

基于SolidWorks Simulation软件的旋压式制粒机的结构设计 with 有限元分析

尹帅帅, 石更强, 孙旭阳, 李战伟
上海理工大学医疗器械与食品学院, 上海 200093

【摘要】通过总结其它制粒机的优点与不足, 再加上市场的需要, 设计了一款螺杆式旋压刀制粒机。先对该制粒机进行结构设计, 然后利用Simulation里的有限元分析对旋压式制粒机的尺寸装配、旋压刀材料的选择、筛网的应力分布等进行分析, 对各个部件进行尺寸优化, 得到一个可以进行实际生产的制粒机。该制粒机零件之间的连接与配合, 采用的是卯榫结构, 极大地方便了零件拆装。以“拆装、清洗和使用方便, 降低零件拆卸带来的磨损, 可模块化生产, 利用率高”的原则设计了此结构, 为今后旋压式制粒机的优化设计提供了参考。

【关键词】SolidWorks; Simulation; 旋压式制粒机; 结构设计; 有限元分析

【中图分类号】R318

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2021)02-0222-06

Structural design and finite element analysis of spinning granulator based on SolidWorks Simulation software

YIN Shuaishuai, SHI Gengqiang, SUN Xuyang, LI Zhanwei

School of Medical Instrument and Food Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China

Abstract: By summarizing the advantages and disadvantages of other granulators and analyzing market demand, a novel spinning granulator is designed by SolidWorks. After the structural design of the granulator is completed, the size assembly of the spinning granulator, the selection of spinning knife material and the stress distribution of screen mesh are analyzed by the finite element analysis of Simulation. Finally, the size optimization of each part is carried out to obtain a granulator that can be used for actual production. Mortises and tenons are used for the connection and coordination between the parts of the granulator, which greatly facilitates the disassembly. The proposed structural design is based on the principle of "easy to assemble and disassemble, clean, use, etc., reducing the wear caused by the disassembly, realizing modular production, and having high utilization rate", which provides a reference for the optimal design of spinning granulator in the future.

Keywords: SolidWorks; Simulation; spinning granulator; structural design; finite element analysis

前言

近几年来, 我国药物工业得到快速发展, 制药设备也日益完善。制药设备在加工药物的过程中发挥着不容小觑的作用^[1-2]。制粒是制药过程中一个重要环节, 制粒的好坏决定了压片的成功与否, 而制粒分为干法制粒和湿法制粒, 由于湿法制粒的优点, 多采用湿法制粒^[3]。在制粒的过程中对制粒设备的性能、

效率和清洗等方面的要求也逐渐提高, 设计一款高效率制粒机对我国医药事业的发展意义重大。

科旭 GXL-250 旋压式制粒机通过螺旋刀与筛网将中间的软材进行挤压而形成颗粒^[4]。上海天和 ZL250/300 旋压式制粒机同样采用三角刀和筛网挤压形成颗粒^[5]。这些设备大多采用六角螺栓作为紧固件, 而且数量众多, 拆装费时又费力。同时螺栓经过反复拆装后有不同程度的磨损, 或紧固于装配体内无法取出, 或太过松动, 致使无法持续使用。这些设备的筛网由多个筛片组合而成, 大大增加拆卸的难度, 筛网的组合导致颗粒的分布也不均匀。并且在实验过程中, 旋压刀和叶片之间的间距过大, 很容易造成颗粒的堆积, 无法被轻易挤出, 特别是当生产过程接近尾声时, 无法全部压出, 致使产量减少^[6-7]。

【收稿日期】2020-09-02

【基金项目】国家自然科学基金(51475308)

【作者简介】尹帅帅, 硕士, 研究方向: 生物力学和精密医疗器械, E-mail: 1139907769@qq.com

【通信作者】石更强, 硕士, 硕士生导师, E-mail: gengersgq@163.com

针对这些缺点, 希望可以设计一款制粒机, 制粒机零件之间的连接少用甚至不用紧固件, 筛网采用整箱式, 尽量减少筛网和螺旋刀之间的距离, 这样可以大大减少零件之间的摩擦, 方便零件的拆卸与清洗, 减少物料的堆积, 加大生产效率。

