



# 天津市地方计量技术规范

JJF(津) XXX—XXXX

## 静态变形模量测试仪校准规范

Calibration Specification for Static Deformation Modulus Testers

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

天津市市场监督管理委员会 发布

静态变形模量测试仪  
校准规范

JJF(津) XXX—XXXX

Calibration Specification for  
Static Deformation Modulus Testers

归口单位：天津市市场监督管理委员会

主要起草单位：天津水运工程研究院有限公司

交通运输部天津水运工程科学研究所

参加起草单位：天科泰瑞检测（天津）有限公司

天津天科工程管理有限公司

本规范委托天津水运工程研究院有限公司负责解释

**本规范主要起草人：**

- 吴昊旭（天津水运工程研究院有限公司）
- 李昊忱（交通运输部天津水运工程科学研究所）
- 石 峥（天津水运工程研究院有限公司）
- 武海洋（天津水运工程研究院有限公司）
- 高 辉（交通运输部天津水运工程科学研究所）

**参加起草人：**

- 潘 猛 [天科泰瑞检测（天津）有限公司]
- 董子渲 [天科泰瑞检测（天津）有限公司]
- 赵光泽（天津天科工程管理有限公司）
- 袁 菊（天津天科工程管理有限公司）
- 刘 洋（交通运输部天津水运工程科学研究所）



# 目 录

引言.....	II
1 范围 .....	1
2 引用文件 .....	1
3 术语和计量单位 .....	1
3.1 术语 .....	1
3.2 计量单位 .....	1
4 概述 .....	1
5 计量特性 .....	2
5.1 承载板尺寸 .....	2
5.2 载荷相对示值误差 .....	2
5.3 载荷重复性载荷 .....	2
5.4 位移示值误差 .....	2
6 校准条件 .....	2
6.1 环境条件 .....	2
6.2 校准用计量器具 .....	2
6.3 配套设备 .....	3
6.4 加力条件 .....	3
7 校准项目和校准方法 .....	3
7.1 校准前检查 .....	3
7.2 承载板尺寸 .....	3
7.3 载荷相对示值误差 .....	4
7.4 载荷重复性 .....	4
7.5 位移示值误差 .....	5
8 校准结果表达 .....	5
9 复校时间间隔 .....	5
附录 A 静态变形模量测试仪校准记录推荐格式 .....	7
附录 B 静态变形模量测试仪校准证书内页格式 .....	8
附录 C 静态变形模量测试仪校准结果不确定度评定示例 .....	10

# 引 言

本规范以JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》为基础性系列规范进行编写。

本规范为首次发布。

# 静态变形模量测试仪校准规范

## 1 范围

本规范适用于静态变形模量测试仪的校准。

## 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 455 工作测力仪

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

## 3 术语和计量单位

### 3.1 术语

#### 3.1.1 变形模量 strain modulus

变形模量是用于判断承载面压缩性的指标，通过圆形承载板和加载装置对加载面加载后，由承载板下应力与承载板中心沉降量计算而得。

### 3.2 计量单位

载荷的计量单位根据静态变形模量测试仪分为两种：牛（N），或是其倍数单位kN等；帕斯卡（Pa），或是其倍数单位MPa等。

位移的计量单位为米（m），或是其倍数单位mm等。

## 4 概述

静态变形模量测试仪用于测定路基在静荷载作用下的沉陷值，从而评估路基的承载力和变形量。静态变形模量测试仪适用于受静荷载作用的铁路、公路、机场、城市交通、港口、码头及工业与民用建筑的地基施工质量监测。

静态变形模量测试仪的工作原理为：通过圆形承载板和加载装置对地面进行第一次加载和卸载后，再进行第二次加载，通过测得的承载板下应力和与之相对应的承载板中心沉降值计算变形模量的值。

