



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX—20XX

桩基静载荷测试分析仪校准规范

Calibration Specification for
Pile Static Load Test Analyzers

（征求意见稿）

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

桩基静载荷测试分析仪 校准规范

Calibration Specification of

Pile Static Load Test Analyzers

JJF XXXX-20XX

归 口 单 位：全国力值硬度重力计量技术委员会

主要起草单位：广东省计量科学研究院

湖北省计量测试技术研究院

参加起草单位：武汉中岩科技股份有限公司

上海岩联工程技术有限公司

本规范委托全国力值硬度重力计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

周 钢（广东省计量科学研究院）

徐 立（广东省计量科学研究院）

王 昱（湖北省计量测试技术研究院）

参加起草人：

杨 鑫（武汉中岩科技股份有限公司）

王承成（上海岩联工程技术有限公司）

目 录

目录	(I)
引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语	(1)
4 概述	(2)
5 计量特性	(2)
5.1 外观及通用要求	(2)
5.2 静载仪计量性能要求	(3)
6 校准条件	(3)
6.1 环境条件	(3)
6.2 校准装置	(3)
7 校准项目和校准方法	(4)
7.1 校准前准备	(4)
7.2 校准前检查	(4)
7.3 压力的校准	(4)
7.4 力值的校准	(4)
7.5 位移的校准	(4)
8 校准结果表达	(6)
9 复校时间间隔	(6)
附录 A 桩基静载荷测试分析仪校准记录	(9)
附录 B 校准证书内页式样	(10)
附录 C 校准结果不确定度评定方法及实例	(12)

引 言

本规范按照 JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》起草。

本规范在制定过程中充分考虑了 JJG455-2000《工作测力仪检定规程》、JJG 621-2012《液压千斤顶检定规程》、JJG875-2005《数字压力计检定规程》、JJF1305-2011《线位移传感器校准规范》、JT/T574-2004《水运工程 桩基静载仪》、JT/T875-2013《基桩自平衡法静载试验用荷载箱》、JGJ106-2014《建筑基桩检测技术规范》、JGJ340-2015《建筑地基检测技术规范》等有关标准的术语、符号与定义，以及相关的技术要求、技术指标和测试方法。本规范给出了桩基静载荷测试计量特性的具体校准条件、校准项目和校准方法。

本规范系首次发布。

桩基静载荷测试分析仪校准规范

1 范围

本规范适用于桩基静载荷测试分析仪（以下简称静载仪）的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG455 工作测力仪检定规程

JJG875 数字压力计检定规程

JJF1305-2011 线位移传感器校准规范

JT/T574 水运工程 桩基静载仪

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

下列术语和定义适用于本规范。

3.1 桩基 piled foundation

由设置于岩土中的桩和与桩顶联接的承台共同组成的基础或由柱与桩直接联接的单桩基础。

3.2 基桩 foundation pile

桩基础中的单桩。

3.3 静载试验 static-load test

在桩顶部逐级施加竖向压力、竖向上拔力或在桩基承台底面标高一致处施加水平推力，观测桩的相应检测点随时间产生的沉降、上拔位移或水平位移，根据荷载与位移的关系（即 $Q\sim S$ 曲线）判定相应的单桩竖向抗压承载力、单桩竖向抗拔承载力或单桩水平承载力的试验方法。

3.4 载荷 load

静载仪荷载传感器输出的力值（配备荷重传感器的静载仪），或根据压力传感器示值通过液压千斤顶力-压力校准方程计算得到的输出力值（未配备荷重传感器的静载仪）。

3.5 荷载箱 load cell

基桩自平衡法静载试验的加载设备，由液压缸、上连接板、下连接板及其他附属件组成。

4 概述

4.1 组成

静载仪是一种进行桩基静载荷试验的测试分析仪器，主要用于建筑工程中基桩或地基的承载力检测。静载仪通常由主机（含显示设备）、数据采集单元、控制单元、数据传输模块、荷载测量装置（包含压力变送器、压力传感器或荷重传感器）、位移测量装置等组成。

4.2 原理

静载仪工作时通过与其连接的千斤顶或荷载箱对桩基施加荷载，桩基由于受到荷载的作用产生位移，此时静载仪上的荷载测量装置以及位移测量装置将同步测试出桩基施加的荷载和位移变化，并根据采集到的位移数据与荷载数据得到桩基在受力后的位移随加载力值的变化情况，也就是桩基的静荷载。

