



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 165—2024

钟罩式气体流量标准装置检定规程

Verification Regulation of Standard Bell Provers of Gas Flow

2024-10-19 发布

2025-04-19 实施

国家市场监督管理总局 发布

钟罩式气体流量标准装置
检定规程

Verification Regulation of
Standard Bell Provers of Gas Flow

JJG 165—2024
替代 JJG 165—2005

归口单位：全国流量计量技术委员会

主要起草单位：北京市计量检测科学研究院

中国计量科学研究院

浙江省计量科学研究院

山东省计量科学研究院

参加起草单位：上海市计量测试技术研究院

杭州天马计量科技有限公司

丹东科泰仪器仪表有限公司

本规程主要起草人：

杨有涛（北京市计量检测科学研究院）

高 峰（中国计量科学研究院）

陈赏顺（浙江省计量科学研究院）

高进胜（山东省计量科学研究院）

参加起草人：

刘夷平（上海市计量测试技术研究院）

马小平（杭州天马计量科技有限公司）

王福贵（丹东科泰仪器仪表有限公司）



目 录

| | |
|---------------------------|---------|
| 引言 | (III) |
| 1 范围 | (1) |
| 2 引用文件 | (1) |
| 3 术语和计量单位 | (1) |
| 3.1 术语 | (1) |
| 3.2 计量单位 | (2) |
| 4 概述 | (2) |
| 4.1 工作原理 | (2) |
| 4.2 用途 | (2) |
| 4.3 结构 | (2) |
| 4.4 分类 | (5) |
| 4.5 铭牌和标记 | (5) |
| 5 计量性能要求 | (5) |
| 5.1 准确度等级和不确定度 | (5) |
| 5.2 测量范围 | (6) |
| 6 通用技术要求 | (6) |
| 6.1 密封性 | (6) |
| 6.2 密封液 | (6) |
| 6.3 压力波动 | (6) |
| 6.4 温度差控制 | (6) |
| 6.5 计时器 | (6) |
| 7 计量器具控制 | (6) |
| 7.1 检定条件 | (7) |
| 7.2 检定项目 | (8) |
| 7.3 检定方法 | (8) |
| 8 检定结果的处理 | (14) |
| 9 检定周期 | (14) |
| 附录 A 钟罩流量测量不确定度评定示例 | (15) |
| 附录 B 动态质量法检定标准容积 | (25) |
| 附录 C 罩体圆度 | (26) |

| | |
|---------------------------|------|
| 附录 D 常用金属材料的温度线膨胀系数 | (28) |
| 附录 E 钟罩脉冲系数 | (29) |
| 附录 F 量值偏差的验证 | (31) |
| 附录 G 检定证书内页（参考）格式 | (32) |



引 言

JJF 1001《通用计量术语及定义》、JJF 1002《国家计量检定规程编写规则》和 JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规程修订的基础性文件。

钟罩式气体流量标准装置是经典的常压气体流量标准装置，原规程对钟罩检定是通过各个分量分别溯源到长度、质量和时间基准，关注点是钟罩的静态容积，缺乏对流量量值的验证，也缺乏不同装置之间量值一致性的验证。钟罩容积检定有静态容积法、尺寸测量法、动态容积法和动态质量法等方法，但这些方法仅是对钟罩静态标准容积的标定。钟罩进行气体流量量值的准确传递，需要流量量值验证，这是本规程重点解决的问题，要求在尺寸法、容积法或质量法检定钟罩容积的基础上，补充标准表法验证钟罩流量量值，保证不同装置量值之间的一致性。目前绝大部分的钟罩装置都配置了测量控制系统（单片机系统或计算机控制测量系统），装置的测控系统显著影响其计量性能，因此本规程增加了测量控制系统部分相关内容。

本规程与 JJG 165—2005 相比，主要变化如下：

- 依据 JJF 1002 要求，增加了引言部分；
- 根据工作需要和方便操作，增加了 0.3 级钟罩；
- 增加了带液位补偿机构钟罩的尺寸测量法公式；
- 增加了钟罩量值的验证，弥补了上下级钟罩的流量量值关联性；
- 增加了带测量控制系统钟罩的部分相关内容；
- 对新制造的钟罩增加了圆度的技术要求。

本规程历次版本发布情况：

- JJG 165—2005；
- JJG 165—1989；
- JJG 165—1975。

钟罩式气体流量标准装置检定规程

1 范围

本规程适用于检测介质为空气的钟罩式气体流量标准装置（以下简称钟罩）的首次检定、后续检定和使用中检查。

2 引用文件

本规程引用下列文件：

JJF 1001 通用计量术语及定义

JJF 1004 流量计量名词术语及定义

JJF 1059.1 测量不确定度评定与表示

JB/T 12961—2016 钟罩式气体流量标准装置

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规程；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规程。

3 术语和计量单位

3.1 术语

JJF 1001、JJF 1004 界定的以及下列术语和定义适用于本规程。

3.1.1 钟罩式气体流量标准装置 standard bell prover of gas flow

以气体为介质，利用可移动的钟罩罩体和密封液形成容积可变的气体标准计量室，输出流量稳定且体积可知的气体体积流量，实现对气体流量仪表检测的标准装置。

3.1.2 钟罩罩体 cylinder of bell prover

倒置在液槽内可自由上下移动的圆筒型容器。

3.1.3 密封液槽 tank for sealing liquid

容纳密封液的开口圆筒型容器。

3.1.4 压力补偿机构 pressure compensation mechanism

补偿罩体运行过程中所受的浮力变化导致的钟罩内压变化，使罩内压力保持恒定的机构。

3.1.5 液位平衡机构 liquid level balance mechanism

补偿钟罩在运行过程中液位的变化，使钟罩在运行过程中能够保持密封液面的液位保持始终不变的机械配重机构。

3.1.6 发讯器 signal generator

可发出信号控制计时/计数器启停的非接触式开关。

注：有电磁式、光电式、红外式等多种形式。

3.1.7 计时器（模块） timer

利用定时或计时原理测量钟罩的检测时间间隔的器件。

注：

1 一般有手动方式（如秒表）和自动方式（和光电发讯器连接的自动计时器）。

2 控制系统一般有计时模块。

3.1.8 脉冲系数（脉冲当量） pulse factor

钟罩单位体积的脉冲数（1/L）。经检定确定的需置入钟罩控制系统参数设置。

注：在钟罩罩体上下移动时，通过光电编码器或光栅尺将钟罩上下移动的行程高度差转换成脉冲信号，将脉冲信号转换成体积。

3.1.9 最大流量 maximum flow-rate

钟罩在测量过程中可达到最短测量时间且满足计量性能要求的瞬时流量。

注：一般地，在最大有效体积下，以一次测量最短时间下的流量作为钟罩的最大流量。

3.1.10 最小流量 minimum flow-rate

钟罩在测量过程中可达到最长测量时间且满足计量性能要求的瞬时流量。

注：一般地，在最小有效体积下，以一次测量最长时间下的流量作为钟罩的最小流量。

3.2 计量单位

计量单位应采用国家法定计量单位来表示。

体积（累积流量）：立方米，符号 m^3 ；或升，符号 L。

瞬时流量：立方米每 [小] 时，符号 m^3/h ；或升每分，符号 L/min。

压力：帕 [斯卡]，符号 Pa；或千帕 [斯卡]，符号 kPa。

温度：摄氏度，符号 $^{\circ}C$ ；或热力学温度：开 [尔文]，符号 K。

4 概述

4.1 工作原理

钟罩由可动的罩体和固定的液槽密封液构成一个容积可变的标准计量室。钟罩下降过程中通过压力补偿机构，使其内部气体压力保持一个定值，不随钟罩浸入密封液体中的深度而变化。流入或者流出钟罩计量室的气体体积所经时间由计时器或测量控制系统测定，通过钟罩罩体下降或上升高度测量对应的计量室容积就是流出/流入气体的累计流量，由容积与时间之比可计算出瞬时流量。钟罩既可输出标准累积体积量，也可输出标准瞬时流量，通过比较法可确定被检气体流量仪表的计量性能。

4.2 用途

钟罩是以气体为介质，对气体流量仪表进行检定和校准的计量标准装置。

4.3 结构

钟罩装置一般由钟罩罩体、密封液槽、压力补偿机构和试验管道以及测量温度、压力和高度（行程）的传感器等构成。钟罩的位移高度测量传感器有光电编码器、光栅尺、测高仪等，通过脉冲系数将钟罩的高度数字化，如测量瞬时流量，应配备计时器或者测量控制系统。

典型的钟罩结构如图 1 和图 2 所示。

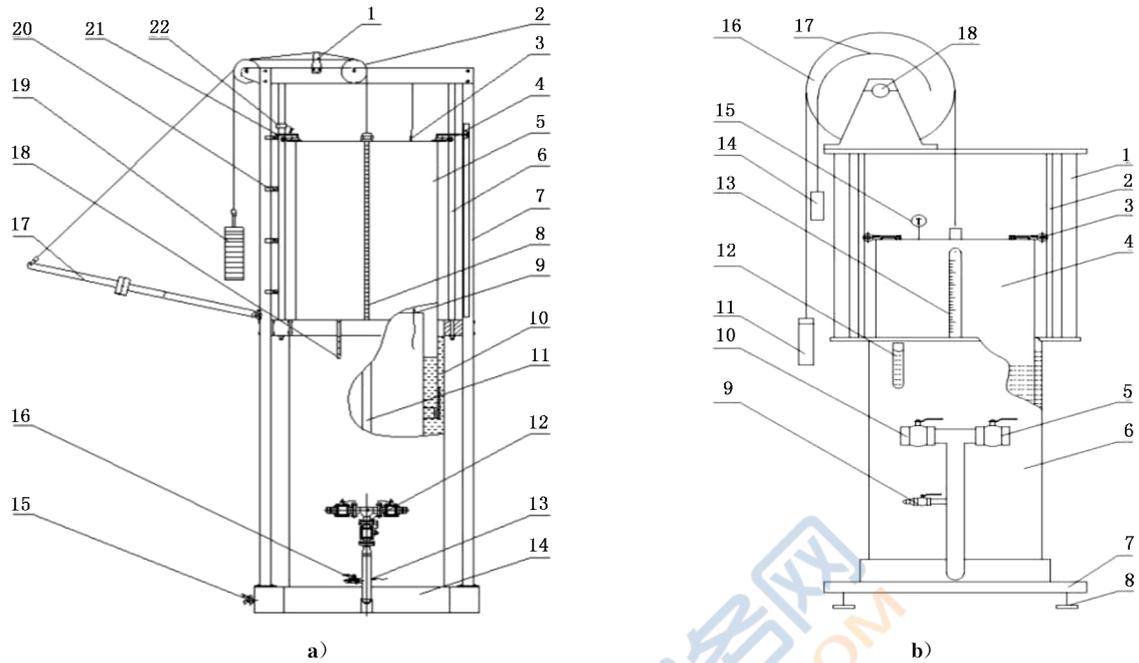


图 1 可变量臂式和曲线补偿式钟罩示意图

图 1a): 1—编码器; 2—滑轮; 3、9、13—温度传感器; 4—光栅尺; 5—罩体; 6—导柱; 7—立柱; 8—标尺; 10—液槽; 11—排气管; 12—出气阀; 14—底座; 15—放液阀; 16—进气口; 17—压力补偿机构; 18—液位器; 19—配重码; 20—光电开关; 21—光电挡板; 22—限位机构

