

ASTM E4-2016

测试仪力验证标准规程

Standard Practices for Force Verification of
Testing Machines

测试仪器校准标准规范^①

本标准是以固定代号 E4 发布的。其后的数字表示原文本正式通过的年号；在有修订的情况下，为上一次的修订年号；圆括号中数字为上一次重新确认的年号。上标符号 (ε) 表示对上次修改或重新确定的版本有编辑上的修改。

本标准经批准被国防部采用。

1. 范围

1.1 这些规程涵盖了使用标准校准装置，张力或压缩或二种方法，静态或准静态测试仪（可能或不可能有负载显示系统）进行负载校准的程序。这些规程不拟用于作为测试仪的完整采购规范。通过以下三种方法当中的一种方法或组合方法去校准测试仪：

1.1.1 使用标准法码，

1.1.2 使用等臂天平和标准法码，或

1.1.3 使用弹性校准装置。

注1：这些规程未涵盖对用来测量负载的所有类型的测试仪进行校准，例如：在斜面原理上操作的恒速负载类型。根据规范D76/D76M相应附件中所描述的方法对该类型的机器进行校准。

1.2 1.1.1-1.1.3 部分用于对与测试仪有关的负载显示系统进行校准，如：比例，刻度，标注的或未标准的记录图表，数字显示器等。在任何情况下，买方/业方/用户必须明确指出需要进行校准的负载显示系统并包含在报告中。

1.3 无论是以SI单位制还是以英寸-磅单位制表述的数值，均可单独视为标准值。各个单位制所表示的值都不是严格对等的，因此，各个单位制必须单独使用，不应以任何形式混用两个单位制的值。

1.3.1 其它传统力单位可与本标准一起使用，例如千克-力 (kgf)，硬度试验机通常使用该单位。

1.4 测试仪数据系统显示器/打印资料上显示的负载—它们是否是瞬时的，延迟的，或重新传输的—按照第1.1.1，1.1.2，1.1.3部分条款进行校准，并且准确度要求达到±1%，符合E4规程要求。

^①本规范由 ASTM 机械试验 E28 委员会所管辖，并由机械试验设备和装置校准 E28.01 分委员会直接负责。现版本 2016 年 5 月 15 日批准，2016 年 6 月出版。最早出版的为 1923 年批准。前一版本于 2015 年批准其为 E4-15。DOI: 10.1520/E0004-16。

1.5 本标准并没有完全列举所有的安全声明，如果有必要，根据实际使用情况进行斟酌。使用本规范前，使用者有责任制定符合安全和健康要求的条例和规范，并明确该规范的使用范围。

2. 引用文件

2.1 ASTM 标准：^②

D76/D76M 纺织品拉伸强度测试仪规定

E6 关于力学性能试验方法的标准术语

E74 校准测试仪器显示用力测量仪器校正规程

E467 轴向疲劳试验系统中校准等幅动态力规程

3. 术语

3.1 本标准所用术语的定义参考术语标准E6。

3.2 定义：

3.2.1 弹性校正装置，**n**——一台用于校准测试仪是力的读数的装置，该测试仪包括一个可能施加力和与机理相结合的弹性部分，或显示力变形大小（或大小的数量比例）的装置。

3.2.2 移动式测试仪（测力类），**n**——一套专门从一处移到另一处，并在样本上施加力(负载)的装置。

3.2.3 测试仪（测力类），**n**——一套向样本上施加力的机械装置。

3.3 本标准专有术语的定义：

3.3.1 准确度，**n**——参考值中规定的可允许的变量。

3.3.1.1 讨论——如果显示的力在实际力规定的，可允许的变量范围内，则可认为该测试仪是准确的。在这些方法中，用于测试仪词语“准确”，在无数值的情况下使用，例如：“一个准确的测试仪用于调查”。一台测试仪的准确度不能与敏感度混淆。例如：一台测试仪可能比较敏感，也就是说，它可能会快速地，明确地显示力的变化，不过不是很准确。另一方面，敏感度一般会限制结果的准确度。

3.3.2 校正，**n**——如果是测试仪，将测试仪显示的力过程与标准相比较，需要时进行调整，以符合误差要求。

^②对于参照的 ASTM 标准，请查看 ASTM 网站 www.astm.org，或联系 ASTM 客户中心，邮件：service@astm.org。对于 ASTM 标准卷册的信息，参看 ASTM 网站的标准文件摘录页。

3.3.3 量程范围, n——如果是测试仪, 指得是指定的力范围。

3.3.3.1 讨论——有些测试仪有一个以上的量程范围, 也就是多个范围。

3.3.4 校正, n——如果是测试仪, 通过减去施加力校正值显示的力得到差值。

3.3.5 误差 (与校正值偏差), n——如果是测试仪, 则减去从测试仪显示的力值的校准设备显示的力值, 得到此偏差值。

3.3.5.1 讨论——词语“误差”用作数值, 例如“力值为 300kN(60 000lbf)时, 测试仪的误差为 +67 N(+15 lbf)”。

3.3.6 力, n——在测试仪情况下, 以磅力, 牛顿或千克力等单位测量一种力。

3.3.6.1 讨论——牛顿力是指在1-kg物体上施加力, 使其获得1 m/s²加速度而需要的力值。磅力是指在1-lb物体上施加力, 使其获得9.80665 m/s² [32.1740 ft/s²]加速度而需要的力值。千克力是指在1-kg物体上施加力, 使其获得9.80665 m/s² [32.1740 ft/s²]加速度而需要的力值。

