

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2020 年 5 月 7 日 (07.05.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/087826 A1

- (51) 国际专利分类号:
G06F 17/50 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2019/077255
- (22) 国际申请日: 2019 年 3 月 7 日 (07.03.2019)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201811276933.8 2018 年 10 月 30 日 (30.10.2018) CN
- (71) 申请人: 浙江大学 (ZHEJIANG UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。
- (72) 发明人: 赵永志 (ZHAO, Yongzhi); 中国浙江省杭州市西湖区浙大路 38 号, Zhejiang 310027 (CN)。

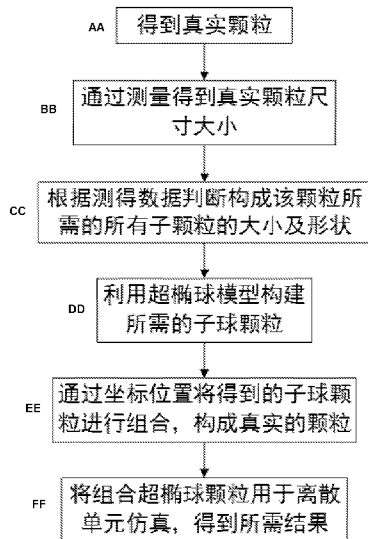
刘子寒 (LIU, Zihan); 中国浙江省杭州市西湖区浙大路 38 号, Zhejiang 310027 (CN)。 尤瑛 (YOU, Ying); 中国浙江省杭州市西湖区浙大路 38 号, Zhejiang 310027 (CN)。

(74) 代理人: 杭州天勤知识产权代理有限公司 (HANGZHOU TIANQIN INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY CO., LTD.); 中国浙江省杭州市西湖区竞舟路 1 号筑品金座 501 室, Zhejiang 310013 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK,

(54) Title: SIMULATION ANALYSIS METHOD FOR PARTICLE SYSTEM BASED ON COMBINED HYPERELLIPSOID MODEL

(54) 发明名称: 基于组合超椭球模型的颗粒系统的仿真分析方法



AA Obtain an actual particle
BB Obtain the size of the actual particle by means of measurement
CC According to the measured data, determine the size and shape of all sub-particles required for constituting the particle
DD Construct required sub-ellipsoid particles by using a hyperellipsoid model
EE Combine the obtained sub-ellipsoid particles by means of coordinate locations, and compose the actual particle
FF Use the combined hyperellipsoid particles for discrete element simulation, and obtain a required result

图 1

(57) Abstract: Disclosed by the present invention is a simulation analysis method for a particle system based on a combined hyperellipsoid model, comprising the following steps: (1) according to the size and shape of an actual particle, determining the shape, size and number of sub-hyperellipsoids constituting a particle; (2) constructing the sub-hyperellipsoids by means of a hyperellipsoid model, assigning a sub-hyperellipsoid model different coordinate locations according to the size of the actual particle, combining the sub-hyperellipsoids, and constructing a combined hyperellipsoid model of the particle; and (3) applying the combined hyperellipsoid model obtained in step (2) to discrete element simulation, and simulating a particle system in an industrial process to obtain a simulation result. The simulation analysis method provided by the present invention solves a simulation result being inaccurate due to the problem wherein the construction of a particle model does not comply with an actual particle, improves the reality of a simulation result of a particle system, satisfies the requirements of actual simulation, and applies a simulation result to the actual industrial process, thereby increasing production efficiency.

(57) 摘要: 本发明公开了基于组合超椭球模型的颗粒系统的仿真分析方法, 包括以下步骤: (1) 根据真实颗粒的尺寸和形状, 确定构成颗粒的子超椭球的形状、尺寸和个数; (2) 通过超椭球模型构建子超椭球, 再根据真实颗粒的尺寸赋予子超椭球颗粒模型不同的坐标位置, 组合子超椭球, 构成颗粒的组合超椭球模型; (3) 将步骤(2)得到的组合超椭球模型应用于离散单元仿真, 模拟工业过程中的颗粒系统, 得到仿真结果。本发明提供的仿真分析方法解决了因为颗粒模型的构建与真实颗粒不符的问题, 而导致的仿真结果的不准确; 提升了颗粒系统的仿真结果的真实性, 满足了实际仿真的需要; 将仿真结果应用于实际工业过程, 提高了生产效率。

LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX,
MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,
PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区
保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM,
AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG,
CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT,
RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

基于组合超椭球模型的颗粒系统的仿真分析方法

技术领域

本发明涉及颗粒系统领域，尤其涉及基于组合超椭球模型的颗粒系统的仿真分析方法。

背景技术

自然界存在着大量的颗粒材料，获取颗粒运动的规律，对于改善许多工业过程具有重要意义。离散单元法是研究颗粒系统的较为主要的仿真手段，其中，颗粒模型的精确程度对于仿真结果具有较大的影响。球形颗粒建模较为简单，而对于一些非球形颗粒，目前采用的颗粒模型主要有超椭球模型、组合球模型、多面体模型等。

而对于以上颗粒模型，均存在一定的缺点和不足：

组合球模型是通过组合球形颗粒来实现复杂颗粒的构建，多面体模型则是通过不同面的拼接来实现复杂颗粒的构建。从理论上来说，组合球模型和多面体模型可以构建出任何形状的颗粒，但组合球模型和多面体模型的颗粒精度不高，得到的颗粒模型与真实颗粒相比存在一定的差距，从而影响仿真结果的真实性。超椭球模型可以精确的构建一些非球形颗粒，例如柱状颗粒、盘状颗粒、椭球颗粒等。但对于一些形状较为复杂的非球形颗粒，通过超椭球模型是无法得到的。

工业产品和工业过程中经常涉及到颗粒系统，如粉体制备装置、散体处理装置、土方机械、颗粒与流体、颗粒与结构等产品或领域。具体地，如旋转滚筒、药物包衣和颗粒填充等工业生产过程。

旋转滚筒广泛应用于许多加工行业，例如食品，制药，化学和陶瓷加工业等，涉及到的工业过程包括混合、加热、冷却和干燥等，在这些工业工程中都存在颗粒系统的运动。

对药品进行包衣的工厂车间，要对所选择的工艺参数进行监测控制以获得所期望的最终产品的质量。这些工艺参数通常是全局性的，并且可能包括如包衣容器的压力、供应包衣容器的气体和包衣液的流速和温度等。然而，这种全局性工艺参数对包衣过程的影响，以及最终对最终产品的包衣性能的影响，只能在特定车间中从经验中知道。这样，对于每一个具体的车间要通过大量的试验来开发加工方案。例如，在扩大工艺规模过程中当包衣容器的尺寸或形状变化时，颗粒的局部环境可能被改变。为了重新得到最终产品的相同包衣性能这就要求耗时的测量和调整。

而很多药品具有不规则形状，为复杂的非球形颗粒，而现有技术构建的药物颗粒模型往往不能完全符合药物颗粒的实际形状，进而造成药物包衣过程的仿真结果与真实性相差甚远，将仿真结果应用于药物包衣生产过程控制，会出现较大的偏差，降低生产效率。

发明内容

本发明的目的在于提供基于组合超椭球模型的颗粒系统的仿真分析方法，解决了因为颗粒模型的构建与真实颗粒不符的问题，而导致的仿真结果的不准确；提升了对颗粒系统的仿真结果的真实性，满足了实际仿真的需要；将仿真结果应用于实际工业过程，提高了生产效率。

基于组合超椭球模型的颗粒系统的仿真分析方法，包括以下步骤：

(1) 根据真实颗粒的尺寸和形状，确定构成颗粒的子超椭球的形状、尺寸和个数；

(2) 通过超椭球模型构建子超椭球，再根据真实颗粒的尺寸赋予子超椭球颗粒模型不同的坐标位置，组合子超椭球，构成颗粒的组合超椭球模型；

(3) 将步骤(2)得到的组合超椭球模型应用于离散单元仿真，模拟工业过程中的颗粒系统，得到仿真结果。

根据步骤(3)得到的仿真结果可以对对应的真实工业过程进行控制。

在步骤(1)中，真实颗粒的构建。首先通过观察或扫描等手段，得到颗粒的真实形状，对于形状不规则的颗粒，可根据得到的颗粒真实形状，在内部进行子颗粒的填充，同时需根据颗粒的表面形状，在颗粒表面填充相应的超椭球颗粒，以尽可能真实的构建出颗粒表面形状。同时，在满足一定的颗粒模型精度的条件下，需要尽可能减少子颗粒的数量。

