



中华人民共和国国家计量校准规范

JJF XXX-XXXX

## 温度传感器动态响应校准规范

Dynamic Response Calibration Regulation of  
Temperature Sensors

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX

实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

# 温度传感器动态响应 校准规范

JJF 1049—xxxx

代替 JJF 1049—1995

**Dynamic Response Calibration Regulation of Temperature Sensors**

归口单位：全国温度计量技术委员会

主要起草单位：中国航空工业集团公司  
北京长城计量测试技术研究所

参加起草单位：上海仪器仪表自控系统检验测试所有限公司  
中国计量科学研究院  
苏州长风航空电子有限公司  
沈阳东大传感技术有限公司

本规范委托全国温度计量技术委员会负责解释

**本规程主要起草人：**

赵 俭（中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所）

武建红（中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所）

郭爱华（上海仪器仪表自控系统检验测试所有限公司）

**参加起草人：**

廖 理（中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所）

郑 玮（中国计量科学研究院）

徐 琪（苏州长风航空电子有限公司）

王魁汉（沈阳东大传感技术有限公司）

# 目 录

引言 .....	II
1 范围 .....	1
2 引用文件 .....	1
3 概述 .....	1
4 计量特性 .....	2
5 校准条件 .....	2
6 校准项目和校准方法 .....	4
7 校准结果表达 .....	9
8 复校时间间隔 .....	10
附录 A 校准结果的测量不确定度评定 .....	11
附录 B 校准证书格式 .....	16
附录 C 校准结果原始记录 .....	17

# 引言

本规范按照 JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1059.1《测量不确定度评定与表示》的要求进行修订。

本规范代替 JJF1049-1995《温度传感器动态响应校准规范》。

本规范与 JJF1049-1995《温度传感器动态响应校准规范》相比，除编辑性修改外，主要技术变化如下：

- 将水流环境改为液流环境，并且对其速度要求进行了修改（见 5.2.1.1）；
- 增加了以激光器为动态温度激励源的校准（见 5.2.1.4）；
- 增加了测量不确定度评定内容（见附录 A）。

