

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1049—2024

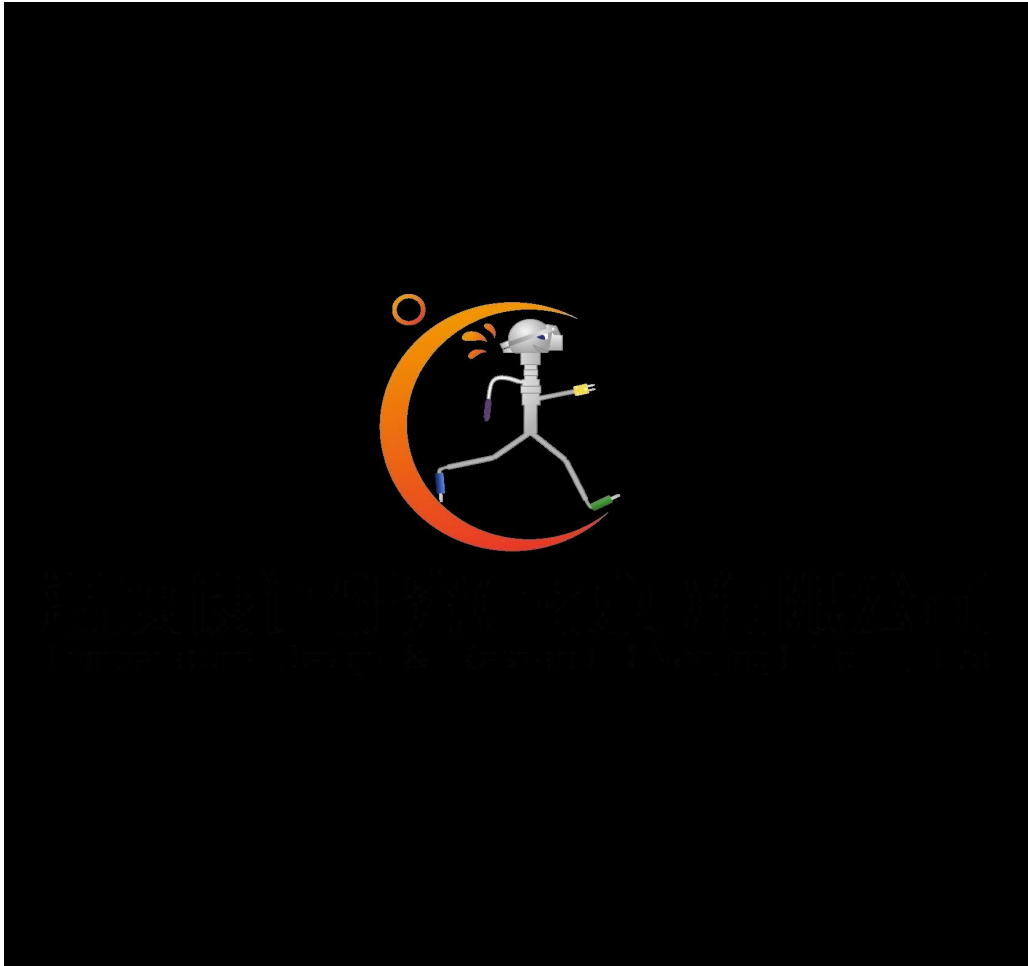
温度传感器动态响应校准规范

Calibration Specification for Temperature Sensors' Dynamic Response

2024-09-18 发布

2025-03-18 实施

国家市场监督管理总局 发布



上海办公室:

上海市静安区洛川中路840号 B 幢 7 楼B07 室

联系人：赵先生

手机：13818921630

邮箱：r.zhao@templabs.cn

Templabs 技术资料 T100009

网站: www.templabs.cn

温度传感器动态响应校准规范

Calibration Specification for Temperature

Sensors' Dynamic Response

JJF 1049—2024

代替 JJF 1049—1995

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

上海仪器仪表自控系统检验测试所有限公司

参加起草单位：中国计量科学研究院

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

本规范主要起草人：

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）

胡林陶（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）

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 术语和定义	(1)
4 概述	(1)
4.1 结构和原理	(1)
4.2 用途	(2)
5 计量特性	(2)
6 校准条件	(2)
6.1 实验室环境条件	(2)
6.2 计量标准及其他设备	(2)
7 校准项目和校准方法	(5)
7.1 校准项目	(5)
7.2 校准方法	(5)
8 校准结果表达	(9)
9 复校时间间隔	(10)
附录 A 热响应时间作图法计算	(11)
附录 B 校准结果的测量不确定度评定	(13)
附录 C 校准结果原始记录	(23)
附录 D 校准证书格式	(24)

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》和 JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范编写工作的基础性系列规范。

本规范代替 JJF 1049—1995《温度传感器动态响应校准规范》。与 JJF 1049—1995 相比，除编辑性修改外，本规范主要技术变化如下：

- 增加了以激光器为动态温度激励源的校准方式；
- 修改了水流环境为液流环境（见 6.2.1）；
- 增加了测量不确定度评定内容（见附录 B）。

本规范的历次版本发布情况为：

- JJF 1049—1995。

温度传感器动态响应校准规范

1 范围

本规范适用于时间常数不小于 1 ms 的接触式温度传感器在室温~1 700 °C、气流马赫数 0.95 以下或液体流速 1 m/s 以下的动态响应（热响应时间）校准，温度传感器主要包括热电偶、热电阻式温度传感器。

2 引用文件

本规范无引用文件。

3 术语和定义

3.1 热响应时间 thermal response time

当温度出现阶跃变化时，温度传感器的输出量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。变化到温度阶跃量的 10%、50%、90% 所需要的时间，分别记为 $\tau_{0.1}$ 、 $\tau_{0.5}$ 、 $\tau_{0.9}$ 。

