

承汉忠 编著

单盘天平



机械工业出版社

单 盘 天 平

承汉忠 编著

本书通过单盘天平与双盘天平相比较,介绍了单盘天平所具有的一系列优点,较全面地叙述了单盘天平的原理、性能、结构、使用维护与修理。以较多篇幅介绍了国内几种典型单盘天平的内部结构、操作使用和常见故障及排除方法,使天平使用人员对单盘天平有一梗概了解。

本书可供天平的使用、操作及修理人员阅读,也可供单盘天平的设计、工艺人员参考。

本书经北京光学仪器厂李之友同志仔细审阅并提出了宝贵意见,在此深表谢意。

单 盘 天 平

承汉忠 编著

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

重庆印制一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092 1/32 · 印张 5 · 字数 107 千字

1987年1月重庆第一版, 1987年1月重庆第一次印刷

印数: 0,001—14,000 定价 1.10 元

统一书号: 15031·6551

目 录

第一章 概述	1
1-1 天平的发展	1
1-2 单盘天平的特点	3
一、没有不等臂误差	4
二、砝码的允差小	8
三、空载和重载时灵敏度相同	11
四、单盘天平使用上的优点	12
第二章 单盘天平的原理	15
2-1 单盘天平的灵敏度	15
一、灵敏度的概念	15
二、单盘天平的灵敏度	15
2-2 单盘天平的稳定性	18
一、稳定性的概念	18
二、单盘天平的稳定性	18
2-3 横梁质心的最佳位置	28
一、横梁质心的位置	28
二、结论	31
第三章 单盘天平的计量性能	32
3-1 分度值和分辨率	32
一、单盘天平的分度值	32
二、分度值的测定	33
三、分辨率	33
四、分度值允差	34
3-2 示值变动性	35
一、示值变动性的概念	35
二、示值变动性的测量及计算方法	35

3-3 砝码的质量允差	40
一、标准砝码的选择	40
二、砝码质量的稳定性	41
三、砝码的检定	42
3-4 天平的摆动周期	43
3-5 单盘天平的检定及方法	44
一、外观、外形的检查	44
二、单盘天平计量性能的检定	46
三、检定结果的处理	46
第四章 单盘天平的结构	48
4-1 横梁部	50
一、横梁的材质	50
二、横梁的形状	52
三、横梁部件的整体结构	53
四、刀与刀承的材料与结构	55
4-2 立柱部	62
一、不带预称装置的立柱部件	62
二、带预称装置的立柱部件	63
4-3 悬挂系统	67
一、悬挂系统的结构	67
二、悬挂系统的晃动	71
三、防止晃动的结构	71
四、砝码的材质及形状	74
4-4 开关部	76
一、开关装置所完成的动作	76
二、开关的辅助装置	77
三、开关凸轮的形状	78
4-5 减码部	79
一、砝码的组合形式	79

二、凸轮升程的计算	81
三、凸轮曲线方程的建立	82
四、凸轮曲线的加工	84
五、带有去皿(皮)机构的凸轮组合	85
六、减码装置的结构	86
4-6 计数器	88
一、无去皿机构的计数器	88
二、带去皿机构的计数器	89
4-7 光学系统	92
一、天平中的光路	92
二、光学系统的调整	97
三、几种不正常情况的调整	99
4-8 微读机构	101
一、微读机构的类型	101
二、微读机构的设计	105
三、微读机构的准确性	110
第五章 天平的使用与维护	111
5-1 天平的安装与调整	111
一、拆箱	111
二、安装	112
三、天平的调试	114
5-2 天平的使用	116
一、不带预称、去皿机构的天平的操作步骤	116
二、带预称、无去皿机构的天平的操作步骤	117
三、带预称和去皿机构的天平的操作步骤(作去皿称样操作)	118
四、有关操作步骤的说明	119
5-3 天平的维护与保养	126
一、使用天平时的事项	126

二、对安放天平的工作台的要求	126
5-4 天平的定期检定	128
第六章 天平的故障及排除	129
6-1 天平计量性能方面的故障及排除	129
一、分度值超差及调整	129
二、示值变动性超差	130
三、砝码质量超差	132
四、阻尼不良	134
6-2 机构的故障及排除	134
一、横梁部的故障及排除	134
二、立柱部的故障及排除	136
三、悬挂系统的故障及排除	139
四、开关部的故障及排除	140
五、光学系统的故障及排除	142
六、减码部的故障及排除	143
七、计数器的故障及排除	148
八、微读器的故障及排除	152

