第 31 卷第 5 期 2 0 1 5 年 9 月 **OOD & MACHINERY**

Vol. 31, No. 5 Sep . 2 0 1 5

DOI:10.13652/j.issn.1003-5788.2015.05.022

马铃薯分选输送线静力学分析与计算方法

Analysis and calculation method of potato sorting conveyor line statics

孙 军1 于文强1 李学强2 石媛媛1 于明智1

 $SUN\ Jun^1$ YU Wen-qiang 1 LI Xue-qiang 2 SHI Yuan-yuan 1 YU Ming-zhi 1

(1. 山东理工大学机械工程学院,山东 淄博 255000;2. 山东希森天成农业机械装备有限公司,山东 乐陵 253600)

(1. School of Mechanical Engineering, Shandong University of Technology, Zibo, Shandong 255000, China;

2. Xisentiancheng in Shandong Agricultural Machinery Equipment Co., Ltd., Laoling, Shandong 253600, China)

摘要:马铃薯收获后的分选入库作业劳动量大,机械化程度低,目前有针对性的输送皮带线设备优化研究少有。在参考 国外马铃薯分选输送线装备的基础上,结合中国分选、仓储 管理特点,提出适用的设计参数并优化仿真,为中国马铃薯 分选输送装备设计制造提供参考依据,减轻分选输送的劳动 量,提高劳动生产率。

关键词:马铃薯;分选;输送;有限元分析;仿真

Abstract: The operation, of sorting and the arrival of potatoes, is still on low mechanization degree and involves heavy laboring intensity. however, there is little research on optimizing the devices of conveyor line interiorly. Based on a reference to some foreign research results about the conveyor line with the function of sorting potatoes by sizes, this article present proper design parameters adjusted to the properties sorting and warehouse management of potatoes in domestic situation by simulating and optimizing design. It offers the reference data for the design and manufacture of domestic device for sorting and conveying the potatoes. It also helps decrease the amount of labor and raise productivity in sorting and conveying potatoes.

Keywords: potatoes; sorting; conveyor line; finite element analysis; simulation.

2015年1月中国农业部办公厅印发《2015年种植业工作要点》,其中提到积极推进马铃薯主粮化,马铃薯已成为中国第4大粮食作物,其种植面积稳步增长^[1]。在马铃薯收获后的分选入库作业中,劳动量大,机械化程度低,目前少见有

收稿日期:2015-08-16

针对性的输送皮带线设备优化研究^[2]。中国在结构优化,分 析计算方面与国外差距较大,尤其是农机方面。国外主流马 铃薯清选输送设备包括荷兰 SA22、德国马拉松 2 悬挂等,在 中国主要种植区均有使用,但进口设备维修困难且难以适应 中国耕地土质和马铃薯种植农艺及储运管理特点。本试验 拟依据中国分选、仓储管理特点,针对伸缩皮带线的关键变 量,确立工作载荷、带长、带宽和输送带类型,运用 MATLAB 逼近求解主动滚筒载荷分布函数。对马铃薯分选设备中的 带式输送装置零部件进行参数化建模后,运用 SolidWorks 的 Simulation 模块对主动滚筒模型进行有限元分析,并针对 影响马铃薯运输的要素进行参数优化,旨为中国马铃薯分选 输送装备设计制造提供参考依据。

1 马铃薯分选输送线的三维建模

对机具的零部件进行分类后依据其结构特征,将每个零 部件的几何尺寸变量化,实现参数化建模,使这些特征具有 可调整性^[3]。按照零部件间的装配关系和相对应的约束条 件进行装配,组装成整机并进行干涉检查和运动模拟仿 真^[4-6]。机具的三维实体模型见图 1。



1. 从动滚
 2. 活动伸缩架
 3. 倾角调整千斤顶托架
 4. 拖车
 5. 固定伸缩架
 6. 减速电机
 7. 主动滚
 8. 导线杆
 图 1 马铃薯分选输送线模型

Figure 1 The model of potato sorting conveyor line

基金项目:"十二五"国家高技术研究发展计划(863 计划)(编号: 2012AA10A503-4)

作者简介:孙军(1994—),男,山东理工大学在读本科生。 E-mail:sunj0314@163.com

通讯作者:于文强

2 伸缩皮带线设计分析

2.1 **伸缩部分原理**

皮带线伸缩导轮及滚筒是传输运动部件的核心,伸缩原 理见图 2。主动滚筒 3 通过链轮与减速电机连接,安装在机 架上,是输运线的动力来源。从动滚筒 5 安装在机架上与主 动滚筒 3 位置相对固定。前导轮 1 安装在伸缩部分固定外 板上,后导轮 4 安装在伸缩部分活动内板上,用于皮带伸缩 后带长的调整。当皮带伸缩时,活动内板相对于固定外板运 动,改变导轮 1、4 的间距,从而实现皮带的伸缩^[7,8]。固定外 板下设有一倾角调整千斤顶,用于改变伸缩皮带线的倾斜角 度,可在马铃薯堆积角 28°范围内调整其输运升角。



