

中华人民共和国交通运输部部门计量检定规程

水运工程 桩基静载仪

编制说明

（征求意见稿）

规程编写组

2016 年 10 月

水运工程 桩基静载仪部门计量检定规程

编制说明

1 任务来源

本交通运输部门计量检定规程是依据《交通运输部关于下达 2015 年交通运输标准化计划的通知》交科技发【2015】114 号，立项修订的，规程修编计划号为 JJG2015-5。

2 编制过程

2002 年 10 月成立了《水运工程 桩基静载仪》规程编写组，编制了规程草案。2003 年 3 月提出技术标准的征求意见稿，经过修改先后形成送审稿和报批稿。于 2004 年 6 月 3 日发布，2004 年 9 月 1 日实施并定为中华人民共和国交通运输部行业标准，标准代号与标准顺序号为 JJG028，年号为 2004。

《水运工程 桩基静载仪》(JJG(交通)028—2004)公开发布并实施至今已有 11 年之久，根据该标准实施运行情况和工程检测技术的发展变化，原标准有必要进行修编，一些技术要求和技术指标以及试验程序、计算方法需要修改。依据交科技发【2015】114 号，于 2015 年 10 月成立了《水运工程 桩基静载仪》规程修编组。

本规程在修编过程中广泛收集了国内外桩基静载仪的研究单位、生产单位、使用单位，以及相关企业标准、行业标准、国家标准、国外标准的有关资料，依据 JJF1001《通用计量术语及其定义》、JJF1002《国家计量检定规程编写规则》和 JJF1059.1《测量不确定度评定与表示》，根据我国目前的实际情况与特点，结合水运工程检测技术的实际需求对 JJG(交通)028—2004《水运工程 桩基静载仪》进行了修编。2016 年 8 月完成了 JJG(交通)028—XXXX《水运工程 桩基静载仪》征求意见稿。

3 标准编制原则

根据此类产品的国内生产水平，内容上以国内先进技术为依据，形式上按 GB/T 1.1-2009《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写规划》的要求修编。

4 修编内容及依据

在建筑工程中，静载试验是确定桩基和地基承载力的最可靠也最直接测试方法，桩基静载仪是用于测试桩静载力的仪器。桩基静载仪主要测量的物理量为位移和载荷，本次标

准中对桩基静载仪位移和载荷的技术参数的修编是最重要的内容。

在水运工程建设和工程建设领域，在静载荷试验检测规范中，对桩基静载仪的技术参数有要求，因此规程的中关于桩基静载仪技术参数的修订，参考两个技术规范：《港口工程桩基静载荷试验规程》JTJ255-2002 和《建筑基桩检测技术规范》（JGJ 106-2014）。两个规范中对桩基静载仪的技术参数的规定如下文所示。

《建筑基桩检测技术规范》（JGJ 106-2014）中关于桩基静载仪技术要求：

4.2.3 荷载测量可用放置在千斤顶上的荷重传感器直接测定。当通过并联与千斤顶有路的压力表或压力传感器测定油压并换算荷载时，应根据千斤顶率定曲线进行荷载换算。荷重传感器、压力传感器或压力表的准确度等级应优于或等于 0.5 级。使用压力表、油泵、油管在最大加载时的压力不应超过规定工作压力的 80%

4.2.4 沉降测量宜采用大量程的位移传感器或百分表，且应符合下列规定：测量误差不得大于 0.1%FS，分度值/分辨率应优于或等于 0.01mm；

《港口工程桩基静载荷试验规程》JTJ255-2002 中关于桩基静载仪技术要求：

3.2.3.2 千斤顶加载量的量宜采用压力表，也可采用压力传感器。压力表应选用 0.35-0.5 级的精密压力表，压力表的额定量程应满足千斤顶额定加载能力的需要。

