

HBM 力学测量在计量行业的应用



计量是实现单位统一、保证量值准确可靠的活动，关系国计民生。计量发展水平是国家核心竞争力的重要标志之一。新中国成立后尤其是改革开放以来，基础性、前沿性和共性计量科研成果大量涌现，计量发展与管理体制逐步形成。国家计量基标准、社会公用计量标准、量传溯源体系不断完善，保证了全国单位制的统一和量值的准确可靠；专用、新型、实用型计量测试技术研究水平和服务保障能力进一步增强；计量法律法规和监管体制逐步完善；国际比对和国际合作进一步加强，我国计量测量能力居于世界前列。

作为全球测试技术和市场的领导者，HBM一直致力于全球计量行业机械力学测量。我们不仅能为计量行业提供高精度力、扭矩、压力、位移传感器、桥路模拟器、放大器仪表，而且能为用户提供力、扭矩、压力、电压比检定校准服务。

随着时代的发展，计量发展面临新的机遇和挑战：世界范围内计量技术革命对各领域的测量精度产生深远影响；生命科学、海洋科学、信息科学和空间技术等快速发展带来巨大计量测试需求；量传溯源体系需建立并完善；参与全球经济贸易等需要不断提高计量检测能力。国务院专门制定了《计量发展规划（2013-2020年）》以期望夯实计量基础、完善计量体系、提升计量整体水平。

计量行业力学测量相关标准

与力学测量相关的国家计量检定规程主要有以下几种，涵盖了力传感器、测力仪、力标准机、试验机等的计量检定。

对于力学计量，HBM可为用户提供来自单一源的一整套测量解决方案，包含高精度力传感器、桥路模拟器、高精度仪表、软件，力传感器检定校准服务。

标准号	标准名称
JJG 144-2007	标准测力仪
JJG 391-2009	力传感器
JJG 455-2000	工作测力仪
JJG 734-200	力标准机
JJG 139-1999	拉力、压力和万能试验机
JJG 669-2003	称重传感器



测力仪（计量院、工厂计量室、力标准机、衡器厂商）

标准测力仪为用于检定、比对、传递各种标准力值的计量器具，主要应用于量传（对象是工作计量器具）。工作测力仪为工作计量器具，主要应用于检测（对象是产品或零部件）。

1. 标准测力仪ISO376与JJG144

ISO376-2011为金属材料单轴试验机检验用标准测力仪的校准国际标准，国家计量检定规程JJG144基本与其对应一致。

Characteristics of force-proving instrument (ISO 376-2011)

Class	Relative error of the force-proving instrument(%)						Uncertainty of applied calibration force k=2 (%)
	reproducibility	repeatability	interpolation	zero(f0)	Reversibility	creep(c)	
	复现性(b)	重复性(b')	内插误差(fc)	相对零点误差	可逆性(ν)	蠕变	
00	0.05	0.025	± 0.025	± 0.012	0.07	0.025	± 0.01
0.5	0.10	0.05	± 0.05	± 0.025	0.15	0.05	± 0.02
1	0.20	0.10	± 0.10	± 0.050	0.30	0.10	± 0.05
2	0.40	0.20	± 0.20	± 0.10	0.50	0.20	± 0.10

标准测力仪的准确度级别划分及技术指标（JJG144-2007）

Class	技术指标							
	X ₁	Zr(%FS)	R(%)	Sb(%)	δ	ν	lp	Ep
	分辨力	回零差	重复性	长期稳定性	示值误差	进回程差	内插误差	方位误差
0.01	20000r	± 0.005	0.01	± 0.01	± 0.01	± 0.03	± 0.01	0.02
0.03	7000r	± 0.015	0.03	± 0.03	± 0.03	± 0.09	± 0.03	0.06
0.05	4000r	± 0.025	0.05	± 0.05	± 0.05	± 0.15	± 0.05	0.1
0.1	2000r	± 0.5	0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.3	± 0.1	-
0.3	700r	± 0.15	0.3	± 0.3	± 0.3	± 0.9	± 0.3	-
0.5	400r	± 0.25	0.5	± 0.5	± 0.5	± 1.5	± 0.5	-