本文采用SolidWorks对制粒机进行了新的结构设计, 采用旋转挤压成型技术(又称环模制粒技术), 将粉体物料经旋转辊轧制备成颗粒产品, 具有生产效率高和产品质量稳定等优点^[8]。并且设计的一箱式筛网方便拆除与清洗, 旋转送料机构保证及时将产生的颗粒排出。Simulation插件进行静应力分析等仿真实验, 探究新结构的可行性, 对结构设计进行尺寸和材料的优化与改进, 使其可进行实际生产。设计的制粒机大大增加了制粒的效率, 减少了零件之间的磨损, 使设备的拆卸和清洗更加简化方便, 并且未来可进行实体生产与应用。

1 结构设计

本文在设计初期, 为了提高制粒的生产效率, 仍然采用的是三瓣式旋压刀, 旋压刀呈扇形, 将多个旋压刀进行累积, 通过与直桶式筛网的挤压生产颗粒。这种设计只考虑了生产效率和拆装的方便, 保留了传统三瓣式旋压刀, 依然存在停止进料后, 物料旋压不彻底的情况, 并且多个旋压刀导致马达负重增加, 耗能增加, 产生了大量的热量, 影响物料物性。鉴于此设计了倒锥形的旋压刀, 截面呈螺旋形, 与锥形筛网搭配, 不仅提高了生产效率, 而且避免了物料在底部堆积, 进来的物料会及时随着螺旋刀传送到底部, 这种创新的设计, 极大的丰富了现在市场螺旋刀的形状。

1.1 结构介绍

本文利用SolidWorks^[9]对旋压式制粒机进行了新的结构设计, 如图1所示。

物料传送平台①: 为了解决物料自动传输而不需要手动收集的问题, 设计了转动底盘加上固定挡板, 它是侧面为45°的圆台, 与挡板②和支架③配合使用, 当来自筛网的颗粒从物料传送平台掉入到底部后, 挡板和物料传送平台一起旋转, 将整个圆周的颗粒进行传送, 通过底部支架的开口送出。

为了消除取消紧固件而带来的装配体整体不稳定情况, 借鉴了榫卯的插销结构, 特别设计了底座④, 带有4个支架凹槽, 一个圆柱壁凹槽, 所有插销槽深度均为5 cm。考虑到不采用紧固件的条件下, 仅采用插销固定, 筛网的强度不足以支撑上部进料口重力以及物料的挤压力, 故在基础方案设计时, 添加了4组支架⑧, 支架面弧度为30°, 4组支架等角度分布在底座④上, 采

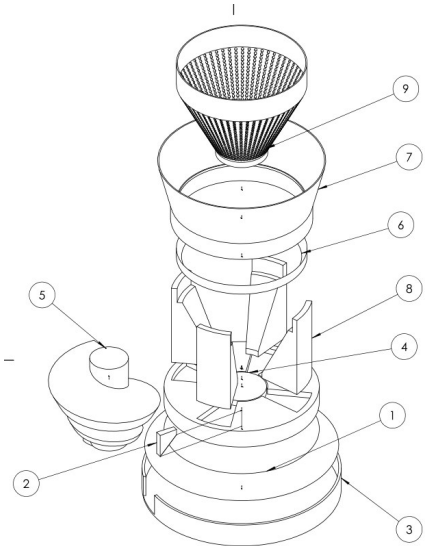


图1 结构图

Fig.1 Structure of spinning granulator

- ① 物料传送圆台, ② 物料挡板, ③ 底部支架, ④ 插销式固定底座, ⑤ 螺杆式旋压刀, ⑥ 环形加固版, ⑦ 进料漏斗罩, ⑧ 支架, ⑨ 一体式筛网

用插销式固定, 固定深度为5 cm。支架最上方为半径5 cm圆柱壁, 用于支撑进料漏斗罩⑦。一体式筛网⑨, 中间为带锥度圆台状筛网, 筛网的目数可以调节, 下半部分为半径5 cm的圆柱, 壁厚0.9 cm用于插入底座凹槽内, 便于固定; 上半部分为半径20 cm的圆柱, 壁厚0.9 cm, 用于承接固定进料斗。

