

称重传感器执行标准及性能试验程序与误差计算方法

中国运载火箭技术研究院第七〇二研究所 刘九卿

【摘要】 本文在介绍OIML R60 国际建议和称重传感器国家标准产生背景，R60 国际建议 2000 版与前版的区别和改进，GB/T7551—2008《称重传感器》国家标准主要增补内容与特点的基础上，重点介绍了主要技术性能称重传感器误差 (E_L)、重复性误差 (E_R)、温度对最小静载荷输出的影响 (C_M)、蠕变误差 (C_C)、最小静载荷输出恢复值 (C_{MDLOR})、称重传感器大气压力影响 (C_P)、和称重传感器湿度影响 (C_{Hmin}) 的试验程序与计算方法。

【关键词】 称重传感器；国际建议；国家标准；计量规程；技术性能；试验程序；最大允许误差

一、OIMLR60 国际建议和称重传感器国家标准产生背景

20 世纪 80 年代初期，随着科学技术的进步和电子称重技术的快速发展，对负荷传感器提出许多新要求。传统的技术性能评定方法已不能满足电子衡器发展的需要，急需与电子衡器准确度评定方法相适应的负荷传感器计量特性评定方法和检定规程。OIML（国际法制计量组织）根据各成员国的意见，决定由其下属的质量测量指导秘书处（SP7）下设的负荷传感器报告秘书处（Sr8），负责起草与电子衡器误差评定方法相适应的计量规程。

由于 Sr8 报告秘书处由美国负责，自然就由美国负责全部起草工作，代号是 PR3 号报告，名称为《称重传感器计量规程》。这是世界上首次将用于质量测量和力值计量的负荷传感器分开，即分为称重传感器和测力传感器两种类型。质量测量用的称重传感器彻底脱离了以单项指标中最大误差来确定准确度的概念和方法，建立与电子衡器误差评定方法相对应的总误差带概念，即最大允许误差包括由非线性、滞后引起的误差和在规定的温度范围内由于温度变化对灵敏度影响所引起的误差，它对于递增和递减载荷均适用。此外在考核内容和指标、参比直线、试验载荷、蠕变试验等都有所不同。对电子衡器制造商和广大用户来说，把主要单项误差都包括进去对诸项误差综合考虑才有实际意义。

PR3 号报告《称重传感器计量规程》定稿后，分别发给国际标准化组织、国际计量技术联合会、欧洲经济共同体和经互会等组织征求意见，修改后由 OIML 发到各成员国进行表决，并于 1983 年 4 月 30 日公布表决结果：21 国同意，2 国反对（前苏联和比利时），1 国弃权（加拿大）。在 1984 年 10 月第七届国际法制计量大会上，经过讨论正式批准了《称重传感器计量规程》，并于 1985 年以 OIML R60 国际建议颁布发送到各成员国。我国于 1985 年 4 月 25 日正式成为 OIML 第 50 个成员国，当然应该参照 R60 国际建议制订本国称重传感器国家标准和国家计量检定规程。在各国多年等同或等效执行过程中提出一些意见，OIML 质量和密度指导秘书处等机构又进行了几次修改，这就是 1991 年版 R60 国际建议《称重传感器计量规程》和 1993 年英文版 R60 国际建议附录 A《称重传感器型式评定试验报告格式》。目前各成员国执行的是 OIML 质量和密度指导技术委员会（TC9）重新修订的

R60 国际建议《称重传感器计量规程》2000 年版，此版本在适应范围、分配系数、最大温度范围等方面的规定更合理可行。为使型式评价试验选取样件更科学合理，首次引入了称重传感器族和组的概念；针对带有电子组件的称重传感器，规定在型式评价中除进行普通称重传感器的各项试验外，还应进行与影响量和干扰量有关的 7 项附加试验。

20 世纪 80 年代，我国衡器工业在“手动改自动，机械改电子”发展方针指引下，通过引进、消化、吸收国外称重传感器先进制造技术与工艺，从学习试制到自主设计与制造，我国称重传感器设计技术与制造工艺水平，产品的数量和质量都有很大提高。为使我国称重传感器技术和产品质量沿正确轨道健康发展，原机械工业部和航天工业部分别编写了《电阻应变式负荷传感器》部级标准。1985 年经国家标准局批准，原机械工业部负责组织全国有关部门的专家，在《电阻应变式负荷传感器》部颁标准的基础上，经过讨论、修改和增补上升为国家标准。1988 年 5 月 16 日由国家标准局以 GB7551—87《电阻应变式称重传感器》国家标准发布全国，并于 1989 年 1 月 1 日实施。

我国加入国际法制计量组织后，OIML R60 国际建议《称重传感器计量规程》第一版 1985 年发到我国。20 世纪 90 年代初，为适应国际称重传感器技术与产品的发展潮流，尽快与国际电子衡器市场融合，参与国际竞争，经国家技术监督局批准，按照等效采用 R60 国际建议的原则，对 GB7551—87《电阻应变式称重传感器》国家标准进行了大幅度的修订，由国家技术监督局于 1997 年 6 月 3 日以 GB/T7551—1997《称重传感器》国家标准发布全国，并于 1988 年 5 月 1 日实施。

随着电子称重技术和称重传感器技术的发展，国际法制计量组织规定，各成员国所有称重传感器制造商申请 OIML 证书时，必须依据质量和密度技术委员会（TC9）修订的，经 2000 年国际法制计量大会讨论并批准的 R60《称重传感器计量规程》国际建议 2000 版，国际法制计量组织中国秘书处已按此规定在国内开展这项工作。为尽快适应这一新情况，促进我国称重传感器技术的发展，经国家标准化管理委员会批准，按照等效采用 R60《称重传感器计量规程》国际建议 2000 版的原则，由上海工业自动化仪表研究所负责，联合 8 个单位参加，对 GB/T7551—1997《称重传感器》国家标准进行较全面的修订。由国家质量监督检验检疫总局和国家标准化管理委员会于 2008 年 6 月 30 日发布全国，要求 2009 年 1 月 1 日开始实施。