3.2 时间常数 time constant

温度传感器的输出量变化到相当于温度阶跃量 63.2% 的热响应时间。符号为 τ 。

3.3 温度阶跃量 temperature step

温度阶跃变化之后与之前稳定状态温度的差值。

3.4 动态温度激励源 dynamic temperature excitation source

用于产生温度变化的系统或装置。

3.5 弹射机构 ejection mechanism

采用机械方式完成弹射，最终实现温度阶跃变化的机构。

3.6 激光激励源 laser excitation mechanism

产生不同幅值和脉宽激光，实现温度阶跃（或脉冲）变化的装置。

3.7 气流总温 total temperature of gas flow

气流绝热等熵滞止到速度为零时的温度。

3.8 气流总压 total pressure of gas flow

气流绝热等熵滞止到速度为零时的压力。

4 概述

4.1 结构和原理

温度传感器通常由敏感元件、外壳、引线等组成，典型结构示意图如图 1 所示。

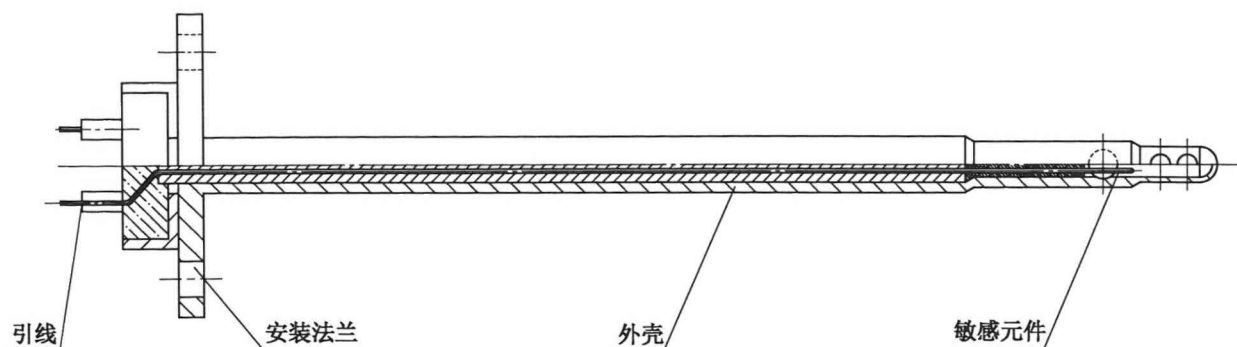


图1 温度传感器典型结构示意图

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。温度传感器的动态响应特性指温度传感器的温度与被测介质温度变化量之间的关系，一般用微分方程或传递函数的形式表示。动态响应特性的特征参数主要是热响应时间（含时间常数）。温度传感器的热响应时间不仅与传感器本身的结构、材料有关，而且与流体介质、工况条件有关。

4.2 用途

温度传感器主要用于测量变化的气体、液体等流体温度。温度传感器的动态响应特性，主要用于评价温度传感器的响应快慢。

5 计量特性

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	并非每类温度传感器均要求测量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	热响应时间 ($\tau_{0.1}$ 、 $\tau_{0.5}$ 、 $\tau_{0.9}$)	

6 校准条件

6.1 实验室环境条件

实验室环境要求见表2。

表2 实验室环境要求

环境参数	要求
温度	15 °C ~ 25 °C
相对湿度	≤ 80 %

6.2 计量标准及其他设备

校准所用的计量设备与仪器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。

6.2.1 计量标准

液流槽或校准风洞系统、动态温度激励源和高速采集设备共同构成计量标准，详见表 3。

表 3 计量标准

序号	计量标准	提供的校准环境
1	液流槽，介质可以是水或油	液流环境
2	高速校准风洞	高速气流环境，气流马赫数 0.1~0.95
3	低速校准风洞	低速气流环境，气流速度 5 m/s~40 m/s
4	动态温度激励源，可以是弹射机构或激光激励源	——
5	高速采集设备	——

计量标准的技术要求见表 4。

表 4 计量标准的技术要求

序号	计量标准	技术要求		用途	
1	液流槽	液流温度	波动度	在 10 min 内优于温度阶跃量的±1%	液流环境下校准的计量标准
			均匀度	在被校传感器插入方向优于温度阶跃量的±2%	
		液流速度	控制偏差	在测量位置优于±0.05 m/s	
			波动度	在 10 min 内优于液流速度的±5%	
			均匀度	在被校传感器插入方向优于液流速度的±10%	
		液流流道	宽度	不小于被校传感器直径的 10 倍	
			深度	不小于 100 mm	
2	高速校准风洞	试验段口径	堵塞比	不大于 10%	高速（气流马赫数 0.1~0.95）气流环境下校准的计量标准
		气流马赫数	均匀度	在流道中心 40%截面内优于气流马赫数的±5%	
			控制偏差	优于±0.005	
		气流方向角	偏差	在流道中心 40%截面内优于±0.5°	
		气流温度	波动度	在常温高速校准风洞上校准时，在 1 min 内优于±0.3℃；在热校准风洞上校准，900℃以下时，在 1 min 内优于±1℃，900℃~1700℃时，在 1 min 内优于总温的±1%	

表 4 (续)

序号	计量标准	技术要求			用途
2	高速校准风洞	气流温度	均匀度	在常温高速校准风洞上校准时, 在流道中心 40% 截面内优于 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$; 在热校准风洞上校准时, 在流道中心 40% 截面内优于总温的 $\pm 5\%$, 在流道中心 10% 截面内优于总温的 $\pm 1\%$	高速 (气流马赫数 0.1~0.95) 气流环境下校准的计量标准
			控制偏差	900 $^{\circ}\text{C}$ 以下时, 优于 $\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$; 900 $^{\circ}\text{C}$ ~1 700 $^{\circ}\text{C}$ 时, 优于 $\pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$	
3	低速校准风洞	气流速度	波动度	在 10 min 内优于气流速度的 $\pm 5\%$	低速 (气流速度 5m/s~40m/s) 气流环境下校准的计量标准
			均匀度	在流道中心 40% 截面内优于气流速度的 $\pm 5\%$	
		气流温度	波动度	在 10 min 内优于温度阶跃量的 $\pm 1\%$	
			均匀度	在流道中心 40% 截面内优于温度阶跃量的 $\pm 1\%$	
气流流道	宽度	不小于被校传感器直径的 10 倍			
4	动态温度激励源	执行时间		小于被校温度传感器时间常数的 10%	实现温度阶跃
		激励幅度		不小于 10 $^{\circ}\text{C}$	
5	高速采集设备	电压	测量范围	1 mV~30 V	温度动态信号采集, 建议使用示波器
			最大允许误差	$\pm 0.5\%$	
			分辨力	不低于 16 位	
		时间间隔	最大允许误差	$\pm (0.06 \times \text{采样间隔} + 1 \times 10^{-6})$ 的测量间隔)	
			采样频率	上限	

6.2.2 其他设备

其他设备与仪器及其技术要求见表 5。

表 5 其他设备与仪器及其技术要求

序号	设备或仪器	测量范围	技术要求	用途
1	压力传感器	0 kPa~100 kPa	最大允许误差：±0.15%	气流总压测量
2	总压探针	0 kPa~100 kPa	总压系数：优于 0.005	气流总压测量
3	压力传感器	-20 kPa~20 kPa	最大允许误差：±0.15%	气流静压测量
4	大气压力计	95 kPa~105 kPa	最大允许误差：±40 Pa	大气压测量
5	风速计	5 m/s~40 m/s	最大允许误差： ±(0.03 m/s+5%×读数)	低速校准风洞的 气流速度测量
6	液体流速仪	0.02 m/s~2 m/s	最大允许误差： ±(1%×读数+0.01 m/s)	液流速度测量
7	冰点恒温器	0 °C	温度：(0±0.1) °C	热电偶冷端补偿
8	数据采集 处理系统	0 V~1 V, 0 kΩ~5 kΩ	对于电压测量，最大允许误差 为±(0.015%×读数+ 0.005%×量程+3 μV)； 对于电阻测量，最大允许 误差为±(0.015%×读数+ 0.0075%×量程+1.5 mΩ)	采集温度传感器、 压力传感器的信号

