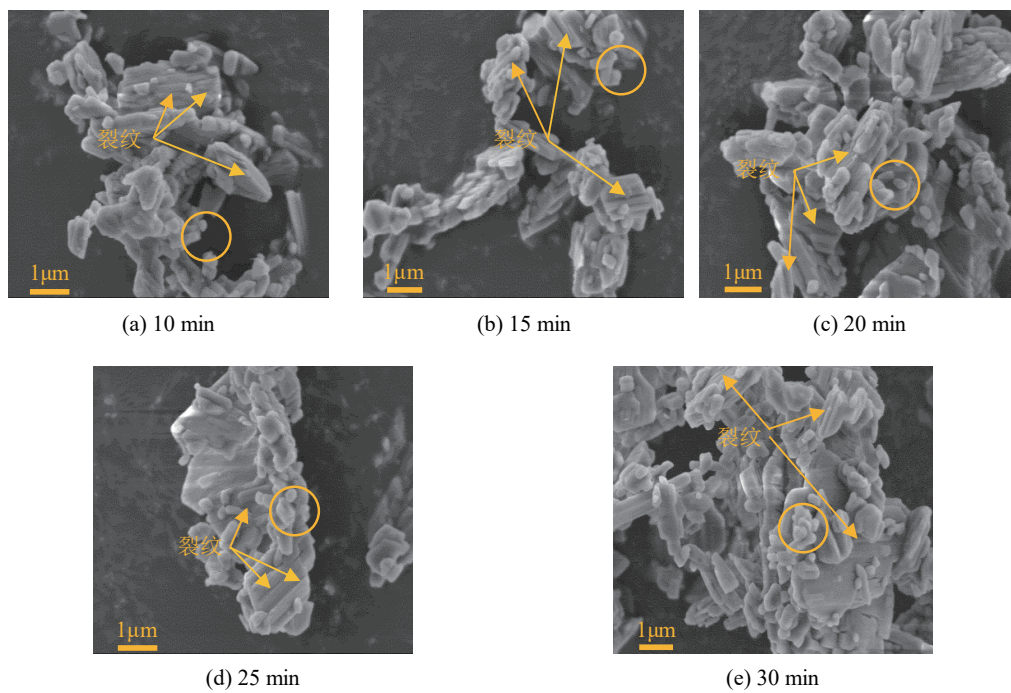


图 5 利用不同时间电解改性水所得超细磨产品的 SEM 图

Fig. 5 SEM images of ultrafine grinding product with electrolytic water

水电解改性 10 min、15 min、25 min 以及 30 min 相比,水电解改性 20 min 时生石膏超细磨产品裂缝最宽并且出现明显缺陷。

2.2 电解改性对水中不同种类组分比例的影响

为了解不同电解改性时间对水性质的影响,研究对电解改性前后的水进行了红外光谱表征,结果如图 6 所示。

从图 6 可以看出,波数在 3457.74cm^{-1} 和 1641.13cm^{-1} 处的吸收峰分别为羟基的伸缩振动吸收峰和弯曲振动吸收峰,并随着电解改性时间的延长,水分子的羟基振动吸收峰呈现出窄化的趋势。由于水溶液中存在多聚水、二聚水和游离水等三种水分子,因此图 6 中的羟基也包括多聚水内的羟基、二聚水内的羟基和游离水内的羟基^[21]。为进一步了解电解改性时间对不

