



中华人民共和国工业和信息化部
机械计量技术规范

JJF（机械）XXX—2023

汽车安全气囊点爆装置校准规范

Calibration Specification for Vehicle Air Bag Ignition Device
(报批稿)

2023—**—**发布

2023—**—**实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

汽车安全气囊点爆装置 校准规范

Calibration Specification for
Vehicle Air Bag Ignition Device

JJF (机械)XXX—2023

本规范经中国机械工业联合会于 20**年**月**日批准，并自 20**年
月日起施行。

归口单位：中国机械工业联合会

主要起草单位：上海机动车检测认证技术研究中心有限公司

中汽研汽车检验中心（天津）有限公司

参加起草单位：襄阳达安汽车检测中心有限公司

延锋汽车智能安全系统有限责任公司

上海临港均胜汽车安全系统有限公司

本规范委托中国机械工业联合会负责解释

本规范主要起草人：

沈 莉（上海机动车检测认证技术研究中心有限公司）

陈 曦（中汽研汽车检验中心（天津）有限公司）

王 栋（上海机动车检测认证技术研究中心有限公司）

严晓东（上海机动车检测认证技术研究中心有限公司）

参加起草人：

郝春法（上海机动车检测认证技术研究中心有限公司）

兰燕飞（襄阳达安汽车检测中心有限公司）

许 锋（延锋汽车智能安全系统有限责任公司）

胡 芹（上海临港均胜汽车安全系统有限公司）

目 录

引言	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 术语和计量单位.....	(1)
4 概述.....	(2)
5 计量特性.....	(2)
6 校准条件.....	(3)
7 校准项目及校准方法.....	(4)
8 校准结果表达.....	(13)
9 复校时间间隔.....	(14)
附录 A 原始记录参考格式	(15)
附录 B 校准证书内页参考格式	(18)
附录 C 点爆电流误差校准结果不确定度分析示例	(20)
附录 D 点爆持续时间误差校准结果不确定度分析示例	(23)
附录 E 点爆舱温度示值误差校准结果不确定度分析示例	(25)

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》及JJF1059.1《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本校准规范制定工作的基础性系列规范。

本规范为首次发布。

汽车安全气囊点爆装置校准规范

1 范围

本规范适用于单路或多路输出脉冲信号的汽车安全气囊点爆装置（以下简称点爆装置）的校准，也适用于同类输出脉冲信号的点火装置的校准。

2 引用文件

JJF 1101-2019 环境试验设备温度、湿度参数校准规范

JJF 1587-2016 数字多用表校准规范

JJF 1664-2017 温度显示仪校准规范

JJG 490-2002 脉冲信号发生器检定规程

JJG 875-2019 数字压力计检定规程

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

3 术语

3.1 点爆控制单元 ignition control unit

点爆控制单元主要模拟和仿真点火信号，将一定的能量施加给爆炸装置，能精确地控制点爆的能量和点爆的时序。

3.2 点爆舱 ignition chamber

一个气密性良好的矩形环境试验设备。试验期间，温度调节系统能控制点爆舱内部空气温度。内置汽车安全气囊点爆试验专用测试台。

3.3 测试台中心温度 testbench centre temperature

点爆舱在稳定状态下，放置汽车安全气囊专用测试台中心点的温度。

3.4 测试台温度波动度 acting surface temperature fluctuation

点爆舱在稳定状态下。在规定时间间隔内，放置汽车安全气囊专用测试台任意一点温度随时间的变化量。

3.5 测试台温度均匀度 acting surface temperature uniformity

点爆舱在稳定状态下。在规定时间间隔内，放置汽车安全气囊专用测试台在某一瞬时任意两点温度之间的最大差值。

3.6 传感器通道 sensor channel

传感器通道分为温度通道和压力通道，提供与输入量有确定关系的输出量的器件。

4 概述

汽车安全气囊点爆装置是一个专门用来进行安全气囊点爆测试的整体性检测系统，由点爆控制单元、点爆舱和传感器通道组成。装置可在常温、高温和低温下进行点爆测试，配合灯光照明系统与高速摄像机，可检查气囊产品的最低点爆能量情况、气囊弹出的延时参数、气囊的展开形态、爆炸弹出的碎片情况等，也可用于其他汽车电子测试等应用。结构示意图（见图 1）。

