

团 体 标 准

T/SMA 0052-2024

航空压力扫描阀校准规范

Calibration Specification for Aviation Pressure

Scanning Valve



2024-10-30 发布

2024-11-15 实施

上海市计量协会

发布

全国团体标准信息平台



目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
3.1 术语	1
3.2 计量单位	2
4 概述	2
5 计量特性	2
6 校准条件	3
6.1 环境要求	3
6.2 标准设备及其他设备要求	3
6.3 电源	4
7 校准程序	4
7.1 校准前准备	4
7.2 压力扫描阀计量特性校准	5
8 校准结果	7
9 复校时间间隔	7
附录 A （资料性） 航空压力扫描阀校准原始数据记录表式样	8
附录 B （资料性） 压力扫描阀示值误差的不确定度评定示例	10
参考文献	13

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由上海市计量协会商用飞机专业委员会提出。

本文件由上海市计量协会归口。

本文件起草单位：中国商飞上海飞机制造有限公司、中国航发商用航空发动机有限责任公司、中国商飞民用飞机试飞中心、昆山御宾电子科技有限公司。

本文件主要起草人：孙波、程胜、储有兵、朱晓天、陈咏梅、黄成、谷山林、张斐好、睦程铭、张清莲、徐艳、侯佳俊、顾玉兵、金玲、王宇磊、钟亦倩。

本文件于2024年10月首次发布。



航空压力扫描阀校准规范

1 范围

本文件规定了航空压力扫描阀（以下称压力扫描阀）的校准条件、项目、方法及校准结果的处理。

本文件适用于新制、使用中及修理后测量范围不超过（-0.1~10）MPa 气体介质压力扫描阀的校准。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

JJG 875-2019 数字压力计检定规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 术语

3.1.1

压力扫描阀 pressure scanning value

压力扫描阀是一种多通道、高扫描速率的压力测量及数据采集设备。

3.1.2

采样一致性 sampling repeatability

在相同的测量条件下，对同一测量点连续多次采样所得测量结果之间的一致性。

3.1.3

扫描速率 scan rate

压力扫描阀每秒从连续的压力信号中测量并提取压力值的采样个数，用赫兹（Hz）来表示。

3.2 计量单位

压力扫描阀使用的法定计量单位为 Pa（帕斯卡，简称：帕），或是它的十进倍数单位：kPa、MPa 等。

4 概述

压力扫描阀广泛应用于飞行器、发动机、风洞试验中压力试验数据的采集，在飞机试飞过程中大量引用压力扫描阀进行发动机舱、客舱、起落架舱等各种空间压力场测量。

压力扫描阀的工作原理：使用多通道的传感器进行多点压力的测量和数据采集，并利用数模转换系统和微处理器对数据进行处理以实现多通道高频率压力测量并采集测量数据，如图 1 所示。

