

中华人民共和国交通运输部部门计量检定规程

水运工程 电磁式分层沉降仪

编制说明

（征求意见稿）

编写组

2016 年 8 月

水运工程 电磁式分层沉降仪检定规程

编制说明

1 任务来源

本规程是依据《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，全国港口标准化技术委员会下发的《关于做好 2015 年交通运输标准化计划项目的通知》港标秘字（2015）13 号，立项进行编制的。计划号：JJG2015-4。

2 仪器概述

电磁式分层沉降仪主要由测头、测量电缆及钢卷尺（一体式）、接收系统和绕线盘及地下埋设部分（沉降导管、沉降磁环（或沉降板）、底盖）等组成，如图 1 所示。电磁式分层沉降仪所用测头是根据电磁感应原理设计，将沉降磁环（或沉降板）预先埋入地下待测的各断面，当测头进入沉降磁环磁场的范围，干簧管簧片开关闭合，绕线盘蜂鸣器或指示灯打开，读取孔口标记点上对应测尺的刻度数值，即为沉降磁环的深度。每次测量值与前次测值的差值即为该测点的沉降量。该设备广泛应用于水运工程码头、堆场、防波堤、护岸、边坡和地基处理等工程土体分层沉降的监测。

3 编制过程

电磁式分层沉降仪作为岩土监测工程中常用的一种监测仪器设备，广泛应用于软土地基加固、土石坝、防波堤、护岸、边坡等岩土工程监测，目前国内市场该仪器的生产厂家也较多，但尚无一个统一的生产标准和检定规程。

2015 年 5 月，成立标准起草组。

为了规范电磁式分层沉降仪的检定，确保检测数值的准确性和溯源性，特制订此规程。

本规程在编制过程中走访了国内电磁式分层沉降仪的主要生产单位，了解收集了仪器的生产流程、制作工艺及企业生产标准。汇集了销售企业、使用单位等关于产品应用中的主要问题及建议与意见。收集了相关的国家检定规程、行业规程等有关资料，在此基础上依据 JJF 1002-2010《国家计量检定规程编写规则》，结合水运工程检测技术的实际需求进行了检定规程的编制。

2016 年 8 月完成了 JJG（交通）XXX-XXXX《水运工程 电磁式分层沉降仪》征求意见

见稿。

4 编制主要内容

4.1 概述

概述主要对分层沉降仪的原理、应用范围和系统组成作出了简要说明。

4.2 计量性能要求

本规程主要从示值误差、干簧管动作释放时间、干簧管绝缘电阻、防水密封性、磁场强度等方面给出了相应的要求。

4.2 通用技术要求

本规程从标识、外观质量、整机结构等方面给出了相应的规定。

4.3 计量器具控制

本规程对检定条件、检定设备、检定项目、检定方法、检定结果处理及检定周期几个方面进行了详细的说明。

4.4 编制内容及依据

表 1 主要编制内容一览表

| 序号 | JT/T XXX-XXXX | 依据 |
|----|---|--|
| 1 | 引言 | JJF 1002-2010《国家计量检定规程编写规则》 |
| 2 | 2.1 示值误差 示值误差： $\pm(0.1+0.1L)$ mm，(L是以米为单位的长度，当L不是整数米时，取最接近的较大整数。) | JJG 4《钢卷尺检定规程》 JJG 741《标准钢卷尺》 QB/T 2443《钢卷尺》 |
| | 2.2 干簧管动作时间 动作时间： $\leq 2\text{ms}$ 。 2.3 干簧管释放时间 释放时间： $\leq 0.1\text{ms}$ 。 2.4 干簧管绝缘电阻 干簧管绝缘电阻： $\geq 1000\text{M}\Omega$ 。 | JJG（交通）XXXX-XXXX 《水运工程 电磁式分层沉降仪》 |
| | 2.5 磁环磁场强度 磁环磁场强度 $\geq 0.1\text{T}$ 。 | GB/T 3217《永磁（硬磁）材料 磁性试验方法》 |
| | 2.6 防水密封性 测头应采用密封式圆筒形外壳，应能承受0.5MPa水压。 | JJG（交通）XXXX-XXXX 《水运工程 电磁式分层沉降仪》 |
| | | |

