JJF XXXX—XXXX



石油专用补偿中子刻度器校准规范

The calibration specification of petroleum special compensated neutron calibrator

（征求意见稿）

XXXX - XX - XX发布

XXXX - XX - XX实施

国家市场监督管理总局 发 布

中华人民共和国国家计量技术规范

石油专用补偿中子刻度器校准规范

**The calibration specification of petroleum special compensated neutron calibrator**

**JJF ××××—××××**

1. 归口单位： 全国石油专用计量测试技术委员会
2. 主要起草单位： 中国石油集团测井有限公司
3. 中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司
4. 中石化经纬有限公司
5. 中海油田服务股份有限公司油田技术事业部
6. 大庆油田技术监督中心
7. 本规范委托全国石油专用计量测试技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

王江波（中国石油集团测井有限公司）

郭广鎏（中国石油集团测井有限公司）

李增强（中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司）

刘海涛（中国石油集团测井有限公司）

袁海滨（大庆油田技术监督中心）

曹守敏（中石化经纬有限公司）

吴兴方（中海油田服务股份有限公司油田技术事业部）

1. 目录

引言 II

1 范围 2

2 引用文件 2

3 术语和计量单位 2

4 概述 2

5 计量特性 2

6 校准条件 2

6.1 人员 2

6.2 环境 2

6.3 辐射防护 2

6.4 校准用主要设备 2

7 校准项目和校准方法 3

7.1校准项目... .... .... .... .... .... .... .... .... .... .... .... .... .... ....3

7.2校准方法... .... .... .... .... .... .... .... .... .... .... .... .... .... ....3

8 校准结果表达 2

9 复校时间间隔 2

附录A 补偿中子量值传递仪器核查 2

附录B 补偿中子量值传递仪器响应关系系数的确定 2

附录C 刻度器校准结果测量不确定度评定示例 2

附录D 校准证书格式 2

1. 引言

JJF 1071《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001《通用计量术语及定义》、 JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》共同构成本规范制定的基础性系列文件。

本规范为首次发布。

石油专用补偿中子刻度器校准规范

* 1. 范围

本规范适用于石油专用补偿中子测井仪刻度器的校准。

* 1. 引用文件

本规范引用了以下文件：

JJF 1033 计量标准考核规范

GBZ 142 油（气）田测井用密封型放射源卫生防护标准

SY/T 6139-2005 石油测井专业术语

SY/T 7079-2016《补偿中子刻度器校准方法》

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。

* 1. 术语和计量单位

下列术语和定义适用于本规范。

* + 1. 计数率 counting rate

每秒的脉冲个数，用符号cps表示。

* + 1. 计数率比值 counting rate ratio

补偿中子测井仪所记录的短源距与长源距计数率之比。

* + 1. 中子孔隙度 neutron porosity

补偿中子测井仪测出的地层孔隙度即为中子孔隙度。

* + 1. 补偿中子孔隙度量值传递仪器 value transfer instruments for compensated neutron porosity logging

用于将中子孔隙度标准井的孔隙度量值传递到刻度器的专用补偿中子测井仪，并通过计量校准，稳定性符合要求的专用测井仪器。

* + 1. 中子孔隙度标准井 standard well for neutron porosity logging

复现和保存中子孔隙度标准量值，并通过计量校准的中子孔隙度专用标准计量器具。一般为一组实体模型井，量值不因测量方法或测量仪器的不同而改变。

* + 1. 补偿中子测井仪刻度器 calibrator for compensated neutron logging tool

补偿中子刻度器是中子孔隙度的模拟器，用于仪器刻度。

* 1. 概述

补偿中子测井仪刻度器（以下简称刻度器）是模拟地层的多个孔隙度的等效装置。它是一个密闭容器，容器内充满清水和中子减速材料，可将补偿中子测井仪（以下简称测井仪）包围起来。刻度时，将测井仪包入刻度器中，通过在刻度器与仪器之间插入不同外径及不同组合的中子减速棒，以改变模拟的孔隙度等效值。刻度器有一个孔隙度值作为刻度点，其它孔隙度值作为校验点。

刻度器是用中子孔隙度标准井（以下简称标准井）的孔隙度量值来校准测井仪的专用计量标准器具。

* 1. 计量特性

补偿中子刻度器的孔隙度标称值不确定度要求见表1。

1. 刻度器孔隙度标称值不确定度要求

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 孔隙度标称值范围  p.u. | 不确定度（*k=*2）  p.u. |
| 1 | 1.0～<14.0 | 0.6 |
| 2 | 14.0～<30.0 | 1.2 |
| 3 | 30.0～<50.0 | 2.5 |
| 4 | 50.0～<74.0 | 4.2 |
| 5 | 74.0～100.0 | 6.5 |

