



# 黑龙江省地方计量技术规范

JJF（黑）01-2017

---

## 桩基静载荷测试仪校准规范

Calibration Specification of Pile Static Load Measuring Instrument

2017-03-24 发布

2017-05-01 实施

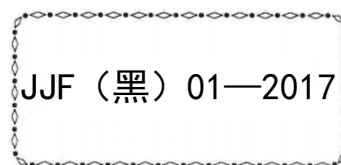
---

黑龙江省质量技术监督局 发布



# 桩基静载荷测试仪校准规范

Calibration Specification of Pile  
Static Load Measuring Instrument



---

归 口 单 位：黑龙江省质量技术监督局

主要起草单位：哈尔滨市计量检定测试院

本规范委托哈尔滨市计量检定测试院负责解释

**本规范主要起草人：**

金龙学（哈尔滨市计量检定测试院）

张多利（哈尔滨市计量检定测试院）

姜 澎（哈尔滨工业大学）

李健隽（哈尔滨市计量检定测试院）

杨智勇（哈尔滨市计量检定测试院）

**参加起草人：**

袁晓棣（哈尔滨市计量检定测试院）

张爽军（哈尔滨市计量检定测试院）

# 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 测量范围.....	(2)
5.2 位移分辨力.....	(2)
5.3 示值误差.....	(2)
5.4 重复性.....	(2)
6 校准条件.....	(2)
6.1 环境条件.....	(2)
6.2 测量标准及其他设备.....	(3)
7 校准项目和校准方法.....	(3)
7.1 校准项目.....	(3)
7.2 校准方法.....	(3)
8 校准结果的处理.....	(7)
9 复校时间间隔.....	(7)
附录 A 桩基静载荷测试仪校准原始记录 (推荐性) .....	(8)
附录 B 校准证书内页格式 .....	(12)
附录 C 测量结果的不确定度评定示例 .....	(13)

# 引 言

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》共同构成本规范制定工作的基础性系列规范。

本规范为首次制定。

# 桩基静载荷测试仪校准规范

## 1 范围

本规范适用于桩基静载荷测试仪（以下简称静载仪）的校准。

## 2 引用文件

本规范引用下列文件：

JJG 860-2015 压力传感器（静态）

JJG 391-2009 力传感器

JJF 1305-2011 线位移传感器校准规范

GB/T 7665-2005 传感器通用术语

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 桩基静载荷测试仪 pile static load measuring instrument

能够对基桩施加竖向压力和水平力，并能够测量基桩相应检测点承受的随时间变化的压力（力值）和位移的仪器。

#### 3.1.2 压力传感器 pressure transducer/sensor

能感受压强并转换成可用输出信号的传感器。

#### 3.1.3 力传感器 force transducer/sensor

能感受力并转换成可用输出信号的传感器。

#### 3.1.4 位移传感器 displacement transducer/sensor

能感受位移量并转换成可用输出信号的传感器。

### 3.2 计量单位

静载仪的计量单位为压力 Pa（帕斯卡）、力值 N（牛顿）和位移 mm（毫米），或是它的十进倍数单位：MPa、kN 和 m。

## 4 概述

静载仪广泛应用于建筑工程中桩基的抗压、抗静拔承载力试验。

进行桩基静载实验时，通过液压千斤顶给基桩施加静载荷，使基桩产生位移，压力

(或力值)传感器和位移传感器将各自的信号变化量值反馈给静载仪主机,经静载仪主机的显示单元显示基桩在静载荷作用下的力值和位移值(工作原理示意图见图1)。

静载仪通常由一台主机,一个压力传感器及若干个位移传感器、数据盒、控载盒、油泵、液压千斤顶等组成。静载仪结构应满足在进行校准和使用过程中的安全、可靠,不得存在对操作人员及被测仪器造成危害、危险的元器件。

