

JJF

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF ×××—20××

海洋静力触探仪校准规范

Calibration Specification of Marine Static Cone Penetrometer

(征求意见稿)

20××-××-××发布

20××-××-××实施

国家市场监督管理总局 发布

海洋静力触探仪校准规范

Calibration Specification of Marine Static
Cone Penetrometer

JJF XXX -20XX

归口单位：全国海洋专用计量器具计量技术委员会

主要起草单位：国家海洋局南海标准计量中心

参加起草单位：国家海洋局南海调查技术中心

磐索地勘科技（广州）有限公司

本规范委托全国海洋专用计量器具计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

钱 飞 （国家海洋局南海标准计量中心）

参加起草人：

张保学（国家海洋局南海标准计量中心）

张岳洪（国家海洋局南海标准计量中心）

魏 巍（国家海洋局南海调查技术中心）

杨文丰（国家海洋局南海调查技术中心）

王春光（磐索地勘科技（广州）有限公司）

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.....	(2)
4 概述.....	(2)
5 计量特性.....	(2)
5.1 外观和功能.....	(2)
5.2 锥形探头尺寸.....	(3)
5.3 计量性能.....	(3)
6 校准条件.....	(3)
6.1 环境条件.....	(3)
6.2 计量标准器及配套设备.....	(3)
7 校准项目和校准方法.....	(4)
7.1 外观和功能检查.....	(4)
7.2 锥形探头尺寸.....	(4)
7.3 倾斜角校准.....	(4)
7.4 孔隙水压力校准.....	(5)
7.5 锥尖阻力校准.....	(7)
7.6 侧壁摩阻力校准.....	(8)
8 校准结果表达.....	(8)
9 复校时间间隔.....	(9)
附录 A 海洋静力触探仪校准原始记录格式.....	(10)
附录 B 校准证书内页格式.....	(15)
附录 C 长度校准结果的测量不确定度评定.....	(21)
附录 D 锥角校准结果的测量不确定度评定.....	(22)
附录 E 倾斜角示值误差校准结果的测量不确定度评定.....	(23)
附录 F 孔隙水压力引用误差校准结果的测量不确定度评定.....	(26)
附录 G 锥尖阻力和侧壁摩阻力引用误差校准结果的测量不确定度评定.....	(29)

引 言

本规范按照JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》的要求进行编写。海洋静力触探仪的部分计量特性和校准方法参考了JJF 1439-2013《静力触探仪校准规范》、JJF 1550-2015《钻孔测斜仪校准规范》、GB/T 12763.11-2007《海洋调查规范 第11部分：海洋工程地质调查》、T/CCES 1-2017《孔压静力触探测试技术规程》和ISO 22476-1-2012《岩土工程勘察和试验—现场试验—第1部分：电锥和静力触探渗透测试》（Geotechnical investigation and testing—Field testing—Part 1: Electrical cone and piezocone penetration test）中的要求。

本规范为首次制定。

海洋静力触探仪校准规范

1 范围

本规范适用于采用电阻应变原理测量锥尖阻力、侧壁摩阻力，利用压阻效应测量孔隙水压力和利用重力加速度传感器测量倾斜角的海洋静力触探仪的校准。其他原理的海洋静力触探仪可参照执行。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

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

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 海洋静力触探仪 marine static cone penetrometer

以静压力将一定规格的锥形探头匀速地压入海底土体，按其受到的锥尖阻力、侧壁摩阻力和孔隙水压力大小，并结合倾斜角的测量，评价不同深度的海底土体力学性能的海洋土工原位试验仪器。本规范所指海洋静力触探仪是包括由锥形探头、电缆及数据采集仪组成的测量系统。

3.1.2 锥形探头 cone probe

锥形探头由圆锥头、摩擦套和内部传感器电路等组成，具有规定形状、尺寸和硬度的金属锥形体。

3.1.3 圆锥头 cone

锥形探头顶端的金属元件，与海底土体接触用于测量锥尖阻力的受力部位，包括锥形底部和圆柱形延伸部分。

3.1.4 摩擦套 friction sleeve

位于圆锥头后，与海底土体接触用于测量侧壁摩阻力的受力部位。

3.1.5 锥尖阻力 cone resistance

锥形探头被匀速地压入海底土体过程中圆锥头受到的阻力。

3.1.6 侧壁摩阻力 sleeve friction resistance

锥形探头被匀速地压入海底土体过程中摩擦套受到的阻力。

3.1.7 孔隙水压力 pore pressure

锥形探头被匀速地压入海底土体或停止贯入的过程中受到的水压力。

3.1.8 倾斜角 inclination

锥形探头与垂直轴之间的夹角。

3.2 计量单位

长度单位：米，符号为m。

平面角单位：[角]分，符号为'；度，符号为°。

压力单位：帕[斯卡]，符号为Pa。

力单位：牛[顿]，符号为N。

4 概述

海洋静力触探仪是通过反力装置以静压力将一定规格的锥形探头匀速地压入海底土体，按其受到的锥尖阻力和侧壁摩阻力，并结合倾斜角的测量，评价不同深度的海底土体力学性能。锥形探头的外形结构如图 1 所示。

