

DOI: 10.13957/j.cnki.tcx.2018.02.016

陶瓷墙地砖干法制粉坯料颗粒与主轴转速分析

廖达海, 宁翔, 吴南星, 江竹亭, 陈涛
(景德镇陶瓷大学机械电子工程学院, 江西景德镇 333403)

摘要: 为分析陶瓷墙地砖干法造粒过程坯料颗粒与主轴转速的关系, 以黏土、长石、石英等为造粒原料, 采用陶瓷墙地砖干法造粒设备制备坯料颗粒, 基于主轴转速的改变, 分析坯料颗粒流动性及有效颗粒百分比与主轴转速的关系, 同时数值仿真验证实验结果正确性。实验结果表明: 当主轴转速分别为2500 RPM、2700 RPM、2900 RPM、3100 RPM、3300 RPM时, 坯料颗粒的流动性指数依次为58.0、68.0、80.5、74.0、67.0, 有效颗粒百分比依次为81.5%、83.1%、88.0%、86.4%、83.9%。数值仿真表明: 当主轴转速分别为2500 RPM、2700 RPM、2900 RPM、3100 RPM、3300 RPM时, 造粒室底部坯料颗粒最大堆积密度依次为0.40、0.36、0.32、0.36、0.36。综合分析说明: 当主轴转速为2900 RPM时, 坯料颗粒流动性最好, 有效颗粒百分比最优, 此时造粒效果最佳。

关键词: 干法造粒; 主轴转速; 颗粒流动性; 有效颗粒百分比; 堆积密度

中图分类号: TQ174.5

文献标识码: A

文章编号: 1000-2278(2018)02-0207-06

Relationship between the Blank Particles and the Spindle Speed of Dry Granulation for Ceramic Tile Production

LIAO Dahai, NING xiang, WU Nanxing, JIANG Zhuting, CHEN Tao,

(School of Mechanical and Electronic Engineering, Jingdezhen Ceramic Institute, Jingdezhen 333403, Jiangxi, China)

Abstract: In order to analyze the relationship between blank particles and the spindle speed of dry granulation for manufacturing ceramic tiles, blank particles are prepared by granulation with dry granulation system for ceramic tiles production, using clay, feldspar, quartz, etc. as raw materials. Then the relationship of the particles' mobility and the percentage of effective particles with the spindle speed is analyzed, and numerical simulation is carried out to verify the validity of the experimental results. The experimental results show that when the spindle speeds are 2500 RPM, 2700 RPM, 2900 RPM, 3100 RPM and 3300 RPM, the mobility indexes of the blank particles are 58, 68, 80.5, 74 and 67, and the percentages of effective particles are 81.5%, 83.1%, 88%, 86.4% and 83.9%. The numerical simulation shows that when the spindle speeds are 2500 RPM, 2700 RPM, 2900 RPM, 3100 RPM and 3300 RPM, the maximum packing densities of blank particles at the granulating chamber bottom are 0.40, 0.36, 0.32, 0.36 and 0.36. The comprehensive analysis shows that when the spindle speed is 2900 RPM, the mobility of the blank particles is the highest, the percentage of effective particles is optimal, and the granulation result is the best.

Key words: dry granulation; spindle speed; particle mobility; effective percentage of particles; volume distribution

0 引言

当前建筑陶瓷行业原料制备车间大多采用“球磨-喷雾”湿法造粒制粉技术生产坯料颗粒^[1-2], 但该技术存在高能耗、高污染、高投入、低产出等问题, 与国家提倡的节能减排战略严重相违背^[3-5]。而陶瓷墙地砖干法造粒制粉技术可从根本上解决此类问题, 是建筑陶瓷行业原料制备车间主要发展方向之一^[6-8]。但目前干法造粒制粉设备制得的陶瓷

墙地砖坯料颗粒存在流动性偏差、有效颗粒百分比偏小、颗粒压缩率比偏小等问题^[9-10], 导致干法造粒制粉技术在陶瓷行业一直未受到广泛推广, 制约了该技术的进一步发展。