图 1b): 1—立柱; 2—导柱; 3—导轮; 4—钟罩罩体; 5—出气阀; 6—液槽; 7—底盘; 8—水平调节地脚; 9—测压口; 10—进气阀; 11—余压调节重锤; 12—液位器; 13—标尺; 14—压力补偿重锤; 15—温度传感器; 16—滑轮; 17—压力补偿轮; 18—编码器

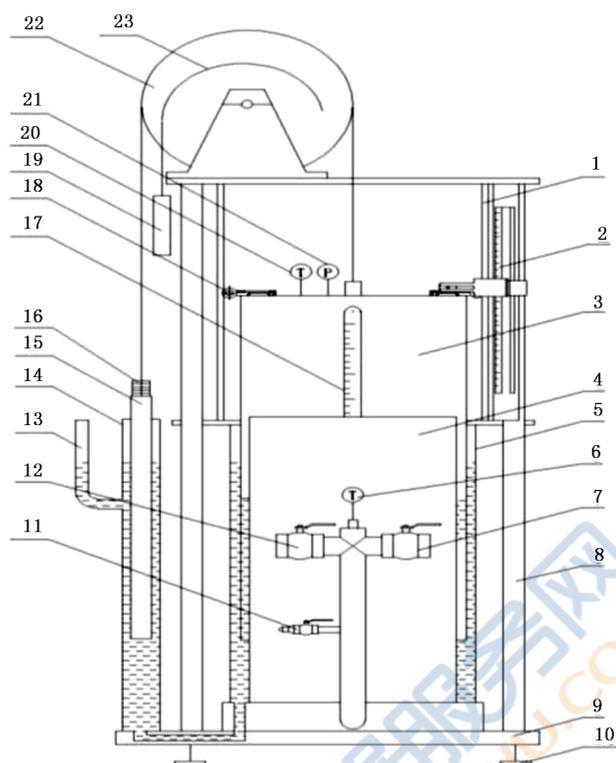


图 2 带液位平衡机构的钟罩示意图

1—导柱；2—光栅尺；3—钟罩罩体；4—干槽；5—液槽；6、20—温度传感器；7—出气阀；8—立柱；9—底盘；10—水平调节；11—测压嘴；12—进气阀；13—液位管；14—辅助液槽；15—液位平衡柱；16—余压调节砝码；17—标尺；18—导轮；19—余压补偿锤；21—压力传感器；22—滑轮；23—余压补偿轮

测量控制系统一般由控制主机、信号采集模块（传感器）、信号传输模块、信号分析处理模块、执行机构等构成。如罩体高度传感器有光电编码器、光栅尺、测高仪等；如温度传感器、压力传感器、采样器（摄像式或光电式等）、计数器、模数 A/D 转换板、输入输出 I/O 板、气路控制等，如图 3 所示。

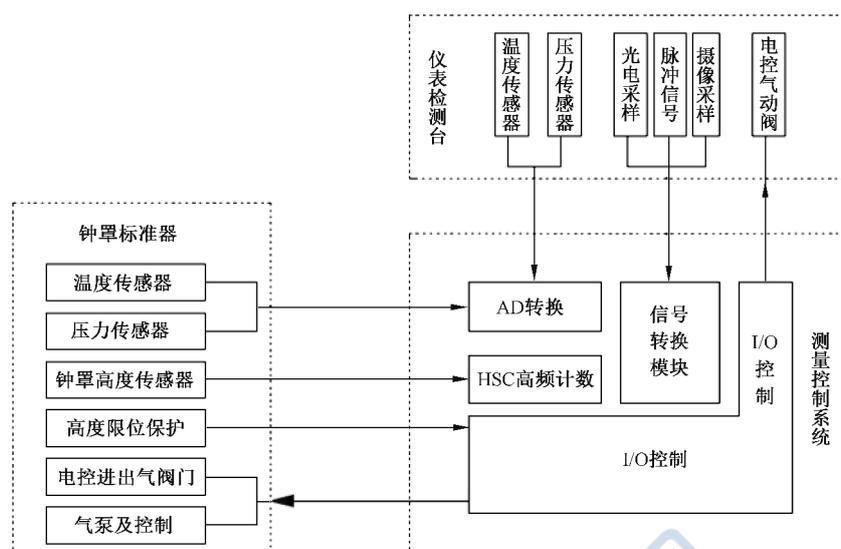


图3 测量控制系统示意图

4.4 分类

4.4.1 从钟罩工作过程中的气流方向分类，有排气式（钟罩下降）和进气式（钟罩上升）。

4.4.2 从液槽结构上分类，一般有双槽和单槽两种形式。

4.5 铭牌和标记

铭牌应在钟罩的明显位置，所有标记都应清晰持久可辨。铭牌应至少标识以下信息：

- a) 制造商名称；
- b) 产品名称；
- c) 型号规格；
- d) 出厂编号；
- e) 制造日期；
- f) 准确度等级（或者不确定度）；
- g) 流量范围；
- h) 压力波动；
- i) 最大工作压力。

5 计量性能要求

5.1 准确度等级和不确定度

通过对钟罩计量性能的检定和不确定度评定，确定被检钟罩的计量性能，见表1。钟罩流量测量的不确定度评定见附录A。

对同一台套钟罩，可根据其流量范围分区分别给出不同的准确度等级和不确定度，一般以测量时间为60 s作为分界点。例如某一套1 000 L的钟罩，小于或等于60 m³/h为0.2级；大于60 m³/h为0.3级。

表 1 准确度等级和不确定度

| 序号 | 准确度等级 | 相对扩展不确定度 $U_r (k=2)$ | 压力波动/Pa | 环境、罩内气温和密封液三者 之间的温差/℃ |
|--|-------|-------------------------|-----------|--------------------------|
| 1 | 0.2 | 0.2% | ≤ 20 | ≤ 0.2 |
| 2 | 0.3 | 0.3% | ≤ 30 | ≤ 0.3 |
| 3 | 0.5 | 0.5% | ≤ 50 | ≤ 0.5 |
| 注： 1 保留准确度等级是为了延续传统和行业习惯，可只给出不确定度。 2 优于 0.2 级的装置应有详细的不确定度分析和环境条件的要求。 | | | | |

5.2 测量范围

钟罩有效标准容积分别除以最短和最长测量时间得到最大和最小流量，确定钟罩的测量范围。最短和最长测量时间一般分别为 30 s 和 1 800 s。

6 通用技术要求

6.1 密封性

钟罩升起状态下，钟罩在关闭进出口阀门后应不泄漏。

6.2 密封液

一般应使用低蒸汽压、低黏度液体作为密封液，如 5 号或 7 号白油，或清水作为密封液。如用清水作为密封液，水质应清洁。优于 0.2 级（含）的钟罩宜使用白油作为密封液。

注：压力补偿机构和密封液的密度相关，制造厂依据选择的密封液和其密度来设计制造钟罩。
使用中的钟罩不可随意变换密度不同的密封液。

6.3 压力波动

钟罩在运行过程中罩体内压变化的最大值为压力波动。压力波动应符合表 1 的规定。

6.4 温度差控制

应控制实验室环境和钟罩内温度，保证环境温度、罩体内的气温和密封液温度三者之差符合表 1 的规定。优于 0.2 级（含）的钟罩应测气体温度，钟罩内应有上、下两个测温点。低于 0.2 级的装置可用室温代替气温。

6.5 计时器

计时器（或计时模块）的启停由钟罩上发讯器的信号控制。计时器分辨力优于 0.01 s。计时所引入的不确定度分量要小于相应钟罩不确定度的 1/10。测量控制系统的启停计时一般由被检表的输出信号控制（如光电脉冲采样信号等）。

7 计量器具控制

计量器具控制包括钟罩的首次检定、后续检定和使用中检查。

7.1 检定条件

7.1.1 测量标准及配套设备

钟罩标准容积的检定方法有：静态容积法、尺寸测量法、动态容积法和动态质量法。静态容积法、尺寸测量法和动态容积法检定用的仪器设备见表 2 和表 3。动态质量法检定用的仪器设备见附录 B。

表 2 静态容积法和动态容积法检定用的主要仪器和配套设备

| 序号 | 动态容积法设备名称 | 静态容积法设备名称 | 技术要求 |
|----|-----------|-----------|--|
| 1 | 量入式金属量器 | 量出式金属量器 | 二等 |
| 2 | 换向器（动态法） | —— | —— |
| 3 | 温度计 | 温度计 | 不确定度优于 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($k=2$) |
| 4 | 秒表 | 秒表 | 分辨力优于 0.1 s |
| 5 | 传递标准表 | 传递标准表 | 重复性优于 0.2% |

