

JJG

中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 882—2019

压力变送器

Pressure Transmitters

2019-12-31 发布

2020-03-31 实施

国家市场监督管理总局发布

批准稿，稍后上传出版稿

压力变送器检定规程

Verification Regulation of
Pressure Transmitters

JJG 882-2019

代替 JJG 882-2004

归口单位：全国压力计量技术委员会

主要起草单位：上海市计量测试技术研究院

参加起草单位：上海皓格测量技术集团有限公司

本规程委托全国压力计量技术委员会负责解释

本规程主要起草人：

屠立猛（上海市计量测试技术研究院）

胡安伦

王 灿（上海市计量测试技术研究院）

参加起草人：

吴 浩（上海皓格测量技术集团有限公司）

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	1
5 计量性能要求	2
5.1 示值误差	2
5.2 回差	2
5.3 差压变送器静压影响	3
6 通用技术要求	3
6.1 外观	3
6.2 密封性	4
6.3 绝缘电阻	4
6.4 绝缘强度	4
7 计量器具控制	4
7.1 检定条件	4
7.2 检定项目	6
7.3 检定方法	7
7.4 检定结果的处理	10
7.5 检定周期	10
附录 A 压力变送器检定时的设备连接方式	11
附录 B 压力变送器检定记录格式	12
附录 C 检定证书、检定结果通知书内页格式	13
附录 D 测量不确定度评定	14
附录 E 标准器组扩展不确定度 U 的确定	18

引言

JJF 1001《通用计量术语及定义》、JJF1002《国家计量检定规程编写规则》、JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》等规范，共同构成本规程修订工作的基础性系列规范。

与 JJG882-2004《压力变送器》国家计量检定规程相比，除编辑性修改外，主要变化如下：

按 JJF1002-2010《国家计量检定规程编写规则》的要求，引言为必备内容，故增加引言部分的内容；

删除了原规程中有关气动压力变送器的内容；

删除了原规程中附录 B：“定型鉴定（或样机试验）试验项目和方法”的内容；

删除了原规程中差压变送器静压影响量程变化的内容；

调整了准确度等级的划分；

对原规程附录 A、附录 C、附录 E 和附录 D 的内容作了相应的修改。

JJG882-2004 历次版本发布情况为：

—JJG882-1994。

压力变送器检定规程

1 范围

本规程适用于压力（包括正压、负压、差压和绝对压力）变送器的首次检定、后续检定和使用中检查。

2 引用文件

本规程引用下列文件：

JJF1008-2008 《压力计量名词术语及定义》

JJG 875 《数字压力计》

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

3 术语和计量单位

3.1 术语

3.1.1 压力变送器 pressure transmitter

能将压力变量转换为可传输的标准化信号的仪表，其输出信号与压力变量之间有一给定的连续函数关系（通常为线性函数）。[JJF1008-2008 定义 7.2]

3.1.2 智能压力变送器 intellectual pressure transmitter

有自动补偿温度、线性、静压等功能，又有通信、自诊断功能的压力变送器。[JJF1008-2008 定义 7.8]

3.2 计量单位

压力变送器使用的法定计量单位为 Pa（帕斯卡），或是它的十进倍数单位：kPa、MPa 等。

4 概述

压力变送器主要用于工业过程压力参数的测量和控制。

压力变送器的工作原理是通过某些转换元件（一般为压力传感器）按照一定的规律将压

力信号转换成可用的输出电信号，该信号经放大，变为可传送的、统一的标准化输出信号。

压力变送器通常由感压元件、信号处理和转换单元组成。有些压力变送器增加了显示单元、或现场总线功能。压力变送器的原理结构如图 1 所示。



图 1 压力变送器原理框图

压力变送器的标准化输出信号包括：0mA~10mA 和 4mA~20mA（或 1V~5V）等直流电信号，以及符合各种通信协议要求的数字量信号和具有特殊规定的其它标准化信号。

压力变送器按感压原理可分为电容式、谐振式、压阻式、力（力矩）平衡式、电感式和应变式等；按不同的测压类型，可分为正（负）压变送器、差压变送器和绝压变送器等。

5 计量性能要求

5.1 示值误差

压力变送器的示值误差按准确度等级划分，应符合表 1 规定的最大允许误差。

表 1 准确度等级及最大允许误差、回差

准确度等级	最大允许误差	回差	
		首次检定	后续检定和使用中检查
0.05 级	$\pm 0.05\%$	$\leq 0.04\%$	$\leq 0.05\%$
0.075 级	$\pm 0.075\%$	$\leq 0.06\%$	$\leq 0.075\%$
0.1 级	$\pm 0.1\%$	$\leq 0.08\%$	$\leq 0.1\%$
0.2 级（0.25 级）	$\pm 0.2\%$ （ $\pm 0.25\%$ ）	$\leq 0.16\%$ （ $\leq 0.20\%$ ）	$\leq 0.2\%$ （ $\leq 0.25\%$ ）
0.5 级	$\pm 0.5\%$	$\leq 0.4\%$	$\leq 0.5\%$
1.0 级	$\pm 1.0\%$	$\leq 0.8\%$	$\leq 1.0\%$
1.5 级	$\pm 1.5\%$	$\leq 1.2\%$	$\leq 1.5\%$