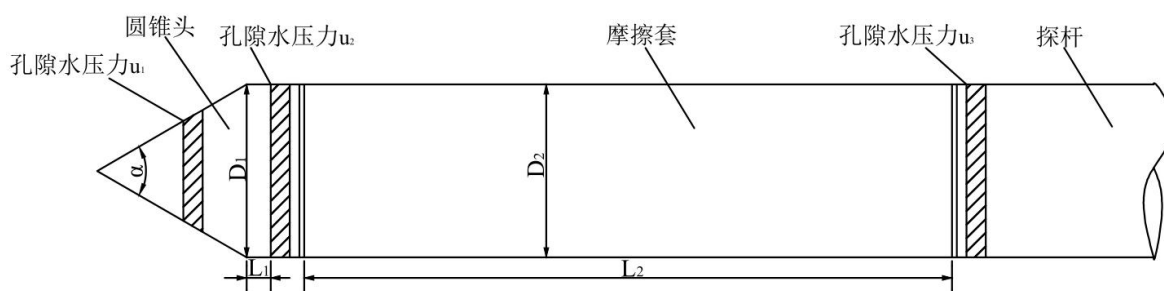


图 1 锥形探头的外形结构

5 计量特性

5.1 外观和功能

5.1.1 外观

海洋静力触探仪锥形探头外观应平整、光滑、无损伤及锈蚀，不应存在不对称的磨损或异常粗糙现象。

5.1.2 功能

海洋静力触探仪各部分连接应无松动现象，并在接通电源的情况下，应能正常测量、传输、显示数据。

5.2 锥形探头尺寸

10cm²锥形探头尺寸应符合表1要求，其他特殊锥形探头尺寸应按照直径成比例调整。

表 1 10cm² 锥形探头尺寸

圆锥头			摩擦套	
直径 D_1 /mm	圆柱部分 长度 L_1 /mm	锥角 $\alpha/^\circ$	直径 D_2 /mm	长度 L_2 /mm
$35.3 \leq D_1 \leq 36.0$	$2.0 \leq L_1 \leq 5.0$	$59 \leq \alpha \leq 61$	$D_1 \leq D_2 < (D_1 + 0.35)$ 并且 $D_2 < 36.1$	$132.5 \leq L_2 \leq 135.0$

5.3 计量性能

海洋静力触探仪的倾斜角、孔隙水压力、锥尖阻力、侧壁摩阻力的计量性能应满足表2中的要求。

表 2 计量性能要求

参 数	示值误差	引用误差	非线性	重复性	滞后性	零位漂移
倾斜角	$\pm 2^\circ$	——	——	——	——	——
孔隙水压力	——	$\pm 1.0\%FS$	1.0%FS	1.0%FS	1.0%FS	$\pm 1.0\%FS$
锥尖阻力	——	$\pm 1.0\%FS$	1.0%FS	1.0%FS	1.0%FS	$\pm 1.0\%FS$
侧壁摩阻力	——	$\pm 1.0\%FS$	1.0%FS	1.0%FS	1.0%FS	$\pm 1.0\%FS$

6 校准条件

6.1 环境条件

校准时环境条件应满足，环境温度：（20±5）℃，相对湿度：20%～80%。校准时周围应无影响校准结果的振动、冲击及其它干扰源。

6.2 计量标准器及配套设备

6.2.1 计量标准器

- 1) 游标卡尺，测量范围（0～300）mm，最大允许误差优于 $\pm 0.04\text{mm}$ ；
- 2) 万能角度尺，测量范围（0～320）°，最大允许误差优于 $\pm 5'$ ；

3) 分度头或分度台，测量范围（0~30）°，最大允许误差优于±40'；

4) 数字压力计或活塞式压力计，0.2级及以上，其测量范围应大于等于海洋静力触探仪孔隙水压力的测量范围；

5) 标准测力仪，0.3级及以上，其测量范围应大于等于海洋静力触探仪锥尖阻力和侧壁摩阻力的测量范围。

6.2.2 配套设备

1) 铂热电阻，测量范围（-10~60）°C，A级及以上；

2) 电测仪器，测量范围（0~400）Ω，测量准确度优于±5×10⁻⁵，换算成温度后的分辨力优于0.001°C；

3) 恒温压力槽，控温范围（-5~55）°C，恒温压力罐内温度波动性优于2°C/30min，压力罐耐压应大于等于海洋静力触探仪孔隙水压力的测量范围，产生的驱动力值应大于等于海洋静力触探仪锥尖阻力和侧壁摩阻力的测量范围，恒温压力槽的结构如图2所示。

7 校准项目和校准方法

7.1 外观和功能检查

7.1.1 外观

通过目测进行检查，应符合5.1.1的要求。

7.1.2 功能

将锥形探头、电缆、数据采集仪连接并接上电源，应符合5.1.2的要求。

7.2 锥形探头尺寸

用游标卡尺和万能角度尺分别测量圆锥头和摩擦套的直径、长度、锥角等几何尺寸，测量结果应符合5.2的要求。

7.3 倾斜角校准

7.3.1 倾斜角校准点一般为：0°，±1°，±2°，±3°，±4°，±5°，±10°，±15°，±20°，±30°，可舍去海洋静力触探仪倾斜角测量范围外的校准点。