表 3 尺寸测量法检定用的主要仪器和配套设备

| 序号 | 设备名称 | 技术要求 | 作用 |
|---------------------------------------|---------------------------|---|------------------|
| 1 | π 尺 (直径尺) | $D < 500\text{ mm}$, MPE: $\pm 0.05\text{ mm}$, 分度值 $\leq 0.01\text{ mm}$ | 测量钟罩直径 密封液槽直径 |
| | | $500\text{ mm} \leq D < 1\ 100\text{ mm}$, MPE: $\pm 0.06\text{ mm}$, 分度值 $\leq 0.02\text{ mm}$ | |
| | | $1\ 100\text{ mm} \leq D < 2\ 100\text{ mm}$, MPE: $\pm 0.08\text{ mm}$, 分度值 $\leq 0.02\text{ mm}$ | |
| | | $2\ 100\text{ mm} \leq D < 3\ 000\text{ mm}$, MPE: $\pm 0.10\text{ mm}$, 分度值 $\leq 0.02\text{ mm}$ | |
| 2 | 激光跟踪仪 | MPE: $\pm 0.015\text{ mm}$ | 测量钟罩内径 |
| 3 | 游标卡尺 (钢直尺或测高仪 或干涉仪) | MPE: $\pm 0.05\text{ mm}$ | 测量高度 |
| 4 | 游标卡尺或 超声波测厚仪 | MPE: $\pm 0.05\text{ mm}$ | 测量厚度和长度 |
| 5 | 传递标准表 | 重复性优于 0.2% | 量值偏差验证 |
| 注：其中激光跟踪仪、或者干涉仪选配，一般适合用于高准确度钟罩安装前的测量。 | | | |

7.1.2 检定环境条件

环境温度一般为： $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ ；

大气压力一般为： $(86 \sim 106)$ kPa；

相对湿度： $30\% \sim 85\%$ 。

7.2 检定项目

首次检定、后续检定和使用中检查的项目见表 4。

新制造的钟罩圆度出厂检测要求见附录 C。

表 4 检定项目一览表

| 序号 | 检定项目 | 检定类别 | | |
|----|------|------|------|-------|
| | | 首次检定 | 后续检定 | 使用中检查 |
| 1 | 外观 | + | + | — |
| 2 | 密封性 | + | + | + |
| 3 | 压力波动 | + | + | + |
| 4 | 标准容积 | + | + | — |
| 5 | 脉冲系数 | + | + | + |
| 6 | 量值偏差 | + | + | — |

注：“+”表示需检定，“—”表示不需检定。

7.3 检定方法

7.3.1 外观

用目测的方法检查钟罩，外观和工作状态正常。铭牌和标记应符合 4.5 的要求。测量控制系统开机预热和试运行正常。

7.3.2 密封性

在环境温度稳定的情况下，把罩体升到某一高度位置并关闭阀门。待罩体静止、罩体内气体温度平衡后，在罩体标尺上做好标志（也可采用位移传感器、编码器或者光栅尺显示值作为判断依据）。稳定 10 min 后，检查罩体位置，如其位置标志无变化，则密封性合格。

7.3.3 压力波动

在试验管道上安装微压计，将罩体升到最高位置。待钟罩稳定后，打开阀门使钟罩以最大流量下降，观察压力计读数，记录钟罩下降过程中压力最大变化量为该钟罩的压力波动。压力波动应符合表 1 的要求。

7.3.4 钟罩标准容积的检定

7.3.4.1 静态容积法

1) 静态容积法检定系统如图 4 所示。

2) 检定前向液槽内充液到一定高度，并在水池内储存足够量的清洁水，放置一段时间使钟罩内的气温、水池内的水温和液槽内的液体温度三者之差符合表 5 的规定。

3) 选择适当量限的标准量器，标准量器的容积与钟罩的检定段容积比一般不小于

1 : 5。

4) 将钟罩升到最高位置, 按装置规定的稳定时间使钟罩稳定, 建议一般 2 min。

5) 将标准量器充满水, 用软管将钟罩的排气导管和标准量器进气口连接, 打开阀门 4, 使钟罩与密封容器上部空间相连, (两者间连接管段尽可能短)。用阀门 3 调节钟罩的起始点, 测出大气压力和钟罩内气温 (或室温) 等。钟罩与密封容器连接后确保其密封性。

6) 按与标准量器规定的放水时间相应的流量, 调节日门 11, 将标准量器内的水放入水池内, 这时钟罩内的气体进入标准量器内。当标准量器内的水位下降到刻线时 (或用 U 型管自动对线) 依次关闭阀门 11 和 4, 测出大气压力和钟罩内气温 (或室温) 等。

7) 从排气口 5 处取下软管。按照步骤 4) ~ 步骤 6) 重复做下去, 直至该检定段的上限。从标尺上读出钟罩下降的高度, 完成第一次检定。

8) 按步骤 4) ~ 步骤 7) 的程序完成 n ($n \geq 6$) 次检定。

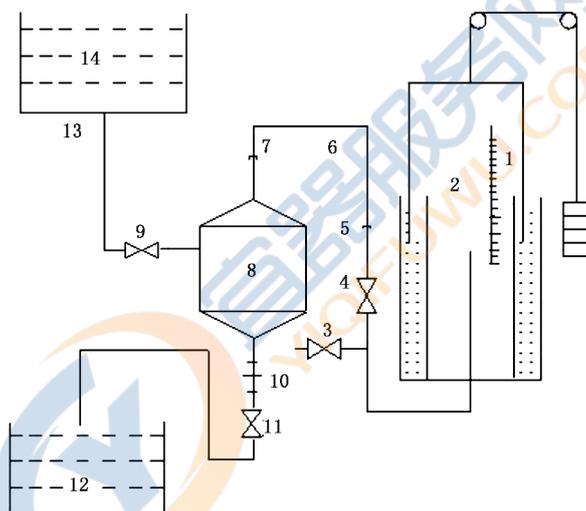


图 4 静态容积法检定系统示意图

1—标尺; 2—钟罩; 3—钟罩微调阀门; 4—钟罩排气阀; 5—钟罩排气口; 6—软管; 7—标准量器排气口; 8—标准量器; 9—进水阀门; 10—标准量器 0 点刻线; 11—标准量器出水阀门及可调弯管; 12—水池; 13—进水管; 14—高位水箱

9) 检定完成后, 如需要安装挡板, 要准确安装。

10) 计算平均高度、标准容积:

钟罩标准容积计算式见公式 (1):

$$V = V_s [1 + (\alpha_1 + 2\alpha_2 - 3\alpha_3)(20 - \theta)] \quad (1)$$

式中:

V ——钟罩标准容积, L;

V_s ——标准金属量器的标准容积值, L;

θ —— n 次检定中测得的罩体内气体平均温度, $^{\circ}\text{C}$;

α_1 、 α_2 、 α_3 ——分别为标尺、钟罩罩体和标准量器的线膨胀系数。

读取标尺高度来确定钟罩标准容积对应平均高度 \bar{H} , 计算见公式 (2):

$$\bar{H} = \frac{\sum_{i=1}^n H_i}{n} \quad (2)$$

式中：

H_i ——第 i 次检定测得的钟罩下降高度。

表 5 检定时允许的温度、大气压力变化

| 装置准确度等级 | 钟罩内气温（或室温）变化/℃ | 大气压力变化/Pa |
|---------|----------------|-----------|
| 0.2 | 0.2 | 40 |
| 0.3/0.5 | 0.5 | 80 |

7.3.4.2 动态容积法

1) 动态容积法检定系统如图 5 所示。

2) 检定前向液槽内充液到一定高度，并在水池内储存足够的清洁水。放置一段时间使罩内气温、水温和液槽的液体温度三者间之差符合表 1 的要求。

3) 装好钟罩检定段的上、下挡板。若分几个检定段，则装好每段的上、下挡板。

4) 选择适当的标准量器，标准量器的容积与钟罩的检定段容积比一般不小于 1 : 5。

5) 依次打开阀门 8、9 和 11，将换向器换向至回流管，启动水泵，关闭阀门 11。待密封容器内充满水后，依次关闭阀门 8、9 和水泵。

6) 开启阀门 13，将钟罩提升至最高位置。关闭阀门 13，打开阀门 10，使钟罩与密封容器上部空间相连（两者间的连接管段容积要尽量小），钟罩与密封容器连接后确保其密封性。待钟罩稳定后（记录稳定时间，每次检定的稳定时间应与后续使用稳定时间保持一致，建议一般不短于 2 min）开始检定。测量大气压力和钟罩内气温。

7) 打开阀门 11，钟罩开始下降，密封容器内的水经换向器和回流管流入水池中。当下挡板触发光电发讯器时，光电发讯器发出信号使换向器换向，将水流导向到标准量器中。当上挡板触发光电发讯器时，光电发讯器再次将换向器换向，水经回流管导入水池中。

8) 关闭阀门 11，读出标准量器的容积值。完成第一次检定。每一次检定过程中，如果钟罩内气温变化超过表 1 规定，将此次数据舍去。

9) 按步骤 6) ~ 步骤 9) 所述程序完成 n ($n \geq 6$) 次检定。

10) 如图 5 所示的方法称为右向检定。将图 5 中的标准量器和回流管互换位置，仿照步骤 6) ~ 步骤 9) 做左向检定（检定次数与右向检定相同）。

11) 若用两个准确度相同的标准量器分别放在换向器的左右侧（标准量器兼有回流管的作用），而且在一次检定中换向器的换向次数是奇数，可仿照步骤 6) ~ 步骤 9) 进行检定而不做左右向检定。此时，标准容积为一次检定中两个标准量器所测容积的和。

12) 不符合步骤 11) 的规定，只做右向检定，则需测出换向器平均左、右行程时间差以计算换向器的不确定度。

13) 计算标准容积:

$$V_i = V_{si} [1 + (\alpha_1 + 2\alpha_2 - 3\alpha_3)(20 - \theta_i)] \quad (3)$$

式中:

V_i ——第 i 次检定的标准容积, L;

V_{si} ——第 i 次检定由标准量器读取的容积, L;

α_1 、 α_2 、 α_3 ——标尺、钟罩和标准量器的线膨胀系数, $^{\circ}\text{C}^{-1}$ (见附录 D);