而在陶瓷墙地砖坯体压制成型过程中, 坯体品质与坯料颗粒流动性及坯料有效颗粒百分比有较大影响^[11-13]。笔者基于干法造粒过程中主轴转速的改变, 分别对坯料颗粒流动性指数和有效颗粒百分比进行分析, 从而优化坯料颗粒流动性, 增大有效颗

收稿日期: 2017-03-12。

修订日期: 2017-06-16。

基金项目: 国家自然科学基金(51365018); 江西省高等学校科技落地计划(KJLD14074); 江西省科技支撑计划(20151BBE50041)。

通信联系人: 廖达海(1987-), 男, 硕士, 讲师。

Received date: 2017-03-12.

Revised date: 2017-06-16.

Correspondent author: LIAO Dahai(1987-), male, Master, Lecturer

E-mail: 13320149686@163.com

粒百分比,改善造粒效果;同时,基于欧拉双流体模型建立干法造粒过程坯料颗粒混合过程,验证实验分析正确性。其研究成果对干法制粉造粒技术在建筑陶瓷行业的推广提供一定理论指导。

1 实验过程

1.1 制备装置

实验采用干法造粒实验样机制备坯料颗粒,干法造粒试验样机造粒室模拟区域图如图1所示,造粒过程在造粒室内完成。为了使铰刀与原料充分接触,令造粒室内主轴方向与水平方向存在一定的夹角。通过主轴旋转,在造粒室内实现原料充分混和,进而达到造粒效果。

1.2 原料与添加剂

本实验采用的原料可大致分为三大类,分别为可塑性原料、熔剂性原料和瘠性原料。

(1)可塑性原料:本实验所采用的可塑性原料为黏土、高岭土、膨润土。其主要作用是赋予坯料一定可塑性,在坯料中结合其它非可塑性原料,使陶

瓷坯体保持一定形状,并赋予陶瓷坯体足够的干燥强度,并且能够赋予坯体足够的热稳定性、机械强度和化学稳定性。

(2)熔剂型原料:本实验所采用的熔剂型原料为钾长石、钠长石、白云石、钙长石。熔剂型原料在烧成中能产生液相形成玻璃态填充于结晶颗粒之间,并能溶解部分石英颗粒和高岭土分解产物,有助于陶瓷坯体的致密化以及提高坯体的机械强度和化学稳定性。

(3)瘠性原料:本实验所采用的瘠性原料为 α -石英、 β -石英、石英砂。在造粒过程中瘠性原料可降低配合料的可塑性以及减少坯体在干燥和烧成时的收缩,起骨架作用。

各原料产地与配比如表1所示。

实验过程加入多种造粒添加剂,依照其作用效果可分为增加坯体塑性与增强生坯强度两大类。

(1)增加坯体塑性添加剂:邻苯二甲酸二丁酯($C_{16}H_{22}O_4$)、癸二酸二丁酯($C_{18}H_{34}O_4$)、油酸($C_{18}H_{34}O_2$)、聚乙二醇($HO(CH_2CH_2O)_nH$)、磷酸三烷基酯($C_xH_yO_4P_n$)。

(2)增强生坯强度添加剂:甲基纤维素($C_5H_8O_2$)、木质磺酸盐($C_{20}H_{24}Na_2O_{10}S_2$)、聚乙烯醇($-[CH(OH)-CH_2]_n-$)、黄原胶($C_{35}H_{49}O_{29}$)、聚丙烯酰胺($-[CH_2CH]_nCONH_2-$)。

1.3 制备过程

实验采用干法造粒实验样机制备陶瓷墙地砖坯料颗粒,具体制备工艺如下:称取320 g黏土、240 g高岭土、80 g膨润土、100 g钾长石、200 g钠长石、600 g白云石、300 g钙长石以及80 g α -石英、40 g β -石英、40 g石英砂共计2 kg原料,将配比好