注：压力变送器最大允许误差和回差是以前输出量程的百分比表示。

5.2 回差

压力变送器的回差应符合表 1 的规定。

5.3 差压变送器静压影响

静压影响只适用于差压变送器，并以输出下限值的变化量来衡量，其值应符合表 2 的规定。

表 2 差压变送器静压影响的要求

项目		准确度等级			
		0.2 级 (0.25 级)	0.5 级	1.0 级	1.5 级
下限值变化量	$P_w \leq 6.4$	1.0%	2.0%	2.5%	3.0%
	$P_w \leq 6.4$ (差压量程 $\leq 6\text{kPa}$)	1.5%	3.0%	3.5%	4.0%
	$6.4 < P_w \leq 16$	1.5%	3.0%	3.5%	4.0%
	$6.4 < P_w \leq 16$ (差压量程 $\leq 6\text{kPa}$)	2.0%	4.0%	4.5%	5.0%
	$16 < P_w \leq 25$	2.0%	3.5%	4.0%	4.5%
	$25 < P_w \leq 32$	2.0%	4.5%	5.0%	5.5%
	$32 < P_w \leq 40$	2.5%	5.0%	5.5%	6.0%
注 1: P_w ——静压值, MPa;					
注 2: 差压变送器静压影响的下限值的变化量是以其输出量程的百分比表示。					
注 3: 差压变送器静压影响的下限值变化量也可按照企业标准的规定进行。					

6 通用技术要求

6.1 外观

6.1.1 压力变送器上的标识应完整、清晰，并具有以下信息：产品名称、出厂编号、生产年份、型号规格、测量范围、计量单位、准确度等级、额定工作压力、电源形式，信号输出形式、制造商名称或商标等；防爆产品还应有防爆标识。

6.1.2 差压变送器的高压容室与低压容室应有明显标记。

6.1.3 压力变送器接线端子应有相应的标记。

6.1.4 压力变送器主体和部件应完好无损，紧固件不得有松动和损伤现象，可动部分应灵活可靠。具有压力指示器（数字显示功能）的压力变送器，数字显示应清晰，不应有缺笔画现象。

6.1.5 首次检定的压力变送器主体和部件的外表面应光洁、完好、无锈蚀和霉斑。

6.2 密封性

压力变送器的测量部分在承受测量压力上限值时（差压变送器为额定工作压力），不应有泄漏现象；最后 5min 压力值下降（或上升）不应超过测量上限值的 2 %。

6.3 绝缘电阻

在环境温度为 15℃～35℃，相对湿度为 45%～75%时，压力变送器各组端子（包括外壳）之间的绝缘电阻应不小于 20MΩ（测试电压按企业标准的规定）。

二线制的压力变送器只进行输出端子对外壳的试验。

6.4 绝缘强度

在环境温度为 15℃～35℃，相对湿度为 45%～75%时，压力变送器各组端子（包括外壳）之间施加表 3 所规定的频率为 50Hz 的试验电压，历时 1min 应无击穿和飞弧现象。

表 3 试验电压

压力变送器端子标称电压 U/V	试验 AC 电压/ V
$0 < U < 60$	500
$60 \leq U < 250$	1000

二线制的压力变送器只进行输出端子对外壳的绝缘强度试验。因结构上的原因，试验电压按企业标准规定执行；或按企业标准规定不进行该项试验。

7 计量器具控制

计量器具控制包括首次检定、后续检定和使用中检查。

7.1 检定条件

7.1.1 检定设备

检定时所需的标准仪器及配套设备可按被检压力变送器的技术要求，参照表 4 进行选择并组合成套。成套后的标准器组，在检定时由此引入的扩展不确定度 U 应不大于被检压力变送器最大允许误差绝对值的 1/4；准确度等级为 0.05 级的压力变送器，由此引入的扩展不确定度 U 应不大于被检压力变送器最大允许误差绝对值的 1/3。

7.1.2 环境条件

a) 检定温度：

0.05 级、0.075 级：20℃±2℃；0.1 级及以下：20℃±5℃。

每 10 min 变化不大于 1℃。

表 4 标准仪器及配套设备

序号	仪器设备名称	技术要求	用途
1	可供选择的压力标准器有： 活塞式压力计； 双活塞式压力真空计； 浮球式压力计； 补偿式微压计； 数字压力计（0.05 级及以上，年稳定性合格的）； 自动标准压力发生器（0.05 级及以上，年稳定性合格的）； 其他符合要求的压力标准器。	按 7.1.1 的要求，通过不确定度分析确定。	检定用压力标准器
2	直流电流表	上限不低于 20mA 0.01 级~0.05 级	输出信号值的测量标准
3	直流电压表	0V~5V、0V~50V 0.01 级~0.05 级	直流电压表可作为压力变送器电压输出信号值的测量标准； 二者组合取代直流电流表作为压力变送器电流输出信号值的测量标准。
4	标准电阻	100Ω（250Ω） 不低于 0.05 级	
5	压力表	不低于 1.6 级	密封性试验
6	绝缘电阻表	输出电压：直流 500V、100V 10 级	检定绝缘电阻
7	耐电压测试仪	输出电压：交流 0V~1500V；频率：45Hz~55Hz 输出功率：不低于 0.25kW	检定绝缘强度
8	真空机组	真空泵的真空度应符合要求	绝对压力变送器及负压变送器的压力源
9	交流稳压电源	220V，50Hz，稳定度 1%，功率不低于 1kW	交流供电电源
10	直流稳压源	0V~30V，最大允许误差±1%；其中 400Hz~10kHz	直流供电电源