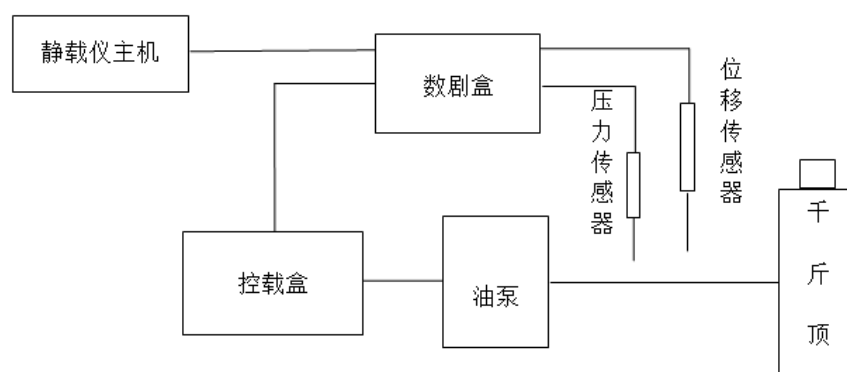


图1 静载仪工作原理示意图

## 5 计量特性

静载仪主要的计量特性有:测量范围、位移分辨力、示值误差、重复性。

### 5.1 测量范围:

5.1.1 位移: 0mm~50mm。

5.1.2 荷载:

a) 压力: 0Pa~70Pa;

b) 力: 0kN~5000kN。

5.2 位移分辨力: 0.01mm。

5.3 示值误差

5.3.1 压力示值误差:  $\pm 0.5\%FS$ 。

5.3.2 力值示值误差:  $\pm 0.5\%FS$ 。

5.3.3 位移示值误差:  $\pm 0.1\%FS$ 。

5.4 重复性: 在同一校准点, 各参数 3 次校准示值的最大差值的绝对值应不大于被校各参数示值误差限的绝对值。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

6.1.1 环境温度:  $(20 \pm 2)^\circ C$ ; 力传感器校准时可在  $(20 \pm 5)^\circ C$  环境条件下进行; 温



度变化应不大于  $1^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。

6.1.2 环境湿度： $\leq 75\%\text{RH}$ 。

6.1.3 电源电压的波动： $198\text{V}\sim 242\text{V}$ ； $342\text{V}\sim 418\text{V}$ 。有特殊规定除外。

6.1.4 校准时，周围应无影响校准结果的震动、冲击、电磁场或其他干扰源。

## 6.2 测量标准及其他设备

### 6.2.1 标准器

- a) 活塞式压力计或数字压力计；
- b) 力标准机或标准测力仪；
- c) 量块或百分表检定仪。

各标准器的最大允许误差绝对值应不大于被校静载仪各参数技术指标绝对值的  $1/3$ 。

### 6.2.2 其他设备

- a) 精密可控加载力源、反力框架；
- b) 位移传感器固定架。

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准项目

静载仪的校准项目见表 1。

表 1 静载仪校准项目一览表

序号	项目名称	技术要求条款号
1	压力示值误差	5.3.1
2	力值示值误差	5.3.2
3	位移示值误差	5.3.3
4	重复性	5.4

### 7.2 校准方法

#### 7.2.1 外观

静载仪的外形结构应完好，说明功能的文字符号、标志、图形、数字和物理量代号等应符合相应的标准，并应清晰端正。静载仪表面不应有明显的凹痕、外伤、裂缝和变形等现象。各部位开关、按键操作应灵活可靠，传感器封装必须密封良好。

#### 7.2.2 显示功能

静载仪的状态显示应正确，显示数字及图像应清晰、稳定。

## 7.2.3 压力传感器校准

## 7.2.3.1 压力传感器校准前准备

a) 测量之前, 待测压力传感器应在规定的环境条件下放置 2h 以上。

b) 将待测压力传感器按要求与静载仪主机及标准器及其他设备正确连接安装, 使其处于正常工作位置。

c) 设备正确连接安装后, 至少通电预热 30min 后方可进行校准。

d) 进行预压压力试验, 预压压力为压力传感器测量范围的上限, 每次稳定 1min 后, 缓慢通大气, 连续进行 3 次。

## 7.2.3.2 压力示值误差及示值重复性

在压力传感器测量范围内至少均匀选择 6 点 (包括零点和测量上限点) 为校准点, 校准首先从零点开始, 逐点平稳地升压至压力传感器测量上限, 依次记录各校准点正行程的静载仪示值和标准压力值, 上述步骤重复进行 3 次。各校准点示值误差  $\Delta p_{ij}$  按公式

(1) 计算, 其结果应满足 5.3.1 条的要求, 示值重复性  $R_{pi}$  按公式 (2) 计算, 其结果应满足 5.4 条的要求。

$$\Delta p_{ij} = \frac{p_{ij} - p_{Bi}}{p_{FS}} \times 100\% \quad (1)$$

式中:  $\Delta p_{ij}$  -----第  $i$  个校准点第  $j$  次正行程静载仪压力示值误差, %FS;

$p_{ij}$  -----第  $i$  个校准点第  $j$  次正行程静载仪压力示值, MPa;

