



内蒙古自治区地方计量技术规范

JJF (蒙) 082—2024

旋转蒸发器校准规范

Calibration Specification for Rotary Evaporators

2024-06-01 发布

2024-09-01 实施

内蒙古自治区市场监督管理局 发布

旋转蒸发器校准规范

Calibration Specification for

Rotary Evaporators

JJF(蒙)082—2024

归口单位：内蒙古自治区市场监督管理局

主要起草单位：内蒙古自治区计量测试研究院

参加起草单位：内蒙古伊利实业集团股份有限公司

本规范委托内蒙古自治区计量测试研究院负责解释

本规范主要起草人：

张 鹏（内蒙古自治区计量测试研究院）

陈 嘉（内蒙古自治区计量测试研究院）

乔沛钧（内蒙古自治区计量测试研究院）

参加起草人：

张晓梅（内蒙古自治区计量测试研究院）

聂高乐（内蒙古自治区计量测试研究院）

刘 辰（内蒙古自治区计量测试研究院）

王亚飞（内蒙古伊利实业集团股份有限公司）

目 录

引言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 术语和计量单位.....	(1)
3.1 温度偏差.....	(1)
3.2 温度波动度.....	(1)
3.3 温度均匀度.....	(1)
3.4 压力示值误差.....	(1)
3.5 转速示值误差.....	(1)
3.6 计量单位.....	(1)
4 概述.....	(1)
5 计量特性.....	(2)
5.1 旋转蒸发器计量特性.....	(2)
6 校准条件.....	(2)
6.1 环境条件.....	(2)
6.2 标准器及其它配套设备.....	(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)
8 校准结果.....	(5)
9 复校时间间隔.....	(6)
附录 A 旋转蒸发器校准记录.....	(7)
附录 B 旋转蒸发器校准证书内页格式.....	(8)
附录 C 旋转蒸发器温度偏差不确定度评定示例.....	(9)
附录 D 旋转蒸发器温度均匀度不确定度评定示例.....	(13)
附录 E 旋转蒸发器温度波动度不确定度评定示例.....	(16)
附录 F 旋转蒸发器压力示值误差不确定度评定示例.....	(18)
附录 G 旋转蒸发器转速示值误差不确定度评定示例.....	(21)

引 言

JJF1071《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001《通用计量术语及定义》、JJF1059.1《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑校准规范制修订工作的基础性系列规范。

本规范为首次发布。

旋转蒸发仪校准规范

1 范围

本规范适用于旋转蒸发仪温度、压力、转速参数的校准，其他功能类似的设备可参照本规范执行。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 875 数字压力计

JJG 1134 转速测量仪

JJF 2019 液体恒温试验设备温度性能测试规范

凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有修改单）适用于本规范。

3 术语和计量单位

3.1 温度偏差 temperature deviation

旋转蒸发仪水浴温度在稳定状态下，各测量点在规定时间之内，实测最高温度和最低温度与设定温度值的偏差。两个偏差分别称为温度上偏差和温度下偏差。

3.2 温度波动度 temperature fluctuation

旋转蒸发仪水浴温度在稳定状态下，各测量点在规定时间之内，温度变化的最大值。

3.3 温度均匀度 temperature uniformity

旋转蒸发仪水浴温度在稳定状态下，同一时间各测量点温度最大值与最小值差值的平均值。

3.4 压力示值误差 pressure indication deviation

旋转蒸发仪压力示值与压力标准值之差。

3.5 转速示值误差 speed indication deviation

旋转蒸发仪转速示值与转速标准值之差。

3.6 计量单位

旋转蒸发仪加热装置使用的计量单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$)，转每分(r/min)，千帕斯卡(kPa)。

4 概述

旋转蒸发仪的基本原理是加热持续转动的蒸馏烧瓶，利用负压条件实现对烧瓶中的溶剂进行提取、净化、浓缩试验。旋转蒸发仪一般由旋转装置(r/min)、加热装置($^{\circ}\text{C}$)、蒸馏冷凝系统、真空系统(kPa)等部分组成(如图1示)。主要用于生物医药、化学化