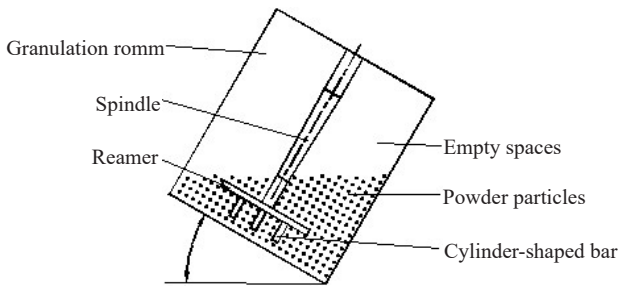


图1 建筑陶瓷干法造粒试验样机造粒室模拟区域图

Fig.1 The simulation area of the granulation chamber of the test equipment for dry granulation

表1 实验原料

Tab.1 Raw materials for experiments

Type	Name	Place of Origin	Proportion /%
Plastic materials	Clay	Gaolin, Jingdezhen	16
	Kaolin	Gaolin, Jingdezhen	12
	Bentonite	Ningming, Guangxi	4
Fluxes	Potash feldspar	Linxian, Shanxi	5
	Sodium feldspar	Lingshou, Shijiazhuang	10
	Dolomite	Yingkou, Liaoning	30
	Calcium feldspar	Lingshou, Shijiazhuang	15
Non-plastic materials	α -quartz	Shanggao, Jiangxi	4
	β -quartz	Shanggao, Jiangxi	2
	Quartz sand	Shanggao, Jiangxi	2

的原料加入造粒室中充分搅拌约2 min，待其均匀混合后，再将造粒添加剂溶液经压力式喷嘴均匀喷洒至造粒室中，1 min后，完成造粒。将造粒室内所造坯料颗粒卸出待检测分析。造粒流程如图2所示。

实验通过调节主轴转速为2500 RPM、2700 RPM、2900 RPM、3100 RPM、3300 RPM，依照上述步骤，进行5组实验。

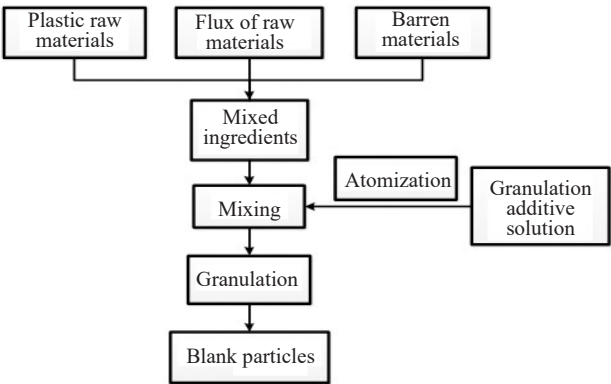


图2 坯料颗粒制备流程图

Fig.2 The flow chart of the preparation of the blank particles

1.4 检测分析

基于不同主轴转速，制备出相应坯料颗粒。采用多功能智能粉体物性测试仪(型号：BT-1001，丹东百特仪器有限公司)分别对不同转速所得坯料颗粒休止角、压缩度、平板角、均齐度进行检测，再利用Carr流动性指数法计算分析坯料颗粒流动性指数，借助流动性指数评判坯料颗粒流动性。再采用标准实验样筛对坯料颗粒分别进行筛分，依次筛选出粒径大于20目、20-30目、30-40目、40-50目、50-60目、60-70目、70-80目、小于80目的坯料颗粒并计算坯料有效颗粒百分比。基于所得实验数据，优化干法造粒操作参数，从而改善造粒效果。