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

时间常数 τ 和热响应时间 $\tau_{0.1}$ 、 $\tau_{0.5}$ 、 $\tau_{0.9}$ 。

7.2 校准方法

温度传感器动态响应校准过程主要包括：产生稳定的校准工况（稳定的速度场、温度场）；使温度传感器接受动态温度激励，由高速采集设备（如示波器）采集温度传感器的响应信号；计算出时间常数或热响应时间。

7.2.1 液流环境下的校准

7.2.1.1 校准装置准备

- 对于测量滑油、燃油、冷却液等液流温度的传感器，在液流槽中进行校准。
- 根据校准要求，选择水或油等合适的介质。

7.2.1.2 被校传感器的安装连接

- 将被校温度传感器装入弹射机构；
- 将被校温度传感器连接至高速采集设备，校准示意图如图 2 所示；
- 校准前，校准仪器充分预热。

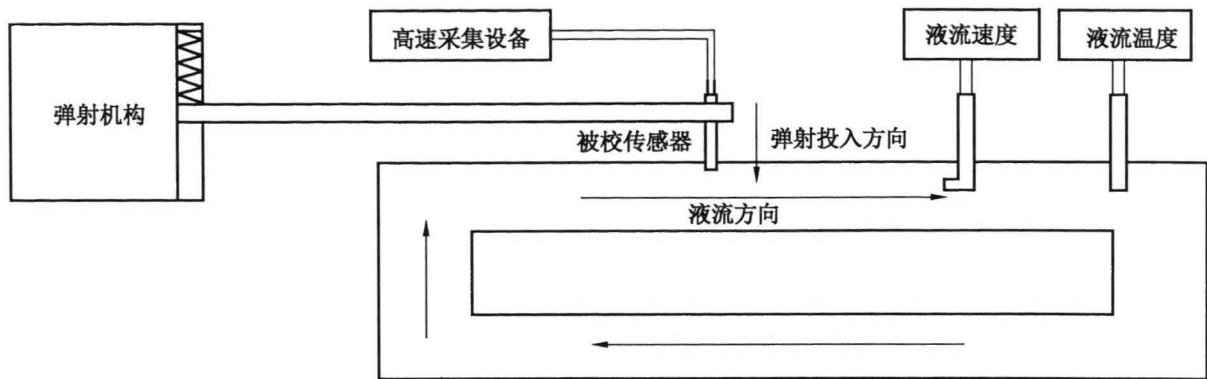


图2 温度传感器在液流环境下（正阶跃）的动态响应校准示意图

7.2.1.3 校准工况的选择

校准温度应选择在工作温度附近，初始时被校温度传感器在空气中，阶跃量为 $10\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 270\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，建议至少在3个液流速度条件下进行校准，推荐液流速度 0.4 m/s 、 0.7 m/s 、 1.0 m/s 。也可根据用户要求，选择其他工况。

7.2.1.4 校准试验步骤

- a) 开启并调节液流槽，使装置内液流温度、液流速度达到要求值。
- b) 记录被校温度传感器的初始状态，包括液流温度、液流速度。
- c) 高速采集设备开始采集数据，启动弹射机构，使被校温度传感器迅速投入液流槽介质中，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 τ 预估值的10倍以上，如数据处理后发现采集记录时间达不到时间常数 τ 实际测量值的10倍以上，需要延长采集记录时间至时间常数 τ 实际测量值的10倍以上，重新校准。采样间隔应在时间常数 τ 预估值的0.1%以下。
- d) 完成温度响应记录后，记录终止状态（完成温度阶跃后的状态），包括液流温度、液流速度。
- e) 重复步骤 a)~d)，共测量3次。3次的测量值与其算术平均值的偏差均不得大于10%，否则需要重复操作，直至满足要求为止。

7.2.1.5 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，详见附录A。

7.2.2 高速气流环境

7.2.2.1 校准装置准备

- a) 高速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) 用引压管连接静压孔和压力传感器，以测量气流静压 p_s ；对于开口试验段，也可用大气压代表气流静压。

7.2.2.2 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) 将被校温度传感器连接至高速采集设备，校准示意图分别如图 3、图 4 所示。
- c) 校准前，校准仪器和稳压电源充分预热。

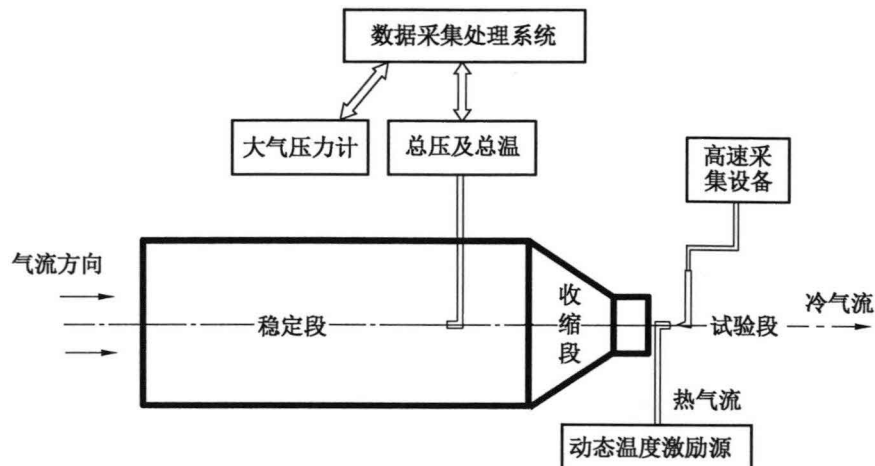


图 3 温度传感器在室温高速气流环境下（负阶跃）的动态响应校准示意图

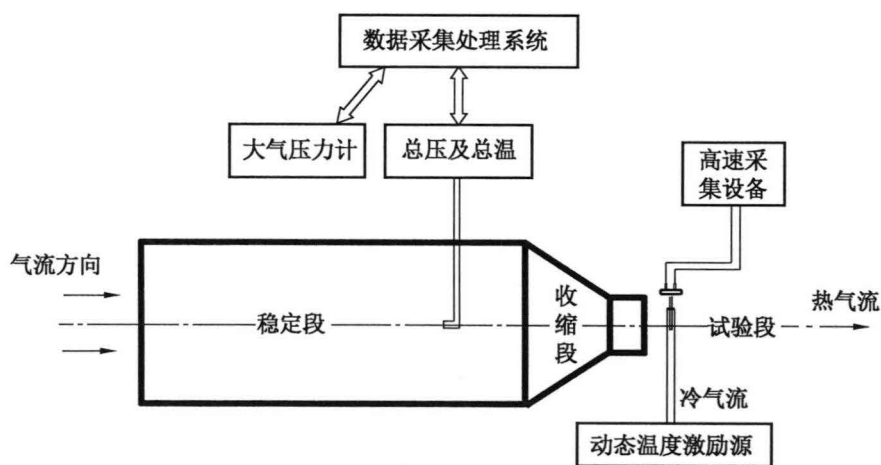


图 4 温度传感器在高温气流环境下（正阶跃）的动态响应校准示意图

7.2.2.3 校准工况的选择

通常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，推荐采用表 6、表 7 中规定的工况，建议至少在 3 个流速（马赫数）条件下进行校准。也可根据用户要求，选择其他工况。

