

电子皮带秤和核子皮带秤的综合比较

河北钢铁集团承钢自动化分公司 刘卫军 金树成

摘 要: 电子皮带秤和核子皮带秤是当前对皮带输送机物料进行动态称量累计的两大主流计量设备, 针对两者在孰优孰劣的问题上存在的争议、在实际使用中存在的问题和不足, 本文从测量原理、误差来源和克服、安装调试、维护校准、安全费用等多角度、多方面对这两种计量设备进行了分析比较, 可以为皮带秤的选择使用和安装维护提供必要的参考。

关键词: 电子皮带秤 核子皮带秤 测量原理 质量吸收系数 误差分析 安装调试 维护校准

一、前言

电子皮带秤和核子皮带秤是当前对皮带输送机物料进行动态计量累计的两大主流计量设备。在国内, 电子皮带秤的应用从 20 世纪 60 年代开始, 其后经历了设计结构和技术水平不断优化更新的发展过程。而核子皮带秤的应用是从 80 年代开始, 虽然在应用时间上落后了大约 20 年, 但一度有后来居上的趋势, 在一些单位曾被大量地、广泛地应用。在我们单位, 就有核子皮带秤近 200 台 (包括配料核子秤), 电子皮带秤十余台的比例。随着人们成本核算的意识不断增强、要求不断提高, 逐渐暴露出了准确性不足的问题。如今, 核子皮带秤和电子皮带秤之争仍然没有停止, 这一方面有厂家夸大宣传的原因; 另一方面也有用户在认识上的问题、使用方法上的不当, 而且在选择皮带秤上, 一些用户不经客观分析, 全凭主观意愿。本文将从多角度、多方面对这两种计量设备进行全面的比较分析, 为皮带秤的选择、安装、使用和维护提供有益的指导。

二、测量原理

无论是电子皮带秤, 还是核子皮带秤, 首先都基于一个共同的原理: 通过动态检测皮带单位长度上的物料重量 (单位荷重) q 和皮带速度 v , 将两个信号相乘得到瞬时流量 Q , 再经积分运算或累加运算得到一段时间内输送物料的累计流量 W 。用公式可表示为:

$$Q=q \times v, \quad W=\int Qdt = \int q v dt$$

式中:

Q —瞬时流量 (kg/s);

q —单位荷重 (kg/m);

v —皮带速度 (m/s) ;

W —累计流量 (kg)。

两类计量装置检测皮带速度的方法都基本相同, 现在广泛采用光电脉冲式的测速传感器, 如光电脉冲编码器, 也有采用步进电机的。这两种皮带秤的本质区别在于对单位荷重信号的测量和计算方法不同: 电子皮带秤是通过称量设定皮带长度上的物料重量并求其比值来确定单位荷重信号, 习惯上把设定皮带长度称为有效称量段; 而核子皮带秤是通过物料对射线的衰减吸收量来确定单位荷重信号。具体测量原理如下:

1. 电子皮带秤单位荷重的测量原理

目前应用的电子皮带秤主要以杠杆式和悬浮式秤架结构为主。杠杆式又分单杠杆式和双杠杆式，且后者明显优于前者。悬浮式秤架结构有单托辊直接承重式和多托辊全悬浮式，前者结构简单，安装方便，广泛用于计量准确度要求不高的场合，而后者可以达到较高的准确度。下面以双杠杆和多托辊全悬浮式为例介绍电子皮带秤单位荷重的测量原理，掌握了原理才能解决在实际应用中出现的問題。