θ_i ——第 i 次检定测得的钟罩内气体温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

若 $|20 - \theta_i| < 5$, 可认为 $V_i = V_{si}$ 。

标准容积平均值 \bar{V} 的计算见公式 (4):

$$\bar{V} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i \quad (4)$$

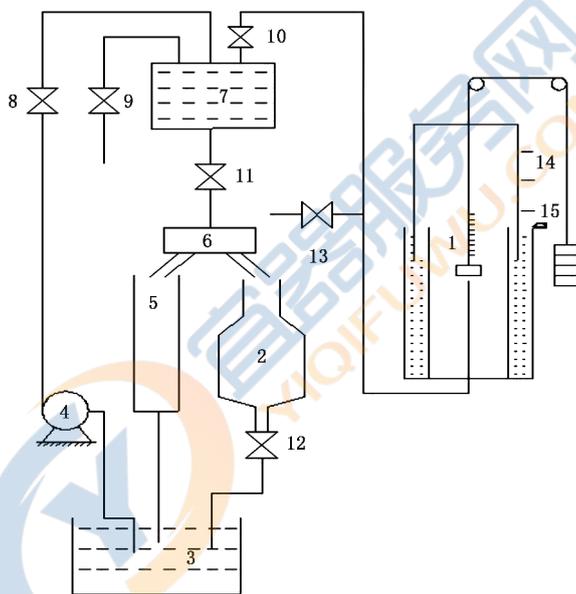


图5 动态容积法检定系统示意图

1—钟罩; 2—标准量器 (量入式); 3—水池; 4—水泵; 5—回流管; 6—换向器; 7—密封容器;
8、9、10、11、12、13—阀门; 14、15—上、下挡板

7.3.4.3 尺寸测量法

a) 对于不带液位补偿机构 (液位变化) 钟罩的测量方法

1) 确定位置: 图 6a) 是钟罩处于下挡板对准光电发讯器的位置, 钟罩内的液面为 A , 外面的液面 (环行平面) 为 B , 把此时的钟罩与 A 液面重合的横截面定为下截面。图 6b) 是钟罩处于上挡板对准光电发讯器的位置, 钟罩内的液面由 A 升到 A' , 外面的液面由 B 升到 B' , 把此时的钟罩与 A' 液面重合的横截面定为上截面。与上、下截面等距的截面定为中截面。

将钟罩调到图 6a) 所示的位置。用尺子测出下挡板到液面 B 的垂直距离, 用 U 型管压力计 (内装液体与装置液槽内的液体相同), 一端与钟罩内导气管接通, 另一端通大气, 测出 U 型管压力计的液面差。用尺子从下挡板往下量出钟罩的一段垂直距离, 使其等于下挡板到液面 B 垂直距离与 U 型管压力计液面差之和; 将这段距离的终点标

记在钟罩上作为下截面的位置。

按同样的方法，参照图 6b)，确定上截面的位置。将上下截面标记连线的中点标记在钟罩上，作为中截面的位置。

2) 确定水平面：将钟罩升起，使其下截面的标记露出液面 B 适当高度。将浮标放入液槽内，读取该标记在液面 B 以上的高度，然后围绕钟罩移动浮标，将此高度在钟罩圆周上均匀地做 4 个标记。仿照此方法确定中截面和上截面的水平面标记。

3) 测量直径：用直径尺分别对上、中、下截面进行各 3 次（共 9 次）直径测量，每次测量时，直径尺的下缘（或上缘）要与被测截面的 4 个标记对齐。

4) 计算平均直径 \bar{d} ：

$$\bar{d} = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^n d_i \quad (5)$$

式中：

d_i ——第 i 次测量的直径值。

5) 测量高度 H ：将钟罩升起，使其下挡板高出光电发讯器，然后使钟罩缓慢下降，观测下挡板的下缘通过光电发讯器的位置，并标记在下缘处。按同样的方法标记出上挡板的下缘通过光电发讯器的位置。用测高仪或尺子连续 6 次测量上、下挡板标记处下缘间的高度 H 。

6) 计算 H 平均值：

$$\bar{H} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 H_i \quad (6)$$

式中：

H_i ——第 i 次测量的高度。

7) 测量标尺体积 V_{sc} ：用卡尺测出标尺的厚度 e 和宽度 B （在标尺的上、中、下各测一次，取 3 次的平均值），计算 V_{sc} ：

$$V_{sc} = \bar{H}eB \quad (7)$$

8) 测量钟罩外侧液槽内液体从液面 B 到液面 B' （见图 6）升高的体积 V_T ：将钟罩调到图 6a) 所示的位置，在液槽的液位计上记下液面 B 的高度。再将钟罩调到图 6b) 所示的位置，记下液面 B' 的高度。测量液面 B 和 B' 的高度差 h 。按此方法连续做 3 次测量，取其平均值 \bar{h} 。用直径尺测出液槽外径，用卡尺测出其壁厚，算出其液槽内径 D ，或用尺子直接测出其内径 D 。计算液位变化的体积 V_T ：

$$V_T = \frac{\pi}{4} [D^2 - (\bar{d})^2] \bar{h} \quad (8)$$

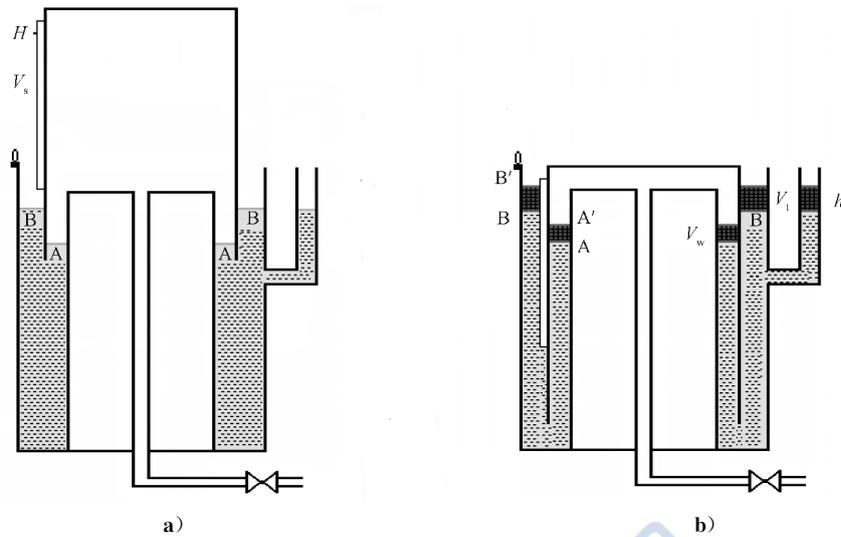


图 6 尺寸测量法示意图

9) 计算钟罩的标准容积 V ：

$$V = \left[\frac{\pi}{4} (\bar{d})^2 \bar{H} + V_{sc} - V_T \right] [1 + (\alpha_1 + 2\alpha_2 - \alpha_4 - 2\alpha_5)(20 - \theta)] \quad (9)$$

式中：

α_4 ——测 H 用的测高仪或尺子的线膨胀系数；

α_5 ——直径尺的线膨胀系数。

若 $|20 - \theta| < 5$ ，则认为：

$$V = \frac{\pi}{4} (\bar{d})^2 \bar{H} + V_{sc} - V_T \quad (10)$$

10) 若钟罩分为若干检定段，各段按同样的方法检定，取其中最大的不确定度为容积的不确定度。

b) 对于带液位补偿机构（液位不变）钟罩的测量

1) 直接测量钟罩内径法

把罩体分 m 个截面，每个截面分别测量 3 次，取 $m \times 3$ 次的平均值作为平均钟罩内直径。使用 π 尺测量钟罩外直径 3 次求平均 \bar{d} ；再测量罩体的壁厚 3 次求平均 \bar{w}_h 。

$$d_n = \bar{d} - 2\bar{w}_h \quad (11)$$

3 次以上测量，计算平均钟罩内直径 \bar{d}_n 。

计算钟罩的标准容积 V ：

$$V = \left[\frac{\pi}{4} (\bar{d}_n)^2 \bar{H} \right] [1 + (\alpha_1 + 2\alpha_2 - \alpha_4 - 2\alpha_5)(20 - \theta)] \quad (12)$$

若 $|20 - \theta| < 5$ ，则认为：

$$V = \frac{\pi}{4} (\bar{d}_n)^2 \bar{H} \quad (13)$$

2) 补偿柱体计算法

测量补偿柱体的直径 3 次求平均 \bar{d}_z ，计算对应高度补偿柱体的体积：

$$V_z = \frac{\pi}{4} (\bar{d}_z)^2 \bar{H} \quad (14)$$

若 $|20 - \theta| < 5$ ，则认为钟罩的标准容积 V ：

$$V = \frac{\pi}{4} (\bar{d})^2 \bar{H} - V_z \quad (15)$$

7.3.5 测量控制系统的检定

7.3.5.1 对有配套测量控制系统的钟罩，钟罩脉冲系数的检定见附录 E。

7.3.5.2 配套的温度、压力传感器应有有效的检定或校准证书。

7.3.5.3 如果计时器（模块）或者测量控制系统的晶振频率为 5 MHz 以上，时频所引入的不确定分量可忽略。

7.3.6 流量量值的验证

采用稳定性好的气体标准表对钟罩的流量量值进行验证。通过标准表以比对的方式实现上下级不同钟罩之间的流量量值验证。流量量值的验证详见附录 F。

7.3.7 钟罩的周期稳定度

后续检定的钟罩，钟罩的标准容积按公式（16）或者钟罩的脉冲系数按照公式（17）计算钟罩的周期稳定度 W_i ：

$$W_i = \left| \frac{V_2 - V_1}{V_1} \right| \times 100\% \quad (16)$$

$$W_i = \left| \frac{K_2 - K_1}{K_1} \right| \times 100\% \quad (17)$$

式中：

W_i ——被检钟罩的周期稳定度；

V_2 和 K_2 ——分别为被检钟罩的本次检定的标准容积和本次检定的脉冲系数；

V_1 和 K_1 ——分别为被检钟罩的上次检定的标准容积和上次检定的脉冲系数。

钟罩的周期稳定度要小于相应准确度等级的不确定度的 2 倍。

7.3.8 仲裁检定

仲裁检定优先采用尺寸测量法。

8 检定结果的处理

检定合格的钟罩发给检定证书；检定不合格的钟罩发给检定结果通知书，并注明不合格项目。检定证书参考格式见附录 G。

9 检定周期

钟罩的检定周期不应超过 3 年。钟罩标准装置如搬迁移动后需要重新检定。

附录 A

钟罩流量测量不确定度评定示例

A.1 对标准容积检定的不确定度评定

钟罩容积的检定分为容积法和尺寸法两类，以下分别评估示例。

A.1.1 容积法

容积法检定分静态容积法和动态容积法。

A.1.1.1 静态容积法不确定度计算

A.1.1.1.1 钟罩标准容积按正文公式 (A.1) 计算，数学表达式如下：

$$V = V_s [1 + (\alpha_1 + 2\alpha_2 - 3\alpha_3)(20 - \theta)] \quad (\text{A.1})$$