两者技术指标关系对应如下：

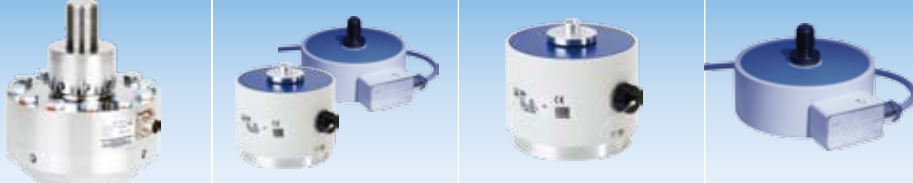



	JJG144
zero	回零差
repeatability	重复性
reversibility	进回程差
interpolation	内插误差
reproducibility	方位误差

两者的精度等级对应关系如下（所有检定项目均考虑）：

ISO376	JJG144	对应HBM传感器+DMP41(高等级覆盖低等级)
	0.01	Top-Z30A,Top-Z4A
00	0.03	Z30A,Z4A(不含500kN),BU18,C18(00)
0.5	0.05	Z4A-500kN,U15,STZ,C4(不含500kN),C18,KD
1	0.1	C4-500kN,KDB
2	0.3	

力参考传感器 ...

... 用于标定测试

	U15	Top Transfer	Z30A	Z4A	STZ
力的方向					
设计	拉压向				拉向
					
Class to ISO 376	0.5	better than 00	00	00	0.5
额定量程, 最大	10				
	20				
N	50		50 N		
	100	100 N	100 N		
	200	200 N	200 N		
	500	500 N	500 N		
	1		1 kN	1 kN	
kN	2	2,5 kN	2 kN	2 kN	
	5	5 kN	5 kN	5 kN	
	10	10 kN	10 kN	10 kN	
	20	25 kN	20 kN		20 kN
	50	50 kN	50 kN		50 kN
	100	100 kN	100 kN		100 kN
	200	250 kN	200 kN		200 kN
500	500 kN	500 kN		500 kN	
MN	1	1 MN			600 kN 1 MN
	2				
	5				
特性	高精度力传感器 用于工业和研发领域标定	· 最高精度力传感器 · 用作标定标准 · TEDS	· 最高精度力传递标准 · 用作国际比对测量 · TEDS	· 小量程高精度测量	· 材料测试机用特殊力传感器 · 带有弯矩测量

HBM力传感器标准产品量程涵盖50N~5MN（如下表），定制产品可达数十兆牛。

C4	C18	BU18	KD	KDB
				
压向 				
0.5/1	0.5 (00可选)	00	0.5	0.5
<ul style="list-style-type: none"> 20 kN 50 kN 100 kN 200 kN 500 kN 	<ul style="list-style-type: none"> 10 kN 20 kN 50 kN 100 kN 200 kN 300 kN 500 kN 1 MN 2 MN 3 MN 5 MN 	<ul style="list-style-type: none"> 3 MN 	<ul style="list-style-type: none"> 1 MN 2 MN 3 MN 5 MN 	<ul style="list-style-type: none"> 2 MN
<ul style="list-style-type: none"> · 最高精度力测量 · 用作测试标准 	<ul style="list-style-type: none"> · 结构紧凑，高度低 · 标定理想选择 		<ul style="list-style-type: none"> · 材料测试机用特殊力传感器 · 带有弯矩测量 	<ul style="list-style-type: none"> · 材料测试机用特殊力传感器 · 带有弯矩测量

测力仪

ISO376-2011定义了四种可能通过检定的状况：Case A, Case B, Case C, Case D。JJG144-2007也明确了不同情况下的检定项目：当测力仪使用非力值单位时，后续检定需要考察长期稳定度；当测力仪使用力值单位时，首次、后续检定需要考察示值误差；当测力仪为0.01、0.03、0.05级时需检方位误差；进回程差、内插误差根据用户需求进行检定。

