

大型衡器量值现场检定、校准方法的介绍

青岛衡器测试中心 王均国

我们大家都知道，计量检定必须按照国家计量检定系统表进行量值传递，在质量专业的计量器具量传系统图中，通常的量值传递方法就是利用直接比较法或者是组合比较法、借助于相应准确度的标准天平将较高准确等级的砝码量值传递给较低准确等级的砝码。处于质量专业检定系统表的末端是对衡器量值的传递，常规的传递方法就是采用直接加砝码法，实现对衡器量值的传递。对于量值传递，通常的要求是：检定方法的测量不确定度不应大于被检计量器具最大允许误差 MPE 的 1/3。在衡器检定中，尤其是大型衡器的检定和自动衡器的检定，有时无法采用上述的直接加砝码法，需要采用在质量检定系统表中没有的一些方法。这些非常规的方法，经过理论上的分析基本上也能够满足其测量不确定度不大于被检衡器最大允许误差 MPE 的 1/3 这一原则要求的，并且还具有使用方便的特点，在衡器检定实践中具有很强的生命力。下面介绍的几种经常采用的、且行之有效的方法。

一、大型衡器检定的标准砝码替代法

我们这里的大型衡器是指最大秤量在几十吨以上的衡器。在历史上，大型衡器的检定都是使用大量的 20kg 砝码，用人工搬运的方法一步步地检至最大秤量。由于这种方法工作量大，有一定的局限性，仅能实现最大秤量为 20t-30t 衡器的检定。后来大型衡器检定使用了 500kg-1000kg 圆柱或矩形的大砝码，再配备之相应的运输、起吊设备。通常是将起吊设备安装在载重卡车上，构成一台检衡车。载重卡车承担砝码的运输，起吊设备负责装卸砝码并把砝码放到特定的位置。起吊设备能否实现把砝码放到特定位置，这取决于起吊设备的臂长和灵活程度。有些起吊设备完成不了将砝码放置到衡器特定位置的任务，就得配备与之相符的辅助方法。圆柱砝码可以用人工滚动的方式实现将其放到特定位置，而矩形砝码就得使用电瓶叉车将其放到特定位置。我国各地技术机构配备的检衡车，一般卡车的载重量不超过 30t，卡车自重可达 20t。用这种检衡车也只能实现最大秤量在 50t 左右衡器的检定。实际上道路和交通运输的规定也不允许卡车的载重量再大，所以许多国家规定汽车衡的最大秤量在 60t 就足够了。但是我国现在大型衡器的秤量已发展至一二百吨，要实现对这些衡器最大秤量的检定是十分困难的，检定机构又应当对衡器最大秤量进行检定，这是检定机构的责任，这对用于贸易结算的衡器尤其重要。其方法之一是配备足量的标准砝码，由检衡车多跑几趟拉足砝码实现对最大秤量的检定，这种方法仅适用路途近的场所。由于费用较大、极为不经济，应用比较少。另一种方法是配备一定量的标准砝码，再检定现场寻找合适的“替代物”，采用标准砝码替代法实现衡器最大秤量的检定。

标准砝码替代法是对大型衡器检定时，由于准备的标准砝码数量又达不到衡器最大秤量所需的量，就可用恒定载荷代替标准砝码进行检定。方法是：先将检定现场所有的标准砝码放到被检衡器上，检定至需要进行替代的秤量，记录下该秤量误差和找化整前误差（闪变点）所用小砝码的量，然后将标准砝码卸下（注意不要空秤），将替代物加到衡器承载器上，并通过加减小的替代物恢复到该秤量的实际误差，此时“闪变点”处所用小砝码要与替代前的一致。此时就可以再向衡器加上前面被替代下来的标准砝码，进行更大秤量的检定，直至所有的标准砝码又都加到衡器上，再进行砝码替代，这样重复替代几次直检至衡器的最大秤量。在砝码替代过程中必然会产生一定的方法误差，而这些误差主要是由被检衡器重复性造成的，故标准砝码的替代法应当对被检衡器的重复性提出相应要求。

在国际建议 R76《非自动衡器》、R134《动态公路车辆自动衡器》和我国国家计量检定规程 JJG555-1996《非自动秤通用检定规程》、JJG907-2006《动态公路车辆自动衡器》都有关于标准砝码替代法的规定，对被检衡器的重复性也提出了相应要求。具体规定是：

