

动态称量理论与结构参数设计

虞 定 华

(人事处)

一、概 述

包装计量常用到计数、定容和称量三种方法。随着包装工业的发展,设计与解决快速、准确、经济的称量方法已成为我们当前主要的研究方向。欲更好地达到上述要求,除设计合理的称量装置外,称量的工艺设计也是十分重要的。

影响动态称量的主要性能,往往可以认为是在称量即将满量的瞬间所产生的。在这个瞬间,随着物料的加入,秤体在平衡位置附近会产生微振而不能立即停在理想的平衡位置上。此外,物流的不均匀性和冲击等也都会给称量带来误差。因此,无论在动态称量的理论分析、工艺设计、结构设计中,都必须认真考虑如何减少这个误差。

二、秤体的性能分析

秤体的性能分析主要考虑无给料影响的秤体性能。

1. 静态性能

1) 稳定性 稳定性是指秤体的静止位置被破坏以后,经运动后仍能恢复到原来平衡位置的性能。

以图1为例,假定秤体呈现平衡状态时横梁恰好处于水平位置,则其稳定性力矩 M_0 为

$$M_0 = [(Q + P)H_a + WH_b]\sin \alpha \quad (1)$$

$$\alpha \leq \pm 90^\circ$$

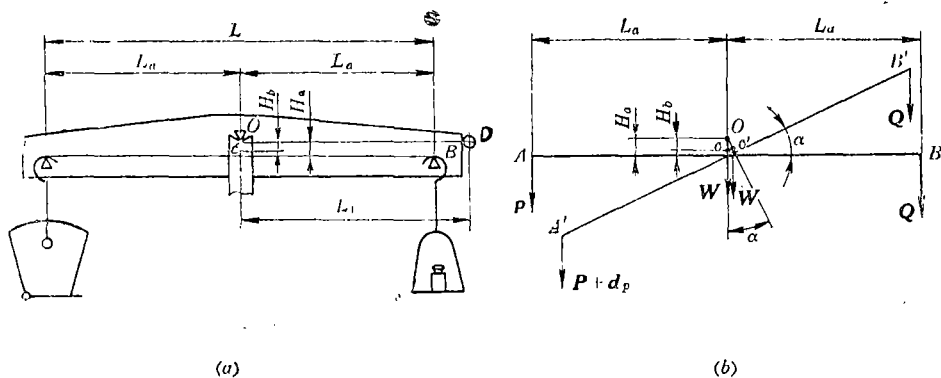


图1 等臂杠杆秤的工作原理

本文1985年8月29日收到。

式中

W ——横梁质量

P 、 Q ——分别为物料质量和砝码质量

H_s ——质点 A 与力点 B 连线到支点 O 的距离

H_b ——横梁重心 C 与支点 O 的距离

α ——横梁的摆角

稳定性力矩的大小随横梁的不同摆角而变化, 角度越大恢复能力越大。为计算方便, 式(1)以恢复力矩 M_s 表示

$$M_s = [(Q + P)H_s + WH_b] \quad (2)$$

实际上, 为使稳定性不受物料质量变化的影响, 常取 $H_s = 0$ 或趋近于零, 此时恢复力矩只与 W 、 H_b 值有关。式(2)只适合摆动式杠杆秤体的稳定性设计。

2) 灵敏性 灵敏性是指秤体位移运动对荷重的敏感程度。

当微小量 d_p 加在秤体上时, 使之产生相应的位移 d_s , 二者之比便为灵敏度 e 。

即

$$e_0 = \frac{d_s}{d_p} \quad (3)$$

灵敏性也可用最小分辨量 u , 即秤体能分辨的最小质量表示, 单位 g 。灵敏度和最小分辨量, 是从不同侧面来表示灵敏性的。

① 弹簧秤体的灵敏度 设弹簧秤体的总刚度为 K , 则灵敏度

$$e_0 = \frac{1}{K} \quad (4)$$

② 杠杆秤体的灵敏度 如图2所示, 灵敏度的线位移取值与检测位置有关。如检测 D 点的线位移, 则灵敏度为

$$e_0 = \frac{d_s}{d_p} = \frac{L_1 L_a}{WH_b} \text{ 或 } e_0 = \frac{L_1 L_a}{M_s} \quad (5)$$

式中

L_1 ——检测点与支点间的距离

L_a ——重臂长

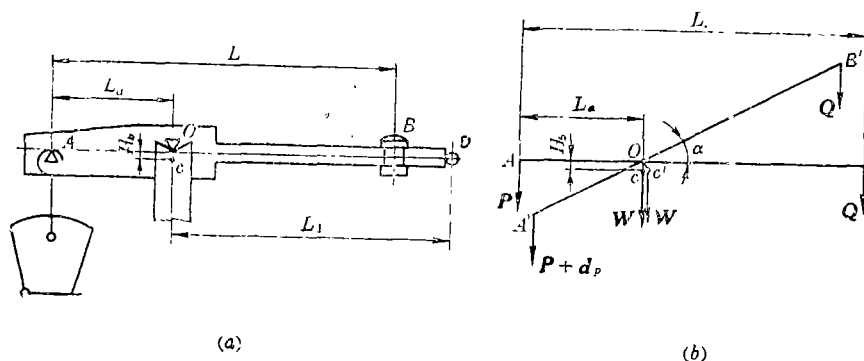


图2 不等臂杠杆的工作原理

③ 组合式秤体的灵敏度 由图 3 所示, 主秤体由秤架 1 和平行板簧 5 组成, 并配有传感器 2, 限位器 9 和阻尼器 4 等装置, 主秤体作近似直线运动。而副秤体则是绕另一弹性支点 8 转动的杠杆 6, 作配量之用。