也就是说，对于同一传感器，考察不同的检定项目组合，极有可能出现不同的精度等级。

举例：以下为HBM U15技术参数表

Type	U15										
Data per VDI 2638 and ISO 376											
Nominal (rated) force	F _{nom}	kN	2.5	5	10	25	50	100	250	500	
		MN									1
Class to ISO 376 (0.2 F _{nom} to F _{nom}) ¹⁾	0.5										
Nominal (rated) sensitivity	C _{nom}	mV/V	2 ... 3 ³⁾				4 ... 4.8 ⁴⁾				
Rel. zero signal error	d _{s,0}	%	< ± 1								
Rel. reproducibility and repeatability errors (0.2F _{nom} to F _{nom}) for:											
a constant mounting position 重复性	b'	%	< ± 0.025								
varying mounting positions 方位误差	b	%	< ± 0.05								
Rel. interpolation error (0.2F _{nom} to F _{nom}) 内插误差	f _c	%	< ± 0.01			< ± 0.04				< ± 0.05	
Relative zero error (zero signal return) 回零差	f ₀	%	< ± 0.01						< ± 0.02		
Rel. reversibility error (0.2F _{nom} to F _{nom}) 进回程差	v	%	< ± 0.075			< ± 0.1		< ± 0.125		< ± 0.15	
Relative linearity error 线性	d _{lin}	%	< ± 0.03			< ± 0.04				< ± 0.06	
Temperature effect on sensitivity per 10 K, relative to the nominal (rated) sensitivity 温度对灵敏度影响	TK _c	%	< ± 0.015								
Temperature effect on the zero signal per 10 K, related to the nominal (rated) sensitivity 温度对零点影响	TK ₀	%	< ± 0.01								
Relative creep over 30 min 蠕变	d _{crF+E}	%	< ± 0.04			< ± 0.025					
Effect of lateral forces (lateral force 10% F _{nom})	d _Q	%	< 0.015								

根据JJG144-2007，考察不同的检定项目组合如Case 1、Case 2，U15各量程段精度等级如下表（传感器为首次检定，采用非力值单位）

U15	Case 1	Case 2
2.5~10kN	0.03	0.03
25~500kN	0.05	0.03
1MN	0.05	0.05

Case 1: 考虑进回程差、内插误差

Case 2: 不考虑进回程差、内插误差

结论：计量行业测力仪精度等级（或传感器的选择），不仅要看检定规程与厂家技术参数的对应关系，而且要看所要考察的检定项目组合。

力标准器，指示仪表，模拟器

1. 力标准器

根据测力仪的规格分别选用相应量程的标准测力砝码、标准测力仪、标准测力杠杠，材料试验机或力基标准机作为检定测力仪的力标准器，力标准器的准确度级别原则上应优于被检测力仪准确度级别的3倍。

2. 指示仪表

力传感器检定中使用的指示仪表的相关技术指标，原则上应不超过被检力传感器相应技术指标的三分之一。

* 对于精度等级优于0.05级的高精度传感器，推荐配套DMP40、DMP41超高精度放大器。

指示仪表选择		
力传感器精度	配套HBM指示仪表	HBM仪表精度
≤ 0.01	DMP40、DMP41	0.0005
0.02~0.1	MGCplus (ML38) *	0.0025
0.3~1	MVD2555、Scout55	0.1

标准
测力
仪



U15,C18,Z30,Z4A 等参考传感器

工
作
测力
仪



工业级力传感器



MGCplus



DMP41



Scout55



MVD2555

3. 桥路模拟器

桥路模拟器模拟应变1/4桥、全桥标准信号，用于检定校准桥路测量仪表。

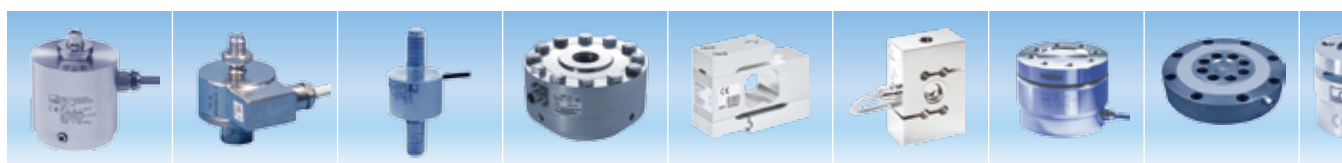
模拟器型号	BN100A	K148	K3607	K800
校验量	应变全桥	应变全桥	应变全桥	四分之一桥
精度	0.0005	0.0025,0.01	0.025	0.03