二、OIML R60 国际建议 2000 版与 1991 年版的区别和改进

OIML 质量和密度指导技术委员会（TC9）重新修订的 R60 国际建议《称重传感器计量规程》2000 年版，是用以替代 1991 年版（含 1993 年英文版 R60 国际建议附录 A《称重传感器型式评定试验报告格式》）的新版本。R60 国际建议 2000 年版与 1991 年版的区别和主要改进如下：

1、适用范围

2000 年版：适用于称重传感器的型式评价，如果与整个称重系统一起进行检定，则认为称重传感器的首次检定和随后检定是不适宜的。

1991 年版：适用于称重传感器的型式评价，首次检定，随后检定或周期检定并规定在使用中检定时，最大允许误差为型式评价的两倍。

2、装有电子组件的称重传感器

2000 年版：首次纳入计量规程，定义为：采用电子组件的组件的称重传感器，该组件本身具有确认的功能。并规定在型式评价试验中除进行普通称重传感器的各项试验外，还应进行预热时间、

电源电压变化、短时电源电压降低、电快速瞬变、静电放电、电磁场辐射和量程稳定性 7 项附加试验。

1991 年版：无此规定。

3、称重传感器的族和组

2000 年版：首次引入族和组的概念。根据称重传感器所用材料、结构形式、测量技术方案及技术规格（额定输出、输入阻抗、电源电压等），将提交型式评价试验的称重传感器划分为族。一个称重传感器族中可以包含一个或多个称重传感器组。每个组中的称重传感器应具有相同的计量特性（如准确度等级、最大检定分度数、工作温度范围等）。

1991 年版：无此概念。

4、型式评价试验中试件的选取原则和方法

2000 年版：应使同一个称重传感器族中被测试称重传感器的数量最少，并具有足够的代表性。如果一个族中有一个以上的称重传感器被提交试验，则只有一个应进行湿度试验。对装有电子组件的称重传感器也只有一个进行附加试验。

1991 年版：没有明确规定。一般都选取一个称重传感器系列的首中尾三只进行试验。

5、最大允许误差的分配系数 P_{Lc}

2000 年版：引入了最大允许误差分配系数 P_{Lc} 的概念。在型式评价试验时，分配系数 P_{Lc} 由制造厂选择和指明， P_{Lc} 范围在 0.3~0.8 之间。如果制造厂未选择就认为 $P_{Lc}=0.7$ ，最大允许误差为 $P_{Lc} \times 0.5v$ 、 $P_{Lc} \times 1v$ 、 $P_{Lc} \times 1.5v$ 。

1991 年版：无分配系数，对应 R76-1 国际建议《非自动衡器计量规程》最大允许误差，规定称重传感器的最大允许误差为电子衡器实际检定分度值的 0.7 倍，即 0.35v、0.7v、1.05v。

6、最小和最大试验载荷

2000 年版：在力发生装置许可的情况下，最小试验载荷 D_{min} 应尽量接近并不小于最小静负荷 E_{min} ，最大试验载荷 D_{max} 应不小于最大秤量 E_{max} 的 90%，并且不大于最大秤量 E_{max} 。

1991 年版：在力发生装置许可的情况下，最小试验载荷 D_{min} 应尽量接近最小静负荷 E_{min} ，而最大试验载荷 D_{max} 没有明确规定。

7、加、卸载荷及读数稳定时间

2000 年版：对于规定的加载、卸载时间无法执行的情况，明确规定了按下面的方式进行：

(1) 在进行最小静负荷输出恢复试验时，如果允许变差按比例地从卸载后最小静负荷输出初次读数与加载前读数允许差值的 100%减少至 50%，则时间可以从规定时间的 100%增加到 150%。

(2) 在其它情况下，实际时间应记录在试验报告中。

上述试验时间应以绝对时间而不是相对时间记录在试验报告中。

1991 年版：根据负荷改变量规定了读数时间间隔。并规定加、卸载时间应当近似的为规定时间的一半，剩下的时间则用于稳定，未对使用绝对或相对时间作出规定。

8、湿度符号和湿度试验

2000 年版：规定四种湿度符号：NH、CH 或无湿度符号及 SH。分别表示：NH 为不必对其进行湿度试验；CH 或无湿度符号为应对其进行湿热循环试验，严酷度为温度 40℃，相对湿度 85%~96%，

12 个湿热循环周期；SH 为应对其进行湿热稳态试验。

1991 年版：只规定三种湿度符号：NH、CH 或无湿度符号。没有 SH 符号及相应的湿热稳态试验。

9、称重传感器在误差限内工作的温度范围

2000 年版：不计温度对最小静负荷输出的影响，在 $-10^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ 范围内称重传感器应在规定的误差限内工作。

1991 年版：不考虑温度对最小静负荷输出的影响，在下列温度范围内称重传感器能在规定的误差限内工作，即 A 级和 B 级： $10^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ ；C 级和 D 级： $-10^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ 。

三、GB/T7551—2008《称重传感器》国家标准的主要增补内容与特点

GB/T7551—2008《称重传感器》国家标准（以下简称新版国家标准），是等效采用 OIML R60 国际建议《称重传感器计量规程》2000 版，在 GB/T7551—1997《称重传感器》国家标准（以下简称前版国家标准）基础上较大幅度修改、增补而成。

新版国家标准改写了前版的应用范围，明确规定了测量质量用称重传感器的术语和定义、基本参数和分类、技术要求、试验方法、检定规则以及标志、包装、运输、储存；与称重传感器配套使用并显示质量的仪表，其技术要求由其它相关标准做出规定。强调了标准只适用于测量静态质量的称重传感器，使执行者（称重传感器生产厂家）看起来一目了然。