设主秤体的灵敏度为 e_{01} , 副秤体的灵敏度为 e_{02} , 则组合式秤体的灵敏度为

$$e_0 = \frac{e_{01} e_{02}}{e_{01} + e_{02}} \quad (6)$$

3) 正确性 正确性是指秤体按确定的比例系数将被称物体的质量转换为其它物理量(如位移量、电感量)的性能。

4) 不变性 不变性是指秤体对同一物体做重复称量时, 其所得结果保持不变的程度。

2. 动态性能

研究秤体的动态性能, 关键在于分析秤体受外界干扰后恢复其原来平衡的能力, 以便合理确定基本参数。见图 4 所示, 设秤体作平动, 其线位移为 x , 自由振动时的运动微分方程为

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + \mu \frac{dx}{dt} + kx = 0 \quad (7)$$

式中

- m ——秤体运动部分的总质量
- μ ——阻尼器的阻尼系数
- k ——秤体的总刚度

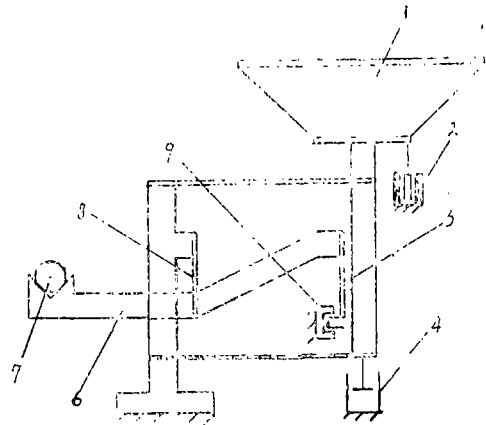
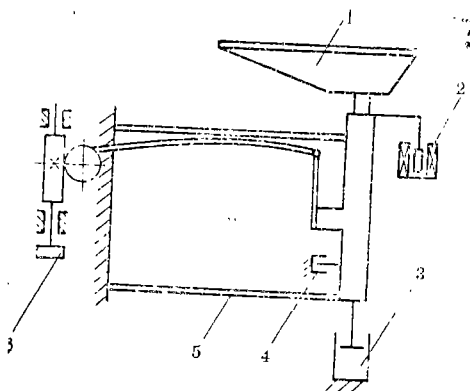
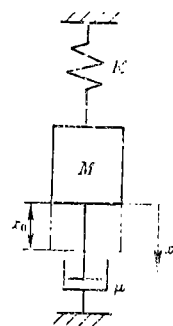


图 3 组合式秤体

- 1—秤体 2—传感器 3—单片弹簧
- 4—阻尼器 5—平行板簧 6—杠杆
- 7—配量法码 8—弹性支点 9—限位器



(a) 结构简图



(b) 力学模型

图 4 弹 簧 秤

- 1—秤盘 2—传感器 3—阻尼器 4—限位器 5—平行板簧
- 6—蜗轮蜗杆调节器

将式(7)转换成标准式, 即

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + 2\zeta \omega_0 \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0 \quad (8)$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \text{ 或 } \omega_0 = \sqrt{\frac{1}{m e_0}} \quad (9)$$

$$\zeta = \frac{\mu}{2m\omega_0} \text{ 或 } \zeta = \frac{\mu}{2} \sqrt{\frac{e_0}{m}} \quad (10)$$

式中

ω_0 ——秤体的固有角频率

ζ ——秤体的衰减系数

可以证明, 对于任何一种作自由振动的秤体, 都可以把它转换成标准式。而对作摆动的秤体来说, 应将式(8)中的平动线位移 x 改为摆动的角位移 α 。

取秤体的平衡位置为坐标原点, 当秤体受外界干扰开始自由振动时, 秤体位于 x_0 , 速度为零。故其初始条件可写成 $t=0$ 时, $x=x_0$, $dx/dt=0$, 并得上述方程的通解:

若 $\zeta < 1$

$$x = \frac{x_0}{\sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta \omega_0 t} \sin(\sqrt{1-\zeta^2} \omega_0 t + \psi) \quad (11)$$

$$\psi = \operatorname{tg}^{-1} \frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta} = \cos^{-1} \zeta$$

若 $\zeta = 1$

$$x = x_0 (1 + \omega_0 t) e^{-\omega_0 t} \quad (12)$$

若 $\zeta > 1$

$$x = x_0 \left[\frac{1}{2} \left(1 - \frac{\zeta}{\sqrt{\zeta^2 - 1}} e^{-(\zeta - \sqrt{\zeta^2 - 1}) \omega_0 t} \right) + \frac{1}{2} \left(1 + \frac{\zeta}{\sqrt{\zeta^2 - 1}} e^{-(\zeta + \sqrt{\zeta^2 - 1}) \omega_0 t} \right) \right] \quad (13)$$