压力扫描阀的分类：按工作原理可分为机械压力扫描阀，电子压力扫描阀；

按测量模式可分为绝对压力扫描阀和表压力扫描阀。

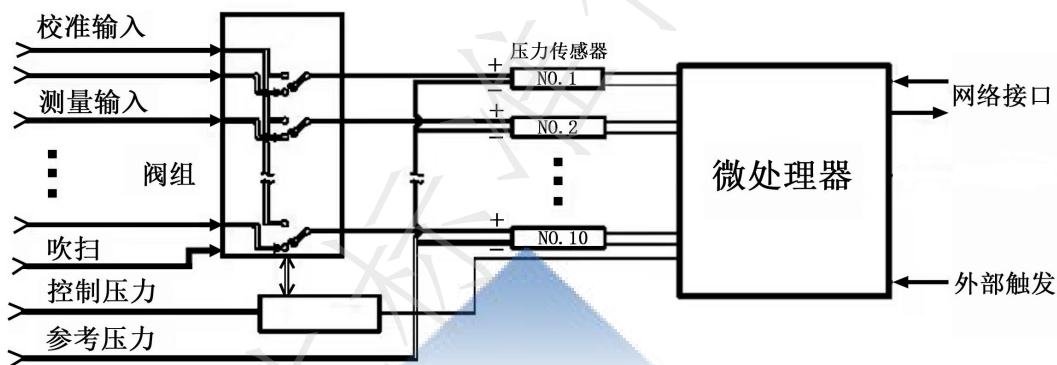


图 1 压力扫描阀系统示意图

5 计量特性

压力扫描阀的计量特性主要有零位漂移、示值误差、回程误差、采样一致性和扫描速率，具体技术指标见表 1。

表 1 压力扫描阀技术指标

准确度等级		0.05	0.1	0.2	0.5
技术指标	$*Z_0$ (%FS)	0.025	0.05	0.1	0.25
	δ (%FS)	± 0.05	± 0.1	± 0.2	± 0.5
	R (%FS)	0.05	0.1	0.2	0.5

准确度等级		0.05	0.1	0.2	0.5
	* S (%FS)	0.05	0.1	0.2	0.5
	* H	按实际测得值给出，一般不低于客户的要求值或说明书要求值			
说明	z_0 — 零位漂移； δ — 最大允许误差； R — 回程误差； S — 采样一致性； H — 扫描速率。 注：“*”项为非必要项，根据客户要求校准。				

6 校准条件

6.1 环境要求

- 环境温度：0.05 级的压力扫描阀（ 20 ± 2 ） $^{\circ}\text{C}$ ，0.1 级及以下的压力扫描阀（ 20 ± 5 ） $^{\circ}\text{C}$ ；
- 环境湿度： $\leq 75\%RH$ ；
- 压力扫描阀所处环境应无影响输出稳定的机械振动。

[JJG 875-2019, 7.1.3 条款]

6.2 标准设备及其他设备要求

6.2.1 标准设备

压力标准器的介质为气体且测量范围应大于或等于压力扫描阀的量程范围，其最大允许误差绝对值应不大于被检压力扫描阀最大允许误差绝对值的 1/3；在校准 0.05 级压力扫描阀时，若选用活塞式压力计或补偿式微压计作为压力标准器，压力标准器的最大允许误差绝对值不应大于被检压力扫描阀最大允许误差绝对值的 1/2，可供选择的压力标准器有：

- 气体活塞式压力计；
- 数字压力计（0.05 级及以上，年稳定性合格）；
- 自动标准压力发生器（0.05 级及以上，年稳定性合格）；
- 补偿式微压计；
- 其他符合要求的标准器。

[JJG 875-2019, 7.1.1 条款]

