

汽车加载制动检验台检定不确定度评定

叶仁根 贾莹莹

襄阳达安汽车检测中心有限公司, 湖北 襄阳 441004

[摘要] 汽车加载制动检验台(以下简称加载制动台)用于多轴及并装轴的车辆车轮制动性能和轴(轮)重的检验。JJG 1160-2019《汽车加载制动检验台》检定规程于2019年发布实施。文中的基本内容是根据检定规程描述的检定方法对加载制动的制动力进行详细的不确定度评定,以满足其检定需求。

[关键词] 加载制动;制动力;不确定度评定

DOI: 10.33142/ec.v6i1.7696

中图分类号: TM9;TM4

文献标识码: A

Evaluation of Uncertainty in Verification of Automobile Loading Brake Test Bench

YE Rengen, JIA Yingying

Xiangyang Da'an Automobile Test Center Co., Ltd., Xiangyang, Hubei, 441004, China

Abstract: The vehicle loading brake test bench (hereinafter referred to as the loading brake bench) is used to test the wheel braking performance and axle (wheel) weight of multi-axle and multi-axle vehicles. The verification regulation of JJG 1160-2019 Vehicle Loading and Braking Test Bench was released and implemented in 2019. The basic content of this paper is to evaluate the uncertainty of the braking force of the loaded brake in detail according to the verification method described in the verification regulation to meet its verification requirements.

Keywords: loading braking; braking force; evaluation of uncertainty

汽车加载制动检验台(以下简称加载制动台)用于多轴及并装轴的车辆车轮制动性能和轴(轮)重的检验。其原理是通过台体举升装置将台体举升至副滚筒上母线离地100mm(或轴荷达到11500kg时),由于车身形变造成被检轴轴重增加,分别对被检轴的轴(轮)重和制动力(即机动车制动时,车轮对旋转的测力滚筒表面产生反向切向力)进行加载检验,通过称重传感器和测力传感器转变为电信号,由显示装置显示结果。评定制动力检定的测量不确定度,对加载制动台检定的准确可靠有重要意义。

1 评定依据文件

JJG 1160-2019《汽车加载制动检验台检定规程》

JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》

2 检定所需标准仪器、设备和最大允许误差/准确度等级

表1 检定所需标准仪器、设备和最大允许误差/准确度等级

标准仪器、设备	最大允许误差/准确度等级
砝码	M1级
标准力臂	最大允许误差: ±0.3%
水平仪	最大允许误差: ±0.1°
钢卷尺	最大允许误差: ±1mm
游标卡尺	最大允许误差: ±0.02mm
标准测力仪	0.3级

3 检定程序

3.1 检定环境条件

检定时环境温度:(-10~40)℃,相对湿度:≤85%RH。

3.2 制动力示值误差检定:

断开滚筒驱动电机的电源,按制动台使用说明书,将专用测力杠杆固定在加载制动台滚筒或滚筒等效位置上,用钢卷尺和游标卡尺分别测量专用测力杠杆的等效力臂长度及主滚筒直径,确定杠杆比 η 。杠杆安装完毕,加载至满量程的50%左右,用水平尺调整专用测力杠杆处于水平状态,卸载至满量程的2%~5%左右。测力仪(或砝码)按检定点逐级加载,读取各检定点对应的制动台示值 f_i ,重复测量3次。按下列公式计算第*i*检定点制动力的示值误差。

$$\delta_F = \frac{\bar{f}_i - 2m \times g \times L/D}{2m \times g \times L/D} \times 100\% \quad (1)$$

式中: δ_F —第*i*检定点制动力示值误差, %;

f_i —第*i*检定点加载制动台3次示值的平均值, N;

L ——检定专用力臂的长度, m。

D ——滚筒直径, mm;

m ——加载标准质量, kg;

g ——当地的重力加速度, m/s²;

4 制动力检定结果不确定度评定

4.1 测量方法

用上述3.2规定的测量方法所述。

4.2 检定模型

$$\delta_F = \frac{\bar{f}_i - 2m \times g \times L/D}{2m \times g \times L/D} \times 100\% = \frac{\bar{f}_i}{2m \times g \times L/D} - 1 \quad (2)$$

式中： δ_F —第*i* 检定点制动力示值误差，%；
 f_i —第*i* 检定点加载制动检验台 3 次示值的平均值，N；
 L ——检定专用力臂的长度，m。
 D ——滚筒直径，mm；
 m ——加载标准质量，kg；
 g ——当地的重力加速度，m/s²；

