

滚筒反力式制动检验台 计量比对总结报告

组织单位：全国法制计量管理计量技术委员会

主导实验室：浙江省计量科学研究院

目 录

1. 概况
 2. 比对实施进程介绍
 3. 参比实验室及现场比对时间
 4. 比对技术方案
 - 4.1 比对的依据
 - 4.2 比对前的准备工作
 - 4.3 比对样品的传递方式
 - 4.4 各参比实验室所用的仪器设备
 - 4.5 汇集整理数据
 - 4.6 参考值的确定和比对结果的评定
 5. 比对结果
 - 5.1 按照全部参比实验室进行评定
 - 5.2 按照各花瓣内参比实验室进行评定
 6. 结论
 - 6.1 存在的问题
 - 6.2 建议
- 附件：
- 1、 比对结果图示
 - 2、 主导实验室的不确定度评定
 - 3、 制动检验台检定时操作方法对检定结果的影响

1. 概况

本次比对由国家质检总局下达任务，全国法制计量管理计量技术委员会立项、组织《机动车检测线在用计量器具量值比对》，确定对“滚筒反力式制动检验台”进行计量检定能力的比对。

滚筒反力式制动检验台（以下简称制动台）用于检验机动车的制动性能，测量车轮阻滞力、左、右车轮制动力增长全过程的数值及左、右车轮最大制动力，是机动车安全技术检验机构必备、重要的检验设备，对机动车安全技术性能的检验起着关键作用。根据《中华人民共和国道路交通安全法实施条例》规定，质量技术监督部门负责对机动车安全技术检验设备进行检定。目前全国各省计量院（所）均已开展制动台的检定工作，为了客观、公正、科学地反映全国各省计量院（所）对轮重仪及制动台检定的现状，以及检定人员使用标准装置的准确性及操作技能的正确性，考察并提高检定人员技术水平，了解各实验室的设备状况和真实测量能力，确保检定结果的统一、准确和可靠，经国家质量监督检验检疫总局批准全国法制计量管理计量技术委员会安排，于2010年4月12日~4月19日组织全国各省计量院（所）进行“制动台”计量检定能力的比对，比对实验室安排在浙江江兴汽车检测设备有限公司，全国30家计量院（所）按照比对方案的要求按时完成现场的比对工作并及时把比对报告和不确定度分析汇总到比对的组织方，整个比对工作井然有序。

此次比对的专家组成员由高朝楷、鲍国华、李庆忠3位老师组成，专家组在整个比对过程中，给予了技术上的大力帮助和指导，保证比对工作顺利开展。浙江江兴汽车检测设备有限公司无偿提供了比对的场地和比对样品，为比对工作提供了必要的物质保障。

2. 比对实施进度介绍

本次比对的实施进度安排如下：

表1. 进度安排表

序号	时间	进度
1	2009年9月~2010年3月	主导实验室负责比对样品的选型、定值及重复性、稳定性考核；召开首次会议，确定比对方案等前期准备工作。
2	2010年4月12日~ 2010年4月19日	各参比实验室赴实验室现场进行比对。

3	2010年5月	主导实验室负责汇总比对结果、处理数据。
4	2010年7月~8月	主导实验室编写比对报告初稿，征求各参比实验室的意见。
5	2010年11月	主导实验室负责组织所有参比实验室召开比对末次会议，确定比对结果最终报告。

3. 参比实验室及现场比对时间

本次比对范围是全国省级（自治区、直辖市）计量院（所）的实验室，共有30家，全部参加了此次比对。

表2. 参比实验及比对时间表

序号	比对实验室	现场比对时间
1	浙江省计量科学研究院	2010年4月12日
2	黑龙江省计量科学研究院	
3	吉林省计量科学研究院	
4	辽宁省计量科学研究院	
5	北京市计量检测科学研究院	2010年4月13日
6	海南省计量测试院	
7	山西省计量监督检定测试所	
8	浙江省计量科学研究院（闭环）	2010年4月14日
9	内蒙古自治区计量测试研究院	
10	新疆计量测试研究院	
11	河北省计量监督检测院	
12	甘肃省计量研究院	
13	青海省机动车辆检测设备计量站	
14	宁夏计量测试院	2010年4月15日
15	陕西省计量科学研究院	
16	河南省计量科学研究院	
17	湖北省计量测试技术研究院	
18	浙江省计量科学研究院（闭环）	
19	湖南省计量检测研究院	2010年4月16日
20	安徽省计量科学研究院	

21	山东省计量科学研究院	2010年4月17日
22	上海市计量测试技术研究院	
23	江西省计量测试研究院	
24	福建省计量科学技术研究所	
25	广东省计量科学研究院	
26	云南省计量测试技术研究院	
27	浙江省计量科学研究院（闭环）	2010年4月18日
28	广西计量检测研究院	
29	贵州省计量测试院	
30	重庆市计量质量检测研究院	
31	天津市计量监督检测科学研究院	2010年4月19日
32	中国测试技术研究院	
33	江苏省计量科学研究院	
34	浙江省计量科学研究院（闭环）	

4. 比对技术方案

4.1 比对的依据

- JJG 906-2009 《滚筒反力式制动检验台》
 JJF 1117-2004 《测量仪器比对规范》
 JJF 1059-1999 《测量不确定度评定与表示》
 JJF 1069-2007 《法定计量检定机构考核规范》

4.2 比对的准备

4.2.1 比对实施方案

主导实验室根据比对工作的要求，编写了“2010年度全国省级（自治区、直辖市）计量院（所）“滚筒反力式制动检验台计量检定能力比对工作实施方案”，征求了各方面的意见和建议。2009年12月16日在杭州组织召开了比对首次工作会议，规定了主导实验室和参比实验室的任务、职责和要求，确定了比对日程安排和具体实施方案等，经参比实验室和专家组认真讨论后定稿。

4.2.2 比对样品的选择

浙江江兴汽车检测设备有限公司生产的 FZ-100 型制动台作为比对样品，制动台配备测力臂，杠杆比为 10: 1。经过半年的稳定性和重复性考核确定编号为 504 的制动台为比对样品，编号为 503 的制动台为备样。稳定性和重复性数据见下表：

表3. 比对样品稳定性、重复性数据表（编号：503）

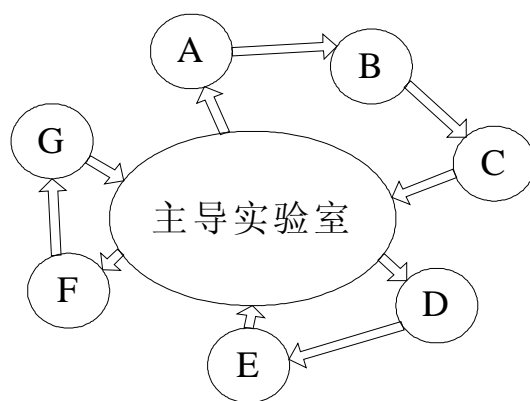
标准值 (daN)	2009.12.9	2010.1.21	2010.2.25	2010.4.17	稳定性 $\delta_{\max} - \delta_{\min}$ (%)	单次测量 标准差 S_{\max} (daN)
	13℃, 80%RH	9℃, 78% RH	23℃, 62% RH	27℃, 98% RH		
	δ_1 (%)	δ_2 (%)	δ_3 (%)	δ_4 (%)		
750	1.51	0.71	0.67	1.53	0.86	1.58
1500	1.40	0.43	0.37	1.34	1.03	1.66
2250	1.07	0.02	-0.02	1.04	1.09	1.83
3000	0.86	-0.25	-0.29	0.82	1.15	2.07

表4. 比对样品稳定性、重复性数据表（编号：504）

标准值 (daN)	2009.12.9	2010.1.21	2010.2.25	2010.4.11	稳定性 $\delta_{\max} - \delta_{\min}$ (%)	单次测量 标准差 s_{\max} (daN)
	13℃, 80%RH	9℃, 78% RH	23℃, 62% RH	27℃, 98% RH		
	δ_1 (%)	δ_2 (%)	δ_3 (%)	δ_4 (%)		
750	2.35	2.39	1.71	1.70	0.69	0.76
1500	2.01	2.10	1.65	1.66	0.45	1.48
2250	1.66	1.82	1.35	1.36	0.47	1.58
3000	1.36	1.62	1.18	1.18	0.44	1.55

4.3 比对样品的传递方式

本次比对采用花瓣式传递试验的方式，各参比实验室携带正常开展检定工作的标准器和辅助设备（除制动台测力臂外）到指定地点进行比对。比对方式的采取花瓣式，花瓣式由若干个小的环式所组成，每个环的参比实验室数量不大于 8 个，在按环式进行比对后，主导实验室对对比样品进行复校。由此，可在比对过程中验证对比样品示值的变化情况。如下图 1：



4.4 各参比实验室的所用仪器设备

表5. 各参比实验室所提供的仪器设备检定证书汇总表

序号	实验室代码	设备名称	测量范围	不确定度或准确度等级或最大允许误差	生产单位
1	A1	电子测力仪	(0-30)kN	0.3级	中原电测仪器厂
2	A2	测力计	(0-3)kN	U=0.28% k=2	梅特勒-托利多(常山)称重设备有限公司
3	B1	标准测力仪	(0-10)kN	0.3级	梅特勒-托利多(常山)称重设备有限公司
4	B2	拉力传感器	(0-3)kN	0.3级	梅特勒-托利多有限公司
5	B3	数字测力仪	(0-3)kN	0.3级	长春春风传感器厂
6	B4	标准测力仪	(0-20)kN	0.3级	吉林孝修计量科技有限公司
7	C1	标准测力仪	(0-5)kN	0.3级	长春春风传感器厂
8	C2	标准测力仪	(0-49)kN	0.3级	广州电测仪器厂
9	C3	标准测力仪	(0-10)kN	0.3%, k=2	捷力新宇
10	C4	数显测力仪	(0-10) kN	0.3级	西安帅奇
11	D1	标准测力仪	(0-20) kN	0.3级	JEDEA
12	D2	数显测力仪	(0-3) kN	1级	常熟市汽车保修设备有限公司
13	D3	标准测力仪	(0-10) kN	0.3级	莆田鸿飞传感器公司
14	D4	力学传感器及显示仪	(0-3) kN	0.3级	上海西派埃佳动仪表工程有限责任公司
15	E1	标准测力仪	(0-5) kN	0.3级	莆田市鸿飞传感器有限公司
16	E2	标准测力仪	(0-5) kN	0.3级	莆田市鸿飞传感器有限公司

17	E3	测力仪	(0-10) kN	0.3级	长春市春风传感器厂
18	E4	应变式标准测力仪	(0-5) kN	0.3级	陕西汉中
19	F1	标准测力仪	(0-10) kN	0.3级	梅特勒
20	F2	标准测力仪	(0-5) kN	0.3级	梅特勒-托利多(常山)称重设备有限公司
21	F3	制动力测量仪	(0-5) kN	0.3级	中国计量院
22	F4	多通道测力仪	(0-10) kN	0.3级	自制
23	G1	标准测力仪	(0-10) kN	0.1级	江苏联能
24	G2	标准测力仪	(0-10) kN	0.3级	METTLER TOLE00
25	G3	标准测力仪	(0.5-5) kN	0.3级	莆田鸿飞传感器有限公司
26	G4	标准测力仪	(0-5) kN	0.3级	广州电测仪器厂
27	H1	标准测力仪	(0-10) kN	0.3级	杭州钱江电器设备厂
28	H2	测力仪	(1-10) kN	0.3级	托利多
29	H3	测力仪	(0-20) kN	0.3级	中国测试技术研究院
30	H4	数显测力仪	(0-5) kN	0.3级	长春孝修计量科技有限公司

