

矿用刮板链拆装设备结构与仿真分析

程卓,周好斌,徐向前

(西安石油大学 材料科学与工程学院,陕西 西安 710065)

摘要:针对矿用刮板链拆装的局限性,设计一种刮板链拆装设备,用于刮板链螺栓的拆卸和紧固。根据刮板链的结构特征及螺栓拆装的流程,采用 SolidWorks 对刮板链拆装设备进行几何建模。为保证设备的结构可靠性,基于 Ansys Workbench 对关键零部件进行静力学和动力学分析。对结构优化后的样机调试运行,其结果表明:设备运行具有一定的稳定性和可靠性。

关键词:刮板链;结构设计;有限元分析;优化设计

中图分类号:TH122; TP391.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2023)01-0123-04

Structural Design and Simulation Analysis of Disassembly Equipment for Mining Scraper Chain

CHENG Zhuo, ZHOU Haobin, XU Xiangqian

(School of Materials Science and Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China)

Abstract: For the limitations of the current mining scraper chain disassembly, an disassembly equipment is designed for disassembling and tightening scraper chain bolts. According to the structural characteristics of the scraper chain and the process of bolt disassembly, SolidWorks is applied to model the scraper chain geometrically. In order to ensure the structural reliability of the equipment, the static and dynamic analysis of key components is conducted based on Ansys Workbench. The prototype of optimized structure is debugged with the results proving that the designed equipment has good stability and reliability.

Keywords: scraper chain; structural design; finite element analysis; optimization design

0 引言

在煤炭开采过程中刮板链各部件之间的磨损、载荷冲击等因素直接影响着刮板链的使用寿命^[1]。刮板链维修必须进行螺栓拆装,现阶段多数煤矿企业采用人工拆装方式,拆装效率低,劳动强度大。因此设计一种刮板链拆装设备十分必要。高丽霞^[2]设计的刮板链螺母紧固装置实现了螺栓紧固循环作业。王发达等^[3]提出了单平台多工位刮板链拆装设计思路,设计出具有自动流水线作业特征的矿用刮板链条组装系统。贾宁等^[4]结合刮板链拆装的工艺流程设计了一套集上料、刮板链拆装与螺栓紧固为一体的自动拆装设备。原长锁^[5]设计了刮板链螺栓螺母自动钻铰装置,其自动液压升降系统为多序列可升降刮板链螺栓拆卸装置的设计提供了思路。

针对刮板链拆装过程中存在的问题,本文提出了一种刮板链拆装设备设计方案,该拆装设备具备多序列自动化拆装特征,确保了拆装过程的精确性和可靠性,且经过现场调试,验证了设计方案的可行性。

1 刮板链拆装设备总体方案设计

刮板链的拆装流程由 3 部分组成:分离、横移和装配。

分离指在拆装夹具的作用下将连接螺栓拆卸,实现上刮板与压条的纵向分离;横移为上刮板与压条在横移系统的牵引下平移至链条铺设位置进行装配;装配指上刮板、链条、压条在升降系统和螺栓紧固装置的作用下实现装配。刮板链拆装设备总体设计方案主要包括 5 部分,如图 1 所示。

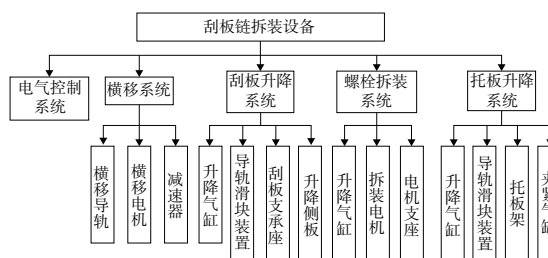


图 1 刮板链拆装设备总体设计方案

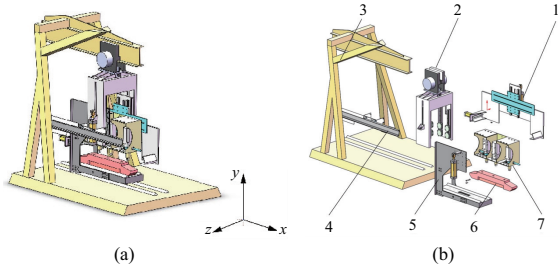
2 刮板链拆装设备总体设计

图 2 为刮板链拆装设备结构图。支架是刮板链拆装设备的基本框架,与横移机构进行装配,实现刮板升降机构、螺栓拆装机构和托板升降机构在 x 方向的横移。横移机构动力源为交流电机。横移导轨起导向约束作用,可限

