

颗粒料质量流量测量误差动态估算方法

丁永前 丁为民

(南京农业大学江苏省高等学校智能农业装备重点实验室, 南京 210031)

【摘要】 提出了一种利用冲量原理测量固体颗粒物料实时物料速度和质量流量的方法,同时给出了一种可动态估算速度和质量流量测量误差的方法。利用自行设计的实验装置,并采用大豆作为实验材料进行了测量误差估算的实验,实验结果表明:在所设计的实验条件下,估算的质量流量相对误差最大值为4.00%,平均相对误差为1.44%;估算的速度相对测量误差最大值为9.69%,平均相对误差为5.03%,动态测量精度和总质量计量精度之间有较好的相关性。

关键词: 固体颗粒料 质量流量 动态测量 误差估算 冲量法

中图分类号: TH814 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)S0-0314-04

Dynamic Estimation Measurement Error of Mass Flow Rate

Ding Yongqian Ding Weimin

(Key Laboratory of Intelligent Agricultural Equipment in Jiangsu Province, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China)

Abstract

A impact-based method, which can be used to measure the real-time velocity and the mass flow rate of the granules flow, was presented. And a way to dynamically estimate the measurement error of the velocity and mass flow rate was also provided. Using the self-designed experimental equipment, experiments with the soy bean as the experimental object to estimate the measurement error had been done. It was shown during the experiments that the maximal estimated error of the mass flow rate was 4.00% and the average value was 1.44%, the maximal estimated error of the velocity was 9.69% and had an average value of 5.03%. A positive correlation between the dynamic measurement accuracy and the measurement accuracy of gross mass was also found.

Key words Solid granules, Mass flow rate, Dynamic measurement, Measurement error estimating, Impact-based method

引言

对固体颗粒物料的流量检测技术主要有冲量法、光电法、科里奥利法和核辐射法等,各类方法都有相应原理性或结构性的优缺点^[1-3]。在各类测量方法中冲量法应用比较广泛,国内近年来,该方法在田间谷物实时计量中有了新的应用研究,为实现精确农业的信息采集和变量作业提供了重要依据^[4-6]。

目前对颗粒物料质量流量检测方法测量精度的

评价手段相对比较简单,对联合收获机的测产系统测量精度一般采用间隙称量法进行评价^[7-8],即在联合收获机完成一定面积的收获任务后,将物料倾倒在车载式称量装置上记录一次总质量的静态称量数据,将该数据与测产传感器记录数据相比较得出相关结论。这种测量精度的评价方法有较大的局限性,因为总质量的计量是通过瞬时测量值的累加形成的,所以由于误差相互抵消的缘故,瞬时测量不高的情况下有可能获得较高的总质量测量精度,理论上讲,累计时间越长,总质量的测量误差越小。这说

明总质量作为测量装置的评价指标是不够全面的。

本文针对应用冲量原理检测固体颗粒物料质量流量的方法(能同时测量物料速度),提出一种动态估算速度和质量流量测量误差的方法,并进行实验分析和验证。

1 结构与测量原理

如图1所示,物料在滑道中加速下滑后进入分别经过3个称量传感器完成整个检测过程。物料进入第1个传感器时垂直方向的动量被测量装置吸收,同时转换成对传感器1的额外冲力,冲力的大小和物料下滑的质量和速度的乘积呈正比,传感器1的检测数据比传感器2的检测数据大。本装置利用传感器1和传感器2的读数差异和已知的结构参数计算出物料流动的速度,从而确定物料的瞬时质量流量和待测物料的总质量,根据传感器2和传感器3的数据实时估算测量误差。

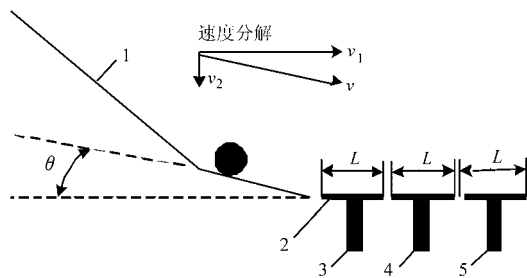


图1 检测装置结构原理图

Fig. 1 Structure of measurement device

1. 滑道 2. 测量板 3. 传感器1 4. 传感器2 5. 传感器3

2 质量流量测量原理

假设称量传感器1和称量传感器2的读数分别用 $M_1(t)$ 和 $m_2(t)$ 表示,称量传感器1去除冲力影响后的测量值为 $m_1(t)$,物料垂直方向冲量用 $P(t)$ 表示,冲力用 $F(t)$ 表示, g 表示重力加速度,则有

$$M_1(t) - m_1(t) = \frac{F(t)}{g} \quad (1)$$

测量板的宽度越窄, $m_1(t)$ 和 $m_2(t)$ 之间的相似程度越高,于是式(1)可表示为

$$M_1(t) - m_2(t) = \frac{F(t)}{g} \quad (2)$$

其中

$$\begin{aligned} F(t) &= q(t)v_2(t) \\ q(t) &= \frac{m_1(t)v_1(t)}{L} \end{aligned} \quad (3)$$

