**JJF**

中华人民共和国国家计量技术规范

**JJF 1709—202X**

标准玻璃浮子校准规范

**Calibration Specification for Standard Glass Floats**

202×-xx-xx 发布 xxxx-xx-xx 实施

国 家 市 场 监 督 管 理 总 局 发 布

|  |  |
| --- | --- |
| 标准玻璃浮子校准规范  Calibration Specification for  Standard Glass Floats | **JJF 1709-20××**  代替**JJF 1709-2018** |

**——————————————————————————**

**归 口 单 位：** 全国质量密度计量技术委员会

**主要起草单位：**

**参加起草单位：**

本规范由全国质量密度计量技术委员会负责解释

**本规范主要起草人：**

**参加起草人：周裕 江西计量院**

**陈嘉 内蒙计量院**

目 录

[引言 （Ⅱ）](#_Toc5507)

[1 范围 （1）](#_Toc5507)

[2 引用文献 （1）](#_Toc5507)

[3 术语和计量单位 （1）](#_Toc5507)

[3.1 术语 （1）](#_Toc5507)

[3.2 计量单位 （1）](#_Toc5507)

[4 概述 （1）](#_Toc5507)

[5 计量特性 （2）](#_Toc5507)

[5.1 外观 （2）](#_Toc5507)

[5.2 标准温度 （2）](#_Toc5507)

[5.3 密度值 （2）](#_Toc5507)

[6 校准条件 （2）](#_Toc5507)

[6.1 环境条件 （2）](#_Toc5507)

[6.2 标准及其他设备 （2）](#_Toc5507)

[7 校准项目和校准方法 （4）](#_Toc5507)

[7.1 校准项目 （4）](#_Toc5507)

[7.2 外观检查 （4）](#_Toc5507)

[7.3 校准方法 （4）](#_Toc5507)

[7.4 数据处理 （6）](#_Toc5507)

[8 校准结果的表达 （8）](#_Toc5507)

[9 复校时间间隔 （9）](#_Toc5507)

[附录A 静力称量法标准玻璃浮子校准不确定度评定示例 （10）](#_Toc5507)

[附录B 静力称量法标准浮子校准记录参考格式 （19）](#_Toc5507)

[附录C 直接比较法标准玻璃浮子校准不确定度评定示例 （20）](#_Toc5507)

[附录D 直接比较法校准记录参考格式 （23）](#_Toc5507)

[附录E 空气密度计算公式 （24）](#_Toc5507)

[附录F 湿空气密度表 （26）](#_Toc5507)

[附录G 标准玻璃浮子校准证书内页参考格式 （27）](#_Toc5507)

引 言

JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》，JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》，JJF 1059.1—2011《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规程制订工作的基础性系列规范。

本规范作为JJF 1709-2018《标准玻璃浮子校准规范》的替代。

本规程结合我国标准玻璃浮子计量的行业状况和实际需求，对JJF 1709-2018《标准玻璃浮子校准规范》进行了修订。本规范与JJF 1709-2018相比，除了编辑性修改外，本规程主要技术变化如下：

——删除了采用密度副基准—密度计组作为标准器的表述；

——增加液体密度标准物质结合实验室振动式液体密度仪作为计量标准器；

——在主要配套设备及仪器部分详细列出了直接比较法和液体静力称量法所用到的测量仪器；

——校准方法和数据处理部分增加了液体静力称量法的操作步骤及计算公式；

——增加了附录A，即静力称量法标准玻璃浮子校准不确定度评定示例；

——增加了附录B，即静力称量法标准浮子校准记录参考格式；

——增加了附录E，即空气密度计算公式；

——增加了附录F，即湿空气密度表；

本规程历次版本发布情况为：JJF 1709-2018。

标准玻璃浮子校准规范

1 范围

本规范适用于密度范围（0.8~2.2）g/cm3标准玻璃浮子（以下简称浮子）的校准。

2 引用文献

本规范引用下列文献：

JJG86　标准玻璃浮计

JJF 1229—2021　质量密度计量名词术语及定义

ISO 1183-1：2025　塑料　非泡沫塑料的密度测定方法　第1部分：浸渍法、液体相对密度瓶法和滴定法（Plastics—Methods for determining the density of non-cellular plastics—Part 1: Immersion method, liquid pyknometer method and titration method）

　　ISO 1183-2：2019　塑料　非泡沫塑料的密度测定方法　第2部分：密度梯度管法（Plastics — Methods for determining the density of non-cellular plastics—Part 2:Density gradient column method）

ASTMD1505-10　用密度梯度法测定塑料密度的试验方法（Standard Test Method for Density of Plastics by the Density-Gradient Technique）

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 标准玻璃浮子standard glass floats