第一章 概 述

1-1 天平的发展

天平的历史非常悠久，它是最早服务于人类的仪器之一。根据历史考古资料，我国使用衡器称重最晚开始于公元前的十一世纪即殷代晚期或西周早期。战国时期的《墨经》已经科学地叙述了天平杠杆的力学原理，指出力不仅与它的大小还与杠杆臂的长短有关。考古学家曾经发掘出公元前二百多年秦王朝时期的天平杠杆和砝码。统一度量衡是秦始皇的功绩之一，从那时起，即有了统一的重量标准。以后逐渐形成了完整的度量衡管理制度。随着生产力的发展，计重的衡器日益重要，如商业上目前仍在广泛使用的木杆秤（其工作原理见图 1-1），就是一种游码式天平，沿用至今，已有近两千年的历史，大木杆秤可以称到几百斤，小的杆秤用以称量库藏金银，其分度值小至一厘（相当于40mg），而且相当精确。由于可在不同位置上设置提纽，所以还可以改变量程，如在图1-1中的 O_1 和 O_2 处设置提纽，则可有不同的量程。

本世纪四十年代末以前，用于质量精密衡量和分析的天平都是机械式双盘天平。直到第一架机械式单盘天平问世时，双盘天平足足统治了几个世纪。单盘天平出现于1947~1948年

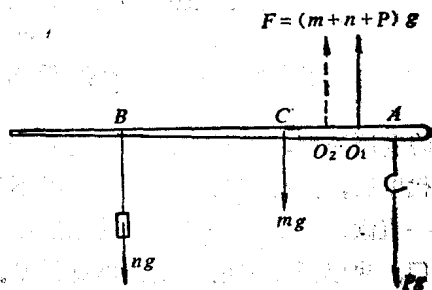


图1-1 木杆秤原理图

间，它首先被生产精密天平著称的瑞士 Mettler 仪器公司制造出来，接着日本岛津制作所也制出了自己的单盘天平。

不等臂式单盘天平的出现，终于打破了等臂式双盘天平的一统天下，随之而来的是引起了一场世界范围内的激烈争论，到底是双盘天平好还是单盘天平好？争论长达十年之久，最后，以普遍承认单盘天平具有一系列的优点而告终。图1-2是日本岛津制作所从1958~1969年的12年间双盘天平 and 单盘天平生产量的比例变化情况。由图足以说明单盘天平

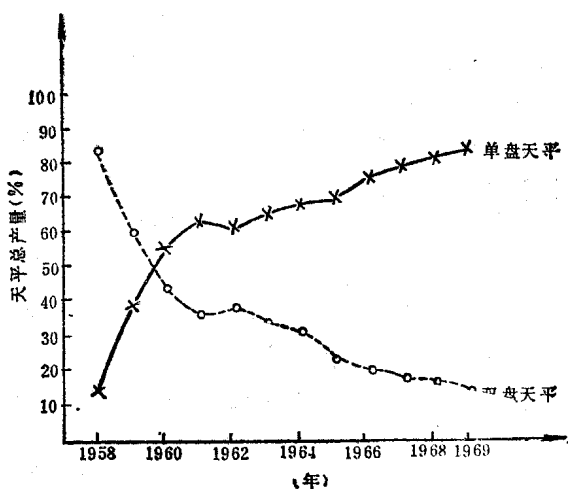


图1-2 岛津制作所两种天平产量比例变化情况

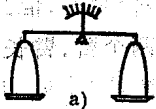
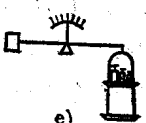
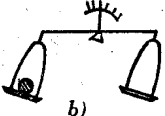
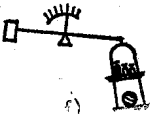
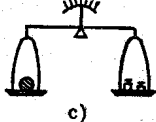
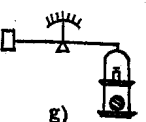
的发展速度，以及双盘天平逐渐被淘汰的趋势。进入七十年代以后，国外双盘天平几乎已经不生产，使用也很少，就连一直倾向于认为单盘天平的精度不如双盘天平高的计量部门，也已开始采用机械式单盘天平。如国际计量局采用美国制造的No2单盘原器天平，其标准偏差在 $1\sim 4\mu\text{g}$ 之间，打破了