序号	仪器设备名称	技术要求	用途
		频率分量的纹波峰峰值 $\leq 40\text{mV}$	
11	温、湿度记录仪	分辨力 0.1°C	检定时，温度、湿度记录

b) 相对湿度： $\leq 80\%$ 。

c) 压力变送器所处环境应无影响输出稳定的机械振动。

d) 检定区域内应无明显的气体流动。

e) 压力变送器周围除地磁场外，应无影响其正常工作的外磁场。

7.1.3 其它条件

电源：交流供电的压力变送器，其电压变化不超过额定值的 $\pm 1\%$ 、频率变化不超过额定值的 $\pm 1\%$ ；直流供电的压力变送器，其电压变化不超过额定值的 $\pm 1\%$ ，交流纹波应符合表 4 的要求。

注：压力变送器如需在现场检定，而现场的环境条件和动力条件不符合上述要求时，则必须经过不确定度评定来确定。只有在新的条件下，经分析因标准器组及配套设备引入的相对扩展不确定度 U 仍满足 7.1.1 的要求，方可进行现场检定。

7.2 检定项目

压力变送器首次检定、后续检定和使用中检查的检定项目见表 5。

表 5 检定项目和使用中检查项目表

序号	检定项目	首次检定	后续检定	使用中检查
1	外观	+	+	+
2	密封性	+	—	—
3	绝缘电阻	+	+	—
4	绝缘强度	+	—	—
5	示值误差	+	+	+
6	回差	+	+	—
7	差压变送器静压影响	+	*	*
注：“+”是应检项目；“*”是必要时可检项目；“—”是可不检项目				

7.3 检定方法

7.3.1 外观检查

目力观察和通电检查。

7.3.2 密封性检查

平稳地升压(或疏空),使压力变送器测量室压力达到测量上限值(或当地大气压力 90% 的疏空度),关闭压力源,保压 15min,观察是否有泄漏现象,在最后 5min 内通过观察压力表示值或通过观察压力变送器输出信号的等效值来确定压力值的变化量。

差压变送器在进行密封性检查时,高压容室和低压容室连通,并同时施加额定工作压力进行观察。

7.3.3 示值误差的检定

7.3.3.1 设备的连接与安装

a) 被检压力变送器为达到热平衡,必须在检定条件下放置 2h;准确度等级低于 0.5 级的压力变送器可缩短放置时间,一般缩短至 1h。

b) 标准器、配套设备和被检压力变送器按附录 A 的要求连接,并使导压管中充满传压介质。传压介质为气体时,介质应清洁、干燥;传压介质为液体时,介质应考虑制造厂推荐的或送检者指定的液体。

c) 被检压力变送器按规定的安装位置放置。

d) 当传压介质为液体时,压力变送器取压口的参考平面与标准器取压口的参考平面(或活塞式压力计的活塞下端面)应处在同一水平面上。若不在同一水平面,其高度差不大于式(1)的计算结果时,引起的误差可以忽略不计,否则应予修正。

$$h = \frac{|\alpha\%|P_m}{10\rho g} \dots\dots\dots (1)$$

式中: h ——高度差最大允许值, m;

$\alpha\%$ ——压力变送器的准确度等级的百分数;

P_m ——压力变送器的输入量程, Pa;

ρ ——传压介质的密度, kg/m³;

g ——当地的重力加速度， m/s^2 。

e) 输出负载按制造单位规定选取。如规定值为两个以上的电阻值，则对直流电流输出的压力变送器应取最大值，对直流电压输出的压力变送器应取最小值。

7.3.3.2 通电预热

除制造单位另有规定外，压力变送器一般需通电预热 5min 以上。

7.3.3.3 选择检定点

检定点的选择应按量程基本均匀分布，一般应包括上限值、下限值（或其附近 10% 输入量程以内）在内不少于 5 个点。0.1 级及以上准确度等级的压力变送器应不少于 9 个点。绝压变送器的零点应尽可能小，一般不大于量程的 1%。

对于输入量程可调的压力变送器，首次检定的压力变送器应将输入量程调到规定的最小量程、最大量程分别进行检定；后续检定和使用中检查的压力变送器可只进行常用量程或送检者指定量程的检定。

7.3.3.4 检定前的调整

检定前，用改变输入压力的办法对压力变送器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。具有数字信号传输（现场总线）功能的压力变送器，应该分别调整输入部分及输出部分的“零点”和“满量程”，同时将压力变送器的阻尼值调至最小。

7.3.3.5 检定方法

从下限开始平稳地输入压力信号到各检定点，读取并记录输出值至测量上限，然后反方向平稳改变压力信号到各个检定点，读取并记录输出值至测量下限，此为一个循环。0.1 级及以下的压力变送器进行 1 个循环检定；0.1 级以上的压力变送器应进行 2 个循环的检定。

