



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX—20XX

城镇燃气相对密度计校准规范

Calibration Specification for Town Gas Relative Density Meters

(征求意见稿)

20XX—XX—XX 发布

20XX—XX—XX 实施

国家市场监督管理总局 发布

城镇燃气相对密度计 校准规范

JJFXXXX- 20XX

Calibration Specification for Town Gas

Relative Density Meters

归口单位：全国密度计量技术委员会

主要起草单位：广东省计量科学研究院

中国计量科学研究院

广东省中山市质量计量监督检测所

参加起草单位：天津大学环境科学与工程学院

安徽省计量科学研究院

本规范委托全国密度计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

沈友弟（广东省计量科学研究院）

许常红（中国计量科学研究院）

李秀水（广东省中山市质量计量监督检测所）

参加起草人：

郑雪晶（天津大学环境科学与工程学院）

李领录（安徽省计量科学研究院）

郭 威（广东省计量科学研究院）

邓坚成（广东省中山市质量计量监督检测所）

目 录

引言	(III)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语	(1)
4 概述	(1)
5 计量特性	(2)
6 校准条件	(2)
6.1 环境条件	(2)
6.2 校准用标准气体及其他设备	(2)
7 校准项目和校准方法	(3)
7.1 校准项目	(3)
7.2 校准方法	(3)
7.3 数据处理	(4)
8 校准结果表达	(5)
9 复校时间间隔	(6)
附录 A 氮气相对密度(20℃)	(7)
附录 B 水蒸气相对密度(20℃)	(8)
附录 C 饱和蒸汽压	(11)
附录 D 由气体组份计算干氮气的相对密度	(12)
附录 E 水蒸气相对密度的计算	(14)
附录 F 部分天然气组成的求和因子和摩尔质量	(15)
附录 G 城镇燃气相对密度计校准记录参考格式	(16)
附录 H 城镇燃气相对密度计校准证书内页参考格式	(17)
附录 I 城镇燃气相对密度计示值误差测量不确定度评定示例	(18)

引 言

本规范是以JJF1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001—2011《通用计量术语及定义》和JJF1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》为基础性系列规范进行编写。

本规范采用了 GB/T 12206—2006《城镇燃气热值和相对密度测定方法》、GB/T 11062—2020/ISO 6976:2016《天然气 发热量、密度、相对密度、和沃泊指数的计算方法》、GB/Z 35474—2017《天然气 通过组成计算物性参数的技术说明》和 GB/T 6682《分析实验室用水规格和试验方法》相关术语定义和技术内容。

本规范为首次发布。

城镇燃气相对密度计校准规范

1 范围

本规范适用于本生-希林式城镇燃气相对密度计（以下有时也简称仪器）的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1001 通用计量术语及定义

GB/T 6682 分析实验室用水规格和试验方法

GB/T 11062/ISO 6976:2016 天然气发热量、密度、相对密度、和沃泊指数的计算方法

GB/T 12206 城镇燃气热值和相对密度测定方法

GB/Z 35474 天然气 通过组成计算物性参数的技术说明

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

3 术语

3.1 燃气相对密度 Relative density of a gas

一定体积干燃气的质量与同温度同压力下等体积的干空气质量的比值。无量纲，以符号 d 表示。

3.2 湿燃气相对密度 Relative density of a wet gas

一定体积的湿燃气的质量与同温度同压力下等体积的湿空气质量的比值。无量纲，以符号 d_w 表示。 d_w 受测定时温度与压力的影响，通过计算将其换算成相对密度 d 。

3.3 压缩因子 Compression factor

在规定的压力和温度条件下，给定质量的气体的真实体积除以在相同条件下按理想气体定律计算出的该气体的体积。

3.4 干空气 Dry air

干空气由氮气、氧气、氩气等气体组成，其摩尔质量为 $28.96546 \text{ kg}\cdot\text{kmol}^{-1}$ 。

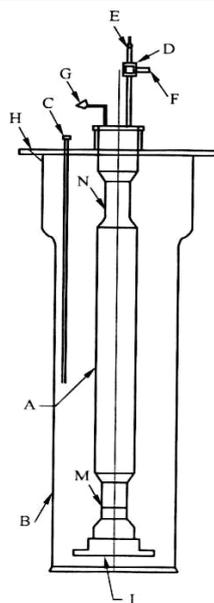
3.5 干空气替代品 Dry air alternative

干空气替代品由氮气、氧气两种气体组成，其摩尔质量接近干空气。当氧气的摩尔分数为 0.2389，氮气摩尔分数为 0.7611 时，干空气替代品的摩尔质量为 $28.96551 \text{ kg}\cdot\text{kmol}^{-1}$ 。干空气替代品用于实际校准工作。

4 概述

城镇燃气相对密度计主要用来测量燃气相对密度。仪器的测量原理是在相同的温度与压力下，等体积的不同种类的气体流过某固定直径的锐孔所需要的时间的平方与气体的密度成正比，通过测量燃气、空气流过锐孔的时间可计算出燃气的相对密度值。

仪器一般由内筒、外筒、锐孔、测温设备及气体管路等部件组成，其结构如图 1 所示。



A—内筒；B—外筒；C—玻璃温度计；D—三向阀；E—锐孔；F—放气孔；G—气体入口；
H—上部支架；I—下部支架；M，N—标线。

图1 城镇燃气相对密度计结构示意图

5 计量特性

城镇燃气相对密度计计量性能要求表1所示。

表1 仪器计量性能要求

计量性能	技术要求
时间测量重复性	$\leq 1\%$
相对密度测量误差	不超过 $\pm 2\%$
相对密度测量重复性	$\leq 1\%$

6 校准条件

6.1 环境条件

温度： $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，湿度：不大于 85%RH，气压： $(90 \sim 110)\text{kPa}$ 。应防止密度计受日光或其他热源的直接照射或辐射。工作台无机械振动干扰。

