



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 59—2022

液体活塞式压力计

Liquid-medium Piston Gauges

2022-09-26 发布

2023-03-26 实施

国家市场监督管理总局 发布

液体活塞式压力计检定规程

Verification Regulation of
Liquid-medium Piston Gauges

JJG 59—2022
代替 JJG 59—2007

归口单位：全国压力计量技术委员会

主要起草单位：中国计量科学研究院

上海市计量测试技术研究院

上海敏榆实业有限公司

江苏省计量科学研究院

参加起草单位：北京普茂科技发展有限公司

沈阳福润德仪器制造有限公司

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：

悦 进（中国计量科学研究院）
屠立猛（上海市计量测试技术研究院）
杨远超（中国计量科学研究院）
胡安伦（上海敏榆实业有限公司）
张 强（江苏省计量科学研究院）

参加起草人：

张鹏程（北京普茂科技发展有限公司）
马国新（沈阳福润德仪器制造有限公司）

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 准确度等级	(2)
5.2 活塞有效面积	(2)
5.3 活塞及其连接件质量和专用砝码质量	(2)
5.4 活塞垂直度	(3)
5.5 活塞转动延续时间	(3)
5.6 活塞下降速度	(3)
5.7 鉴别阈	(4)
5.8 密封性	(4)
5.9 活塞有效面积周期变化	(5)
6 通用技术要求	(5)
6.1 外观	(5)
6.2 活塞系统	(5)
6.3 承重盘和专用砝码	(5)
7 计量器具控制	(6)
7.1 检定项目	(6)
7.2 检定条件	(6)
7.3 检定方法	(8)
7.4 检定结果的处理	(13)
7.5 检定周期	(13)
附录 A 通过线性回归方法计算活塞有效面积 A_0 和压力形变系数 λ	(14)
附录 B 活塞有效面积检定的直接平衡法	(16)
附录 C 活塞式压力计检定记录格式	(19)
附录 D 检定证书/检定结果通知书内页信息及格式	(21)
附录 E 重力加速度	(24)
附录 F 常用活塞和活塞筒材料的线膨胀系数	(26)

引 言

JJF 1002《国家计量检定规程编写规则》、JJF 1001《通用计量术语及定义》、JJF 1008《压力计量名词术语及定义》和 JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规程修订工作的基础性系列规范，编写中参考了 GB/T 30432—2013《液体活塞式压力计》和 OIML R 110《压力天平》(Pressure Balance)。

与 JJG 59—2007《活塞式压力计》相比，除编辑性修改外主要技术变化如下：

- 增加名词术语，对活塞有效面积进行更详细的解释。
- 重新规定测量范围和准确度等级，相应地，对高压活塞压力计的最大允许误差分段规定。
- 以活塞有效面积的实验标准差和线性回归标准差来限定有效面积的检定结果。
- 对压力形变系数提出检定要求。
- 对专用砝码质量部分的描述进行了完善；调整了 0.01 级活塞压力计专用砝码质量的要求；对平衡用小砝码的要求做出了规定。
- 明确规定检定活塞转动延续时间时，应该使用与压力计实际使用情况一致的砝码，不能使用特制的砝码。
- 活塞下降速度的要求不区分“新制造”与“使用中”，作统一规定并进行相应调整。
- 将鉴别阈的检定更改为在起始平衡点进行，相应调整鉴别阈的允许值。
- 活塞有效面积的检定优先使用起始平衡法，给出了起始平衡法的计算公式，规定了起始平衡点；把直接平衡法作为附录供需要者使用。
- 活塞有效面积周期变化要求对被检压力计零压活塞有效面积 A_0 和测量范围上限的活塞有效面积 $A_{p, \max}$ 进行检查，放宽了周期变化的要求。
- 在附录中明确了对重力加速度实测的要求。

本规程的历次版本发布情况为：

- JJG 59—2007 活塞式压力计检定规程；
- JJG 59—1990 二、三等标准活塞式压力计检定规程；
- JJG 59—1978 二、三等标准活塞式压力计检定规程；
- JJG 129—1990 一等标准活塞式压力计检定规程；
- JJG 129—1976 一等标准活塞式压力计检定规程；
- JJG 727—1991 工作基准活塞式压力计试行检定规程。