根据荷载测量装置是否配备荷重传感器，静载仪可以分为两大类。一类是未配备荷载传感器的静载仪，根据压力传感器的示值通过液压千斤顶力-压力校准方程计算得到基桩上施加的载荷。另一类是配备有荷载传感器的静载仪，除提供通过压力传感器根据千斤顶力-压力校准方程得到基桩上的载荷这一功能外，还能通过荷载传感器直接测量得到基桩上的载荷。

5 计量特性

5.1 外观及通用要求

5.1.1 静载仪应有铭牌，铭牌上应标明静载仪名称、型号、规格、制造厂名称或商标、出厂编号等信息。

5.1.2 静载仪各组成部分应附有使用说明书。包括系统的主要技术资料、软件版本号、安装条件、连接方法和基本使用方法说明等其他有关的技术指标。

5.1.3 静载仪的外形结构应完好，紧固部件无松动。表面不应有明显的凹痕、外伤、裂缝和变形等现象。

5.1.4 静载仪所有开关、接插件和按键都应接触可靠，定位准确；各部位开关、按键操作应灵活可靠。

5.1.5 静载仪的状态显示应正确，显示数字及图像应清晰、稳定，应具备位移、压力和荷载参数的示值清零与率定功能。

5.1.6 静载仪的电气部分应符合 JT/T574 中的规定。

5.2 静载仪计量性能要求

静载仪的计量特性见表 1。

表 1 静载仪计量特性①

测量参数	量程	分辨力	最大允许误差	回程误差	示值重复性
位移	50mm, 100mm	0.01mm	$\pm 0.1\%FS$	$\pm 0.04\%FS$	0.04%FS
压力	$\leq 100MPa$	-----	$\pm 0.5\%FS$	0.5%FS	-----
力值 (配备荷重 传感器)	$\leq 30) MN$	0.1%FS	$\pm 0.5\%FS$	$\pm 0.25\%FS$	0.5%FS
力值 (未配备荷 重传感器)	$\leq 30) MN$	0.1%FS	$\pm 1.0\%FS$	$\pm 0.5\%FS$	1.0%FS

6 校准条件

6.1 环境条件

线位移传感器校准环境应符合 JJF1305-2011 中 6.1 的要求。

其余部件, $(20 \pm 5) ^\circ C$, 相对湿度 $\leq 85\%$ 。

其他条件: 现场环境不应有影响校准结果的干扰源。

环境条件应在校准记录和校准证书中说明。

6.2 校准装置

校准用设备与计量器具如表 2 所示。

① 计量特性条文中给出的技术指标不用于合格性判定, 仅供参考。

表 2 校准用设备与计量器具

序号	校准项目	校准器具	
		名称	技术要求
1	位移	量块	测量范围 (0~100) mm, 准确度级别不低于 3 级
2	压力	数字式压力计	上限应与静载仪压力测量上限相适应, 准确度级别不低于 0.1 级
3	力值 (配备荷重传感器)	标准测力仪	上限应与静载仪力值测量上限相适应, 准确度级别不低于 0.1 级, 有回程值
	力值 (未配备荷重传感器)	标准测力仪	上限应与静载仪力值测量上限相适应, 准确度级别不低于 0.3 级, 有回程值

注：允许使用同等准确度等级的其它校准器具

7 校准项目和校准方法

7.1 校准前准备

静载仪应在校准环境条件下放置 4h 后再进行校准。校准前, 应按照说明书要求将静载仪安装连接好, 调整到工作状态, 并通电预热。预热时间应符合说明书要求, 对说明书中未有明确要求的, 一般预热 30min。

7.2 校准前检查

按 5.1 的要求, 通过实际操作和目测进行外观及通用要求的检查。观察并记录主机显示的位移示值、力值示值分辨力, 应符合表 1 静载仪计量特性中分辨力的技术要求。

7.3 压力的校准

按照 JJG875 中的要求和规定项目进行校准。

7.4 力值的校准

7.4.1 对于配备荷重传感器的静载仪, 按照 JJG455 中的项目对荷重传感器进行校准。同时应对其回程误差进行校准。

7.4.2 对于未配备荷重传感器的静载仪, 按照静载仪的要求安装连接千斤顶 (荷载箱), 设置静载仪对应的参数, 并将千斤顶 (荷载箱) 与标准测力仪串联。

7.4.3 通过静载仪控制油泵给千斤顶 (荷载箱) 加压至额定荷载 3 次, 每次额定负荷的保持时间应为 30s~1min。每次荷载被完全卸除后, 等待回零至少 30s, 检查静载仪指示装置的回零情况, 根据需要可重新调整零点。

