

质量质心测量设备现场标定技术

中国工程物理研究院 机械制造工艺研究所 程 勇

【摘要】 质量质心测量工作中，常常要使用临时构建的质量质心测量设备，这类设备的校准主要有两个步骤，其一是采用标定法确定与质心测量相关的设备参数，其二按照相应的校准规程进行设备校准。本文介绍了质量质心测量设备现场实物标定方法，给出标定实例并提出了现场标定需要注意的问题。

【关键词】 质量质心测量设备；轴向质心；现场；标定；校准

一、引言

质量质心测量设备（以下简称设备）通常是针对某一类型产品设计制造的专用设备。随着产品类型不断增多，设备通用性的问题被顺势提出。实践证明，由于产品质量和质心参数分布、外形结构、外形尺寸、定位基准、定位安装方式、质心测量算法和测量精度要求等的不同，使所谓设备通用性受到一定程度的制约，实际工作中出现了临时构建设备的情况。例如更换不同量程的称重传感器，改变其安装位置；更换不同的产品测量托架，改变其支承定位方式等等。在不同产品质量质心测量前，需要根据产品实际情况对设备局部结构（如产品支托方式和定位方式等）进行适应性调整。当设备局部结构发生了改变，则必须进行必要的现场校准。设备现场校准有两个主要内容。其一是设备验证和标定，即采用实测质心样件质量和质心的方法，验证设备相应技术指标是否符合有关的规定。设备验证一般在设备校准合格有效期内以及有效期内较长时间未使用的情况下进行。尤其是当设备影响质心测量的局部结构发生改变时，首先应当进行设备验证。在验证结果不合格时就需要进行必要的设备标定，使设备技术指标符合要求。其二是设备校准。当设备进行了标定或者虽验证合格但要求强制校准时，则按照相应的校准规程进行设备校准，但此时的校准可根据现场实际情况进行适当地简化。

本文结合实际工作中成功的经验，着重就质量质心测量设备现场标定问题进行介绍。

二、设备的构成

为完成某型号产品质量质心测量任务，采用了结构如图1所示临时构建的质量质心测量设备。该设备由水平测量托架、称重传感器和工作平台组成。水平测量托架由架体、滚动支承、轴向定位基准和按等腰三角形分布的测量支杆等组成。水平测量托架通过测量支杆端头的钢球加载到称重传感器上。钢球顶点向称重传感器传递产品和水平托架的测量力，并建立设备坐标系。轴向定位基准

建立设备坐标系和产品坐标系的转换关系。

三个称重传感器量程均为500kg，精度等级0.02级，实际使用量程250kg，总误差为0.087kg。

该设备此前曾进行了校准。但在另一产品测量过程中发现测量结果与理论设计值有较大差异，遂又在现场用质心样件进行验证，发现质心样件的轴向质心测量结果出现较大偏差，于是对设备重新进行标定和校准。标定内容包括设备定位参数测算、质量质心测量验证。

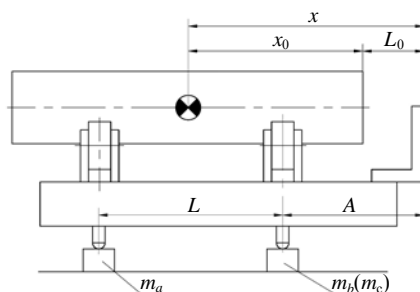


图1 质量质心测量设备结构示意图

三、设备参数的测算

由图1，质心样件轴向质心测量计算方法如式（1）。

$$\begin{cases} m = m_a + m_b + m_c \\ x = \frac{m_a}{m} L + A - L_0 \end{cases} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

m ——被测件质量，kg；

$m_a \sim m_c$ ——被测件质量分量，kg；

x ——被测件轴向质心，mm；

L 、 A ——设备定位参数，mm；

L_0 ——设备轴向定位基准到质心样件端面的距离，mm。

由图1和式（1）可知，设备与产品轴向质心测量相关的参数主要有 L 、 A ，因此设备校准之前首先要确定 L 和 A 的量值。参数 L 为水平测量托架支杆A顶点（质量力的传递点，下同）到支杆B与支杆C顶点连线的距离，参数 A 为支杆B与C支杆顶点连线到轴向定位基准的距离。

