

颗粒料流量连续检测

许介卫 周洪军 李克修

(机械工程系)

摘要 介绍了颗粒料流量连续检测装置的主要结构和工作原理。其主要特点是结构简单,不需要输送动力,能连续检测颗粒料的流量。

主题词 流量检测;传感器;标定

中图分类号 TH814

0 前 言

在饲料加工工业中,常需要将几种物料(包括散粒状和液状)按比例进行均匀混料。一种是间歇式的,即在前一批混合好的物料从混料机中全部取出后,再将按比例称好的(配料称重)下一批物料投入混合,见图 1(a);

另一种是连续式的,在不断地将各种物料按比例投入混料机的同时,混合好的物料也不断地从出料口取出,见图 1(b)。

为了使生产能连续进行,必须不断地测出投入搅拌机中各个物料的流量,即单位时间的质量。并应以主要物料的流量为基础,按比例控制其它物料的流量。图 2 是在鱼颗粒饲料外涂层技术中的连续式流量检测装置的结构图。颗粒饲料在通过本装置时,可连续地测出其流量的大小,并自动按设定比例控制外涂剂的喷入量。

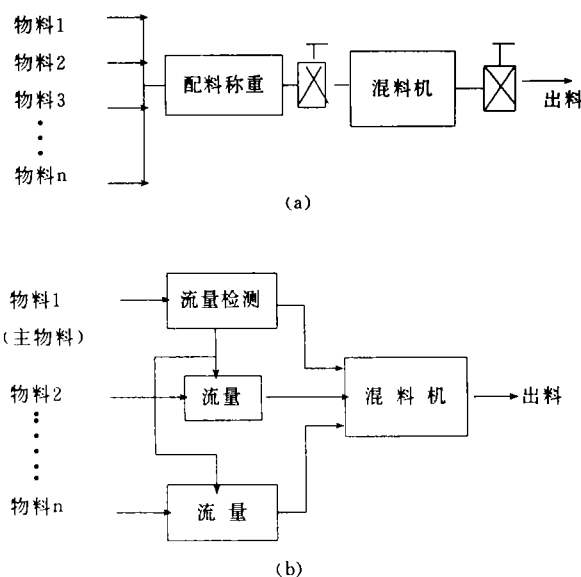


图 1 主要混料方式

1 工作过程及主要结构

颗粒饲料或其它物料从料斗经流量控制门落入送料槽 1。在重力作用下,颗粒饲料在斜槽内往下流动,然后以一定的速度落到称料槽 2 内(见图 2)。称料槽 2 的一端用一个锥销固

收稿日期:1995-03-25

定在摆轴 7 上。摆轴两端各装有摆杆 6 和经热处理的刀子 5。摆轴通过两端的刀子被支撑在刀承 3 上面,为了防止摆轴在设备运输过程和非常情况下发生跳动和轴向移位,在摆轴的两端都装有限位板和挡刀板 4。通过连杆 9 将两个摆杆 6 连接起来,连杆上的压杆 10 与安装在机架上的压力传感器 11 的触头相接触。

在物料下落和流动时,称料槽受到物料的冲击及重力的作用,将绕摆轴往下摆动,再通过摆杆、连杆和压杆使压力传感器受到压力的作用。流经斜槽的物料越多,传感器所受到的压力也越大。

压力传感器在压力的作用下,将输出电压信号 U_i (见图 3) 被送到高精度运算放大器 ICL7650 的输入端进行线性放大,以满足 A/D (模拟/数字) 转换器的要求。模拟电压信号加到由 MC14433、MC1403 等元件所组成的 A/D 转换器的输入端进行 A/D 转换。数据运算和控制是由 8031、373、2764 等集成块组成的单片计算机来完成。