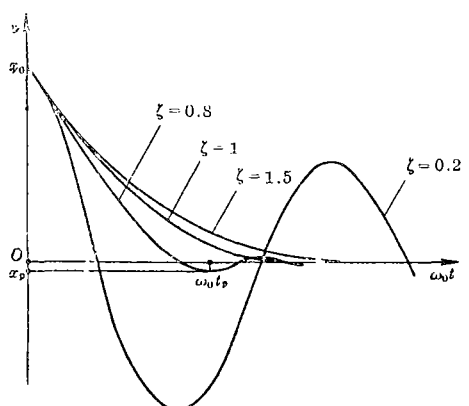


图5 秤体不同阻尼因素自由
振动曲线

将所求的通解绘成函数曲线, 如图5所示, 从中看出对同一秤体而言, ζ 值不同, 平衡时间也各有长短。为使秤体尽快地恢复到平衡位置, 通常取 $\zeta = 0.6 \sim 0.9$, 并使曲线的第一峰值对于平衡位置的差距 x_p 足够的小, 可认为秤体已基本上恢复到平衡状态。这样, 在保证称量精度的前提下, 选择合适的衰减系数, 使得恢复平衡的时间最短。

实用中, 式(11)中的 x_0 值可根据限位器的极限位移确定。令 $P_{\max}$ 为许用最大的称量变化量, 则秤体的最大位移量为

$$x_{0\max} = P_{\max} e_0 \quad (14)$$

$$\text{因而} \quad x \leq x_{0\max} \quad (15)$$

又令 $[x_p]$ 为许用超调量, 其值可根据灵敏度 e_0 和最小分辨量 u 求出, 即

$$[x_p] = ue_0 \quad (16)$$

而实际超调量为 x_p 时, x_p 应小于或等于 $[x_p]$ 。

令 δ_x 为秤体线位移的相对误差, 则

$$\delta_x = \frac{x}{x_0}$$

$$\text{或} \quad \delta_x = \frac{[x_p]}{x_{0\max}} = \frac{u}{P_{\max}} \quad (17)$$

式(17)表明 δ_x 也可由称量的相对误差求出, 实用中可根据具体的条件选用。

令 $[x_p]$ 相对应的时间为阻尼平衡时间 t_p 。实用中取 $\zeta < 1$, 由式(11)得

$$\delta_x = \frac{1}{\sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta\omega_0 t_p} \sin(\sqrt{1-\zeta^2} \omega_0 t_p + \psi) \quad (18)$$

上式表明, 当秤体的位移量小于由最小分辨量加于秤体而产生的位移时, 就可认为秤体已恢复到平衡状态。现将具体 ζ 、 β 值代入式(18)算出一组 δ_x , 列于表 1。实用中, 根据称量要求, 利用式(17)解出 δ_x , 再查表 1 得 ζ 和 $\beta = \omega_0 t_p$ 的最佳值, 最后得

$$t_p = \frac{\beta}{\omega_0} \text{ 或 } t_p = \beta \sqrt{me_0} \quad (19)$$

表 1 作自由振动秤体的 ζ 、 β 值

δ_{rx} 或 δ_{ra}	ζ	β	δ_{rx} 或 δ_{ra}	ζ	β
0.0015	0.90	7.20	0.017	0.79	5.12
0.0027	0.89	6.90	0.019	0.78	5.02
0.0029	0.88	6.60	0.023	0.77	4.92
0.0039	0.87	6.40	0.025	0.76	4.83
0.005	0.86	6.20	0.028	0.75	4.75
0.0063	0.85	6.00	0.032	0.74	4.67
0.0077	0.84	5.80	0.035	0.73	4.60
0.0093	0.83	5.60	0.038	0.72	4.52
0.011	0.82	5.50	0.042	0.71	4.46
0.013	0.81	5.40	0.046	0.70	4.40
0.015	0.80	5.20	0.095	0.60	3.33

应用实例 1:

图 4 所示为连续式称量的秤体, 已知秤体运动部份的质量 $m_1 = 1000\text{g}$, 秤体感受物料质量 $P = 1000\text{g}$, 许用最大的称量变化量 $P_{\max} = \pm 100\text{g}$, 灵敏度 $e_0 = 0.01\text{mm/g}$ (或 $e_0 = 0.001\text{m/N}$), 最小分辨量 $u = 1\text{g}$ 。

要求: 对秤体进行动态性能计算

解

- ① 由式(14)确定秤体的最大位移量($P_{\max}$ 是正负值, 故乘2计算)

$$x_{0\max} = 2P_{\max}e_0 = 2 \times 100 \times 0.01 = 2(\text{mm})$$

- ② 由式(16)确定秤体的许用超调量

$$[x_p] = ue_0 = 1 \times 0.01 = 0.01(\text{mm})$$

- ③ 将上二式计算结果代入式(17)得

$$\delta_x = \frac{[x_p]}{x_{0\max}} = \frac{0.01}{2} = 0.005$$

- ④ 由上述结果查表1得

$$\xi = 0.86 \quad \beta = 6.2$$

- ⑤ 由式(9)确定秤体的固有角频率

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{me_0}} = \sqrt{\frac{1}{(m_1 + p)e_0}} = \sqrt{\frac{1}{(1+1)0.001}} = 22.4(\text{S}^{-1})$$

- ⑥ 由式(19)确定秤体的阻尼平衡时间

$$t_p = \frac{\beta}{\omega_0} = \frac{6.2}{22.4} = 0.28(\text{S})$$

- ⑦ 由式(10)确定秤体的阻尼系数

$$\begin{aligned} \mu &= 2\xi m\omega_0 = 2\xi(m_1 + P)\omega_0 \\ &= 2 \times 0.8 \times (1+1) \times 22.4 = 77.06(\text{N} \cdot \text{S}/\text{m}) \end{aligned}$$