仪器用纯水符合 GB/T 6682《分析实验室用水规格和试验方法》中二级水规格要求。装有纯水的仪器必须在校准条件下稳定 24 小时后进行校准。

应保持通风。

6.2 校准用标准气体及设备

6.2.1 标准气体

纯度不低于 99.999% 的氮气；

干空气替代品：由氧气摩尔分数为 $0.2374 \sim 0.2404$ ，余下为氮气组成的气体， $U_{\text{rel}}=1\%$ ， $k=3$ 。

6.2.2 电子秒表

最小分度不大于 0.01 s ，最大允许误差： $\pm 0.5\text{s/d}$ 。

6.2.3 温度计

量程： $(0 \sim 50)^\circ\text{C}$ ， 0.1°C 分度，最大允许误差： $\pm 0.2^\circ\text{C}$ 。

6.2.4 气压表

测量范围：(800~1150) hPa，0.04 级，最大允许误差：±0.4hPa。

6.2.5 钢直尺

(0~500) mm，分度值 0.5mm，最大允许误差：±0.15mm。

6.2.6 气体润湿器

气体润湿器 2 个，用来润湿干空气替代品，氮气等气体。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目见表 2。

表 2 校准项目

序号	校准项目
1	外观及气密性检查
2	时间测量重复性
3	相对密度测量误差
4	相对密度测量重复性

7.2 校准方法

7.2.1 外观及气密性检查

仪器内外筒表面应平整光滑、透明度良好，无锋棱、毛刺和裂痕等；金属件表面镀层应无脱落、锈蚀和起层等。

将仪器摆正调平于工作台上，将空气替代品、气体润湿器、气体相对密度计用气管连接好，向仪器的内筒中注入经气体润湿器润湿的干空气替代品（以下有时简称湿空气），使内筒的水位降至最低。维持 5min 后，水位位置目测无变化，表示仪器达到气密性要求。打开气体相对密度计三向阀放气孔阀，打开气瓶控制阀放气(15~30)min，确保气体润湿器等原有空气已排出去。关闭气瓶控制阀，关闭三向阀，仪器处于待测状态。

7.2.2 相对密度测量误差及重复性

7.2.2.1 打开气瓶控制阀注入湿空气，使内筒的水位降至最低，关闭气瓶控制阀。打开三向阀放气孔阀，放出湿空气后，再注入湿空气，重复 5~10 次，直到确认仪器的内筒中充满纯的湿空气为止。

7.2.2.2 打开气瓶控制阀注入湿空气，使内筒的水位降至最低，关闭气瓶控制阀。打开三向阀测试孔阀，使湿空气自测试孔流出，用电子秒表记录水位由下部刻线到上部刻线所需的时间 t_1 。

7.2.2.3 再次注入湿空气，按 7.2.2.2 重复两次，记录 t_2 和 t_3 。当仪器的时间测量重复性按式 (1) 计算，当 δ_i 超过 1% 时，应重测。

$$\delta_i = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{t} \times 100\% \quad (1)$$

$$\bar{t} = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3} \quad (2)$$

式中：

δ_i —时间测量重复性；

t_{\max} —3 次记录时间中的最大值；

t_{\min} —3 次记录时间中的最小值；

\bar{t} —3 次记录时间的平均值；

t_1, t_2, t_3 —分别为 3 次记录时间。

7.2.2.4 将氮气、气体润湿器、气体相对密度计用气管连接好，打开气体相对密度计三向阀放气孔阀，打开气瓶控制阀放气(15~30)min，确保气体润湿器等原有空气已排出去。关闭气瓶控制阀，关闭三向阀，仪器处于待测状态。

7.2.2.5 打开气瓶控制阀注入湿氮气，使内筒的水位降至最低，关闭气瓶控制阀。打开三向阀放气孔阀，放出湿氮气后，再注入湿氮气，重复 5~10 次，直到确认仪器的内筒中充满纯的湿氮气为止。

7.2.2.6 按 7.2.2.2 与 7.2.2.3 步骤求出湿氮气通过测试孔的平均时间和时间测量重复性。

7.2.3 重复 7.2.2，得到 2 次校准数据。2 次校准中共有取 4 组时间测量重复性，其中最大者为仪器的时间测量重复性。

7.2.4 仪器水位差的测量

向仪器的内筒中注入湿氮气或者湿空气。打开三向阀测试孔阀，当水位到达下部刻线时关闭测试孔阀，用钢直尺测量仪器外筒与内筒的水位差 $h_{(A)}$ 。继续打开三向阀测试孔阀，当水位到达上部刻线时关闭测试孔阀，用钢直尺测量仪器外筒与内筒的水位差 $h_{(B)}$ 。

7.3 数据处理

7.3.1 干氮气相对密度测量值

7.3.1.1 湿氮气相对密度测量值

$$d_w = \left(\frac{\bar{t}_n}{\bar{t}_a} \right)^2 \quad (3)$$

式中：

d_w —湿氮气相对密度测量值；

\bar{t}_n —湿氮气通过锐孔的平均时间；

\bar{t}_a —湿空气通过锐孔的平均时间。

7.3.1.2 干氮气相对密度测量值的计算

测量时如果氮气和空气替代品都被水蒸气饱和，干氮气的相对密度按下式计算：

$$d = d_w + a \quad (4)$$

$$a = \frac{d'_s S}{B + P_p - S} (d_w - 1) \quad (5)$$

$$P_p = \frac{9.81 \times (h_{(A)} + h_{(B)})}{2} \quad (6)$$

式中：

d —干氮气相对密度测量值；

d_w —湿氮气相对密度测量值；

a —换算为干氮气相对密度的修正值；

d'_s —在温度 t 下 (20℃) 水蒸气相对密度，可以从附录 B 查得或者按附录 E 计算。

S —校准环境温度下饱和水蒸气压，单位 Pa，从附录 C 查得；

B —校准环境经修正后大气压值，Pa；

P_b —校准过程中气体的平均压力，Pa；

$h_{(A)}$ —仪器下部刻线的水位差，mm；

$h_{(B)}$ —仪器上部刻线的水位差，mm。

7.3.2 仪器相对密度测量重复性

2 次的干氮气相对密度测量值分别为 d_1 与 d_2 ，仪器相对密度测量重复性按下式计算：

$$\delta = \frac{2 \times |d_1 - d_2|}{d_1 + d_2} \times 100\% \quad (7)$$

式中：

- δ —相对密度测量重复性；
- d_1 —第 1 次干氮气相对密度测量值；
- d_2 —第 2 次干氮气相对密度测量值。

7.3.3 仪器相对密度测量误差的计算

7.3.3.1 仪器相对密度测量绝对误差由下式计算

$$\Delta d = \frac{(d_1 + d_2)}{2} - d_s \quad (8)$$

式中：

- Δd —相对密度测量绝对误差；
- d_1 —第 1 次干氮气相对密度测量值；
- d_2 —第 2 次干氮气相对密度测量值；
- d_s —在温度 t 下（20℃）氮气相对密度，可以从附录 A 查得或者按附录 D 计算。