强制检定的压力变送器应至少进行上述三个循环的检定。

在检定过程中不允许调整零点和量程，不允许轻敲和振动压力变送器，在接近检定点时，输入压力信号应足够慢，避免过冲现象。

7.3.3.6 示值误差的计算

压力变送器的示值误差按公式（2）计算。

$$\Delta I = I - I_L \cdots \cdots \cdots (2)$$

式中： ΔI ——压力变送器各检定点的示值误差，mA，V 或数字量；

I ——压力变送器正行程或反行程各检定点的实际输出值，mA，V 或数字量；

I_L ——压力变送器各检定点的理论输出值，mA，V 或数字量。

误差计算过程中数据处理原则：小数点后保留的位数应以舍入误差小于压力变送器最大允许误差的 1/10 为限。判断压力变送器是否合格应以舍入以后的数据为准。

注：1. 具有压力指示器的压力变送器，其指示部分示值误差的检定按 JJG875 进行。

2. 对具有数字信号传输功能的压力变送器，可采用能忽略本身示值误差的计算机监控软件、制造单位提供的通讯器或专用通讯设备采集的读数作为压力变送器的输出信号。

7.3.4 回差的检定

回差的检定与示值误差的检定同时进行。回差按公式（3）计算，结果应符合 5.2 的要求。

$$\Delta I_d = |I_Z - I_F| \cdots \cdots \cdots (3)$$

式中： ΔI_d ——压力变送器的回差，mA，V；

I_Z 、 I_F ——压力变送器正行程及反行程各检定点的实际输出值，mA，V。

7.3.5 差压变送器静压影响的检定

将密封性检查后的差压变送器高、低压容室分别从大气压力缓慢加压至额定工作压力，保持 1 min，测量静压下的下限输出值；然后释放至大气压力，1min 后测量大气压力状态下的下限输出值。并按公式 4 计算。

$$\delta_{P_0} = \left| \frac{P_{Li} - P_{L0}}{Y_{FS}} \right|_{\max} \times 100\% \cdots \cdots \cdots (4)$$

δ_{P_0} ——静压影响引起的下限（零点）输出值变化量，%；

P_{Li} ——额定工作压力下的下限（零点）输出值，mA，V 或数字量；

P_{L0} ——大气压状态下的下限（零点）输出值，mA，V 或数字量；

Y_{FS} ——差压变送器满量程输出值，mA，V 或数字量。

7.3.6 绝缘电阻的检定

断开压力变送器的电源，将电源端子和输出端子分别短接。用绝缘电阻表分别测量电源端子与接地端子（外壳），电源端子与输出端子，输出端子与接地端子（外壳）之间的绝缘电阻。除制造厂另有规定外，一般采用公称试验电压为 500 V DC 兆欧表历时 30s。

注：电容式压力变送器试验时，应采用公称试验电压为 100 V DC 兆欧表。或按企业标准规定的要求进行检定。

7.3.7 绝缘强度的检定

断开压力变送器的电源，将电源端子和输出端子分别短接。按 6.4 的要求用耐电压测试仪分别测量电源端子与接地端子（外壳），电源端子与输出端子，输出端子与接地端子（外壳）之间的绝缘强度。测量时，试验电压应从零开始增加，在 5s~10s 内平滑均匀地升至表 2 规定的试验电压值（误差不大于 10%），保持 1min，然后平滑地降低电压至零，并切断试验电源。