使用于密度梯度管中，标定管中液体密度大小的特制玻璃小球。

3.1.2 密度梯度管density gradient tube

是基于液体密度梯度变化来进行密度测量的仪器。在密度梯度管中形成液体柱，液体柱中液体的密度自上而下连续变化，用浮子标定管中的液体密度。

3.2 计量单位

密度单位为kg/m3或g/cm3。

4 概述

密度梯度管法广泛应用于石油化工制药等行业中的密度测量。其测量原理为，将两种或多种不同密度的液体混合，在密度梯度管中形成液体柱，该液体柱的密度随高度位置线性变化。标准玻璃浮子与被测样品悬浮在密度梯度管中的不同高度。由浮子已知的密度值，对密度梯度管中的液体柱的密度变化进行标定，从而完成被测样品的密度测量。

5 计量特性

5.1 外观

5.1.1 浮子是直径为(2～8) mm，经过充分退火的玻璃空心小球。

5.1.2 浮子为彩色或无色透明玻璃制成，表面无裂纹。

5.2 标准温度

标准温度为23℃。

5.3 密度值

浮子所对应的密度值。通常修约到0.0001g/cm3。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 校准实验室环境温度应为(23±3) ℃。

6.1.2 校准实验室内应装有通风设备，水源和防火设施。

6.2 标准及其他设备

6.2.1 标准器

静力称量法校准采用液体密度标准物质与实验室振动式液体密度仪作为标准器。使用实验室振动式液体密度仪之前用液体密度标准物质对特定密度范围进行校准，作为校准介质的十三烷密度由实验室振动式液体密度仪测量得到。

直接比较法校准可采用一等标准玻璃浮计作为标准器，也可采用液体密度标准物质与实验室振动式液体密度仪作为标准器。

表1 校准用标准器

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 校准方法 | 标准器 | 技术要求 |
| 静力称量法 | 液体密度标准物质与实验室振动式液体密度仪 | 液体密度标准物质  扩展不确定度应优于*U*=3.3×10-2 kg/m³(*k*=2) |
|
| 实验室振动式液体密度仪  测量范围为(650～2000)kg/m³  扩展不确定度应优于*U*=6×10-2 kg/m³(*k*=2) |
|
| 直接比较法 | 一等标准玻璃浮计组 | 测量范围(650 ~2000) kg/m3 |
| 液体密度标准物质与实验室振动式液体密度仪 | 液体密度标准物质  扩展不确定度应优于*U*=3.3×10⁻² kg/m³(*k*=2) |
| 实验室振动式液体密度仪  测量范围为(650～2000)kg/m³  扩展不确定度应优于*U*=6×10-2 kg/m³(*k*=2) |
| 注 ：  1密度标准液体可从下列密度标准液体中选择：   1. (650～700) kg/m³：异辛烷； 2. (700～800) kg/m³：十三烷； 3. (800～900) kg/m³：基础油； 4. (950～1050) kg/m³：超纯水； 5. (1800～2000) kg/m³：氟油。 | | |

6.2.2 校准介质

校准介质应清澈、透明无可见颗粒和纤维等物质。根据被校密度仪的测量范围选用合适的校准介质。静力称量法采用十三烷作为校准用液体。直接比较法校准用液体可从表2中选择。

表2 直接比较法校准用液体

|  |  |
| --- | --- |
| 测量范围 | 液体名称 |
| (650~800) kg/m3 | 石油产品混合液（由石油醚、无铅汽油、煤油和柴油配制） |
| (810~950) kg/m3 | 酒精水溶液（由乙醇和纯水配制） |
| (960~1000) kg/m3 | 硫酸氢乙酯（由硫酸和*q*：85%的酒精水溶液配制） |
| (1000~1830) kg/m3 | 硫酸水溶液（由硫酸和纯水配制） |
| 硫酸氢乙酯 |
| (1840~2000) kg/m3 | 碘化钾、碘化汞水溶液（由碘化钾、碘化汞和纯水配制） |

6.2.3 主要配套设备

表3 主要配套设备及仪器

|  |  |
| --- | --- |
| 直接比较法 | 静力称量法 |
| 玻璃校准筒:内径(100~120) mm，高(450~500) mm；或简易玻璃溢出筒：内径(110~120) mm，高(500~520) mm | 玻璃校准筒：内径(100~120) mm，高(150~200) mm。 |
| 恒温水浴槽：2h内23℃液体中控温稳定性优于0.1 ℃ | 恒温水浴槽：2h内23℃液体中控温稳定性优于0.05 ℃ |
| 水银温度计：测量范围(15~30) ℃，分度值0.1 ℃；或数显温度计：测量范围(0~50) ℃，分辨力为0.01 ℃。 | 数显温度计：测量范围(15~30) ℃，最大允许误差±0.01 ℃ |
|  | 电子天平：分辨力1 μg及F1等级以上砝码 |
|  | 空气温度计：测量范围(5~50) ℃，最大允许误差±0.5 ℃；湿度计：测量范围(10～85)%RH，最大允许误差±3%RH（20℃）；大气压力计：最大允许误差±5.0 hPa |