3.2.5.4 沉降仪表量程应为 30-100mm，分辨率应为 0.01mm。

规程在编制的过程中，参考了以上两个规范的要求。同时，为了保证计量参数的准确，还参考了《大量程百分表》（JJG379-2009）、《力传感器》（JJG391-2009）和《弹性元件式一版压力表、压力真空表和真空表》（JJG52-2013）三个计量检定规程。根据《大量程百分表检定规程》（JJG379-2009）中对 $50\text{mm} < S \leq 100\text{mm}$ （S 为最大测量距离），的要求，将位移传感器的回程误差修改为 0.01mm。

修编内容及依据见下表。

桩基静载仪压力和位移检定过程测量不确定度评定过程见附件 A，附件 B。

修编内容一览表

序号	JJG(交通)028 (修编)	JJG (交通) 028—2004	依据
1	<p>2 引用文献</p> <p>本规程引用下列文献:</p> <p>JJF1015-2002 计量器具型式评价和型式批准通用规范; JT/T574 水运工程 桩基静载仪。</p> <p>凡是注日期的引用文件, 仅注日期的版本适用于本规程; 凡是不注日期的引用文件, 其最新版本 (包括所有的修改单) 适用于本规程。</p>	<p>2 引用文献</p> <p>本规程引用下列文献:</p> <p>JJF1015-2002 计量器具型式评价和型式批准通用规范; JT/T574 水运工程 桩基静载仪。</p> <p>使用本规程时应注意使用上述引用文献的现行有效版本。</p>	
2	<p>3 概述</p> <p>桩基静载仪由主机、中继器、电源适配器组成。广泛应用于水运工程建设中港口、码头、水工建筑物及民用建筑等桩基的承载力检测。</p>	<p>3 概述</p> <p>桩基静载仪由工业控制计算机、显示器、输入装置、中继器和电源适配器组成。广泛应用于水运工程建设中港口、码头、水工建筑物及民用建筑等桩基的静载荷检测。</p>	
3	<p>4 计量性能要求</p> <p>4.1 检测范围</p> <p>4.1.2 荷载检测通道:</p> <p>a) 压力 0 Mpa~60 Mpa; 0 Mpa~80 Mpa; b) 力 0kN~50kN、0kN~100kN、0kN~200kN、0kN~300kN、0kN~400kN、0kN~500kN, 0kN~5000kN。</p> <p>4.3 准确度</p>	<p>4 计量性能要求</p> <p>4.1 检测范围</p> <p>4.1.2 荷载检测通道:</p> <p>a) 压力 0 Mpa~60 Mpa; b) 力 0kN~50kN、0kN~100kN、0kN~200kN、0kN~300kN、0kN~400kN、0kN~500kN。</p> <p>4.3 准确度</p>	

