

湖北省地方计量技术规范

JJF (鄂) 152—2025

燃气流量计体积修正仪校准规范

Calibration Specification for Gas Volume Conversion Devices

2025-03-02 发布

2025-06-01 实施

湖北省市场监督管理局 发布

燃气流量计体积 修正仪校准规范

Calibration Specification for
Gas Volume Conversion Devices

JJF (鄂) 152—2025

归口单位：湖北省市场监督管理局

主要起草单位：湖北省计量测试技术研究院

天信仪表集团有限公司

参加起草单位：湖北省计量测试技术研究院荆州分院

湖北省计量测试技术研究院潜江分院

本规范委托湖北省计量测试技术研究院负责解释

本规范主要起草人：

游建军（湖北省计量测试技术研究院）

尹彦臻（湖北省计量测试技术研究院）

万丽芬（湖北省计量测试技术研究院）

陶朝建（天信仪表集团有限公司）

参加起草人：

孙卫锋（湖北省计量测试技术研究院）

熊和伟（湖北省计量测试技术研究院荆州分院）

吴青旭（湖北省计量测试技术研究院潜江分院）

目 录

引言	II
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语	1
3.1 工况	1
3.2 标况	1
3.3 燃气流量计体积修正仪	1
3.4 压缩因子	1
3.5 转换系数	2
3.6 一体式燃气流量计体积修正仪	2
4 概述	2
4.1 工作原理	2
4.2 结构	2
4.3 用途	3
5 计量特性	3
5.1 修正示值误差	3
5.2 重复性	3
6 校准条件	3
6.1 环境条件	3
6.2 测量标准及其他设备	4
7 校准项目和校准方法	5
7.1 校准项目	5
7.2 校准方法	5
8 校准结果	9
9 复校时间间隔	10
附录 A 修正仪各分量的校准	11
附录 B 校准原始记录参考格式	13
附录 C 校准证书(报告)内页参考格式	15
附录 D 燃气流量计体积修正仪示值误差的不确定度评定示例	16
附录 E 一体式修正仪校准装置	26

引 言

本规范依据 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》和 JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》编写。

本规范参考了 JJG 229《工业铂、铜热电阻检定规程》、JJG 882《压力变送器检定规程》、JJG 1003《流量积算仪检定规程》，结合我省燃气流量计体积修正仪的生产、使用和校准现状进行制定。

本规范为首次发布。

燃气流量计体积修正仪校准规范

1 范围

本规范适用于燃气流量计体积修正仪（以下简称“修正仪”）的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB/T 17747.1 天然气压缩因子的计算第 1 部分：导论和指南

GB/T 17747.2 天然气压缩因子的计算第 2 部分：用摩尔组成进行计算

GB/T 17747.3 天然气压缩因子的计算第 3 部分：用物性值进行计算

GB/T 19205 天然气标准参比条件

GB/T 36242 燃气流量计体积修正仪

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

3 术语

3.1 工况 operating condition

气体在实际工作压力和实际工作温度下的状态。

3.2 标况 standard condition

为了在比较体积时有统一标准，定义气体在标准压力和标准温度下的状态。本规范定义的标准压力为 101.325kPa，标准温度为 20℃。

3.3 燃气流量计体积修正仪 Gas Volume Conversion Device

通过接受流量计基表信号，根据自身温度传感器和压力传感器测得的燃气温度和压力参数，将燃气的工况体积量修正成标况体积量，并进行显示和记录的仪表。

3.4 压缩因子 compression factor

在规定压力和温度下，任意质量气体的体积与该气体在相同条件下按理想气体定律计算的气体体积的比值。燃气压缩因子根据燃气的温度、压力、组分（或物理参数）等计算得出。其中，天然气压缩因子的约定真值优先按 GB/T 17747.1 和 GB/T 17747.3 规定的方法计算，当超出了该方法的极限值时用 GB/T 17747.2 规定的方法计算。

3.5 转换系数 conversion factor

根据真实气体状态方程算出代表体积量转换的数值，此数值等于标况体积量除以工况体积量。

3.6 一体式燃气流量计体积修正仪 integrated gas flowmeter volume modimeter

压力传感器和温度传感器与流量计基表封装为一个整体且不宜拆卸的修正仪。

4 概述

4.1 工作原理

修正仪将流量计基表测出的工况体积转换成标况体积，实现燃气流量修正后的标况体积流量计量。

修正仪中的压缩因子，采用与压力、温度有关的函数方程按式（1）来计算：

$$Z = f(P, T) \quad (1)$$

修正仪通过转换系数 C 实现燃气体积转换，标况体积按式（2）计算：

$$V_b = C \times V_m \quad (2)$$

其中转换系数 C 与燃气温度、压力和压缩因子相关，按式（3）计算：

$$C = \frac{P}{P_b} \times \frac{T_b}{T} \times \frac{Z_b}{Z} \quad (3)$$

上述公式（1）、（2）、（3）中：

Z —— 工况压缩因子，无量纲；

P —— 工况绝对压力，MPa 或 kPa；

T —— 工况热力学温度，K；

V_b —— 标况体积， m^3 或 L；

C —— 转换系数，无量纲；

V_m —— 工况体积， m^3 或 L；

P_b —— 标况绝对压力，其值为 101.325kPa；

T_b —— 标况热力学温度，其值为 293.15K；

Z_b —— 标况压缩因子，无量纲。

4.2 结构

修正仪主要由输入单元、积算单元、输出单元、显示单元和记录单元组成。输入单元中的信号主要包含流量计基表的信号输入、温度单元中温度传感器的信号输入、压力

单元中压力传感器的信号输入，输出单元的信号主要包括模拟信号、数字信号输出等。结构框图如图 1 所示：

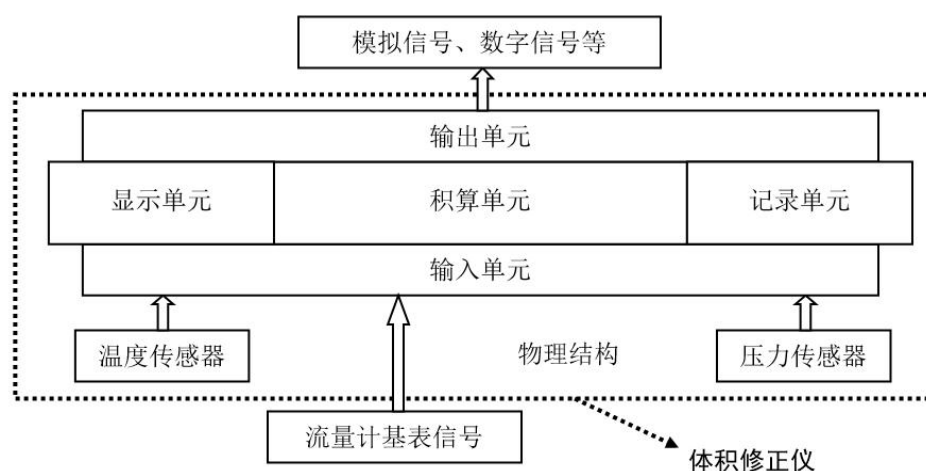


图 1 修正仪结构框图

4.3 用途

主要用于将输入信号进行计算处理并显示为燃气体积流量的数据，应用在燃气计量场合。

5 计量特性

5.1 修正示值误差

修正仪的修正示值误差用转换系数误差或体积转换误差表示，根据修正仪的实际情况选择在参比条件下或额定工作条件下进行校准，不同试验条件下的修正示值误差一般不超过表 1 中最大允许误差的要求。如需对各分量进行校准，校准方法和要求见附录 B。