4.5 汇集整理数据

参比实验室在比对实验现场提交下述文件：

(1) 计量标准考核证书复印件、计量标准装置有效溯源性文件复印件和检定员证复印件；

(2) 比对实验原始记录原件

参比实验室在现场比对实验结束后15个工作日内提交下述文件：

(1) 不确定度分析报告及电子版

(2) 单位盖章的比对结果报告

主导实验室汇集各单位的报告,处理数据,评判各参比实验室比对结果的满意度。比对样品测量结果满意度的判定根据 En值方法。

4.6 参考值的确定和比对结果的评价

本次比对采用花瓣式传递试验的方式，每个环的参比实验室数量不大于 8 个，主导实验室对比对样品共进行了 5 次比对实验（包括 4 次闭环实

验)，实验数据如下：

表 6. 主导实验室比对数据表

标准值 (daN)	4月 12日	4月 13日	4月 15日	4月 17日	4月 19日	稳定性 $\delta_{\max} - \delta_{\min}$ (%)	1500daN 单次测量 标准差 S_{\max} (daN)
	15℃, 87 %RH	13℃, 50% RH	10℃, 65% RH	24℃, 25% RH	16℃, 84% RH		
	δ_1 (%)	δ_2 (%)	δ_3 (%)	δ_4 (%)	δ_5 (%)		
750	1.64	1.82	1.87	1.87	1.82	0.23	/
1500	1.69	1.78	1.67	1.67	1.67	0.11	1.0
2250	1.44	1.63	1.33	1.42	1.44	0.30	/
3000	1.24	1.51	1.17	1.27	1.27	0.34	/

由上表数据可见，样品的稳定性很好，本次比对参考值也可采用全部参比实验室量值的加权平均确定参考值。

4.6.1 参考值的确定

参考值采用全部参加比对实验室量值的加权平均确定参考值，计算公式如下：

$$Y_{ri} = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{Y_{ji}}{u_{ji}^2}}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{u_{ji}^2}} \quad (1)$$

式中： Y_{ji} ——第 j 个实验室上报的在第 i 个测量点上的测量结果；

Y_{ri} ——第 i 个测量点的加权算术平均值，即该测量点的参考值；

u_{ji} ——第 j 个实验室宣称的在第 i 个测量点上测量结果的标准不确定度；

n ——参加比对的实验室数量。

参考值的不确定度计算公式如下：

$$u_{ri} = \sqrt{\frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{u_{ji}^2}}} \quad (2)$$

4.6.2 比对结果的评价

比对结果的有效性用 E_n 值进行评价， E_n 值的计算公式如下：

$$E_n = \frac{Y_{ji} - Y_{ri}}{k\sqrt{u_{jk}^2 + u_{ri}^2 + u_{ei}^2}} \quad (3)$$

式中： k ——覆盖因子，一般情况 k=2；

u_{ri} ——第 i 个测量点上参考值的标准不确定度；

u_{ei} ——第 j 个实验室在第 i 个测量点上测量结果的标准不确定度；

u_{jk} ——比对样品在第 i 个测量点上在比对期间的不稳定性。

比对结果一致性的评判原则：

$|E_n| \leq 1$ 参加实验室的测量结果与参考值之差在合理的预期之内，比对结果可接受。

$|E_n| > 1$ 参加实验室的测量结果与参考值之差没有达到合理的预期，应分析原因。

5. 比对结果

参比实验室按比对实施方案的要求，使用各自的标准器对比对样品进行检定，并对检定点为1500daN测量结果评定不确定度。根据参考值的确定和比对结果的评价方法，主导实验室通过汇总各参比实验室的数据从而评判各参比实验室的测量结果的满意度。

5.1 按照全部参比实验室进行评价（图示见附录1）

根据公式（1）计算参考值如下：

$$Y_{ri} = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{Y_{ji}}{u_{ji}^2}}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{u_{ji}^2}} = 1.68 \%$$

根据公式（2）计算参考值的不确定度如下：

$$u_{ri} = \sqrt{\frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{u_{ji}^2}}} = 0.2 \%$$

u_{jk} 值的计算如下：

u_{jk} 为比对样品在 1500daN 测量点上在比对期间的不稳定性，根据表 5 主导实验室比对期间的数据， $\delta_{\max} - \delta_{\min} = 0.11\%$ ，按照正态分布计算如下：

$$u_{jk} = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{3} = 0.04\%$$

表7.大闭环测量结果及结果评价（检定点：1500daN）

实验室代码	测量平均值 (daN)	示值误差 (%)	扩展不确定度	标准不确定度 (%)	En	结果判定
A1	1518	1.2	$U_{rel}=1.35\%$ $k=2.14$	0.64	-0.3	满意
A2	1525	1.7	$U_{rel}=0.79\%$ $k=2.01$	0.40	0.2	满意
B1	1525	1.7	$U_{rel}=1.2\%$ $k=2$	0.60	0.2	满意
B2	1517	1.13	$U_{rel}=0.6\%$ $k=1.96$	0.31	-0.7	满意
B3	1522	1.5	$U_{rel}=0.8\%$ $k=2$	0.40	-0.1	满意
B4	1518.3	1.22	$U_{rel}=0.84\%$ $k=2$	0.42	-0.4	满意
C1	1519	1.3	$U_{rel}=0.5\%$ $k=2.04$	0.25	-0.5	满意
C2	1519	1.3	$U_{rel}=1.1\%$ $k=2$	0.55	-0.2	满意
C3	1519.3	1.3	$U_{rel}=1.8\%$ $k=2$	0.90	-0.1	满意
C4	1524.3	1.6	$U_{rel}=1.27\%$ $k=2.23$	0.57	0.0	满意
D1	1515	1	$U_{rel}=1.11\%$ $k=2.02$	0.55	-0.5	满意
D2	1517	1.1	$U_{rel}=0.9\%$ $k=2$	0.45	-0.5	满意
D3	1524.3	1.6	$U_{rel}=0.69\%$ $k=1.984$	0.35	0.0	满意
D4	1528.33	1.89	$U_{rel}=0.39\%$ $k=2.06$	0.19	0.8	满意
E1	1519.7	1.31	$U_{rel}=0.73\%$ $k=2$	0.37	-0.3	满意
E2	1522	1.5	$U_{rel}=1.9\%$ $k=2$	0.95	0.0	满意
E3	1520.7	1.4	$U_{rel}=0.4\%$ $k=2$	0.20	-0.4	满意
E4	1525	1.7	$U_{rel}=1.1\%$ $k=2$	0.55	0.1	满意
F1	1529	1.9	$U_{rel}=0.4\%$ $k=2$	0.20	0.8	满意
F2	1525	1.7	$U_{rel}=0.48\%$ $k=2.26$	0.22	0.3	满意
F3	1513	0.9	$U_{rel}=1.2\%$ $k=2$	0.60	-0.5	满意
F4	1521.3	1.4	$U_{rel}=0.4\%$ $k=2$	0.20	-0.4	满意
G1	1520	1.3	$U_{rel}=0.6\%$ $k=2$	0.30	-0.4	满意
G2	1525	1.7	$U_{rel}=2.28\%$ $k=2$	1.14	0.1	满意
G3	1535	2.3	$U_{rel}=0.76\%$ $k=2$	0.38	0.9	满意
G4	1528	1.9	$U_{rel}=0.9\%$ $k=2$	0.45	0.4	满意

H1	1525	1.7	$U_{rel}=1.63\%$ $k=2$	0.82	0.1	满意
H2	1526	1.7	$U_{rel}=1.1\%$ $k=2$	0.55	0.1	满意
H3	1529	1.9	$U_{rel}=1.1\%$ $k=2.06$	0.54	0.3	满意
H4	1526.3	1.75	$U_{rel}=1.2\%$ $k=2$	0.6	0.2	满意
B1(闭环)	1525	1.7	$U_{rel}=1.2\%$ $k=2$	0.6	0.1	满意

5.2 按照各花瓣内参比实验室进行评价（图示见附录1）

5.2.1 BC闭环花瓣参比实验室测量结果及结果评价（检定点：1500daN）

根据公式（1）计算参考值如下：

$$Y_{ri} = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{Y_{ji}}{u_{ji}^2}}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{u_{ji}^2}} = 1.35\%$$

根据公式（2）计算参考值的不确定度如下：

$$u_{ri} = \sqrt{\frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{u_{ji}^2}}} = 0.14\%$$

u_{jk} 值的计算：

u_{jk} 为比对样品在 1500daN 测量点上在比对期间的不稳定性，根据表 5 主导实验室比对期间的数据， $\delta_{max} - \delta_{min} = 0.11\%$ ，按照正态分布计算如下：

$$u_{jk} = \frac{d_{max} - d_{min}}{3} = 0.04\%$$

表8.BC闭环测量结果及结果评价（检定点：1500daN）

实验室代码	测量平均值 (daN)	示值误差 (%)	扩展不确定度	标准不确定度 (%)	En	结果判定
B1	1525	1.7	$U_{rel}=1.2\%$ $k=2$	0.60	0.3	满意
B2	1517	1.13	$U_{rel}=0.6\%$ $k=1.96$	0.31	-0.3	满意
B3	1522	1.5	$U_{rel}=0.8\%$ $k=2$	0.40	0.2	满意
B4	1518.3	1.22	$U_{rel}=0.84\%$ $k=2$	0.42	-0.1	满意
C1	1519	1.3	$U_{rel}=0.5\%$ $k=2.04$	0.25	-0.1	满意

C2	1519	1.3	$U_{rel}=1.1\% k=2$	0.55	0.0	满意
C3	1519.3	1.3	$U_{rel}=1.8\% k=2$	0.90	0.0	满意
C4	1524.3	1.6	$U_{rel}=1.27\% k=2.23$	0.57	0.2	满意
B1(BC 闭环)	1527	1.8	$U_{rel}=1.2\% k=2$	0.6	0.4	满意

5.2.2 DE闭环花瓣参比实验室测量结果及结果评价（检定点：1500daN）

根据公式（1）计算参考值如下：

$$Y_{ri} = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{Y_{ji}}{u_{ji}^2}}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{u_{ji}^2}} = 1.57\%$$

根据公式（2）计算参考值的不确定度如下：

$$u_{ri} = \sqrt{\frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{u_{ji}^2}}} = 0.11\%$$

u_{jk} 值的计算：

u_{jk} 为比对样品在 1500daN 测量点上在比对期间的不稳定性，根据表 5 主导实验室比对期间的数据， $\delta_{max} - \delta_{min} = 0.11\%$ ，按照正态分布计算如下：

$$u_{jk} = \frac{d_{max} - d_{min}}{3} = 0.04\%$$

表9.DE闭环测量结果及结果评价（检定点：1500daN）

实验室代码	测量平均值 (daN)	示值误差 (%)	扩展不确定度	标准不确定度 (%)	En	结果判定
B1(BC 闭环)	1527	1.8	$U_{rel}=1.2\% k=2$	0.6	0.2	满意
D1	1515	1	$U_{rel}=1.11\% k=2.02$	0.55	-0.5	满意
D2	1517	1.1	$U_{rel}=0.9\% k=2$	0.45	-0.5	满意
D3	1524.3	1.6	$U_{rel}=0.69\% k=1.984$	0.35	0.0	满意
D4	1528.33	1.89	$U_{rel}=0.39\% k=2.06$	0.19	0.7	满意
E1	1519.7	1.31	$U_{rel}=0.73\% k=2$	0.37	-0.3	满意

E2	1522	1.5	$U_{rel}=1.9\% k=2$	0.95	0.0	满意
E3	1520.7	1.4	$U_{rel}=0.4\% k=2$	0.20	-0.4	满意
E4	1525	1.7	$U_{rel}=1.1\% k=2$	0.55	0.1	满意
B1(DE 闭环)	1525	1.7	$U_{rel}=1.2\% k=2$	0.6	0.1	满意

5.2.3 FG闭环花瓣参比实验室测量结果及结果评价（检定点：1500daN）

根据公式（1）计算参考值如下：

$$Y_{ri} = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{Y_{ji}}{u_{ji}^2}}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{u_{ji}^2}} = 1.54\%$$