标准容积的标准不确定度按公式 (A.2) 计算：

$$u_{cr}(V) = \left[\begin{aligned} &c_r^2(V)u_r^2(V) + c_r^2(V_s)u_r^2(V_s) + c_r^2(\alpha_1)u_r^2(\alpha_1) + \\ &c_r^2(\alpha_2)u_r^2(\alpha_2) + c_r^2(\alpha_3)u_r^2(\alpha_3) + c_r^2(\theta)u_r^2(\theta) \end{aligned} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{A.2})$$

式中：

$u_r(V)$ ——标准容积测量重复性引入的相对标准不确定度分量；

$u_r(V_s)$ ——标准金属量器引入的相对标准不确定度分量；

$u_r(\alpha_1)$ ——标尺线膨胀系数引入的相对标准不确定度分量；

$u_r(\alpha_2)$ ——钟罩罩体线膨胀系数引入的相对标准不确定度分量；

$u_r(\alpha_3)$ ——标准金属量器线膨胀系数引入的相对标准不确定度分量；

$u_r(\theta)$ ——钟罩罩体内气体温度测量引入的相对标准不确定度分量。

A.1.1.1.2 各不确定度分量的评定。

1) 标准容积的测量重复性引入的相对标准不确定度

计算罩体的平均下降高度：

$$\bar{H} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_i \quad (\text{A.3})$$

表 A.1 静态容积法检定 200 L 钟罩的下降高度的示例

| 检定序号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 高度 H/mm | 850.3 | 850.6 | 850.8 | 850.2 | 850.1 | 850.4 |

按照正文描述的检定方法，静态容积法的特点是标准金属量器的容积值是固定的，检定时通过读取罩体的下降高度来确定钟罩的标准容积，故将钟罩下降高度的重复性（包括读数分辨力）作为标准容积的测量重复性，则相对标准不确定度和相对灵敏系数分别为：

$$u_r(V) = \frac{1}{\bar{H}} \left[\frac{\sum_{i=1}^n (H_i - \bar{H})^2}{n(n-1)} \right]^{1/2} \times 100\% = 0.0125\% \quad (\text{A.4})$$

$$c_r(V) = 1$$

2) 标准金属量器引入的相对标准不确定度

使用二等标准金属量器, 即 $U_r(V_s) = 0.025\%$, 按矩形分布考虑, 则其相对标准不确定度和相对灵敏系数分别为:

$$u_r(V_s) = \frac{U_r(V_s)}{\sqrt{3}} = \frac{0.025\%}{\sqrt{3}} \approx 0.0144\% \quad (\text{A. 5})$$

$$c_r(V_s) = \frac{V_s}{V} \cdot \frac{\partial V}{\partial V_s} = 1$$

3) 标尺线膨胀系数引入的相对标准不确定度

标尺的材料为不锈钢, 取 $\alpha_1 = 16.8 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, 检定温度在 $(15 \sim 25)^\circ\text{C}$ 时, 设其输入不确定度 $U_r(\alpha_1) = 5\%$, 按矩形分布考虑, 则其相对标准不确定度和相对灵敏系数分别为:

$$u_r(\alpha_1) = \frac{5\%}{\sqrt{3}} \approx 2.9\% \quad (\text{A. 6})$$

$$c_r(\alpha_1) = \frac{\alpha_1}{V} \cdot \frac{\partial V}{\partial \alpha_1} = \frac{\alpha_1(20 - \theta)}{1 + (\alpha_1 + 2\alpha_2 - 3\alpha_3)(20 - \theta)} \approx \alpha_1(20 - \theta) \quad (\text{A. 7})$$

取 $|20 - \theta| = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$, 则 $|c_r(\alpha_1)| = 8.40 \times 10^{-5}$ 。

4) 钟罩罩体线膨胀系数引入的相对标准不确定度

钟罩罩体的材料为不锈钢, 取 $\alpha_2 = 16.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, 检定温度在 $(15 \sim 25)^\circ\text{C}$ 时, 设其输入不确定度 $U_r(\alpha_2) = 2\%$, 按矩形分布考虑, 则其相对标准不确定度和相对灵敏系数分别为:

$$u_r(\alpha_2) = \frac{2\%}{\sqrt{3}} \approx 1.2\% \quad (\text{A. 8})$$

$$c_r(\alpha_2) = \frac{\alpha_2}{V} \cdot \frac{\partial V}{\partial \alpha_2} = \frac{2\alpha_2(20 - \theta)}{1 + (\alpha_1 + 2\alpha_2 - 3\alpha_3)(20 - \theta)} \approx 2\alpha_2(20 - \theta) \quad (\text{A. 9})$$

取 $|20 - \theta| = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$, 则 $|c_r(\alpha_2)| = 1.65 \times 10^{-4}$ 。

5) 标准金属量器线膨胀系数引入的相对标准不确定度

标准金属量器的材料为不锈钢, 取 $\alpha_3 = 16.8 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, 检定温度在 $(15 \sim 25)^\circ\text{C}$ 时, 设其输入不确定度 $U_r(\alpha_3) = 10\%$, 按矩形分布考虑, 则其相对标准不确定度和相对灵敏系数分别为:

$$u_r(\alpha_3) = \frac{10\%}{\sqrt{3}} \approx 5.8\% \quad (\text{A. 10})$$

$$c_r(\alpha_3) = \frac{\alpha_3}{V} \cdot \frac{\partial V}{\partial \alpha_3} = \frac{-3\alpha_3(20 - \theta)}{1 + (\alpha_1 + 2\alpha_2 - 3\alpha_3)(20 - \theta)} \approx -3\alpha_3(20 - \theta) \quad (\text{A. 11})$$

取 $|20 - \theta| = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$, 则 $|c_r(\alpha_3)| = 2.52 \times 10^{-4}$ 。

6) 罩体内气体温度测量引入的相对标准不确定度

用量程为 $(0 \sim 50)^\circ\text{C}$ 的温度变送器测量钟罩罩体内气体温度, 证书给出其扩展不确定度 $U = 0.10 \text{ } ^\circ\text{C}$ ($k = 2$), 在 $15 \text{ } ^\circ\text{C}$ 时 (此时的标准不确定度最大) 的输入不确定度

$U_r(\theta) = \frac{0.1}{15} \times 100\% \approx 0.67\%$, 则其相对标准不确定度和相对灵敏系数分别为:

$$u_r(\theta) = \frac{0.67\%}{2} \approx 0.34\% \quad (\text{A.12})$$

$$c_r(\theta) = \frac{\theta}{V} \cdot \frac{\partial V}{\partial \theta} = \frac{-(\alpha_1 + 2\alpha_2 - 3\alpha_3)\theta}{1 + (\alpha_1 + 2\alpha_2 - 3\alpha_3)(20 - \theta)} \approx -(\alpha_1 + 2\alpha_2 - 3\alpha_3)\theta \quad (\text{A.13})$$

在 25 °C 时, $|c_r(\theta)| = 1.50 \times 10^{-5}$ 。静态容积法检定钟罩容积不确定度汇总见表 A.2。

表 A.2 静态容积法检定钟罩容积不确定度汇总表

| 序号 | 符号 | 不确定度来源 | 输入量的标准不确定度/% | 灵敏系数 | 输出量的标准不确定度分量/% |
|----|-----------------|--------|--------------|-----------------------|----------------|
| 1 | $u_r(V)$ | 重复性 | 0.012 5 | 1 | 0.012 6 |
| 2 | $u_r(V_s)$ | 标准金属量器 | 0.014 4 | 1 | 0.014 4 |
| 3 | $u_r(\alpha_1)$ | 标尺线胀系数 | 2.9 | 8.4×10^{-5} | 0.000 24 |
| 4 | $u_r(\alpha_2)$ | 罩体线胀系数 | 1.2 | 1.65×10^{-4} | 0.000 20 |
| 5 | $u_r(\alpha_3)$ | 量器线胀系数 | 5.8 | 2.52×10^{-4} | 0.001 46 |
| 6 | $u_r(\theta)$ | 罩体内温度 | 0.34 | 1.50×10^{-5} | 0.000 01 |

将上述各量代入到公式 (A.2) 中, 得到 $u_{cr}(V) = 0.019\%$ 。

A.1.1.1.3 相对扩展不确定度计算:

取 $k=2$, 则 $U_r(V) = 2 \times u_{cr}(V) = 0.038\%$ 。

A.1.1.2 动态容积法不确定度计算

动态容积法配置换向器和标准金属量器。钟罩标准容积按正文公式 (A.12) 计算, 数学表达式如下:

$$V_i = V_{si} [1 + (\alpha_1 + 2\alpha_2 - 3\alpha_3)(20 - \theta_i)] \quad (\text{A.14})$$

1) 标准容积的不确定度按下式计算

$$u_r(V) = [c_r^2(V)u_r^2(V) + c_r^2(V_s)u_r^2(V_s) + c_r^2(\alpha_1)u_r^2(\alpha_1) + c_r^2(\alpha_2)u_r^2(\alpha_2) + c_r^2(\alpha_3)u_r^2(\alpha_3) + c_r^2(\theta)u_r^2(\theta) + c_r^2(t)u_r^2(t)]^{1/2} \quad (\text{A.15})$$

式中:

$u_r(V)$ ——标准容积的测量重复性引入的相对标准不确定度, %;

$u_r(V_s)$ ——标准金属量器的引入的相对标准不确定度, %;

$u_r(\alpha_1)$ ——标尺线膨胀系数引入的相对标准不确定度, %;