表 1 修正仪修正示值误差最大允许误差 (MPE)

参比条件下	额定工作条件下
$\pm 0.5\%$	$\pm 1.0\%$

5.2 重复性

修正示值误差的重复性应不超过相应最大允许误差绝对值的 1/3。

注：1. 修正仪的修正示值误差不包括配套燃气流量计基表的误差；

2. 以上指标不适用于合格性判别，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 参比条件

——温度：(15~25) °C

——湿度：(45~75) %RH

——大气压：(86~106) kPa

6.1.2 额定工作条件

修正仪能够按照设计性能工作的环境条件，即修正仪铭牌上标注的额定温度范围和额定压力范围。额定工作条件下校准时，修正仪应放置在高低温试验箱内，其范围与校准点保持一致。

注：校准时在每次试验中实际温度变化不应超过±1°C；实际压力变化不超过±1%；相对湿度变化不应超过±10%。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 测量标准

标准器的技术参数可参照表 2 的要求。

表 2 标准器技术参数

序号	设备名称	技术要求	用途	说明
1	函数信号发生器	MPE: $\pm 1.0 \times 10^{-5}$	提供标准脉冲信号	——
2	数字压力计	MPE: $\pm 0.05\%$	测量气体压力	技术要求需在全量程范围满足,也可使用其它符合要求的标准器
3	标准铂电阻温度计	二等	测量气体温度	也可使用其它符合要求的标准器
4	测温仪	0.02 级	标准铂电阻温度计配套测温仪表	

其他设备的性能指标参考表 3。

表 3 其他设备性能指标

序号	设备名称	技术要求	用途	说明
1	恒温槽	稳定度: $\pm 0.01^\circ\text{C}/30\text{min}$ 均匀度: $\leq 0.02^\circ\text{C}$	提供温度测量时的温度场	控温范围应满足 7.2.3.1 的选点要求
2	高低温试验箱	波动度: $\leq \pm 0.3^\circ\text{C}$ 均匀度: $< 2^\circ\text{C}$	提供额定工作条件下的温度环境	控温范围应满足 7.2.3.1 的选点要求

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目见表 4。

表 4 校准项目一览表

序号	校准项目	技术要求	校准方法
1	修正示值误差	5.1	7.2.3
2	重复性	5.2	7.2.3

7.2 校准方法

7.2.1 外观检查

7.2.1.1 修正仪外表面不应有毛刺、开裂等缺陷。显示器应显示完整、亮度均匀。

7.2.1.2 修正仪外壳应有封印，修正仪与流量计基表之间的连接线宜有保护封印，发生对测量结果有影响的操作时，修正仪自身或其保护封印会产生永久可见的损坏或痕迹。

7.2.1.3 修正仪的铭牌信息应位置固定、牢固，文字、数字与符号应完整、正确、清晰。

7.2.1.4 修正仪显示的每个量或参数的名称及其单位应在其前后或上方清晰显示。

7.2.1.5 显示内容至少应明示以下内容：

——标况条件下的累积体积；

——工况条件下的累积体积；

——燃气的工况温度；

——燃气的工况绝对压力；

——标况条件下的瞬时体积流量；

——工况条件下的瞬时体积流量。

7.2.1.6 下列信息应明示在修正仪或指示装置上。

——标况说明，宜按下列形式：

$T_b=293.15K$ ；

$P_b=101.325kPa$ ；

——燃气流量计测量条件下单位脉冲的体积，建议按下列形式：

$1imp=...m^3$ （或 dm^3 ），或 $1m^3=...imp$ ；

——额定温度工作条件，单位 K 或 $^{\circ}C$ ；

——额定压力工作条件，单位 MPa 或 kPa。

7.2.2 校准前准备

修正仪在参比条件下校准时，按照图 2 将被校修正仪的各部分与标准器分别连接，将温度标准器与修正仪的温度传感器置入同一恒温槽中，修正仪的压力传感器通过导压管连接压力标准器，脉冲输入端口连接到函数信号发生器。

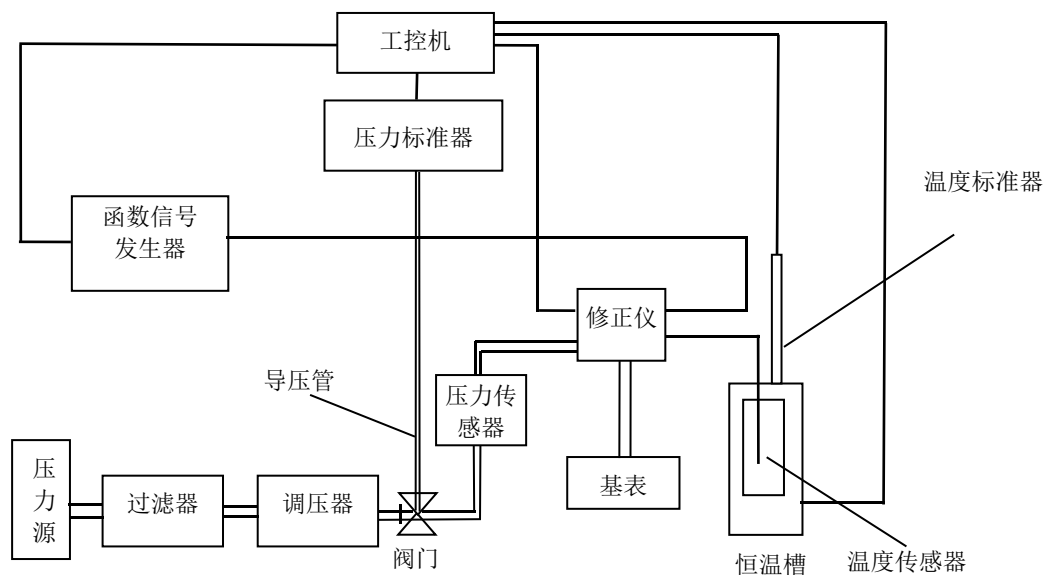


图 2 参比条件下标准装置连接示意图

修正仪在额定工作条件下校准时，需将修正仪放入高低温试验箱，试验箱内温度需与校准点温度同步，温度差不超过 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，如图 3 所示。