单盘天平只适用于低精度、不适用于象原器天平这样最高精度场合的传统看法。

1-2 单盘天平的特点

总的来说，单盘天平在准确、迅速、便利等方面要比双盘天平优越得多。为了清楚地说明这些问题，我们先来比较一下两种天平不同的使用特点。

表1-1 单盘天平与双盘天平工作原理的比较

双 盘 天 平		单 盘 天 平	
在空载情况下，天平平衡	 a)	挂上所有的砝码后，天平处于平衡状态	 e)
将样品放在左盘上，天平向左倾斜	 b)	将样品放在与所挂砝码同一侧的秤盘上，天平倾斜	 f)
将砝码放在右盘上，天平重新达到平衡	 c)	减去部分砝码后，天平重新平衡	 g)
样品的质量 = 加在右盘上的砝码质量	 d)	样品的质量 = 被减去的砝码质量	 h)

从表1-1可以看出,双盘天平空载平衡时没有任何砝码加到秤盘上,而单盘天平空载平衡时,所有砝码均挂在秤盘的上面。当天平加载后,为了使其重新处于平衡,对于双盘天平,必须在另一个秤盘内加上与载荷等质量的砝码,而对于单盘天平,则只要将挂在秤盘上方的砝码减去与载荷相等质量的部分。

仔细分析这两种天平的工作情况差别以后,可得出单盘天平的特点如下:

一、没有不等臂误差

因为单盘天平的砝码和被称物是放在同一悬挂系统上的,所以,尽管其横梁是做成不等臂式的,但却不存在不等臂偏差。而双盘天平的杠杆有左右两个臂,臂长分别为 L_1 和 L_2 ,两臂端各挂一个秤盘,一个盘上放被称物,质量为 m_1 ,另一个盘上加与被称物等量的砝码 m_2 。因此必须要求天平杠杆的左右两臂长相等,才能使天平重新平衡时,被称物的质量等于所加砝码的质量(这里我们暂且略去被称物的密度与砝码密度不同时因空气浮力不同而产生的称量误差),即: $m_1 L_1 = m_2 L_2$,仅当 $L_1 = L_2$ 时,才有 $m_1 = m_2$,先决条件是 $L_1 = L_2$,这在杠杆平衡原理的计算中经常可以这样假设或运用。但在实际的天平仪器中,要使横梁上左右两承重刀到中间支点刀的距离绝对相等,简直是不可能的,这就必然出现所谓的不等臂偏差。凡是杠杆式等臂天平,都始终存在着或大或小的不等臂偏差,在机械部标准《杠杆式天平》(JB 1277—73)及《天平检定规程》(JJG98—72)中,对天平计量性能之一的横梁不等臂性允差有明确的规定(见表1-2)。如最常用的TG328A、TG328B型天平,最大载荷200g,分度值为0.1mg,其相对精度为 5×10^{-7} ,系3级天平,其不等

表1-2 杠杆式天平的计量性能

计 量 性 能 允 差 精 度 级 别	示值变动性(分度)		标 牌 分 度 值				横梁不等臂性 (分度)		骑码标 尺、链 条标尺 称量误 差(分 度)
	具有阻尼器的微分 天平(分度)		普通标牌天平 (mg)		具有阻尼 器的微分 天平		普通标 牌天平		
			空载与 全载之差		空载与 左盘与 右盘之 差		使用修理 后 中		
					空载与 全载之差		使用修理 后 中		
1~3	1		±2	空载时 ±1	2	空载与 左盘与 右盘之 差		使用修理 后 中	9
全载时 +2				空载与 左盘与 右盘之 差		使用修理 中 后			
-1				空载与 左盘与 右盘之 差		使用修理 后 后			
4~6									
7~10									

臂偏差出厂时或修理后控制在 3 个分度之内, 即 0.3mg , 而在用户使用中允许扩大 3 倍达 9 个分度, 即 0.9mg , 这个不等臂允差值并不直接反映横梁两臂长间的实差, 而是表征天平处于全载状态 (200g) 时因两臂长差引起的称量误差, 由此可推算出两臂长差。

假设左右两臂长为 L_1 、 L_2 , 两边的质量分别为 m_1 、 m_2 , 平衡时有:

$$m_1 L_1 = m_2 L_2$$

设两臂长差为 $L_2 - L_1 = \Delta L$, 因两臂长差引起的两边的质量差为 $m_1 - m_2 = \Delta m$ 时, 杠杆平衡方程式应改写为:

$$(m_2 + \Delta m) L_1 = m_2 (L_1 + \Delta L)$$

将 $m_2 = 200\text{g}$, $\Delta m = 0.9\text{mg}$ 代入上式得:

$$(200\text{g} + 0.9\text{mg}) L_1 = 200\text{g} (L_1 + \Delta L)$$

$$\text{或 } \left(200 + \frac{0.9}{1000} \right) L_1 = 200 (L_1 + \Delta L)$$

整理得:

$$\Delta L = 4.5 \times 10^{-6} L_1$$

$$\text{或 } \frac{\Delta L}{L_1} = 4.5 \times 10^{-6}$$

以上天平的左右臂长的名义值为 70mm , 即 $L_1 = L_2 = 70\text{mm}$ 时

$$\Delta L = 4.5 \times 10^{-6} \times 70\text{mm} = 3.15 \times 10^{-4}\text{mm} \approx 0.3\mu\text{m}$$

