



天津市地方计量技术规范

JJF(津)83-2023

数字折光仪校准规范

Calibration Specification for Digital Refractometers

2023-03-01 发布

2023-06-01 实施

天津市市场监督管理委员会 发布

数字折光仪校准规范

Calibration Specification for
Digital Refractometers

JJF(津) 83-2023

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：广州市爱宕科学仪器有限公司

梅特勒托利多科技（中国）有限公司

本规范委托天津市计量监督检测科学研究院负责解释

本规范主要起草人：

王振国（天津市计量监督检测科学研究院）

王晓明（天津市计量监督检测科学研究院）

张笑平（天津市计量监督检测科学研究院）

周德振（广州市爱宕科学仪器有限公司）

参加起草人：

江宁川（天津市计量监督检测科学研究院）

常 颖（天津市计量监督检测科学研究院）

李鑫泉（梅特勒托利多科技（中国）有限公司）

目 录

引 言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 概述	(1)
4 计量特性	(1)
5 校准条件	(2)
5.1 环境条件	(2)
5.2 测量标准及其他设备	(2)
6 校准项目和校准方法	(2)
6.1 校准前准备	(2)
6.2 示值误差	(3)
6.3 重复性	(3)
7 校准结果表达	(3)
8 复校时间间隔	(4)
附录 A 数字折光仪校准原始记录格式	(5)
附录 B 数字折光仪校准证书(内页)格式	(6)
附录 C 标准溶液的配制和定值方法	(7)
附录 D 蔗糖和葡萄糖水溶液折射率	(8)
附录 E 数字折光仪的示值误差测量不确定度评定示例	(10)

引言

JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范制定工作的基础性系列规范。

本规范的制定参考了JJG 820-1993《手持糖量(含量)计及手持折射仪》、OIML R 108, edition 1993 (E)《测量果汁糖含量的折射仪(Refractometers for the measurement of the sugar content of fruit juices)》和OIML R 124, edition 1997 (E)《测量葡萄汁糖含量的折射仪(Refractometers for the measurement of the sugar content of grape must)》。

本规范为首次发布。



数字折光仪校准规范

1 范围

本规范适用于数字折光仪（包括台式数字折光仪和便携式数字折光仪）的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 820-1993 手持糖量（含量）计及手持折射仪

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 概述

数字折光仪（以下简称仪器）是利用折射原理测量折射临界角，通过感光部件高速、高精度的信号采集和分析处理技术，自动显示测量值的仪器。它能够快速测量透明、半透明、深色、粘稠状等各类液体的折射率（ n_D ）、糖溶液的质量分数（Brix）及氯化钠质量分数等。其主要由光源、聚光透镜、棱镜、成像透镜、温度传感器、CCD 传感器和控制系统等组成，仪器工作原理如图 1 所示。



图 1 仪器工作原理

4 计量特性

表 1 计量特性

项目	糖溶液质量分数	折射率	氯化钠溶液质量分数
示值误差	±0.6%	±0.0006	±0.9%
重复性	≤0.2%	≤0.0002	≤0.3%

注：以上指标不用于合格性判别，仅供参考。

5 校准条件

5.1 环境条件

5.1.1 环境温度：(15~35)℃。

5.1.2 环境湿度：不大于 85%RH。

5.1.3 室内应清洁无灰尘。

5.1.4 仪器应平稳摆放，不应受强光直射，周围无强烈机械振动和电磁干扰，无强气流及腐蚀性气体，仪器接地良好。

5.2 测量标准及其他设备

5.2.1 有证标准物质

根据实际需要，选用由国家计量行政部门批准的蔗糖（或葡萄糖、氯化钠）标准溶液和折射率标准溶液，糖溶液测量范围为（0~67）%，扩展不确定度不大于 0.2%（ $k=2$ ）；折射率标准溶液测量范围为（1.3330~1.6580） n_D^{20} ，扩展不确定度不大于 0.0002（ $k=2$ ）。或者使用分析纯或优级纯的蔗糖或葡萄糖、氯化钠配制所需浓度的标准溶液，溶液具体配制、定值方法及不确定度评定示例见附录 C 和附录 E.3，蔗糖、葡萄糖水溶液的折射率（20℃）见附录 D。