测力仪




















2. 工作测力仪JIG455

JIG455工作测力仪检定规程准确度评定指标分为以测量上限（0.1~5.0级）和以检定示值（1.0~5.0级）确定测力仪准确度级别。技术指标要求相对较低，HBM高性价比工业级力传感器所标精度等级基本可与其规定级别一一对应。推荐几款性价比高的型号：小量程（10N~50kN）S2M,S9M，大量程（~5MN）U5、C6A等。

工业测力仪仪表建议选择 MVD2555 或 Scout55, 见“力标准器，指示仪表，模拟器” 章节



力传感器	U1A	U2B	U9C	U10M/U10S	S2M	S9M	U3	U5	C6A
测量原理	应变								
力的方向	拉压向								
设计									
线性误差 (%)	0.1	0.2/0.1	0.2	0.03-0.06	0.02	0.02	0.2	0.1/0.3	0.05
额定量程, 最大	10 N 20 N 50 N				10 N 20 N 50 N				
N			50 N		50 N				
			100 N		100 N				
			200 N		200 N				
		500 N	500 N		500 N	500 N	500 N		
				1.25 kN		1 kN			
				2 kN					
kN		1 kN	1 kN	2.5 kN		1 kN	1 kN		
		2 kN	2 kN	5 kN		2 kN	2 kN		
		5 kN	5 kN	12.5 kN		5 kN	5 kN		
		10 kN	10 kN	25 kN		10 kN	10 kN		
		20 kN	20 kN	50 kN		20 kN	20 kN		
		50 kN	50 kN	125 kN		50 kN	50 kN		
MN				250kN			100 kN	100 kN	
				500kN			200 kN	200 kN	
							500 kN	500 kN	
特性	拉压向微型传感器 过载保护	通用性高 主要应用:测试台 和材料试验机	拉压向微型传感器 紧致密封	高动态, 高振动带宽 高精度 双桥设计 TEDS	拉压向过载保护 高精度	窄形设计 高精度	侧向力不敏感 非常结实	结实 法兰连接, 容易安装	结构 结实 TEDS

									
U93	C2	C9C	C6A	SLB700A	KMR	CFT	CFW	CLP	CMC
						压电			
压向						压力			
									
0.5	0.2/0.1	0.2	0.5	0.2	10	1 (典型0.5)	1 (典型0.5)	1 (典型0.5)	1 (典型0.5)
		50 N 100 N 200 N							
1 kN	500 N 1 kN	500 N 1 kN							
2 kN	1 kN 2 kN	1 kN 2 kN							
5 kN	5 kN	5 kN		500 μm/m		5 kN		7 kN	5 kN
10 kN	10 kN	10 kN							
20 kN	20 kN	20 kN							
50 kN	50 kN	50 kN							
	100 kN					120 kN		62 kN	120 kN
	200 kN						20 kN 700 kN		
			200 kN 500 kN						
			1 MN 2 MN 5 MN						
紧凑 安装 S	紧凑密封 高度低	微型传感器 紧凑密封	超大量程, 尺寸小 通孔设计	应变传感器 mV/V,电压, 电流输出	采用应变技术 的大量程力垫圈	极其坚硬 无变形 TEDS	结构紧凑 无变形	超薄 最大高度 仅4mm	测量链

力传感器，称重传感器

1. 力传感器

JJG391为力传感器检定规程，明确了应变式力传感器的首次检定、后续检定、使用中检验项目及方法。主要需要考察力传感器零点输出、零点漂移、重复性、直线度、滞后、长期稳定性、蠕变/蠕变恢复、零点输出温度影响、额定点输出温度影响。所有指标均为绝对误差，即满量程误差。

JJG391将力传感器分为8个级别：0.01,0.02,0.03,0.05,0.1,0.3,0.5,1，HBM工业级力传感器所标精度等级基本可与JJG391规定级别（0.1~1级）一一对应，HBM参考传感器可对应到0.01~0.05级。



2. 称重传感器

JJG 669为称重传感器检定规程，称重传感器生产商一般依据GB/T 7551进行出厂检验、型式检验。它们均等效采用了OIML R60: 2000 (Metrological regulation for load cells)。