2 实验结果与讨论

(1)主轴转速对坯料颗粒流动性影响分析

采用BT-1001型多功能智能粉体物性测试仪分别对造粒坯料颗粒的休止角、压缩度、平板角、与均齐度进行测量，分析坯料颗粒的流动性。由表2 主轴转速对坯料颗粒流动性的关系可知：当主轴转速为2500 RPM时，坯料颗粒的休止角为43.35°、压缩度为27.65%、平板角为50.03°、均齐度为19、坯料颗粒的流动性评价指数为58，坯料颗粒流动性较差；当主轴转速为2700 RPM时，坯料颗粒的休止角为39.26 °、压缩度为23.34%、平板角为41.45 °、均齐度为14、坯料颗粒的流动性评价指数为68，坯料颗粒流动性一般；当主轴转速为2900RPM时，坯料颗粒的休止角为33.68 °、压缩度为15.56%、平板角为37.55 °、均齐度为9、坯料颗粒的流动性评价指数为80.5，坯料颗粒流动性良好；当主轴转速为3100 RPM时，坯料颗粒的休止角为35.00 °、压缩度为18.12%、平板角为43.48 °、均齐度为11、坯料颗粒的流动性评价指数为74，坯料颗粒流动性较好；当主轴转速为3300 RPM时，坯料颗粒的休止角为41.96 °、压缩度为20.16%、平板角为42.47 °、均齐度为15、坯料颗粒的流动性评价指数为67，坯料颗粒流动性一般。干法造粒过程中，当主轴转速逐渐增加至2900 RPM，坯料颗粒流动性增加；随着主轴转速的继续增大，坯料颗粒流动性有一定的下降。实验结果表明：干法造粒过程中，当主轴转速为2900 RPM时，所制坯料颗粒流动性评价指数最大，坯料颗粒流动性最好。

(2)主轴转速对坯料有效颗粒影响分析

采用标准试验样筛分别对造粒坯料颗粒进行检测，分析坯料颗粒的粒径分布。由图3主轴转速与坯料颗粒粒度分布曲线图可知：当主轴转速为2500 RPM

表2 主轴转速与坯料颗粒流动性关系
Tab.2 Relationship between spindle speed and particle mobility

Spindle speed / RPM	Angle of repose (°)		Squeezing degree (%)		Plate angle (°)		Evenness		Mobility index	Assessment on mobility
	Measure	Index	Measure	Index	Measure	Index	Measure	Index		
2500	43.35	18	27.65	12	50.03	16	19	12	58	Qualified
2700	39.26	18	23.34	16	41.45	18	14	16	68	General
2900	33.68	21	15.56	19.5	37.55	20	9	19	80.5	Very good
3100	35.00	20	18.12	18	43.48	18	11	18	74	Good
3300	41.96	16	20.16	17	42.47	18	15	16	67	General

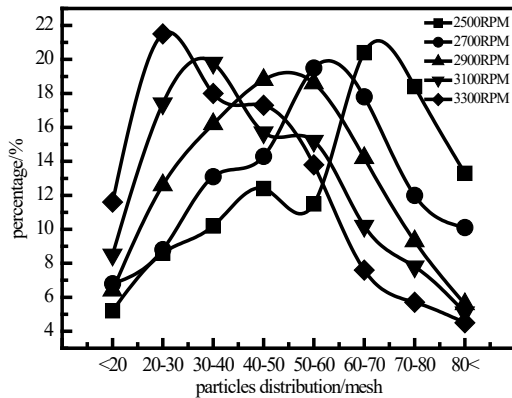


图3 主轴转速与坯料颗粒粒度分布曲线图

Fig.3 Curves of spindle speed and particle size distribution

时, 坯料颗粒粒径分布在 $d < 20$ 目区域的颗粒为5.2%, 坯料颗粒粒径分布在 $20 \leq d \leq 80$ 目区域的颗粒为81.5%, 坯料颗粒粒径分布在 $d > 80$ 目区域的颗粒为13.3%, 且坯料颗粒在70目左右所占比例最大; 当主轴转速为2700 RPM, 坯料颗粒粒径分布在 $d < 20$ 目区域的颗粒为6.8%, 坯料颗粒粒径分布在 $20 \leq d \leq 80$ 目区域的颗粒为83.1%, 坯料颗粒粒径分布在 $d > 80$ 目区域的颗粒为10.1%, 且坯料颗粒在60目左右所占比例最大; 当主轴转速为2900 RPM, 坯料颗粒粒径分布在 $d < 20$ 目区域的颗粒为6.4%, 坯料颗粒粒径分布在 $20 \leq d \leq 80$ 目区域的颗粒为88.0%, 坯料颗粒粒径分布在 $d > 80$ 目区域的颗粒为5.6%,