$p_{Bi}$  -----第  $i$  个校准点标准器的压力示值, MPa;

$p_{FS}$  -----压力传感器的满量程, MPa。

$$R_{pi} = \frac{p_{i\max} - p_{i\min}}{p_{FS}} \times 100\% \quad (2)$$

式中:  $R_{pi}$  -----第  $i$  个校准点静载仪压力示值重复性, %FS;

$p_{i\max}$  -----第  $i$  个校准点 3 次正行程静载仪压力示值的最大值, MPa;

$p_{i\min}$  -----第  $i$  个校准点 3 次正行程静载仪压力示值的最小值, MPa;

$p_{FS}$  -----压力传感器的满量程, MPa。

7.2.3.3 如果有多个压力传感器,依据 7.2.3.1 和 7.2.3.2 条款应对每个压力传感器进行校准。

#### 7.2.4 力传感器校准

可采用标准测力仪或力标准机进行校准。

##### 7.2.4.1 力传感器校准前准备

a) 测量之前,待测力传感器应在规定的环境条件下放置 8h 以上。

b) 采用标准测力仪校准时:

将待测力传感器按要求与静载仪主机、标准测力仪及其他设备正确连接安装,标准测力仪与液压控制系统正确连接,使其均处于正常工作位置。

c) 采用力标准机校准时:

将待测力传感器按要求与静载仪主机、力标准机及其他设备正确连接安装,使其均处于正常工作位置。

d) 设备正确连接安装后,至少通电预热 30min 后方可进行校准。

e) 对力传感器施加预负荷至少 3 次,每次额定负荷的保持时间应为 30s~1min。每次加荷至额定负荷后卸荷到零负荷,等待至少 30s。

##### 7.2.4.2 力值示值误差及示值重复性

在力传感器测量范围内至少均匀选择 6 点(包括零点和测量上限点)为校准点,设置好液压控制系统后启动,使加载系统按选定的校准点平稳加载,逐个校准点加载直到力传感器测量上限,每个校准点至少保持 30s 后再记录静载仪正行程校准点的示值和校准点标准值,此校准步骤重复进行 3 次。各校准点示值误差  $\Delta F_{ij}$  按公式(3)计算,其结果应满足 5.3.2 条的要求,示值重复性  $R_{Fi}$  按公式(4)计算,其结果应满足 5.4 条的要求。

$$\Delta F_{ij} = \frac{F_{ij} - F_{Bi}}{F_{FS}} \times 100\% \quad (3)$$

式中:  $\Delta F_{ij}$  -----第  $i$  个校准点第  $j$  次正行程静载仪力示值误差, %FS;

$F_{ij}$  -----第  $i$  个校准点第  $j$  次正行程静载仪力示值, kN;

$F_{Bi}$  -----第  $i$  个校准点标准器的力值示值, kN;

$F_{FS}$  -----力传感器的满量程, kN。

$$R_{Fi} = \frac{F_{i\max} - F_{i\min}}{F_{FS}} \times 100\% \quad (4)$$

式中:  $R_{Fi}$  -----第  $i$  个校准点静载仪力示值重复性, %FS;

$F_{i\max}$  -----第  $i$  个校准点 3 次正行程静载仪力示值的最大值, kN;

$F_{i\min}$  -----第  $i$  个校准点 3 次正行程静载仪力示值的最小值, kN;

$F_{FS}$  -----力传感器的满量程, kN。

7.2.4.3 如果有多个力传感器, 依据 7.2.4.1 和 7.2.4.2 条款应对每个力传感器进行校准。

## 7.2.5 位移传感器校准

### 7.2.5.1 位移传感器校准前的准备

a) 测量之前, 待测位移传感器应在规定的环境条件下放置 4h 以上。

b) 将待测位移传感器按要求与主机及标准器及其他设备正确连接安装, 位移传感器装夹在百分表检定仪上时, 应保证位移传感器的中心线与百分表检定仪的中心线平行, 调整装夹位置, 使静载仪的位移示值尽量靠近零点, 使其处于正常工作位置。

c) 设备正确连接安装后, 至少通电预热 30min 后方可进行校准。

### 7.2.5.2 位移示值误差及示值重复性

将静载仪的位移示值清零或记录其初始值, 在测量范围内至少均匀选择 6 点 (包括零点和测量上限点) 为校准点, 控制百分表检定仪按选定的间隔均匀移动, 每个位移间隔应等到百分表检定仪和静载仪显示稳定后, 再分别记录其示值, 此校准步骤重复进行 3 次, 各校准点示值误差  $\Delta S_{ij}$  按公式 (5) 计算, 其结果应满足 5.3.3 条的要求, 示值重复性  $R_{Si}$  按公式 (6) 计算, 其结果应满足 5.4 条的要求。

$$\Delta S_{ij} = \frac{S_{ij} - S_{Bi}}{S_{FS}} \times 100\% \quad (5)$$

式中:  $\Delta S_{ij}$  -----第  $i$  个校准点第  $j$  次正行程静载仪位移示值误差, %FS;