静态变形模量测试仪主要由主机、位移传感器、测量基准架、载荷传感器、承载板和载荷泵等组成，其结构组成如图1所示。

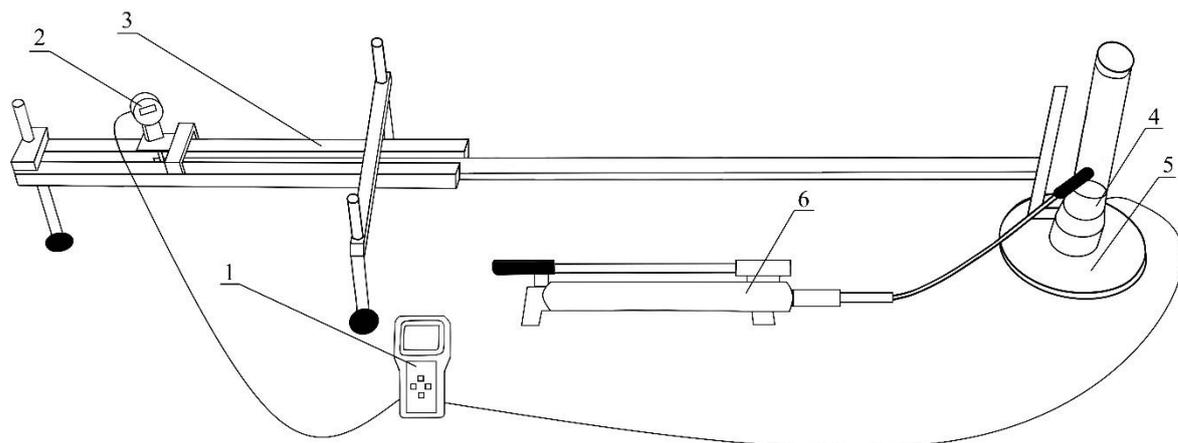


图1 静态变形模量测试仪结构示意图

1—主机；2—位移传感器；3—测量基准架；4—载荷传感器；5—承载板；6—载荷泵。

## 5 计量特性

### 5.1 承载板尺寸

承载板直径应为  $300\text{ mm} \pm 0.5\text{ mm}$ ，厚度应为  $25\text{ mm} \pm 0.2\text{ mm}$ 。

### 5.2 载荷相对示值误差

静态变形模量测试仪载荷传感器的最大允许误差为 $\pm 1\%$ ，分辨力不低于  $0.001\text{ MPa}$  或  $0.01\text{ kN}$ 。

### 5.3 载荷重复性

静态变形模量测试仪载荷传感器的重复性不大于  $1\%$ 。

### 5.4 位移示值误差

静态变形模量测试仪位移传感器的最大允许误差为 $\pm 0.04\text{ mm}$ ，分辨力不低于  $0.01\text{ mm}$ 。

注：上述计量特性不作合格与否的判定。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

6.1.1 环境温度： $(20 \pm 5)\text{ }^\circ\text{C}$ 。

6.1.2 相对湿度： $\leq 85\%$ 。

6.1.3 环境清洁且周围无强电磁场干扰、振动等影响。

### 6.2 校准用计量器具

表1 校准用标准装置

序号	设备名称	测量范围	技术要求
1	表面粗糙度比较样块	标称值 Ra 6.3 $\mu\text{m}$	MPE: +12%~ -17%
2	游标卡尺	0 mm~500 mm	分度值不低于 0.02 mm MPE: $\pm 0.05$ mm
3	标准测力仪	10 kN~100 kN	不低于 0.3 级
4	指示表检定仪	0 mm~50 mm	MPE: $\pm 6$ $\mu\text{m}$

### 6.3 配套设备

6.3.1 配有足够刚度、稳固的门式框架或反力架，其结构在承受最大力值时无明显变形。

### 6.4 加力条件

6.4.1 标准测力仪的安装应保证其主轴线与静态变形模量测试仪载荷传感器轴线相重合。

6.4.2 标准测力仪与静态变形模量测试仪载荷传感器的接触面平滑，不得有锈蚀、擦伤及杂物。

注：允许使用满足准确度等级/最大允许误差/不确定度要求的其他测量标准及其他设备进行校准。

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准前检查

7.1.1 静态变形模量测试仪应有下列标识：仪器名称、规格型号、测量范围以及生产单位等内容。

7.1.2 静态变形模量测试仪应结构牢固，装配件无松动，承载板无明显变形、翘曲，线缆外表面无损伤，主机面板功能正常，数字显示清晰、完整。

7.1.3 用表面粗糙度比较样块与承载板表面进行目力比较，承载板的表面粗糙度不应大于 Ra 6.3  $\mu\text{m}$ 。

### 7.2 承载板尺寸

#### 7.2.1 承载板直径

在承载板圆周上均匀选取 3 个测量点并进行标记。将游标卡尺沿标记点分对承载板直径进行测量，共测量 3 次，计算平均值作为测量结果。

#### 7.2.2 承载板厚度

将游标卡尺沿 7.2.1 中标记点至承载板圆心对承载板厚度进行测量，共测量 3 次，计算平均值作为测量结果。直径及厚度测量点的选取如 2 所示。

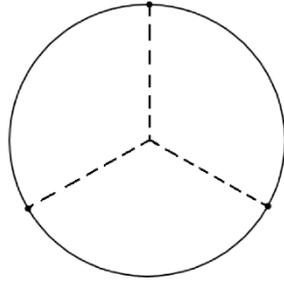


图2 承载板直径及厚度测量点的选取示意图

### 7.3 载荷相对示值误差

载荷相对示值误差应选取至少 5 个校准点，一般取静态变形模量测试仪的荷载传感器测量上限的 20%、40%、60%、80%、100% 5 个点，可根据客户需求选择。

