

电子天平选择问题的探讨

马鞍山市计量测试研究所 杨宝华、马玲、朱报平

【摘要】 本文主要对选择电子天平遇到的问题谈了粗浅认识，并提出了一种简单实用方法，介绍给同行们参考

【关键词】 电子天平；检定分度值；最大允许误差；最大称量

一、问题的提出

某单位为检测M₁等级的 20 kg砝码兼称量一些贵重物品，选择了一台准确度等级为Ⅱ级（高准确度级）的电子天平。在检测砝码时会时有发现电子天平出现示值欠准确可靠的情况。电子天平是经过检定合格的，并含省级计量检定证书。也做过该电子天平的合成标准不确定度，满足不超过被检砝码质量最大允许误差绝对值的九分之一的规定要求。这示值欠准确可靠的情况为什么还会产生呢？

由电子天平的参数：分度值（可读性）=0.1g，最大称量=34 kg；再根据 JJG1036-2008《电子天平》检定规程的规定，很容易得到该天平各称量段的最大允许误差（见表 1），不难发现天平 20kg 称量点最大允许误差为±1.0g，而 20 kg、M₁ 等级砝码的最大允许误差也为±1.0g，由此可发现电子天平的最大允许误差和被检砝码最大允许误差相等的情况，也就是说检测器具与被检测器具的准确度是同一个等级，因此偶尔出现检测数据存在异议的情况就不难理解了。

表 1 CPA34001S 电子天平各称量段的最大允许误差

Max=34kg e=10 d=1.0g	
MPE	m
±0.5g	0≤m≤ 5kg
±1.0g	5kg < m≤20kg
±1.5g	20kg < m≤34kg

不确定度分量和哪些参数有关？怎样才可确保不重复不遗漏？在电子天平还没有购置之前，如何才能确定不确定度的分量？这给选择电子天平工作带来了困难。如果仅以可读性一个参数做不确定度来考虑，显然是存在风险的，为了稳妥起见，我们用下面的方法选择电子天平，此法意在抛砖引玉，欲能引起同行们的探讨与质疑，更加期待专家的指教。

二、电子天平的选择

1. 最大秤量 (Max) 的确定

电子天平系精密计量器具，人们操作时都会轻拿轻放，一般可不考虑受到冲击力产生过载，最大秤量可按下式选择： $Max \approx 1.05M_{max}$

M_{max} ：为被称量物体质量的最大秤量值

如果量程范围宽，则需分段选多台电子天平。

2. 准确度等级的选择

准确度等级的选择是最重要的一环，可以说是选择成败的关键。好在 JJG1036-2008《电子天平》检定规程的发布和实施，给我们工作提供了依据，使之有法可依。我们认为电子天平准确度等级可由电子天平的最大允许误差不大于被称物体质量最大允许误差的三分之一来选定。即： $MPE_t \leq 1/3 MPE_m$

MPE_t ：电子天平的最大允许误差

MPE_m ：被称物体质量最大允许误差

3. 其他功能方面的选择

操作可选触摸屏式或键盘式；显示分为高分辨率彩色显示屏和黑白液晶显示屏；应用方面是只需具备基本的称量功能或附带较多的应用程序功能。凡此种种，都应根据实际需求来决定。我们认为只要最大秤量、准确度等级满足要求，其余都以实用为准则。

三、选择的实例

以选择满足称量 F_2 等级的 1mg ~ 5kg 砝码的电子天平为例，说明按“ $MPE_t \leq 1/3 MPE_m$ ”的原则来确定电子天平的准确度等级，不失为一种选择电子天平的简便安全、切实有效的方法和措施。

1. 最大秤量选定

因为 1mg ~ 5kg 范围较宽，宜分级选择，需三台电子天平才可满足需求，现拟定三个方案如下：

方案一

天平型号	量程	可读性	检测砝码范围
XP26C	22g	1 μ g	1mg~20g
XP504	520g	0.1mg	50g~500g
XP5003S	5100g	1mg	1000g~5000g