基金项目:西安石油大学省级优势学科项目(Ys37020203)

第一作者简介:程卓(1995—),男,陕西宝鸡人,硕士研究生,研究方向为材料成型加工设备的自动化控制。

制螺栓拆装机构在拆装和横移过程中沿 z 方向的晃动。刮板升降机构、托板升降机构和螺栓拆装机构在气缸的作用下,可分别实现沿 y 方向的移动。



1—托板升降机构;2—横移机构;3—支架;4—横移导轨;
5—刮板升降机构;6—刮板;7—螺栓拆装机构。

图2 刮板链拆装设备结构图

3 关键零部件设计

刮板升降机构与螺栓拆装机构是刮板链拆装设备的关键组成部分。刮板升降机构在垂直方向上将刮板移动到指定位置,螺栓拆装机构在拆装电机的驱动下对刮板连接螺栓进行拆卸与紧固。

3.1 刮板升降机构结构与优化

图3为刮板升降机构装配体,升降侧板与刮板支承座采用螺栓连接,升降气缸为动力源,驱动升降侧板与刮板支承座实现垂直升降。图4为刮板升降机构受力示意图,刮板的重力等效为均布载荷,在侧板螺栓孔处定义固定约束。在 xy 平面上将刮板支承座简化为悬臂梁,忽略升降侧板所受轴力,计算刮板支承座在 x 方向上的弯矩方程如下:

$$M(x) = \begin{cases} -ql(l/2+a) & (x=0) \\ qlx-ql(l/2+a) & (0 < x \leq a) \\ \frac{q}{2}(l-x+a)^2 & (a < x \leq a+l) \\ 0 & (a+l < x \leq l+2a) \end{cases} \quad (1)$$

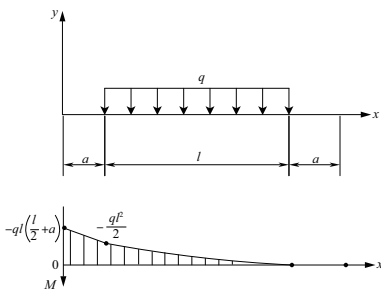


图5 刮板升降机构 xy 平面力学模型

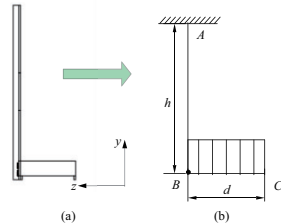


图6 刮板升降机构 yz 平面力学模型

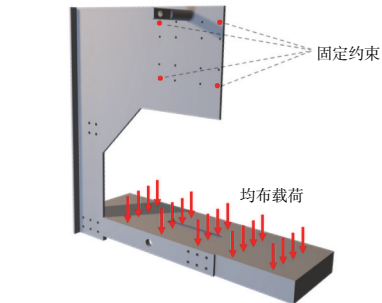


图4 刮板升降机构受力示意图

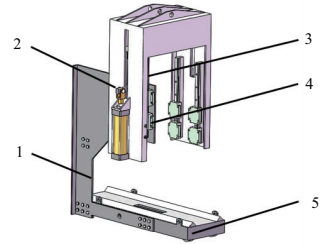
刮板升降机构力学模型如图5所示。在 yz 平面上将刮板升降机构简化为钢架结构如图6(b)所示, B 为刚节点,计算 BC 段与 AB 段钢架所受弯矩如图6(c)所示。升降侧板与刮板支承座在弯矩的作用下将产生弯曲变形,假设弯曲变形为小变形,挠度 ω 向下,则小挠度微分方程为