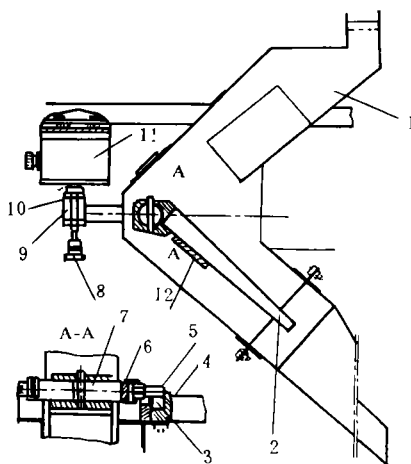


图 2 检测装置的主要结构

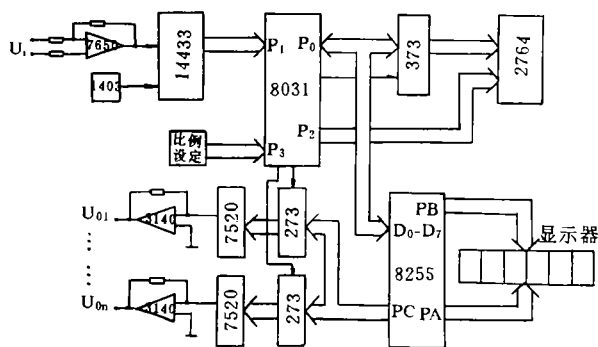


图 3 检测装置的主要结构

273 中,按时由转换器 AD7520 进行 D/A 转换,并经比例放大器 CA3140 进行放大,然后对其它物料的流量进行控制。如用放大后产生的 0~10V 控制电压,来改变驱动液泵的调速电机的转速,控制外涂剂的喷入量,从而保持外涂剂与颗粒饲料的配料比例。

2 工作原理

从图 2 可知,物料的输送过程也就是物料的流量检测过程。物料对传感器的作用力的大小取决于物料落到称料槽上时的状况和在其上面的物料多少有关。因此必须分析物料在整个过程的运动和受力情况。

2.1 物料在送料槽上的运动

物料从料斗经流量控制门落下,一直到检测结束的整个过程可以简化成如图 4 所示。送料槽与垂直方向的夹角为 α 。设一颗物料从流量控制门落下,经 h_1 的高度后与槽面相碰于 A 点。现过 A 点作 $X'Y'$ 坐标系, Y' 坐标轴垂直于斜槽, X' 坐标轴平行于槽面,坐标轴的方向如

图所示。物料开始从控制门落下时的初速度 $v_0 = 0$, 到 A 点时的速度 $v_A \neq 0$, 在 X', Y' 方向的分速度为 $v_{AX'}$ 和 $v_{AY'}$ 。根据动量定理可得

$$v_{AX'} = g \cdot t_{0A} \cdot \cos\alpha \quad (1)$$

式中

g 为重力加速度; t_{0A} 为物料自由下落 h_1 高度所需时间。 $t_{0A} = \sqrt{2h_1/g}$, 并代入式(1)可得物料在送料槽时的初速度

$$v_{AX'} = \sqrt{2gh_1 \cdot \cos\alpha}$$

送料槽上的物料在重力作用下以初速度 $v_{AX'}$ 继续运动, 到 B 点以 $v_{BX'}$ 的速度离开送料槽面。按上述方法可求出

$$v_{BX'} = g(\cos\alpha - \mu_1 \sin\alpha) \cdot t_{AB} + v_{AX'} = a_1 \cdot t_{AB} + v_{AX'} \quad (2)$$

式中 a_1 为送料槽当量加速度, $a_1 = g(\cos\alpha - \mu_1 \sin\alpha)$; μ_1 为物料与送料槽表面间的摩擦系数; α 为送料槽斜角; t_{AB} 为物料在送料槽中从 A 点到 B 点所需时间。

设斜槽上任一点 x' 的速度 $v_{x'}$ 可根据式(2)求得任意点 x' 的速度

$$v_{x'} = g(\cos\alpha - \mu_1 \sin\alpha) \cdot t_{Ax'} + v_{AX'} = a_1 \cdot t_{Ax'} + v_{AX'} \quad (3)$$

式中 $t_{Ax'}$ 为物料在送料槽中从 A 点到 x' 点所需时间。

将式(3)积分后可得物料在槽上行程公式

$$\frac{1}{2} a_1 \cdot t_{Ax'}^2 + v_{AX'} \cdot t_{Ax'} - S_{Ax'} = 0 \quad (4)$$

式中 $S_{Ax'}$ 为物料到任一点 x' 的运动行程。

解式(4)和将 $S_{Ax'} = S_{AB}$ 代入后可得物料从 A 点到 B 点所需时间

$$t_{AB} = -v_{AX'}/a_1 + \sqrt{(v_{AX'}/a_1)^2 + 2S_{AB}/a_1}$$

式中 S_{AB} 为物料从 A 点到 B 点的运动行程。将 $S_{AB} = h_2/\cos\alpha$ 代入上式得

$$t_{AB} = \sqrt{(v_{AX'}/a_1)^2 + 2h_2/a_1 \cos\alpha} - v_{AX'}/a_1 \quad (5)$$

