

# 天津市地方计量技术规范

JJF (津) XX-2024

## 燃气流量计体积修正仪校准规范

Calibration Specification of Volume Conversion Device for Gas Meter

(报批稿)

2024-XX-XX 发布

2024-XX-XX 实施

天津市市场监督管理委员会 发布

# 燃气流量计体积修正仪校准规范

Calibration Specification of  
Volume Conversion Device for Gas Meter

JJF(津) XX-2024

归口单位：天津市市场监督管理委员会

主要起草单位：天津市计量监督检测科学研究院

参加起草单位：天津市滨海新区检验检测中心

本规范委托天津市流量容量计量技术委员会负责解释

**本规范主要起草人：**

刘 明（天津市计量监督检测科学研究院）

张 璋（天津市计量监督检测科学研究院）

马云峰（天津市计量监督检测科学研究院）

**参加起草人：**

王 庆（天津市滨海新区检验检测中心）

李振涛（天津市计量监督检测科学研究院）

于劲竹（天津市计量监督检测科学研究院）

# 目 录

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 引 言.....                     | III |
| 1 范围.....                    | 1   |
| 2 引用文件.....                  | 1   |
| 3 术语和定义.....                 | 1   |
| 3.1 术语.....                  | 1   |
| 3.2 符号与单位.....               | 2   |
| 4 概述.....                    | 3   |
| 4.1 分类.....                  | 3   |
| 4.2 结构组成.....                | 3   |
| 4.3 工作原理.....                | 3   |
| 4.4 用途.....                  | 4   |
| 5 计量特性.....                  | 5   |
| 5.1 示值误差.....                | 5   |
| 5.2 重复性.....                 | 5   |
| 6 校准条件.....                  | 5   |
| 6.1 环境条件.....                | 5   |
| 6.2 主标准器及配套设备.....           | 5   |
| 7 校准项目和校准方法.....             | 6   |
| 7.1 校准项目.....                | 6   |
| 7.2 校准方法.....                | 6   |
| 7.3 误差的计算方法.....             | 8   |
| 8 校准结果表达.....                | 10  |
| 9 复校时间间隔.....                | 10  |
| 附录 A 校准原始记录参考格式.....         | 11  |
| 附录 B 校准证书内页参考格式.....         | 12  |
| 附录 C 体积转换误差测量结果不确定度评定示例..... | 13  |
| 附录 D 转换系数误差测量结果不确定度评定示例..... | 17  |
| 附录 E 温度测量误差测量结果不确定度评定示例..... | 20  |

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 附录 F 压力测量误差测量结果不确定度评定示例..... | 22 |
| 附录 G 计算误差测量结果不确定度评定示例.....   | 23 |
| 附录 H 实验用天然气组成数据.....         | 28 |

# 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 1004《流量计量名词术语及定义》和 JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范制定的基础性系列规范。

本规范参照国家标准 GB/T 36242-2018《燃气流量计体积修正仪》相关要求，并结合我市燃气流量计体积修正仪的生产、使用和校准现状制定。

本规范为首次制定。

# 燃气流量计体积修正仪校准规范

## 1 范围

本规范适用于由直流电源或电池供电，具有温度(T)转换、压力温度(PT)转换或压力温度压缩因子(PTZ)转换功能的燃气流量计体积修正仪的校准。

## 2 引用文件

本规范引用下列文件：

GB/T 17747.1-2011 天然气压缩因子的计算 第1部分：导论和指南

GB/T 17747.2-2011 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 17747.3-2011 天然气压缩因子的计算 第3部分：用物性值进行计算

GB/T 36242-2018 燃气流量计体积修正仪

凡是注明日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是未注明日期的引用文件，其最新版本（包含所有的修订单）适用于本规范。

## 3 术语和定义

### 3.1 术语

3.1.1 燃气流量计体积修正仪 volume conversion device for gas meter[GB/T 36242-2018,3.1.1]

由积算单元和温度传感器，或积算单元、温度传感器和压力传感器组成，根据燃气流量计测得的体积流量、燃气温度和压力等参数进行计算，将测量条件下的体积转换成基准条件下的体积，并进行积算、存储和显示的装置。以下简称“修正仪”。

3.1.2 转换系数 conversion factor[GB/T 36242-2018,3.1.4]

等于基准条件下的体积与拟转换体积的比值，或者当燃气流量计不校正时，等于基准条件下的体积除以测量条件下的体积。

3.1.3 积算单元 calculating unit

根据采集的温度、压力、体积流量等信号进行数据处理及误差计算的单元。

3.1.4 积算单元的误差( $e_f$ ) error of the calculator unit

输入设定的温度、压力及体积值时，基准条件下的体积  $V_b$  的示值误差。简称计算误差。

注：计算误差包含所有运算引入的误差，不包括温度、压力测量误差。

3.1.5 压力测量误差( $e_p$ ) error of the pressure measurement[GB/T 36242-2018,3.1.12]

压力测量值与约定真值的相对示值误差,包含压力传感器及其信号转换所引起的误差。

3.1.6 温度测量误差( $e_t$ ) error of the temperature measurement [GB/T 36242-2018, 3.1.13]

温度测量值与约定真值的相对示值误差,包含温度传感器及其信号转换所引起的误差。

## 3.1.7 主示值误差 error of conversion

修正仪的主示值误差不考虑流量计基表的误差,通常用转换系数误差或基准条件下的体积转换误差表示。

3.1.7.1 转换系数误差( $e_c$ ) error of the conversion factor

修正仪显示的转换系数  $C$  与约定真值  $C_{cv}$  之间的相对示值误差。

3.1.7.2 体积转换误差( $e_v$ ) error of the volume conversion

修正仪显示的基准条件下的体积值  $V_b$  与约定真值  $V_{cv}$  之间的相对示值误差。

## 3.2 符号与单位

本规范中的相关符号及其含义见表 1。

表 1 符号与单位

| 符号       | 含义       | 单位             | 符号        | 含义                          | 单位             |
|----------|----------|----------------|-----------|-----------------------------|----------------|
| $C$      | 转换系数     | /              | $T_b$     | 基准条件下的热力学温度 (293.15)        | K              |
| $C_{cv}$ | 转换系数约定真值 | /              | $T$       | 测量条件下的热力学温度                 | K              |
| $e_c$    | 转换系数误差   | %              | $T_{cv}$  | 热力学温度的约定真值                  | K              |
| $e_v$    | 体积转换误差   | %              | $t_{min}$ | 介质的最低温度                     | °C             |
| $e_f$    | 计算误差     | %              | $t_{max}$ | 介质的最高温度                     | °C             |
| $e_p$    | 压力测量误差   | %              | $V_b$     | 基准条件下的体积                    | m <sup>3</sup> |
| $e_t$    | 温度测量误差   | %              | $V$       | 测量条件下的体积                    | m <sup>3</sup> |
| $N$      | 脉冲数      | /              | $V_{cv}$  | 体积的约定真值                     | m <sup>3</sup> |
| $D$      | 脉冲当量     | m <sup>3</sup> | $V_{cvf}$ | 将修正仪的温度、压力值输入标准装置计算出体积的约定真值 | m <sup>3</sup> |



表 1(续) 符号与单位

| 符号        | 含义                    | 单位  | 符号        | 含义                            | 单位 |
|-----------|-----------------------|-----|-----------|-------------------------------|----|
| $p_b$     | 基准条件下的绝对压力值 (101.325) | kPa | $Z_b$     | 基准条件下的压缩因子                    | /  |
| $p$       | 测量条件下的绝对压力            | kPa | $Z$       | 测量条件下的压缩因子                    | /  |
| $p_{CV}$  | 绝对压力的约定真值             | kPa | $Z_{CV}$  | 测量条件下压缩因子的约定真值                | /  |
| $p_{min}$ | 绝对压力的最小值              | kPa | $Z_{bcv}$ | 基准条件下压缩因子的约定真值                | /  |
| $p_{max}$ | 绝对压力的最大值              | kPa | $Z_{cvf}$ | 将修正仪的温度、压力值输入标准装置计算出的压缩因子约定真值 | /  |