方案二

天平型号	量程	可读性	检测砝码范围
XP26C	22g	1 μ g	1mg~20g
XP205	220g	0.01mg	50g~200g
XP5003S	5100g	1mg	500g~5000g

方案三

天平型号	量程	可读性	检测砝码范围
CPA26P	5/21g	2/10 μ	1mg~20g
524P	120/240/520g	0.1/0.2 /0.5mg	50g~500g
5203P	1200/2400/5200g	1/2/5mg	1000g~5000g

以上三个方案要通过准确度等级的验证来取舍

2. 准确度等级的验证选定

遵照 JJG1036-2008《电子天平》检定规程的规定，由已知 d 和 Max ，通过简单的计算，可以方便的得到每台电子天平各称量段的最大允许误差，因而达到求出每台电子天平合成标准不确定度的效果。

根据 JJG1036-2008《电子天平》检定规程中 $n=Max/e$ 的规程可知：XP26C、XP205、XP504、XP5003S、CPA26P、为 I 级（特种准确度级）电子天平，524P、5203P 只能为 II 级（高准确度级）电子天平。CPA26P、524P、5203P 是具有多个分度值和多个称量范围的电子天平，显然每个局部称量范围各称量段的最大允许误差是不同的，应一一列出。

上述三个方案中每台电子天平各称量段的最大允许误差，分别列于表 2、表 3、表 4、表 5 中；并将电子天平和被称砝码（ F_2 等级）的最大允许误差同列入表 6。

表 2 XP26C、XP504、XP5003S 各称量段的最大允许误差

XP26C		XP504		XP5003S	
Max=22g e=10d=10 μ g		Max=520g e=10d=1.0mg		Max=5100g e=10d=10mg	
MPE	m	MPE	m	MPE	m
$\pm 5\mu$ g	$0 \leq m \leq 500\text{mg}$	$\pm 0.5\text{mg}$	$0 \leq m \leq 50\text{g}$	$\pm 5\text{mg}$	$0 \leq m \leq 500\text{g}$
$\pm 10\mu$ g	$500\text{mg} < m \leq 2\text{g}$	$\pm 1.0\text{mg}$	$50\text{g} < m \leq 200\text{g}$	$\pm 10\text{mg}$	$500\text{g} < m \leq 2000\text{g}$
$\pm 25\mu$ g	$2\text{g} < m \leq 22\text{g}$	$\pm 1.5\text{mg}$	$200\text{g} < m \leq 520\text{g}$	$\pm 15\text{mg}$	$2000\text{g} < m \leq 5100\text{g}$

表 3 CPA26P、XP205 各称量段的最大允许误差

CPA26P				XP205	
Max=5g		Max=21g		Max=220g	
e=10d=20ug		e=10d=100ug		e=10d=0.1mg	
MPE	m	MPE	m	MPE	m
±10ug	0≤m≤1g	±50ug	0≤m≤5g	±0.05mg	0≤m≤5g
±20ug	1g < m≤4g	±100ug	5g < m≤20g	±0.1 mg	5g < m≤20g
±30ug	4g < m≤5g	±150ug	20g < m≤21g	±0.15mg	20g < m≤220g

表 4 524P 各称量段的最大允许误差

524P					
Max=120g		Max=240g		Max=520g	
e=10d=1mg		e=10d=2mg		e=10d=5mg	
MPE	m	MPE	m	MPE	m
±0.5mg	0≤m≤5g	±1mg	0≤m≤10g	±2.5mg	0≤m≤25g
±1.0mg	5g < m≤20g	±2mg	20g < m≤40g	±5.0mg	25g < m≤100g
±1.5 mg	20g < m≤120g	±3mg	40g < m≤240g	±7.5mg	100g < m≤520g