综合考虑, 设计进料斗为圆台状, 口径较大, 便于湿物料倒入, 且上部为斜面, 可将倒入的物料直接导入到筛网内, 圆柱面与支架相配合, 用于承载大量重力, 中部圆环与筛网相配合, 使进料斗能够固定在装配体上, 不仅起到承重的作用而且还可以固定进料口的位置。螺杆式旋压刀⑤, 是本设计的核心, 也是区别于一般制粒机的最关键的地方, 通过设计成螺旋状, 增大了制粒的面积, 提高了效率, 随着中间的旋转轴一起旋转, 与筛网进行挤压制粒。通过改进设计, 增大中间的旋转轴, 增大坡面角度, 使得湿物料可以更好的下落, 不在中间堆积。同时中空旋压刀既减小了离心力以及马达消耗, 使得在旋压刀中通水冷的方案成为可能, 可以保证物料的物性。环形加固版⑥放弃了四瓣插销式设计, 而采用整环设计, 锥度贴合筛网, 8 cm高的环形加固版, 更好的提供了支持力, 防止筛网变形, 并且能够起到很好的整体式作用, 保证了各部件之间的紧固牢靠作用。

1.2 装配图

本文通过对各结构的尺寸匹配, 利用SolidWorks建立了螺杆式旋压刀制粒机的装配图, 如图2所示, 用此图可以指导后期的实际生产。

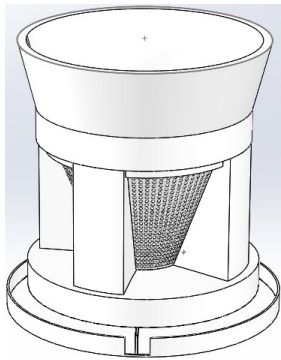


图2 装配图
Fig.2 Assembly

2 有限元分析

上述设计了螺杆式旋压刀制粒机的结构图,部分材料采用铁或钢即可,但是旋压刀和筛网在运转时,由于对中间物料的挤压,会导致筛网受到较大的力而破碎,螺旋刀材料的刚度不够,也会导致截面的变形,如果采用散热不良的材料,产生的热量不能及时传出,将会使一些热敏性物料发生变性。支架等负重较大或者受力较大的地方,需要特殊的材料。并且物料传送平台和筛网的生产效率还需进一步的验证,采用SolidWorks Simulation可以对各部分的受力以及模块之间的传动进行分析和优化,看是否能够达到预期的目标。通过合理设计参数,有限元分析程序可为我们找到最佳参数,从而加快研发进程。SolidWorks Simulation解决方案包括:跌落测试分析、频率分析、有限元分析、结构分析、热结构分析、振动分析、线性应力分析、塑料和橡胶零件分析、疲劳分析^[10]。

2.1 仿真实验

2.1.1 初步仿真参数 螺杆式旋压刀采用合金钢,具体参数如表 1 所示。压力参数预估设定,假设 2 kg 湿物料完全覆盖在螺杆式旋压刀刀面上,旋压刀刀面面积为 2 351 cm²,则压力为 85 Pa。离心力参数预估设定,预期转速为 50 rpm,实际转速为 5.24 rad/s。

2.1.2 初步仿真结果 节点数=49 612,单元数=32 647,自由度数=148 836。静态位移分析:在预设条件下,螺杆式旋压刀下半部分位移形变不大,但是上半部分位移形变程度明显,可能与模型材料为强度不高的合金钢有关,同时模型为实体结构,造成离心力过大,如图 3 所示。静应变分析:在预设条件下,螺杆式旋压刀应变不明显,如图 4 所示。

2.1.3 改进仿真参数 通过上述仿真可得出结论,结构设计无需特大改进,选择强度更高,更轻的材料可以解决位移过大的问题。由此笔者选择了商用纯 R50700 等级 4(SS)钛合金,参数如表 2 所示。

表 1 螺杆式旋压刀初步仿真参数
Tab.1 Preliminary simulation parameters of screw spinning tool

参数名称	数值	单位
弹性模量	2.1e+011	N/m ²
中抗剪模量	7.9e+010	N/m ²
质量密度	7700	kg/m ³
张力强度	723825600	N/m ²
屈服强度	620422000	N/m ²
热膨胀系数	1.3e-005	K
热导率	50	W/(m·K) ⁻¹
比热	460	J/(kg·K) ⁻¹