“当被检衡器的最大秤量大于 $1t$ 时，可使用其它恒定载荷替代标准砝码，前提是至少具备 $1t$ 标准砝码，或是最大秤量 50% 的标准砝码，两者中应取其大者。在以下条件下，标准砝码的数量可以减少，而不是最大秤量的 50%。

若重复性不大于 $0.3e$ ，可减少至最大秤量的 35%。

若重复性不大于 $0.2e$ ，可减少至最大秤量的 20%。

重复性是将约为最大秤量 50% 的载荷在承载器上施加三次来确定的。”

从以上规定可见，当检定小于 $1t$ 的衡器必须配备与被检衡器最大秤量等量的标准砝码。当检定大于 $1t$ 的衡器时，才可使用标准砝码的替代法，但是必须具备 $1t$ 的标准砝码。只“具备 $1t$ 的标准砝码”这一规定要求太低了，但这是国际上的规定。在我国有些省市为保证衡器的检定质量和衡器产品的出厂质量，要求开展大型衡器检定的技术机构，必须配备所检衡器最大秤量 50% 的标准砝码。生产 $100t$ 以下衡器的企业必须配备与最大秤量等量的标准砝码，生产 $100t$ 以上衡器的企业应配足 $100t$ 的基础上再加上 $100t$ 以上秤量 50% 的标准砝码。

按照国际建议和我国检定规程的规定，当具有标准砝码的数量是被检衡器最大秤量的 50% 时，只需要进行一次砝码替代就可以检至衡器的最大秤量。当被检衡器重复性不大于 $0.3e$ 时，允许具有 35% 最大秤量的标准砝码就可以进行检定，新的 R76 国际建议将该“35% 最大秤量”改为“最大秤量的 $1/3$ ”，这一改变没有质的变化，此时需要进行二次砝码的替代才能检至衡器的最大秤量。当被检衡器的重复性不大于 $0.2e$ 时，允许只具有 20% 最大秤量的标准砝码就可以进行检定，就需要进行四次砝码的替代才能检至衡器的最大秤量。衡器的重复性应当是在 50% 最大秤量进行的，有人说，既然能在 50% 最大秤量处进行重复性，就不需要在 35% 最大秤量和 20% 最大秤量处进行砝码替代了。要注意此处的重复性是使用恒定载荷进行的，不是标准砝码。

砝码替代时，使用的替代物（恒定载荷）可以在检定前事先运到现场，也可以在现场临时找

一些质量稳定的载荷。运到检定现场的替代物可以是检衡车和其它车身比较短的车辆。在检定现场临时找的替代物可以是一些质量稳定的载荷，例如钢板、型材等。国外有些技术机构把装满水的水罐作为替代物，这种替代物要求在检定现场具有高速注水设施。

下面分析一下标准砝码替代法是否能够满足测量不确定度不大于被检衡器最大允许误差 MPE 1/3 的要求。为了方便以一台常见的 SCS-60 型大型汽车衡为例进行分析，SCS-60 型汽车衡的最大秤量 $\text{Max}=60\text{t}$ ，分度值 $e=d=20\text{kg}$ ，分度数 $n=3000$ 。

若衡器的重复性为 $0.3e$ ，要求具有 21t 标准砝码，是衡器最大秤量的 35%，需要二次砝码的替代才能完成对衡器最大秤量的检定。那么第一次砝码的替代应该在 21t 秤量处进行，衡器此秤量的最大允许误差 MPE 为 $1.0e$ ，那么替代误差 δ 就等于衡器的重复性 ($0.3e$)。这样替代误差 δ ($0.3e$) 小于衡器最大允许误差 MPE ($1.0e$) 的 1/3。砝码的第二次替代应该在 42t 秤量处进行，此秤量的最大允许误差 MPE 为 $1.5e$ ，由于是第二次砝码的替代，替代误差 δ 等于两次衡器的重复性均方和， $\delta = \sqrt{(0.3e)^2 + (0.3e)^2} = 0.42e$ 。这样替代误差 δ ($0.42e$) 小于衡器最大允许误差 MPE ($1.5e$) 的 1/3。

