

调整 TG328 天平臂长的方法和技巧

柳州钢铁（集团）公司 宁 健

TG328 系列机械天平是各工矿企业、科研单位试验室中常用的精密称量仪器。其检定分度值 e 等于实际分度值 d ，即 $e=d=0.1\text{mg}$ ，指针下端的微分标尺通过光学器件投影在显示屏上，显示屏正中央有一条可随调零杆左右移动的竖直刻线（其移动幅度约为 6 分度），可使之与微分标尺上的“0”标线重合。当天平指针满偏转时的正式分度数为 100d，对应量值为 10mg。

天平检定人员在定期检修、检定过程中，经常需要对横梁不等臂性误差进行调整，即“调臂长”。这是天平检修、调试过程中较为繁琐而又难于掌握的技术之一。

在非自动天平检定规程中对天平的横梁不等臂性误差计算公式为：

$$Y = \pm m_k^* / 2 S_p \pm [(L_3 + L_4) / 2 - (L_1 + L_2) / 2] \quad (1)$$

式中： m_k^* ，为交换等量砝码之后在较轻的称盘上所添加的标准小砝码 k 的折算质量值； S_p 为天平全载分度值。

计算公式中正负号选取的规则：若小砝码加在左盘， $m_k^*/2ep$ 项前为正号，反之为负号。当平衡位置 L_2 相对于 L_1 代数值增大时，则方括号前面取负值，反之取正值。

对天平检定人员来说，如果按照规程的步骤进行调整及检定，假设测得的数据如下：

顺序	秤盘上的载荷		平衡位置
	左 盘	右 盘	
1	0	0	0
2	P_1	P_2	- 3.3
3	P_2	$P_1 (k)$	- 2.1
4	0	0	0.4

从上表的数据中很难直接估算出臂长的误差是多少，必须通过计算：

$$Y = -m_k^* / 2 S_p + (L_3 + L_4) / 2 - (L_1 + L_6) / 2$$

将 $m_k^*=2.00\text{mg}$ 及相关数据代入得：

$$\begin{aligned} Y &= -2.000/2 \times 0.1 + (-3.3 - 2.1)/2 - 0.2 \\ &= -10 - 2.7 - 0.2 \\ &= -12.9 \text{ (左臂长)} \end{aligned}$$

分析：由于需要使用小砝码 k ，每调整一次，就要计算一次，然后再调整、再计算，费时费力。而且这种方法没有明确的调整量，很难把握，不适合于现场检定。

笔者通过工作中的分析、总结，独创了一套高效、便捷的调整精密天平臂长的工艺方法，姑且取名“预知法”，自一九九七年沿用至今，效果很好。下面以 TG328A 型双向标尺天平（左边重显示负值，右边重显示正值）为例介绍如下，供大家参考。

说明：假设该天平的机械性能和其它方面的计量性能均已符合要求，只是不等臂性超差。

要点一：常备一对选配好的 200g 三等砝码（俗称等量砝码），两者之间的质量差值应在 0.4~1mg 之间，以 0.8mg 为最佳（为的是在调整 TG328B 及 TG528 天平时也能适用）。设较重的一个为 P_1 ，另一个为 P_2 ，并做好标记。

依据：检定规程中的表 4，对新生产、修理后的天平，横梁不等臂性误差 Y 的允差值为 $\pm 3d$ 。

要点二：由于调试中不再使用标准小砝码 k ，故 $m_k^*=0$ 。

则式（1）简化为：

$$Y_1 = (L_3 + L_4) / 2 - (L_1 + L_6) / 2 \quad (2)$$

如果零位不超差，由于数值较小，暂且忽略不计，则上式又可简化为：

$$Y_2 = (L_3 + L_4) / 2 \quad (3)$$

即“不等臂性误差”值近似等于“交换等量砝码前后两次读数的代数和的一半”；

调试前的分析：

设不等臂性误差 $Y=0$ ， $L_1=0$ ， $L_6=0$ ，

根据式（3）得 $Y=(L_3+L_4)/2$ ，即： $L_4=-L_3$ ；

设所使用的等量砝码质量差值为 0.8mg，在 $Y=0$ ， $L_1=L_6=0$ 的情况下， L_3 的理想值用 L_0 表示，即： $L_0=-0.8\text{mg} \div 0.1=-8d$ 。

以此作为臂长调整的参考点。即在理想状态下 L_3 的示值应为-8d，两砝码交换后， L_4 的示值应为：

$$L_4 = -L_3 = -(-8) = 8d。$$

等量砝码交换前后，两次读数的绝对值之和为：

$$L_m = |L_4| + |L_3| = |8| + |-8| = 16d$$

如果将 P_1 、 P_2 分别放在左、右两秤盘的中心，开启天平后可能会出现两种情况：

（1）若示值为 $L_3=-18d$ ，则偏差值为： $\Delta L = L_3 - L_0 = -18 - (-8) = -10d$ ，说明左臂较长；

（2）若示值为 $L_3=+2d$ ，则偏差值为： $\Delta L = 2 - (-8) = 10d$ ，则说明右臂较长。

调试步骤:

一、首先, 将空秤零位调好, 即使 $L_1=0.0$, 而且经过 2~3 次开、关, 确认示值变动性不超差。

二、将 P_1 、 P_2 分别放在左、右两秤盘的中心, 开启天平, 读取示值后关闭。

三、保持 P_1 、 P_2 , 用方口小扳手将右侧臂长调节螺钉向外或向内微旋 (调整量的多少有赖于感觉和经验的积累, 动作力求稳、准、轻、缓, 只要手指感到螺钉已被略微扳动即可), 调整的原则目标是: 以-8 为原点, 超出多少分度就朝相反方向调多少分度。