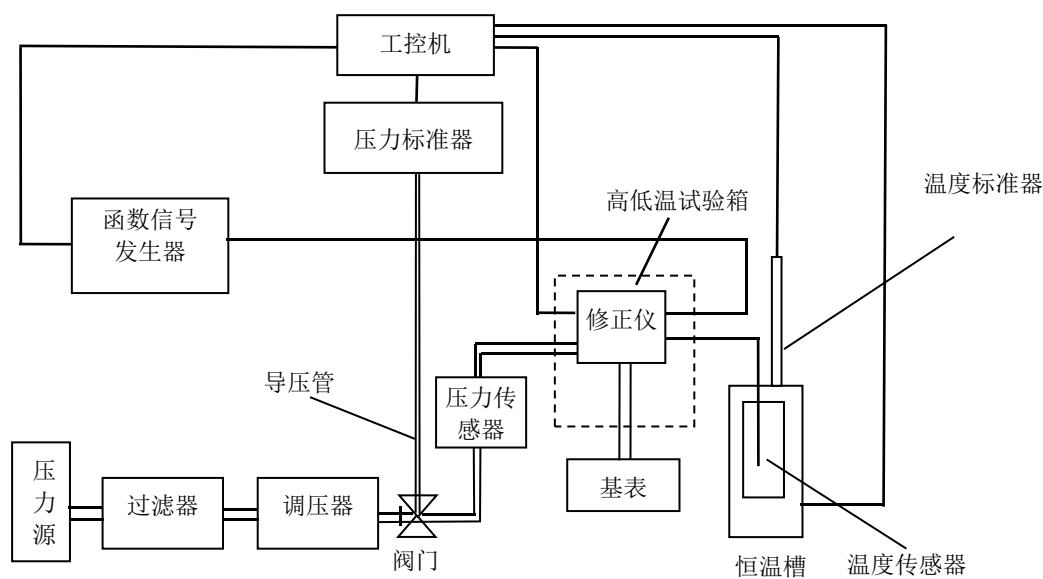


图 3 额定工作条件下标准装置连接示意图

7.2.3 校准程序

7.2.3.1 校准点选择

校准时参照表 5 规定的 6 个校准点和顺序进行。

表 5 校准点及顺序

校准点	P_1	P_2	P_3
T_1	第 1 个点	第 2 个点	第 3 个点
T_2	第 6 个点	第 5 个点	第 4 个点

P_1 可选择压力传感器量程下限 P_{\min} ，如果 P_{\min} 小于 100kPa， P_1 可选择在 100kPa。 P_3 可选择压力传感器上限 P_{\max} 或最大额定工作压力。 P_2 可选择 $0.5P_1 + 0.5P_3$ 或者常用压力点。一般情况 P_3 和 P_1 的比值应大于 2，且不得大于 5，试验压力应控制在选取值的 $\pm 5\%$ 以内。 T_1 一般在 $T_{\min} \sim T_{\min} + 5^\circ\text{C}$ 间选取，当 $T_{\min} < -10^\circ\text{C}$ 时， T_1 可在 $T_{\min} \sim -10^\circ\text{C}$ 间选取， T_2 一般在 $T_{\max} - 5^\circ\text{C} \sim T_{\max}$ 间选取，当 $T_{\max} > 50^\circ\text{C}$ 时， T_2 可在 $50^\circ\text{C} \sim T_{\max}$ 间选取。

当修正示值误差用体积转换误差表示时，输入脉冲信号频率宜根据修正仪的流量信号的高低频模式和可接收频率范围选择合适的频率。如为高频信号模式可选择 1000Hz 或可接收上限频率附近；如被校修正仪标准状态下体积量 V_b 的分辨力足够（注：对一个脉冲计数的准确度应不低于 $\pm 0.05\%$ ），则校准过程信号发生器发送脉冲数 ≥ 1000 即可，否则应增加脉冲数使 V_b 增量的准确度不低于 $\pm 0.05\%$ 。如为低频信号模式可选择 1Hz 或可接收上限频率附近，发送脉冲时间应不低于 60s 并不低于 1 个完整脉冲信号的时间。

7.2.3.2 校准步骤

按要求连接各部分后，在规定的校准点和环境条件下，等待恒温槽或高低温试验箱的温度达到设定值，稳定一段时间后开始测量。同时采集标准器和被校修正仪的各项数据值，每个校准点进行至少 3 次重复测量，取平均值作为该点的结果。

在额定工作条件下校准时应在高低温试验箱温度达到设定值时再进行压力输入。

7.2.3.3 数据处理

单次的示值误差和重复性按下列公式进行计算。各试验点的示值误差为多次独立测量误差的算术平均值。

7.2.3.4 示值误差

转换系数误差 e_c 应按式（4）计算：

$$e_c = \frac{C - C_{CV}}{C_{CV}} \times 100\% \quad (4)$$

式中 C_{CV} 应按式(5)计算:

$$C_{CV} = \frac{P_{CV}}{P_b} \times \frac{T_b}{T_{CV}} \times \frac{Z_{b,CV}}{Z_{CV}} \quad (5)$$

体积转换误差 e_v 应按式(6)计算:

$$e_v = \frac{V_b - V_{CV}}{V_{CV}} \times 100\% \quad (6)$$

对于低频信号输入方式, V_{CV} 应按式(7)计算:

$$V_{CV} = \frac{P_{CV}}{P_b} \times \frac{T_b}{T_{CV}} \times \frac{Z_{b,CV}}{Z_{CV}} \times N \times D \quad (7)$$

当为高频信号输入时, V_{CV} 应按式(8)计算:

$$V_{CV} = \frac{P_{CV}}{P_b} \times \frac{T_b}{T_{CV}} \times \frac{Z_{b,CV}}{Z_{CV}} \times \frac{N}{K} \quad (8)$$

上述式(4)、(5)、(6)、(7)、(8)中:

e_c ——转换系数误差;

C ——转换系数, 无量纲;

C_{CV} ——转换系数的约定量值, 无量纲;

P_{CV} ——绝对压力的约定量值, kPa;

P_b ——标况绝对压力, 其值为 101.325kPa;

T_b ——标况热力学温度, 其值为 293.15K;

$Z_{b,CV}$ ——标况压缩因子的约定量值, 无量纲;

T_{CV} ——热力学温度的约定量值, K;

e_v ——体积转换误差;

V_b ——标况体积, m^3 或 L;

V_{CV} ——标况体积的约定量值, m^3 或 L。

N ——脉冲数;

D ——脉冲当量, m^{-3} ;

Z_{CV} ——工况压缩因子的约定量值, 无量纲;

K ——流量系数， $(\text{m}^3)^{-1}$ 。

7.2.3.5 重复性

按式(9)计算重复性。

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e})^2}{n-1}} \times 100\% \quad (9)$$

式中：

σ ——重复性；

n ——重复测量次数；

e_i ——第*i*次测量的示值误差；

\bar{e} ——示值误差平均值。

8 校准结果

校准结果应在校准证书上反应，校准证书应至少包括以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和有应用关时，应说明被校对象的接收日期；
 - h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
 - i) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
 - j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
 - k) 校准环境的描述；
 - l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
 - m) 对校准规范的偏离的说明；
 - n) 校准证书和校准报告签发人的签名或等效标识；
 - o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
 - p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

