

SF-3 型烟草输送带清洗装置回转支承接触疲劳分析

孙书情¹,张红军¹,侯骏峰¹,周广旭¹,王建涛¹,靳亚伟¹,刘华伟²

(1. 河南中烟工业有限责任公司 许昌卷烟厂,河南 许昌 461002;

2. 郑州世峰节能科技有限公司,河南 郑州 450016)

摘要:由于回转支承是 SF-3 型烟草输送带清洗装置的核心支承部件,它的失效将会造成整个清洗装置的瘫痪。根据回转支承的不同工况,采用 Solidworks 对回转支承单元体进行三维建模,利用 ANSYS Workbench 对简化后的单元体模型进行了静力学分析,得到回转支承内、外圈滚道与滚柱的接触应力分布及其疲劳寿命。由疲劳分析结果可知,回转支承的外圈滚道所受应力大于内圈滚道所受应力,其疲劳寿命小于内圈的疲劳寿命,同时为回转支承的维修、更换提供了数据支持。

关键词:回转支承;接触疲劳;S-N 曲线

中图分类号:TB302.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2023)04-0105-04

Contact Fatigue Analysis for Slewing Support of SF-3 Tobacco Conveyor Belt Cleaning Device

SUN Shuqing¹, ZHANG Hongjun¹, HOU Junfeng¹, ZHOU Guangxu, WANG Jiantao¹, JIN Yawei, LIU Huawei²

(1. Xuchang Cigarette Factory, China Tobacco Henan Industrial Co., Ltd., Xuchang 461002, China;

2. Zhengzhou Shifeng Energy Saving Technology Co., Ltd., Zhengzhou 450016, China)

Abstract: As slewing bearing is the core supporting component of SF-3 tobacco conveyor belt cleaning device, its invalidity will cause the breakdown of the whole cleaning device. According to the analysis on different working conditions of slewing bearing, three-dimensional modeling of the slewing bearing unit is built by Solidworks software. Static analysis of the simplified unit model is carried out with ANSYS Workbench to get the contact stress distribution and fatigue life of inner and outer ring raceways against rollers. The fatigue analysis results show that the stress of the outer raceway of the slewing ring is greater than that of the inner raceway, and its fatigue life is smaller than that of the inner raceway, which provides data support for the maintenance and replacement of the slewing bearing.

Keywords: slewing bearing; contact fatigue; S-N curve

0 引言

烟草输送带是烟草行业各个生产环节物料输送的重要手段^[1]。长时间生产,在粉尘、烟油、烟用香精香料、烟灰及高水分物料等因素的共同作用下,输送带表面容易产生大量烟垢,烟垢粘附在输送带上,容易造成输送带跑偏、变形、破损等故障^[2-4]。目前,此类输送带的清洁保养多采用人工去垢,耗时费力,容易对输送带造成损伤,且具有潜在的安全隐患。为此本文研发了一套 SF-3 型烟草输送带自适应清洗装置,可实现输送带高度方向及幅面宽度方向的自适应清洗。其中,回转支承是该清洗装置的核心受力部件,其安全可靠程度很大程度上决定了整机的工作寿命。因此,回转支承的设计及疲劳寿命分析是整机设计中的重要环节。如果对回转支承的寿命预测过长,则会造成安全隐患,回转支承的提前失效将会直接导致整机的瘫痪;如果回转支承的寿命预测过短,导致频繁更换,会增加

维护成本,造成资源浪费^[5-6]。

常用的接触疲劳寿命分析方法有试验法、有限元法和理论计算法等^[7]。其中,有限元方法具有成本低、精度高的特点。因此,本文采用有限元方法来对回转支承的疲劳寿命进行分析、预测。首先,在 Solidworks 环境下对回转支承单元体进行三维建模,并导入 ANSYS Workbench 中进行静力学接触分析。然后,利用 Fatigue Tool 模块读取应力、应变历程,采用线性累积损伤理论进行疲劳寿命计算。最后,导出回转支承的疲劳寿命分析结果。