且坯料颗粒在50目左右所占比例最大; 当主轴转速为3100 RPM, 坯料颗粒粒径分布在 $d < 20$ 目区域的颗粒为8.5%, 坯料颗粒粒径分布在 $20 \leq d \leq 80$ 目区域的颗粒为86.4%, 坯料颗粒粒径分布在 $d > 80$ 目区域的颗粒为5.1%且坯料颗粒在45目左右所占比例最大; 当主轴转速为3300 RPM, 坯料颗粒粒径分布在 $d < 20$ 目区域的颗粒为11.6%, 坯料颗粒粒径分布在 $20 \leq d \leq 80$ 目区域的颗粒为83.9%, 坯料颗粒粒径分布在 $d > 80$ 目区域的颗粒为4.5%, 且坯料颗粒在25目左右所占比例最大。干法造粒过程中, 当主轴转速逐渐增大至2900 RPM时, 坯料有效颗粒百分比增大; 随着主轴转速继续增加, 坯料有效颗粒百分比呈下降趋势。实验结果表明: 干法造粒过程中, 当主轴转速为2900 RPM时, 坯料颗粒级配较为理想, 坯料有效颗粒百分比最大。

3 数值模拟仿真

3.1 轴向剖视云图分析

由图4造粒室轴向坯料颗粒体积分布剖视云图分析可知: 当主轴转速 $n_1=2500$ RPM时, 造粒室内坯料颗粒堆积密度最大值为0.40, 坯料颗粒分布不均匀, 存在严重颗粒团聚现象, 造粒效果极差; 当主轴转速 $n_2=2700$ RPM时, 造粒室内坯料颗粒堆积密度最大值为0.36, 坯料颗粒分布较为均匀, 存