3.3.7 百分 (数) 误差, n——如果是测试仪, 误差与施加力的校正值之比, 以百分数来表示。

3.3.7.1 讨论——如测试仪所示的测力和校正设备计算的施加力, 应在各自测试点记录下来。

按以下数据计算误差 E 和百分 (数) 误差 E_p :

$$E=A-B \quad (1)$$

$$E_p=[(A-B)/B \times 100]$$

其中:

A = 校准仪器显示的力值, N (或lbf), 和

B = 如校正装置检测的施加力校正值, N (或lbf)。

3.3.8 可允许的变量 (或偏差), n——如果是测试仪, 会显示数量值中最大可允许的误差。

3.3.8.1 讨论——方便用误差百分数的方式来表示可允许的变量。之后, 在这些规程中表述一台测试仪可允许的变量数值。

3.3.9 力指示器结果, n——在任何施加力的情况下, 在测试仪的力度显示器上可预估或查看最小的力变化。附录X1中说明了检测分辨率的方法。

3.3.10 模拟类力指示器分辨率 (比例, 刻度, 记录仪等), n——分辨率是位移指示器或笔线, 显示最小变化的力。

3.3.10.1 讨论——分辨率是通过乘以相当于指示器或笔线宽至两个相邻刻度符号之间的中心至中心之间距离之比的一个刻度来计算。典型的使用比例为: 1: 1, 1: 2, 1: 5或1: 10。建议1: 10比例的间隔为2.5mm (0.10英寸) 或以上。不要使用小于1: 10的比例。

3.3.10.2 讨论——如果力显示刻度每2.0mm (0.080英寸) 就有间隔时, 指示器的宽度约为

1.0mm (0.040英寸)，并且1个刻度代表25N (5lbf)。使用的比例应为1: 2，分辨率应等于12-1/2N (2-1/2 lbf)。

3.3.11 数字类力指示器分辨率（数值，显示器，读数等），n——分辨率是在施加任意力时，力指示器上可显示最小的力变化。

3.3.11.1 讨论——单个数字或数字结合可能是显示的最小力变化。

3.3.11.2 讨论——对于两种力指示器而言，如果力显示波动大于3.3.10和3.3.11部分所述分辨率的两倍，以力表示的分辨率应等于波动范围的一半。

3.3.12 校准，n——如果是测试仪，将测试仪显示力过程与标准相比，并且在无需调整的情况下报告结果。

3.3.13 校正力范围，n——如果是测试仪，测试仪显示的力范围会在规定的，可允的变量范围内显示结果。

4. 重要性和应用

4.1 施加力和显示力的测试仪一般用于许多行业和许多方式。在研究实验室可使用这些测试仪来测量材料性能，用于生产线检验发货的产品。无论仪器最终作何使用，用户有必要了解施加的和显示的力值可通过国家计量协会 (NMI)追溯到国际单位体系 (SI)。E4 规程为校准这些机器提供了一种程序，以便显示的力是可追溯到 SI。追溯到 SI 的一个主要因素是在检定中使用的仪器具有已知的力特性，并已根据规程 E74 进行过校准。

4.2 E4 规程中的相关程序可用于以下领域：生产，为测试仪或相关仪器仪表提供校正服务。

5. 校准装置

5.1 鉴定试验仪器时，根据 E74 规程检测要求，只使用超过 A 类测力范围的校准装置。

6. 方法优点和局限性

6.1 通过标准法码校准——实用时，通过在测试仪的称重机械装置上直接施加标准砝码进行校准是最准确的方法。该方法的限制性如下：(1) 可校准的力范围小，(2) 标准法码量大时无法移动性，和 (3) 对由向下力启动的，有称重机制的水平测试仪或垂直测试仪来说不适用。

6.2 通过等臂天平和标准法码校准——第二种测试仪校准方法包括通过等臂天平和标准法码测力。该方法局限于比前述方法小的范围内，一般仅适用于通过内部水平系统施加力的某种硬类测试仪。

6.3 通过弹性校准装置校准——第三种测试仪校准方法包括对在环力，环路力，张力，压缩条或其它弹性装置条件下对弹性应变和弹性挠曲的测量。弹性校准装置无 6.1 和 6.2 部分的局限性。

7. 系统校准

7.1 对配有力感应器和显示装置（请见 1.2 和 1.4 部分）并在实际运用中使用的系统的测试仪进行校准。

7.1.1 请参照附录 A1，如果此方法在技术上不可行，则校准测试仪以外的测力系统。测试仪外的校准应符合 E4 规程和其附录 A1 中正文主体的要求。

7.2 如果单独移动或检查测试仪装置，则该系统校准无效，除非根据附录 A1 要求进行校准。

7.3 多数测试仪使用一个以上的测力装置，目的是为了在施加较小力的情况下得到更准确的显示力。在测试仪中常规地安装或拆卸该装置。对各台装置而言，在初始校准过程中应建立可互换性，并在进行调整后重新建立可互换性。在正常使用过程中，通过固有装置进行正常校准来完成。最好保持一致的方向性，例如：注意电缆接头的方向，以便在重新安装装置时，会重复该方向。移动并重新安装两个校准通道之间的装置来说明其互换性。重复测试仪中使用的测力装置各互换性程序。

7.3.1 新的测力装置介绍应要求根据 7.3 部分要求建立互换性。

7.4 E4 校准规程至少包括选择力范围内包含力的两个校准通道，请见 10.1 和 10.3 部分。

7.4.1 如果初始校准通道程序值在第 14 部分 E4 规程要求范围内，此数据可用于新校准报告中要求的两个通道之一的“结果”。

7.4.2 如果初始校准通道程序任何值超过 E4 规程要求，要报告“结果”数据并根据适当的质量控制计划要求使用。对力指示器系统校准进行调整，之后应开展两个要求的校准通道并在新的校准报告和证书中记录。