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

7.1.1 密度值

7.1.1.1静力称量法，采用阿基米德浮力原理，通过测量待测浮子在空气和十三烷中所受的浮力值，计算出其质量和体积値，进而得到其密度值。

7.1.1.2直接比较法，浮子在液体中悬浮并达到平衡后，液体的密度测量值即浮子的密度值。

7.1.1.3密度值修约到0.0001g/cm3。

7.2 外观检查

检查浮子外观须满足5.1的要求。

7.3 校准方法

7.3.1 准备工作

7.3.1.1 浮子在校准前应用合成洗涤剂、酒精或汽油等充分清洗，以便使玻璃浮子能与液体较好地浸润。

7.3.1.2 校准前所用的校准筒、搅拌器等玻璃仪器必须洗涤干净并干燥，清洗合格的仪器其器壁应不挂水珠。

7.3.1.3 根据浮子的密度范围，配置密度相接近的液体。对于未知密度范围的浮子,可以采用简单的方法对其密度范围进行划分。将已知密度液体倒入烧杯，投入浮子，观察浮子的浮沉状态，进行浮子密度的预判。

7.3.1.4 将装有配置好的液体的校准筒放入水浴恒温槽中，直接比较法水浴恒温槽控制温度在（23±0.1）℃以内，静力称量法水浴恒温槽控制温度在（23±0.05）℃以内。

7.3.1.5 采用液体静力称量法测量时，应先将天平预热半小时以上方可使用。

7.3.2 校准步骤

7.3.2.1 静力称量法

1. 浮子空气中表观质量测量；
2. 天平置零后将浮子放置在天平秤盘中心，待稳定后记录天平示值；
3. 取浮子在空气中两次称量的天平示值平均值为其在空气中的表观质量，并记录此时空气温度、湿度、压力。
4. 校准用液体密度测量；
5. 校准前使用与校准介质密度值接近的液体密度标准物质对实验室振动式液体密度仪进行校准。
6. 将实验室振动式液体密度仪的温度设定为校准介质的温度，抽取测量桶内液体，注入实验室振动式液体密度仪中，如果有气泡，需将气泡排出，待温度稳定后，记录实验室振动式液体密度仪的密度。
7. 浮子在校准用液体中表观质量
8. 将吊挂器具固定在天平下方，将浮子放置于吊挂器具中，调整吊挂器具使其可以垂直浸没于恒温液体中。液体温度稳定在23℃，待天平稳定后记录示值，并同时记录下液体温度及空气温度、湿度、压力。
9. 取两次测得值的平均值作为浮子在校准液体中表观质量，进一步计算出被测浮子密度。