在步骤(1)中，所述的颗粒为胶囊颗粒，构成颗粒的子超椭球为两个球体和一个圆柱。

在步骤（1）中，所述的颗粒为两面凸出的圆柱状颗粒，构成颗粒的子超椭球为两个椭球和一个圆柱。

在步骤（1）中，所述的颗粒为两面凸出的类椭圆柱状颗粒，构成颗粒的子超椭球为四个球体、两个圆柱体以及一个类椭圆柱体。

在步骤（1）中，所述的颗粒为两面凸出的椭圆柱状颗粒，构成颗粒的子超椭球为两个椭球体和一个椭圆柱体。

在步骤（2）中，所述的超椭球模型（又称超二次曲面）基本方程的一种形式为：

$$F(x, y, z) = \left(\left| \frac{x}{a} \right|^{s_1} + \left| \frac{y}{b} \right|^{s_2} \right)^{\frac{s_1}{s_2}} + \left| \frac{z}{c} \right|^{s_1} - 1 = 0$$

其中 a、b、c 分别为颗粒的三个半长轴的长度， s_1 、 s_2 为形状指数，决定颗粒边缘的曲率。

在步骤（4）中，颗粒系统中的颗粒选自胶囊颗粒、两面凸出的圆柱状颗粒或两面凸出的类椭圆柱状颗粒中的一种或至少两种的组合。

本发明提供的仿真分析方法中的颗粒不仅仅局限于上述形状，通过本发明提供的仿真分析方法可以构建任何形状的非球形颗粒的组合超椭球模型。

本发明提供的组合超椭球模型中，某一子超椭球不会完全包覆另一个子超椭球。

在步骤（3）中，所述的离散单元仿真过程中会出现颗粒之间相互接

触的情况，离散单元法中判断组合超椭球颗粒之间的接触是通过检测每一个子球颗粒与其他颗粒是否接触来判断的。

离散单元法以每一个颗粒为计算对象，颗粒系统的模拟需要对颗粒位移增量与接触力增量进行循环计算。通过求解某一颗粒与其他颗粒或边界的接触力，利用牛顿第二定律来计算该颗粒的运动速度和位移，而在计算该颗粒与其他颗粒的接触作用力前，首先应确定与该颗粒接触的颗粒或边界。这个过程称为接触判断。

在步骤（3）中，所述的离散单元仿真中，不考虑组合超椭球颗粒中的子超椭球间的相互作用，组合超椭球颗粒不会产生变形。

在步骤（3）中，所述的工业过程为药物包衣过程，仿真结果为一定时间内不同包衣质量的颗粒个数。

在步骤（3）中，所述的工业过程为颗粒填充，仿真结果为一定时间内颗粒在容器内的填充高度。

在步骤（3）中，所述的工业过程为旋转滚筒，仿真结果为颗粒的表面床层形状。

本发明提供的仿真分析方法不局限于上述工业过程。

本发明提供的仿真分析方法通过组合超椭球模型构建了药物颗粒模型，更接近真实的药物颗粒，再将构建的药物颗粒模型应用于药物包衣过程中的仿真，可以得到更加准确和真实的包衣效果，根据包衣效果对包衣生产过程进行控制，从而在实际包衣过程中得到更佳的包衣效果。如，药

物包衣过程中涉及的包衣锅的角度和转速：在仿真中改变包衣锅的角度和转速，可以获得包衣锅转速及角度对药物的包衣效果的影响，进而可以将包衣效果最好所对应的包衣锅转速及角度应用于实际药物包衣过程中，实现对药物包衣过程的控制。

本发明所述的离散单元仿真又称为离散元素法。

与现有技术相比，本发明的有益效果体现在：

本发明通过观察或扫描得到真实的颗粒形状后，使用组合超椭球模型，可以精准的复现颗粒形状，同时相对组合球模型而言，需要的子颗粒个数更少。

本发明通过给予不同的子超椭球不同的坐标位置和大小，将多个子超椭球进行组合，构成形状较为复杂，颗粒模型精度较高的非球形颗粒，从而实现了形状较为复杂的颗粒的精确建模，解决了组合球模型、多面体模型在构建一些非球形颗粒时精度不够的问题；再将得到的组合超椭球模型用于离散单元仿真中，提高了对颗粒系统的仿真结果真实性，对实际的工业生产过程更具有指导意义，有利于提高生产效率。

附图说明

图 1 为基于组合超椭球模型的仿真分析方法的流程图；

图 2 为不同参数下的子超椭球模型；

图 3 为实施例 1 中组合超椭球模型的子超椭球的结构示意图；

图 4 为实施例 2 组合超椭球模型的子超椭球的结构示意图；

图 5 为实施例 3 组合超椭球模型的子超椭球的结构示意图；

图 6 为实施例 4 组合超椭球模型的子超椭球的结构示意图；

图 7 为实施例 2 中药物包衣过程的设备示意图；

图 8 为实施例 2 中药物包衣过程的仿真示意图；

图 9 为实施例 2 中药物包衣过程的仿真结果；

图 10 为实施例 5 中颗粒填充过程中的仿真结果；

图 11 为实施例 6 中旋转滚筒中的仿真过程示意图；

图 12 为实施例 6 中旋转滚筒中的仿真结果。

具体实施方式

下面结合附图及实施例对本发明的发明内容进一步的阐述。

如图 1 所示，本发明提供的基于组合超椭球模型的仿真分析方法，包括以下步骤：

(1) 根据真实颗粒的尺寸和形状，确定构成颗粒的子超椭球的形状、尺寸和个数。

(2) 通过超椭球模型构建子超椭球，再根据真实颗粒的尺寸赋予子超椭球颗粒模型不同的坐标位置，组合子超椭球，构成颗粒的组合超椭球模型。

超椭球模型（又称超二次曲面）基本方程的一种形式为：

$$F(x, y, z) = \left(\left| \frac{x}{a} \right|^{s_1} + \left| \frac{y}{b} \right|^{s_2} \right)^{\frac{s_1}{s_2}} + \left| \frac{z}{c} \right|^{s_1} - 1 = 0$$

其中 a 、 b 、 c 分别为颗粒的三个半长轴的长度， s_1 、 s_2 为形状指数，决定颗粒边缘的曲率。随着形状指数 s_1 、 s_2 的增大，颗粒边缘的锐利程度也不断增大。如图 2 所示，通过改变参数，可以得到多种精度较高的非球形颗粒，例如球形颗粒、柱状颗粒、椭球颗粒等。

(3) 将步骤 (2) 得到的组合超椭球模型应用于离散单元仿真，模拟工业过程中的颗粒系统，得到仿真结果。

实施例 1

颗粒系统中的颗粒为药物颗粒，形状为胶囊颗粒。

(1) 根据真实颗粒的尺寸和形状，确定构成颗粒的子超椭球的形状、尺寸和个数。

对于真实的胶囊状颗粒，如图 3 所示，通过测量真实颗粒的大小，可以得到颗粒的尺寸数据，总长 12mm，两侧球体直径为 4mm；根据测得的数据，构建所需的所有子超椭球颗粒模型，胶囊颗粒所需的是两个球体以及一个圆柱颗粒，球体直径为 4mm，圆柱颗粒直径为 4mm，高度为 8mm。

(2) 通过超椭球模型构建子超椭球，再根据真实颗粒的尺寸赋予子超椭球颗粒模型不同的坐标位置，组合子超椭球，构成颗粒的组合超椭球模型。

构建过程如图 3 所示，根据超椭球模型颗粒公式，对于球形颗粒， $a=b=c=2$ ， $s_1=s_2=2$ ，对于圆柱颗粒， $a=b=2$ ， $c=4$ ， $s_1=20$ ， $s_2=2$ ，构建得到子超椭球颗粒模型。