## 4 概述

### 4.1 分类

按测量原理的不同,修正仪可以分为以下几种型式:

- a)带温度转换(T转换)功能的修正仪;
- b)带压力和温度转换(PT转换)功能的修正仪;
- c)带压力、温度和压缩因子转换(PTZ转换)功能的修正仪。

### 4.2 结构组成

修正仪一般由温度传感器、压力传感器、积算单元、控制、存储、通讯及显示等部分组成,结构示意图如图1所示。

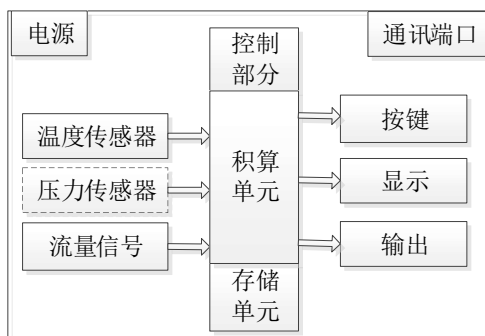


图 1 修正仪结构示意图

### 4.3 工作原理

修正仪通过转换系数与测量条件下的体积值相乘得到基准条件下的体积量,如公式(1)所示。

$$V_b = C \times V \quad (1)$$

#### 4.3.1 T 转换的修正仪

由温度传感器和积算单元等部分组成，压力值不测量，压缩因子不计算，分别用一固定值代替，此时公式(1)中的转换系数只与温度测量值相关，如公式（2）所示：

$$C = \frac{K}{T} \quad (2)$$

式中  $K$  为固定值，通过公式（3）计算：

$$K = \frac{p}{p_b} \times T_b \times \frac{Z_b}{Z} \quad (3)$$

#### 4.3.2 PT 转换的修正仪

由温度传感器、压力传感器和积算单元等部分组成。压缩因子为固定值，按平均测量条件与事先确定的燃气组分计算得到。此时公式(1)中的转换系数与温度、压力测量值相关，如公式（4）所示：

$$C = K' \times \frac{p}{T} \quad (4)$$

式中  $K'$  为固定值，计算方法如公式（5）所示：

$$K' = \frac{1}{p_b} \times T_b \times \frac{Z_b}{Z} \quad (5)$$

#### 4.3.3 PTZ 转换的修正仪

由温度传感器、压力传感器和积算单元等组成，修正仪采用与压力、温度有关的函数计算压缩因子以修正天然气与理想气体的偏离，此时公式(1)中的转换系数  $C$  的计算方法如公式（6）所示：

$$C = \frac{p}{p_b} \times \frac{T_b}{T} \times \frac{Z_b}{Z} \quad (6)$$

压缩因子优先按 GB/T 17747.1 和 GB/T 17747.3 规定的方法计算，当气体成分超出该方法的极限值时，应使用 GB/T 17747.2 规定的方法计算。

#### 4.4 用途

修正仪主要用于天然气、煤气、甲烷、乙烷等气体体积测量，多与燃气流量计配合使用，能够根据气体状态方程，将测量条件下的体积转换为标准状态下的体积，从而确保测量的准确性。

## 5 计量特性

### 5.1 示值误差

修正仪的主示值误差、温度测量误差、压力测量误差及计算误差的最大允许误差均采用相对示值误差的形式表示，误差限参考表 2。

表 2 修正仪最大允许误差限 (MPE)

| 校准项目                   | 最大允许误差 (%) |
|------------------------|------------|
| 主示值误差( $e_C$ 、 $e_V$ ) | $\pm 0.5$  |
| 计算误差(如适用)              | $\pm 0.1$  |
| 温度测量误差(如适用)            | $\pm 0.2$  |
| 压力测量误差(如适用)            | $\pm 0.2$  |

注：以上指标不用于合格判定，仅供参考。

### 5.2 重复性

在相同测量条件下对主示值误差进行多次测量（不少于 3 次），校准结果的重复性应不超过相应最大允许误差绝对值的 1/3。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

环境温度：(20±5)°C，每个校准点在一次测量中环境温度变化不应超过±1°C；

环境湿度：(60±15)%RH，每个试验点在一次测量中环境湿度变化不应超过±10%RH；

大气压力：86kPa~106kPa。

### 6.2 主标准器及配套设备

修正仪校准装置主要包括数字压力计、标准铂电阻温度计、测温仪、恒温槽、脉冲信号发生器和标准积算单元等，主标准器均应具备在有效期内且符合校准要求的检定或校准证书。

主标准器及配套设备见表 3。

表3 主标准器及配套设备

| 类别   | 名称       | 扩展不确定度/准确度等级<br>/最大允许误差  | 测量范围          | 用途          |
|------|----------|--|---------------|-------------|
| 主要设备 | 数字压力计    | 0.02级  | (80~1000) kPa | 测量压力示值      |
|      | 标准铂电阻温度计 | 二等   | (5~55)°C      | 测量温度示值      |
|      | 标准温度表    | $U=0.01^{\circ}\text{C}$ , $k=2$                                     | (5~55)°C      |             |
|      | 恒温槽      | 波动度: $\leq 0.01^{\circ}\text{C}$<br>均匀度: $\leq 0.01^{\circ}\text{C}$ | (5~55)°C      |             |
|      | 脉冲信号发生器  | $U=0.001\%$ , $k=2$  | (0~50)kHz     | 体积转换误差/计算误差 |
|      | 标准积算单元   | /  | /             | 计算压缩因子      |
| 配套设备 | 压力表      | 0.4级   | (80~2000) kPa | 管路密封性       |
|      | 稳压电源     | $U \leq 0.05\text{V}(k=2)$   | (0~60)V       | 供电          |
|      | 气泵       | /  | /             | 提供气源        |

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准项目

校准项目主要包括主示值误差、温度测量误差、压力测量误差和计算误差。具体校准项目可根据用户需求或修正仪类型进行选择。

### 7.2 校准方法

#### 7.2.1 校准前检查

修正仪应有使用说明书,说明书中应注明适用的介质、工作条件、所具备的补偿功能、调校方法、操作步骤等内容。

修正仪通电后显示的文字、数字、符号应清晰鲜明,亮度均匀,无缺笔画等现象,按键应无卡滞现象。

#### 7.2.2 校准点的选择

表4 校准试验点及顺序

| 压力(kPa)   | $p_{\min}$ | $p_2$ | $p_{\text{mid}}$ | $p_3$ | $p_{\max}$ |
|---|------------|-------|------------------|-------|------------|
| 温度(°C)  |            |       |                  |       |            |
| $T_{\min}$  | 1 ⇨        | 2 ⇨   | 3 ⇨              | 4 ⇨   | 5 ↓        |
| $T_{\text{mid}}$  | ↓ 10       | ⇨ 9   | ⇨ 8              | ⇨ 7   | ⇨ 6        |
| $T_{\max}$  | 11 ⇨       | 12 ⇨  | 13 ⇨             | 14 ⇨  | 15         |
| $T_{\text{mid}} \approx \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2}$ ; $p_2 \approx \frac{3p_{\min} + p_{\max}}{4}$ ; $p_{\text{mid}} \approx \frac{p_{\min} + p_{\max}}{2}$ ; $p_3 \approx \frac{p_{\min} + 3p_{\max}}{4}$ |            |       |                  |       |            |