5.2.2 其他设备

5.2.2.1 天平：最大称量不小于 100g，分度值 0.01mg，**I** 级。

5.2.2.2 温度计：范围（0~50）℃，分度值不低于 0.1℃，最大允许误差不超过±0.3℃。

5.2.2.3 校准用试剂：蒸馏水、纯水（实验室用二级以上）、蔗糖（分析纯及以上）、葡萄糖（分析纯及以上）、氯化钠（分析纯及以上）等。

6 校准项目和校准方法

6.1 校准前准备

接通仪器电源开关，根据仪器使用说明书的要求，进行预热。在每一次用标准溶液校准前，都必须对镜面和盖板进行清洗、净化，并干燥。

仪器的自校及调零。仪器的操作过程包括：进样，开始，清洗，干燥四个部分。按仪器说明书进行自校。将蒸馏水滴在镜面上，保持镜面全覆盖，有盖板的仪器盖上盖板，按调零键，进行零点调节，然后进行校准。

6.2 示值误差

一般取满量程的 10%、30%、50%三个点作为校准点，也可与客户协商确定校准点（一般不超过 3 个）。用蒸馏水清洗镜面，并用擦镜纸擦拭干净。将标准溶液滴在镜面上，保持镜面全覆盖，盖上盖板，待仪器温度达到设定温度，读数稳定后，记录仪器显示的数值，每个校准点重复测量 3 次，取 3 次测量结果的算术平均值作为实测结果。

根据式（1）计算校准点示值误差：

$$\Delta n = \bar{n} - n_s \quad (1)$$

式中：

Δn —蔗糖（或葡萄糖、氯化钠）溶液质量分数或折射率的示值误差；

\bar{n} —仪器 3 次测量结果的算术平均值（20℃）；

n_s —标准值（20℃）。

6.3 重复性

每一校准点重复测量 6 次，根据式（2）计算校准点重复性：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (n_i - \bar{n})^2}{n - 1}} \quad (2)$$

式中：

s —蔗糖（或葡萄糖、氯化钠）溶液质量分数或折射率的重复性；

n_i —第 n 次测量结果（20℃）；

\bar{n} — n 次测量结果的算术平均值（20℃）。

7 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应用有关时，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) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；

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。

8 复校时间间隔

复校时间间隔由使用者根据仪器使用情况、仪器本身性能等因素决定，建议复校时间间隔不超过 1 年。

附录 A

数字折光仪校准原始记录格式

仪器名称：_____ 仪器型号：_____ 出厂编号：_____

制造厂：_____ 委托单位：_____ 校准技术依据：_____

测量标准及仪器设备：_____ 校准地点：_____

校准环境： 温度：_____℃ 湿度：_____RH 校准日期：_____

校准员：_____ 核验员：_____

A.1 示值误差

项目	标准值 (20℃)	测量值 (20℃)			测量平均值	示值误差
		1	2	3		

A.2 重复性

项目	标准值 (20℃)	测量值 (20℃)						重复性
		1	2	3	4	5	6	

附录 B

数字折光仪校准证书（内页）格式

校准结果

校准项目	标准值	实测值	示值误差	重复性
蔗糖溶液质量分数				
溶液质量分数示值误差测量结果的不确定度：				
折射率				
折射率示值误差测量结果的不确定度：				