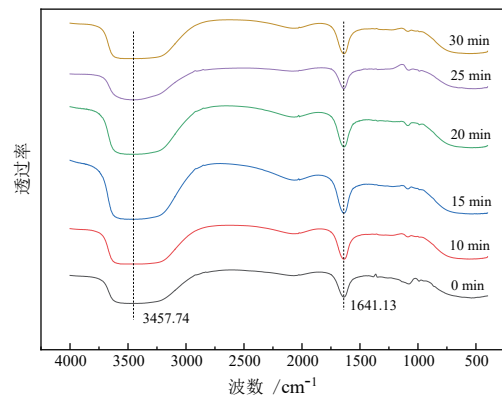


图 6 电解改性前后水的红外光谱图

Fig. 6 Infrared spectra of water before and after electrolytic

同种类羟基分布比例以及水溶液中不同种类水分子组成的影响,对图 6 中的羟基进行了分峰拟合处理,结果分别如图 7 和图 8 所示。

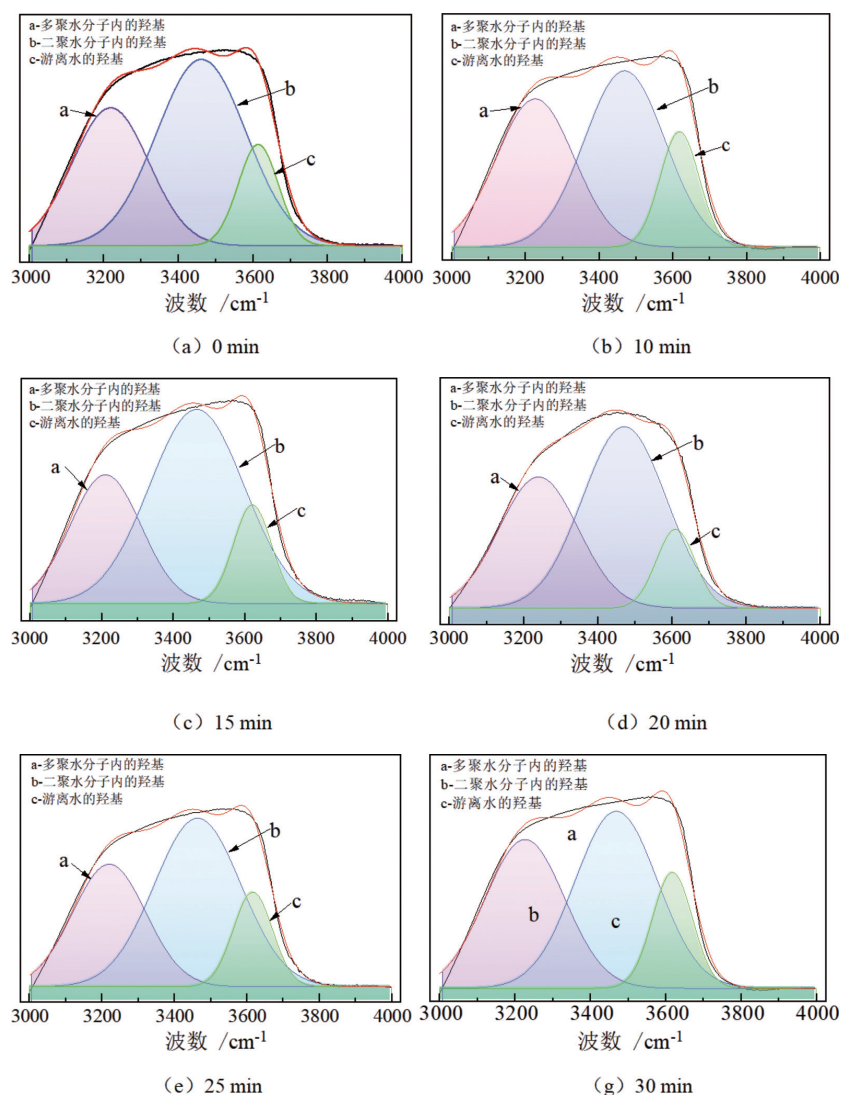


图 7 不同电解时间条件下水的羟基分峰拟合图
 Fig. 7 Fitting of water hydroxyl fraction under different electrolysis conditions

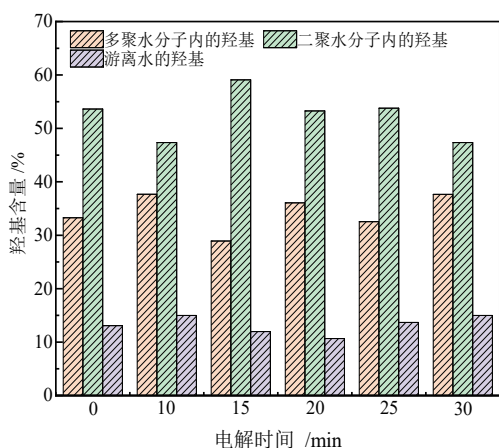


图 8 电解水红外光谱分峰拟合各吸收峰羟基含量图
 Fig. 8 Hydroxyl content of absorption peaks by infrared spectra of electrolyzed water