7.3.3.2 仪器相对密度测量误差（相对误差）由下式计

$$E = \frac{\Delta d}{d_s} \times 100\% \quad (9)$$

式中：

- E —相对密度测量误差；
- Δd —仪器相对密度测量绝对误差；
- d_s —在温度 t 下（20℃）氮气相对密度，可以从附录 A 查得或者按附录 D 计算。

8 校准结果表达

校准结果应在校准证书上反映。校准证书至少应包括以下信息：

- 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；
- h) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- i) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- j) 校准环境的描述；
- k) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- l) 对校准规范的偏离的说明；
- m) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- n) 校准人和核验人签名；
- o) 校准结果仅对被校对象有效性的声明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制校准证书的声明。

9 复校时间间隔

仪器的复校时间间隔建议不超过 1 年,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

氮气相对密度 (20℃)

大气压 (hPa) 氧气 摩尔分数	900	950	1000	1013.25	1050	1100
0.2370	0.96731	0.96730	0.96730	0.96730	0.96729	0.96729
0.2372	0.96728	0.96728	0.96727	0.96727	0.96727	0.96726
0.2374	0.96725	0.96725	0.96725	0.96724	0.96724	0.96724
0.2376	0.96723	0.96723	0.96722	0.96722	0.96721	0.96721
0.2378	0.96720	0.96720	0.96719	0.96719	0.96719	0.96718
0.2380	0.96717	0.96717	0.96717	0.96716	0.96716	0.96716
0.2382	0.96715	0.96714	0.96714	0.96714	0.96713	0.96713
0.2383	0.96713	0.96713	0.96713	0.96712	0.96712	0.96712
0.2384	0.96712	0.96712	0.96711	0.96711	0.96711	0.96710
0.2385	0.96711	0.96710	0.96710	0.96710	0.96709	0.96709
0.2386	0.96709	0.96709	0.96709	0.96708	0.96708	0.96708
0.2387	0.96708	0.96708	0.96707	0.96707	0.96707	0.96706
0.2388	0.96707	0.96706	0.96706	0.96706	0.96705	0.96705
0.2389	0.96705	0.96705	0.96705	0.96704	0.96704	0.96704
0.2390	0.96704	0.96704	0.96703	0.96703	0.96703	0.96702
0.2391	0.96703	0.96702	0.96702	0.96702	0.96701	0.96701
0.2392	0.96701	0.96701	0.96701	0.96700	0.96700	0.96700
0.2393	0.96700	0.96700	0.96699	0.96699	0.96699	0.96698
0.2394	0.96699	0.96698	0.96698	0.96698	0.96697	0.96697
0.2395	0.96697	0.96697	0.96697	0.96696	0.96696	0.96696
0.2396	0.96696	0.96696	0.96695	0.96695	0.96695	0.96694
0.2398	0.96693	0.96693	0.96693	0.96692	0.96692	0.96692
0.2400	0.96691	0.96691	0.96690	0.96690	0.96689	0.96689
0.2402	0.96688	0.96688	0.96687	0.96687	0.96687	0.96686
0.2404	0.96685	0.96685	0.96685	0.96684	0.96684	0.96684
0.2406	0.96683	0.96682	0.96682	0.96682	0.96681	0.96681
0.2408	0.96680	0.96680	0.96679	0.96679	0.96679	0.96678

附录 B

水蒸气相对密度 (20℃)

大气压 (hPa) 氧气 摩尔分数	900	910	920	930	940	950	960
0.2370	0.63500	0.63515	0.63530	0.63545	0.63560	0.63575	0.63590
0.2372	0.63499	0.63514	0.63529	0.63544	0.63559	0.63575	0.63590
0.2374	0.63498	0.63513	0.63528	0.63543	0.63559	0.63574	0.63589
0.2376	0.63497	0.63512	0.63527	0.63543	0.63558	0.63573	0.63588
0.2378	0.63496	0.63512	0.63527	0.63542	0.63557	0.63572	0.63588
0.2380	0.63496	0.63511	0.63526	0.63542	0.63557	0.63572	0.63587
0.2382	0.63495	0.63510	0.63525	0.63541	0.63556	0.63571	0.63586
0.2383	0.63494	0.63510	0.63525	0.63540	0.63555	0.63570	0.63586
0.2384	0.63494	0.63509	0.63524	0.63540	0.63555	0.63570	0.63585
0.2385	0.63494	0.63509	0.63524	0.63539	0.63554	0.63570	0.63585
0.2386	0.63493	0.63508	0.63524	0.63539	0.63554	0.63569	0.63585
0.2387	0.63493	0.63508	0.63523	0.63538	0.63554	0.63569	0.63584
0.2388	0.63492	0.63508	0.63523	0.63538	0.63553	0.63569	0.63584
0.2389	0.63492	0.63507	0.63522	0.63538	0.63553	0.63568	0.63584
0.2390	0.63492	0.63507	0.63522	0.63537	0.63553	0.63568	0.63583
0.2391	0.63491	0.63507	0.63522	0.63537	0.63552	0.63568	0.63583
0.2392	0.63491	0.63506	0.63521	0.63537	0.63552	0.63567	0.63582
0.2393	0.63491	0.63506	0.63521	0.63536	0.63551	0.63567	0.63582
0.2394	0.63490	0.63506	0.63521	0.63536	0.63551	0.63566	0.63582
0.2395	0.63490	0.63505	0.63520	0.63535	0.63551	0.63566	0.63581
0.2396	0.63489	0.63505	0.63520	0.63535	0.63550	0.63566	0.63581
0.2398	0.63489	0.63504	0.63519	0.63534	0.63550	0.63565	0.63580
0.2400	0.63488	0.63503	0.63518	0.63534	0.63549	0.63565	0.63580
0.2402	0.63487	0.63502	0.63517	0.63533	0.63548	0.63563	0.63579
0.2404	0.63486	0.63501	0.63517	0.63532	0.63547	0.63563	0.63578
0.2406	0.63485	0.63501	0.63516	0.63531	0.63547	0.63562	0.63577
0.2408	0.63485	0.63500	0.63515	0.63531	0.63546	0.63561	0.63577