注：压力变送器在试验时，可使用具有报警电流设定的耐电压测试仪。设定值一般为 10mA。使用该仪器时，以是否报警作为判断绝缘强度合格与否的依据。

7.4 检定结果的处理

7.4.1 检定合格的压力变送器，出具检定证书。

7.4.2 检定不合格的压力变送器，出具检定结果通知书，并注明不合格项目和内容。

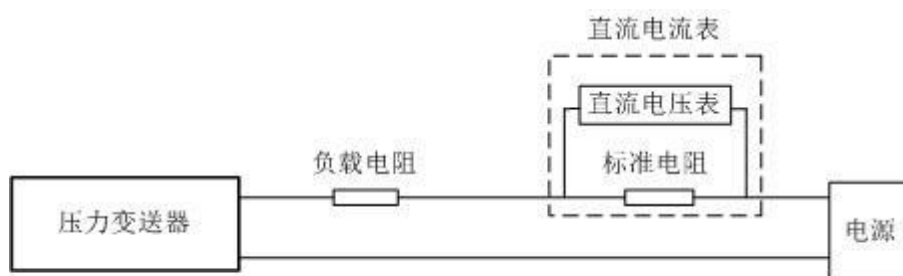
7.5 检定周期

压力变送器的检定周期可根据使用环境条件及使用频繁程度来确定，一般不超过 1 年。

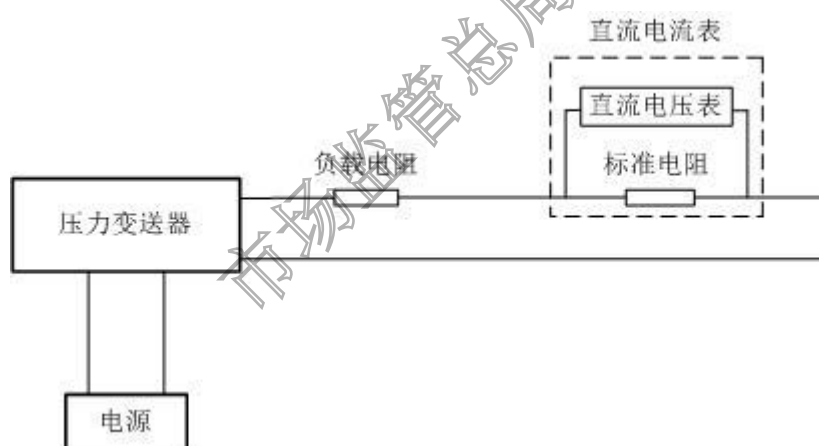
附录 A 压力变送器检定时的设备连接方式

A.1 输出部分的连接

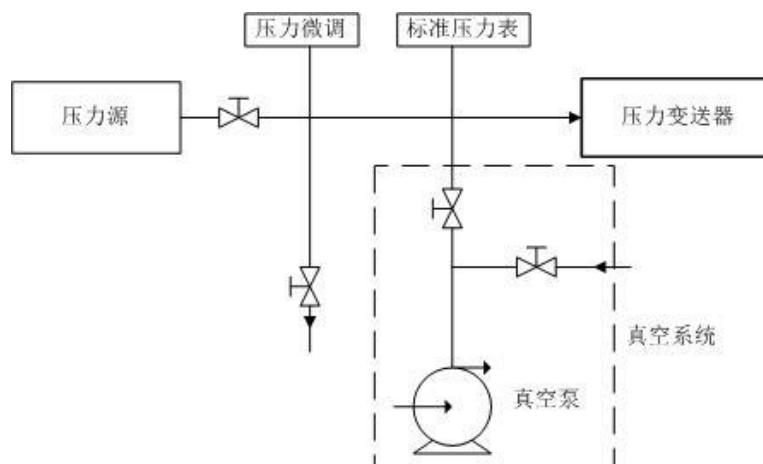
A.1.1 二线制压力变送器



A.1.2 四线制压力变送器



A.2 输入部分的连接



附录 B 压力变送器检定记录格式

原始记录编号:

送检单位:

样品名称:

型号规格:

准确度等级: 级

制造商:

出厂编号:

测量范围:

检定时温度: °C

相对湿度: %

标准器: 1.名称: 准确度等级: 测量范围: 编号:

2.名称: 准确度等级: 测量范围: 编号:

检定结果:

压力实际值 ()	理论输出值 ()	实际输出值()						示值误差 ()	回差 ()
		第一次		第二次		第三次			
		正行程	反行程	正行程	反行程	正行程	反行程		

1. 示值误差: 最大允许值: 实测值: 2. 回差: 最大允许值: 实测值:

3. 绝缘电阻: 4. 绝缘强度: 5. 密封性: 6. 外观:

7. 差压变送器静压影响:

工作压力:

零位变化允许值:

零位变化实际值:

结论: 根据以上各项检定结果, 该压力变送器: 。

检定员: 年 月 日 复核员: 年 月 日

附录 C 检定证书、检定结果通知书内页格式

证书编号××××××—×××××

检定结果

1. 外观:
2. 密封性:
3. 绝缘电阻:
4. 绝缘强度:
5. 示值误差:
6. 回差:
7. 差压变送器静压影响:

检定结论:

检定结果通知书内页格式同上, 另要求指出不合格项目和内容。

以下空白

附录 D 测量不确定度评定

例：0.1 级压力变送器电流输出的测量结果不确定度评定

D.1 评定依据

JJG59 《活塞式压力计》国家计量检定规程

JJF1059.1—2012 《测量不确定度评定与表示》国家计量技术规范

D.2 测量条件

环境温度：(20.0~20.1)℃；环境湿度：(50~51)%RH；

上海重力加速度：9.7946m/s²；

传压介质：变压器油和煤油混合油，密度为 0.838×10³kg/m³；

计量标准器：测量范围为 (0.1~6) MPa 的 0.02 级活塞式压力计；FLUKE8508A 数字多用表 20mA 档，技术指标：±(0.0016%×示值+0.0002%×20mA)；

被检样品：测量范围为 (0~2) MPa 的 0.1 级压力变送器。

D.3 测量方法

将压力变送器置于实验室检定环境条件中至少 2h 以上，使其充分适应实验室环境。将压力变送器通电预热 30 min 后，安装在活塞式压力计校验台的专用接口上，尽量使压力变送器受压点和活塞式压力计的工作位置处在同一水平面上，当两者的位置不在同一水平面上时，应准确测量其液位高度差（实测压力变送器受压点位置低于活塞式压力计工作位置 0.135m）。安装完毕之后，用活塞压力计为压力变送器加压至 2MPa，检查系统的密封性。

在活塞式压力计上加载砝码提供标准压力值，达到静平衡时，读取数字多用表的读数，同时查看环境条件，并按要求记录。试验中选取名义压力为 0MPa、0.2MPa、0.4MPa、0.6MPa、0.8MPa、1.0MPa、1.2MPa、1.4MPa、1.6MPa、1.8MPa 和 2.0MPa 共计 11 个测量点。按照正反行程逐点升压和降压进行一个循环的测量，共进行 3 个循环的测量，每个测量点共进行 6 次测量。一个完整的测试循环在一天内不间断地完成，试验过程中不清零。