7.4.3 进行校准调整，提高系统的准确度。遵循两组校准通道要求，在一份新校准报告和证书中发布。

8. 重力和空气浮力校正

8.1 在试验机鉴定时，当标准砝码用于直接施加力时，或通过杠杆或平衡臂系统来施加力，对该力进行当地重力值和名义空气浮力的修正。

8.1.1 在空气内通过一个砝码施加的力按如下来测定：

$$F = Mg \left(1 - \frac{d}{D} \right) \quad (2)$$

其中:

F =力, N

M =真实砝码质量, kg

g =由于重力导致的当地加速度, m/s^2

d = 空气密度(1.2 kg/m^3), 和

D = 砝码的密度, 单位与 d 相同

8.1.2 对本标准的用途, 使用以下公式采用足够不确定度来计算 g 。

$$g = 9.7803 [1 + 0.0053 (\sin \varnothing)^2] - 0.000001967h \quad (3)$$

其中:

\varnothing = 纬度

h = 海平面之上的海拔, 单位为米

注2: 公式3修正了地球的形状和海平面之上的海拔。第一个术语修正了地球形状, 是世界大地坐标系84椭球重力公式的一种简化。采用简化公式获得的结果不同于完整版本的结果, 两者相差小于0.0005%。第二个术语合并了一个海拔修正值, 从地球中心的增大距离, 以及为抵消地球局部质量增加的布格效应的修正值。第二个术语假设岩石密度为 2.67 g/cm^3 。如果岩石密度变化为 0.5 g/cm^3 , 将导致0.003 %的误差。

8.2 在空气内通过一个砝码施加的力 (采用传统单位) 按如下计算:

$$F_c = \frac{Mg}{9.80665} \left(1 - \frac{d}{D} \right) \quad (4)$$

其中:

F_c = 采用传统单位表示的力, 也就是说磅力或千克力,

M = 真实的砝码质量,

g = 当地重力加速度, m/s^2 ,

d = 空气密度 (1.2 kg/m^3),

D = 砝码的密度, 单位与 d 相同, 和

9.80665 = SI的力单位与力的传统单位的换算因子; 该因子等于标准重力值, 9.80665 m/s^2 。

如果砝码质量 M 单位为磅, 力单位将为磅-力单位 (lbf)。如果 M 单位为千克, 力单位将为千克-力单位(kgf)。这些传统力单位是与牛顿(N)相关的, SI力单位依据以下关系式得出:

$$1 \text{ lbf} = 4.448222\text{N} \quad (5)$$

$$1 \text{ kgf} = 9.80665 \text{ N (精确)} \quad (6)$$

8.2.1 为用于鉴定试验机，使用表1的乘数因子，并采用足够的准确度，校准后重量（单位为磅）可对当地重力值和空气浮力进行修正。作为一种选择，可使用以下公式来找到乘数因子MF。乘数MF除以砝码质量（单位为磅）以获得力值（单位为磅-力），然后对当地重力和空气浮力进行修正。

$$MF = \frac{9.7803[1 + 0.0053 (\sin \varnothing)^2] - 0.000001967h}{9.80665} \times 0.99985 \quad (7)$$

其中：

\varnothing = 纬度

h = 海平面之上的海拔，单位为米

注3：公式7和表1修正了地球的形状，海平面之上的海拔和空气浮力。地球形状的修正值是世界大地坐标系84椭球重力公式的一种简化。采用简化公式获得的结果相差小于0.0005%。该术语修正了海拔，修正了从地球中心的增大距离，以及为抵消地球局部质量增加的布格效应。该公式假设岩石密度为 2.67 g/cc。如果岩石密度变化为0.5 g/cc, 将导致0.003 %的误差。当使用钢砝码时，由于空气压力、温度和湿度的极端情况导致的预期最大不准确度约为0.01%。如果使用铝砝码，可导致为 0.03% 的误差。

表 1 乘数因子，MF，在各种纬度处的空气内，见公式 7

纬度, \varnothing , °	海拔高度, h, m (ft)					
	0 (0)	500 (1640)	1000 (3280)	1500 (4920)	2000 (6560)	2500 (8200)
0	0.9972	0.9971	0.9970	0.9969	0.9968	0.9967
5	0.9972	0.9971	0.9970	0.9969	0.9968	0.9967
10	0.9973	0.9972	0.9971	0.9970	0.9969	0.9968
15	0.9975	0.9974	0.9973	0.9972	0.9971	0.9970
20	0.9978	0.9977	0.9976	0.9975	0.9974	0.9973
25	0.9981	0.9980	0.9979	0.9978	0.9977	0.9976
30	0.9985	0.9984	0.9983	0.9982	0.9981	0.9980
35	0.9989	0.9988	0.9987	0.9986	0.9985	0.9984
40	0.9993	0.9992	0.9991	0.9990	0.9989	0.9988
45	0.9998	0.9997	0.9996	0.9995	0.9994	0.9993
50	1.0003	1.0002	1.0001	1.0000	0.9999	0.9998
55	1.0007	1.0006	1.0005	1.0004	1.0003	1.0002
60	1.0011	1.0010	1.0009	1.0008	1.0007	1.0006
65	1.0015	1.0014	1.0013	1.0012	1.0011	1.0010
70	1.0018	1.0017	1.0016	1.0015	1.0014	1.0013

8.3 标准砝码通常采用一个质量单位来标记。当已经校准过某一标准砝码，以使得它在规定

条件下施加了一个特殊力，则砝码将仅在这些条件下施加力。当在重力加速度与校准位置内的重力加速度不同的位置内使用时，有必要纠正校准后的力值，即将力值乘以当地重力值，然后除以校准砝码时的重力值。也必须考虑任何要求的空气浮力修正值。