对第 (1) 种情况, 调整的目标值是:

$$L_{3后}=L_0+|\Delta L|=-8-(-10)=2d(\pm 2d);$$

对第 (2) 种情况, 调整的目标值是:

$$L_{3后}=L_0+|\Delta L|=-8-10=-18d(\pm 2d)。$$

(说明: 之所以将目标值的公差设定为 $\pm 2d$, 是因为考虑到臂长的允差值为 $\pm 3d$, 以及零位影响 $\pm 1d$ 。)

开启天平, 察看调整的效果。一般需反复调整若干次, 直至达到目的后关闭天平。下面以第 (1) 种情况为例进行说明, 第 (2) 种情况道理相同而方向相反。

四、取下 P_1 、 P_2 。调整空秤零位。按步聚 (3) 再次测试和调整。比如示值为: $L_{33}=-10d$ 。

五、交换 P_1 、 P_2 。将 P_2 、 P_1 分别放在左、右两秤盘的中心, 开启天平, 这时, 标尺必然偏向右边, 而且其平衡点是可预知的, 即: $L_4 \approx 2 \times 8d - 10d \approx 6d$, 读取实际示值, 比如: $L_4=6.2d$, 然后关闭天平。

分析及判断:

1、将 P_1 、 P_2 分别放在左、右两秤盘的中心, 开启天平, L_3 的读数应在 $-8 \pm 3d$ 的范围内。因为 $L_m=16d$,

$$\text{当 } L_3=-11 \text{ 时, } L_4 \text{ 约为 } 5, Y_2=(-11+5)/2=-3d$$

$$\text{当 } L_3=-5 \text{ 时, } L_4 \text{ 约为 } 11, Y_2=(-5+11)/2=3d$$

只有控制好 L_3 值的范围, 才能确保 Y_2 在 $\pm 3d$ 的范围之内, 如果超出范围值, 则需重新调整。

情况 (1): L_3 的示值在范围之内, 读数为: $L_3=-10d$, 初步估算不等臂性误差:

$$\text{方法一: } Y_2=L_3-L_{30}=-10-(-8)=-2d; \text{ 或用}$$

$$\text{方法二: 将 } L_4=L_m+L_3=16+(-10)=6d \text{ 代入式 (3) 得}$$

$$Y_2=(-10+6)/2=-2d;$$

2、将 P_2 、 P_1 分别放在左、右两秤盘的中心, 开启天平, 读取 L_4 的示值, 应在 $(8 \sim 5) \pm 2d$ 范围内, L_4 的读数估算:

$$L_4=L_m+L_3=16+(-10)=6d$$

关闭天平。

3、取下 P_2 、 P_1 ，读取空秤平衡位置，关闭天平。

4、横梁不等臂性误差验算。

通过以上粗调和估算，可以初步判定横梁不等臂性误差在允许范围之内，如检定过程数据记录如下：

顺序	秤盘上的载荷		平衡位置
	左盘	右盘	L
1	0	0	0.0
2	P_1	P_2	-9.5
3	P_2	P_1	+ 6.5
4	0	0	+ 0.4

$$Y = (L_3 + L_4) / 2 - (L_1 + L_6) / 2$$

$$= (-9.5 + 6.5) / 2 - 0.2 = -1.5 - 0.2 = -1.7d \text{ (左臂稍长)}$$

与不等臂性误差估算值 $-2d$ 基本相符。

情况(2)： $L_3 = -6d$ ，初步估算不等臂性误差：

方法一： $Y + L = -L_{30} = -6 - (-8) = 2d$ ；或用

方法二：将 $L_4 = L_m + L_3 = 16 + (-6) = 10d$ 代入式(3)得

$$Y_2 = (-6 + 10) / 2 = 2d;$$

如果 Y_2 大于 $3d$ ，重新进行第3~5步调整。

2b、将 P_2 、 P_1 分别放在左、右两秤盘的中心，开启天平，读取 L_4 的读数，应在 $(8 \sim 5) \pm 2d$ 范围内， L_4 的读数估算： $L_4 = L_m + L_3$ ，

$$L_4 = 16 + (-6) = 10d$$

关闭天平。

2c、取下 P_2 、 P_1 ，读取空秤平衡位置，关闭天平。

2d. 横梁不等臂性误差验算

通过以上粗调和估算，可以初步判定横梁不等臂性误差在允许范围之内，检定过程数据记录如下：

顺序	秤盘上的载荷		平衡位置
	左 盘	右 盘	
1	0	0	0
2	P ₁	P ₂	-6.2
3	P ₂	P ₁	+ 10.4
4	0	0	+ 0.2

$$Y = (L_3 + L_4) / 2 - (L_1 + L_6) / 2$$

$$= (-6.2 + 10.4) / 2 - (0 + 0.2) / 2 = 2.1 - 0.1 = 2.0d \text{ (右臂稍长)}$$

与不等臂性误差估算值 2 d 基本相符。

总结：

1. 按上述方法在反复调整臂时，不需调整零位，根据计算的偏差调整，有目标、有方向的进行，直至达到要求为止，减少了反复调零的时间。

2. 当 $P_1 - P_2 = -0.8\text{mg}$ ，将 P_1 、 P_2 分别放在左、右两秤盘，只要 L_3 的读数在 $(-11 \sim -5)d$ 范围内；交换后 L_4 的读数在 $(5 \sim 11)d$ 范围内，就可以初步认为“不等臂性误差”基本上符合要求，可以转入下一步检定工作。

3. 此法对其它型号的 100g~500g 各级机械天平也同样适用。