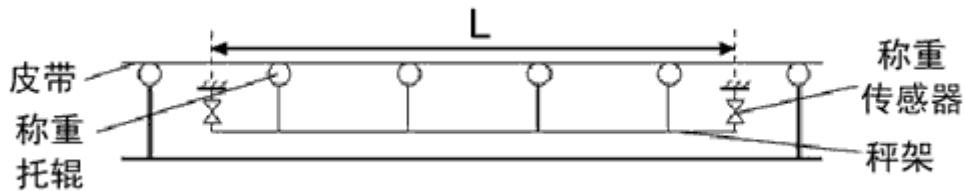


图1 四托辊全悬浮式电子皮带秤称量示意图

图1是某公司的4托辊全悬浮式电子皮带秤称量示意图。它采用双侧共4支传感器并联，直接称量秤的有效称量段内物料的重量 P （单位 kg ），再除以有效称量段长度 L （单位 m ）计算得到单位荷重 q ，即 $q=P/L$ 。显然 q 是秤的有效称量段内的物料被均匀化后的平均值，对于连续运行的皮带，这种均匀化也是连续进行的。

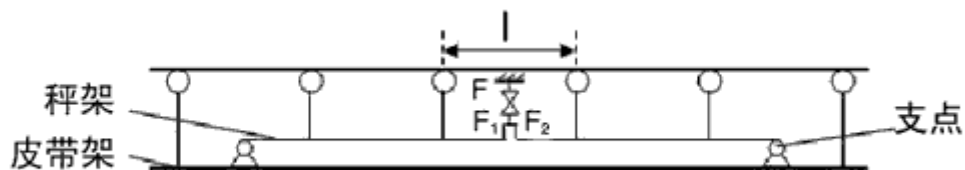


图2 四托辊双杠杆电子皮带秤称量示意图

图2是另一公司的4托辊双杠杆电子皮带秤称量示意图，它采用双侧共2支传感器并联，直接测量秤的有效称量段 L 内物料的单位荷重 q 。先假设秤上物料的单位荷重为 q ，根据杠杆平衡原理，对单侧传感器进行受力分析

$$F_1 \times 2l = 1/2ql \times 1/2l + 1/2ql \times 3/2l$$

$$\text{可得 } F_1 = 1/2ql$$

因为 $F_1 = F_2$ ，所以单侧传感器受力为 $F = ql$ ，如果托辊间距 $l = 1\text{m}$ ，则 $F = q$ 。所以单侧传感器受力大小在数值上等于秤上有效称量段内物料的单位荷重。在实际应用中，采用双侧2支传感器并联的平均值作为单位荷重。实际上这里的单位荷重也是秤的有效称量段内的物料被均匀化后的平均值，同样可表示为 $q = P/L$ ，这是电子皮带秤单位荷重的通用求法，而且专指秤的有效称量段内单位长度上物料的平均重量。所以电子皮带秤的瞬时流量 $Q = qv = P/(L/v)$ 也不是指流过皮带上某一截面处的流量，可以理解为秤上有效称量段内的物料被完全输出的平均流量。