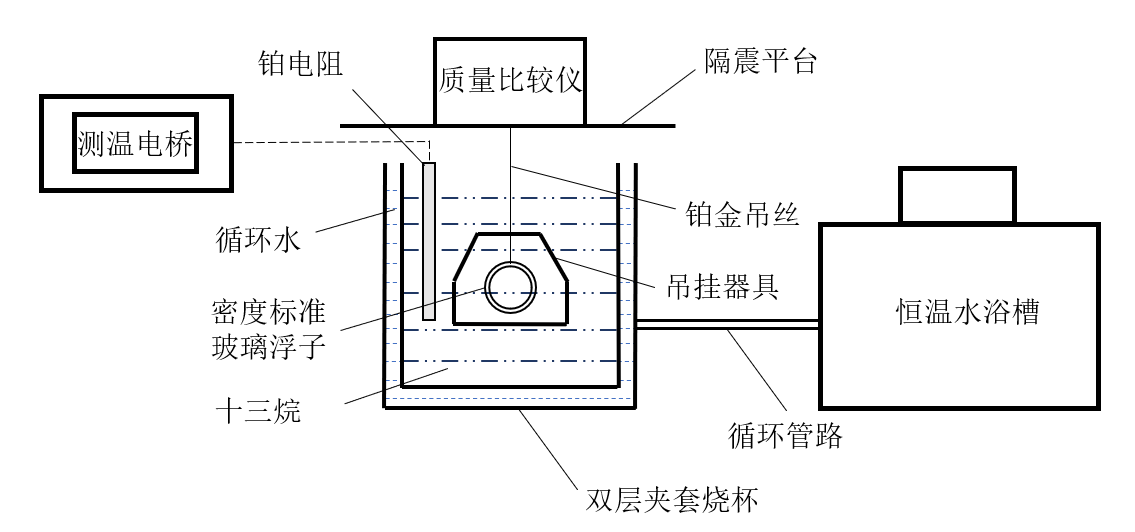


图1 玻璃浮子静力称量装置原理示意图

7.3.2.2 直接比较法

1）将浮子及标准器放入校准筒中，搅拌液体，搅拌时搅拌器底部不要超出液面，以免产生气泡，使液体温度稳定（23±0.1）℃以内。

2）观察浮子在液体中的状态，若浮子上浮至液面则应加入比液体密度小的液体，若下沉至底部则要加入液体密度大的液体，并搅拌均匀。直到液体密度合适，浮子悬浮在液体中。

3）当浮子悬浮在液体中，即处于随遇平衡时，等待15分钟以上，若浮子仍悬浮于液体中，则读取密度计示值或抽取测量桶内液体，注入实验室振动式液体密度仪中，如果有气泡，需将气泡排出，待温度稳定后，记录实验室振动式液体密度仪的密度。

4）重复前三个步骤，测量一次，取两次平均值。如两次测量结果之差大于0.0001 g/cm3，则需重新测量。

7.4 数据处理

7.4.1 静力称量法

1）根据测量原理，浮子在空气中的表观质量计算模型如式（1）所示。

 （1）

式中：

——浮子真空质量，g；

——空气称量时的空气密度，（可直接测得，也可根据空气温度、湿度及大气压力经计算得到，见附录E、附录F），g/cm3；

——浮子在23℃时的体积，cm3；

——浮子体胀系数，/℃；

——浮子空气中称量时的空气温度，℃；

——浮子在空气中的表观质量，g；

——钢制砝码密度，通常为8.0 g/cm3；

2）浮子体积和密度值

通过将浮子放置到校准液体当中，根据测量原理，浮子在液体当中的表观质量的计算模型如式（2）所示。

 （2）

式中：

——校准用液体的密度，g/cm3；

——校准用液体体胀系数，/℃；

——液体中称量时的液体温度，℃；

——浮子在校准用液体中称量时的空气密度，g/cm3；

——浮子在校准用液体中称量时的表观质量，g；

将式（1）与式（2）进行联立方程，即可得到浮子在23℃下的体积值，如式（3）所示。

 （3）

——浮子在空气中的表观质量，g；

——浮子空气中称量时的空气密度，（可直接测得，也可根据空气温度、湿度及大气压力经计算得到，见附录E、附录F），g/cm3；

——浮子在温度为的校准用液体中称量时的表观质量，g；

——浮子在校准用液体中称量时的空气密度，g/cm3；

——砝码密度，通常为8.0 g/cm3；

——校准液体的密度，g/cm3；

——校准液体体胀系数，/℃；

——校准液体中称量时的液体温度，℃；

——浮子体胀系数，/℃；

——浮子空气中称量时的空气温度，℃；

将式（3）代入至式（1）中即可得到浮子的真空质量如式（4）所示。

 （4）

最终根据密度基本公式将所求得的真空质量值与浮子在23℃下的体积值通过式（5）即可进一步得到所测量浮子23℃下的密度值。

 （5）

7.4.2 直接比较法

1）采用一等标准玻璃浮计作为标准器时，被校浮子密度值按式（6）计算：

 （6）

其中：——被校准浮子的密度值，g/cm3；

——一等标准玻璃浮计示值，g/cm3；

——一等标准玻璃浮计示值的修正值，g/cm3；

——一等标准玻璃浮计温度的修正值，g/cm3；

，*t* = 23℃，*β*为玻璃体膨胀系数，*β*=25×10-6 ℃-1；

——一等标准玻璃浮计毛细常数的修正值，g/cm3，根据需要进行修正，参见JJG 86《标准玻璃浮计》。

2）采用液体密度标准物质与实验室振动式液体密度仪作为标准器时，被校浮子密度值按式（7）计算：

 （7）

其中：——被校准浮子的密度值，g/cm3；

——实验室振动式液体密度仪示值，g/cm3；

——实验室振动式液体密度仪示值的修正值，g/cm3；

8 校准结果的表达

校准证书应包含JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》5.12中要求的信息，并在证书内页给出浮子的标准温度、密度值、测量结果不确定度等信息。

9 复校时间间隔

复校时间间隔由用户根据使用情况确定，建议为1年，使用特别频繁时应适当缩短。

附录A

静力称量法标准玻璃浮子校准不确定度评定示例

A.1 浮子校准的测量模型

首先明确浮子密度测量的核心被测量为23℃下玻璃浮子的密度，其计算依赖7.4.1中的3个关键公式(体积、真空质量、密度)，需按“输入量→中间输出量(体积*V*、真空质量*M*)→最终输出量”的传递路径展开不确定度分析，公式如下：