通常情况下，参数 L 和 A 可采用仪器和量具间接测量的方法得到，但在现场情况下实施测量比较困难，因此采用已知轴向质心参数的质心样件进行测定。为叙述方便，称这一方法称为标定法。

质量质心测量装置按照测量工艺要求安装调整后，将质心样件吊放在水平测量托架上，测量其质量分量，记作 m_{a1} 、 m_{b1} 和 m_{c1} ；测量质心样件后端面到轴向定位基准的距离，记作 L_{01} 。

将质心样件沿其轴线任意平移一段距离，复测得到上述参数，分别记作 m_{a2} 、 m_{b2} 、 m_{c2} 和 L_{02} 。按公式（1）建立方程组：

$$\begin{cases} m_1 = m_{a1} + m_{b1} + m_{c1} \\ m_2 = m_{a2} + m_{b2} + m_{c2} \\ x_0 = \frac{m_{a1}}{m_1} L + A - L_{01} \dots\dots\dots (2) \\ x_0 = \frac{m_{a2}}{m_2} L + A - L_{02} \end{cases}$$

式中 x_0 为质心样件轴向质心。解方程得：

$$\begin{cases} L = \frac{L_{01} - L_{02}}{\frac{m_{a1}}{m_1} - \frac{m_{a2}}{m_2}} \dots\dots\dots (3) \\ A = x_0 - \frac{m_{a1}}{m_1} L + L_{01} \end{cases}$$

从式(3)可以看出：参数 L 和 A 的确定及其正确性，取决于质心样件质量分量和位移量测量的正确性。其中 L_{01} 和 L_{02} 的正确性由标准量具保证，质量分量 m_{ai} 、 m_{bi} 和 m_{ci} 则由质量测量系统（即称重传感器和称重显示器组合）保证。

四、标定法的偏差

标定法以质量分量测量和位移量测量为基础，因此要求两者测量值要有相当的准确度。一般情况下，质量分量测量依赖于称重系统的精度和稳定性，同时依赖于称重传感器的实际工作状态，如预热与否、预压与否、产品加载过程中受到冲击与否等。位移量多采用经检定合格的深度尺或三坐标测量仪测量，其测量误差是可控的。此外，水平测量托架三个支杆相对位置在加载和卸载过程中的稳定性，也直接影响标定法的成败与精度。

考察式(3)，设 $m_1=m_2=m$ ，则有：

$$L = \frac{m}{m_{a1} - m_{a2}} (L_{01} - L_{02}) = \frac{m}{\Delta m_a} \Delta L_0 \dots\dots\dots (4)$$

由式(4)可以看出：当 $\Delta m_a \rightarrow m$ 时， ΔL_0 的值愈趋近于 L ，这就意味着 L 的误差愈小。另一方面，当 Δm_a 越大时， L 值越稳定，同样意味着 L 的误差愈小。因此，采用标定法确定参数 L 和参数 A 时，应将质心样件的轴向质心分别向支杆A和支杆B与支杆C连线靠，此时计算的 L 误差将会减小，根据参数 L 和 A 的相关性，参数 A 的误差也会相应减小。

一般情况下总有 $m_1 \neq m_2$ 。实践证明：只要 m_1 和 m_2 的离散程度不大，则可取其平均值代入公式(4)以求解参数 L 。

五、标定实例

1、实测数据及参数 L 和参数 A 计算

使用的质心样件参数为： $x_0=675.07\text{mm}$ ， $m_0=99.04\text{kg}$ 。

首先将质心样件吊装到水平测量托架上，使其质心靠近传感器b和c，测读并记录三个传感器测量值 $m_{a1} \sim m_{c1}$ 和质心样件后端面到轴向基准的距离 L_{01} 。再将质心样件向传感器a方向平移，重复测读并记录 $m_{ai} \sim m_{ci}$ 和 L_{0i} ，实测数据见表1。