$S_{ij}$  -----第  $i$  个校准点第  $j$  次正行程静载仪位移示值, mm;

$S_{Bi}$  -----第  $i$  个校准点百分表检定仪标准示值, mm;

$S_{FS}$  -----位移传感器的满量程, mm。

$$R_{Si} = \frac{S_{i\max} - S_{i\min}}{S_{FS}} \times 100\% \quad (6)$$

式中:  $R_{Si}$  -----第  $i$  校准点静载仪位移示值重复性, %FS;

$S_{i\max}$  -----第  $i$  校准点 3 次正行程静载仪位移示值的最大值, mm;

$S_{i\min}$  -----第  $i$  校准点 3 次正行程静载仪位移示值的最小值 mm;

$S_{FS}$  -----位移传感器的满量程, mm。

7.2.5.3 如果有多个位移传感器, 依据 7.2.5.1 和 7.2.5.2 条款应对每个位移传感器进行校准。

## 8 校准结果的处理

经校准的静载仪应出具校准证书。

## 9 复校时间间隔

静载仪的复校时间间隔建议不超过 1 年。

## 附录 A

## 桩基静载荷测试仪校准原始记录（推荐性）

记录编号：

委托单位						
设备名称		规格型号		环境温度	℃	
出厂编号		制造厂家		环境湿度	%RH	
标准器信息						
名称	型号规格	测量范围	不确定度/准确度等级/ 最大允许误差	证书编号 及有效期至		
技术依据						
外观检查						
压力传感器						
压力传感器编号						
标准器示值 (MPa)	被测静载仪压力示值 (MPa)			示值误差 (%FS)	测量结果的不确定度 $U_{rel}$	示值重复性 (%FS)
	1	2	3			

## 桩基静载荷测试仪校准原始记录 (续页)

校准用标定系数						
备注:						
力传感器						
力传感器编号						
标准器示值 (kN)	被测静载仪力值示值 (kN)			示值误差 (%FS)	测量结果的不确定度 $U_{rel}$	示值重复性 (%FS)
	1	2	3			
校准用标定系数						
备注:						

### 桩基静载荷测试仪校准原始记录 (续页)

[illegible]



## 桩基静载荷测试仪校准原始记录 (续页)

[illegible]

[illegible]

## 附录 C

## 测量结果的不确定度评定示例

## 1. 概述

1.1 测量依据：JJF (黑) 001-2017 《桩基静载荷测试仪校准规范》。

1.2 环境条件：温度：(20±2)℃，相对湿度：不大于 75%，温度变化应不大于 1℃/h。

1.3 测量标准：百分表检定仪，MPEV 为 3.0μm。

1.4 被测对象：桩基静载荷测试仪（以下简称为静载仪）的位移传感器。

1.5 测量方法：将位移传感器装夹在百分表检定仪上，应保证位移传感器的中心线与百分表检定仪的中心线平行，调整装夹位置，使静载仪的位移示值尽量靠近零点。将静载仪的位移示值清零或记录其初始值，在 0mm~50mm 范围内控制百分表检定仪按 5mm 间隔移动，每个位移间隔应等到百分表检定仪和静载仪显示稳定后，再分别记录其示值。

1.5 评定结果的使用：符合上述条件的测量结果，一般可参照使用本不确定度的评定方法。

## 2. 测量模型

对测量范围为 50mm 的桩基静载荷测试仪位移部分进行校准，其示值误差为：

$$\Delta S = S - S_B$$

式中：ΔS——校准点的静载仪位移示值误差，mm

S——校准点的静载仪的位移示值，mm；

S<sub>B</sub>——校准点的百分表检定仪的位移值，mm。

## 3. 各标准不确定度评定

3.1 静载仪位移示值的标准不确定度  $u(S)$ 

静载仪位移示值的标准不确定度  $u(S)$  包括两部分，一部分为由静载仪位移示值重复性引入的标准不确定度分量  $u_1(S)$ ，可以通过连续测量得到测量列采用 A 类方法进行评定；另一部分为由静载仪位移分辨力引入的标准不确定度分量  $u_2(S)$ 。

