石油专用自然伽马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《石油专用自然伽马刻度器校准规范》所规定的技术要求、试验条件、试验方法的科学合理性。

一、测量方法

根据校准规范，刻度器采用间接测量法进行校准：用标准井校准的自然伽马量值传递仪器，对刻度器进行测量，得出刻度器API校准值及不确定度。

1.数学模型

测量模型按式（1）计算：

 （1）

式中:

——刻度器API校准值；

——量值传递仪器刻度系数；

——刻度器的净计数率。

2.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自然伽马量值传递仪器测量计数率的不确定度传播。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。

自然伽马刻度器测量结果不确定度的来源及分类见表1：

表1 自然伽马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 |
| 自然伽马刻度器校准中测量计数率引入的不确定度 | 本底测量计数率标准  不确定度 | A | 用于刻度器净计数率A类不确定度计算 |
| 刻度器测量计数率标准  不确定度 | A |
| 自然伽马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 | 用于刻度器净计数率B类不确定度计算 |
| 仪器刻度系数标准  不确定度 | B | 用于刻度器校准值标准不确定度计算 |

3.标准不确定度分量评定

3.1 A类标准不确定度评定

本底计数率A类标准不确定度，按式(2)计算：

 (2)

式中：

——本底平均计数率；

——单次测量的本底计数率。

加刻度器测量计数率A类标准不确定度，按式(3)计算：

 (3)

式中：

——加刻度器测量计数率平均值的标准不确定度。

——刻度器平均计数率；

——单次测量的刻度器计数率；

量值传递仪器测量刻度器净计数率A类标准不确定度，按式(4)计算：

 (4)

3.2 B类标准不确定度评定

刻度器净计数率B类标准不确定度，按式(5)计算：

 (5)

式中：

——量值传递仪器稳定性核查的相对不确定度。

——刻度器的净计数率。

3.3 合成标准不确定度

刻度器净计数率合成标准不确定度，按式(6)计算：

 (6)

3.4 刻度器校准值标准不确定度

刻度器标准不确定度，按式(7)计算：

 (7)

式中：

——量值传递仪器刻度系数的标准不确定度；

3.5 刻度器校准值扩展不确定度

刻度器API校准值扩展不确定度，按式（8）计算：

 （8）

式中：

——包含因子，取=2；

——刻度器校准值标准不确定度。

3.6 刻度器校准值相对扩展不确定度

刻度器校准值相对扩展不确定度，按式（9）计算：

 （9）

二、自然伽马刻度器校准不确定度评定

1.自然伽马量值传递仪器稳定性核查引起的不确定评定

自然伽马量值传递仪器稳定性核查数据见表2：

表2 自然伽马测井仪稳定性试验数据

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 组号 | | | | | | |
| 1 | 2 | | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | 287.0600 | 286.7933 | | 286.8033 | 287.3367 | 288.9533 | 288.0267 |
| 2 | 286.6967 | 287.9567 | | 286.9867 | 287.2567 | 288.9400 | 288.5400 |
| 3 | 286.6500 | 287.5933 | | 286.7300 | 288.6467 | 288.3767 | 288.5867 |
| 4 | 287.5233 | 287.5000 | | 288.7033 | 288.4100 | 288.1933 | 289.6833 |
| 5 | 287.1067 | 286.9433 | | 287.1667 | 288.6067 | 287.7400 | 289.1433 |
| 6 | 286.9200 | 287.1700 | | 287.4033 | 287.5933 | 288.3733 | 289.0767 |
| 7 | 286.6679 | 286.9367 | | 286.7567 | 288.1900 | 288.4033 | 288.8800 |
| 8 | 286.8924 | 286.9211 | | 287.1154 | 287.8651 | 288.7281 | 289.4572 |
| 9 | 287.1781 | 287.3254 | | 287.2264 | 288.6423 | 287.9256 | 288.5164 |
| 10 | 286.8123 | 287.6487 | | 287.4612 | 287.8719 | 289.0154 | 289.2027 |
| 11 | 286.9933 | 287.4933 | | 287.5400 | 288.7300 | 289.2967 | 290.5333 |
| 平均值 | 286.9546 | 287.2983 | | 287.2630 | 288.1045 | 288.5405 | 289.0588 |
| 单组偏差 | 0.0919 | 0.1320 | | 0.1959 | 0.1939 | 0.1723 | 0.2407 |
| 组最大值 | | | 289.0588 | | | | |
| 组最小值 | | | 286.9546 | | | | |