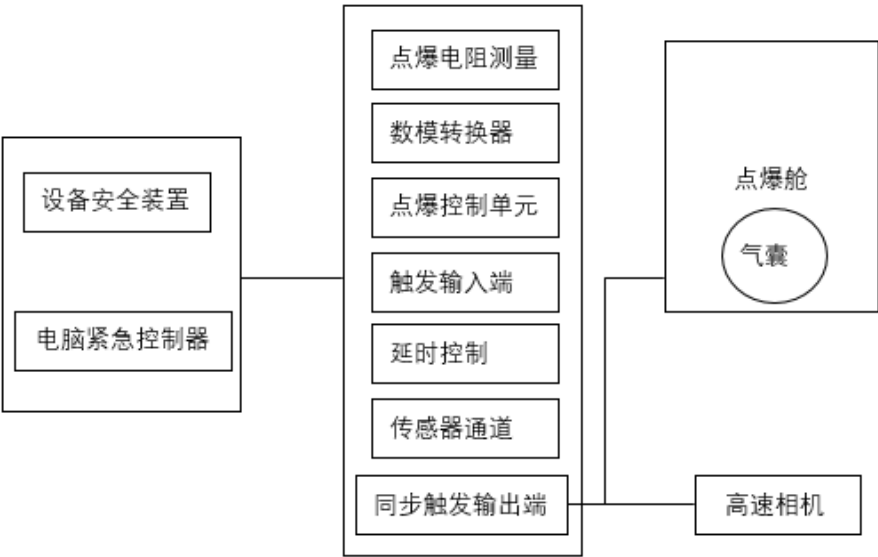


图 1 汽车安全气囊点爆装置结构示意图

5 计量特性

计量特性一览表（见表 1）。

表 1 计量特性一览表

序号	功能模块	校准参数	测量范围	计量特性
1	点爆控制单元	点爆电流	(0.5~5) A	MPE: ±1%
		点爆持续时间	0.1ms~10ms	MPE: ±0.1ms
			>10ms~1s	MPE: ±1%
		点爆延时	0.1ms~10ms	MPE: ±0.1ms
			>10ms~1s	MPE: ±1%
		点爆电阻	(1~10) Ω	MPE: ±1.5%

2	点爆舱	测试台中心温度误差	$(-50\sim 100)^{\circ}\text{C}$	MPE: $\pm 2.0^{\circ}\text{C}$
		温度偏差	$(-50\sim 100)^{\circ}\text{C}$	MPE: $\pm 2.0^{\circ}\text{C}$
		温度波动度	$(-50\sim 100)^{\circ}\text{C}$	MPE: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
		温度均匀度	$(-50\sim 100)^{\circ}\text{C}$	$\leq 2.0^{\circ}\text{C}$
		测试台温度波动度	$(-50\sim 100)^{\circ}\text{C}$	MPE: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
		测试台温度均匀度	$(-50\sim 100)^{\circ}\text{C}$	$\leq 1.5^{\circ}\text{C}$
3	传感器通道	温度通道	$(-50\sim 100)^{\circ}\text{C}$	MPE: $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$
		压力通道	$(0\sim 500)\text{ kPa}$	MPE: $\pm 2.5\%\text{FS}$

注：以上指标不提供合格性判别，仅供技术参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

环境温度： $(20\pm 5)^{\circ}\text{C}$ ；

相对湿度：30%~80%；

电源： $(220\pm 22)\text{ V}$ ， $(50\pm 2.5)\text{ Hz}$ ；

周围无影响正常工作的机械振动和电磁干扰。

6.2 测量标准及其他设备

测量标准及其他设备一览表（见表2），校准时可选用所列的测量标准，也可以选用符合要求的其他测量标准。

表2 测量标准及其他设备一览表

序号	测量标准	测量范围	准确度/最大允许误差/不确定度
1	数字示波器	通道数：双通道及以上 测量带宽： $\geq 10\text{ MHz}$	时间： $\pm 0.01\%$
2	数字多用表	采样频率： $(0\sim 100)\text{ kHz}$ 直流电压： $1\text{ mV}\sim 100\text{ V}$	直流电压： $\pm 0.1\%$
3	标准直流电压源	$(0\sim 80)\text{ mV}$	$\pm 0.05\%$
4	标准电阻	$(1\sim 10)\ \Omega$	0.5级
5	负载电阻	$2\ \Omega$ 或 $3\ \Omega$ 或 $5\ \Omega$	0.1级

6	温度测量标准 (含传感器)	分辨力不低于 0.01℃ (-50~100)℃	±0.3℃
7	压力校准器	(0~500) kPa	±0.5%
8	0℃恒温器或冰点槽	0℃	±0.05℃

7 校准项目及校准方法

7.1 校准项目

汽车安全气囊点爆装置校准项目一览表 (见表 3)

表 3 汽车安全气囊点爆装置校准项目一览表

序号	校准项目	校准条款	功能模块
1	点爆电流	7.2.1	点爆控制单元
	点爆持续时间	7.2.2	
	点爆延时时间	7.2.3	
	点爆电阻	7.2.4	
2	测试台中心温度误差	7.2.5	点爆舱
	温度偏差		
	温度波动度		
	温度均匀度		
	测试台温度波动度		
	测试台温度均匀度		
3	温度通道	7.2.6	传感器通道 (如适用)
	压力通道	7.2.7	

7.2 校准方法

7.2.1 点爆电流

7.2.1.1 校准点的选择

按 1、2、5 步进选取校准点, 选择 3~5 个校准点, 也可根据实际情况或用户需求选择校准点。

7.2.1.2 校准过程

点爆装置连接数字多用表（见图 2）。

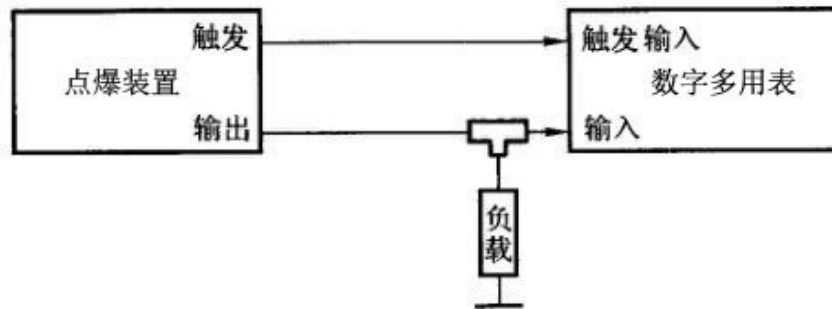


图 2 点爆电流的校准示意图

将点爆电流设置为相应校准点，数字多用表置直流采样功能，量程自动。点爆装置触发输出端连接到数字多用表的外触发输入端。数字多用表设为外部触发，积分周期（NPLC）置“0.02”及以下。依次设置合适的采样延时时间，分别测量电压信号的底部和顶部实际值，依次将点爆装置输出幅度由小到大逐点输出，读取被测信号幅值的实际值，结果记入附录 A 表 A.1。按式（1）计算误差。

