

金刚石串珠锯荒料车的轻量化设计

王坤坤, 王志, 王飞, 张进生

山东大学; 山东省石材工程技术研究中心; 高效洁净机械制造教育部重点实验室(山东大学)

摘要: 运用 SolidWorks 和 ANSYS Workbench 对金刚石串珠锯荒料车设备进行结构设计和轻量化设计。通过改变荒料车的槽钢结构, 观察荒料车的静态特性情况, 得出了荒料车的优化结构。在 AWE 优化环境中, 应用 DOE 实验设计方法, 以荒料车槽钢尺寸为设计变量, 同时控制质量、受力、变形等多个目标因子, 对荒料车进行轻量化处理, 最终获得了综合指标趋向最好的荒料车结构。

关键词: ANSYS Workbench; 荒料车; 有限元分析; 结构设计; 轻量化设计

中图分类号: TG56

文献标志码: A

Lightweight Design of Diamond Wire Saw Blocks Car

Wang Kunkun, Wang Zhi, Wang Fei, Zhang Jinsheng

Abstract: A finite element analysis was carried out on the blocks car of Diamond wire saw structure with the SolidWorks and ANSYS Workbench software. Through analyzing the changes of static performances under different forms and arrangements of the channel steel of blocks car, an optimal solution was obtained. Moreover, taking the Dimensions of channel steel as design variables, the weight, stress and deformation of the plates as the objective function, by Lightweight handling of the blocks cars, an optimal blocks car was obtained by using DOE method in AWE optimization environment.

Keywords: ANSYS Workbench; blocks car; FEA; structural design; optimization design

1 引言

作为产品设计的一个必要过程, 有限元技术越来越受到学术界和业界的重视, 并成为 CAD/CAE 技术领域的一个研究热点^[1]。金刚石串珠锯荒料车的轻量化设计是实现石材加工领域节能减排的重要途径^[2]。本文以金刚石串珠锯荒料车为研究对象, 对车架进行有限元分析以及结构优化设计。

金刚石串珠锯荒料车机构用于石材加工初期将荒料准确运送到指定加工位置和加工完成后完成成品的输送功能, 其定位准确性和稳定性对石材的加工质量有重要的影响。作为石材加工的关键部件, 对荒料车进行轻量化设计是金刚石串珠锯整机轻量化设计的一部分, 更为后续的改进提供了理论依据和优化方法。

实现机构轻量化的方法有两种, 一种是采用高强度材料替代强度相对较低的材料; 二是对结构总体结构进行优化, 提高材料的利用率。在荒料车的轻量化设计中, 考虑到制造成本、加工工艺、环保等方面的问题, 一些新型材料很难应用于石材加工中。

经过初步工艺分析、成本核算, 采用上述第二种方法对荒料车车架进行轻量化设计^[3]。

2 建立有限元模型及 ANSYS Workbench 分析

2.1 车架的结构

荒料车主框架由槽钢焊接而成, 可将石材荒料准确运送到指定加工位置和加工完成后进行成品的输送。荒料车结构设计主要考虑因素有: 车架外形满足运输尺寸要求; 结构对整体稳定性要求; 控制车架自重, 降低制造成本和提高运输经济性。根据现有的国内外市场分析, 参照现有金刚石串珠锯, 对荒料车进行建模。本文采用 SolidWorks 软件对荒料车进行三维建模, 在成本最小条件下, 采用单槽钢结构, 通过优化设计, 增大荒料车承载能力。由于底部连接四个轮支撑荒料车的运动, 轮系的位置根据槽钢结构和对称性确定, 对整体刚度影响较小, 本文暂不作考虑。支撑块主要起到保证石块在荒料车上的受力稳定性作用, 以免由于料车表面不平整引起受力不均匀, 影响应力分布状况。分片支撑能防止荒料车加工过程中的前后晃动, 避免加工过程中荒料车受力不稳定并保证加工质量。采用分段式调节结构, 便于加工不同尺寸的石材荒料。荒料车的三维模型见图 1。