# 温度传感器动态响应校准规范

## 1 范围

本规范适用于新制造（或新购置）、使用中、修理后的流体温度测量用接触式温度传感器的动态响应校准。

## 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1059.1 测量不确定度评定与表示

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）适用本规范。

## 3 概述

### 3.1 结构和原理

温度传感器由敏感元件、外壳、引线和安装法兰等组成，结构示意图如图 1 所示，部分温度传感器无安装法兰。

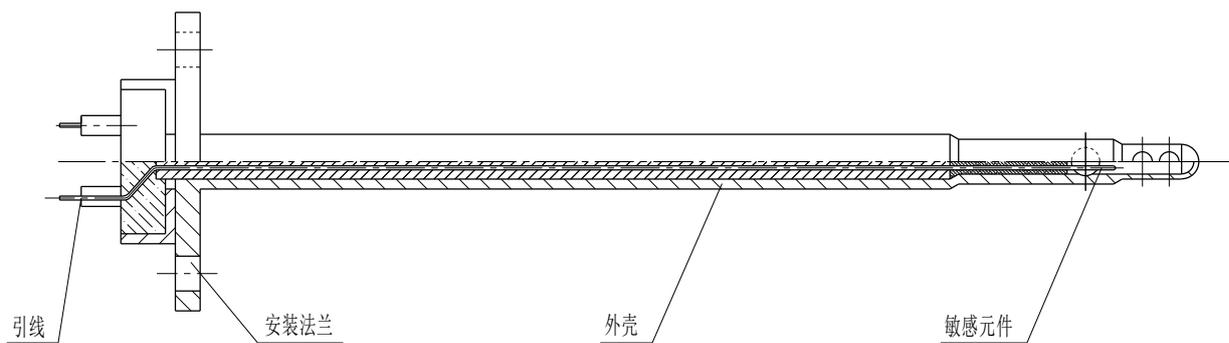


图 1 温度传感器结构示意图

由于温度传感器具有热惯性，在测量快速变化的温度时，不能立刻反映被测温度，而是需要一定的时间才能达到热平衡状态。

### 3.2 用途

温度传感器主要用于测量气体、液体等流体的温度。

## 4 计量特性

4.1 温度传感器动态响应计量特性见表 1。

表1 温度传感器动态响应计量特性

序号	计量特性名称		说明
1	时间常数	对于按一阶系统处理的温度传感器，当温度出现阶跃变化时，温度传感器的输出温度变化到相当于该温度阶跃量的 63.2%所需要的时间	1. 并非每类温度传感器具有本表所列全部计量特性，因此校准项目依据温度传感器实际情况及客户要求确定。 2. “按一阶系统处理”指的是在不影响使用的情况下，对被校温度传感器做工程上的一阶近似处理。
2	热响应时间	当温度出现阶跃变化时，温度传感器的输出温度变化到相当于该温度阶跃量的某个规定百分数所需要的时间	

## 5 校准条件

### 5.1 环境条件

温度传感器应在表1规定的条件下校准。

表2 有关影响量的校准条件和允许偏差

影响量	校准条件	允许偏差
实验室温度	20℃	±5℃
实验室相对湿度	50%	±30%
气流含油量	≤10mg/m <sup>3</sup>	\
气流含水量	≤0.5g/kg	\

### 5.2 校准设备与仪器

#### 5.2.1 校准设备

校准所用的设备应经过计量技术机构检定（或校准），满足校准使用要求，并在有效期内。

##### 5.2.1.1 液流环境校准装置

在液流环境校准装置上进行校准时，校准装置应符合如下要求：

- a) 测量位置液流速度为0.4m/s~1m/s，控制精度应优于±0.05m/s；
- b) 液流速度在被校温度传感器插入方向的均匀度应优于±10%；

- c) 在30min内，液流温度的稳定度应优于温度阶跃量的 $\pm 1\%$ ；
- d) 液流流道宽度不小于被校传感器直径的10倍。

#### 5.2.1.2 低速气流环境校准装置

在低速 ( $v \leq 4.5\text{m/s}$ ) 气流环境校准装置上进行校准时，校准装置应符合如下要求：

- a) 气流速度稳定度在10min内应优于 $\pm 5\%$ ，流道中心40%截面内，气流速度的均匀度应优于 $\pm 5\%$ ；
- b) 流道中心40%截面内，温度均匀度应优于温度阶跃量的 $\pm 1\%$ ；
- c) 气流流道宽度不小于被校传感器直径的10倍。

#### 5.2.1.3 高速气流环境校准装置

在常温校准风洞上进行校准时，风洞应符合如下要求：

- a) 可采用开口式或闭口式试验段，但堵塞比不应大于10%；
- b) 流道中心40%截面内，气流马赫数均匀度应优于 $\pm 5\%$ ，气流方向角偏差应优于 $\pm 0.5^\circ$ ；
- c) 气流马赫数的控制偏差应优于 $\pm 0.005$ ；
- d) 气流温度稳定度应优于 $\pm 0.3^\circ\text{C}$ ，流道中心40%截面内，气流温度均匀度应优于 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 。

在热校准风洞上进行校准时，风洞应符合如下要求：

- a) 可采用开口式或闭口式试验段，但堵塞比不应大于10%；
- b) 流道中心40%截面内，气流马赫数均匀度应优于 $\pm 5\%$ ，气流方向角偏差应优于 $\pm 0.5^\circ$ ；
- c) 气流马赫数的控制偏差应优于 $\pm 0.005$ ；
- d) 在 $900^\circ\text{C}$ 以下校准时，气流温度稳定度在1分钟内应优于 $\pm 1^\circ\text{C}$ ，在 $900^\circ\text{C} \sim 1700^\circ\text{C}$ 范围内校准时，气流温度稳定度在1分钟内应优于 $\pm 1\%$ ；
- e) 流道中心40%截面内，气流温度均匀度应优于总温的 $\pm 5\%$ ，流道中心10%截面内，气流温度均匀度应优于总温的 $\pm 1\%$ ；
- f) 在 $900^\circ\text{C}$ 以下校准时，气流温度控制偏差应优于 $\pm 10^\circ\text{C}$ ，在 $900^\circ\text{C} \sim 1700^\circ\text{C}$ 范围内校准时，气流温度控制偏差应优于 $\pm 20^\circ\text{C}$ 。