三、给料的工艺分析

1. 落差与给料方式分析

当物料满量, 秤体处于平衡状态时, 控制装置即作出反应, 使给料器停止给料。但从控制装置发出信号到完全停止给料存在滞后现象, 给料器与秤斗之间也存在一定的位差, 故能产生物料的延续流动, 以致引起称量结果的不准确。这种称量误差特称为“落差”。

设

A 、 ΔA ——给料截面积及其变化量

V 、 ΔV ——给料速度及其变化量

v_w 、 Δv_w ——物料容重及其变化量

t ——控制的反应时间

H ——给料器与秤斗的位差

落差值 δ 及其变化量 $\Delta\delta$ 应分别为

$$\delta = v_w A(H + Vt) \quad (20)$$

$$\Delta\delta = A(H + Vt)\Delta v_w + v_w(H + Vt)\Delta A + v_w A t \Delta V \quad (21)$$

另外,当接近满量时,由于物料对秤斗的冲击,使得秤体会在平衡位置附近产生振动,这也会影响称量精度。

总之,落差是间歇称量的一大缺点,是设计间歇称量装置应着重考虑的问题。为此,常采用多次给料。它们的工作特性曲线如图6所示。

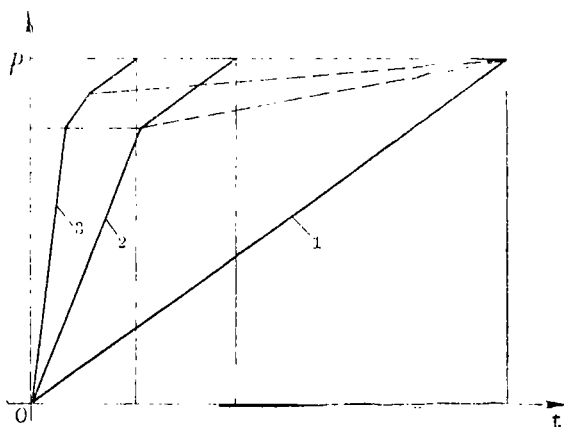


图6 给料次数与称量时间的关系曲线

1—单次给料 2—二次给料 3—三次给料

多次给料与一次给料不同。多次给料可分为二次给料和三次给料,二次给料一般是先粗给料,约占总称量的80%左右,而余额则由细给料完成,如虚线部分所示给料速度较慢,占用时间较长,以便接近满量时减少给料量和给料速度对落差的影响,同时也能减轻物料对秤斗的冲击,从而提高秤体的稳定性。所以,根据具体的物料性质和工作条件合理地分配粗、细给料时间,足以提高称量的精度和速度。

据此不难理解,三次给料则是一种更适合高速的大称量(1~5kg)方式。整个过程如下:开始采用容积式计量方式在极短时间内将大部分物料加入秤斗,剩余部分再进行中给料,最后按虚线所示进行小给料,其给料情况更合理。另外,如使满量时的给料速度一致,(见实线部分),则多次给料占用的时间更短。

2. 容积式给料的分析

从图7(a)的曲线可见粗给料量尽管有变化,但给料所需时间却很短,而且是不变的,故可近似认为是一种突然的给料方式。设给料前秤体位于标坐原点,给料后改变到 x_0 处,这种情况可用阶跃函数来表示。设给料的量为 P_0 ,秤体的理想位移为 $f(t)$,则

$$f(t) = \begin{cases} 0 & t = 0 \\ x_0 & t > 0 \end{cases} \quad (22)$$

式中

$$x_0 = P_0 e_0 = \frac{P_0}{m\omega_0^2} \quad (23)$$

将式(22)进行拉氏变换得

$$\begin{aligned} F(s) &= L[f(t)] = \int_0^{\infty} x_0 e^{-st} dt \\ &= \frac{x_0}{s} = \frac{P_0 e_0}{s} \end{aligned} \quad (24)$$

式中

S ——拉氏变换的算子符号

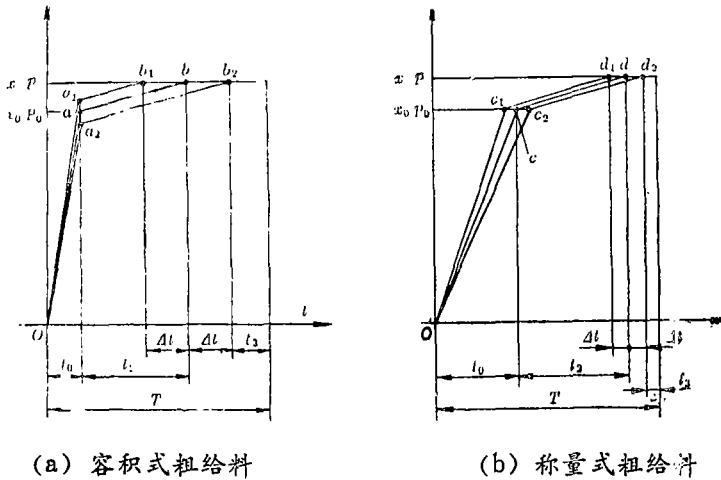


图7 给料曲线

t_0 —粗给料时间 t_2 —细给料时间 t_3 —停歇时间

Δt —变化时间 T —循环时间

令 $x_0 = 1$, 则式(22)的单位阶跃函数的拉氏变换为

$$L[f(t)] = \frac{1}{S} \quad (25)$$

以上二式可为以后容积式给料的秤体动态性能分析提供前提条件。

3. 称量式给料分析

对于某些容量极不稳定的物料, 可用称量方式来实现二次给料, 但需设置二次称量装置, 例如, 二次加码等。参阅图7(b), 粗给料所占用的时间是不确定的, 而且给料速度也较容积式的慢。