基金项目: 山东省科技发展计划项目(2010GGX10405); 山东省自然科学基金(ZR2012EEM032)
收稿日期: 2012 年 8 月

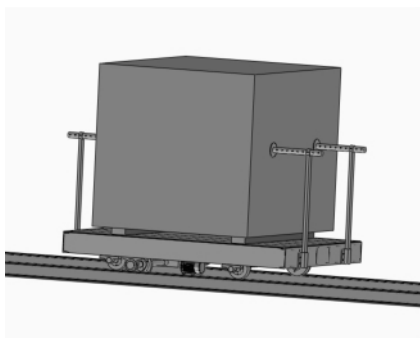


图1 荒料车三维模型

2.2 车架建模和有限元网格划分

车架在 SolidWorks 中完成实体建模。选取车体框架为研究对象,在 SolidWorks 中对框架上的部件进行简化,将不影响荒料车受力等的结构去除,保留影响变形的关键因素。

在 ANSYS Workbench 中完成实体模型的处理、网格划分和加载计算。将简化好的模型导入到 Workbench 中进行有限元分析,荒料车框架材料选取 Q235A,杨氏模量为 2×10^{11} Pa,泊松比为 0.3,密度为 7850 kg/m^3 。对框架进行网格划分。整体采用中等网格密度智能网格划分方法,局部进行网格细化^[4,5]。最终框架有限元模型的节点数为 48766,单元数为 7062,生成的有限元模型如图 2 所示。材料的许用应力为 215 MPa。

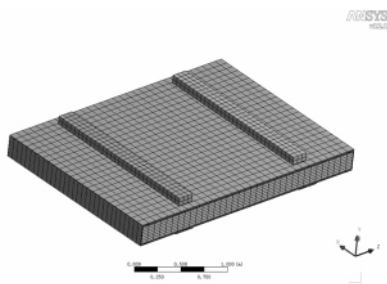


图2 荒料车框架的有限元模型

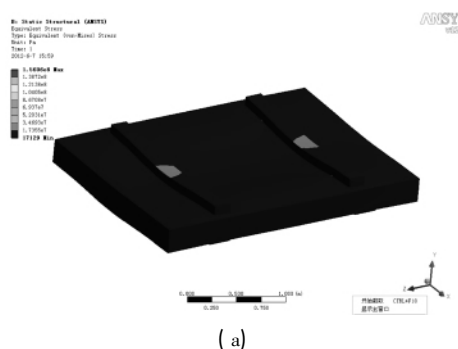
2.3 荒料车受力分析和约束

结合目前荒料在运输过程中车架的受力状况^[6],结合本荒料车实际工作情况,分析得出荒料车主要受到石材的压力,且压力均匀分布在荒料车的垫块上,其受力如图 3 所示,因此其他部分受力可忽略。荒料车所承受的石材最大重量为 55t,经计算得施加在两个垫块 Y 方向上的压强 $P = F/S = 550000/0.146 = 3.8 \text{ MPa}$,其中 S 为垫块的总面积。固定约束点为轮系支撑部位,为便于约束,模型中简化为相同位置和大小凸台,将其在 Y 方向上进行约束。

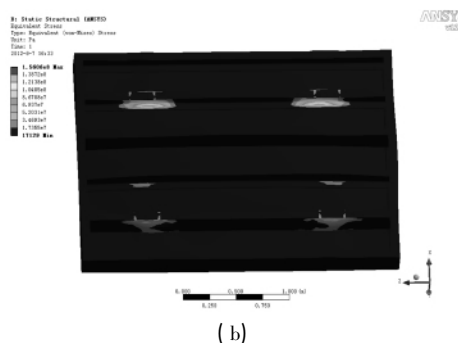
2.4 应力、应变分析

以上参数、约束和载荷定义好之后,即可进行框架的有限元计算。得到的应力应变结果如图 3 和图

4 所示。从应力云图上看,车架的应力分布不合理,车架内多数槽钢应力都在 110 MPa 以下,应力裕度较大,因此有必要对车架进行轻量化设计。框架的最大应力为 156 MPa,最大应力分布在底部轮系支撑点上侧的槽钢上。在轻量化时,应考虑到该处比较薄弱,可适当进行尺寸的增加。从 Ansys 变形图看出荒料车的最大变形为 0.447 mm,发生在盖板中心和底部的槽钢连接部位,根据机械设计手册,弯曲允许变形量为 $0.0004L = 0.0004 \times 2200 = 0.88 \text{ mm}$,由