#### 5.2.1.4 动态温度激励源

动态温度激励源是为了在被校温度传感器周围提供一个温度变化。动态温度激励源自身的时间常数或热响应时间，应小于被校温度传感器时间常数或热响应时间的10%。

动态温度激励源分为弹射阶跃机构和激光阶跃（或脉冲）机构两种。弹射阶跃机构是采用机械方式完成弹射，最终实现温度阶跃变化，主要用于30ms以上量级温度传感器的校准；激光阶跃（或脉冲）机构是采用不同幅值和脉宽的激光器实现温度阶跃（或脉冲）变化，主要用于30ms以下量级快响应温度传感器的校准。

## 5.2.2 校准仪器

### 5.2.2.1 压力传感器

压力传感器应符合如下要求：

a) 压力传感器的量程应根据所测压力的范围选择，保证所测压力的上限位于传感器量程的2/3至满量程之间；

b) 压力传感器的最大允许误差应优于其满量程的 $\pm 0.15\%$ 。

### 5.2.2.2 大气压力计

大气压力计的最大允许误差应优于 $\pm 40\text{Pa}$ 。

### 5.2.2.3 数字电压表

数字电压表的最大允许误差应优于 $\pm 4\mu\text{V}$ 。

### 5.2.2.4 冰点恒温器

可采用冰瓶或其它类型的冰点恒温器。

### 5.2.2.5 高速采集仪器

可采用数字式存储示波器或其它高速采集仪器。高速采集仪器自身的时间常数或热响应时间，应小于被校温度传感器时间常数或热响应时间的10%，时间分辨力应优于被校温度传感器时间常数的1%。

### 5.2.2.6 测控系统

主要包括与校准设备配套的各种监控传感器、信号传输线路、信号转换、采集、存储、处理和控制在软硬件设备。

## 6 校准项目和校准方法

### 6.1 校准项目

校准项目为动态响应特性，包括时间常数 $\tau$ 和热响应时间 $\tau_{0.1}$ 、 $\tau_{0.5}$ 和 $\tau_{0.9}$ 。

## 6.2 校准方法

### 6.2.1 液流环境

#### 6.2.1.1 校准装置准备

- a) 对于测量滑油、燃油、冷却液等液流温度的传感器，在恒温槽中进行校准。
- b) 根据校准要求，选择合适的恒温槽。

#### 6.2.1.2 被校传感器的安装连接

- a) 将被校温度传感器装入试验架。
- b) 将被校温度传感器接入数据采集装置。校准框图如图2所示。
- c) 校准前，校准仪器必须进行预热，预热时间不少于60min。

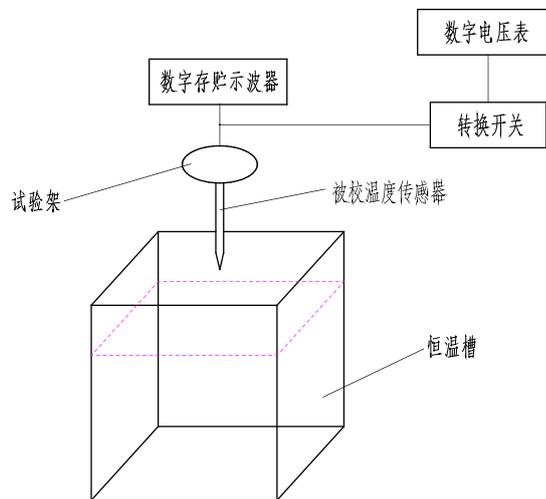


图2 温度传感器在液体环境下的动态响应校准框图

#### 6.2.1.3 校准工况的选择

校准温度应选择在温度传感器的工作温度附近，阶跃量为 $10^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ 。

#### 6.2.1.4 校准程序

- a) 开启并调节恒温槽，使槽内介质温度达到要求值。
- b) 记录被校温度传感器的初始温度。
- c) 启动开关，使被校温度传感器迅速投入恒温槽介质中，同时启动数据采集装置，记录被校温度传感器的温度与时间的变化关系，采集记录时间应在被校温度传感器时间常数 $\tau$ 的10倍以上。
- d) 完成温度响应记录后，再记录一次终止状态。
- e) 每个状态下至少记录三次，三次数据的极差应小于平均值的5%。