D.4 测量模型

按 7.3.3.6 示值误差的计算公式：

$$\Delta I = I - I_L \cdots \cdots \cdots \quad (\text{公式 D.1})$$

式中：ΔI——压力变送器各检定点的示值误差，mA；

I——压力变送器正行程或反行程各检定点的实际输出值，mA；

I_L——压力变送器各检定点的理论输出值，mA；

其中：

$$I_L = \left[\frac{I_m}{P_m} \cdot (P + \Delta P) + I_0 \right] \cdots \cdots \cdots (\text{公式 D.2})$$

故压力变送器的测量模型为：

$$\Delta I = I - \left[\frac{I_m}{P_m} \cdot (P + \Delta P) + I_0 \right] \cdots \cdots \text{(公式 D. 3)}$$

式中： I_m ——压力变送器电流输出量程，16mA；

P ——标准器输入压力值，MPa；

P_m ——压力变送器压力量程，2 MPa；

I_0 ——压力变送器输出电流起始值，4 mA。

ΔP ——标准器与压力变送器的受压点不在同一高度产生的压力差，Pa；

当传压介质为液体时： $\Delta P = \pm \rho g h \cdots \cdots \text{(公式 D. 4)}$

ρ ：传压介质密度，838kg/m³；

g ：当地重力加速度，9.7946m/s²；

h ：标准器与压力变送器的受压点的液位高度差，m；

D.5 测量不确定度来源

(1) 数字多用表的读数值 I 引入的标准不确定度 $u(I)$

(2) 活塞式压力计的壓力值 P 引入的标准不确定度 $u(P)$

(3) 活塞式压力计工作位置与压力变送器受压面液位高度差产生的压力 ΔP 引入的标准不确定度 $u(\Delta P)$

D.6 输入量 I 的标准不确定度 $u(I)$ 的评定

D.6.1 数字多用表测量引入的标准不确定度 $u_1(I)$

数字多用表 20mA 测量档的最大允许示值误差为： $\pm(0.0016\% \times \text{示值} + 0.0002\% \times 20\text{mA})$ ，压力变送器的输出电流的最大值为 20mA，所以半宽度 $a = (0.0016\% \times 20 + 0.0002\% \times 20)\text{mA} = 0.0004\text{mA}$ 。在区间内可认为服从均匀分布，取 $k = \sqrt{3}$ ，故：

$$u_1(I) = \frac{a}{k} = 0.0002 \text{ mA}$$

D.6.2 压力变送器输出电流的测量不重复性引入的标准不确定度 $u_2(I)$

在名义值 2.0MPa 进行正反行程 3 次循环，共有 6 个测量结果，如表 D.1 所示：

表 D.1 数据列

次数	1	2	3	4	5	6
示值 (mA)	20.002	20.002	20.003	20.003	20.004	20.004

由于测量次数小于 10 次，采用极差法计算重复性。 $n = 6$ ，查表得到 $C = 2.53$ ，则：

$$s(I) = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{c} = 0.0008 \text{ mA}$$

所以，重复性测量引入的标准不确定度为：

$$u_2(I) = \frac{s(I)}{\sqrt{6}} = 0.0003 \text{ mA}$$

D.6.3 标准不确定度 $u(I)$ 的合成

标准不确定度 $u_1(I)$ 和 $u_2(I)$ 互不相关, 故:

$$u(I) = \sqrt{[u_1(I)]^2 + [u_2(I)]^2} = 0.0004 \text{ mA}$$

I 对测量模型输出量的灵敏系数: $c_1 = 1$

D.7 输入量 P 的标准不确定度 $u(P)$ 的评定

根据检定证书, 活塞式压力计的测量范围为 $(0.1 \sim 6) \text{ MPa}$, 最大允许误差为读数的 $\pm 0.02\%$ 。因此, 2.0 MPa 这点的最大允许误差为 $\Delta = \pm 0.02\% \times 2 = \pm (4 \times 10^{-4}) \text{ MPa}$, 则 $a = 4 \times 10^{-4} \text{ MPa}$, 服从均匀分布, 取 $k = \sqrt{3}$, 则其标准不确定度为:

$$u(P) = \frac{a}{k} = 2.3 \times 10^{-4} \text{ MPa}$$

P 对测量模型输出量的灵敏系数: $c_2 = -8 \text{ mA} \cdot \text{MPa}^{-1}$

D.8 输入量 ΔP 的标准不确定度 $u(\Delta P)$ 的评定

D.8.1 液位高度差引入的不确定度 $u(h)$

压力变送器与活塞压力计的受压点不做同一水平面上, 其液位高度差 $h = 135 \text{ mm}$, 测量精确到 $\pm 5 \text{ mm}$, 即 $a = 5 \text{ mm}$, 按照均匀分布处理, $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u(h) = \frac{a}{k} = 2.9 \times 10^{-3} \text{ m}$$

h 对公式(D.4)的灵敏系数: $c_4 = \rho g = 8208 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-2}$

D.8.2 工作介质密度引入的不确定度 $u(\rho)$

活塞压力计中的工作介质为变压器油和煤油混合油, 其密度为 $(838 \pm 4) \text{ kg/m}^3$, 即 $a = 4 \text{ kg/m}^3$, 按照均匀分布处理, $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u(\rho) = \frac{a}{k} = \frac{4}{\sqrt{3}} = 2.31 \text{ kg/m}^3$$