1.前导轮 2. 千斤顶 3. 主动滚筒 4. 后导轮 5. 从动滚筒
 图 2 伸缩皮带线筒图

Figure 2 The diagram of telescopic belt line

2.2 伸缩皮带线总载荷计算

参选国外已有的大型马铃薯分选机构基本参数^[9-13]:主 动滚筒 3 顺时针旋转,运输机单向运转,电源 380/220 V,主 动滚筒与从动滚筒中心距为L,输送带带宽为B,主动滚筒 3 直径为 D_1 ,输送带带速为v,从动滚筒轮 5 与前、后导轮直径 $D_5 = D_1 = D_4$ 。通过查询设计手册^[13]与使用要求得出下列 数据:马铃薯静堆积角为 28°,动堆积角 β =19.6°,堆积密度 ρ =625 kg/m³,L=7 500 mm, D_3 =210 mm, $D_5 = D_1 = D_4 =$ 105 mm, B = 680 mm, v = 1.03 m/s,输送带曳引力 F = 1 340 N。

为使得输运过程中马铃薯不会掉落,根据自锁原理 α(倾 解)<β,取 α=19°,则主动滚筒转速 ω:

 $\omega = \frac{2v}{D_1} \tag{1}$

由式(1)求解得,ω=94 r/min。

输送带材料为尼龙帆布 NN-100,每层质量 1.02 kg/m², 选取 4 层芯料,胶料厚:上覆盖胶料厚 4.5 mm,下覆盖胶料 厚 1.5 mm,每毫米胶料质量 1.19 kg/m²,上运输带面的马铃 薯的平均高度 50 mm。

$m_1 = \lfloor n\rho_1 + (d_1 + d_2)\rho_2 \rfloor BL$	(2)
式中:	
<i>m</i> ₁ ——输送带质量,kg;	
<i>n</i> ——布层数,层;	
$ ho_1$ ——每层质量, kg/m^2 ;	
<i>d</i> ₁ ——上胶厚,mm;	
<i>d</i> ₂ ——下胶厚,mm;	
$ ho_2$ ——每毫米厚胶料质量, kg/m^2 ;	
B带宽,m;	

L----带长,m。 通过代入已知数据,求得: $m_1 = 57.22 \text{ kg}$ (3) $m_2 = \rho B L h$ 式中: m2----运输带上马铃薯的堆积质量,kg; ρ ——马铃薯堆积密度,kg/m³; B----带宽,m; L----带长,m: h----上运输带面的马铃薯的平均高度,m。 通过代入已知数据,求得: $m_2 = 159.375 \text{ kg}$ $m_0 = m_1 + m_2$ (4)式中. m₀——运输机上部分总质量,kg。 通过代入已知数据,求得: $m_0 = 216.6 \text{ kg}$

伸缩皮带线机架托板材料选用 Q235 钢,查设计手册^[14] 得尼龙与钢的摩擦系数 $\mu=0.3\sim0.5$,取 $\mu_{max}=0.5$ 。

$f = \mu_{\rm max} mg\cos\alpha$	(5)
$G_1 = mg\sin\alpha$	(6)
$F_0 = G_1 + f$	(7)
式中:	
f——运输带上部的摩擦阻力,N;	
G1——运输带与马铃薯总质量的下滑重力分量,N;	

 F_0 ——主动滚筒需要克服的总阻力,N。

- 通过代入已知数据,求得:
- f=1 003.5 N
- $G_1 = 691 \text{ N}$
- $F_0 = 1$ 694.5 N

由于主动滚筒顺时针旋转,上边为张紧边,校验 $F_1 \ge F_0$ 是否成立。

 $F = F_1 - F_2 \tag{8}$ $F_1 - av^2 \qquad (3)$

$$F_2 - qv^2 = e^{\mu v_1} (v \leqslant 10 \text{ m/s}, 阁心力 qv^2 可以忽略) (9)
商社住人已知教提 式很 反 - 1,600 N$$

(10)

通过代入已知数据,求得: $F_1 = 1$ 699 N

得到主动滚筒周向受力公式: $F=359e^{0.5(4.677-\delta_1)}$

- 式中:
- F1---紧边拉力,N;
- F₂——松边拉力,N;
- F----有效拉力,N;