7.3.2 校准前应沿重力加速度传感器灵敏方向插入海洋静力触探仪锥形探头，锥形探头一般具有相互垂直的两个可测量倾斜角的轴，夹持位置为锥形探头中部。

7.3.3 调整锥形探头的角度，将海洋静力触探仪倾斜角示值为0°，同时调整分度头或分度台示值归零。

将分度头或分度台依次向逆时针和顺时针方向分别旋转，即逆时针方向角度设定为：0°，1°，2°，3°，4°，5°，10°，15°，20°，30°，顺时针方向角度设定为：0°，-1°，-2°，-3°，-4°，-5°，-10°，-15°，-20°，-30°，在每个倾斜角校准点保持稳定后记录相应倾斜角示值。依次完成所有测量轴倾斜角的校准。

7.3.4 按照公式（1）计算倾斜角的示值误差。

$$e_{\alpha} = \alpha_m - \alpha_s \quad (1)$$

式中：

e_{α} ——倾斜角示值误差，°；

α_m ——倾斜角示值，°；

α_s ——倾斜角标准值，°。

取绝对值最大的 e_{α} 作为倾斜角示值误差。

7.4 孔隙水压力校准

7.4.1 调节恒温压力槽至校准要求水温条件，水温条件从0℃、20℃、40℃中选择不少于1个温度点。

7.4.2 孔隙水压力校准点在海洋静力触探仪测量范围内选取不少于5个点，压力校准要遵循先升压，后降压的顺序进行。

7.4.3 利用海洋静力触探仪配套的饱和装置对锥形探头的透水滤器和传压通道进行充分饱和。

7.4.4 将饱和后的锥形探头置于恒温压力槽的压力罐内，并与电缆、数据采集仪连接后接上电源，如图2所示。

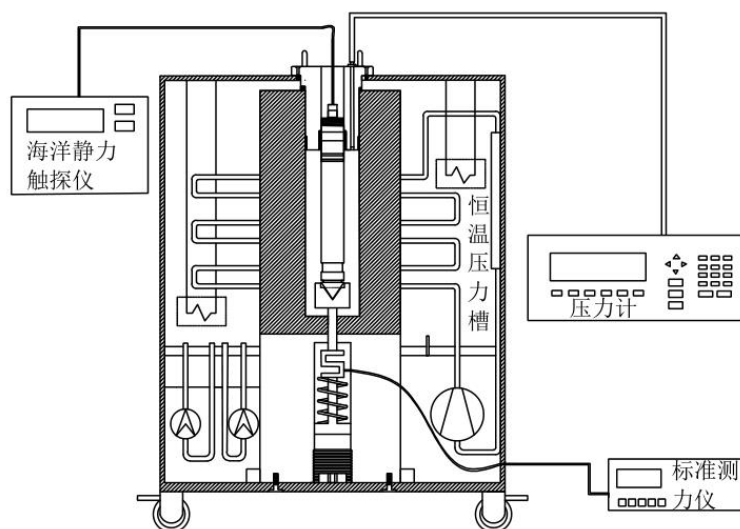


图2 海洋静力触探仪校准安装固定示意图

7.4.5 调整升降平台使压力标准器与海洋静力触探仪压力传感器位置尽量一致，将数字

压力计或活塞式压力计和压力罐连接。

在锥形探头与压力罐内水温达到热平衡后记录孔隙水压力初始零位输出值，并对仪表进行清零。在每个压力校准点保持稳定并记录相应孔隙水压力测量值，完成校准后记录孔隙水压力结束零位输出值。该校准过程重复完成3次，取其算术平均值作为孔隙水压力示值。

7.4.6 按照公式（2）～（6）计算孔隙水压力的引用误差、非线性、重复性、滞后性、零位漂移。

$$\text{引用误差: } \delta_k = \frac{u_{km} - u_{ks}}{u_{kF}} \quad (2)$$

式中：

u_{km} ——海洋静力触探仪的孔隙水压力（锥尖阻力或侧壁摩阻力）示值，MPa或kN；

u_{ks} ——压力（力）标准值，MPa或kN；

u_{kF} ——海洋静力触探仪孔隙水压力（锥尖阻力或侧壁摩阻力）的额定荷载，MPa或kN；

$k=1$ ——为锥面处测量得到的孔隙水压力示值；

$k=2$ ——为圆锥头后靠近锥底处测量得到的孔隙水压力示值；

$k=3$ ——为摩擦套上部测量得到的孔隙水压力示值。

取绝对值最大的 δ_k 作为孔隙水压力（锥尖阻力或侧壁摩阻力）引用误差。

$$\text{非线性: } L = \frac{|u_{km}^+ - u_{km}'|_{\max}}{u_{kF}} \quad (3)$$

式中：

u_{km}^+ ——进程的孔隙水压力（锥尖阻力或侧壁摩阻力）示值，MPa或kN；

u_{km}' ——进程校准曲线的端点直线上相应的压力（力）值，MPa或kN。

$$\text{重复性: } R = \frac{(\Delta u_{km}^+)_{\max}}{u_{kF}} \quad (4)$$

式中：

Δu_{km}^+ ——进程重复校准时，在各个压力（力）校准点下孔隙水压力（锥尖阻力或侧壁摩阻力）测量的极差，MPa或kN。

$$\text{滞后性: } H = \frac{|u_{km}^+ - u_{km}^-|_{\max}}{u_{kF}} \quad (5)$$

式中:

u_{km}^- ——与进程校准相同标准压力(力)条件下的回程孔隙水压力(锥尖阻力或侧壁摩阻力)示值, MPa或kN。

$$\text{零位漂移: } Z = \frac{u_{kT} + u_{kE}}{2 \times u_{kF}} \quad (6)$$

式中:

u_{kT} ——校准开始时孔隙水压力(锥尖阻力或侧壁摩阻力)初始零位输出值, MPa或kN;

u_{kE} ——校准结束时孔隙水压力(锥尖阻力或侧壁摩阻力)结束零位输出值, MPa或kN。

取绝对值最大的Z作为孔隙水压力(锥尖阻力或侧壁摩阻力)零位漂移。

7.5 锥尖阻力校准

7.5.1 调节恒温压力槽至校准要求水温条件, 水温条件从0℃、20℃、40℃中选择不少于1个温度点。

7.5.2 将锥形探头置于恒温压力槽的压力罐内, 并将锥形探头固定, 使锥形探头、标准测力仪、恒温压力槽底部驱动结构的中心线重合, 如图2所示。

7.5.3 锥尖阻力校准点在海洋静力触探仪测量范围内选取不少于5个点, 锥尖阻力校准要遵循先加载, 后卸载的顺序进行。

将锥形探头、电缆、数据采集仪连接并接上电源, 在锥形探头与压力罐内温度达到热平衡后, 通过恒温压力槽底部驱动结构对锥形探头预压不少于3次到锥尖阻力测量的额定荷载, 以减少锥尖阻力传感元件残余应力。

7.5.4 记录锥尖阻力初始零位输出值, 调整恒温压力槽底部驱动结构与锥形探头接触后对仪表进行清零, 在每个锥尖阻力校准点保持稳定并记录相应锥尖阻力测量值, 完成校准后记录锥尖阻力结束零位输出值。该校准过程重复完成3次, 取其算术平均值作为锥尖阻力示值。

7.5.5 锥尖阻力的引用误差、非线性、重复性、滞后性、零位漂移按照公式(2)~(6)

的方法进行计算。

7.6 侧壁摩阻力校准

7.6.1 调节恒温压力槽至校准要求水温条件，水温条件从0℃、20℃、40℃中选择不少于1个温度点。

7.6.2 将卸除了圆锥头的探头置于恒温压力槽的压力罐内，并将探头固定，使探头、标准测力仪、恒温压力槽底部驱动结构的中心线重合，如图2所示。

7.6.3 侧壁摩阻力校准点在海洋静力触探仪测量范围内选取不少于5个点，侧壁摩阻力校准要遵循先加载，后卸载的顺序进行。

将探头、电缆、数据采集仪连接并接上电源，在探头与压力罐内温度达到热平衡后，通过恒温压力槽底部驱动结构对探头预压不少于3次到侧壁摩阻力测量的额定荷载，以减少侧壁摩阻力传感元件残余应力。

7.6.4 记录侧壁摩阻力初始零位输出值，调整恒温压力槽底部驱动结构与探头接触后对仪表进行清零，在每个侧壁摩阻力校准点保持稳定并记录相应侧壁摩阻力测量值，完成校准后记录侧壁摩阻力结束零位输出值。该校准过程重复完成3次，取其算术平均值作为侧壁摩阻力示值。

7.6.5 侧壁摩阻力的引用误差、非线性、重复性、滞后性、零位漂移按照公式（2）～（6）的方法进行计算。

8 校准结果表达

校准证书由封面和内页组成。

校准证书至少包含以下内容：

- 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) 证书的唯一性标识，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) 进行校准的日期及仪器的接收日期；
- h) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；

- i) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- j) 校准环境的描述；
- k) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- l) 对校准规范的偏离的说明；
- m) 校准证书签发人的签名、职务或等效标识；
- n) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- o) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

9 复校时间间隔

建议海洋静力触探仪复校时间间隔为 3 个月。送校单位也可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A

海洋静力触探仪校准原始记录格式

原始记录号：

第 页，共 页

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
标准器及配套设备				
名 称 / 编 号	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	检 定 / 校 准 证 书 编 号	有 效 期 至
校准地点：		技术依据及代号：		
校准时环境条件：温度：（ ~ ）℃ 湿度：（ ~ ）%RH				
仪 器 名 称		委 托 日 期		
委 托 单 位		地 址		
规 格 / 型 号		生 产 厂 / 商		
出 厂 编 号		外 观 和 功 能		
证 书 编 号				
偏离校准规范的说明：				
配套说明：				
圆锥头			摩擦套	
直径 D_1 /mm	圆柱部分长度 L_1 /mm	锥角 α /°	直径 D_2 /mm	长度 L_2 /mm
长度扩展不确定度($k=2$)			锥角扩展不确定度($k=2$)	
校准员：		核验员：		校准日期：