6.2.2 其他设备

- 99.999%高纯氮气或者压缩空气；
- 气体压力源；

c) 秒表。

6.3 电源

220V±10%，50Hz±5%，单相电源。

7 校准程序

7.1 校准前准备

7.1.1 外观检查

7.1.1.1 压力扫描阀的铭牌应标明产品名称、型号或规格、测量范围、制造商名称或商标、出厂编号等信息，并清晰可辨；

7.1.1.2 压力扫描阀应标明压力测量端口信息，包括压力测量端、校准端以及校准开关（如有），用于绝压测量的压力扫描阀应有明确的标识。

7.1.2 等温及预热

压力扫描阀与压力标准器应在同一室温下放置不少于 2 小时，待温度平衡后再进行校准，开机预热不少于 30 分钟。

7.1.3 设备连接

按图 2 连接压力扫描阀与压力标准器，对于自带有标准压力输出的压力标准器，则无需连接三通接头和压力信号发生器，直接将压力标准器输出接口与压力扫描阀校准接口连接。

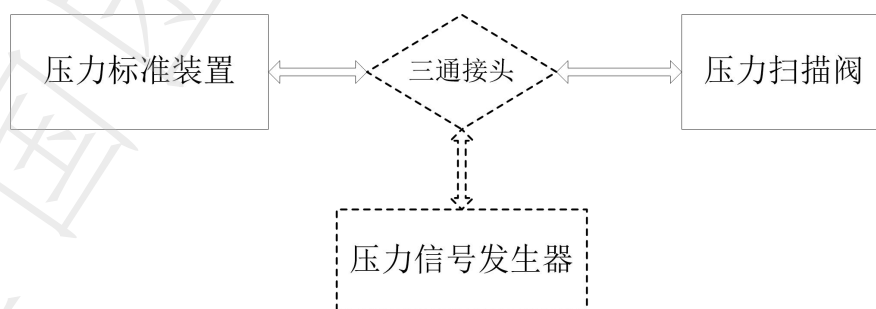


图 2 压力扫描阀校准连接示意图

7.1.4 预压测试

打开压力扫描阀校准开关，使压力扫描阀处于校准模式，施加标准压力至压力扫描阀上限，稳定

30 秒缓慢泄压至环境大气压，连续进行 1~2 次操作。

7.2 压力扫描阀计量特性校准

7.2.1 零位漂移校准

7.2.1.1 表压模式压力扫描阀，在通大气压力时，将压力扫描阀清零，记录各通道压力扫描阀初始示值，然后每隔 15 分钟记录一次显示值，记录 4 次压力扫描阀各通道示值；

7.2.1.2 绝压模式压力扫描阀，在通大气压力时，记录各通道压力扫描阀初始示值，然后每隔 15 分钟记录一次显示值，记录 4 次压力扫描阀各通道示值。

7.2.1.3 零位漂移按公式 (1) 计算：

$$Z_0 = \frac{|P_i - P_0|_{\max}}{P_{Fs}} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

P_{Fs} ——压力扫描阀满量程，Pa、hPa、kPa 或 MPa；

$|P_i - P_0|_{\max}$ ——压力扫描阀通大气状态下各通道示值与初始示值差值绝对值的最大值，Pa、hPa、kPa 或 MPa；

7.2.2 示值误差校准

7.2.2.1 校准点的选择

所选取的校准点应较均匀地分布在全量程范围内,准确度等级为 0.05 级的压力扫描阀校准点不少于 10 个点（含零点）；准确度等级为 0.1 级及以下的压力扫描阀校准点不少于 5 个点（含零点）；升压、降压（或疏空、增压）校准循环次数为 1 次；对于需进行采样一致性校准的扫描阀各压力通道的每个校准点不少于 100 个采样数据。

7.2.2.2 校准方法

校准中升压（或疏空）和降压（或增压）应平稳，避免有冲击和过压现象，根据选择的压力校准点设置压力标准装置示值，待压力值稳定后，采集压力扫描阀压力示值并计算平均值，依次完成所有升压点和降压点示值校准。

7.2.2.3 示值误差计算，压力扫描阀示值误差按公式（2）计算：

$$\delta = \frac{\overline{P_{ji}} - P_s}{P_{Fs}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$\overline{P_{ji}}$ ——压力扫描阀第 j 个通道，第 i 个校准点的压力示值（平均值），Pa、hPa、kPa 或 MPa；

P_s ——第 i 个校准点压力标准示值，Pa、hPa、kPa 或 MPa；

7.2.3 回程误差校准

利用示值误差校准数据，取同一校准点升压、降压校准数据的平均值之差的绝对值作为压力扫描阀在该点的回程误差，按公式（3）计算：

$$R = \frac{|\overline{P_{ji升}} - \overline{P_{ji降}}|}{P_{Fs}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$\overline{P_{ji升}}$ ， $\overline{P_{ji降}}$ ——压力扫描阀第 j 个通道，第 i 个校准点的正、反行程压力示值（平均值），Pa、hPa、kPa 或 MPa；

7.2.4 采样一致性

利用示值误差校准数据，取同一校准点的升压/降压校准数据，使用贝塞尔公式计算标准偏差作为压力扫描阀在该点的采样一致性，按公式（4）计算：

$$S = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{x=1}^n (P_{ji_x} - \overline{P_{ji}})^2}{n-1}}}{P_{Fs}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