9. 力施加

9.1 在测试仪校准过程中，通过增加较低力的力度达到指定力。

注 4：对任何测试仪来说，通过加大任何规定试验力的力，再通过次小规定试验力的力，观察相应的力的误差，两次结果可能不一致。在加大力的情况下，通常会使用测试仪，但是，如果在减小力的情况下使用测试仪，则应在减小力以及加大力的情况下对该测试仪进行校准。

9.2 测试仪包括一个单项测试区域或通道，在两种称重模式下，必须单独对一个双向负载和称重系统进行校准。

9.3 必须根据 E4 规程要求，对用于静态测试的高速机器进行校准。警告：未假设 E4 规程中的校准值对高速或动态测试用途有效（请见 E467 规程）。

注 5：测量柱塞液压压力时，液压柱塞类测试仪误差与柱塞位置有明星不同。一定程度上，应在使用的柱塞位置处校准该仪器。

10. 校准力选择

10.1 检测用于校准的测试仪校准力范围上限和下限。校准力范围不能包括力指示器分辨率显示力 200 倍以下的力。

10.2 如果校准力范围下限大于或等于上限十分之一，应选择五种或以上的不同校准力，结果是两个相邻校准力之间的差大于或等于二十分之一，或小于或等于校准力范围上限和下限之间差的三分之一。一种校准力应为校准力范围下限，另外一种校准力应为上限。（仅测量少量分离力，如：某种硬度测试仪，蠕变测试仪等，的测试仪只需要少量校准力。

10.3 如果校准力范围下限小于上限的十分之一，校准力的选择如下所示：

10.3.1 以校准力范围下限开始，建立重叠的力十进位，结果是力十进位最小力是力十进位最低力的十倍。下一个较大的力十进位中的最低力与之前力十进位中最大力相同。最大力十进位可能不是一个完整的十进位。

10.3.2 为各组选择五个以上不同的校准力，结果是两个相邻的校准力之间的差大于或等于二十分之一，并且小于或等于该组中最大和最小力之间差的三分之一。建议以各组中最低力开始，各组中校准力与最低力之比为：1:1, 2:1, 4:1, 7:1, 10:1 或 1:1, 2.5:1, 5:1, 7.5:1, 10:1。

10.3.3 如果最高十进位不是一个完整的十进位，则按可能的比例选择校准力，并且包括校准力范围上限。如果两个相邻的校准力之间的差大于上限的三分之一，则增加附加校准力。

注 6: 示例：一台测试仪有 5000 N 全范围，力指示器分辨率为 0.0472 N。最低可能的校准力为 9.44 N (0.0472×200)。代替以 9.44, 94.4 和 944 N 开始的十进位，选择以 10, 100 和 1000 N 开始的三个十进位，涵盖校准力范围。合适的校准力为 10, 20, 40, 70, 100, 200, 400, 700, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 N。注意：最高的十进位并非一套完整的十进位，以校准力范围上限终止。增加了 3000 N 读数，因为 2000 和 4000 这间的差大于 5000 的三分之一。如果使用可选择的分配力，选择的校准力应为 10, 25, 50, 75, 100, 250, 500, 750, 1000, 2500, 3750, 5000。

10.4 在校准过程中，所有选择的校准力应使用两次。第二轮施加的力约与第一轮施加的力相同。

10.5 移动范围内最大力后约 30 秒，记录返回至 0 指示器读数。两种结果的读数应为 $0.0 \pm$ ，使用 1% 最大力或范围内 1% 最低校准力，较大者为先。

11. 偏心力

11.1 出于检测测试仪的校准力范围为目的，使用所有校准力，以便合力有可能几乎顺着测试仪轴线方向。

注 7: 通过放置的校准装置的校准读数测量测试仪准确度上的偏心力影响，以便将合力施加在仪器轴上明确的距离上，检测一系列偏心度的校准力范围。

12. 校准方法

12.1 方法 A，通过标准法码校准：

12.1.1 程序：

12.1.1.1 在测试仪称重平台或托架或样品测力机制上悬制的其它支架上放置适当设计的，成套的标准金属法码并作相应调整。使用 5 年内认证的法码，精度在 0.1% 范围内。在上升增量内使用法码。如果采用上升或下降方向的数据，以相反的顺序移除法码。记录力度，根据第 8 部分要求，校正重力或空气浮力。

注 8: 只能在垂直测试仪上直接使用标准法码校准，称重台，液压支架或其它称重装置力向下。总体力受到平台的尺寸和可用法码的数量限制。通常可使用 25kg (50 lb) 重量。此校准法仅限于小型测试仪范围内，很少用于 5000 N(1000 lbf) 以上的测试仪。

12.2 方法 B，通过等臂天平和标准法码校准硬度测试仪

12.2.1 程序:

12.2.1.1 将天平定位,以便用于校准的测试仪的压头将等臂天平的一个称盘模块对中,压印时,当压头占据正常移动部分时,天平处于平衡位置。根据第 12 部分的要求,在对面称盘上放置标准法码以平衡压力施加的负载。

注 9: 校准测试仪时使用此方法,而不是硬度测度仪,通过相同的方式,将测试仪施加力的部分定位。有关校准硬度测试仪的其它方法,请见通用的 ASTM 测试方法。

12.2.1.2 因为硬度测试仪的压力可允许的移动非常小,所以,不能允许天平震动或摆动。反而,通过使用如电气接触的显示器,维持天平在平衡位置,当压头力反应足以升起含有标准法码的称盘时显示。

12.2.1.3 结合摩擦法码使用,检测各成功试验过程中测试仪压头力能升起自重力的最大值,以前 1/10 次成功试验过程中无法被升起的最小值。压应力的修正值作为这两个值的平均值。两个值之间的差不能超过平均值的 0.5%。