$u_r(\alpha_2)$ ——钟罩罩体线膨胀系数引入的相对标准不确定度, %;

$u_r(\alpha_3)$ ——标准金属量器线膨胀系数引入的相对标准不确定度, %;

$u_r(\theta)$ ——罩体内气体温度测量引入的相对标准不确定度, %;

$u_r(t)$ ——换向器引入的相对标准不确定度, %。

以下分别对各不确定度分量进行评定。

2) 动态容积法检定 200 L 钟罩

表 A.3 标准金属量器的标准容积示例

| 检定序号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 示值 V_i/L | 199.642 | 199.941 | 199.991 | 199.890 | 199.807 | 199.574 |

3) 测量重复性引入的相对标准不确定度

动态容积法的特点是每次检定钟罩下降的高度固定，需要读取标准金属量器的示值来确定钟罩标准容积，故将标准金属量器的示值重复性作为标准容积的测量重复性。

$$\bar{V} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i = 199.808 \text{ L} \quad (\text{A. 16})$$

式中：

n ——测量次数；

V_i ——第 i 次检定时的标准容积，L。

相对标准不确定度：

$$u_r(V) = \frac{1}{\bar{V}} \left[\frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2}{n(n-1)} \right]^{1/2} \times 100\% = 0.0342\% \quad (\text{A. 17})$$

$$c_r(V) = 1$$

4) 标准金属量器引入的相对标准不确定度

用二等标准金属量器，即 $U_r(V_s) = 0.025\%$ ，按矩形分布考虑，则其相对标准不确定度和相对灵敏系数分别为：

$$u_r(V_s) = \frac{U_r(V_s)}{\sqrt{3}} = \frac{0.025\%}{\sqrt{3}} \approx 0.0144\% \quad (\text{A. 18})$$

$$c_r(V_s) = \frac{V_s}{V} \cdot \frac{\partial V}{\partial V_s} = 1$$

5) 标尺线膨胀系数引入的相对标准不确定度

标尺的材料为不锈钢，取 $\alpha_1 = 16.8 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ，检定温度在 $(15 \sim 25)^\circ\text{C}$ 时，设其输入不确定度 $U_r(\alpha_1) = 5\%$ ，按矩形分布考虑，则其相对标准不确定度和相对灵敏系数分别为：

$$u_r(\alpha_1) = \frac{U_r(\alpha_2)}{\sqrt{3}} = 2.9\% \quad (\text{A. 19})$$

$$c_r(\alpha_1) = \frac{\alpha_1}{V} \cdot \frac{\partial V}{\partial \alpha_1} = \frac{\alpha_1(20 - \theta)}{1 + (\alpha_1 + 2\alpha_2 - 3\alpha_3)(20 - \theta)} \approx \alpha_1(20 - \theta) \quad (\text{A. 20})$$

取 $|20 - \theta| = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$ ，则 $|c_r(\alpha_1)| = 8.40 \times 10^{-5}$ 。

6) 钟罩罩体线膨胀系数引入的相对标准不确定度

钟罩罩体的材料为不锈钢，取 $\alpha_2 = 16.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ，检定温度在 $(15 \sim 25)^\circ\text{C}$ 时，设其输入不确定度 $U_r(\alpha_2) = 2\%$ ，按矩形分布考虑，则其相对标准不确定度和相对灵敏系数分别为：

$$u_r(\alpha_2) = \frac{U_r(\alpha_2)}{\sqrt{3}} = 1.2\% \quad (\text{A. 21})$$

$$c_r(\alpha_2) = \frac{\alpha_2}{V} \cdot \frac{\partial V}{\partial \alpha_2} = \frac{2\alpha_2(20 - \theta)}{1 + (\alpha_1 + 2\alpha_2 - 3\alpha_3)(20 - \theta)} \approx 2\alpha_2(20 - \theta) \quad (\text{A. 22})$$

取 $|20 - \theta| = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ，则 $|c_r(\alpha_2)| = 1.65 \times 10^{-4}$ 。

7) 标准金属量器线膨胀系数引入的相对标准不确定度

标准金属量器的材料为不锈钢，取 $\alpha_3 = 16.8 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ，检定温度在 $(15 \sim 25) \text{ }^\circ\text{C}$ 时，设其输入不确定度 $U_r(\alpha_3) = 10\%$ ，按矩形分布考虑，则其相对标准不确定度和相对灵敏系数为：

$$u_r(\alpha_3) = \frac{U_r(\alpha_3)}{\sqrt{3}} \approx 5.8\% \quad (\text{A. 23})$$

$$c_r(\alpha_3) = \frac{\alpha_3}{V} \cdot \frac{\partial V}{\partial \alpha_3} = \frac{-3\alpha_3(20 - \theta)}{1 + (\alpha_1 + 2\alpha_2 - 3\alpha_3)(20 - \theta)} \approx -3\alpha_3(20 - \theta) \quad (\text{A. 24})$$

取 $|20 - \theta| = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ，则 $|c_r(\alpha_3)| = 2.52 \times 10^{-4}$ 。

8) 罩体内气体温度测量引入的相对标准不确定度

用量程为 $(0 \sim 50) \text{ }^\circ\text{C}$ 的温度变送器测量罩体内气体温度，证书给出不确定度 $U = 0.10 \text{ }^\circ\text{C}$ ($k=2$)，在 $15 \text{ }^\circ\text{C}$ 时（此时的标准不确定度最大）的输入不确定度 $U_r(\theta) = \frac{0.1}{15} \times 100\% \approx 0.67\%$ ，则其相对标准不确定度和相对灵敏系数为：

$$u_r(\theta) = \frac{0.67\%}{2} \approx 0.34\% \quad (\text{A. 25})$$

$$c_r(\theta) = \frac{\theta}{V} \cdot \frac{\partial V}{\partial \theta} = \frac{-(\alpha_1 + 2\alpha_2 - 3\alpha_3)\theta}{1 + (\alpha_1 + 2\alpha_2 - 3\alpha_3)(20 - \theta)} \approx -\theta(\alpha_1 + 2\alpha_2 - 3\alpha_3) \quad (\text{A. 26})$$

在 $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 时， $|c_r(\theta)| = 1.50 \times 10^{-5}$ 。

9) 换向器引入的相对标准不确定度

换向器的检定采用行程差法。使换向器换向 n ($n \geq 10$) 次，分别将换入和换出时间记作 t_{1i} 和 t_{2i} ($i=1, 2, \dots, n$)。表 A.4 为换向器记录示例。

表 A.4 换向器记录示例

| | | | | | | | | | | | |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| t_{1i}/ms | 37.052 | 37.951 | 37.715 | 37.046 | 38.514 | 38.117 | 38.841 | 39.679 | 39.966 | 40.964 | 40.622 |
| t_{2i}/ms | 34.018 | 34.515 | 35.201 | 35.902 | 36.745 | 37.487 | 38.037 | 39.185 | 38.454 | 39.324 | 39.140 |

按下式计算平均值：

$$t_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{1i} = 38.7697 \text{ ms} \quad (\text{A. 27})$$

$$t_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{2i} = 37.0914 \text{ ms} \quad (\text{A. 28})$$

计算换向器换入和换出的相对标准不确定度：

$$u_r(t_1) = \frac{1}{t_{\min} \left[\frac{\sum_{i=1}^n (t_{1i} - t_1)^2}{n-1} \right]^{1/2}} \quad (\text{A. 29})$$

$$u_r(t_2) = \frac{1}{t_{\min} \left[\frac{\sum_{i=1}^n (t_{2i} - t_2)^2}{n-1} \right]^{1/2}} \quad (\text{A. 30})$$

式中：

t_{\min} ——钟罩一次工作的最短测量时间，取 30 s。

换向器时间差引入的相对标准不确定度：

$$u_r(\Delta t) = \frac{t_1 - t_2}{4t_{\min}} \quad (\text{A. 31})$$

换向器引入的相对标准不确定度为：

$$u_r(t) = \sqrt{u_r^2(t_1) + u_r^2(t_2) + u_r^2(\Delta t)} = 0.008\ 0\% \quad (\text{A. 32})$$

$$c_r(t) = 1$$

10) 动态容积法检定钟罩容积不确定度汇总见表 A. 5。

表 A. 5 动态容积法检定钟罩容积不确定度一览表

| 序号 | 符号 | 来源 | 输入量的标准不确定度/% | 灵敏系数 | 输出量的标准不确定度分量/% |
|----|------------|-------------|--------------|-----------------------|----------------|
| 1 | V | 标准容积的测量重复性 | 0.034 2 | 1 | 0.034 2 |
| 2 | V_s | 标准量器 | 0.014 4 | 1 | 0.014 4 |
| 3 | α_1 | 标尺线膨胀系数 | 2.9 | 8.40×10^{-5} | 0.000 24 |
| 4 | α_2 | 钟罩罩体线膨胀系数 | 1.2 | 1.65×10^{-4} | 0.000 20 |
| 5 | α_3 | 标准金属量器线膨胀系数 | 5.8 | 2.52×10^{-4} | 0.001 46 |
| 6 | θ | 罩体内气体温度 | 0.34 | 1.50×10^{-5} | 0.000 01 |
| 7 | t | 换向器 | 0.008 0 | 1 | 0.008 0 |

注：
 1 合成标准不确定度： $u_{cr}(V) = 0.038\%$ 。
 2 相对扩展不确定度： $U_r(V) = 0.076\%$ ， $k = 2$ 。

11) 计算相对扩展不确定度

将上述各量代入到公式 (A. 13) 中，得到 $u_{cr}(V) = 0.038\%$ 。

扩展不确定度为：

$$U_r = k u_{cr} \quad (\text{A. 33})$$

取包含因子 $k = 2$ ，则 $U_r(V) = 2 \times u_{cr}(V) = 0.076\%$ 。

A. 1. 2 尺寸测量法

A. 1. 2. 1 钟罩的标准容积 V

使用不确定度 $U_\pi = 0.01\text{ mm}$ ($k = 2$) 的 π 尺，分辨力 0.01 mm 的游标卡尺检定一套 200 L 的钟罩，采用下式计算钟罩罩体的标准容积 V：

$$V = \left[\frac{\pi}{4} (\bar{d})^2 \bar{H} + V_{sc} - V_T \right] [1 + (\alpha_1 + 2\alpha_2 - \alpha_4 - 2\alpha_5)(20 - \theta)] \quad (\text{A. 34})$$