在进行称重传感器误差（E_I）、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，根据国家量传体系，力标准机选择如下：

量程	力标准机选择
>1MN(100T)	0.05, 0.1级
≤1MN(100T)	0.01, 0.02, 0.03级



叠加式力标准机内参考标准传感器及力标准机检定用标准测力仪选型见“标准机、试验机”章节。

3. 力传感器、称重传感器的区别

尽管力传感器、称重传感器两者的工作原理，结构，材料，制作工艺等基本相同，但两者还是有一定的差别，具体有：测试要求及方法、误差带表示方法、准确度、测量范围、量程衰减、工作温度、加载时间、加载方向、一次与多次安装、疲劳寿命、载荷波形、干扰力、刚性或扰度、固有频率、计量单位等等。所以切记不可混淆使用力传感器和称重传感器，一般计量行业均选择力传感器。国内仅有极少数厂家生产工业级力传感器。

标准机、试验机（设备制造商及使用者，检定机构）

1. JJG 734

JJG 734为力标准机检定规程，力标准机分为静重式、杠杆式、液压式、叠加式，对其检定主要考察力标准机力值重复性、力值误差等。叠加式力标准机误差来源主要有：机械加工精度（机械结构的传力精度），力发生器的加载准确度和稳定性，标准传感器精度，标准传感器二次仪表精度和分辨率，环境影响。大部分误差来源可通过一定方法避免或消除，传感器精度影响尤为重要。标准传感器各项性能指标对叠加式力标准机力值误差影响如左表：

线性	X
滞后	X
重复性	√
温度对零点灵敏度影响	X
蠕变	X
长期稳定性	√

X表示无影响或小量，√表示有影响

叠加式力标准机内参考标准传感器推荐型号表：

性能指标对叠加式力标准机力值误差影响如下表：标准传感器各项性能误差中主要有重复性误差和长期稳定性误差带到叠加式力标准机力值误差中去。对于叠加式力标准机内的参考标准，需带有其首次检定证书或校准证书，建议用户选择HBM Top-Z30A, Top-Z4A, Z30A, Z4A, BU18, C18等重复性性能优良的传感器。此外，力传感器重复性达万分之几的还有C4、U10M、U15、KD、STZ、S2M、S9M等。

叠加式力标准机准确度等级	推荐传感器型号 (高等级覆盖低等级)	传感器重复性
0.02 (非正式级别)	Top-Z30A	0.002
	Top-Z4A	0.003
	Z30A, Z4A	0.02
	BU18	0.015
	KT-RTN	0.02
0.03	C18 (00) 或其组合	0.025
	KT-RTN	0.03
0.05	C18或其组合， CSP (超大量程)	0.04 0.05
0.1	众多	

力标准机检定用标准测力仪技术要求

检定力标准机所需标准测力仪需满足如下要求：标准测力仪各项性能指标都会影响检定精度，需选择符合JJG144的标准测力仪，显示仪表选择DMP40或DMP41。

力标准机准确度等级	0.01	0.03	0.05	0.1
标准测力仪重复性%	0.005	0.01	0.02	0.03
标准测力仪长期稳定度%	0.005	0.015	0.025	0.05
HBM传感器作为标准测力仪 (高等级覆盖低等级)	Top-z30A/Z4A		Z30A/Z4A,C4, BU18,KE,STZ	U15

2. JJG139

JJG139为拉力、压力和万能试验机检定规程，明确要求检定试验机必须使用标准测力仪，具体要求如下表：

试验机检定用标准测力仪			
试验机级别	0.5	1	2
标准测力仪	0.1	0.3	0.5

拉力、压力和万能试验机用力传感器推荐使用HBM S型传感器S2M/S9M和轮辐式传感器U10M；检定试验机用标准测力仪推荐使用Z30A/Z4A, C4, C18, BU18, U15。



HBM在计量行业

HBM成立于1950年，1977年德国首家DKD标定服务试验室在HBM成立。从此，HBM一直是全球最先进的标定服务实验室之一。根据DIN EN ISO/IEC 17025，HBM 可以为用户提供力、压力、扭矩和电压比标定服务。