根据校准规范附录A中内容求得稳定性考核确定的B类相对不确定度为0.0021。

2.自然伽马量值传递仪器刻度系数校准引起的不确定评定

自然伽马量值传递仪器在标准井中的校准数据见表3：

表3 自然伽马量值传递仪器校准数据

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 低放层 | | 高放层 | |
| 1 | 3.6333 | | 288.1000 | |
| 2 | 4.1333 | | 288.5333 | |
| 3 | 4.0000 | | 287.0333 | |
| 4 | 3.9667 | | 288.6667 | |
| 5 | 3.9000 | | 286.9667 | |
| 6 | 4.1000 | | 284.7000 | |
| 7 | 3.6667 | | 288.3667 | |
| 8 | 4.2333 | | 288.2000 | |
| 9 | 3.9333 | | 286.4000 | |
| 10 | 4.2667 | | 288.7333 | |
| 11 | 4.1333 | | 286.0000 | |
| 低放层计数率平均值 | | 3.9970 | 高放层计数率平均值 | 287.4273 |

根据校准规范附录B中的内容求得表4以下结果：

表4 自然伽马量值传递仪器不确定度分量计算结果

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 低放层A类不确定度 | 0.0627 | 低放层A类不确定度 | 0.3965 |
| 高放层重复性标准偏差 | 1.3151 | 重复性相对标准偏差 | 0.46% |
| 高、低放层净计数率 | 283.4303 | 净计数率A类不确定度 | 0.4014 |
| 净计数率B类不确定度 | 0.5952 | 净计数率合成不确定度 | 0.7179 |
| 刻度系数 | 0.7319 | 刻度系数标准不确定度 | 0.0072 |

3.自然伽马刻度器校准引起的不确定评定

自然刻度器校准数据见表5：

表5 自然伽马刻度器校准数据

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 本底cps | | 刻度器cps | |
| 1 | 79.9600 | | 281.3200 | |
| 2 | 79.6400 | | 281.8600 | |
| 3 | 78.9600 | | 279.8400 | |
| 4 | 79.4600 | | 280.3400 | |
| 5 | 79.8200 | | 280.3800 | |
| 6 | 79.0400 | | 280.6600 | |
| 7 | 79.7600 | | 281.8500 | |
| 8 | 79.7500 | | 280.2700 | |
| 9 | 79.5800 | | 281.6400 | |
| 10 | 80.1100 | | 280.6800 | |
| 11 | 79.5700 | | 281.2400 | |
| 本底计数率平均值 | | 79.6045 | 刻度器计数率平均值 | 280.9164 |