	<div>4.3.1 位移检测示值最大允许误差（绝对值）：0.05mm；</div> <div>4.3.2 位移检测回程误差（绝对值）不大于0.02mm；</div> <div>4.3.3 荷载检测示值误差：不大于1.0 %FS；</div> <div>4.3.4 荷载检测回程误差：不大于0.2 %FS。</div>	<div>4.3.1 位移检测示值误差：不大于± 0.05mm；</div> <div>4.3.2 位移检测回程误差：不大于± 0.02mm；</div> <div>4.3.3 荷载检测示值误差：不大于1.0 %FS；</div> <div>4.3.4 荷载检测回程误差：不大于0.2 %FS。</div>																																																				
4	<div>6 检定条件</div> <div>6.1 环境条件</div> <div>6.1.2 检定仪器设备</div> <div>检定仪器设备包括：</div> <div>a) 指示类量具检定仪：测量范围：0mm～50mm、最大允许误差：6μm；</div> <div>b) 活塞式压力计；</div> <div>c) 液体压力计；</div> <div>d) 数字式压力计；</div> <div>f) 其他符合标准仪器误差要求的压力计量标准器；</div> <div>e)0.5级伺服式万能试验机、0.05级标准测力仪。</div> <div>6.2 检定项目</div> <div>检定项目见表 1</div> <table><tr><th rowspan="2">序号</th><th rowspan="2">检定项目</th><th rowspan="2">检定方法</th><th rowspan="2">检定设备</th><th colspan="3">检定类别</th></tr><tr><th>首次检定</th><th>后续检定</th><th>使用中检验</th></tr><tr><td>1</td><td>外观质量</td><td>6.3.1</td><td>目测</td><td>+</td><td>+</td><td>-</td></tr><tr><td>2</td><td>位移测试</td><td>6.3.2</td><td>指示类量具检定仪</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr></table>	序号	检定项目	检定方法	检定设备	检定类别			首次检定	后续检定	使用中检验	1	外观质量	6.3.1	目测	+	+	-	2	位移测试	6.3.2	指示类量具检定仪	+	+	+	<div>6 检定条件</div> <div>6.1 环境条件</div> <div>6.1.2 检定仪器设备</div> <div>检定仪器设备包括：</div> <div>a) 百分表检定仪：示值误差不大于 0.01mm，回程误差不大于 0.005mm；</div> <div>b) 标准力机：示值误差不大于 0.2%，回程误差不大于 0.05%。</div> <div>6.2 检定项目</div> <div>检定项目见表 1</div> <table><tr><th rowspan="2">序号</th><th rowspan="2">检定项目</th><th rowspan="2">检定方法</th><th colspan="3">检定类别</th></tr><tr><th>首次检定</th><th>后续检定</th><th>使用中检验</th></tr><tr><td>1</td><td>外观质量</td><td>6.3.1</td><td>+</td><td>+</td><td>-</td></tr><tr><td>2</td><td>位移测试</td><td>6.3.2</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr><tr><td>3</td><td>荷载测试</td><td>6.3.3</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr></table> <div>注：“+”表示应检定，“-”表示可不检定。</div>	序号	检定项目	检定方法	检定类别			首次检定	后续检定	使用中检验	1	外观质量	6.3.1	+	+	-	2	位移测试	6.3.2	+	+	+	3	荷载测试	6.3.3	+	+	+	<div>根据电子技术的发展、</div> <div>桩基静载仪</div> <div>制造技术的</div> <div>进步、长期</div> <div>应用中暴露</div> <div>出的问题及</div> <div>针对性的试</div> <div>验要求。</div>
序号	检定项目					检定方法	检定设备	检定类别																																														
		首次检定	后续检定	使用中检验																																																		
1	外观质量	6.3.1	目测	+	+	-																																																
2	位移测试	6.3.2	指示类量具检定仪	+	+	+																																																
序号	检定项目	检定方法	检定类别																																																			
			首次检定	后续检定	使用中检验																																																	
1	外观质量	6.3.1	+	+	-																																																	
2	位移测试	6.3.2	+	+	+																																																	
3	荷载测试	6.3.3	+	+	+																																																	