工、环境监测、食品加工等行业。

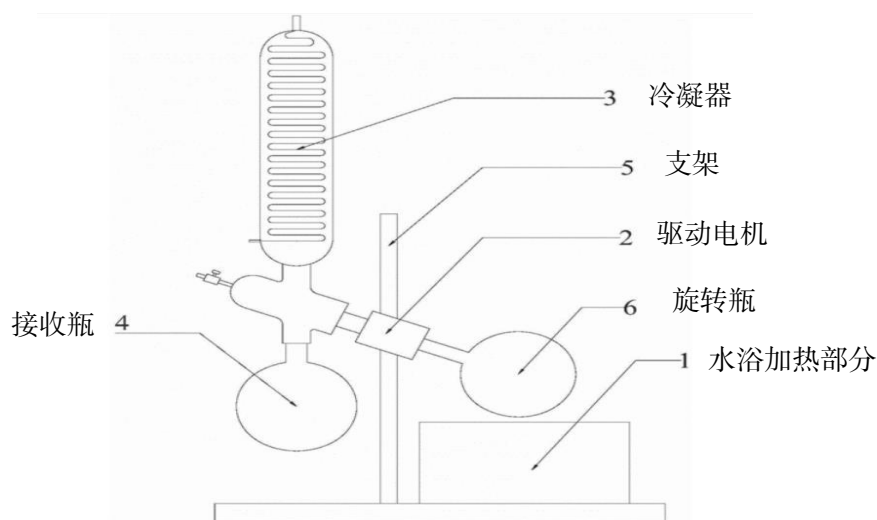


图1 旋转蒸发仪结构示意图

5 计量特性

5.1 旋转蒸发仪计量特性见表1

表1 旋转蒸发仪计量特性

项目	测量范围	技术要求
温度偏差	(室温~100)℃	MPE: ±2℃
温度波动度	(室温~100)℃	±0.5℃/12min
温度均匀度	(室温~100)℃	1.0℃
压力示值误差	(-100~0) kPa	MPE: ±1kPa
转速示值误差	(10~200) r/min	MPE: ±3r/min

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 温度: (15~35)℃,相对湿度: ≤85%。

6.1.2 设备周围应无强烈振动及其他影响校准结果的因素存在。

6.2 校准所用设备

6.2.1 标准器

温度测量标准选用多通道温度巡检仪,通道传感器数量应不少于5个,其在与设备对应温度范围内的不确定度应不大于设备温度偏差最大允许值的绝对值的1/3,其技术指标

见表 2。

表 2 标准器技术指标

名称	测量范围	技术要求
温度巡检仪	(室温 ~ 200) °C	MPE: $\pm(0.15^{\circ}\text{C}+0.002 t)$
数字压力计	(-100 ~ 0) kPa	0.1 级及以上
转速测量仪	(10 ~ 30000) r/min	0.1 级

注：1) 温度、压力、转速测量范围为一般要求，实际使用中以能覆盖被检设备校准范围为准。
2) 校准时可以使用其他符合要求的标准器。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

7.1.1 温度偏差

7.1.2 温度均匀度

7.1.3 温度波动度

7.1.3 转速示值误差

7.1.3 压力示值误差

7.2 校准方法

7.2.1 校准点选择

旋转蒸发仪温度、压力、转速校准点根据用户实际需要选择，或者选择设备使用的测量范围上限、下限、中间点。

7.2.2 温度传感器布点位置

将温度传感器放入旋转蒸发仪水浴加热锅，布点位置为旋转蒸发仪水浴加热锅水浴与旋转瓶接触部分（传感器与加热锅内壁保留十分之一加热锅直径的距离），温度布点如图 2 所示，温度传感器测量点用序号 0, 1, 2, 3, 4 数字表示。