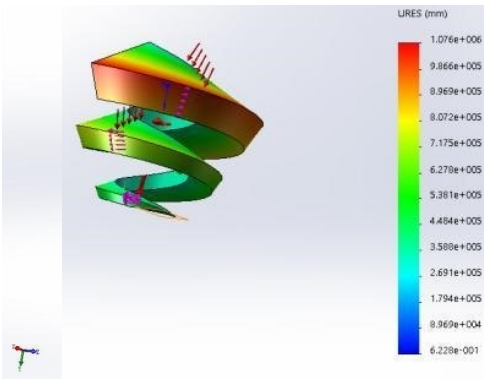


图 3 螺杆式旋压力静态位移分析
Fig.3 Static displacement analysis of spinning knife

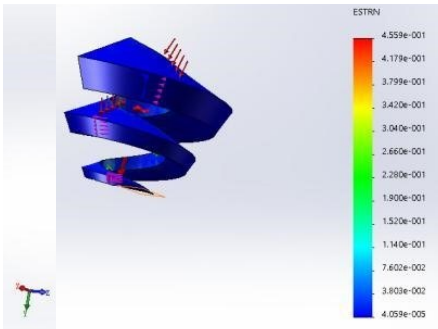


图 4 螺杆式旋压力静应变分析
Fig.4 Static strain analysis of spinning knife

2.1.4 结果对比分析 从图 5 可以看出,改进后的位移比例参数为 0.000 794 76,较改进前的 1.8709e-500 明显减小。说明改进后的旋压刀形变较小,同时,由于建模分析时采用的模型旋压刀为实体,而实际设计方案中为抽壳真空刀片,总体重量会减轻,其离心力也随之减小,形变更小,位移更小。所以通过改进螺旋刀的材料可以达到所要求。

2.2 一箱式筛网的仿真实验

筛网是整个结构中承受压力最多、最频繁的零

表 2 改进仿真参数

Tab.2 Improved simulation parameters		
参数	数值	单位
弹性模量	1.05e+011	N/m ²
中抗剪模量	4.5e+010	N/m ²
质量密度	4 510	kg/m ³
张力强度	550 000 000	N/m ²
屈服强度	500 000 000	N/m ²
热膨胀系数	9e-006	K
热导率	17.2	W/(m·K) ⁻¹
比热	530	J/(kg·K) ⁻¹

表 3 筛网参数设置

Tab.3 Parameter setting of screen mesh		
参数	数值	单位
弹性模量	1.15e+011	N/m ²
中抗剪模量	4.9e+010	N/m ²
质量密度	4 730	kg/m ³
张力强度	900 000 000	N/m ²
压缩强度	875 000 000	N/m ²
屈服强度	810 000 000	N/m ²
热膨胀系数	8.6e-006	K
热导率	10.9	W/(m·K) ⁻¹
比热	495	J/(kg·K) ⁻¹

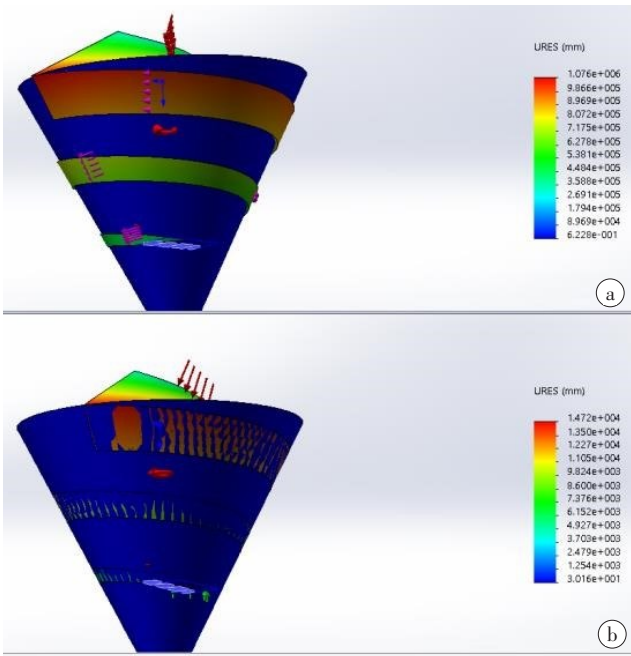


图 5 改进前(a)和改进后(b)对比图
Fig.5 Comparison of displacements before (a) and after (b) improvement