δ₁ — 主动滚筒的围包角(即动角,静角忽略), rad。所以校验合格,设计合理。

3 主动滚筒 Simulation 有限元分析

3.1 运用 MATLAB 逼近求解主动滚筒载荷分布函数

启动 MATLAB 软件,根据式(10),主动滚筒轴向端面 载荷分布示意图见图 3。



图 3 主动滚筒实际载荷分布示意图

Figure 3 Active platen actual load distribution diagram

通过整理目标函数,用 MATLAB 语言编制相应的 程序^[15-17]。

在 Command Window 输入 x=pi/2:((4.677-pi/2)/ 100):4.677;

F = 359 * exp(0.5 * (4.677 - x));

plot(x,F);

从而得到主动滚筒周向载荷实际分布函数曲线见图 4。



图4 主动滚筒实际载荷分布函数



由式(10)可知,载荷 F 与主动滚筒的围包角有确定的关 系,但 Solidworks 中的有限元分析需要获得载荷 F 与零件上 各受力点位置的关系式,所以这里将主动滚筒置于直角坐标 系中,其圆心为原点,(X,Y)为各受力点坐标,其中 X、Y 都 由围包角确定。运用 MATLAB 编程可将式(10) 拟合为载 荷 F 与 X、Y 的二元二次函数,以便 SolidWorks 的有限元分 析,得到的最终结果为:

 $F = 312.39X + 613.42Y + 10X^2 + 9.31Y^2 + 2.61XY$

(11)

在拟合时用到 MATLAB 解伪矩阵方程的功能,各参数 均是维度为 101 的向量,以下为拟合所用的 MATLAB 程序:

s=pi/2:((4.677-pi/2)/100):4.677;//s为主动滚筒 弧度制的围包角,其范围是 1.570 至 4.677;

x=105 * cos(s);//x 为受力点的横坐标;

y=105 * sin(s); //y 为受力点的纵坐标;

F=359 * exp(0.5 * (4.677-s));//F 为各受力点的 载荷;

X=[ones(101,1), x, y, (x.²)',(y.²)',(x. * y)'];// X 为所要拟合而成的式子中的参数形式;

b=F*pinv(X)//b为拟合所得的式子自变量前的各项

系数所组成的维数为5的向量,它与X内的参数对应。

从而得到拟合函数的各项参数:

b=[312.39,613.42,10,9.31,2.6]

得到拟合函数曲线与主动滚筒周向载荷实际分布函数 曲线见图 5,其中连续曲线为载荷的实际分布,小圆所连成的 曲线为拟合所得的结果。



图 5 主动滚筒的拟合函数曲线

Figure 5 The active roller function of fitting curve

3.2 静力分析

启动 SolidWorks Simulation 分析模块进行静应力分析, 运用有限元网格划分工具将滚筒体划分为 37 601 个实体类 型单元(见图 6)并优化分析,运行后得出应力和位移的相关 信息。



图 6 滚筒体模型网格 Figure 6 Differentiation element of roller body

通过静力分析,求解得出滚筒体的应力、位移分布状况, 从而取得最大的应力和位移数据,分析危险截面的位置和载 荷分布,得出结构承载能力的可靠性论证^[18]。

依据主动滚筒载荷分布函数得出的等效应力见图7。由 图7可知,传输带作用于滚筒体中部的应力以及筒体端盖与 轴承孔周边处的应力最大,滚筒体两端盖装配处有局部应力 集中现象^[19,20]。由图8可知,变形最大的位置处于筒体中 部,由此断定滚筒体沿长度方向的中心横截面为危险截面。



由图 7 和表 1 可知,应力以滚筒体的中心横截面轴向对称,主要集中在筒体中部以及筒体端盖与轴承孔周边的结合 部位。最大应力值为 805 N/m²,出现在端盖与滚筒体的结 合部;其次为滚筒体中部,应力值为 204 N/m²。选用材料的 许用应力 283×10⁶ N/m²,远超过其最大应力负荷,因此滚 筒体是安全的。

由图 8 可知,筒体中间部分的位移量大于其它位置且沿 轴向对称分布,位移响应的最大值为 8.347×10⁻⁷ mm。依据 通用的工程计算方法和经验要求,取 2 倍筒体直径与 2 800 求比值,其位移量不得大于此值。本试验中滚筒体的直径 D=210 mm,其比值 2×210÷2 800=0.15,筒体的最大位移 响应远小于此值,满足要求,因此滚筒体是安全的。

表 1 简体应力分析结果表

	Table 1	A stress	analysis	result	of roller	body
--	---------	----------	----------	--------	-----------	------

名称	类型	最小/ (N・m ⁻²)	最大/ (N・m ⁻²)	重要部位应力 (滚筒体中部)/ (N・m ⁻²)
应力1	VON:von Mises 应力	3.429	805.051	204.038