若衡器的重复性为 $0.2e$ ，要求具有标准砝码 12t ，是衡器最大秤量的 20%，需要四次砝码的替代才能完成对衡器最大秤量的检定。那么第一次砝码替代应该在 12t 秤量处进行，此秤量的最大允许误差 MPE 为 $1.0e$ ，替代误差 δ 就等于衡器的重复性，具体为 $0.2e$ 。这样替代误差 δ ($0.2e$) 小于衡器最大允许误差 MPE ($1.0e$) 1/3。第二次替代是在 24t 秤量处，此时最大允许误差 MPE 仍为 $1.0e$ ，其替代误差 δ 等于 $\sqrt{(0.2e)^2 + (0.2e)^2} = 0.28e$ ，也小于衡器最大允许误差 MPE ($1.0e$) 的 1/3。第三次替代是在 36t 秤量处，此时最大允许误差 MPE 仍为 $1.0e$ ，其替代误差 δ 等于 $\sqrt{(0.2e)^2 + (0.2e)^2 + (0.2e)^2} = 0.34e$ ，也基本上满足小于等于衡器最大允许误差 MPE ($1.0e$) 1/3 的要求。第四次替代是在 48t 秤量处，此时最大允许误差 MPE 为 $1.5e$ ，其替代误差 δ 等于 $\sqrt{(0.2e)^2 + (0.2e)^2 + (0.2e)^2 + (0.2e)^2} = 0.4e$ ，也能满足小于等于衡器最大允许误差 MPE ($1.5e$) 1/3 的要求。

但是国际建议和我国检定规程中，没有在具有 50%最大秤量的进行标准砝码替代对被检衡器的重复性提出要求，严格意义上讲此时就有可能满足不了“不大于被检衡器最大允许误差 MPE 1/3 的要求”。所以在具有 50%最大秤量的标准砝码进行替代时，应当也提出对被检衡器重复性的要求，至少应要求衡器的重复性不超过 $0.5e$ 。在实际检定中的标准砝码替代，由于受环境、人员、方法等因素的影响可能产生更大的测量不确定度。因此在具有足量砝码的情况下，尽可能减少标准砝码替代的次数。

标准砝码的替代法，在国际建议 R107《非连续累计自动衡器》和我国计量检定规程 JJG648-1996

《非连续累计自动衡器》中也有相应的要求。规定衡器应配备一定量的标准砝码（见下表），且具有可放置标准砝码的装置。

被检衡器的最大称量 (Max)	配备标准砝码的最少量
$Max \leq 5 t$	Max
$5 t < Max \leq 25 t$	5 t
$25 t < Max \leq 50 t$	20%Max
$50 t < Max$	10 t

二、自动衡器检定的分离检定法和集成检定法

自动衡器检定一般要进行静态和动态两方面的检定。自动衡器静态检定的方法与非自动衡器的检定方法基本一样，也是采用直接加砝码法。自动衡器的动态检定是模拟被检衡器实际使用中称量载荷（或物料）过程，那么通常就是使用衡器预期称量的物料进行试验，所以又称其为物料试验。由于动态检定是无法将具有标准值的砝码加到衡器上确定衡器的误差的，所以在自动衡器的动态检定就采用了一种特殊的方法来确定衡器的动态误差，方法就是：将被检自动衡器称量过的载荷（或物料），再放到准确度较高的静态衡器上再进行称量，静态衡器称量的示值作为载荷（或物料）的约定真值，被检自动衡器与静态衡器的示值之差就是自动衡器的动态示值误差。也可以倒过来先在静态衡器上称量载荷（或物料），再把已知重量的载荷（或物料）放到被检自动衡器进行称量，同样可以得到自动衡器的动态示值误差。实际上在这一方法实施过程中，我们利用被称量载荷（或物料）在短时间内是相对稳定的这一前提，把被称量载荷（或物料）作为量值传递的媒介和临时的标准来实现衡器量值传递的。这个静态衡器称之为控制衡器，我国以前又其称之为管理衡器、标准衡器或校准衡器。若我们使用这个控制衡器与被检自动衡器相互分离的、是单独存在的，称之为分离控制衡器，这种方法就是分离检定法。若被检自动衡器自身配备了一种确定载荷约定真值的指示装置，该装置是为控制目的而专门设计的，可以完成控制衡器的作用，我们称之为集成控制衡器。集成控制衡器是与被检自动衡器集成为一个整体、是自动衡器整体中一部分，这种方法就是集成检定法。