1. 浮子23℃体积公式：



式中：

——浮子在空气中的表观质量，g；

——浮子空气中称量时的空气密度，（可直接测得，也可根据空气温度、湿度及大气压力经计算得到，见附录E、附录F），g/cm3；

——浮子在温度为的校准用液体中称量的表观质量，g；

——浮子在校准液体中称量时的空气密度，g/cm3；

——砝码密度，通常为8.0 g/cm3；

——校准用液体的密度，g/cm3；

——校准用液体体胀系数，/℃；

——浮子在校准液体中称量时的液体温度，℃；

——浮子体胀系数，/℃；

——浮子空气中称量时的空气温度，℃；

1. 浮子的真空质量公式：



式中：

——浮子真空质量，g；

1. 浮子密度公式：



A.2 不确定度来源及分析

A.2.1 不确定度来源

从“测量器具特性→环境影响→操作过程”三维度，识别各公式输入量的不确定度来源，确保覆盖“设备、参数、环境、操作”四类因素，具体如下表：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **中间/最终输出量** | **输入量** | **计量角度不确定度来源** |
| 体积*V* | *Ma* | 1.质量比较仪示值重复性(A类)；2.质量比较仪校准不确定度(B类，含砝码校准)；3.天平分辨力(B类) |
| *ML* | 1.质量比较仪示值重复性(A类)；2.液体扰动导致的称量波动(A类)；3.质量比较仪校准不确定度(B类) |
|  | 1.实验室振动式液体密度仪校准不确定度(B类)；2.液体密度测量重复性(A类)； |
|  | 1.液体体胀系数手册给定不确定度(B类)；2.温度范围对的影响(B类) |
|  | 1.测温电桥校准不确定度(B类)；2.液体温度波动重复性(A类)；3.温度传感器分辨力(B类) |
|  | 1.温湿压变送器校准不确定度(B类)；2.环境参数测量重复性(A类) |
|  | 1.浮子玻璃材质体胀系数校准不确定度(B类)； |
|  | 1.温湿压变送器校准不确定度(B类)；2.空气温度波动重复性(A类)； |
|  | 1.钢制砝码密度校准证书不确定度(B类)；2.砝码温度变化对的影响(B类) |
| 真空质量*M* | *Ma* | 同上述*Ma*来源 |
| *V* | 由上述8个输入量传递的合成不确定度（*u*(*V*)） |
|  | 同上述来源 |
|  | 同上述来源 |
|  | 同上述来源 |
|  | 同上述*ρ*s来源 |
| 浮子密度 | *M* | 由上述6个输入量传递的合成不确定度（*u*(*M*)） |
| *V* | 同上述（*u*(*V*)） |

A.2.2 各输入量标准不确定度评定

按计量不确定度评定规则，区分A类（实验标准差）和B类（校准证书/手册）评定，具体计算如下：

A.2.2.1 体积*V*相关输入量评定

1. *Ma*的标准不确定度*u*(*Ma*)

A类**：**重复测量10次*Ma*，示值为0.500123g、0.500121g…0.500122g，计算实验标准差，即；

B类1：质量比较仪校准证书给出扩展不确定度*U*=2μg（*k*=2），则

；

B类2：质量比较仪分辨力1μg，均匀分布（），则

；

合成：。

1. *ML*的标准不确定度*u*(*ML*)

与*Ma*测量条件一致，仅液体扰动导致A类标准差略大，取，B类同*Ma*，合成。

1. *ρL*的标准不确定度*u*(*ρL*)

A类**：**重复测量5次液体密度，实验标准差；

B类：密度仪校准证书*U*=4×10-5g/cm3（*k*=2），则；

合成：。

1. 的标准不确定度*u*(*βL*)

参考液体手册，，不确定度±5×10-6/℃（均匀分布），则

。

1. 的标准不确定度*u*(*T*2)

A类：1h内温度波动测量10次，标准差；

B类：测温电桥校准，则；

合成：。

1. 的标准不确定度*u*(*ρa*)

按CIPM-2007公式，输入量*ta、RH、p*的不确定度分量如下：

*ta：*，贡献；

*RH*：**，贡献；

*p*：**，贡献；

合成：

1. 的标准不确定度*u*(*β*)

浮子玻璃，校准证书，则。

1. *T*1的标准不确定度

同中温度的影响，贡献。

1. 钢制砝码密度的标准不确定度*u*(*ρs*)

钢制砝码，校准证书，则。

A.2.2.2 真空质量相关输入量评定

其中*Ma、ρa、β、T*1、*ρs*同上述分析，体积*V*的合成不确定度需后续结合灵敏系数计算，此处暂记为中间量。

A.2.3 灵敏系数及合成不确定度计算

A.2.3.1 体积*V*的灵敏系数及不确定度

设分母，则



















数值示例：若*Ma*=0.50012g，*ML=*0.30012g，*ρL=*0.756g/cm3，*ρa=*1.2×10-3g/cm3，则灵敏系数和不确定度分量如下：