12.3 方法 C, 通过弹性校准装置校准:**12.3.1 温度平衡:**

12.3.1.1 使用弹性校准装置去校准测试仪的读数量,在开始测试之前,将装置放置在有足够时间长度的测试仪的附近或内部,确保装置的反应稳定。

12.3.1.2 在校准过程中,尽可能将一台校准的温度计放置在装置附近,测量弹性装置的温度在 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ($\pm 2^{\circ}\text{F}$) 范围内。

12.3.1.3 必须在算术上校正无内在温度补偿特征的弹性校正装置环境温度和参考校正温度之间的差异。校正装置制造商应提供(如果可以的话)温度校正系数。更多信息,请参考 E74 规程。

12.3.2 程序:

12.3.2.1 将弹性装置放置在测试仪内部,以便其中心线与测试仪顶部中心线重合。记录建立最低限制或力水平的 E74 规程 A 类校准值,可用于校准装置的负载范围(请见 E74 规程)。只有在 A 类力范围内使用各单性校准装置,并用校准读数来识别。

12.3.2.2 为了确保稳定为 0,将无力的弹性装置弯曲至装置可使用的最大力。如果需要,可重复,允许有足够的稳定时间。

12.3.2.3 有两种方法使用弹性校准装置:

12.3.2.4 采用力法——采用弹性校准装置上的力直到该力达到测试仪力读数刻度上标准刻度。记录弹性校准装置上的力值。

12.3.2.5 设置力法——在弹性校准装置上预设置标称力，当达到弹性校准装置上标称力时，会读出测试仪读数。

12.3.2.6 选择适当的测试应力增量后，仪器和弹性装置得到值均为 0，在所有校准测量过程中，慢慢地，平稳地使用力。

12.3.2.7 校准程序必须要确保使用最大力显示器，记录器或其它附属力装置不会导致测试的误差超过 14.1 部分规定的可接收的偏差。

12.3.2.8 记录测试仪显示的力，弹性校准装置（需要时，校正温度）施加的力，以及误差和由读数计算出的误差百分数。

12.3.2.9 在某种条件下，在压缩负载中可使用多装置设置。所有平行负载的装置应有相同的高度（可使用薄垫片），并且机器负载轴应与装置设置的力轴一致。这是需要的，不对测试仪负载部分施加净力矩。不建议使用多装置设置，除非单个校准装置不实用。

13. 杠杆类蠕变断裂测试仪

13.1 使用标准法码或弹性校准装置，或同时使用这两种设备校准无力显示装置的杠杆类蠕变断裂测试仪。用于校准的法码应符合 12 部分要求。在使用弹性校准装置时，必须符合第 12.3.2 部分要求。

13.2 程序：

13.2.1 将校准装置放置在测试仪中，调整平衡力（如果设备配备的话），补偿校准装置重量。

13.2.2 将仪器下部的十字头连接在校准装置上，使用符合第 10.1 部分要求的增量标准重量法码施加力。

13.2.3 因为多数杠杆类蠕变断裂仪器无杠杆比例或杠杆皮重调整的要求，因此，可能需要通过校准数据，使用最小面积的方法去检测“最佳拟合”的校直线。这样做，可检测实际的杠杆比例和各仪器的皮重，因此，也能由于杠杆比例较小的变量减小力误差。最大误差不能超过 14.1 部分所述的要求。

计算和报告

14. 校准基础

14.1 测试仪力范围内的力百分（数）误差应不超过 $\pm 1.0\%$ 。两种相同力（可重复性）应用之间的误差的代数差应不超过 1.0%（请见第 10.1 和第 10.3 部分）。

注 10: 这意味着测试仪的校准报告会描述可使用的校准力范围, 而不是报告对仪器的全部接收或拒收。仪器拥有多量程范围, 必须描述各力的校准范围。

14.2 在校准测试过程中, 所述的力校准范围不能包括范围以外施加的力。

14.3 测试仪可能比可允许的 $\pm 1.0\%$ 误差更准确或更不准确, 或比 1.0% 更能重复或不能重复, 这是 E4 规程中的校准基础。买方/业主/用户或产品规格小组可能要求或允许较大的或较小的误差系统。准确度误差大于 $\pm 1.0\%$ 或可重复性误差大于 1.0% 的系统不符合 E4 规程要求。

15. 校准

15.1 不要通过计算或使用校准图表来校正超过可允许变量的仪器显示力, 以在要求的可允许变量范围内得到值。

16. 校准的时间间隔

16.1 建议每年校准一次测试仪, 如果需要, 可更加频繁的进行校准。校准时间间隔不能超过 18 个月 (仪器中长时间测试超过 18 个月的情况除外)。在这种情况下, 在测试完成后对机器进行校准。

16.2 在可能影响称重系统操作或值显示的维修工作后 (包括新的或更换的部分或 机械电气调整), 要立刻对测试仪进行校准。

16.2.1 不会影响称重系统运行的新的或更换部分示例: 打印机, 计算机监控, 键盘或调制解调器。

16.3 重新放置测试仪 (专门设计的, 正常使用的, 从一种移至另一处的仪器除外) 后要立刻对仪器进行校准, 无论何时理由怀疑力显示系统的准确度, 与上次校准的时间间隔无关。

17. 校准准确度保证

17.1 有些产品测试程序可能需要日测, 周测或月度抽样检测, 确保测试仪能在 16 部分规定的测试仪验证之间产生准确的力值。

17.2 使用符合 A, B, C 部分方法要求的校准装置, 在利益范围利益力水平处开展抽样检查。用于开展抽样检验的力等级的弹性校准装置必须符合 E74 规程的 A 级要求。