根据公式（2）计算参考值的不确定度如下：

$$u_{ri} = \sqrt{\frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{u_{ji}^2}}} = 0.10\%$$

u_{jk} 值的计算：

u_{jk} 为比对样品在 1500daN 测量点上在比对期间的不稳定性，根据表 5 主导实验室比对期间的数据， $\delta_{max} - \delta_{min} = 0.11\%$ ，按照正态分布计算如下：

$$u_{jk} = \frac{d_{max} - d_{min}}{3} = 0.04\%$$

表10.FG闭环测量结果及结果评价（检定点：1500daN）

实验室代码	测量平均值 (daN)	示值误差 (%)	扩展不确定度	标准不确定度 (%)	En	结果判定
B1(DE 闭环)	1525	1.7	$U_{rel}=1.2\% k=2$	0.6	0.0	满意
F1	1529	1.9	$U_{rel}=0.4\% k=2$	0.20	0.5	满意
F2	1525	1.7	$U_{rel}=0.48\% k=2.26$	0.22	0.1	满意
F3	1513	0.9	$U_{rel}=1.2\% k=2$	0.60	-0.6	满意
F4	1521.3	0.9	$U_{rel}=0.4\% k=2$	0.20	-0.6	满意
G1	1520	1.3	$U_{rel}=0.6\% k=2$	0.30	-0.6	满意
G2	1525	1.7	$U_{rel}=2.28\% k=2$	1.14	0.0	满意

G3	1535	2.3	$U_{rel}=0.76\%$ $k=2$	0.38	0.8	满意
G4	1528	1.9	$U_{rel}=0.9\%$ $k=2$	0.45	0.2	满意
B1(FG 闭环)	1525	1.7	$U_{rel}=1.2\%$ $k=2$	0.6	0.0	满意

5.2.4 HA闭环花瓣参比实验室测量结果及结果评价（检定点：1500daN）

根据公式（1）计算参考值如下：

$$Y_{ri} = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{Y_{ji}}{u_{ji}^2}}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{u_{ji}^2}} = 1.68\%$$

根据公式（2）计算参考值的不确定度如下：

$$u_{ri} = \sqrt{\frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{u_{ji}^2}}} = 0.20\%$$

u_{jk} 值的计算：

u_{jk} 为比对样品在 1500daN 测量点上在比对期间的不稳定性，根据表 5 主导实验室比对期间的数据， $\delta_{max} - \delta_{min} = 0.11\%$ ，按照正态分布计算如下：

$$u_{jk} = \frac{d_{max} - d_{min}}{3} = 0.04\%$$

表11.HA闭环测量结果及结果评价（检定点：1500daN）

实验室代码	测量平均值 (daN)	示值误差 (%)	扩展不确定度	标准不确定度 (%)	En	结果判定
B1(FG 闭环)	1525	1.7	$U_{rel}=1.2\%$ $k=2$	0.6	0.0	满意
H1	1525	1.7	$U_{rel}=1.63\%$ $k=2$	0.82	0.0	满意
H2	1526	1.7	$U_{rel}=1.1\%$ $k=2$	0.55	0.0	满意
H3	1529	1.9	$U_{rel}=1.1\%$ $k=2.06$	0.54	0.2	满意
H4	1526.3	1.75	$U_{rel}=1.2\%$ $k=2$	0.6	0.0	满意
A1	1518	1.2	$U_{rel}=1.35\%$ $k=2.14$	0.64	-0.4	满意
A2	1525	1.7	$U_{rel}=0.79\%$ $k=2.01$	0.40	0.0	满意
B1(HA 闭环)	1525	1.7	$U_{rel}=1.2\%$ $k=2$	0.6	0.0	满意

6. 结论

本次计量检定能力比对工作,主导实验室和大多数参比实验室都给予了充分重视,事前做了大量准备,比对过程中也非常认真仔细。比对实验从2010年4月12日开始到4月19日结束,30家参比实验室都顺利的完成了各自的比对实验。实验工作结束后,绝大多数实验室都能在规定时间内提交比对原始数据、比对报告、不确定度的评定报告、计量标准考核证书及主要标准器检定、校准证书等相关资料。

本次计量检定能力比对规定,使用经主导实验室考核合格的滚筒反力式制动检验台作为比对样品,各参比实验室对样品进行计量检定,并评定(检定点为1500daN)测量结果的不确定度。通过各参比实验室提供的检定数据和测量不确定度,采用En值进行判断。

通过分别计算大闭环各参比实验室的En值和各花瓣内参比实验室的En值,得出共同的计算结果:30家参比实验室中, $|En| \leq 1$ 的有30家,符合满意标准。上述数据显示,表明国内各省级计量院所对滚筒反力式制动检验台的检定能力符合要求,但是在比对过程中也发现了一些问题。

6.1 存在的问题

(1) 标准装置

a、H2实验室配置的标准测力仪的测量范围(1-10)kN,本次比对标准测力仪的测量点为0N、750N、1500N、2250N、3000N,所以无法保证标准测力仪0N和750N两点的溯源有效性。

b、准确度等级存在问题

D2实验室配置的标准测力仪准确度等级为1级,不符合JJG 906-2009《滚筒反力式制动检验台》规定测力传感器准确度等级为0.3级的要求。

(2) 人员操作方面

a、C1、C2、C3、H3四家参比单位现场试验做了两遍,以第二次的数据作为比对数据。

b、部分参比实验室检定前没有对测力臂进行调水平。

c、由于制动台体滚筒与外部连接装置的摩擦力等因素影响,造成不同的操作方法对检定结果会产生一定的差异,部分参比实验室未意识到其中的影响量,具体分析见附录3。

(3) 数据处理的问题

a、部分实验室评定不确定度时,对不确定度分量的来源理解存在偏差,导致评定的扩展不确定度偏大或偏小;

b、部分实验室没有严格按照现场检定时实际情况评定不确定度,导致评定的扩展不确定度偏大或偏小。

(4) 检定规程存在的问题

a、根据 JJG 906-2009 《滚筒反力式制动检验台》的规定,用仪表法进行检定时。在开始检定前要调整杠杆使水准器显示水平状态,仪表调零,在检定过程中不用再调整使水准器显示水平状态,根据此次比对发现,测力臂的微量转动对示值的影响是比较大的,如检定点为 3000daN,测力臂转动 3° ,评定的制动台示值误差的扩展不确定度 $U = k \times U_c(d) = 2.18 \times 0.94\% = 2.05\%$ (见附录 2),规程规定制动台的示值误差: ± 3 ,不能准确的进行量传。

b、检定装置按要求安装好反力架后,检定前须对标准测力仪和制动台进行预加载,规程没有对此进行规定。

6.2 建议

针对以上情况,主导实验室提出以下建议:

(1) 各参比实验室应对本次比对工作进行全面总结,找出本单位存在的问题,加以改进和提高;

(2) 参比单位要考虑标准测力仪的在实际检定过程的有效测量范围;

(3) 参比实验室要按照规程的要求配置标准测力仪;

(4) 各参比实验室要加强对检定人员的操作和不确定度评定的培训;

(5) 对 JJG 906-2009《滚筒反力式制动检验台》规程进行修订。建议增加“检定装置安装好以后须进行预加载的要求”、“制动台的示值误差建议调整为 ± 5 ”,确保制动台量传的准确可靠。

附件1：比对结果图示

1.全部参比实验室（大闭环）进行评价的比对结果图示

图1：

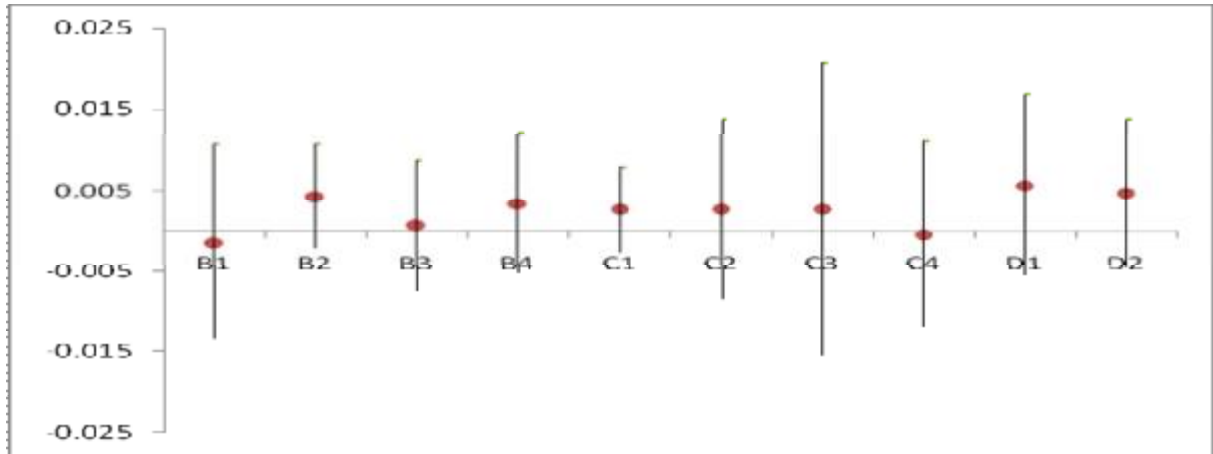


图2：

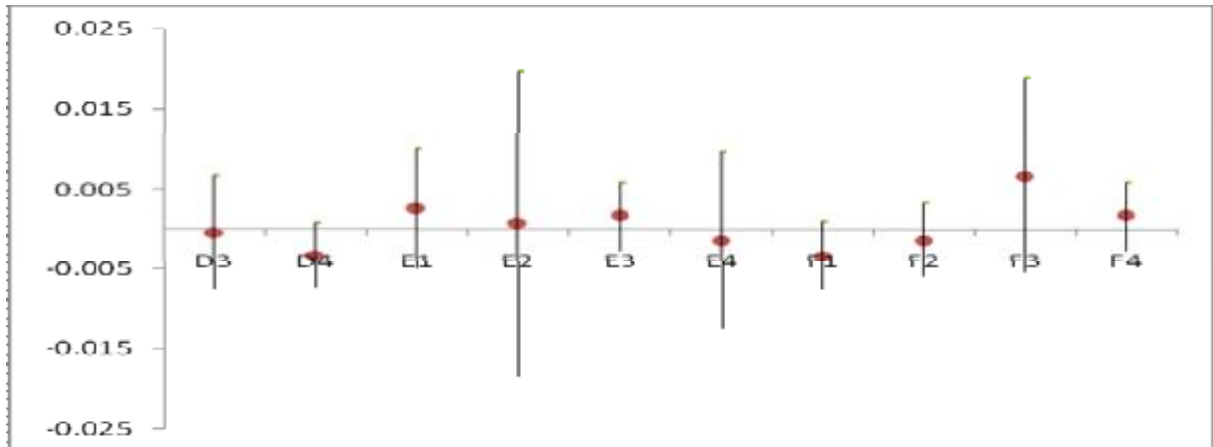
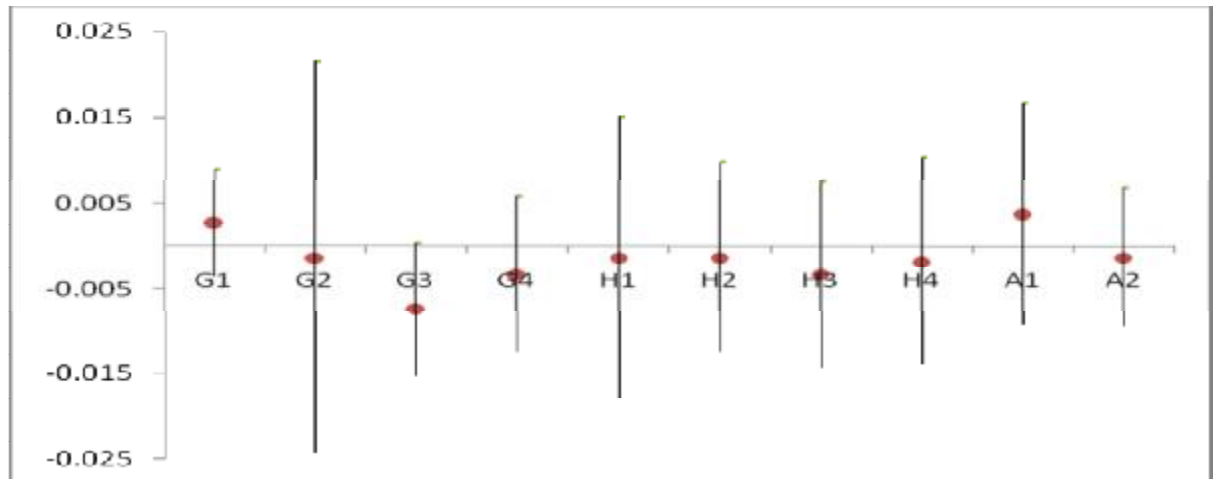