新版国家标准将 OIML R60 国际建议中的测量单位、测量标准分别写入第 4 章和第 8 章；将附录 A 试验程序改编成第 8 章“试验方法”；将附录 C、D 的内容合并为 B 试验结果计算方法，并在第 4、7、8 章增加了有关基本参数内容、浪涌和射频传导抗扰度试验、相关试验的参比大气条件和其它环境条件等，使执行者对标准内容的理解更加深刻，对各项试验方法和程序更加清楚。

为促进我国数字称重传感器的发展，便于我国称重传感器制造商申请 OIML 证书，在新版国家标准中增加了“第 6 章对带电子组件的称重传感器的要求”和“8.2.7 带电子组件的称重传感器的附加试验方法”。除通讯协议外对数字称重传感器的其它技术性和试验方法都做出明确规定，其中包括一般要求、耐用性、评判依据、功能要求、性能和稳定性试验、误差评定方法、附加试验程序等，使数字称重传感器的研究、设计、制造、应用有标准可寻。

尽管等效执行 OIML R60 国际建议的《称重传感器》国家标准，从 1998 年 5 月 1 日实施至今已有十多年时间，但仍有一些称重传感器生产企业尚不能完全从单项指标评定的传统思路中走出来，这对执行新版国家标准是较大的障碍，因此对新版国家标准必须加深理解，只有理解了才能消化、吸收。应从以下几方面理解新版国家标准才能彻底脱离 1987 年版的传统思路，进入新的质量评定概念和评定方法。

（1）质量评定概念

建立总误差带的质量评定概念，以分度数表示准确度分类，最大允许误差包括由非线性、滞后误差和温度对输出灵敏度的影响，未包括在上述误差限的其它误差将另行处理。型式评价试验的最大允许误差与分配系数 P_{LC} 有关，分配系数 P_{LC} 由制造厂选择和指明， P_{LC} 范围在 0.3~0.8 之间。如果制造厂未选择就认为 $P_{LC}=0.7$ ，最大允许误差为 $P_{LC}\times 0.5v$ 、 $P_{LC}\times 1v$ 、 $P_{LC}\times 1.5v$ 。

（2）准确度等级考核的主要质量指标

对于 C 级和 D 级称重传感器，准确度等级考核的主要质量指标共有 7 项：称重传感器误差（ E_L ）、

重复性误差 (E_R)、温度对最小静载荷输出的影响 (C_M)、称重传感器蠕变误差 (C_C)、最小静载荷输出恢复值 (C_{MDLOR})、称重传感器大气压力影响 (C_P) 和称重传感器湿度影响 (C_{Hmin})。其中称重传感器误差 (E_L)、重复性误差 (E_R)、温度对最小静载荷输出的影响 (C_M)，需要在 $20^\circ\text{C} \rightarrow 40^\circ\text{C} \rightarrow -10^\circ\text{C} \rightarrow 20^\circ\text{C}$ 三个温度下进行四次试验才能求得，所以必须配备能很容易安装在力标准机内的移动式高低温试验箱。

(3) 误差评定与误差包络线

所有偏差之和应处于总误差带之内，与 OIML R76《非自动秤检定规程》阶梯形允许误差带相对应。误差包络线以一条直线为基础，此直线是以 20°C 时载荷试验中的两个输出确定，一个是最小试验载荷输出，另一个是递增加载时取得的量程的 75% 载荷时称重传感器的输出。此参比直线更接近最小二乘法，比较科学合理。

(4) 试验载荷

试验载荷即测量范围限值。若载荷发生系统允许，最小试验载荷 D_{min} 应尽量接近最小静负荷 E_{min} ，但不能小于最小静负荷。最大试验载荷 D_{max} 的 90%，但不大于 E_{max} 。可理解为最大测量范围从最小静负荷 E_{min} 到最大称量 E_{max} ； $D_{min} \geq E_{min}$ ， $D_{max} = 90\% \sim 100\% E_{max}$ 。

(5) 蠕变与蠕变恢复

蠕变 (C_C)：以称重传感器最大称量的 90%~100% 作为恒定载荷施加于该称重传感器，其初次读数和其后 30min 里所得到的任何一个读数之差，应不超过所施载荷下最大允许误差绝对值的 0.7 倍。在 20min 时得到的读数和 30min 时得到的读数之间的差值，则应不超过该最大允许误差绝对值的 0.15 倍。

最小静载荷输出恢复值 (C_{MDLOR})：恢复到最小载荷后的初次读数，与施加了时间为 30min 和载荷为该称重传感器最大称量的 90%~100% 之前，同一载荷下的读数之差应不超过该称重传感器检定分度值的一半 (0.5v)。

(6) 试验和计算程序

新版国家标准为了高效的进行试验，严格的规定了试验程序，要求在全温度范围内进行载荷试验并按试验报告格式记录和计算试验结果。

四、称重传感器主要技术性能试验程序

1、称重传感器国家标准和检定规程规定的样机试验条件

(1) 环境条件

试验应在稳定的环境条件下完成，主要是环境温度的稳定性，要求在试验期间记录的最大温度差不超过被测称重传感器温度范围的 1/5，并且不大于 2°C 。

(2) 加载条件

为防止产生称重传感器非固有误差，应对加载条件予以特别注意，诸如表面粗糙度、平面度、腐蚀、划伤、不同心度等因素。载荷应沿着称重传感器的敏感轴方向加卸，并避免引起冲击。在力标准机许可的前提下，最小载荷要尽可能接近称重传感器的最小静负荷。

(3) 温度条件

提供足够的时间使称重传感器温度达到稳定，对于大型称重传感器达到温度稳定尤为重要。加

载系统的设计应保证在称重传感器内部不产生明显的温度梯度，称重传感器和与它相连的连结件（电缆等）应处于同一试验温度，测量指示仪表应与室温一致。在确定结果时，应考虑温度对附加连接件的影响。

