

# 称重传感器载荷试验数据处理及各项误差计算

中国运载火箭技术研究院第七零二研究所 刘九卿

**【摘要】**本文介绍了根据 GB/T7551—2008《称重传感器》国家标准和 JJG669—2003《称重传感器》国家计量检定规程附录 D（强制性的）试验报告要求，进行的称重传感器载荷试验、表格记录填写、检测数据处理及各项误差计算。

**【关键词】**称重传感器；国家标准；国家计量检定规程；载荷试验；数据处理；误差计算

## 一、概述

称重传感器每个准确度级别的最大允许误差（mpe），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 ( $E_L$ )。

## 二、称重传感器的载荷试验

由于称重传感器的载荷试验，需要在 20℃→40℃→-10℃→20℃三个温度下，进行四次即加温又加载试验才能完成，所以液压全自动叠加式力标准机或静重力标准机必须配有满足-10℃~40℃加温要求的高低温度试验箱。现以大型电子汽车衡用双剪切梁型称重传感器为例进行载荷试验。

称重传感器型号：YQ1-20t

编号：001

$E_{max}$ ：20000 kg

$n_{max}$ ：3000

$v_{max}$ ：6 kg

$P_{1c}$ ：0.7

力产生系统：50t 力标准机

指示仪表：2000 型

### 1. 加温加载试验

初始 20℃

表 D.1 载荷试验数据 (3 次)

试 验 载 荷 (kg)	第1次		第2次		第3次		平均 示值 ( )	重复性 误差 ( )
	示 值 ( )	时 间	示 值 ( )	时 间	示 值 ( )	时 间		
0	0	5'30	0	14'30	0	23'30	0	0
1000	9975	6'00	9976	15'00	9977	24'00	9976	2

2500	24976	6'30	24977	15'30	24978	24'30	24977	2
5000	49967	7'00	49966	16'00	49970	25'00	49968	4
10000	99985	7'30	99987	16'30	99988	25'30	99987	3
15000	150019	8'00	150019	17'00	150024	26'00	150021	5
20000	200030	8'30	200034	17'30	200034	26'30	200033	4
0							*9976	

注1: \* = 初始最小试验载荷平均示值。

注2: 应记录绝对时间 (而不是相对时间)。

### 高温 40°C

表 D.1 载荷试验数据 (3 次)

试验 载荷 (kg)	第1次		第2次		第3次		平均 示值 ( )	重复性 误差 ( V )
	示值 ( )	时间	示值 ( )	时间	示值 ( )	时间		
0	0	2'00	0	11'00	0	20'00	0	0
1000	9985	2'30	9987	11'30	9987	20'30	9986	2
2500	24991	3'00	24990	12'00	24989	21'00	24990	2
5000	49987	3'30	49985	12'30	49986	21'30	49986	2
10000	99994	4'00	99993	13'00	99995	22'00	99994	2
15000	150000	4'30	150002	13'30	150000	22'30	150001	2
20000	200007	5'00	200009	14'00	200010	23'00	200009	3
0							*9986	

注1: \* = 初始最小试验载荷平均示值。

注2: 应记录绝对时间 (而不是相对时间)。

## 低温-10℃

表 D.1 载荷试验数据 (3 次)

试 验 载 荷 (kg)	第1次		第2次		第3次		平均 示值 ( )	重复性 误差 ( V )
	示值 ( )	时间	示值 ( )	时间	示值 ( )	时间		
0	0	3'20	0	12'20	0	21'20	0	0
1000	9995	3'50	9996	12'50	9997	21'50	9996	2
2500	25001	4'20	25002	13'20	25000	22'20	25001	2
5000	50019	4'50	50019	13'50	50017	22'50	50018	2
10000	100041	5'20	100042	14'20	100043	23'20	100042	2
15000	150080	5'50	150079	14'50	150081	23'50	150080	2
20000	200094	6'20	200095	15'20	200096	24'20	200095	2
0							*9996	

注1: \* = 初始最小试验载荷平均示值。

注2: 应记录绝对时间 (而不是相对时间)。

## 4. 终止 20℃

表 D.1 载荷试验数据 (3 次)

试 验 载 荷 (kg)	第1次		第2次		第3次		平均 示值 ( )	重复性 误差 ( )
	示值 ( )	时间	示值 ( )	时间	示值 ( )	时间		
0	0	8'15	0	17'15	0	27'15	0	0
1000	9991	8'45	9992	17'45	9992	27'45	9992	1
2500	24993	9'15	24993	18'15	24994	28'15	24993	1
5000	49996	9'45	49995	18'45	49994	28'45	49995	2