PT转换的修正仪和PTZ转换的修正仪校准点参照表4,按1到15的顺序进行,T转换功能的修正仪误差试验只在 $T_{\min}$ 、 $T_{\text{mid}}$ 、 $T_{\max}$ 三个试验点下测量即可。第8点的转换误差按 $V_0$ 计算,其他点可按转换系数 $C$ 确定。

### 7.2.3 校准装置的连接

在校准条件下,按照图2连接被校修正仪与标准装置。将修正仪的输入端口连接到脉冲信号发生器,温度传感器与标准铂电阻温度计一同置入恒温槽,压力传感器和数字压力计分别通过接头和导压管接入压力源。确保各部件连接准确、可靠后可开始正式校准。

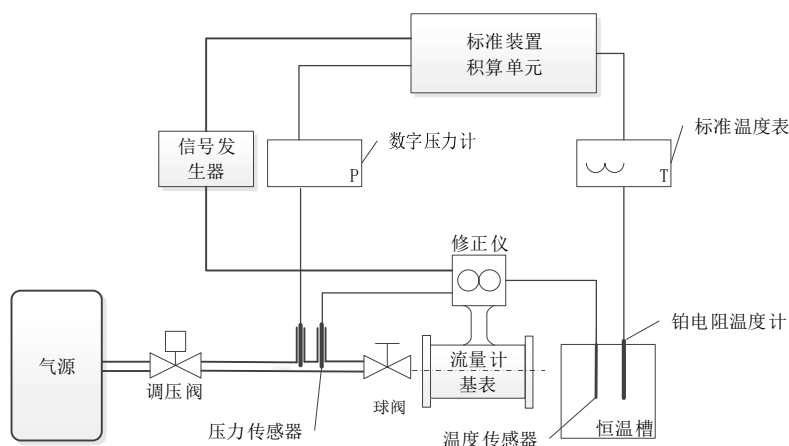


图2 校准方法示意图

### 7.2.4 校准过程

#### 7.2.4.1 温度、压力测量误差的校准

修正仪测得的温度、压力值与标准装置测得的温度、压力约定真值之间的相对示值误差即为温度、压力测量误差。

#### 7.2.4.2 计算误差的校准

修正仪的脉冲输入电路应具备处理相关流量计所有输出频率的能力,因此校准过程中通过信号发生器向修正仪输入脉冲信号时优选相关流量计的上限频率,修正仪工况体积增加量应等于脉冲数和脉冲当量之积,发送脉冲数应使修正仪工况体积量增加不少于 $500\text{m}^3$ 。

修正仪的计算误差可用修正仪的转换系数或转换体积与其约定真值的相对示值误差表示。此时转换系数或转换体积的约定真值通过将修正仪测得的温度、压力值输入标准装置得到。

#### 7.2.4.3 主示值误差的校准

修正仪得到的转换系数 $C$ 或基准条件下的体积值 $V_0$ 与标准装置积算单元得到

的转换系数或基准条件下体积值的约定真值  $C_{CV}$  和  $V_{CV}$  之间的相对示值误差即为修正仪的主示值误差。

当采用燃气组分或物性参数的设定计算压缩因子  $Z$  时，应选用附录 I 中天然气气样进行计算。

### 7.3 误差的计算方法

修正仪的温度测量误差、压力测量误差、计算误差可与主示值误差同时校准。校准过程中，每个试验点进行多次（一般不少于 3 次）重复测量，取算术平均值作为该点的示值误差。

#### 7.3.1 主示值误差

修正仪的主示值误差可通过体积转换误差或转换系数误差表示。

##### 7.3.1.1 体积转换误差

体积转换误差  $e_v$  按式 (7) 计算：

$$e_v = \frac{(V_b - V_{CV})}{V_{CV}} \times 100\% \quad (7)$$

式中：

$$V_b = C \times V = \frac{p}{p_b} \times \frac{T_b}{T} \times \frac{Z_b}{Z} \times N \times D \quad (8)$$

$$V_{CV} = \frac{p_{CV}}{p_b} \times \frac{T_b}{T_{CV}} \times \frac{Z_{bcv}}{Z_{CV}} \times N \times D \quad (9)$$

##### 7.3.1.2 转换系数误差

转换系数误差  $e_c$  按公式 (10) 计算：

$$e_c = \frac{(C - C_{CV})}{C_{CV}} \times 100\% \quad (10)$$

式中：

$$C = \frac{p}{p_b} \times \frac{T_b}{T} \times \frac{Z_b}{Z} \quad (11)$$

$$C_{CV} = \frac{p_{CV}}{p_b} \times \frac{T_b}{T_{CV}} \times \frac{Z_{bcv}}{Z_{CV}} \quad (12)$$

#### 7.3.2 计算误差

计算误差可以通过转换系数的计算误差或体积转换的计算误差两种方式表示，

计算方法如下。

### 7.3.2.1 转换系数的计算误差

用转换系数的计算误差表示修正仪的计算误差时，用符号  $e_{fC}$  表示，通过测量条件下的转换系数  $C$  和转换系数的约定真值  $C_{CVf}$  之间的相对示值误差计算得到。如式 (13) 所示。 $C_{CVf}$  是将修正仪测得的温度、压力值输入标准装置计算出转换系数的约定真值，如式 (14) 所示。

$$e_{fC} = \frac{(C - C_{CVf})}{C_{CV}} \times 100\% \quad (13)$$

$$C_{CVf} = \frac{p}{p_b} \times \frac{T_b}{T} \times \frac{Z_{bcv}}{Z_{CVf}} \quad (14)$$

### 7.3.2.2 体积转换的计算误差

通过基准条件下体积量转换的计算误差表示修正仪的计算误差时，用符号  $e_{IV}$  表示，通过式 (15) 计算。此时将修正仪测得的温度、压力值输入标准装置计算出标况体积的约定真值  $V_{CVf}$ ，如式 (16) 所示：

$$e_{IV} = \frac{(V_b - V_{CVf})}{V_{CVf}} \times 100\% \quad (15)$$

$$V_{CVf} = \frac{p}{p_b} \times \frac{T_b}{T} \times \frac{Z_{bcv}}{Z_{CVf}} \times N \times D \quad (16)$$

### 7.3.3 压力测量误差

通过修正仪压力传感器的测量值与标准数字压力计测得的标准压力值的相对示值误差计算修正仪的压力测量误差，如式 (17) 所示：

$$e_p = \frac{(p - p_{CV})}{p_{CV}} \times 100\% \quad (17)$$

### 7.3.4 温度测量误差

取修正仪温度传感器的测量值与标准铂电阻温度计测得的标准温度值的相对示值误差作为修正仪的温度测量误差，如式 (18) 所示：

$$e_t = \frac{(T - T_{CV})}{T_{CV}} \times 100\% \quad (18)$$

### 7.3.6 测量结果的重复性

测量结果的重复性可通过贝塞尔公式计算主示值误差测量结果的标准偏差来表示，如式 (19) 所示。

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e})^2}{n-1}} \quad (19)$$

## 8 校准结果表达

校准原始记录格式见附录 A，校准证书（报告）内页格式见附录 B。

不同误差测量结果的不确定度评定实例见附录 C~H。

## 9 复校时间间隔

复校时间间隔宜与匹配的流量计基表检定周期或复校时间间隔一致。

由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的，因此，送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。