Figure 8 Displacement distribution of roller body

由上述综合分析可知,滚筒体的强度和刚度均能满足使 用要求。

4 结论

本试验依据功率和带速等设计条件,在完成伸缩皮带线 整机结构设计后,运用 SolidWorks 的 Simulation 模块对其主 动滚筒体进行分析,攻克了非标准滚筒体可靠性设计的难 题,大大地缩短了设计周期,提高了计算准确度,并得到以下 结论:

(1) 运用 Solidworks 平台建立马铃薯分选设备中带式 输送装置的参数化模型,提高了产品设计和后期修改的效 率,并通过虚拟装配和干涉检查,为中国大型马铃薯分选输 运设备的设计提供有效的参考数据。

(2) 运用 MATLAB 得到主动滚筒周向载荷分布曲线, 从而得到拟合函数方程 F=312.39X+613.42Y+10X²+ 9.31Y²+2.61XY,为非标滚筒体可靠性设计的有限元方法 提供数学依据。

(3)非标准滚筒体应力、变形分布规律:应力和位移分 布均以滚筒体长度方向的中心横截面为中心对称;应力集中 在筒体中部以及筒体端盖与轴承孔周边的结合部位,最大应 力值为 805 N/m²,出现在端盖与滚筒体的结合部,其次为滚 筒体中部,应力值为 204 N/m²,均远小于材料允许的最大应 力值,因此是安全的。

参考文献

- 农业部办公厅.关于印发《2015 年种植业工作要点》的通知[EB/ OL].(2015-01-30)[2015-09-12].http://www.moa.gov. cn/sjzz/zzys/dongtail/201502/t20150202_4379269.htm.
- 2 申屠留芳,韦奇,巩尊国,等.马铃薯分选机的设计[J]. 农机化 研究,2014(8):114~117.
- 3 丛宏斌,赵立欣,孟海波,等.立式环模秸秆压块机成型过程建 模与参数优化[J]. 农业机械学报,2014,45(10):187~193.
- 4 罗煜峰. 基于 Solidworks 的参数化特征建模技术研究[J]. 机械 设计, 2004, 21(2): 52~54.
- 5 毛文贵,傅彩明,谭加才.基于虚拟样机技术的立式电机结构设 计分析[J].食品与机械,2006,22(4):67~69,80.
- 6 Fang Hong-wei, Zhang Guo-quan, Jian Jia-qing. Design and Movement simulation to the cam of the testing device for capacitor encapsulation equipment[J]. Open Journal of Modelling and Simulation, 2014, 2(4): 138~143.
- 7 苗金钟, 李江娥, 张文霞. 压力机落料线中伸缩皮带的设计[J]. 锻压装备与制造技术, 2008(5): 55~56.
- 8 Gavryukov A V, Budishevskii V A, Belostotskii B Kh, et al. Automatic belt centering on the telescopic conveyer drum[J]. Journal of Mining Science, 1993, 29(3): 254~257.
- 9 Paul H Heinemann, Niranjan P Pathare, Charles T Morrow. An automated inspection station for machine-vision grading of potatoes[J]. Machine Vision and Applications, 1996, 9(1): 14~19.
- 10 Liu Xiang-wei, Pang Yu-song, Gabriel Lodewijks. A stress discontinuity approach to model the stress profile on a loaded conveyor belt[J]. Powder Technology, 2015, 273:102~110.
- 11 Gupta S K, Agarwal V K, David Mills. A model for fluidized motion conveyor transporting fly ash[J]. Experimental Thermal and Fluid Science, 2010, 34(8): 1 042~1 048.
- Gabriel Fedorko, Vladimír Ivanco. Analysis of force ratios in conveyor belt of classic belt conveyor[J]. Procedia Engineering, 2012, 48: 123~128.
- 13 Inoue Akihiko. Hashioka yutakamori keisukemiyazaki kazuy. conveyor device: Japan, JP2009208871[P]. 2009-9-17.
- 14 黄学群.运输机械选型设计手册[M].北京:化学工业出版社, 2011:1~50.
- 15 李军. 基于 MATLAB 优化工具箱的农用运输车转向梯形优化 设计[J]. 农机化研究, 2011(5): 147~150.
- 16 Petinrin Moses Omolayo. Development of graphical user interface for finite element analysis of static loading of a column using MATLAB[J]. Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies, 2010, 9(17): 131.
- 17 何雅槐. 基于 Matlab 的混合离散优化方法及其应用[J]. 食品 与机械, 2006, 22(3): 108~109, 112.
- 18 贾晶霞,刘汉武,郝新明,等. 马铃薯收获机挖掘铲有限元静力 学分析[J]. 农业机械学报,2006,37(9):86~88.
- 于文强,王中杰,赵闰南.基于 Simulation 的电滚筒法兰轴设 计[J].煤矿机械,2013,34(3):34~35.
- 20 Giuseppe Bellotti. Stress analysis non standard of curved beams
 [J]. Management Science and Engineering, 2012, 6 (4):
 149~159.