圆柱颗粒的中心坐标为 $(0,0,0)$ ，两个球体颗粒的球心坐标分别为 $(0,0,4)$ 和 $(0,0,-4)$ ，经过三个子超椭球颗粒模型的组合，构成真实的胶囊状颗粒。

(3) 将步骤 (2) 得到的组合超椭球模型应用于离散单元仿真，模拟工业过程中的颗粒系统，得到仿真结果。

利用组合超椭球模型得到的仿真结果，比利用组合球模型得到的仿真结果，与实际数据更为接近。

实施例 2

如实施例 1 提供的药物颗粒，本实施例中的药物颗粒为两面凸出的圆柱状颗粒。

如图 4 所示，通过测量真实颗粒的大小，可以得到颗粒的尺寸数据，直径为 8mm，高为 4mm，其中圆柱段高度为 2mm；根据测得的数据，构建所需的所有子超椭球颗粒模型，该颗粒所需的是两个椭球颗粒和一个圆柱颗粒，根据超椭球模型颗粒公式，对于椭球颗粒， $a=b=4$ ， $c=1$ ， $s_1=s_2=2$ ，对于圆柱颗粒， $a=b=4$ ， $c=1$ ， $s_1=20$ ， $s_2=2$ ；将得到的所有子超椭球颗粒进行组合，圆柱颗粒的中心坐标为 $(0,0,0)$ ，两个椭球体颗粒的球心坐标分

别为 $(0,0,1)$ 和 $(0,0,-1)$ ，经过三个子超椭球颗粒模型的组合，可以得到真实的两面凸出的圆柱状颗粒。

将得到的组合超椭球模型应用于离散单元仿真，模拟药物包衣过程中的颗粒系统，得到仿真结果。

具体地，基于组合超椭球模型，对图 4 所示的药片颗粒的包衣过程的仿真。图 7 为药物包衣过程的实验设备；图 8 为相同情况下进行的相应的仿真过程，具体为在包衣过程中，某一时刻下药物颗粒的包衣质量的分布情况；图 9 为不同包衣质量所对应的颗粒数量的曲线。从图 9 可以看出，利用组合超椭球模型得到的仿真结果，比利用组合球模型得到的仿真结果，与实际数据更为接近。

实施例 3

如实施例 2 所示，本实施例中的药物颗粒为两面凸出的椭圆柱状颗粒：如图 5 所示，利用两个椭球体加上一个椭圆柱体可以组合成一种两面凸出的椭圆柱状颗粒。利用组合超椭球模型得到的仿真结果，比利用组合球模型得到的仿真结果，与实际数据更为接近。

实施例 4

如实施例 2 所示，本实施例中的药物颗粒为两面凸出的类椭圆柱状颗粒，如图 6 所示，利用四个球体，两个圆柱体，加上一个类椭圆柱体可以

组合成一种两面凸出的类椭圆柱状颗粒。利用组合超椭球模型得到的仿真结果，比利用组合球模型得到的仿真结果，与实际数据更为接近。

实施例 1-4 为用本发明提供的仿真分析方法对药物包衣过程中的颗粒系统进行模拟仿真。药物包衣过程，药物包衣在控制药物的释放速率，改善药物的外观等方面具有重要意义。通过仿真，可以得到在一定时间内，不同包衣质量的颗粒个数，进而得到包衣效果的好坏，同时若改变包衣锅的角度和转速，也可以获得包衣锅转速及角度对包衣效果的影响，对于改善真实的药物包衣过程具有指导意义。

实施例 5

将仿真结果应用于颗粒填充过程。

在绝大多数的颗粒系统中，在进行具体的操作前，都需要将颗粒进行填充。分别利用组合超椭球模型和组合球模型，对图 4 所示颗粒的填充过程进行研究，并与实际数据进行对比。图 10 所示为不同的填充情况，从左到右，分别是实验结果，组合超椭球仿真结果，以及两种不同精度的组合球仿真结果，从结果中可以看出，在相同大小的容器内填充相同数量的颗粒，利用组合超椭球模型得到的颗粒填充高度更接近于真实的颗粒填充高度。

实施例 6

旋转滚筒广泛应用于许多加工行业，例如食品，制药，化学和陶瓷加工业等，涉及到的工业过程包括混合，加热，冷却，干燥等。

图 11 为关于图 4 颗粒在旋转滚筒中的床层表面形状。从图 12 可以看出，通过对比观察颗粒的床层表面形状，在两种转速下，利用组合超椭球模型的床层表面形状，要比组合球模型的，更接近实际情况，其中，a 图的转速为 15rpm，图 b 的转速为 60rpm。

权 利 要 求 书

1、基于组合超椭球模型的颗粒系统的仿真分析方法，包括以下步骤：

（1）根据真实颗粒的尺寸和形状，确定构成颗粒的子超椭球的形状、尺寸和个数；

（2）通过超椭球模型构建子超椭球，再根据真实颗粒的尺寸赋予子超椭球颗粒模型不同的坐标位置，组合子超椭球，构成颗粒的组合超椭球模型；

（3）将步骤（2）得到的组合超椭球模型应用于离散单元仿真，模拟工业过程中的颗粒系统，得到仿真结果。

2、根据权利要求 1 所述的基于组合超椭球模型的颗粒系统的仿真分析方法，其特征在于，在步骤（1）中，所述的颗粒为胶囊颗粒，构成颗粒的子超椭球为两个球体和一个圆柱。

3、根据权利要求 1 所述的基于组合超椭球模型的颗粒系统的仿真分析方法，其特征在于，在步骤（1）中，所述的颗粒为两面凸出的圆柱状颗粒，构成颗粒的子超椭球为两个椭球和一个圆柱。

4、根据权利要求 1 所述的基于组合超椭球模型的颗粒系统的仿真分析方法，其特征在于，在步骤（1）中，所述的颗粒为两面凸出的类圆柱状颗粒，构成颗粒的子超椭球为四个球体、两个圆柱体以及一个类圆柱体。

5、根据权利要求 1 所述的基于组合超椭球模型的颗粒系统的仿真分

析方法，其特征在于，在步骤（2）中，所述的超椭球模型的基本方程为：

$$F(x, y, z) = \left(\left| \frac{x}{a} \right|^{s_1} + \left| \frac{y}{b} \right|^{s_2} \right)^{\frac{s_1}{s_2}} + \left| \frac{z}{c} \right|^{s_1} - 1 = 0$$

其中 a、b、c 分别为颗粒的三个半长轴的长度， s_1 、 s_2 为形状指数，决定颗粒边缘的曲率。

6、根据权利要求 1 所述的基于组合超椭球模型的颗粒系统的仿真分析方法，其特征在于，在步骤（3）中，所述的离散单元仿真中判断组合超椭球颗粒之间的接触是通过检测每一个子超椭球与另一个颗粒是否接触来判断。

7、根据权利要求 1-6 任一权利要求所述的基于组合超椭球模型的颗粒系统的仿真分析方法，其特征在于，所述的工业过程为药物包衣过程，仿真结果为一定时间内不同包衣质量的颗粒个数。

8、根据权利要求 1-6 任一权利要求所述的基于组合超椭球模型的颗粒系统的仿真分析方法，其特征在于，所述的工业过程为颗粒填充，仿真结果为一定时间内颗粒在容器内的填充高度。