表 5 5203P 各称量段的最大允许误差

5203P					
Max=120g		Max=240g		Max=5200g	
e=10d=10mg		e=10d=20mg		e=10d=50mg	
MPE	m	MPE	m	MPE	m
±5mg	0≤m≤50g	±10mg	0≤m≤100g	±25mg	0≤m≤250g
±10mg	50g < m≤200g	±2mg	100g < m≤400g	±50mg	250g < m≤1000g
±15mg	200 < m≤1200g	±30mg	400g < m≤2400g	±75mg	1000g < m≤5200g

表 6 电子天平和砝码 (F2 等级) 的最大允许误差

砝码 标称值	砝码 MPE (mg)	XP26C MPE (mg)	CPA26P MPE (mg)	XP205 MPE (mg)	XP504 MPE (mg)	XP5003S MPE (mg)	524P MPE (mg)	5203P MPE (mg)
1 mg	±0.06	±0.005	±0.01	±0.05				
2 mg	±0.06	±0.005	±0.01	±0.05				
5 mg	±0.06	±0.005	±0.01	±0.05				
10 mg	±0.08	±0.005	±0.01	±0.05				
20 mg	±0.10	±0.005	±0.01	±0.05				
50 mg	±0.12	±0.005	±0.01	±0.05				
100 mg	±0.16	±0.005	±0.01	±0.05				
200 mg	±0.20	±0.005	±0.01	±0.05				
500 mg	±0.25	±0.005	±0.01	±0.05				
1 g	±0.3	±0.01	±0.01	±0.05				
2 g	±0.4	±0.01	±0.02	±0.05				
5 g	±0.5	±0.015	±0.03	±0.05				
10 g	±0.6	±0.015	±0.1	±0.1				
20 g	±0.8	±0.015	±0.15	±0.1				
50 g	±1.0			±0.15	±0.5		±1.5	
100 g	±1.6			±0.15	±1.0		±1.5	
200 g	±3.0			±0.15	±1.0		±3.0	
500 g	±8.0				±1.5	±5.0	±7.5	
1000 g	±16					±10.0		±15.0
2000 g	±30					±10.0		±30.0
5000 g	±80					±15.0		±75.0

通过表 6 可以看出：

选用 XP26C 检测 (1mg ~ 20g) 范围的砝码，显然是大材小用。选由 CPA26P 检测 (1mg ~ 20g) 范围的砝码比较适合。XP205 检测 (50g ~ 200g) 范围的砝码；XP5003S 检测 (1000g ~ 5000g) 范围的砝码；有 500g、1000g 两点达不到 $MPE_t \leq 1 / 3MPE_m$ 要求，如果用 XP504 取代 XP205，则会有 50g、100g、1000g 叁点达不到 $MPE_t \leq 1 / 3MPE_m$ 要求，但都能达到 $MPE_t \approx 1 / 2MPE_m$ ；并同时满足合成标准不确定度不超过被检砝码质量最大允许误差绝对值的九分之一的要求。

524P 检测 (50g ~ 500g) 范围的砝码；5203P 检测 (1000g ~ 5000g) 范围的砝码，两者的最大允许误差已经几乎相等，尽管满足合成标准不确定度不超过被检砝码质量最大允许误差绝对值的九分之一的要求，但准确度指标是重要的先决条件，为了安全可靠起见，我们仍然觉得不宜选用这两台电子天平。并考虑到 XP504 与 XP205 价格相差较大，现本着经济、实惠的原则选取了由 CPA26P、XP504、XP5003S 组合的新方案。

四、待讨论的问题

以上方法是通过选用电子天平的实践及基于计量检测系统中一般公认的准则，即测量仪器的最大允许误差不大于被检计量器具的最大允许误差的三分之一提出来的。方法虽方便、可靠、易行，但目前尚无针对性强的技术法规可依，所以用此法确定电子天平准确度等级会有人提出异议，因为砝码 JJG99-2006 检定规程 (7.2.2.1) 中明确规定，“衡量仪器合成标准不确定度不得超过被检砝码质量最大允许误差绝对值的九分之一。”合成标准不确定度 (即重复性、灵敏度、分辨力、偏载等的合成) 电子天平的这些计量特性在测量之前要已知，在电子天平未到货前，我们只有依据天平厂商提供的产品宣传样本，这里面或多或少存在宣传的成分，日后难免有些参数指标存在争议。