图3：



2. 按照各花瓣内参比实验室进行评价的比对结果图示

图4：BC闭环花瓣参比实验室的比对结果图示

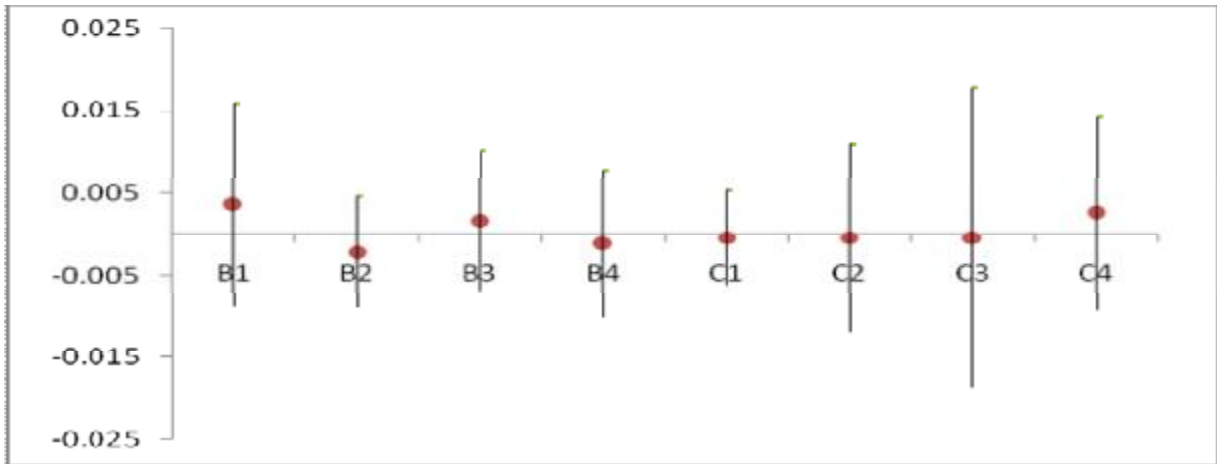


图5：DE闭环花瓣参比实验室的比对结果图示

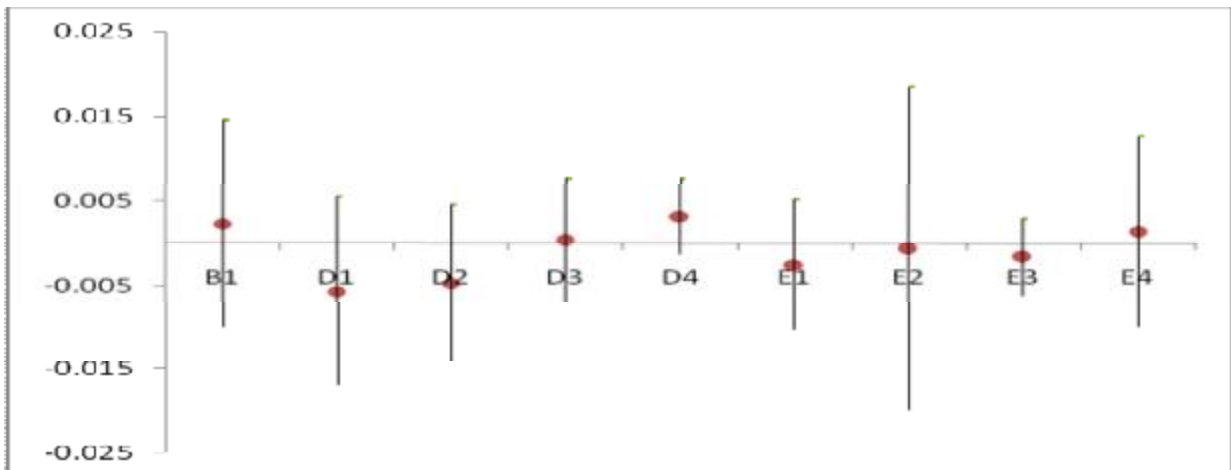


图6：FG闭环花瓣参比实验室的比对结果图示

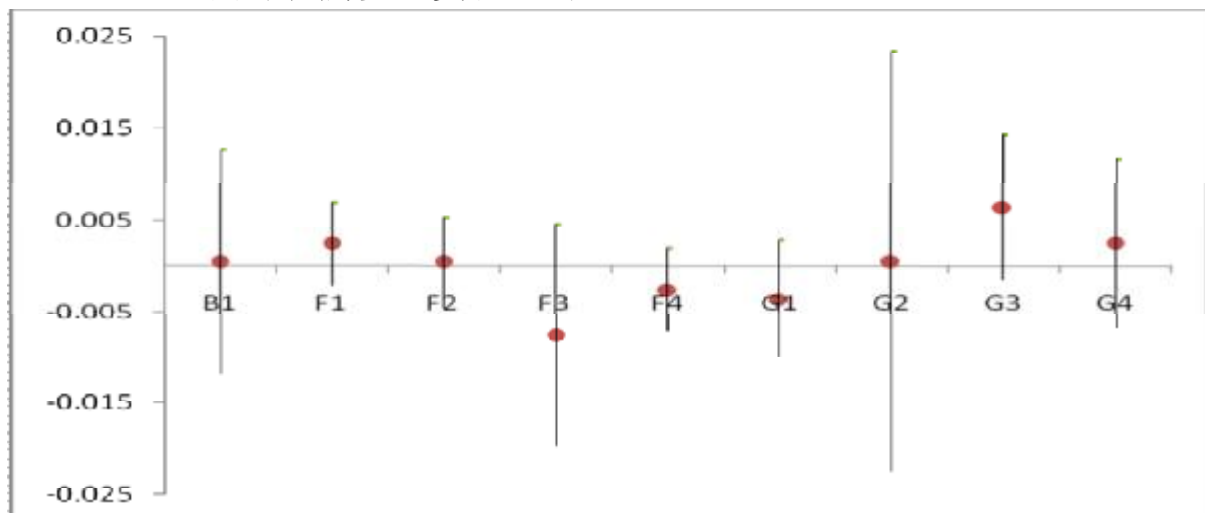
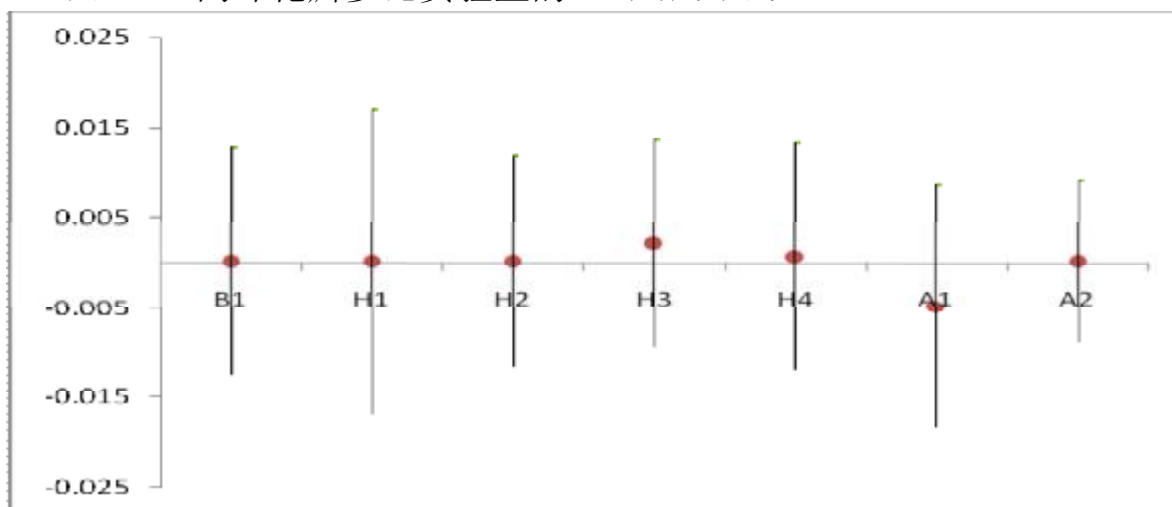


图7: HA闭环花瓣参比实验室的比对结果图示



附件 2:主导实验室的不确定度分析

检定滚筒反力式制动检验台示值误差结果的不确定度评定

(测量点 1500 daN)

一、建立数学模型，列不确定度式

检定制动台示值误差时，标准测力仪为标准器。标准测力仪的指示值 F 作为标准值加载时，读取相应的制动台仪表示值 f 。制动台在 1500daN 测量点时，示值误差 d 的数学模型（被检制动台示值 f 、标准测力仪示值 F 、检定用测力杠杆等效力臂长度 L 、被检制动台滚筒半径 r 为输入量，被检制动台示值误差 d 为输出量）为

$$d = \frac{f \cdot r - F \cdot L}{F \cdot L} = \frac{f \cdot r}{F \cdot L} - 1$$

式中： d — 被检制动台某测量点示值误差，%；

f — 被检制动台某测量点示值，daN；

r — 被检制动台主滚筒半径，mm；

F — 标准测力仪示值，daN；

L — 检定用测力杠杆等效力臂长度，mm；

对输出量（函数）言，各输入量 f ， r ， F ， L 互相独立，由不确定度传播律：

$$u^2(d) = c_1^2 \times u^2(f) + c_2^2 \times u^2(r) + c_3^2 \times u^2(F) + c_4^2 \times u^2(L)$$

$$\text{其中： } c_1 = \frac{\partial d}{\partial f} = \frac{r}{F \cdot L} \quad (\text{单位： } daN^{-1})$$

$$c_2 = \frac{\partial d}{\partial r} = \frac{f}{F \cdot L} \quad (\text{单位： } mm^{-1})$$

$$c_3 = \frac{\partial d}{\partial F} = -\frac{f \cdot r}{F^2 \cdot L} \quad (\text{单位： } daN^{-1})$$

$$c_4 = \frac{\partial d}{\partial L} = -\frac{f \cdot r}{F \cdot L^2} \quad (\text{单位： } mm^{-1})$$

故不确定度式为：

$$u^2(d) = \left(\frac{r}{F \cdot L}\right)^2 \times u^2(f) + \left(\frac{f}{F \cdot L}\right)^2 \times u^2(r) + \left(-\frac{f \cdot r}{F^2 \cdot L}\right)^2 \times u^2(F) + \left(-\frac{f \cdot r}{F \cdot L^2}\right)^2 \times u^2(L)$$

