

电子皮带秤测量系统的静力学分析*

陈堃 干洪 丁盼 何芝仙

安徽工程大学机械与汽车工程学院 芜湖 241000

摘 要: 以某单托辊直接称重式电子皮带秤的测量系统为研究对象, 采用有限元分析软件 Ansys 计算并揭示了称重传感器输出与称重托辊所受竖向力、水平力之间的关系。计算结果表明, 由于测量电路采用全桥接法, 水平作用力与传感器的输出无关, 竖向作用力与传感器输出呈线性关系, 即变化的水平作用力不是电子皮带秤测量误差的主要来源。

关键词: 电子皮带秤; 有限元分析; 称重传感器; 水平力; 竖向力

中图分类号: TH222 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0785 (2013) 01-0047-03

Abstract: With the single-idler direct-weighing electronic belt scale measuring system as a study object, the finite element analysis software Ansys is adopted for calculating and indicating the relation between the output of weighing sensor and the vertical and horizontal forces on the weighing idler. The result shows that the horizontal force is unrelated to the sensor output, while there is linear relation between the vertical force and sensor output, since the full bridging method is adopted for measuring circuit; namely, the changing horizontal force is not the main source for measuring error of the electronic belt scale.

Keywords: electronic belt scale; finite element analysis; weighing sensor; horizontal force; vertical force

0 引言

皮带秤是带式输送机输送固体散状物料过程中对物料进行连续称重的一种计量设备, 它可以在不中断物料流的情况下测量出胶带上通过物料的瞬时流量和累积流量, 在工业生产中广泛应用。由于工业生产中物料的多样性和工作环境的复杂性, 导致计量精度偏低, 测量误差大^[1]。某冶金企业的某型配料用单托辊直接称重式电子皮带秤计量误差很大, 最大达 20%~30%, 这是不允许的。电子皮带秤的称重托辊上承受着复杂变化的竖向力和水平力, 由于水平力取决于胶带与托辊之间的摩擦因数、胶带的张力、带速、正压力等, 尤其复杂, 因而水平力对电子皮带秤称重传感器的输出有无影响, 是值得分析研究的问题。

为探究变化的水平力和竖向力与传感器输出之间的关系, 本文将采用 Ansys 软件计算传感器工作点的应变, 再根据电测理论进行分析计算, 研究水平力和竖向力与传感器输出之间的关系。

1 静力学分析

1.1 作用在承载器上的力

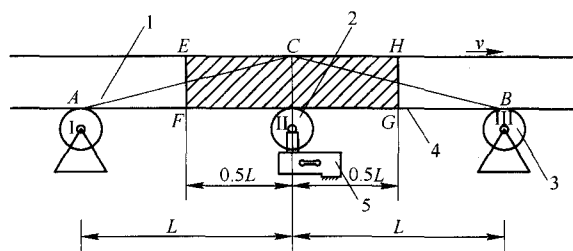
1.1.1 竖向力

图 1 为某企业单托辊直接称重式皮带秤简化模型, 由物料、称重托辊、支撑托辊、胶带和双孔平行梁式传感器组成。皮带秤工作时, 物料从左向右运输, 为了简化研究模型, 假设胶带上的物料层是均匀的, 胶带匀速运动。当物料在托辊 I 的顶点 A 处时, 称重托辊受到的力仅为胶带的重力, 当物料随着胶带运行越过托辊 I 的 A 点时, 物料开始对称重托辊 II 产生作用力, 并且随着胶带的运行, 物料对称重托辊 II 的作用力越来越大。当物料达到称重托辊 II 的顶点时, 作用力达到最大值, 物料越过该点后, 作用力开始减小, 当物料到达托辊 III 顶点 B 时, 物料对称重托辊的作用力减小到 0。由于带式输送机工作时物料连续不断地运输, 所以物料对称重托辊的作用力值等于 $\triangle ABC$ 的面积。考虑胶带自重, 设单位长度上胶带和物料的质量为 q , 则称重托辊 II 受到的竖向力为^[3]