在上面的传感器受力分析中，没有考虑皮带自重、张力、称量框架的自重引入的非计量力的影响，这些力在理想模型中属于定值，归属于秤的零点。

2. 核子皮带秤单位荷重的测量原理

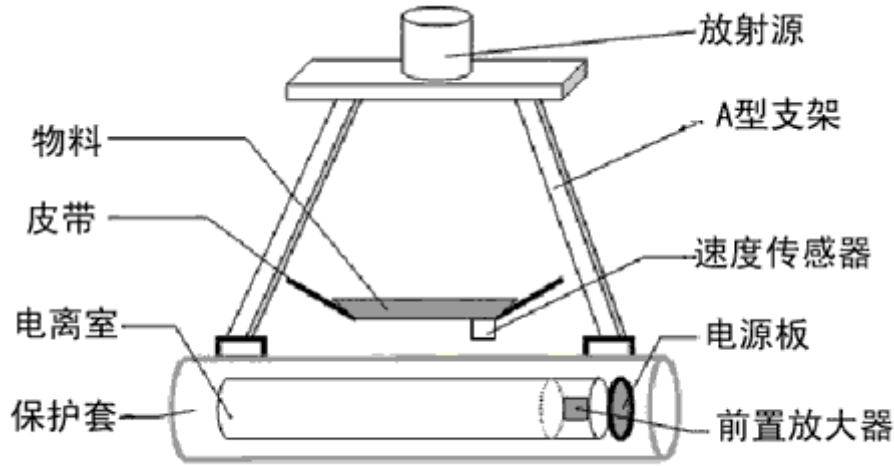


图3 核子皮带秤组成结构示意图

图3是核子皮带秤的示意图，它是基于 γ 射线穿过被测物质时，其强度的衰减与被测介质的组分、密度及射线方向上的厚度成指数函数关系这一原理来测量单位荷重的。其函数关系可表达为

$$I = I_0 e^{-\mu \rho d}$$

式中：

I_0 —穿过物料前的射线强度，也称发射强度或真空强度；

I —穿透物料衰减后的射线强度；

μ —物料对 γ 射线的质量吸收系数 (cm^2/g)；

ρ —物料密度 (g/cm^3)；

d —射线方向上的物料厚度 (cm)。

根据 $\rho ds = q$ ，可得 $I = I_0 e^{-\mu q/s}$

式中：

s —皮带上的物料宽度 (cm)；

q —皮带单位长度上的物料重量 (单位荷重 g/cm)。

γ 射线探测器（电离室）输出和接收到的射线强度成正比的电流信号，经前置放大器放大为电压信号，电压信号经压频转换变换成频率信号 f 远传给二次仪表。以上转换关系均为线性，所以有 $f = f_0 e^{-\mu q/s}$ 。而二次仪表大多采用计数法进行频率测量，计数值 N 正比于频率 f ，故有 $N = N_0 e^{-\mu q/s}$ ，于是可得：

$$q = -s/\mu \ln N/N_0 = s/\mu (\ln N_0 - \ln N)$$

上式中：

f_0 、 N_0 —皮带空载状态下的频率值、计数值；

F 、 N —皮带上物料时的频率值、计数值。

对某种固定的物料而言，质量吸收系数 μ 是定值， N_0 可以由皮带空载调零得出，但是皮带上的物料宽度并不是规则恒定的，如果令 s 等于某一恒定值，必然使 q 产生误差。在实际应用中令 $K=s/\mu$ ，称为吸收参数。 K 值通过实物标定确定，以后当定值处理，直到再次标定。

三、误差分析

在国家计量检定规程 JJG195—2002 连续累计自动衡器（电子皮带秤）检定规程中把电子皮带秤的准确度等级分为 0.5、1.0、2.0 三个等级，在被取代的 JJG650—1990 规程中甚至还有 0.25 级，而在 JJG811—1993 核子皮带秤检定规程中把核子皮带秤的准确度等级分为 1.0、2.0 两个等级。可以说在国家计量法规和国家皮带秤技术上确定了核子皮带秤达不到高精度电子皮带秤的准确度水平，任何从准确度水平上夸大核子皮带秤的说法首先是靠不住的。而且国家检定规程的制定也是以国内外皮带秤技术状况和应用实践为依据的，国内曾举行过一次由官方机构组织主持的电子皮带秤和核子皮带秤的考核鉴定：在同一条皮带上同时安装 2 台电子皮带秤和 1 台核子皮带秤进行准确性比较，结果 2 台电子皮带秤均能达到 0.5 级的准确度，而核子皮带秤达不到 1.0 级的准确度。

从测量原理进行误差分析，由于所有的皮带秤的测速方法基本相同，技术成熟，所以在速度测量方面的误差差异不大，电子皮带秤和核子皮带秤的误差差别主要在于单位荷重的测量方法不同。