ρ 对公式(D.4)的灵敏系数: $c_5 = gh = 1.3 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$

D.8.3 重力加速度的不确定度 $u(g)$

上海重力加速度 $g = (9.7946 \pm 0.0001) \text{ m/s}^2$, 按照均匀分布处理, $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u(g) = \frac{a}{k} = \frac{1 \times 10^{-4}}{\sqrt{3}} = 5.8 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$$

g 对公式(D.4)的灵敏系数: $c_6 = \rho h = 113 \text{ kg/m}^2$

D.8.4 输入量 ΔP 的标准不确定度 $u(\Delta P)$ 的合成

因高度差、工作介质密度和重力加速度各不确定度互不相关, 根据不确定度传播定律, 其合成不确定度为:

$$u(\Delta P) = \sqrt{c_4^2 u^2(h) + c_5^2 u^2(\rho) + c_6^2 u^2(g)} = 2.39 \times 10^{-5} \text{ MPa}$$

ΔP 对测量模型输出量的灵敏系数: $c_3 = -8 \text{ mA} \cdot \text{MPa}^{-1}$

表 D.2 标准不确定度一览表

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度	c_i	$c_i \times$ 标准不确定度
$u(I)$	电流输出值	0.0004 mA	1	0.0004 mA
$u_1(I)$	数字电流表	0.0002 mA	/	/
$u_2(I)$	重复性	0.0003 mA	/	/
$u(P)$	标准器示值	2.3×10^{-4} MPa	$-8 \text{ mA} \cdot \text{MPa}^{-1}$	-0.0018 mA
$u(\Delta P)$	液位高度差	2.39×10^{-5} MPa	$-8 \text{ mA} \cdot \text{MPa}^{-1}$	-0.0002 mA
$u(h)$	高度	2.9×10^{-3} m	$8208 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-2}$	/
$u(\rho)$	介质密度	$2.31 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$	$1.3 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$	/
$u(g)$	重力加速度	$5.8 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$	$113 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$	/

D.9 合成标准不确定度

输入量 I 、 P 和 ΔP 的各标准不确定度近似不相关, 根据不确定度传播定律, 其合成标准不确定度为:

$$u_c(\Delta I) = \sqrt{c_1^2 u^2(I) + c_2^2 u^2(P) + c_3^2 u^2(\Delta P)} = 0.0019 \text{ mA}$$

D.10 扩展不确定度

取包含因子 $k = 2$, 则其扩展不确定度为:

$$U = k \times u_c(\Delta I) = 0.004 \text{ mA}$$

D.11 各测量点的不确定度

表 D.3 各测量点的不确定度汇总

标准器示值 (MPa)	六次读数的 平均值 (mA)	示值误差 (mA)	合成标准不确定度 $u_c(\Delta I)$	扩展不确定度 ($k = 2$) $U = k \times u_c(\Delta I)$
0.0000	4.002	0.002	0.0004mA	0.001mA
0.2000	5.607	0.007	0.0006mA	0.002mA
0.4000	7.207	0.007	0.0006mA	0.002mA
0.6000	8.805	0.005	0.0007mA	0.002mA
0.8000	10.404	0.004	0.0008mA	0.002mA
1.0000	12.004	0.004	0.0010mA	0.002mA
1.2000	13.604	0.004	0.0012mA	0.003 mA
1.4000	15.203	0.003	0.0014mA	0.003mA
1.6000	16.803	0.003	0.0015mA	0.003mA
1.8000	18.403	0.003	0.0017mA	0.004mA
2.0000	20.003	0.003	0.0019mA	0.004mA

附录 E 标准器组扩展不确定度 U 的确定

成套后的标准器组，在检定时由此引入的扩展不确定度 U 可以按以下方法进行确定：

按附录 D 的要求进行不确定度评定，评定时只考虑数字多用表测量误差引入的标准不确定度 $u_1(I)$ 、压力标准器示值误差引入的标准不确定度 $u(P)$ 带来的影响。

例1.

计量标准器：

名称	测量范围	准确度等级/最大允许误差
数字压力计	(0~2) MPa	0.02 级
校验仪	(-30~30) mA	$\pm (0.01\% \times \text{示值} + 0.0015 \text{ mA})$

被检样品：

名称	测量范围	准确度等级/最大允许误差
压力变送器	(0~2) MPa	0.2 级 / $\pm 0.032 \text{ mA}$

E.1 压力变送器的测量模型为：

$$\Delta I = I - \left[\frac{I_m}{P_m} \cdot (P + \Delta P) + I_0 \right] \dots\dots\dots \text{(公式 D.3)}$$