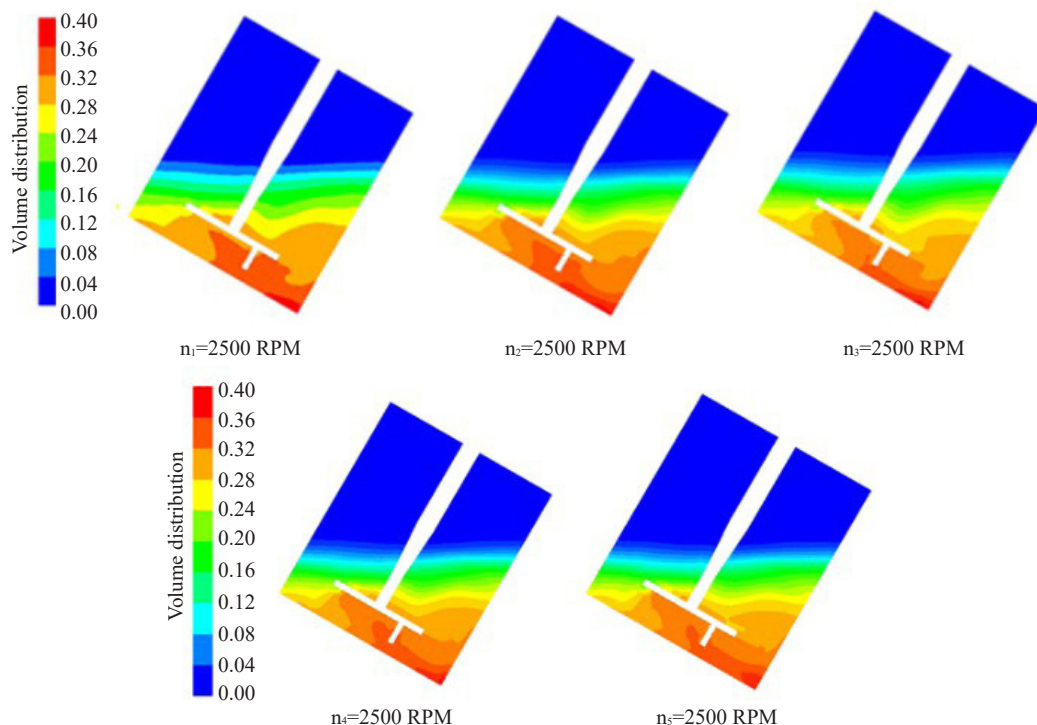


图4 造粒室轴向剖视云图

Fig.4 Axial sectional view of granulation chamber

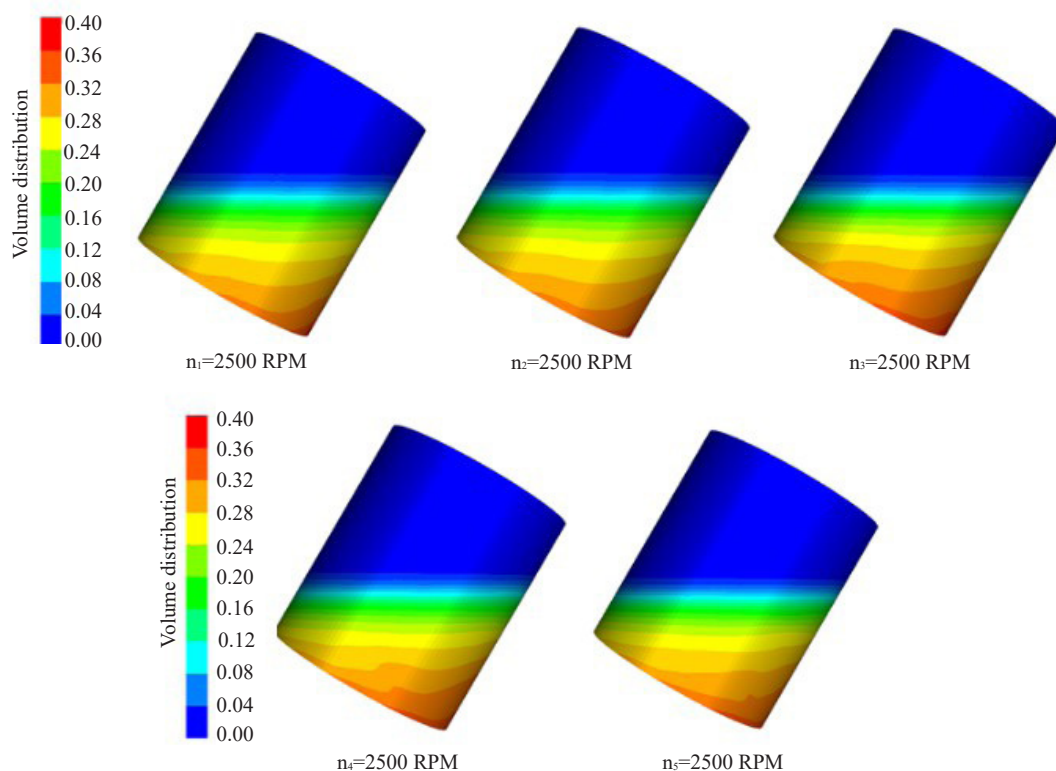


图5 造粒室筒体云图

Fig.5 Wall cloud images of granulation chamber

在轻微颗粒团聚现象,造粒效果一般;当主轴转速 $n_3 = 2900$ RPM时,造粒室内坯料颗粒堆积密度最大值为0.32,坯料颗粒分布均匀,不存在颗粒团聚现象,此时造粒效果较好;当主轴转速 $n_4 = 3100$ RPM时,造粒室内坯料颗粒堆积密度最大值为0.36,坯料颗粒分布较均匀,存在轻微颗粒团聚现象,造粒效果一般;当主轴转速 $n_5 = 3300$ RPM时,造粒室内坯料颗粒堆积密度最大值为0.36,坯料颗粒分布不均匀,存在轻微颗粒团聚现象,造粒效果一般。