	<table><tr><td>3</td><td>荷载测试</td><td>6.3.3</td><td>活塞式压力计; 液体压力计; 数字式压力计; 其他符合标准仪器误差要求的压力计量标准器; 0.5级伺服式万能试验机、0.05级标准测力仪。</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr><tr><td colspan="7">注: “+”表示应检定, “-”表示可不检定。</td></tr></table>	3	荷载测试	6.3.3	活塞式压力计; 液体压力计; 数字式压力计; 其他符合标准仪器误差要求的压力计量标准器; 0.5级伺服式万能试验机、0.05级标准测力仪。	+	+	+	注: “+”表示应检定, “-”表示可不检定。							
3	荷载测试	6.3.3	活塞式压力计; 液体压力计; 数字式压力计; 其他符合标准仪器误差要求的压力计量标准器; 0.5级伺服式万能试验机、0.05级标准测力仪。	+	+	+										
注: “+”表示应检定, “-”表示可不检定。																
5	<p>6.3 检定方法</p> <p>6.3.2 位移通道检测</p> <p>6.3.2.5 位移传感器的示值误差。取ΔS中的最大值为该位移传感器的示值误差, 应符合 4.3.1 的规定。计算公式如下:</p> $\Delta S= S_1-S_2 \tag{1}$ <p>式中:</p> <p>ΔS —— 在指定位移下位移传感器的示值误差, mm;</p> <p>S_1 —— 位移传感器的示值, mm;</p> <p>S_2 —— 指示类量具检定仪的示值, mm。</p> <p>6.3.3.5 荷载传感器的示值误差δ_i计算。取δ_i中的最大值为荷载传感器的示值误差。应符合 4.3.3 的规定。计算公式如下:</p> $\delta_i=P_{1i}-P_{2i} \tag{3}$ <p>式中:</p> <p>δ_i —— 第 i 检测点荷载传感器的示值误差, MPa;</p>	<p>6.3 检定方法</p> <p>6.3.2 位移通道检测</p> <p>6.3.2.5 位移传感器的示值误差。取ΔS中的最大值为该位移传感器的示值误差, 应符合 4.3.1 的规定。计算公式如下:</p> $\Delta S= S_1-S_2 \tag{1}$ <p>式中:</p> <p>ΔS —— 在指定位移下位移传感器的示值误差, mm;</p> <p>S_1 —— 位移传感器的示值, mm;</p> <p>S_2 —— 百分表检定仪的示值, mm。</p> <p>6.3.3.5 荷载传感器的示值误差δ_i计算。取δ_i中的最大值为荷载传感器的示值误差。应符合 4.3.3 的规定。计算公式如下:</p> $\delta_i=P_{1i}-P_{2i} \tag{3}$ <p>式中:</p> <p>δ_i —— 第 i 检测点荷载传感器的示值误差;</p>														

	<p>P_{1i}——第 i 检测点荷载传感器的示值, MPa;</p> <p>P_{2i}——第 i 检测点标准力机的示值, MPa。</p> <p>6.3.3.6 荷载传感器的回程误差δ'_i 计算。取δ'_i 中的最大值为荷载传感器的回程误差。应符合 4.3.4 的规定。计算公式如下:</p> $\delta'_i = P_{1i}' - P_{2i}' \quad (4)$ <p>式中:</p> <p>δ'_i——第 i 检测点荷载传感器的回程误差, MPa;</p> <p>P_{1i}'——第 i 检测点正行程时荷载传感器的示值, MPa;</p> <p>P_{2i}'——第 i 检测点回程时荷载传感器的示值, MPa。</p>	<p>P_{1i}——第 i 检测点荷载传感器的示值;</p> <p>P_{2i}——第 i 检测点标准力机的示值。</p> <p>6.3.3.6 荷载传感器的回程误差δ'_i 计算。取δ'_i 中的最大值为荷载传感器的回程误差。应符合 4.3.4 的规定。计算公式如下:</p> $\delta'_i = P_{1i}' - P_{2i}' \quad (4)$ <p>式中:</p> <p>δ'_i——第 i 检测点荷载传感器的回程误差;</p> <p>P_{1i}'——第 i 检测点正行程时荷载传感器的示值;</p> <p>P_{2i}'——第 i 检测点回程时荷载传感器的示值。</p>	
--	---	--	--

5 社会效益预测

桩基静载仪是所有水运工程的基础部分，对工程质量起到至关重要的作用，而且还广泛应用于公路工程、水利工程、建筑工程、铁路及桥梁工程中。修编后的检定规程颁布后，更贴近于工程需求，实用性更强将促进桩基静载仪的生产、使用与管理工作的完善，实现规范化管理，具有间接的经济效益和社会效益。

6 其它说明

本规程由交通运输部天津水运工程科学研究院提出。

本规程起草单位：交通部天津水运工程科学研究所，武汉岩海工程技术有限公司。

本规程主要起草人： 。

附件 A

桩基静载仪压力检定测量不确定度评定

1) 测量依据: JJG (交通) 028-2004 《水运工程 桩基静载仪》检定规程

2) 测量环境: $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ (每小时温度变化应不大于 2°C), 相对湿度不大于 75%。

