

大型立辊磨磨辊及加压系统特性分析

李延民,王海鹏,洪 楨

(郑州大学 机械工程学院,河南 郑州 450000)

摘 要:以 LGM5024 型立磨为研究对象,在 SolidWorks 中建立了立磨运动部件的三维模型和磨辊加压系统的数学模型,导入到 ADAMS 进行模拟工况下的动态仿真,得到立磨在一个周期的运行过程中磨辊对物料的压力值变化曲线。对不同工况参数(磨辊自重、加压系统调定压力、蓄能器容积和蓄能器充气压力)与加压系统特性的关系进行了大量的仿真分析,为立磨的使用提供了有力的依据。绘制了立磨正常工作状态下加压系统中拉杆的受力曲线。结果与仿真方法为立磨的设计提供了参考。

关键词:立磨;磨辊;ADAMS;加压系统;拉杆;受力曲线

中图分类号:TH16;TP391.72 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-3997(2016)06-0005-04

Characteristic Analysis of the Grinding Roller & the Pressuring System on the Large Vertical Roller Mill

LI Yan-min, WANG Hai-peng, HONG Zhen

(School of Mechanical Engineering, Zhengzhou University, He'nan Zhengzhou 450000, China)

Abstract: Taking the LGM5024 type vertical roller mill (VRM) as the research object, it built the simplified 3D model of moving assembly in SolidWorks and the mathematic model of the pressuring system, then conducted it to ADAMS to carry out the dynamic analysis simulating the actual working condition, obtained the force curve of the grinding roller on the supplies in one cycle. The relationships between different working parameters (the weight of the grinding roller, the pressuring system adjusted pressure, the volume of accumulator and the accumulator inflation pressure) and the character of the pressuring system were analyzed, which provided a strong support for the use of VRM. It plotted the force curves of the rocker in pressuring system. The calculation and simulation method herein will be as references for the design of VRM.

Key Words: Vertical Roller Mill; Grinding Roller; ADAMS; Pressuring System; Rocker; Force Curves

1 引言

立磨(又称辊磨机)是一种粉磨兼烘干设备,由于其能耗低,铁的损耗少,噪音小,占地面积少等优点,广泛用于粉磨水泥等原料^[1]。立磨的核心结构是由圆柱形磨盘和磨盘上的几个磨辊组成。工作时磨盘匀速转动,物料由进料口垂直落到磨盘中央并随磨盘转动,同时由于离心力的作用向磨盘边缘移动,移动到磨辊和磨盘之间的辊道内在磨辊的压力下被粉碎^[2]。磨辊对物料的压力来自两个方面:一是自身的重力,二是由加压系统提供的液压力。现代立磨的加压方式普遍采用液压加载,加压系统由液压泵、液压缸、蓄能器和其他控制机构组成,在工作过程中,可以通过调节液压缸工作压力大小来控制粉磨压力的大小,蓄能器可以缓冲物料粒度不均与料层厚度不均引起的磨辊异常振动,同时还承担为系统补油的任务。

对于立磨的分析研究,传统的研究手段通常是进行静态分析^[3],分析过程比较简单,缺点是不能考虑立磨的运动,这种分析

方法通常用在立磨的结构设计方面;文献利用实验型小型立磨进行了动态分析^[4-6],但是由于立磨结构等因素,目前只处在定性分析阶段。对于立磨加压系统特性的实验及仿真研究目前基本处于空白。为了得到相关数据,在 SolidWorks 中建立 LGM5024 型立磨相关运动部件和物料的简化模型;并根据加压系统特性建立相应的数学模型。之后导入到 ADAMS 对其进行动力学仿真,得出在工作过程中立磨的运动与磨辊受力情况。同时,分别以磨辊自重、加压系统调定压力、蓄能器容积和蓄能器充气压力为自变量进行对比仿真。得出在不同加压参数下磨辊的受力情况。最后绘制加压系统中拉杆的受力曲线。

