

一种新型骨料散装机的结构设计与分析

王乾廷¹, 吴鹏¹, 马莹², 李浩宇¹, 宋江²

(1. 福建工程学院 材料科学与工程学院, 福建 福州 350118;

2. 福建工程学院 电子电气与物理学院, 福建 福州 350118)

摘要: 针对现有骨料散装机控制方式落后、结构设计不合理等问题, 设计一种带有旋转阀机构的自动骨料散装机。系统构建了散装机整体结构三维模型, 采用有限元方法对旋转阀机构在最大载荷工况下进行仿真分析, 发现阀芯结构强度冗余, 对阀芯进行拓扑优化设计。在保证刚度性能的前提下, 使阀芯质量从 628.07 kg 减轻到 407.26 kg, 质量减轻 35.15%, 实现了阀芯的轻量化设计, 为旋转阀芯的设计提供一定参考。

关键词: 骨料散装机; 旋转阀; 结构设计; 有限元分析; 拓扑优化

中图分类号: TH122

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2023)01-0001-05

Structure design and analysis of a new type of aggregate bulk loader

WANG Qianting¹, WU Peng¹, MA Ying², LI Haoyu¹, SONG Jiang²

(1. School of Materials Science and Engineering, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China;

2. School of Electronic, Electric Engineering and Physics, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China)

Abstract: In view of the problems of the backward control mode and unreasonable structural design of aggregate bulk loading machine, an automatic aggregate bulk loader with rotary valve mechanism was designed. The system constructed a three-dimensional model of the overall structure of the bulk loader; the finite element method was used to simulate and analyze the rotary valve mechanism under the maximum load condition, and the structural strength of the spool was found to be redundant, and the topological optimization design of the spool was carried out to reduce the mass of the spool from 628.07 kg to 407.26 kg, with a mass reduction of 35.15%, while ensuring the stiffness performance, which realizes the lightweight design of the spool and provides a reference for the design of the rotary valve spool.

Keywords: aggregate bulk loader; rotary valve; structural design; finite element analysis; topology optimization

骨料散装机是用于对矿山散装熟料及散装石子等颗粒状物料装车或装船的专用设备, 亦可用于冶金、煤碳以及化工等其它行业的无腐蚀、低研磨性粉粒状物料的装车(船)作业。

国内现有的骨料散装机主要通过人工手动操作卸料阀门。常用的手动控制下料流速的装置有蝶阀、百叶阀等。前者通过开启多个阀瓣, 根据需要调节颗粒料的流量; 后者是利用叶片的

开合角度来控制下料的流速^[1-2], 整个下料时间长, 操作过程繁琐, 操作人员容易出现疏忽, 造成下料装车时骨料溢出, 导致运输车辆出现超重和亏量现象。

综上, 本研究利用旋转阀良好的动态特性, 设计含有旋转阀机构的骨料散装机, 可根据实时工况自动对阀芯工作角度做出及时调整, 能有效减少骨料装车时间, 提高骨料的下料效率。

收稿日期: 2022-08-22

基金项目: 福建省高校创新团队发展计划(IRTSTFJ); 福建省自然科学基金一般项目(2021N5004)

第一作者简介: 王乾廷(1977—), 男, 河南南阳人, 教授, 博士, 研究方向: 先进技术、材料加工工程。

1 骨料散装机结构设计

砂石工厂所使用的骨料散装机主要用于将砂石骨料装载到船舶、火车、汽车槽罐车中。本研究设计的全自动骨料散装机专门适用于厢式货车的散装作业,适用物料直径为不大于 38 mm 的固体材料,旋转阀门的开合速度为分别为:空载时 40 m/min,带载时 30 m/min,下料口尺寸为 430 * 800 mm。

1.1 旋转阀设计

旋转阀又称卸料阀,是一种调节阀,通过将旋转部件(如旋转挡板)旋转 90°将阀门从开启位置改变到关闭位置,旋转部件切断物料流通。旋转阀机构具有稳定可靠和可控性强的特点,并动态特性更好,结构简单,在控制卸料的机械装置中得到了广泛的应用^[3-6]。