（4）参考标准器

应当对标准器进行周期检定。

（5）指示仪表

有些指示仪表本身备有方便的自校验装置，当具有此功能时，应经常使用该功能进行检查，以保证指示仪表处于试验所要求的准确度内，指示仪表也应作周期检定。

2、称重传感器误差（ E_L ）、重复性误差（ E_R ）和温度对最小静载荷输出的影响（ C_M ）试验程序

（1）称重传感器误差（ E_L ）、重复性误差（ E_R ）和温度对最小静载荷输出的影响（ C_M ）试验的工艺装备

1) 力标准机

在进行称重传感器误差（ E_L ）、重复性误差（ E_R ）和温度对最小静载荷输出的影响（ C_M ）试验时，应备有大于被检测称重传感器额定量程 20% 载荷能力的力标准机，要求力标准机的准确度优于 3×10^{-4} ，最小加载能力为力标准机额定量程的 1%，叠加式力标准机的稳定度优于 $\pm 0.003\%$ 。

不论何种原理、何种结构的力标准机，其主体立柱之间应有较大的距离，以备放入高低温试验箱，进行即可施加高温、低温，同时又可逐级施加载荷的各种试验测试和实施灵敏度温度补偿。

2) 移动式高低温试验箱

为满足 JJG 669—2003《称重传感器》国家计量检定规程中规定的称重传感器各项性能测试，需要在 $20^\circ\text{C} \rightarrow 40^\circ\text{C} \rightarrow -10^\circ\text{C} \rightarrow 20^\circ\text{C}$ 三个温度下进行四次试验的要求，应配备能很容易安装在力标准机内的移动式高低温试验箱。

高低温试验箱应有较大的有效空间，以便进行灵敏度温度补偿时，可多装入几只称重传感器提高补偿效率。高低温试验箱上、下孔与通过该孔的加载、承载柱的密封不应影响所加载荷的准确度和稳定性。高低温试验箱的主要技术性能指标为：

- ①温度范围 $-20^\circ\text{C} \sim 90^\circ\text{C}$ ；
- ②湿度范围 $40 \sim 95\% \text{R. H}$ ；
- ③温度波动度 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ；
- ④湿度波动度 $\pm 2\% \text{R. H}$ ；
- ⑤温度均匀度 $\pm 1^\circ\text{C}$ ；
- ⑥湿度均匀度 $\pm 5\% \text{R. H}$ ；
- ⑦内壁材料及尺寸 不锈钢 $500 \times 500 \times 500 \text{mm}$
- ⑧控温仪表、制冷机性能，数字显示及设定功能等；
- ⑨具有超温、超压、压缩机过热、电源缺相等保护功能；
- ⑩箱体底部配有导轨或滚轮，以便推进、推出力标准机。

（2）称重传感器误差（ E_L ）、重复性误差（ E_R ）和温度对最小静载荷输出的影响（ C_M ）试验程序在进行称重传感器样机试验时，每项误差的确定实际上都是“独立”的单个试验，为了提高试

验检测效率，可以采取在给定的温度下，对称重传感器递增载荷、递减载荷并进行蠕变和最小静载荷输出恢复试验，之后再过渡到下一个温度。

称重传感器误差 (E_L)、重复性误差 (E_R) 和温度对最小静载荷输出的影响 (C_M) 的试验程序如下：

1) 检查试验条件

重点是检查试验装置，环境条件，加载条件，温度条件。

2) 装入称重传感器

将被检测称重传感器放入力标准机上，对中准确后加载到最小试验载荷 D_{min} ，在 20℃ 时保持载荷值稳定。

3) 施加预载荷

对称重传感器施加预载荷到最大试验载荷 D_{max} 三次，每次加载后恢复到最小试验载荷 D_{min} ，等待 5min。

4) 检查指示仪表

当指示仪表具有方便的自检功能时，应经常使用该功能进行检查，以保证指示仪表处于要求的准确度内。

5) 监视称重传感器输出

监视最小试验载荷输出，直到稳定。

6) 记录示值

在最小试验载荷下，记录指示仪表示值。

7) 试验载荷点

进程至少应有 5 个载荷点，其中必须有称重传感器最大允许误差相应台阶中与最高值接近的载荷点。在一个加载和卸载过程中，各载荷点加、卸载荷时间应相等。

8) 施加递增、递减载荷

施加递增、递减载荷共进行三次，每次都按规定的时间间隔记录指示仪表示值。将递增载荷三次试验各级试验载荷的示值和时间填入 JJG669—2003《称重传感器》国家计量检定规程中的表 D.1 中。

9) 不同温度下重复程序

按 40℃ → -10℃ → 终止 20℃ 顺序重复操作上述程序，并将各温度下三次递增载荷试验的各级示值和时间分别填入表 D.1 中。

10) 测试数据处理与确定误差

利用初始 20℃、40℃、-10℃ 和终止 20℃ 温度下试验结果的平均值和国家计量检定规程的表 D.1、D.2、D.3、D.4，根据各项误差计算公式计算确定称重传感器误差 (E_L)、重复性误差 (E_R) 和温度对最小静载荷输出的影响 (C_M)。

3、称重传感器蠕变误差 (C_C) 试验程序

(1) 称重传感器蠕变误差 (C_C) 试验的工艺装备

由于蠕变试验加载规定 1t~10t 称重传感器的载荷值必须在 30 秒内施加完毕；10t~100t 称重

传感器的载荷值必须在 50 秒内施加完毕，为此要求力标准机具有快速稳定加载的能力。例如静重式力标准机应具有快速加载机构，即将所要施加的全部砝码，预先吊挂在对准力标准机加载轴线的承力杠杆的一端，加载时只要松开杠杆的另一端，全部载荷可在 30 秒内施加在称重传感器上。目前只有极少数静重式力标准机有此项功能，大多数称重传感器的蠕变试验还只能在杠杆式或叠加式力标准机上进行，根本达不到规定的加载时间，因此只能将实际加载时间记录在试验报告中。