7.4.4 校准点的选取。校准点间隔一般取静载仪荷载测量上限的 10%~20%, 校准点应尽量均匀分布, 一般不少于 5 个点 (不包括零点) (推荐为荷载测量上限的 20%、

40%、60%、80%、100%)。

7.4.5 将静载仪的荷载示值清零，逐点递增标准力值，至各个校准点保持稳定后，记录静载仪相应进程显示力值。加载至荷载测量上限后，逐级递减卸除标准力值，至各个校准点保持稳定后，记录静载仪相应的回程显示力值。

7.4.6 重复 7.4.5 的校准过程连续进行 3 次，每次校准前均应将荷载示值清零。

7.4.7 静载仪荷载示值误差的计算。

进程示值

$$X_i = \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 (X_{ij} - X_{0j}), \quad i=1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

回程示值

$$X'_i = \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 (X'_{ij} - X'_{0j}), \quad i=1, 2, \dots, n-1, \quad (2)$$

示值误差

$$\delta F = \frac{X_i - F_i}{F_N} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

X_i, X'_i ——标准力 F_i 作用下，静载仪第 i 校准点的进程示值平均值和回程示值平均值，kN；

X_{ij}, X'_{ij} ——标准力 F_i 作用下，静载仪第 i 校准点、第 j 次测量的进程示值和回程示值，kN；

X_{0j}, X'_{0j} ——第 j 次测量时，进程与回程零负荷下的零点示值，kN；

δF ——静载仪荷载示值误差，%FS；

F_i ——第 i 校准点加载的标准力值，kN；

F_N ——静载仪荷载测量上限，kN。

7.4.8 静载仪荷载回程误差按公式 (4) 计算：

$$\delta F' = \frac{X'_i - X_i}{X_n} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

$\delta F'$ ——静载仪荷载回程误差，%FS；

X_n ——静载仪荷载测量上限的进程示值，kN。

7.4.9 静载仪荷载重复性按公式（5）计算：

$$R_F = \frac{X_{i\max} - X_{i\min}}{X_n} \times 100\% \quad (5)$$

式中：

R_F ——静载仪荷载重复性，%FS；

$X_{i\max}$ ， $X_{i\min}$ ，——标准力 F_i 作用下 3 次重复测量的最大与最小示值，kN。

7.5 位移的校准

7.5.1 观察并记录主机显示的位移示值分辨力，应符合位移分辨力为 0.01mm 的技术要求。

7.5.2 位移传感器的测杆应移动平稳、灵活，如有功能键，各功能键应工作可靠；测杆的行程超过测量范围上限 0.5mm 以上。

7.5.3 选取的校准点应不少于 10 个点（不含零点）。量程为 50mm 的静载仪位移传感器，推荐选取的校准点为 5mm、10 mm、15mm、20 mm、25 mm、30 mm、35 mm、40 mm、45 mm 和 50 mm；量程为 100mm 的静载仪位移传感器，推荐选取的检定点为 5mm、10 mm、15mm、20 mm、25 mm、30 mm、40 mm、60 mm、80 mm 和 100 mm。

7.5.4 设置静载仪中位移部分相关参数，将静载仪的位移示值清零，并利用量块逐个校准点递增标准位移值，待各校准点保持稳定后记录相应进程示值，直至测量上限后逐点递减标准位移值，待各校准点保持稳定后记录相应回程示值。该校准过程连续进行 3 次，如果有多个位移传感器，应对每个位移传感器按照上述方法分别进行校准。

7.5.5 静载仪位移示值误差按公式（6）计算：

$$\delta Y = \frac{Y - Y_i}{Y_N} \times 100\% \quad (6)$$

式中：

δY ——静载仪位移示值误差，FS%；

Y ——静载仪每个校准点的进程示值平均值，mm；

Y_i ——每个校准点位移标准值，mm；

Y_N ——位移传感器的测量上限，mm。

7.5.6 静载仪位移回程误差按公式（7）计算：

$$\delta Y' = \frac{Y' - Y}{Y_n} \times 100\% \quad (7)$$

式中:

$\delta Y'$ ——静载仪位移回程误差, FS%;

Y' ——每个校准点的回程示值平均值, mm;