通常，称量较小的自动衡器进行物料试验时多采用分离检定法，称量较大的自动衡器考虑到载荷搬运的困难进行物料试验时多采用集成检定法。定量自动衡器是对散装物料称量并定量，检定时对已定量的物料再称量，即可采用分离检定法，又可采用集成检定法，若不能保证每个称量周期所有载荷都卸料就必须采用分离检定法。非连续累计自动衡器（累计料斗秤）是对大宗散状物料的非连续称量，检定时多数采用集成检定法，并运用多次称量的方式对累计载荷分割并称量。连续累计自动衡器（皮带秤）是对大宗散状物料连续称量，检定时必须采用分离检定法。分离检定法可以分为在线检定和离线检定，在线检定是使用皮带秤系统中的电子料斗秤作为控制衡器，离线检定是使用皮带秤系统之外的电子汽车衡或轨道衡等作为控制衡器。自动分检衡器（自动分选秤和检验秤）

主要用于对相互分离的物品进行动态分类或检验,检定时可使用尺寸合适、质量稳定的载荷对其检定,多采用分离检定法。动态公路车辆自动衡器(动态汽车衡)是对行驶车辆的称量,检定时选择已知约定真值的参考车辆对其检定,通常整车称量的动态汽车衡检定采用集成检定法,动态轴重衡的检定采用分离检定法。

按进行量值传递的原则要求,分离检定法和集成检定法的测量不确定度不应大于被检自动衡器最大允许误差的1/3。如果能够克服由于路程、气候、物料丢失等因素对载荷(或物料)质量的影响,该检定方法的决定因素就是控制衡器。该检定方法否能满足量值传递的要求取决于控制衡器的准确度,所以选取控制衡器是检定的关键,实际上控制衡器就是分离检定法和集成检定法的标准器具。在国际建议R50《连续累计自动衡器(皮带秤)》、R51《自动分检衡器》、R61《重力式自动装料衡器》、R107《非连续累计自动衡器》、R134《动态公路车辆自动衡器》和我国计量检定规程JJG195-2002《连续累计自动衡器(皮带秤)》、JJG564-2002《重力式自动装料衡器(定量自动衡器)》、JJG648-1996《非连续累计自动衡器》中都将控制衡器作为标准器具进行要求的,要求的内容也是基本相同的。具体规定如下:

“检定使用的控制衡器应保证物料试验的误差不大于:若控制衡器是在物料试验之前立即检定的,为自动称量时最大允许误差MPE的1/3。其它情况下,为自动称量时最大允许误差MPE的1/5。”

以上的规定保证了分离检定法和集成检定法能够满足“检定方法的测量不确定度不大于被检衡器最大允许误差MPE的1/3”这一原则而要求。这里分两种情况分别提出了要求:若控制衡器是在物料试验之前检定的,控制衡器的误差不大于自动衡器最大允许误差MPE的1/3即可,这样基本上就能够满足量值传递的原则要求。若控制衡器不是在这次物料试验之前立即检定的,目前的状态只是处于检定有效期之内。这就考虑检定已经实施了一段时间,衡器的性能可能产生了漂移,所以要求控制衡器的误差应不大于自动衡器最大允许误差MPE的1/5,而不是1/3。只有这样,才可以满足量值传递的原则要求了。若控制衡器的准确度较高、分度值足够小、分度数足够多,可采用直接读数法,直接读取控制衡器的显示值做为物料检定的约定真值。若检定人员认为控制衡器分度值不够小、分度数也不够多,就不宜采用直接读数法了。应采用国际建议和我国计量检定规程中,经常提到的“闪变点”法,获得控制衡器化整前的示值,将化整前的示值做为物料检定的约定真值。如果控制衡器具有1/5~1/10分度值的内部显示,也可采用内分辨率法读取控制衡器的内分示值,将控制衡器的内分示值做为物料检定的约定真值。

上述要求基于控制衡器的最大称量可以一次性称量试验物料的情况。如果我们选择的控制衡器的最大称量过小,无法将试验物料一次性放在控制衡器上进行称量,这就需要对试验物料进行分割,分多次对试验物料进行称量。此时就应考虑因试验物料的细分而增大的测量不确定度,所以只有满足下式时才能满足量值传递的原则要求: $1/3MPE \geq \sqrt{N} \times E$,其中:MPE为自动衡器的最大允许误差,N为试验物料称量的次数,E为控制衡器的误差。