3.1自然伽马刻度器测量计数率A类不确定度分量计算如下：

由式（2）计算本底计数率A类标准不确定度为0.1058；

由式（3）计算加刻度器测量计数率A类标准不确定度为0.2104；

由式（4）计算量值传递仪器测量刻度器净计数率A类标准不确定度为0.2355；

3.2自然伽马刻度器测量计数率B类不确定度分量计算如下：

由式（5）计算刻度器净计数率B类标准不确定度为0.4261；

3.3自然伽马刻度器净计数率合成标准不确定度计算如下：

由式（6）计算刻度器净计数率合成标准不确定度为0.4869；

3.4自然伽马刻度器标准不确定度计算如下：

由式（7）计算自然伽马刻度器标准不确定度为1.47；

3.5自然伽马刻度器校准值扩展不确定度计算如下：

由式（8）计算自然伽马刻度器校准值扩展不确定度为2.94，包含因子为=2，置信区间为95%；

3.6自然伽马刻度器校准值计算如下：

由式（1）计算自然伽马刻度器校准值为147.34。

3.7自然伽马刻度器校准值相对扩展不确定度计算如下：

由式（9）计算自然伽马刻度器校准值相对扩展不确定度为2.0%。

3.8自然伽马刻度器校准值测量计数率不确定度分量计算结果统计如表6所示：

表6 刻度器校准值不确定度分量结果统计表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 本底A类不确定度 | 0.1058 | 刻度器A类不确定度 | 0.2104 |
| 净计数率A类不确定度 | 0.2355 | 净计数率B类不确定度 | 0.4261 |
| 净计数率合成不确定度 | 0.4869 | 刻度器API校准值 | 147.34 |
| 刻度器API标准不确定度 | 1.47 | 校准值相对扩展不确定度 | 2.0% |

4.自然伽马刻度器校准不确定度分量结论如表7所示：

表7 自然刻度器校准不确定分量统计表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 自然伽马量值传递仪器在标准井中的稳定性 | | | | | | | | |
| 稳定性测试B类相对不确定度 | | | | 0.0021 | | | | |
| 注：自然伽马量值传递仪器测量计数率的相对误差≤1%。 | | | | | | | | |
| 自然伽马量值传递仪器在标准井中测量的结果 | | | | | | | | |
| 自然伽马  标准井 | 标准井井号 | | 标称值，API | | | | 标准不确定度，API | |
| 30 | | 207.45 | | | | 1.98 | |
| 自然伽马量值  传递仪器 | 高放层计数率  ,cps | 高放层A类标准  不确定度，cps | | | 低放层计数率,cps | | | 低放层A类标准  不确定度  ，cps |
| 287.4273 | 0.3965 | | | 3.9970 | | | 0.0627 |
| 净计数率A类标准不确定度,cps | 净计数率B类标准不确定度,cps | | | 标准井净计数率，cps | | | 标准井净计数率合成标准不确定度，cps |
| 0.4014 | 0.5952 | | | 283.4303 | | | 0.7179 |
| 刻度系数*F，*cps/API | | | | 0.7319 | | | |
| 刻度系数标准不确定度,cps/API | | | | 0.0071 | | | |
| 刻度器校准结果及不确定度 | | | | | | | | |
| 自然伽马  刻度器 | 本底计数率  ，cps | 本底计数率A类标准不确定度,  ，cps | | | 刻度器计数率，cps | | | 刻度器计数率A类标准不确定度  ，cps |
| 79.6045 | 0.1058 | | | 280.9164 | | | 0.2104 |
| 刻度器净计数率A类标准不确定度,cps | 刻度器净计数率B类标准不确定度,cps | | | 刻度器净计数率，cps | | | 刻度器净计数率合成标准不确定度,cps |
| 0.2355 | 0.4261 | | | 201.3118 | | | 0.4869 |
| 刻度器校准值,API | | | | | 147.34 | | |
| 刻度器校准值标准不确定度,API | | | | | 1.47 | | |
| 刻度器校准值扩展不确定度 | | | | | 2.94 | | |
| 刻度器校准值相对扩展不确定度 | | | | | 2.0% | | |
| 注：扩展因子*k=2*,自然伽马刻度器标称值相对扩展不确定度3%。 | | | | | | | | |

1. 自然伽马刻度器校准不确定度评定结果

自然伽马刻度器校准及不确定度评定结果如表8所示：

表8 自然伽马刻度器校准结果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 刻度器型号  及编号 | 校准值  （API） | 标准不确定  （API） | 扩展不确定度  （=2） |
| 1 | 37-103 | 147.34 | 1.47 | 2.94 |