附录 A

校准原始记录参考格式

| 被校仪器信息                          |       |        |            |                |           |           |           |                |                |           |                 |                 |                    |                     |                     |                 |                 |                    |                |
|---------------------------------|-------|--------|------------|----------------|-----------|-----------|-----------|----------------|----------------|-----------|-----------------|-----------------|--------------------|---------------------|---------------------|-----------------|-----------------|--------------------|----------------|
| 送检单位                            |       | 客户地址   |            |                | 生产厂家      |           |           |                |                |           |                 |                 |                    |                     |                     |                 |                 |                    |                |
| 名称                              |       | 型号     |            | 出厂编号           |           |           |           |                |                |           |                 |                 |                    |                     |                     |                 |                 |                    |                |
| 设定温度范围                          |       | 设定压力范围 |            |                | 设定流量范围    |           |           |                |                |           |                 |                 |                    |                     |                     |                 |                 |                    |                |
| 校准依据                            |       |        |            |                |           |           |           |                |                |           |                 |                 |                    |                     |                     |                 |                 |                    |                |
| JJF(津)xxx-xxxx 《燃气流量计体积修正仪校准规范》 |       |        |            |                |           |           |           |                |                |           |                 |                 |                    |                     |                     |                 |                 |                    |                |
| 标准器信息                           |       |        |            |                |           |           |           |                |                |           |                 |                 |                    |                     |                     |                 |                 |                    |                |
| 名称                              |       | 编号     |            | 测量范围           |           | 证书号       |           | 有效期至           |                | 溯源机构      |                 |                 |                    |                     |                     |                 |                 |                    |                |
| 校准条件                            |       |        |            |                |           |           |           |                |                |           |                 |                 |                    |                     |                     |                 |                 |                    |                |
| 环境温度(°C)                        |       |        |            |                | 环境湿度(%RH) |           |           |                |                | 大气压力(kPa) |                 |                 |                    |                     |                     |                 |                 |                    |                |
| 校准点                             | 校准条件  | 校准次数   | 脉冲信号频率 $f$ | 脉冲当量 $D$       | 脉冲数 $N$   | 温度测量值 $T$ | 压力测量值 $p$ | 工况体积积 $V$      | 基准条件下体积 $V_b$  | 转换系数 $C$  | 温度测量真值 $T_{cv}$ | 压力测量真值 $p_{cv}$ | 工况 $Z$ 真值 $Z_{cv}$ | 标况 $Z$ 真值 $Z_{bcv}$ | 积算 $Z$ 真值 $Z_{cvt}$ | 转换系数真值 $C_{cv}$ | 体积约定真值 $V_{cv}$ | 工况体积约定真值 $V_{cvt}$ |                |
|                                 |       |        |            |                |           |           |           |                |                |           |                 |                 |                    |                     |                     |                 |                 |                    | 误差 $e_t/\%$    |
| 1                               | 设定温度: | 1      | Hz         | m <sup>3</sup> | /         | K         | kPa       | m <sup>3</sup> | m <sup>3</sup> | /         | K               | kPa             | /                  | /                   | /                   |                 |                 | m <sup>3</sup>     | m <sup>3</sup> |
|                                 |       | 2      |            |                |           |           |           |                |                |           |                 |                 |                    |                     |                     |                 |                 |                    |                |
|                                 |       | 3      |            |                |           |           |           |                |                |           |                 |                 |                    |                     |                     |                 |                 |                    |                |
| 1                               | 设定压力: | 1      |            |                |           |           |           |                |                |           |                 |                 |                    |                     |                     |                 |                 |                    |                |
|                                 |       | 2      |            |                |           |           |           |                |                |           |                 |                 |                    |                     |                     |                 |                 |                    |                |
|                                 |       | 3      |            |                |           |           |           |                |                |           |                 |                 |                    |                     |                     |                 |                 |                    |                |
| .....                           |       |        |            |                |           |           |           |                |                |           |                 |                 |                    |                     |                     |                 |                 |                    |                |

## 附录 B

## 校准证书内页参考格式

证书编号:XXXXXX-XXXX

## 校准结果

1.标准参比条件为: 压力:101.325kPa, 温度:20.0°C。

2.修正仪校准条件设定:

温度范围: ( ~ ) K, 压力范围: ( ~ ) kPa, 流量范围: ( ~ ) m<sup>3</sup>/h; 校准用介质: 。

3.校准结果:

| 校准点   | 校准条件 |    | 压力测量误差 |           |     | 温度测量误差 |           |                         | 体积转换误差 |           |     | 转换系数误差 |           |     | 计算误差      |                   |     |  |
|-------|------|----|--------|-----------|-----|--------|-----------|-------------------------|--------|-----------|-----|--------|-----------|-----|-----------|-------------------|-----|--|
|       | 设定   | 设定 | 误差     | 重复性       | 扩展不 | 误差     | 重复性       | 扩展不                     | 误差     | 重复性       | 扩展不 | 误差     | 重复性       | 扩展不 | 误差        | 重复性               | 扩展不 |  |
|       | 温度   | 压力 | $e_p$  | $(e_p)_r$ | 确定度 | $e_t$  | $(e_t)_r$ | 扩展不<br>确定度<br>( $k=2$ ) | $e_v$  | $(e_v)_r$ | 确定度 | $e_c$  | $(e_c)_r$ | 确定度 | $e_N/e_N$ | $(e_N)_r/(e_N)_r$ | 确定度 |  |
| °C    | kPa  | %  | %      | %         | %   | %      | %         | %                       | %      | %         | %   | %      | %         | %   | %         | %                 | %   |  |
| 1     |      |    |        |           |     |        |           |                         |        |           |     |        |           |     |           |                   |     |  |
| 2     |      |    |        |           |     |        |           |                         |        |           |     |        |           |     |           |                   |     |  |
| ...   |      |    |        |           |     |        |           |                         |        |           |     |        |           |     |           |                   |     |  |
| ..... |      |    |        |           |     |        |           |                         |        |           |     |        |           |     |           |                   |     |  |

以下空白

说明:

根据客户要求和校准文件的规定, 通常情况下\_\_\_\_个月校准一次。

声明:

1. 仅对加盖“XXXXX 校准专用章”的完整证书负责。
2. 本证书的校准结果仅对本次所校准的计量器具有效。

第 X 页 共 X 页

## 附录 C

## 体积转换误差测量结果不确定度评定示例

## C.1 测量方法

修正仪与标准装置的连接见图 2。

标准装置温度传感器采用二等标准铂电阻温度计；

标准温度表的不确定度为  $U_{\text{rel}}=0.005\%$ ， $k=2$ ；

恒温槽温度范围  $5^{\circ}\text{C}\sim 55^{\circ}\text{C}$ ，温度均匀度为  $U=0.007^{\circ}\text{C}(k=2)$ ，温度波动度为  $U=0.009^{\circ}\text{C}(k=2)$ ；

数字压力计的准确度等级为 0.02 级；

测量过程中，脉冲信号发生器以 100Hz 频率向被校修正仪发送 5000 个脉冲信号，脉冲当量为  $0.1\text{m}^3$ ，工况体积量为  $500\text{m}^3$ 。

标准装置采用 GB/T 17747.3-2011《天然气压缩因子的计算 第 3 部分：用物性值进行计算》计算压缩因子。

校准点温度  $20.0^{\circ}\text{C}$ 、压力  $103.325\text{kPa}$ 。

## C.2 测量模型

对于单次测量，修正仪基准条件下体积量转换的相对示值误差定义为：

$$e_v = \frac{V_b - V_{\text{CV}}}{V_{\text{CV}}} \times 100\% = \left( \frac{V_b}{V_{\text{CV}}} - 1 \right) \times 100\% \quad (\text{C.1})$$