液体活塞式压力计检定规程

1 范围

本规程适用于测量范围上限为 0.6 MPa 至 500 MPa（表压），工作介质为癸二酸二（2-乙基己基）酯或变压器油与航空煤油的混合油，活塞系统压力形变系数为常数的液体活塞式压力计（以下简称压力计）的首次检定、后续检定和使用中检查。

2 引用文件

本规程引用了下列文件：

JIG 99—2006 砝码

GB/T 30432—2013 液体活塞式压力计

OIML R 110 压力天平（Pressure Balance）

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 活塞有效面积 effective area of the piston-cylinder

在活塞式压力计正常工作的状态下，活塞所受竖直向下的力与活塞底部的压力之比。在压力量值复现或溯源时确定其量值。

注：在本规程和压力计量领域，压力指物理学中的压强。

在参考温度（20 °C）下，测量压力 p 下的活塞有效面积用 A_p 表示。

在参考温度（20 °C）下，活塞有效面积在零压力下的极限称为零压活塞有效面积，用 A_0 表示。

3.1.2 压力形变系数 pressure distortion coefficient

活塞有效面积 A_p 随测量压力 p 线性变化的参数，即单位压力变化对应的 A_p 的相对变化量，用 λ 表示，其单位通常为 MPa^{-1} 或 Pa^{-1} 。

3.2 计量单位

压力计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

压力计是利用流体静力学力平衡原理（活塞及其连接件和专用砝码加载在活塞有效面积上的重力与测量压力作用在活塞下端面产生的力相平衡）进行压力测量和量值传递的计量器具，一般由活塞系统、专用砝码、压力校验器组成。

压力计测量范围下限和测量范围上限通常由制造厂注明，测量范围上限一般在 0.6 MPa，

6 MPa, 25 MPa, 60 MPa, 100 MPa, 160 MPa, 250 MPa 和 500 MPa 中选取。

5 计量性能要求

5.1 准确度等级

各压力计的准确度等级和压力最大允许误差由表 1 规定。

表 1 各准确度等级的压力最大允许误差

测量范围上限 MPa	测量范围 MPa	各准确度等级的压力最大允许误差			
		0.005 级	0.01 级	0.02 级	0.05 级
0.6	$0.06 \leq p \leq 0.6$	$\pm 0.005\%$	$\pm 0.01\%$	$\pm 0.02\%$	$\pm 0.05\%$
6	$0.1 \leq p \leq 6$	$\pm 0.005\%$	$\pm 0.01\%$	$\pm 0.02\%$	$\pm 0.05\%$
25	$0.5 \leq p \leq 25$	$\pm 0.005\%$	$\pm 0.01\%$	$\pm 0.02\%$	$\pm 0.05\%$
60	$1 \leq p \leq 60$	$\pm 0.005\%$	$\pm 0.01\%$	$\pm 0.02\%$	$\pm 0.05\%$
100	$1 \leq p \leq 100$	$\pm 0.005\%$	$\pm 0.01\%$	$\pm 0.02\%$	$\pm 0.05\%$
160	$2 \leq p \leq 160$	$\pm 0.005\%$	$\pm 0.01\%$	$\pm 0.02\%$	$\pm 0.05\%$
250	$5 \leq p \leq 160$	$\pm 0.005\%$	$\pm 0.01\%$	$\pm 0.02\%$	$\pm 0.05\%$
	$160 < p \leq 250$	$\pm 0.008\%$			
500	$5 \leq p \leq 300$	—	$\pm 0.01\%$	$\pm 0.02\%$	$\pm 0.05\%$
	$300 < p \leq 500$	—	$\pm 0.015\%$		

注：

- 1 测量范围上限为 500 MPa 的压力计，最高准确度等级为 0.01 级。
- 2 压力计的测量范围下限可高于表 1 列出的测量范围下限，以制造厂声称值为准。
- 3 测量范围上限与表 1 不符的，各检定项目按最接近的规格相应的要求检定。

5.2 活塞有效面积

测量范围上限为 0.6 MPa 和 6 MPa 的压力计，活塞有效面积的实验标准差应符合表 2 的规定。

测量范围上限为 25 MPa 及以上的压力计，活塞有效面积的线性回归标准差应符合表 2 的规定。

表 2 活塞有效面积的实验标准差或线性回归标准差

准确度等级	实验标准差或线性回归标准差
0.005 级	$\leq 0.001\%$
0.01 级	$\leq 0.002\%$
0.02 级	$\leq 0.004\%$
0.05 级	$\leq 0.01\%$