$$\Delta I = I_n - \frac{U_h - U_l}{R_s} \quad (1)$$

式中：

ΔI ——点爆电流误差，A；

I_n ——点爆电流标称值，A；

U_h ——方波顶部电压实际值，V；

U_l ——方波底部电压实际值，V；

R_s ——负载电阻标准值， Ω 。

7.2.2 点爆持续时间

7.2.2.1 校准点的选择

按 1、2、5 步进选取校准点，选择 3~5 个校准点，也可根据实际情况或用户需求选择校准点。

7.2.2.2 校准过程

点爆装置连接数字示波器（见图 3）。

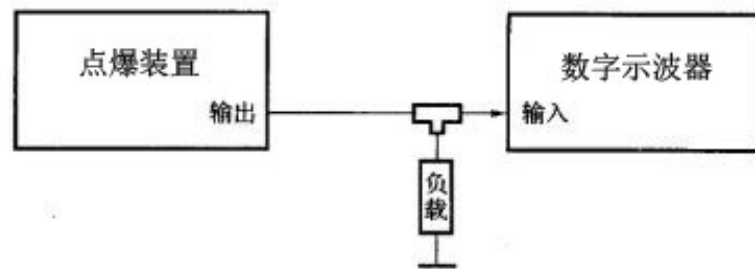


图 3 点爆持续时间校准的示意图

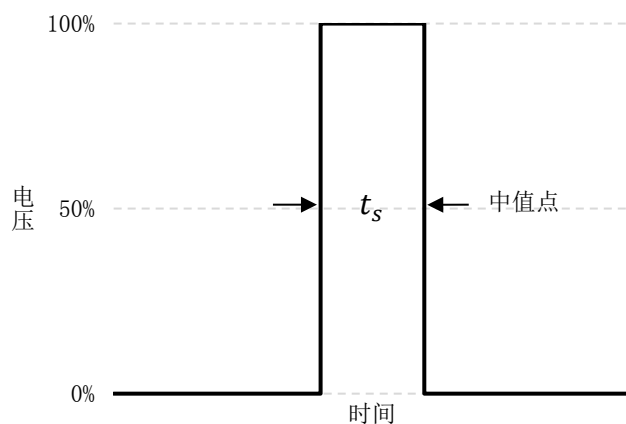


图 4 脉冲中值点处时间间隔示意图

将点爆持续时间设置为相应校准点，设置数字示波器为单次触发，点爆装置输出点爆信号，调节数字示波器使被测信号波形居中、清晰完整。读取脉冲中值点处的时间间隔 t_s （见图 4），测量结果记入附录 A 表 A. 2。按式（2）计算误差。

$$\Delta t = t_n - t_s \quad (2)$$

式中：

Δt ——点爆持续时间误差，s；

t_n ——点爆持续时间标称值，s；

t_s ——数字示波器测量值，s。

7.2.3 点爆延时时间

7.2.3.1 校准点的选择

按 1、2、5 步进选取校准点，选择 3~5 个校准点，也可根据实际情况或用户需求选择校准点。

7.2.3.2 校准过程

点爆装置连接数字示波器（见图 5）。

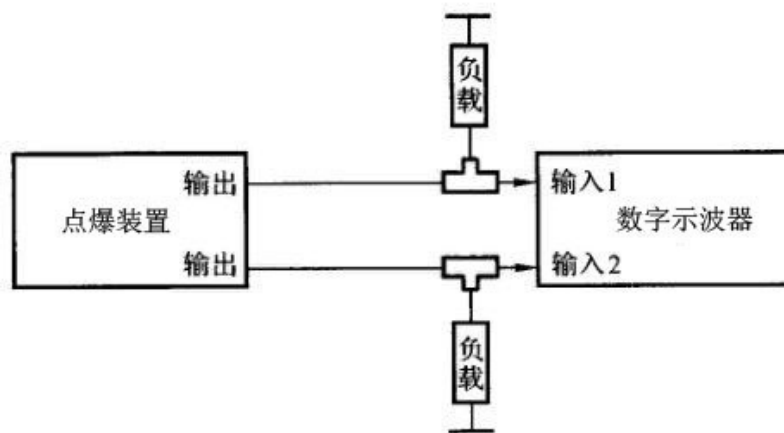


图 5 点爆延时时间校准的示意图

将点爆延时时间设置为无延时，设置数字示波器为单次触发，点爆装置输出点爆信号，调节数字示波器使被测信号波形居中、清晰完整。测量无延时两信号的固有延时时间 t_0 。然后将点爆延时设置为相应校准点，读取屏幕中两信号的时间间隔，测量结果记入附录 A 表 A.3。按式（3）计算误差。