式中：

$V_b$ —修正仪基准条件下体积量， $\text{m}^3$ ；

$V_{\text{CV}}$ —体积量的约定真值， $\text{m}^3$ 。

其中：

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

式中  $p_b$ 、 $T_b$ 、 $N$  和  $D$  为常数，不确定度分量为 0，因此  $V_{\text{CV}}$  的测量不确定度可表示为：

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

C.3  $V_{\text{CV}}$  测量不确定度分量

C.3.1 输入量  $p_{CV}$  的相对标准不确定度  $u_r(p_{CV})$ 

校准用数字压力计的准确度等级为 0.02 级，按均匀分布处理，取  $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u_r(p_{CV}) = \frac{0.02\%}{\sqrt{3}} = 0.0115\%$$

C.3.2 输入量  $T_{CV}$  的相对标准不确定度  $u_r(T_{CV})$  的评定C.3.2.1 二等标准铂电阻引入的相对标准不确定度  $u_r(T_{CV1})$ 

根据校准证书可知二等标准铂电阻的自热效应为 1.1mK，按矩形分布计算，则：

$$u_r(T_{CV1}) = \left( \frac{1.1/1000}{293.15 \times \sqrt{3}} \right) \times 100\% = 0.0002\%$$

C.3.2.2 温度二次仪表引入的相对标准不确定度  $u_r(T_{CV2})$ 

标准温度表校准证书给出扩展不确定度为  $U_{rel}=0.005\%(k=2)$ ，根据标准铂电阻 Pt25 分度值表可得阻值与温度变化基本成线性关系： $0.1 \Omega / ^\circ\text{C}$ ，当测量温度为  $20.0^\circ\text{C}$  时电阻值约为  $26.95 \Omega$ ，则有  $U=1.3475\text{m} \Omega (k=2)$ ，转换为温度测量不确定度为  $U=13.475\text{Mk} (k=2)$ ，那么：

$$u_r(T_{CV2}) = \frac{13.475/1000}{2 \times 293.15} = 0.0023\%$$

C.3.2.3 恒温槽温度均匀度引入的相对标准不确定度  $u_r(T_{CV3})$ 

根据恒温槽校准证书可知温度均匀度为  $U=0.007^\circ\text{C}(k=2)$ ，则：

$$u_r(T_{CV3}) = \left( \frac{0.007}{2 \times 293.15} \right) \times 100\% = 0.0012\%$$

C.3.2.4 恒温槽波动性引入的相对标准不确定度  $u_r(T_{CV4})$ 

根据恒温槽校准证书可知温度波动度为  $U=0.009^\circ\text{C}(k=2)$ ，则：

$$u_r(T_{CV4}) = \left( \frac{0.009}{2 \times 293.15} \right) \times 100\% = 0.0016\%$$

C.3.2.5 输入量  $T_{CV}$  的合成标准不确定度  $u_r(T_{CV})$ 

$T_{CV}$  的合成标准标准不确定度由以上分量合成得到，且各分量互不相关，则：

$$u_r(T_{CV}) = \sqrt{(u_r(T_{CV1}))^2 + (u_r(T_{CV2}))^2 + (u_r(T_{CV3}))^2 + (u_r(T_{CV4}))^2} \approx 0.0031\%$$

C.3.3 输入量  $Z_{bcv}$  和  $Z_{CV}$  的相对标准不确定度  $u_r(Z_{bcv})$  和  $u_r(Z_{CV})$

1#气样的摩尔组分采用 GB/T 17747.3 所述方法计算天然气压缩因子时, 计算结果的扩展不确定度均不超过  $U_r=0.1\%$ ,  $k=2$ , 因此:

$$u_r(Z_{bcv}) = \frac{0.1\%}{2} = 0.05\%$$

$$u_r(Z_{cv}) = \frac{0.1\%}{2} = 0.05\%$$

#### C.4 $V_{CV}$ 的合成标准不确定度

表 C.1  $V_{CV}$  相对标准不确定度汇总表

| 序号                 | 符号             | 来源     | 相对标准不确定度<br>$u_r(x_i)/\%$ | 灵敏度系数<br>$c_i$ | $ c_i(x_i) u_i(x_i)/\%$ |
|--------------------|----------------|--------|---------------------------|----------------|-------------------------|
| 1                  | $u_r(p_{CV})$  | 标准压力测量 | 0.0115                    | 1              | 0.0115                  |
| 2                  | $u_r(T_{CV})$  | 标准温度测量 | 0.0031                    | -1             | 0.0031                  |
| 3                  | $u_r(Z_{CV})$  | 压缩因子计算 | 0.05                      | -1             | 0.05                    |
| 4                  | $u_r(Z_{bcv})$ | 压缩因子计算 | 0.05                      | 1              | 0.05                    |
| $V_{CV}$ 合成标准不确定度: |                |        | $u_r(V_{CV})=0.072\%$     |                |                         |

#### C.5 脉冲计数引入的相对标准不确定度

假定修正仪接收 5000 个脉冲产生一个脉冲的计数误差, 其引入不确定度按均匀分布, 则:

$$u_r(V) = \frac{1}{5000 \times \sqrt{3}} \times 100\% = 0.012\%$$

#### C.6 $e_v$ 测量重复性引入的标准不确定度

对修正仪的体积转换误差进行 6 次重复测量, 误差分别为 0.31%、0.29%、0.30%、0.31%、0.30%、0.31%, 用贝塞尔公式计算单次测量的实验标准偏差:  $s(x_k) = 0.009\%$

$$\text{那么, 6 次测量误差平均值的实验标准差为 } s(\bar{x}_k) = \frac{0.009\%}{\sqrt{6}} = 0.004\%$$

因此测量重复性引入的 A 类标准不确定度为:  $u_A(e_v) = s(\bar{x}_k) = 0.004\%$ 。

#### C.7 $e_v$ 合成标准不确定度

表 C.2  $e_v$  合成标准不确定度

| 序号                                   | 符号         | 来源        | 相对标准不确定度<br>$u_r(x_i)/\%$ | 灵敏度系数<br>$c_i(x_i)$ | $ c_i(x_i) u_i(x_i)/\%$ |
|--------------------------------------|------------|-----------|---------------------------|---------------------|-------------------------|
| 1                                    | $V_{CV}$   | 标准装置      | 0.072                     | 1                   | 0.072                   |
| 2                                    | $V$        | 修正仪脉冲接收误差 | 0.012                     | 1                   | 0.012                   |
| 3                                    | $u_A(e_v)$ | 测量重复性     | 0.004                     | 1                   | 0.004                   |
| $e_v$ 合成标准不确定度: $u_c(e_v) = 0.073\%$ |            |           |                           |                     |                         |

## C.8 相对扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，则修正仪此次测量结果的体积转换误差  $e_v$  的相对扩展不确定度为：

$$U_r(e_v) = k \cdot u_c(e_v) = 2 \times 0.073\% \approx 0.15\% (k=2)$$

## 附录 D

## 转换系数误差测量结果不确定度评定示例

## D.1 测量方法

修正仪与标准装置的连接与附录 C 一致，不同的是不需要向修正仪输入脉冲信号。

标准装置温度测量使用二等标准铂电阻温度计；

标准温度表的不确定度为  $U_{\text{rel}}=0.005\%$ ， $k=2$ ；

恒温槽温度范围  $5^{\circ}\text{C}\sim 55^{\circ}\text{C}$ ，温度均匀度为  $U=0.007^{\circ}\text{C}(k=2)$ ，温度波动度为  $U=0.009^{\circ}\text{C}(k=2)$ ；