若 $|20 - \theta| < 5$ ，可不考虑材料膨胀带来的影响，钟罩一般在恒温条件下工作，因此公式 (A.34) 可简化为：

$$V = \frac{\pi}{4} (\bar{d})^2 \bar{H} + V_{sc} - V_T \quad (\text{A.35})$$

若钟罩罩体分为若干检定段，各段按同样的方法检定，取其中最大的不确定度为标准容积的不确定度。

A.1.2.2 计算平均直径及其不确定度

按下式计算平均直径：

$$\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i = 553.66 \text{ mm} \quad (\text{A.36})$$

式中：

d_i ——第 i 次测量的直径值。

罩体直径测量引入的相对标准不确定度包括两部分。

1) 按下式计算平均直径相对标准不确定度：

$$u_{r1}(\bar{d}) = \frac{1}{\bar{d}} \left[\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n(n-1)} \right]^{1/2} \times 100\% = 0.0024\% \quad (\text{A.37})$$

2) 按下式计算 π 尺所引入的相对标准不确定度：

$$u_{r2}(d) = \frac{U_\pi}{2d} \times 100\% = \frac{0.01}{2 \times 553.66} \times 100\% = 0.001\% \quad (\text{A.38})$$

式中：

U_π —— π 尺的不确定度， $U_\pi = 0.01 \text{ mm}$ ($k=2$)。

表 A.6 钟罩直径测量示例

| 序号 | 下截面 mm | 中截面 mm | 上截面 mm | 总平均值 \bar{d} mm | 标准偏差 σ mm | 平均直径相对 标准不确定度 | π 尺相对标准 不确定度 |
|----|-----------|-----------|-----------|-------------------------|---------------------|------------------|---------------------|
| 1 | 553.64 | 553.73 | 553.62 | 553.66 | 0.041 | 0.0024% | 0.001% |
| 2 | 553.65 | 553.71 | 553.62 | | | | |
| 3 | 553.65 | 553.70 | 553.64 | | | | |

A.1.2.3 测量高度 H 及其不确定度

按下式计算 H 的平均值 \bar{H} ：

$$\bar{H} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_i = 850.2 \text{ mm} \quad (\text{A.39})$$

式中：

H_i ——第 i 次测量的高度。

测量高度引入的相对标准不确定度包括两部分。

1) 按下式计算平均高度的相对标准不确定度：

$$u_{r1}(\bar{H}) = \frac{1}{\bar{H}} \left[\frac{\sum_{i=1}^n (H_i - \bar{H})^2}{n(n-1)} \right]^{1/2} \times 100\% = 0.0061\% \quad (\text{A. 40})$$

2) 按下式计算测高尺所引入的相对标准不确定度:

$$u_{r2}(H) = \frac{U_G}{2H} \times 100\% = 0.0059\% \quad (\text{A. 41})$$

式中:

U_G ——测高尺的测量不确定度, $U_G = 0.1 \text{ mm}$, $k = 2$ 。

表 A.7 钟罩高度测量示例

| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 平均值 H | 标准偏差 σ_H | 平均高度相对标准不确定度 | 测高尺相对标准不确定度 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|--------------------|--------------|-------------|
| 高度 mm | 850.1 | 850.2 | 850.1 | 850.3 | 850.1 | 850.4 | 850.2 | 0.127 | 0.0061% | 0.0059% |

A.1.2.4 测量标尺体积 V_{sc}

用卡尺测出标尺的厚度 e 和宽度 B (在标尺的上、中、下各测 1 次, 取 3 次的平均值), 计算 V_{sc} :

$$V_{sc} = \bar{H}eB \quad (\text{A. 42})$$

式中:

\bar{H} ——钟罩测量有效高度。

由标尺体积 V_{sc} 引入的测量不确定度分量非常小, 可忽略。

A.1.2.5 测量罩体外侧液槽内液体液面升高的体积 V_T

将钟罩罩体调到图 6a) 所示的位置, 在液槽的液位计上记下液面 B 的高度。再将钟罩罩体调到图 6b) 所示的位置, 记下液面 B' 的高度。测量液面 B 和 B' 的高度差 h 。按此方法连续做 3 次测量, 取其平均值 \bar{h} 。用 π 尺测出液槽外径, 用卡尺测出其壁厚, 算出其液槽内径 D , 或用尺子直接测出其内径 D 。计算 V_T :

$$V_T = \frac{\pi}{4} [D^2 - (\bar{d})^2] \bar{h} \quad (\text{A. 43})$$

式中:

\bar{d} ——按公式 (A.34) 求得的钟罩罩体外径。

由标尺体积 V_T 引入的测量不确定度分量非常小, 可忽略。

A.1.2.6 标准容积相对标准不确定度

忽略 V_{sc} 、 V_T 测量不确定度的影响后, 标准容积相对标准不确定度:

$$u_r(V) = [4u_{r1}^2(\bar{d}) + 4u_{r2}^2(d) + u_{r1}^2(\bar{H}) + u_{r2}^2(H)]^{1/2} \quad (\text{A. 44})$$

其中相对灵敏系数: $c_r(\bar{d}) = 2, c_r(d) = 2, c_r(\bar{H}) = 1, c_r(H) = 1$ 。

尺寸法检定钟罩容积不确定度汇总见表 A.8。

表 A.8 尺寸法检定钟罩容积不确定度一览表

| 序号 | 来源 | 输入量的标准不确定度/% | 灵敏系数 | 输出量的标准不确定度分量/% |
|--|--------------|--------------|------|----------------|
| 1 | 直径的测量重复性 | 0.002 4 | 2 | 0.004 8 |
| 2 | π 尺 | 0.001 | 2 | 0.002 |
| 3 | 测量高度 H 重复性 | 0.006 1 | 1 | 0.006 1 |
| 4 | 测高尺 | 0.005 9 | 1 | 0.005 9 |
| 注： 1 合成标准不确定度： $u_c(V)=0.010\%$ 。 2 相对扩展不确定度： $U_r(V)=0.020\%$ ， $k=2$ 。 | | | | |

A.2 钟罩的流量测量扩展不确定度

经过容积法或者尺寸法检定钟罩容积，给出容积的测量不确定度。钟罩的流量测量扩展不确定度需要按照钟罩运行模式分为以下三类分别讨论。

A.2.1 手动操作方式的钟罩

一般采用启停法手动操作钟罩，需要考虑钟罩标尺读数和操作引入的附加不确定度分量 $u_{r1}(A_D)$ ，根据操作熟练程度和水平决定，一般为 $0.03\% \sim 0.1\%$ 。

累积流量的合成标准不确定度：

$$u_r(Q) = [u_r^2(V) + u_{r1}^2(A_D)]^{1/2} \quad (\text{A.45})$$

其中相对灵敏系数绝对值都是 1。

手动操作方式的钟罩测量瞬时流量要配置秒表，需要考虑秒表操作引入的附加不确定度分量 $u_{r2}(t)$ ，根据操作熟练程度和水平决定，一般为 $0.01\% \sim 0.05\%$ 。

瞬时流量的合成标准不确定度：

$$u_r(q) = [u_r^2(V) + u_{r1}^2(A_D) + u_{r2}^2(t)]^{1/2} \quad (\text{A.46})$$

其中相对灵敏系数绝对值都是 1。

A.2.2 光电挡板计时器方式操作的钟罩

光电挡板计时器操作方式的钟罩测量瞬时流量要配置计时器，需要考虑光电挡板安装和计时器所引入的不确定度分量 $u_r(t)$ 。

瞬时流量的合成标准不确定度：

$$u_r(q) = [u_r^2(V) + u_r^2(t)]^{1/2} \quad (\text{A.47})$$

其中相对灵敏系数绝对值都是 1。

计时器的不确定度：

计时器的 A 类相对标准不确定度 s_1 ：

$$s_1 = \frac{1}{t_{\min} \left[\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta t_i - \Delta t)^2}{n-1} \right]^{1/2}} \quad (\text{A.48})$$

计时器的 B 类相对标准不确定度 u_1 ：

$$u_1 = \frac{\Delta t}{2t_{\min}} \times 100\% \quad (\text{A. 49})$$

$$u_r(t) = [s_1^2 + u_1^2]^{1/2} \quad (\text{A. 50})$$

A.2.3 带测量控制系统的钟罩

带测量控制系统钟罩，需要考虑钟罩脉冲系数重复性所引入的不确定度分量 $u_r(K)$ 、温度传感器引入的不确定度分量 $u_r(T)$ 和压力传感器引入的不确定度分量 $u_r(P)$ 。

累积流量的合成标准不确定度：

$$u_r(Q) = [u_r^2(V) + u_r^2(K) + u_r^2(T) + u_r^2(P)]^{1/2} \quad (\text{A. 51})$$

瞬时流量的合成标准不确定度：

$$u_r(q) = [u_r^2(V) + u_r^2(K) + u_r^2(T) + u_r^2(P) + u_r^2(t)]^{1/2} \quad (\text{A. 52})$$

其中相对灵敏系数绝对值都是 1。

钟罩的流量测量扩展不确定度为：

$$U_r = k \times u_r \quad (\text{A. 53})$$

式中：

k ——包含因子，取 $k=2$ 。

附录 B

动态质量法检定标准容积

B.1 检定用主要仪器设备

检定用主要仪器设备见表 B.1。

表 B.1 检定用主要仪器设备

| 序号 | 仪器设备名称 | 技术要求 |
|----|--------------|---|
| 1 | 称重设备（天平或电子秤） | MPE: $\pm 0.02\%$ |
| 2 | 密度计 | 0.2 级, 分度值为 $1 \times 10^{-4} \text{ g/cm}^3$ |
| 3 | 温度计 | 量程为 $0 \text{ }^\circ\text{C} \sim 50 \text{ }^\circ\text{C}$, 分度值为 $0.1 \text{ }^\circ\text{C}$ |