3.2 造粒室筒体云图分析

由图5造粒室筒体云图分析可知:当主轴转速 $n_1 = 2500$ RPM时,造粒室底部坯料颗粒堆积密度最大值为0.40,坯料颗粒分布不均匀,存在显著的颗粒团聚现象,造粒效果不佳;当主轴转速 $n_2 = 2700$ RPM时,造粒室底部坯料颗粒堆积密度最大值为0.36,坯料颗粒分布较为均匀,存在少量的颗粒团聚现象,造粒效果一般;当主轴转速 $n_3 = 2900$ RPM时,造粒室底部坯料颗粒堆积密度最大值为0.32,坯料颗粒分布均匀,不存在颗粒团聚现象,此时造粒效果较好;当主轴转速 $n_4 = 3100$ RPM时,造粒室底部坯料颗粒堆积密度最大值为0.36,坯料颗粒分布较均匀,存在轻微的颗粒团聚现象,造粒效果一般;当主轴转速 $n_5 = 3300$ RPM时,造粒室底部坯料颗粒堆

积密度最大值为0.36,坯料颗粒分布不均匀,存在少量颗粒团聚现象,造粒效果一般。

4 结论

(1)实验结果表明:当主轴转速改变时,制得坯料颗粒流动性发生改变,坯料级配发生改变,坯料有效颗粒百分比也随之改变。当主轴转速为2900 RPM时,坯料颗粒的流动性指数为80.5,此时坯料颗粒流动性最好。坯料级配较为理想,坯料有效颗粒百分比为88.0%,为该操作参数下最优值,此时造粒效果最佳。

(2)数值仿真结果表明:当主轴转速为2900 RPM时,造粒室内坯料颗粒堆积密度最大值为0.32,此时坯料颗粒分布均匀,不存在颗粒团聚现象,造粒效果最佳。数值仿真结果与实验结果基本相符,从而验证了实验结果的正确性,为干法造粒制粉技术进一步在建筑陶瓷行业推广提供可靠的实验依据。

参考文献:

- [1] HE X, LI J, CHENG H, et al. Controlled crystallization and granulation of nano-scale β -Ni(OH)₂, cathode materials for high power Ni-MH batteries [J]. Journal of Power Sources, 2005, 152(1): 285-290.

- [2]WAGNER I W, GOETZINGER M, SPRENGART T. Dental blank and method of making a dental ceramic blank: US, 8425812 [P]. 2013.
- [3]WU Qingliang, QU Zhuokun, LIANG Yiliu. Energy saving building ceramics industry measures [J]. Guangdong Science and Technology, 2011, 20(4): 3–5.
- [4]LI Shaoyong, Zhou Rongguang, LIANG Feifeng. Preparation of ceramic powder by ultra fine dry granulation [J]. Foshan Ceramics, 2010, 20 (8): 20–22.
- [5]TAO Xiaowen. The process technology of the new type dry process production of ceramic brick pressing powder [J]. Ceramics, 2012, (2): 46–48.
- [6]SHINDE N, ALOORKAR N, KULKARNI A, et al. Recent advances in granulation techniques [J]. Asian Journal of Research in Pharmaceutical Science, 2014, 4(1): 38–47.
- [7]CHEN Baohai, DU Gaoxiang, LIAO Libing, et al. Preparation of building ceramics by graphite tailings [J]. 2011, 34(6): 45–47.
- [8]JIANG T. Research progress and development of machinable ceramics composites [J]. Materials Review, 2012.
- [9]KONG Haifa. Answering questions about application of dry granulation technology in ceramic industry [J]. Foshan Ceramics, 2008, (9): 43–43.
- [10]WU Nanxing, LIAO Dahai, ZHAN Tiantian. Effect of mixer shaft eccentricity of ceramics dry granulating machine on particles dispersion [J]. Bulletin of the Chinese Ceramic Society, 2014, 33(12): 3300–3303.
- [11]CAI Zuguang. Technical properties of ceramic powder used for pressing and forming of wall and floor tiles [J]. Ceramics, 2010 (4): 41–44.
- [12]CHINNAM R K, FRANCIS A A, WILL J, et al. Review: Functional glasses and glass–ceramics derived from iron rich waste and combination of industrial residues [J]. Journal of Non–crystalline Solids, 2013, 365(1): 63–74.
- [13]WU Nanxing, CHENG Fei, YU Dongling, et al. Analysis of the temperature field during building ceramic dry granulating process based on CFD [J]. Journal of Synthetic Crystals, 2016, 45(10): 2542–2548.