| | | |
|---|--|--|
| 4 | <p>4.1 工作环境条件</p> <p>4.2 整机要求</p> <p>4.3 结构、材料</p> | <p>JJG (交通) XXXX-XXXX</p> <p>《水运工程 电磁式分层沉降仪》</p> |
| 5 | <p>5.1 试验仪器</p> <p>试验设备及其要求包括：</p> <p>a) 读数显微镜：分度值0.001mm；</p> <p>b) 温度计：最大允许误差为$\pm 0.2^{\circ}\text{C}$，分度值为0.1°C；</p> <p>c) 标准钢卷尺：最大允许误差为$\pm (0.03+0.03L)\text{mm}$；</p> <p>d) 零位检定器；</p> <p>e) 检定台；</p> <p>f) 拉力计：分度值0.5N；</p> <p>g) 压力容器；</p> <p>h) 磁场强度测试仪：准确度$\pm 1\% \text{ F}\cdot\text{S}$。</p> | <p>JJG (交通) XXXX-XXXX</p> <p>《水运工程 电磁式分层沉降仪》</p> |
| 6 | <p>6.1 外观质量</p> <p>采用目测和手检的方式。</p> <p>6.2 钢卷尺线纹宽度</p> <p>用分度值为 0.001mm 的读数显微镜在尺的首、末端及中间位置各选三条线检定。线纹宽度为$(0.15\sim 0.50)\text{mm}$，宽度差应不大于 0.02mm。</p> <p>6.3 钢卷尺示值误差</p> <p>在钢卷尺台上用经合格的 I 级标准钢卷尺与被检尺进行比较测量（钢卷尺台面与被检尺的摩擦力应$\leq 4\text{N}$）</p> <p>首先用压紧装置将标准钢卷尺和被检钢卷尺紧固在台上，分别在标准尺及被检尺的另一端按规定加上拉力。调整台上的调零机构。使被检尺的零值线纹与标准尺的零值线纹对齐，按每米逐段连续读取各段和全长误差。</p> <p>任意两线纹间的示值误差是在逐米进行的同时在全长范围内任选 2~3 段进行评定，其示值误差不得超过相应段允许误差的要求。当被检尺全长大于台面长度时，可用分段法进行，其全长误差为各段误差的代数和。</p> <p>6.4 防水密封性</p> <p>将测头放入压力容器内，加水压至 5.5 规定水压值的 1.5 倍，保持 2h，仪器正常工作。</p> <p>6.5 磁环磁场强度</p> <p>磁环磁场强度检测应按《GB/T 3217-2013 永</p> | <p>JJG (交通) XXXX-XXXX</p> <p>《水运工程 电磁式分层沉降仪》</p> |

| | | |
|--|---|--|
| | 磁(硬磁)材料 磁性试验方法》第 9 章的要求进行，磁场强度需满足检定规程中 5.6 的要求。 | |
|--|---|--|

5 征求意见单位

本规程草案完成后，以书面和座谈的形式征求了相关单位的意见。

6 验证试验的情况与结果

按照本规程给出的分层沉降仪检定方法，经过对使用单位的样机试验，本规程的各项技术指标合理，并具有一定的先进性。

7 与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

本规程符合我国目前法律、法规的规定。

8 重大分歧意见的处理经过和依据

无

9 社会效益预测

电磁式分层沉降仪不仅被应用于水运工程的岩土工程及水工建筑物，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。该计量检定规程颁布后，将促进电磁式分层沉降仪的生产、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。

10 其它说明

本计量检定规程为交通部部门计量检定规程。

本计量检定规程由中交第一航务工程勘察设计院有限公司提出。

本计量检定规程起草单位：中交第一航务工程勘察设计院有限公司。

本计量检定规程主要起草人：曹胜敏、李继广、张红亮

11 附录：不确定度分析实例

不确定度分析案例

1 以 5m 钢卷尺为例，即得出不同规格钢卷尺的示值误差测量结果不确定度。

2 数学模型

$$\Delta L = \Delta e$$

式中： ΔL —钢卷尺的示值误差；

Δe —0~5m 段钢卷尺在标准钢卷尺所对应的偏差读数值

3 输入量 Δe 的标准不确定度的评定

输入量 Δe 的不确定度的来源主要是测量重复性引起的标准不确定度分项 $u(\Delta e_1)$ ；钢卷尺时人眼分辨率引起的标准不确定度分项 $u(\Delta e_2)$ ；标准钢卷尺示值误差引起的标准不确定度分项 $u(\Delta e_3)$ ；拉力误差引起的标准不确定度分项 $u(\Delta e_4)$ ；线膨胀系数不同，当温度偏离标准温度 20℃ 时引起的标准不确定度分项 $u(\Delta e_5)$ ；被检定钢卷尺和标准钢卷尺各自线膨胀系数有不确定度，当温度偏离标准温度 20℃ 时引起的标准不确定度分项 $u(\Delta e_6)$ 和钢卷尺和标准钢卷尺温度差引起的标准不确定度分项 $u(\Delta e_7)$ 。