式中 $q(t)$ ——质量流量

当传感器测量板长度 L 较小时,式(3)可近似为

$$q(t) = \frac{m_2(t)v_1(t)}{L} \quad (4)$$

$$\text{则有 } M_1(t) - m_2(t) = \frac{m_2(t)v_1(t)^2 \tan \theta}{Lg}$$

$$\text{可得 } v_1(t) = \sqrt{\frac{(M_1(t) - m_2(t))Lg}{m_2(t) \tan \theta}}$$

式中 $v_1(t)$ ——根据实测数据计算出的速度,m/s

采用3 cm和6 cm宽度的测量板分别进行了仿真和实验分析,仿真和实际实验结果表明3 cm测量板可以获得更高的测量精度^[9]。

3 测量误差估算

3.1 误差估算思路

$m_1(t)$ 和 $m_2(t)$ 之间的偏差是产生 $q(t)$ 和 $v_1(t)$ 的原理性测量误差的原因,误差的和 $m_1(t)$ 和 $m_2(t)$ 之间的偏差有关。因此,若能获知 $m_1(t)$ 和 $m_2(t)$ 之间的偏差情况,便可以通过计算获得 $q(t)$ 和 $v_1(t)$ 的误差。

在测量板宽度较窄的情况下, $m_2(t)$ 和 $m_3(t)$ 之间的偏差和 $m_1(t)$ 和 $m_2(t)$ 之间偏差具有类似的分布情况,根据 $m_2(t)$ 和 $m_3(t)$ 之间的差值可以来估算 $q(t)$ 和 $v_1(t)$ 的测量误差。

3.2 实验条件

实验中的待测物料为40 kg大豆,采用3 cm宽的测量板进行了多次重复实验。实际记录的测量数据要多于有效测量数据,主要在起始和终了阶段各有一段空载信息,这样既可以分析评价供电电压信号的品质,也有利于对所测信号进行调零。实测过程中主要完成原始信号的采集存储和滤波后信号的采集和存储工作,具体的测量结果以离线计算的方式得到。实验基本参数为:系统采样频率均设置为1 000 Hz,采集卡采样精度为12位,电压输入范围为-1~1 V。由于物料弹性碰撞和相对位移的影响,滑道倾角对测量结果有影响,过小的倾角会阻碍物料的运动,过大的倾角会造成物料较大的弹跳现象。实验中,由于物料的下落没有借助外力,利用物料本身的自由运动完成测量,为了形成比较平稳的物料流,滑道倾角取为 $\theta = 22^\circ$ 。实验测量值如图2所示。

3.3 偏差概率分布计算

计算测量过程中每个采样点上 $m_2(t)$ 和 $m_3(t)$ 的偏差,将偏差按一定间隔从小到大进行概率统计,得到偏差的分布曲线如图3所示。

计算结果表明:在平均值附近偏差分布集中,远离平均值偏差分布概率明显减小,且总体关于平均值对称分布,偏差基本满足正态分布,其他重复实验的偏差数据体现出相似的分布趋势。

设置信度为95%(置信水平0.05)的偏差置

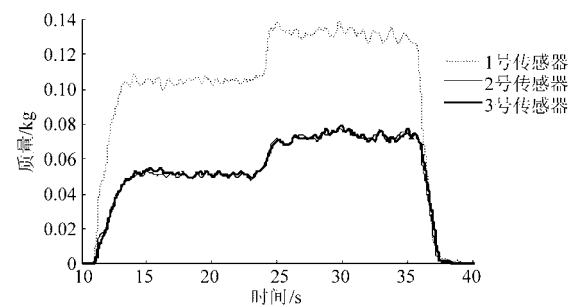


图2 传感器的测量值

Fig.2 Measuring data of weighing sensors

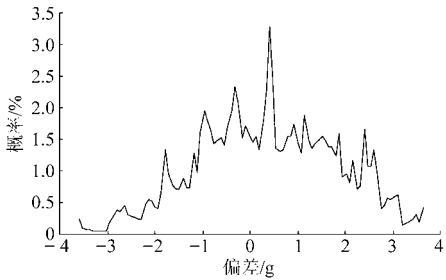


图3 2号和3号传感器测量值偏差概率分布

Fig.3 Probability distribution of the deviation between
NO.2 and NO.3 weighing sensors