水蒸气相对密度 (20℃)

大气压 (hPa) 氧气 摩尔分数	970	980	990	1000	1010	1020	1030
0.2370	0.63606	0.63621	0.63636	0.63651	0.63667	0.63682	0.63697
0.2372	0.63605	0.63620	0.63635	0.63651	0.63666	0.63681	0.63697
0.2374	0.63604	0.63619	0.63635	0.63650	0.63665	0.63681	0.63696
0.2376	0.63604	0.63619	0.63634	0.63649	0.63665	0.63680	0.63695
0.2378	0.63603	0.63618	0.63633	0.63649	0.63664	0.63679	0.63695
0.2380	0.63602	0.63618	0.63633	0.63648	0.63664	0.63679	0.63694
0.2382	0.63601	0.63617	0.63632	0.63647	0.63663	0.63678	0.63693
0.2383	0.63601	0.63616	0.63632	0.63647	0.63662	0.63678	0.63693
0.2384	0.63601	0.63616	0.63631	0.63647	0.63662	0.63677	0.63693
0.2385	0.63600	0.63616	0.63631	0.63646	0.63662	0.63677	0.63692
0.2386	0.63600	0.63615	0.63631	0.63646	0.63661	0.63677	0.63692
0.2387	0.63600	0.63615	0.63630	0.63646	0.63661	0.63676	0.63692
0.2388	0.63599	0.63615	0.63630	0.63645	0.63661	0.63676	0.63691
0.2389	0.63599	0.63614	0.63630	0.63645	0.63660	0.63676	0.63691
0.2390	0.63599	0.63614	0.63629	0.63645	0.63660	0.63675	0.63691
0.2391	0.63598	0.63614	0.63629	0.63644	0.63660	0.63675	0.63690
0.2392	0.63598	0.63613	0.63629	0.63644	0.63659	0.63675	0.63690
0.2393	0.63597	0.63613	0.63628	0.63644	0.63659	0.63674	0.63690
0.2394	0.63597	0.63612	0.63628	0.63643	0.63659	0.63674	0.63690
0.2395	0.63597	0.63612	0.63627	0.63643	0.63658	0.63674	0.63689
0.2396	0.63596	0.63612	0.63627	0.63643	0.63658	0.63673	0.63689
0.2398	0.63596	0.63611	0.63626	0.63642	0.63657	0.63673	0.63688
0.2400	0.63595	0.63610	0.63626	0.63641	0.63657	0.63672	0.63688
0.2402	0.63594	0.63610	0.63625	0.63641	0.63656	0.63671	0.63687
0.2404	0.63594	0.63609	0.63624	0.63640	0.63655	0.63671	0.63686
0.2406	0.63593	0.63608	0.63624	0.63639	0.63655	0.63670	0.63686
0.2408	0.63592	0.63608	0.63623	0.63638	0.63654	0.63669	0.63685

水蒸气相对密度（20℃）

大气压 (hPa) 氧气 摩尔分数	1040	1050	1060	1070	1080	1090	1100
0.2370	0.63713	0.63728	0.63743	0.63759	0.63774	0.63790	0.63805
0.2372	0.63712	0.63727	0.63743	0.63758	0.63774	0.63789	0.63805
0.2374	0.63711	0.63727	0.63742	0.63758	0.63773	0.63789	0.63804
0.2376	0.63711	0.63726	0.63742	0.63757	0.63772	0.63788	0.63803
0.2378	0.63710	0.63726	0.63741	0.63756	0.63772	0.63787	0.63803
0.2380	0.63709	0.63725	0.63740	0.63756	0.63771	0.63787	0.63802
0.2382	0.63709	0.63724	0.63740	0.63755	0.63771	0.63786	0.63802
0.2383	0.63709	0.63724	0.63739	0.63755	0.63770	0.63786	0.63801
0.2384	0.63708	0.63724	0.63739	0.63755	0.63770	0.63786	0.63801
0.2385	0.63708	0.63723	0.63739	0.63754	0.63770	0.63785	0.63801
0.2386	0.63708	0.63723	0.63738	0.63754	0.63769	0.63785	0.63801
0.2387	0.63707	0.63723	0.63738	0.63754	0.63769	0.63785	0.63800
0.2388	0.63707	0.63722	0.63738	0.63753	0.63769	0.63784	0.63800
0.2389	0.63707	0.63722	0.63738	0.63753	0.63769	0.63784	0.63800
0.2390	0.63706	0.63722	0.63737	0.63753	0.63768	0.63784	0.63799
0.2391	0.63706	0.63721	0.63737	0.63752	0.63768	0.63784	0.63799
0.2392	0.63706	0.63721	0.63737	0.63752	0.63768	0.63783	0.63799
0.2393	0.63705	0.63721	0.63736	0.63752	0.63767	0.63783	0.63799
0.2394	0.63705	0.63721	0.63736	0.63752	0.63767	0.63783	0.63798
0.2395	0.63705	0.63720	0.63736	0.63751	0.63767	0.63782	0.63798
0.2396	0.63704	0.63720	0.63735	0.63751	0.63767	0.63782	0.63798
0.2398	0.63704	0.63719	0.63735	0.63750	0.63766	0.63782	0.63797
0.2400	0.63703	0.63719	0.63734	0.63750	0.63765	0.63781	0.63797
0.2402	0.63702	0.63718	0.63734	0.63749	0.63765	0.63780	0.63796
0.2404	0.63702	0.63717	0.63733	0.63749	0.63764	0.63780	0.63795
0.2406	0.63701	0.63717	0.63732	0.63748	0.63764	0.63779	0.63795
0.2408	0.63701	0.63716	0.63732	0.63747	0.63763	0.63779	0.63794

注：“水蒸气相对密度（20℃）”使用方法：先根据氧气的摩尔分数和大气压值（仪器修正后数值）确定水蒸气相对密度数值范围，然后根据大气压实际数据用插入法计算水蒸气相对密度。