表 6 传感器使用温度范围与推荐的校准温度

传感器使用温度/℃	室温~400	400~1 000	1 000~1 700
校准温度/℃	室温或 200±10	600±10	1 400±50
阶跃温度/℃	100±20	200±20	200±20

表 7 传感器使用马赫数范围与推荐的校准马赫数

使用马赫数 0.1~0.3	使用马赫数 0.3~0.6	使用马赫数 0.6~0.95
校准马赫数 0.1、0.2、0.3	校准马赫数 0.3、0.4、0.6	校准马赫数 0.6、0.8、0.95

7.2.2.4 校准试验步骤

a) 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。

b) 通过冷气流和热气流按不同比例掺混的方式，用动态温度激励源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。

c) 高速采集设备开始采集数据，启动动态温度激励源，使被校温度传感器周围产生温度突变，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 τ 预估值的 10 倍以上。如数据处理后发现采集记录时间达不到时间常数 τ 实际测量值的 10 倍以上，需要延长采集记录时间至时间常数 τ 实际测量值的 10 倍以上，重新校准。采样间隔应在时间常数 τ 预估值的 0.1% 以下。

d) 完成温度响应记录后，记录终止状态，包括气流总压、静压、大气压、总温和被校温度传感器温度等。

e) 重复步骤 a)~d)，共测量 3 次。3 次的测量值与其算术平均值的偏差均不得大于 10%，否则需要重复操作，直至满足要求为止。

7.2.2.5 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；

κ ——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，详见附录 A。

7.2.3 低速气流环境

7.2.3.1 校准装置准备

a) 低速气流环境下的动态响应校准，在低速校准风洞上进行。

b) 将风速计置于试验段内，用于测量气流速度。

7.2.3.2 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。

b) 将被校温度传感器连接至高速采集设备，校准示意图如图 5 所示。

c) 校准前，校准仪器充分预热。

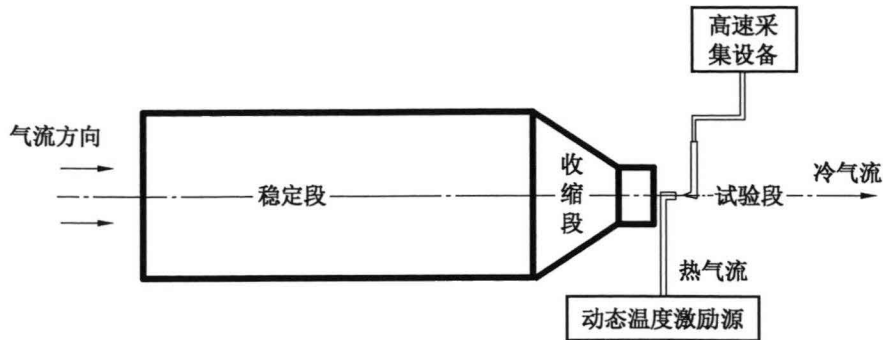


图5 温度传感器在低速气流环境下（负阶跃）的动态响应校准示意图

7.2.3.3 校准工况的选择

通常采用温度传感器的使用工况或尽量接近其使用工况。阶跃量为 $10\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，建议至少在3个流速条件下进行校准，为便于温度传感器之间相互比较，推荐流速 5 m/s 、 20 m/s 、 30 m/s 。也可根据用户要求，选择其他工况。

7.2.3.4 校准试验步骤

a) 开启并调节风洞系统，调整气流速度至校准点。

b) 通过冷气流和热气流按不同比例掺混的方式，用动态温度激励源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，包括气流速度和被校温度传感器温度等。

c) 高速采集设备开始采集数据，启动动态温度激励源，使被校温度传感器周围产生温度突变，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 τ 预估值的10倍以上。如数据处理后发现采集记录时间达不到时间常数 τ 实际测量值的10倍以上，需要延长采集记录时间至时间常数 τ 实际测量值的10倍以上，重新校准。采样间隔应在时间常数 τ 预估值的0.1%以下。

d) 完成温度响应记录后，再记录一次终止状态，包括气流速度和被校温度传感器温度等。

e) 重复步骤 a)~d)，共测量3次。3次的测量值与其算术平均值的偏差均不得大于10%，否则需要重复操作，直至满足要求为止。

7.2.3.5 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，详见附录A。

8 校准结果表达

校准结果应在校准证书上反映。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和应用有关时，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) 本次校准所用计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。

9 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

热响应时间作图法计算

以某 K 型热电偶温度传感器为例，说明热响应时间的计算方法。校准工况：气流总温为 600 °C，温度阶跃量为 200 °C，气流马赫数为 0.2。

温度、时间、热电势和温度阶跃量分别用 T 、 t 、 E 和 ΔT 表示，下标 A、B、C 均表示曲线上的点位。

高速采集设备记录的波形是热电势随时间变化的曲线，如图 A.1 所示，其中 A 为阶跃前曲线水平段的最末端，选择 A 作为阶跃的起始点，C 为阶跃后曲线水平段的最前端，选择 C 作为阶跃的终止点。

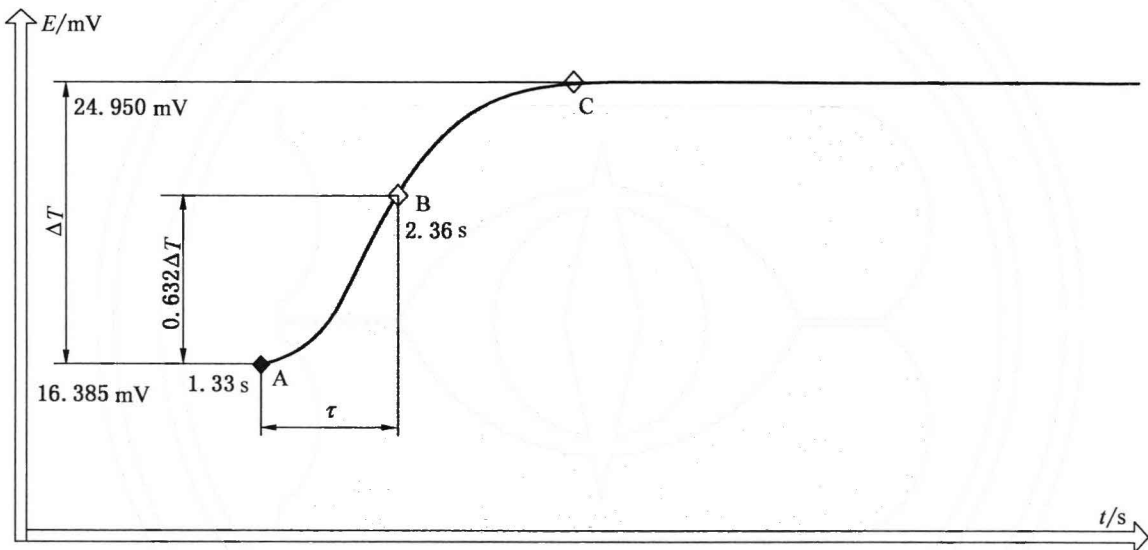


图 A.1 热电势的时间响应曲线

温度阶跃前后的热电势见表 A.1。

表 A.1 阶跃前后的热电势

气流总温/°C	气流马赫数	阶跃前热电势 E_A/mV	阶跃后热电势 E_C/mV
600	0.2	16.385	24.952

按照 K 型热电偶的参考函数，将热电势转换成温度，见表 A.2。

表 A.2 阶跃前后的温度

气流总温/°C	气流马赫数	阶跃前温度 $T_A/^\circ\text{C}$	阶跃后温度 $T_C/^\circ\text{C}$
600	0.2	399.7	601.1