校准原始记录格式见附录 B，校准证书（报告）内页格式见附录 C。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔不超过修正仪配套流量计基表的检定周期。委托校准方可根据实际情况自主决定复校时间间隔。

附录 A

修正仪各分量的校准

A.1 分量校准项目

修正仪分量校准项目一般包括积算示值误差、压力示值误差、温度示值误差，不同试验条件下的各分量示值误差一般不超过表 A.1 中最大允许误差的要求。

表 A.1 修正仪分量示值误差最大允许误差 (MPE)

分量误差 \ 试验条件	参比条件下	额定工作条件下
积算示值误差	±0.2%	±0.3%
温度示值误差	±0.2%	±0.3%
压力示值误差	±0.3%	±0.5%

- 注：1. 温度示值误差包含了温度传感器及其信号转换所引起的误差；
2. 压力示值误差包含了压力传感器及其信号转换所引起的误差；
3. 积算示值误差可不考虑压缩因子计算方法引起的不确定度影响。

A.2 分量校准方法

修正仪的积算示值误差、压力示值误差、温度示值误差和重复性试验可与修正示值误差试验同时进行。校准步骤和校准点与正文中 7.2.2 和 7.2.3 中的要求相同。

A.2.1 分量示值误差

A.2.1.1 积算示值误差

积算示值误差包括脉冲接收和体积转换计算过程中产生的误差，应由软件读取已经被修正仪测得的温度和压力值以及信号发生器所输出的脉冲数，计算出标况体积的约定量值 $V_{CV,f}$ ，再根据修正仪标况体积 V_b 按以下公式 (A.1) 计算：

$$e_f = \frac{V_b - V_{CV,f}}{V_{CV,f}} \times 100\% \quad (\text{A.1})$$

式中，对于低频信号输入方式， $V_{CV,f}$ 应按式 (A.2) 计算：

$$V_{CV,f} = \frac{P}{P_b} \times \frac{T_b}{T} \times \frac{Z_{b,CV}}{Z_{CV,f}} \times N \times D \quad (\text{A.2})$$

当为高频信号输入时， $V_{CV,f}$ 应按式 (A.3) 计算：

$$V_{CV,f} = \frac{P}{P_b} \times \frac{T_b}{T} \times \frac{Z_{b,CV}}{Z_{CV,f}} \times \frac{N}{K} \quad (\text{A.3})$$

A.2.1.2 温度示值误差

修正仪的温度示值误差应按式 (A.4) 计算:

$$e_T = \frac{T - T_{CV}}{T_{CV}} \times 100\% \quad (\text{A.4})$$

A.2.1.3 压力示值误差

修正仪的压力示值误差应按式 (A.5) 计算:

$$e_P = \frac{P - P_{CV}}{P_{CV}} \times 100\% \quad (\text{A.5})$$

上述 (A.1)、(A.2)、(A.3)、(A.4)、(A.5) 式中:

- e_f ——积算示值误差;
- $V_{CV,f}$ ——输入测得的温度压力值计算出的标况体积约定量值, m^3 ;
- e_T ——压力示值误差;
- P ——工况绝对压力, MPa 或 kPa;
- P_{CV} ——绝对压力的约定量值, kPa;
- P_b ——标况绝对压力, 其值为 101.325kPa;
- T ——工况热力学温度, K;
- T_b ——标况热力学温度, 其值为 293.15K;
- $Z_{b,CV}$ ——标况压缩因子的约定量值, 无量纲;
- $Z_{CV,f}$ ——输入测得温度压力值计算的标况压缩因子约定量值, 无量纲;
- T_{CV} ——热力学温度的约定量值, K;
- V_b ——标况体积, m^3 或 L;
- N ——脉冲数;
- D ——脉冲当量, m^{-3} ;
- K ——流量系数, $(\text{m}^3)^{-1}$ 。

A.2.2 分量重复性

各分量的重复性按正文中公式 (9) 计算。

附录 B

校准原始记录参考格式

委托方名称		证书编号									
仪器名称		大气压力	kPa								
型号规格		环境温度	°C								
出厂编号		环境湿度	%RH								
生产厂家		K	1/m ³								
校准依据		温度范围									
校准地点		压力范围									
标准器信息											
名称	型号	编号	不确定度或准确度等级或最大允许误差	测量范围	证书号	有效期至	标准器状态				
修正示值误差											
校准点	次数	设定温度 t_i (°C)	设定压力 p_i (kPa)	压缩因子 Z_{cv}	脉冲频率 F (Hz)	脉冲数 N (个)	约定真值 V_{cv}/C_{cv} (m ³)	修正仪 示值 V_0/C (m ³)	示值误差 e_v/e_c (%)	重复性 σ (%)	相对扩展 不确定度 U_{rel} ($k=2$)
1	1										
	2										
	3										
...	1										
	2										
	3										
6	1										
	2										
	3										

积算示值误差											
校准点	次数	设定温度 t_i (°C)	设定压力 p_i (kPa)	压缩因子 Z_{cv}	脉冲频率 F (Hz)	脉冲数 N (个)	约定真值 V_{cvf} (m ³)	示值 V_b (m ³)	示值误差 e_f (%)	重复性 σ (%)	相对扩展 不确定度 U_{rel} ($k=2$)
1	1										
	2										
	3										
...	1										
	2										
	3										
6	1										
	2										
	3										

温度示值误差和压力示值误差											
校准点	次数	温度约 定量值 T_{cv} (K)	温度 示值 T (K)	温度 示值误差 e_T (%)	温度示 值误差 重复性 σ (%)	相对扩展 不确定度 U_{rel} ($k=2$)	压力约 定量值 P_{cv} (kPa)	压力 示值 P (kPa)	压力 示值误差 e_P (%)	压力示 值误差 重复性 σ (%)	相对扩展 不确定度 U_{rel} ($k=2$)
1	1										
	2										
	3										
...	1										
	2										
	3										
6	1										
	2										
	3										

附录 C

校准证书 (报告) 内页参考格式

证书编号: XXXXXX-XXXX			
<p>1. 标况条件说明</p> <p>压力: 101.325kPa</p> <p>温度: 20°C</p> <p>2. 修正仪使用范围</p> <p>温度范围: (~) °C</p> <p>压力范围: (~) kPa</p> <p>频率上限: Hz</p> <p>K 系数:</p> <p>3. 修正仪校准结果</p> <p>此次校准在参比条件 (或额定工作条件) 下进行。</p>			
校准项目	示值误差 (%)	重复性 (%)	相对扩展不确定度
修正示值误差			$U = \quad \% (k=2)$
积算示值误差 (如适用)			$U = \quad \% (k=2)$
温度示值误差 (如适用)			$U = \quad \% (k=2)$
压力示值误差 (如适用)			$U = \quad \% (k=2)$
备注:			