(2) 称重传感器蠕变误差 (C_c) 的试验程序

1) 检查试验条件

与称重传感器误差 (E_L)、重复性误差 (E_R) 和温度对最小静载荷输出的影响 (C_M) 的试验相同。

2) 安装称重传感器

将称重传感器放入力标准机中，准确对中后加载到最小试验载荷 D_{min} ，在 20℃ 下保持载荷值稳定。

3) 预载试验

对称重传感器施加预试验载荷到最大载荷 D_{max} 三次，每次加载后均恢复到最小试验载荷 D_{min} ，之后等待 1 小时。

4) 监视称重传感器输出

监视最小试验载荷输出，直到稳定，读取指示仪表示值。

5) 施加载荷

施加恒定的最大试验载荷 D_{max} 。

6) 记录示值

在所加最大试验载荷 D_{max} 稳定后，记录指示仪表初始示值。而后在 30min 时间内的等时间间隔继续周期的作记录，并保证在 20min 时读取到指示仪表示值。将最大试验载荷、各读数时间及其对应的仪表示值填入国家计量检定规程中备表 D.5 中。

7) 对不同温度重复程序

对于 C 级和 D 级的称重传感器，先在接近温度范围限的较高温度（如 40℃），然后在较低温度（如 -10℃），最后再回到 20℃ 重复上述程序。也将各读数时间及其对应的仪表示值填入国家计量检定规程表 D.5 中。

8) 确定蠕变误差

利用表 D.5 中的试验结果，根据蠕变误差计算程序计算 30min 蠕变误差 C_c 和 20~30min 的蠕变误差，并与规定的允许误差相比较。

蠕变试验加载规定 1t~10t 称重传感器的载荷值必须在 30 秒内施加完毕，10t~100t 称重传感器的载荷值必须在 50 秒内施加完毕，如果达不到规定的加载时间，将实际加载时间记录在试验报告中即可。

