

定量皮带秤解析

中国计量科学研究院 周祖濂

[摘要] 由动态称重原理简单分析配料皮带秤的工作特性，给出允许承载器的响应曲线和拉普拉斯变换的表示式，并给出了配料皮带秤的控制简图和系统方程。

关键字 配料皮带秤 瞬态特性 承载器响应曲线

前言

定量皮带秤是一种工业配料过程中经常使用的衡器，主要用于水泥配料；中国从上世纪七十年代初就开始研制和生产，在 2016 年针对配料用的定量皮带秤制定了国家标准。对一种产品制定标准，是对该产品深化认识的过程，对产品的发展和质量的提高有极大的好处。本文我想谈谈对定量皮带秤的认知。

正文

自动定量皮带秤能够控制通过皮带输运物料在预定单位时间内输送的重量，属于自动称量的动态秤。然而很多介绍自动定量皮带秤的文章，没能讲述其动态称重的特点，大多介绍各厂家定量皮带秤的机械结构，使用材料和制造的特点。很少从动态称重的要求来介绍定量皮带秤。

我们熟知的重袋式定量包装秤，控制预定重量是通过细投料的多少使最终物料的重量达到预定的重量值。定量皮带秤是运用过程控制方法在整个称重过程中调节进量的多少，皮带的速度，即调节物料的流量的多少使其最终的累积重量达到预定重量。

首先，我们分析定量皮带秤的输运物料的物理过程。定量皮带秤物料的受力问题属于变质量力学范畴。在整个称重过程中被称物料不断由进料口流入，通过皮带运送又不断的由皮带的出口流出。根据变质量力学的动量定理，可写出皮带上运输物料的代表式：

$$\frac{d(mv)}{dt} = F + \frac{dm_1}{dt}u_1 + \frac{dm_2}{dt}u_2 \quad (1)$$

(1) 其中 m_1 是流入皮带的质量， u_1 是流入质量相对皮带的速度， m_2 是流出皮带的质量， u_2 是流出质量相对于皮带的速度，此时等于皮带的传输速度为 v ， $q = mv$ 是皮带上被输送物料的动量。在时间 T 内经皮带远送的物料的累积量为：

$$\int_0^T \frac{d(mv)}{dt} dt = \int_0^T F dt + \int_0^T \frac{dm_1 u_1}{dt} dt + \int_0^T \frac{dm_2 u_2}{dt} dt \quad (2)$$

注意式中 F 是作用在物料上的外力，例如皮带的张力，剪切闸门的剪切力等，不是称重传感器的称重力。（1）式是运输物料的动量微分表示式，（2）式是它的积分表示式。通常抛出物料的速度 u_2 也就是皮带的传输速度、即 $u_2 = v$ 。对定量皮带秤的调控，通常是通过调节输入皮带的质量，或者调节皮带的传输速度使最终的累积的总量等于预设量。也有既调节输入质量，同时还调节皮带传输速度的皮带秤。但这种定量皮带秤，需有预给料机，系统的结构也比较复杂。

下面举一简单的示例说明反馈系统的控制过程和响应表达式。调节部件一般可采用闸门或采用电机。为简单起见用闸门调节例示说明。

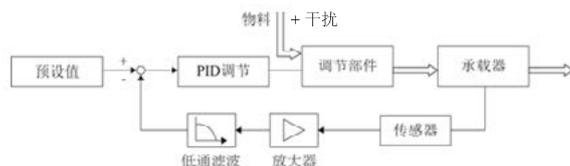


图 1 反馈控制系统简图

图 2 是反馈控制系统的方框图。 $x(P)$ 和 $y(P)$ 分表示输入和输出变量 $x(t)$ 和 $y(t)$ 的拉普拉斯变换。 $G(P)$ 为系统的传递函数， $H(P)$ 为调节系统的传递函数（反馈函数）。反馈控制过程将输入量 $x(P)$ 与经过反馈系统的输出量 $y(P)$ 比较，将二者的偏差值经由系统 $G(P)$ 调节部分，使最终的输出等于预设值。

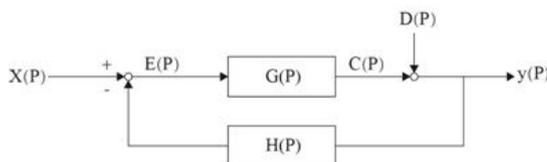


图 2 反馈控制系统框图

由图 2，很容易求得下式。

$$y(P) = \frac{G(P)}{1 + H(P)G(P)} \cdot X(P)$$

对反馈控制响应的基本要求，首先是响应式必须是收敛的，并且收敛于预设值。第二要求收敛的速度要在预定时间内达到预设值，至少是在能控制误差的范围内达到预设值。

本文不对反馈控制的响应式的稳定性、误差等的具体参数做进一步的分析。只对其中一些部件在动态状态下的特点做一些分析。

在动态系统中对承载器的要求不能只看它称重的准确性、稳定性等。还要看它的响应函数。因为在反馈控制系统中，它将影响系统的稳定性、收敛速度、误差等重要技术指标。

定量皮带秤的承载器通常有三种形式，即单托辊式、双托辊式和直接承重式。对于比重较轻的物料的中小量程的定量皮带秤，近年多采用直接承载式。物料通过承载器，更确切说通过称量段所采集到的数值，将其处理就可以得到此时被称物料的瞬时流量，经累加积分就可得到被称物料的总重