数字压力计的准确度等级为 0.02 级；

标准装置软件采用 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》计算压缩因子。

选取温度  $20.0^{\circ}\text{C}$ 、压力  $103.325\text{kPa}$  点进行测量不确定度的评定。

## D.2 测量模型

对于单次测量，修正仪基准条件下转换系数相对示值误差定义为：

$$e_c = \frac{C - C_{\text{CV}}}{C_{\text{CV}}} \times 100\% = \left( \frac{C}{C_{\text{CV}}} - 1 \right) \times 100\% \quad (\text{D.1})$$

式中：

$$C_{\text{CV}} = \frac{T_b}{p_b} \times \left( \frac{p_{\text{CV}}}{T_{\text{CV}}} \times \frac{Z_{\text{bcv}}}{Z_{\text{CV}}} \right) \quad (\text{D.2})$$

式中  $p_b$ 、 $T_b$  是常数，引入的不确定度分量为 0，因此  $C_{\text{CV}}$  的相对不确定度可表示为：

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

D.3  $C_{\text{CV}}$  测量不确定度分析D.3.1 输入量  $p_{\text{CV}}$  的相对标准不确定度  $u_r(p_{\text{CV}})$ 

数字压力表的准确度等级为 0.02 级，按均匀分布处理，取  $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u_r(p_{\text{CV}}) = \frac{0.02\%}{\sqrt{3}} = 0.0115\%$$

D.3.2 输入量  $T_{CV}$  的相对标准不确定度  $u_r(T_{CV})$  的评定

$T_{CV}$  的测量不确定度评定与 C.3.2 相同，因此：

$$u_r(T_{CV}) = 0.0031\%$$

D.3.3 输入量  $Z_{bcv}$  和  $Z_{CV}$  的相对标准不确定度  $u_r(Z_{bcv})$  和  $u_r(Z_{CV})$  的评定

$Z_{bcv}$  和  $Z_{CV}$  的不确定度评定方法与 C.3.3 相同，因此：

$$u_r(Z_{CV}) = 0.05\%$$

$$u_r(Z_{bcv}) = 0.05\%$$

D.4  $C_{CV}$  的合成标准不确定度

$C_{CV}$  的合成标准不确定度计算可参考 C.4，得  $u_r(C_{CV}) = 0.072\%$ 。

D.5  $e_C$  测量重复性引入的标准不确定度

对修正仪的转换系数误差进行 6 次重复测量，结果分别为 0.29%、0.30%、0.30%、0.31%、0.30%、0.31%，用贝塞尔公式计算单次测量的实验标准偏差： $s(x_k) = 0.009\%$

则 6 次测量误差平均值的实验标准差为  $s(\bar{x}_k) = \frac{0.009\%}{\sqrt{6}} = 0.004\%$

因此测量重复性引入的 A 类标准不确定度用平均值的试验标准偏差来评定，即

$$u_A(e_V) = s(\bar{x}_k) = 0.004\%$$

D.6  $e_C$  合成标准不确定度

表 D.1  $e_C$  合成标准不确定度

| 序号                                   | 符号         | 来源    | 相对标准不确定度<br>$u_r(x_i)/\%$ | 灵敏度系数<br>$c_i(x_i)$ | $ c_i(x_i) u_i(x_i)/\%$ |
|--------------------------------------|------------|-------|---------------------------|---------------------|-------------------------|
| 1                                    | $C_{CV}$   | 标准装置  | 0.072                     | 1                   | 0.072                   |
| 2                                    | $u_A(e_C)$ | 测量重复性 | 0.004                     | 1                   | 0.004                   |
| $e_C$ 合成标准不确定度： $u_c(e_C) = 0.073\%$ |            |       |                           |                     |                         |

## D.7 转换系数误差的相对扩展不确定度



取包含因子  $k=2$ ，则修正仪转换系数误差  $e_c$  的相对扩展不确定度为：

$$U_r(e_c) = k \cdot u_c(e_c) = 2 \times 0.073\% \approx 0.15\% (k=2)$$

## 附录 E

## 温度测量误差测量结果不确定度评定示例

## E.1 测量方法

标准装置温度传感器采用二等标准铂电阻温度计；

标准温度表的不确定度为  $U_{\text{rel}}=0.005\%$ ， $k=2$ ；

恒温槽温度范围  $5^{\circ}\text{C}\sim 55^{\circ}\text{C}$ ，温度均匀度为  $U=0.007^{\circ}\text{C}(k=2)$ ，温度波动度为  $U=0.009^{\circ}\text{C}(k=2)$ ；

校准点温度  $20.0^{\circ}\text{C}$ 。

## E.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：

$$e_t = \frac{(T - T_{\text{CV}})}{T_{\text{CV}}} \times 100\% = \left( \frac{T}{T_{\text{CV}}} - 1 \right) \times 100\% \quad (\text{E.1})$$

E.3  $T_{\text{CV}}$  输入量的不确定度分量

与 C3.2 相同  $u_r(T_{\text{CV}}) = 0.0031\%$ 。

E.4  $e_t$  测量重复性引入的标准不确定度

重复测量 6 次，误差分别为 0.09%、0.10%、0.09%、0.09%、0.10%、0.10%，用贝塞尔公式计算单次测量的实验标准偏差： $s(x_k) = 0.006\%$ 。

6 次测量平均值的实验标准差  $s(\bar{x}_k) = \frac{s(x_k)}{\sqrt{6}} \approx 0.003\%$ ，那么  $e_t$  测量的 A 类标准不

确定度  $u_A(e_t)$  为 0.003%。

E.5  $e_t$  合成标准不确定度表 E.1  $e_t$  合成标准不确定度

| 序号                   | 符号              | 来源   | 标准不确定度<br>$u_r(x_i)/\%$ | 灵敏系数<br>$c_i(x_i)$ | $ c_i(x_i) u_i(x_i)/\%$ |
|----------------------|-----------------|------|-------------------------|--------------------|-------------------------|
| 1                    | $T_{\text{CV}}$ | 标准装置 | 0.0031                  | 1                  | 0.0031                  |
| 2                    | $u_A(e_t)$      | 重复测量 | 0.003                   | 1                  | 0.003                   |
| $u_c(e_t) = 0.004\%$ |                 |      |                         |                    |                         |

## E.6 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，则温度示值误差  $e_t$  的扩展不确定度为：

$$U(e_t) = ku_c(e_t) = 2 \times 0.004\% \approx 0.01\% \quad (k=2)$$

## 附录 F

## 压力测量误差测量结果不确定度评定示例

## F.1 测量方法

标准装置采用的数字压力计的准确度等级为 0.02 级。校准点压力 103.3kPa。

## F.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：

$$e_p = \left( \frac{p - p_{CV}}{p_{CV}} \right) \times 100\% = \left( \frac{p}{p_{CV}} - 1 \right) \times 100\% \quad (\text{F.1})$$

F.3  $p_{CV}$  的不确定度分量

与 C3.1 评定过程相同， $u_r(p_{CV}) = 0.012\%$

F.4  $e_p$  重复性引入的标准不确定度

重复测量 6 次，误差分别为 0.09%、0.10%、0.10%、0.10%、0.11%、0.10%，用贝塞尔公式计算单次测量的实验标准偏差： $s(x_k) = 0.007\%$

6 次测量平均值实验标准差  $s(\bar{x}_k) = \frac{s(x_k)}{\sqrt{6}} \approx 0.003\%$ ，压力示值误差  $e_p$  测量的 A 类标准不确定度  $u_A(e_p)$  为 0.003%。