2 系统模型

2.1 运动系统模型

以 LGM5024 型立磨为研究对象,该型立磨基本参数,如表 1 所示。

来稿日期:2015-12-30

作者简介:李延民,(1964-),男,河南尉氏人,博士研究生,副教授,主要研究方向:机械制造、液压传动与控制

表1 立磨基本参数
Tab.1 Basic Parameters of the VRM

名称	规格参数
磨盘直径	5m
磨盘转速	26.3r/min
磨辊数量	4
磨辊直径(中径)	2.36m
磨辊宽度	0.83m
磨辊自重	(3.78×10 ⁴)kg

立磨运动部件的简化模型,如图1所示。立磨四个磨辊工作原理相同,此处只对其中一个进行仿真。模型主要有下盘座、上盘座、衬板、物料、辊芯、辊套、动臂、摇臂、拉杆、转动轴等十部分组成。在磨辊与磨盘间的物料有一定的厚度,在实际工作中厚度是不均匀的,根据现场收集的数据知,磨辊的振幅不能超过6mm,超过就会造成整机振动过大。因此,在控制系统中设定一旦超出就会触动限位开关,迫使机器停机。因此,在建立物料模型时以最大振幅6mm建模。磨辊与摇臂、动臂固定,共同绕转动轴转动,动臂下方与拉杆相连,拉杆一端连接动臂,另一端连接加压系统的液压缸活塞杆^[7]。



图1 立磨运动部件的简化模型
Fig.1 Simplified Model of VRM Parts

2.2 加压系统模型

加压系统一般具有抬辊、落辊及保压过程^[8-10]。加压系统中一个液压缸的工作原理简化图,如图2所示。

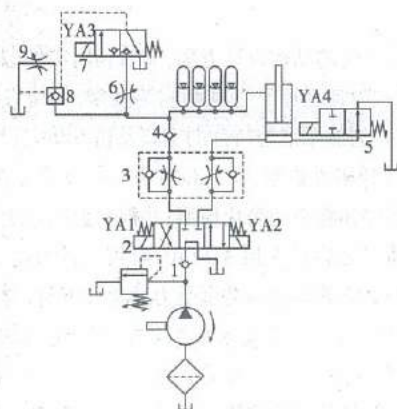


图2 加压系统简化模型
Fig.2 Simplified Model of Pressuring System

加压系统工作原理如下:(1)抬辊过程:电磁铁 YA1、YA3 和 YA4 加电,液压油经单向阀 1、电磁换向阀 2、单向节流阀 3 进入液压缸无杆腔,有杆腔内的液压油经液控单向阀 8、节流阀 9 回到油箱,当磨辊上升至要求的位置时, YA1 和 YA3 失电,磨辊上升停止并保持静止;(2)落辊过程:立磨主电源接通后,油泵启动,

电磁阀 YA2、YA4 通电,液压油流经单向阀 1、电磁换向阀 2、单向节流阀 3、单向阀 4 进入液压缸有杆腔,无杆腔油液经单向节流阀 3、电磁换向阀 2 回到油箱。当磨辊下降至设定下限位时,电磁阀 YA2 失电,磨辊下降停止;(3)保压过程:油泵关闭,电磁阀 YA1、YA2、YA3、YA4 均失电。此时,液压缸无杆腔与油箱接通,磨辊在自重和液压系统压力作用下对物料进行研磨。

3 仿真分析

3.1 加压系统拉力

仿真工况条件^[11],如表2所示。

表2 仿真工况条件
Tab.2 Working Condition of the Simulation

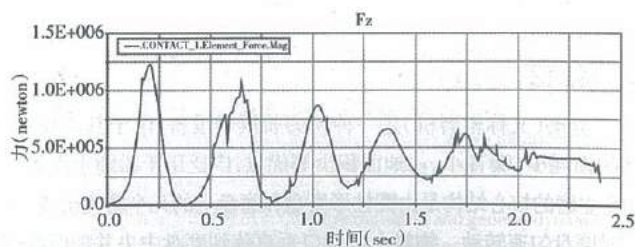
名称	规格参数
磨辊重量	(3.78×10 ⁴)kg
加压系统调定压力	8MPa
蓄能器容积	32L 气囊式
蓄能器充气压力	4.8MPa
磨盘转速	150°/s