附表A1 浮子体积*V*各分量标准不确定度及灵敏系数

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **输入量** | **标准不确定度***u* | **灵敏系数***c* | **浮子体积不确定度分量** |
| 1 | 空气中表观质量 | 1.527×10-6 g | 1.3246cm³/g | 2.02×10-6 cm³ |
| 2 | 液体中表观质量 | 1.871×10-6 g | -1.3246cm³/g | 2.48×10-6 cm³ |
| 3 | 十三烷密度 | 2.828×10-5g/cm³ | -0.351 cm⁶/g | 9.93×10-6cm³ |
| 4 | 十三烷体胀系数 | 2.887×10-6 /℃ | 0 cm³·℃ | 0 cm³ |
| 5 | 液体温度 | 7.071×10-3℃ | 3.186×10-4 cm³/℃ | 2.25×10-6 cm³ |
| 6 | 空气密度 | 1.0×10-5 g/cm³ | 0.318 cm⁶/g | 3.18×10-6 cm³ |
| 7 | 浮子体胀系数 | 5.0×10-7 /℃ | 0 cm³·℃ | 0 cm³ |
| 8 | 空气温度 | 7.071×10-3 ℃ | 1.056×10-8 cm³/℃ | ≈0cm³ |
| 9 | 砝码密度 | 5.0×10-4 g/cm³ | 4.968×10-6 cm⁶/g | ≈0cm³ |

浮子体积计算模型中各分量相互独立，合成不确定度为



A.2.3.2 真空质量*M*的灵敏系数及不确定度

由

计算得到的灵敏系数为：













由体积不确定度计算中的示例参数，可以计算出浮子真空质量不确定度灵敏系数和不确定度分量如下：

附表A2 浮子真空质量各分量标准不确定度及灵敏系数

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 输入量 | 标准不确定度 | 灵敏系数 | 浮子真空质量不确定度分量 |
| 1 | 空气中表观质量 | 1.527×10⁻6 g | 1.00015 | 1.527×10⁻6 g |
| 2 | 空气密度 | 1.0×10-5 g/cm³ | 0.3272 cm³ | 3.272×10⁻⁶ g |
| 3 | 浮子23℃体积 | 1.11×10⁻⁵ cm³ | 1.200×10⁻³g/cm³ | 1.332×10⁻⁸ g |
| 4 | 浮子体胀系数 | 5.0×10⁻7 /℃ | ≈0 g·℃ | 0 g |
| 5 | 空气温度 | 7.071×10⁻3 ℃ | ≈0 g/℃ | 0 g |
| 6 | 砝码密度 | 5.0×10⁻4 g/cm³ | 9.388×10⁻6 cm3 | 4.694×10⁻9 g |

浮子真空质量计算模型中各分量相互独立，合成不确定度为



A.2.3.3 浮子密度*ρ*的灵敏系数及不确定度

由

偏导数为：





由体积和真空质量不确定度结果，可以计算出浮子密度不确定度灵敏系数和不确定度分量如下：

附表A3 浮子密度各分量标准不确定度及灵敏系数

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 输入量 | 标准不确定度 | 灵敏系数 | 浮子密度不确定度分量 |
| 1 | 真空质量 | 3.61×10-6 g | 3.775 /cm3 | 1.363×10-5 g/cm3 |
| 2 | 浮子体积 | 1.11×10-5 cm3 | -7.124 g/cm6 | 7.91×10-5 g/cm3 |

浮子密度合成不确定度



取扩展因子*k*=2，则浮子密度扩展不确定度为：



附录B

静力称量法标准浮子校准记录参考格式

校准证书编号： 送校单位：

计量范围： 标准温度： 制造厂：

使用的基/标准装置： 使用 基/标准不确定度： 校准依据：

校准日期： 年 月 日

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 空气温度 | 空气湿度 | 大气压力 | 液体温度 | 密度仪示值 | 液体密度 | 液体表面张力 |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

检定用液密度测量：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 空气温度 | 空气湿度 | 大气压力 | 标准温度 | 空气中浮子质量 | 仪器编号 |
|  |  |  |  |  |  |

玻璃浮子空气称量：

玻璃浮子液体中称量：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 液体温度 | 空气温度 | 空气湿度 | 大气压力 | 归零值 | 天平示值 | 修正值 | 平均修正值 | 工作用液 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |

校准员\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 核验员\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 第 页 共 页