9、根据权利要求 1-6 任一权利要求所述的基于组合超椭球模型的颗粒系统的仿真分析方法，其特征在于，所述的工业过程为旋转滚筒，仿真结果为颗粒的表面床层形状。

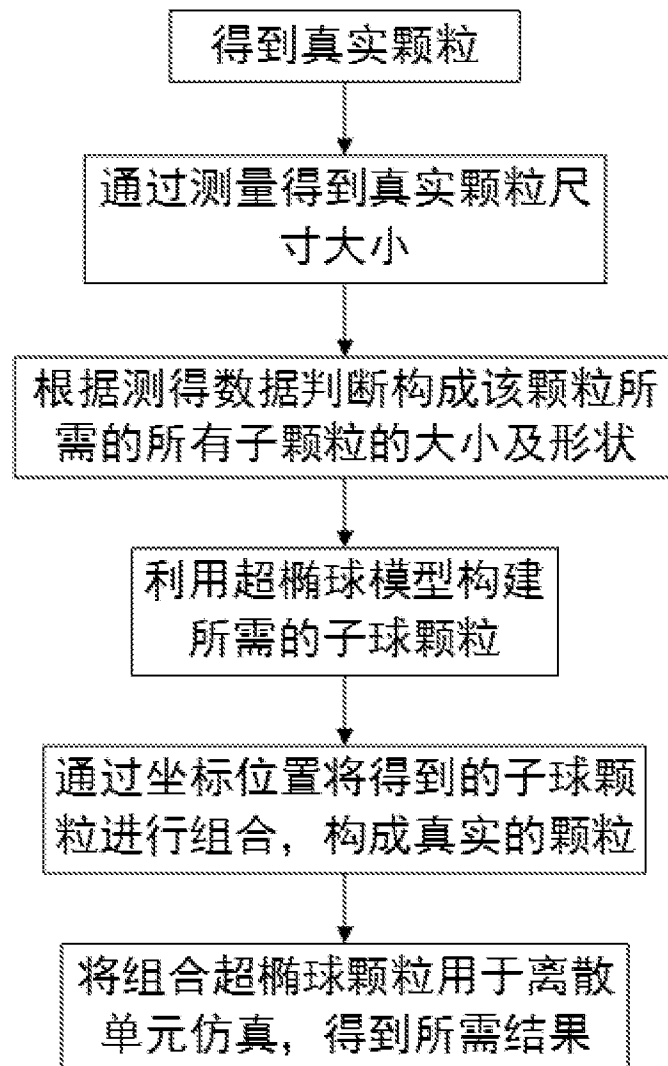


图 1

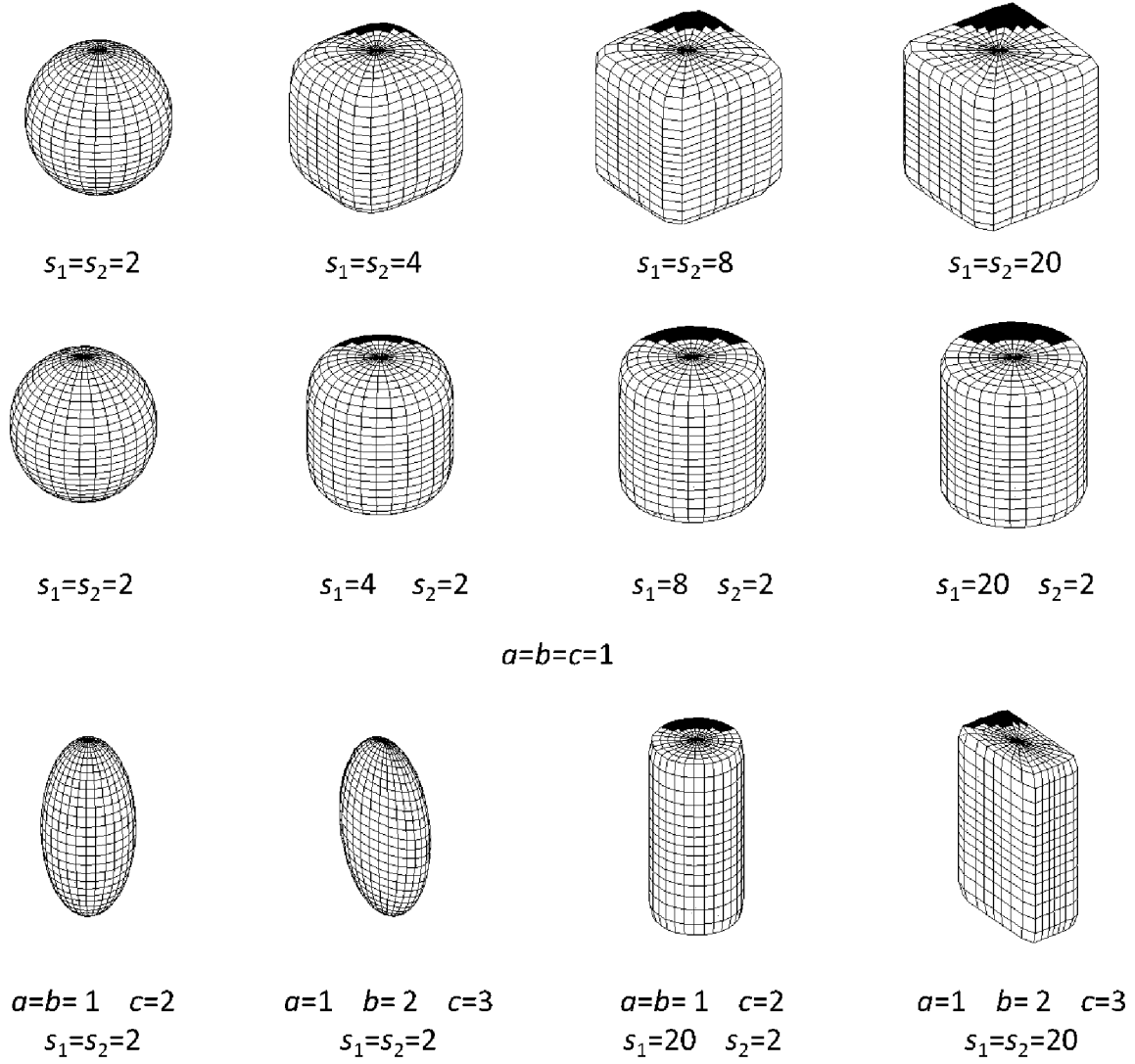


图 2

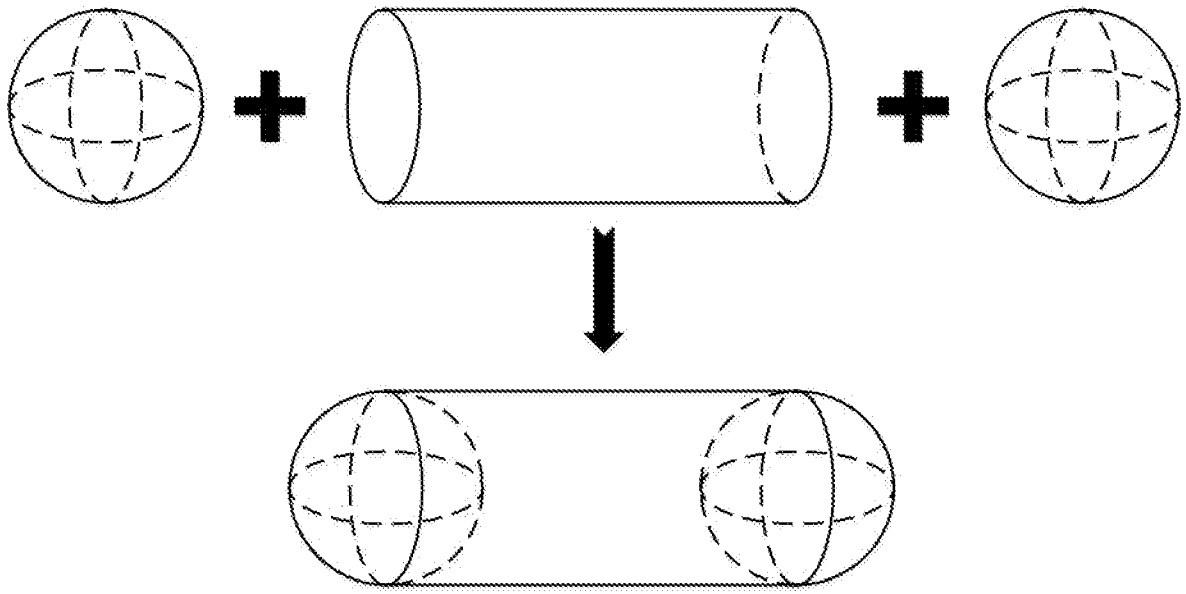


图 3