正常工作条件下,一个磨辊由两个液压缸提供拉力,每个液压缸有杆腔连接四个蓄能器,负责液压系统的缓冲。工作中磨辊上下运动带动液压缸活塞杆运动,活塞杆实时位移 x (单位:mm) 可以在 ADAMS 仿真中测得。经计算,加压系统压力 F 与活塞杆位移 x 的关系如下:

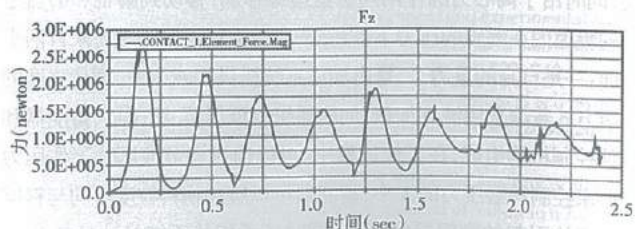
$$F = 7.16 \times 10^4 \times \left(\frac{339.2}{76.8 - 0.0358x} \right)^{14} \quad (\text{N}) \quad (1)$$

3.2 ADAMS 求解

把在 SolidWorks 中建立的模型导入到 ADAMS 中,添加相应约束,使用 GSTIFF SI2 积分器^[12]。设置仿真时间为 2.4s,仿真步数 360 步。得到的仿真结果,如图3所示。其中,在加压系统不工作时的磨辊受力变化,如图3(a)所示。此时的压力仅由磨辊自重来提供。加压系统工作时的磨辊受力变化,如图3(b)所示。



(a) 加压系统不工作时磨辊受力



(b) 加压系统工作时磨辊受力

图3 磨辊力变化图

Fig.3 Press Changes of Grinding Roller

从图中可以看出,工作过程中磨辊受力曲线的波动非常大。原因是由于磨盘边缘的线速度比较大,当磨辊突然遇到磨盘边缘

比较大的物料时在垂直方向上会急速的上升和下落,上升过程中会有比较大的加速度,因此会看到仿真曲线中磨辊受力的急剧升高,而下降时,磨辊又会有一个比较大的向下的加速度,因此受力又会急剧减小。物料粒度不均匀性越高,曲线的振幅就会越大,磨辊的工作也就越不稳定。经计算,加压系统工作时磨辊平均受力(9.28×10^5)N;加压系统不工作时磨辊平均受力(3.98×10^5)N,磨辊自重约提供工作压力的40%。

4 对照分析

为了进一步研究系统特性,分别将磨辊自重、加压系统调定压力、蓄能器容积和蓄能器充气压力作为自变量进行仿真,得出在不同参数下磨辊的受力情况。

4.1 磨辊自重

在本组仿真中,其他工况条件保持不变,以磨辊自重为变量进行仿真分析,得出在不同磨辊重量下的磨辊对物料压力值均值,仿真结果,如图4所示。从中可以看出,随着磨辊自重增加,磨辊压力基本呈线性上升。

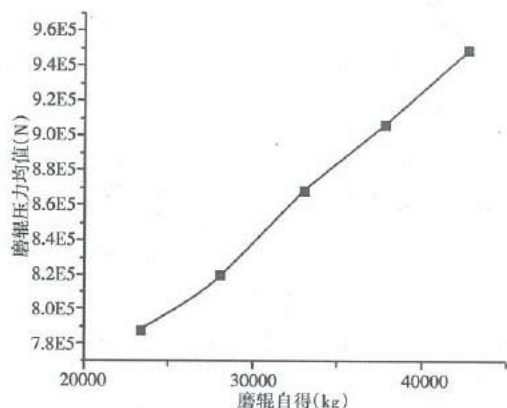


图4 磨辊压力随磨辊自重的变化
Fig.4 Average of Roller Pressure Alone with the Weight of the Grinding Roller