式中 h_2 为物料在送料槽上所下降的高度。

然后将式(5)代入式(2), 可得物料离开送料槽时的速度

$$v_{BX'} = \sqrt{v_{AX'}^2 + 2a_1 h^2 / \cos\alpha} \quad (6)$$

从式(2)和(6)可知, $a_1 < 0$ 时, $v_{BX'} < v_{AX'}$ 。如果送料槽的初速度 $v_{AX'}$ 很小或 $v_{AX'} = 0$, 则物料不能在送料槽内流动。为了保证物料在送料槽内畅通, 应满足 $a_1 \geq 0$, 即 $g(\cos\alpha - \mu_1 \sin\alpha) \geq 0$, 因此送料槽斜角 α 应满足下列不等式:

$$\alpha \leq \text{tg}^{-1}(1/\mu_1) \quad (7)$$

但送料槽斜角值不能取得过小, 否则物料落到称料槽时会发生对斜槽冲击过大而引起物料的反弹, 因而影响检测精度。

2.2 物料对称料槽的作用力

物料以 $v_{Bx'}$ 的速度落到称料槽 C 点。过 C 点作坐标 X, Y (见图4)。当物料落到 C 点时, 由于物料自身的变形等原因, 可设 $v_{Cy} = 0$, 变形时间 τ 很短, 因此可得下列关系式:

$$\left. \begin{aligned} N &= [mg \cdot (t_{BC} + \tau) \cos\beta + mv_{Bx'} \cdot \cos(\alpha - \beta)] / \tau \\ v_{Cx} &= g \cdot t_{BC} \cdot \sin\beta + v_{Bx'} \cdot \sin(\alpha - \beta) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

式中 N 为物料对称料槽的冲击力; τ 为物料变形时间; β 为称料槽升角; v_{Cx} 为物料在 C 点的速度; t_{BC} 为物料从送料槽落到 C 点所需的时间; m 为单颗物料的质量。

由图4可知,物料从B点落到C点所需时间 t_{BC} 可按式求得:

$$t_{BC} = -\frac{v_{BX'}}{g} + \sqrt{\left(\frac{v_{BX'}}{g}\right)^2 + \frac{2h_3}{g}} \quad (9)$$

从式(1)、(2)、(8)可知,冲力 N 为物料质量 m 的函数

$$N = mg \frac{(t_{BC} + \tau) \cdot \cos\beta + [(\cos\alpha - \mu_1 \sin\alpha) \cdot t_{AB} + t_{OA} \cos\alpha] \cdot \cos(\alpha - \beta)}{\tau} \quad (10)$$

$$= f_1(m) = K_N \cdot m$$

$$\text{式中 } K_N = \frac{(t_{BC} + \tau) \cdot \cos\beta + [(\cos\alpha - \mu_1 \sin\alpha) \cdot t_{AB} + t_{OA} \cos\alpha] \cdot \cos(\alpha - \beta)}{\tau} \cdot g$$

当该设备的结构参数和物料物理特性确定以后, K_N 为定值,因此冲力与物料的质量 m 之间可看成线性关系。

冲力 N 对传感器的作用力 F_1 可以按杠杆关系求出

$$F_1 = K_1 \cdot m \quad (11)$$

$$\text{式中 } K_1 = \frac{K_N \cdot L \cdot \cos\beta}{L_2}; L, L_2 \text{ 为力臂(见图4)}.$$

从式(11)可知,传感器由冲力 N 所引起的压力 F_1 与物料质量也成线性关系。

实际上,传感器除有压力 F_1 作用外,还受到物料从C点流动到D点时重力所引起的 F_{21}

的作用,每颗物料对传感器都有同样的作用。压力 F_{21} 的大小与颗粒到支点 O_1 的距离有关,即

$$F_{21} = K_{21} \cdot m \quad (12)$$

$$\text{式中 } K_{21} = \frac{L + h_1 \cdot \tan\beta}{L_2} \cdot g$$

h_1 为物料从C点所下降的距离。随着 h_1 的增加,每颗物料的 k_{21} 值也增加,因此对传感器的压力 F_{21} 也随着变大,在C点时压力为最小,而在B点时压力为最大。如果物料的颗粒在称料槽CD段是均匀分布,每颗物料对传感器的压力就可取