附录 C

饱和蒸汽压

单位:Pa

温度/℃	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	611	616	620	625	629	634	638	643	648	652
1	657	662	667	671	676	681	686	691	696	701
2	706	711	716	721	726	732	737	742	747	753
3	758	763	769	774	780	785	791	797	802	808
4	814	819	825	831	837	843	848	854	860	866
5	873	879	885	891	897	903	910	916	922	929
6	935	942	948	955	961	968	975	982	988	995
7	1002	1009	1016	1023	1030	1037	1044	1051	1058	1066
8	1073	1089	1088	1095	1102	1110	1117	1125	1133	1140
9	1148	1156	1164	1172	1180	1187	1195	1204	1212	1220
10	1228	1236	1245	1253	1261	1270	1278	1287	1295	1304
11	1313	1321	1330	1339	1348	1357	1367	1375	1384	1393
12	1403	1412	1421	1431	1440	1449	1459	1469	1478	1488
13	1498	1508	1517	1527	1537	1547	1558	1568	1578	1588
14	1599	1609	1619	1630	1641	1651	1662	1673	1684	1694
15	1705	1716	1727	1739	1750	1761	1772	1784	1795	1807
16	1818	1830	1842	1853	1865	1877	1889	1901	1913	1926
17	1938	1950	1963	1975	1988	2000	2013	2026	2038	2051
18	2064	2077	2090	2103	2117	2130	2143	2157	2170	2184
19	2198	2211	2225	2239	2253	2267	2281	2295	2310	2324
20	2339	2353	2368	2382	2397	2412	2427	2442	2457	2472
21	2487	2503	2518	2534	2549	2565	2581	2596	2612	2628
22	2644	2660	2677	2693	2710	2726	2743	2760	2776	2793
23	2810	2827	2844	2862	2879	2896	2914	2931	2949	2968
24	2985	3003	3021	3039	3057	3076	3094	3113	3131	3150
25	3169	3188	3207	3226	3245	3264	3284	3303	3323	3343
26	3363	3383	3403	3423	3443	3463	3484	3504	3523	3546
27	3567	3588	3609	3630	3651	3673	3694	3716	3738	3760
28	3782	3804	3826	3848	3871	3893	3916	3939	3961	3984
29	4008	4031	4054	4078	4101	4125	4149	4173	4197	4221
30	4245	4270	4294	4319	4344	4369	4394	4419	4444	4470
31	4495	4521	4547	4572	4599	4625	4651	4677	4704	4731
32	4758	4785	4812	4839	4866	4894	4921	4949	4977	5005
33	5033	5062	5090	5119	5147	5176	5205	5234	5264	5293
34	5323	5352	5382	5412	5442	5473	5503	5534	5565	5595
35	5627	5658	5689	5721	5752	5784	5816	5848	5880	5913
36	5945	5978	6011	6044	6077	6110	6144	6177	6211	6245
37	6279	6314	6348	6383	6418	6452	6488	6523	6558	6594
38	6630	6666	6702	6738	6774	6811	6848	6885	6922	6959
39	6997	7034	7072	7110	7148	7187	7225	7264	7303	7342
40	7381	7420	7460	7500	7540	7580	7621	7661	7702	7743

注：数据来源于 GB/T 12206-2006 附录 B。

附录 D

由气体组份计算干氮气的相对密度

D.1 氮气与干空气替代品的理想气体相对密度 G_n^0

$$G_n^0 = \frac{M_n}{M_a} \quad (\text{D.1})$$

$$M_a = x_o \times M_o + (1 - x_o) \times M_n \quad (\text{D.2})$$

式中:

G_n^0 —氮气与干空气替代品的理想气体相对密度;

M_n —氮气摩尔质量, 由附录 F 查到为 $28.0134\text{kg}\cdot\text{kmol}^{-1}$;

M_a —干空气替代品摩尔质量, $\text{kg}\cdot\text{kmol}^{-1}$;

M_o —氧气摩尔质量, 由附录 F 查到为 $31.9988\text{kg}\cdot\text{kmol}^{-1}$;

x_o —干空气替代品中氧气的摩尔分数。

D.2 氮气与干空气替代品的相对密度 $G_n(t_2, p_2)$ 计算

$$G_n(t_2, p_2) = \frac{G_n^0 \cdot Z_a(t_2, p_2)}{Z_n(t_2, p_2)} \quad (\text{D.3})$$

式中:

$G_n(t_2, p_2)$ —氮气与干空气替代品在计量参比温度 t_2 , 计量参比压力 p_2 下的相对密度;

G_n^0 —氮气与干空气替代品的理想气体相对密度;

$Z_a(t_2, p_2)$ —干空气替代品在计量参比温度 t_2 , 计量参比压力 p_2 下的压缩因子;

$Z_n(t_2, p_2)$ —氮气在计量参比温度 t_2 , 计量参比压力 p_2 下的压缩因子。

D.3 $Z_n(t_2, p_2)$ 计算

由“附录 F”得:

$$Z_n(t_2, p_2) = 1 - \left(\frac{p_2}{p_0} \right) \times [x_n \cdot s_n(t_2, p_0)]^2 \quad (\text{D.4})$$

式中:

$Z_n(t_2, p_2)$ —氮气在计量参比温度 t_2 , 计量参比压力 p_2 下的压缩因子;

t_2 —校准时密度计环境温度, 取 20°C ;

p_2 —校准时密度计环境大气压, $90\text{kPa}\sim 110\text{kPa}$, 由大气压计读得;

p_0 —标准大气压值, 一般取 1013.25hPa ;

x_n —氮气的摩尔分数, 取 1;

$s_n(t_2, p_0)$ — 20°C 时氮气的求和因子, 由附录 F 查得为 0.0156。

D.4 $Z_a(t_2, p_2)$ 计算

由“附录 F”得:

$$Z_a(t_2, p_2) = 1 - \left(\frac{p_2}{p_0} \right) \times [x_o \cdot s_o(t_2, p_0) + (1 - x_o) \cdot s_n(t_2, p_0)]^2 \quad (\text{D.5})$$

式中:

$Z_a(t_2, p_2)$ —干空气替代品在计量参比温度 t_2 ，计量参比压力 p_2 下的压缩因子；

t_2 —校准时密度计环境温度，取 20℃；

p_2 —校准时密度计环境大气压，90kPa~110kPa，由气压计读得；

p_0 —标准大气压值，一般取 101.325kPa；

x_o —氧气的摩尔分数，取值范围 0.2374~0.2404；

$s_o(t_2, p_0)$ —20℃时氧气的求和因子，由附录 F 查得为 0.0156；

$s_n(t_2, p_0)$ —20℃时氮气的求和因子，由附录 F 查得为 0.0265。

附录 E

水蒸气相对密度的计算

E.1 在温度 t (t 取 20°C) 下水蒸气气体的相对密度 d'_s 计算

水蒸气的摩尔质量 M_s : $18.01528\text{kg}\cdot\text{kmol}^{-1}$ 。

水蒸气理想相对密度按下式计算:

$$G_s^0 = \frac{M_s}{M_a} \quad (\text{E.1})$$

式中:

G_s^0 —水蒸气与干空气替代品的理想气体相对密度;

M_s —水蒸气摩尔质量, 由附录 F 查到为 $18.01528\text{kg}\cdot\text{kmol}^{-1}$;

M_a —干空气替代品摩尔质量, $\text{kg}\cdot\text{kmol}^{-1}$, 计算方法同附录 D,

在计量参比条件 (t_2, p_2) 之下, 水蒸气的相对密度 d'_s 按下式计算:

$$d_s^t = \frac{G_s^0 \cdot Z_a(t_2, p_2)}{Z_w(t_2, p_2)} \quad (\text{E.2})$$

式中:

d_s^t —水蒸气的相对密度;

$Z_a(t_2, p_2)$ —干空气替代品的压缩因子, 计算方法同附录 D。

$Z_w(t_2, p_2)$ —水蒸气的压缩因子, 计算方法见下面。

由附录 F 得:

$$Z_w(t_2, p_2) = 1 - \left(\frac{p_2}{p_0} \right) \times [x_w \cdot s_w(t_2, p_0)]^2 \quad (\text{E.3})$$

式中:

t_2 —校准时密度计环境温度, 取 20°C ;

p_2 —校准时密度计环境大气压, $90\text{kPa}\sim 110\text{kPa}$, 由大气压计读得;

p_0 —标准大气压值, 101.325hPa ;

x_w —水蒸气的摩尔分数, 取 1;

$s_w(t_2, p_0)$ — 20°C 时氮气的求和因子, 由附录 F 查得为 0.2419。

附录 F

部分天然气组成的摩尔质量和求和因子

F.1 部分天然气组成的摩尔质量

摩尔质量单位： $\text{kg}\cdot\text{kmol}^{-1}$

序号	组分	摩尔质量	序号	组分	摩尔质量	序号	组分	摩尔质量
1	甲烷	16.042 46	4	丁烷	58.122 2	7	氮气	28.013 4
2	乙烷	30.069 04	5	氢气	2.015 88	8	氧气	31.9988
3	丙烷	44.095 62	6	水	18.015 28	—	—	—

注：数据来源于 GB/T 11062—2020/ISO 6976:2016

F.2 部分天然气组成的求和因子

序号	组分	各种计量参比温度下的求和因子 s_j				$u(s_j)$
		0℃	15℃	15.55℃	20℃	
1	甲烷	0.04886	0.04452	0.04437	0.04317	0.0005
2	乙烷	0.0997	0.0919	0.0916	0.0895	0.0011
3	丙烷	0.1465	0.1344	0.1340	0.1308	0.0016
4	丁烷	0.2022	0.1840	0.1834	0.1785	0.0039
5	氢气	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0.025
6	水	0.3093	0.2562	0.2546	0.2419	0.0150
7	氮气	0.0215	0.0170	0.0169	0.0156	0.0010
8	氧气	0.0311	0.0276	0.0275	0.0265	0.0010

注：数据来源于 GB/T 11062—2020/ISO 6976:2016

附录 G

城镇燃气相对密度计校准记录参考格式

委托单位： 仪器名称： 记录编号： 制造厂： 型号规格： 出厂编号：

校准地点： 环境温湿度： °C %RH 大气压： 校准员： 核验员： 校准日期： 年 月 日

校准使用的主要设备

名称	编号	测量范围	不确定度或准确度等级 或最大允许误差	证书编号	证书有效期至

1. 外观及气密性检查：

2. 校准数据及其处理

次序	润湿干空气替代品			润湿氮气		
	排出时间	平均时间	重复性	排出时间	平均时间	重复性
1	s	$\bar{t}_a =$ s		s	$\bar{t}_n =$ s	
	s			s		
	s			s		
2	s	$\bar{t}_a =$ s		s	$\bar{t}_n =$ s	
	s			s		
	s			s		
1	$d_w = \left(\frac{\bar{t}_n}{\bar{t}_a}\right)^2 =$		$a =$	$d = d_w + a =$		
2	$d_w = \left(\frac{\bar{t}_n}{\bar{t}_a}\right)^2 =$		$a =$	$d = d_w + a =$		
时间测量重复性				相对密度测量重复性		
附录 A 查得 d_s				相对密度测量误差		
$h_1 =$ mm	$h_2 =$ mm	$P_p =$ Pa		附录 B 查得 d'_s :		
水温： °C	附录 C 查得 S: Pa	气压计修正值： Pa；		修正后 B= Pa		
$a = \frac{d'_s S}{B + P_p - S} (d_w - 1)$						

扩展不确定度 $U(k=2)$:

附录 H

城镇燃气相对密度计校准证书内页参考格式

校准结果

校准项目	校准结果
时间测量重复性	
相对密度测量误差	
相对密度测量重复性	
扩展不确定度 $U(k=2)$:	

附录 I

城镇燃气相对密度计测量结果不确定度评定示例

I.1 概述

被测对象：城镇燃气相对密度计。校准环境条件：温度 20.2℃，相对湿度 60.3%RH，101.8854 kPa。

测量标准：干空气替代品(氮中氧气体标准物质)，标准物质编号：GBW(E)061321，氧气摩尔分数为 0.24，余下为氮气。 $U_{rel}=1\%$ ， $k=3$ ；纯度不低于 99.999%的氮气。从附录 A 中可以查到氮气的相对密度为 0.96690，即 $d_s = 0.96690$ 。