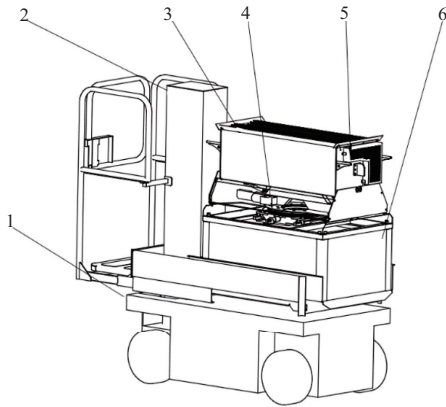
1 烟草输送带清洗装置结构

SF-3 型烟草输送带自适应清洗装置如图 1 所示,主要包括行走机构、升降机构、清洁机构、回转支承、辅助定位装置和供水机构等 6 个功能模块。各功能模块的主要作用如下:行走机构采用轮式驱动,负责驱动整机行走到指定位置;升降机构负责根据输送带位置调整清洁机构的

基金项目:国家自然科学基金资助项目(11402234)

第一作者简介:孙书情(1968—),男,河南许昌人,工程师,本科,研究方向为烟草设备与工艺技术,1783146750@qq.com。

高度;清洁机构由去离子水喷头、清洁毛刷、驱动电机组成,负责输送带的清理去污;回转支承承载着清洁机构的质量与毛刷工作时产生的交变接触压力,并带动清洁机构做往复回转运动以适应不同的输送带清洗需求;辅助定位装置用来辅助清洁机构工作时的定位;供水机构用来提供去离子压力清洁用水。



1—行走机构;2—升降机构;3—清洁机构;
4—回转支承;5—辅助定位装置;6—供水机构。

图1 烟草输送带清洗装置结构

2 回转支承的接触分析

针对该机构的核心构建,回转支承是受力最大部件,对回转支承的有限元分析过程如图2所示。

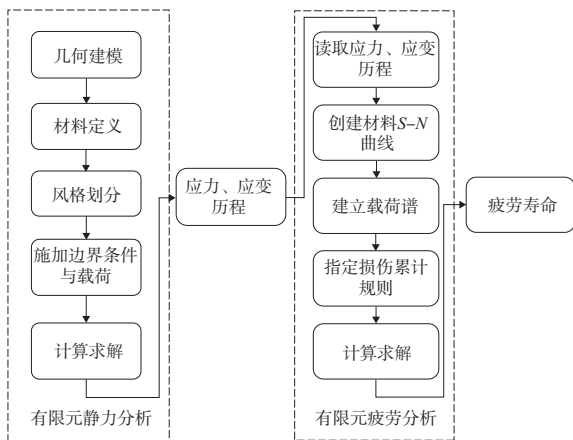


图2 回转支承有限元疲劳寿命分析流程

2.1 有限元建模

回转支承结构由外圈、内圈和60颗单列圆柱滚子组成。采用Solidworks对回转支承进行三维建模,如图3所示,其回转支承剖视图如图4所示。回转支承内圈通过螺栓组与供水机构上端盖基座相连,外圈采用螺栓组与清洁机构相连,由小齿轮驱动做往复旋转运动。60颗单列圆柱滚子沿圆周方向均匀排列。回转支承的结构参数及各部件材料属性分别见表1、表2。

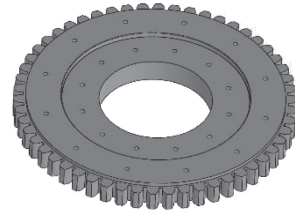


图3 回转支承三维模型



图4 回转支承剖视图

表1 回转支承的结构参数

参数	数值
节圆直径 d_m /mm	198
内圈滚道中心直径/mm	195.50
外圈滚道中心直径/mm	200.50
滚柱直径 D /mm	14
滚柱长度 L /mm	13.6
接触角度 α /(°)	45
滚柱数量 Z /个	60

表2 回转支承各部件材料属性

名称	材料	密度/(kg/m^3)	弹性模量/GPa	屈服强度(20°C)/MPa
内圈	42CrMo	7 800	210	930
滚柱	GCr15	7 800	210	518
外圈	42CrMo	7 800	210	930