相应的，温度随时间变化的曲线如图 A.2 所示。

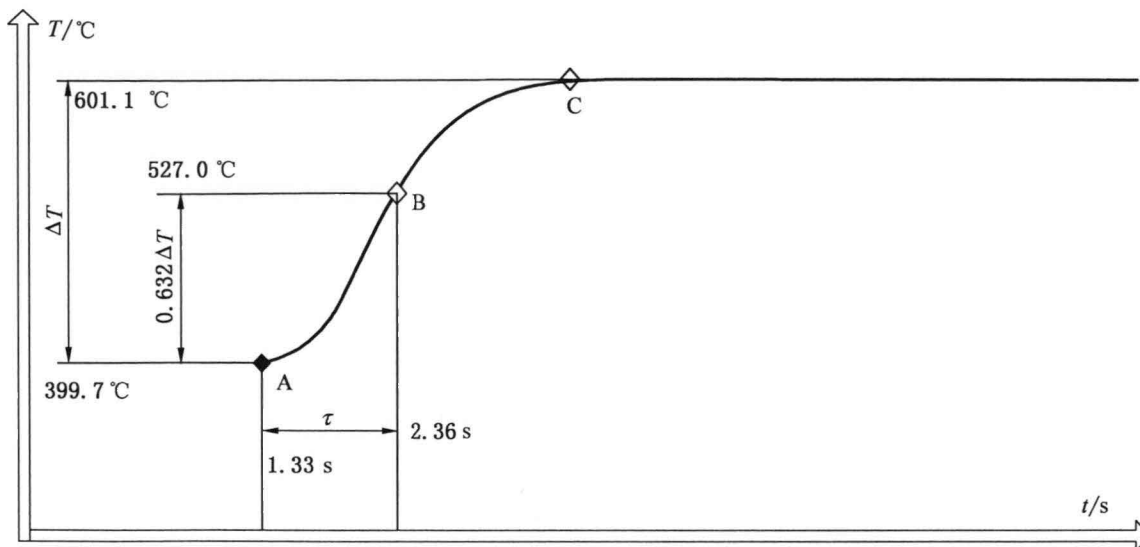


图 A.2 温度的时间响应曲线

温度阶跃量为：

$$\Delta T = T_C - T_A = 601.1 \text{ }^\circ\text{C} - 399.7 \text{ }^\circ\text{C} = 201.4 \text{ }^\circ\text{C}$$

对应的曲线上 B 点温度为：

$$T_B = T_A + 0.632\Delta T = 399.7 \text{ }^\circ\text{C} + 201.4 \text{ }^\circ\text{C} \times 0.632 = 527.0 \text{ }^\circ\text{C}$$

温度从 399.7 °C 变化到 527.0 °C 所用的时间，即 B 点的横坐标与 A 点的横坐标之差为：

$$t_B - t_A = 2.36 \text{ s} - 1.33 \text{ s} = 1.03 \text{ s}$$

则该传感器的时间常数为：

$$\tau = 1.03 \text{ s}$$

其他热响应时间的计算方法与此类似，可参照进行。

激光脉冲激励的情况，在响应曲线的下降沿上分析，计算方法与此类似，可参照进行。

附录 B

校准结果的测量不确定度评定

B.1 液流环境下时间常数 τ 的测量不确定度评定

B.1.1 测量模型

$$\tau = t_B - t_A \quad (\text{B.1})$$

式中：

t_A ——阶跃起点 A 对应的时间，s；

t_B ——响应曲线上 B 点对应的时间，s。

其中：

$$t_B = t(T_B) = t[xT_C + (1-x)T_A] \quad (\text{B.2})$$

式中：

T_B ——响应曲线上 B 点对应的温度，℃；

x ——温度变化到温度阶跃量的百分比，时间常数对应的 $x = 63.2\%$ ；

T_C ——阶跃终点 C 对应的温度，℃；

T_A ——阶跃起点 A 对应的温度，℃。

液流速度 v 为时间常数的强影响量，则有：

$$u_c(\tau) = \sqrt{u_p^2 + u^2(t_B) + u^2(t_A) + \left[\frac{\partial \tau}{\partial v} u(v) \right]^2} \quad (\text{B.3})$$

式中：

u_p ——测量重复性引入的不确定度；

$\frac{\partial \tau}{\partial v}$ ——时间常数对液流速度的偏导数；

v ——液流速度，m/s。

T_A 、 T_C 由同一支传感器测得，因而可按完全正相关考虑，则有：

$$\begin{aligned} u(T_B) &= u[xT_C + (1-x)T_A] \\ &= xu(T_A) + (1-x)u(T_A) = u(T_A) \end{aligned} \quad (\text{B.4})$$

因此，

$$u(t_B) = \frac{\partial t_B}{\partial T_B} u(T_B) = \frac{\partial t_B}{\partial T_B} u(T_A) \quad (\text{B.5})$$

B.1.2 测量不确定度的来源

a) 测量重复性引入的不确定度 u_p 。

b) $u(T_A)$ 的来源如下：

- 1) 温度传感器示值误差引入的不确定度；
- 2) 阶跃起点 A 选取引入的不确定度；
- 3) 数采系统测量误差引入的不确定度；
- 4) 液流温度波动引入的不确定度。

c) $u(t_A)$ 的来源如下:

- 1) 数据采样间隔引入的不确定度;
- 2) 阶跃起点 A 选取引入的不确定度。

d) $u(v)$ 的来源如下:

- 1) 流速测量仪的示值误差引入的不确定度;
- 2) 液流速度波动引入的不确定度。

B.1.3 测量不确定度的评定

以某热电偶式温度传感器在速度为 0.4 m/s 的水流环境中、温度从室温阶跃到 80 °C 的时间常数校准为例, 进行不确定度评定。

B.1.3.1 u_p 的评定如下:

用极差法计算实验标准偏差 $s(\tau)$ 。在给定工况条件下共测量 3 次, 3 次时间常数 τ 的测量结果分别为 8.653 s、8.524 s、8.618 s。从测量数据中找出最大值 8.653 s 和最小值 8.524 s, 根据测量次数查表得到系数 $d_n = 1.693$, 按下式计算实验标准偏差 $s(\tau)$:

$$s(\tau) = \frac{\tau_{\max} - \tau_{\min}}{d_n} = 0.076 \text{ s} \quad (\text{B. 6})$$