变情况较为严重,上部受力较严重,但是总体非常平均,如图 7 所示。

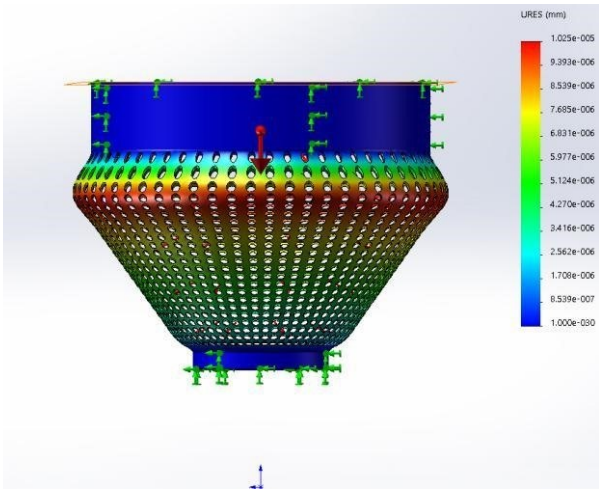


图 6 筛网静应力分析
Fig.6 Static stress analysis of screen mess

部件,他不仅要承担进料口的重力,同时还要承受螺旋刀的挤压并且还要经常更换清洗,故直接采用强度较高的材料。同时,筛网压力分布越均匀,则说明制粒效果越好。

2.2.1 参数设置 筛网材料直接选用高强度材料,选用钛 Ti-8Mn,退火材料,参数如表 3 所示。压力参数预设 100 Pa,垂直于筛网法线。筛网上部承受预设质量 1 kg,重力加速度设置为-9.81 m/s²,此为进料口的物料撞击筛网的加速度。

2.2.2 仿真结果 静应力分析:变性比例达到了 1.125e+500,主要集中在上半部分,但是可以看到,在同一经度上的压力分布还是比较均匀的,如图 6 所示。静应变分析:与位移相同,对于上半部分筛网应

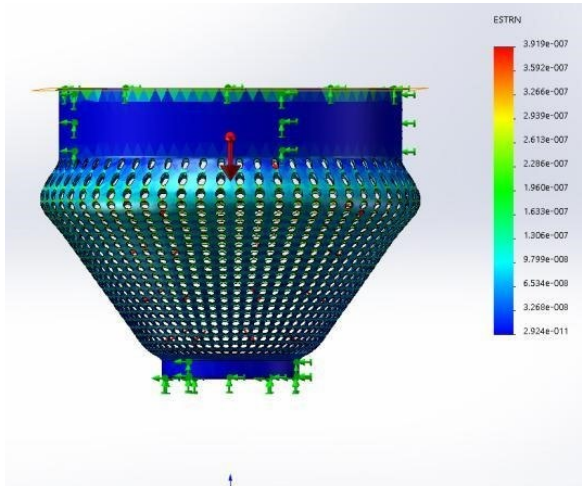


图 7 筛网静应变分析
Fig.7 Static strain analysis of screen mess

3 结构分析改进

3.1 筛网改进

由于筛网与螺杆式旋压刀相匹配,在旋压刀已经合理可行的条件下,不在外形上对筛网进行改变。采用外部紧固件加固的设计来抵消上部形变,作为妥协需要牺牲一定的产率。采用带锥度圆环,圆环依托于支架上部,秉承便于拆卸,方便清洗的原则,故采用插销结构,需要对支架进行一定程度的重构。