17.3 在约 20%和 80%范围内开展抽样检验, 除非另有规定或由材料供应商/用户的规定。

17.4 测试仪误差应不超过抽样检查施加力的 $\pm 1.0\%$ 。若误差大于任何抽样检查力水平的 $\pm 1.0\%$, 要立即对测试进行校准 (见第 16.3 部分)。

17.5 维护一个包含名称, 序号, 校准日期, 校准机构和最小 A 类的抽样检查报告, 用校准装置的 E74 规程中的值作抽样检查, 也包括开展抽样检查人员姓名。

17.6 如果测试仪器校准符合第 16 部分常规计划的要求, 在截止到最后成功抽样检查校准(请见第 17.4 部分) 日期时, 考虑对测试仪器进行校准。否则不允许进行抽样检查。

17.7 开展抽样检查时, 在得到供应商和用户同意后, 维护一份清楚的, 一致的记录。此记录也必须包含常规校准数据和计划的文件。

18. 报告与证书

18.1 为测试仪器验证准备一份清楚的, 完整的和正确的文件(数据, 日期等无变化), 它应包括以下内容:

18.1.1 校准机构名称;

18.1.2 校准日期;

18.1.3 测试仪器名称, 序号和位置;

18.1.4 能识别进对校准的力显示系统说明;

18.1.5 检定模式识别用文本, 例如, 拉伸, 压缩或通用;

18.1.6 测试仪的力显示系统的校准的力范围, 以及相关分辨率;

18.1.7 显示力的测试仪和在校准装置上施加的力;

18.1.8 各次运行后, 各力范围返回至 0 读数;

18.1.9 测试仪误差, 百分(数)误差和各校准力(可重复性)之间的百分(数)差;

18.1.10 各校准力范围最大误差以百分数表示;

18.1.11 使用的校准方法;

18.1.12 试验执行符合 E4-XX 规程要求的校准说明。建议执行的校准应符合最新出版的 E4 规程要求;

18.1.13 制造商, 序号, 校准机构, 校准日期, 校准召回日期和 A 类负载范围限制性应符合 E74 规程中用于校准的所有弹性测力仪表要求;

18.1.14 校准用弹性测力仪表温度, 和计算力温度校正说明;

18.1.15 制造商, 序号, 校准机构, 校准日期和用于校准的所有标准法码和或砝码组合的校准召回日期;

18.1.16 开展校准活动的个人标识;

18.1.17 负责校准的负责人姓名和签字; 和

18.1.8 可选择的或如果作要求，说明检定的测量不确定度，见附录 X2。

18.2 校准机构出具的报告和证书文件应有唯一的标识。包括页码，总页数或显示文件结束的标志，以确保将页数视为报告和证书的一部分。

19. 关键词

19.1 校正；力范围；分辨率；校准。

附录

(强制信息)

A1 在测试仪范围外校准测力系统

A1.1 重要性与应用

A1.1.1 以下为在测试仪范围外开测力系统校准认可的原因：

A1.1.1.1 测试应用的负载移动装置内间隔不足以允许施加标准力

A1.1.1.2 物理上，不能在不移除测力系统的压缩模式内施加首要自重力。

A1.1.1.3 试验台无反应框架

A1.1.2 在测试仪范围外校准测力系统代表了整个测试系统不确定性的独立的和单项不确定性部分。测试仪系统范围内也存在其它不确定部分，需要对其进行确认和量化，检测或校准测试仪整体性能和测量不确定性水平。例如：固定考虑因素，固定装置，硬度，刚度，对准，扁平度和弯曲可有利于测试仪测量不确定性。

A1.1.3 应最大程度上考虑固定装置和环境，模拟测试应用范围内的环境（例如：复制一个预负载）。

A.1.1.4 在测试仪范围外开展活动之前，要校准测力系统。

A.1.1.4.1 移除测试系统，现场包括一套完整的测量系统（测力传感器，调节电子部分，读数装置和电缆）。

A.1.1.4.2 移除测试系统，厂区外包括一套完整的测量系统（测力传感器，调节电子部分，读数装置和电缆）。

A.1.2 校正装置

A.1.2.1 通过此类别中使用的主要标准和辅助标准对测力系统进行校准。与仪器或机制一起的施加力度的负载范围（请见 E74 规程）。可结合同等要求的几项工作标准，以符合高量程的特殊需求。

A.1.3 校准

A.1.3.1 在测试仪范围外开展的校准活动应包括测力传感器，调节电子部分，读数装置和电缆。

A.1.3.2 每个模式（压缩或张力）至少需要两轮校准。在重复任何系列测力之前，大约将测

力传感器的位置旋转 120 度。在校准过程中，要确保负载轴位于施加力度仪器的中心负载轴上。引入运行过程中经常遇到的变量或其它系数。

A.1.3.3 两轮校准之间的可重复性不小于或等于 0.5%。如果它大于 0.5%，需要附加第三轮校准。在开展第三轮校准活动之前，大约将测力传感器从初始位置旋转 240 度。三轮校准活动之间的可重复性应不小于 1.0%。请参照 A.1.1.2 部分，考虑检测整体测试仪系统不确定性中的所有不确定项。

A.1.3.4 测试仪系统校准的力范围内的力百分数误差应不超过 $\pm 1.0\%$ 。

A.1.4 计算与报告

A.1.4.1 在校正证书和报告中应清楚的标注在测试仪范围外对测量系统开展的校准活动。

附录

(非强制信息)