采用称量式给料, 物料是均匀加入秤斗内的, 故秤体的位移随时间而逐渐变化, 可用斜坡函数来表示。设给料前秤体位于坐标原点, 且以 t_0 代表称量式给料时间, 则秤体的理想位移

$$f(t) = \frac{x_0}{t_0} t = \frac{P_0 e_0}{t_0} t \quad (26)$$

其拉氏变换为

$$L[f(t)] = \frac{P_0 e_0}{t_0} \int_0^{\infty} t e^{-st} dt = \frac{P_0 t_0}{t_0} \cdot \frac{1}{S^2} \quad (27)$$

令 $P_0 e_0 / t_0 = 1$, 则式(26)的单位斜坡函数的拉氏变换为

$$L[f(t)] = \frac{1}{S^2} \quad (28)$$

以上二式可为以后称量式给料的秤体动态性能分析提供前提条件。

四、称量的动态分析

本节将着重剖析在给料情况下秤体的动态响应过程。实用中可根据设计给出的原始依据在保证称量的准确度、灵敏度、生产率的前提下,合理确定秤体的固有角频率、衰减系数、阻尼系数、阻尼平衡时间等有关基本参数。

给料后,由于秤体的运动惯性和衰减系数等影响,使秤体从初始平衡位置到达新的平衡位置,往往需要一段时间。比如,在容积式粗给料方式中,由于所选的衰减系数 ζ 值不同,根据实验就有可能出现如图8所示的四种情况:①振荡过程, ζ 值偏小;②微振过程, ζ 值合适;③无超调过程, ζ 值临界;④单调过程, ζ 值偏大。

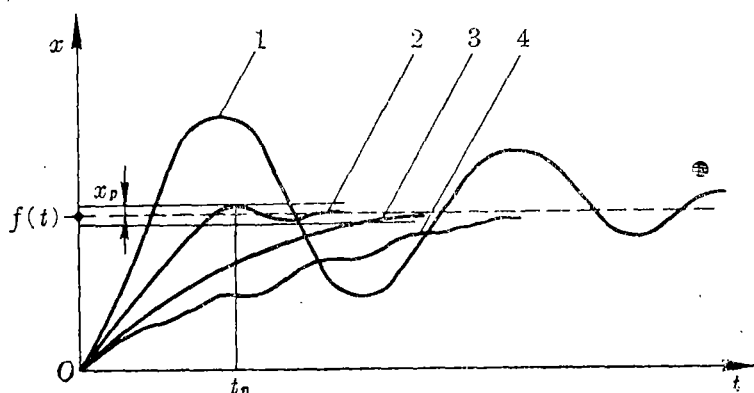


图8 在给料情况下不同阻尼因素的秤体运动曲线

1—振荡过程 2—微振过程 3—无超调过程 4—单调过程

另外同一个秤体由于给料方式或给料量多少的不同,其动态响应也不尽相同。由此可见,仅研究秤体本身的结构及参数是不够的,还需根据不同的给料方式来综合分析秤体的动态性能。

1. 容积式给料的秤体动态性能

对图4所示的秤体来说,在未给料时,秤体位于坐标原点,即 $t=0$ 时, $x=0$, $dx/dt=0$ 。而当采用容积式给料,加载为 P_0 时,可认为是突然给料,故秤体的单位阶跃函数为 $L[f(t)] = 1/S$ 。

首先,建立秤体的运动微分方程

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + \mu \frac{dx}{dt} + kx = P_0 \quad (29)$$

转换成标准式

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + 2\zeta\omega_0 \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = \frac{P_0}{m} \quad (30)$$

进而得突然给料时秤体位移输出量的拉普拉斯变换式

$$x(s) = \frac{1}{s^2 + 2\zeta\omega_0 s + \omega_0^2} \cdot \frac{P_0}{m} \cdot \frac{1}{s} \quad (31)$$

由式(31)求得秤体拉普拉斯反变换为:

$\xi < 1$ 时

$$x(t) = x_0 \left[1 - \frac{e^{-\xi \omega_0 t}}{\sqrt{1-\xi^2}} \sin \left(\omega_d t + \arctg \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{\xi} \right) \right] \quad (32)$$

$\xi = 1$ 时

$$x(t) = x_0 [1 - e^{-\omega_0 t} (1 + \omega_0 t)] \quad (33)$$

$\xi < 1$ 时

$$x(t) = x_0 \left[1 + \frac{e^{-(\xi - \sqrt{\xi^2 - 1}) \omega_0 t}}{2(\xi^2 - \xi \sqrt{\xi^2 - 1} - 1)} + \frac{e^{-(\xi + \sqrt{\xi^2 - 1}) \omega_0 t}}{2(\xi^2 + \xi \sqrt{\xi^2 - 1} - 1)} \right] \quad (34)$$

实用中, 通常采用 $\xi < 1$ 的情况。下面仅以此为例, 着重分析突然给料所引起的秤体理想位移 $f(t)$ 与实际位移 $x(t)$ 的误差。令此值为 $\delta(t)$, 则

$$\begin{aligned} \delta(t) &= f(t) - x(t) \\ &= x_0 \frac{e^{-\xi \omega_0 t}}{\sqrt{1-\xi^2}} \sin \left(\omega_d t + \arctg \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{\xi} \right) \end{aligned} \quad (35)$$