5.3 活塞及其连接件质量和专用砝码质量

压力计的活塞及其连接件质量和专用砝码质量的误差应符合表 3 的规定。

表 3 活塞及其连接件质量和专用砝码质量的最大允许误差

准确度等级	最大允许误差
0.005 级	$\pm 0.001\%$
0.01 级	$\pm 0.002\%$
0.02 级	$\pm 0.008\%$
0.05 级	$\pm 0.02\%$

5.4 活塞垂直度

压力计的活塞承重盘平面对活塞轴线垂直度应符合表 4 的规定。

表 4 活塞垂直度

准确度等级	垂直度
0.005 级	$\leq 2'$
0.01 级	$\leq 2'$
0.02 级	$\leq 2'$
0.05 级	$\leq 5'$

5.5 活塞转动延续时间

测量范围内，压力计的活塞转动延续时间应符合表 5 的规定。

表 5 活塞转动延续时间

测量范围上限 MPa	测量范围下限的专用 砝码外径/mm	活塞转动延续时间			
		0.005 级	0.01 级	0.02 级	0.05 级
0.6	≤ 140	≥ 50 s	≥ 40 s	≥ 30 s	≥ 25 s
6	≤ 230	≥ 3 min	≥ 2 min 30 s	≥ 2 min	≥ 1 min
25	≤ 230	≥ 3 min 30 s	≥ 3 min	≥ 2 min 30 s	≥ 1 min 30 s
60, 100, 160	≤ 260	≥ 4 min	≥ 3 min 30 s	≥ 2 min 30 s	≥ 2 min
250	≤ 290	≥ 6 min	≥ 5 min	≥ 4 min	≥ 3 min
500	≤ 290	—	≥ 5 min	≥ 4 min	≥ 3 min

5.6 活塞下降速度

压力计的活塞下降速度应符合表 6 的规定。

表 6 活塞下降速度

测量范围上限 MPa	活塞下降速度/ (mm/min)			
	0.005 级	0.01 级	0.02 级	0.05 级
0.6	≤ 0.15	≤ 0.2	≤ 0.3	≤ 0.8
6	≤ 0.2	≤ 0.2	≤ 0.3	≤ 0.5

表 6 (续)

测量范围上限 MPa	活塞下降速度/ (mm/min)			
	0.005 级	0.01 级	0.02 级	0.05 级
25	≤0.2	≤0.2	≤0.5	≤0.5
60, 100	≤0.4	≤0.4	≤0.8	≤1.0
160	≤0.4	≤0.5	≤1.0	≤1.0
250	≤0.5	≤0.6	≤1.0	≤1.5
500	—	≤1.0	≤1.2	≤1.5

5.7 鉴别阈

压力计的鉴别阈应不超过表 7 的规定，压力计的有效面积名义值与表 7 不同的，根据公式 (1) 计算其鉴别阈的最大允许值。

表 7 鉴别阈

测量范围上限 MPa	有效面积名义值 cm ²	鉴别阈的最大允许值/ mg			
		0.005 级	0.01 级	0.02 级	0.05 级
0.6	1	20	20	50	80
6	0.5	25	40	50	100
25	0.2	20	50	80	100
60, 100	0.1	50	80	100	200
160	0.05	50	80	100	200
250	0.02	50	80	100	200
500	0.02	—	100	150	300

$$\delta = \frac{A_{\text{nom}}}{A'_{\text{nom}}} \times \delta' \quad (1)$$

式中：

δ ——被检压力计的鉴别阈，mg；

δ' ——表 7 列出的相应压力计的鉴别阈，mg；

A_{nom} ——被检压力计的活塞有效面积名义值，cm²；

A'_{nom} ——表 7 列出的相应压力计的活塞有效面积名义值，cm²。

5.8 密封性

压力计校验器密封性应符合表 8 的规定。

表 8 校验器密封性

单位：MPa

测量范围上限	试验压力	后 5 min 压力下降值			
		0.005 级	0.01 级	0.02 级	0.05 级
0.6	1	≤0.02	≤0.02	≤0.025	≤0.05
6	10	≤0.2	≤0.2	≤0.25	≤0.5
25	30	≤0.3	≤0.3	≤0.5	≤1.0
60	80	≤0.5	≤0.75	≤1.25	≤2.0
100	130	≤1.0	≤1.5	≤2.0	≤3.0
160	200	≤2.0	≤2.5	≤3.0	≤5.0
250	300	≤3.0	≤4.0	≤5.0	≤10.0
500	500	——	≤5.0	≤8.0	≤12.0