3.1 测量重复性引起的标准不确定度分项 $u(\Delta e_1)$ 的评定

将被检定钢卷尺放在台上，使其与标准钢卷尺平行，并使被检定钢卷尺和标准钢卷尺零位对齐，然后读出 5m 处示值误差，作为一次测量过程。重复上述过程，在重复性条件下连续测量 10 次，得一测量列：（单位：mm）

5000.1, 5000.2, 5000.1, 5000.2, 5000.1,
5000.2, 5000.1, 5000.2, 5000.1, 5000.3.

$$\overline{L_{e1}} = 5000.16 \text{ mm}$$

单次标准差

$$s = \sqrt{\frac{\sum (L_{eli} - \overline{L_{e1}})^2}{n-1}} = 0.07 \text{ mm}$$

则可得到 $u(\Delta e_1) = s_p = 0.07 \text{ mm}$

自由度 $\nu(\Delta e_1) = 10 - 1 = 9$

3.2 检定钢卷尺时人眼分辨率引起的标准不确定度分项 $u(\Delta e_2)$ 的评定

由于每次测量人眼分辨率 a 大致为 0.1mm，包含因子 K 为 $\sqrt{3}$ ，由于一次测量带有 2 次人眼分辨率误差，故

$$u(\Delta e_2) = \sqrt{2} \times \frac{1}{2} a / \sqrt{3} = 0.041 \text{ mm}$$

估计其相对不确定度为 20%，则其自由度为 $\nu(\Delta e_2) = 25$ 。

3.3 标准钢卷尺示值误差引起的不确定度分项 $u(\Delta e_3)$ 的评定

根据 JJG741-1991 《标准钢卷尺规程》，I 级标准钢卷尺最大允许示值误差为 $\pm(0.02 + 0.02L) \text{ mm}$ ，半宽 a 为 $(0.02 + 0.02L) \text{ mm}$ ；认为其服从正态分布，包含因子 K 为 3，则 L 以 5m 代入：

$$u(\Delta e_3) = (0.02 + 0.02L)/3 = 0.04\text{mm}$$

考虑其相当可靠，则自由度 $\nu(\Delta e_3) \rightarrow \infty$ 。

3.4 由拉力误差给出的标准不确定度分项 $u(\Delta e_4)$ 的评定

由拉力引起的误差为：

$$\delta = L \times 10^3 \times \Delta p / (9.8 \times E \times F) (\text{mm})$$

式中：L—钢卷尺的长度，以 m 为单位取值；

Δp —拉力偏差，由 JJG741-1991《标准钢卷尺检定规程》知 $\Delta p \leq 0.5\text{N}$ ；

E—弹性系数， $E = 200000\text{kg/mm}^2$ ；

F—钢卷尺的横截面积，改尺的横截面宽度为 12mm，其厚度为 0.22mm ($F = 12 \times 0.22\text{mm}^2$)

则： $\delta = 9.66 \times 10^{-4} L (\text{mm})$

拉力误差 Δp 以相等的概率出现在半宽为 0.5N 的区间，认为其服从均匀分布，包含因子 k 取 $\sqrt{3}$ 。由于被检验钢卷尺和标准钢卷尺都需加一定的拉力，故拉力误差在 5m 测量过程中影响两次。

$$u(\Delta e_4) = \sqrt{2} \delta / \sqrt{3} = \sqrt{2} \times 0.0027\text{mm} = 0.004\text{mm}$$

(标称长度小于 5m 的弧形尺带卷尺张紧力不作规定)

估计其相对不确定度为 20%，则其自由度为 $\nu(\Delta e_4) = 25$ 。

3.5 两者线膨胀系数不同，当温度偏离标准温度 20℃ 引起的标准不确定度分项 $u(\Delta e_5)$ 的评定

钢卷尺的线膨胀系数为 $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ，而标准钢卷尺的线膨胀系数为 $(10.8 \pm 1) \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ，两者线膨胀系数中心值之差 $\Delta\alpha = 0.7 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ， Δt 在半宽 a 为 2℃ 范围内服从均匀分布，包含因子 k 取 $\sqrt{3}$ ，L 以 5m 代入，得

$$u(\Delta e_5) = L \times 10^3 \times a \times \Delta\alpha / \sqrt{3} = 0.004\text{mm}$$