4.3 方差

因为各输入量彼此独立，依不确定度传播定律：

$$(u_c(y)/y)^2 = \sum_{i=1}^n [C_i u(x_i)/x_i]^2 \quad (3)$$

4.4 灵敏系数

$$C_{f_i} = 1; C_m = -1; C_g = -1; C_L = -1; C_D = 1$$

4.5 测量不确定度来源

制动力示值误差测量不确定度的来源主要包括：

被校加载制动台制动力测量重复性引入的不确定度分量 u_1 ，采用 A 类方法评估；

加载制动台制动力数显量化误差引入的标准不确定度 u_2 ，采用 B 类方法评估；

标准砝码质量误差引入的标准不确定度 $u(F)$ ，采用 B 类方法评估；

重力加速度舍入误差引入的标准不确定度 $u(g)$ ，采用 B 类方法评估；

检定杠杆力臂长度精度引入的标准不确定度 $u_1(L)$ ，采用 B 类方法评估；

检定杠杆与水平线夹角引入的标准不确定度 $u_2(L)$ ，采用 B 类方法评估。

钢卷尺测量检定杠杆长度引入的标准不确定度 $u_3(L)$ ，采用 B 类方法评估。

加载制动台滚筒直径测量引入的标准不确定度 $u(D)$ ，采用 B 类方法评估。

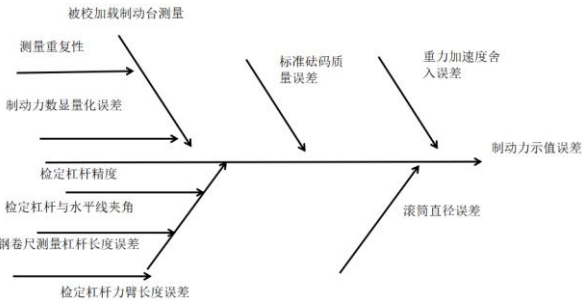


图 1 测量不确定度来源

4.6 标准不确定度评估

4.6.1 由被校加载制动台制动力测量引入的标准不确定度 $u(f_i)$

由被校加载制动台制动力测量重复性引入的标准不

确定度分量 u_1

以制动力上限值为 5000daN、滚筒直径 240mm、加载杠杆力臂长度 1837mm 为例，选取加载砝码 50kg、100kg、150kg、200kg、250kg、300kg 六个检定点，每个检定点分别进行 10 次独立、等精度测量，每次分别测量加载杠杆力臂长度和滚筒直径，测量结果如表 1 所示。

表 1 加载制动台制动力测量数据

检定 点 (kg)	分量	测量值									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
50	D (mm)	1836.5	1836.0	1836.5	1837.0	1836.5	1836.0	1837.0	1836.5	1836.0	1837.0
	L (mm)	240.10	240.14	240.08	240.04	240.04	240.08	240.14	240.12	240.06	240.12
	f_i (daN)	753	759	756	758	753	755	753	752	757	752
	δ_F (%)	0.455	1.300	0.846	1.069	0.430	0.741	0.444	0.330	0.999	0.302
100	D (mm)	1836.5	1836.0	1836.5	1837.0	1836.5	1836.0	1837.0	1836.5	1836.0	1837.0
	L (mm)	240.10	240.14	240.08	240.04	240.04	240.08	240.14	240.12	240.06	240.12
	f_i (daN)	1506	1508	1510	1511	1508	1506	1508	1509	1511	1512
	δ_F (%)	0.455	0.632	0.713	0.736	0.563	0.474	0.577	0.663	0.799	0.836
150	D (mm)	1836.5	1836.0	1836.5	1837.0	1836.5	1836.0	1837.0	1836.5	1836.0	1837.0
	L (mm)	240.10	240.14	240.08	240.04	240.04	240.08	240.14	240.12	240.06	240.12
	f_i (daN)	2258	2262	2264	2261	2266	2268	2265	2264	2260	2259
	δ_F (%)	0.410	0.632	0.669	0.491	0.741	0.874	0.711	0.685	0.510	0.436
200	D (mm)	1836.5	1836.0	1836.5	1837.0	1836.5	1836.0	1837.0	1836.5	1836.0	1837.0
	L (mm)	240.10	240.14	240.08	240.04	240.04	240.08	240.14	240.12	240.06	240.12
	f_i (daN)	3012	3016	3018	3020	3013	3014	3016	3022	3018	3012
	δ_F (%)	0.455	0.632	0.646	0.669	0.463	0.540	0.577	0.797	0.665	0.436
250	D (mm)	1836.5	1836.0	1836.5	1837.0	1836.5	1836.0	1837.0	1836.5	1836.0	1837.0
	L (mm)	240.10	240.14	240.08	240.04	240.04	240.08	240.14	240.12	240.06	240.12
	f_i (daN)	3764	3766	3772	3759	3763	3764	3762	3771	3769	3764
	δ_F (%)	0.428	0.525	0.633	0.242	0.376	0.447	0.364	0.623	0.572	0.409
300	D (mm)	1836.5	1836.0	1836.5	1837.0	1836.5	1836.0	1837.0	1836.5	1836.0	1837.0
	L (mm)	240.10	240.14	240.08	240.04	240.04	240.08	240.14	240.12	240.06	240.12
	f_i (daN)	4511	4516	4508	4512	4513	4516	4506	4509	4512	4518
	δ_F (%)	0.299	0.454	0.224	0.269	0.318	0.429	0.177	0.263	0.332	0.436