从图 7 可知,随着电解时间的延长,不同种类羟基分布比例发生了变化。其中,多聚水分子内的羟基占二聚水分子内的羟基面积总和的百分比随着电解

改性时间的延长先减小后增大,游离水羟基总面积百分比先增大后减小。与未经电解改性的水相比,当电解改性 20 min 时,多聚水分子内羟基和二聚水分子内羟基面积总和增加 2.42 个百分点,而游离水的羟基减少了 2.41 个百分点。电解改性 20 min 水的不同水分子比例变化的原因在于电解改性会对水体的结构造成一定破坏^[22]。由于多聚水和二聚水与生石膏之间的亲和性较强,而游离水与生石膏之间的憎水性较强^[21],因此水溶液中亲水性水分子含量增多会强化生石膏表面的活性点钙离子与水之间的亲和作用并使其表面吸附的改性水增多。此外,与未电解改性的水相比,生石膏表面吸附的电解改性水更易渗入生石膏内部,同时在外力剪切作用下使得生石膏超细磨产品的晶体结构受到破坏,并且使其内部缝隙等缺陷增多^[23]。由于料浆的黏度对生石膏的超细粉磨效果有一定影响,为揭示生石膏表面吸附的电解改性水对生石膏料浆黏度的影响规律,对不同条件下生石膏料浆的黏度进

行了检测, 结果如图 9 所示。

从图 9 可以看出, 随着水电解时间的延长, 生石膏料浆的黏度先下降后上升, 当电解改性时间为 20 min 时, 生石膏料浆黏度达到最小值, 为 58.69 mPa·s, 与未经电解时的水相比, 生石膏料浆黏度减小了 16.74 mPa·s。结合红外分析可知, 水经电解作用后自由水的羟基比例增大, 使生石膏表面吸附的水增多, 增强了生石膏料浆的流动性能, 也缩短了超细磨过程中料浆的循环时间, 并使胶体磨齿轮对生石膏的剪切作用得到了增强^[24], 进而影响了生石膏的超细磨效果和超细磨效率。

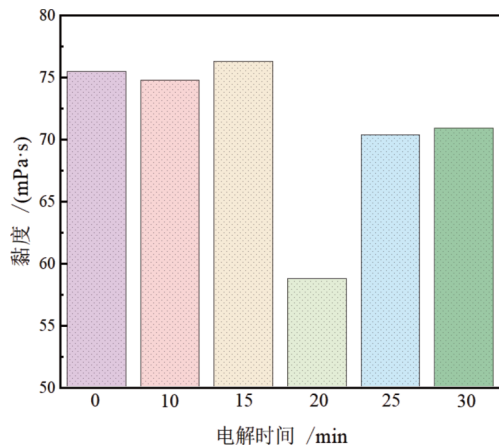


图 9 水的电解改性时间对料浆黏度的影响
Fig. 9 Effect of electrolytic time on slurry viscosity

2.3 生石膏超细磨产品 XRD 分析

为对比水的不同电解时间对生石膏超细磨产品

晶体结构的影响, 对不同条件下生石膏超细磨产品进行了 XRD 分析, 结果如图 10 所示。

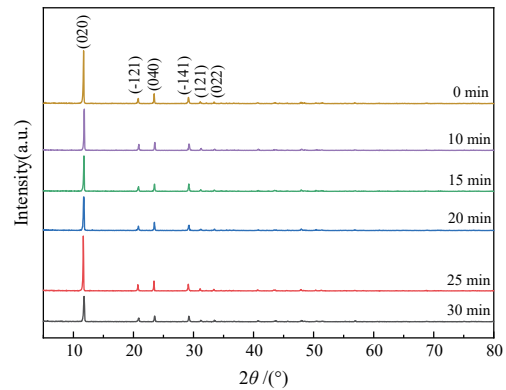


图 10 超细磨产品的 XRD 谱图
Fig. 10 XRD patterns of gypsum ultrafine grinding products

从图 10 可知, 随着水电解改性时间的延长, 超细磨产品的特征衍射峰变宽且强度降低, 其中, (121) 和 (022) 晶面的特征峰宽化消失。当利用电解改性 20 min 的水时, 生石膏超细磨产品各晶面的特征衍射峰强度减弱现象最明显, 说明水电解改性 20 min 时对生石膏超细磨产品的晶体结构影响最显著。为了进一步了解电解改性水对生石膏超细磨产品晶体结构的影响, 研究分别根据布拉格方程、结晶面积/总峰面积计算、Scherrer 公式、 $\delta = \frac{1}{D^2}$ (D : 结晶度) 以及 $\varepsilon = \frac{\beta}{4 \tan \theta}$ (β : 半峰宽, θ : 峰的位置) 计算了生石膏超细磨产品的最强峰面间距、结晶度、晶粒尺寸的平均值、微观应变以及位错密度, 结果分别如图 11 和图 12 所示。