HBM 高精度力传感器是国家计量院进行国际比对的首选。HBM TOP级力传感器精度等级优于00级，重复性约为ISO 376最高标准的10倍，灵敏度变化每年不超过0.002%。

自1979年以来 HBM参加IMEKO（国际计量技术联合会）从未间断，自1997年以来HBM被336篇IMEKO及TC3论文提及。

HBM 7.5、10、20MN（ISO 376 Class 0.5，如下图）力传感器成功应用于20、30、60MN力标准机。



HBM全球客户：BIPM France、AIST/NMIJ Japan、PTB Germany、KRISS Korea、NPL in the UK、NPL in India、NIST in US、BSN Indonesia、LNE France、CEM Spain、UME Turkey、INRIM、Italy、NRLM Thailand、NIM China、SMERI China、SP Sweden、ITRI Chinese Taipei、National Metrology Center Singapore、MIKES Finland、METAS Switzerland、CMI Czech Republic、INM Romania、NIST USA、NINT Canada、CIRIM Malaysia、SCL Hong Kong、CENAM Mexico、INMETRO Brazil、VMI Vietnam、VSL Netherlands、NMISA South Africa、KIM-LIPI Indonesia、GUM Poland、国内国家级、省级、市县级计量院、企业单位等。

公认的精度:

HBM 标定设备和服务

可靠及可追溯

HBM拥有全球最现代化的标定实验室:

- ___ DKD唯一一家最宽标定范围
- ___ HBM是德国DKD首家标定实验室, 并领导制定事实国家标准
- ___ 除德国国家计量院外全球最优的实际测量能力



HBM 中国标定中心



HBM标定设备Bluetower主要对以下产品进行校准

- MX410, MX460, MX840, MX1609 放大器
- CANHEAD, Spider8, MVD2555 和 Scout55 放大器
- MGCplus

注: 针对上述数采校准我们可以对除频率输出外的其他模拟量 (如电压, 电流等) 通道做到14点标定, 频率通道可以做到8点标定。

HBI标定设备主要准对以下产品做校准。

- Gen2i, Gen5i, Gen7t, Gen16t 高速数据采集系统
- Isobe5600 隔离探针系统
- 6600 隔离数字化仪
- Liberty

注: 主要对采集板卡进行三种校准(通过改变滤波方式进行校准) - wideband, Bessel 3, butterworth

高精度放大器和标定设备

DMP41	DMP40	BN100A	K148
测量量	测量量	校验量	
应变全桥	应变全桥	应变全桥	应变全桥
精度	精度	精度	
0.0005	0.0005	0.0005	0.0025(225~600Hz) 0.01(DC, 600~5000Hz)
接口	接口	工作温度	
Ethernet USB	RS232, RS422/485, IEEE-488	+15 ~ +30	+15 ~ +40
通道	通道	校验步骤	
2, 6	8 ~ 16	-100~+100mV/V 每步0.1mV/V	5档 ±2, ±5, ±10, ±20, ±100mV/V 11步/档 0, 10, ..., 100%
特点	特点		
高精度 稳定性高, 内含数字滤波器 自动校正 同步测量 后台校正	高精度 稳定性高, 内含数字滤波器 自动校正		



扭矩标定

- 大量程 (2 N·m 到 25 kN·m)
- 准国家标准已经使用很多年了, 因为在德国仅此一套设备
- 极高的精度, 采用最好的计量测试系统 (杠杆-砝码式)



力标定

- 1977年, 第一次 DKD 标定来自 HBM
- 量程宽 (2.5 N 到 5 MN)
- 采用最好的计量系统 (静重式)

K3607	K800
	
应变全桥	四分之一桥
0.025	0.003
+10 ~ +50	+10 ~ +40
5档 0.5, 1, 2, 5, 10mV/V 11步/档 0,10,...100%	5档 -8, -4, 0, 4, 8 mV/V 11步/档 0,10,...100%

压力标定

- DKD 标定的量程很宽 (0.1 到 3600 bar)
- 采用静重式测试台, 保持极高的精度



电压比 mV/V 标定

- 最独特的测量选项组合 (直接和交互性电压),
- 最高的 DKD 精度
- 多年来制造标定设备和测量放大器技术