Y_n ——静载仪位移测量上限的进程示值, mm。

7.5.7 静载仪位移示值重复性按公式(8)计算:

$$R_Y = \frac{Y_{i\max} - Y_{i\min}}{Y_n} \times 100\% \quad (8)$$

式中:

R_Y ——位移示值重复性, FS%;

$Y_{\max}$ ——每个校准点 3 次重复测量的位移最大示值, mm;

$Y_{\min}$ ——每个校准点 3 次重复测量的位移最小示值, mm。

8 校准结果

校准结果应在校准证书或校准报告上反映。校准证书或校准报告应至少包括如下信息:

- a) 标题: “校准证书”;
- b) 实验室名称和地址;
- c) 进行校准的地点(如果与实验室的地址不同);
- d) 证书的唯一性标识(如编号), 每页及总页数的标识;
- e) 客户的名称和地址;
- f) 被校对象的描述和明确标识;
- g) 进行校准的日期, 如果与校准结果的有效性和应用有关时, 应说明被校对象的接收日期;
- h) 如果与校准结果的有效性应用有关时, 应对被校样品的抽样程序进行说明;
- i) 校准所依据的技术规范的标识, 包括名称及代号;
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明;
- k) 校准环境的描述;
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明;

- m) 对校准规范的偏离的说明;
- n) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识;
- o) 校准结果仅对校准对象有效的声明;
- p) 未经实验室书名批准, 不得部分复制证书的声明。

校准证书的内容及内页格式见附录 B。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔为 1 年。

由于复校时间间隔由静载仪的使用情况等因素决定, 送校单位可根据实际使用情况自主确定复校时间间隔。

附录 A

桩基静载荷测试分析仪校准记录

委托单位：_____ 型号、规格：_____ 出厂编号：_____

制造厂家：_____ 量程：_____ 准确度级别：_____

校准地点：_____ 温度：_____℃ 相对湿度：_____ %

校准依据：JJF xxxx-201x 《桩基静载荷测试分析仪校准规范》

标准器名称	型号规格/编号	不确定度/准确度等级/最大允许误差		标准器证书编号	有效期						
压力测量校准	传感器出厂编号：										
	min	0	15	30	45	60					
零位漂移	零点示值 (MPa)										
校准点 (MPa)	静载仪压力显示值 (MPa)		示值误差 (FS%)		回程误差 (FS%)						
	进程示值	回程示值									
力值测量校准	通道号：_____ 传感器出厂编号：_____										
校准点 (kN)	静载仪荷载显示值 (kN)								示值误差 (FS%)	回程误差 (FS%)	示值重复性 (FS%)
	进程				回程						
	1	2	3	平均值	1	2	3	平均值			
备注	配接编号为 _____ 的千斤顶 (荷载箱)										

位移测量 校准	通道号：_____ 传感器出厂编号：_____										
校准点 (mm)	静载仪位移显示值 (mm)								示值 误差 (FS %)	回程 误差 (FS %)	示值重 复性 (FS%)
	进程				回程						
	1	2	3	平均值	1	2	3	平均值			

校准：_____ 核验：_____ 校准日期：_____

附录 B

校准证书内页格式

证书编号：××××××-××				
校准使用的计量标准装置				
名 称	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	证书编号	有效期至
校准环境	温度：℃；相对湿度：%	地 点		
外观及通用要求的检查：				
校 准 结 果				
	压力	力值	位移	
传感器出产编号				
	示值误差	回程误差	零位漂移	
压力				
	示值误差	回程误差	示值重复性	
力值				
位移				
限制使用范围及条件：				
1 本证书的校准结果仅对本次校准的测量仪器有效； 2 未经实验室书面批准，不得部分复制本证书； 3 建议复校时间间隔：一年				

附录 C

桩基静载荷测试分析仪示值误差校准结果不确定度评定方法及示例

G.1 概述

G.1.1 被校对象：桩基静载荷测试分析仪；

G.1.2 校准用标准：量块、数字式压力计、标准测力仪；

G.1.3 校准依据：JJFXXXX-20XX《桩基静载荷测试分析仪校准规范》；

G.1.4 环境条件：线位移传感器 $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $\leq 75\%$ ；其余部件 $(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $\leq 85\%$ ；