4.2 加压系统调定压力

在本组仿真中,其他工况条件保持不变,以加压系统调定压力为自变量进行仿真分析,得出在不同的调定压力下的磨辊对物料压力均值,仿真结果,如图5所示。仿真结果表明,随着液压缸调定压力的提高,磨辊压力基本呈线性上升。

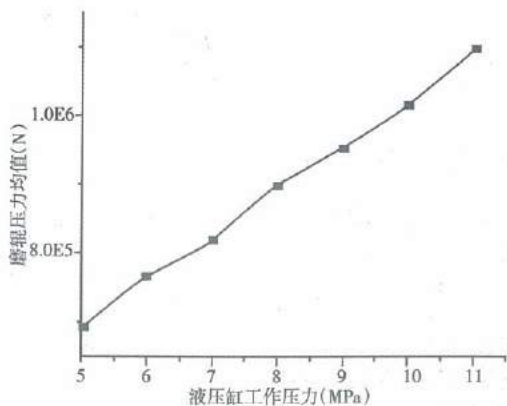


图5 磨辊压力随液压压力的变化
Fig.5 Average of Roller Pressure Alone with the Change of Hydraulic Pressure

4.3 蓄能器容积

在本组仿真中,其他工况条件保持不变,以每个液压缸上连接上蓄能器总容积为自变量进行仿真,不同蓄能器容积下的磨辊压力均值,如图6所示。压力值方差,如图7所示。

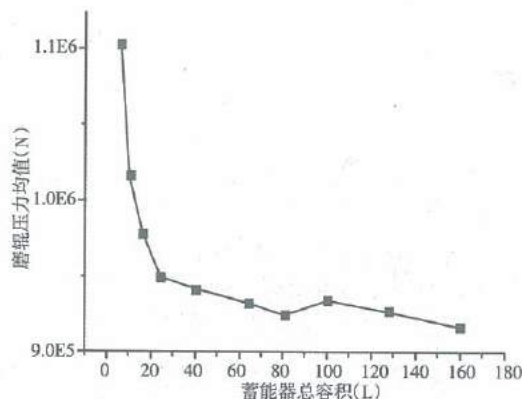


图6 磨辊压力均值随蓄能器容积的变化
Fig.6 Average of Roller Pressure Alone with the Change of Accumulator Cubage

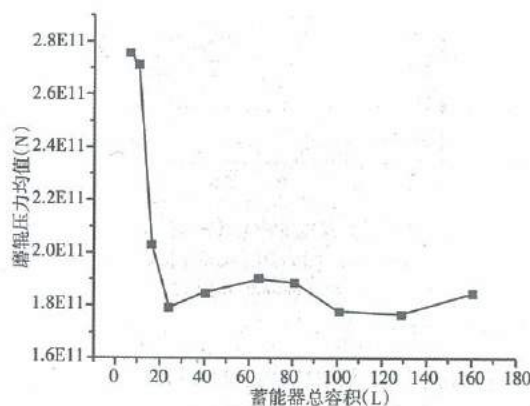


图7 磨辊压力值方差随蓄能器容积的变化
Fig.7 Variance of Roller Pressure Alone with the Change of Accumulator Cubage

仿真结果表明:蓄能器容积越大,缓冲效果越好,但当蓄能器容积超过20L时,缓冲效果不再有大变化。这是由于蓄能器容积过低时,进入蓄能器的油液比较少,不利于充放油的进行,而随着蓄能器容积增大到一定值,工作状态趋于稳定,继续增大容积不会有明显的变化。