海洋静力触探仪校准原始记录格式（续）

原始记录号：

第 页，共 页

倾斜角/°		
轴向： 轴		
校准点	示值	示值误差
扩展不确定度（ $k=2$ ）		
校准员：	核验员：	校准日期：

海洋静力触探仪校准原始记录格式（续）

原始记录号：

第 页，共 页

孔隙水压力/MPa									
水温条件： °C									
校准点	标准值	第1次正行程	第1次反行程	第2次正行程	第2次反行程	第3次正行程	第3次反行程	正行程平均值	反行程平均值
第1次正反行程									
初始零位输出值		结束零位输出值			零位漂移1				
第2次正反行程									
初始零位输出值		结束零位输出值			零位漂移2				
第3次正反行程									
初始零位输出值		结束零位输出值			零位漂移3				
引用误差					扩展不确定度(k=2)				
非线性					扩展不确定度(k=2)				
重复性					扩展不确定度(k=2)				
滞后性					扩展不确定度(k=2)				
零位漂移					扩展不确定度(k=2)				
校准员：				核验员：				校准日期：	

海洋静力触探仪校准原始记录格式（续）

原始记录号：

第 页，共 页

锥尖阻力/kN									
水温条件： °C									
校准点	标准值	第1次正行程	第1次反行程	第2次正行程	第2次反行程	第3次正行程	第3次反行程	正行程平均值	反行程平均值
第1次正反行程									
初始零位输出值		结束零位输出值			零位漂移1				
第2次正反行程									
初始零位输出值		结束零位输出值			零位漂移2				
第3次正反行程									
初始零位输出值		结束零位输出值			零位漂移3				
引用误差					扩展不确定度($k=2$)				
非线性					扩展不确定度($k=2$)				
重复性					扩展不确定度($k=2$)				
滞后性					扩展不确定度($k=2$)				
零位漂移					扩展不确定度($k=2$)				
校准员：				核验员：				校准日期：	

海洋静力触探仪校准原始记录格式（续）

原始记录号：

第 页，共 页

侧壁摩阻力/kN									
水温条件： °C									
校准点	标准值	第1次正行程	第1次反行程	第2次正行程	第2次反行程	第3次正行程	第3次反行程	正行程平均值	反行程平均值
第1次正反行程									
初始零位输出值				结束零位输出值				零位漂移1	
第2次正反行程									
初始零位输出值				结束零位输出值				零位漂移2	
第3次正反行程									
初始零位输出值				结束零位输出值				零位漂移3	
引用误差				扩展不确定度($k=2$)					
非线性				扩展不确定度($k=2$)					
重复性				扩展不确定度($k=2$)					
滞后性				扩展不确定度($k=2$)					
零位漂移				扩展不确定度($k=2$)					
校准员：				核验员：				校准日期：	

附录 B

校准证书内页格式

B.1 校准证书第 2 页式样

证书编号：	原始记录号：	第 页，共 页
-------	--------	---------

1.机构授权说明：

2.重要声明：

3.委托日期：

4.偏离校准规范的说明：

5.配套说明：

B.2 校准证书第3页式样

证书编号：

原始记录号：

第 页，共 页

校 准 结 果

一.外观和功能、锥形探头尺寸：

1.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

2.校准使用的标准器：

名 称/编 号	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	检定/校准证书编号	有效期至

3.校准环境条件及地点：

温 度	(~) °C	地 点	
湿 度	(~) %RH		

4.被校项目及校准结果：

1) 外观及功能：

2) 锥形探头尺寸：

圆锥头			摩擦套	
直径 D_1 /mm	圆柱部分长度 L_1 /mm	锥角 α /°	直径 D_2 /mm	长度 L_2 /mm
长度扩展不确定度($k=2$)			锥角扩展不确定度($k=2$)	

5.校准日期： 年 月 日。

B.3 校准证书第4页式样

证书编号：

原始记录号：

第 页，共 页

校 准 结 果

二.倾斜角：

1.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

2.校准使用的标准器：

名 称/编 号	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	检定/校准证书编号	有效期至

3.校准环境条件及地点：

温 度	(~) °C	地 点	
湿 度	(~) %RH		

4.被校项目及校准结果：

单位：°

轴向：x 轴			轴向：y 轴		
校准点	示值	示值误差	校准点	示值	示值误差
扩展不确定度 ($k=2$)			扩展不确定度 ($k=2$)		