测量方法：按照本规范的校准方法，分别测量空气替代品、氮气的排出时间，数据如下。第 1 次空气替代品排出时间：77.34s, 77.36s, 77.28s，第 1 次氮气排出时间：75.89s, 75.86s, 75.97s；第 2 次空气替代品排出时间：77.19s, 77.30s, 77.43s，第 2 次氮气排出时间：75.97s, 75.77s, 75.82s。

I.2 测量模型及灵敏系数

$$E = \frac{\Delta d}{d_s} \times 100\% \quad (\text{I.1})$$

$$\Delta d = \frac{(d_1 + d_2)}{2} - d_s \quad (\text{I.2})$$

式中：

E —仪器相对密度测量误差；

Δd —仪器相对密度绝对误差；

d_1 —第 1 次干氮气相对密度测量值 d ；

d_2 —第 2 次干氮气相对密度测量值 d ；

d_s —在温度 t 下 (20℃) 氮气相对密度；由(I.1)，得

$$u(E) = \frac{u(\Delta d)}{d_s} \quad (\text{I.3})$$

为方便起见，分析 $u(\Delta d)$ 。

$$u^2(\Delta d) = c_1^2 u^2(d_1) + c_2^2 u^2(d_2) + c_3^2 u^2(d_s) \quad (\text{I.4})$$

$$c_1 = \frac{\partial \Delta d}{\partial d_1} = \frac{1}{2}, c_2 = \frac{\partial \Delta d}{\partial d_2} = \frac{1}{2}, c_3 = \frac{\partial \Delta d}{\partial d_s} = -1 \quad (\text{I.5})$$

$$u^2(\Delta d) = \frac{1}{4} u^2(d_1) + \frac{1}{4} u^2(d_2) + u^2(d_s) \quad (\text{I.6})$$

I.3 不确定度分量的评定

经评定 $u(d_1) = 0.003038$ ， $u(d_2) = 0.003121$ ， $u(d_s) = 0.002217$ ， $u(d_1)$ 和 $u(d_2)$ 的评定见 I. a， $u(d_s)$ 的评定见 I. b 详细评定过程。

I.4 合成不确定度分量

$$u^2(\Delta d) = \frac{1}{4} u^2(d_1) + \frac{1}{4} u^2(d_2) + u^2(d_s) = \frac{1}{4} \times 0.003038^2 + \frac{1}{4} \times 0.003121^2 + 0.00160^2$$

$$u^2(\Delta d) = 7.303 \times 10^{-6}, u(\Delta d) = 0.00270$$

$$u(E) = \frac{u(\Delta d)}{d_s} = \frac{0.00270}{0.96690} = 0.00279$$

I.5 扩展不确定度

取 $k=2$, 得 E 的扩展不确定度为

$$U = k \cdot u(E) = 2 \times 0.00279 \approx 0.0056 \approx 0.6\%$$

气体相对密度计相对密度测量误差 E 校准结果的测量结果不确定度表示如下:

$$U = 0.6\%, k = 2。$$

I. a 分量 $u(d_1)$ 和 $u(d_2)$ 的评定

$u(d_1)$ 和 $u(d_2)$ 分别第 1、2 次干氮气相对密度测量值 d 的测量不确定度, 为书写分别, 先以 $u(d)$ 进行描述。

I. a. 1 测量模型

d 的计算公式是

$$d = d_w + a \quad (\text{I. a. 1})$$

式中:

d —干氮气相对密度测量值;

d_w —湿氮气相对密度测量值;

a —换算为干氮气相对密度的修正值。

因为“ a ”远比“ d_w ”小于 0.1%, 因此“ a ”的不确定度可以忽略不计, 可以认为 $u(d) = u(d_w)$ 。

I. a. 2 $u(d_w)$ 的评定

d_w 由下面公式计算得到:

$$d_w = \left(\frac{\bar{t}_n}{\bar{t}_a} \right)^2 \quad (\text{I. a. 2})$$

式中:

d_w —湿氮气相对密度测量值;

\bar{t}_n —湿氮气通过锐孔的平均时间;

\bar{t}_a —湿空气通过锐孔的平均时间。

$x = \frac{\bar{t}_n}{\bar{t}_a}$, 首先计算 $\frac{\bar{t}_n}{\bar{t}_a}$ 的不确定度 u_x ,

$$u^2(x) = c_1^2 u^2(\bar{t}_n) + c_2^2 u^2(\bar{t}_a) \quad (\text{I. a. 3})$$

对 $x = \frac{\bar{t}_n}{\bar{t}_a}$ 中各参数求偏导数, 可得灵敏系数如下:

$$c_1 = \frac{\partial x}{\partial \bar{t}_n} = \frac{1}{\bar{t}_a}$$

$$c_2 = \frac{\partial x}{\partial \bar{t}_a} = -\frac{\bar{t}_n}{\bar{t}_a^2}$$

即

$$u^2(x) = c_1^2 u^2(\bar{t}_n) + c_2^2 u^2(\bar{t}_a) = \frac{1}{\bar{t}_a} \bullet u^2(\bar{t}_n) + \frac{\bar{t}_n^{-2}}{\bar{t}_a} \bullet u^2(\bar{t}_a) \quad (\text{I. a. 4})$$

氮气 3 次的排出时间分别是 75.89s, 75.86s, 75.97s, 平均值 \bar{t}_n 是 75.91s; 空气替代品 3 次的排出时间分别是 77.34s, 77.36s, 77.28s, 平均值 \bar{t}_a 是 77.33s。因此有:

$$c_1 = \frac{1}{\bar{t}_a} = \frac{1}{75.91} = 0.013173; \quad c_2 = -\frac{\bar{t}_n}{\bar{t}_a^2} = -\frac{75.91}{77.33^2} = -0.012694$$

下面分析 $u(\bar{t}_n)$ 。 $u(\bar{t}_n)$ 主要来源于三个方面: 秒表的测量误差引入的不确定度 u_1 ; 排出时间的测量重复性引入的不确定度 u_2 ; 液面经过刻度线时刻与操作人员启动秒表计时时刻的时间差引入的不确定度 u_3 。