以下空白

附录 C

标准溶液的配制和定值方法

C.1 标准溶液的配制

选用分析纯蔗糖或葡萄糖、氯化钠，在（100~110）℃烘箱内烘干（2~3）h，在放有变色硅胶的干燥器中冷却至室温。

根据需要配置的糖溶液或氯化钠溶液含量，计算出所需的蔗糖（或氯化钠）质量 W_1 及纯水质量 W_2 。选取合适的滴瓶，逐步把蔗糖或氯化钠移至滴瓶中，再逐渐加入纯水，使其充分溶解。实际溶液质量分数按下式计算：

$$\frac{W_1}{W_1 + W_2} \times 100\%$$

注：溶液配制过程需在恒温恒湿实验室进行，温度控制在（20.0±0.3）℃，相对湿度控制在（45~60）%范围内。

C.2 溶液定值

使用最大允许误差为±0.00005的V棱镜折射仪定值，温度控制在（20.0±0.3）℃范围内，分别记录折射率及溶液质量分数，测量3次，取其平均值作为标准值。

附录 D

蔗糖和葡萄糖水溶液的折射率

表 D.1 蔗糖水溶液折射率 (20°C)

质量分数/%	折射率 (n_D)	质量分数/%	折射率 (n_D)	质量分数/%	折射率 (n_D)
0	1.33299	29	1.37936	58	1.43743
1	1.33442	30	1.38115	59	1.43967
2	1.33586	31	1.38296	60	1.44193
3	1.33732	32	1.38478	61	1.44420
4	1.33879	33	1.38661	62	1.44650
5	1.34026	34	1.38846	63	1.44881
6	1.34175	35	1.39032	64	1.45113
7	1.34325	36	1.39220	65	1.45348
8	1.34476	37	1.39409	66	1.45584
9	1.34629	38	1.39600	67	1.45822
10	1.34782	39	1.39792	68	1.46061
11	1.34937	40	1.39986	69	1.46303
12	1.35093	41	1.40181	70	1.46546
13	1.35250	42	1.40378	71	1.46790
14	1.35408	43	1.40576	72	1.47037
15	1.35568	44	1.40776	73	1.47285
16	1.35729	45	1.40978	74	1.47535
17	1.35891	46	1.41181	75	1.47787
18	1.36054	47	1.41385	76	1.48040
19	1.36218	48	1.41592	77	1.48295
20	1.36384	49	1.41799	78	1.48552
21	1.36551	50	1.42009	79	1.48810
22	1.36720	51	1.42220	80	1.49071
23	1.36889	52	1.42432	81	1.49333
24	1.37060	53	1.42647	82	1.49597
25	1.37233	54	1.42862	83	1.49862
26	1.37406	55	1.43080	84	1.50129
27	1.37582	56	1.43299	85	1.50398
28	1.37758	57	1.43520		

表 D.2 葡萄糖水溶液折射率 (20°C)

质量分数/%	折射率 (n_D)	质量分数/%	折射率 (n_D)	质量分数/%	折射率 (n_D)
0.0	1.33299	29.0	1.37880	58.0	1.43496
1.0	1.33442	30.0	1.38055	59.0	1.43710
2.0	1.33586	31.0	1.38232	60.0	1.43926
3.0	1.33731	32.0	1.38409	61.0	1.44143
4.0	1.33877	33.0	1.38588	62.0	1.44361
5.0	1.34024	34.0	1.38769	63.0	1.44581
6.0	1.34172	35.0	1.38950	64.0	1.44803
7.0	1.34321	36.0	1.39133	65.0	1.45026
8.0	1.34471	37.0	1.39317	66.0	1.45250
9.0	1.34622	38.0	1.39503	67.0	1.45476
10.0	1.34774	39.0	1.39690	68.0	1.45703
11.0	1.34927	40.0	1.39878	69.0	1.45932
12.0	1.35082	41.0	1.40067	70.0	1.46162
13.0	1.35237	42.0	1.40258	71.0	1.46394
14.0	1.35394	43.0	1.40450	72.0	1.46627
15.0	1.35552	44.0	1.40643	73.0	1.46862
16.0	1.35710	45.0	1.40838	74.0	1.47098
17.0	1.35870	46.0	1.41034	75.0	1.47336
18.0	1.36031	47.0	1.41232	76.0	1.47575
19.0	1.36193	48.0	1.41430	77.0	1.47815
20.0	1.36357	49.0	1.41631	78.0	1.48057
21.0	1.36521	50.0	1.41832	79.0	1.48301
22.0	1.36687	51.0	1.42035	80.0	1.48546
23.0	1.36854	52.0	1.42240	81.0	1.4879
24.0	1.37022	53.0	1.42445	82.0	1.4904
25.0	1.37191	54.0	1.42653	83.0	1.4929
26.0	1.37361	55.0	1.42861	84.0	1.4954
27.0	1.37533	56.0	1.43071	85.0	1.4979
28.0	1.37706	57.0	1.43283		