见图 9, 秤体的位移误差是按正弦方式振荡的。当 $t \rightarrow \infty$ 时, 秤体位移的稳态误差应是 $\delta(t) = 0$, 对容积式给料来说与前述自由振动的秤体一样, 在 $t = t_p$ 时, 希望 $\delta(t_p) < [x_p]$ 。而且随着时间的推移, 使秤体的位移误差不再大于许用的超调量。这样, 就可以认为秤体能够达到平衡状态。

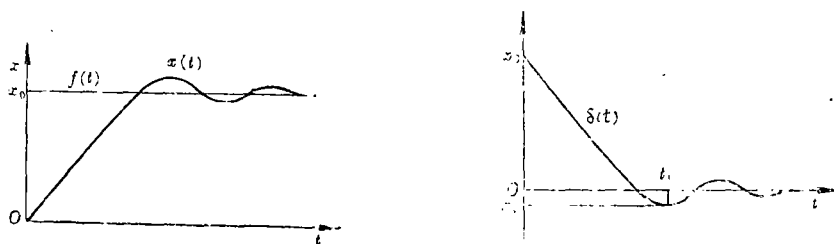


图 9 突然给料时秤体的 $f(t)$ 、 $x(t)$ 和 $\delta(t)$ 响应曲线

为求阻尼平衡时间 t_p 和超调量 x_p , 根据式 (35), 将 $\delta(t)$ 对时间 t 微分, 并使其等于零, 则

$$x_0 \sin(\omega_d t_p) \frac{\omega_0}{\sqrt{1-\xi^2}} e^{-\xi \omega_0 t} = 0$$

$$\text{即} \quad \sin \omega_d t_p = 0$$

这表明, $\omega_d t_p = 0, \pi, 2\pi, 3\pi, \dots, n\pi$ (n 为正整数) 均成立。鉴于阻尼平衡时间是对应于第一个峰值的超调量, 故

$$\omega_d t_p = \pi$$

或写作

$$t_p = \frac{\pi}{\omega_0 \sqrt{1-\xi^2}} \quad (36)$$

将 t_p 值代入式 (36) 求得

$$x_p = x_0 e^{-\left(\frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}\right) \pi}$$

或

$$\delta_x = \frac{x_p}{x_0} = e^{-\left(\frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}\right)\pi} \quad (37)$$

2. 称量式给料的秤体动态性能

仍以图4所示的秤体为例,当称量式给料时,由于是均匀给料,故秤体的单位斜坡函数为 $L[f(t)] = 1/S^2$ 。若给料前秤体位于坐标原点,即 $t=0$ 时, $x=0, dx/dt=0$,且 t_0 代表给料时间,则秤体的运动微分方程为

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + \mu \frac{dx}{dt} + kx = \frac{P_0}{t_0} t \quad (38)$$

转换成标准式

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\xi\omega_0 \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = \frac{P_0}{t_0 m} t \quad (39)$$

同理推出,秤体位移输出量的拉普拉斯变换式

$$x(S) = \frac{1}{S^2 + 2\xi\omega_0 S + \omega_0^2} \cdot \frac{P_0}{t_0 m} \cdot \frac{1}{S^2} \quad (40)$$

由上式 $x(s)$ 求得拉普拉斯反变换为:

$\xi < 1$ 时

$$x(t) = \frac{x_0}{t_0} \left[t - \frac{2\xi}{\omega_0} + \frac{e^{-\xi\omega_0 t}}{\omega_0 \sqrt{1-\xi^2}} \sin\left(\omega_0 t + \arctan \frac{2\xi\sqrt{1-\xi^2}}{2\xi^2-1}\right) \right] \quad (41)$$

$\xi = 1$ 时

$$x(t) = \frac{x_0}{t_0} \left[t - \frac{2}{\omega_0} + \frac{2}{\omega_0} e^{-\omega_0 t} \left(1 + \frac{\omega_0 t}{2}\right) \right] \quad (42)$$

$\xi > 1$ 时

$$x(t) = \frac{x_0}{t_0} \left[t - \frac{2\xi}{\omega_0} - \frac{2\xi^2-1-2\sqrt{\xi^2-1}}{2\omega_0\sqrt{\xi^2-1}} e^{-(\xi+\sqrt{\xi^2-1})\omega_0 t} + \frac{2\xi^2-1-2\xi\sqrt{\xi^2-1}}{2\omega_0\sqrt{\xi^2-1}} e^{-(\xi-\sqrt{\xi^2-1})\omega_0 t} \right] \quad (43)$$

下面仅以 $\xi < 1$ 为例,着重分析均匀给料所引起的秤体位移误差

$$\begin{aligned} \delta(t) &= f(t) - x(t) \\ &= \frac{x_0}{t_0} \left[\frac{2\xi}{\omega_0} - \frac{e^{-\xi\omega_0 t}}{\omega_0 \sqrt{1-\xi^2}} \sin\left(\omega_0 t + \arctan \frac{2\xi\sqrt{1-\xi^2}}{2\xi^2-1}\right) \right] \end{aligned} \quad (44)$$