### 6.2.1.5 数据处理

由采集的温度-时间响应曲线，经滤波后，直接用作图法算出时间常数或热响应时间。

### 6.2.2 气流环境(高速)

#### 6.2.2.1 校准装置准备

- a) 气流环境下的动态响应校准，在校准风洞上进行。
- b) 根据校准要求，选择合适的校准风洞。
- c) 将总压探针置于稳定段内，用于测量气流总压 $p_0$ ，用引压管连接总压探针和压力传感器。
- d) 气流静压 $p_s$ 利用试验段的静压孔测量，用引压管连接静压孔和压力传感器；对于开口试验段，也可用大气压代替气流静压。

#### 6.2.2.2 被校传感器的安装连接

- a) 将被校温度传感器固定在试验段的安装座上。
- b) 将被校温度传感器接入数据采集装置。校准框图分别如图3、图4所示。
- c) 校准前，校准仪器和稳压电源必须进行预热，预热时间不少于60min。

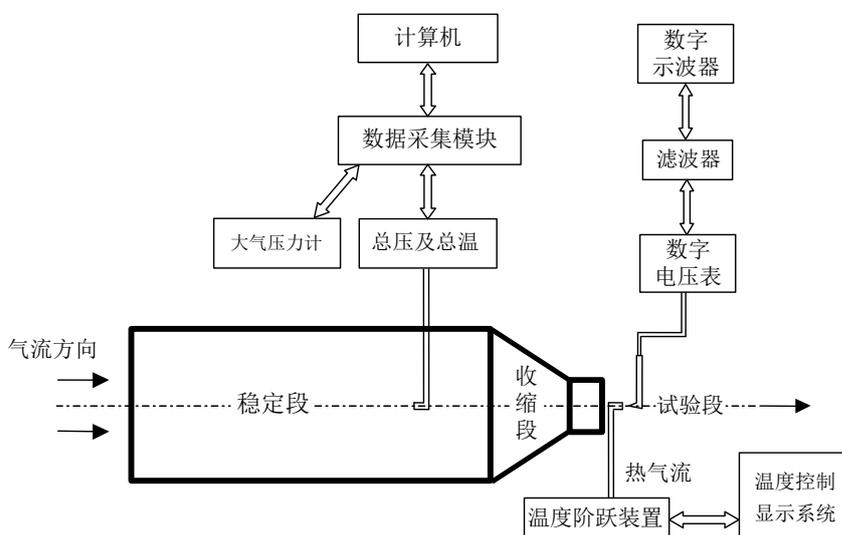


图3 温度传感器在室温气流环境下的动态响应校准框图

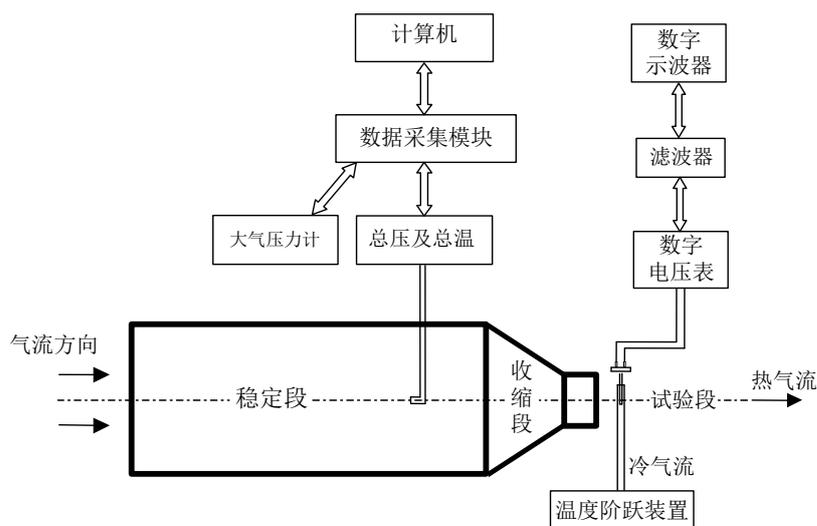


图4 温度传感器在高温气流环境下的动态响应校准框图

### 6.2.1.3 校准工况的选择

应优先采用温度传感器的使用工况或尽量接近其使用工况，为便于温度传感器之间相互比较，也可采用下述推荐工况。

表3 按传感器使用温度区域规定校准温度

传感器使用温度/°C	室温~400	400~1000	1000~1700
校准温度/°C	室温或 200±10	600±10	1400±50
阶跃温度/°C	100±20	200±20	200±20