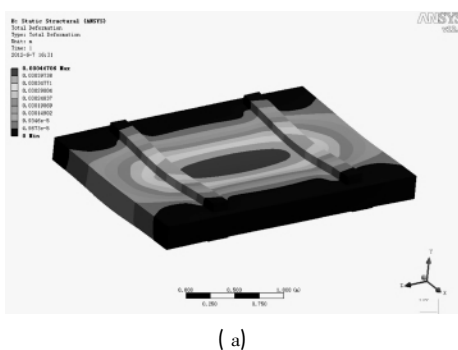


(a)

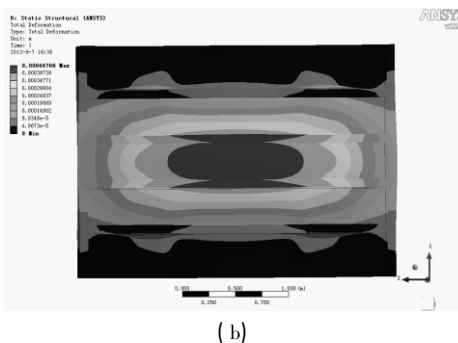


(b)

图3 荒料车应力分布图



(a)



(b)

图4 荒料车应变分布图

此可知,荒料车结构还存在较大的优化空间。

3 荒料车的轻量化

3.1 荒料车的结构轻量化设计

利用 Workbench12.1 平台的 DesignXplorer 模块,基于实验技术的 Goal - Driven Optimization 多目标驱动优化设计方式进行优化。车架优化的目的在于给工作盈余较大区域选择合适的厚度,既能在极限工作状态满足强度要求,同时又使车架尽可能轻量化^[7]。

根据有限元分析结果,中间两根槽钢的变形、应力较大,已经没有轻量优化处理的空间。中间两侧的槽钢受力较小,所以,本次优化设计选取除中间两侧四个槽钢腿宽度 b 、腰厚度 d 分别作为优化参数。因为两侧对称,只对一侧进行设定即可,即 $X = \{b_1, b_2, d_1, d_2\}$,变量名分别为 DS_A、DS_B、DS_C、DS_D,将其在 SolidWorks 中进行参数化处理。

在保证荒料车可靠性的前提下,尽可能减轻荒料车的质量,减少其总变形及最大综合应力,实现减轻质量与保证可靠性之间的平衡。初步选取荒料车质量、最大变形以及等效应力为目标函数,研究设计变量对目标函数的影响。以设计变量的灵敏度来确定最终优化目标函数^[8]。

3.2 DOE 优化设计

将进行参数化处理的模型重新进行网格划分、设置约束条件和求解结果后,从 Workbench 的 Project 界面添加 DesignXplore 模块,选择目标驱动优化方式,设置总体质量、总体变形和最大等效应力为优化目标和输出参数。

根据设置的输入参数和输出参数,自动生成一定数量的随机试验样本。本次优化生成 25 个随机样本,据此得出样本的计算结果并根据给出的 3 个最优实验样本。并以此作为分析槽钢尺寸对荒料车变形和应力的影响的依据。