众所周知，电子天平的可读性 (d) 和最大称量 (Max) 是最容易在事前获得的二项可靠的无须争议的计量特性指标。有了 Max、 $e=10d$ 根据 JJG1036-2008《电子天平》检定规程就能方便得出电子天平最大允许误差，判断一下是否不大于被称物体最大允许误差的三分之一。相对来说，这种方法比用合成标准不确定度简便、稳妥、可靠。

首先，电子天平和非自动秤两个规程的制定是引用同一个文件，JJG1036-2008《电子天平》检定规程在计量性能要求、主要技术指标等方面采用了国际法制计量组织 (OIML) 国际建议 R76《非自动衡器》中的相关内容；JJG555-1996《非自动秤通用检定规程》等效采用国际法制计量组织 (OIML) 国际建议 R76《非自动衡器》制定的。OIML 国际建议 R76《非自动衡器》中根本没有区别电子天平和电子秤。都是利用作用于物体上的重力 ($G=mg$) 来确定该物体质量的计量器具，本质上就是同一种计量器具，都应属于《非自动衡器》。

其次，不仅电子天平的准确度等级是按照其检定分度值 e 和最大称量 (Max) 划分成四个准确度等级 ($n=Max/e$)。同时，最大允许误差的表示的方法也和电子秤一样，以梯形允许误差带的形式出现，各段称量载荷 m 与最大允许误差 MPE ，都以检定分度值 e 来表示。相对以前的方法是直观、明了。不再象以前用十万分之一或百万分之一等相对误差形式来评价电子天平。显然，这不仅

避免了对相对误差理解不同产生异议，而且给使用者选择电子天平和检定人员的实际检定工作带来极大的方便。

再次，砝码检定规程（7.2.3）“标准砝码至少应比被检定砝码高一准确度等级，其质量扩展不确定度应不大于被检定砝码质量最大允许误差的九分之一。”观察砝码的最大允许误差表，也不难发现，上一个等级砝码的最大允许误差是不超过下一个等级的最大允许误差的三分之一的，上一个等级砝码是可作为下一个等级砝码的标准砝码。这样是否可以推理，检定砝码用的电子天平其最大允许误差不超过砝码的最大允许误差的三分之一是不违反规程的，并不一定需要合成标准不确定度不超过被检砝码质量最大允许误差绝对值的九分之一的要求。

除此之外，用于检定砝码的电子天平，如果被检砝码进行空气浮力修正，则其合成标准不确定度不得超过被检砝码质量最大允许误差绝对值的六分之一；如果被检砝码不进行空气浮力修正，则其合成标准不确定度不得超过被检砝码质量最大允许误差绝对值的九分之一。即 $u_c \leq 1/9MP_{Em}$ ；对于此式，如果单纯从数学角度上来讲，成立是欠严谨的。因为进行比较的量必须是同种类、同性质的量才有意义。令我们难以理解的是，砝码电子天平这两者的最大允许误差都能方便得到，为何不用其最大允许误差相比呢？我们臆断是砝码规程在电子天平规程之前所致。

电子天平在称量过程中不需要砝码，操作简单、直接读数，具有机械天平无法比拟的优点，会越来越广泛地应用于各个领域，并有取代机械天平之势。我们觉得应该把近二年来选购电子天平实践工作中的点滴体会与大家分享，作为引玉之砖，期望能引起同行商榷与争鸣。希望选择确定电子天平的准确度等级能够用和选择电子秤一样的方法，早日成为厂商用户的共识。

参考文献

1. JJG99—2006 砝码
2. JJG1036—2008 电子天平
3. JJG555—96 非自动秤通用检定规程

作者简介

朱报平，马鞍山市计量测试研究所，通讯地址：安徽省马鞍山市湖东南路 4099 号，邮政编码：243000

电话：0555-5235119

电子信箱：zbp1231@sina.com