本研究的旋转阀是配合电机完成自动开关阀,结构设计如图 1 所示。该结构主要由壳体和阀芯两部分组成,阀芯通过轴承端的齿轮与电机齿轮啮合,由电机及锁止装置控制其运动及停止,可进行 360°的无阻碍旋转,便于物料的流通;该结构在物料流通的过程中依然可以进行其它相关操作,阀芯旋转的过程相当于在剪切流通中的物料,不会出现卡死的情况;该结构可以通过电机和锁止装置进行远程控制,确保操作者的安全。

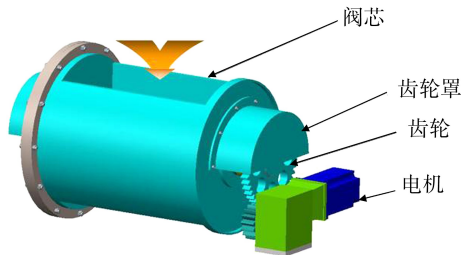


图 1 旋转阀结构设计图

Fig.1 Structural design of the rotary valve

1.2 总体设计

新型散装机结构设计是在现有的传统散装机基础上加入了旋转阀机构,主要包括百叶阀机构、旋转阀机构、伸缩桶机构和电气控制柜,总体结构设计如图 2 所示。

散装机上部通过法兰连接储料仓下接百叶式阀门,通过旋转叶片完成对物料流速的控制,在紧急情况下完成手动关阀;中部的旋转阀门内部配合桶形阀芯,保证密封的严密性,使得阀门在关闭状态下不会有物料泄露,阀芯配合电机完成对物料流

速的自动控制;下部的伸缩桶通过带轮控制升降,当运输车辆就位后,下落至车厢内部,完成下料。

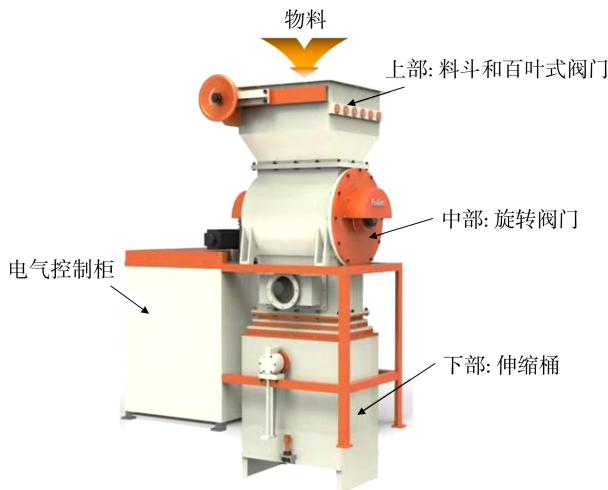


图 2 总体结构设计图

Fig.2 Overall 3D map

2 有限元仿真分析

通过对旋转阀机构的壳体和阀芯的有限元分析,验证旋转阀机构的强度和刚度能够满足在极端工况下使用,即阀芯处于封闭状态时。

利用三维建模软件 Solidworks 2018 对骨料散装机模型进行建模,并通过添加材料,对各机构质量属性进行评估。求得百叶阀机构质量为 628.3 kg;旋转阀机构质量为 1 129.92 kg,其中壳体质量为 501.85 kg、阀芯质量为 628.07 kg;伸缩桶机构质量为 814.58 kg。将生成壳体和阀芯 step 模型文件后导入有限元分析软件 Ansys R19.2,基于 Workbench 对模型进行有限元分析^[7-9]。

2.1 旋转阀壳体的有限元分析

旋转阀的壳体整体结构为圆筒形,上方承载百叶阀,下方通过螺丝孔与伸缩桶机构连接,尺寸为 930 mm * 870 mm * 980 mm,壳体和地脚均采用 Q235A 型号碳素钢,具体材料属性如表 1 所示。

表 1 材料特性

Tab.1 Material properties

材料	密度/ kg · m ⁻³	弹性模量/ MPa	泊松比	屈服强度/ MPa
Q235A	7 850	210 000	0.27	235
45 钢	7 870	210 000	0.31	355

将壳体模型导入静力学分析模块,首先进行网格划分,网格划分采取自适应网格划分方法,网格划分为 829 433 个节点,523 071 个单元^[10-12]。壳体承受的载荷情况来自上方百叶阀重力,内部阀芯及堆积的骨料的重力,下方伸缩桶有向下的拉力作用。4 个地脚通过螺丝与机架固定,因此将地脚施加固定约束,载荷施加和约束如图 3 所示。分析得到阀芯的总变形云图如图 4 所示,应力云图如图 5 所示。