4、最小静载荷输出恢复值试验程序

根据最小静载荷输出恢复值定义，最小静载荷输出恢复值的试验程序如下：

(1) 检查试验条件

与称重传感器误差 (E_L)、重复性误差 (E_R) 和温度对最小静载荷输出的影响 (C_M) 的试验条件

相同。

(2) 装入称重传感器

将称重传感器装入力标准机中，准确对中后施加最小试验载荷 D_{min} ，使其在 20℃保持载荷稳定。

(3) 施加预载荷

对称重传感器施加预试验载荷到最大试验载荷 D_{max} 三次，每次加载后均恢复到最小试验载荷 D_{min} ，等待 1 小时。

(4) 检查指示仪表、记录示值

检查指示仪表，监视最小试验载荷 D_{min} 输出，直至稳定，记录最小试验载荷 D_{min} 下的示值，并将其填入表D.5中。

(5) 施加载荷

施加恒定的最大试验载荷 D_{max} 。在载荷完全加上和载荷保持 30min的时间里，按设定的时间间隔记录初始示值。

(6) 返回到最小试验载荷 D_{min} 。

记录卸载的初始时间和恢复到最小试验载荷 D_{min} 的时间，并将最小试验载荷 D_{min} 下的示值填入表D.5中。

(7) 在不同温度下重复程序

对于C级和D级称重传感器，先在高温 40℃，然后在低温-10℃，最后再回到 20℃重复上述程序，同样将最小试验载荷 D_{min} 下的示值填入表D.5中。

(8) 确定最小静载荷输出恢复值

从得到的数据，确定最小静载荷输出恢复值，并与规定的允许变化相比较。

5、称重传感器大气压力影响 (C_p) 试验程序

(1) 检查试验条件

主要是对试验装置、环境条件、温度条件、加载条件等进行检查。

(2) 安装称重传感器

在室温下，将未受载荷作用的称重传感器放入大气压力下的压力容器中，并与指示仪表相连接。

(3) 检查指示仪表

检查指示仪表是否处于试验要求的准确度范围内。

(4) 监视输出

监视称重传感器输出值，直至稳定，记录指示仪表示值，将压力 (KPa)、仪表示值和读数时间填入表 D.6 中。

(5) 改变大气压力

改变压力容器的压力，使气压比大气压力高或低大约 1KPa，待压力稳定后记录指示仪表示值，同样将压力 (KPa)、仪表示值和读数时间填入表 D.6 中。

(6) 确定大气压力影响误差

从表 D.6 中的试验示值，计算每个压力示值之差，除以转换系数即得到以 v 为单位的大气压力影响误差，并与规定的极限值比较。

6、称重传感器湿度影响试验程序

称重传感器湿度影响的标记有四种，即 NH、CH、无湿度符号、SH。

当称重传感器标有 NH 符号时，不必对其进行湿度试验。

当称重传感器标有 CH 符号或无湿度符号时，应对其进行湿热循环试验，其严酷度为 40℃ 和 12 个湿热循环周期。

当称重传感器标有 SH 符号时，应对其进行湿热稳态试验。

(1) 确定湿度对标记有 CH 或无湿度标记称重传感器的影响试验程序

1) 安装称重传感器

检查完试验条件后，将称重传感器置于力标准机中，加载到最小试验载荷 D_{min} ，在 20℃ 保持载荷值稳定。

2) 施加预载荷

对称重传感器施加预载荷到最大试验载荷 D_{max} 三次，每次加载后均返回到最小试验载荷 D_{min} 。

3) 监视输出值

检查指示仪表，监视最小试验载荷输出，直至稳定，记录仪表示值。

4) 施加载荷

对称重传感器施加最大试验载荷 D_{max} ，按规定时间间隔记录仪表示值。

5) 卸载

卸下试验载荷到最小试验载荷 D_{min} ，按规定的時間间隔记录仪表示值，将本程序和上两个程序的测量结果填入表 D. 7 中。

6) 湿热循环试验

根据 GB/T2423. 4—1993 交变湿热试验方法，GB/T2424. 2—1993 湿热试验导则进行湿热循环试验。

试验程序：由 12 个温度循环组成，每一个温度循环持续 24 小时。根据规定的循环相对湿度在 80%和 96%之间温度从 25℃ 到 40℃ 之间变化。

试验严酷度：40℃，12 个循环。

初始测量：根据上述试验程序进行。

调整称重传感器状态：将称重传感器放入湿热试验箱内，输出线留在箱外，给称重传感器断电，当降低温度时，应用 GB/T2423. 4—1993 国家标准的相关部分。

恢复状况和最后测量：从湿热试验箱中取出称重传感器，仔细擦掉表面湿气，让称重传感器在标准大气压下放置 1~2 小时，以便得到充分的温度稳定。重复上述试验程序，确保所施加的最小试验载荷和最大试验载荷与先前试验时相同，将测量结果填入表 D. 7 中。

7) 确定湿度引起的变化

①根据表 D. 7 中的试验示值，计算出湿热试验前、后最小试验载荷下的初始示值间的差，除以转换系数 f ，即为求得的以 v 为单位表示的湿度引起的变化 CH_{min} 。

②根据测量数据，计算出湿热试验前、后最小和最大试验载荷下的平均示值，对每次试验，均从最大试验载荷的平均示值中减去最小试验载荷下的平均示值，然后，计算出湿热试验前、后所得

结果的差，把此差值除以转换系数 f 即可求得以 v 为单位表示的湿度引起的变化 CH_{\max} 。

(2) 确定湿度对标记有 SH 符号的称重传感器的影响试验程序

1) 检查指示仪表

检查指示仪表是否在检定周期内，如具有自检功能时，应启动该功能进行检查，以保证仪表处于完成试验要求的准确度内。

2) 安装称重传感器

检查完试验条件后，将称重传感器置于力标准机中，加载到最小试验载荷 D_{\min} ，在 20°C 保持载荷值稳定。

3) 施加预载荷

对称重传感器施加预载荷到最大试验载荷 D_{\max} 三次，每次加载后均返回到最小试验载荷 D_{\min} 。

4) 监视输出示值

监视最小试验载荷输出，直至稳定，记录仪表示值。

5) 试验载荷点

在加载和卸载过程中所有的试验载荷点，应设置尽量相等的时间间隔，并尽可能按检定规程表 6 中规定的时间间隔读数。

6) 施加载荷

施加递增载荷，直到最大试验载荷 D_{\max} ，至少应有 5 个递增载荷点，其中应包括与最大允许误差相应台阶接近的最高载荷值。

7) 递减载荷

在与施加载荷时相同的载荷点，将载荷递减到最小试验载荷 D_{\min} 。

8) 进行湿热稳态试验

根据 GB/T2423.3—1993 恒定湿热试验方法进行湿热稳态试验。

试验程序：

按上述试验程序在下列三种条件下进行试验：

①在参考温度（ 20°C 或当 20°C 不在规定温度范围内，取温度范围的中间值）和 50%的相对湿度条件下进行试验。

②而后在称重传感器温度范围（ $-10^{\circ}\text{C}\sim+40^{\circ}\text{C}$ ）的较高温度和 85%的相对湿度条件下，保持温度、湿度稳定两天后进行试验。

③最后在参考温度和 50%的相对湿度条件下进行试验。

湿热稳态调节期间称重传感器的状态：将称重传感器放入湿热试验箱中，输出连接件留在箱外，给称重传感器通电，按 GB/T2423.3—1993、GB/T2424.2—1993 的规定进行。尽可能按检定规程表 6 中规定的时间间隔记录仪表的示值。

9) 确定湿度影响

从得到的数据，可以确定湿度引起的变化量，并与规定的极限相比较。

五、称重传感器各项误差的计算方法

1、称重传感器误差（ E_t ）

(1) 称重传感器的最大允许误差 (mpe)

每个准确度级别的最大允许误差,是在把最小静载荷 E_{min} 时的输出调整为零的条件下,与称重传感器规定的最大检定分度数(C级 500~10000, D级 100~1000)及实际检定分度值(v)有关。称重传感器的最大允许误差(mpe)如表1所示。

表1 称重传感器的最大允许误差 (mpe)

最大允许 误差 (mpe)	试验载荷 m			
	A 级	B 级	C 级	D 级
$P_{LC} \times 0.5v$	$0 \leq m \leq 50000v$	$0 \leq m \leq 5000v$	$0 \leq m \leq 500v$	$0 \leq m \leq 50v$
$P_{LC} \times 1.0v$	$50000v < m \leq 200000v$	$5000v < m \leq 20000v$	$500v < m \leq 2000v$	$50v < m \leq 200v$
$P_{LC} \times 1.5v$	$200000v < m$	$20000v < m \leq 100000v$	$2000v < m \leq 10000v$	$200v < m \leq 1000v$

表1中 P_{LC} 为分配系数,应由制造者选择,其值在0.3~0.8范围内,该 P_{LC} 值应在证书上标明,如果不标明则认为 P_{LC} 为0.7。 m 为试验载荷,其值为施加于称重传感器上的实际载荷 D 与称重传感器测量范围的最小载荷 D_{min} 之差。

上述误差限用阶梯形误差包络线表示,该误差包络线是以20℃时首次递增加载荷试验中,通过最小载荷输出和称重传感器测量范围75%的载荷输出的直线作为基准线。称重传感器在测量范围内,无论是递增载荷还是递减载荷,由非线性、滞后和灵敏度温度影响所引起的误差均不应超出上述误差带。