3) 测量标准: (1~60) MPa Y-U600 活塞式压力计, 0.05 级。

4) 测量对象: 桩基静载仪, 荷载测量范围为 (1~60) MPa, 分辨率为 $0.1\% F \cdot S$, 精度 $0.5\% F \cdot S$ 。

5) 测量方法: 采用加、卸载两种测量方式, 每一种方式各测 1 次, 最后取两种方式 2 次测量的平均值作为测量结果, 测量时将压力传感器与桩基静载仪连接, 并在活塞式压力计的托盘上加专用砝码, 将各专用砝码重量值相加即为一个标准压力值 F_b , 同时桩基静载仪测量出一个压力值为 F , 将两者值进行直接比对, 比较的差值即为桩基静载仪荷载的示值误差 ΔF 。卸载测量方法、步骤同上。

(2) 数学模型

$$\Delta F = F - F_b \quad (3-3)$$

式中: ΔF —桩基静载仪荷载示值误差, MPa;

F —桩基静载仪测量值, MPa;

F_b —标准器活塞压力计专用砝码量值, MPa;

(3) 合成方差及灵敏系数

由于 $f(F, F_b)$ 中的 F 、 F_b 互不相关, 故其合成估计方差为:

$$u_c^2(\Delta F) = c^2(F)u^2(F) + c^2(F_b)u^2(F_b) \quad (3-4)$$

式中灵敏系数为:

$$c(F) = \frac{\partial(\Delta F)}{\partial(F)} = 1$$

$$c(F_b) = \frac{\partial(\Delta F)}{\partial(F_b)} = -1$$

(4) 输入量的标准不确定度评定

1) 输入量 F 的标准不确定度 $u(F)$ 的评定

输入量 F 的标准不确定度来源主要是：测量重复性引起的标准不确定度 $u(F)$ 。

a) 测量重复性引起的标准不确定度 $u(F)$ 的评定

测量重复性引起的标准不确定度 $u(F)$ ，可以通过连续测量得到测量列，采用 A 类方法进行评定。

选择加载专用砝码量值为 21MPa，连续测量 10 次，得到测量列为 21.01MPa、21.00 MPa、21.02 MPa、21.01 MPa、21.03 MPa、21.02 MPa、21.00 MPa、21.01 MPa、21.01 MPa、20.99 MPa。

$$F \text{ 压力的测量平均值 } \bar{F} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_i = 21.01 \text{ MPa}$$

b) 单次实验标准差

$$s = \sqrt{\frac{\sum (F_i - \bar{F})^2}{n-1}} = 0.012 \text{ MPa}$$

卸载使专用砝码达到 21MPa，连续测量 10 次，得到测量列为 21.01 MPa、21.01 MPa、21.02 MPa、21.00 MPa、21.02 MPa、21.01 MPa、21.03 MPa、21.01 MPa、21.02 MPa、21.02 MPa。

$$F \text{ 压力的测量平均值 } \bar{F} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_i = 21.02 \text{ MPa}$$

$$\text{单次实验标准差 } s = \sqrt{\frac{\sum (F_i - \bar{F})^2}{n-1}} = 0.010 \text{ MPa}$$

$$\text{合并样本标准差 } s_p = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m s_j^2} = 0.011 \text{ MPa}$$

因此认为标准不确定度 $u(F_1) = s_p$

$$\text{自由度: } \nu(F) = \sum_{j=1}^m \nu_{1j} = 2 \times (10-1) = 18$$

2) 输入量 F_b 的标准不确定度 $u(F_b)$ 的评定

a) 活塞式压力计误差引起的标准不确定度 $u(F_{b1})$ ，根据其给出等级为 0.05 级来进行

评定，采用 B 类方法进行评定。

认为其在半宽 $a=0.05\%F_b(F_b=21\text{MPa})$ 范围内服从均匀分布，包含因子 k 为 $\sqrt{3}$ ，故标准不确定度 $u(F_{b1})$ 为