见图10,当 $t \rightarrow \infty$ 时,秤体线位移的稳态误差

$$\delta_x = \frac{x_0}{t_0} \cdot \frac{2\xi}{\omega_0}$$

或写作

$$\delta_x = \frac{\mu}{m\omega_0^2} \cdot \frac{P_0 e_0}{t_0} \quad (45)$$

令 δ_p 为秤体稳态误差所产生的称量误差,则
对平动秤体来说

$$\delta_p = -\frac{\delta_x}{e_0} \quad (46)$$

对摆动秤体来说

$$\delta_p = -\frac{\delta_a L_a}{e_0} \quad (47)$$

式中

$$\delta_a = \frac{\alpha_0}{t_0} \cdot \frac{2\xi}{\omega_0} \quad (48)$$

实用中,均匀给料常用于细给料,因此在满量时除考虑落差影响外,还必须考虑秤体的稳态误差。一般来说,称量式给料时间 t_0 是较长的,因此,实用中可直接用上述结果进行计算,并设法采用各种方法减少这种偏差。

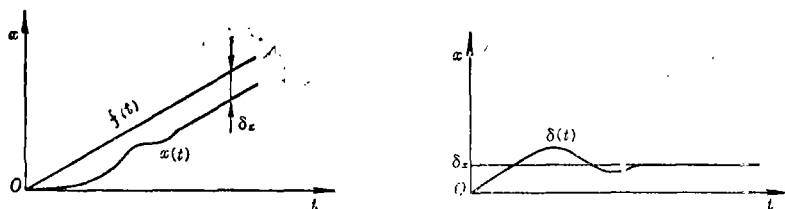


图10 均匀给料时秤体的 $f(t)$ 、 $x(t)$ 和 $\delta(t)$ 响应曲线

实例2

设计间歇式称量,仍采用图4所示的秤体。已知:秤体运动部分的质量 $m_1 = 1000\text{g}$,被称物料为小颗粒状、质量 $P = 1000\text{g}$,绝对误差 $\delta_0 = 10\text{g}$,采用二次给料,80%粗给料为容积式、需时 $t_1 = 0.8\text{S}$ 、20%细给料为称量式、需时 $t_2 = 1.5\text{S}$,灵敏度 $e_0 = 0.01\text{mm/g}$ 或 $e_0 = 0.001\text{m/N}$,最小分辨量 $u = 1\text{g}$ 。

要求:对秤体进行动态性能计算

解:先用容积式给料计算秤体动态性能

由式(14)确定秤体的最大位移量(粗给料为80% P)

$$x_{0\max} = 80\% P e_0 = 0.8 \times 1000 \times 0.01 = 8(\text{mm})$$

实际应用时,为了缩短平衡时间,一般应加限位器使 $x_{0\max}$ 限制在 2mm 以下,故取 $x_{0\max} = 2\text{mm}$ 。

由式(16)确定秤体的许用超调量

$$[x_p] = u e_0 = 1 \times 0.01 = 0.01(\text{mm})$$

将上二式计算结果代入式(17)得

$$\delta_x = \frac{[x_p]}{x_{0\max}} = \frac{0.01}{2} = 0.005$$

由式(37) $\delta_x = e^{-\left(\frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}\right)\pi} = 0.005$ 解出衰减系数 $\xi = 0.86$

由式(9)确定秤体的固有角频率

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{Me_0}} = \sqrt{\frac{1}{M_1 e_0}} = \sqrt{\frac{1}{1 \times 0.001}} = 31.6 (S^{-1})$$

由式(36)确定秤体的阻尼平衡时间

$$t_p = \frac{\pi}{\omega_0 \sqrt{1-\xi^2}} = \frac{3.14}{31.6 \sqrt{1-0.86^2}} = 0.19 (S)$$

$t_p < [t_1]$ 合用

由式(10)确定秤体的阻尼系数

$$\mu = 2\xi M \omega_0 = 2 \times 0.86 \times 131.6 = 54.35 (N \cdot S/m)$$

考虑称量式给料计算秤体动态性能

由式(45)确定秤体位移的稳态误差

$$\begin{aligned} \delta_x &= \frac{x_0}{t_0} \cdot \frac{2\xi}{\omega_0} = \frac{x_{0max}}{t_2} \cdot 2\xi \sqrt{(M_1 + 80\%P)e_0} \\ &= \frac{2}{1.5} \times 2 \times 0.86 \sqrt{(1+0.8)0.001} = 0.097 (mm) \end{aligned}$$

由式(46)确定秤体的称量误差

$$\delta_p < \frac{\delta_x}{e_0} = \frac{0.097}{0.01} = 9.7 (g)$$

$$\delta_p < [\delta_0] = 10(g) \text{ 合用}$$

δ_p 值可在设定计量值时设法修正, 尽可能地减少误差量。

参 考 文 献

- [1] 三宅重正, 《商业包装自动包装技术》, 工业调查会, 昭和55年
- [2] 王显正, 范崇让, 《控制理论基础》, 国防工业出版社, (1981)

86005

中小型甘蔗糖厂自动检测控制系统《无锡轻工业学院学报》1986年, 第五卷, 第一期

主题词 自动检测; 调节阀; 同轴电缆; pH测量电极组; PID调节器

摘要 本文介绍了糖厂中末效蒸发罐的糖浆锤度自动控制和中管道内的pH自动控制系统。用选择一定温度下的压差作为糖浆锤度的间接指标, 结合各效蒸发罐液位调节解决了糖浆锤度的测量和控制问题。选用铂电极—甘汞电极测量电极组, 解决了中和管道内的pH值测量, 和不溶性钙盐和镁盐的积垢现象。通过实验解决了中和pH值调节系统中存在的技术问题。