开启静态变形模量测试仪，操作荷载泵预压荷载传感器至满量程，卸力后清零。沿荷载传感器受力轴线逐点递增标准力值，至各校准点并保持稳定后读取静态变形模量测试仪荷载示值，加力结束后，卸力回零并等待 30 s 后进行下一次加力。该过程连续进行 3 次，计算各点平均值。

当设备显示力值时，按公式 (1) 计算各点的载荷相对示值误差  $\delta$ 。

$$\delta = \frac{\overline{X}_i - F_i}{F_i} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

$\overline{X}_i$ ——静态变形模量测试仪第  $i$  点示值的平均值，kN；

$F_i$ ——标准测力仪第  $i$  点的标准力值，kN。

当设备显示应力值时，按公式 (2) 计算各点的载荷示值误差。

$$\delta = \frac{\overline{P}_i S - F_i}{F_i} \times 100\% \quad (2)$$

$\overline{P}_i$ ——静态变形模量测试仪第  $i$  点示值的平均值，MPa；

$S$ ——根据 7.2.1 中的承载板实测直径计算而得的承载板面积， $\text{m}^2$ 。

### 7.4 载荷重复性

按公式 (3) 或公式 (4) 计算各点的载荷重复性  $R$ 。

$$R = \frac{X_{i\max} - X_{i\min}}{X_i} \times 100\% \quad (3)$$

$$R = \frac{P_{i\max} - P_{i\min}}{P_i} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

$X_{i\max}$ ， $X_{i\min}$ ——静态变形模量测试仪第  $i$  点 3 次重复测量的最大值、最小值，kN；

$P_{i\min}$ ,  $P_{i\max}$ ——静态变形模量测试仪第  $i$  点 3 次重复测量的最大值、最小值, MPa。

## 7.5 位移示值误差

位移示值误差应至少校准 6 个点, 在 5 mm 以内每 1 mm 设置 1 个校准点, 5 mm 以上每 5 mm 设置 1 个校准点, 直至最大量程。将静态变形模量测试仪的位移传感器装夹在指示表检定仪表架上, 使测杆处于水平的状态。压缩测杆并将指示值置零, 同时调整标准器的零值后开始测量, 在测杆正行程方向上, 按校准间隔进行逐点测量, 直至整个测量范围。并按公式 (5) 计算各点的位移示值误差  $\Delta S_i$ 。

$$\Delta S_i = S_i - S_{i0} \quad (5)$$

式中:

$S_i$ ——静态变形模量测试仪第  $i$  点的位移传感器示值, mm;

$S_{i0}$ ——指示表检定仪第  $i$  点的位移值, mm。

## 8 校准结果表达

校准结果应在校准证书上反映, 校准证书应包括以下信息:

- a) 标题: “校准证书”;
- b) 实验室名称和地址;
- c) 进行校准的地点;
- d) 校准证书编号, 页码及总页数的标识;
- e) 客户的名称和地址;
- f) 被校仪器的制造单位、名称、型号及编号;
- g) 校准单位校准专用章;
- h) 校准日期;
- i) 校准所依据的技术规范名称及代号;
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明;
- k) 校准时的环境温度、相对湿度;
- l) 校准结果及其测量不确定度;
- m) 对校准规范的偏离的说明 (若有);
- n) “校准证书”的校准人、核验人、批准人签名及签发日期;
- o) 校准结果仅对被校仪器本次测量有效的声明;
- p) 未经实验室书面批准, 部分复制证书或报告无效的声明。

## 9 复校时间间隔

建议复校时间间隔不超过12个月，期间如发生故障，建议重新校准。

由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的，因此，送校单位可根据使用情况自主决定复校时间间隔。