* 安徽省自然科学基金研究项目 (1208085ME77), 安徽省教育厅自然科学基金重点研究项目 (KJ2010A042, KJ2008A031)。

$$F = 2Lq \times \frac{1}{2} \quad (1)$$

式中: F_w 为物料和胶带对称重托辊的竖向力, q 为单位长度物料和胶带的质量, L 为托辊间距。



1. 物料 2. 称重托辊 3. 支撑托辊 4. 胶带 5. 传感器
图1 皮带秤简化模型

1.1.2 水平力

胶带在运行时称重托辊受到的水平力与胶带和托辊之间的摩擦因数、胶带的张力、带速、物料引起的正压力等有关, 且关系十分复杂, 可表示为

$$F_t = f(F, v, T_e, \mu) \quad (2)$$

式中: f 为函数关系表达式, F_t 为物料和胶带对称重托辊的水平力, F 为物料和胶带对称重托辊的竖向力, v 为带速, T_e 为胶带张力, μ 为物料和胶带之间的摩擦因数。

1.2 传感器有限元分析

1.2.1 几何模型

由直接承重式皮带秤结构知, 称重托辊直接安装在称重传感器上, 它是一种双孔平行梁式传感器, 两边各一个, 因此每一个传感器受到的水平力为称重托辊水平切向力 F_t 的一半, 而传感器受到的竖向力则为称重托辊竖向力 F 的一半。由于传感器对称分布, 以其中的一个传感器来研究竖向力与水平力对传感器输出的影响。为了探讨水平力以及竖向力对传感器的输出影响, 必须计算4个工作点的应变值。对于具有复杂几何形状的双孔平行梁式传感器的应变计算应采用有限元法^[4], 故使用 Ansys 计算4个电阻应变片处的应变值。图2为双孔平行梁式传感器的几何模型, 其中 F_t 为水平力, F 为竖向力, 1~4为电阻应变片。

1.2.2 单元划分与边界条件

传感器同时受到水平力 F_t 和竖向力 F 的作用, 对传感器单元划分时, 采用 solid45 号单元, 它是通过8个节点来定义, 每个节点有3个沿 xyz 方向平移的自由度。传感器的有限元模型如图3所示。

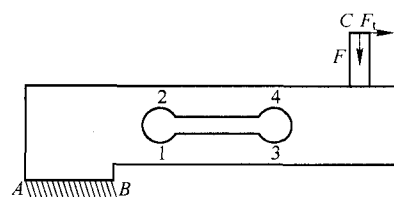


图2 传感器几何模型及受力图

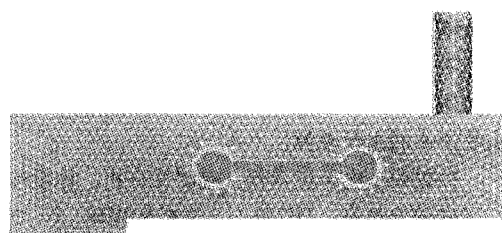


图3 传感器有限元模型

位移边界条件取底边 AB 固定, 力边界条件按下述方法选取。

为了分析计算两种情况下传感器的工作点1、2、3、4的应变和传感器的输出: 1) 作用在支撑点 C 上的水平力 F_t 不变, 竖向力 F 变化时传感器的工作点的应变和输出; 2) 作用在支撑点 C 上竖向力 F 不变, 水平力 F_t 变化时传感器的工作点应变和输出。

上述两种情况分别取5组数据进行计算, 选取的水平力和竖向力数据如表1和表2所示。

表1 水平力变化时的载荷

竖向力 F/N	60				
水平力 F_t/N	15	20	25	30	35

表2 竖向力变化时的载荷

水平力 F_t/N	25				
竖向力 F/N	20	40	60	80	100

1.3 称重传感器的测量电路

电阻应变片可以把被测件的应变转换为应变片的电阻变化。传感器的测量电路采用全桥接法, 其输出应变与各个工作片的关系为^[5]

$$\varepsilon = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4 \quad (3)$$

式中: ε_1 、 ε_2 、 ε_3 、 ε_4 分别为工作片 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 的应变, ε 为输出应变。

1.4 求解结果及结果分析

建立传感器的有限元模型后, 利用 Ansys 软件

求解上述2种情况下称重传感器的应变,图4为传感器有限元模型求解后X轴方向的应变云图,其中 $F_1=25\text{ N}$, $F=100\text{ N}$ 。