为了提高有限元分析的计算效率,做以下简化处理。
1)由于内、外圈的螺栓孔距离滚柱接触区域较远,对滚道接触应力影响很小,因此,忽略螺栓组预紧力的影响。
2)忽略滚柱保持架的影响。
3)忽略回转支承各部件圆角的影响。
4)由于回转支承圆周方向上的对称性,这里截取 $360^\circ/60$ (即 6°) 角度范围内回转支承最右端的单元体来进行研究分析,如图5所示。

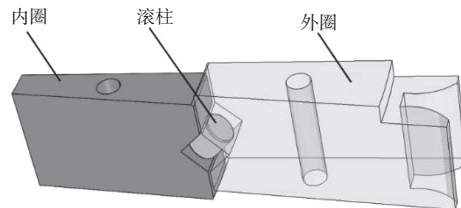


图5 回转支承单元体

2.2 网格划分

采用 ANSYS Workbench 自带的网格划分工具

Meshing,选用 SOLID185 单元,定义接触区域网格尺寸为 0.2 mm,其余网格尺寸为 2 mm,单元体网格划分完成后,统计结果显示共有 14.27 万个网格节点,35.45 万个网格单元,网格划分结果如图 6 所示。

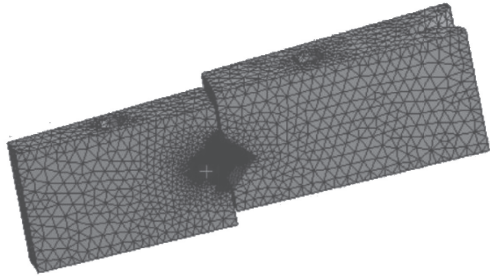


图 6 单元体网格划分结果

2.3 载荷施加

回转支承工作时,承受的载荷主要有:1)清洁机构自身重力;2)由于清洁机构和输送带接触所产生的正压力,该正压力分解后为轴向分力、径向分力以及一个附加的倾覆力矩。回转支承的工作时间按每天工作 2 h、一年工作 120 d 计算,具体使用工况见表 3。本文选择回转支承正常工作时的工况进行疲劳寿命分析。

表 3 回转支承的工况

轴向力 F_a/N	径向力 F_r/N	倾覆力矩 $M/(N \cdot m)$	转速/(r/min)
218.82	52.74	26.52	8

根据回转支承表 3 工况下的受力情况可知,回转支承受力最大的位置发生在右侧单元体处,单元体所受轴向力分量为

$$f_a = F_{a1} + F_{M1} \quad (1)$$

式中 $F_{a1} = \frac{F_a}{Z}$,由倾覆力矩 M 引起的最大等效载荷 $F_{M1} = \frac{4.37M}{Zd_m \sin \alpha}$

单元体所受径向力分量为

$$f_r = \frac{F_r}{Z} \quad (2)$$

计算式(1)一式(2),得 $f_a = 17.445 \text{ N}$, $f_r = 0.879 \text{ N}$ 。

2.4 回转支承的接触应力分析

根据有限元接触分析过程中接触面与目标面的设定原则,将表面积相对较小的滚柱表面设置为接触面,而把表面积较大的内、外圈滚道表面设置为目标面,接触类型选为摩擦接触,摩擦因数设为 0.3。Formulation 设置为对渗透有一定抑制作用的增强拉格朗日法,法向接触刚度系数设置为 1,并设置刚度系数在每次迭代后自动更新。为消除模型初始间隙的影响,界面处理设为 Adjust to touch。根据回转支承的安装形式,内圈固定安装,外圈承受载荷,因此,单元体内圈底面增加固定约束,外圈上表面施加大小为 17.445 N 方向竖直向下的轴向力,在外圈内侧面施加

大小为 0.879 N 方向垂直该表面的径向力。同时约束单元体左右端面 x 、 y 方向的位移分量为 0,保留其 z 方向位移分量为 free。单元体应力分布云图如图 7 所示。