二、输入量的不确定度来源

1、被检制动台示值 f

- 1.1 被检制动台测量结果重复性 $(\frac{r}{F \cdot L}) \times u_1(f) = u_A$
- 1.2 被检制动台示值的数显量化误差 $(\frac{r}{F \cdot L}) \times u_2(f) = u_1$
- 2、被检制动台主滚筒半径 r
- 2.1 制动台主滚筒半径测量误差 $(\frac{f}{F \cdot L}) \times u(r) = u_2$
- 3、标准测力仪示值 F
- 3.1 标准测力仪示值准确性 $(-\frac{f \cdot r}{F^2 \cdot L}) \times u(F) = u_3$
- 4、检定用测力杠杆等效力臂 L
- 4.1 检定用测力杠杆等效力臂长度测量误差 $(-\frac{f \cdot r}{F \cdot L^2}) \times u_1(L) = u_{41}$
- 4.2 检定用测力杠杆等效力臂受力点不准确引起等效力臂误差
 $(-\frac{f \cdot r}{F \cdot L^2}) \times u_2(L) = u_{42}$
- 4.3 检定受力后测力杠杆倾斜引起的等效力臂变化误差
 $(-\frac{f \cdot r}{F \cdot L^2}) \times u_3(L) = u_{43}$

三、输入量的标准不确定度评定

1、被检制动台示值 f

被检制动台示值 f 估计值的不确定度，主要来源于制动台的测量结果重复性及数显仪器的示值量化误差。测量结果重复性可以通过连续测量得到的测量列，采用 A 类方法进行评定。

(1) 被检制动台示值 f 估计值（测量结果重复性）的标准不确定度的评定

在对制动台进行检定前，应按 JJG906—2009 规程规定，安装固定好测力杠杆并调整好零点时的测力杠杆水平。根据试验证明，测力杠杆的安装、水平调整及零点的确定均会对检定结果产生较大的影响。在实际检定时，我们将测力杠杆安装固定好，调整好杠杆的水平零点，就开始进行检定，问题是这次安装及调整是否正确将直接影响检定结果。所以，我们认为测量结果重复性应该是重复拆装测力杠杆、调整条件下进行。在标准测力仪及被检制动台正常工况条件下，通过十次重复装、拆测力杠杆、调整测力杠杆水平及标准测力仪与制动台零点条件下，在标准测力仪示值 1500daN

读取制动台示值，得数据如下：

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
daN	1526	1527	1523	1523	1524	1530	1530	1529	1530	1530

$$\text{单次测量实验标准差 } s(f_i) = \sqrt{\frac{\sum (f_i - \bar{f})^2}{n-1}} = 3.01 \text{ (daN)}$$

实际测量时，根据规程规定在重复条件下连续测量 3 次，以 3 次测量的算术平均值作为测量结果，则可得到标准不确定度为

$$u_1(f) = s(f_i) / \sqrt{3} = 1.74 \text{ (daN)}$$

$$\text{自由度 } n_A = 9$$

(2) 被检制动台示值 f 估计值（数显量化误差）的标准不确定度的评定

制动台的分辩力是 1 daN，其量化误差以等概率分布（矩形分布）落在宽度为 1 daN / 2 = 0.5 daN 的区间内。其标准不确定度为

$$u_2(f) = 0.5\text{daN} / \sqrt{3} = 0.29 \text{ daN}$$

$$\text{自由度 } n_1 \rightarrow \infty$$

2、被检制动台主滚筒半径 r

制动台主滚筒半径误差 r 估计值的标准不确定度的评定

由测量原理可知，主滚筒半径（即直径）涉及杠杆比的（ L / r ）的正确性。由于被检制动台滚筒是采用粘沙式的，所以直径无法用游标卡尺进行测量。可用钢卷尺进行测量周长进而确定直径的方法（滚筒直径 $\Phi 245 \text{ mm}$ ，周长约为 770mm）。

(1) 钢卷尺本身误差

根据 JJG4—1999 《钢卷尺》检定规程，II 级钢卷尺任意两线纹间的允许误差为 $\pm (0.2 + 0.2L) \text{ mm} = \pm 0.4 \text{ mm}$ （因为测量长度不超过 1 m，以 1 m 计）

(2) 钢卷尺测量时非圆截面误差

用钢卷尺测量滚筒直径时，不可能完全处于圆周截面上，由目测估计测量截面与滚筒轴线不垂直度为 5° ，则引起的半径误差

$$\pm 122.5 \text{ mm} \times (1 - \cos 5^\circ) = \pm 0.47 \text{ mm}$$

总的滚筒半径极限误差

$$\pm \sqrt{0.4^2 + 0.47^2} \text{ mm} = \pm 0.62 \text{ mm}$$

滚筒半径误差按均匀分布考虑，则其引入的标准不确定度分量为

$$u(r) = 0.62 \text{ mm} / \sqrt{3} = 0.36 \text{ mm}$$

估计该标准不确定度 75 %可靠

$$\text{自由度 } n_2 = \frac{1}{2} \times \left[\frac{\Delta u(r)}{u(r)} \right]^{-2} = \frac{1}{2} \times \left[\frac{0.25}{1} \right]^{-2} = 8$$

3、标准测力仪示值 F

标准测力仪示值 F 估计值的标准不确定度的评定

标准测力仪送检，上一级计量标准出具的检定证书中判定标准测力仪准确度等级为 0.3 级，未注明什么分布，按均匀分布考虑，在接近被检制动台 1500daN 测量点时，标准测力仪示值应约为 150 daN，其引入的标准不确定度为：

$$u(F) = 150 \text{ daN} \times 0.3\% / \sqrt{3} = 0.26 \text{ daN}$$

估计该标准不确定度 90 %可靠

$$\text{自由度 } n_3 = \frac{1}{2} \times \left[\frac{\Delta u(r)}{u(r)} \right]^{-2} = \frac{1}{2} \times \left[\frac{0.1}{1} \right]^{-2} = 50$$

4、检定用测力杠杆等效力臂 L

由测量原理，测力杠杆等效力臂直接影响到杠杆比的 (L/r) 的正确性。一般测量中采用杠杆比为 $h = 10$ ，滚筒直径 $\Phi 245 \text{ mm}$ 计，则力臂为 1225 mm，采用钢卷尺测量，则：

(1) 检定用测力杠杆等效力臂长度测量误差

① 钢卷尺本身的误差

根据 JJG4—1999《钢卷尺》检定规程，II级钢卷尺任意两线纹间的允许误差为 $\pm (0.2 + 0.2L) \text{ mm} = 0.6 \text{ mm}$ (因为测量长度为 1.2 m，以 2m 计)

② 在测量时，需对准定位键槽中心和拉力销孔中心，估计对准误差不会超过 3 mm (二端测量)，则引起力臂相对误差

$$\pm \sqrt{2} \times 3 \text{ mm} = \pm 4.24 \text{ mm}$$

总的检定用测力杠杆等效力臂极限误差 $\pm \sqrt{0.6^2 + 4.24^2} \text{ mm} = \pm 4.28 \text{ mm}$

按均匀分布考虑，则其引入的标准不确定度分量为

$$u_1(L) = 4.28 \text{ mm} / \sqrt{3} = 2.47 \text{ mm}$$

估计该标准不确定度 75%可靠

$$\text{自由度 } n_{41} = \frac{1}{2} \times \left[\frac{\Delta u(L)}{u(L)} \right]^{-2} = \frac{1}{2} \times \left[\frac{0.25}{1} \right]^{-2} = 8$$

(2) 检定用测力杠杆等效力臂受力点不准确引起等效力臂误差

平时检定时，采用目测估计（严格而言，应该用重力吊锤检查螺杆加力轴线应该处于测力杠杆受力孔中心）最大不超过 ± 3 mm。

按均匀分布考虑，则其引入的标准不确定度分量为

$$u_2(L) = 3 \text{ mm} / \sqrt{3} = 1.73 \text{ mm}$$

估计该标准不确定度 75%可靠

$$\text{自由度 } n_{42} = \frac{1}{2} \times \left[\frac{\Delta u(L)}{u(L)} \right]^{-2} = \frac{1}{2} \times \left[\frac{0.25}{1} \right]^{-2} = 8$$

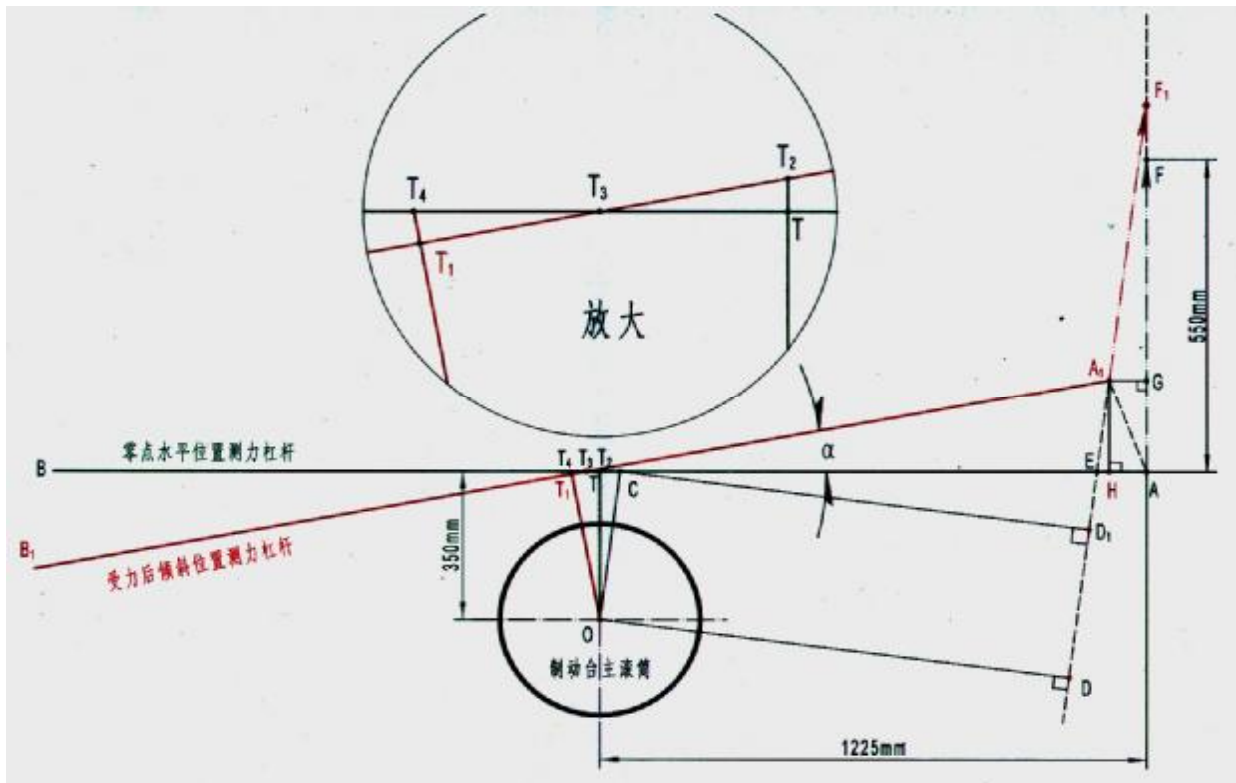
(3) 检定受力后测力杠杆倾斜引起的等效力臂变化误差

按规程规定，“调整杠杆，使水准器显示水平状态，仪表调零”，这时的测力杠杆如图中“绿色”所示的“*BTA*”。图中的绿色“*AF*”代表拉力链条（包括标准测力仪的传感器），它的长度为 550mm。测力杠杆固定在滚筒上，“*A*点（拉到 1500daN 时的 *A₁*点）”是测力杠杆的受力点，由于被检制动台安置在地沟中，滚筒上表面略高出地面，所以，测力杠杆安装必定高出地面（也即大大高出滚筒中心线），如图所示测力杠杆水平轴线离滚筒中心高度为 350mm。

标准测力仪检定制动台时，在整个施加拉力过程中，制动台受力部件间的间隙及微小变形会使安置在其上的测力杠杆倾斜（偏离水平），这样实际力臂长度必定发生变化。经实测，在 1500daN 时为最大偏转 1.5° 。