$$u(F_{b1}) = \frac{0.05 \times 0.01 \times 21}{\sqrt{3}} = 0.006 \text{ MPa}$$

估计不可靠程度为 $\frac{\Delta u(F_{b1})}{u(F_{b1})} = 0.10$ ，则自由度 $\nu(F_{b1}) = 50$

b) 偏离活塞式压力计所使用的环境温度 ($20 \pm 2^\circ\text{C}$) 时，引入的标准不确定度 $u(F_{b2})$

偏离时，应按下式进行修正：

$$\Delta P = P(\alpha_1 + \alpha_2)(20 - t) \quad (3-5)$$

式中： P —所测压力 (Pa)；

α_1 ； α_2 —活塞杆和活塞筒材料的线膨胀系数（铜为 0.0000167，钢为 0.0000105）；

t —环境温度 ($^\circ\text{C}$)

由于检定规程 JJG (交通) 028-2004 《水运工程桩基静载仪检定规程》所要求检定环境温度为 $20 \pm 5^\circ\text{C}$ ，因此假设偏离温度按最大来考虑 $\Delta t = (20 - t) = \pm 5^\circ\text{C}$ ，由此对 21 MPa 标准的压力时产生的误差按上式计算得 $\Delta P = \pm 0.00286 \text{ MPa}$ ，认为其半宽 $\alpha = 0.00286 \text{ MPa}$ 满足均匀分布，包含因子 k 取 $\sqrt{3}$ ，故

$$u(F_{b2}) = \frac{0.00286}{\sqrt{3}} = 0.00165 \text{ MPa}$$

估计其相对不确定度为 20%，故自由度为 $\nu(F_{b2}) = 12.5$

以上 2 项相互独立不相关，合成不确定度为

$$u(F_b) = \sqrt{u^2(F_{b1}) + u^2(F_{b2})} = \sqrt{0.006^2 + 0.00165^2} = 0.0062 \text{ MPa}$$

自由度为

$$\nu(F_b) = \frac{u^4(F_b)}{\frac{u^4(F_{b1})}{\nu(F_{b1})} + \frac{u^4(F_{b2})}{\nu(F_{b2})}} = \frac{0.0026^4}{\frac{0.002^4}{50} + \frac{0.00165^4}{12.5}} = 50 \quad (3-6)$$

(5) 合成标准不确定度的评定

1) 合成不确定度的计算

以上分量独立无关，可以直接进行合成计算。

$$u_c^2(\Delta F) = c^2(F)u^2(F) + c^2(F_b)u^2(F_b)$$

$$u_c(\Delta F) = \sqrt{(0.011)^2 + (0.0062)^2} = 0.0126 \text{ MPa}$$

2) 合成不确定度的有效自由度 ν_{eff} 为:

$$\nu(\Delta F) = \frac{u^4(\Delta F)}{\frac{u^4(F)}{\nu(F)} + \frac{u^4(F_b)}{\nu(F_b)}} = \frac{0.0113^4}{\frac{0.011^4}{18} + \frac{0.0026^4}{50}} = 20.02 \approx 20$$

(6) 扩展不确定度的评定

$$U = 0.0252 \text{ MPa}, k=2$$

(7) 最后结果

选择加、卸载 21.000 MPa 标准专用砝码，桩基静载仪测量的压力值的结果为：(21.010±0.0252) MPa；评定测量不确定度结果可知，桩基静载仪位移示值误差测量结果的扩展不确定度为：