试验应在20℃→40℃→-10℃→20℃全温度范围进行,根据各温度下表D.1中的三次加载试验示值,计算出各载荷点三次试验示值的平均值填写在表D.1的最后一栏中。再将各温度下各载荷点的平均示值填写在表D.2中,以备计算称重传感器误差(E_L)。

(2) 称重传感器实际检定分度值 v

称重传感器实际检定分度值 v 按下式计算

$$v = \frac{D_{max} - D_{min}}{N_{max}} \quad (1)$$

式中: D_{max} —称重传感器测量范围的最大载荷 (kg);

D_{min} —称重传感器测量范围的最小载荷 (kg);

N_{max} —称重传感器测量范围能被分成的最大分度数。

(3) 称重传感器误差 (E_L) 的计算

1) 计算转换系数

根据初次20℃温度下的试验数据,按下式计算出每个 v 所含的指示单位数即转换系数 f (计算到五位有效数字),并将其记录在表D.2中。

$$f = \frac{K_{0.75} - K_{min}}{75\%N_{max}} \quad (2)$$

式中: $K_{0.75}$ —在对应于75% N_{max} 的试验载荷下的进程平均示值;

K_{min} —在 D_{min} 载荷下的进程平均示值。

如果在所施加的载荷级别中，没有对应于被检测称重传感器 $75\%N_{\max}$ 的试验载荷时，则该载荷下的示值 ($K_{0.75}$) 应在与该载荷相邻的上、下载荷级的示值间利用内插法算出。

2) 计算参比示值

按下式计算各级试验载荷的参比示值 R_i 并将其填写在表 D. 2 中。

$$R_i = \frac{D_i - D_{\min}}{v} \cdot f \quad (3)$$

式中：i—载荷级数；

R_i —第 i 级载荷下的参考示值；

D_i —第 i 级实际载荷值。

3) 计算称重传感器误差 (E_L)

按下式分别计算各温度下，以 v 表示的称重传感器误差 E_{Li} 并将其填写在表 D. 2 中。

$$E_{Li} = \frac{K_i - K_{\min} - R_i}{f} \quad (4)$$

式中： E_{Li} —第 i 级载荷下的称重传感器误差；

K_i —第 i 级载荷下的示值平均值。

按式 (4) 计算所得各温度 ($20^\circ\text{C} \rightarrow 40^\circ\text{C} \rightarrow -10^\circ\text{C} \rightarrow 20^\circ\text{C}$) 下、各级载荷的误差均不应超过表 1 中规定的称重传感器最大允许误差。

2、重复性误差 (E_R)

C级和D级称重传感器施加3次同一载荷所得测量结果之间的最大差值均应不大于该载荷的最大允许误差的绝对值。

计算出初始 20°C 、 40°C 、 -10°C 和终止 20°C 温度下，表 D. 1 中的每一载荷试验示值间的最大差值 $K_{i\max} - K_{i\min}$ 。其重复性误差 E_R 按下式计算：

$$E_{Ri} = \frac{K_{i\max} - K_{i\min}}{f} \quad (5)$$

式中： E_{Ri} —第 i 级载荷下的重复性误差；

$K_{i\max}$ —第 i 级载荷下三次试验所得示值的最大值；

$K_{i\min}$ —第 i 级载荷下三次试验所得示值的最小值。

将按式 (5) 计算的各温度下、各载荷点的以 v 表示的重复性误差值填入表 D. 3 中，其误差值不应超过该级载荷下称重传感器最大允许误差的绝对值。

3、温度对最小静载荷输出影响 (C_M)

在规定的温度范围 (C级和D级为 $-10^\circ\text{C} \sim +40^\circ\text{C}$) 内，当环境温度变化 5°C 时，称重传感器最小静载荷输出的变化总量，应不大于该称重传感器最小检定分度值 (v_{\min}) 的 0.7 倍。每两个温度间，温度对最小静载荷输出影响 C_M 按下式计算

$$C_M = \frac{K_{\min t_2} - K_{\min t_1}}{f} \quad (6)$$

式中： $K_{\min t_2}$ —第 2 个温度时，在 D_{\min} 载荷下的进程平均示值；

$K_{\min t_1}$ —第 1 个温度时，在 D_{\min} 载荷下的进程平均示值。

将初始 20℃、40℃、-10℃和终止 20℃时三次加载试验中，最小试验载荷下试验示值的平均值填入表 D. 4 中。

按式 (6) 分别计算出 $t_2=40^\circ\text{C}$ 、 $t_1=20^\circ\text{C}$ ， $t_2=20^\circ\text{C}$ 、 $t_1=-10^\circ\text{C}$ 和 $t_2=-10^\circ\text{C}$ 、 $t_1=40^\circ\text{C}$ 时以 v 表示的温度对最小静载荷输出影响 C_M ，并将其填写在表 D. 4 中。

以 $v_{\min}/5^\circ\text{C}$ 为单位的每两个温度间，温度对最小静载荷输出影响为

$$C_M / 5^\circ\text{C} = \frac{5(K_{\min t_2} - K_{\min t_1})}{f(t_2 - t_1)} \times \frac{v}{v_{\min}}$$

或

$$C_M / 5C^0 = \frac{C_M}{t_2 - t_1} \times 5 \times \frac{v}{v_{\min}} \quad (v_{\min} / 5C^0) \quad (7)$$

利用式 (6) 的计算结果，按式 7 分别计算出 $t_2=40^\circ\text{C}$ 、 $t_1=20^\circ\text{C}$ ， $t_2=20^\circ\text{C}$ 、 $t_1=-10^\circ\text{C}$ 和 $t_2=-10^\circ\text{C}$ 、 $t_1=40^\circ\text{C}$ 时以 $v_{\min}/5^\circ\text{C}$ 为单位的温度对最小静载荷输出影响，也将其填写在表 D. 4 中。