## 附录 A

## 静态变形模量测试仪校准记录参考格式

证书编号：

仪器名称				校准地点						
送检单位				生产单位						
规格型号				仪器编号						
温度				相对湿度						
计量标准器		测量范围		不确定度/准确度等级/最大允许误差		计量(基)标准证书编号		有效期至		
序号	校准项目		校准记录							
1	校准前检查									
2	承载板尺寸	/	1 mm		2 mm		3 mm		平均值 mm	
		直径								
		厚度								
3	载荷		标准值 kN	1 kN (MPa)	2 kN (MPa)	3 kN (MPa)	平均值 kN (MPa)	相对示值误差 %	重复性 %	测量不确定度 $U_{rel}$
4	位移		标准值 mm		实测值 mm		示值误差 mm		测量不确定度 $U$	

校准员：

核验员：

校准日期：

年 月 日

## 附录 B

## 静态变形模量测试仪校准证书内页格式

## 校准证书第 2 页

证书编号×××××××-××××				
校准机构授权说明				
校准环境条件及地点:				
温度	°C	地点		
相对湿度	%	其他		
校准使用的计量(基)标准装置				
名称	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	计量(基)标准证书编号	有效期至
校准使用的标准器				
名称	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	校准/校准证书编号	有效期至
第 2 页 共 3 页				

## 校准证书第 3 页

证书编号xxxxxx-xxxx

## 校准结果

1. 校准前检查:

2. 承载板尺寸:

项目	结果 mm
直径	
厚度	

3. 载荷:

标准值 kN	相对示值误差 %	重复性 %	测量不确定度 $U_{rel}$ $k=2$

4. 位移:

标准值 mm	示值误差 mm	测量不确定度 $U$ $k=2$

以下空白

## 附录 C

## 静态变形模量测试仪校准结果不确定度评定示例

## C.1 载荷示值校准结果不确定度评定

## C.1.1 概述

C.1.1.1 环境条件：环境温度为 20.0℃，环境相对湿度 35%。

C.1.1.2 测量对象：静态变形模量测试仪。

C.1.1.3 测量标准：标准测力仪，测量范围（10~100）kN，准确度等级 0.3 级。

C.1.1.4 测量方法：将标准测力仪与静态变形模量测试仪的载荷传感器轴线重合，对被测静态变形模量测试仪的载荷示值误差进行测量。

## C.1.2 不确定度分析

## C.1.2.1 测量模型

$$\delta = \frac{X_i - F_i}{F_i} \times 100\% \dots\dots\dots (C.1)$$

式 (C.1) 中：

$\delta$ ——载荷示值误差；

$X_i$ ——静态变形模量测试仪第  $i$  点的示值，kN；

$F_i$ ——标准测力仪第  $i$  点的标准力值，kN。

## C.1.2.2 不确定度来源

测量不确定度的主要来源有：

- (1) 被测载荷传感器测量重复性引入的不确定度  $u_1$ ；
- (2) 被测载荷传感器分辨力引入的不确定度  $u_2$
- (3) 标准测力仪示值误差引入的不确定度  $u_3$ 。

## C.1.3 校准能力分析

## C.1.3.1 各输入量的标准不确定度分量的评定

C.1.3.1.1 被测载荷传感器测量重复性引入的标准不确定度  $u_1$ 

对被测载荷传感器 50 kN 点重复测量 10 次，得到测量重复性数据如下：

表 C.1.1 静态变形模量测试仪载荷测量重复性数据

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值 (kN)	50.25	50.28	50.26	50.23	50.31	50.26	50.28	50.25	50.29	50.26

$$s(Y_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{y})^2}{n-1}} = 0.023 \text{ kN}$$

校准时以 3 次测量值的算数平均值为测量结果，则由重复性引入的标准不确定度为：

$$u_1 = \frac{0.023}{\sqrt{3}} = 0.013 \text{ kN}$$

#### C.1.3.1.2 被测载荷传感器分辨力引入的不确定度 $u_2$

被测传感器分辨力为 0.01kN，设为均匀分布，按不确定度的 B 类评定方法，有：

$$u_2 = \frac{0.01}{2\sqrt{3}} = 0.002 \text{ kN}$$

由于重复性与分辨力都由被测传感器引入，二者取较大值 0.013kN 作为被测载荷传感器引入的不确定度。

#### C.1.3.1.3 标准测力仪示值误差引入的不确定度 $u_3$

标准测力仪准确度等级为 0.3 级，采用 B 类不确定度评定方法，服从均匀分布，取  $k=\sqrt{3}$ ，则标准不确定度为：

$$u_3 = \frac{0.003 \times 50}{\sqrt{3}} = 0.087 \text{ kN}$$

#### C.1.3.2 各不确定度分量汇总表

表 C.1.2 各不确定度分量汇总

标准不确定度分量	不确定度来源	类型	标准不确定度值	灵敏度系数
$u_1$	被测载荷传感器测量重复性	A	0.013kN	1
$u_3$	标准测力仪示值误差	B	0.086kN	-1