由图 4 可知,壳体的最大变形量为 4.874 3 mm,最大变形处位于端盖的下方部位,发生最大变形符合实际情况。由图 5 可知,壳体的最大应力值为 141.59 MPa,由许用应力公式(1)计算得出,许用应力为 195 MPa,最大应力值小于许用应力,符合要求。

$$[\sigma] = \sigma/n \tag{1}$$

式中, σ 为材料屈服强度, n 为安全系数。

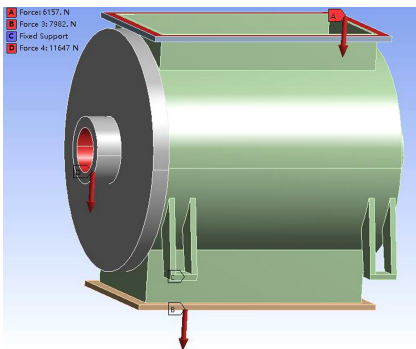


图 3 壳体载荷施加与约束图

Fig.3 Shell load application and constraint diagram

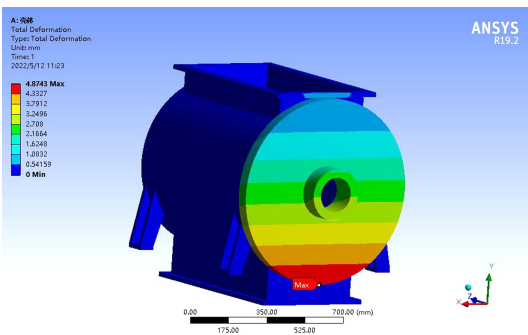


图 4 壳体总变形云图

Fig.4 Total deformation cloud diagram of the shell

2.2 旋转阀阀芯的有限元分析

旋转阀的阀芯由两端半轴通过硬焊条焊接与中间筒体成为整体,尺度为 910 mm * 760 mm * 760 mm,其中筒体采用 Q235A 型号碳素钢,半轴

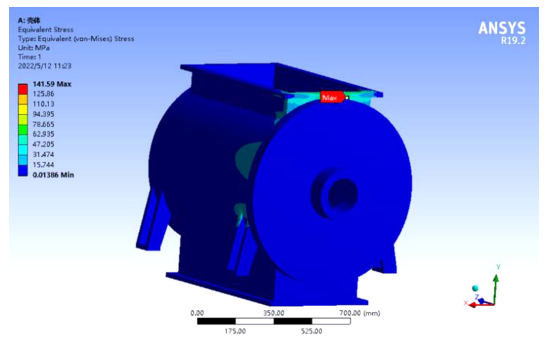


图 5 壳体应力云图

Fig.5 Shell stress cloud diagram

采用强度更高的 45 钢,材料属性如表 1 所示。

将阀芯模型导入静力学分析模块。首先进行网格划分,采取自适应网格划分方法划分为 829 433 个节点,523 071 个单元。阀芯承受最大载荷情况是在封闭状态时,正上方堆积的砂石骨料重力对阀芯的作用,通过求取上方机构的容积为 0.495 616 m³,该型散装机主要用于粗砂,密度为 1 550 kg/m³,取重力加速度为 9.8 m/s²,求得重量为 7 527 N。阀芯通过两端半轴嵌套在壳体内,因此,对两端半轴施加固定约束,载荷施加及约束如图 6 所示。分析得到阀芯的总变形云图如图 7 所示,应力云图如图 8 所示。