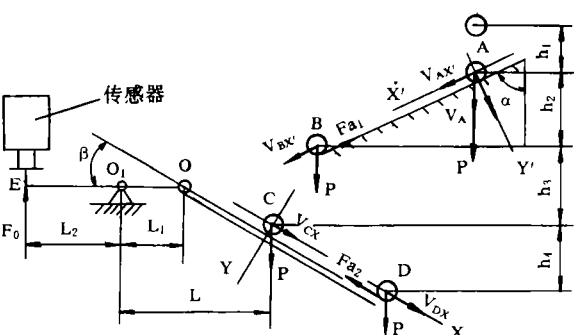


图4 工作原理图

平均值,即

$$\bar{F}_{21} = \frac{PL}{L_2} \left(1 + \frac{h_4 \cdot \tan\beta}{2}\right) = K_2 m \quad (13)$$

$$\text{式中 } K_2 = \frac{L}{L_2} \left(1 + \frac{h_4 \cdot \tan\beta}{2}\right) g. \quad h_4 \text{ 为物料在称料槽上总下降高度。}$$

由此可知颗粒的平均压力 F_{21} 与物料质量也成线性关系。

2.3 物料在称料槽上的流动速度和需要时间

物料在称料槽上任一点 x 的流动速度 v_x 可用与式(3)同样的方法推出,即

$$v_x = g \cdot (\sin\beta - \mu_2 \cos\beta) t_{cx} + v_{cx} = a_2 t_{cx} + v_{cx} \quad (14)$$

式中 a_2 为称料槽的当量加速度, $a_2 = g \cdot (\sin\beta - \mu_2 \cos\beta)$; μ_2 为物料与称料槽表面间的摩擦系数; t_{cx} 为物料从C点流到任意点 x 所需的时间。

根据式(2)可以推出在D点(出料处)的速度 v_{dx}

$$v_{dx} = g \cdot (\sin\beta - \mu_2 \cos\beta) t_{cd} + v_{cx} = a_2 t_{cd} + v_{cx} \quad (15)$$

根据式(5)可以推出物料从C点流动到D点所需的时间 t_{cd}

$$t_{CD} = -\frac{v_{CX}}{a_2} + \sqrt{\left(\frac{v_{CX}}{a_2}\right)^2 + \frac{2 \cdot h_1}{a_2 \cdot \sin \beta}} \quad (16)$$

将式(16)代入式(15)得

$$v_{DX} = \sqrt{v_{CX}^2 + \frac{2a_2 \cdot h_1}{\sin \beta}} \quad (17)$$

为了让物料在称料槽流动畅通,应满足 $v_X - v_{CX} \geq 0$, 根据式(14)可知, $g \cdot (\sin \beta - \mu_2 \cos \beta) t_{CD} \geq 0$

化简后得: $\beta \geq \tan^{-1} \mu_2$

称料槽的升角 β 应该大于物料与斜槽表面之间的摩擦角。

2.4 传感器所受的压力 F_0

物料在流动过程中实际上有很多颗物料同时冲击在称料槽上,还有很多颗物料同时在称料槽上流动。传感器上的压力 F_0 应该是所有物料的作用总和。

设某时 t_1 同时落到称料槽 C 附近有 n_1 颗物料, n_1 应与流量 Q 成正比,即满足下列关系

$$n_1 = C \cdot Q = Cf(t_1) \quad (18)$$

式中 C 为落料系数,与物料流量和物料粒间距有关。

物料对称料槽的冲击力所产生的对传感器的压力 F_{01} 应是每粒物料的冲力所产生的对传感器的压力 F_1 之和。根据式(11)可得

$$F_{01} = \sum_{i=1}^{n_1} F_{1i} = \sum_{i=1}^{n_1} K_1 \cdot m_i = n_1 \cdot K_1 \cdot m \quad (19)$$

此时传感器除了 F_{01} 的作用外,还存在称料槽上所有物料的质量 W_1 对传感器所产生的压力 F_{02} 的作用。在槽面上物料的多少取决于物料的流量 Q (图5) 和时间 t_{CD} (见式(16)), 因此 W_1 为

$$W_1 = \int_{t_1 - t_{CD}}^{t_1} m \cdot c \cdot Q dt = \int_{t_1 - t_{CD}}^{t_1} m \cdot c \cdot f(t) dt$$