1. 电子皮带秤单位荷重的测量误差分析

电子皮带秤的单位荷重或物料重量要通过皮带、承重托辊、杠杆和连接机构等一系列机械装置传递给称重传感器，中间任何一个环节不当，都会引入测量误差。

①皮带张力的变化引入测量误差。物料的重量通过皮带作用向下一级传递，如果皮带张力不稳定必然引起测量误差。造成皮带张力变化的因素有：物料量的变化、皮带跑偏、皮带刚性硬度的变化、称重托辊安装不规范等。皮带的刚性和硬度会随着使用自然降低，会随气候的变化而变化。

②皮带和秤架自重的变化引入测量误差。皮带的自然磨损和秤架积灰、积料也会影响传感器的受力，引起测量误差。

③秤的整个机械系统内部的应力变化会引入测量误差。秤架和传感器连接机构如果安装不当，会存在内应力，如果天气气候如冷热、干湿变化明显，会引起内应力的变化，必然带来测量误差。

④皮带运行中对托辊的摩擦力会造成测量误差。皮带运行中和称重托辊之间存在滚动摩擦，摩擦力的大小随皮带负荷大小变化，摩擦力会对称量杠杆系统产生非计量力矩，从而引起称量误差。双杠杆系统由于对称性可以有效抵消摩擦力矩，全悬浮系统中，摩擦力的方向

与称重传感器的受力方向垂直，基本不引入影响。

⑤称量框架因传感器和吊挂系统受载后产生微动下移引入测量误差。电子皮带秤属于悬索类称量系统，物料重量经皮带传递给受力系统，由于称量框架在加载后的微动下移，必然使传感器受力减小，从而产生测量误差。

⑥气候、风力也会引入测量误差。上面已经说了气候变化会影响皮带刚性硬度和机械系统的内应力产生测量误差，另外风力作用于皮带两面还会产生较大的测量误差。一级风力(速度 $1\text{m/s}\sim 2\text{m/s}$) 会在 1m^2 的垂直面积上产生 $1\text{kg}\sim 2\text{kg}$ 的力，多托辊电子皮带秤的有效称量段的面积一般在 $4\text{m}^2\sim 5\text{m}^2$ ，同时由于风向的关系，一般情况下会在流量 1000t/h ，皮带速度 2m/s 的电子皮带秤上产生 1% 以上的误差。

⑦如果在安装中未经偏载调试，在工作中皮带跑偏会产生测量误差；安装中托辊未校准，如不等高、不等距的问题会引起运行中力的传递函数发生变化，也会产生测量误差。

2. 核子皮带秤单位荷重的测量误差分析

核子皮带秤是利用 γ 射线穿透物料的衰减程度来测量单位荷重的， γ 射线由射源发出后，经物料、皮带和电离室保护外罩衰减后被电离室接受，传递过程中影响射线衰减的因素会带来测量误差。

①皮带厚度的自然磨损，电离室表面积灰尘，可以被认为是射线的穿透厚度发生了变化，对测量结果有影响。但由于这两者变化缓慢，影响结果相反而且同时作用，所以总的影响轻微。

②如皮带跑偏使皮带甚至物料跑到射线覆盖区域之外，会产生较大甚至严重的测量误差。

③物料品种、成份、水份的变化，会引起质量吸收系数的变化，会产生测量误差。颗粒度增大会引起射线的多次折射，会使测量结果降低。

④射线在皮带平面的扇面宽度总是要大于物料的宽度，物料的截面形状是不规则的，电离室接收到的射线强度是一部分经物料不规则衰减和一部分未经衰减的平均强度，改变了核子皮带秤的理论函数模型，而且由于在实际应用中的物料宽度和截面形状的不确定，所以核子皮带秤在工作中的实际函数模型也不确定，必然存在着难以定量确定的误差。