用贝塞尔公式计算各检定点的试验标准差：

$$S(\delta_F) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (\delta_{Fi} - \bar{\delta}_F)^2}{9}} \quad (\text{其中 } n=10) \quad (4)$$

在实际测量中,在重复条件下测量3次,以3次测量结果的算术平均值为测量结果,其标准不确定度分量为:

$u_1 = \frac{S(\delta_F)}{\sqrt{3}}$ 各检定点示值误差的A类标准不确定度值见表2。

表2 各检定点示值误差的A类标准不确定度值

检定点 (daN)	750	1500	2250	3000	3750	4500
$S(\delta_F)$ (%)	0.350	0.129	0.149	0.116	0.125	0.094
u_{1r} (%)	0.202	0.074	0.086	0.067	0.072	0.054

由被校加载制动台制动力数显量化误差引入的标准不确定度分量 u_2 。

制动力显示仪表的分辨力为:1daN,其量化误差以等概率分布在半宽为0.5daN的区间内,取包含因子 $k = \sqrt{3}$,其引入的标准不确定度为:

$$u_2 = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.29 \text{ daN} \quad (5)$$

在各检定点的相对误差值见表3。

表3 各检定点的数显量化误差引入标准不确定度值

检定点 (daN)	750	1500	2250	3000	3750	4500
u_{2r} (%)	0.067	0.033	0.022	0.017	0.013	0.011

由重复性引入的不确定度分量大于由分辨力引入的不确定度分量,因此可以不考虑制动力值数显量化误差引入的不确定度。

由被校加载制动台重复测量引入的标准不确定度 $u_r(\bar{f}_i)$: $u_r(\bar{f}_i) = u_{1r}$ 。

4.6.2 标准砝码质量误差引入的标准不确定度 $u(m)$

查询50kg砝码M1等级,证书结果提供的质量允差为 $\pm 2.5g$ 。

砝码的最大允差服从均匀分布,由此引入的标准不确定度分量为:

$$u(m) = MPEV / \sqrt{3} \quad (6)$$

$MPEV$ —— 砝码最大允许误差, kg。

各检定点的A类标准不确定度值见表4。

表4 各检定点的加载标准砝码质量误差标准不确定度值

检定点 (daN)	750	1500	2250	3000	3750	4500
加载砝码质量 (kg)	50	100	150	200	250	300
MPEV (kg)	0.0025	0.0050	0.0075	0.010	0.0125	0.015
$u(m)$ (kg)	0.00144	0.00288	0.00432	0.00576	0.00720	0.00864
$u_r(m)$ (%)	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003

4.6.3 重力加速度舍入误差引入的标准不确定度 $u(g)$

g 的舍入误差服从均匀分布,由此引入的标准不确定

度分量: $u(g) = 0.005m/s^2 / \sqrt{3} = 2.89 \times 10^{-3} m/s^2$ 。

相对标定不确定度分量: $u_r(g) = u(g) / g = 0.030\%$

4.6.4 检定力臂长度误差引入的标准不确定度 $u(L)$

检定力臂杠杆长度精度引入的标准不确定度 $u_1(L)$

查检定力臂的检定证书,其最大允许误差为 $\pm 0.3\%$ 。

服从均匀分布,由此引入的相对标准不确定度分量为:

$$u_{1r}(L) = 0.3\% / \sqrt{3} = 0.173\% \quad (7)$$

检定力臂与水平线夹角引入的标准不确定度 $u_2(L)$

检定时,测力力臂上放置水平仪以确保水平。水平仪分度为 $\pm 0.1^\circ$,服从均匀分布,由此引入的相对标准不确定度分量为:

$$u_{2r}(L) = 1 - \cos\left(\frac{0.1}{\sqrt{3}} \times \frac{\pi}{180}\right) = 0.0001\% \quad (8)$$