表1 质心样件实测数据

测量序列 i	m_{ai} / kg	m_{bi} / kg	m_{ci} / kg	m_i / kg	L_{0i} / mm
1	27.87	35.54	35.73	99.14	-166.30
2	47.04	26.07	25.97	99.08	20.10
3	50.40	24.41	24.16	98.97	53.14
4	56.36	21.41	21.18	98.95	111.24
5	68.05	15.32	15.59	98.96	203.36
6	77.44	10.85	10.75	99.04	315.30

由表1数据发现：质心样件质量六次测读并记录的三个传感器测量累计总值相差很大： $m_{\max}=99.14\text{kg}$ ， $m_{\min}=98.95\text{kg}$ ， $m=0.19\text{kg}$ 但基于以下两个原因认为可以进行标定：

- (1) 质心样件质量测量值 m_i 的平均值为 99.02kg ，与名义值 m_0 (99.04kg) 相近；
- (2) 质心样件质量测量值 m_i 的分散性用极差法计算为 0.077kg ，小于称重传感器总误差 0.087kg 。

由式(4)的定性分析，选用测量序列1和测量序列6的参数，按式(2)和式(3)进行计算，解得参数 L 和参数 A 为：

$$\begin{cases} L = 961.68 \text{ mm} \\ A = 238.42 \text{ mm} \end{cases} \dots\dots\dots (5)$$

2、质心样件实测数据复核

根据表1数据和式(5)参数 L 、参数 A ，计算各个测量序列的质心样件测量值 x_{0i} 及其偏差 Δx_{0i} ，结果见表2。表2中 x_i 为质心样件的质心相对轴向基准的距离。

表2 质心样件实测数据

测量序列 i	m_i / kg	L_{0i} / mm	x_i / mm	x_{0i} / mm	$\Delta x_{0i} / \text{mm}$
1	99.14	-166.30	508.77	675.07	0.00
2	99.08	20.10	695.00	674.90	-0.17
3	98.97	53.14	728.16	675.02	-0.05
4	98.95	111.24	786.18	674.94	-0.13
5	98.96	203.36	899.73	669.37	21.30
6	99.04	315.30	990.37	675.07	0.00

3、量值不确定度估计

观察测量序列5，其质心测量结果异常，予以剔除。则质心样件测量值的平均值为：

$$\bar{x}_0 = \frac{1}{5} \sum_{i=2}^6 x_{0i} = 675.0 \text{ mm} \dots\dots\dots (6)$$

用极差法计算单次试验标准偏差为：

$$s(x_0) = \frac{x_{0\max} - x_{0\min}}{d_n} = \frac{675.07 - 674.90}{2.33|_{n=5}} = 0.073 \text{ mm} \dots\dots\dots (7)$$

不考虑质心样件的轴向质心不确定度，则设备轴向质心测量不确定度为：

$$U(x_0) = ks(x_0) = 0.15 \text{ mm} \quad (k=2) \dots\dots\dots (8)$$

即以设备轴向定位基准为基准，在508mm~990mm范围内，轴向质心测量不确定度为0.15mm。

查待测产品轴向质心设计值为674mm±3mm，其名义值与质心样件的轴向质心（675.07mm）非常接近，因此认为标定成功，可以直接使用上述数据进行校准结果评定。

4、测量序列的其它组合计算

分别采用测量序列2、3、4和测量序列6组合解算参数L和参数A，将得到表3所示的参数组合。用各个参数组合分别与表1数据计算质心样件的质心测量值，其平均值和偏差代数和见表3。

表3 质心样件实测数据 mm

序列组合	参数 L	参数 A	\bar{x}_{0i}	$\sum \Delta x_{0i}$
1-6	961.68	238.42	675.00	-0.35
2-6	962.56	238.18	675.21	0.71
3-6	961.92	238.36	675.06	-0.07
4-6	962.13	238.30	675.11	0.19