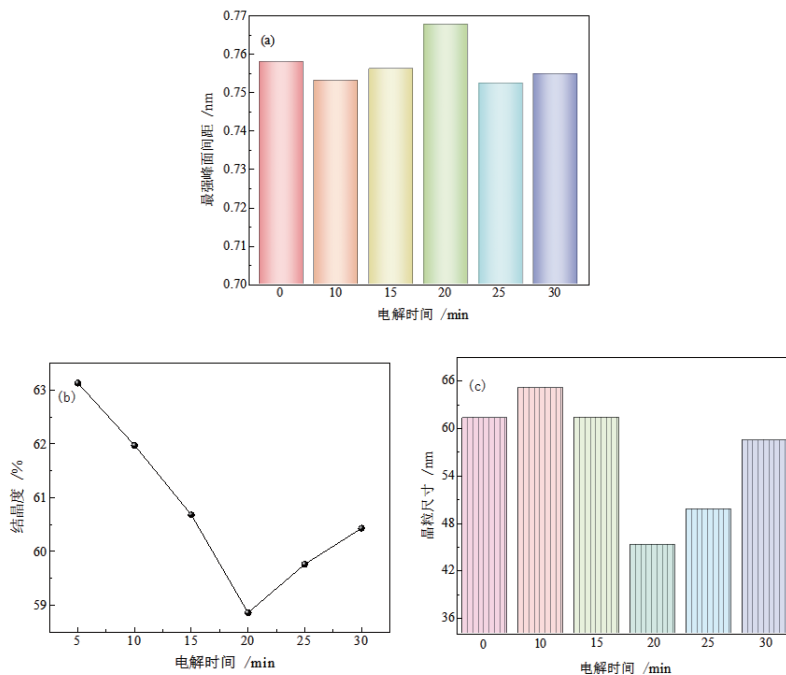


图 11 水的电解改性时间对生石膏晶面的 (a) 最强峰面间距、(b) 结晶度和 (c) 晶粒尺寸的影响
Fig. 11 Effect of electrolytic time on the (a) interplanetary spacing, (b) crystallinity and (c) grain size of gypsum

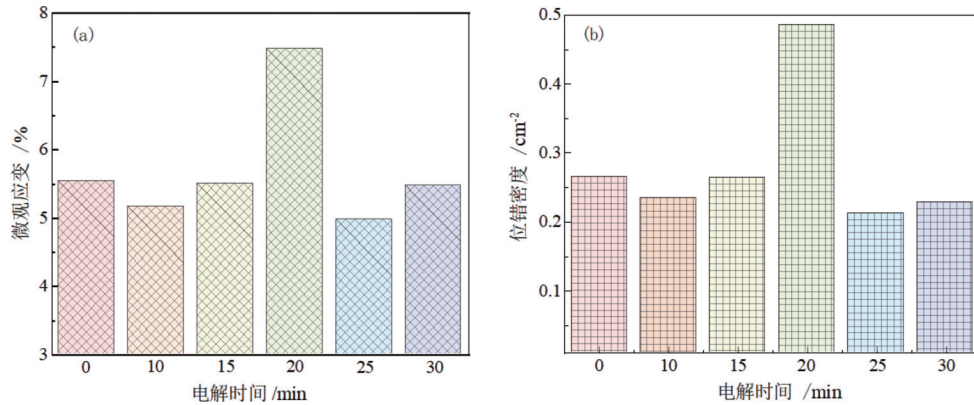


图 12 水的电解改性时间对生石膏微观应变和位错密度的影响

Fig. 12 Effect of electrolytic time on the microscopic strain and dislocation density of gypsum

由图 11 可知,随着水电解改性时间的增大,生石膏超细磨产品的最强峰面间距先增大后减小,而结晶度和晶粒尺寸均先减小后增大,当水体电解改性 20 min 时,生石膏超细磨产品的最强峰面(020)面间距达到最大值,为 0.767 78 nm,结晶度和晶粒尺寸均达到了最小值,分别为 58.86% 和 45.25 nm。生石膏表面吸附的电解改性水渗入生石膏内部后与生石膏内部钙离子作用,导致超细磨产品面间距增大,并使其晶胞体积膨胀疏松。而在剪切力作用下生石膏晶体的有序性破坏程度增大,最终使生石膏超细磨产品结晶度与晶粒尺寸减小^[23]。

