.

石油专用补偿中子刻度器校准结果测量不确定度评定报告

应用测量不确定度评定方法分析《石油专用补偿中子刻度器校准规范》所规定的技术要求、试验条件、试验方法的科学合理性。

1 测量方法

根据校准规范，刻度器采用间接测量法进行校准：用标准井校准的补偿中子量值传递仪器，对刻度器的测量点进行测量，得出刻度器各测量点的孔隙度标称值及不确定度。

2 计算方法

数学模型可用式（1）表示：

(1)

式中：

(为刻度器的测量点数)；

——补偿中子量值传递仪器在刻度器测量点测量的计数率比值；

——刻度器测量点的孔隙度标称值。

按照JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》的不确定度传播律，可算出刻度器测量点孔隙度的合成标准不确定度，计算式见式（2）

(2)

式中：

；

——补偿中子量值传递仪器响应关系系数的协方差矩阵；

——补偿中子量值传递仪器在刻度器测量点测量计数率比值的不确定度。

刻度器测量点孔隙度扩展不确定度,按式（3）计算：

(3)

式中：

——包含因子，取 =2；

——刻度器测量点的孔隙度标称值的扩展不确定度。

3 不确定度来源及分析

由数学模型可知，刻度器测量结果的不确定度由补偿中子量值传递仪器测量计数率比值的不确定度传播。此外，还包括：

由于地面采集系统测量的误差不大于±0.1%，由此引起的计数率比值误差不大于±0.14%，因此可以忽略不计。

由操作人员等引入的粗大误差在采集过程中按3原则予以剔除。

校准过程中，环境条件满足校准规范要求时，环境条件引入的不确定度可以忽略不计。

补偿中子刻度器测量结果不确定度的来源及分类见表1：

表1 补偿中子刻度器测量结果不确定度来源及分类

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 不确定度来源 | | 分类 | 备注 |
| 补偿中子刻度器校准中测量计数率引入的不确定度 | 长源距测量计数率标准  不确定度 | A | 用于刻度器计数率比值A类不确定度计算 |
| 短源距测量计数率标准  不确定度 | A |
| 补偿中子量值传递仪器引入的不确定度 | 仪器稳定性考核的  相对不确定度 | B | 用于刻度器计数率比值B类不确定度计算 |
| 仪器响应关系系数标准  不确定度 | B | 用于刻度器校准值标准不确定度计算 |

4 标准不确定度评定

4.1 A类标准不确定度评定

将重复条件下*n*次测量的计数率比值，按照贝塞尔方法计算出计数率的标准差，从而求得计数率比值的A类不确定度。

将补偿中子量值传递仪器放入中刻度器中，每个测量点测量*n*次，每次测量时间为30 s，按下式计算各测量点的长、短源距计数率平均值、的标准偏差、按式（4）、（5）计算：

 (4)

 (5)

A类标准不确定度按式（6）计算：

** (6)

4.2 B类标准不确定度评定

将补偿中子量值传递仪器放置在刻度器中进行稳定性测量，按照均匀分布换算为标准不确定度，作为计数率比值的B类标准不确定度，将补偿中子量值传递仪器放入中刻度器中，测量*m*组(≥4)长、短源距计数率、,每组测量*n*次，每次测量时间为30 s。记录格式见表C.1。按式（7）计算每组比值：

 (7)

按式（8）计算计数率比值的相对误差：

 (8)

式中：

；

**。

补偿中子量值传递仪器稳定性的B类相对标准不确定度按式（9）计算：

 (9)

刻度器各测量点计数率比值的B类标准不确定度按式（10）计算：

 (10)

4.3 合成标准不确定度

刻度器各测量点计数率比值的合成标准不确定度按式（11）计算：

 (11)

4.4 扩展不确定度

刻度器校准值扩展不确定度按式（12）计算：

 (12)

表2刻度器校准不确定度计算过程

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 补偿中子量值传递仪器在标准井中的稳定性 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 补偿中子量值传递仪器测量计数率比值的相对不确定度，p.u. | | | | | | | | 0.0028 | | | | | | | | |
| 注：补偿中子量值传递仪器测量计数率比值的相对误差应≤1%。 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 补偿中子量值传递仪器在标准井中测量的不确定度 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 井号 | | 1 | | 2 | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | 7 | | 8 | 9 |
| 标准井孔隙度标称值，p.u. | | 30.0 | | 5.0 | 52.9 | | 100.0 | | 23.5 | | 13.2 | | 0.1 | | 20.2 | 37.2 |
| 标准井孔隙度标称值不确定度，p.u. | | 0.4 | | 0.3 | 0.5 | | 0.5 | | 0.5 | | 0.3 | | 0.3 | | 0.3 | 0.5 |
| 补偿中子量值传递仪器响应关系系数 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | |  | | |  | | | |  | | | |  | | |
| 0.0553 | | | -2.8065 | | | 1.4104 | | | | -0.1216 | | | | 0.0047 | | |
| 补偿中子量值传递仪器响应关系系数协方差矩阵 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 行列序号 | 1 | | | | 2 | | | 3 | | | | 4 | | | 5 | |
| 1 | 8.3958 | | | | -5.6556 | | | 1.2388 | | | | -0.1084 | | | 0.0033 | |
| 2 | -5.6556 | | | | 3.9025 | | | -0.8701 | | | | 0.0772 | | | -0.0023 | |
| 3 | 1.2388 | | | | -0.8701 | | | 0.1973 | | | | -0.0178 | | | 0.0005 | |
| 4 | -0.1084 | | | | 0.0772 | | | -0.0178 | | | | 0.0016 | | | -0.0001 | |
| 5 | 0.0033 | | | | -0.0023 | | | 0.0005 | | | | -0.0001 | | | 0.0000 | |
| 拟合优度因子 | | | | | | | | 5.6070 | | | | | | | | |
| 注：拟合优度因子 <9.488，拟合成功，所确定的补偿中子量值传递仪器响应关系正确，响应关系系数可信。 | | | | | | | | | | | | | | | | |

5补偿中子刻度器校准不确定度评定结果

补偿中子刻度器校准及不确定度评定结果如表3所示：

表3 补偿中子刻度器校准结果

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 刻度器校准结果及不确定度 | | | |
| 测量点 | 计数率比值 | 孔隙度校准值，p.u. | 扩展不确定度(*k*=2)，p.u. |
| 刻度点 | 8.330 | 25.860 | 0.618 |
| 校验点1 | 13.697 | 73.579 | 3.249 |
| 校验点2 | 10.748 | 42.521 | 1.301 |
| 校验点3 | 6.689 | 17.493 | 0.535 |
| 校验点4 | 4.472 | 7.614 | 0.531 |
| 校验点5 | 3.444 | 3.656 | 0.508 |