采用 3 次测量结果的平均值 8.598 s 作为测量结果, 测量重复性引入的不确定度 u_p 按下式计算:

$$u_p = \frac{s(\tau)}{\sqrt{3}} \approx 0.044 \text{ s} \quad (\text{B. 7})$$

B.1.3.2 $u(T_A)$ 的评定如下:

a) 温度传感器示值误差引入的不确定度

根据温度传感器的准确度等级, 其最大允许误差为 2.5 °C, 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 $\sqrt{3}$, 则其标准不确定度为:

$$u_1 = \frac{2.5 \text{ }^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} \approx 1.4 \text{ }^\circ\text{C} \quad (\text{B. 8})$$

b) 阶跃起点 A 选取引入的不确定度

根据经验, 由阶跃起点选取不准带来的温度误差为 0.2 °C。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 $\sqrt{3}$, 则其标准不确定度为:

$$u_2 = \frac{0.2 \text{ }^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} \approx 0.12 \text{ }^\circ\text{C} \quad (\text{B. 9})$$

c) 数采系统测量误差引入的不确定度

根据高速采集设备的准确度等级, 其相对允许误差极限为 $\pm 0.5\%$, 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 $\sqrt{3}$, 则其标准不确定度为:

$$u_3 = \frac{0.5\% \times 25 \text{ }^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} \approx 0.07 \text{ }^\circ\text{C} \quad (\text{B. 10})$$

d) 液流温度波动引入的不确定度

按 B 类评定, 根据液流槽的校准结果, 装置液流温度波动值不超过温度阶跃量的 $\pm 1\%$ 。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 $\sqrt{3}$, 则其标准不确定度为:

$$u_4 = \frac{1\%}{\sqrt{3}} \times 55 \text{ } ^\circ\text{C} \approx 0.32 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (\text{B. 11})$$

则有:

$$u(T_A) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = 1.4 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (\text{B. 12})$$

B. 1. 3. 3 $u(t_A)$ 的评定如下:

a) 数据采样间隔引入的不确定度

假定测量时设定的数据采样间隔为 2 ms。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 $\sqrt{3}$, 则其标准不确定度为:

$$u_5 = \frac{0.001 \text{ s}}{\sqrt{3}} \approx 0.0006 \text{ s} \quad (\text{B. 13})$$

b) 阶跃起点 A 选取引入的不确定度

根据经验, 由阶跃起点选取不准带来的时间常数误差为 $\pm 0.2 \text{ s}$ 。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 $\sqrt{3}$, 则其标准不确定度为:

$$u_6 = \frac{0.2 \text{ s}}{\sqrt{3}} \approx 0.12 \text{ s} \quad (\text{B. 14})$$

则有:

$$u(t_A) = \sqrt{u_5^2 + u_6^2} = 0.12 \text{ s} \quad (\text{B. 15})$$

B. 1. 3. 4 $u(v)$ 的评定如下:

a) 流速测量仪的示值误差引入的不确定度

根据流速测量仪的准确度等级, 其最大允许误差为 $\pm(1\% \times \text{读数} + 0.01 \text{ m/s})$, 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 $\sqrt{3}$, 则其标准不确定度为:

$$u_7 = \frac{1\% \times 0.4 \text{ m/s} + 0.01 \text{ m/s}}{\sqrt{3}} \approx 0.008 \text{ m/s} \quad (\text{B. 16})$$

b) 液流速度波动引入的不确定度

按 B 类评定, 根据液流槽的校准结果, 装置的液流速度相对波动值不超过 $\pm 5\%$ 。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 $\sqrt{3}$, 则其标准不确定度为:

$$u_8 = \frac{5\% \times 0.4 \text{ m/s}}{\sqrt{3}} \approx 0.011 \text{ m/s} \quad (\text{B. 17})$$

c) 计算 $u(v)$

$$u(v) = \sqrt{u_7^2 + u_8^2} = 0.014 \text{ m/s} \quad (\text{B. 18})$$

B.1.4 相对合成标准不确定度 $u_r(\tau)$

表 B.1 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
u_p	测量的重复性	A	—	—	0.044 s
u_1	温度传感器示值误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	1.4 °C
u_2	阶跃起点 A 选取误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.12 °C
u_3	数采系统测量误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.07 °C
u_4	液流温度波动	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.32 °C
u_5	数据采样间隔	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.000 6 s
u_6	阶跃起点 A 选取误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.12 s
u_7	流速测量仪的示值误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.008 m/s
u_8	液流速度波动	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.011 m/s

不确定度分量一览表见表 B.1。其中各不确定度分量互不相关，则时间常数的相对合成标准不确定度 $u_r(\tau)$ 按下式计算：

$$\begin{aligned}
 u_r(\tau) &= \frac{\sqrt{u_p^2 + u^2(t_B) + u^2(t_A) + \left[\frac{\partial \tau}{\partial v} u(v)\right]^2}}{\tau} \\
 &= \frac{\sqrt{u_p^2 + \left[\frac{\partial t_B}{\partial T_B} u(T_A)\right]^2 + [u(t_A)]^2 + \left[\frac{\partial \tau}{\partial v} u(v)\right]^2}}{\tau} \\
 &= 16\% \quad (\text{B. 19})
 \end{aligned}$$

其中， $\frac{\partial t_B}{\partial T_B}$ 具体计算方法为：以温度为横坐标，时间为纵坐标，通过对 T_A 、 T_B 、 T_C 对应的时间 t_A 、 t_B 、 t_C 进行多项式拟合，对拟合的多项式求导，求得 B 点处的切线斜率，计算得到 $\frac{\partial t_B}{\partial T_B} = 1$ 。 $\frac{\partial \tau}{\partial v}$ 具体计算方法为：以流速为横坐标，时间常数为纵坐标，通过对不同流速下对应时间常数点进行多项式拟合，对拟合的多项式求导，求得对应流速点的切线斜率，计算得到 $\frac{\partial \tau}{\partial v} = 1$ 。

B.1.5 相对扩展不确定度 $U_r(\tau)$

取 $k=2$ ，则相对扩展不确定度 $U_r(\tau)$ 为

$$U_r(\tau) = k \cdot u_r(\tau) = 32\% \quad (\text{B. 20})$$

B.2 高速气流环境下时间常数 τ 的测量不确定度评定

B.2.1 测量模型

$$\tau = t_B - t_A \quad (\text{B. 21})$$

式中：

t_A ——阶跃起点 A 对应的时间，s；

t_B ——响应曲线上 B 点对应的时间，s。

其中：

$$t_B = t(T_B) = t[xT_C + (1-x)T_A] \quad (\text{B. 22})$$

式中：

T_A ——阶跃起点 A 对应的温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

T_B ——响应曲线上 B 点对应的温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

T_C ——阶跃终点 C 对应的温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

x ——温度变化到温度阶跃量的百分比。

则有：

$$u_c(\tau) = \sqrt{u_p^2 + u^2(t_B) + u^2(t_A) + \left[\frac{\partial \tau}{\partial Ma} u(Ma) \right]^2} \quad (\text{B. 23})$$