附录 E

数字折光仪的示值误差测量不确定度评定示例

E.1 糖溶液质量分数示值误差的不确定度评定

E.1.1 测量方法

将被校仪器棱镜面清洁干燥后，滴入一滴标准液，盖上盖板，根据溶液质量浓度不同，等候（2~5）min，然后读取并记录仪器示值。

E.1.2 数学模型

$$\Delta n = \bar{n} - n_s \quad (\text{E.1})$$

式中：

Δn —蔗糖（或葡萄糖、氯化钠）溶液质量分数的示值误差；

\bar{n} —仪器 3 次测量平均值（20℃）；

n_s —标准值（20℃）。

E.1.3 方差和灵敏系数

$$\text{方差: } u^2(\Delta n) = c_1^2 u^2(\bar{n}) + c_2^2 u^2(n_s)$$

$$\text{灵敏系数: } c_1 = \frac{\partial \Delta n}{\partial \bar{n}} = 1 \quad c_2 = \frac{\partial \Delta n}{\partial n_s} = -1$$

E.1.4 不确定度来源

根据上述测量模型以及测量方法，其不确定度来源主要包括以下 3 个方面：

- 1) 测量重复性引入的标准不确定度 u_1 ；
- 2) 标准溶液引入的标准不确定度 u_2 ；
- 3) 被校仪器分辨率引入的不确定度 u_3 。

E.1.5 测量不确定度评定

E.1.5.1 测量重复性引入的标准不确定度 u_1

使用分辨率为 0.001% 的数字折光仪，用质量分数为 50.3% 的蔗糖水溶液标准物质连续重复测量 10 次，测量结果见表 E.1。

表 E.1 蔗糖溶液浓度重复测量结果 (%)

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
结果	50.305	50.312	50.297	50.300	50.289	50.206	50.258	50.301	50.312	50.295

平均值为：50.288%。

实验标准偏差 s 按公式 (E.2) 计算：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (n_i - \bar{n})^2}{10 - 1}} \quad (\text{E.2})$$

式中：

n_i — 第 i 次的测量值 ($i=1, 2, \dots, 10$)，%；

\bar{n} — 10 次测量的算数平均值，%。

通过公式 (E.2) 计算出实验标准偏差： $s=0.0325\%$ 。

按规范要求，取 3 次测量算数平均值为实测结果，因此由测量重复性测量引入的标准不确定度 u_1 为：

$$u_1 = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.0188\%$$

E.1.5.2 蔗糖溶液标准物质引入的标准不确定度 u_2

由标准物质证书知，扩展不确定度为 0.2%， $k=2$ ，则：

$$u_2 = \frac{0.2\%}{2} = 0.1\%$$

E.1.5.3 被校仪器分辨率引入的不确定度 u_3

被校仪器分辨率为 0.001%，按均匀分布计算，则由分辨率引入的不确定度分量为：

$$u_3 = \frac{0.001\%}{2 \times \sqrt{3}} = 0.00029\%$$

对比 u_1 、 u_2 、 u_3 知， u_1 、 u_2 远远大于 u_3 ，所以 u_3 可忽略不计。

E.1.5.4 合成标准不确定度 u_c

由于标准不确定度分量 u_1 和 u_2 之间相互独立，则：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 0.11\%$$