附录 D

燃气流量计体积修正仪示值误差的不确定度评定示例

D.1 修正仪修正示值误差（体积转换误差）的不确定度评定示例

D.1.1 测量方案

被校仪表：燃气流量计体积修正仪

温度范围：-15℃~+45℃；压力范围（绝压）：（0.1~0.5）MPa

连接方法见正文图 2 所示，标准装置采用两台工作温度范围-25℃~+65℃、温度稳定性为±0.01℃/30min、工作区最大温差为 0.02℃的恒温槽，分别做为低温、高温的温度源。同时采用了两个数字温度变送器，其测温范围为-25℃~+65℃，在各自规定测温范围内，最大示值误差优于±0.05℃，且测量误差不受工作环境温度影响，年稳定性±0.02℃；绝压测试部分的数字压力计准确度等级为 0.01 级，年稳定度为±0.01%RD/年；标准装置软件采用 GB/T 17747.2《天然气压缩因子的计算第 2 部分：用摩尔组成进行计算》计算压缩因子。体积转换误差测量过程中，脉冲发生器向被校准的修正仪发送频率为 2Hz 的 1000 个脉冲，脉冲当量为 1m³，忽略标况条件下体积量分辨率的影响，工况条件下的体积量为 1000m³，校准点分别为两个温度点和三个压力点，由于在最低温度点和最低压力点时测量不确定度偏大，因此估算不确定度时选取最低温度-15℃、最低压力 100kPa。

D.1.2 测量模型

对于单次测量，修正仪标况条件下体积量的相对示值误差定义为：

$$e_v = \frac{(V_{b2} - V_{b1}) - V_{CV}}{V_{CV}} = \frac{(V_{b2} - V_{b1})}{V_{CV}} - 1 = \frac{V_b}{V_{CV}} - 1 \quad (\text{D.1})$$

式中：

V_{b1} 、 V_{b2} ——测量开始和结束时修正仪标况条件下体积量的示值。

$$V_{CV} = \frac{T_b \times N \times D}{P_b} \left(\frac{P_{CV}}{T_{CV}} \times \frac{Z_{bcv}}{Z_{CV}} \right) \quad (\text{D.2})$$

P_b 、 T_b 、 N 和 D 都是常数，因此：

$$\left[\frac{u(V_{CV})}{V_{CV}} \right]^2 = \left[\frac{u(P_{CV})}{P_{CV}} \right]^2 + \left[\frac{u(T_{CV})}{T_{CV}} \right]^2 + \left[\frac{u(Z_{CV})}{Z_{CV}} \right]^2 + \left[\frac{u(Z_{bcv})}{Z_{bcv}} \right]^2 \quad (\text{D.3})$$

D.1.3 V_{CV} 测量的不确定度分量D.1.3.1 输入量 P_{CV} 的标准不确定度 $u_r(P_{CV})$ 的评定D.1.3.1.1 数字压力计准确度引入的相对标准不确定度 $u_r(P_{CV1})$

数字压力计的准确度等级为 0.01 级，数字压力计最大允许误差按最大量程计算，最大量程为 500kPa，按均匀分布，取 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_r(P_{CV1}) = \frac{0.01\% \times \frac{500\text{kPa}}{100\text{kPa}}}{\sqrt{3}} = 0.0289\% \quad (\text{D.4})$$

D.1.3.1.2 数字压力计年稳定度引入的相对标准不确定度 $u_r(P_{CV2})$

由厂家提供的资料可知数字压力计的年稳定度为 $\pm 0.01\% \text{RD/年}$ ，按均匀分布，取 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_r(P_{CV2}) = \frac{0.01\%}{\sqrt{3}} = 0.0058\% \quad (\text{D.5})$$

D.1.3.1.3 输入量 P_{CV} 的相对标准不确定度 $u_r(P_{CV})$ 合成

$$u_r(P_{CV}) = \sqrt{u_r(P_{CV1})^2 + u_r(P_{CV2})^2} = 0.0294\% \quad (\text{D.6})$$

D.1.3.2 输入量 T_{CV} 的标准不确定度 $u_r(T_{CV})$ 的评定

D.1.3.2.1 数字温度变送器准确度引入的相对标准不确定度 $u_r(T_{CV1})$

数字温度变送器在测温范围内的最大示值误差为 $\pm 0.05^\circ\text{C}$ ，按均匀分布，取 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_r(T_{CV1}) = \frac{0.05}{258.15 \times \sqrt{3}} \times 100\% = 0.0112\% \quad (\text{D.7})$$

D.1.3.2.2 数字温度变送器年稳定性引入的相对标准不确定度 $u_r(T_{CV2})$

数字温度变送器年稳定性为 $\pm 0.02^\circ\text{C}$ ，按均匀分布处理，取 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_r(T_{CV2}) = \frac{0.02}{258.15 \times \sqrt{3}} \times 100\% = 0.0048\% \quad (\text{D.8})$$

D.1.3.2.3 恒温槽均匀度引入的相对标准不确定度 $u_r(T_{CV3})$

温度均匀度为 $\pm 0.02^\circ\text{C}$ ，按均匀分布处理，取 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_r(T_{CV3}) = \frac{0.02}{258.15 \times \sqrt{3}} \times 100\% = 0.0048\% \quad (\text{D.9})$$

D.1.3.2.4 恒温槽波动度引入的相对标准不确定度 $u_r(T_{CV4})$

温度波动度为 $\pm 0.02^\circ\text{C}$ ，按均匀分布处理，取 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_r(T_{CV4}) = \frac{0.02}{258.15 \times \sqrt{3}} \times 100\% = 0.0048\% \quad (\text{D.10})$$

D.1.3.2.5 输入量 T_{CV} 的相对标准不确定度 $u_r(T_{CV})$ 合成

T_{CV} 的相对标准不确定度由以上四个分量合成得到, 该四项不确定度分量间不相关, 则:

$$u_r(T_{CV}) = \sqrt{u_r(T_{CV1})^2 + u_r(T_{CV2})^2 + u_r(T_{CV3})^2 + u_r(T_{CV4})^2} = 0.0136\% \quad (\text{D.11})$$

D.1.3.3 输入量 Z_{CV} 的标准不确定度 $u_r(Z_{CV})$ 的评定

查 GB/T 17747.2 可知 $u_r(Z_{CV})$ 的计算结果扩展不确定度 $U_r = 0.1\%$ ($k = 2$), 则:

$$u_r(Z_{CV}) = \frac{0.1\%}{2} = 0.05\% \quad (\text{D.12})$$

D.1.3.4 输入量 Z_{bcv} 的标准不确定度 $u_r(Z_{bcv})$ 的评定

查 GB/T 17747.2 可知 $u_r(Z_{bcv})$ 的计算结果扩展不确定度 $U_r = 0.1\%$ ($k = 2$), 则:

$$u_r(Z_{bcv}) = \frac{0.1\%}{2} = 0.05\% \quad (\text{D.13})$$

D.1.3.5 V_{CV} 的相对标准不确定度概算

表 D.1 输入量 V_{CV} 的标准不确定度汇总表

序号	符号	来源	输入量的标准不确定度 $u_{ri}(X_i)/\%$	灵敏系数 $C_i(X_i)$	$ C_i(X_i) \times u_{ri}(X_i) $
1	$u_r(P_{CV})$	标准压力测量	0.0294	-1	0.0294
2	$u_r(T_{CV})$	标准温度测量	0.0136	1	0.0136
3	$u_r(Z_{CV})$	压缩因子计算	0.005	1	0.005
4	$u_r(Z_{bcv})$	压缩因子计算	0.005	-1	0.005