$$U = 0.0252 \text{ MPa } \nu_{eff} = 20$$

附件 B

桩基静载仪位移检定测量不确定度评定

(1) 概述

- 1) 测量依据: JJG (交通) 028-2004 《水运工程桩基静载仪检定规程》。
- 2) 测量环境: $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ (每小时温度变化应不大于 2°C), 相对湿度不大于 75%。
- 3) 测量标准: GWC-A-50 型光栅数显式指示表检定仪, 测量范围为 0mm~50mm, 最小示值 $1\mu\text{m}$, 最大允许误差在 50mm 范围内应不大于 $5\mu\text{m}$ 。
- 4) 测量对象: 桩基静载仪, 位移测量范围为 (0~50) mm, 分辨率为 $0.02\% F \cdot S$, 精度为 $0.4\% F \cdot S$ 。
- 5) 测量方法: 采用正、反行程两种测量方式, 每一种方式各测量 1 次, 最后取两种方式 2 次测量的平均值作为测量结果, 测量时先将位移传感器与桩基静载仪进行连接, 然后将位移传感器安装在 GWC-A-50 型光栅数显式指示表检定仪支架孔内, 调整好它们的相对位置, 分别将桩基静载仪和光栅数显式指示表检定仪置零。操作检定仪, 按键开始试验, 桩基静载仪显示一个位移值为 S , 此时检定仪也显示一个位移值为 S_b , 将两者读数进行直接比较, 比较的差值即为示值误差 ΔS 。

(2) 数学模型

$$\Delta S = S - S_b \quad (3-9)$$

式中: ΔS — 桩基静载仪位移示值误差, mm;

S — 桩基静载仪位移测量值, mm;

S_b — 指示表检定仪位移测量值, mm;

(3) 合成方差及灵敏系数

由于 $f(S, S_b)$ 中的 S 、 S_b 互不相关, 故其合成估计方差为:

$$u_c^2(\Delta S) = c^2(S)u^2(S) + c^2(S_b)u^2(S_b) \quad (3-10)$$

式中灵敏系数为:

$$c(S) = \frac{\partial(\Delta S)}{\partial(S)} = 1$$

$$c(S_b) = \frac{\partial(\Delta S)}{\partial(S_b)} = -1$$

(1) 输入量的标准不确定度评定

1) 输入量 S 的标准不确定度 $u(S)$ 的评定

输入量 S 的标准不确定度来源主要是：测量重复性和桩基静载仪量化误差引起的标准不确定度。

a) 测量重复性引起的标准不确定度 $u(S_1)$ 的评定

测量重复性引起的标准不确定度 $u(S_1)$ ，可以通过连续测量得到测量列，采用 A 类方法进行评定。选择 20mm 长度，连续测量 10 次，得到测量列为 19.99mm、19.99mm、20.00mm、19.99mm、19.99mm、20.00mm、19.99mm、20.00mm、19.99mm、19.99mm。

$$S \text{ 位移的测量平均值 } \bar{S} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i = 19.993\text{mm}$$

$$\text{单次实验标准 } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}{n-1}} = 0.0048\text{mm}$$

选择-20mm 长度，连续测量 10 次，得到测量列-20.00mm、-19.99mm、-19.99mm、-19.99mm、-20.00mm、-20.00mm、-19.99mm、-19.99mm、-20.00mm、-20.00mm。

$$S \text{ 位移的测量平均值 } \bar{S} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i = -19.995\text{mm}$$

$$\text{单次实验标准差 } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}{n-1}} = 0.053\text{mm}$$

$$\text{合并样本标准差 } s_p = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m s_j^2} = 0.0051\text{mm}$$

因此标准不确定度 $u(S_1) = s_p$

$$\text{自由度为: } \nu(S_1) = \sum_{j=1}^m \nu_j = 2 \times (10-1) = 18$$

b) 桩基静载仪量化误差引起的标准不确定度 $u(S_2)$ 。

桩基静载仪显示的分度值为 0.01mm，量化误差为 0.01mm，按均为分布考虑，取包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，故标准不确定度 $u(S_2)$ 为：

$$u(S_2) = \frac{0.01}{\sqrt{3}} = 0.006\text{mm}$$

由于 $u(S_2)$ 可视为确实已知量，则自由度 $\nu(S_2) \rightarrow \infty$

以上 2 项相互独立不相关，所以合成不确定度可按下式计算

$$u(S) = \sqrt{u(S_1)^2 + u(S_2)^2} = \sqrt{0.0051^2 + 0.006^2} = 0.0079\text{mm}$$