当加载至 1500daN 时，即加载至制动台仪表显示为 1500daN 时，测力杠杆受力点从“*A*点”移动至“*A₁*点”。这时，图中的拉力螺杆也有些倾斜，因为拉力螺杆的倾斜角相对于拉力链条与传感器的倾斜角比较小，同时为了分析时简便，我们将其忽略。这时的测力杠杆倾斜至图中所示“红色”杠杆位置“*B₁T₁A₁*”。

如上所述，通过螺杆对测力杠杆加载，对制动台滚筒施加转力矩，模



拟汽车车轮的阻力矩，实施对制动台的检定。所以，该转力矩应该是“力×力臂”。在“零点”时，“力”为 \dot{F} 、方向是垂直地面向上，测力杠杆水平，“力臂 \overline{BTA} ”长为 1225mm；当加载至 1500daN 时，“力”为 \dot{F}_1 、方向如图所示是倾斜向外上方，测力杠杆 $\overline{B_1T_1A_1}$ 也是倾斜的，“力臂”应为滚筒中心（作用力旋转中心）O 点向力 \dot{F}_1 的延长线所作的垂线 \overline{OD} 。

$$Q \quad OT \perp ATB、OT_1 \perp A_1T_1B_1 \quad \therefore \angle TOT_1 = \angle AT_3A_1 = 1.5^\circ ;$$

$$OT_4 = OT_2 = \frac{OT}{\cos 1.5^\circ} = 350.1200 \text{ mm} \quad TT_2 = T_1T_4 = OT_2 - OT = 0.1200 \text{ mm}$$

$$TT_4 = T_1T_2 = OT \cdot \tan 1.5^\circ = 9.1651 \text{ mm} \quad \Delta TT_2T_3 \cong \Delta T_1T_4T_3 \quad T_2T_3 = T_3T_4$$

$$\Delta TT_2T_3 \text{ 中} \quad T_2T_3^2 = TT_3^2 + TT_2^2 = (9.1651 - T_2T_3)^2 + (0.1200)^2$$

$$T_2T_3^2 = 83.9991 - 2 \times 9.1651 \times T_2T_3 + T_2T_3^2 + 0.0144$$

$$T_2T_3 = \frac{83.9991 + 0.0144}{2 \times 9.1651} = 4.5970 \text{ mm}$$

$$TT_3 = 9.1651 \text{ mm} - 4.5970 \text{ mm} = 4.5681 \text{ mm}$$

$$AT_3 = AT + TT_3 = 1229.57 \text{ mm} \quad A_1T_3 = A_1T_1 - T_1T_3 = 1220.43 \text{ mm}$$

$$\text{根据余弦定理} \quad AA_1 = \sqrt{(AT_3)^2 + (A_1T_3)^2 - 2 \cdot AT_3 \cdot A_1T_3 \cdot \cos 1.5^\circ} = 33.35 \text{ mm}$$

$$\text{根据正弦定理} \quad \sin \angle T_3AA_1 = \frac{\sin \angle AT_3A_1 \cdot A_1T_3}{AA_1} = \frac{\sin 1.5^\circ \cdot 1220.43}{33.35} = 0.95793502$$

$$\angle T_3AA_1 = 73.32^\circ$$

$$A_1G = AH = AA_1 \cdot \cos \angle T_3AA_1 = 33.35 \text{ mm} \cdot \cos 73.32^\circ = 9.57 \text{ mm}$$

$$\angle AF_1A_1 = \arcsin \frac{A_1G}{A_1F_1} = \arcsin \frac{9.57}{550} = 1.00^\circ$$

作 $OC \parallel F_1A_1$ 与 ATB 相交于 C 点, 并由 C 点作 F_1A_1 延长线的垂直线、相交于 D_1 点
由滚筒中心 O 点 (力臂旋转中心) 作 F_1A_1 延长线的垂直线、相交于 D 点

$$\angle TOC = \angle AF_1A_1 = 1.00^\circ \quad TC = OT \cdot \tan \angle TOC = 350 \text{ mm} \cdot \tan 1.00^\circ = 6.11 \text{ mm}$$

$$AF_1 = AG + F_1G = A_1H + F_1G = A_1T_3 \cdot \sin 1.5^\circ + A_1F_1 \cdot \cos 1.00^\circ \\ = 1220.43 \text{ mm} \cdot \sin 1.5^\circ + 550 \text{ mm} \cdot \cos 1.00^\circ = 31.95 \text{ mm} + 549.92 \text{ mm} = 581.87 \text{ mm}$$

$$\Delta F_1A_1G \sim \Delta F_1EA$$

$$AE = \frac{A_1G \cdot F_1A}{F_1G} = \frac{9.57 \times 581.87}{549.92} \text{ mm} = 10.13 \text{ mm}$$

$$CE = AT - TC - AE = 1225 \text{ mm} - 6.11 \text{ mm} - 10.13 \text{ mm} = 1208.76 \text{ mm}$$

$$\text{Q } OT_1 \perp A_1T_1B_1 \quad OT \perp ATB \quad \therefore \angle TOT_1 = \angle AT_3A_1 = 1.5^\circ$$

$$\text{Q } CD_1 \perp F_1A_1 \quad ACT \perp AFF_1 \quad \therefore \angle ACD_1 = \angle AF_1A_1 = 1.00^\circ$$

$$\text{力臂 } OD = CD_1 = CE \cdot \cos \angle ACD_1 = 1208.76 \text{ mm} \cdot \cos 1.00^\circ = 1208.58 \text{ mm}$$

$$\text{力臂变化量 } \Delta L = OD - AT = 1208.58 \text{ mm} - 1225 \text{ mm} = -16.42 \text{ mm}$$

按均匀分布考虑, 则其引入的标准不确定度分量为

$$u_3(L) = 16.42 \text{ mm} / 2\sqrt{3} = 4.74 \text{ mm}$$

由于各种型号制动台、同型号的各台制动台的情况是不同的, 估计该标准不确定度 75% 可靠

$$\text{自由度 } n_{43} = \frac{1}{2} \times \left[\frac{\Delta u(L)}{u(L)} \right]^{-2} = \frac{1}{2} \times \left[\frac{0.25}{1} \right]^{-2} = 8$$

总的由检定用测力杠杆等效力臂误差引入的标准不确定度为:

$$u(L) = \sqrt{u_1^2(L) + u_2^2(L) + u_3^2(L)} = \sqrt{2.47^2 + 1.73^2 + 4.74^2} \text{ mm} = 5.62 \text{ mm}$$

$$\text{自由度 } n_4 = \frac{u_c^4(L)}{\sum \frac{u_i^4}{u_i}} = \frac{5.62^4}{\frac{2.47^4}{8} + \frac{1.73^4}{8} + \frac{4.74^4}{8}} = 14$$

4、输出量的标准不确定度分量一览表

序号	输入量估计值的标准不确定度评定			自由度		输出量估计值的相对标准不确定度量		
	来源	符号	数值	符号	数值	符号	灵敏系数 C_i	$ C_i \times u(x)$
1	测量结果重复性	$u_1(f)$	1.74 daN	n_A	9	u_A	$\frac{r}{F \cdot L}$ (daN ⁻¹)	0.12 %
2	数显量化误差	$u_2(f)$	0.29 daN	n_1	∞	u_1	$\frac{r}{F \cdot L}$ (daN ⁻¹)	0.02 %
3	滚筒半径误差	$u(r)$	0.36 mm	n_2	8	u_2	$\frac{f}{F \cdot L}$ (mm ⁻¹)	0.29 %
4	传感器示值	$u(F)$	0.26 daN	n_3	50	u_3	$-\frac{f \cdot r}{F^2 \cdot L}$ (daN ⁻¹)	0.17 %
5	等效力臂误差	$u(L)$	5.62 mm	n_4	10	u_4	$-\frac{f \cdot r}{F \cdot L^2}$ (mm ⁻¹)	0.47 %

注：上述计算在接近被检制动台测量点 $f = 1500$ daN，测力传感器上的示值为 $F = 150$ daN（测力臂放大倍数 $h = 10$ ）， $L = 1225$ mm， $r = 122.5$ mm 计输出量的相对标准不确定度。

5、合成标准不确定度的评定

由于各标准不确定度分量相互无关，故

$$U_c(d) = \sqrt{u_A^2 + u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = 0.59 \%$$

$$\text{有效自由度 } u_{\text{eff}} = \frac{U_c^4(d)}{\sum \frac{u_i^4}{u_i}} = \frac{0.59^4}{\frac{0.12^4}{9} + \frac{0.02^4}{\infty} + \frac{0.29^4}{8} + \frac{0.17^4}{50} + \frac{0.47^4}{14}} = 27$$

6、扩展不确定度的评定

按置信概率 $p = 0.95$ ，有效自由度 $u_{\text{eff}} = 27$ ，查 t 分布表，得到 $k = 2.05$ 。故扩展不确定度应当为

$$U = 1.2 \% \quad k = 2.05$$

检定滚筒反力式制动检验台示值误差结果的不确定度评定

（测量点 3000 daN）

一、建立数学模型，列不确定度式

检定制动台示值误差时，标准测力仪为标准器。标准测力仪的指示值 F 作为标准值加载时，读取相应的制动台仪表示值 f 。制动台在 3000daN 测量点时，示值误差 d 的数学模型（被检制动台示值 f 、标准测力仪示值 F 、检定用测力杠杆等效力臂长度 L 、被检制动台滚筒半径 r 为输入量，被检制动台示值误差 d 为输出量）为

$$d = \frac{f \cdot r - F \cdot L}{F \cdot L} = \frac{f \cdot r}{F \cdot L} - 1$$

式中： d — 被检制动台某测量点示值误差，%；

f — 被检制动台某测量点示值，daN；

r — 被检制动台主滚筒半径，mm；

F — 标准测力仪示值，daN；

L — 检定用测力杠杆等效力臂长度，mm；

对输出量（函数）言，各输入量 f ， r ， F ， L 互相独立，由不确定度传播律：

$$u^2(d) = c_1^2 \times u^2(f) + c_2^2 \times u^2(r) + c_3^2 \times u^2(F) + c_4^2 \times u^2(L)$$

其中： $c_1 = \frac{\partial d}{\partial f} = \frac{r}{F \cdot L}$ （单位： daN^{-1} ）

$c_2 = \frac{\partial d}{\partial r} = \frac{f}{F \cdot L}$ （单位： mm^{-1} ）

$c_3 = \frac{\partial d}{\partial F} = -\frac{f \cdot r}{F^2 \cdot L}$ （单位： daN^{-1} ）

$c_4 = \frac{\partial d}{\partial L} = -\frac{f \cdot r}{F \cdot L^2}$ （单位： mm^{-1} ）

故不确定度式为：

$$u^2(d) = \left(\frac{r}{F \cdot L}\right)^2 \times u^2(f) + \left(\frac{f}{F \cdot L}\right)^2 \times u^2(r) + \left(-\frac{f \cdot r}{F^2 \cdot L}\right)^2 \times u^2(F) + \left(-\frac{f \cdot r}{F \cdot L^2}\right)^2 \times u^2(L)$$

二、输入量的不确定度来源

1、被检制动台示值 f

1.1 被检制动台测量结果重复性 $\left(\frac{r}{F \cdot L}\right) \times u_1(f) = u_A$

1.2 被检制动台示值的数显量化误差 $\left(\frac{r}{F \cdot L}\right) \times u_2(f) = u_1$

2、被检制动台主滚筒半径 r

2.1 制动台主滚筒半径测量误差 $\left(\frac{f}{F \cdot L}\right) \times u(r) = u_2$

3、标准测力仪示值 F

3.1 标准测力仪示值准确性 $(-\frac{f \cdot r}{F^2 \cdot L}) \times u(F) = u_3$

4、检定用测力杠杆等效力臂 L

4.1 检定用测力杠杆等效力臂长度测量误差 $(-\frac{f \cdot r}{F \cdot L^2}) \times u_1(L) = u_{41}$

4.2 检定用测力杠杆等效力臂受力点不准确引起等效力臂误差

$$(-\frac{f \cdot r}{F \cdot L^2}) \times u_2(L) = u_{42}$$

4.3 检定受力后测力杠杆倾斜引起的等效力臂变化误差

$$(-\frac{f \cdot r}{F \cdot L^2}) \times u_3(L) = u_{43}$$

三、输入量的标准不确定度评定

1、被检制动台示值 f

被检制动台示值 f 估计值的不确定度，主要来源于制动台的测量结果重复性及数显仪器的示值量化误差。测量结果重复性可以通过连续测量得到的测量列，采用 A 类方法进行评定。