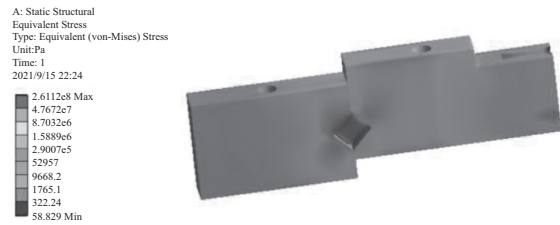


图 7 回转支接触应力分布云图

由图 7 可知,回转支承的最大应力为 261.12 MPa,出现在内圈和滚珠接触位置。其安全系数为

$$\frac{\sigma_q}{\sigma_{\max}} = \frac{930}{261.12} = 3.56 \quad (3)$$

满足材料强度要求。

3 回转支承的疲劳寿命分析

回转支承在满足静态设计许用应力的情况下,计算其疲劳寿命是评估结构在交变载荷下可靠性的重要手段。疲劳寿命估算常用的方法有相对 Miner 损伤法则、Miner 损伤法则、非线性累积损伤理论、双线性累积损伤理论等^[8]。本文拟引入 Miner 线性累计损伤法则,采用有限元分析手段,对回转支承承受交变载荷下的疲劳寿命进行预测计算。

Miner 线性累计损伤法则在工程上广泛应用。其基本算法如下:

$$D = \sum_{i=1}^l \frac{n_i}{N_i} = 1 \quad (4)$$

式中: D 表示累积损伤值,当为 1 时,结构发生疲劳损坏; n_i 、 N_i 分别表示在应力幅值 σ_i 出现的次数及造成损伤时经历的次数; l 为应力幅值的级别。其基本的计算流程如图 8 所示。

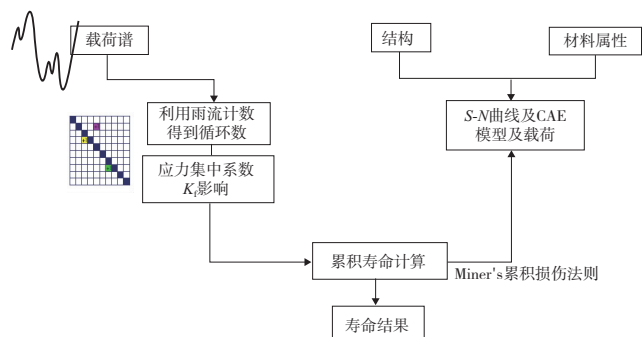


图 8 Miner 累计损伤计算法则

为了分析回转支承的疲劳情况,采用 ANSYS Workbench 中的 Fatigue Tool 模块对回转支承的疲劳寿命进行分析,该疲劳分析模块综合考虑了载荷、材料疲劳系数、平均应力修正方法等因素,采用基于应力分析或应变

分析结果的线性累积损伤理论进行疲劳寿命计算。两种材料的S-N曲线根据式(5)、式(6)得到。

$$42\text{CrMo}; \lg N = 27.3871 - 8.0125 \lg S \quad (5)$$

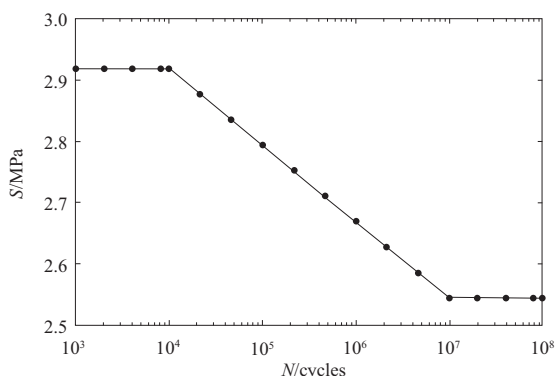


图9 42CrMo S-N曲线图

根据第2部分得到的回转支承最大应力值为261.12 MPa,在0~1 000 MPa范围内取10个不同的S值,得到10个对应的N值,即可得到相应材料的S-N曲线。同时,采用Gerber平均应力修正曲线对两种材料的S-N曲线进行修正;设置载荷类型为Ratio,对于回转支承,由倾覆力矩引起的轴向力以及所受径向力做周期性变化,则,Ratio的值为 $[F_{ai} - (F_{Mi} + f_r)] / [F_{ai} + (F_{Mi} + f_r)] = -0.6019$;材料的疲劳强度因子取1;载荷的比例系数取0.8。计算得到的内、外圈疲劳寿命分布图分别见图11、图12。