⑤在核子皮带秤的函数模型中实际还有一个变量：物料宽度 S ，在实际应用中以实物校准时的物料宽度按固定值处理，在工作中物料宽度的变化必然会带来测量误差。

另外，从测量原理角度还可以发现，核子皮带秤和电子皮带秤对单位荷重的测量范围也有所不同：对电子皮带秤来说，单位荷重越大，传感器受力越大，输出信号越大，这有利于克服干扰，达到较高的准确度；而对核子皮带秤来说，由于射源强度的限制，单位荷重越大，射线强度衰减越大，探测器接收到的信号越弱，输出信号越小，准确度必然越低。但是如果单位荷重太小，会使信号变化很小，也会影响测量准确度，一般应工作在最大流量的 20% 以上。

四、误差克服

以上对电子皮带秤和核子皮带秤的主要误差来源进行了分析,针对这些误差来源,应该进一步分析有无有效的克服措施,使测量能达到较高的准确度。

1. 电子皮带秤单位荷重的测量误差克服

①首先要选择皮带张力变化小的地方安装电子皮带秤。越靠近皮带的驱动端,皮带的张力越大,变化也越大,是不适合安装电子皮带秤的;而在皮带的从动端,张力小,变化也小,比较稳定,所以适合在靠近皮带从动端的位置安装电子皮带秤。皮带在安装时都进行了防跑偏调整,并在运行中采取抗跑偏措施,皮带秤在安装时进行抗跑偏调校。皮带的刚性、硬度变化与气候及磨损有关,要按时进行调零,可以克服。

②皮带的自然磨损造成的自重变化可以靠按时调零进行克服,秤架积灰、积料可以靠加强维护进行克服。

③可以采用定修和按时调零克服气候因素变化造成的影响,通过正确安装减小内应力。

④摩擦力矩可以靠减小摩擦、精密安装、严格对称进行克服。

⑤称量框架的微动下移造成的测量误差不可避免,但按托辊间距 1m、皮带垂度 2cm、秤架微动下移 1mm 计算,在 4 托辊电子皮带秤中这项误差不足 0.1%,实际上这已经是最大值。

⑥避风安装、采取防风措施。

⑦严格调试,偏载调校,精密安装,定时校正。

上述措施,对电子皮带秤的测量误差既能有效克服,但又不能完全消除,因为客观因素的错综复杂、相互交织和措施的不及时性是不可避免的,但是所有影响因素都被降至最低,如果产品质量可靠,电子皮带秤达到 0.5%以上的测量准确度是不成问题的。

2. 核子皮带秤单位荷重的测量误差克服

①核子皮带秤的皮带跑偏、皮带厚度自然磨损和电离室积灰所造成的测量误差可以采用抗跑偏调整、防跑偏措施、按时调零、加强维护等措施进行克服,不再累述。

②物料品种、成份、水份的变化,如果事先可以预知,需要进行重新标秤,调整吸收系数。如果生产中腾不出校秤时间,那么误差不可避免。比如烧结、高炉的原料皮带经常一条皮带输送多种物料,有时候因气候环境因素,物料的干湿变化很大,都会引起较大的测量误差。在实际应用中,物料的品种、成份、水份的变化是不可避免的,不可预知的因素很多,而且可以预知但没有校秤时间的情况也很多,所以这种误差具有本质上的不可克服性。误差有多大呢?有资料介绍说:水份变化 10%,可以引起 0.5%的误差;品位变化 10%,可以引起 1%的误差。当然也有认为对质量吸收系数影响不大的,依据是当射线能量中等(0.3Mev~1.02Mev,核子秤的射线能量为 0.66Mev)时,康普顿散射对射线的衰减起主要作用,而康普顿散射引起的质量吸收系数和原子系数无关。但问题在于在这一范围内,康普顿

散射起主要作用，但不是全部作用，物质的质量吸收系数是光电效应、康普顿散射和电子对效应三种作用的和，它们同时存在，都有贡献，所以质量吸收系数不是一个稳定不变的值。

③颗粒度的变化对一些物料来说是不可避免的，如焦炭、烧结矿、球团矿等，如果实际物料的颗粒度和校秤物料的颗粒度不一致，误差不可避免。

④由于电离室接收到的射线强度的叠加性和在实际应用中的叠加比例的不确定性，使函数模型发生变化，产生误差不可避免。叠加比例的不确定性是由于物料宽度和截面形状的不确定性引起的。