从图 12 也可以看出,随着水电解改性时间的延长,生石膏超细磨产品的微观应变和位错密度先增大后减小。当利用电解改性 20 min 的水进行生石膏超细磨时,超细磨产品的微观应变和位错密度均达到最大值,分别为 7.48% 和 0.49 cm⁻²。微观应变和位错密度发生变化的原因在于电解改性水渗入生石膏内部,在剪切应力作用下细化使其晶格发生畸变,位错密度达到饱和^[25],显著细化了生石膏内部晶体和亚晶体的结构^[26],这也与图 10 的结果一致,因而提高了生石膏的超细磨效率。

3 结论

(1) 电解改性水对提高生石膏超细磨有良好的效果。当料浆浓度为 16%、电解时间为 20 min、超细磨时间为 25 min 时,电解改性水对生石膏超细磨效果达到最佳,可使生石膏 d_{90} 从 54.6 μm 减小至 2.21 μm ,比表面积从 203 cm²/g 增大至 2 265 cm²/g。

(2) 当电解改性 20 min 时,水中自由水的羟基含量增大了 2.42 百分点,强化了生石膏表面钙离子活性点与水之间的亲和作用,导致生石膏料浆黏度减小了 16.74 mPa·s,缩短了料浆的循环时间,使生石膏表面吸附的电解改性水增多且更易渗入生石膏内部,导致其晶格膨胀疏松,强化了胶体磨齿轮对生石膏的剪切作用,使超细磨产品最强峰面间距、微观应变和位错密

度达到最大值,而结晶度与晶粒尺寸达到最小值。

参考文献:

- [1] 徐惠,常成功,刘小育,等.一种针状纳米碳酸钙的制备方法[J].无机盐工业,2010,42(1):17-19.
XU H, CHANG C G, LIU X Y, et al. Preparation method of needle-like nano-sized calcium carbonate[J]. Inorganic Chemicals Industry, 2010, 42(1): 17-19.
- [2] DELIGIANNI D D. Multiwalled carbon nanotubes enhance human bone marrow mesenchymal stem cells' spreading but delay their proliferation in the direction of differentiation acceleration[J]. Cell adhesion & migration, 2014, 8(6): 558-562.
- [3] 鲁林平,郭芳恩.高纯度高白度纳米碳酸钙生产技术研究[J].化工装备技术,2018,39(5):11-13.
LU L P, GUO F E. Study on the production technology of nanometer calcium carbonate particles with high purity and high whiteness[J]. Chemical Equipment Technology, 2018, 39(5): 11-13.
- [4] 刘亚雄.日本纳米碳酸钙生产工艺及产品介绍[J].无机盐工业,2021,53(12):80-84.
LIU Y X. Introduction of production process and products of nano calcium carbonate in Japan[J]. Inorganic Chemicals Industry, 2021, 53(12): 80-84.
- [5] 殷鹏飞,张蓉,邓玉,等.气流粉碎/静电分散与球磨制备超微粉体粒度对比研究[J].中国陶瓷,2018,54(5):21-27.
YIN P F, ZHANG R, DENG Y, et al. Comparative study of particle size distribution of micropowder prepared by jet milling/electrostatic dispersion and ball milling[J]. China Ceramics, 2018, 54(5): 21-27.
- [6] SHAIBANI M E, GHAMBARI M. Characterization and comparison of gray cast iron powder produced by target jet milling and high energy ball milling of machining scraps[J]. Powder Technology, 2011, 212(1): 278-283.
- [7] 张国旺,刘雅琛,赵湘,等.立式搅拌磨矿机干法超细磨重钙研究[J].非金属矿,2000(6):34-35+20.
ZHANG G W, LIU Y C, ZHAO X, et al. Study on dry ultra-fine grinding of heavy calcium by vertical stirred mill[J]. Non-metallic mines, 2000(6): 34-35+20.
- [8] 马殿普,普友福,陈高芳,等.二氧化锡超细粉体制备方法综述[J].材料导报,2021,35(S1):151-155.
MA D P, PU Y F, CHEN G F, et al. Research progress of preparation methods of ultrafine tin dioxide powders[J]. Materials Reports, 2021, 35(S1): 151-155.
- [9] 孙业熙,苏伟,杨海林,等.一步还原包裹粉工艺制备WC-Co超粗