三、皮带秤的模拟载荷校准（试验）法

上面介绍的分离检定法和集成检定法虽然能够满足量值传递的原则要求，但有些场合实施起来有困难，尤其是物料量比较多的试验现场。人们就追求一种简单方便的方法实现对衡器量值的校准，例如在没有在线校准（检定）设备（电子料斗秤）的皮带秤使用现场，有时采用了一种就采用叫做模拟载荷校准（试验）方法对皮带秤的量值进行校准。在我国计量检定规程 JJG195-2002《连续累计自动衡器（皮带秤）》中规定，模拟载荷校准（试验）法是采用模拟载荷装置模拟物料通过皮带秤的一种校准（试验）方法，模拟载荷装置包括：循环链码、链码、小车码。在这里先介绍一下皮带秤的物料试验、模拟试验和模拟载荷试验的区别，物料试验（Material test）是采用皮带秤预期称量的物料，在皮带秤的使用现场或典型的试验场所对完整的皮带秤进行的一种试验。模拟试验（Simulation test）是在无皮带输送机的前提下，采用标准砝码对由完整的皮带秤组成的试验装置进行的一种试验。模拟载荷试验（Simulation load test）在皮带秤的使用现场，采用模拟载荷装置模拟物料通过皮带秤（具有皮带输送机）的一种试验。我们可以看出，严格意义上“模拟载荷试验”称之为模拟物料试验（Simulation material test）更为合适。我们在同一台皮带秤对物料试验方法与模拟载荷试验（使用循环链码）方法的进行了比对试验，试验结果显示：模拟载荷试验的得到一些数据优于物料试验的数据，但是从量值溯源的严谨性考虑，我们认为物料试验仍然是实现皮带秤量值传递最好的方法。皮带秤的首次检定仍必须进行物料试验，模拟载荷试验方法只能作为皮带秤使用中校准（试验）的方法。由于物料试验需要采用大量的试验物料，并要做好物料储运、防止物料的撒漏，又要配备适当的控制衡器，物料试验的工作量极大，就不可能经常性地采用物料试验对皮带秤进行量值校准。而皮带秤的计量性能极易受环境因素的影响，需要经常进行校准，那么模拟载荷试验法是一种较为方便的方法，使用模拟载荷装置可以实现定期对皮带秤示值校准和核查、确保皮带秤量值准确。

模拟载荷试验使用的模拟载荷装置一般为经物料试验结果修正后的循环链码、链码和小车码。对于链码和小车码大家已经比较熟知，循环链码是近几年我国新研制的用于皮带秤示值校准的标准器具，也叫皮带秤模拟实物检测装置。循环链码是由若干个标准质量块，首尾相接组成的闭合链，随输送机皮带移动，将重力连续、循环地作用于皮带秤上。循环链码是模拟载荷装置中最接近于实物通过皮带秤状况的一种标准器具，数据稳定，使用方便。循环链码的每单位长度质量的准确度应符合 M_1 级砝码的要求，循环链码装置还需要经过物料试验结果的修正，方法如下：皮带秤在符合物料试验的要求后，为了使用中校准（检验）的方便应立即进行模拟载荷试验（通常不应超过12h）。建立起模拟载荷试验结果与物料试验结果的对应关系，以便对模拟载荷装置的结果进行修正。模拟载荷试验应在短时间内至少进行三次，以便对模拟载荷装置的重复性做出评价。其重复性在满足下列百分数，对0.5级皮带秤为0.1%（皮带秤检定的MPE为0.25%，使用中的MPE为0.5%）；对1级皮带秤为0.2%（皮带秤检定的MPE为0.5%，使用中的MPE为1.0%）；对2级皮带秤为0.5%（皮带秤检定的MPE为1%，使用中的MPE为2%）。模拟载荷试验三次试验结果的平均值，可作为使用中检验和使

用中核查模拟载荷装置的测量结果的修正值。获得修正值，以便对模拟载荷装置结果进行修正。经修正后的模拟载荷装置即可以做到经常性对皮带秤进行校准，计算公式是：相对误差 = $(I - T) / T \times 100\%$ ，其中： I 为皮带秤示值， T 为经物料试验修正后的模拟载荷装置显示的或计算的累计载荷重量值。这样模拟载荷试验完全可以满足皮带秤的使用中校准（检验）的要求，达到“1/3”量值传递的这一原则要求。但在皮带秤的检定时使用模拟载荷试验就有些勉强，达不到“1/3”量值传递的原则要求。所以我们建议在皮带秤的检定时最好使用物料试验，使用中校准（检验）使用模拟载荷试验即可。这样能保证皮带秤的示值准确可靠，又比较方便。