以上两个计算结果，均应不大于该称重传感器最小检定分度值 (v_{\min}) 的 0.7 倍。

4、蠕变 (C_c)

以称重传感器最大称量的 90%~100% 作为恒定载荷施加于该称重传感器，其初次读数和其后 30min 里所得到的任何一个读数之差，应不超过所施载荷下最大允许误差绝对值的 0.7 倍。在 20min 时得到的读数和 30min 时得到的读数之间的差值，则应不超过该最大允许误差绝对值的 0.15 倍。

将恒定最大试验载荷 D_{\max} 施加于称重传感器后，记录初始载荷时间，之后按一定时间间隔（例如 5、10、30 秒、1、2、5、10、15、20、30 分钟）读取试验示值，并连同读数时间一起填入表 D. 5 中。

30min 内以 v 表示的蠕变误差 C_c 为

$$C_c = \frac{K_{\max} - K_0}{f} \quad (8)$$

式中： K_{\max} —30min 内各试验示值中的最大值；

K_0 —载荷稳定后的初次示值。

C_c 不应超过所施载荷下最大允许误差绝对值的 0.7 倍。

20~30min 以 v 表示的蠕变误差为

$$C_{C(20-30)} = \frac{K_{30} - K_{20}}{f} \quad (9)$$

式中： K_{30} —30min 时的试验示值；

K_{20} —20min 时的试验示值。

$C_{C(20-30)}$ 不应超过该最大允许误差绝对值的 0.15 倍。

5、最小静载荷输出恢复值 (C_{MDLOR})

(1) 最小静载荷与最小静载荷输出恢复值的定义

最小静载荷 (E_{min}): 可以施加于称重传感器而不会超出最大允许误差的最小质量值。

最小静载荷输出恢复值: 载荷施加前后测得的最小静载荷下称重传感器输出之间的差值。

(2) 最小静载荷输出恢复值 (C_{MDLOR}) 的计算方法

恢复到最小载荷后的初次读数, 与施加了时间为 30min 和载荷为该称重传感器最大称量的 90%~100% 之前, 同一载荷下的读数之差应不超过该称重传感器检定分度值的一半 ($0.5v$)。最小静载荷输出恢复值 (C_{MDLOR}) 按下式计算

$$C_{MDLOR} = \frac{K_2 - K_1}{f} \quad (10)$$

式中: K_1 —蠕变试验前最小载荷下的试验示值;

K_2 —蠕变试验后最小载荷下的试验示值。

C_{MDLOR} 不应大于 $0.5v$ 。

6、称重传感器大气压力影响 (C_P)

当大气压力在 95kPa~105kPa 的范围内变化 1kPa 时, 称重传感器输出的变化总量应不大于该称重传感器的最小检定分度值 (v_{min})。如果有设计的充分理由, 说明称重传感器的性能不受大气压力变化的影响, 则可不进行大气压力影响试验。

根据记录在表 D.6 中的试验示值, 计算每个压力示值之差, 除以转换系数 f 即为以 v 为单位的大气压力影响 C_P , 其计算公式为

$$C_P = \frac{K_{P2} - K_{P1}}{f} \quad (11)$$

式中: K_{P2} —压力 P_2 下示值;

K_{P1} —压力 P_1 下示值;

f —转换系数。

7、称重传感器湿度影响

(1) 湿度对标记有 CH 或无湿度标记的称重传感器的影响

根据表 D.7 中记录的试验数据, 计算出湿热试验前、后最小试验载荷下的初始示值, 按下式计算以 v 为单位表示的变化

$$C_{Hmin} = \frac{K_{min2} - K_{min1}}{f} \quad (12)$$

式中: K_{min1} —湿度试验前的最小试验载荷示值;

K_{min2} —湿度试验后的最小试验载荷示值;

f —转换系数, 每检定分度值的示值单位数。

C_{Hmin} 必须不超过 $0.4n$ 。

根据测量数据, 计算出湿热试验前、后最小和最大试验载荷下的平均示值, 按下式计算以 v 为单位表示的变化

$$C_{H \max} = \frac{(K_{\max 2} - K_{\min 2}) - (K_{\max 1} - K_{\min 1})}{f} \quad (13)$$

式中： $K_{\max 1}$ —湿度试验前最大试验载荷下的示值；
 $K_{\min 1}$ —湿度试验前最小试验载荷下的示值；
 $K_{\max 2}$ —湿度试验后最大试验载荷下的示值；
 $K_{\min 2}$ —湿度试验后最小试验载荷下的示值；
 f —转换系数，每检定分度值的示值单位数。

$C_{H \max}$ 必须不超过 1v。

(2) 湿度对标记有 SH 的称重传感器的影响

用与称重传感器误差试验时相同的格式（表 D.1）填写初始 20℃、相对湿度 50%RH，高温 40℃、相对湿度 85%RH 和终止 20℃、相对湿度 50%RH 条件的载荷试验示值，并计算出各级载荷下的平均值填入表 D.2 中。按与称重传感器误差计算相类似的方法，计算出湿度对标记有 SH 的称重传感器的影响，并将计算结果填入表 D.8 中。

参考文献

1. OIML R60 国际建议《称重传感器计量规程》1991 年版和 1993 年英文版附录 A《称重传感器型式评定试验报告格式》。
2. OIML R60 国际建议《称重传感器计量规程》2000 年版。
3. GB/T7551—1997《称重传感器》国家标准, 国家质量监督检验检疫总局和国家标准化管理委员会 2008 年 6 月 30 日发布, 2009 年 1 月 1 日实施。
4. JJG669—2003《称重传感器》国家计量检定规程, 国家质量监督检验检疫总局 2003 年 5 月 12 日发布, 2003 年 11 月 12 日实施。

（作者通讯地址：北京市丰台区桃源里小区 11 号楼 2 单元 6 号，邮政编码：100076）