⑤物料宽度是变量但不能实测，以校秤状态按固定值处理，产生的误差不可避免。

从以上的分析可看出，电子皮带秤的各种误差来源具有可克服性，可使影响降至最小甚至消除，但核子皮带秤的很多误差来源具有不可克服性，这造成核子皮带秤不可能达到很高的准确度，而电子皮带秤却可以做到高准确度。

五、安装调试

电子皮带秤对皮带输送机的结构形式和安装位置有严格的要求，同时有严格的安装调试程序。

电子皮带秤多用于水平皮带机、倾斜直皮带机、曲背（凸形）皮带机上，且皮带不宜过长或过短，要求有较长的直皮带段。它不适合安装在局部角度可变式皮带机、凹形皮带机、机长可变式皮带机、中间带卸料器的皮带机上，因为这些皮带机在使用中的皮带张力变化很大，严重影响计量准确度。在适合安装电子皮带秤的皮带机上，也需要选择合适的安装位置，一个基本原则是皮带张力要比较稳定，在负荷变化时，甚至在空载和带载时，张力都不产生大的变化，因此在皮带机的主驱动滚筒附近和曲背皮带机的曲点附近都不适合安装电子皮带秤，并尽可能地远离。另外还要选择在震动小、皮带跑偏不严重、避风的地方安装。

在安装上，准确度高、应用广的多托辊电子皮带秤体积大、质量重，安装工作量大。安装必须停皮带，需要起重设备和较多人力。在选择正确的安装位置后，还要对皮带支架和纵梁进行加固。安装时要进行多项校准工作：

①秤架的平面性和平行性校准：要求秤架的托臂在同一平面内，并且与皮带的纵向和法向平面平行。

②称量平面的校准：由称重托辊和相邻几组托辊组成的平面称为称量平面。对四托辊电子皮带秤，我们又选取了两侧各四组托辊共 12 组托辊组成称量平面。称量平面的校准要求进行平直性校准，托辊的等高度校准、等间距校准。平直性校准要求称量平面与秤架平面平行，平面四角成直角，即对角线相等。等高度校准和等间距校准要求称量平面内的托辊到秤架平面的垂直距离相等、托辊间距相等。同时还要求称量平面要略高于周边托辊，可取 3mm~5mm。为了保证称重托辊与皮带的可靠接触，一般又采取称重托辊在称量平面内的微正差措施，就是使称重托辊比相邻托辊稍高一点，如一张纸的厚度。除了这些校准工作，秤架和称重系统各部位的机械连接都要进行严格安装，符合技术规范。

③安装或检修完毕的电子皮带秤，还必须进行严格的调校，包括传感器平衡调整、静态零点调校、静态载荷调校、动态零点调整、动态实物标定和动态链码比对，这些都要按规定的程序严格进行。传感器平衡调整为了保证秤的抗偏载能力；静态零点调校和静态载荷调校为了校正秤在静态时的准确性，为动态校准提供基础，也为其它的比照实物校准方法提供依据；动态零点调整和动态实物标定为了校正秤在动态计量中的准确性；动态链码比对用于确定用链码替代实物校秤时的校秤系数，在两次检定之间可以用链码检验秤的准确性。

相对于电子皮带秤而言，核子皮带秤体积小、重量轻、安装简单、占用空间小（电离室直径最多 20cm），没有太高的技术要求，安装位置只需选择震动小、皮带跑偏不严重的地方。安装时首先把电离室固定在皮带输送机的纵梁上，基本保证与皮带方向垂直，与上皮带平面留 3cm~4cm 的距离；再把 A 型支架安装固定在电离室上，应基本保证与皮带平面垂直，皮带中心线与 A 型支架中心线基本重合；最后把射源固定在支架上，基本保证射线扇面对称于皮带。如果生产不允许，安装甚至可以不停皮带。