四、动态轴重衡轴载荷示值的动态检定方法

动态轴重衡是对行驶车辆的每个轴分别称量，且能自动累加轴载荷的称量结果，获得车辆总重量的衡器。衡器示值有两类：轴载荷和车辆总重量。对于车辆总重量的约定真值可以采用上述的分离检定法，将车辆的整体一次性放在静态衡器（电子汽车衡）上进行称量而获得，而静态衡器的示值又可以用标准砝码进行校准，这样车辆总重量示值的量值传递是没有问题的。但是对于动态轴重衡轴载荷示值的量值传递就不这样简单了，如果采取上述同样的分离检定法也仅可适用于双轴的刚体车辆。通过这一系列步骤后，两个轴载荷的参考值相加得到的车辆总重量必然等于车辆整车在静态衡器上称量出的车辆总重量，这样轴载荷示值可以得到间接的量值传递。对于双轴以上的刚体车辆、具有拖车的车辆或者是机械悬挂的车辆，情况就更加复杂了。因为不可能将多轴刚体车辆分割实现对每个轴的称量，具有拖车的车辆或者是机械悬挂的车辆虽然可以将其分为牵引车和拖车再进行称量，但是牵引车与拖车之间存在软连接，按照上述方法的称量结果不可能准确，再加之还应考虑不同轴之间扭矩力的传递、挂钩和刹车摩擦力的传递，以及车辆的横轴和纵轴的倾斜、道路不平坦等因素，所以上述的静态称量方法也无法获得轴载荷的约定真值。这样就应当找出一个接近于轴载荷约定真值的“可接受的参考值”代替轴载荷的约定真值，这个值称之为轴载荷的参考（标准）值，该参考值应当在动态轴重衡的动态试验中确定，这样才能使轴载荷示值得到间接地量值传递。

在国际建议 R134《动态公路车辆自动衡器》和 JJG907-2006《动态公路车辆自动衡器》关于参考车辆轴载荷的参考（标准）值提出了相应要求和具体的方法，方法如下：

1、双轴刚性车辆轴载荷的约定真值

• 在控制衡器上依次对双轴刚性车辆的每个轴称量 10 次，正向、反向各 5 次，每次称量的轴载荷为 $Axle_j$ ，可计算两个轴载荷之和——即车辆总重量 TMV 。

• 计算双轴刚性车辆每个轴载荷平均值：
$$\overline{Axle}_i = \frac{\sum_{j=1}^{10} Axle_j}{10}$$

• 用两个轴载荷平均值之和，确定参考车辆总重量的平均值：
$$\overline{TMV} = \sum_{i=1}^2 \overline{Axle}_i$$

也可使用车辆总重量 TMV ，计算车辆总重量的平均值：
$$\overline{TMV} = \frac{\sum_{j=1}^{10} TMV_j}{10}$$

- 计算轴载荷的修正平均值：
$$\overline{CorrAxle}_i = \overline{Axle}_i \times \frac{TMV_{ref}}{TMV}$$

双轴刚性车辆轴载荷的约定真值就是上述的轴载荷修正平均值。

- 为保证轴载荷的溯源性，两个轴载荷修正平均值的之和应等于在控制衡器通过整车静态称量方法确定的参考车辆总重的约定真值：
$$TMV_{ref} = \sum_{i=1}^2 \overline{CorrAxle}_i$$

• 轴载荷误差的评价：动态轴重衡显示的每个轴载荷与其对应的轴载荷约定真值（修正平均值）之间的最大误差不应超过最大允许误差。可以表示为：

$$E_{Axlei} = Axle_i - \overline{CorrAxle}_i \leq MPE$$

2、非双轴刚性车辆轴载荷的参考（标准）值

- 按照规定的要求进行动态试验，试验次数 $n \geq 20$ 次，计算每个轴载荷的平均值：

$$\overline{Axle}_i = \frac{\sum_{j=1}^n Axle_j}{n}$$

- 用显示的参考车辆总重量 TMV ，计算车辆总重量的平均值：
$$\overline{TMV} = \frac{\sum_{j=1}^n TMV_j}{n}$$

或是先计算轴载荷的平均值，然后确定总重量的平均值：
$$\overline{TMV} = \sum_{i=1}^q \overline{Axle}_i$$

$$\overline{CorrAxle}_i = \overline{Axle}_i \times \frac{TMV_{ref}}{TMV}$$

- 计算轴载荷的修正平均值：

参考车辆轴载荷的参考（标准）值就是上述轴载荷的修正平均值。

- 为保证轴载荷的溯源性，参考车辆轴载荷的修正平均值总和应等于参考车辆整车静态称量方式确定车辆总重量的约定真值：
$$TMV_{ref} = \sum_{i=1}^q \overline{CorrAxle}_i$$