5.校准日期：

B.4 校准证书第5页式样

证书编号：

原始记录号：

第 页，共 页

校 准 结 果

三.孔隙水压力：

1.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

2.校准使用的标准器：

名 称/编 号	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	检定/校准证书编号	有效期至

3.校准环境条件及地点：

温 度	(~) °C	地 点	
湿 度	(~) %RH		

4.被校项目及校准结果：

引 用 误 差		扩展不确定度($k=2$)	
非 线 性		扩展不确定度($k=2$)	
重 复 性		扩展不确定度($k=2$)	
滞 后 性		扩展不确定度($k=2$)	
零 位 漂 移		扩展不确定度($k=2$)	

5.校准日期：

B.5 校准证书第6页式样

证书编号：

原始记录号：

第 页，共 页

校 准 结 果

四.锥尖阻力：

1.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

2.校准使用的标准器：

名 称/编 号	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	检定/校准证书编号	有效期至

3.校准环境条件及地点：

温 度	(~) °C	地 点	
湿 度	(~) %RH		

4.被校项目及校准结果：

引 用 误 差		扩展不确定度($k=2$)	
非 线 性		扩展不确定度($k=2$)	
重 复 性		扩展不确定度($k=2$)	
滞 后 性		扩展不确定度($k=2$)	
零 位 漂 移		扩展不确定度($k=2$)	

5.校准日期：

B.6 校准证书第7页式样

证书编号：

原始记录号：

第 页，共 页

校 准 结 果

五.侧壁摩阻力：

1.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

2.校准使用的标准器：

名 称/编 号	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	检定/校准证书编号	有效期至

3.校准环境条件及地点：

温 度	(~) °C	地 点	
湿 度	(~) %RH		

4.被校项目及校准结果：

引 用 误 差		扩展不确定度($k=2$)	
非 线 性		扩展不确定度($k=2$)	
重 复 性		扩展不确定度($k=2$)	
滞 后 性		扩展不确定度($k=2$)	
零 位 漂 移		扩展不确定度($k=2$)	

5.校准日期：

附录 C

长度校准结果的测量不确定度评定

按 JJF 1059.1-2012 《测量不确定度评定与表示》的要求进行。

C.1 概述

长度校准所使用的主要计量器具为数显卡尺,依据本规范对海洋静力触探仪锥形探头长度进行校准。

C.2 数学模型

$$L=l$$

式中:

L ——海洋静力触探仪锥形探头的各部位长度, mm;

l ——数显卡尺测量得到的长度值, mm。

C.3 不确定度来源

数显卡尺测量长度引入的标准不确定度 $u(l)$, 采用 B 类评定方法, 一般服从均匀分布, 其计算公式为:

$$u(l) = \frac{|MPE_l|}{k}$$

式中:

MPE_l ——数显卡尺最大允许误差, mm;

k ——扩展不确定度包含因子, 均匀分布时, $k = \sqrt{3}$ 。

C.4 合成标准不确定度

表 3 标准不确定度汇总表

不确定度分量	来源	符号
数显卡尺测量长度引入的标准不确定度	数显卡尺最大允许误差	$u(l)$

标准不确定度汇总表见表 3, 长度校准结果的合成标准不确定度为:

$$u_c(L) = \sqrt{u^2(l)}$$

C.5 扩展不确定度

$$U = k \times u_c(L)$$

U ——长度校准结果的扩展不确定度, mm;

k ——扩展不确定度包含因子, 取 $k = 2$ 。

附录 D

锥角校准结果的测量不确定度评定

按 JJF 1059.1-2012 《测量不确定度评定与表示》的要求进行。

D.1 概述

校准所使用的主要计量器具为万能角度尺, 依据本规范对海洋静力触探仪锥形探头锥角进行校准。

D.2 数学模型

$$\beta = \theta$$

式中:

β ——海洋静力触探仪圆锥头锥角, °;

θ ——万能角度尺测量得到的锥角, °。

D.3 不确定度来源

万能角度尺测量锥角引入的标准不确定度 $u(\theta)$, 采用 B 类评定方法, 一般服从均匀分布, 其计算公式为:

$$u(\theta) = \frac{|MPE_{\theta}|}{k}$$

式中:

MPE_{θ} ——万能角度尺最大允许误差, °;

k ——扩展不确定度包含因子, 均匀分布时, $k = \sqrt{3}$ 。

D.4 合成标准不确定度

表 4 标准不确定度汇总表

不确定度分量	来源	符号
万能角度尺测量锥角引入的标准不确定度	万能角度尺最大允许误差	$u(\theta)$

标准不确定度汇总表见表 4, 锥角校准结果的合成标准不确定度为:

$$u_c(\beta) = \sqrt{u^2(\theta)}$$

D.5 扩展不确定度

$$U = k \times u_c(\beta)$$

式中:

U ——锥角校准结果的扩展不确定度, °;

k ——扩展不确定度包含因子, 取 $k = 2$ 。

附录 E

倾斜角示值误差校准结果的测量不确定度评定

按 JJF 1059.1-2012 《测量不确定度评定与表示》的要求进行。

E.1 概述

校准所使用的主要计量器具为分度头，依据本规范对海洋静力触探仪倾斜角进行校准。

E.2 数学模型

$$e_{\alpha} = \alpha_m - \alpha_s$$

式中：

e_{α} ——倾斜角测量误差，°；

α_m ——海洋静力触探仪倾斜角测量值，°；

α_s ——倾斜角标准值，°。

对式求偏导得到灵敏系数为

$$c_1 = \frac{\partial e_{\alpha}}{\partial \alpha_m} = 1 \quad c_2 = \frac{\partial e_{\alpha}}{\partial \alpha_s} = -1$$