G.1.5 校准方法：用符合规定的标准器对静载仪的位移、压力或/和荷载进行校准。

G.2 力值测量的不确定度

由于目前不同的静载仪配置有所不同（有的带有荷重传感器，有的不带荷重传感器），根据使用要求，对于带有荷重传感器的静载仪其力值由荷重传感器直接得到，对于不带荷重传感器的静载仪，其力值由压力传感器根据液压千斤顶校准方程换算得到。因此不确定度的计算需分两种情况进行分析。

G.2.1 带荷重传感器的静载仪

以一台连接额定负荷为 5000kN 荷重传感器的静载仪，在 5000kN 测量点为例，对其不确定度进行分析。

G.2.1.1 测量模型

对于带荷载传感器的静载仪，其测量模型为：

$$\delta = X_i - F_i \quad (1)$$

式中： δ ——静载仪荷载示值误差，kN；

X_i ——静载仪进程示值，kN；

F_i ——施加的标准力值，kN。

G.2.1.2 灵敏系数

$$X_i \text{ 的灵敏度系数 } c_1 = \left(\frac{\partial \delta}{\partial X_i} \right) = 1 \quad (2)$$

$$F_i \text{ 的灵敏度系数 } c_2 = \left(\frac{\partial \delta}{\partial F_i} \right) = -1 \quad (3)$$

G.2.1.3 不确定度传播率

可得：

$$u_c^2 = u^2(X_i) + u^2(F_i) \quad (5)$$

G.2.1.4 标准不确定度评定

G.2.1.4.1 由标准测力仪引入的不确定度分量 u_1

标准测力仪经检定合格，由检定证书可知其力值允差为 $\pm 0.1\%$ ，可得由标准测力仪引入的不确定度分量 u_{1rel} 为：

$$u_{1rel} = 0.1\% / \sqrt{3} = 0.05774\%$$

在 5000kN 测量点时，由标准测力仪引入的不确定度分量 u_1 为：

$$u_1 = u_{1rel} \times 5000 = 2.887 \text{ kN}$$

G.2.1.4.2 由静载仪分辨力引入的不确定度分量 u_2

设静载仪力值测量的分辨力为 d ，则区间半宽度 $a = d/2$ ，假设其为均匀分布，查表得 $k = \sqrt{3}$ ，由分辨力引起的不确定度分量为：

$$u_2 = \frac{a}{k} = \frac{d}{2\sqrt{3}} = 0.2887d$$

在 5000kN 测量点时，由静载仪分辨力引入的不确定度分量 u_1 为：

$$u_2 = 0.2887d = 0.2887 \text{ kN}$$

G.2.1.4.3 由静载仪荷重传感器示值重复性引入的不确定度分量 u_3

采用 A 类方法，在 1000kN 测量点进行分析。试验结果如表 1 所示。

表 1

测量序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
示 值 (kN)	4998	4999	4998	4999	4999	4999	4998	4999	4998	4998	4998.5

由贝塞尔公式可得 $s(x_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.5270 \text{ kN}$ ，在实际测量中是以 3 次测量的

平均值作为测量结果，所以

$$u_3 = \frac{0.5270}{\sqrt{3}} = 0.3043 \text{ kN}$$

G.2.1.4.4 由温度变化引入的不确定度分量 u_4

根据校准规范，环境温度被控制在一定范围内，且荷重传感器一般具有温度补偿功能，因此温度变化的影响可忽略不计。

由于重复性中包含静载仪分辨率引入的不确定度分量，为避免重复计算，只取 u_2 、 u_3 中较大者。

G.2.1.5 合成标准不确定度

以上各项标准不确定度分量是互不相关的，因此其合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_3^2} = \sqrt{2.887^2 + 0.3043^2} = 2.9030 \text{ kN}$$

扩展标准不确定度

当 $P=95\%$ 时，取包含因子 $k=2$ ，则：

$$U = k \times u_c = 2 \times 2.9030 = 5.8060 \text{ kN}$$

对于其他测量点，其不确定度如表 2 所示。

表 2

测量点	不确定度来源 (kN)			u_c (kN)	U (kN)	$U/F_n \times 100\%$ (%FS)
	u_1	u_2	u_3			
1000	0.5774	0.2887	0.5611	0.8051	1.6102	0.032%FS
2000	1.1548	0.2887	0.3277	1.2004	2.4008	0.048%FS
3000	1.7322	0.2887	0.3651	1.7703	3.5406	0.071%FS
4000	2.3096	0.2887	0.2789	2.3276	4.6551	0.093%FS
5000	2.887	0.2887	0.3043	2.9030	5.8060	0.12%FS