估计其相对不确定度为 10%，自由度为 $\nu(\Delta e_5) = 50$ 。

3.6 被检验钢卷尺和钢卷尺线膨胀系数都存在不确定度，当温度偏离标准温度 20℃ 时引起的标准不确定度分项 $u(\Delta e_6)$ 的评定

由于钢卷尺的线膨胀系数和标准钢卷尺的线膨胀系数在 $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 和 $(10.8 \pm 1) \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 的范围内等概率分布，两者线膨胀系数之差 $\Delta\alpha$ 应在 $(0.7 \pm 2) \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 范围内服从三角分布，该三角分布半宽 a 为 $2 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ，包含因子 k 取 $\sqrt{6}$ ，L 以 5m 代入， Δt 以 2℃ 代入，得

$$u(\Delta e_6) = L \times 10^3 \times \Delta t \times a / \sqrt{6} = 0.0082\text{mm}$$

估计其相对不确定度为 20%，则其自由度为 $\nu(\Delta e_6) = 25$ 。

3.7 标准钢卷尺和被检验钢卷尺温度之差引起的标准不确定度分项 $u(\Delta e_7)$ 的评定

原则上要求标准钢卷尺和被检验钢卷尺温度达到平衡后进行测量，但实际测量时两者有一定的温度差 Δt 存在，假定 Δt 在 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 范围内等概率分布，则该分布半宽 a 为 0.1°C ，包含因子 k 取 $\sqrt{3}$ ， L 以 5m 代入， α 以 $11.5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 代入得标准不确定度分项 $u(\Delta e_7)$ 为

$$u(\Delta e_7) = L \times 10^3 \times a \times \alpha / \sqrt{3} = 0.0033\text{mm}$$

估计其相对不确定度为 10%，自由度为 $\nu(\Delta e_7) = 50$ 。

3.8 输入量 Δe 的标准不确定度计算

$$u(\Delta e) = \sqrt{u^2(\Delta e_1) + u^2(\Delta e_2) + u^2(\Delta e_3) + u^2(\Delta e_4) + u^2(\Delta e_5) + u^2(\Delta e_6) + u^2(\Delta e_7)} = 0.091\text{mm}$$

$$\nu(\Delta e) = u^4(\Delta e) / [u^4(\Delta e_1) / \nu(\Delta e_1) + u^4(\Delta e_2) / \nu(\Delta e_2) + u^4(\Delta e_3) / \nu(\Delta e_3) + u^4(\Delta e_4) / \nu(\Delta e_4) + u^4(\Delta e_5) / \nu(\Delta e_5) + u^4(\Delta e_6) / \nu(\Delta e_6) + u^4(\Delta e_7) / \nu(\Delta e_7)] = 25$$

4 合成标准不确定度的评定

4.1 灵敏系数 $\Delta L = \Delta e$

$$\text{数学模型} \quad c = \partial \Delta L / \partial \Delta e = 1$$

4.2 标准不确定度汇总表

输入量的标准不确定度汇总于下表

L=5m 时:

| 标准不确定度 $u(x_i)$ | 不确定度来源 | 标准不确定度值 | c_i | $ c_i u(x_i)$ mm | ν_i |
|-----------------|--|---------|-------|---------------------|---------|
| $u(\Delta e)$ | 测量重复性、校准钢卷尺时人眼分辨率、标准钢卷尺示值误差、拉力误差、温度偏离标准温度、被校准钢卷尺和标准钢卷尺各自线膨胀系数存在不确定度以及被校准钢卷尺和标准钢卷尺两者温度差 | 0.091 | 1 | 0.091 | 25 |

4.3 合成不确定度的计算

合成标准不确定度可按下式得

$$u_c^2(\Delta L) = [cu(\Delta e)]^2$$

$$u_c(\Delta L) = 0.091 \text{ mm}$$

4.4 合成标准不确定度的有效自由度

$$\nu_{\text{eff}} = \nu(\Delta e) = 25$$

5 扩展不确定度的评定

取置信概率 $p=95\%$ ，按有效自由度 ν_{eff} ，查 t 分布表的 k_p 值，

$$L=5\text{m 时}, k_p = 2.06$$

扩展不确定度:

$$U_{95} = 2.06 \times 0.091 = 0.19 \text{ mm}$$