$$\frac{d^2\omega}{dx^2} = -\frac{M(x)}{EI} \quad (2)$$

式中: $M(x)$ 为弯矩; E 为梁的弹性模量; I 为惯性矩; 对 x 作不定积分,得到挠度方程:

$$\omega = \int \left(-\int \frac{M(x)}{EI} dx \right) dx + Ax + B \quad (3)$$

式中 A, B 为积分常数。刮板升降机构在 xy 平面与 yz 平面均布载荷的共同作用下将产生如图7所示的弯曲变形,过大的变形量将影响刮板链的拆装。以某型号质量为 110kg 刮板的重力为均布载荷,对刮板升降机构进行有限元静力学分析。



1—升降侧板;2—气缸;3—导轨;4—滑块;5—刮板支承座。

图3 刮板升降机构装配体

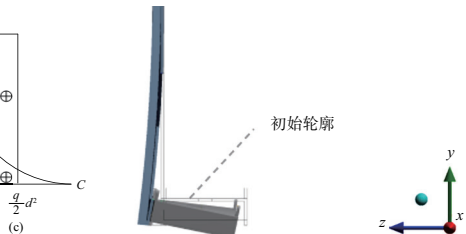


图7 刮板升降机构
受力变形状态

升降侧板与刮板支承座均采用 Q235 钢板焊接而成,在静力学分析中对螺栓和其余零件分别使用 Beam188 单元和 Solid186 实体单元进行计算。螺栓预紧力一般以屈

服强度的 70% 进行施加^[6]。若螺栓采用线性材料进行计算,结果可能远超屈服强度,所以螺栓采用非线性结构钢(双线性弹塑性本构模型),应力结果更切合实际工况^[7]。

表1为Q235钢和非线性结构钢的材料属性。考虑螺栓预紧加载,故设置2个分析步进行求解。图8为刮板升降机构受载荷总变形量。由计算结果可知,升降侧板呈现z方

向的弯曲,最大变形量位于刮板支撑座x方向最前端,最大值为4.55mm。

表1 材料属性

材料种类	密度/(kg/m ³)	弹性模量/MPa	泊松比	屈服强度/Pa	切变模量/Pa
Q235 钢	7 850	2.1×10 ⁵	0.3	2.35×10 ⁸	—
非线性结构钢	7 850	2.1×10 ⁵	0.3	2.5×10 ⁸	1.45×10 ⁹

考虑变形量影响螺栓拆装过程中拆卸夹具与连接螺母的对中性,因此对刮板升降机构进行结构优化,如图9所示,在升降侧板与刮板支底座之间设计连接架,并在升降侧板外侧焊接加强筋,重新进行计算分析,计算结果如

图10所示。最大变形区域未改变,变形量降低至1.55mm,且后期经样机调试,可满足螺栓拆装过程中拆卸夹具与连接螺母的对中性要求。

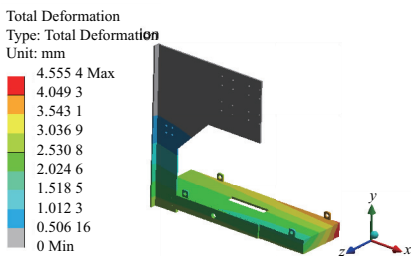


图8 刮板升降机构总变形

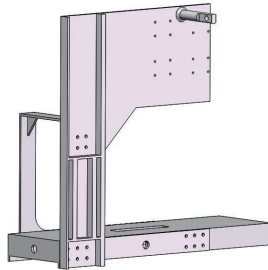


图9 优化后刮板升降机构装配体

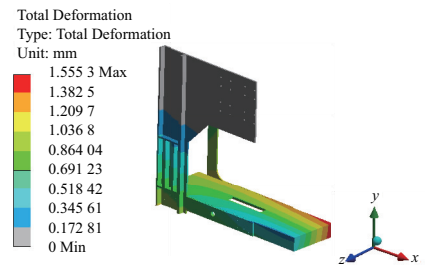
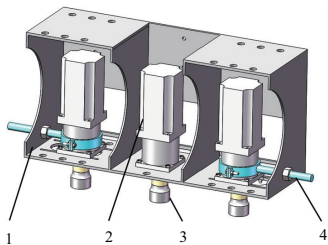