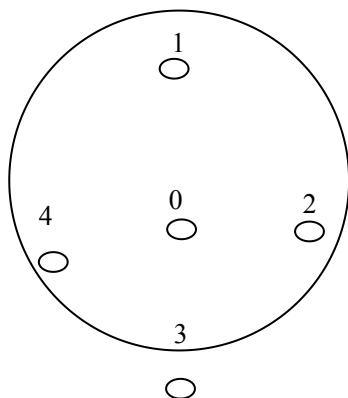


图 2 旋转蒸发器温度布点示意图

在确认旋转蒸发器水浴液位正常后，将旋转蒸发器控制温度设定到测试温度，并开启运行设备，待其达到设定温度并处于稳定状态后开始记录各测量点温度。每 2 分钟记录一次各传感器温度示值，记录 6 组数据。

7.2.3 温度偏差

按公式（1）和公式（2）计算旋转蒸发器水浴的温度上偏差和温度下偏差：

$$\Delta t_{\max} = t_{\max} - t \quad (1)$$

$$\Delta t_{\min} = t_{\min} - t \quad (2)$$

式中：

Δt_{\max} ——温度上偏差，℃；

Δt_{\min} ——温度下偏差，℃；

t_{\max} ——各测量点规定时间内加修正值测量的温度最高值，℃；

t_{\min} ——各测量点规定时间内加修正值测量的温度最低值，℃；

t ——温度设定值，℃。

7.2.4 温度均匀度

按公式（3）计算旋转蒸发器水浴的温度均匀度：

$$\Delta t_u = \sum_{i=1}^n (t_{i\max} - t_{i\min}) / n \quad (3)$$

式中：

Δt_u ——温度均匀度，℃；

$t_{i\max}$ ——各测量点在第 i 次加修正值测量的温度最高值，℃；

$t_{i\min}$ ——各测量点在第 i 次加修正值测量的温度最低值，℃；

n ——测量次数。

7.2.5 温度波动度

按公式（4）计算旋转蒸发仪水浴的温度波动度：

$$\Delta t_f = \max(t_{j\max} - t_{j\min}) \quad (4)$$

式中：

Δt_f ——温度波动度，℃；

$t_{j\max}$ ——测量点 j 在第 n 次测量中测量的温度最高值，℃；

$t_{j\min}$ ——测量点 j 在第 n 次测量中测量的温度最低值，℃。

j ——测量点序号。

7.2.6 压力示值误差

使用三通将测量标准、旋转蒸发仪压力显示装置分别与旋转蒸发仪真空泵相连，启动真空泵，压力输出稳定后，连续读取 3 次测量标准压力值，取旋转蒸发仪压力显示值与标准压力平均值之差作为压力示值误差。

$$\Delta p = p_s - \bar{p} \quad (5)$$

式中：

Δp —压力示值误差，kPa、MPa；

p_s —压力设定值，kPa、MPa；

\bar{p} —压力校准点测量平均值，kPa、MPa。

7.2.7 转速示值误差

在旋转蒸发仪合适位置粘贴反射标识，或使用其他方式做好测量标记。设置旋转蒸发仪转速，启动旋转蒸发仪，待转速稳定后，连续读取 3 次转速测量值，取设定值与转速平均值之差做为转速示值误差。

$$\Delta n = n_s - \bar{n} \quad (6)$$

式中：

Δn —转速示值误差，r/min；

n_s —转速设定值，r/min；

\bar{n} —转速测量平均值，r/min。

8 校准结果

校准结果应在校准证书上反映（校准结果内容见附录 B）。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（如果不在实验室内进行校准）；
- d) 证书的唯一性标识（如编号），页码及总页数的标识；
- e) 送校单位的名称和地址；
- 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) 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) 校准证书签发人的签名、职务或等效标识，以及签发日期；
- m) 校准结果仅对被校对象有效性的声明；
- n) 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

送校单位可以根据校准结果、使用频次、使用条件等实际情况自主确定复校时间，建议复校时间间隔最长不超过 1 年。

附录 B

旋转蒸发器校准证书内页格式

1. 温度校准结果:

设定值	校准项目		不确定度 ($k=2$)
	上偏差		
	下偏差		
	波动度		
	均匀度		

2. 压力校准结果:

设定值	标准值	示值误差	不确定度 ($k=2$)

3. 转速校准结果:

设定值	标准值	示值误差	不确定度 ($k=2$)

注: 本校准结果仅对被测对象有效。

未经本实验室批准, 不得部分复印此证书。

附录 C

旋转蒸发仪温度偏差不确定度评定示例

C.1 被测对象

选用一台测量范围为（室温 ~ 99）℃，分辨力 0.1℃的稳定旋转蒸发仪作为被测对象，以校准温度 50℃为例进行评定。

C.2 测量标准

温度巡检仪，不确定度为 $U=0.06^{\circ}\text{C}$ $k=2$,分辨力 0.01℃

C.3 测量方法

按照本规范校准方法要求，将温度巡检仪的传感器按规定测试点放置。旋转蒸发仪水浴设定为 50.0℃，并开启运行。当旋转蒸发仪水浴温度达到设定值并稳定后开始记录温度巡检仪显示的温度值，记录时间间隔为 2min,共记录 6 组数据。

C.4 测量模型

$$\Delta T_{\max} = T_{\max} - T \quad \Delta T_{\min} = T_{\min} - T$$

式中：

ΔT_{\max} -----温度上偏差，℃。

ΔT_{\min} -----温度下偏差，℃。

T_{\max} -----设定点温度最大值，℃。

T_{\min} -----设定点温度最小值，℃。

T -----设定点温度示值，℃。

C.5 标准不确定度的评定

旋转蒸发仪水浴温度上偏差和温度下偏差的不确定度来源见表 C.1

表 C.1 不确定度来源

符号	不确定度来源
u_1	被测旋转蒸发仪水浴温度偏差测量重复性
u_{1b}	标准器分辨力
u_2	标准器误差
u_3	标准器稳定性

C.5.1 重复性引入的标准不确定度 $u_{1\max}, u_{1\min}$

旋转蒸发器水浴温度偏差测量重复性引入的标准不确定度 $u_{1\max}, u_{1\min}$, 对旋转蒸发器水浴进行 10 次重复测量, 计算每次测量的温度上偏差和温度下偏差, 得到两组测量列分别如下:

温度上偏差 $\Delta t_{\max}/^{\circ}\text{C}$: 0.23, 0.23, 0.25, 0.28, 0.24, 0.21, 0.18, 0.28, 0.24, 0.20;

温度下偏差 $\Delta t_{\min}/^{\circ}\text{C}$: 0.03, 0.01, -0.02, 0.04, 0.03, 0.01, -0.02, 0.04, 0.03, 0.02。

用贝塞尔公式计算标准偏差, 则由重复测量引入的标准不确定度分别为:

$$u_1(\Delta t_{\max}) = s(\Delta t_{\max}) = 0.032^{\circ}\text{C}$$

$$u_1(\Delta t_{\min}) = s(\Delta t_{\min}) = 0.022^{\circ}\text{C}$$

C.5.2 标准器的温度分辨力引入的标准不确定度 $u_{1\max b}, u_{1\min b}$

标准器的温度分辨力为 0.01°C , 区间半宽为 0.005°C , 服从均匀分布, 则由标准器分辨力引入的标准不确定度为:

$$u_{1\max b} = u_{1\min b} = 0.005^{\circ}\text{C}/\sqrt{3} \approx 0.003^{\circ}\text{C}$$

C.5.3 由标准器误差引入的标准不确定度 u_2

在 50°C 时标准器的最大允许误差为 $\pm(0.15^{\circ}\text{C} + 0.002|t|)$, 即 $\pm 0.25^{\circ}\text{C}$ 。按均匀分布考虑, 则标准器误差引入的标准不确定度为 $u_2 = 0.25^{\circ}\text{C}/3 \approx 0.144^{\circ}\text{C}$ 。