计算可得:

$$u_r(V_{CV}) = \sqrt{u_r(P_{CV})^2 + u_r(T_{CV})^2 + u_r(Z_{CV})^2 + u_r(Z_{bcv})^2} = 0.0332\% \quad (\text{D.14})$$

D.1.4 脉冲接收引入的相对不确定度

被校修正仪接收 1000 个脉冲时产生误差引起的不确定度, 按均匀分布, $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u_r(V) = \frac{1}{1000 \times \sqrt{3}} \times 100\% = 0.0577\% \quad (\text{D.15})$$

D.1.5 e_V 重复性引入的标准不确定度

重复测量 3 次, $e_{V1} = -0.082\%$, $e_{V2} = 0.017\%$, $e_{V3} = -0.025\%$, 用极差法计算单次测量的实验标准偏差:

$$s(x_k) = \frac{0.099\%}{1.69} \times 100\% = 0.0586\% \quad (\text{D.16})$$

三次测量平均值实验标准差:

$$\frac{s(x_k)}{\sqrt{3}} = \frac{0.0586\%}{1.732} \times 100\% = 0.0338\% \quad (\text{D.17})$$

e_V 测量的 A 类标准不确定度为:

$$u_A(e_V) = \frac{s(x_k)}{\sqrt{3}} = 0.0338\% \quad (\text{D.18})$$

D.1.6 e_V 的合成标准不确定度

表 D.2 e_V 合成标准不确定度

序号	符号	来源	输入量的 标准不确定度 $u_{ri}(X_i)/\%$	灵敏系数 $C_i(X_i)$	$ C_i(X_i) \times u_{ri}(X_i) $
1	$u_r(V_{CV})$	标准装置	0.0332	1	0.0332
2	$u_r(V)$	脉冲接受	0.0577	1	0.0577
3	$u_A(e_V)$	重复性	0.0338	1	0.0338

计算可得:

$$u_c(e_V) = \sqrt{u_r(V_{CV})^2 + u_r(V)^2 + u_A(e_V)^2} = 0.0747\% \quad (\text{D.19})$$

D.1.7 e_V 的扩展不确定度

取包含因子 $k = 2$, 则参比条件下体积修正仪的体积转换误差 e_V 的扩展不确定度为:

$$U(e_V) = k u_c(e_V) = 0.15\% \quad (\text{D.20})$$

D.2 修正仪修正示值误差 (转换系数误差) 的不确定度评定示例

D.2.1 测量方法

被校仪表: 燃气流量计体积修正仪

温度范围: $-15^\circ\text{C} \sim +45^\circ\text{C}$; 压力范围 (绝压): $(0.1 \sim 0.5) \text{ MPa}$

基本同 D.1.1, 但不向修正仪输入流量脉冲信号。

D.2.2 测量模型

对于单次测量, 修正仪体积转换系数的相对示值误差定义为:

$$e_c = \frac{C - C_{CV}}{C_{CV}} = \frac{C}{C_{CV}} - 1 \quad (\text{D.21})$$

式中 C_{CV} 的定义为:

$$C_{CV} = \frac{P_{CV}}{P_b} \times \frac{T_b}{T_{CV}} \times \frac{Z_{bCV}}{Z_{CV}} \quad (\text{D.22})$$

P_b 、 T_b 为常数，因此灵敏系数为0。

$$\left[\frac{u(C_{CV})}{C_{CV}} \right]^2 = \left[\frac{u(P_{CV})}{P_{CV}} \right]^2 + \left[\frac{u(T_{CV})}{T_{CV}} \right]^2 + \left[\frac{u(Z_{CV})}{Z_{CV}} \right]^2 + \left[\frac{u(Z_{bCV})}{Z_{bCV}} \right]^2 \quad (\text{D.23})$$

D.2.3 C_{CV} 测量的不确定度分量

同D.1.3。

D.2.4 e_C 重复性引入的标准不确定度

$$\begin{aligned} u_r(C_{CV}) &= \sqrt{u_r(P_{CV})^2 + u_r(T_{CV})^2 + u_r(Z_{CV})^2 + u_r(Z_{bCV})^2} \\ &= 0.0332\% \end{aligned} \quad (\text{D.24})$$

重复测量3次， $e_{C1} = -0.282\%$ ， $e_{C2} = 0.217\%$ ， $e_{C3} = -0.325\%$ ，用极差法计算单次测量的实验标准偏差：

$$s(x_k) = \frac{0.108\%}{1.69} \times 100\% = 0.0639\% \quad (\text{D.25})$$

三次测量平均值实验标准差：

$$\frac{s(x_k)}{\sqrt{3}} = \frac{0.0639\%}{1.732} \times 100\% = 0.0369\% \quad (\text{D.26})$$

e_C 测量的A类标准不确定度为：

$$u_A(e_C) = \frac{s(x_k)}{\sqrt{3}} = 0.0369\% \quad (\text{D.27})$$

D.2.5 e_C 的合成标准不确定度

表D.3 e_C 合成标准不确定度

序号	符号	来源	输入量的标准不确定度 $u_{ri}(X_i)/\%$	灵敏系数 $C_i(X_i)$	$ C_i(X_i) \times u_{ri}(X_i) $
1	$u_r(V_{CV})$	标准装置	0.0332	1	0.0332
2	$u_A(e_C)$	重复性	0.0369	1	0.0369

计算可得：

$$u_c(e_C) = \sqrt{u_r(V_{CV})^2 + u_A(e_C)^2} = 0.0496\% \quad (\text{D.28})$$

D.2.6 e_C 的扩展不确定度

取包含因子 $k = 2$ ，则参比条件下体积修正仪的转换系数误差 e_C 的扩展不确定度为：

$$U(e_C) = ku_c(e_C) = 0.10\% \quad (\text{D.29})$$

D.3 修正仪温度示值误差的不确定度评定示例

D.3.1 测量方法

被校仪表：燃气流量计体积修正仪温度部分

温度范围：-15℃~+45℃

连接方法见正文图 2 所示，标准装置采用两台工作温度范围-25℃~+65℃、温度稳定性为±0.01℃/30min、工作区最大温差为 0.02℃的恒温槽，分别做为低温、高温的温度源。同时采用了两个数字温度变送器，其测温范围为-25℃~+65℃，在各自规定测温范围内，最大示值误差优于±0.05℃，且测量误差不受工作环境温度影响，年稳定性±0.02℃；校准点分别为两个温度点，由于在最低温度点时测量不确定度偏大，因此估算不确定度时选取最低温度-15℃。