输入量 S 的自由度

$$\nu(S) = \frac{u^4(S)}{\frac{u^4(S_1)}{\nu(S_1)} + \frac{u^4(S_2)}{\nu(S_2)}} = \frac{0.0079^4}{\frac{0.0051^4}{18} + \frac{0.006^4}{\infty}} = 100$$

2) 输入量 S_b 的标准不确定度 $u(S_b)$ 的评定

a) 光栅数显式指示表检定仪引起的标准不确定度 $u(S_{b1})$ ，检定仪在 50mm 内，示值误差值为 $\pm 5\mu\text{m}$ 来进行不确定的评定，采用 B 类方法进行评定。

认为其在半宽 $a=5\mu\text{m}$ 范围内服从均匀分布，取包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，故标准不确定度 $u(S_{b1})$ 为

$$u(S_{b1}) = \frac{5}{\sqrt{3}} = 0.003\text{mm}$$

估计不可靠程度为 $\frac{\Delta u(S_{b1})}{u(S_{b1})} = 0.10$ ，则自由度为 $\nu(S_{b1}) = 50$

b) 光栅数显式指示表检定仪分度值量化误差引入的标准不确定度 $u(S_{b2})$ 的评定。

根据检定规程的要求，检定仪器时读数的原则是以计量标准器显示的示值为标准，然后再读被检仪器的示值，因此这将由计量标准器的分度值量化误差引入一个标准不确定度。光栅数显式指示表检定仪分度值为 0.001mm，所以量化误差为 0.001mm，按均匀分布考虑，则取包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，故标准不确定度 $u(S_{b2})$ 为

$$u(S_{b2}) = \frac{0.001}{\sqrt{3}} = 0.0006 \text{ mm}$$

估计其不可靠程度为 10%，故自由度为 $\nu(S_{b2}) = \frac{1}{2} \left(\frac{10}{100} \right)^{-2} = 50$

由于 S_{b1} 、 S_{b2} 分量独立无关，合成不确定度为：

$$u(S_b) = \sqrt{S^2_1 + S^2_2} = \sqrt{0.003^2 + 0.0006^2} = 0.003 \text{ mm}$$

c) 合成不确定度的有效自由度 ν_{eff} 为：

$$\nu_{eff} = \frac{u^4(S_b)}{\frac{u^4(S_{b1})}{\nu(S_{b1})} + \frac{u^4(S_{b2})}{\nu(S_{b2})}} = \frac{0.003^4}{\frac{0.003^4}{50} + \frac{0.0006^4}{50}} = 50$$

(2) 合成标准不确定度的评定

1) 合成不确定度的计算

以上分量独立无关，可以直接进行合成计算。

$$u_c^2(\Delta S) = c^2(S)u^2(S) + c^2(S_b)u^2(S_b)$$

$$u_c(\Delta S) = \sqrt{(0.0079)^2 + (0.003)^2} = 0.0085 \text{ mm}$$

2) 合成不确定度的有效自由度 ν_{eff} 为：

$$\nu(\Delta S) = \frac{u^4(\Delta S)}{\frac{u^4(S)}{\nu(S)} + \frac{u^4(S_b)}{\nu(S_b)}} = \frac{0.0085^4}{\frac{0.0079^4}{100} + \frac{0.003^4}{50}} = 100$$

(6) 扩展不确定度的评定

$$U = 0.017 \text{ mm}, \quad k=2$$

(7) 扩展不确定度报告

选择 20.00mm 长度，测量的位移值的结果为：(20.03±0.017)mm；桩基静载仪位移示

值误差测量结果的扩展不确定度为

$$U = 0.017\text{mm } v_{\text{eff}} = 100$$

(8) 结论

所采用的计量标准在量程 0~50mm 最大示值误差为 0.0005mm，小于被检仪器精度 0.4%FS 的 1/3 即($1/3 \times 0.4\% \times 50 = 0.067\text{mm}$)，并且扩展不确定度 $U_{95} = 0.0169\text{mm}$ 也小于被检仪器最大允许误差(0.4%FS=0.2mm)，因此计量标准符合检定要求。