信区间 $[e_{\text{merr}} - n_{0.05}\sigma_{\text{merr}}, e_{\text{merr}} + n_{0.05}\sigma_{\text{merr}}]$ 。可以认为绝大部分 $m_1(t)$ 和 $m_2(t)$ 的偏差也将分布在置信区间内。 e_{merr} 为 $m_1(t)$ 和 $m_2(t)$ 偏差的平均值, σ_{merr} 为 $m_1(t)$ 和 $m_2(t)$ 偏差的标准差, $n_{0.05}$ 为对应95%置信度(0.05置信水平)的正数。

将置信区间的边界作为 $m_1(t)$ 和 $m_2(t)$ 在实测过程中的可能最大偏差,计算出该最大偏差影响下的速度和质量流量,并根据实测数据计算出的速度和质量流量,求出速度和质量流量相对偏差的估算值。

3.4 相对偏差估算

计算过程中的公式为

$$\begin{aligned} m_1(t)' &= m_2(t) + e_{\text{merr}} + n_{0.05}\sigma_{\text{merr}} \\ m_1(t)'' &= m_2(t) + e_{\text{merr}} - n_{0.05}\sigma_{\text{merr}} \\ v_1(t)' &= \sqrt{\frac{(M_1(t) - m_1(t)')Lg}{m_1(t)'\tan\theta}} \\ v_1(t)'' &= \sqrt{\frac{(M_1(t) - m_1(t)''Lg)}{m_1(t)''\tan\theta}} \\ q(t)' &= \frac{m_1(t)'v_1(t)'}{L} \quad q(t)'' = \frac{m_1(t)''v_1(t)''}{L} \\ v'_{\text{errel}}(t) &= \frac{|v_1(t)' - v_1(t)|}{v_1(t)} \\ v''_{\text{errel}}(t) &= \frac{|v_1(t)'' - v_1(t)|}{v_1(t)} \\ q'_{\text{errel}}(t) &= \frac{|q(t)' - q(t)|}{q(t)} \quad q''_{\text{errel}}(t) = \frac{|q(t)'' - q(t)|}{q(t)} \end{aligned}$$

式中 $m_1(t)'$ 、 $m_1(t)''$ ——按 $m_1(t)$ 和 $m_2(t)$ 之间存在最大正偏差和最大负偏差计算的 $m_1(t)$ 估算值,kg

$v_1(t)'$ 、 $v_1(t)''$ ——按 $m_1(t)$ 和 $m_2(t)$ 之间存在最大正偏差和最大负偏差计算的速度,m/s

$q(t)'$ 、 $q(t)''$ ——按 $m_1(t)$ 和 $m_2(t)$ 之间存在最大正偏差和最大负偏差计算的质量流量,kg/s

v'_{errel} 、 v''_{errel} ——按 $m_1(t)$ 和 $m_2(t)$ 之间存在最大正偏差和最大负偏差计算的速度相对偏差

q'_{errel} 、 q''_{errel} ——按 $m_1(t)$ 和 $m_2(t)$ 之间存在最大正偏差和最大负偏差计算的质量流量相对偏差

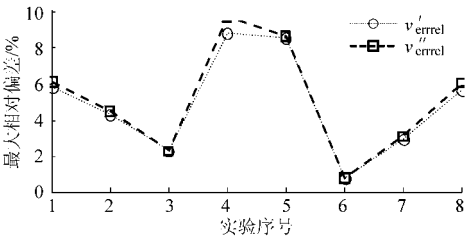


图4 速度最大相对偏差

Fig.4 Maximal estimated relative deviation of velocity

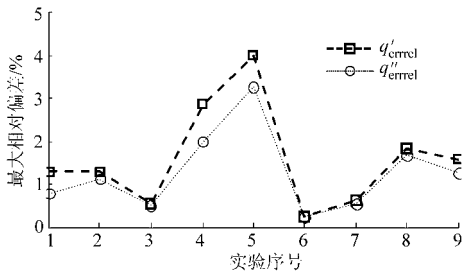


图5 质量流量最大相对偏差

Fig.5 Maximal estimated deviation of mass flow rate

3.5 相对偏差估算结果

根据实际的质量流量测量结果,可以计算出被测物料的总质量,绘制总质量的相对测量误差可以发现总质量的误差与速度偏差和质量流量偏差之间有相似的变化趋势,总质量的相对偏差如图6所示。