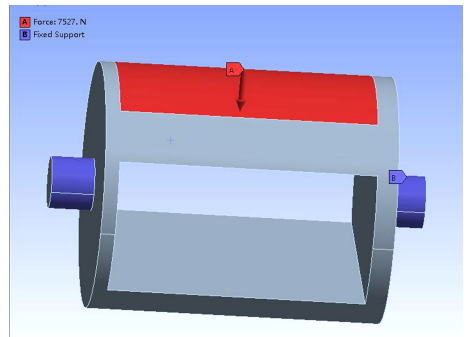


图 6 阀芯载荷施加与约束图

Fig.6 Spool load application and constraint diagram

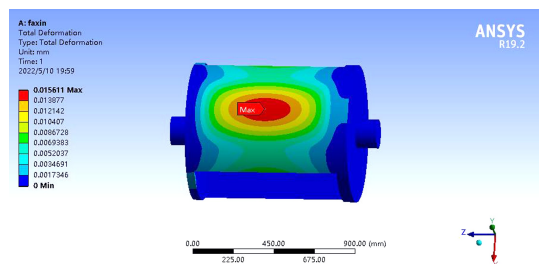


图 7 阀芯总变形云图

Fig.7 Spool total deformation cloud diagram

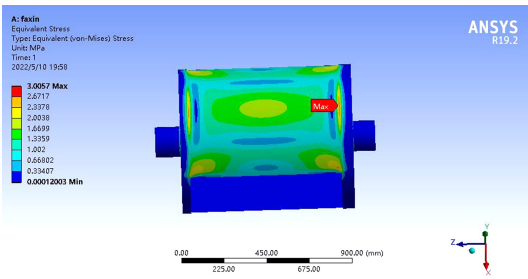


图 8 阀芯应力云图

Fig.8 Spool stress cloud diagram

由图 7 可知, 阀芯的最大变形量为 0.015 611 mm, 最大变形处位于阀芯受力的中间部位, 发生最大变形符合实际情况。由图 8 可知, 阀芯的最大应力值为 3.005 7 MPa。由表 1 可知, Q235A 的屈服强度为 235 MPa, 取安全系数 $n = 1.2$, 由公式(1)可求得许用应力为 195 MPa, 最大等效应力远小于许用应力。

3 阀芯结构优化

在保证阀芯应力不超过材料许用应力以及阀芯最大位移不超过设计要求的条件下, 对阀芯进行质量优化。选定筒体两端厚度和中间隔板厚度为设计变量, 以整体质量为优化目标, 以最大许用应力和最大位移为约束条件进行迭代^[13-14]。多次迭代的优化结果如图 9 所示, 阀芯质量减为原来的 64.85%, 减重较为明显。

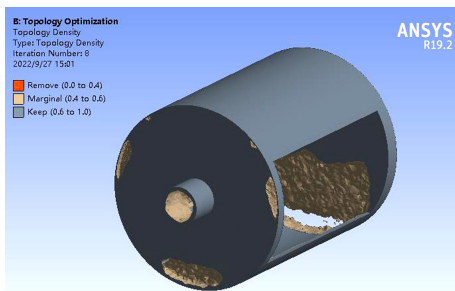


图 9 阀芯拓扑优化模型

Fig.9 Spool topology optimization model

3.1 尺寸优化模型的建立

为了验证优化后的阀芯整体结构的刚度、强度的稳定性, 基于拓扑优化后的模型对原有阀芯三维模型进行重构, 重构后模型如图 10 所示, 再对优化后的阀芯进行有限元分析并将其与优化前的阀芯作对比分析。