(1) 灵敏度分析

由图 5、图 6、图 7 的灵敏度图可知,设计参数 DS_A 对荒料车变形、应力影响最为明显,DS_B、DS_C

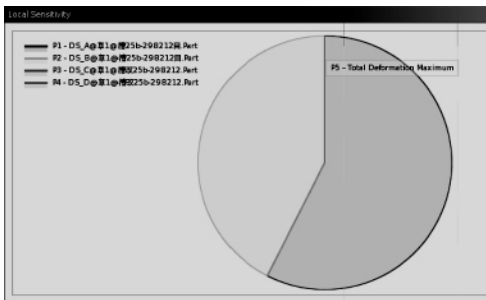


图 5 设计参数对荒料车变形的影响

对变形及应力的影响最小,各参数变量对荒料车重量的影响相差不大。

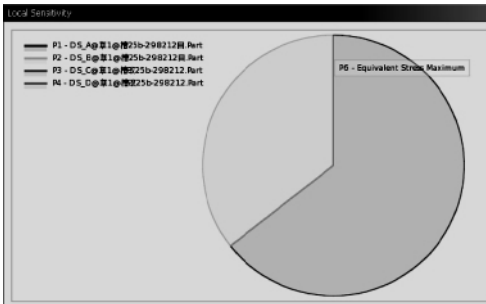


图 6 设计参数对荒料车最大应力的影响

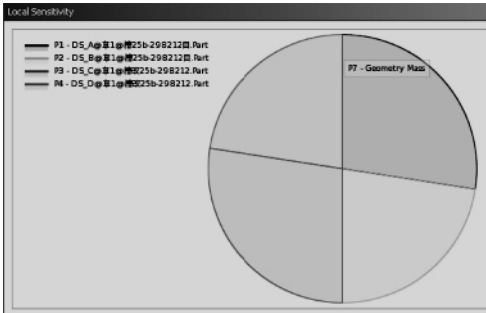


图 7 设计参数对荒料车质量的影响

(2) 优化分析

根据分析设置设计参数的变化区间和趋势,设置优化目标的变化范围和优先级别,如表 1 所示。

表 1 变量变化区间与趋势

名称	允许下限	允许上限	期望值	重要性
DS_A	78	82	近下限	缺省
DS_B	7	11	近下限	缺省
DS_C	78	82	近下限	缺省
DS_D	7	11	近下限	缺省

根据前面的有限元分析结果和灵敏度分析结果,并考虑荒料车可靠性的要求,将整体重量设置为最高级优化目标,最大等效应力次之,最后是最大变形,设置结果如表 2 所示。

表 2 设置目标函数

名称	期望值	重要性	交换性
质量	最小	最高	开
最大总变形量	≤0.88mm	缺省	开
最大等效应力	≤215MPa	最低	开

表 3 优化结果

参数	推荐值 A	指数	推荐值 B	指数	推荐值 C	指数
DS_A	78.01	★★★★	80.29	-	79.256	-
DS_B	7.015	★★★★	8.16	★	7.24	★★
DS_C	77.96	★★★★	78.36	★★	78.36	★★
DS_D	6.98	★★★★	7.12	★★★★	8.16	★
最大总变形量	0.64	×	0.60	-	0.64	×
最大应力值	198.5	-	178	★	193	-
质量	1470.3	★★	1515.4	★	1518.3	★

通过优化,得到表 3 的三种不同的优化结果,样本 A 中,两槽钢腿宽度 b 均由 82mm 优化为

78.01mm,腰厚度 d 均由 11mm 优化为 7.015mm。

改进后的荒料车最大变形为 0.64mm,强度最大值为 198.5MPa,均小于且接近许用值,符合轻量化条件。根据槽钢标准,定位两个槽钢尺寸分别为 $b=78$ 、 $d=7$,这样既能满足强度和变形的要求,又能在最大程度上减轻荒料车的重量。

3.3 优化前后对比分析

考虑到荒料车车架要有足够的刚度,车架的整体位移不能过大,得出最终优化尺寸优化前后的荒料车参数对照见表 4。荒料车两根槽钢的腿宽度 b_1 、 b_2 ,腰厚度 d_1 、 d_2 都减小了,新荒料车的重量为 1470.3kg,较旧荒料车得重量减轻了 512kg,减重率为 25.82%,节省了材料,降低了生产成本。根据 GB50017-2003,槽钢(含普通、轻型两种)许用应力为 215MPa (215N/mm^2);其弯曲允许变形量为 $0.0004L=0.0004\times 2200=0.88\text{mm}$ 。考虑荒料车工况条件,对荒料车进一步优化,其优化后的最大应力为 $198.5\text{MPa}<215\text{MPa}$,最大变形为 $0.64\text{mm}<0.88$ 。通过对初始设计进一步优化,减少了原材料的尺寸与重量,实现轻量化的目的,同时满足荒料车的强度和变形的余量要求。