表4 按传感器使用环境中流速（马赫数）范围规定校准流速（马赫数）

使用流速小于 30m/s	使用马赫数 0.05~0.3	使用马赫数 0.3~0.6	使用马赫数 0.6~0.95
校准流速 3m/s	校准马赫数 0.2	校准马赫数 0.4	校准马赫数 0.6

### 6.2.2.4 校准程序

- 开启并调节风洞系统，使试验段的气流速度（马赫数）和气流温度达到要求值。
- 用温度阶跃装置改变被校温度传感器的温度，调整到所需的温度阶跃量，记录初始状态，包括气流总压、静压、大气压、总温和被校温度传感器温度等。
- 启动温度激励源，使被校温度传感器周围产生温度突变，同时启动数据采集装置，记录被校温度传感器的温度与时间的变化关系，采集记录时间应在被校温度传感器时间常数 $\tau$ 的10倍以上。
- 完成温度响应记录后，再记录一次终止状态。
- 每个状态下至少记录三次，三次数据的极差应小于平均值的5%。

## 6.2.2.5数据处理

a) 按式（1）计算气流马赫数Ma。

$$Ma = \sqrt{\frac{2}{\kappa-1} \left[ \left( \frac{p_0}{p_s} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right]} \quad (1)$$

式中：

$p_0$ ——气流总压，Pa；

$p_s$ ——气流静压，Pa；

$\kappa$ ——绝热指数。

b) 由采集的温度-时间响应曲线，经滤波后，直接用作图法算出时间常数或热响应时间。

## 6.2.3气流环境(低速)

## 6.2.3.1校准装置准备

a) 根据校准要求，选择合适丝径的热栅框架。

b) 将热栅框架装入试验段导槽内，将电源线连好。

## 6.2.3.2被校传感器的安装连接

a) 将被校温度传感器装入试验段内，按规定调节气流速度。

b) 将被校温度传感器接入数据采集装置。校准框图如图5所示。

c) 校准前，校准仪器必须进行预热，预热时间不少于60min。

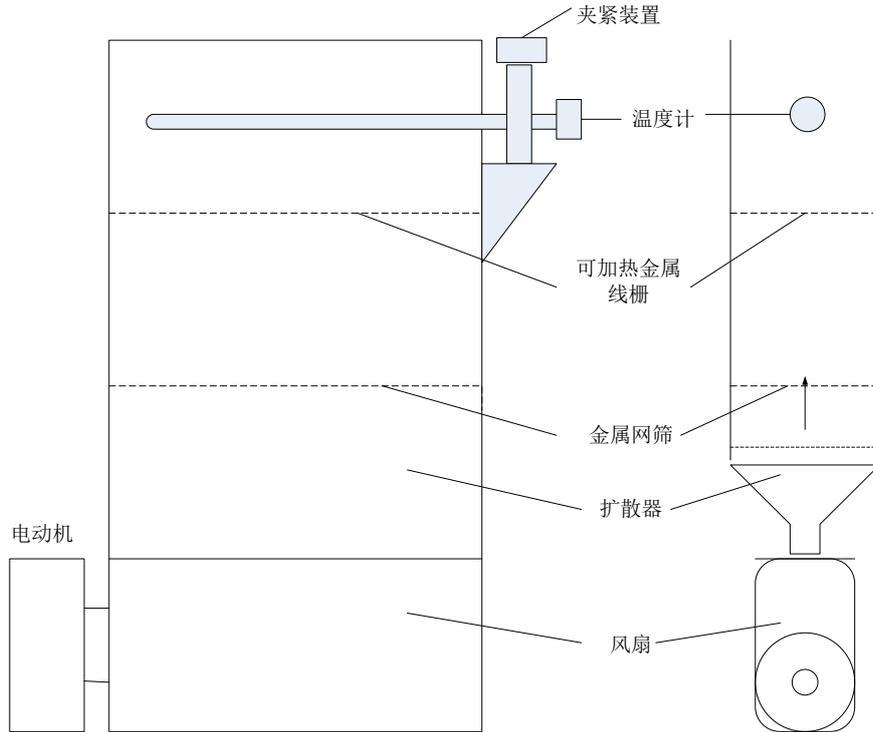


图5 温度传感器在低速气流环境下的动态特性校准框图

### 6.2.3.3 校准工况的选择

校准温度应选择在温度传感器的工作点温度附近，阶跃量为 $10^{\circ}\text{C}\sim 20^{\circ}\text{C}$ 。

### 6.2.3.4 校准程序

- a) 调整温度变化量。
- b) 记录被校温度传感器的初始温度。
- c) 启动热栅加热气流，同时启动数据采集装置，记录被校温度传感器的温度与时间的变化关系。
- d) 完成温度响应记录后，关闭热栅，恢复初始状态。
- e) 每个状态下至少记录三次，三次数据的极差应小于平均值的5%。

### 6.2.3.5 数据处理

由采集的温度-时间响应曲线，经滤波后，直接用作图法算出时间常数或热响应时间。

## 7 校准结果表达

校准结果应在校准证书或校准报告上反映。校准证书或校准报告应至少包括以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，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) 校准结果仅对校准对象有效的声明；
- 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

复校时间间隔建议为 12 个月。