* 1. 校准条件
     1. 人员
        1. 经过测井专业技术培训合格。
        2. 核测井仪器刻度作业人员应取得放射性工作人员培训合格证。
        3. 工作期间应正确穿戴劳动防护用品，正确使用职业健康、安全和环保防护设施。
     2. 环境

地面环境条件应符合如下要求：

a) 无其他放射性干扰；

b) 无强震动、无强电磁干扰；

c) 环境温度：5 ℃～35 ℃；

d) 环境湿度：RH<80%。

* + 1. 防护

刻度场所及人员的防护应符合GBZ 142的规定。

* + 1. 校准用主要设备
       1. 标准井
          1. 标准井技术指标应满足表2要求。

1. 标准井技术指标

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 主要指标 | |
| 标称值  p.u. | 不确定度  p.u. |
| 1 | 0.1～<14.0 | 0.4 |
| 2 | 14～<30.0 | 0.6 |
| 3 | 30.0～100.0 | 1.2 |

* + - * 1. 标准井应定期校准。
      1. 配套设备

配套设备主要技术指标见表3。

1. 配套设备主要技术指标

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 设备名称 | 主要技术指标 | | 数量 |
| 地面采集系统 | 计数率测量相对误差 | ±0.1% | 1套 |
| 补偿中子孔隙度量值传递仪器 | 孔隙度测量范围 | 0 p.u. ~100 p.u. | 1支 |
| 计数率比值稳定性相对误差 | ≤1% |
| 计数率比值重复性误差 | ＜2% |

* 1. 校准项目和校准方法
     1. 校准项目

刻度器孔隙度标称值。

* + 1. 校准方法

7.2.1补偿中子量值传递仪器核查

补偿中子量值传递仪器核查方法见附录A。

补偿中子量值传递仪器计数率比值的相对误差应满足6.4.2的要求。

补偿中子量值传递仪器在标准井中响应关系的确定

连接系统，检查正常后，通电预热不少于1800 ｓ。

按要求安装放射源。

将仪器放入第一口标准井中，仪器记录点对准测量点测量，每个记录点测量*n*次（*n*为重复测量次数，*n*应尽可能大，一般应不少于10次），每次测量时间不少于30 s。记录仪器在标准井中测量的长源距计数率、短源距计数率。将仪器依次放置到其它标准井中进行如上同样操作。

建立补偿中子量值传递仪器长、短源距计数率与孔隙度值的响应关系，方法见附录B。

按要求拆卸放射源。

刻度器孔隙度值校准

系统检查正常后，通电预热不少于1800 s。

按要求安装放射源。

将补偿中子量值传递仪器放置于刻度器的各测量点进行测量，每个测量点测量*n*次，每次测量时间不少于30 s，记录各测量点测量的长源距计数率、短源距计数率。计算测量的长源距计数率平均值、短源距计数率平均值。

测量完成后按要求拆卸放射源。

按式（1）计算测量点的比值：

 (1)

式中：

——刻度器第测量点的短、长源距计数率比值；

——刻度器第测量点短源距计数率平均值，单位为脉冲数每秒（cps）；

——刻度器第测量点长源距计数率平均值，单位为脉冲数每秒（cps）。

按式（2）计算测量点的孔隙度值：

(2)

式中：

(为刻度器的测量点数)；

*t ——*拟合公式的多项式的次数*，t*≥1；

——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，单位为孔隙度单位（p.u）。

按式（3）计算测量点*i*的合成标准不确定度：

(3)

式中：

——测量点*i*的合成标准不确定度；

；

——补偿中子量值传递仪器响应关系系数的协方差矩阵，确定方法见附录B；

——补偿中子量值传递仪器在刻度器测量点*i*计数率比值的合成标准不确定度，单位为孔隙度单位（p.u），确定方法见附录C。

按式（4）计算测量点的扩展不确定度：

(4)

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。

刻度器标称值校准结果的不确定度评定示例见附录C 。

* 1. 校准结果表达
     1. 校准结果应记入校准记录（格式参见附表C.1）。
     2. 按本规范校准的刻度器，签发校准证书（格式参见附录D）。
  2. 复校时间间隔
     1. 建议复校时间间隔不大于48个月。
     2. 若刻度器进行过维修，应重新校准。



附录A

补偿中子量值传递仪器核查

* 1. 补偿中子量值传递仪器测试

补偿中子量值传递仪器测试可在以下两种方式中选择一种进行：

1. 标准井中测量

连接系统，检查正常后，通电预热不少于1800ｓ，按要求安装放射源，将补偿中子量值传递仪器放入中孔隙度标准井（标称值为30 p.u～50 p.u）的地层中，测量*m*组长、短源距计数率、，每组测量*n*次，每次测量时间不少于30 s，测量完成后按要求拆卸放射源。