安装或检修完毕的核子皮带秤，要进行动态零点调整、动态实物标定和模拟负荷片（校验板、标准板）动态比对，这三种调校的目的和电子皮带秤相同。模拟负荷片可以作为核子皮带秤两次检定之间的校验标准器。

六、维护和校准

电子皮带秤和核子皮带秤在使用中都要加强维护，定期巡回检查。最好每次上料前调零，如不能实现，至少每天调一次零点，调零最好使皮带转偶数圈，因为皮带在一个相邻的奇偶圈内的运动状态是互为补偿的。电子皮带秤对维护的要求更加精细，在安装中进行严格校准的项目，在使用中都要仔细检查，秤架不能积灰，不能被散落的块状物料卡靠，机械连接良好，托辊运转状况良好，逢季节气候的较大变化，应该进行检修。而核子皮带秤只要保证电离室不能积灰和安装牢靠就可以了。

电子皮带秤和核子皮带秤都要执行周期性检定和检修后检定制度，检定方法采用标准物料动态标定（即实物标定），检定周期均为 1 年。实物标定后要进行模拟替代物比对，在两次检定周期之间，要定期用模拟替代物检验秤的准确性，一般为 1~2 个月，校准结果超过使用中检验的最大允许误差的，要进行修正。电子皮带秤的模拟替代物以链码最为普遍，核子皮带秤则多采用校验板，用校验板进行模拟校验要比链码简单省事的多。但是核子皮带秤在物料水份变化超过检定时的 5%，或者成份有较大变化时，要重新进行实物标定和校验板比对，否则计量结果的准确性不能保证。

七、安全和费用

电子皮带秤本身不存在安全问题。

核子皮带秤是核辐射仪表，射源为铯（ Cs^{137} ），辐射强度 100 毫居，射线能量 0.66Mev。核仪表本身确实存在不安全因素，但核子秤本身已采取了防护措施，如铅射源罐、射源开关、防辐射板等，且还有射线防护知识、防护措施和防护标准，只要认真执行，是安全的。

费用上，电子皮带秤和核子皮带秤价格相当，高精度的电子皮带秤要稍贵一些。在安装和维护费用上电子皮带秤明显高于核子皮带秤。但是核子皮带秤的使用存在配备射线检测仪、个人射线防护用品，定期体检，发放特殊保健，申请和办理使用许可证等多项费用。因此，总的来说两者费用基本相当。

八、结束语

通过以上对电子皮带秤和核子皮带秤的综合比较，不难看出，电子皮带秤和核子皮带秤的优缺点互补，电子皮带秤的主要优点是准确度高、不受物料因素变化的影响、对不同物料都具有同样的复现性，主要缺点是受客观因素影响多、维护量大。而核子皮带秤正好相反。这是因为核子皮带秤出现的较晚，所采用的非接触式测量的方法，在技术上弥补了电子皮带秤接触式测量的一些不足，但是它并没有也不可能继承电子皮带秤的优点，所以核子皮带秤的出现只能作为皮带称量技术的补充。随着电子皮带秤技术的不断进步，当核子皮带秤优势不存的时候，必将退出历史的舞台。

在选择皮带秤上还应该主要考虑以下几点因素：第一、首先考虑准确度要求。高准确度、结算用的皮带计量最好选择电子皮带秤；第二、需要严格控制比例的多种物料配比的计量最好选择电子皮带秤，因为核子皮带秤的计量精度受物料类型的影响，对不同物料不具有一致的复现性；第三、在精准确度要求不高，物料的物理化学性质稳定的情况下，为了减少维护量，可以优先选择核子皮带秤；第四、核子皮带秤的使用最好形成一定的规模，数量越少越不划算。