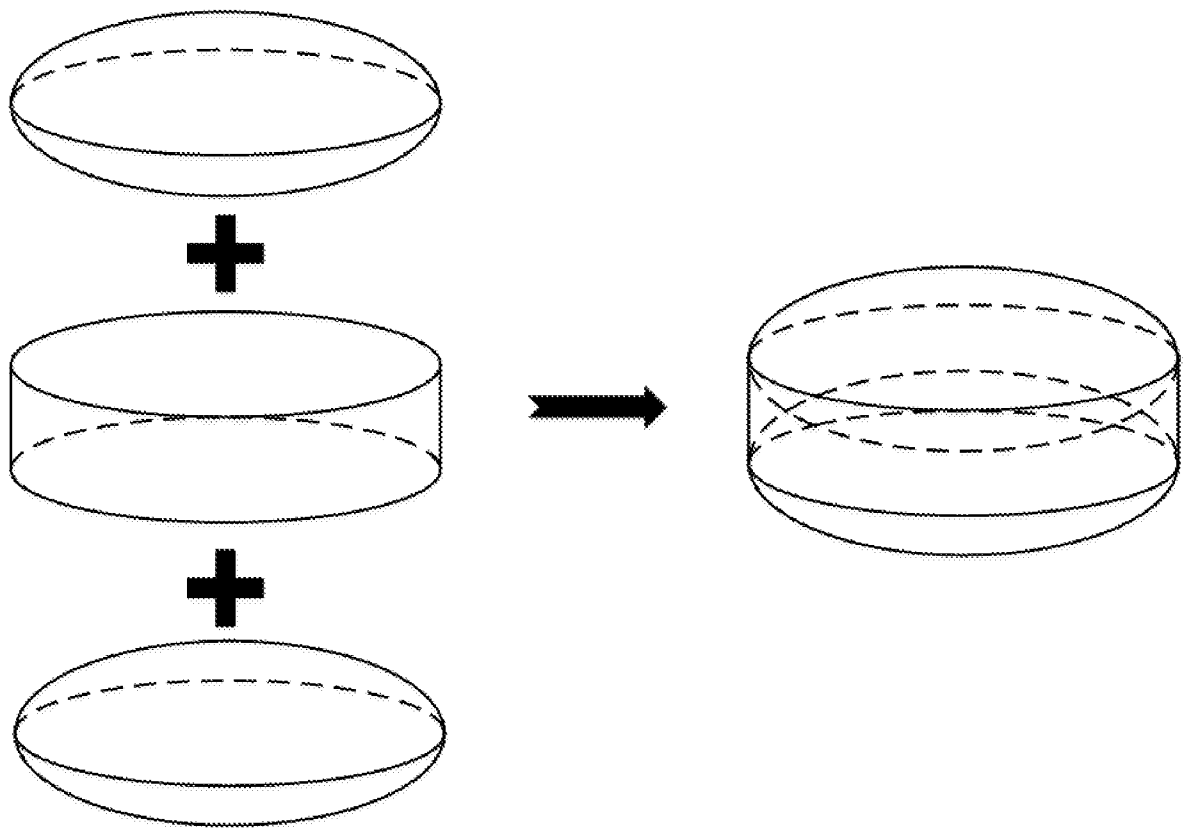


图 4

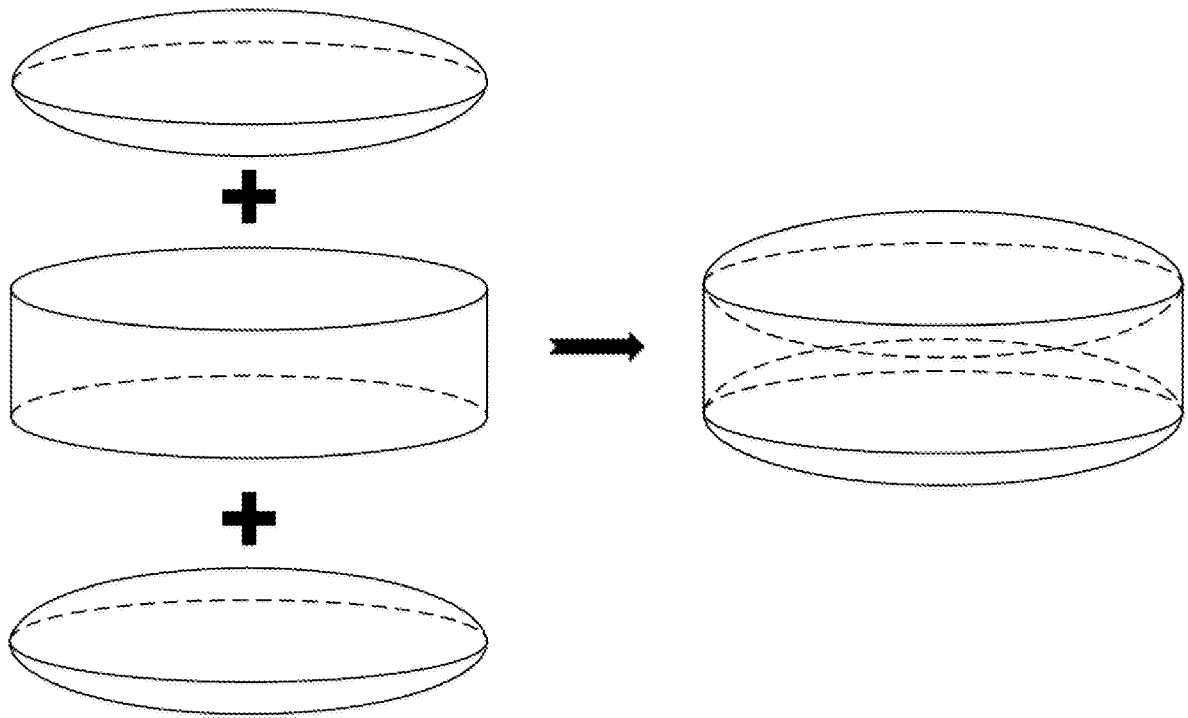


图 5

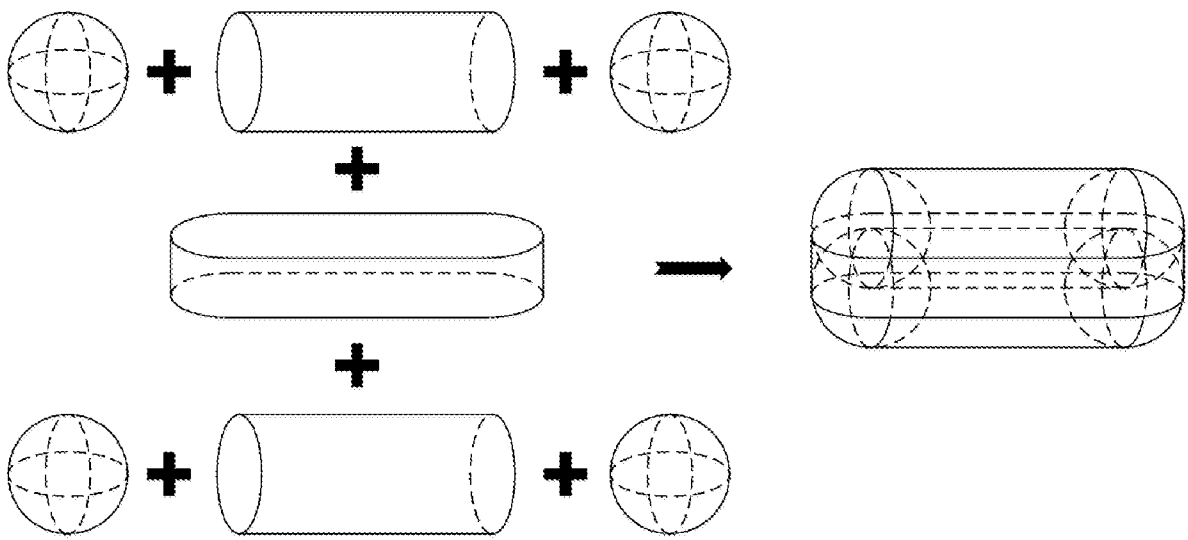


图 6

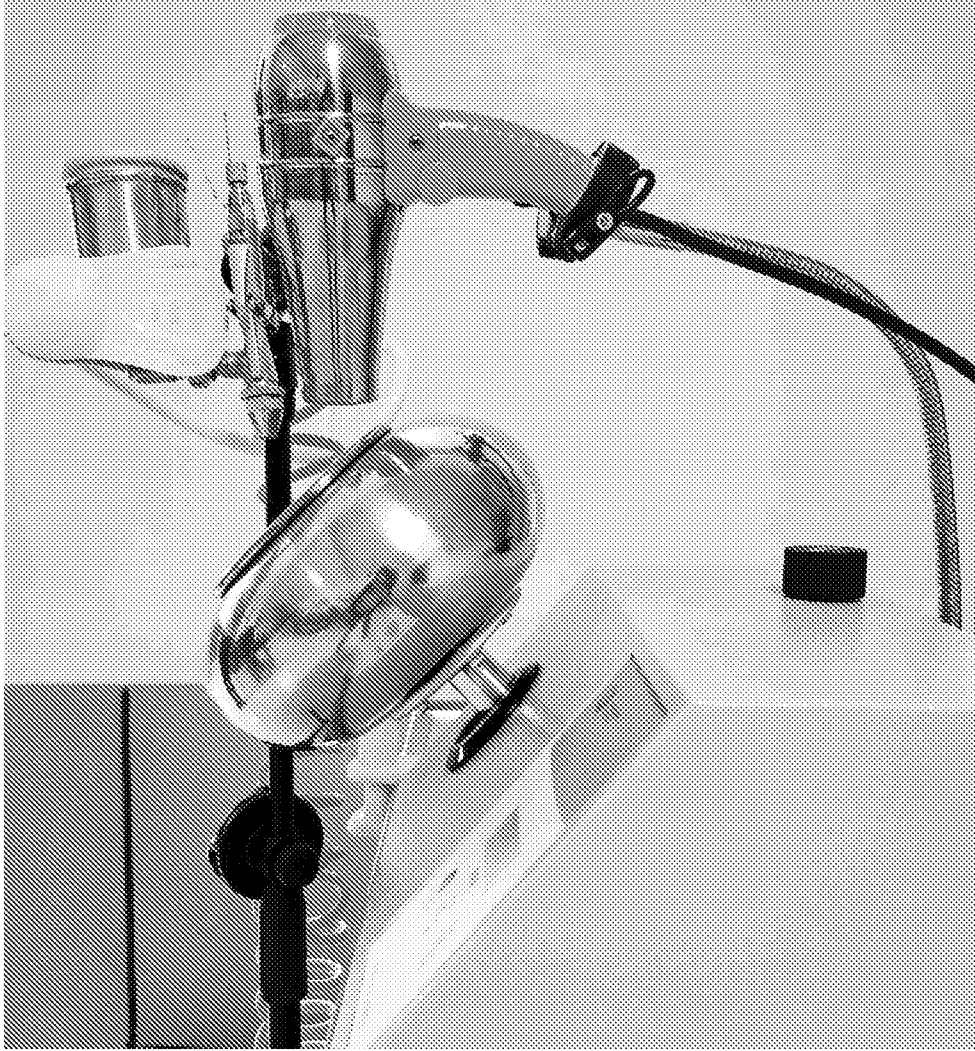


图 7

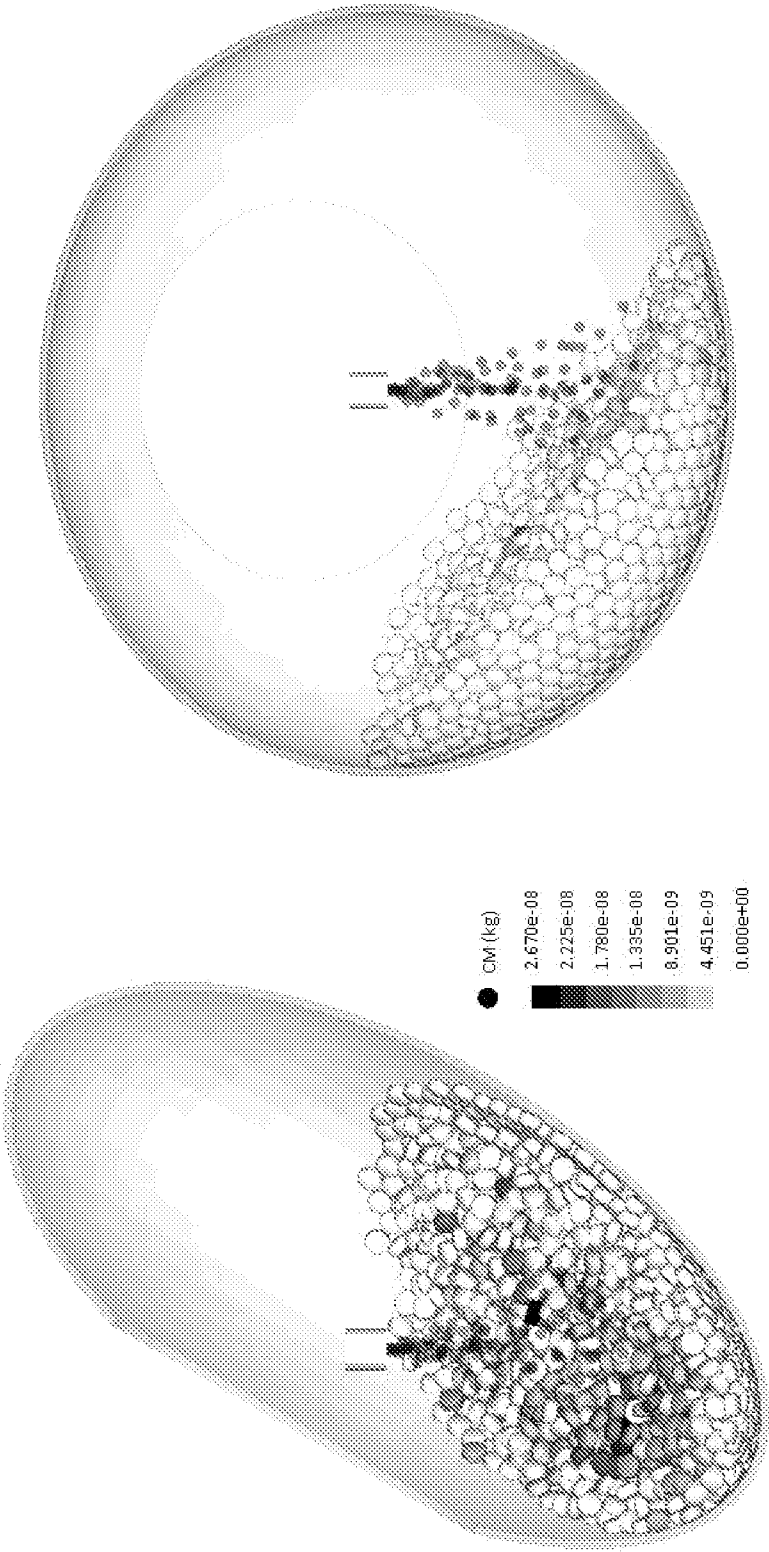