#### C.1.3.3 合成标准不确定度

参照不确定度分量汇总表，各分量不相关，合成标准不确定度如下：

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_3^2 u_3^2} = 0.087 \text{ kN}$$

#### C.1.3.4 合成扩展不确定度

取包含因子  $k=2$

$$U=k \times u_c=0.17 \text{ kN}$$

则相对扩展不确定度为:  $U_{\text{rel}} = \frac{0.17}{50} \times 100\% = 0.4\%$ ,  $k=2$ 。

## C.2 位移示值校准结果不确定度评定

### C.2.1 概述

C.2.1.1 环境条件: 环境温度为 20.0°C, 环境相对湿度 35%。

C.2.1.2 测量对象: 静态变形模量测试仪。

C.2.1.3 测量标准: 光栅指示表检定仪, 测量范围 (0~50) mm, MPEV: 6μm。

C.2.1.4 测量方法: 将被测位移传感器安装在光栅指示表检定仪上, 对被测传感器的位移示值误差进行测量。

### C.2.2 不确定度分析

#### C.2.2.1 测量模型

$$e=L_d-L_S \dots \dots \dots (C.2)$$

式 (C.2) 中:

$L_d$ ——位移传感器的示值 (20°C条件下);

$L_S$ ——光栅指示表检定仪的示值 (20°C条件下);

#### C.2.2.2 不确定度来源

测量不确定度的主要来源有:

- (1) 测量重复性引入的不确定度  $u_1$ ;
- (2) 被测位移传感器分辨力引入的不确定度  $u_2$
- (3) 光栅指示表检定仪示值误差引入的不确定度  $u_3$ ;
- (4) 位移传感器和光栅指示表检定仪线胀系数引入的不确定度  $u_4$ 。

### C.2.3 校准能力分析

#### C.2.3.1 各输入量的标准不确定度分量的评定

##### C.2.3.1.1 测量重复性引入的标准不确定度 $u_1$

对被测位移传感器 10mm 点重复测量 10 次, 得到测量重复性数据如下:

表 C.2.1 静态变形模量测试仪位移测量重复性数据

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

测量值 (mm)	10.00	10.00	10.00	10.00	10.01	10.00	10.00	10.01	10.00	10.00
-------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

$$s(Y_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{y})^2}{n-1}} = 0.0042\text{mm} = 4.22\mu\text{m}$$

以 10mm 校准点为例，则由重复性引入的标准不确定度为：

$$u_1 = s = 4.22\mu\text{m}$$

#### C.2.3.1.2 被测位移传感器分辨力引入的不确定度 $u_2$

被测传感器分辨力为 0.01mm，设为均匀分布，按不确定度的 B 类评定方法，有：

$$u_2 = \frac{10}{2\sqrt{3}} = 2.89\mu\text{m}$$

由于重复性与分辨力都由被测位移传感器引入，二者取较大值 4.22 $\mu\text{m}$  作为被测位移传感器引入的不确定度。

#### C.2.3.1.3 光栅指示表检定仪示值误差引入的不确定度 $u_3$

光栅指示表检定仪在任意 30mm 范围内 MPEV 为 4 $\mu\text{m}$ ，采用 B 类不确定度评定方法，服从均匀分布，取  $k = \sqrt{3}$ ，则标准不确定度为：

$$u_3 = \frac{4\mu\text{m}}{\sqrt{3}} = 2.31\mu\text{m}$$

#### C.2.3.1.4 位移传感器和光栅指示表检定仪线胀系数引入的不确定度 $u_4$

经实验，符合校准规范规定的环境条件下位移传感器和光栅指示表检定仪线胀系数引入的不确定度较小，可忽略不计。

#### C.2.3.2 各不确定度分量汇总表

表 C.2.2 各不确定度分量汇总

标准不确定度分量	不确定度来源	类型	标准不确定度值	灵敏度系数
$u_1$	测量重复性	A	4.22 $\mu\text{m}$	1
$u_3$	光栅指示表检定仪示值误差	B	2.31 $\mu\text{m}$	-1

#### C.2.3.3 合成标准不确定度

参照不确定度分量汇总表，各分量不相关，合成标准不确定度如下：

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_3^2 u_3^2} = 4.8\mu\text{m}$$

#### C.2.3.4 合成扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，扩展不确定度为： $U=k \times u_c=0.01\text{mm}$ 。

---