对优化后的模型进行静力学分析, 优化后位移云图和应力云图如图 11、12 所示; 优化前后数

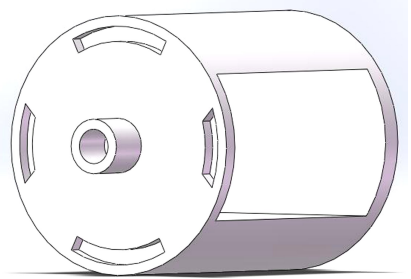


图 10 优化后的阀芯三维模型

Fig.10 Optimized 3D model of the spool

据对比如表 2 所示。

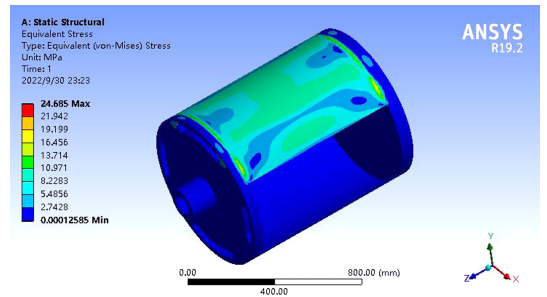


图 11 优化后阀芯应力云图

Fig.11 Stress cloud diagram of spool after optimization

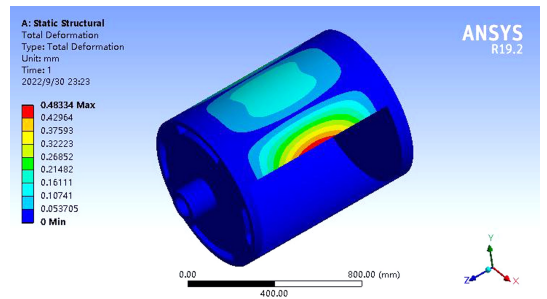


图 12 优化后阀芯总变形云图

Fig.12 Cloud diagram of total deformation of spool after optimization

表 2 优化前后参数对比

Tab.2 Comparison of parameters before and after optimization

阀芯	最大变形/mm	最大应力/MPa	质量/kg
优化前	0.015 611	3.005 7	628.07
优化后	0.483 340	24.685	407.26
增幅比	增大 0.467 729	增大 21.679 3	减小 220.81

如表 2 所示, 结构优化后阀芯最大变形和最大应力增大幅度依旧在材料允许属性范围内, 强

度和刚度显然合格。相比起优化前的 628.07 kg, 阀芯质量减小 35.15%, 提高了材料利用率, 优化效果显著。

4 结论

本研究在传统骨料散装机结构设计的基础上加入旋转阀机构, 进行了新型骨料散装机的结构设计。基于 Ansys 软件对所设计的旋转阀机构在最大载荷的工作状态下进行静力学分析, 并在此基础上对阀芯进行拓扑优化, 通过对计算结果的分析得出以下结论:

1) 在极端工况下, 阀芯和壳体的变形量分别为 0.015 611、4.874 3 mm, 最大应力值分别为和 3.005 7、141.59 MPa, 结构强度和刚度均满足材料使用要求, 能够正常使用。

2) 以筒体两端厚度和中间隔板厚度为设计变量, 以整体质量为优化目标, 以最大许用应力和最大位移为约束条件对阀芯进行结构优化, 优化后的阀芯的变形量分别为 0.483 34 mm, 最大应力值为 24.685 MPa。质量从 628.07 kg 减轻到 407.26 kg, 共轻量化了 220.81 kg, 节约了材料成本, 实现了结构的轻量化。

参考文献:

- [1] 刘军. 一种基于 CP 散装机的水泥散装系统优化设计[J]. 中国水泥, 2020(6):103-105.
- [2] 郭自卫. 双轴向移动式干灰散装机的设计与研究[D]. 武汉:武汉轻工大学, 2021.
- [3] 章涵宇, 杨蓓, 何春柯, 等. 建筑工地自动化灌浆施工装置的研发[J]. 浙江建筑, 2018, 35(12):26-28.
- [4] 向晓汉, 陆彬. 新型散装机系统的研制[J]. 机电工程技术, 2007, 36(7):24-25, 45, 105.
- [5] 陆培文. 阀门设计入门与精通[M]. 北京:机械工业出版社, 2009.
- [6] 师晓东, 杨海峰, 胡海超. 球阀限位锁定的结构设计及优化[J]. 阀门, 2021(6):301-303.
- [7] 马笑玲, 雷蕾, 关天民. 一种新型篮球轮椅的结构设计与有限元分析[J]. 机械设计与制造, 2008(1):63-65.
- [8] 顾寄南, 熊伟, 陈功, 等. CK61200 车床的关键结构设计及其主轴有限元分析[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2016(4):29-32.
- [9] 胡佳. 龙门式码垛装车机设计与分析[D]. 烟台:烟台大学, 2021.
- [10] 丁建梅, 胡永冉, 丁建华, 等. 基于 ANSYS 水稻覆膜直播机机架的有限元分析[J]. 森林工程, 2020, 36(4):58-63, 100.
- [11] 支静静. 巷道水泥摊铺机关键结构设计及有限元分析[D]. 西安:长安大学, 2021.
- [12] 丛明, 韩滔, 赵强, 等. 基于组合体的高速卧式加工中心滑架有限元分析[J]. 中国机械工程, 2011, 22(13):1527-1531.
- [13] 鲍帅, 陈星, 贾志军, 等. 锚杆钻车的伸缩臂有限元分析及拓扑优化[J]. 机械工程师, 2021(8):130-131, 134.
- [14] MAO Y X, KANG Y J, ZUO B, et al. Structural design and analysis of steel coil through eyelet winding machine[C]//4th International Symposium on Power Electronics and Control Engineering (ISPECE 2021). Nanchang, 2021:516-521.

(责任编辑:方素华)