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 校准结果的测量不确定度评定

## 1 测量方法

在第 5 条规定的校准条件下，按第 6 条规定的校准项目和校准方法进行测量。

2 时间常数  $\tau$  的测量不确定度评定

## 2.1 数学模型

$$\tau = f(\Delta t) + f(Ma) + f(T_g) \quad (\text{A.1})$$

$$u_c(\tau) = \sqrt{u(\Delta t)^2 + \left(\frac{\partial \tau}{\partial Ma} \cdot u(Ma)\right)^2 + \left(\frac{\partial \tau}{\partial T_g} \cdot u(T_g)\right)^2 + u_A(\tau)^2} \quad (\text{A.2})$$

式中：

$$u(Ma) = \frac{2 + (\kappa - 1)Ma^2}{2\kappa Ma} \sqrt{\left[\frac{u(p_0)}{p_0}\right]^2 + \left[\frac{u(p_s)}{p_s}\right]^2}$$

$$\frac{\partial \tau}{\partial T_g} = 1.718 \frac{\tau}{T_g - T_b}$$

## 2.2 测量不确定度的来源

2.2.1  $u(\Delta t)$  的来源如下：

a) 数据采样间隔引入的不确定度  $u_1$ 。

2.2.2  $u(p_0)$  的来源如下：

a) 总压传感器的示值误差引入的不确定度  $u_2$ ；

b) 无汞气压计的示值误差引入的不确定度  $u_3$ ；

c) 风洞气流的总压脉动引入的不确定度  $u_4$ ；

d) 数采系统引入的不确定度  $u_5$ 。

2.2.3  $u(p_s)$  的来源如下：

a) 静压传感器的示值误差引入的不确定度  $u_6$ ；

b) 无汞气压计的示值误差引入的不确定度  $u_3$ ；

c) 风洞气流的静压脉动引入的不确定度  $u_7$ ；

d) 数采系统引入的不确定度  $u_5$ 。

2.2.4  $u(T_g)$  的来源如下：

a) 风洞气流的有效温度波动引入的不确定度 $u_8$ 。

## 2.3 测量不确定度的评定

### 2.3.1 $u(\Delta t)$ 的评定如下：

a) 数据采样间隔引入的不确定度 $u_1$

假定测量时设定的数据采样间隔为 $\Delta P_1$ 。由此引入的不确定度按 B 类评定，假设测量值在允许误差范围内的概率分布为均匀分布，查得包含因子 $k$ 为 $\sqrt{3}$ ，则其标准不确定度 $u_1$ 为：

$$u_1 = \frac{\Delta P_1}{\sqrt{3}} \quad (\text{A.3})$$

自由度： $\nu_1 \rightarrow \infty$ （认为不可靠度为0）。

b) 计算 $u(\Delta t)$

$$u(\Delta t) = u_1 \quad (\text{A.4})$$

### 2.3.2 $u(p_0)$ 的评定如下：

a) 总压传感器的示值误差引入的不确定度 $u_2$

根据压力传感器的准确度等级，其允许误差极限为 $\Delta P_2$ ，并经校准合格。由此引入的不确定度按 B 类评定，假设测量值在允许误差范围内的概率分布为均匀分布，查得包含因子 $k$ 为 $\sqrt{3}$ ，则其标准不确定度 $u_2$ 为：