10000	99995	10'15	99996	19'15	99997	29'15	99996	2
15000	150024	10'45	150024	19'45	150026	29'45	150025	2
20000	200036	11'15	200037	20'15	200039	30'15	200037	3
0							*9992	

注1: \* = 初始最小试验载荷平均示值。

注2: 应记录绝对时间 (而不是相对时间)。

### 三、称重传感器各项误差计算

#### 1. 称重传感器误差 ( $E_L$ ) 计算

称重传感器实际检定分度值  $v$ :

$$v = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{N_{\max}} = \frac{19000 - 1000}{3000} = 6kg$$

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。

75%载荷值及分度值:

$$D_{\min} + (D_{\max} - D_{\min}) \cdot 75\% = 1000 + (19000 - 1000) \cdot 75\% = 14500kg$$

$$n_{\max} \cdot 75\% = 3000 \cdot 75\% = 2250$$

75%载荷值 (2250 分度) 对应的示值:

由初始 20°C 试验平均示值计算出 15000kg ---- 150021

10000kg ---- 99987

5000kg ---- 50034

500kg ---- 5003.4

则 14500kg 示值  $K_{0.75} = 150021 - 5003.4 = 145017.6$

转换系数 f:

转换系数 f 是与称重传感器一个检定分度值 v 对应的示值单位数, 或者说是表明每一个检定分度值 v 中有多少个示值单位, 其作用是将所有的“示值单位”转换为“v”。

根据初始 20°C 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。

$$f = \frac{K_{0.75} - K_{\min}}{75\%N_{\max}} = \frac{145017.6 - 9976}{2250} = 60.01849$$

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。

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。

$$R_i = \frac{D_i - D_{\min}}{D_{\max} - D_{\min}} \cdot n \cdot f$$

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。

载荷 1000kg 的参比示值为:

$$R_{1000} = K_{\min} = 9976 \text{ kg}$$

其它载荷级别的参比示值 (kg) 为:

$$R_i = K_i + K_{\min}$$

$$\begin{aligned} R_{2500} &= \frac{D_i - D_{\min}}{D_{\max} - D_{\min}} \cdot n \cdot f \\ &= \frac{2500 - 1000}{19000 - 1000} \times 3000 \times 60.01849 = 15005 \end{aligned}$$

$$15005 + 9976 = 24981$$

$$R_{5000} = \frac{5000 - 1000}{19000 - 1000} \times 3000 \times 60.01849 = 40012$$

$$40012 + 9976 = 49988$$

$$R_{10000} = \frac{10000 - 1000}{19000 - 1000} \times 3000 \times 60.01849 = 90028$$

$$90028 + 9976 = 100004$$

$$R_{15000} = \frac{15000 - 1000}{19000 - 1000} \times 3000 \times 60.01849 = 140043$$

$$140043 + 9976 = 150019$$

$$R_{20000} = \frac{20000 - 1000}{19000 - 1000} \times 3000 \times 60.01849 = 190059$$

$$190059 + 9976 = 200035$$

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。

$$E_{Li} = \frac{K_i - K_{\min} - R_i}{f}$$

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。

$$E_{L2500} = \frac{24977 - 9976 - 15005}{60.01849} = -0.07 < 0.35$$

$$E_{L5000} = \frac{49968 - 9976 - 40012}{60.01849} = -0.33 < 0.7$$

$$E_{L10000} = \frac{99987 - 9976 - 90028}{60.01849} = -0.28 < 0.7$$

$$E_{L15000} = \frac{150021 - 9976 - 140043}{60.01849} = 0.03 < 1.05$$

$$E_{L20000} = \frac{200033 - 9976 - 190059}{60.01849} = -0.03 < 1.05$$

填写称重传感器误差计算表 D.2 如下:

$n_{\max}$ : 3000

转换系数  $f$ : 60.01849

$v_{\max}$ : 6 kg

75%试验载荷 (kg): 14500

$P_{1c}$ : 0.7

在75%的试验载荷时参考示值: 145017.6

表 D.2 称重传感器误差 ( $E_L$ ) 计算

试验 载荷 (kg)	参比 示值 ( )	20°C		40°C		-10°C		20°C		mpe (v)
		示值 ( )	误差 ( $E_L$ ) (v)							
0	0	0		0		0		0	0	
1000	9976	9976	0	9986	0.33	9996	0.17	9992	0.27	0.35
2500	24981	24977	-0.07	24990	0.33	25001	0.15	24993	0.20	0.35
5000	49988	49968	-0.33	49986	0.50	50018	-0.03	49995	0.12	0.70
10000	100004	99987	-0.28	99994	0.63	100042	-0.17	99996	-0.13	0.70