量。对数值的累加过程，由频域的观点看，时域的累加相当通过一个低通滤波器。然而由于承载器结构的差异，物料处于称量段的不同位置，对称重传感器作用力量不同。例如对于单托辊式，当物料刚进入称量段，即进入输入方向的托辊时，它施加到称重托辊的力是很小的，随着接近称重辊的距离越近而逐渐加大。从取样过程而言，相当于对取样数值的平均值加了一个“权函数”，对单称重托辊此权函数为一等腰三角形，图三绘出了三种承载器的由单位点载荷得到的力函数 $f(t)$ 和它的拉普拉斯变换的传递函数以及皮带上均匀载荷通过承载器的称重平均值。在此采用托普拉斯变换，是因为它的变换结果比较直观，在富里哀变换中 e 的指数为虚数，而拉普拉斯变换中 e 的指数为实数，若变换结果中 e 的指数存在负数，即表示该系统有积分式累加的过程，而且信号通过该系统有一定的延迟。在实际运用时，由于处理的数据均为离散信号，多使用 Z 变换。

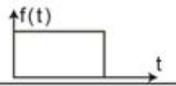
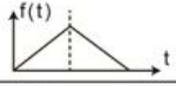
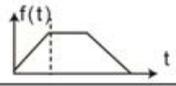
称重区间类型 D: 称重区长度 L: 托辊间距	单位线质量通过 称重区的受力 $f(t)$	$f(t)$ 的拉普拉斯变 换 $G(p)$	称重区均匀载荷 时的受力F M为称重区物种
		$1-e^{-Dp}$	$F=mD$ $M=mL$
		$\frac{2}{D}(1-e^{-Dp/2})$	$F=\frac{1}{2}mD$ $M=2mL$
		$\frac{2}{3}(1-e^{-Dp/3})(1-e^{-2Dp/3})$	$F=\frac{2}{3}mD$ $M=3mL$

图3 称量区间的传递函数简图

由于定量皮带秤和大多数定量秤不同，它在控制调整量的时间与称量区间有一段延迟时间，由称量区间到投料口又有一段延迟时间。与定量包装秤相比在控制下料使达到预定量的调节因素更复杂些。从单称重托辊的定量皮带秤，就可看出称量区的范围不同，并且影响到采样数值的平均值。在图3中，在平均载荷时 M 为称重区的重量， D 为称重区的长度， $m = M/D$ 为单位长载荷的重量， L 为托辊间距。现以单称重托辊为例，确定传感器在均匀载荷下受力，其数值为称重托辊与两端托辊之间的载荷平均值。此时的称量区 $D = 2L$ ，即托辊间距的两倍。若我们按传统的定义称重区，为称重托辊分别与两端托辊中部的距离之和。此时称量区 $D = L$ ，由于单托辊在不同段上的加权不同。此时在称量段取样的平均值为 $3/4mL$ ，不再是 mL 。在图中 m 是称量段间均匀载荷的单位长度重量。此时的取样区也由后来的 $D = 2L$ ，变为 $D = L$ 。由于现在是动态称重，当进料端的载荷流量有改变时，只能通过一组取样的数值平均，得到数值才有比较的可能。图4给出进入单称重托辊阶跃流量时的瞬时过程。图中 Q 为阶跃流量通过称重段的实际值， Q^* 为通过传感器测量得到的流量值。由图4中可看出只有当阶跃流量通过称量区 D 之后，传感器才显示物料变化后的稳定值。为了能准确控制预定给料，这些有关的因素在编制软件时应仔细分析。一般情况皮带出料段的皮带线载荷与称

重区测量值之间存在延时，两者之间的线载荷可能不一样，造成对预设量的偏差。因此，称量段应当尽量接近抛料点。

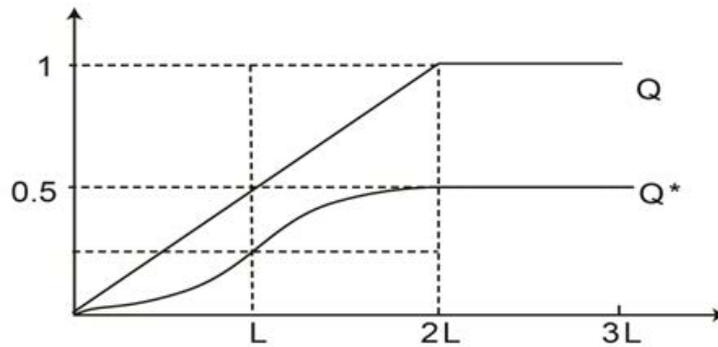


图4 单称重托辊阶跃载荷的瞬时图

与所有自动定量秤一样，控制流动物料的均匀性是确保预设量准确度的主要问题。特别是现今电脑的功能，传感器的精度和稳定度已足够满足称重要求的条件下。对物料的控制的均匀性更显得突出。

结束语

定量皮带秤通常在进料段的上方安装有进料斗，由于物料的物理特性的差异，进料斗结构、尺寸就是设计定量皮带秤需要重点考虑的问题。

在定量皮带秤现场安装，要注意两个问题，要尽量降低皮带输送支架工作时振动的影响，要有减振措施。另一方面对称重承载器（支架）要有隔振措施、减少外界振动干扰。

定量皮带秤用于贸易的场所很少，基本用于配料等工艺秤使用，按照法制计量管理的规定，作为工艺秤是不需要列入强制计量管理的范畴。

要注意和定量包装秤等其它定量秤一样，定量皮带秤的准确性与被称物料的特性有关。所以不是可以用一种准确度等级来代表所有被称物料的称量准确度等级的，实际上定量秤均属于“个性”特点的衡器。称重结果与物料的特性有关。严格讲厂家应说明该产品的误差是针对某类物料的结果，这与定量包装秤一样，需说明所标注的准确度级别是在称重何种物料的结果。