X1. 检测力指示器分辨率

X1.1 一般的测试仪分辨率是包括施加力，力范围，电气的机械噪音，涉及的软件和少许名称的许多变量的综合函数。

X1.2 可使用多种方法去检查系统分辨率。一些建议程序如下所示：

X1.3 模拟类力指示器程序

X1.3.1 典型地，这些装置不是自动搜索类。在各测力范围内的最低校准力处检查分辨率（典型的地为测力范围的 10%）。

X1.3.2 由两个相邻刻度读数力除以指示器宽度，确定分辨率，检测指示器与刻度读数比。如果两个相邻刻度标志读数之间的距离小于 2.5mm（0.10 英寸），且比小于 1：5，则比率用 1：5。如果两个相邻刻度标志读数之间的距离大于或等于 2.5mm（0.10 英寸），且比率小于 1：10，则比率使用 1：10。如果比率大于预期值规定的值，使用测定的比率。通常使用的典型比率为 1：1，1：2，1：5 和 1：10。

X1.3.3 乘以一个刻度代表的力检测的比率，检测分辨率。

X1.3.4 尽可能使用力常数，确定其分辨率，减小力显示器波动。建议该波动不大于之前一步检测的分辨率的两倍。

X1.4 非自动搜索数字类力显示器程序：

X1.4.1 在各测力范围内的最低校准力处检查分辨率（典型的地为测力范围的 10%）。

X1.4.2 在样品上施加张力或压缩力，约等于确定分辨率的值，慢慢更改施加的力。记录分辨率可确定的最小变化的力。在柔性部分，如：弹性或弹性体上施加力，使其更容易慢慢改变力的大小。

X1.4.3 下一步在可确定的分辨率处尽可能的施加力常数，确保力指示器的波动不会大于前一步检测的分辨率两倍。如果指示器波动大于分辨率的两倍，分辨率应等于波动范围的一半。

X1.5 自动搜索数字类力指示器程序：

X1.5.1 此程序与非自动搜索数字力指示器相同，在各十进位或其它力处最低校准力处检查的分辨率除外，确保指示器分辨率比测力小 200 倍。部分示例如下所示：

X1.5.1.1 从 300N 到 150 000N，校准 150 000 量程设备。在 300，3000 和 30 000N 中检测其分辨率。

X1.5.1.2 从 240lbf 到 60 000lbf，校准 60 000lbf 量程设备。在 240，2400 和 24 000lbf 中检测其分辨率。

X1.5.1.3 从 5N 到 1000N，校准 1000N 量程设备。在 5，50 和 500 N 中检测其分辨率。

X1.6 有如某种硬度测试仪和蠕变测试仪分离力的仪器程序：

X1.6.1 这些仪器一般会合并固定杠杆比率施加力。通过施加在杠杆比率相乘的平衡上力检测施加的力。它们没有此标准中所述的分辨率。此程序可确保机器和敏感度足以在最低校准力处施加准确的力，并且有可能替代报告的分辨率。

X1.6.2 通过在仪器内安装弹性校准装置，为最低的校准力施加适当的平衡力。

X1.6.3 慢慢向平衡力上增加重量，约等于平衡力重量的二百分之一。

X1.6.4 确保在重量增加时或慢慢移动时，弹性校正装置检测到至少有一半适当力的变化。

X2. ASTM E4 校准过程中，确认并检测测量不确定性部分

X2.1 用此附录检测测量不确定性，是测试仪校正过程中报告的误差不确定性。不是使用测试仪检测的测量不确定性或测试结果测量不确定性。

X2.2 在正常条件下，在 E4 规程校准过程中检测的测试报告误差的测量不确定性是三个主要部分的结合：校准试验测量不确定性展开校准，检测测力处测试仪力显示器结果不确定性部分的误差，测试仪力显示器结果不确定性部分为 0 力。

X2.2.1 校正实验室测量不确定性展开的校准是一些因素的结合，包括但不限于：

X2.2.1.1 根据 E74 要求，实验室力标准测量不确定性，

X2.2.1.2 环境影响，如温度变化，

X2.2.1.3 使用标准法码开展校准的厂区重力局部加速度使用值的不确定性，

X2.2.1.4 力标准偏差

X2.2.1.5 力标准校准测量不确定性，和

X2.2.1.6 实际应用中使用的力标准可重复性。

注 X2.1: 实验室测量不确定性基于使用的力标准的最大不确定性和允许的最坏的环境条件。可能有利于评做实际力使用的实际力标准测量不确定性，为检测的测试仪误差测量不确定性。

注 X2.2: 如果存在在实验室之外的条件下开展校准的情况，则可能需要考虑正常操作参数，和附加部分。例如：实验室可允许在校准过程中发生 5 度的温度变化，并且将其包括在测量不确定因素范围内。当

发生更大的温度变化时，由于上升的温度变化导致的不确定性应包括在测量不确定性的检测范围内。

注 X2.3: 实验室测量不确定性通常使用两个覆盖系数扩展的不确定性表示。如果是这样的话，在将它与其它不确定性部分结合之前，除以 2。

X2.2.2 检定过程期间，一种评估重复性不确定度方式是评估两组试验数据之间的差值（重复性）。

X2.2.2.1 对于每个力值检定点，找到第一和第二个检定点之间误差差值平方和，第四个检定点最接近检定点。总和除以 10，取结果的平方根，以获得检定期间由于重复性产生的不确定度评估值。

注 X2.4: 由于采用了五组读数，因此总和除以 10，每组变化等于差值除以 2。

X2.2.2.2 通常由于重复性产生的该类别不确定度评估将包含由于试验机产生的不确定度；然而，在没有看到分辨率影响时，可以重复执行试验。在每个力值，试验能看到由于重复性产生的不确定度大于由于试验机分辨率产生的不确定度。如果在某一给定检定力下，由于重复性产生的不确定度不大于或名义上等于由于试验机分辨率产生的不确定度，则对于该检定力，将包含由于在该力和在 0 力时由于试验机分辨率产生的不确定度部分。