这就是当臂长的名义值为 70mm 时, 天平左右两臂长的极差。对于一般长度测量来说, $0.3\mu\text{m}$ 可以认为是一个很小的误差了, 但对于天平而言, 要求出厂时控制不等臂偏差在 3 个分度之内, 即两臂差不能超出 $0.1\mu\text{m}$, 这样小的误差用一般长度计量仪器难以测出。天平制造厂是通过对天平作精

细的反复校正来达到的。校正工作都是手工进行的，要求工人具有相当的操作技巧。

下面再计算天平杠杆具有不等臂极限偏差时引起的称量误差：

假设砝码标准质量为 m ，因臂差使被称物与标准砝码间有一个称量误差为 Δm ，则有： $mL_1 = (m - \Delta m)(L_1 + \Delta L)$

因为 $mL_1 = mL_1 - \Delta mL_1 + m\Delta L - \Delta m\Delta L$

略去二次项 $\Delta m\Delta L$ ，整理得：

$$m\Delta L = \Delta mL_1$$

$$\Delta m = m \frac{\Delta L}{L_1}$$

将 $\frac{\Delta L}{L_1} = 4.5 \times 10^{-6}$ 代入得

$$\Delta m = 4.5 \times 10^{-6} m$$

由上式可知，称量误差的大小与被称物本身的质量大小有关。进一步计算可知，当 $m > 22\text{g}$ 时， $\Delta m > 0.1\text{mg}$ 。可见，在精度为 0.1mg 的TG328型天平上，当称量样品的质量大于 22g 时，如果两臂长存在最大允差 $0.3\mu\text{m}$ ，则不必考虑其他的称量误差因素，即能产生 0.1mg 的称量误差，故要想保证 0.1mg 的精度显然是不可能的。等臂天平的不等臂偏差固然可以通过交换衡量法或替代衡量法加以消除，但这两种方法操作手续繁琐，交换法还要进行计算，故一般只有在计量部门检定标准砝码时才采用，而在实验室里进行样品分析时，一般是不愿意采用的。当然，这是根据不等臂性极差得出的结果。由于天平生产厂严格控制质量，甚至定出高于部颁标准的厂控指标，所以天平出厂时，一般不等臂偏差都小于部颁标准中的规定。但是，受使用环境如温度的波动和热源的影

响,天平杠杆的两臂差很容易扩大而引起更大的称量误差。

因为单盘天平不存在两个臂长相等问题,也就不存在不等臂偏差,因此从根本上消除了不等臂误差引起的称量误差。

二、砝码的允差小

砝码是天平上使用的质量基准,是用来和被称物进行直接比较的,因此人们往往从主观上认为它是绝对准确的,其实它也和等臂天平的两臂长不可能绝对相等一样,同样存在着误差。在我国计量器具检定规程《砝码》JJG99—81中,规定了不同精度不同质量的砝码的质量允差范围,详见表1-3。

表1-3是1~5等标准砝码的质量允差,不适用于天平的机械挂砝码及骑码。而单盘天平中的所有砝码都是挂在悬挂系统中作为天平整体不可分离的一个组成部分,其单个砝码及组合允差在《天平检定规程》JJG98—72中给出。现将规程中有关部分摘录于下:

具有机械减砝码装置的天平,其挂砝码组合允差应符合下表的规定;具有机械加砝码装置的天平,其挂砝码的检定结果应符合如下规定:

天平名义分度值 (mg)	挂砝码的组合允差(分度)		
	毫克组	克组	全量
$S \geq 1$	± 1	± 1	± 1
$1 > S \geq 0.2$	± 1	± 2	± 2
$0.2 > S \geq 0.05$	± 2	± 5	± 5
$0.05 > S \geq 0.01$	± 3	± 5	± 5
$S < 0.01$	± 5	± 8	± 8

注:对于具有机械加砝码装置的天平,表中的有关数值应作如下变化,成为

一定组合值时天平与砝码的综合误差。此种天平上挂砝码的检定结果，不得大于这个综合误差。

当挂砝码的组合值 $\geq$ 天平最大载荷的 $\frac{1}{4}$ 而 $<$ 最大载荷的 $\frac{1}{2}$ 时，加横梁不等臂性误差实际值的 $\frac{1}{3}$ ；