3.1.1 支架重构 支架上部削去 8 cm 高的实体,用于卡口环形加固版,其余部分不做改变,即上部卡口部分由 5 cm 变为 13 cm,如图 8 所示。

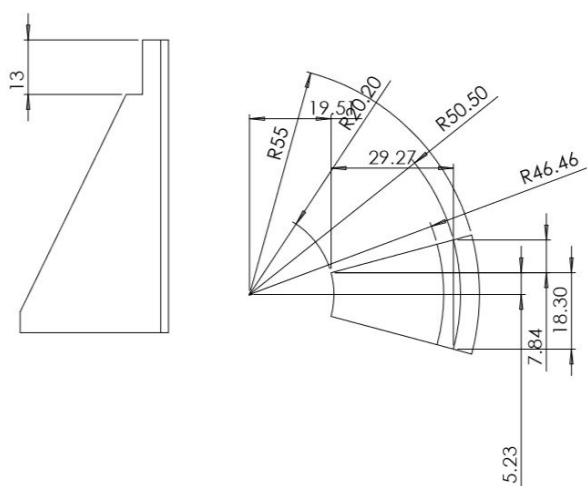


图8 改进后的支架
Fig.8 Improved bracket

3.1.2 环形加固版 环形加固版放弃四瓣插销式设计,而采用整环设计,锥度贴合筛网,8 cm 高的环形加固版,更好的提供了支持力,防止筛网形变,如图 9 所示。

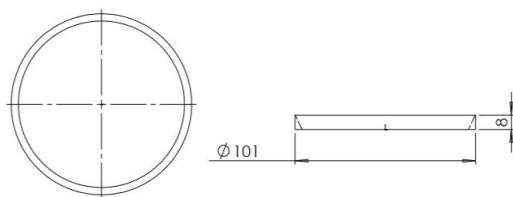


图9 环形加固版
Fig.9 Ring hardened plate

3.2 其他配件

为了解决物料自动传输而不需手动收集的问题,设计了转送底盘加上固定挡板,使得物料下落至底盘后能够随底盘转动而碰撞至挡板,从而堆积下落。同时加装透明亚克力外罩防止粉尘四散,也能观察内部

运作情况。物料传送圆台采用圆台设计,带有坡面,使得颗粒在重力作用下自然掉落后,能随坡面滚动至底板。模型设计为实体,实际开模为中空,可布置电路齿轮以及水冷结构,图形过于简单,故无需以图呈现。5 r/min,物料随传送圆台转动,在开口处导出。

3.3 动画仿真

插件介绍:SolidWorks motion 运动仿真工具能够对已经设计好的结构进行运动模拟和受力分析,帮助设计师在生产实物模型前期时判断设计的可行性。

运动算例是装配体模型运动的图形模拟。运动算例不更改装配体模型和其属性。他们模拟动画所规定的运动。可以在建模运动时约束零部件在装配体中的运动。运动算例有以下工具:(1)动画,可使用动画来描述装配体的运动。添加马达来驱动装配体或多个零件的运动。使用设定键码点在不同时间规定装配体零部件的位置。动画使用插值来定义键码点之间装配零部件的运动。(2)基本运动。可使用基本运动模块在装配体上模仿马达,弹簧接触引力。基本运动在计算运动时考虑到质量。

动画仿真:通过添加 2 个旋转马达,进行动画仿真。马达一作用于螺杆式旋压刀,转速为 50 rpm,顺时针转向,便于物料下落。马达二作用于物料传送圆台,转速为 5 rpm,逆时针转向,便于物料的导出。通过动画仿真,验证了装配体的可行性,并且通过零件的约束运动,在马达的驱动下,可以实行所需要的运动。

3.4 定稿工程图

除去一体式筛网使用钛 Ti-8Mn-退火材料,螺杆式旋压刀使用商用纯 R50700 等级 4(SS)钛合金,其他零部件均采用合金钢。工程图如图 10 所示。

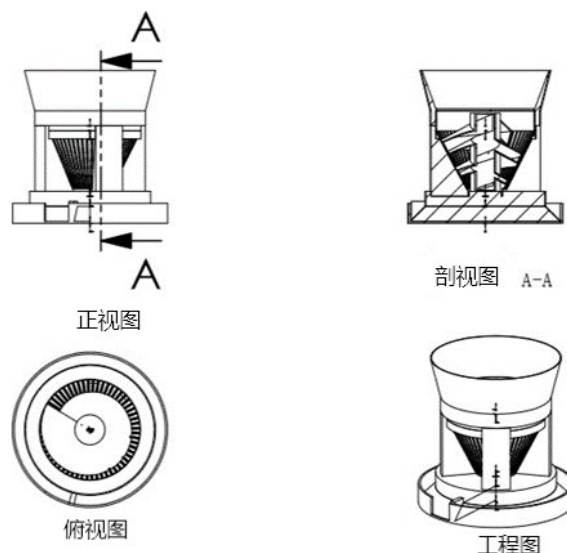


图10 工程图
Fig.10 Engineering drawing

4 结 论

本文利用SolidWorks 软件进行了旋压式制粒机全新的结构设计,利用SolidWorks Simulation插件对所设计的旋压式制粒机进行了仿真模拟和有限元分析,得到了各零件的应力分布及形变情况,对它们的结构尺寸进行了改进和优化,使设计的制粒机实现其预期的功能。