X2.2.2.3 由于校准的测试仪器显示器分辨率的不确定部分，可通过对以下不确定度部分进行平方总和取平方根来评估。

(1) 由于校准的测试仪器显示器分辨率的不确定部分，可通过除以力显示器分辨率进行检测，通过除以两倍的三的平方根来评估其不确定性。

(2) 由于校准的测试仪器显示器分辨率的不确定部分，可通过除以在 0 力时的力显示器分辨率进行检测，通过除以两倍的三的平方根来评估其不确定性。

X2.3 通过调整各部分组合两个主要部分（或三个，如果必要的话），将它们加在一起，采用平方根总和，检测测试仪器检测的误差的不确定性。

X2.4 扩展的测量不确定性可通过乘以 2 的结合的不确定性进行测量，可信度约为 95%。

注 X2.5: 例如：10000N 量程试验机的报告误差的测量不确定度在 2000N 时进行测定。采用 2 作为因子，扩展的校准实验室测量不确定度为 0.3%的施加力。在 2000N 时试验机分辨率为 5N。以下为两次校准的结果：

操作1			操作2			%重复性
设备读数	检定设备 读数	误差(%)	设备读数	检定设备 读数	误差(%)	
100	100.24	-0.24	100	100.02	-0.02	0.22
200	200.21	-0.11	200	200.23	-0.11	0.00
400	400.19	-0.05	400	400.37	-0.09	0.04
700	699.98	0.00	700	700.12	-0.02	0.02

1000	1000.15	-0.01	1000	1001.15	-0.11	0.10
2000	1998.84	0.06	2000	1995.33	0.23	0.17
4000	3994.31	0.14	4000	3988.20	0.30	0.16
7000	6981.97	0.26	7000	6979.86	0.29	0.03
10000	9989.00	0.11	10000	9967.54	0.32	0.21

由于校准实验室测量不确定度产生的不确定度 u_{CL} 为:

$$u_{CL} = \frac{0.003 \times 2000}{2} = 3 \text{ N} \quad (\text{X2.1})$$

2000N 时由于重复性产生的不确定部分 u_r 按如下计算:

在 2000N 的重复性和在第四个最接近 2000N 力时的重复性为 0.2% (700N), 0.10% (1000N), 0.17% (2000N), 0.16% (4000N) 和 0.03% (7000N), 分别为 0.14、1.00、3.40、6.40 和 2.10N。因此:

$$u_r = \sqrt{\frac{0.14^2 + 1.00^2 + 3.40^2 + 6.40^2 + 2.10^2}{10}} = 2.4 \text{ N} \quad (\text{X2.2})$$

在 2000N 时由于试验机分辨率产生的不确定度部分 u_{R2000} 为:

$$u_{R2000} = \frac{5}{2\sqrt{3}} = 1.4 \text{ N} \quad (\text{X2.3})$$

在 0 力时由于试验机分辨率产生的不确定度部分 u_{RZ} 为:

$$u_{RZ} = \frac{5}{2\sqrt{3}} = 1.4 \text{ N} \quad (\text{X2.4})$$

2000N 时由于分辨率产生的总不确定度部分为:

$$\sqrt{1.4^2 + 1.4^2} = 2.0 \text{ N} \quad (\text{X2.5})$$

因为由于重复性产生的不确定度大于由于分辨率产生的不确定度, 因此没有包含由于分辨率产生的不确定度部分。

在 2000N 时测得的组合误差测量不确定度为 u :

$$u = \sqrt{3^2 + 2.4^2} = 3.8 \text{ N} \quad (\text{X2.6})$$

2000N 时测量的误差扩展的不确定性, U 使用 2 的覆盖系数:

$$U = 2 \times 3.8 = 7.6 \text{ N} \quad (\text{X2.7})$$

7.6N 即为 2000N 的 0.38%。

注 X2.6: 测量不确定度相关补充信息参阅 JCGM 100: 2008“测量数据评估指南-表示测量不确定度”。

变更摘要

委员会 E28 已标记了本文件相对于前一版本 (E4-15) 所做的修改位置, 这些修改可能影响本标准的使用。

- (1) 修订第 3 部分。
- (2) 对第 12 章重新编号, 以合并旧的第 13 章和第 14 章。
- (3) 修订注 X2.5。

委员会 E28 已标记了本文件相对于前一版本 (E4-14) 所做的修改位置, 这些修改可能影响本标准的使用。

- (1) 修订 X2.4 节。
- (2) 修订第 8 章。

ASTM 国际不对与本标准中提及的任何项目相关的任何专利权的有效性发表意见。特此建议本标准的用户确定任何此类专利权的有效性, 侵犯此类专利的风险全部由用户自行承担。

责任技术委员会有权在任何时候对本标准进行修订, 并且必须每 5 年重新审核一次。若无修订, 则要么重新批准, 要么撤销。欢迎您对本标准或其他标准提出意见, 请向 ASTM 国际总部发表您的意见。您的意见将会在责任技术委员会的会议上受到仔细考虑, 而且您可能将被邀请参加这个会议。如果您觉得您的意见没有被公正对待, 则应按下列地址将您的意见告知 ASTM 标准委员会。

本标准的版权归 ASTM 国际所有, 地址: 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States。如果需要本标准的个别重印版 (单本或多本), 可通过以上地址联系 ASTM, 也可致电 610-832-9585, 或传真至 610-832-9555, 或发电子邮件至 service@astm.org, 或访问美国试验与材料协会网站 (www.astm.org)。拷贝标准的许可权也可通过 ASTM 网址 (www.astm.org/COPYRIGHT/) 获得。拷贝本标准的权利也可从版权结算中心获得, 地址: 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, 电话: (978) 646-2600; 网址: <http://www.copyright.com/>。