4.6.5 钢卷尺测量检定杠杆长度引入的标准不确定度 $u_3(L)$

查询3m钢卷尺证书,证书提供的长度允差为 $\pm 1mm$ 。服从均匀分布,由此引入的标准不确定度分量为:

$$u_3(L) = 1mm / \sqrt{3} = 0.589mm \quad (9)$$

相对标定不确定度分量: $u_{3r}(L) = u_3(L) / L = 0.032\%$

检定力臂长度误差引入的标准不确定度 $u(L)$

$$u_r(L) = \sqrt{u_{1r}^2(L) + u_{2r}^2(L) + u_{3r}^2(L)} = 0.176\% \quad (10)$$

4.6.6 加载制动台滚筒直径测量引入的标准不确定度 $u(D)$

滚筒直径使用游标卡尺测量,查询游标卡尺证书,证书提供的长度允差 $\pm 0.02mm$,服从均匀分布,由此引入的标准不确定度分量为: $u(D) = 0.02mm / \sqrt{3} = 0.0115mm$

相对标定不确定度分量: $u_r(D) = u(D) / D = 0.048\%$

4.7 合成标准不确定度:

根据数学模型:

$$\delta_F = \frac{\bar{f}_i}{2m \times g \times LD} - 1 \quad (11)$$

以上分析的各不确定度分量之间没有显示出很强的相关性,可以假设相关系数为零。在计算合成标准不确定度时,按照不确定度理论,在 x_i 彼此独立的条件下,如果函数 f 的表现形式为:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) = ax_1^{C_1} x_2^{C_2} \dots x_n^{C_n} \quad (12)$$

式中 a 为常数, C_1, C_2, \dots, C_n 可以是正数、负数、分数,则相对合成标准不确定度可表示为:

$$(u_c(y)/y)^2 = \sum_{i=1}^n [C_i u(x_i)/x_i]^2 \quad (13)$$

评定以 $\delta_F = \frac{\bar{f}_i}{2m \times g \times LD} - 1$ 为数学模型,也就是 C_i

为1或-1,由此导出相对合成标准不确定度:

$$u_{cr}(\delta_F) = \sqrt{u_r^2(\bar{f}_i) + u_r^2(m) + u_r^2(g) + u_r^2(L) + u_r^2(D)} \quad (14)$$

显然计算相对合成标准不确定度更为简便,将各影响

因素引起的不确定度转化成相对标准不确定度,再计算相对合成标准不确定度,得到表5:

表5 各检定点不确定度来源及相对标准不确定度汇总表

不确定度来源	加载制动台制动力 (daN)					
	750	1500	2250	3000	3750	4500
被校加载制动台测量	0.202%	0.074%	0.086%	0.067%	0.072%	0.054%
标准砝码质量误差	0.003%	0.003%	0.003%	0.003%	0.003%	0.003%
重力加速度舍入误差	0.030%	0.030%	0.030%	0.030%	0.030%	0.030%
检定杠杆力臂长度误差	0.176%	0.176%	0.176%	0.176%	0.176%	0.176%
滚筒直径误差	0.048%	0.048%	0.048%	0.048%	0.048%	0.048%
$u_{cr}(\delta_F)$	0.28%	0.21%	0.21%	0.20%	0.20%	0.20%

取各检定点中相对合成标准不确定度的最大值作为制动力检定的相对合成标准不确定度: $u_{cr}(\delta_F)=0.28\%$ 。

4.8 扩展不确定度评估:

按置信因子 $k=2$, 则扩展不确定度为: $U_i=2 \times 0.28\%=0.56\%$ 。

5 结束语

JJG1160-2019《汽车加载制动台》检定规程的发布,

满足了加载制动台的检定需求,对其加载制动力的检定结果的不确定度评定,使其检定结果更加完善,有很重要的意义。

[参考文献]

- [1]高德成,江涛,戴映云,等.汽车加载制动台计量检定规程:JJG1160-2019[S].北京:全国法制计量管理计量技术委员会,2019:1-2.
 - [2]罗发贵,林峰,绍建文,等.滚筒式反力制动台计量检定规程:JJG906-2015[S].北京:全国法制计量管理计量技术委员会,2015:2-3.
 - [3]陈红,陈伟昕.国家计量检定规程编写规则:JJF1002-2010[S].北京:中国标准出版社,2010:2-3.
 - [4]熊庆哲,李鸿仪.反力式制动试验台加载能力与检验结果真实性的分析[J].汽车技术,1995(4):34.
 - [5]叶德培,赵峰,施昌彦,原遵东,沙定国,周桃庚,陈红.测量不确定度评定与表示:JJF1059-2012[S].北京:中国标准出版社,2012:3-4.
- 作者简介:叶仁根(1986.9-),男,江苏大学,测控技术与仪器,襄阳达安汽车检测中心有限公司,主管工程师,高级工程师;贾莹莹(1977.10-),女,湖北汽车工业学院,工厂企业电气自动化,襄阳达安汽车检测中心有限公司,主管工程师,高级工程师。