2） 中子校验源测量

连接系统，检查正常后，将量值传递仪器水平放置于高1m的仪器架上并供电预热不少于1800ｓ。按要求放置中子校验源，测量*m*组长、短源距计数率、，每组测量*n*次，每次测量时间不少于30 s，测量完成后按要求移走中子校验源。

* 1. 补偿中子量值传递仪器的稳定性考核

按式（A.1）计算每组比值：

 (A.1)

式中：

=1，2，…，*n*。*n*为重复测量次数，*n*应尽可能大，一般应不少于10次；

=1，2，…，。为测量组数(≥4)；

──补偿中子量值传递仪器第组、第次测量的短源距计数率，单位为脉冲数每秒（cps）；

──补偿中子量值传递仪器第组、第次测量的长源距计数率，单位为脉冲数每秒（cps）；

──补偿中子量值传递仪器第组测量的计数率比值。

按式（A.2）计算补偿中子量值传递仪器计数率比值的平均值：

 (A.2)

按式（A.3）计算计数率比值的相对误差：

(A.3)

式中：

；

；

──补偿中子量值传递仪器计数率比值的相对误差。

按式（A.4）计算补偿中子量值传递仪器稳定性核查的相对标准不确定度：

 (A.4)

式中：

──补偿中子量值传递仪器稳定性核查的相对标准不确定度。

* 1. 补偿中子量值传递仪器的重复性试验

按式（A.5）计算补偿中子量值传递仪器计数率比值重复性误差，用表征：

 (A.5)

附录B

补偿中子量值传递仪器响应关系系数的确定

B.1 补偿中子量值传递仪器响应参数测量

仪器依次放入标准井中，仪器记录点对准测量点测量，每个记录点测量*n*次，每次测量时间不少于30 s，每次测量的测量记录的长、短源距计数率为、，按式（B.1）和式（B.2）计算各标准井的长、短源距计数率的平均值、：

(B.1)

(B.2)

式中：

=1，2，…，*n*。*n*为重复测量次数，*n*应尽可能大，一般应不少于10次；

=1，2，…，*p*。*p*为测量的标准井数，*p*不小于5；

──补偿中子量值传递仪器在第口标准井中第次测量的长源距计数率；

──补偿中子量值传递仪器在第口标准井中第次测量的短源距计数率。

B.2 补偿中子量值传递仪器响应参数计数率比值计算

按式（B.3）计算补偿中子量值传递仪器在标准井中测量的计数率比值：

 (B.3)

式中：

──补偿中子量值传递仪器在第口标准井测量的短、长源距计数率比值；

──第*i*口标准井的长源距计数率的平均值；

──第*i*口标准井的短源距计数率的平均值。

B.3 标准井计数率比值的不确定度评定

B.3.1 A类标准不确定度评定

按式（B.4）、（B.5）计算第*i*口标准井测量的长、短源距计数率平均值的A类标准不确定度：

(B.4)

(B.5)

按式（B.6）计算计数率比值的A类标准不确定度：

(B.6)

B.3.2 B类标准不确定度评定

按式（B.7）计算补偿中子量值传递仪器在第*i*口标准井测量的B类标准不确定度:

(B.7)

B.3.3 合成标准不确定度评定

按式（B.8）计算合成标准不确定度：

(B.8)

B.4 补偿中子测井仪响应关系系数及其协方差矩阵

孔隙度与计数率比值关系模型见式（B.9）：

(B.9)

孔隙度与比值关系模型可在测量范围内使用同一公式，也可分段进行拟合，没一个测量段使用不同的多项式。

因而，各标准井孔隙度标称值与计数率比值的关系见式（B.10）：

(B.10)

式中：

—第口标准井的孔隙度标称值；

=1，2，…，*p*。*p*为测量的标准井数，*p*不小于*t*+1。

将方程组式（B.10）用矩阵表示为式（B.11）：

(B.11)

式中：

；

；

。

根据最小二乘拟合原理，为使残差的加权平方和*E*为最小，即：

(B.12)

因而由得正规方程式见式（B.13）

(B.13)

式中：

──权重矩阵。

解矩阵方程式（B.13）求得响应关系系数,,,,组成的向量*A*见式（B.14）：

(B.14)

*A*的协方差矩阵为（B.15）：

(B.15)

其中，权矩阵*W*为：

(B.16)

式中：

──标准井测量的合成标准不确定度。

第*i*口标准井孔隙度测量值的不确定度由标准井孔隙度标称值的不确定度和该标准井测量计数率比值的不确定度合成，该两项不确定度分量不相关，则：

(B.17)