B.2 检定方法

动态质量法检定系统如图 5 所示, 只将标准量器换成称重设备。用动态质量法检定标准容积的方法和要求基本上与动态容积法相同, 只是不用标准量器, 而用称重设备称出水的质量, 用密度计测出水的密度或者查表, 按公式 (B.1) 计算标准容积。

$$V_i = \frac{999.85}{\rho_{\theta_i} - \rho_a} M_i [1 + (\alpha_1 + 2\alpha_2)(20 - \theta_i)] \quad (\text{B.1})$$

式中:

V_i ——第 i 次的标准容积, L;

M_i ——第 i 次由称重设备读取的累积质量, kg;

ρ_{θ_i} ——水在 $\theta_i \text{ }^\circ\text{C}$ 时的密度, kg/m^3 ;

ρ_a ——空气密度, kg/m^3 。

附录 C

罩体圆度

圆度是包容同一横剖面实际轮廓且半径差为最小的两同心圆间的半径之差，即最大包容圆直径与最小包容圆直径之差。圆度误差是圆的形状偏离几何圆的程度。一般使用最小区域法测量圆度误差。

假设钟罩的外圆有以下的偏差（见图 C.1）：

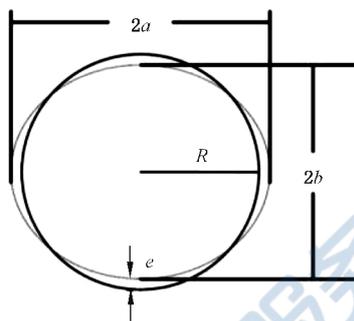


图 C.1 钟罩罩体的圆度示意图

椭圆的周长为：

$$L = 2\pi \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{2}} \quad (\text{C.1})$$

式中：

a ——最大包容圆半径，mm；

b ——最小包容圆半径，mm；

L ——椭圆的周长，mm。

把 $b=R-e$ ， $a=R+e$ 代入上式，得到：

$$L = 2\pi \sqrt{R^2 + e^2} = 2\pi R \sqrt{1 + \left(\frac{e}{R}\right)^2} \approx 2\pi R \left[1 + \frac{1}{2}\left(\frac{e}{R}\right)^2\right] \quad (\text{C.2})$$

式中：

R ——包容圆半径，mm。

用 π 尺测量钟罩外圆的周长时，实际得到的是与之相当的直径的值：

$$D = 2R \left[1 + \frac{1}{2}\left(\frac{e}{R}\right)^2\right] \quad (\text{C.3})$$

式中：

D ——包容圆直径，mm。

对应的面积是：

$$S_0 = \pi R^2 \left[1 + \left(\frac{e}{R}\right)^2\right] \quad (\text{C.4})$$

而椭圆的实际面积是：

$$S = \pi ab = \pi R^2 \left[1 - \left(\frac{e}{R}\right)^2\right] \quad (\text{C.5})$$

因此钟罩的椭圆度带来的面积的相对偏差是：

$$\frac{S_0 - S}{S} \approx 2 \times \left(\frac{e}{R}\right)^2 \quad (\text{C.6})$$

圆度测量方法通常有：回转轴法、三点法、两点法、投影法和坐标法等：

- 1) 回转轴法，如使用圆度仪测量等方法；
- 2) 两点、三点法测量方法，如使用千分尺、V字块测量等方法；
- 3) 投影法，如使用投影仪测量等方法；
- 4) 坐标法，如使用三坐标测量仪等方法。

新制造的钟罩圆度误差应满足表 C.1 的要求。0.2 级（含）以上新制造的钟罩应检测圆度。

表 C.1 圆度误差最大值（典型参考值）

| 序号 | 钟罩罩体规格 L | 钟罩罩体外径 mm | 圆度误差 mm | | | |
|----|-------------|--------------|------------|-------|-------|-------|
| | | | 优于 0.2 级 | 0.2 级 | 0.3 级 | 0.5 级 |
| 1 | 10 | 150~230 | 0.5 | 0.8 | 1.0 | 1.2 |
| 2 | 20 | 180~250 | 0.7 | 1.0 | 1.2 | 1.6 |
| 3 | 50 | 250~400 | 1.0 | 1.5 | 1.5 | 2.0 |
| 4 | 100 | 360~440 | 1.4 | 2.0 | 2.4 | 3.2 |
| 5 | 200 | 450~550 | 1.8 | 2.5 | 3.1 | 4.0 |
| 6 | 500 | 550~800 | 2.1 | 3.0 | 3.7 | 4.7 |
| 7 | 1 000 | 800~1 000 | 2.8 | 4.0 | 4.9 | 6.3 |
| 8 | 2 000 | 1 030~1 200 | 3.7 | 5.2 | 6.4 | 8.2 |
| 9 | 10 000 | 2 000~2 700 | 12 | 20 | 25 | 30 |

附录 D

常用金属材料的温度线膨胀系数

常用金属材料的温度线膨胀系数见表 D.1。

表 D.1 常用金属材料的温度线膨胀系数

| 材料名称 | (0~100)℃ 温度范围的线膨胀系数 $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ |
|---------------------------|--|
| 不锈钢 S30408 (06Cr19Ni10) | 17.2 |
| 不锈钢 S30403 (022Cr19Ni10) | 16.8 |
| 不锈钢 S30480 (06Cr18Ni9Cu2) | 17.3 |
| 不锈钢 S30458 (06Cr19Ni10N) | 16.5 |
| 镍铬合金 | 14.5 |
| 铸钢 | 8.7~11.1 |
| 工程用铜 | 16.6~17.1 |
| 碳钢 | 11.2 |
| 铬钢 | 11.7 |

附录 E

钟罩脉冲系数

E.1 总则

钟罩装置的标准容积的检定后，带测量控制系统的装置需要对钟罩的脉冲系数进行检定。编码器或光栅尺分辨力应满足相应等级钟罩标准装置的不确定度要求。

E.2 检定钟罩脉冲系数

可采用自动或手动的检测方法检定钟罩脉冲系数。对于优于 0.2 级钟罩应采用自动检测方法检定钟罩脉冲系数。

E.2.1 自动检测方法

在钟罩罩体检定段对应的标尺高度的位置处安装挡板或者粘贴相同宽度的取样光标（或其他自动采样方法），安装光电采样器（一般固定安装在钟罩液槽上）自动进行采样、计数，实现动态检定系数。当下挡板触发光电传感器时（或下取样光标触发光电采样器时），开始累计编码器或光栅尺的脉冲。此时，钟罩罩体继续下降，当上挡板触发光电传感器（或上取样光标触发光电采样器时），停止累计编码器或者光栅尺的脉冲。记录检定段的脉冲数 N_i 和钟罩罩体标准的容积值 V_i 。每一个检定段重复进行 n ($n \geq 6$) 次检定。

E.2.2 手动检测方法

先确定标尺相应检定段上、下缘的位置，在下缘位置显示仪清零或者记下编码器或者光栅尺起始脉冲数 N_q ，打开钟罩排气阀，随着钟罩罩体下降，到达上缘位置，关闭钟罩排气阀，记录编码器或者光栅尺终止脉冲数 N_z ，($N_z - N_q$) 是相应检定段的脉冲数 N_i 和钟罩罩体标准的容积值 V_i 。每一个检定段进行 n ($n \geq 6$) 次检定。

E.3 计算钟罩脉冲系数

按公式 (E.1) 计算钟罩脉冲系数：

$$K_i = \frac{N_i}{V_i} \quad (\text{E.1})$$

式中：

K_i ——第 i 次检定的脉冲系数；

N_i ——第 i 次检定时显示仪累计的脉冲数；

V_i ——相应检定段标准容积值。

根据 n 次检定结果计算确定平均脉冲系数：

$$\bar{K} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_i \quad (\text{E.2})$$

E.4 钟罩脉冲系数的重复性

按公式 (E.3) 计算钟罩脉冲系数：

$$K = \frac{N}{V} \quad (\text{E.3})$$

式中：

N ——累计脉冲数；

V ——相应检定段的标准容积。

由于将 n 次测量结果的平均值作为钟罩的脉冲系数，所以重复性引入的相对标准不确定度 $u_r(K_r)$ 计算见公式 (E.4)：

$$u_r(K_r) = \frac{1}{K} \left[\frac{\sum_{i=1}^n (K_i - \bar{K})^2}{n-1} \right]^{1/2} \times 100\% \quad (\text{E.4})$$



附录 F

量值偏差的验证

用尺寸测量法或容积法对钟罩容积检定后，再采用标准表法进行流量量值验证，使国家流量基准（原始级）、省级流量标准（标准级）、地方和使用单位（工作级）的钟罩标准量值通过传递标准表链接，实现上下级钟罩流量量值关联。

采用相应钟罩流量范围的传递标准表（如腰轮流量计、湿式气体流量计、音速喷嘴流量计等）进行流量量值验证。根据被检钟罩和上级钟罩的测量范围选择合适的传递标准表，确定量值验证的流量点，至少应选择被检钟罩 1 个常用流量点验证。

传递标准表首先在上级钟罩做第 1 次测量，第 2 次在被检定的下级钟罩测量，第 3 次再返回上级钟罩测量，第 1 次和第 3 次的测量重复性要和被检钟罩的等级相当。应定期核查传递标准的稳定性和重复性。

若被检定钟罩的测量结果为 y_{lab} ，测量不确定度为 U_{lab} ($k=2$)，应满足：

$$|y_{\text{lab}} - y_{\text{ref}}| \leq \sqrt{U_{\text{lab}}^2 + U_{\text{ref}}^2} \quad (\text{F.1})$$

式中：

y_{ref} ——上一级钟罩的测量结果；

U_{ref} ——上一级钟罩的测量结果的不确定度 ($k=2$)。

如果测量结果满足公式 (F.1)，则被检钟罩的流量量值得到验证。

附录 G

检定证书内页(参考)格式

- 1 外观
- 2 密封性
- 3 最大流量/(m³/h)
- 4 最小流量/(m³/h)
- 5 钟罩内压力/Pa
- 6 压力波动/Pa
- 7 钟罩各检定段的标准容积/L
- 8 钟罩脉冲系数(适用时)
- 9 钟罩标准装置的相对扩展不确定度($k=2$)
- 10 流量量值的验证结果