G.2.2 不带荷载传感器的静载仪

以一台连接额定负荷为 5000kN 液压千斤顶的静载仪，在 5000kN 测量点为例，对其不确定度进行分析。

G.2.2.1 测量模型

对于不带荷重传感器的静载仪，其输出力值通过与液压千斤顶相连的压力表或压力传感器测量油压，并根据千斤顶率定曲线进行载荷换算。

根据分析，其测量模型与 G.2.1 中相同，即：

$$\delta = X_i - F_i$$

式中： δ ——静载仪荷载示值误差，kN；

X_i ——静载仪进程示值，kN；

F_i ——施加的标准力值，kN。

G.2.2.2 灵敏系数

根据 G.2.1 中的分析，其灵敏系数分别为：

$$X_i \text{ 的灵敏度系数 } c_1 = \left(\frac{\partial \delta}{\partial X_i} \right) =$$

$$F_i \text{ 的灵敏度系数 } c_2 = \left(\frac{\partial \delta}{\partial F_i} \right) = -$$

G.2.2.3 不确定度传播率

根据 G.2.1 中的分析，其不确定度传播率分别为：

$$u_c^2 = u^2(X_i) + u^2(F_i)$$

G.2.2.4 标准不确定度评定

G.2.2.4.1 由标准测力仪引入的不确定度分量 u_1

标准测力仪经检定合格，设其允许误差 E 为： $\pm 0.3\%$ ，可得由标准测力仪引入的相对不确定度分量 $u_{1\text{rel}}$ 为：

$$u_{1\text{rel}} = \frac{0.3\%}{\sqrt{3}} = 0.1732\%$$

在 5000kN 测量点时，由标准测力仪引入的不确定度分量 u_1 为：

$$u_1 = u_{1\text{rel}} \times 5000 = 8.660 \text{ kN}$$

G.2.2.4.2 由静载仪示值分辨力的不确定度分量 u_2

由静载仪示值估算的不确定度分量主要来源于静载仪的分辨力，由于静载仪的示值均为数字显示，设静载仪分辨率为 d ，则区间半宽度 $a = d/2$ ，假设为均匀分布，查表得 $k = \sqrt{3}$ ，由分辨力引起的不确定度分量为：

$$u_2 = \frac{a}{k} = \frac{d}{2\sqrt{3}} = 0.2887d$$

在 5000kN 测量点时，由静载仪分辨力引入的不确定度分量 u_1 为：

$$u_2 = 0.2887d = 0.2887 \text{ kN}$$

G.2.2.4.3 由静载仪示值重复性引入的不确定度分量 $u_{3\text{rel}}$

采用 A 类方法，在 5000kN 测量点进行分析。试验结果如表 3 所示。

表 3

测量序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
示值 (kN)	5001	5002	5002	5001	5001	5001	5002	5001	5001	5001	5001.3

由贝塞尔公式可得 $s(x_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.4830 \text{ kN}$ ，在实际测量中是以 3 次测量的平均值作为测量结果，所以

$$u_3 = \frac{0.4830}{\sqrt{3}} = 0.2789 \text{ kN}$$

由于重复性中包含静载仪分辨率引入的不确定度分量，为避免重复计算，只取 u_2 、 u_3 中较大者。

G.2.2.5 合成标准不确定度

以上各项标准不确定度分量是互不相关的，因此其合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{8.660^2 + 0.2887^2} = 8.6648 \text{ kN}$$

扩展标准不确定度

当 $P=95\%$ 时，取包含因子 $k=2$ ，则：

$$U = k \times u_c = 2 \times 8.6648 = 17.3296 \text{ kN}$$

对于其他测量点，其不确定度如表 4 所示。

表 4

测量点 (kN)	不确定度来源 (kN)			u_c (kN)	U (kN)	$U/F_n \times 100\%$ (%FS)
	u_1	u_2	u_3			
1000	1.732	0.2887	0.2981	1.7575	3.5150	0.070%FS
2000	3.464	0.2887	0.3277	3.4794	6.9589	0.139%FS
3000	5.196	0.2887	0.2789	5.2040	10.4080	0.208%FS
4000	6.928	0.2887	0.2434	6.9340	13.8680	0.277%FS
5000	8.660	0.2887	0.2789	8.6648	17.3296	0.347%FS