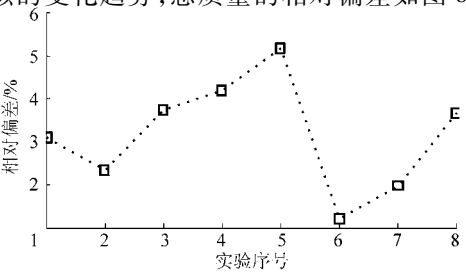


图6 总质量相对偏差

Fig.6 Relative deviation of gross mass

从估算结果可以看出:速度和质量流量相对测量偏差的估算值在各次实验中有波动,其中速度相对测量偏差在0.77%~9.69%,质量流量相对偏差在0.24%~4.00%。实际上由于每次实验过程中下料口开度不一致,导致物料流的大小和平稳程度不一致,总体上讲,下料口开度越大,物料流越平稳,可以获得越高的测量精度。

4 实验结果分析

从理论分析得知速度和质量流量的相对测量偏差越大,总质量的相对测量误差也越大,说明总质量测量精度和速度、质量流量的测量精度之间有比较明确的对应关系。速度偏差和质量流量偏差的估算和总质量测量的相对误差之间有相同的分布趋势,说明采用的估算方法是合理的,用 $m_2(t)$ 和 $m_3(t)$ 之间的偏差分布能比较有效地反映 $m_1(t)$ 和 $m_2(t)$ 之间偏差分布。

实验过程中估算的质量流量相对误差最大值为4.00%,平均相对误差为1.44%;估算的速度相对误差最大值为9.69%,平均相对误差为5.03%。估算说明提出的测量方法具有较高的测量精度,同时估算的质量流量相对误差较估算的速度相对误差小,说明质量流量具有更高的测量精度,这与理论分析和仿真分析的结果是一致的^[9]。

5 结束语

提出的测量方法和实验装置可以获得物料的运动速度和质量流量,同时可以对测量过程中的动态测量精度给出合理的误差估算,其中对测量误差的估算方法有别与通过总质量的计算来评价测量精度的方法,可以在一定程度上避免由于累加求算总质量过程产生的误差抵消效应而掩盖实时质量流量可能存在较大测量误差所带来的缺陷。

参 考 文 献

- 1 Kornann G, Demmel M, Auern Hammer H. Testing stand for yield measurement systems in combine harvests[C]// ASAE Annual International Meeting, Paper 983102, Orlando, USA, 1998.
- 2 Swisher D W, Borgelt S C, Sudduth K A. Optical sensor for granular fertilizer flow rate measurement[J]. Transactions of the ASAE,2002, 45(4):881~888.
- 3 周俊,周国祥,苗玉彬,等. 悬臂梁冲量式谷物质量流量传感器阻尼设计[J]. 农业机械学报,2005,36(11):121~123,127.
Zhou Jun, Zhou Guoxiang, Miao Yubin, et al. Damping design of impact-based grain yield sensor[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(11): 121~123,127. (in Chinese)
- 4 孙宇瑞,汪懋华,马道坤,等. 冲量法谷物流量测量系统的试验研究[J]. 农业机械学报,2001,32(4):48~50.
Sun Yurui, Wang Maohua, Ma Daokun, et al. Experimental research on grain-flow-measurement system using an impact sensor[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2001,32(4):48~50. (in Chinese)
- 5 陈树人,张文革,李相平,等. 冲量式谷物流量传感器性能实验研究[J]. 农业机械学报,2005,36(2):82~84.
Chen Shuren, Zhang Wenge, Li Xiangping, et al. Experimental research of grain mass flow sensor based on impact[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005,36(2): 82~84. (in Chinese)
- 6 周俊,苗玉彬,张凤传,等. 平行梁冲量式谷物质量流量传感器田间实验[J]. 农业机械学报,2006,37(6):102~105.
Zhou Jun, Miao Yubin, Zhang Fengchuan, et al. Field testing of parallel beam impact-based yield monitor[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(6): 102~105. (in Chinese)
- 7 Li Minzan, Zhang Wenge, Li Xiangping, et al. Development of a new grain yield monitor system [C]// International Symposium on Innovation and Development of Urban Agricultural Engineering I, Beijing, 2005: 15~16.
- 8 Burks T F, Shearer S A, Fulton J P, et al. Effects of time-varying inflow rates on combine yield monitor accuracy [J]. Applied Engineering in Agriculture, 2004, 20(3): 269~275.
- 9 Ding Yongqian, Ding Weimin, Lin Xiangze. A new impact-based method for measuring the velocity of solid granules[C]// The 9th International Conference on Electronic Measurement & Instruments, Beijing, China,2009,1:374~377.