• 轴载荷偏差的评价：动态轴重衡显示的每个轴载荷与其对应的轴载荷修正平均值之间的最大误差不应超过最大允许偏差。可以表示为：

$$Dev_{Axlei} = Axle_i - \overline{CorrAxle}_i \leq MPD$$

上述方法要求，在进行动态试验时试验次数一般不少于 20 次，静态称量的车辆总重量（约定真值）与多次动态试验中获得车辆总重量的平均值之比作为计算轴载荷的修正系数（修正系数

$\frac{TMV_{ref}}{TMV}$ ）。在动态试验中获得的每一轴载荷平均值乘以修正系数得到每一轴载荷的修正平均值，

把这些轴载荷的修正平均值相加获得车辆总重量应等于车辆整车静态称量方式确定车辆总重量，那么这些轴载荷的示值就得到间接量值传递。可以看出该方法的决定因素就是称量车辆总重量的静态衡器（控制衡器），控制衡器的准确度取决于是否能符合量值传递原则要求，控制衡器就是该方法的标准器具，所以在国际建议 R134《动态公路车辆自动衡器》和 JJG907-2006《动态公路车辆自动衡器》规定“控制衡器的误差应不大于动态试验最大允许误差 MPE 的 1/3”，这也就保证了量值传递的原则要求。

五、轴重衡静态检定的其它方法

对于大型衡器的静态检定，无论是使用大量的 20kg 砝码或者使用 1t 的大砝码，还是利用检衡车或者采用标准砝码的替代法，都是一件十分烦琐而困难的重体力劳动。多年来，有许多科技人员试图利用比较简易的测量方法对衡器进行检定，近几年这些努力得到了初步认可，一些方法实现了在准确度较低衡器检定的应用。在我国计量检定规程 JJG1014-2006《机动车检测专用轴(轮)重仪》中规定，对轴(轮)重仪的检定除了使用砝码检定法之外，还可以采用标准测力仪检定法。轴(轮)重仪是用于机动车检测场(检测车)以及机动车修理厂确定机动车制动力和车辆各轴(轮)载荷的衡器，由于机动车检测专用轴(轮)重仪的准确度较低，加之轴(轮)重仪的承载器面积较小，无法在承载器上放置全量的砝码。JJG1014-2006 检定规程允许使用标准测力仪检定法对衡器进行检定，这是我国技术法规首次允许砝码之外的标准器，要求检定用的标准测力仪的等级不得低于 0.5 级，这样这种方法的测量不确定度完全可以满足不大于被检衡器最大允许误差 MPE 的 1/3。考虑到新方法的不确定因素，检定规程规定在砝码检定法与标准测力仪检定法有矛盾时，以砝码检定法为准。

利用标准测力仪进行检定方法如下：检定时应保证压力通过力传感器轴线垂直作用在被测轴(轮)重仪的承载器上，承载器安装位置应在标准测力仪的中心线上，承载器与标准测力仪接触面是全面接触。如图：