D.3.2 测量模型

对于单次测量，修正仪温度测量的相对示值误差定义为：

$$e_T = \frac{T - T_{CV}}{T_{CV}} = \frac{T}{T_{CV}} - 1 \quad (\text{D.30})$$

D.3.3 T_{CV} 的不确定度分量

与 D.1.3.2 相同。

$$u_r(T_{CV}) = 0.0136\% \quad (\text{D.31})$$

D.3.4 e_T 重复性引入的标准不确定度

重复测量 3 次， $e_{T1} = 0.039\%$ ， $e_{T2} = 0.084\%$ ， $e_{T3} = 0.043\%$ ，用极差法计算单次测量的实验标准偏差：

$$s(x_k) = \frac{0.045\%}{1.69} \times 100\% = 0.0266\% \quad (\text{D.32})$$

三次测量平均值实验标准差：

$$\frac{s(x_k)}{\sqrt{3}} = \frac{0.0266\%}{1.732} \times 100\% = 0.0154\% \quad (\text{D.33})$$

e_T 测量的 A 类标准不确定度为：

$$u_A(e_T) = \frac{s(x_k)}{\sqrt{3}} = 0.0154\% \quad (\text{D.34})$$

D.3.5 e_T 的合成标准不确定度

表 D.4 e_T 合成标准不确定度

序号	符号	来源	输入量的 标准不确定度 $u_{ri}(X_i)/\%$	灵敏系数 $C_i(X_i)$	$ C_i(X_i) \times u_{ri}(X_i) $
1	$u_r(T_{CV})$	标准装置	0.0136	1	0.0136
2	$u_A(e_T)$	重复性	0.0154	1	0.0154

计算可得：

$$u_c(e_T) = \sqrt{u_r(T_{CV})^2 + u_A(e_T)^2} = 0.0205\% \quad (\text{D.35})$$

D.3.6 e_T 的扩展不确定度

取包含因子 $k = 2$ ，则参比条件下体积修正仪的温度单元误差 e_T 的扩展不确定度为：

$$U(e_T) = k u_c(e_T) = 0.04\% \quad (\text{D.36})$$

D.4 修正仪压力示值误差的不确定度评定示例

D.4.1 测量方法

被校仪表：燃气流量计体积修正仪压力部分

压力范围：(0.1~0.5) MPa (绝压)

绝压测量部分的标准器数字压力计准确度等级为 0.01 级，年稳定性为 $\pm 0.01\%RD/年$ ；校准点分别为 3 个压力点，由于在最低压力点时测量不确定度偏大，因此估算不确定度时选取最低压力 100kPa。

D.4.2 测量模型

对于单次测量，修正仪压力单元测量的相对示值误差定义为：

$$e_P = \frac{P - P_{CV}}{P_{CV}} = \frac{P}{P_{CV}} - 1 \quad (\text{D.37})$$

D.4.3 P_{CV} 输入量的不确定度分量 $u_r(P_{CV})$

与 D.1.3.1 相同。

$$u_r(P_{CV}) = \sqrt{u_r(P_{CV1})^2 + u_r(P_{CV2})^2} = 0.0294\% \quad (\text{D.38})$$

D.4.4 e_P 重复性引入的标准不确定度

重复测量 3 次， $e_{P1} = 0.059\%$ ， $e_{P2} = 0.014\%$ ， $e_{P3} = -0.014\%$ ，用极差法计算单次测量的实验标准偏差：

$$s(x_k) = \frac{0.073\%}{1.69} \times 100\% = 0.0432\% \quad (\text{D.39})$$

三次测量平均值实验标准差:

$$\frac{s(x_k)}{\sqrt{3}} = \frac{0.0432\%}{1.732} \times 100\% = 0.0249\% \quad (\text{D.40})$$

e_p 测量的 A 类标准不确定度为:

$$u_A(e_p) = \frac{s(x_k)}{\sqrt{3}} = 0.0249\% \quad (\text{D.41})$$

D.4.5 e_p 的合成标准不确定度

表 D.5 e_p 合成标准不确定度

序号	符号	来源	输入量的 标准不确定度 $u_{ri}(X_i)/\%$	灵敏系数 $C_i(X_i)$	$ C_i(X_i) \times u_{ri}(X_i) $
1	$u_r(P_{CV})$	标准装置	0.0294	1	0.0294
2	$u_A(e_p)$	重复性	0.0249	1	0.0249

计算可得:

$$u_c(e_p) = \sqrt{u_r(P_{CV})^2 + u_A(e_p)^2} = 0.0385\% \quad (\text{D.42})$$

D.4.6 e_p 的扩展不确定度

取包含因子 $k = 2$, 则参比条件下体积修正仪的压力单元误差 e_p 的扩展不确定度为:

$$U(e_p) = ku_c(e_p) = 0.077\% \quad (\text{D.43})$$

D.5 修正仪积算示值误差的不确定度评定示例

D.5.1 测量方法

被校仪表: 燃气流量计体积修正仪积算部分

方法与 D.1.1 基本相同, 标准装置的体积量按修正仪测得的温度压力和脉冲数计算。

D.5.2 测量模型

对于单次测量, 修正仪标况条件下体积量积算示值误差的定义为:

$$e_V = \frac{(V_{b2} - V_{b1}) - V_{CVf}}{V_{CVf}} = \frac{(V_{b2} - V_{b1})}{V_{CVf}} - 1 = \frac{V_b}{V_{CVf}} - 1 \quad (\text{D.44})$$

式中:

V_{b1} 、 V_{b2} ——测量开始和结束时修正仪标况条件下体积量的示值。

$$V_{CVf} = \frac{T_b \times N \times D}{P_b} \left(\frac{P}{T} \times \frac{Z_{bCVf}}{Z_{CVf}} \right) \quad (\text{D.45})$$

P_b 、 T_b 、 N 和 D 都是常数，因此：

$$\left[\frac{u(V_{CVf})}{V_{CVf}} \right]^2 = \left[\frac{u(P)}{P} \right]^2 + \left[\frac{u(T)}{T} \right]^2 + \left[\frac{u(Z_{CVf})}{Z_{CVf}} \right]^2 + \left[\frac{u(Z_{bCVf})}{Z_{bCVf}} \right]^2 \quad (\text{D.46})$$

D.5.3 V_{CVf} 测量的不确定度分量

D.5.3.1 输入量 P 的标准不确定度 $u_r(P)$ 的评定

修正仪内压力示值的分辨力为 0.1kPa，按均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u(\delta P) = \frac{0.1}{100 \times 2\sqrt{3}} \times 100\% = 0.0289\% \quad (\text{D.47})$$