P_{ji_x} ——压力扫描阀第 j 个通道，第 i 个校准点的第 x 次采集的测量数据， n 不小于 100。

7.2.5 扫描速率

在大气环境下或任意校准点采集不少于 100 个采样数据进行压力测试，根据所用时间计算每秒所采

集测试点数量，按公式（5）计算：

$$H = \frac{\alpha}{s} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

α ——压力扫描阀 s 秒内总采样数量。

s ——压力扫描阀秒采样时间，s。

8 校准结果

经校准的压力扫描阀应出具校准证书，校准证书内页见附录 A，示值误差测量结果的不确定度评定示例见附录 B。

9 复校时间间隔

校准周期可根据压力扫描阀的使用环境、频繁程度和工作要求确定，一般不超过 1 年，除工艺文件或试验方法另有要求。



附录 A

(资料性)

航空压力扫描阀校准原始数据记录表式样

接收日期: Received Date		登记号: Register No.					
送检单位: Customer		送检单位地址: Customer Add.					
设备名称: Description	制造厂商: Manufacturer	型号/规格: Model	设备编号: S/N				
校准地点: Cal. Add.	校准日期: Cal. Date	温度 (°C): Temperature	湿度 (%RH): Relative Humidity				
本次校准所依据技术文件 (名称和编号): Cal. References							
本次校准所使用的主要设备: Main standards of measurement used in this calibration							
名称/型号 Description/ Model	设备编号 S/N	测量范围 Measuring Range	不确定度/准确度等级/最大 允许误差 Expanded Uncertainty/Accuracy Class/ Maximum Permissible Error			溯源机构 Traceability Institution	证书编号/有效 期 Certificate No./Due Date
测量结果的不确定度: Uncertainty or Accuracy of the Measurement Results							
校 准 原 始 数 据 记 录 Calibration Original Data							
零位漂移校准	时间 (min)	0	15	30	45	60	零位漂移 (%)
	示值 (kPa)						
扫描速率校准	采样时间 (s)		采样个数			扫描速率 (Hz)	
备注 (客户要求) Note(customer requirement)							
建议有效日期: Recommend Due Date							
校准结论: Conclusion							
校准人员: Calibrated By		核验人员: Checked By			证书/报告编号: Report No.		
第 页 共 页 Page of							

航空压力扫描阀校准原始数据记录表式样（续表）

设备名称: Description		型号/规格: Model		设备编号: S/N		
校准日期: Cal. Date			证书/报告编号: Report No.			
校准原始数据记录 Calibration Original Data						
单位 (kPa)						
通道1						
标准器示值	被检示值		示值误差	回程误差	采样一致性	备注
	升压	降压				
.....						
通道2						
标准器示值	被检示值		示值误差	回程误差	采样一致性	备注
	升压	降压				
.....						
通道3						
标准器示值	被检示值		示值误差	回程误差	采样一致性	备注
	升压	降压				
.....						
通道4						
标准器示值	被检示值		示值误差	回程误差	采样一致性	备注
	升压	降压				
.....						
通道5						
标准器示值	被检示值		示值误差	回程误差	采样一致性	备注
	升压	降压				
.....						
通道 ...						
标准器示值	被检示值		示值误差	回程误差	采样一致性	备注
	升压	降压				
.....						
第 页 共 页 Page of						

附录 B

(资料性)

压力扫描阀示值误差的不确定度评定示例

B.1 测量方法

使用气体活塞式压力计（2465）对量程为(0-200)kPa 压力扫描阀进行校准，通过活塞压力计产生标准压力值，读取压力扫描阀压力值并计算器平均值，最后将两者之间压力示值之差作为压力示值误差。

B.2 数学模型

$$\text{示值误差公式: } \delta_{pi} = P_i - P_{si} \quad (\text{B.1})$$

式中:

δ_{pi} ——被检压力扫描阀在 i 点示值误差, kPa;

P_i ——被检压力扫描阀在 i 点示值, kPa;