表 4 优化前后各参数对比

变量名称	优化前数值	优化后数值	变化率
腿宽度 b_1 (mm)	82	78	-4.87%
腰厚度 d_1 (mm)	11	7	-27.27%
腿宽度 b_2 (mm)	82	78	-4.87%
腰厚度 d_2 (mm)	11	7	-27.27%
荒料车质量(kg)	1982.3	1470.3	-25.82%
最大应力	159MPa	198.5MPa	24.84%
最大变形	0.447	0.64	43.18%

4 结语

通过对荒料车的有限元分析及有关部件轻量化设计分析,得出以下结论:

(1) 用 SolidWorks 进行荒料车实体模型,并导入 ANSYS Workbench 中进行分析,以减轻荒料车的重量为目标,在保证变形和受力的情况下,将部分结构进行轻量化。

(2) 在 AEW 优化环境下,运用 DOE 模块,对初步设计的荒料车进行优化后,荒料车由 1982.3kg 减重为优化后的 1470.3kg,减重率达到 25.82%,达到了设计要求的减重指标,获得了综合指标趋向最好的优化设计方案。

(3) 给出了改进方案,结构上未做重大变化,使得荒料车可在典型的工况下发挥其更好的性能,降低了车架的制造成本和运输成本。

(4) 在 AWE 协同环境下,实现了荒料车设备零

部件参数化 CAD 建模与 CAE 有限元分析的无缝集成,缩短设计和分析周期,具有推广应用价值。

参考文献

- [1] 吴春虎,李方义,李剑峰,等. 基于 FEM 的驱动桥壳轻量化设计[J]. 武汉理工大学学报,2011,35(6):1248-1251.
- [2] 刘钢,张进生,王志. 基于有限元的龙门式设备立柱优化设计[J]. 工具技术,2010,44(8):24-28.
- [3] 李洪波,周维林. 重型汽车车架轻量化设计[J]. 重庆理工大学学报,2010,24(12):110-113.
- [4] 李兵,何正嘉. ANSYS Workbench 设计、仿真与优化[M]. 北京:清华大学出版社,2008.
- [5] Hole K. Finite element mesh generation methods[J]. Computer-aided Design,1988,20(1):27-38.
- [6] 高文进,张进生,王志,等. 基于 AWE 的龙门式框架设备升降滑套优化设计[J]. 工具技术,2011,45(6):57-60.
- [7] T S Kwak, Y J Kim, W B Bae. Finite element analysis on the effect of die clearance on shear planes in fine blanking[J]. Journal Materials Processing Technology,2002(6):130-131.
- [8] F A Hua, Y S Yang, Y N Zhang. Three-dimensional finite element analysis of tube spinning[J]. Journal of Materials Processing Technology,2005,168.

第一作者:王坤坤,硕士研究生,山东大学机械工程学院,山东省石材工程技术研究中心,高效洁净机械制造教育部重点实验室(山东大学),250061 济南市

First Author: Wang Kunkun, Postgraduate, School of Mechanical Engineering, Shandong University; Stone Engineering Research Center of Shandong Province; Key Laboratory of High Efficiency and Clean Mechanical Manufacture, Ministry of Education(Shandong University), Jinan 250061, China

中国成全球最大外国直接投资目的地

联合国贸易和发展会议(贸发会议)近日发布最新一期《全球投资趋势监测》指出,今年前6个月,发展中经济体吸引了一半以上的外国直接投资。中国继2003年之后再次超过美国成为全球最大外国直接投资目的地。

贸发会议投资与企业司司长詹晓宁近日在日内瓦向媒体表示,2012年前6个月全球外国直接投资总额为6680亿美元,较去年同期下降了8%,下降的主要原因是全球经济发展充满不确定性,欧洲主权债务危机前途未卜,主要新兴市场国家经济增速减缓,金砖国家吸引的外国直接投资总额均出现了不同程度的下降。但发展中经济体在全球外国直接投资总额中所占的比重首次过半。

报告对今年全年的投资前景表示谨慎乐观,预计全球外国直接投资将出现温和增长,达1.6万亿美元左右。报告强调,全球经济复苏疲软、欧洲主权债务危机、金融市场动荡加剧等因素都会影响外国直接投资流动,因此实现增长的风险和不确定因素依然存在。