将质心样件的质心测量值 x_{0i} 和偏差 Δx_{0i} 用Excel绘制成图表，见图2。由表3和图2可以看出，四个序列组合计算结果中，序列组合3-6的偏差 Δx_{0i} 分布在±0.15mm之间，为最佳结果。说明参数L和A组合还可以有多种选择。

六、标定法应注意的问题

采用标定法确定设备参数L和参数A，是现场校准质量质心测量设备的简便方法，尤其对临时构建的质量质心测量设备十分有效的。但是这种方法具有一定的危险性，当选用的数据不恰当时，计算出的参数L和参数A将会导致产品轴向质心测量出现较大的偏差，甚至是不可接受的偏差。因此，确定参数L和参数A确定后，一定要用质心样件进行多次复核，并按照相应的校准规程进行校准，这

一点非常重要。

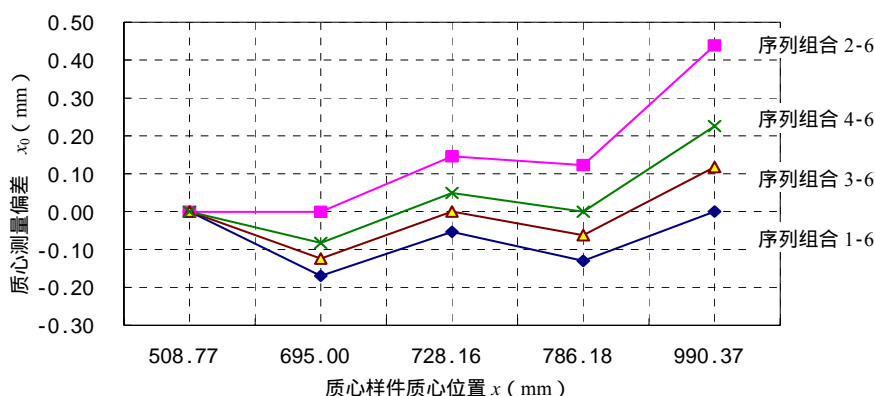


图 2 质量质心测量设备结构示意图

其次，参数 L 和参数 A 的组合可以有多个选择，通过数据分析计算即可得到能够保证产品质心测量的精度要求的选择。有条件的情况下，应尽可能地采用计量仪器测定参数 L 和参数 A 。

第三，标定法是以质量测量和位移测量为基础的，其中以质量测量最为关键。称重传感器必须是经检定合格的。考虑到称重传感器在检定过程中作过三次满量程预压，而设备校准（或产品测量）过程中不能满足“三次满量程预压”的条件，因此，设备校准或产品测量前，应给予足够载荷和时间的预压，以测量示值变化趋于稳定为止。

第四，每次标定前，应首先对质心投影的狭长区域内不同加载点引起的位置误差（类似于四角误差）调试合格后再进行标定，以提高标定的准确度。

第五，设备校准或产品测量过程中，应防止样件或产品加载对称重传感器造成冲击，同时还应随时检查水平测量托架支杆的位置状态，防止其擦碰称重传感器的限位环，以引入质心测量偏差。测量质心样件位移量 L_0 时，应防止用力过大，造成轴向定位基准弯曲变形，引入尺寸测量偏差。

第六，水平测量托架应避免挪作他用。在设备运输过程中应注意保护好轴向定位基准和支杆，勿使其受力变形。设备使用前，还应采用质心样件进行测量参数的复核，以保证质量质心测量工作的顺利、可靠地进行。

七、结束语

采用位移的方法实测质心样件质量分量并计算设备与质心测量相关参数，是对质量质心测量设备，尤其是临时构建设备进行现场校准的简便有效的方法。这种方法虽然具有一定的风险，但只要认真进行测量与验证，并严格按照校准规程的有关规定进行校准，即能够保证设备正常运行。

参考文献

1. 金龙学，唐煜.Excel电子表格在重力式自动装料衡器检定数据处理中的应用. 称重科技.2008