E.3 不确定度来源

(1) 海洋静力触探仪倾斜角测量引入的标准不确定度 u_1

a. 倾斜角测量重复性引入的标准不确定度 u_{11} ，采用 A 类评定方法

依据校准规范，海洋静力触探仪在倾斜角校准点重复测量 n 次得到一组数据，利用贝塞尔公式计算标准不确定度 u_{11} ：

$$u_{11} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\alpha_{mi} - \bar{\alpha}_m)^2}{n-1}}$$

式中：

α_{mi} ——海洋静力触探仪在第 i 次测量倾斜角的示值，°；

$\bar{\alpha}_m$ ——海洋静力触探仪重复测量 n 次的倾斜角平均值，°。

b. 由海洋静力触探仪倾斜角测量分辨力引入的标准不确定度分量 u_{12} ，采用 B 类评定方法，一般服从均匀分布，其计算公式为：

$$u_{12} = \frac{D_1}{2 \times k}$$

式中：

D_1 ——海洋静力触探仪倾斜角测量分辨力，°；

k ——扩展不确定度包含因子，均匀分布时， $k = \sqrt{3}$ 。

当 u_{11} 不为零时，海洋静力触探仪倾斜角测量引入的标准不确定度 $u_1 = u_{11}$ 。当 u_{11} 为零时，海洋静力触探仪倾斜角测量引入的标准不确定度 $u_1 = u_{12}$ 。

(2) 由倾斜角标准值测量引入的标准不确定度 u_2

a. 分度头标准角度值测量引入的标准不确定度 u_{21} ，采用 B 类评定方法，一般服从均匀分布，其计算公式为：

$$u_{21} = \frac{|MPE_{\alpha_s}|}{k}$$

式中：

MPE_{α_s} ——分度头最大允许误差，°；

k ——扩展不确定度包含因子，均匀分布时， $k = \sqrt{3}$ 。

b. 分度头分辨力引入的标准不确定度 u_{22} ，采用 B 类评定方法，一般服从均匀分布，其计算公式为：

$$u_{22} = \frac{D_2}{2 \times k}$$

式中：

D_2 ——分度头分辨力，°；

k ——扩展不确定度包含因子，均匀分布时， $k = \sqrt{3}$ 。

倾斜角标准值测量引入的标准不确定度 $u_2 = \sqrt{u_{21}^2 + u_{22}^2}$ 。

E.4 合成标准不确定度

表 5 标准不确定度汇总表

标准不确定分量	来源	符号
海洋静力触探仪倾斜角测量引入的标准不确定度	倾斜角测量重复性和分辨力	u_1
倾斜角标准值测量引入的标准不确定度	分度头最大允许误差和分辨力	u_2

标准不确定度汇总表见表 5，各分量相互独立，倾斜角校准结果的合成标准不确定度为：

$$u_c(e_\alpha) = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2}$$

E.5 扩展不确定度

$$U = k \times u_c(e_\alpha)$$

式中：

U ——倾斜角示值误差校准结果的扩展不确定度，°；

k ——扩展不确定度包含因子，取 $k = 2$ 。

附录 F

孔隙水压力引用误差校准结果的测量不确定度评定

按 JJF 1059.1-2012 《测量不确定度评定与表示》的要求进行。

F.1 概述

校准所使用的主要计量器具为液体压力控制器，依据本规范对海洋静力触探仪孔隙水压力进行校准。

F.2 数学模型

$$\delta = \frac{u_m - u_s}{u_F}$$

式中：

δ ——孔隙水压力引用误差；

u_m ——海洋静力触探仪测量得到的孔隙水压力最佳估计值，MPa；

u_s ——孔隙水压力标准值，MPa；

u_F ——孔隙水压力测量上限值，MPa。

对式求偏导得到灵敏系数为：

$$c_1 = \frac{\partial \delta}{\partial u_m} = \frac{1}{u_F} \quad c_2 = \frac{\partial \delta}{\partial u_s} = -\frac{1}{u_F}$$