$$u_2 = \frac{\Delta P_2}{\sqrt{3}} \quad (\text{A.5})$$

自由度： $\nu_2 \rightarrow \infty$ （认为不可靠度为0）。

b) 无汞气压计的示值误差引入的不确定度 $u_3$

根据无汞气压计的技术说明书规定，其允许误差极限为 $\Delta P_3$ ，并经校准合格。由此引入的不确定度按 B 类评定，假设测量值在允许误差范围内的概率分布为均匀分布，查得包含因子 $k$ 为 $\sqrt{3}$ ，则其标准不确定度 $u_3$ 为：

$$u_3 = \frac{\Delta P_3}{\sqrt{3}} \quad (\text{A.6})$$

自由度： $\nu_3 \rightarrow \infty$ （认为不可靠度为0）。

c) 风洞气流的总压脉动引入的不确定度 $u_4$

按 B 类评定，由风洞气流的温度获得风洞气流的总压脉动值不超过  $\Delta P_4$ 。假设测量值在允许误差范围内的概率分布为均匀分布，包含因子  $k$  为  $\sqrt{3}$ ，则其标准不确定度  $u_4$  为：

$$u_4 = \frac{\Delta P_4}{\sqrt{3}} \quad (\text{A.7})$$

自由度： $\nu_4 \rightarrow \infty$ （认为不可靠度为0）。

d) 数采系统引入的不确定度 $u_5$

按 B 类评定，根据数采系统的技术说明书规定，其允许误差极限为  $\Delta P_5$ 。按均匀分布考虑，包含因子  $k$  为  $\sqrt{3}$ ，则其标准不确定度  $u_5$  为：

$$u_5 = \frac{\Delta P_5}{\sqrt{3}} \quad (\text{A.8})$$

自由度： $\nu_5 \rightarrow \infty$ （认为不可靠度为0）。

e) 计算  $u(p_0)$

$$u(p_0) = \sqrt{u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2} \quad (\text{A.9})$$

2.3.3  $u(p_s)$ 的评定如下：

a) 静压传感器的示值误差引入的不确定度 $u_6$

根据压力传感器的准确度等级，其允许误差极限为  $\Delta P_6$ ，并经校准合格。由此引入的不确定度按 B 类评定，假设测量值在允许误差范围内的概率分布为均匀分布，查得包含因子  $k$  为  $\sqrt{3}$ ，则其标准不确定度  $u_6$  为：

$$u_6 = \frac{\Delta P_6}{\sqrt{3}} \quad (\text{A.10})$$

自由度： $\nu_6 \rightarrow \infty$ （认为不可靠度为0）。

b) 无汞气压计的示值误差引入的不确定度 $u_3$

同2.3.2 b)。

c) 风洞气流的静压脉动引入的不确定度 $u_7$

按 B 类评定，由风洞气流的温度获得风洞气流的静压脉动值不超过 $\Delta P_7$ 。假设测量值在允许误差范围内的概率分布为均匀分布，包含因子 $k$ 为 $\sqrt{3}$ ，则其标准不确定度 $u_7$ 为：

$$u_7 = \frac{\Delta P_7}{\sqrt{3}} \quad (\text{A.11})$$

自由度： $\nu_7 \rightarrow \infty$ （认为不可靠度为0）。

d) 数采系统引入的不确定度 $u_5$

同2.3.2 d)。

e) 计算 $u(p_s)$

$$u(p_s) = \sqrt{u_6^2 + u_3^2 + u_7^2 + u_5^2} \quad (\text{A.12})$$

2.3.4  $u(T_g)$ 的评定如下：

a) 风洞气流的有效温度波动引入的不确定度 $u_8$

按 B 类评定，估计风洞气流的总温波动值不超过 $\Delta P_8$ 。假设测量值在允许误差范围内的概率分布为均匀分布，包含因子 $k$ 为 $\sqrt{3}$ ，则其标准不确定度 $u_8$ 为：