图10 优化后刮板升降机构总变形

3.2 电机支座结构设计及模态分析

电机支座与三组并列的步进电机组成螺栓拆装机构,如图11所示。电机支座采用Q235钢板焊接而成,调节杆用于调整三组电机的距离以适应不同类型刮板链螺栓的拆卸。



1—电机支座;2—步进电机;3—夹具;4—调节杆。

图11 螺栓拆装机构

步进电机在转动过程中产生一定的激振频率,为避免电机支座的自振频率与外部电机转动所产生的激振频率相近而发生共振,影响设备稳定性,本文对电机支座进行了模态分析,以确定支座的自振频率和振型^[8]。模态分析遵循动力学分析的平衡方程:

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = F(t) \quad (4)$$

式中: M 为质量矩阵; C 为阻尼矩阵; x 为位移矢量; $F(t)$ 为力矢量; \ddot{x} 为加速度矢量; \dot{x} 为速度矢量。当阻尼矩阵为0时动力学运动方程为

$$M\ddot{x} + Kx = F(t) \quad (5)$$

设结构的自由振动为简谐振动,且忽略外部载荷

$F(t)$,将 $x = x_0 \cos \omega t$ (x_0 为振动幅值) 带入式(5)得:

$$(K - \omega_i^2 M)x_i = \{0\} \quad (6)$$

式中: ω_i^2 为方程特征值; ω_i 为自振圆频率; $f = \omega_i / (2\pi)$ 为自振频率;特征值 ω_i^2 对应的特征向量 x_i 为自振频率 $f = \omega_i / (2\pi)$ 对应的振型。

电机支座的前6阶自振频率如表2所示,自振频率集中在300~500 Hz之间。图12为电机支座的典型振型,支座前1~4阶模态振型表现为上下盖板与肋板的混振。5~6阶表现为肋板的横向振动。

表2 电机支座自振频率 单位:Hz

阶数	1	2	3	4	5	6
频率	337.94	351.65	378.99	402.33	456.64	466.47

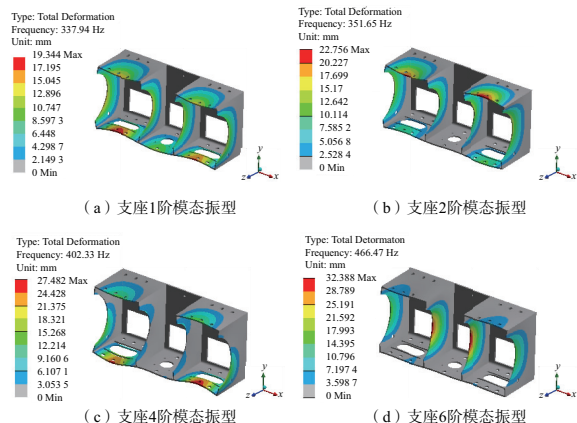


图12 电机支座模态分析典型振型

在螺栓拆装过程中,步进电机通过减速器减速后输出的最大转速低于 50 r/min,所产生的激振频率远低于两类型支座的最小自振频率。根据单自由度弹簧阻尼系统谱响应分析的动力学公式:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_0 \cos \omega t \quad (7)$$

式中: m 为物体质量; c 为阻尼系数; k 为弹簧刚度系数; x 为物体的位移;对其求解可得

$$x(t) = \frac{F_0}{k} e^{-\zeta \omega_n t} \cos(\omega_d t - \psi) + \frac{F_0}{k} \beta \cos(\omega t - \varphi) \quad (8)$$