作者: 蒋锡康

86007

用第V类连杆曲线逼近双曲线综合槽轮连杆机构《无锡轻工业学院学报》1986年, 第五卷, 第一期

主题词 分度; 运动; 冲击; 槽轮机构/对称连杆曲线; 内槽轮机构; 双曲线; 分度运动

摘要 本文提出了一种新的综合内槽轮机构的方法, 利用双曲线的特性, 把双曲线的一支作为给定轨迹, 滚子作为一个连杆点, 使滚子的轨迹按给定条件成为第V类对称连杆曲线来逼近给定双曲线的近似直线部分。用优化设计方法, 综合槽轮连杆机构, 达到在槽轮机构分度转位时无冲击的目的。

作者: 邱星若

86006

摆动从动杆盘状凸轮机构按压力角的优化设计《无锡轻工业学院学报》1986年, 第五卷, 第一期

主题词 凸轮机构; 压力角; 最优设计/摆动从动杆凸轮机构; 凸轮最小基圆半径

摘要 本文利用优化原理, 提出了根据许用压力角进行摆动从动杆盘状凸轮机构运动设计的新方法。它在只给出许用压力角从动杆运动规律及其摆动角度和相应的凸轮转角的情况下, 借助计算机直接求出凸轮的最小基圆半径、摆杆长度和摆杆初始位置角。这种数学分析法在原理上兼有图解法简明、易懂的优点, 同时又克服了图解法繁复、精度低, 以致实际上不大被采用的缺陷。它是一种精确简便的方法。

作者: 吕庸厚 周榴明

86008

动态称量理论与结构参数设计《无锡轻工业学院学报》1986年, 第五卷, 第一期

主题词 自动秤; 结构参数; 设计参数/动态参数, 动态称量; 秤体结构参数; 给料工艺

摘要 本文研究、分析了秤体的性能、给料工艺、以及各种给料方式的称量原理, 提出了最佳的秤体结构设计参数及合理的称重方法。首次提出动态称量理论, 并提供了一个新的设计方法。

作者: 虞定华

86007

APPROACH to HYPERBOLIC SYNTHESIZED GENEVA MECHANISM
DRIVEN by a FOUR-BAR LINKAGE《Journal of the Wuxi Institute of
Light Industry》, Vol.5, No.1, 1986

SUBJECTWORD indexing; motion; shocks; maltese mechanisms/symmetrical coupler curve; internal geneva mechanism; hyperbola; indexing motion
ABSTRACT A new method is introduced to synthesize the internal geneva mechanism which makes use of a hyperbola and a roller as a point of the connecting rod. The path of roller becomes a fifth type symmetrical coupler curve according to conditions given and to approach the path of the straight line of hyperbola given. An optimized method is to synthesize geneva mechanism driven by a four-bar linkage to achieve shockless index rotation.

Author, Qiu Xingruo

86008

THEORETICAL ANALYSIS and STRUCTURE PARAMETER DESIGN
for DYNAMIC WEIGHING《Journal of the Wuxi Institute of Light Industry》, Vol.5, No.1, 1986

SUBJECTWORD automatic weighers, structure parameter, design parameter dynamic parameter/dynamic weighing, structural parameters of weighers, feeding techniques

ABSTRACT The functions of weighers, the feeding techniques, and the weighing mechanisms of various feeding patterns are studied and discussed. The optimal design parameters on the structure of the weighers and the suitable weighing methods are also suggested, the dynamic weighing theory is the first time to be posed here, subsequently, a new design method is provided for in-motion weighing.

Author, Yu Dinghua

86005

THE AUTOMATIC MEASURING and CONTROLLING SYSTEMS for
MIDDLE-SIZED and SMALL-SIZED CANE SUGAR PLANTS《Journal of the Wuxi Institute of Light Industry》, Vol.5, No.1, 1986

SUBJECTWORD automatic detection, regulating valves; coaxial cables; pH determination/measuring electrodes, proportional-integral-derivative
ABSTRACT The automatic controlling systems of syrup brix in the evaporation and pH valves inside the neutralization tube in sugar plants which can be solved by using pressure difference as indirect index of syrup brix, combining with the liquid level regulation of every evaporation pan are introduced. To measure pH, a pair of stibium-calomel detective electrodes are used. The deposition of indissoluble calcium and magnesium salts and other problems existed in pH regulation system off neutralization has been eliminated with appropriate technical measures.

Author, Jiang Xikang

86006

OPTIMAL DESIGN of DISC CAM MECHANISM with SWINGING FOLLOWER BASED on PRESSURE ANGLE《Journal of the Wuxi Institute of Light Industry》, Vol.5, No.1, 1986

SUBJECTWORD cam mechanism; pressure angle; optimal design/cam mechanism with swinging follower; the minimum radius of the cam base circle
ABSTRACT Using the optimal principle and basing on the permissible pressure angle, a new method of kinematic design of disc cam mechanism with swinging follower is presented. For the permissible pressure angles, the motion law and the swinging angle of follower as well as the cam rotation angle are given, using computer, the minimum radius of the cam base circle, the length and the initial position angle of follower can be obtained directly. The mathematical analysis has the advantages of being both simple and demonstrative and easily understood. The disadvantages of the complicated and inaccurate graphical method have been overcome.

Author, Leu Yonghou, Zhou Liuming