F.3 不确定度来源

(1) 海洋静力触探仪孔隙水压力测量引入的标准不确定度 u_1 ，采用 A 类评定方法

依据校准规范，海洋静力触探仪在孔隙水压力校准点重复测量 n 次得到一组数据，取其算术平均值作为孔隙水压力示值。由孔隙水压力测量重复性引入的标准不确定度：

$$u_1 = \frac{R}{C \times \sqrt{n}}$$

式中：

R ——孔隙水压力重复测量 n 次的极差，MPa；

C ——对应测量次数 n 的极差系数；

n ——重复测量的次数。

(2) 由孔隙水压力标准值测量引入的标准不确定度 u_2

a. 液体压力控制器测量标准压力值引入的标准不确定度 u_{21} ，采用 B 类评定方法，一般服从均匀分布，其计算公式为：

$$u_{21} = \frac{|MPE_{u_s}|}{k}$$

式中：

MPE_{u_s} ——液体压力控制器最大允许误差，MPa；

k ——扩展不确定度包含因子，均匀分布时， $k = \sqrt{3}$ 。

b. 液柱差修正不完善引入的标准不确定度分量 u_{22} ，采用 B 类评定方法，一般服从均匀分布

校准时，尽量将标准器与海洋静力触探仪压力传感器放在同一水平面上，然而人工控制的手段不能完全消除该项误差，校准中二者之间还有 $\pm h$ m 的液柱差，该液柱差产生的压力为：

$$\Delta p = \pm \rho \times g \times h$$

式中：

Δp ——由 $\pm h$ cm 的液柱差产生的压力，Pa；

ρ ——打压所用介质的密度，kg/m³；

g ——当地重力加速度，m/s²；

h ——液柱差，m。

由液柱差压力引入的标准不确定度计算公式为：

$$u_{22} = \frac{\Delta p}{k}$$

式中：

k ——扩展不确定度包含因子，均匀分布时， $k = \sqrt{3}$ 。

由孔隙水压力标准值测量引入的标准不确定度 $u_2 = \sqrt{u_{21}^2 + u_{22}^2}$

F.4 合成标准不确定度

表 6 标准不确定度汇总表

不确定度分量	来源	符号
海洋静力触探仪孔隙水压力 测量引入的标准不确定度	孔隙水压力 测量重复性	u_1
孔隙水压力标准值测量引入 的标准不确定度	液体压力控制器 最大允许误差和液 柱差	u_2

标准不确定度汇总表见表 6，各分量相互独立，孔隙水压力校准结果的合成标准不确定度为：

$$u_c(\delta) = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2}$$

F.5 扩展不确定度

$$U = k \times u_c(\delta)$$

式中：

U ——孔隙水压力校准结果的扩展不确定度，MPa；

k ——扩展不确定度包含因子，取 $k = 2$ 。

附录 G

锥尖阻力和侧壁摩阻力引用误差校准结果的测量不确定度评定

按 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》的要求进行。

G.1 概述

校准所使用的主要计量器具为标准测力仪，依据本规范对海洋静力触探仪锥尖阻力和侧壁摩阻力进行校准。

G.2 数学模型

$$\delta_F = \frac{F_m - F_s}{F_F}$$

式中：

δ_F ——锥尖阻力或侧壁摩阻力引用误差；

F_m ——海洋静力触探仪测量得到的锥尖阻力或侧壁摩阻力最佳估计值，kN；

F_s ——锥尖阻力或侧壁摩阻力标准值，kN；

F_F ——锥尖阻力或侧壁摩阻力测量上限值，kN。

对式求偏导得到灵敏系数为

$$c_1 = \frac{\partial \delta_F}{\partial F_m} = \frac{1}{F_F} \quad c_2 = \frac{\partial \delta_F}{\partial F_s} = -\frac{1}{F_F}$$

G.3 不确定度来源

(1) 海洋静力触探仪锥尖阻力或侧壁摩阻力测量引入的标准不确定度 u_1 ，采用 A 类评定方法

依据本规范，海洋静力触探仪锥尖阻力或侧壁摩阻力校准点重复测量 n 次得到一组数据，取其算术平均值作为锥尖阻力或侧壁摩阻力示值。由锥尖阻力或侧壁摩阻力测量重复性引入的标准不确定度：

$$u_1 = \frac{R}{C \times \sqrt{n}}$$

式中：

R ——锥尖阻力或侧壁摩阻力重复测量 n 次的极差，kN；

C ——对应测量次数 n 的极差系数；

n ——重复测量的次数。

(2) 由锥尖阻力或侧壁摩阻力标准值引入的标准不确定度 u_2 ，采用 B 类评定方法，一般服从均匀分布，其计算公式为：

$$u_2 = \frac{|MPE_{F_s}|}{k}$$

式中：

MPE_{F_s} ——标准测力仪最大允许误差，kN；

k ——扩展不确定度包含因子，均匀分布时， $k = \sqrt{3}$ 。

G.4 合成标准不确定度

表 7 标准不确定度汇总表

不确定度分量	来源	符号
海洋静力触探仪锥尖阻力或侧壁摩阻力测量引入的标准不确定度	锥尖阻力或侧壁摩阻力测量重复性	u_1
锥尖阻力或侧壁摩阻力标准值引入的标准不确定度	标准测力仪最大允许误差	u_2

标准不确定度汇总表见表 7，各分量相互独立，锥尖阻力或侧壁摩阻力校准结果的合成标准不确定度为：

$$u_c(\delta_F) = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2}$$

G.5 扩展不确定度

$$U = k \times u_c(\delta_F)$$

式中：

U ——锥尖阻力或侧壁摩阻力校准结果的扩展不确定度，kN；

k ——扩展不确定度包含因子，取 $k = 2$ 。