式中: $\zeta = c/2\sqrt{km}$ 为阻尼比; ω_d 为带阻尼的固有频率; ψ 为带阻尼相位差; $\beta = 1/\sqrt{(1-s^2)^2 + (2\zeta s)^2}$ 为振幅放大因子; $\varphi = \arctan[(2\zeta s)/(1-s^2)]$ 为相位差; $s = \omega/\omega_n$, $\omega_n = \sqrt{k/m}$ 为无阻尼固有频率。

式(8)中第一部分为阻尼系统的自由振动响应,且随着时间的推移而衰减,最后消失。第二部分为受迫振动响应,不随时间衰减,称为系统的稳态响应。由振幅放大因子 β 可知,当步进电机旋转产生的激振频率 ω 远低于支座的自振频率 ω_n 时,振动响应幅值与静力学分析的位移相近,相位差趋于 0,故电机支座不会出现共振现象。

4 效果验证

图 13 所示为刮板链拆装设备实物图。终调试发现:横移机构移动速度与刮板连接螺栓的移动影响刮板链的装配效果。由于横移系统移动速度过快,停止时将导致刮板与链条相对位置出现偏差,影响刮板与链条的装配,采用变频器对横移电机转速进行控制,降低横移系统的移动速度,提高刮板链的装配精度。在上刮板与压条分离过程中,连接螺栓位置可能发生移动,将导致刮板链装配时上刮板与连接螺栓出现干涉。通过在刮板支撑座底部安装电磁铁产生磁力限制螺栓的移动,确保刮板链正常装配。



图 13 刮板链拆装设备实物图

经优化后进行刮板链拆装试验后,结果表明:刮板链

拆装设备各机构运行稳定,无共振现象发生,刮板链拆装成功率显著提升,达到试验预期效果,图 14 为刮板实际拆装过程。

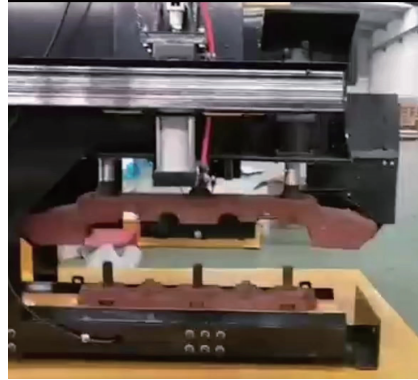


图 14 刮板实际拆装过程

5 结语

1) 为解决矿用刮板链在维修拆装过程中出现的拆卸效率低、劳动强度大等问题,本文采用 SolidWorks 对刮板链拆装设备进行结构设计。为确保设备运行的可靠性,基于 Ansys Workbench 对刮板升降机构进行静力学分析,并对危险区域进行结构优化;对电机支座进行模态分析与外部激振频率对比,结果表明外部激振频率远低于电机支座的 1 阶自振频率,不会产生共振。

2) 对刮板链拆装设备进行加工并现场运行调试,结果表明该设备工作过程可靠稳定,验证了设计方案的可行性,对刮板链的研究设计提供了新的思路。

参考文献:

- [1] 胡余健. 机械自动化技术在机械制造业中的应用[J]. 现代工业经济和信化,2021,11(8):140-141,146.
- [2] 高丽霞. 刮板链螺母紧固装置的设计[J]. 煤矿机械,2021,42(9):106-107.
- [3] 王发达,王旭东. 矿用刮板链条组装系统的设计[J]. 煤矿机械,2021,42(4):8-10.
- [4] 贾宁,周好斌,贺艺博,等. 矿用刮板链自动拆装定位装置设计[J]. 机械研究与应用,2020,33(6):111-113.
- [5] 原长锁. 刮板链条螺栓螺母自动钻铰拆卸装置设计[J]. 机械研究与应用,2021,34(1):148-149.
- [6] 黄鑫. 法兰设计方法比较及螺栓预紧力确定的研究[D]. 兰州:兰州理工大学,2018.
- [7] 周炬,苏金英. ANSYS Workbench 有限元分析实例详解:静力学[M]. 北京:人民邮电出版社,2017.
- [8] 曹妍妍,赵登峰. 有限元模态分析理论及其应用[J]. 机械工程与自动化,2007(1):73-74.

收稿日期:2022-04-08