(1) 被检制动台示值 f 估计值（测量结果重复性）的标准不确定度的评定

在对制动台进行检定前，应按 JJG906—2009 规程规定，安装固定好测力杠杆并调整好零点时的测力杠杆水平。根据试验证明，测力杠杆的安装、水平调整及零点的确定均会对检定结果产生较大的影响。在实际检定时，我们将测力杠杆安装固定好，调整好杠杆的水平零点，就开始进行检定，问题是这次安装及调整是否正确将直接影响检定结果。所以，我们认为测量结果重复性应该是重复装拆测力杠杆、调整条件下进行。在标准测力仪及被检制动台正常工况条件下，通过十次重复装、拆测力杠杆、调整测力杠杆水平及标准测力仪与制动台零点条件下，在标准测力仪示值 1500daN 读取制动台示值，得数据如下：

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
daN	3040	3041	3038	3034	3042	3048	3048	3044	3044	3045

$$\text{单次测量实验标准差 } s(f_i) = \sqrt{\frac{\sum (f_i - \bar{f})^2}{n-1}} = 4.38 \text{ (daN)}$$

实际测量时，根据规程规定在重复条件下连续测量 3 次，以 3 次测量的算术平均值作为测量结果，则可得到标准不确定度为

$$u_1(f) = s(f_i) / \sqrt{3} = 2.53 \text{ (daN)}$$

自由度 $n_A = 9$

(2) 被检制动台示值 f 估计值（数显量化误差）的标准不确定度的评定

制动台的分辩力是 1 daN，其量化误差以等概率分布（矩形分布）落在宽度为 1 daN / 2 = 0.5 daN 的区间内。其标准不确定度为

$$u_2(f) = 0.5 \text{ daN} / \sqrt{3} = 0.29 \text{ daN} \quad \text{自由度 } n_1 \rightarrow \infty$$

2、被检制动台主滚筒半径 r

制动台主滚筒半径误差 r 估计值的标准不确定度的评定

由测量原理可知，主滚筒半径（即直径）涉及杠杆比的（ L / r ）的正确性。由于被检制动台滚筒是采用粘沙式的，所以直径无法用游标卡尺进行测量。可用钢卷尺进行测量周长进而确定直径的方法（滚筒直径 $\Phi 245 \text{ mm}$ ，周长约为 770mm）。

(1) 钢卷尺本身误差

根据 JJG4—1999《钢卷尺》检定规程，II级钢卷尺任意两线纹间的允许误差为 $\pm (0.2 + 0.2L) \text{ mm} = \pm 0.4 \text{ mm}$ （因为测量长度不超过 1 m，以 1 m 计）

(2) 钢卷尺测量时非圆截面误差

用钢卷尺测量滚筒直径时，不可能完全处于圆周截面上，由目测估计测量截面与滚筒轴线不垂直度为 5° ，则引起的半径误差

$$\pm 122.5 \text{ mm} \times (1 - \cos 5^\circ) = \pm 0.47 \text{ mm}$$

$$\text{总的滚筒半径极限误差 } \pm \sqrt{0.4^2 + 0.47^2} \text{ mm} = \pm 0.62 \text{ mm}$$

滚筒半径误差按均匀分布考虑，则其引入的标准不确定度分量为

$$u(r) = 0.62 \text{ mm} / \sqrt{3} = 0.36 \text{ mm}$$

估计该标准不确定度 75 %可靠

$$\text{自由度 } n_2 = \frac{1}{2} \times \left[\frac{\Delta u(r)}{u(r)} \right]^{-2} = \frac{1}{2} \times \left[\frac{0.25}{1} \right]^{-2} = 8$$

3、标准测力仪示值 F

标准测力仪示值 F 估计值的标准不确定度的评定

标准测力仪送检，上一级计量标准出具的检定证书中判定标准测力仪准确度等级为 0.3 级，未注明什么分布，按均匀分布考虑，在接近被检制动台 3000daN 测量点时，标准测力仪示值应约为 300 daN，其引入的标准不确定度为： $u(F) = 300 \text{ daN} \times 0.3\% / \sqrt{3} = 0.52 \text{ daN}$

估计该标准不确定度 90 %可靠

$$\text{自由度 } n_3 = \frac{1}{2} \times \left[\frac{\Delta u(r)}{u(r)} \right]^{-2} = \frac{1}{2} \times \left[\frac{0.1}{1} \right]^{-2} = 50$$

4、检定用测力杠杆等效力臂 L

由测量原理，测力杠杆等效力臂直接影响到杠杆比的 (L/r) 的正确性。一般测量中采用杠杆比为 $h = 10$ ，滚筒直径 $\Phi 245 \text{ mm}$ 计，则力臂为 1225 mm，采用钢卷尺测量，则：

(1) 检定用测力杠杆等效力臂长度测量误差

① 钢卷尺本身的误差

根据 JJG4—1999 《钢卷尺》检定规程，II 级钢卷尺任意两线纹间的允许误差为 $\pm (0.2 + 0.2L) \text{ mm} = 0.6 \text{ mm}$ (因为测量长度为 1.2 m，以 2m 计)

② 在测量时，需对准定位键槽中心和拉力销孔中心，估计对准误差不会超过 3 mm (二端测量)，则引起力臂相对误差

$$\pm \sqrt{2} \times 3 \text{ mm} = \pm 4.24 \text{ mm}$$

总的检定用测力杠杆等效力臂极限误差 $\pm \sqrt{0.6^2 + 4.24^2} \text{ mm} = \pm 4.28 \text{ mm}$

按均匀分布考虑，则其引入的标准不确定度分量为

$$u_1(L) = 4.28 \text{ mm} / \sqrt{3} = 2.47 \text{ mm}$$

估计该标准不确定度 75%可靠

$$\text{自由度 } n_{41} = \frac{1}{2} \times \left[\frac{\Delta u(L)}{u(L)} \right]^{-2} = \frac{1}{2} \times \left[\frac{0.25}{1} \right]^{-2} = 8$$

(2) 检定用测力杠杆等效力臂受力点不准确引起等效力臂误差

平时检定时，采用目测估计 (严格而言，应该用重力吊锤检查螺杆加力轴线应该处于测力杠杆受力孔中心) 最大不超过 $\pm 3 \text{ mm}$ 。

按均匀分布考虑，则其引入的标准不确定度分量为

$$u_2(L) = 3 \text{ mm} / \sqrt{3} = 1.73 \text{ mm}$$

估计该标准不确定度 75%可靠

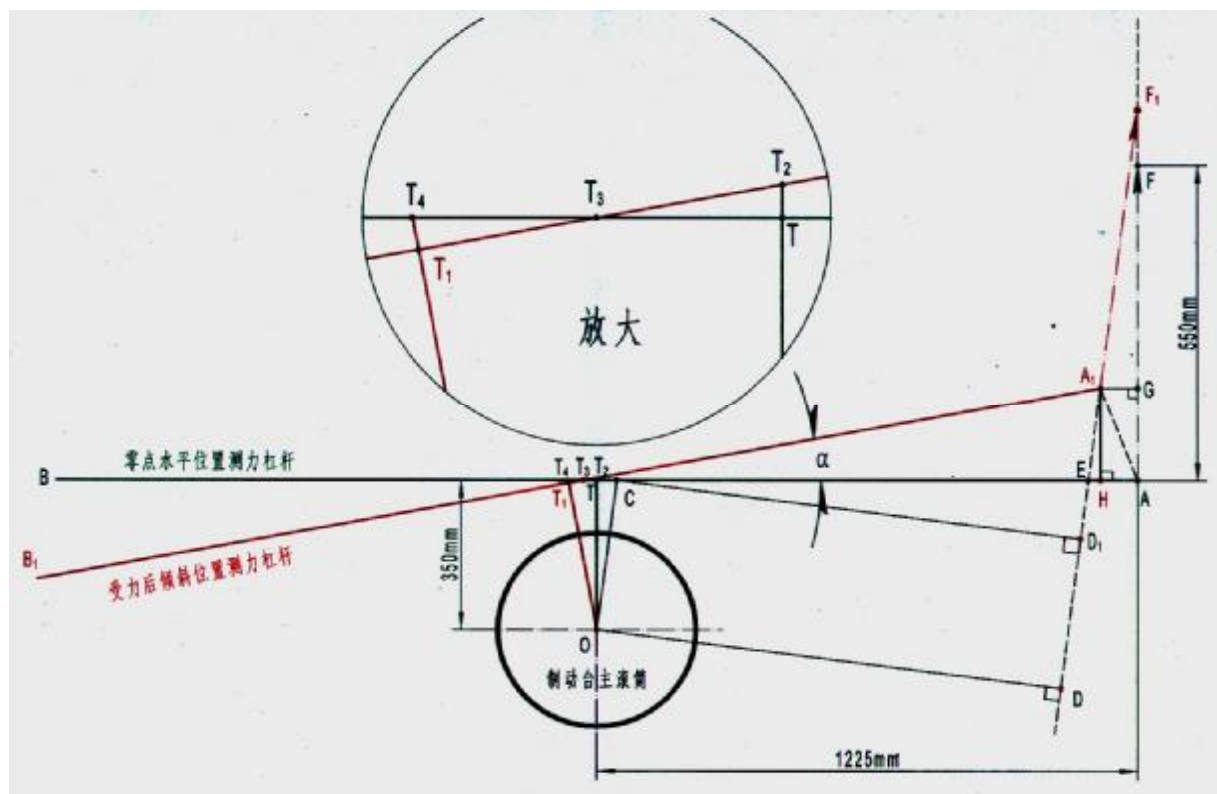
$$\text{自由度 } n_{42} = \frac{1}{2} \times \left[\frac{\Delta u(L)}{u(L)} \right]^{-2} = \frac{1}{2} \times \left[\frac{0.25}{1} \right]^{-2} = 8$$

(3) 检定受力后测力杠杆倾斜引起的等效力臂变化误差

按规程规定，“调整杠杆，使水准器显示水平状态，仪表调零”，这时的测力杠杆如图中“绿色”所示的“ BTA ”。图中的绿色“ AF ”代表拉力链条（包括标准测力仪的传感器），它的长度为 550mm。测力杠杆固定在滚筒上，“ A 点（拉到 1500daN 时的 A_1 点）”是测力杠杆的受力点，由于被检制动台安置在地沟中，滚筒上表面略高出地面，所以，测力杠杆安装必定高出地面（也即大大高出滚筒中心线），如图所示测力杠杆水平轴线离滚筒中心高度为 350mm。

标准测力仪检定制动台时，在整个施加拉力过程中，制动台受力部件间的间隙及微小变形会使安置在其上的测力杠杆倾斜（偏离水平），这样实际力臂长度必定发生变化。经实测，在 3000daN 时为最大偏转 3° 。

当加载至 3000daN 时，即加载至制动台仪表显示为 3000daN 时，也即测力杠杆受力点从“ A 点”移动至“ A_1 点”。这时，图中的拉力螺杆也有些倾斜，因为拉力螺杆的倾斜角相对于拉力链条与传感器的倾斜角比较小，同时为了分析时简便，我们将其忽略。这时的测力杠杆倾斜至图中所示“红色”杠杆位置“ $B_1T_1A_1$ ”。