D.5.3.2 输入量 T 的标准不确定度 $u_r(T)$ 的评定

修正仪内温度示值的分辨力为 0.1°C，按均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u(\delta T) = \frac{0.1}{258.15 \times 2\sqrt{3}} \times 100\% = 0.0112\% \quad (\text{D.48})$$

D.5.3.3 输入量 Z_{CVf} 的标准不确定度 $u_r(Z_{CVf})$ 的评定

查 GB/T 17747.2 可知 $u_r(Z_{CVf})$ 的计算结果扩展不确定度 $U_r = 0.1\%$ ($k = 2$)，则：

$$u_r(Z_{CVf}) = \frac{0.1\%}{2} = 0.05\% \quad (\text{D.49})$$

D.5.3.4 输入量 Z_{CV} 的标准不确定度 $u_r(Z_{bCVf})$ 的评定

查 GB/T 17747.2 可知 $u_r(Z_{bCVf})$ 的计算结果扩展不确定度 $U_r = 0.1\%$ ($k = 2$)，则：

$$u_r(Z_{bCVf}) = \frac{0.1\%}{2} = 0.05\% \quad (\text{D.50})$$

D.5.3.5 V_{CVf} 的合成标准不确定度

表 D.6 输入量 V_{CVf} 的标准不确定度汇总表

序号	符号	来源	输入量的 标准不确定度 $u_{ri}(X_i)/\%$	灵敏系数 $C_i(X_i)$	$ C_i(X_i) \times u_{ri}(X_i) $
1	$u_r(P)$	标准压力测量	0.0289	-1	0.0289
2	$u_r(T)$	标准温度测量	0.0112	1	0.0112
3	$u_r(Z_{CVf})$	压缩因子计算	0.005	1	0.005
4	$u_r(Z_{bCVf})$	压缩因子计算	0.005	-1	0.005

计算可得:

$$u_r(V_{CVf}) = \sqrt{u_r(P)^2 + u_r(T)^2 + u_r(Z_{CVf})^2 + u_r(Z_{bcvf})^2} = 0.0318\% \quad (\text{D.51})$$

D.5.4 脉冲接收引入的相对不确定度

修正仪接收脉冲时产生 1 个脉冲误差, 引起的不确定度按均匀分布, $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u_r(V) = \frac{1}{1000 \times \sqrt{3}} \times 100\% = 0.0577\% \quad (\text{D.52})$$

D.5.5 e_{Vf} 重复性引入的标准不确定度

重复测量 3 次, $e_{V1} = -0.032\%$, $e_{V2} = -0.032\%$, $e_{V3} = -0.036\%$, 用极差法计算单次测量的实验标准偏差:

$$s(x_k) = \frac{0.004\%}{1.69} \times 100\% = 0.0024\% \quad (\text{D.53})$$

三次测量平均值实验标准差:

$$\frac{s(x_k)}{\sqrt{3}} = \frac{0.0024\%}{1.732} \times 100\% = 0.0014\% \quad (\text{D.54})$$

e_{Vf} 测量的 A 类标准不确定度为:

$$u_A(e_{Vf}) = \frac{s(x_k)}{\sqrt{3}} = 0.0014\% \quad (\text{D.55})$$

D.5.6 e_{Vf} 的合成标准不确定度

表 D.7 e_{Vf} 合成标准不确定度

序号	符号	来源	输入量的 标准不确定度 $u_{ri}(X_i)/\%$	灵敏系数 $C_i(X_i)$	$ C_i(X_i) \times u_{ri}(X_i) $
1	$u_r(V_{CVf})$	标准装置	0.0318	1	0.0318
2	$u_r(V)$	脉冲接收	0.0577	1	0.0577
3	$u_A(e_{Vf})$	重复性	0.0014	1	0.0014

计算可得:

$$u_c(e_{Vf}) = \sqrt{u_r(V_{CVf})^2 + u_r(V)^2 + u_A(e_{Vf})^2} = 0.0659\% \quad (\text{D.56})$$

D.5.7 e_{Vf} 的扩展不确定度

取包含因子 $k = 2$, 则参比条件下体积修正仪的积算示值误差 e_{Vf} 的扩展不确定度为:

$$U(e_{Vf}) = k u_c(e_{Vf}) = 0.13\% \quad (\text{D.57})$$

附录 E

一体式修正仪校准装置

一体式修正仪校准装置是在不拆开修正仪和基表的同时，将两者置于同一环境进行校准的标准装置。此装置仅可以用于修正仪额定工作条件下的校准，结构如图 E.1 所示。

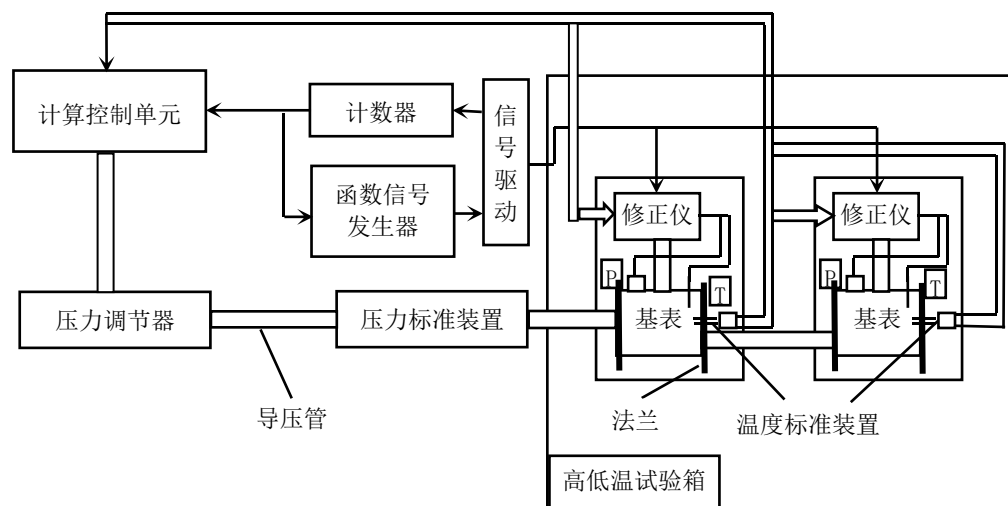


图 E.1 一体式标准装置示意图

修正仪与基表集于一体时，将修正仪连同基表一起放入高低温试验箱内（试验不含恒温槽），将流量计基表进出口装上法兰盖板，并由导压管通过法兰盖板将流量计基表内腔与压力标准装置和压力调节器相通，压力标准装置应尽量靠近高低温试验箱，减少压力波动。温度标准装置的测温头应通过法兰上的开孔安装于修正仪温度传感器附近。用导线将被校修正仪与各个标准设备连接起来，由计算机控制单元实现高低温箱内的控制。允许多台修正仪同时进行试验。

使用一体式修正仪标准装置作为标准器时，作为整体需要进行标准装置的不确定评定，其扩展不确定度不得大于修正仪修正示值误差的 $1/3$ 。校准步骤、校准点选择、计算方法等参照正文中的要求。