P_{si} ——压力标准器在 i 点标准示值, kPa。

B.3 方差和灵敏系数

$$\text{依 } u_c^2(\delta_i) = \sum \left[\frac{\partial f}{\partial P_i} \right]^2 u^2(P_i) \text{ 得} \quad u_c^2(\delta_i) = c^2(P_i)u^2(P_i) + c^2(P_{si})u^2(P_{si}) \quad (\text{B.2})$$

$$\text{式中: } c(P_i) = \frac{\partial \delta}{\partial P_i} = 1$$

$$c(P_{si}) = \frac{\partial \delta}{\partial P_{si}} = -1$$

则

$$u_c^2 = u^2(P_i) + u^2(P_{si}) \quad (\text{B.3})$$

B.4 计算标准不确定度分量

压力扫描阀在 i 点的测量压力示值误差的不确定度主要来源于该点测量压力示值的标准不确定度和压力标准器示值的标准不确定度。

B.4.1 压力扫描阀测量压力示值引入的不确定度分量 $u(P_i)$

压力扫描阀测量压力示值的标准不确定度 $u(P_i)$ 主要来源于两个方面：一是被检压力扫描阀测量压力的测量重复性引入的不确定度 $u_1(P_i)$ ；二是被检压力扫描阀显示分辨力引入的不确定度 $u_2(P_i)$ 。

B.4.1.1 被检压力扫描阀的测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(P_i)$ 的评定

重复性可以通过连续测量得到测量列，采用 A 类方法进行评定。选择一台重复性很好的压力扫描阀，对 200kPa 点重复测量 12 次，取采样数据的平均值所得数据如下表：

表 B.1

单位 [kPa]

次数	1	2	3	4	5	6
实测值	200.05	200.05	200.06	200.05	200.06	200.05
次数	7	8	9	10	11	12
实测值	200.06	200.05	200.06	200.05	200.06	200.05

$$S(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.0051 \text{ kPa}$$

实际测量中取上下行程两次测量结果平均值，则：

$$u_1(P_i) = \frac{0.0051}{\sqrt{2}} = 0.0036 \text{ kPa}$$

B.4.1.2 被检压力扫描阀的显示压力分辨力引入的标准不确定度 $u_2(P_i)$ 的评定

被检压力扫描阀的分辨力 R 为 0.01kPa，由其所引入的标准不确定度分量 $u_2(P_i)$ 采用 B 类评定方法评定，假设可能值在区间内为均匀分布，区间半宽为 $\alpha = \frac{R}{2}$ ，查表得 $k = \sqrt{3}$ ，则由分辨力引入的标准不确定度分量 $u_2(P_i)$ 为：

$$u_2(P_i) = \frac{\alpha}{k} = \frac{R}{2 \times \sqrt{3}} = \frac{0.01}{2 \times \sqrt{3}} = 0.0029 \text{ kPa}$$

压力扫描阀测量压力示值的标准不确定度 $u(P_i)$ 为：

$$u(P_i) = \sqrt{u_1^2(P_i) + u_2^2(P_i)} = \sqrt{0.0029^2 + 0.0036^2} = 0.0046 \text{ kPa}$$

B.4.2 压力标准器引入的标准不确定度 $u(P_{si})$

本次测量使用的活塞式压力计为 0.005 级，且经上级机构检定合格，按均匀分布，取 $k = \sqrt{3}$ ，则由活塞式压力计引入的标准不确定度分量分别为：

$$u_{\text{rel}}(P_{si}) = \frac{5 \times 10^{-5}}{\sqrt{3}} = 2.9 \times 10^{-5}$$

所以，200kPa 点引入的不确定度为：

$$u(P_{si}) = 200 \times 2.9 \times 10^{-5} = 0.0058 \text{ kPa}$$

B.4.3 由环境温度引入的不确定分量

实验室环境温度控制在 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，温度波动较小且标准设备和被测设备均有温度补偿，故在此忽略不计。

B.5 合成标准不确定度

压力扫描阀在第 i 个（200kPa）校准点的测量压力示值误差的合成标准不确定度为：

$$u_c(\delta_{pi}) = \sqrt{c^2(P_i)u^2(P_i) + c^2(P_{si})u^2(P_{si})} = \sqrt{0.0046^2 + 0.0058^2} = 0.0074 \text{ kPa}$$

B.6 扩展不确定度

取 $k = 2$ ，则压力扫描阀在第 i 个（200kPa）校准点的测量压力示值误差扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.0074 \approx 0.015 \text{ kPa}, \quad k = 2$$

参 考 文 献

- [1] JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》；
- [2] JJF 1059.1《测量结果的不确定度评定与表示》。