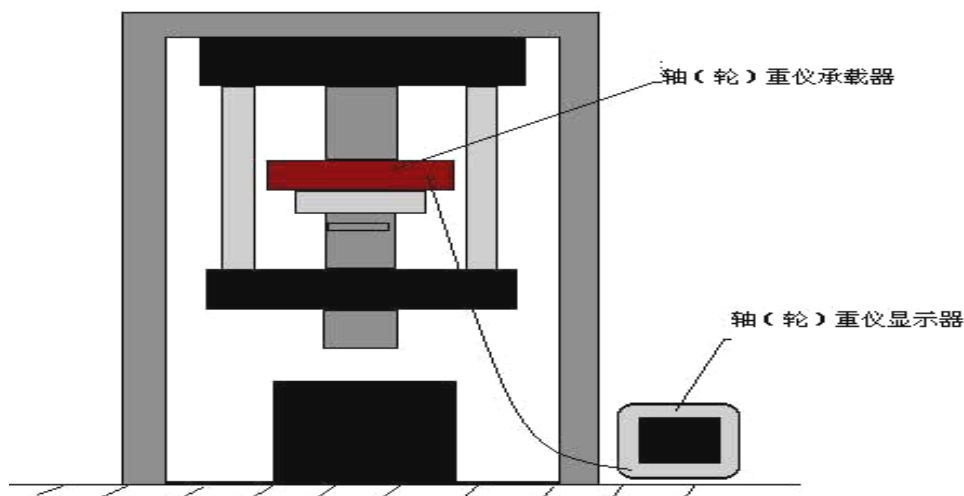


图 1 利用标准测力仪静态校准示意图

按下式计算示值的相对误差：

$$\delta_i = \frac{\chi_i \cdot g - A_i}{A_i} \times 100\%$$

式中： δ_i —第 i 秤量点的示值误差； χ_i —第 i 秤量点轴（轮）重仪的示值（kg）；

A_i —第 i 秤量点力传感器的示值（N）； g —重力加速度（m/s²）。

另外 2007 年通过审定的在我国计量校准规范《便携式动态轴重仪》中规定，在对便携式动态轴重仪校准时，除了可以使用砝码检定法和标准测力仪检定法之外，还可以采用负荷传感器、称重显示器和反力架、千斤顶的组合进行校准。要求负荷传感器、称重显示器和反力架、千斤顶的组合误差不大于被检衡器技术指标的 1/3，通常负荷传感器的准确度等级优于 C3 级、称重显示器的最大分度数应不低于 3000。

便携式动态轴重仪是直接放置在特定路面使用的，通过对按规定速度行驶车辆的单轴进行称量，累计后得到整车总重量，且能自行指示（显示或打印）轴载荷和车辆总重量的衡器，具有重量轻、体积小、移动方便等特点，通常仅用于对公路车辆的超载检测。也属于准确度等级较低的衡器。用负荷传感器、称重显示器和反力架、千斤顶组合进行校准的方法如下：应选择平直、清洁的支撑面，且支撑面（路面）应有足够的硬度，以确保校准过程中不出现凹陷（必要时可安装于钢板上）。按照示意图安装反力架和便携式动态轴重仪的承载器，反力架与地面、反力架与便携式动态轴重仪的承载器、负荷传感器与千斤顶、千斤顶与便携式动态轴重仪的承载器接触为全面接触，称重显示器与负荷传感器连接正确。反力架底面为有一定厚度的刚性支座，承载器放于支座的上平面上，反力架制造材料应有足够的刚度，校准时不得有明显变形。按下式计算便携式动态轴重仪的示值误差： $E=I-A$ ，式中： I —被校便携式动态轴重仪的示值（kg）； A —校准标准设备的示值（kg）； E —示值误差（kg）。

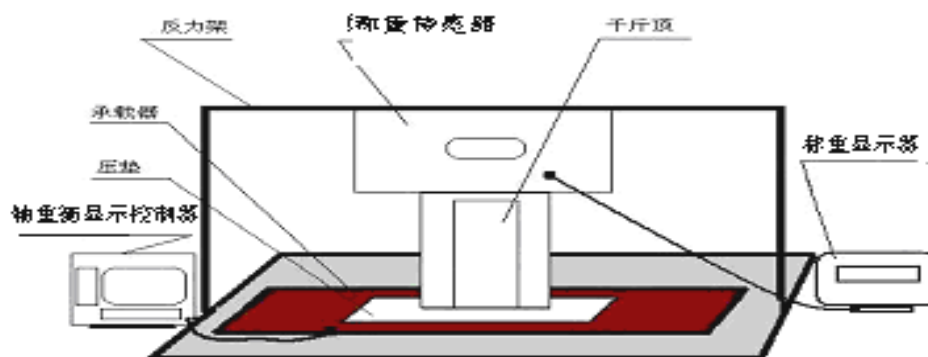


图 2 利用称重传感器、称重显示器等等校准示意图

以上是不需要砝码进行衡器检定的几种方法，主要应用在大型衡器、自动衡器和准确度等级较低的衡器。目前虽然我国也有人号称已具有了“无砝码检定衡器的装置”，并且已取得专利，由于

没见到专家的鉴定和试验数据，至今我国衡器方面的计量检定规程没有采用。

随着国民经济的发展，现代技术的不断渗透，衡器已经成为融合电子技术、计算机、信息网络技术和自动控制成为一种知识密集型的产品，世界上有 75%的货物需要经过称重这一环节，衡器的应用十分广泛，静态称重已无法满足经济高速发展和贸易量不断增加的需要，动态称重技术已经成为各行各业经济活动中是不可缺少的组成部分，经济社会对大宗散状物料大流量的称量，高速动态称量的需求日益突出，因此对这类衡器现场校准和检定方法的研究也是迫在眉睫。我们应研究开发一些检测装置替代砝码完成检定工作，解决目前衡器称量越来越大和高速动态称量的现实问题。