式中：

u_p ——测量重复性引入的不确定度；

$\frac{\partial \tau}{\partial Ma}$ ——时间常数对气流马赫数的偏导数；

Ma ——气流马赫数。

其中， $u(Ma)$ 按下式计算：

$$u(Ma) = \frac{2 + (\kappa - 1)Ma^2}{2\kappa Ma} \sqrt{\left[\frac{u(p_0)}{p_0} \right]^2 + \left[\frac{u(p_s)}{p_s} \right]^2} \quad (\text{B. 24})$$

式中：

p_0 ——气流总压；

p_s ——气流静压；

κ ——气体绝热指数，对于空气，通常取 1.4，对于燃气，通常取 1.33。

T_A 、 T_C 由同一支传感器测得，因而可按完全正相关考虑，则有：

$$\begin{aligned} u(T_B) &= u[xT_C + (1-x)T_A] \\ &= xu(T_A) + (1-x)u(T_A) = u(T_A) \end{aligned} \quad (\text{B. 25})$$

因此，

$$u(t_B) = \frac{\partial t_B}{\partial T_B} u(T_B) = \frac{\partial t_B}{\partial T_B} u(T_A) \quad (\text{B. 26})$$

B.2.2 测量不确定度的来源

a) 测量重复性引入的不确定度 u_p 。

b) $u(T_A)$ 的来源如下：

1) 温度传感器示值误差引入的不确定度；

- 2) 阶跃起点 A 选取引入的不确定度；
- 3) 高速采集设备的示值误差引入的不确定度；
- 4) 风洞气流的有效温度波动引入的不确定度。

c) $u(t_A)$ 的来源如下：

- 1) 数据采样间隔引入的不确定度；
- 2) 阶跃起点 A 选取引入的不确定度。

d) $u(p_0)$ 的来源如下：

- 1) 总压传感器的示值误差引入的不确定度；
- 2) 无汞气压计的示值误差引入的不确定度；
- 3) 风洞气流的总压波动引入的不确定度；
- 4) 数采系统引入的不确定度。

e) $u(p_s)$ 的来源如下：

- 1) 静压传感器的示值误差引入的不确定度；
- 2) 无汞气压计的示值误差引入的不确定度；
- 3) 风洞气流的静压波动引入的不确定度；
- 4) 数采系统引入的不确定度。

B.2.3 测量不确定度的评定

以某热电偶式温度传感器在气流马赫数为 0.4、气流温度从 400 °C 阶跃到 600 °C 的时间常数校准为例，进行不确定度评定。

B.2.3.1 u_p 的评定如下：

用极差法计算实验标准偏差 $s(\tau)$ 。在给定工况条件下共测量 3 次，3 次时间常数 τ 的测量结果分别为 2.582 s、2.569 s、2.588 s。从测量数据中找出最大值 2.588 s 和最小值 2.569 s，根据测量次数查表得到系数 $d_n = 1.693$ ，按下式计算实验标准偏差 $s(\tau)$ ：

$$s(\tau) = \frac{\tau_{\max} - \tau_{\min}}{d_n} = 0.011 \text{ s} \quad (\text{B.27})$$

采用 3 次测量结果的平均值 2.580 s 作为测量结果，测量重复性引入的不确定度 u_p 按下式计算：

$$u_p = \frac{s(\tau)}{\sqrt{3}} \approx 0.006 \text{ s} \quad (\text{B.28})$$

B.2.3.2 $u(T_A)$ 的评定如下：

a) 温度传感器示值误差引入的不确定度

根据温度传感器的准确度等级，其最大允许误差为 $\pm 0.4\%$ ，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 $\sqrt{3}$ ，则其标准不确定度为：

$$u_9 = \frac{0.4\% \times 400 \text{ }^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} \approx 0.9 \text{ }^\circ\text{C} \quad (\text{B.29})$$

b) 阶跃起点 A 选取引入的不确定度

根据经验，由阶跃起点选取不准带来的时间常数误差为 $\pm 0.2 \text{ }^\circ\text{C}$ 。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 $\sqrt{3}$ ，则其标准不确定度为：

$$u_{10} = \frac{0.2 \text{ }^{\circ}\text{C}}{\sqrt{3}} \approx 0.12 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (\text{B. 30})$$

c) 高速采集设备的示值误差引入的不确定度

根据高速采集设备的准确度等级，其相对允许误差极限为 $\pm 0.5\%$ ，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_{11} 为：

$$u_{11} = \frac{0.5\% \times 400 \text{ }^{\circ}\text{C}}{\sqrt{3}} \approx 1.2 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (\text{B. 31})$$

d) 风洞气流的有效温度波动引入的不确定度

按 B 类评定，估计风洞气流的总温波动值不超过 $\pm 0.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。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_{12} 为：

$$u_{12} = \frac{0.3 \text{ }^{\circ}\text{C}}{\sqrt{3}} \approx 0.17 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (\text{B. 32})$$

则有：

$$u(T_A) = \sqrt{u_9^2 + u_{10}^2 + u_{11}^2 + u_{12}^2} = 1.5 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (\text{B. 33})$$

B. 2. 3. 3 $u(t_A)$ 的评定如下：

a) 数据采样间隔引入的不确定度

假定测量时设定的数据采样间隔为 2 ms 。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_{13} 为：

$$u_{13} = \frac{0.001 \text{ s}}{\sqrt{3}} \approx 0.0006 \text{ s} \quad (\text{B. 34})$$

b) 阶跃起点 A 选取引入的不确定度

根据经验，由阶跃起点选取不准带来的时间常数误差为 $\pm 0.1 \text{ s}$ 。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 $\sqrt{3}$ ，则其标准不确定度为：

$$u_{14} = \frac{0.1 \text{ s}}{\sqrt{3}} \approx 0.06 \text{ s} \quad (\text{B. 35})$$