由于 CD 的长度较短、物料的流速较快, t_{CD} 时间很短,可以将这段时间内的流量看成等流量,因此槽面上的物料质量 W_1 近似为

$$\begin{aligned} W_1 &= m \cdot Cf(t_1) \cdot t_{CD} \\ &= m \cdot Cf(t_1) \cdot n \cdot \Delta t \end{aligned} \quad (20)$$

式中 n 为物料流经称料槽的时间 t_{CD} , 即 $n = t_{CD} / \Delta t$; Δt 为测试周期。

在称料槽上物料的颗数应为 $n_2 = n \cdot C \cdot \Delta t f(t_1)$, 并假设在称料槽上均匀分布。因此单颗物料质量对传感器的压力就可按平均压力式(13)进行计算。 F_{02} 为每颗物料质量所产生压力之总和。则

$$F_{02} = \sum_{i=1}^{n_2} \bar{F}_{2i} = \sum_{i=1}^{n_2} K_2 \cdot m_i = n_2 \cdot K_2 \cdot m = K_2 \cdot W_1 \quad (21)$$

传感器在 t_1 时总压力 $F_0 = F_{01} + F_{02}$, 再将式(19)、(21)、(18)、(20)代入得

$$F_0 = K \cdot f(t_1) \quad (22)$$

式中 K 为转换系数, $K = (K_1 + n \cdot K_2 \cdot \Delta t) C \cdot m$ (23)

由上可知,传感器的压力 F_0 与物料的流量成线性关系。根据压力 F_0 的大小,即可推算

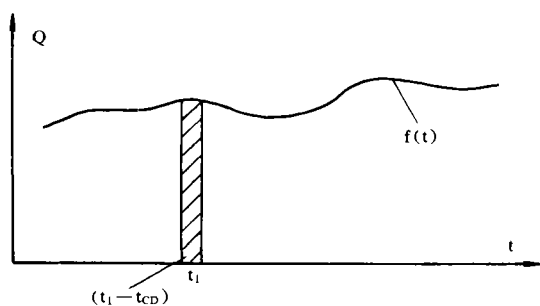


图5 在 t_1 时称料槽面上的物料

出物料的流量。

3 实际标定方法

实际应用时可以采用现场标定的方法,来确定有关系数。设备安装好以后,物料将以最大、中间和最小三挡流量分别进行标定,然后调整校对系统的精度,使检测精度误差不大于2%。当物料流动稳定后,一方面将该设备的流量显示读数随时打印出来;另一方面开始计时,并将时间间隔为 t_i 的各批物料分开接好。可取 $t_i > 10t_{CD}$ 。每批物料必须按顺序放好。然后称出每批物料的实际重量。根据 t_i 和测试周期 Δt 以求出在 t_i 时间内的读数个数 $n \pm \Delta n = t_i/\Delta t$,并应 $\Delta n < 0.5$ 。设流量读数值为 q_i ,每批物料实际重量为 W_i ,流量读数误差 C_i 可按下式计算

$$C_i = 1 - (q_1 + q_2 + \dots + q_n)\Delta t/W_i \quad (24)$$

C_i 为正值时,表示读数值比实际值小; C_i 为负值时,读数值偏大。 i 为每批所接物料的顺序号。

每次连续测试的平均读数误差 C 可由每批读数误差 C_i 求得

$$C = \frac{1}{Z} \sum_{i=1}^Z C_i$$

式中 Z 为每次连续测试的批数。

根据以上计算所得的流量读数误差对本系统进行调整标定。

4 结 论

颗粒料流量连续检测装置的特点是结构简单,本身不需要输送动力并能连续检测流量。可根据主物料流量的变化情况来控制其它物料的流量,始终保持相互间的比例关系。本装置是在鱼颗粒饲料外涂层工艺过程中一台关键设备,使用性能良好。适用于颗粒物料的自动流量检测。

参 考 文 献

- 1 吉林工业大学农机系. 应变片电测技术. 机械工业出版社,1978
- 2 南京工学院等. 理论力学. 人民教育出版社,1978
- 3 周忆行等. 工程数学. 建筑工业出版社,1979
- 4 王化祥,张淑英. 传感器原理及应用. 天津大学出版社,1988

A Continuous Flow Measurement Device of Granular Substances

Xu Jiwei Zhou Hongjun Li Kexiu

(Dept. of Mech. Eng.)

Abstract The primary structure and operating principle of a granule continuous flow measurement device is introduced. The device has the advantages of simple constitution and continuous flow measurement without power when it was operating in coating technological process of fish feeds.

Subject-words Flow measurement; Sensor; Calibration