- 硬质合金[J]. 稀有金属材料与工程, 2016, 45(2): 409-414.
- SUN Y X, SU W, YANG H L, et al. Ultra-coarse grain WC-Co cemented carbide from chemical coated powder by one-step hydrogen reduction[J]. *Rare Metal Materials and Engineering*, 2016, 45(2): 409-414.
- [10] 王雯雯, 马晓晓, 王宇斌, 等. 助磨剂EDTA在超细石膏粉体制备过程中的作用机制[J]. *矿产保护与利用*, 2021, 41(4): 100-106.
- WANG W W, MA X X, WANG Y B, et al. Study on the effect mechanism of EDTA on the preparation of ultrafine gypsum powder[J]. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 2021, 41(4): 100-106.
- [11] 马晓晓, 王宇斌, 华开强, 等. 六偏磷酸钠对制备超细生石膏粉体的助磨作用及其机理研究[J]. *矿产保护与利用*, 2021, 41(1): 146-151.
- MA X X, WANG Y B, HUA K Q, et al. Effect of sodium hexametaphosphate on preparation of ultrafine gypsum powder and its mechanism[J]. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 2021, 41(1): 146-151.
- [12] 李淑芹, 王宇斌, 曹德生, 等. 柠檬酸钠对脱硫石膏的超细助磨机理[J]. *化工矿物与加工*, 2020, 49(11): 5-8.
- LI S Q, WANG Y B, CAO D S, et al. Ultrafine grinding aid mechanism of sodium citrate on desulfurized gypsum[J]. *Industrial Minerals & Processing*, 2020, 49(11): 5-8.
- [13] 唐林生, 冯作锋, 林强. 石灰石超细磨助磨剂及其助磨机理[J]. *中国有色金属学报*, 2000(1): 131-135.
- TANG L S, FENG Z F, LIN Q. Ultrafine grinding aids and its mechanism[J]. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 2000(1): 131-135.
- [14] 戎鑫, 李建军, 但宏兵, 等. 磁化水的特性、机理及应用研究进展[J]. *材料导报*, 2022, 36(9): 65-71.
- RONG X, LI J J, DAN H B, et al. Characteristics, mechanism and applications of magnetized water: a review[J]. *Materials Reports*, 2022, 36(9): 65-71.
- [15] 张露之, 张光明, 张楠, 等. 超声水处理中锌基催化剂的研究进展[J]. *水处理技术*, 2019, 45(4): 1-5.
- ZHANG L Z, ZHANG G M, ZHANG N, et al. Research progress on zn-based catalysts in ultrasonic water treatment[J]. *Technology of Water Treatment*, 2019, 45(4): 1-5.
- [16] YAO J, CHEN L, CHEN X, et al. Formation of inorganic nitrogenous byproducts in aqueous solution under ultrasound irradiation[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2018, 42: 42-47.
- [17] ZHANG S, LI J, WANG E. Recent progress of ruthenium-based nanomaterials for electrochemical hydrogen evolution[J]. *Chem Electro Chem*, 2020, 7(22): 4526-4534.
- [18] 王真, 何廷树, 王宇斌, 等. 磁化水改善钼粗选作业回收率试验研究[J]. *矿业研究与开发*, 2018, 38(9): 72-74.
- WANG Z, HE T S, WANG Y B, et al. Experimental study on magnetized water improving the recovery rate of molybdenum by roughing[J]. *Mining Research and Development*, 2018, 38(9): 72-74.
- [19] 朱巨建, 李晓安, 陈炳辰. 水的磁化处理对赤铁矿的可浮性影响及其机理研究[J]. *中国矿业*, 2003(8): 46-48.
- ZHU J J, LI X A, CHEN B C. Influence of water magnetization on the floatability of hematite and its mechanism[J]. *China Mining Magazine*, 2003(8): 46-48.
- [20] 王宇斌, 党炜桦, 李慧, 等. 磁化蒸馏水体系下水玻璃对辉钼矿浮选行为的影响[J]. *中国矿业大学学报*, 2020, 49(3): 602-608.
- WANG Y B, DANG W B, LI H, et al. Effect of sodium silicate on the flotation behavior of molybdenite in magnetized distilled water system[J]. *Journal of China University of Mining & Technology*, 2020, 49(3): 602-608.
- [21] ATKINS P W. *Physical chemistry*[M]. Oxford: Oxford University Press, 1978: 773-774.
- [22] 谢水祥, 任雯, 李兴春, 等. 电吸附再生废弃水基钻井液作用机理[J]. *天然气工业*, 2019, 39(12): 139-145.
- XIE S X, REN W, LI X C, et al. Mechanism of electrosorption recycled waste water-based drilling fluid[J]. *Natural Gas Industry*, 2019, 39(12): 139-145.
- [23] 毛欣钰, 王宇斌, 王雯雯, 等. 交变外磁场对硫酸钙垢溶解行为的影响及其机理[J]. *无机盐工业*, 2022, 54(3): 97-101.
- MAO X Y, WANG Y B, WANG W W, et al. Effect of alternating external magnetic field on the dissolution behavior of calcium sulfate scale and its mechanism[J]. *Inorganic Chemicals Industry*, 2022, 54(3): 97-101.
- [24] 田野, 李萍, 马俊林, 等. 高压扭转对难熔金属粉末组织致密及强化的影响[J]. *稀有金属材料与工程*, 2017, 46(10): 2987-2992.
- TIAN Y, LI P, MA J L, et al. Effects of high-pressure torsion on dense compact and strengthening of refractory powder[J]. *Rare Metal Materials and Engineering*, 2017, 46(10): 2987-2992.
- [25] 李晓, 王巍, 袁帅, 等. 基于X射线衍射和低场核磁共振技术的微波膨胀烟梗收缩机制[J]. *扬州大学学报(农业与生命科学版)*, 2022, 43(2): 127-134.
- LI X, WANG W, YUAN S, et al. Study on the contraction mechanism of microwave expanded tobacco stem based on XRD and LF-NMR techniques[J]. *Journal of Yangzhou University(Agricultural and Life Science Edition)*, 2022, 43(2): 127-134.
- [26] 郭铁明, 金硕, 吉瑞芳, 等. Mo粉在球磨过程中的机械力效应[J]. *兰州理工大学学报*, 2017, 43(3): 6-9.
- GUO T M, JIN S, JI R F, et al. Mechanical effect of Mo powder in ball milling process[J]. *Journal of Lanzhou University of Technology*, 2017, 43(3): 6-9.