$$\Delta t = t_n + t_0 - t_s \quad (3)$$

式中：

Δt ——点爆延时时间误差，s；

t_n ——点爆延时时间标称值，s；

t_0 ——固有延时时间，s；

t_s ——数字示波器测量值，s。

7.2.4 点爆电阻

7.2.4.1 校准点的选择

按 1、2、5 步进选取校准点，选择 3~5 个校准点，也可根据实际情况或用户需求选择校准点。

7.2.4.2 校准过程

点爆装置连接标准电阻（见图6）。

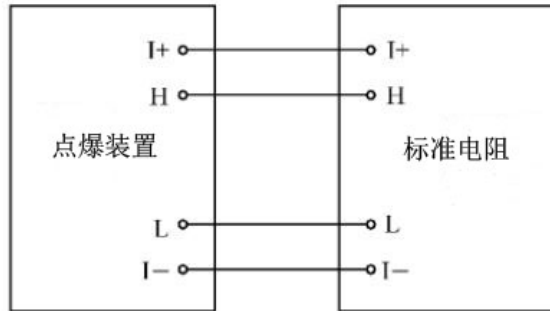


图6 点爆电阻校准的示意图

将标准电阻设置为相应校准点，读取点爆装置的电阻显示值，结果记入附录A表

A.4。按式（4）计算误差。

$$\Delta R = R_n - R_s \quad (4)$$

式中：

ΔR ——点爆电阻示值误差， Ω ；

R_n ——点爆电阻显示值， Ω ；

R_s ——标准电阻标准值， Ω 。

7.2.5 点爆舱及测试台温度误差、温度偏差、温度波动度和温度均匀度

7.2.5.1 校准点的选择

选取设备使用范围的下限、上限和中间点，选择3~5个校准点，也可根据实际情况或用户需求选择校准点。

7.2.5.2 测试点的位置

测试点的位置应布放在点爆舱内的三个校准面上，简称上、中、下三层，中层为放置汽车安全气囊专用测试台，A、B、C、D测试点与工作室内壁的距离不小于各边长的1/10，遇风道时，此距离可加大，但不能大于300mm。

布点位置也可根据用户实际工作进行布置。

7.2.5.3 测试点的数量

温度测试点用 A, B, C...字母表示, 温度测试点为 9 个, 0 点位于放置汽车安全气囊专用测试台的中心, E, F, G, H 点分别均匀置于样品的工作面的外径四周 (见图 7)。

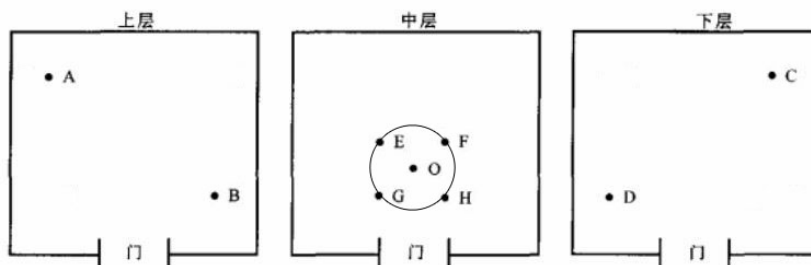


图 7 温度测试点布置图

7.2.5.4 校准过程

按 7.2.5.2、7.2.5.3 规定布放温度传感器, 将点爆舱设定到校准温度, 开启运行。稳定后开始记录各测量点温度, 记录时间间隔为 2min, 30min 内共记录 16 组数据。结果记入附录 A 表 A.5。

7.2.5.5 数据处理

a) 测试台中心温度误差计算

$$\Delta T_d = T_d - \overline{T_0} \quad (5)$$

式中:

ΔT_d ——温度误差, °C;

T_d ——点爆舱设定温度, °C;

$\overline{T_0}$ ——中心点 0 点平均值, °C。

b) 温度偏差

$$\Delta T_{max} = T_{max} - T_s \quad (6)$$

$$\Delta T_{min} = T_{min} - T_s \quad (7)$$

式中:

ΔT_{max} ——温度上偏差, °C;

ΔT_{min} ——温度下偏差, °C;

T_{max} ——各测量点规定时间范围内测量的最高温度, °C;

T_{min} ——各测量点规定时间范围内测量的最低温度, °C;

T_s ——点爆舱设定温度, °C。

c) 温度均匀度计算

点爆舱在稳定状态下, 工作空间各测量点 30min 内 (每 2min 测试一次) 每次测试中实测最高温度与最低温度之差的平均值。

$$\Delta T_u = \sum_{i=1}^n (T_{imax} - T_{imin}) / n \quad (8)$$

式中:

ΔT_u ——温度均匀度, °C;

T_{imax} ——各测量点在第 i 次测得的最高温度, °C;

T_{imin} ——各测量点在第 i 次测得的最低温度, °C;

n ——测量次数。

d) 温度波动度计算

点爆舱在稳定状态下, 工作空间各测量点 30min 内 (每 2min 测试一次) 实测最高温度与最低温度之差的一半, 冠以“±”号, 取全部测量点中变化量的最大值作为温度波动度校准结果。

$$\Delta T_f = \pm \max(T_{j\max} - T_{j\min}) / 2 \quad (9)$$

式中:

ΔT_f ——温度波动度, °C;

$T_{j\max}$ ——测量点 j 在 n 次测量中的最高温度, °C;

$T_{j\min}$ ——测量点 j 在 n 次测量中的最低温度, °C。

e) 测试台温度均匀度计算

点爆舱在稳定状态下, 工作面 O、E、F、G、H 测量点 30min 内 (每 2min 测试一次), 每次测试中实测最高温度与最低温度之差的平均值。

$$\Delta T_u = \sum_{i=1}^n (T_{imax} - T_{imin}) / n \quad (10)$$

式中:

ΔT_u ——温度均匀度, °C;

T_{imax} ——各校准点在第 i 次测得的最高温度, °C;