整个螺杆式旋压制粒机没有采用一个紧固件,整体采用插销结构,方便拆卸,易于清洗。制粒机压刀与筛网接触面较大,单位时间内的生产量更大,提高生产效率。螺杆式旋压刀挤压力施加均匀,使得挤压颗粒质量均匀,长度合适,提高颗粒质量。

通过整个设计,改进了以前制粒设备的不足,为未来制粒生产提供了另一种选择,如果条件允许可以进行实际生产。

【参考文献】

- [1] 陆澜清. 中国医药行业现状分析中国制药能力不断提升[EB/OL]. [2018-02-13]. <https://www.qianzhan.com/analyst/detail/220/180213-34287707.html>
- LU L Q. Analysis of China's pharmaceutical industry status quo China's pharmaceutical capacity continues to improve[EB/OL]. [2018-02-13]. <https://www.qianzhan.com/analyst/detail/220/180213-34287707.html>.
- [2] 4+7城市药品集中采购文件: GY-YD2018-1[Z]. 北京: 联合采购办公室, 2018.
- 4+7 Urban drug centralized procurement documents: GY-YD2018-1 [Z]. Beijing: Joint Procurement Office, 2018.
- [3] 张汝华, 屠锡德. 工业药剂学[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2001: 161-177.
- ZHANG R H, TU X D. Industrial pharmacy [M]. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2001: 161-177.
- [4] 科旭药机. 旋压制粒机说明书[EB/OL]. <http://www.kxcq.com/Detail.asp?t=5&ldx=1711>.
- KeXu Pharmaceutical Machine. Manual of rotary pressing granulator [EB/OL]. <http://www.kxcq.com/Detail.asp?t=5&ldx=1711>.
- [5] 上海天和制药机械有限公司. 上海天和 ZL250/300 旋转式颗粒机 [EB/OL]. https://detail.1688.com/offer/1281888218.html?_server_name=www.cntianhepm.cn&visitorIp=101.94.252.74&_server_port=80&from_site=officialsite&spm=a262gm.8761431.0.-0.5fc679c7eVr4VB,2013.
- Shanghai TianHe Pharmaceutical Machinery Company Limited. Shanghai TianHe ZL250/300 rotary granule machine[EB/OL]. https://detail.1688.com/offer/1281888218.html?_server_name=www.cntianhepm.cn&visitorIp=101.94.252.74&_server_port=80&from_site=officialsite&spm=a262gm.8761431.0.0.5fc679c7eVr4VB,2013.
- [6] 王孟刚. 制粒技术的创新性研究[J]. 黑龙江科学, 2018, 9(22): 54-55.
- WANG M G. Innovative research on pelletizing technology [J]. Heilongjiang Science, 2018, 9(22): 54-55.
- [7] 刘淑兰. 片剂工艺创新及其产业化应用的思考[J]. 健康大视野, 2019 (2): 216-217.
- LIU S L. Thoughts on tablet technology innovation and industrial application[J]. China Health Vision, 2019(2): 216-217.
- [8] 蒋清海, 孙宇, 肖宏儒. 旋转挤压成型机理分析与建模[J]. 中国农业机化学报, 2018, 39(6): 11-16.
- JIANG Q H, SUN Y, XIAO H R. Mechanism analysis and modeling on pelletization process [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2018, 39(6): 11-16.
- [9] 蒋欣. 单螺杆挤出机螺杆的设计与改进[J]. 橡塑技术与装备, 2016, 42(20): 72-74.
- JIANG X. Design and improvement of screw of single screw extruder [J]. China Rubber/Plastics Technology and Equipment, 2016, 42(20): 72-74.
- [10] Dassault Syst m SolidWorks Corporation. SolidWorks education[EB/OL]. [2019-04-12]. <https://www.solidworks.com/zh-hans/media/75>.

(编辑: 薛泽玲)