4.4 蓄能器充气压力

在本组仿真中,其他工况条件保持不变,把蓄能器充气压力作为自变量进行仿真,不同蓄能器充气压力下的磨辊压力均值,如图8所示。压力值方差,如图9所示。

从图中可以看出,磨辊压力均值与蓄能器充气压力关系不大,但随着蓄能器充气压力的提高,磨辊压力值方差有一个先降后升的大致趋势。这是由于充气压力过高,压缩气体的余地比较小,进入蓄能器的油液也比较少,不利于蓄能器放油,而充气压力过低时,蓄能器内部的气体比较少,放油时没有足够的膨胀动力。仿真结果表明,当蓄能器充气压力在(5.1~6.3)MPa时,磨辊工作比较稳定。

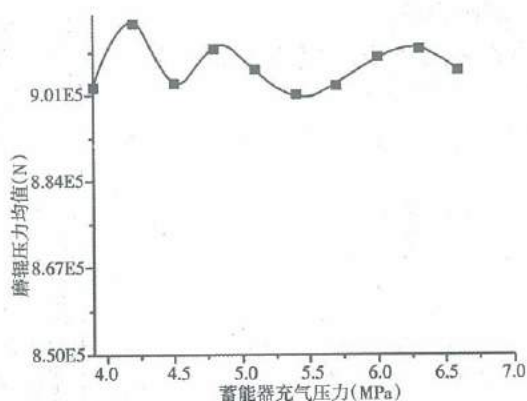


图8 磨辊压力均值随蓄能器充气压力的变化
Fig.8 Average of Roller Pressure Alone with the Change of Accumulator Inflation Pressure

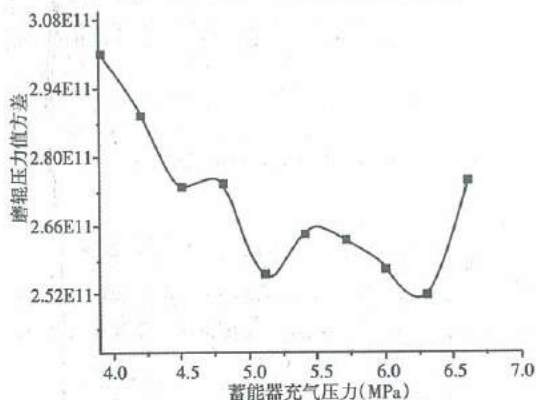
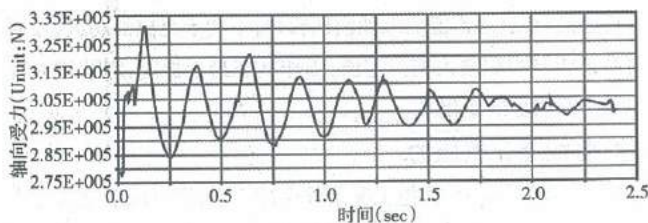


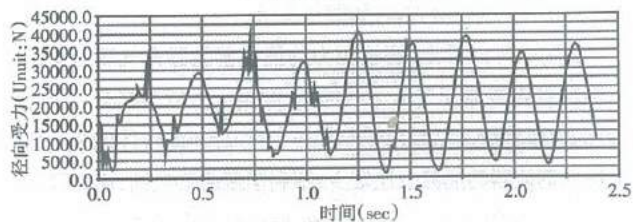
图9 磨辊压力方差随蓄能器充气压力的变化
Fig.9 Variance of Roller Pressure Alone with the Change of Accumulator Inflation Pressure

5 拉杆受力曲线

在工程应用中,加压系统中的拉杆往往容易发生断裂,经过对拉杆工作情况以及对断裂形貌的分析,认定拉杆的断裂属于疲劳断裂。对拉杆在工作中的受力情况进行了分析。绘制了立磨正常工作时的拉杆的受力曲线,如图9所示。其中,拉杆轴向受力曲线,如图9(a)所示。径向受力曲线,如图9(b)所示。受力曲线的获得为以后载荷谱的编制做了准备工作。拉杆受力曲线,如图10所示。



(a)轴向受力曲线



(b)径向受力曲线

图10 拉杆受力曲线

Fig.10 Force Curves of the Rocker

6 结论

通过建立 LGM5024 型立磨运动系统的三维模型以及加压系统的数学模型,在 ADAMS 环境下进行了动力学仿真,并得出立磨在正常工作状态下拉杆受力曲线。仿真结果表明:

(1)磨辊对物料压力的大小是加压系统压力和磨辊自重作用的总和,与两者是线性正相关关系。其中,加压系统提供的压力约占 60%。仿真结果对立磨的调试有较大的借鉴作用。

(2)蓄能器充气压力只能在一定范围内,过大或过小都不利于缓冲工作冲击。通过仿真得到,在加压系统调定压力为 8MPa 时,最优充气压力范围是(5.1~6.3)MPa。

(3)蓄能器容积越大,缓冲效果越好。但当蓄能器容积超过一定值时,缓冲效果没有大的提高,通过仿真,认为一个液压缸上蓄能器的总容积不应低于 20L。

(4)工作中拉杆主要受轴向力的作用,通过仿真得到拉杆的轴/径向受力曲线,为进一步的载荷谱编制工作打下良好的基础。

参考文献

- [1] 杨林建,吴先文,冯锦春.基于 ANSYS 的大型立磨机机身立柱改造研究[J].机械设计与制造,2011(8):160-162.
(Yang Lin-jian, Wu Xian-wen, Feng Jin chun. Large vertical mill fuselage column transformation study based on ANSYS[J]. Machinery Design & Manufacture, 2011(8):160-162.)
- [2] 胡其涛.立磨关键部件有限元分析[D].武汉:武汉理工大学,2009.
(Hu Qi-tao. Finite elements analysis of key components of vertical mill [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2009:3-5.)
- [3] Dong-Woo Lee, Seok-Swoo Cho. Safety evaluation of table liner for vertical roller mill by modified fatigue limit[J]. Engineering Failure Analysis, 2008: 989-999.
- [4] A. Boehm, P. Meissner, T. Plocherberger. An energy based comparison of vertical roller mills and tumbling mills[J]. International Journal of Mineral Processing, 2015:37-41.
- [5] Lucas R.D. Jensen, Mads Jespersen. Influence of quartz particles on wear in vertical roller mills[J]. Minerals Engineering, 2010:390-398.
- [6] Lucas R.D. Jensen, Mads Jespersen. Wear mechanism of abrasion resistant wear parts in raw material vertical roller mills[J]. Wear, 2011:2707-2719.
- [7] 程福安,陈延信,刘宁昌.高压辊式立磨关键部件的有限元分析[J].西安建筑科技大学学报:自然科学版,2010(1):142-146.
(Cheng Fu-an, Chen Yan-xin, Liu Ning-chang. The finite element analysis for key component of high pressure vertical roller mill [J]. Xian University of Arch & Tech, 2010(1):142-146.)
- [8] 马明春.蓄能器在立磨机磨辊加载系统中的应用[J].现代冶金,2010(6):51-53.
(Ma Ming-chun. Accumulator in the application of pressuring system on the vertical mill [J]. Modern Metallurgy, 2010(6):51-53.)
- [9] 郑坤盛,梁平兴. LGM5024 立磨液压系统故障及解决[J].水泥,2013(5):32-33.
(Zheng Kun-sheng, Liang Ping-xing. LGM5024 vertical mill hydraulic system failure and solve [J]. Cement, 2013(5):32-33.)
- [10] 陈正在.立磨机总体结构设计与液压系统研究[J].江西建材,2014(8):6.
(Chen Zheng-zai. Overall structural design and the study of the hydraulic system[J]. Jiangxi Building Materials, 2014(8):6.)
- [11] 刘新民. LGM5024 原料立磨解析[J].水泥工程,2014(2):41-42.
(Liu Xin-min. LGM5024 materials vertical mill parsing [J]. Cement Engineer, 2014(2):41-42.)
- [12] 温奇生.一般平面机构的碰撞分析[D].福州:福州大学,2011:42-53.
(Wen Qi-sheng. Impact analysis of general planar mechanism [D]. Fuzhou: Fuzhou University, 2011:42-53.)