附录C

直接比较法标准玻璃浮子校准不确定度评定示例

以密度测量的标准器一等标准玻璃浮计为例。

C.1 浮子校准的测量模型

浮子在23 ℃的标准温度下，在一定密度的液体中，浮子处于随遇平衡状态，用一等标准玻璃浮计测其液体的密度就得到浮子的密度值；

被校浮子密度值的计算：



其中：

——被校准浮子的密度值，g/cm3；

——一等标准玻璃浮计示值，g/cm3；

——一等标准玻璃浮计示值的修正值，g/cm3；

——一等标准玻璃浮计的温度修正值，g/cm3；

,*t* = 23 ℃，*β*为玻璃体膨胀系数，*β*=25×10-6 ℃-1；

——一等标准玻璃浮计毛细常数的修正值g/cm3，根据需要进行修正，参见JJG 86-2023《标准玻璃浮计》。

C.2 不确定度来源及分析

C.2.1 测量重复性引入的不确定度

在校准浮子时，用一等标准玻璃浮计测量液体密度。由于液体温度变化、表面张力变化等因素共同作用，而使多次测量结果具有分散性。

对液体密度进行*n*（*n*≥6）次独立测量，在*n*次等精度下的测得值为:

，则的平均值为：



通过多次实验，单次测量实验标准差（贝塞尔法）为：

=0.000035 g/cm3

在实际测量中，两次测量的平均值的标准不确定度*u*1用单次测量实验标准差算出：

=0.000025 g/cm3

C.2.2密度测量标准器引入的不确定度：

一等标准玻璃浮计扩展不确定度个分度值（*k=*2），此处其分度值为0.0002 g/cm3，其标准不确定度为：



此外，一等标准玻璃浮计只在主密度点有相应的密度修正值，在其他密度范围，密度修正值只能依赖线性插值或扩展来获得。各刻度间的密度值并不发生突变，估计由此带来的影响不超过0.3个分度值，则标准不确定度为：





C.2.3温度变化引入的不确定度

1）温度变化对玻璃膨胀所引入的不确定度

由于，温度变化在±0.1℃，按均匀分布，其标准不确定度为：

因℃-1，此项很小可忽略。

2）温度变化对液体密度的影响

如校准中使用密度为0.92 g/cm3的酒精水溶液，液体密度随温度的变化为0.00078 g⋅cm-3⋅℃-1，同样温度变化在±0.1℃，按均匀分布，其标准不确定度为：



3）温度测量对液体密度的影响

如校准中使用密度为0.92 g/cm3的酒精水溶液，液体密度随温度的变化为0.00078 g⋅cm-3⋅℃-1，一等标准玻璃浮计MPE：±0.1℃，按均匀分布，其标准不确定度为：





C.2.4浮子平衡灵敏度引入的不确定度

浮子在液体中悬浮，由于液体的黏度的影响，以及液体中存在微小气泡等因素的影响，浮子平衡对液体密度有一定灵敏度，经过实验，同一浮子在密度变化为0.00013 g/cm3范围内，都可达到平衡。按均匀分布计算：



C.2.5浮子数据修约引入的不确定度

浮子的数据修约到0.0001 g/cm3，满足均匀分布



C.2.6 合成标准不确定度

各项不确定度影响量不相关，合成标准不确定度为：

=0.00094 g/cm3

C.2.7 扩展不确定度*U*

取扩展因子*k*=2,则扩展不确定度为：



附录D 直接比较法校准记录参考格式

**玻璃浮子校准原始记录** 记录编号：

校准证书编号： 送校单位：

计量范围： 标准温度： 制造厂：

使用的基/标准装置： 使用 基/标准不确定度： 校准依据：

校准日期： 年 月 日 核验员：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 外观检查 | |  | | | | | | | | |
| 校准日期 | 浮子编号 | 基/标准器（ ） | | | 结果处理 | | | | | 校准员 |
| 器号 | 示值 | 修正值 | 温度 | 温度修正 | 毛细修正值 | 密度值 | 平均值 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 备注 |  | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |

第 页 共 页

附录E

**空气密度计算公式**

 　(H.1)

式中：——湿空气密度，10-3 kg·m-3；

——大气压力，Pa；

——压缩系数；

——热力学温度，＝273.15＋*t* ，K；

——水蒸气摩尔系数；

——空气中的CO2含量，molmol-1；

*h*——空气的相对湿度，０≤*h*≤１；

其中：

 (H.2)

 (H.3)

 (H.4)

 (H.5)