$$u_8 = \frac{\Delta P_8}{\sqrt{3}} \quad (\text{A.13})$$

自由度： $\nu_8 \rightarrow \infty$ （认为不可靠度为0）。

2.3.5  $u_A(\tau)$ 的评定：

用极差法计算实验标准偏差 $s(\tau)$ 。从测量数据中找出最大值 $\tau_{\max}$ 和最小值 $\tau_{\min}$ ，根据测量次数查表得到系数 $d_n$ ，按下式计算实验标准偏差 $s(\tau)$ ：

$$s(\tau) = \frac{\tau_{\max} - \tau_{\min}}{d_n} \quad (\text{A.14})$$

采用 $n$ 次测量结果的平均值作为测量结果，其 A 类不确定度 $u_A(\tau)$ 按下式计算：

$$u_A(\tau) = \frac{s(\tau)}{\sqrt{n}} \quad (\text{A.15})$$

自由度： $\nu_A = n - 1$ 。

## 2.4 不确定度分量一览表

不确定度分量	不确定度来源	评定方法	分布	k 值	标准不确定度	自由度
$u_1$	数据采样间隔	B	均匀	$\sqrt{3}$	$\frac{\Delta P_1}{\sqrt{3}}$	$\infty$
$u_2$	总压传感器的示值误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	$\frac{\Delta P_2}{\sqrt{3}}$	$\infty$
$u_3$	无汞气压计的示值误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	$\frac{\Delta P_3}{\sqrt{3}}$	$\infty$
$u_4$	风洞气流的总压脉动	B	均匀	$\sqrt{3}$	$\frac{\Delta P_4}{2}$	$\infty$
$u_5$	数采系统的测量误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	$\frac{\Delta P_5}{\sqrt{3}}$	$\infty$
$u_6$	静压传感器的示值误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	$\frac{\Delta P_6}{\sqrt{3}}$	$\infty$
$u_7$	风洞气流的静压脉动	B	均匀	$\sqrt{3}$	$\frac{\Delta P_7}{\sqrt{3}}$	$\infty$
$u_8$	风洞气流的有效温度波动	B	均匀	$\sqrt{3}$	$\frac{\Delta P_8}{\sqrt{3}}$	$\infty$
$u_A(\tau)$	测量的重复性	A	正态			$n - 1$

## 2.5 合成标准不确定度 $u_c(\tau)$

合成标准不确定度  $u_c(\tau)$  的计算公式见(A.27)。

有效自由度：

$$\nu_{eff} = \frac{(u_c(\tau))^4}{\sum_{i=1}^8 \frac{u_i^4}{\nu_i} + \frac{u_3^4}{\nu_3} + \frac{u_5^4}{\nu_5} + \frac{(u_A(\tau))^4}{\nu_A}} \quad (\text{A.16})$$

## 2.6 扩展不确定度 $U(\tau)$

由  $\nu_{eff}$ ，在  $p = 95\%$  的情况下，查 t 分布临界值，得  $k$ ，则扩展不确定度  $U(\tau)$  为：

$$U(\tau) = k \cdot u_c(\tau) \quad (p = 95\%) \quad (\text{A.17})$$

## 附录 B 校准证书格式

证书编号：

## 校准结果及数据

传感器 型号	传感器 编号	气流马赫 数 $Ma$	质量流速 $G_v$ /kg/(m <sup>2</sup> ·s)	阶跃前 温度 $t_1/^\circ\text{C}$	阶跃后 温度 $t_2/^\circ\text{C}$	温度阶跃 量 $\Delta t/^\circ\text{C}$	时间常数 $\tau/\text{ms}$	时间常数 平均值 $\tau_{\text{ave}}/\text{ms}$	相对扩展 不确定度 $U_{\text{rel}}$ /% ( $k=2$ )

图 B.1 温度传感器动态响应校准证书校准结果格式

## 附录 C 校准结果原始记录

委托方名称和地址			
被校件描述	型号	编号	生产厂家
接收日期	年 月 日	校准日期	年 月 日
校准用标准器描述	器具名称	器具编号	测量范围
	准确度等级	证书编号	标准有效期
校准依据文件			
校准环境条件	温度: °C	相对湿度: %RH	
校准人员		核验人员	

编号	次数	气流马赫数 $Ma$	初始温度/°C	终止温度/°C	时间常数/s
	1				
	2				
	3				
	平均				

图 C.1 温度传感器动态响应校准原始记录