3.1.1 静载仪位移示值重复性引入的标准不确定度分量  $u_1(S)$ 

在重复性条件下，对被校静载仪位移为 50mm 行程点重复测量 10 次，其测量结果见

附表 1 所示:

附表 1 静载仪位移示值

序号 (i)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
示值 $S_i$ (mm)	50.02	50.01	50.02	50.03	50.02	50.01	50.03	50.02	50.03	50.02

其算术平均值  $\bar{S} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i = 50.02 \text{ mm}$

单次实验标准差  $s(S_k) = \sqrt{\frac{\sum (S_i - \bar{S})^2}{n-1}} = 0.007 \text{ mm}$

实际测量 3 次正行程, 取 3 次示值误差最大值为测量结果, 故:

$$u_1(S) = s(S_k) = 0.007 \text{ mm}$$

### 3.1.2 由静载仪位移示值分辨力引入的标准不确定度分量 $u_2(S)$

静载仪位移示值分辨力为  $\delta_{s1} = 0.01 \text{ mm}$ , 则由其引入的标准不确定度为:

$$u_2(S) = \frac{\delta_{s1}}{2\sqrt{3}} = 0.003 \text{ mm}$$

由于  $u_2(S) < u_1(S)$ , 故将其忽略不计, 则:  $u(S) = u_1(S) = 0.007 \text{ mm}$

### 3.2 由百分表检定仪引入的标准不确定度 $u(S_B)$

由百分表检定仪引入的标准不确定度  $u(S_B)$  包括两部分, 一部分为由百分表检定仪示值误差引入的标准不确定度分量  $u_1(S_B)$ ; 另一部分为由百分表检定仪分辨力引入的标准不确定度分量  $u_2(S_B)$ 。

#### 3.2.1 百分表检定仪示值误差引入的标准不确定度分量 $u_1(S_B)$

百分表检定仪在全程范围内的 MPEV 为  $3.0 \mu\text{m}$ ; 其引入的不确定度按 B 类评定, 按均匀分布, 则

$$u_1(S_B) = 3.0 \mu\text{m} / \sqrt{3} = 0.002 \text{ mm}$$

#### 3.2.2 百分表检定仪示值分辨力引入的标准不确定度分量 $u_2(S_B)$

百分表检定仪示值分辨力为  $\delta_s = 0.001\text{mm}$ ，则由其引入的标准不确定度为：

$$u_2(S_B) = \frac{\delta_s}{2\sqrt{3}} = 0.0003\text{mm}$$

由于百分表检定仪示值分辨力引入的标准不确定度分量  $u_2(S_B)$  远小于百分表检定仪最大允许误差引入的标准不确定度分量  $u_1(S_B)$ ，所以将其忽略不计，则：

$$u(S_B) = u_1(S_B) = 0.002\text{mm}$$

#### 4. 计算合成标准不确定度 $u_c$

##### 4.1 计算灵敏系数

$$c_1 = \partial \Delta S / \partial S = 1, \quad c_2 = \partial \Delta S / \partial S_B = -1,$$

##### 4.2 合成标准不确定度 $u_c$

根据上述分析，所得各标准不确定度见附表 2：

附表 2 位移校准各标准不确定度一览表

标准不确定度 $u(X_i)$	不确定度来源	标准不确定度值	灵敏系数 $c_i$	$ c_i  u(X_i)$
$u(S)$	静载仪位移示值重复性	0.007mm	1	0.007mm
$u(S_B)$	百分表检定仪示值误差	0.0017mm	-1	0.002mm

$$\begin{aligned} u_c &= \sqrt{[c_1 u(S)]^2 + [c_2 u(S_B)]^2} \\ &= \sqrt{0.007^2 + 0.002^2} \\ &= 0.0073\text{mm} \end{aligned}$$

#### 5. 扩展不确定度 $U$ 评定

取包含因子  $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = k \cdot u_c = 0.0073\text{mm} \times 2 = 0.02\text{mm}$$

相对扩展不确定度为

$$U_{\text{rel}} = \frac{0.02\text{mm}}{50\text{mm}} \times 100\% = 0.04\%$$

#### 6. 测量结果不确定度的报告与表示

桩基静载荷测试仪位移示值校准结果的相对扩展不确定度为：

$$U_r = 0.04\% \quad (k = 2)$$