Effect of Electrolytic Water on Ultrafine Grinding of Gypsum and Its Mechanism

WANG Wenwen, WANG Yubin, TIAN Jiayi, LEI Dashi, GUI Wanting

School of Resources Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, Shaanxi, China

Abstract: Electrolytic water was used to improve the ultrafine grinding effect of raw gypsum with colloid mill, FTIR and other methods were employed to characterize the solution and ultrafine grinding products. The results showed that the electrolysis-modified water had a significant positive effect on the ultrafine grinding of raw gypsum. Under the conditions of raw gypsum slurry concentration of 16% and ultrafine grinding time of 25 min, the d_{90} of ultrafine grinding product was reduced from 54.6 μm to 2.21 μm , while the specific surface area was promoted from 203 cm^2/g to 2 265 cm^2/g with water modification time of 20 min. When the water was treated by electrolysis for 20 min, the total content of hydrophilic hydroxyl groups of water increased by 2.42 percentage points, which enhanced the affinity between water and active point on raw gypsum surface, resulting in a decrease in the viscosity of raw gypsum slurry by 16.74 $\text{mPa}\cdot\text{s}$. The above effects can improve the fluidity of raw gypsum slurry and enhance the shearing effect of colloid mill gear on raw gypsum, which increased the internal cracks of the raw gypsum, the penetration of the modified water into the raw gypsum, and the plane spacing, microscopic strain, dislocation density of the gypsum increased, while the crystallinity and grain size became smaller, and finally the efficiency of raw gypsum superfine grinding was improved.

Keywords: gypsum; ultrafine grinding; electrolytic modification; water; crystal structure

引用格式: 王雯雯, 王宇斌, 田家怡, 雷大士, 桂婉婷. 电解水对生石膏超细磨的影响及作用机理[J]. 矿产保护与利用, 2022, 42(6): 159-166.

WANG Wenwen, WANG Yubin, TIAN Jiayi, LEI Dashi, GUI Wanting. Effect of electrolytic water on ultrafine grinding of gypsum and its mechanism[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2022, 42(6): 159-166.

投稿网址: <http://hcbh.cbpt.cnki.net>

E-mail: kcbh@chinajournal.net.cn