C.5.4 标准器稳定性引入的标准不确定度 u_3

标准器年稳定性为 0.10°C , 按均匀分布计算, 则由其引入的标准不确定度为 $u_3 = 0.10^{\circ}\text{C}/\sqrt{5} \approx 0.058^{\circ}\text{C}$ 。

C.6 标准不确定度汇总表见表 C.2 和 C.3

表 C.2 温度上偏差标准不确定度汇总表

不确定度分量	分量来源	标准不确定度
$u_{1\max}$	温度上偏差测量重复性引入	0.032°C

u_{1maxb}	标准器的温度分辨力引入	0.003℃
u_2	标准器误差引入	0.144℃
u_3	标准器稳定性引入	0.058℃

表 C.3 温度下偏差标准不确定度汇总表

不确定度分量	分量来源	标准不确定度
u_{1min}	温度下偏差测量重复性引入	0.022℃
u_{1minb}	标准器的温度分辨力引入	0.003℃
u_2	标准器误差引入	0.144℃
u_3	标准器稳定性引入	0.058℃

C.7 合成标准不确定度

由于测量重复性引入的标准不确定度远大于标准器分辨力引入的标准不确定度，取较大者，则：

$$u_{1上} = u_{1max} = 0.032℃$$

$$u_{1下} = u_{1min} = 0.022℃$$

C.7.1 温度上偏差合成标准不确定度 $u_c(\Delta t_{max})$

$u_{1上}$ ， u_2 ， u_3 相互独立，则温度上偏差合成标准不确定度 $u_c(\Delta t_{max})$ 为：

$$u_c(\Delta t_{max}) = \sqrt{u_{1上}^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.159℃$$

C.7.2 温度下偏差合成标准不确定度 $u_c(\Delta t_{min})$

$u_{1下}$ ， u_2 ， u_3 相互独立，则温度下偏差合成标准不确定度 $u_c(\Delta t_{min})$ 为：

$$u_c(\Delta t_{min}) = \sqrt{u_{1下}^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.158℃$$

C.8 扩展不确定度

取 $k=2$ ，则旋转蒸发器水浴温度上偏差扩展不确定度为：

$$U = k \cdot u_c(\Delta t_{\max}) = 0.4^{\circ}\text{C}$$

旋转蒸发器水浴温度下偏差扩展不确定度为：

$$U = k \cdot u_c(\Delta t_{\min}) = 0.4^{\circ}\text{C}$$

即温度旋转蒸发器水浴温度偏差的扩展不确定度为：

$$U = k \cdot u_c = 0.4^{\circ}\text{C}$$

附录 D

旋转蒸发仪温度均匀度不确定度评定示例

D.1 被测对象

选用一台测量范围为（室温 ~ 99）℃，分辨力 0.1℃的稳定旋转蒸发仪作为被测对象，以校准温度 50℃为例进行评定。

D.2 测量标准

温度巡检仪，不确定度为 $U=0.06^{\circ}\text{C}$ $k=2$,分辨力 0.01℃

D.3 测量方法

按照本规范校准方法要求，将温度巡检仪的传感器按规定测试点放置。旋转蒸发仪水浴设定为 50.0℃，并开启运行。当旋转蒸发仪水浴温度达到设定值并稳定后开始记录温度巡检仪显示的温度值，记录时间间隔为 2min,共记录 6 组数据。

D.4 测量模型

$$\Delta t_u = \sum_{i=1}^n (t_{i\max} - t_{i\min}) / n$$

式中：

Δt_u ——旋转蒸发仪水浴的温度均匀度，℃；

$t_{i\max}$ ——修正后各测量点在第 i 次测量时测得的最高温度，℃；

$t_{i\min}$ ——修正后各测量点在第 i 次测量时测得的最低温度，℃；

n ——测量次数。

D.5 标准不确定度的评定

旋转蒸发仪水浴温度均匀度的标准不确定度来源见表 D.1。

表 D.1 不确定度来源

符号	不确定度来源
u_{1a}	被测旋转蒸发仪水浴温度均匀度的测量重复性
u_{1b}	标准器分辨力
u_2	标准器通道间差值的一致性

D.5.1 温度均匀度的测量重复性引入的标准不确定度, $u_{1a}(\Delta t_i)$

对旋转蒸发仪水浴进行 10 次重复测量, 计算每次测量的温度均匀度, 得到一组测量列如下:

温度均匀度 $\Delta t_i / ^\circ\text{C}$: 0.13, 0.15, 0.17, 0.15, 0.16, 0.16, 0.16, 0.15, 0.17, 0.16。

用贝塞尔公式计算标准偏差, 则由重复测量引入的标准不确定度为:

$$u_{1a}(\Delta t_i) = s(\Delta t_i) = 0.012^\circ\text{C}$$

D.5.2 标准器分辨力引入的标准不确定度, $u_{1b}(\Delta t_i)$

标准器分辨力为 0.01°C , 区间半宽为 0.005°C , 服从均匀分布, 则由标准器分辨力引入的标准不确定度为

$$u_{1b}(\Delta t_i) = 0.005 / \sqrt{3} = 0.003^\circ\text{C}$$

D.5.3 温度巡检仪各通道间差值一致性引入的标准不确定度 $u_2(\Delta t_i)$

温度巡检仪各通道间温度差值的一致性不超过 0.03°C , 区间半宽为 0.015°C , 服从均匀分布, 则 $u_2(\Delta t_i) = 0.015 / \sqrt{3} = 0.008^\circ\text{C}$ 。

D.6 标准不确定度汇总表

温度均匀度测量标准不确定度汇总见表 D.2。

表 D.2 温度均匀度标准不确定度汇总表

不确定度分量	分量来源	标准不确定度
$u_{1a}(\Delta t_i)$	温度均匀度测量重复性引入	0.012°C
$u_{1b}(\Delta t_i)$	标准器分辨力	0.003°C
$u_2(\Delta t_i)$	标准器通道差值一致性引入	0.008°C

D.7 合成标准不确定度

由于温度均匀度测量重复性引入的标准不确定度大于标准器分辨力引入的标准不确定度, 取其中较大者, 则: $u_1(\Delta t_i) = u_{1a}(\Delta t_i) = 0.012^\circ\text{C}$

$u_1(\Delta t_i)$ 、 $u_2(\Delta t_i)$ 互不相关，则温度均匀度的合成标准不确定度 $u_c(\Delta t_i)$ 为：

$$u_c(\Delta t_i) = \sqrt{u_1(\Delta t_i)^2 + u_2(\Delta t_i)^2} = 0.014^\circ\text{C}$$

D.8 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$,则旋转蒸发仪水浴温度均度的扩展不确定度为：

$$U = k \cdot u_c(\Delta t_i) = 0.3^\circ\text{C}$$

附录 E

旋转蒸发仪温度波动度不确定度评定示例

E.1 被测对象

选用一台测量范围为（室温 ~ 99）℃，分辨力 0.1℃的稳定旋转蒸发仪作为被测对象，以校准温度 50℃为例进行评定。

E.2 测量标准

温度巡检仪，不确定度为 $U=0.06^{\circ}\text{C}$ $k=2$,分辨力 0.01℃

E.3 测量方法

按照本规范校准方法要求，将温度巡检仪的传感器按规定测试点放置。旋转蒸发仪水浴设定为 50.0℃，并开启运行。当旋转蒸发仪水浴温度达到设定值并稳定后开始记录温度巡检仪显示的温度值，记录时间间隔为 2min,共记录 6 组数据。