以上公式（H.2）至（H.5）中的常数项数值如下：

*a*0=1.58123×10-6K·Pa-1；

*a*1=-2.9331×10-8Pa-1；

*a*2=1.1043×10-10K-1·Pa-1；

*b*0=5.707×10-6K·Pa-1；

*b*1=-2.051×10-8Pa-1；

*c*0=1.9898×10-4K·Pa-1；

*c*1=-2.376×10-6Pa-1；

*d*=1.83×10-11K2·Pa-2；

*e*=-0.765×10-8K2·Pa-2；

*α*=1.00062；

*β*=3.14×10-8Pa-1；

*γ*=5.6×10-7K-2；

*A*=1.2378847×10-5K-2；

*B*=-1.9121316×10-2K-1；

*C*=33.93711047；

*D*=-6.3431645×103K。

公式出处：CIPM-2007推荐公式，Metrologia 45（2008）149-155。

附录F

**湿空气密度表**

表M.1 相对湿度50%，CO2含量0.04%在*t90*和压力*p*的空气密度

kg•m-3

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *t*90*/*  ℃ | *p/*kPa | | | | | | | | | | |
| 90 | 92 | 94 | 96 | 98 | 100 | 102 | 104 | 106 | 108 | 110 |
| 18.0 | 1.073 | 1.097 | 1.121 | 1.145 | 1.169 | 1.193 | 1.217 | 1.241 | 1.265 | 1.288 | 1.312 |
| 18.2 | 1.072 | 1.096 | 1.120 | 1.144 | 1.168 | 1.192 | 1.216 | 1.240 | 1.264 | 1.288 | 1.311 |
| 18.4 | 1.071 | 1.095 | 1.119 | 1.143 | 1.167 | 1.191 | 1.215 | 1.239 | 1.263 | 1.287 | 1.311 |
| 18.6 | 1.070 | 1.094 | 1.118 | 1.142 | 1.166 | 1.190 | 1.214 | 1.238 | 1.262 | 1.286 | 1.310 |
| 18.8 | 1.070 | 1.093 | 1.117 | 1.141 | 1.165 | 1.189 | 1.213 | 1.237 | 1.261 | 1.285 | 1.309 |
| 19.0 | 1.069 | 1.093 | 1.117 | 1.140 | 1.164 | 1.188 | 1.212 | 1.236 | 1.260 | 1.284 | 1.308 |
| 19.2 | 1.068 | 1.092 | 1.116 | 1.140 | 1.163 | 1.187 | 1.211 | 1.235 | 1.259 | 1.283 | 1.307 |
| 19.4 | 1.067 | 1.091 | 1.115 | 1.139 | 1.163 | 1.186 | 1.210 | 1.234 | 1.258 | 1.282 | 1.306 |
| 19.6 | 1.066 | 1.090 | 1.114 | 1.138 | 1.162 | 1.186 | 1.209 | 1.233 | 1.257 | 1.281 | 1.305 |
| 19.8 | 1.066 | 1.089 | 1.113 | 1.137 | 1.161 | 1.185 | 1.209 | 1.232 | 1.256 | 1.280 | 1.304 |
| 20.0 | 1.065 | 1.089 | 1.112 | 1.136 | 1.160 | 1.184 | 1.208 | 1.231 | 1.255 | 1.279 | 1.303 |
| 20.2 | 1.064 | 1.088 | 1.112 | 1.135 | 1.159 | 1.183 | 1.207 | 1.231 | 1.254 | 1.278 | 1.302 |
| 20.4 | 1.063 | 1.087 | 1.111 | 1.135 | 1.158 | 1.182 | 1.206 | 1.230 | 1.253 | 1.277 | 1.301 |
| 20.6 | 1.062 | 1.086 | 1.110 | 1.134 | 1.157 | 1.181 | 1.205 | 1.229 | 1.252 | 1.276 | 1.300 |
| 20.8 | 1.062 | 1.085 | 1.109 | 1.133 | 1.157 | 1.180 | 1.204 | 1.228 | 1.252 | 1.275 | 1.299 |
| 21.0 | 1.061 | 1.085 | 1.108 | 1.132 | 1.156 | 1.179 | 1.203 | 1.227 | 1.251 | 1.274 | 1.298 |
| 21.2 | 1.060 | 1.084 | 1.107 | 1.131 | 1.155 | 1.179 | 1.202 | 1.226 | 1.250 | 1.273 | 1.297 |
| 21.4 | 1.059 | 1.083 | 1.107 | 1.130 | 1.154 | 1.178 | 1.201 | 1.225 | 1.249 | 1.272 | 1.296 |
| 21.6 | 1.058 | 1.082 | 1.106 | 1.129 | 1.153 | 1.177 | 1.201 | 1.224 | 1.248 | 1.272 | 1.295 |
| 21.8 | 1.058 | 1.081 | 1.105 | 1.129 | 1.152 | 1.176 | 1.200 | 1.223 | 1.247 | 1.271 | 1.294 |
| 22.0 | 1.057 | 1.081 | 1.104 | 1.128 | 1.151 | 1.175 | 1.199 | 1.222 | 1.246 | 1.270 | 1.293 |

附录G

标准玻璃浮子校准证书内页参考格式

证书编号 ××××-××××

校 准 结 果

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **标准温度:** 23℃  表 1   |  |  |  | | --- | --- | --- | | 编号 | 密度值  (g/cm3) | 不确定度*U*  (g/cm3) (*k*=2) | | ×××× | ×××× | ×××× |     [以下空白] |

校 准 员： 核 验 员：

——————————————