式中： I_m ——压力变送器电流输出量程，16 mA；

P ——标准器输入压力值，MPa；

P_m ——压力变送器压力量程，2 MPa；

I_0 ——压力变送器输出电流起始值，4 mA。

E.2 校验仪电流测量引入的标准不确定度 $u_1(I)$

校验仪电流测量 20mA 测量档的最大允许示值误差为： $\pm (0.01\% \times \text{示值} + 0.0015 \text{ mA})$ ，压力变送器的输出电流的最大值为 20 mA，所以半宽度 $a = (0.01\% \times 20 + 0.0015) \text{ mA} = 0.0035 \text{ mA}$ 。在区间内可认为服从均匀分布，取 $k = \sqrt{3}$ ，故：

$$u_1(I) = \frac{a}{k} = 0.002 \text{ mA}$$

I 对测量模型输出量的灵敏系数： $c_1 = 1$

E.3 输入量 P 的标准不确定度 $u(P)$ 的评定

根据检定证书，数字压力计的测量范围为 (0~2) MPa，最大允许误差为 $\pm 0.02\% \text{FS}$ 。因此，2MPa 这点的最大允许误差为 $\Delta = \pm 0.02\% \times 2 = \pm (4 \times 10^{-4}) \text{ MPa}$ ，则 $a = 4 \times 10^{-4} \text{ MPa}$ ，服从均匀分布，取 $k = \sqrt{3}$ ，则其标准不确定度为：

$$u(P) = \frac{a}{k} = 2.3 \times 10^{-4} \text{ MPa}$$

P 对测量模型输出量的灵敏系数： $c_2 = -8 \text{ mA} \cdot \text{MPa}^{-1}$

表 E.1 标准不确定度一览表

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度	c_i	$c_i \times$ 标准不确定度
$u_1(I)$	校验仪	0.002 mA	1	0.002 mA
$u(P)$	数字压力计	2.3×10^{-4} MPa	$-8 \text{ mA} \cdot \text{MPa}^{-1}$	-0.0018 mA

标准器组的合成标准不确定度 u_c

输入量 I 和 P 的标准不确定度不相关, 根据不确定度传播定律, 其合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2(I) + c_2^2 u^2(P)} = 0.0027 \text{ mA}$$

标准器组的扩展不确定度 U

取包含因子 $k = 2$, 则其扩展不确定度为:

$$U = k \times u_c = 0.0054 \text{ mA}$$

$$U = 0.0054 \text{ mA} < |\pm 0.032 \text{ mA}/4| = 0.008 \text{ mA}$$

符合规程 7.1.1 的要求。

例2.

计量标准器:

名称	测量范围	准确度等级/最大允许误差
活塞式压力计	(0.1~6) MPa	0.01 级
数字多用表	20 mA 档	$\pm (0.0016\% \times \text{示值} + 0.0002\% \times 20 \text{ mA})$

被检样品:

名称	测量范围	准确度等级/最大允许误差
压力变送器	(0~4) MPa	0.05 级/ $\pm 0.008 \text{ mA}$

E.4 压力变送器的测量模型为:

$$\Delta I = I - \left[\frac{I_m}{P_m} \cdot (P + \Delta P) + I_0 \right] \cdots \cdots \cdots \text{(公式 D.3)}$$

式中: I_m ——压力变送器电流输出量程, 16 mA;

P ——标准器输入压力值, MPa;

P_m ——压力变送器压力量程, 4 MPa;

I_0 ——压力变送器输出电流起始值, 4 mA。

E.5 校验仪电流测量引入的标准不确定度 $u_1(I)$

校验仪电流测量 20mA 测量档的最大允许示值误差为: $\pm (0.0016\% \times \text{示值} + 0.0002\% \times 20 \text{ mA})$, 压力变送器的输出电流的最大值为 20 mA, 所以半宽度 $a = (0.0016\% \times$

$20+0.0002\%\times 20\text{mA}=0.0004\text{ mA}$ 。在区间内可认为服从均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$ ，故：

$$u_1(I) = \frac{a}{k} = 0.0002\text{ mA}$$

I 对测量模型输出量的灵敏系数： $c_1 = 1$

E.6 输入量 P 的标准不确定度 $u(P)$ 的评定

根据检定证书，活塞式压力计的测量范围为（0.1~6） MPa，最大允许误差为读数的 $\pm 0.02\%$ 。因此，2.0MPa 这点的最大允许误差为 $\Delta = \pm 0.02\% \times 2 = \pm (4 \times 10^{-4})\text{MPa}$ ，则 $a = 4 \times 10^{-4}\text{ MPa}$ ，服从均匀分布，取 $k = \sqrt{3}$ ，则其标准不确定度为：

$$u(P) = \frac{a}{k} = 2.3 \times 10^{-4}\text{ MPa}$$

P 对测量模型输出量的灵敏系数： $c_2 = -4\text{ mA} \cdot \text{MPa}^{-1}$

表 E.2 标准不确定度一览表

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度	c_i	$c_i \times$ 标准不确定度
$u_1(I)$	数字多用表	0.0002 mA	1	0.0002 mA
$u(P)$	活塞式压力计	$2.3 \times 10^{-4}\text{ MPa}$	$-4\text{ mA} \cdot \text{MPa}^{-1}$	-0.0010 mA

标准器组的合成标准不确定度 u_c

输入量 I 和 P 的标准不确定度不相关，根据不确定度传播定律，其合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2(I) + c_2^2 u^2(P)} = 0.0011\text{ mA}$$

标准器组的扩展不确定度 U

取包含因子 $k = 2$ ，则其扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c = 0.0022\text{ mA}$$

$$U = 0.0022\text{ mA} < |\pm 0.008\text{ mA}/3| = 0.0027\text{ mA}$$

符合规程 7.1.1 的要求。