图 8

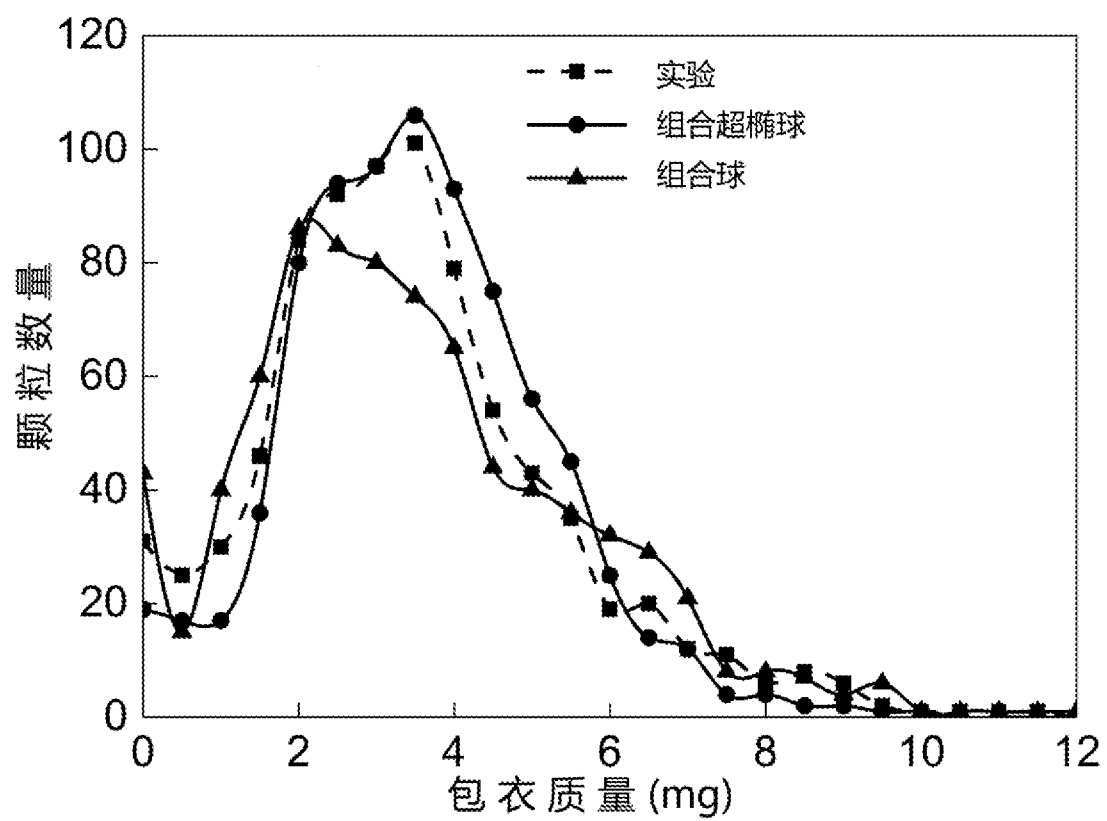


图 9

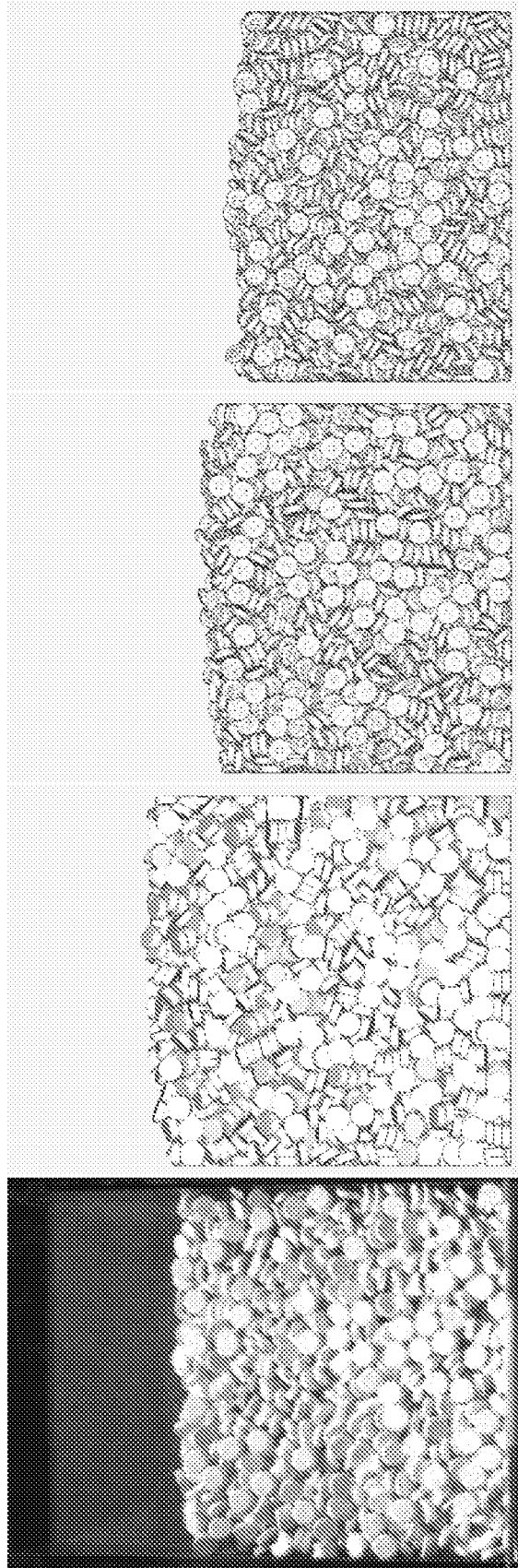


图 10

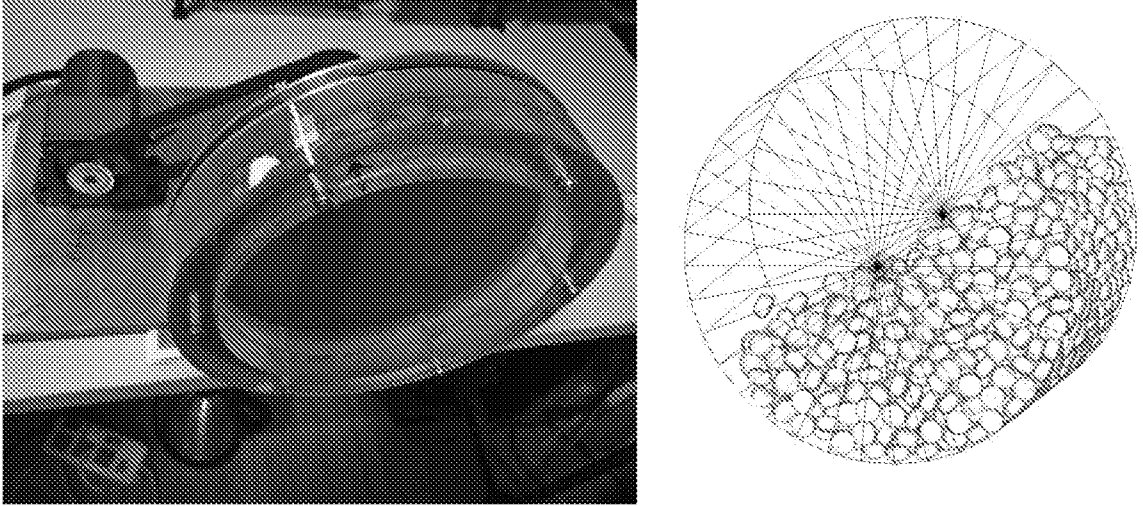


图 11

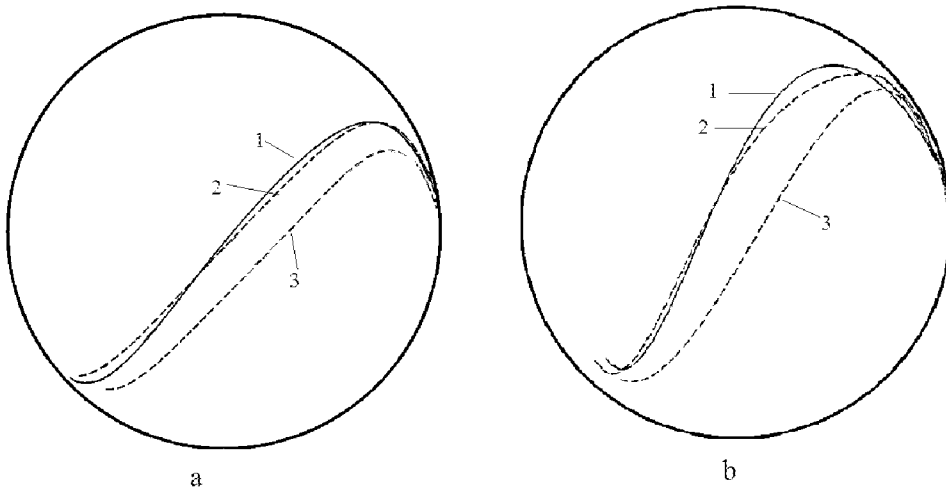


图 12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/077255

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06F 17/50(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06F; G01N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