T_{imin} ——各校准点在第 i 次测得的最低温度, °C;

n ——测量次数。

f) 测试台温度波动度计算

点爆舱在稳定状态下，工作面 O、E、F、G、H 测量点 30min 内（每 2min 测试一次）实测最高温度与最低温度之差的一半，冠以“±”号，取全部测量点中变化量的最大值作为温度波动度校准结果。

$$\Delta T_f = \pm \max(T_{j\max} - T_{j\min})/2 \quad (11)$$

式中：

ΔT_f ——温度波动度，℃；

$T_{j\max}$ ——测量点 j 在 n 次测量中的最高温度，℃；

$T_{j\min}$ ——测量点 j 在 n 次测量中的最低温度，℃。

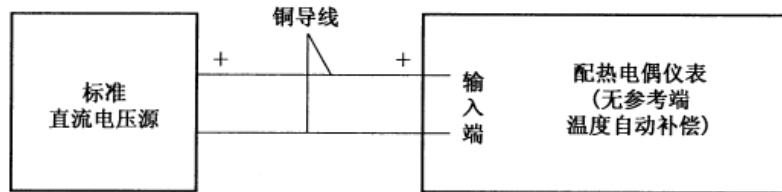
7.2.6 温度通道

7.2.6.1 校准点的选择

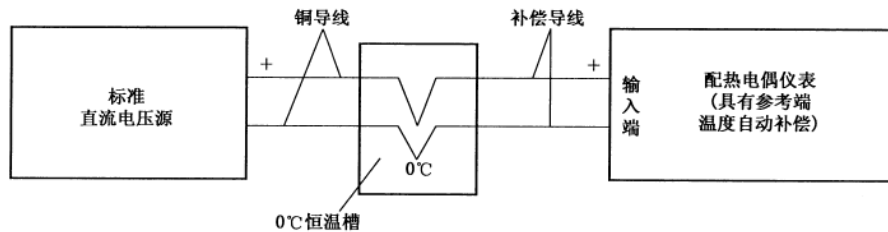
按整十或整百步进选取（包含下限值、上限值），选择 5~8 个校准点，也可根据实际情况或用户需求选择校准点。

7.2.6.2 校准过程

温度通道连接标准直流电压源（见图 8）。



图（a） 配热电偶温度通道（无温度补偿）



图（b） 配热电偶温度通道（有温度补偿）

图 8 温度通道校准的示意图

温度信号的输入值依据相应的分度表。首先输入下限值温度对应的标称电量值,读取通道的温度示值;然后开始增大输入信号(上行程时),分别输入各校准点温度所对应的标称电量值,并读取通道的示值,直至上限;在输入上限温度信号并读取通道示值后减小输入信号(下行程时),分别输入各校准点温度所对应的标称电量值,并读取通道的示值,直至下限。用同样的方法重复测量一次。如果具有参考端温度自动补偿,校准时给仪表输入的信号应是被校点温度对应的标称电势值减去补偿导线修正值。

取两个循环读数的平均值计算示值误差。因此,每个校准点有4个仪表示值,取4个示值的平均值与校准点温度之差作为该校准点的示值误差,测量结果记入附录A表A.6。按式(12)计算误差。

$$\Delta T = \overline{T_d} - T_s \quad (12)$$

式中:

ΔT ——温度测量示值误差, °C;

$\overline{T_d}$ ——温度通道平均值, °C;

T_s ——校准点温度标准值, °C。

7.2.7 压力通道

7.2.7.1 校准点的选择

按整十或整百步进选取(包含下限值、上限值、零点),选择5~8个校准点,也可根据实际情况或用户需求选择校准点。

7.2.6.2 校准过程

被校压力通道连接标准压力器(见图9)。



图9 压力通道校准的示意图

调整标准压力器或被校压力通道, 尽量使两者的受压点在同一水平面上。用改变输入压力的办法对输出下限值和上限值进行调整, 使其与理论的下限值和上限值相一致。一般可以通过调整“零点”和“满量程”来完成。压力标准器从下限开始平稳地输入压力信号到各个校准点, 读取并记录压力通道示值至上限; 然后反方向平稳改变压力信号到各个校准点, 读取并记录压力通道示值至下限, 这为一次循环。如此进行两个循环的校准。

在校准过程中不允许调整零点和量程, 不允许轻敲和振动压力通道, 在接近校准点时, 输入压力信号应足够慢, 避免过冲。取两个循环读数的平均值计算示值误差。因此, 每个校准点有 4 个通道示值, 取 4 个通道示值的平均值与校准点压力之差作为该校准点的示值误差, 测量结果记入附录 A 表 A. 7。按式 (13) 计算误差。

$$\Delta p = \overline{p_d} - p_s \quad (13)$$

式中:

Δp ——压力测量示值误差, Pa;

$\overline{p_d}$ ——压力通道平均值, Pa;