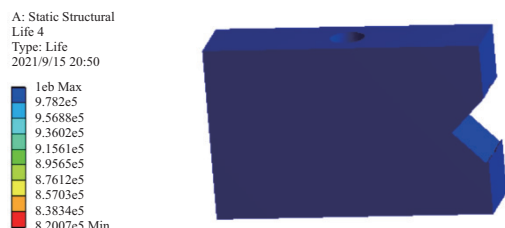


图11 内圈疲劳寿命分布图

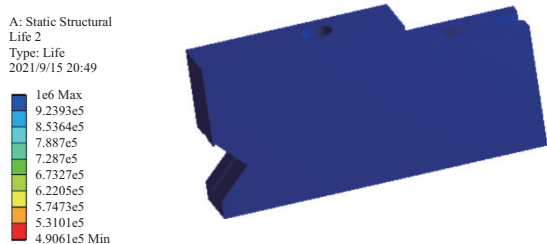


图12 外圈疲劳寿命分布图

由回转支承单元的疲劳寿命分析结果可知,回转支承工作时,外圈所受接触应力大于内圈接触应力,其疲劳寿命低于内圈的疲劳寿命。根据折算结果,外圈的疲劳寿命为4.2587年,内圈的疲劳寿命为7.1186年。

$$\text{GCr15}; \lg N = 22.3088 - 4.2123 \lg S \quad (6)$$

式中:S为交变应力,MPa;N为循环次数。

两种材料的S-N曲线如图9—图10所示。

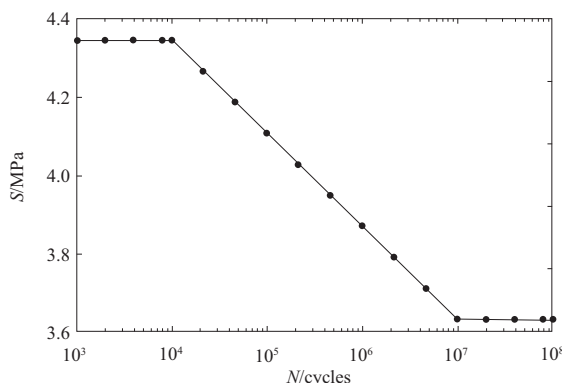


图10 GCr15 S-N曲线图

4 结语

本文采用Solidworks对SF-3型烟草输送带清洗装置的回转支承进行了三维建模,借助ANSYS Workbench静力学分析模块对回转支承做了有限元分析,得到了回转支承的内圈、外圈与滚柱的接触应力分布,采用Fatigue Tool疲劳分析模块分别得到了回转支承内、外圈的疲劳寿命,为回转支承的及时维修、更换提供了参考数据。仿真结果显示:对于回转支承工况(表3),外圈受到的接触应力比内圈的大,其疲劳寿命低于内圈的疲劳寿命,外圈容易先发生疲劳损坏。

本文目前仍然属于项目设计、仿真验证阶段,还未开展实验验证,以后条件成熟后再进行实验验证会得到一个更好的结果。

参考文献:

- [1] 马从胜. GDX2 烟支输送带清洁装置设计[J]. 设备管理与维修, 2019(21): 118-119.
- [2] 范爱军. 电子皮带秤恒张力自动纠偏机构的设计[J]. 烟草科技, 2021, 54(5): 90-94.
- [3] 兰随发, 董玉水. SG600A 型洗梗机脱水系统自动清洗装置的设计[J]. 烟草科技, 2003, 36(6): 21-22.
- [4] 张晋红. 桥式起重机减速器疲劳寿命计算及振动可靠性分析[D]. 重庆: 重庆大学, 2017.
- [5] 罗继伟, 伍海云. 倾覆力矩对推力球轴承疲劳寿命的影响[J]. 轴承, 2010(9): 1-4.
- [6] ZHANG Y M, LIU Y Z. Research on the rolling contact fatigue life of the bearing considering the friction effect[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 2021, 235(12): 2238-2264.
- [7] 邱正新, 刘本学, 张赛鹏, 等. GW46-126 高压隔离开关耐温性试验研究[J]. 郑州大学学报(工学版), 2020, 41(3): 47-52.
- [8] 李苗苗, 杨阳, 王宇, 等. 考虑温度影响的角接触球轴承疲劳寿命仿真研究[J]. 机械制造与自动化, 2020, 49(2): 113-116.

收稿日期: 2022-06-27