VEN; CNABS; CNTXT; CNKI; IEEE: 超椭圆, 椭圆, 非球, 超球, 组合球, 组合, 颗粒, 离散单元, 离散元, 仿真, 模型, super ellipsoid+, ellipsoid+, multi sphere, spheroid, hypersphere, aspheric, non sphere, combined, combination, particle?, discrete element, model, simulat+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	郭敬山 (GUO, Jingshan). "组合玉米和组合超球颗粒模型的三维离散元法算法研究 (Research of Algorithm for Combination Corn and Super-ball Particles Model in 3D DEM)" 中国优秀硕士学位论文全文数据库 (China Master's Theses Full-Text Database), 30 September 2010 (2010-09-30), chapters 2-4	1-9
Y	崔泽群等 (CUI, Zequn et al.). "基于超二次曲面的非球形离散单元模型研究 (Study of Contacting Discrete Element Model Based on Superquadrics)" 计算力学学报 (Chinese Journal of Computational Mechanics), Vol. 30, No. (6), 31 December 2013 (2013-12-31), pages 854-859	1-9
A	CN 105930568 A (HOHAI UNIVERSITY ET AL.) 07 September 2016 (2016-09-07) entire document	1-9
A	CN 106290082 A (GUANGXI UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 04 January 2017 (2017-01-04) entire document	1-9



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

01 July 2019

Date of mailing of the international search report

30 July 2019

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/077255**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 108710769 A (HUBEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 26 October 2018 (2018-10-26) entire document	1-9
A	CN 103218480 A (SOUTHEAST UNIVERSITY) 24 July 2013 (2013-07-24) entire document	1-9
A	WO 2007051078 A2 (BLACKLIGHT POWER INC. ET AL.) 03 May 2007 (2007-05-03) entire document	1-9
A	JP 2015219559 A (TOYOTA MOTOR CORP.) 07 December 2015 (2015-12-07) entire document	1-9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2019/077255

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	105930568	A	07 September 2016	CN	105930568	B	14 December 2018
CN	106290082	A	04 January 2017	CN	106290082	B	15 January 2019
CN	108710769	A	26 October 2018	None			
CN	103218480	A	24 July 2013	CN	103218480	B	08 February 2017
WO	2007051078	A2	03 May 2007	WO	2007051078	A3	30 April 2009
				EP	1941415	A2	09 July 2008
				EP	1941415	A4	05 January 2011
				WO	2007053486	A2	10 May 2007
				WO	2007053486	A3	07 May 2009
JP	2015219559	A	07 December 2015	None			

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/077255

A. 主题的分类 G06F 17/50 (2006.01) i 按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类																							
B. 检索领域 检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号) G06F; G01N 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用)) VEN; CNABS; CNTXT; CNKI; IEEE: 超椭圆, 椭圆, 非球, 超球, 组合球, 组合, 颗粒, 离散单元, 离散元, 仿真, 模型, super ellipsoid+, ellipsoid+, multi sphere, spheroid, hypersphere, aspheric, non sphere, combined, combination, particle?, discrete element, model, simulat+																							
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Y</td> <td>郭敬山. "组合玉米和组合超球颗粒模型的三维离散元法算法研究" 中国优秀硕士学位论文全文数据库, 2010年 9月 30日 (2010 - 09 - 30), 第2-4章</td> <td>1-9</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>崔泽群 等. "基于超二次曲面的非球形离散单元模型研究" 计算力学学报, 第30卷, 第6期, 2013年 12月 31日 (2013 - 12 - 31), 第854-859页</td> <td>1-9</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 105930568 A (河海大学等) 2016年 9月 7日 (2016 - 09 - 07) 全文</td> <td>1-9</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 106290082 A (广西科技大学) 2017年 1月 4日 (2017 - 01 - 04) 全文</td> <td>1-9</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 108710769 A (湖北工业大学) 2018年 10月 26日 (2018 - 10 - 26) 全文</td> <td>1-9</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 103218480 A (东南大学) 2013年 7月 24日 (2013 - 07 - 24) 全文</td> <td>1-9</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	Y	郭敬山. "组合玉米和组合超球颗粒模型的三维离散元法算法研究" 中国优秀硕士学位论文全文数据库, 2010年 9月 30日 (2010 - 09 - 30), 第2-4章	1-9	Y	崔泽群 等. "基于超二次曲面的非球形离散单元模型研究" 计算力学学报, 第30卷, 第6期, 2013年 12月 31日 (2013 - 12 - 31), 第854-859页	1-9	A	CN 105930568 A (河海大学等) 2016年 9月 7日 (2016 - 09 - 07) 全文	1-9	A	CN 106290082 A (广西科技大学) 2017年 1月 4日 (2017 - 01 - 04) 全文	1-9	A	CN 108710769 A (湖北工业大学) 2018年 10月 26日 (2018 - 10 - 26) 全文	1-9	A	CN 103218480 A (东南大学) 2013年 7月 24日 (2013 - 07 - 24) 全文	1-9
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																					
Y	郭敬山. "组合玉米和组合超球颗粒模型的三维离散元法算法研究" 中国优秀硕士学位论文全文数据库, 2010年 9月 30日 (2010 - 09 - 30), 第2-4章	1-9																					
Y	崔泽群 等. "基于超二次曲面的非球形离散单元模型研究" 计算力学学报, 第30卷, 第6期, 2013年 12月 31日 (2013 - 12 - 31), 第854-859页	1-9																					
A	CN 105930568 A (河海大学等) 2016年 9月 7日 (2016 - 09 - 07) 全文	1-9																					
A	CN 106290082 A (广西科技大学) 2017年 1月 4日 (2017 - 01 - 04) 全文	1-9																					
A	CN 108710769 A (湖北工业大学) 2018年 10月 26日 (2018 - 10 - 26) 全文	1-9																					
A	CN 103218480 A (东南大学) 2013年 7月 24日 (2013 - 07 - 24) 全文	1-9																					
☒ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																							
<table border="0"> <tr> <td> * 引用文件的具体类型: "A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 "E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 "L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) "O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 "P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 </td> <td> "T" 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 "X" 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 "Y" 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 "&" 同族专利的文件 </td> </tr> </table>			* 引用文件的具体类型: "A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 "E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 "L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) "O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 "P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件	"T" 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 "X" 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 "Y" 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 "&" 同族专利的文件																			
* 引用文件的具体类型: "A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 "E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 "L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) "O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 "P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件	"T" 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 "X" 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 "Y" 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 "&" 同族专利的文件																						
国际检索实际完成的日期		国际检索报告邮寄日期																					
2019年 7月 1日		2019年 7月 30日																					
ISA/CN的名称和邮寄地址		受权官员																					
中国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		徐琳																					
		电话号码 (86-10)62089885																					

C. 相关文件		
类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	WO 2007051078 A2 (BLACKLIGHT POWER INC等) 2007年 5月 3日 (2007 - 05 - 03) 全文	1-9
A	JP 2015219559 A (TOYOTA MOTOR CORP) 2015年 12月 7日 (2015 - 12 - 07) 全文	1-9

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/077255

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	105930568	A	2016年 9月 7日	CN	105930568 B 2018年 12月 14日
CN	106290082	A	2017年 1月 4日	CN	106290082 B 2019年 1月 15日
CN	108710769	A	2018年 10月 26日	无	
CN	103218480	A	2013年 7月 24日	CN	103218480 B 2017年 2月 8日
WO	2007051078	A2	2007年 5月 3日	WO	2007051078 A3 2009年 4月 30日
				EP	1941415 A2 2008年 7月 9日
				EP	1941415 A4 2011年 1月 5日
				WO	2007053486 A2 2007年 5月 10日
				WO	2007053486 A3 2009年 5月 7日
JP	2015219559	A	2015年 12月 7日	无	