p_s ——校准点压力标准值, Pa。

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。

其中，“本次校准所用测量标准的溯源性及有效说明”中应包括标准器的名称、型号规格、测量范围及不确定度（或准确度等级、最大允差）、有效日期等说明。

“校准环境的描述”中应包括环境温度、相对湿度和供电的状况。

“校准结果及其测量不确定度的说明”中应给出每个被校参数的测量结果以及相应的扩展不确定度和包含因子，如各被校点的扩展不确定度相差不大，可以取最大的代替。

9 复校时间间隔

复校时间间隔由用户根据使用情况自行确定，为了确保装置在其规定的技术性能下使用，建议最长为 1 年。

附录 A

原始记录参考格式

委托单位： 仪器名称： 制造厂： 型号规格： 出厂编号：
校准地点： 环境温度： ℃ 环境湿度： %RH

点爆控制单元校准

表 A.1 点爆电流

标称值 (A)	方波顶值 (V)	方波底值 (V)	电压实 际值 (V)	电阻值 (Ω)	电流幅值 (A)	误差 (A)	扩展不确 定度

表 A.2 点爆持续时间

标称值 (ms)	实测值 (ms)	误差 (ms)	扩展不确定度

表 A.3 点爆延时时间

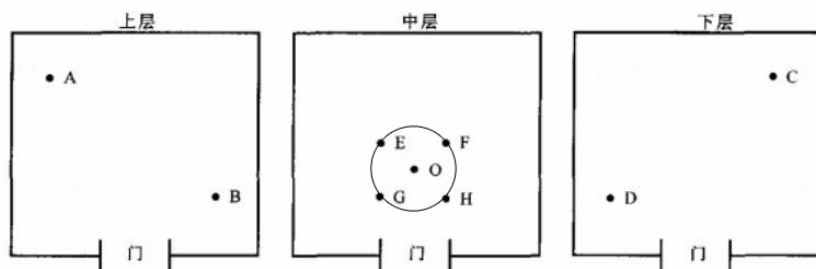
标称值 (ms)	固有延时 (ms)	实测值 (ms)	误差 (ms)	扩展不确定度

表 A.4 点爆电阻

标准值 (Ω)	显示值 (Ω)	误差 (Ω)	扩展不确定度

点爆舱校准

测试点分布:



温度测试点用 A, B, C... 字母表示, 温度测试点为 9 个, 0 点位于样品的工作面几何中心, E, F, G, H 点分别均匀置于样品的工作面外径四周。

测试与壁距离 (mm):

前	后	左	右	上	下

点爆舱舱内温度:

时间 (min)	次数	设定值 (℃)	实测温度值 (℃)									最大 (℃)	最小 (℃)
			0	A	B	C	D	E	F	G	H		
0	1												
2	2												
4	3												
6	4												
8	5												
10	6												
12	7												
14	8												
16	9												
18	10												
20	11												
22	12												
24	13												
26	14												
28	15												
30	16												
测试台中心 平均值 (℃)		测试台中心 温度误差 (℃)	上偏差 (℃)		下偏差 (℃)		波动度 (℃)		均匀度 (℃)		测试台波动度 (℃)		测试台均匀度 (℃)
扩展不确定度													

传感器通道校准

表 A.6 温度通道

被校点 (℃)	相对应的 电量值(mV)	行程	通道显示值(℃)			示值误差 (℃)	扩展不确 定度
			第一次	第二次	平均值		
		上					
		下					
		上					
		下					
		上					
		下					
		上					
		下					
		上					
		下					

表 A.7 压力通道

标准值(kPa)	行程	通道显示值(kPa)			示值误差 (kPa)	扩展不确 定度
		第一次	第二次	平均值		
	上					
	下					
	上					
	下					
	上					
	下					
	上					
	下					
	上					
	下					

附录 B

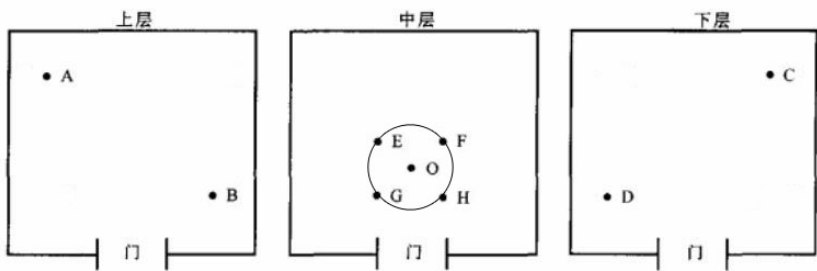
校准证书内页参考格式

1. 点爆控制单元校准

1.1 点爆电流			
标称值 (A)	实测值 (A)	误差 (A)	扩展不确定度
1.2 点爆持续时间			
标称值 (ms)	实测值 (ms)	误差 (ms)	扩展不确定度
1.3 点爆延时时间			
标称值 (ms)	实测值 (ms)	误差 (ms)	扩展不确定度
1.4 点爆电阻			
标准值 (Ω)	显示值 (Ω)	误差 (Ω)	扩展不确定度

2. 点爆舱校准

测试点分布：



温度测试点用 A，B，C…字母表示，温度测试点为 9 个，0 点位于 0 点位于样品的工作面几何中心，E，F，G，H 点分别均匀置于样品的工作面外径四周。

测试与壁距离（mm）：

前	后	左	右	上	下

2.1 点爆舱舱内温度

设定值（℃）	测试台中心值（℃）	误差（℃）	上偏差（℃）	下偏差（℃）	波动度（℃）	均匀度（℃）	测试台波动度（℃）	测试台均匀度（℃）	扩展不确定度

3. 传感器通道校准

3.1 温度通道

标准值（℃）	显示值（℃）	误差（℃）	扩展不确定度

3.2 压力通道

标准值（kPa）	显示值（kPa）	误差（kPa）	扩展不确定度

附录 C

点爆电流误差校准结果不确定度分析示例

C.1 概述

幅值测量设备由数字多用表和电阻负载组成。幅值误差是指设备幅值标称值与实测幅值之差。

C.2 数学模型

$$\Delta I = I_n - \frac{U_h - U_l}{R_s} \quad (C1)$$

式中： ΔI ——点爆电流（幅值）误差，A；

I_n ——点爆装置输出信号幅值标称值，A；

U_h ——信号顶部电压实际值，V；

U_l ——信号底部电压实际值，V；

R_s ——负载电阻标准值， Ω 。

C.3 方差与灵敏系数

式（C1）中 I_n ， U_s ， R_s 互为独立，因而得

$$c_1 = \frac{\partial \Delta I}{\partial I_n} = 1, \quad c_2 = \frac{\partial \Delta I}{\partial U_h} = -\frac{1}{R_s}, \quad c_3 = \frac{\partial \Delta I}{\partial U_l} = \frac{1}{R_s}, \quad c_4 = \frac{\partial \Delta I}{\partial R_s} = (U_h - U_l)R_s^{-2} \quad (C2)$$