如上所述，通过螺杆对测力杠杆加载，对制动台滚筒施加转力矩，模拟汽车车轮的阻力矩，实施对制动台的检定。所以，该转力矩应该是“力×力臂”。在“零点”时，“力”为 \dot{F} 、方向是垂直地面向上，测力杠杆水平，“力臂 \overline{BTA} ”长为1225mm；当加载至3000daN时，“力”为 \dot{F}_1 、方向如图所示是倾斜向外上方，测力杠杆 $\overline{B_1T_1A_1}$ 也是倾斜的，“力臂”应为滚筒中心（作用力旋转中心）O点向力 \dot{F}_1 的延长线所作的垂线 OD 。

$$Q \quad OT \perp ATB、OT_1 \perp A_1T_1B_1 \quad \therefore \angle TOT_1 = \angle AT_3A_1 = 3^\circ ;$$

$$OT_4 = OT_2 = \frac{OT}{\cos 3^\circ} = 350.4803 \text{ mm} \quad TT_2 = T_1T_4 = OT_2 - OT = 0.4803 \text{ mm}$$

$$TT_4 = T_1T_2 = OT \cdot \tan 3^\circ = 18.3427 \text{ mm} \quad \Delta TT_2T_3 \cong \Delta T_1T_4T_3 \quad T_2T_3 = T_3T_4$$

$$\Delta TT_2T_3 \text{ 中} \quad T_2T_3^2 = TT_3^2 + TT_2^2 = (18.3427 - T_2T_3)^2 + (0.4803)^2$$

$$T_2T_3^2 = 336.4546 - 2 \times 18.3427 \times T_2T_3 + T_2T_3^2 + 0.2307$$

$$T_2T_3 = \frac{336.4546 + 0.2307}{2 \times 18.3427} = 9.1776 \text{ mm}$$

$$TT_3 = 18.3427 \text{ mm} - 9.1776 \text{ mm} = 9.1651 \text{ mm}$$

$$AT_3 = AT + TT_3 = 1234.17 \text{ mm} \quad A_1T_3 = A_1T_1 - T_1T_3 = 1215.83 \text{ mm}$$

$$\text{根据余弦定理} \quad AA_1 = \sqrt{(AT_3)^2 + (A_1T_3)^2 - 2 \cdot AT_3 \cdot A_1T_3 \cdot \cos 3^\circ} = 66.70 \text{ mm}$$

$$\text{根据正弦定理} \quad \sin \angle T_3AA_1 = \frac{\sin \angle AT_3A_1 \cdot A_1T_3}{AA_1} = \frac{\sin 3^\circ \cdot 1215.83}{66.70} = 0.9540$$

$$\angle T_3AA_1 = 72.55^\circ$$

$$A_1G = AH = AA_1 \cdot \cos \angle T_3AA_1 = 66.70 \text{ mm} \cdot \cos 72.55^\circ = 20.00 \text{ mm}$$

$$\angle AF_1A_1 = \arcsin \frac{A_1G}{A_1F_1} = \arcsin \frac{20.00}{550} = 2.08^\circ$$

作 $OC \parallel F_1A_1$ 与 ATB 相交于 C 点，并由 C 点作 F_1A_1 延长线的垂直线、相交于 D_1 点

由滚筒中心 O 点（力臂旋转中心）作 F_1A_1 延长线的垂直线、相交于 D 点

$$\angle TOC = \angle AF_1A_1 = 2.08^\circ \quad TC = OT \cdot \tan \angle TOC = 350 \text{ mm} \cdot \tan 2.08^\circ = 12.71 \text{ mm}$$

$$AF_1 = AG + F_1G = A_1H + F_1G = A_1T_3 \cdot \sin 3^\circ + A_1F_1 \cdot \cos 2.08^\circ$$

$$= 1215.83 \text{ mm} \cdot \sin 3^\circ + 550 \text{ mm} \cdot \cos 2.08^\circ = 63.63 \text{ mm} + 549.64 \text{ mm} = 613.27 \text{ mm}$$

$$\Delta F_1A_1G \sim \Delta F_1EA$$

$$AE = \frac{A_1G \cdot F_1A}{F_1G} = \frac{20.00 \times 613.27}{549.64} \text{ mm} = 22.32 \text{ mm}$$

$$CE = AT - TC - AE = 1225 \text{ mm} - 12.71 \text{ mm} - 22.32 \text{ mm} = 1189.97 \text{ mm}$$

$$Q \quad OT_1 \perp A_1T_1B_1 \quad OT \perp ATB \quad \therefore \angle TOT_1 = \angle AT_3A_1 = 3^\circ$$

$$Q \quad CD_1 \perp F_1A_1 \quad ACT \perp AFF_1 \quad \therefore \angle ACD_1 = \angle AF_1A_1 = 2.08^\circ$$

$$\text{力臂 } OD = CD_1 = CE \cdot \cos \angle ACD_1 = 1189.97 \text{ mm} \cdot \cos 2.08^\circ = 1189.19 \text{ mm}$$

$$\text{力臂变化量 } \Delta L = OD - AT = 1189.19 \text{ mm} - 1225 \text{ mm} = -35.81 \text{ mm}$$

按均匀分布考虑，则其引入的标准不确定度分量为

$$u_3(L) = 35.81 \text{ mm} / 2\sqrt{3} = 10.37 \text{ mm}$$

由于各种型号制动台、同型号的各台制动台的情况是不同的，估计该标准不确定度 75%可靠

$$\text{自由度 } n_{43} = \frac{1}{2} \times \left[\frac{\Delta u(L)}{u(L)} \right]^{-2} = \frac{1}{2} \times \left[\frac{0.25}{1} \right]^{-2} = 8$$

总的由检定用测力杠杆等效力臂误差引入的标准不确定度为：

$$u(L) = \sqrt{u_1^2(L) + u_2^2(L) + u_3^2(L)} = \sqrt{2.47^2 + 1.73^2 + 10.37^2} \text{ mm} = 10.80 \text{ mm}$$

$$\text{自由度 } n_4 = \frac{u_c^4(L)}{\sum \frac{u_i^4}{u_i}} = \frac{10.80^4}{\frac{2.47^4}{8} + \frac{1.73^4}{8} + \frac{10.37^4}{8}} = 9$$

4、输出量的标准不确定度分量一览表

序号	输入量估计值的标准不确定度评定			自由度		输出量估计值的相对标准不确定度分量		
	来源	符号	数值	符号	数值	符号	灵敏系数 C_i	$ C_i \times u(x)$
1	测量结果重复性	$u_1(f)$	2.53 daN	n_A	9	u_A	$\frac{r}{F \cdot L}$ (daN^{-1})	0.08 %
2	数显量化误差	$u_2(f)$	0.29 daN	n_1	∞	u_1	$\frac{r}{F \cdot L}$ (daN^{-1})	0.01 %
3	滚筒半径误差	$u(r)$	0.36 mm	n_2	8	u_2	$\frac{f}{F \cdot L}$ (mm^{-1})	0.29 %
4	传感器示值	$u(F)$	0.52 daN	n_3	50	u_3	$-\frac{f \cdot r}{F^2 \cdot L}$ (daN^{-1})	0.17 %
5	等效力臂误差	$u(L)$	10.80 mm	n_4	9	u_4	$-\frac{f \cdot r}{F \cdot L^2}$ (mm^{-1})	0.87 %

注：上述计算在接近被检制动台测量点 $f = 3000 \text{ daN}$ ，测力传感器上的示值

为 $F = 300 \text{ daN}$ (测力臂放大倍数 $h = 10$), $L = 1225 \text{ mm}$, $r = 122.5 \text{ mm}$ 计输出量的相对标准不确定度。

5、合成标准不确定度的评定

由于各标准不确定度分量相互无关, 故

$$U_c(d) = \sqrt{u_A^2 + u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = 0.94 \%$$

$$\text{有效自由度 } u_{\text{eff}} = \frac{U_c^4(d)}{\sum \frac{u_i^4}{u_i}} = \frac{0.94^4}{\frac{0.08^4}{9} + \frac{0.01^4}{\infty} + \frac{0.29^4}{8} + \frac{0.17^4}{50} + \frac{0.87^4}{9}} = 12$$

6、扩展不确定度的评定

按置信概率 $p = 0.95$, 有效自由度 $u_{\text{eff}} = 12$, 查 t 分布表, 得到 $k = 2.18$ 。

故扩展不确定度应当为

$$U = 2.05 \% \quad k = 2.18$$

附录3：制动检验台检定时操作方法对检定结果的影响

一、检定过程三种操作方法

(1) 第一种方法：在检定过程中，标定杆调好水平后检定义从零开始分段加载至最大值，然后卸载至零，标定杆重新回至水平状态，此时制动台传感器不受压力，标准检定义和被检仪表示值均接近零，此后多次分段加载重复检定，其示值基本一致。

原因：因此时滚筒轴承对轴的阻力小，接近零。此时标准检定义和被检仪表共同清零，重复检测示值误差变化不大。

(2) 第二种方法：标定杆加预拉力，并且标定杆处于水平位置，把标准检定义和被检仪表同时清零，再分段加载至最大值，然后卸载至标准检定义仪表的零值止，此时由于杠杆上拉，标准检定义仪表回零后，轴和轴承间压力较大，其间摩擦力没有释放（滚筒与外套的摩擦力，减速箱箱内部的4个轴承和齿轮），制动台传感器会产生几十N至几百N残留值。预压力越大，其阻力越大，保留在被检仪表的示值越大。如果在此时标准检定义和被检仪表同时清零，重新复检，其结果会导致被检仪表示值偏小。此后再重复进行上述操作过程进行检验，被检结果也不会产生大的变化，因为在第一次卸载清零时，已把转动阻力在被检仪表上清零，此时被检仪表示值已减去阻力值。用这种方法检定，示值产生误差，其值为阻力值，使被检仪表示值偏小。

(3) 第三种方法：标定杆加预拉力时，并且标定杆处于水平位置，然后标准检定义和被检仪表同时清零，其后再分段加载至最大值，卸载至标准检定义传感器完全放松为止。此时滚筒轴和轴承及联轴器处于放松状态，对被检传感器没有预压力，因此滚筒轴与轴承阻力很小。复检时重述上述过程检验时，即预加载至零点附近，标准检定义和被检仪表同时清零，然后重复上述检定过程，其结果示值基本不变。

二、上述操作方法优缺点分析

(1) 第一种方法检定结果：能保持检定结果示值基本不变，不过由于检定时没有预拉力，造成没有消除齿轮、轴承及联轴器等机械间隙，在加拉力后杠杆水平倾斜度偏大，杠杆加力点前移较大，力臂变化并且标准检定义传感器拉力相对力臂不垂直度偏大。此时拉力越大，其倾斜角度越大，影响检定误差越大。我们认为此方法会造成较大检定误差。

(2) 第二种方法检定结果：采用预加力再调水平然后清零方法，再加载、卸载至检定仪示值为零时、此时标准传感器没有完全卸载，标准检定仪和被检仪表就同时清零，造成摩擦力没有完全释放，会造成被检仪表示值偏小，我们认为采用这种方法也会使检定结果误差增大。

(3) 第三种方法检定结果：它既可消除齿轮、轴承及联轴器之间机械间隙，也使摩擦阻力得到释放，其杠杆倾斜度较小，示值误差小于不加预加载就检定的示值误差。

三、我们对操作方法的建议：建议采用下述方法检定
采用下述操作步骤检定，能获得相对准确的结果：

(1) 把杠杆调至平衡。

(2) 在加载至最大检定点 50%示值时，并且标定杆处于水平位置。

(3) 卸载至标准检定仪传感器完全卸载。（此时对被检传感器没有压力）

(4) 预加载最大检定点 10%左右预加力，此时标准检定仪和被检仪表同时清零，再分段加载标定至最大值，每次试验卸载时，标准检定仪传感器均处于放松状态，然后再重复上述方法复检。此方法可减少杠杆产生较大倾斜，而造成拉力点偏移和标准检定仪传感器垂直度的变化而产生的示值误差，从而最大量减少检定结果与实际制动力的偏差。