G.3 位移测量的不确定度

以一台位移测量上限为 50mm 的静载仪，在 50mm 测量点为例，对其不确定度进行分析。

G3.1 测量模型

静载仪位移测量的示值误差：

$$\delta Y = (Y - Y_i) \times 100\%$$

式中： δY ——位移示值误差，mm；

Y ——每个校准点的进程示值平均值，mm；

Y_i ——每个校准点位移标准值，mm。

G3.2 灵敏系数

$$Y \text{ 的灵敏度系数 } c_1 = c(Y) = \frac{\partial \delta(Y)}{\partial Y} = 1 \quad (6)$$

$$Y_i \text{ 的灵敏度系数 } c_2 = c(Y_i) = \frac{\partial (\delta Y)}{\partial Y_i} = -1 \quad (7)$$

G3.3 不确定度传播率

可得：

$$u_c^2 = u^2(\delta Y) = u^2(Y) + u^2(Y_i) \quad (9)$$

G3.4 不确定度来源

影响静载仪位移测量结果的主要因素有标准器、测量重复性、环境条件等，在不确定度评定时需要考虑这些因素。

G3.5 标准不确定度评定

G3.5.1 由标准器引入的不确定度分量 u_1

根据本规范的要求，对于 50mm 位移测量点，采用 3 级量块，根据 JJG146-2011《量块检定规程》，其最大允许误差为 $\pm 1.6 \mu\text{m}$ ，因此由标准器量块引入的不确定度分量：

$$u_1 = 0.0016 \text{ mm}$$

G3.5.2 由静载仪示值估算的不确定度分量 u_2

由静载仪示值估算的不确定度分量主要来源于静载仪的分辨力，由于静载仪的示值均为数字显示，设静载仪分辨率为 d ，则区间半宽度 $a = d/2$ ，假设为均匀分布，查表得 $k = \sqrt{3}$ ，由分辨力引起的不确定度分量为：

$$u_2 = \frac{a}{k} = \frac{d}{2\sqrt{3}} = 0.29d = 0.2887 \times 0.01 = 0.0029 \text{ mm}$$

G3.5.3 由传感器安装误差引入的不确定度分量

传感器的安装误差主要有阿贝误差和余弦误差。在实际安装时，合理安装量块与静载仪上的位移传感器，调整位移传感器的运动方向，以便消除阿贝误差和余弦误差的影响，此时安装误差引入的不确定度分量可以忽略不计。

G3.5.4 由静载仪位移传感器重复性引入的不确定度分量

采用 A 类方法，在 50mm 测量点进行分析。试验结果如表 1 所示。

表 1

测量序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
示值 (mm)	49.99	49.98	50.00	49.99	50.00	50.00	49.99	49.99	50.00	49.99	49.993

由贝塞尔公式可得 $s(x_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.006749 \text{ mm}$ ，在实际测量中是以 3 次测量的平均值作为测量结果，所以

$$u_3 = \frac{0.006749}{\sqrt{3}} = 0.0039 \text{ mm}$$

由于重复性中包含静载仪分辨率引入的不确定度分量，为避免重复计算，只取 u_2 、 u_3 中较大者。

G3.5.5 环境条件的影响

环境条件的影响主要表现为室温的变化，及被测传感器与仪器的温度差异等方面。根据 JJF1305-2011，只要在校准规范规定的环境条件下进行校准，以上因素的影响可以忽略不计。

G3.6 合成标准不确定度

以上各项标准不确定度分量是互不相关的，因此其合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_3^2} = \sqrt{0.0016^2 + 0.0039^2} = 0.0042 \text{ mm}$$

扩展标准不确定度

当 $p=95\%$ 时，取包含因子 $k=2$ ，则：

$$U=k \times u_c=2 \times 0.0042=0.010 \text{ mm}$$

对于其他测量点，其不确定度如表 5 所示。

表 5

测量点 (mm)	不确定度来源 (mm)			u_c (mm)	U (mm)	$U/X_n \times 100\%$ (%FS)
	u_1	u_2	u_3			
10	0.0010	0.0029	0.0033	0.003	0.006	0.012% FS
20	0.0012	0.0029	0.0039	0.004	0.008	0.016%FS
30	0.0016	0.0029	0.0030	0.003	0.006	0.012%FS
40	0.0016	0.0029	0.0028	0.003	0.006	0.012%FS
50	0.0016	0.0029	0.0039	0.004	0.008	0.017%FS

文档由仪多多网(<http://www.ydd17.com>)收集整理!