E.1.5.5 扩展不确定度 U

取 $k = 2$, 则 $U = 0.3\%$ 。

E.2 折射率示值误差的不确定度评定

E.2.1 测量方法

将被校仪器棱镜面清洁干燥后, 滴入一滴标准液, 盖上盖板, 等候 (2~5) min, 然后读取并记录仪器示值。

E.2.2 数学模型

$$\Delta n = \bar{n} - n_s \quad (\text{E.3})$$

式中:

Δn — 折射率的示值误差;

\bar{n} — 仪器折射率 3 次测量平均值 (20°C);

n_s — 折射率标准值 (20°C)。

E.2.3 方差和灵敏系数

$$\text{方差: } u^2(\Delta n) = c_1^2 u^2(\bar{n}) + c_2^2 u^2(n_s)$$

$$\text{灵敏系数: } c_1 = \frac{\partial \Delta n}{\partial \bar{n}} = 1 \quad c_2 = \frac{\partial \Delta n}{\partial n_s} = -1$$

E.2.4 不确定度来源

根据上述测量模型以及测量方法, 其不确定度来源主要包括以下 3 个方面:

- 1) 测量重复性引入的标准不确定度 u_1 ;
- 2) 标准折射率引入的标准不确定度 u_2 ;
- 3) 被校仪器分辨率引入的不确定度 u_3 。

E.2.5 测量不确定度评定

E.2.5.1 测量重复性引入的标准不确定度 u_1

用纯水标准物质 (折射率为 1.33299) 对分辨率为 0.000001 的数字折光仪, 进行连续重复测量 10 次, 测量结果见表 E.2。

表 E.2 折射率重复测量结果 (n_D^{20})

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
结果	1.333010	1.333008	1.333015	1.333009	1.333010	1.333011	1.333008	1.333005	1.333009	1.333011

平均值为：1.333010。

实验标准偏差 s 按公式 (E.4) 计算：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (n_i - \bar{n})^2}{10 - 1}} \quad (\text{E.4})$$

式中：

n_i — 第 i 次的测量值 ($i=1, 2, \dots, 10$)，%；

\bar{n} — 10 次测量的算数平均值，%。

通过公式 (E.4) 计算出实验标准偏差： $s=0.00000259$ 。

按规范要求，取 3 次测量算数平均值为实测结果，因此由测量重复性测量引入的标准不确定度 u_1 为：

$$u_1 = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.00000150$$

E.2.5.2 折射率溶液标准物质引入的标准不确定度 u_2

由标准物质证书知，扩展不确定度为 0.0002， $k=2$ ，则：

$$u_2 = \frac{0.0002}{2} = 0.0001$$

E.2.5.3 被校仪器分辨率引入的不确定度 u_3

被校仪器分辨率为 0.000001，按均匀分布计算，则由分辨率引入的不确定度分量为：

$$u_3 = \frac{0.000001}{2 \times \sqrt{3}} = 0.00000029$$

对比 u_1 、 u_2 、 u_3 知， u_1 、 u_3 远远小于 u_2 ，所以 u_1 、 u_3 都可忽略不计，即只需考虑标准物质引入的不确定度即可。

E.2.5.4 合成标准不确定度 u_c

$$u_c = u_2 = 0.0001$$

E.2.5.5 扩展不确定度 U

取 $k=2$ ，则 $U=0.0002$ 。

E.3 配制氯化钠（或蔗糖）标准溶液质量分数示值误差的不确定度评定

E.3.1 测量方法

用天平称取氯化钠（或蔗糖）纯度标准物质或者分析纯氯化钠，以及纯水，配制所需浓度的标准溶液。

将被校仪器棱镜面清洁干燥后，滴入一滴标准液，盖上盖板，等候（2~5）min，然后读取并记录仪器示值。

以配制质量分数为 10% 的 100mL 氯化钠标准溶液为例，进行不确定度评定。根据附录 E 氯化钠溶液的密度（20℃），计算出 20℃ 下，氯化钠标准溶液的总质量 M 为 107.10g，所需的氯化钠质量为 10.71g，纯水质量为 96.39g。用分辨率为 0.001% 的数字折光仪进行测量。