15000	150019	150021	0.03	150001	1.02	150080	-0.30	150025	0.10	1.05
20000	200035	200033	-0.03	200009	1.00	200095	-0.43	200037	0.03	1.05

注1：载荷/参比示值：如果未测得75%载荷点，在邻近的较高和较低载荷点示值之间内插直线（见5.2.2和B.1.2计算方法）。

注2：误差， $E_L$ ：试验示值与参比示值之差除以转换系数 $f$ 。

注3：试验载荷值是指大于最小试验载荷 $D_{min}$ 的值。

## 2. 重复性误差( $E_R$ )计算

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  $K_{imax}-K_{imin}$ 。其重复性误差  $E_R$  按下式计算：

$$E_{Ri} = \frac{K_{imax} - K_{imin}}{f}$$

式中  $E_{Ri}$ —第  $i$  级载荷下的重复性误差；

$K_{imax}$ —第  $i$  级载荷下三次试验所得示值的最大值；

$K_{imin}$ —第  $i$  级载荷下三次试验所得示值的最小值。

以初始 20°C 试验为例，计算如下：

$$E_{R1000} = \frac{9977 - 9975}{60.01849} = 0.03 < 0.35v$$

$$E_{R2500} = \frac{24979 - 24975}{60.01849} = 0.06 < 0.35v$$

$$E_{R5000} = \frac{49970 - 49966}{60.01849} = 0.06 < 0.70v$$

$$E_{R10000} = \frac{99988 - 99985}{60.01849} = 0.05 < 0.70v$$

$$E_{R15000} = \frac{150024 - 150019}{60.01849} = 0.08 < 1.05v$$

$$E_{R20000} = \frac{200034 - 200030}{60.01849} = 0.06 < 1.05v$$

表 D.3 重复性误差 (E<sub>R</sub>) 计算

试验 载荷 (kg)	20℃		40℃		-10℃		20℃		mpe (v)
	重 复 性 误 差								
	( )	(v)							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1000	2	0.03	2	0.03	2	0.03	1	0.02	0.35
2500	2	0.03	2	0.03	2	0.03	1	0.02	0.35
5000	4	0.06	2	0.03	2	0.03	2	0.03	0.70
10000	3	0.05	2	0.03	2	0.03	2	0.03	0.70
15000	5	0.08	2	0.03	2	0.03	2	0.03	1.05
20000	4	0.06	3	0.05	2	0.03	3	0.05	1.05

注：误差E<sub>R</sub>：三次试验示值之间的最大差值除以转换系数f（C级、D级），  
或五次试验示值之间的最大差值除以转换系数f（A级、B级）。

### 3. 温度对最小静载荷输出影响(C<sub>M</sub>)计算

在规定的温度范围（C级和D级为-10℃~+40℃）内，当环境温度变化5℃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<sub>min</sub>）的0.7倍。每两个温度间，温度对最小静载荷输出影响C<sub>M</sub>按下式计算

$$C_M = \frac{K_{\min t2} - K_{\min t1}}{f}$$

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°C、40°C、-10°C 和终止 20°C 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。

$$T_1=20^{\circ}\text{C} \quad T_2=40^{\circ}\text{C}$$

$$C_M = \frac{9986 - 9976}{60.01849} = 0.17$$

$$T_1=40^{\circ}\text{C} \quad T_2=-10^{\circ}\text{C}$$

$$C_M = \frac{9996 - 9986}{60.01849} = 0.17$$

$$T_1=-10^{\circ}\text{C} \quad T_2=20^{\circ}\text{C}$$

$$C_M = \frac{9992 - 9996}{60.01849} = -0.07$$

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

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

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

利用以上计算结果，分别计算出  $t_2=40^{\circ}\text{C}$ 、 $t_1=20^{\circ}\text{C}$ ， $t_2=-10^{\circ}\text{C}$ 、 $t_1=40^{\circ}\text{C}$  和  $t_2=20^{\circ}\text{C}$ 、 $t_1=-10^{\circ}\text{C}$  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。

$V_{\min}=2\text{kg}$ ，则

$$C_M / 5^{\circ}\text{C} = \frac{0.17}{40 - 20} \times 5 \times \frac{6}{2} = 0.13$$

$$C_M / 5^{\circ}\text{C} = \frac{0.17}{-10 - 40} \times 5 \times \frac{6}{2} = -0.05$$

$$C_M / 5^{\circ}\text{C} = \frac{-0.07}{20 - (-10)} \times 5 \times \frac{6}{2} = -0.03$$