当挂砝码的组合值 $\geq$ 天平最大载荷的 $\frac{1}{2}$ 而 $<$ 最大载荷时，加横梁不等臂性误差实际值的 $\frac{2}{3}$ ；

当挂砝码的组合值 = 天平最大载荷时，加横梁不等臂性误差的实际值。

从JJG98-72的摘录中可看出，对于具有机械挂码的双盘等臂天平，还要考虑天平不等臂性误差的实际值，这给砝码的检定增加了许多麻烦。而对于如国产TG328B型天平，因它是半机械加码形式，加码范围是10~990mg，在这一范围内的挂砝码应符合JJG98-72的上述摘录的规定，但克组以上的砝码，用的是三等标准砝码，它们的质量允差要符合表1-3的规定。查表可知，克组以上砝码每个误差为 $\pm 0.4 \sim \pm 2\text{mg}$ 不等。再看分度值同样为0.1mg的单盘天平中挂砝码的误差，由前表可知，当 $0.2 > S \geq 0.05$ 时有：

毫克组： ± 2 分度 即 $\pm 0.2\text{mg}$

克组： ± 5 分度 即 $\pm 0.5\text{mg}$

全量： ± 5 分度 即 $\pm 0.5\text{mg}$

由于标准砝码的质量允差指的是单个砝码的误差，没有考虑当砝码组合使用时的累积误差。而挂砝码无论是单个还是组合都有一定的质量允差限制，而且全量时也不能超过 $\pm 0.5\text{mg}$ 。标准砝码单个质量允差可达 $\pm 2\text{mg}$ ，要比挂砝码的质量允差大四倍，一旦标准砝码组合使用时，其累积误差有可能比挂砝码的组合允差大好几倍甚至十几倍。因此，

表1-3 1~5等砝码允差表 (摘自JJG99-81《砝码》)

标称质量	等级 允差 (mg)	一 等		二 等		三 等		四等	五等
		质量 允差	检 定 精 度	质量 允差	检 定 精 度	质量 允差	检 定 精 度	质量 允差	质量 允差
1kg	±4	±0.5	±5	±2	±20	±10	±50	±250	
500g	±2	±0.4	±3	±1	±10	±5	±25	±120	
300g	±1	±0.3	±2	±0.8	±6	±3	±15	±70	
200g	±0.5	±0.2	±1.5	±0.5	±4	±2	±10	±50	
100g	±0.4	±0.1	±1.0	±0.3	±2	±1	±5	±25	
50g	±0.3	±0.1	±0.6	±0.3	±2	±1	±3	±15	
30g	±0.2	±0.06	±0.4	±0.2	±1.5	±0.6	±2	±10	
20g	±0.15	±0.04	±0.3	±0.12	±1.0	±0.5	±2	±10	
10g	±0.10	±0.02	±0.2	±0.06	±0.8	±0.3	±1	±5	
5g	±0.05	±0.01	±0.15	±0.03	±0.4	±0.2	±1	±5	
3g	±0.05	±0.007	±0.15	±0.03	±0.4	±0.2	±1	±5	
2g	±0.05	±0.005	±0.10	±0.03	±0.4	±0.2	±1	±5	
1g	±0.05	±0.005	±0.10	±0.03	±0.4	±0.2	±1	±5	
500mg	±0.03	±0.004	±0.05	±0.02	±0.2	±0.1	±1	±5	
300mg	±0.03	±0.004	±0.05	±0.02	±0.2	±0.1	±1	±5	
200mg	±0.03	±0.004	±0.05	±0.02	±0.2	±0.1	±1	±5	
100mg	±0.03	±0.004	±0.05	±0.02	±0.2	±0.1	±1	±5	
50mg	±0.02	±0.004	±0.05	±0.02	±0.2	±0.1	±1		
30mg	±0.02	±0.004	±0.05	±0.02	±0.2	±0.1	±1		
20mg	±0.02	±0.004	±0.05	±0.02	±0.2	±0.1	±1		
10mg	±0.02	±0.004	±0.05	±0.02	±0.2	±0.1	±1		
5mg	±0.01	±0.004	±0.05	±0.02	±0.2	±0.1			
3mg	±0.01	±0.004	±0.05	±0.02	±0.2	±0.1			
2mg	±0.01	±0.004	±0.05	±0.02	±0.2	±0.1			
1mg	±0.01	±0.004	±0.05	±0.02	±0.2	±0.1			
⋮	⋮	⋮							