准不确定度  $u_A(e_p)$  为 0.003%。

F.5  $e_p$  合成标准不确定度

表 F.1  $e_p$  合成标准不确定度

| 序号                   | 符号         | 来源    | 标准不确定度<br>$u_i(x_i)/\%$ | 灵敏系数<br>$c_r(x_i)$ | $ c_r(x_i) u_i(x_i)/\%$ |
|----------------------|------------|-------|-------------------------|--------------------|-------------------------|
| 1                    | $p_{CV}$   | 标准装置  | 0.012                   | 1                  | 0.012                   |
| 2                    | $u_A(e_p)$ | 测量重复性 | 0.003                   | 1                  | 0.003                   |
| $u_c(e_p) = 0.013\%$ |            |       |                         |                    |                         |

## F.6 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，则压力示值误差  $e_p$  的扩展不确定度为：

$$U_r(e_p) = k u_c(e_p) = 2 \times 0.013\% \approx 0.03\% \quad (k=2)$$

## 附录 G

## 计算误差测量结果不确定度评定示例

## G.1 通过基准条件下体积换算表示计算误差

## G.1.1 测量方法

方法与 C.1 基本相同，用标准装置计算体积量约定真值时，直接将修正仪测得的温度值、压力值输入标准装置计算。

## G.1.2 测量模型

对于单次测量，修正仪采用基准条件下体积算出的计算误差定义为：

$$e_{IV} = \frac{V_b - V_{CVf}}{V_{CVf}} \times 100\% = \left( \frac{V_b}{V_{CVf}} - 1 \right) \times 100\% \quad (\text{G.1})$$

式中：

$V_b$ —修正仪基准条件下体积量的示值， $\text{m}^3$ ；

$V_{CVf}$ —修正仪测得的温度、压力值输入标准装置计算出体积的约定真值， $\text{m}^3$ 。

$$V_{CVf} = \frac{T_b \times N \times D}{p_b} \times \left( \frac{p}{T} \times \frac{Z_{bcv}}{Z_{CVf}} \right) \quad (\text{G.2})$$

此处  $p_b$ 、 $T_b$ 、 $N$  和  $D$  都是常数，因此灵敏系数为 0。 $V_{CVf}$  的测量不确定度可通过下式计算：

$$\left[ \frac{u(V_{CVf})}{V_{CVf}} \right]^2 = \left[ \frac{u(p)}{p} \right]^2 + \left[ \frac{u(T)}{T} \right]^2 + \left[ \frac{u(Z_{CVf})}{Z_{CVf}} \right]^2 + \left[ \frac{u(Z_{bcv})}{Z_{bcv}} \right]^2 \quad (\text{G.3})$$

G.1.3  $V_{CVf}$  测量不确定度分量G.1.3.1 输入量  $p$  的标准不确定度  $u_r(p)$  的评定

被测修正仪压力测量的分辨力为  $0.01\text{kPa}$ ，按均匀分布处理，取  $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u(\delta p) = \frac{1}{103.325} \times \frac{0.01}{\sqrt{3}} \times 100\% = 0.0056\%$$

G.1.3.2 输入量  $T$  的标准不确定度  $u_r(T)$  的评定

被测修正仪温度测量分辨力为  $0.01^\circ\text{C}$ ，按均匀分布处理，取  $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u(\delta T) = \frac{1}{293.15} \times \frac{0.01}{\sqrt{3}} \times 100\% \approx 0.0020\%$$

### G.1.3.3 输入量 $Z_{cvf}$ 和 $Z_{bcv}$ 的相对标准不确定度 $u_r(Z_{cvf})$ 、 $u_r(Z_{bcv})$ 的评定

根据 GB/T 17747.3 可知,  $Z_{cvf}$  和  $Z_{bcv}$  计算结果的扩展不确定度不超过 0.1%,  $k=2$ , 则:

$$u_r(Z_{cvf}) = \frac{0.1\%}{2} = 0.05\%$$

$$u_r(Z_{bcv}) = \frac{0.1\%}{2} = 0.05\%$$

### G.1.4 $V_{cvf}$ 的合成标准不确定度

表 G.1 输入量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 $u_r(x_i)/\%$ | 灵敏系数 $c_i(x_i)$ | $ c_i(x_i) u_i(x_i)/\%$ |
|--------------------------|----------------|--------|--------------------------|-----------------|-------------------------|
| 1                        | $u_r(p)$       | 压力测量   | 0.0056                   | 1               | 0.0056                  |
| 2                        | $u_r(T)$       | 温度测量   | 0.0020                   | -1              | 0.0020                  |
| 3                        | $u_r(Z_{cvf})$ | 压缩因子计算 | 0.05                     | -1              | 0.05                    |
| 4                        | $u_r(Z_{bcv})$ | 压缩因子计算 | 0.05                     | 1               | 0.05                    |
| $u_c(V_{cvf}) = 0.071\%$ |                |        |                          |                 |                         |

### G.1.5 修正仪脉冲接收引入的不确定度

评定方法参考 C.5, 则有:

$$u(V) = \frac{1}{5000 \times \sqrt{3}} \times 100\% = 0.012\%$$

### G.1.6 $e_{IV}$ 测量重复性引入的标准不确定度

重复测量 6 次, 测量结果为: 0.06%、0.05%、0.05%、0.06%、0.04%、0.06%, 计算单次测量的实验标准偏差:  $s(x_k) = 0.0082\%$

6 次测量平均值实验标准差  $s(\bar{x}_k) = \frac{0.0082\%}{\sqrt{6}} = 0.004\%$ ,  $e_{IV}$  测量的 A 类标准不确定

度为  $u_A(e_{IV}) = 0.004\%$ 。

### G.1.7 $e_{IV}$ 合成标准不确定度

表 G.2 合成标准不确定度

| 序号                    | 符号            | 来源       | 输入量的标准不确定度 $u_i(x_i)/\%$ | 灵敏系数 $c_i(x_i)$ | $ c_i(x_i) u_i(x_i)/\%$ |
|-----------------------|---------------|----------|--------------------------|-----------------|-------------------------|
| 1                     | $V_{CVf}$     | 标准装置     | 0.071                    | 1               | 0.071                   |
| 2                     | $V$           | 脉冲接收误差   | 0.012                    | 1               | 0.012                   |
| 3                     | $u_A(e_{IV})$ | 平均值实验标准差 | 0.004                    | 1               | 0.004                   |
| $u_c(e_{IV})=0.073\%$ |               |          |                          |                 |                         |

## G.1.8 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，则采用基准条件下体积转换得到的计算误差  $e_{IV}$  的相对扩展不确定度为：

$$U_r(e_{IV}) = ku_c(e_{IV}) = 2 \times 0.073\% \approx 0.15\% (k=2)$$

## G.2 通过转换系数表示计算误差

## G.2.1 测量方法

方法与 C.1 基本相同，标准装置计算转换系数时，按修正仪测得的温度、压力计算。

## G.2.2 测量模型

对于单次测量，修正仪采用转换系数算出的计算误差定义为：

$$e_{IC} = \frac{C - C_{CVf}}{C_{CVf}} \times 100\% = \left( \frac{C}{C_{CVf}} - 1 \right) \times 100\% \quad (G.4)$$

式中：

$$C_{CVf} = \frac{T_b}{p_b} \times \left( \frac{p}{T} \times \frac{Z_{bcv}}{Z_{CVf}} \right) \quad (G.5)$$

$p_b$ 、 $T_b$  是常数，因此灵敏系数为 0。 $C_{CVf}$  的测量不确定度可通过下式计算：

$$\left[ \frac{u(C_{CVf})}{C_{CVf}} \right]^2 = \left[ \frac{u(p)}{p} \right]^2 + \left[ \frac{u(T)}{T} \right]^2 + \left[ \frac{u(Z_{CVf})}{Z_{CVf}} \right]^2 + \left[ \frac{u(Z_{bcv})}{Z_{bcv}} \right]^2 \quad (G.6)$$