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。

表 B.6 温度对最小静负荷输出影响 ( $C_M$ ) 计算

温度 °C	示值 ( )	变化 (v)	变化 ( $v_{min}/\underline{5}^{\circ}C$ )	mpc ( $v_{min}/\underline{5}^{\circ}C$ )
40	9986	0.17	0.13	0.7
-10	9996	0.17	-0.05	0.7
20	9992	-0.07	-0.03	0.7

#### 4. 蠕变 ( $C_c$ ) 计算

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。

表 D.5 蠕变 ( $C_c$ ) 和最小静负荷输出恢复 ( $C_{DR}$ )

试验 载荷 kg	示值 ( )	大气压力	时间	变化量 (v)	最大允许 变化量 (v)
0	-18		0		
20000	200037		0	0	0.735
20000	200039		5"	0.03	0.735
20000	200039		10"	0	0.735
20000	200040		30"	0.015	0.735
20000	200042		1'	0.03	0.735
20000	200044		2'	0.03	0.735
20000	200046		5'	0.03	0.735
20000	200048		10'	0.03	0.735
20000	200051		15'	0.045	0.735
20000	200051		20'	0	0.735
20000	200054		30'	0.03	0.735
0	-6				

表 D.5 蠕变 (C<sub>c</sub>) 和最小静负荷输出恢复 (C<sub>DR</sub>)

称重 传感器 预加载荷	试验 载荷 (g, kg, t)	示值 ( )	大气 压力	时间	变化 (v)	mpe (v)	
	0						
加载 顺序如图 4所示时, 这几行可 省略	0						
	0						
(*) →	0	18					←初始“无载荷” 示值
填入时间 →	记录初始加载时间 →			2'20"			
	20000	200037	0		0	0.735	
	20000	200039	10'		0.033	0.735	←初始“载荷”示值
	20000	200040	30'		0.050	0.735	
	20000	200046	5'		0.150	0.735	
恒定最 大试验载 荷, D <sub>max</sub>	20000	200048	10'		0.183	0.735	
	20000	200051	20'		0.233	0.735	
	20000	200054	30'		0.283	0.735	
	0	6	35'30"		0.2	0.5	
填入时间 →	记录初始卸载时间 →			1'50"			
(***) →	0	-6					←初始示值
	0						

这几行仅供参考	0					
	0					
	0					
	0					
	30 - 20min 蠕变差: 3				0.05	0.1575

注1: 蠕变变化 (v) : 观测示值减去初始“载荷”示值(\*\*)除以转换系数 f。

注2: 确定20min时的读数与30min时的读数之差。

注3: DR的变化 (v) : 初始示值(\*\*\*)减去初始“无载荷”示值(\*)除以转换系数 f。

注4: 应记录绝对时间(而不是相对时间)。

30min 内以 v 表示的蠕变误差  $C_c$  为:

$$C_c = \frac{K_{\max} - K_0}{f}$$

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。

$$C_c = \frac{K_{\max} - K_0}{f} = \frac{200054 - 200037}{60.01849} = 0.283 \quad (v)$$

$C_c$  不应超过所施载荷下最大允许误差绝对值的 0.7 倍, 即  $1.05 \times 0.7 = 0.735v$

20~30min 以 v 表示的蠕变误差为:

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

式中  $K_{30}$ —30min 时的试验示值;

$K_{20}$ —20min 时的试验示值。

$$C_{C(20-30)} = \frac{K_{30} - K_{20}}{f} = \frac{200054 - 200051}{60.01849} = 0.05 \quad (v)$$

$C_{C(20-30)}$  不应超过该最大允许误差绝对值的 0.15 倍。即  $1.05 \times 0.15 = 0.1575$

(5) 最小静负荷输出恢复 ( $C_{DR}$ ) 计算

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。

最小静载荷输出恢复值 ( $C_{MDLOR}$ ) 的计算:

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

$$C_{MDLOR} = \frac{K_1 - K_2}{f}$$

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。

$$C_{MDLOR} = \frac{K_1 - K_2}{f} = \frac{-6 - (-18)}{60.01849} = 0.2 \quad (v)$$

$C_{MDLOR}$  不应大于 0.5v。

#### 参考文献

【1】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。

【2】GB/T 7551—2008《称重传感器》国家标准。