秒表的最大允许误差是 $\pm 0.5\text{s/d}$, \bar{t}_n 的测量误差是 $\pm 0.00044\text{s}$, 可以忽略不计。

氮气排出时间的实验标准差可以用极差法评定: $s(t_n) = \frac{R}{C}$, R 是极差, 数值是 75.97s-75.86s=0.11s, C 是极差系数, 数值是 3, 因为结果是 3 次数值的平均值, 因此有

$$u_2 = \frac{s(t_n)}{\sqrt{3}} = \frac{0.11}{3 \times \sqrt{3}} = 0.021170 \quad (\text{I. a. 5})$$

液面经过刻度线时刻与操作人员启动秒表计时时刻的时间差, 根据经验熟练的测试人员时间差可以控制在 0.2s 内, 半期间是 0.1s, 按均匀分布考虑, 并且有上下刻度线, 因此有

$$u_3 = \frac{0.1}{\sqrt{3}} \times \sqrt{2} = 0.081650 \text{ s} \quad (\text{I. a. 6})$$

认为 u_1 、 u_2 与 u_3 不相关, 有:

$$u(\bar{t}_n) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = \sqrt{0^2 + 0.021170^2 + 0.081650^2} = 0.084350 \text{ s}$$

同理可以算得:

$$u(\bar{t}_a) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = \sqrt{0^2 + 0.023090^2 + 0.081650^2} = 0.084850 \text{ s}$$

因此有:

$$u^2(x) = c_1^2 u^2(\bar{t}_n) + c_2^2 u^2(\bar{t}_a) = 0.013173^2 \times 0.084350^2 + 0.012694^2 \times 0.084850^2 = 2.3948 \times 10^{-6}$$

$$u(x) = \sqrt{2.3948 \times 10^{-6}} = 1.5475 \times 10^{-3}$$

$$\text{而 } x = \frac{\bar{t}_n}{\bar{t}_a} = \frac{75.91}{77.33} = 0.9816$$

根据 JJF 1059.1:

$$u^2(x^2) = 4x^2 u^2(x) + 2u^4(x) = 4 \times 0.9816^2 \times 2.3948 \times 10^{-6} + 2 \times (2.3948 \times 10^{-6})^2 = 9.2299 \times 10^{-6}$$

即:

$$u^2(d) = u^2(d_w) = u^2\left(\left(\frac{\bar{t}_n}{\bar{t}_a}\right)^2\right) = u^2(x^2) = 9.2299 \times 10^{-6}$$

$$u(d) = 0.003038$$

I. a. 3 “I. a. 2” 是对干氮气相对密度值 d 测量不确定度的分析，采用的测量数据是第 1 次测量数据，湿空气替代品排出时间：77.34s, 77.36s, 77.28s，湿氮气排出时间：75.89s, 75.86s, 75.97s。因此 $u_{d1}=0.003038$

同理对第 2 次测量数据，湿空气替代品排出时间：77.19s, 77.30s, 77.43s，湿氮气排出时间：75.77s, 75.82s, 75.97s。也可以算出干氮气相对密度值 $u_{d2}=0.003121$ 。

I. b 分量 $u(d_s)$ 的评定

I. b. 1 $u(d_s)$ 引入量的分析

$u(d_s)$ 引入量的主要用以下 5 个方面：

- (1) 氮气含量准确度引入的不确定度 $u_1(d_s)$
- (2) 空气替代品含量准确度引入的不确定度 $u_2(d_s)$
- (3) 校准时两种气体的工作压力差异引入的不确定度 $u_3(d_s)$
- (4) 校准时两种气体的工作温度差异引入的不确定度 $u_4(d_s)$
- (5) d_s 计算时引入的不确定度 $u_5(d_s)$

I. b. 2 $u(d_s)$ 各分量的评定

I. b. 2. 1 氮气含量准确度引入的不确定度 $u_1(d_s)$ 的评定

因为氮气的纯度是 99.999%，它引入的不确定度可以忽略不计。可以认为 $u_1(d_s)=0$

I. b. 2. 2 空气替代品含量准确度引入的不确定度 $u_2(d_s)$ 的评定

空气替代品中氧气的摩尔分数是 0.240, $U_{rel}=1\%$, $k=3$, 因此氧气摩尔分数的标准不确定度是 $0.24 \times 1\% / 3 = 0.0008$, 根据附录 D, 可以计算 $u_2(d_s)=0.00011$

I. b. 2. 3 校准时两种气体的工作压力差异引入的不确定度 $u_3(d_s)$ 的评定

因校准时的实际测试时间比较短，约 30 分钟内，大气压的变化可以忽略不计，可以认为 $u_3(d_s)=0$

I. b. 2. 4 校准时两种气体的工作温度差异引入的不确定度 $u_4(d_s)$ 的评定

温度会分别影响氮气和空气替代品的密度，最终影响氮气与空气替代品的相对密度。令在校准条件下氮气的密度为 D_n ，空气替代品的密度为 D_a ，氮气与空气替代品的实际密度 d_s 为，有：

$$d_s = \frac{D_n}{D_a} \quad (\text{I. b. 1})$$

$$u_4^2(d_s) = u^2(d_s) = c_1^2 u^2(D_n) + c_2^2 u^2(D_a)$$

$$c_1 = \frac{\partial d_s}{\partial D_n} = \frac{1}{D_a}; c_2 = \frac{\partial d_s}{\partial D_a} = -\frac{D_n}{D_a^2}$$

根据相关公式，可以计算 $u_5(d_s)$

$$u_4^2(d_s) = u^2(d_s) = c_1^2 u^2(D_n) + c_2^2 u^2(D_a) = 2.56 \times 10^{-8}$$

$$u_4(d_s) = 0.0016$$

I. b. 2. 5 d_s 计算时引入的不确定度 $u_5(d_s)$ 的计算

根据的计算公式，可以计算 $u_5(d_s)$ ，因它计算得出 $u_5(d_s)=0.0000115$

b. 3 合成不确定度

$$u(d_s) = \sqrt{u_1^2(d_s) + u_2^2(d_s) + u_3^2(d_s) + u_4^2(d_s) + u_5^2(d_s)} = \sqrt{0^2 + 0.00011^2 + 0^2 + 0.0016^2 + 0.0000115^2}$$

$$u(d_s) = 0.00160$$