则有：

$$u(t_A) = \sqrt{u_{13}^2 + u_{14}^2} = 0.06 \text{ s} \quad (\text{B. 36})$$

B. 2. 3. 4 $u(p_0)$ 的评定如下：

a) 总压传感器的示值误差引入的不确定度

根据压力传感器的准确度等级，其允许误差极限为 $\pm 150 \text{ Pa}$ ，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 $\sqrt{3}$ ，则其标准不确定度为：

$$u_{15} = \frac{150 \text{ Pa}}{\sqrt{3}} \approx 87 \text{ Pa} \quad (\text{B. 37})$$

b) 无汞气压计的示值误差引入的不确定度

根据无汞气压计的技术说明书规定，其允许误差极限为 $\pm 40 \text{ Pa}$ ，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 $\sqrt{3}$ ，则其标准不确定度为：

$$u_{16} = \frac{40 \text{ Pa}}{\sqrt{3}} \approx 23 \text{ Pa} \quad (\text{B. 38})$$

c) 风洞气流的总压波动引入的不确定度

按 B 类评定，根据风洞校准结果，风洞气流的总压波动值不超过 $\pm 10 \text{ Pa}$ 。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 $\sqrt{3}$ ，则其标准不确定度为：

$$u_{17} = \frac{10 \text{ Pa}}{\sqrt{3}} \approx 5.8 \text{ Pa} \quad (\text{B. 39})$$

d) 数采系统引入的不确定度

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 $\pm 10 \text{ Pa}$ 。按均匀分布考虑，包含因子 k 为 $\sqrt{3}$ ，则其标准不确定度为：

$$u_{18} = \frac{10 \text{ Pa}}{\sqrt{3}} \approx 5.8 \text{ Pa} \quad (\text{B. 40})$$

e) 计算 $u(p_0)$

$$u(p_0) = \sqrt{u_{15}^2 + u_{16}^2 + u_{17}^2 + u_{18}^2} = 90 \text{ Pa} \quad (\text{B. 41})$$

B. 2. 3. 5 $u(p_s)$ 的评定如下：

a) 静压传感器的示值误差引入的不确定度

根据压力传感器的准确度等级，其允许误差极限为 $\pm 6 \text{ Pa}$ ，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 $\sqrt{3}$ ，则其标准不确定度为：

$$u_{19} = \frac{6 \text{ Pa}}{\sqrt{3}} \approx 3.5 \text{ Pa} \quad (\text{B. 42})$$

b) 无汞气压计的示值误差引入的不确定度

同 B. 2. 3. 4 b)， $u_{20} = 23 \text{ Pa}$ 。

c) 风洞气流的静压波动引入的不确定度

按 B 类评定，根据风洞校准结果，风洞气流的静压波动值不超过 $\pm 10 \text{ Pa}$ 。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 $\sqrt{3}$ ，则其标准不确定度为：

$$u_{21} = \frac{10 \text{ Pa}}{\sqrt{3}} \approx 5.8 \text{ Pa} \quad (\text{B. 43})$$

d) 数采系统引入的不确定度

同 B. 2. 3. 4 d), $u_{22} = 5.8 \text{ Pa}$ 。

e) 计算 $u(p_s)$

$$u(p_s) = \sqrt{u_{19}^2 + u_{20}^2 + u_{21}^2 + u_{22}^2} = 25 \text{ Pa} \quad (\text{B. 44})$$

f) 计算 $u(Ma)$

根据式 (B. 24) 计算得到:

$$u(Ma) = 0.0016 \quad (\text{B. 45})$$

B. 2. 4 相对合成标准不确定度 $u_r(\tau)$

表 B. 2 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
u_p	测量的重复性	A	—	—	0.006 s
u_9	温度传感器的示值误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.9 °C
u_{10}	阶跃起点 A 选取误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.12 °C
u_{11}	高速采集设备的示值误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	1.2 °C
u_{12}	风洞气流的有效温度波动	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.17 °C
u_{13}	数据采样间隔	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.0006 s
u_{14}	阶跃起点 A 选取误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.06 s
u_{15}	总压传感器的示值误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	87 Pa
u_{16}	无汞气压计的示值误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	23 Pa
u_{17}	风洞气流的总压波动	B	均匀	$\sqrt{3}$	5.8 Pa
u_{18}	数采系统的测量误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	5.8 Pa
u_{19}	静压传感器的示值误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	3.5 Pa
u_{20}	无汞气压计的示值误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	23 Pa
u_{21}	风洞气流的静压波动	B	均匀	$\sqrt{3}$	5.8 Pa
u_{22}	数采系统的测量误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	5.8 Pa

不确定度分量一览表见表 B. 2。其中各不确定度分量互不相关, 则时间常数的相对合成标准不确定度 $u_r(\tau)$ 按下式计算:

$$\begin{aligned}
 u_r(\tau) &= \frac{\sqrt{u_p^2 + u^2(t_B) + u^2(t_A) + \left[\frac{\partial \tau}{\partial Ma} u(Ma)\right]^2}}{\tau} \\
 &= \frac{\sqrt{u_p^2 + \left[\frac{\partial t_B}{\partial T_B} u(T_A)\right]^2 + u^2(t_A) + \left[\frac{\partial \tau}{\partial Ma} u(Ma)\right]^2}}{\tau} \\
 &= 3.7\% \quad (\text{B. 46})
 \end{aligned}$$

其中, $\frac{\partial t_B}{\partial T_B}$ 具体计算方法为: 以温度为横坐标, 时间为纵坐标, 通过对 T_A 、 T_B 、 T_C 对应的时间 t_A 、 t_B 、 t_C 进行多项式拟合, 对拟合的多项式求导, 求得 B 点处的切线斜率, 计算得到 $\frac{\partial t_B}{\partial T_B} = 0.5$ 。 $\frac{\partial \tau}{\partial Ma}$ 具体计算方法为: 以马赫数为横坐标, 时间常数为纵坐标, 通过对不同马赫数下对应时间常数点进行多项式拟合, 对拟合的多项式求导, 求得对应马赫数的切线斜率, 计算得到 $\frac{\partial \tau}{\partial Ma} = 0.5$ 。

B.2.5 相对扩展不确定度 $U_r(\tau)$

取 $k=2$, 则相对扩展不确定度 $U_r(\tau)$ 为:

$$U_r(\tau) = k \cdot u_r(\tau) = 7.4\% \quad (\text{B.47})$$

B.3 热响应时间的测量不确定度评定

热响应时间的测量不确定度评定方法与时间常数相同, 可参照 B.1~B.2 进行。

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
介质类型			
校准依据文件			
校准环境条件	温度: °C		相对湿度: %
校准人员	核验人员		

编号	次数	马赫数 Ma 或速度 $v/(m/s)$	阶跃前 温度 $T_1/°C$	阶跃后 温度 $T_2/°C$	时间常数 τ/s	热响应 时间 $\tau_{0.1}/s$	热响应 时间 $\tau_{0.5}/s$	热响应 时间 $\tau_{0.9}/s$
	1							
	2							
	3							
	平均							

附录 D

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	马赫数 Ma 或 速度 $v/(m/s)$	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 τ/s	相对扩展 不确定度 $U_r(\tau)$ ($k=2$)	热响应 时间 $\tau_{0.1}/s$	相对扩展 不确定度 $U_r(\tau_{0.1})$ ($k=2$)	热响应 时间 $\tau_{0.5}/s$	相对扩展 不确定度 $U_r(\tau_{0.5})$ ($k=2$)	热响应 时间 $\tau_{0.9}/ms$	相对扩展 不确定度 $U_r(\tau_{0.9})$ ($k=2$)

中华人民共和国
国家计量技术规范
温度传感器动态响应校准规范
JJF 1049—2024

国家市场监督管理总局发布

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 2 字数 38 千字
2024年9月第一版 2024年9月第一次印刷

*

书号: 155066·J-4369 定价 54.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107



JJF 1049-2024