G.2.3  $C_{CVf}$  测量不确定度分量G.2.3.1 输入量  $p$  的标准不确定度  $u_r(p)$  的评定

被测修正仪压力测量的分辨力为 0.01kPa，按均匀分布处理，取  $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u(\delta p) = \frac{1}{103.325} \times \frac{0.01}{\sqrt{3}} \times 100\% = 0.0056\%$$

### G.2.3.2 输入量 $T$ 的标准不确定度 $u_r(T)$ 的评定

被测修正仪温度测量分辨力为 0.01℃，按均匀分布处理，取  $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u(\delta T) = \frac{1}{293.15} \times \frac{0.01}{\sqrt{3}} \times 100\% = 0.0020\%$$

### G.2.3.3 输入量 $Z_{CVf}$ 和 $Z_{bcv}$ 的相对标准不确定度 $u_r(Z_{CVf})$ 和 $u_r(Z_{bcv})$ 的评定

查 GB/T 17747.2 和.3 可知， $Z_{CVf}$  和  $Z_{bcv}$  计算结果的扩展不确定度均不超过 0.1%， $k=2$ ，则：

$$u_r(Z_{CVf}) = \frac{0.1\%}{2} = 0.05\%$$

$$u_r(Z_{bcv}) = \frac{0.1\%}{2} = 0.05\%$$

### G.2.4 $C_{CVf}$ 的相对标准不确定度概算

表 G.3 输入量  $C_{CVf}$  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 $u_r(x_i)/\%$ | 灵敏系数 $c_i(x_i)$ | $ c_i(x_i) u_r(x_i)/\%$ |
|------------------------|----------------|--------|--------------------------|-----------------|-------------------------|
| 1                      | $u_r(p)$       | 压力测量   | 0.0056                   | -1              | 0.0056                  |
| 2                      | $u_r(T)$       | 温度测量   | 0.0020                   | 1               | 0.0020                  |
| 3                      | $u_r(Z_{CVf})$ | 压缩因子计算 | 0.05                     | -1              | 0.05                    |
| 4                      | $u_r(Z_{bcv})$ | 压缩因子计算 | 0.05                     | 1               | 0.05                    |
| $u_c(C_{CVf})=0.071\%$ |                |        |                          |                 |                         |

### G.2.5 $e_{rc}$ 重复性引入的标准不确定度

重复测量 6 次，测量结果为 0.06%、0.05%、0.05%、0.05%、0.04%、0.05%，计算单次测量的实验标准偏差： $s(x_k) = 0.0063\%$

6 次测量平均值实验标准差  $s(\bar{x}_k) = \frac{s(x_k)}{\sqrt{3}} = 0.003\%$ ， $e_{rc}$  测量的 A 类标准不确定度为

$u_A(e_{rc}) = 0.003\%$ 。

### G.2.7 $e_{rc}$ 合成标准不确定度



表 G.4 合成标准不确定度

| 序号                    | 符号            | 来源       | 输入量的标准不确定度 $u_i(x_i)/\%$ | 灵敏系数 $c_i(x_i)$ | $ c_i(x_i) u_i(x_i)/\%$ |
|-----------------------|---------------|----------|--------------------------|-----------------|-------------------------|
| 1                     | $C_{CVr}$     | 标准装置     | 0.071                    | -1              | 0.071                   |
| 2                     | $u_A(e_{rC})$ | 平均值实验标准差 | 0.003                    | 1               | 0.003                   |
| $u_c(e_{rC})=0.072\%$ |               |          |                          |                 |                         |

## G.2.8 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，则采用转换系数得到的计算误差  $e_{rC}$  的相对扩展不确定度为：

$$U_r(e_{rC}) = ku_c(e_{rC}) = 2 \times 0.072\% \approx 0.15\% \quad (k=2)$$

## 附录 H

## 实验用天然气组成数据

## H.1 以摩尔分数表示的气体组成

表 H.1 以摩尔分数表示的气体组成数据表 (单位: Mol%)

| 气体组成                               | 1#气样   | 2#气样   | 3#气样   |
|------------------------------------|--------|--------|--------|
| $x(\text{CO}_2)$                   | 0.0000 | 0.0150 | 0.0160 |
| $x(\text{N}_2)$                    | 0.0009 | 0.0100 | 0.1000 |
| $x(\text{H}_2)$                    | 0.0000 | 0.0000 | 0.0950 |
| $x(\text{CO})$                     | 0.0000 | 0.0000 | 0.0100 |
| $x(\text{CH}_4)$ 甲烷                | 0.9571 | 0.8590 | 0.7350 |
| $x(\text{C}_2\text{H}_6)$ 乙烷       | 0.0321 | 0.0850 | 0.0330 |
| $x(\text{C}_3\text{H}_8)$ 丙烷       | 0.0061 | 0.0230 | 0.0074 |
| $x(\text{i-C}_4\text{H}_{10})$ 异丁烷 | 0.0021 | 0.0035 | 0.0012 |
| $x(\text{n-C}_4\text{H}_{10})$ 正丁烷 | 0.0017 | 0.0035 | 0.0012 |
| $x(\text{i-C}_5\text{H}_{12})$ 异戊烷 | 0.0000 | 0.0005 | 0.0004 |
| $x(\text{n-C}_5\text{H}_{12})$ 正戊烷 | 0.0000 | 0.0005 | 0.0004 |
| $x(\text{C}_6\text{H}_{14})$       | 0.0000 | 0.0000 | 0.0002 |
| $x(\text{C}_7\text{H}_{16})$       | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 |
| $x(\text{C}_8\text{H}_{18})$       | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 |

## H.2 以物性参数表示的气体组成

表 H.2 以物性参数表示的气体组成数据表

|                                      | 1#气样   | 2#气样  | 3#气样  |
|--------------------------------------|--------|-------|-------|
| $x(\text{CO}_2)$                     | 0.000  | 0.015 | 0.016 |
| $x(\text{H}_2)$                      | 0.000  | 0.000 | 0.095 |
| $d$                                  | 0.435  | 0.650 | 0.599 |
| $H_s(\text{MJ} \cdot \text{m}^{-3})$ | 36.056 | 43.53 | 34.16 |

注:

1.附表 H.2 中的气体即附表 H.1 中对应的气体。1#气样为天津燃气组分。

2.本规范中高位发热量  $H_s$  计算程序的参比条件为:

燃烧参比条件:  $t_1=25^\circ\text{C}$ ,  $p_1=101.325\text{kPa}$ ;

体积计量参比条件:  $t_2=0^\circ\text{C}$ ,  $p_2=101.325\text{kPa}$ 。

转换为我国测定高位发热量采用的参比条件公式为:

$$H_s(t_1=25^\circ\text{C}, t_2=0^\circ\text{C}, p_2=101.325\text{kPa}) \\ =H_s(t_1=20^\circ\text{C}, t_2=20^\circ\text{C}, p_2=101.325\text{kPa}) \times 1.0732$$

3.本规范中相对密度  $d$  计算程序的参比条件为:

体积计量参比条件  $t_2=0^{\circ}\text{C}$ ,  $p_2=101.325\text{kPa}$ 。

转换为我国测定相对密度采用的参比条件公式为:

$$\begin{aligned} & d(t_2=0^{\circ}\text{C}, p_2=101.325\text{kPa}) \\ & = \frac{d(t_2=20^{\circ}\text{C}, p_2=101.325\text{kPa}) \times 1.0003}{\phantom{d(t_2=20^{\circ}\text{C}, p_2=101.325\text{kPa}) \times 1.0003}} \end{aligned}$$