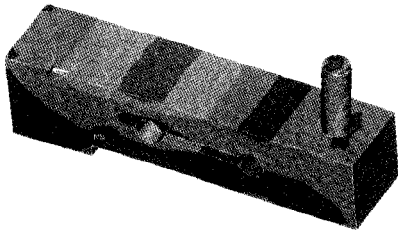


图4 传感器X向应变云图

4个工作点的应变数据如表3和表4,表3为竖向力不变水平力变化时的求解结果,表4为水平力不变竖向力变化时的求解结果,其中传感器的输出应变按式(3)计算得到。图5为水平力与传感器输出应变关系曲线,图6为竖向力与传感器输出应变关系曲线。

表3 水平力变化时的结果数据

力/N		应变 (10^{-6})				
F_1	F	ε_1	ε_2	ε_3	ε_4	ε
15	60	6.198	-5.978	11.942	-11.46	35.578
20		6.103	-5.697	12.242	-11.547	35.589
25		6.008	-5.416	12.542	-11.634	35.6
30		5.913	-5.135	12.842	-11.721	35.611
35		5.818	-4.854	13.142	-11.808	35.622

表4 竖向力变化时的结果数据

力/N		应变 (10^{-6})				
F	F_1	ε_1	ε_2	ε_3	ε_4	ε
20	25	1.686	-1.369	5.18	-4.167	12.402
40		3.847 3	-3.142 9	8.861	-7.91	23.761 2
60		6.008	-5.416	12.542	-11.634	35.6
80		8.169	-7.69	16.223	-15.367	47.449
100		10.33	-9.964	19.904	-19.1	59.298

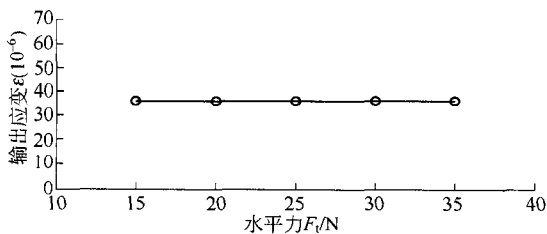


图5 水平力与传感器输出应变关系

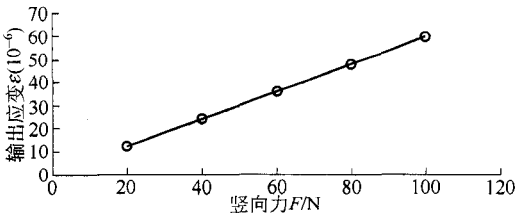


图6 竖向力与传感器输出应变关系

经计算发现,在图5中, ε 的最大值和最小值相差 0.044×10^{-6} ,当水平力从15 N变化到35 N时,工作点应变增大了133.3%,而传感器应变只增加了0.12%,变化很小,受传感器测量分辨率的限制,这种变化基本上可以忽略不计,可以认为随着水平力的变化,传感器检测到的总应变并不发生变化,水平力对双孔平行梁式传感器的输出没有影响,即水平力不会给传感器计量带来计量误差。由图6可知,竖向力与传感器输出为线性关系。因此,可以认为:直接承重式承载器所受到的水平力与传感器输出无关,竖向力与传感器输出为线性关系。

2 结论

- 1) 单托辊直接承重式皮带秤称重托辊所受水平力的变化对传感器的输出无影响,它不是皮带秤产生称重误差的主要来源。
- 2) 称重托辊所受到的竖向力与称重传感器的输出为线性关系,由于胶带的纵向振动、带速的变化、带的张紧力、称重流量等,都会导致传感器所受到的竖向力发生变化,因此,胶带运行时的竖向力是电子皮带秤测量系统产生大的动态累积误差的主要原因。

参考文献

- [1] 方原柏. 电子皮带秤[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2008.
- [2] 方原柏. 电子皮带秤发展综述[J]. 自动化博览, 2008 (5) .
- [3] 王祯荣. 电子皮带秤的秤架结构与刚度计算[J]. 衡器, 2001.
- [4] 何芝仙, 常小强, 李振. 双孔平行梁式传感器设计的理论与实验研究[J]. 试验技术与实验机, 2006.
- [5] 张明, 苏小光, 王妮. 力学测试技术基础[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.

作者: 陈 堃
 地址: 安徽省芜湖市安徽工程大学机械与汽车工程学院先进数控和伺服驱动技术安徽省重点实验室
 邮编: 241000
 收稿日期: 2012-03-23