$$\text{故 } u_c^2 = u^2(I_n) + \left(\frac{1}{R_s}\right)^2 u^2(U_h) + \left(\frac{1}{R_s}\right)^2 u^2(U_l) + ((U_h - U_l)R_s^{-2})^2 u^2(R_s) \quad (C3)$$

C.4 不确定度来源及分析

C.4.1 由 $\overline{U_s}$ 引入的不确定度

对点爆电流信号输出 1A，负载电阻 3 Ω ，作 10 次独立重复测量，从数字多用表上读取顶部和底部 10 次测量值，记为平均值 U_{h1} ， U_{h2} ， \dots ， U_{h10} ，平均值记为 $\overline{U_h}$ ，其测量列如表 C-1 所示。

表 C-1 重复测量列

i （次数）	U_{hi}/V	i （次数）	U_{hi}/V
1	3.013	6	3.011
2	3.012	7	3.024
3	2.992	8	3.013
4	3.003	9	3.011
5	3.022	10	3.022

i (次数)	U_{li}/V	i (次数)	U_{li}/V
1	0.003	6	0.001
2	0.002	7	0.004
3	0.002	8	0.003
4	0.003	9	0.001
5	0.002	10	0.002

根据公式 (C4)

$$s(\overline{U}_h) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (U_{hi} - \overline{U}_h)^2}{(n-1)}} \quad (C4)$$

$$s(\overline{U}_l) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (U_{li} - \overline{U}_l)^2}{(n-1)}} \quad (C5)$$

计算得算术平均值 \overline{U}_s 的实验标准差 $s(\overline{U}_h)=0.01V$, $s(\overline{U}_l)=0.001V$ 。则由 10 次独立重复测量引入的标准不确定度分量 $u_1 = s(\overline{U}_h) = 0.01V$, $u_2 = s(\overline{U}_l) = 0.001V$ 。

C.4.3 由 U_h 电压测量误差引入的不确定度

数字多用表经上级溯源检定合格, 由说明书获得直流测量的最大允许误差为 $e = \pm 0.2\%$, 则测量 3V 时误差为 0.006V, 以均匀分布估计, $u_3 = u(U_h) = 0.006V/\sqrt{3} = 0.004V$ 。测量底部电压所引入的不确定度较小, 忽略不计。

C.4.4 由 R_s 引入的不确定度

电阻负载经上级溯源检定合格, 由证书获得的扩展不确定度为 $U = 0.015 \Omega$ ($k=2$), 以正态分布估计, $u_4 = u(R_4) = 0.015 \Omega / 2 = 0.01 \Omega$ 。

C.5 不确定度分量一览表

不确定度分量如表 C-2 所示

表 C-2 不确定度分量

序号	来源	符号	c_i	u_i
1	顶部电压测量重复性	u_1	-0.33	0.01V
2	底部电压测量重复性	u_2	0.33	0.001V
3	数字多用表测量误差	u_3	-0.33	0.004V
4	电阻负载误差	u_4	0.33	0.01 Ω

C.6 合成标准不确定度

$$u_c = 0.33 \times \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = 0.005 \text{ A} \quad (\text{C5})$$

C.7 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，故得

$$U = 0.01 \text{ A } (k=2)$$

附录 D 点爆持续时间误差校准结果不确定度分析示例

D.1 概述

幅值测量设备由双通道数字示波器和电阻负载组成。脉宽误差是指设备脉宽标称值与实测脉宽值之差。

D.2 数学模型

$$\Delta t = t_n - t_s \quad (\text{D1})$$

式中： Δt ——点爆持续时间（脉宽）误差，ms，s；

t_n ——点爆装置输出信号脉宽标称值，ms，s；

t_s ——数字示波器测量脉宽实际值，ms，s。

D.3 方差与灵敏系数

式（D1）中 t_n 、 t_s 互为独立，因而得

$$c_1 = \frac{\partial \Delta t}{\partial t_n} = 1, \quad c_2 = \frac{\partial \Delta t}{\partial t_s} = -1 \quad (\text{D2})$$

$$\text{故} \quad u_c^2 = u^2(t_n) + u^2(t_s) \quad (\text{D3})$$

D.4 不确定度来源及分析

D.4.1 由 $\overline{t_s}$ 引入的不确定度

对点爆电流信号输出脉宽 10ms，作 10 次独立重复测量，从数字示波器上读取 10 次测量值，记为平均值 t_{s1} ， t_{s2} ， \dots ， t_{s10} ，平均值记为 $\overline{t_s}$ ，其测量列如表 D-1 所示。

表 D-1 重复测量列

i （次数）	t_{si}/ms	i （次数）	t_{si}/ms
1	10.00	6	10.03
2	10.00	7	10.02
3	10.02	8	10.01
4	10.00	9	10.01
5	10.00	10	10.00

根据公式 (D4)

$$s(\bar{t}_s) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_{si} - \bar{t}_s)^2}{(n-1)}} \quad (\text{D4})$$