E.4 测量模型

$$\Delta t_f = \max (t_{j\max} - t_{j\min})$$

式中：

Δt_f -----旋转蒸发仪水浴的温度均匀度，℃；

$t_{j\max}$ -----修正后各测量点在第 i 次测量时测得的最高温度，℃；

$t_{j\min}$ -----修正后各测量点在第 i 次测量时测得的最低温度，℃；

j -----测量点序号。

E.5 标准不确定度的评定

旋转蒸发仪水浴温度波动度的标准不确定度来源见表 E.1

表 E. 1 不确定度来源

符号	不确定度来源
$u_a(\Delta t_j)$	温度波动度测量重复性引入
$u_b(\Delta t_j)$	标准器分辨力引入

E.5.1 温度波动度的测量重复性引入的标准不确定度 $u_a(\Delta t_j)$

对旋转蒸发仪水浴进行 10 次重复测量，计算每次测量的温度波动度，得到一组测量列如下：

温度均匀度 $\Delta t_f / ^\circ\text{C}$ ：0.12, 0.13, 0.13, 0.14, 0.13, 0.13, 0.13, 0.14, 0.15, 0.15。

用贝塞尔公式计算标准偏差，则由重复测量引入的标准不确定度为：

$$u_a(\Delta t_f) = s(\Delta t_f) = 0.01^\circ\text{C}$$

E.5.2 标准器分辨力引入的标准不确定度 $u_b(\Delta t_j)$

标准器分辨力为 0.01°C ，区间半宽为 0.005°C ，服从均匀分布，则由标准器分辨力引入的标准不确定度为

$$u_b(\Delta t_f) = 0.005 / \sqrt{3} = 0.003^\circ\text{C}$$

E.6 标准不确定度汇总表

温度均匀度测量标准不确定度汇总见表 E.2。

表 E. 2 温度均匀度标准不确定度汇总表

不确定度分量	分量来源	标准不确定度
$u_a(\Delta t_j)$	温度波动度测量重复性引入	0.01°C
$u_b(\Delta t_j)$	标准器分辨力引入	0.003°C

E.7 合成标准不确定度

由于测量重复性引入的标准不确定度大于标准器分辨力引入的标准不确定度，取其中较大者，则： $u(\Delta t_f) = u_a(\Delta t_f) = 0.01^\circ\text{C}$

则温度均匀度的合成标准不确定度 $u_c(\Delta t_f)$ 为：

$$u_c(\Delta t_f) = u(\Delta t_f) = 0.01^\circ\text{C}$$

E.8 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则旋转蒸发仪水浴温度均度的扩展不确定度为：

$$U = k \cdot u_c(\Delta t_f) = 0.02^\circ\text{C}$$

附录 F

旋转蒸发仪压力示值误差不确定度评定示例

F.1 被测对象

选用一台稳定的旋转蒸发仪作为被测对象，压力示值分辨力 0.1kPa，压力校准点选择 -30kPa。

F.2 测量标准

使用测量范围为 (-100 ~ 0) kPa，准确度等级为 0.05 级的精密数字压力校验仪作为压力测量标准。

F.3 测量方法

使用三通将测量标准、旋转蒸发仪压力显示装置分别与旋转蒸发仪真空泵相连，启动真空泵，压力输出稳定后，连续读取测量标准压力值。

F.4 测量模型

$$\Delta P = P_s - \bar{P}$$

式中：

ΔP —— 压力示值误差，kPa；

P_s —— 压力设定值，kPa；

\bar{P} —— 标准压力计测量平均值，kPa。

F.5 不确定度分量的评定

旋转蒸发仪压力示值误差的标准不确定度来源见表 F.1

表 F.1 不确定度来源

符号	不确定度来源
u_1'	旋转蒸发仪压力示值测量重复性引入
u_1''	旋转蒸发仪压力示值分辨力引入
u_2	标准器允许误差引入

F.5.1 被测旋转蒸发仪测量重复性引入 u_1'

在-30.0kPa 校准点进行 10 次重复测量，得到如下示值

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-29.8	-29.8	-29.9	-29.9	-29.8	-29.8	-29.9	-30.0	-29.9	-29.9