式中：

；是在忽略计数率比值不确定度的情况下，采用最小二乘法原理确定的一组响应关系系数的其中*t*个系数。

B.5 判定补偿中子量值传递仪器响应关系

上述方法所确定的补偿中子量值传递仪器响应关系系数是否正确，可用表征最小二乘拟合质量的拟合优度因子 *C*（加权的残差平方和）来检验。*C*按式（B.18）计算：

(B.18)

这里*C*服从分布，自由度为*t*，取显著水平*α*=0.05进行单边检验，查表得：

若*C* ≥T，则拟合质量不好，分析原因找出有问题的数据，按B.3.1步骤重新测量。

若*C* ＜T，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。

附录C

刻度器校准结果测量不确定度评定示例

C.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。

C.2 计算方法

数学模型可用式（C.1）表示：

(C.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（C.2）

(C.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（C.3）计算：

(C.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。

C.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。

C.4 标准不确定度评定

C.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（C.4）、（C.5）计算：

 (C.4)

 (C.5)

A类标准不确定度按式（C.6）计算：

** (C.6)

C.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（C.7）计算每组比值：

 (C.7)

按式（C.8）计算计数率比值的相对误差：

 (C.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（C.9）计算：

 (C.9)

刻度器各测量点计数率比值的B类标准不确定度按式（C.10）计算：

 (C.10)

C.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（C.11）计算：

 (C.11)

C.4.4 扩展不确定度

刻度器校准值扩展不确定度按式（C.12）计算：

 (C.12)

* 1. 刻度器校准记录

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 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. | | | | | | | | | | | 0.01 | | | | | | | | | | | |
| 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 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | |  | | |  | | | | | |  | | | | | |  | | |
| 1.988405 | | | | | -0.990095 | | | 0.985670 | | | | | | -0.080797 | | | | | | 0.003084 | | |
| 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 | | | 8.405000 | | | | -5.849000 | | | | 1.294000 | | | | | | -0.011280 | | | | 0.003336 | |
| 2 | | | -5.849000 | | | | 4.183000 | | | | -0.947100 | | | | | | 0.084090 | | | | -0.002521 | |
| 3 | | | 1.294000 | | | | -0.947100 | | | | 0.219800 | | | | | | -0.019940 | | | | 0.000609 | |
| 4 | | | -0.011280 | | | | 0.084090 | | | | -0.019940 | | | | | | 0.001845 | | | | -0.000057 | |
| 5 | | | 0.003336 | | | | -0.002521 | | | | 0.000609 | | | | | | -0.000057 | | | | 0.000002 | |
| 拟合优度因子 | | | | | | | | | | | 1.104381 | | | | | | | | | | | |
| 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。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 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. | | | | | | | | | 不确定度(*k*=2)，p.u. | | | | |
| 刻度点 | | 8.330 | | | | | | | 26.305 | | | | | | | | | 0.643 | | | | |
| 校验点1 | | 13.697 | | | | | | | 70.293 | | | | | | | | | 2.324 | | | | |
| 校验点2 | | 10.748 | | | | | | | 42.070 | | | | | | | | | 1.159 | | | | |
| 校验点3 | | 6.689 | | | | | | | 17.680 | | | | | | | | | 0.522 | | | | |
| 校验点4 | | 4.472 | | | | | | | 7.300 | | | | | | | | | 0.395 | | | | |
| 校验点5 | | 3.444 | | | | | | | 3.426 | | | | | | | | | 0.322 | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 校准员 |  | | | | | | | | | | | 复核员 | | |  | | | | | | | |

附录D

校准证书格式

补偿中子刻度器校准证书应包括以下信息：

——标题：校准证书；

——承担校准单位名称、报告签发人签名和日期；

——送校单位的名称和地址；

——进行校准的日期、地点；

——校准所依据的技术规范的描述，包括名称和代号；

——标准所用测量标准的溯源性及有效性说明；

——校准环境的描述；

——校准结果，包括其测量不确定度的说明。

补偿中子刻度器校准证书校准结果格式参见表D.1。

* 1. 校准结果

| 补偿中子刻度器校准结果 | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 被校单位： | | | 校准日期： | |
| 刻度器型号： | | | 刻度器编号： | |
| 补偿中子量值传递仪器型号： | | | 补偿中子量值传递仪器编号： | |
| 补偿中子量值传递仪器稳定性： | | |  | |
| 序号 | 测量点 | 校准值，p.u. | | 扩展不确定度(*k*=2)，p.u. |
| 1 | 刻度点 |  | |  |
| 2 | 校验点1 |  | |  |
| 3 | 校验点2 |  | |  |
| 4 | 校验点3 |  | |  |
| 5 | 校验点4 |  | |  |
| 6 | 校验点5 |  | |  |
| 注：下次送校须带此证书。 | | | | |