计算得算术平均值 \bar{t}_s 的实验标准差 $s(\bar{t}_s)=0.01\text{ms}$ 。则由 10 次独立重复测量引入的标准不确定度分量 $u_1 = s(\bar{t}_s) = 0.01\text{ms}$ 。

D.4.3 由 t_s 脉宽测量误差引入的不确定度

示波器经上级溯源检定合格,由说明书获得脉宽测量的最大允许误差为 $e = \pm 0.1\%$,则测量 10ms 时误差为 0.01ms,以均匀分布估计, $u_2 = u(t_s) = 0.01\text{ms}/\sqrt{3} = 0.006\text{ms}$ 。

D.5 不确定度分量一览表

不确定度分量如表 D-2 所示

表 D-2 不确定度分量

序号	来源	符号	c_i	u_i
1	示波器读数重复性	u_1	-1	0.01ms
2	示波器测量误差	u_2	-1	0.006ms

D.6 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 0.012\text{ms} \quad (\text{D5})$$

D.7 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 故得

$$U = 0.03 \text{ ms } (k=2)$$

附录 E 点爆舱测试台中心温度示值误差校准结果不确定度分析示例

E.1 概述

温度测量设备由温度传感器和数字温度显示仪组成，该套设备具有温度修正值。温度误差是指设备温度显示仪表示值与测试台中心点实际温度之差。

E.2 数学模型

$$\Delta T_d = T_d - T_0 - \Delta T_0 \quad (\text{E1})$$

式中： ΔT_d ——温度误差，℃；

T_d ——点爆舱温度设定温度，℃；

T_0 ——标准数字温度显示仪读数，℃；

ΔT_0 ——标准温度传感器及温度记录仪的修正值，℃。

E.3 方差与灵敏系数

式（E1）中 T_d ， T_0 ， ΔT_0 互为独立，因而得

$$c_1 = \frac{\partial \Delta T_d}{\partial T_d} = 1, \quad c_2 = \frac{\partial \Delta T_d}{\partial T_0} = -1, \quad c_3 = \frac{\partial \Delta T_d}{\partial \Delta T_0} = -1 \quad (\text{E2})$$

$$\text{故} \quad u_c^2 = u^2(T_d) + u^2(T_0) + u^2(\Delta T_0) \quad (\text{E3})$$

E.4 不确定度来源及分析

E.4.1 由 T_d 引入的不确定度

对点爆舱温度作 15 次独立重复测量，从设备显示仪上读取 15 次显示值，记为平均值 T_{d1} ， T_{d2} ， \dots ， T_{d15} ，平均值记为 $\overline{T_d}$ ，其测量列如表 E-1 所示。

表 E-1 重复测量列

i (次数)	$T_{di}/^\circ\text{C}$	i (次数)	$T_{di}/^\circ\text{C}$	i (次数)	$T_{di}/^\circ\text{C}$
1	50.0	6	49.9	11	50.0
2	50.0	7	50.0	12	49.9
3	49.9	8	49.9	13	50.0
4	49.9	9	50.0	14	50.0
5	60.0	10	50.0	15	50.0

根据公式 (E4)

$$s(\overline{T_d}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_{di} - \overline{T_d})^2}{n(n-1)}} \quad (\text{E4})$$

计算得算术平均值 $\overline{T_d}$ 的实验标准差 $s(\overline{T_d})=0.01^\circ\text{C}$ 。则由 15 次独立重复测量引入的标准不确定度分量 $u_1 = s(\overline{T_d}) = 0.01^\circ\text{C}$ 。

E.4.2 由 T_0 引入的不确定度

对点爆舱作 15 次独立重复测量, 从标准温度显示仪上读取 15 次显示值, 记为 T_{01} , T_{02} , \dots , T_{015} , 平均值记为 $\overline{T_0}$, 其测量列如表 E-2 所示。

表 E-2 标准温度显示仪重复测量列

i (次数)	$T_{di}/^\circ\text{C}$	i (次数)	$T_{di}/^\circ\text{C}$	i (次数)	$T_{di}/^\circ\text{C}$
1	49.05	6	49.04	11	49.23
2	49.06	7	49.08	12	49.23
3	49.15	8	48.94	13	49.18
4	49.32	9	49.15	14	49.14
5	49.23	10	49.13	15	49.20

根据公式 (E5)

$$s(\overline{T_0}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_{0i} - \overline{T_0})^2}{n(n-1)}} \quad (\text{E5})$$

计算得算术平均值 $\overline{T_0}$ 的实验标准差 $s(\overline{T_0})=0.03^\circ\text{C}$ 。则由 15 次独立重复测量引入的标准不确定度分量 $u_2 = s(\overline{T_0}) = 0.03^\circ\text{C}$ 。

E.4.3 由 ΔT_0 修正值引入的不确定度

从校准证书知: 校准用标准温度传感器及温度记录仪的扩展不确定度 $U = 0.10^\circ\text{C}$ ($k=2$), 以正态分布估计, $u_3 = u(\Delta T_0) = 0.10^\circ\text{C}/2 = 0.05^\circ\text{C}$ 。

E.5 不确定度分量一览表

不确定度分量如表 E-3 所示

表 E-3 不确定度分量

序号	来源	符号	u_i
1	点爆舱显示仪读数重复性	u_1	0.01℃
2	标准温度测量装置读数重复性	u_2	0.03℃
3	修正值引入的测量不确定度	u_3	0.05℃

E.6 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.06^\circ\text{C} \quad (\text{E6})$$

E.7 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，故得

$$U = 0.12^\circ\text{C} \quad (k=2)$$