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.064 \text{ kPa}$$

$$u_1' = \frac{s}{\sqrt{n}} = 0.02 \text{ kPa}$$

F.5.2 被测旋转蒸发仪压力示值分辨力引入 u_1'' ,

$$u_1'' = \frac{d}{2\sqrt{3}} = 0.029 \text{ kPa}$$

F.5.3 由压力标准器引入的不确定度分量 u_2

0.05 级，测量范围为 (-100 ~ 0) kPa 数字压力计的最大允许误差为 0.05kPa，

$$u_2 = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.03 \text{ kPa}$$

F.6 不确定度分量表

旋转蒸发仪压力示值测量标准不确定度汇总见表 F.2。

表 F. 2 压力示值标准不确定度汇总表

不确定度分量	分量来源	不确定度
u_1'	旋转蒸发仪压力示值测量重复性引入	0.02kPa
u_1''	旋转蒸发仪压力示值分辨力引入	0.029kPa
u_2	标准器允许误差引入	0.03kPa

F.7 合成标准不确定度

被测旋转蒸发器压力示值测量重复性引入的标准不确定度 u_1' 与压力示值分辨力引入的标准不确定度 u_1'' 取数值较大者, 所以 $u_1 = u_1''$

$$u_c = \sqrt{u_1'^2 + u_2^2} = 0.04\text{kPa};$$

F.8 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度

$$U = k \cdot u_c = 0.08\text{kPa}$$

附录 G

旋转蒸发器转速示值误差评定示例

G.1 被测对象

选用一台测量范围为(10~130) r/min, 分辨力为 1r/min 的稳定旋转蒸发器作为被测对象, 转速校准点选择 100r/min。

G.2 测量标准

使用测量范围为(10~30000) r/min, 准确度等级为 0.1 级的激光转速测量仪为转速测量标准。

G.3 测量方法

在旋转蒸发器合适位置粘贴反射标识, 或使用其他方式做好测量标记。设置旋转蒸发器转速, 启动旋转蒸发器, 待转速稳定后, 连续读取转速测量值。

G.4 测量模型

$$\Delta n = n_s - \bar{n}$$

式中:

Δn —— 转速示值误差, r/min,

n_s —— 转速设定值, r/min,

\bar{n} —— 转速标准测量平均值, r/min。

G.5 不确定度分量的评定

旋转蒸发器转速示值误差的标准不确定度来源见表 G.1

表 G.1 不确定度来源

符号	不确定度来源
u_1'	旋转蒸发器转速测量重复性引入
u_1''	旋转蒸发器转速示值分辨力引入
u_2	标准器允许误差引入

G.5.1 被测旋转蒸发器转速测量重复性引入 u_1'

在 100r/min 校准点进行 10 次重复测量, 得到如下示值

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
99	98	100	99	101	99	98	99	100	101

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 1.08 \text{ r/min}$$

$$u_1' = \frac{s}{\sqrt{n}} = 0.34 \text{ r/min}$$

G.5.2 被测旋转蒸发器转速示值分辨力引入 u_1'' ,

$$u_1'' = \frac{d}{2\sqrt{3}} = 0.29 \text{ r/min}$$

G.5.3 由转速标准器引入的不确定度分量 u_2

0.1 级, 测量范围为 (10 ~ 30000) r/min 激光转速测量仪在 100r/min 的最大允许误差为 0.1r/min,

$$u_2 = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.06 \text{ r/min}$$

G.6 不确定度分量表

旋转蒸发器转速示值测量标准不确定度汇总见表 G.2。

表 G. 2 转速示值标准不确定度汇总表

不确定度分量	分量来源	不确定度
u_1'	旋转蒸发器转速测量重复性引入	0.34r/min
u_1''	旋转蒸发器转速示值分辨力引入	0.29r/min
u_2	转速标准装置引入	0.06r/min

G.7 合成标准不确定度 u_c

被测旋转蒸发器转速测量重复性引入的标准不确定度 u_1' 与转速示值分辨力引入的标准不确定度 u_1'' 取数值较大者, 所以 $u_1 = u_1'$

$$u_c = \sqrt{u_1'^2 + u_2^2} = 0.34 \text{r/min};$$

G.8 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度

$$U = k \cdot u_c = 0.7 \text{r/min}$$