E.3.2 数学模型

$$\Delta n = \bar{n} - n_s \quad (\text{E.5})$$

式中：

Δn — 氯化钠标准溶液质量分数的示值误差，%；

\bar{n} — 仪器氯化钠溶液质量分数 3 次测量平均值（20℃），%；

n_s — 配制的氯化钠标准溶液质量分数（20℃），%。

E.3.3 方差和灵敏系数

$$\text{方差: } u^2(\Delta n) = c_1^2 u^2(\bar{n}) + c_2^2 u^2(n_s)$$

$$\text{灵敏系数: } c_1 = \frac{\partial \Delta n}{\partial \bar{n}} = 1 \quad c_2 = \frac{\partial \Delta n}{\partial n_s} = -1$$

E.3.4 不确定度来源

根据上述测量模型以及测量方法，其不确定度来源主要包括以下 3 个方面：

1) 氯化钠标准溶液引入的标准不确定度 u_1 ；

- 2) 测量重复性引入的标准不确定度 u_2 ;
- 3) 被校仪器分辨率引入的不确定度 u_3 。

E.3.5 测量不确定度评定

E.3.5.1 氯化钠标准溶液引入的标准不确定度 u_1

氯化钠标准溶液引入的不确定度主要是有电子天平称量引入的。在配制溶液的过程中，共需称量 2 次质量：氯化钠的质量和纯水的质量，2 次测量互相独立，互不关联。由电子天平证书知，(5~20)g，最大允许误差为 $\pm 0.10\text{mg}$ ；(20~120)g，最大允许误差为 $\pm 0.15\text{mg}$ ，

按均匀分布计算，则(5~20)g 称重时，由天平引入的不确定度为 $u_{11} = \frac{0.10\text{g}}{\sqrt{3}} = 0.058\text{g}$ ，

则(20~120)g 称重时，由天平引入的不确定度为 $u_{12} = \frac{0.15\text{g}}{\sqrt{3}} = 0.087\text{g}$ 。

所以 $u = \sqrt{u_{11}^2 + u_{12}^2} = 0.11\text{g}$ ， $u_1 = \frac{u}{M} \times 100\% = 0.11\%$ 。

E.3.5.2 测量重复性引入的标准不确定度 u_2

用分辨率为 0.001% 的数字折光仪测量上述配制的氯化钠标准溶液，连续重复测量 10 次，测量结果见表 E.3。

表 E.3 氯化钠质量分数重复测量结果 (%)

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
结果	10.117	10.121	10.118	10.105	10.115	10.112	10.118	10.120	10.114	10.109

平均值为：10.115%。

实验标准偏差 s 按公式 (E.6) 计算：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (n_i - \bar{n})^2}{10 - 1}} \quad (\text{E.6})$$

式中：

n_i 一第 i 次的测量值 ($i=1, 2, \dots, 10$)，%；

\bar{n} —10 次测量的算数平均值，%。

通过公式 (E.6) 计算出实验标准偏差如下：

$$s = 0.005\%$$

按规范要求，取 3 次测量算数平均值为实测结果，因此由测量重复性测量引入的标准不确定度 u_2 为：

$$u_2 = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.003\%$$

E.3.5.3 被校仪器分辨率引入的不确定度 u_3

被校仪器分辨率为 0.001%，按均匀分布计算，则由分辨率引入的不确定度分量为：

$$u_3 = \frac{0.001\%}{2 \times \sqrt{3}} = 0.00029\%$$

对比 u_1 、 u_2 、 u_3 知， u_1 远远大于 u_2 、 u_3 ，所以 u_2 、 u_3 都可忽略不计，即计算不确定度时只需考虑天平称量引入的不确定度即可。

E.3.5.4 合成标准不确定度 u_c

$$u_c = u_1 = 0.11\%$$

E.3.5.5 扩展不确定度 U

取 $k=2$ ，则 $U=0.3\%$ 。