5.9 活塞有效面积周期变化

后续检定压力计的活塞有效面积周期变化应符合表 9 的规定。

表 9 活塞有效面积周期变化

准确度等级	活塞有效面积周期变化
0.005 级	≤0.004%
0.01 级	≤0.008%
0.02 级	≤0.012%
0.05 级	≤0.03%

6 通用技术要求

6.1 外观

6.1.1 压力计校验器的铭牌上应标有产品名称、型号、仪器编号、测量范围、准确度等级、制造商名称和出厂日期等标记。

6.1.2 用电机带动活塞转动的压力计通电后，转动部件的转动应平稳，不能对压力输出产生干扰。

6.2 活塞系统

活塞或其连接件与活塞筒上均应标有唯一性编号及能指示活塞系统安装方向的标记。活塞和活塞筒的工作表面应光滑无锈点，不应有影响计量性能的锈蚀或划痕。活塞系统转动应灵活，活塞能自由地在活塞筒内移动，不得有卡滞现象。

6.3 承重盘和专用砝码

6.3.1 承重盘和专用砝码上应标有产品编号、标称压力值或标称质量值，标称值相同的专用砝码上还应标有顺序编号。

6.3.2 压力计的承重盘和专用砝码，其表面应完好，有耐磨防锈层的砝码不得有锈点，同时应光滑无损伤。

6.3.3 压力计各块专用砝码的凹凸面必须能正确配合，不得过松或过紧，并能保持同心，取、放自如。同一标称值的砝码应具有相同的形状和尺寸。

6.3.4 如果承重盘或专用砝码上有调整腔，调整塞的上表面不得高于砝码或承重盘的表面。

6.3.5 准确度等级在 0.02 级及以上的压力计专用砝码应使用无磁金属材料。

6.3.6 新制造的压力计、活塞及其连接件（和/或承重盘）的平均密度、每块专用砝码的密度应由制造厂在出厂证书中给出。

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 检定项目

压力计的检定项目见表 10。

表 10 检定项目

检定项目	首次检定	后续检定	使用中检查
外观	+	+	—
活塞系统	+	+	+
承重盘和专用砝码	+	+	+
活塞有效面积	+	+	—
活塞及其连接件质量和专用砝码质量	+	+	—
活塞垂直度	+	+	+
活塞转动延续时间	+	+	+
活塞下降速度	+	+	+
鉴别阈	+	+	—
密封性	+	—	—
活塞有效面积周期变化	—	+	—

注：表中“+”表示应检定，“—”表示可不检定。

7.2 检定条件

7.2.1 检定设备

7.2.1.1 检定用主标准器

0.005 级的压力计由国家压力基准检定。

0.01 级和 0.02 级的压力计由 0.005 级压力计检定，0.05 级的压力计由 0.02 级或更高等级的压力计检定。可选用主标准器的测量范围上限应符合表 11 的要求，优先选用测量范围上限与被检压力计相同的压力计作为标准器。

表 11 0.01 级及以下等级压力计检定可选用的主标准器的测量范围上限

被检压力计测量范围上限/MPa	标准压力计测量范围上限/MPa
0.6	0.6
6	6
25	25 或 60
60	60 或 100
100	100, 60 或 160
160	160, 100 或 250
250	250, 160 或 500
500	500 或 250

7.2.1.2 检定用配套设备

检定用配套设备见表 12。

表 12 检定用配套设备

序号	仪器设备名称	技术要求	用途
1	天平或质量比较仪	符合 JJG 98、JJG 1036 或 JJF 1326 相应要求	专用砝码质量、活塞及其连接件质量的称量
2	标准砝码	符合 JJG 99 准确度等级要求	专用砝码质量、活塞及其连接件质量的称量
3	砝码*	F ₁ 等级、F ₂ 等级或 M ₁ 等级克组、毫克组	检定活塞有效面积、鉴别阈等
4	水平仪*	分度值介于 (0.10~0.50) mm/m	活塞垂直度检定
5	百分表(千分表)或位移传感器*	量程不小于 5mm	活塞下降速度检定
6	计时器*	分度值不大于 0.2 s	活塞转动延续时间检定和活塞下降速度检定
7	数字压力计或精密压力表*	根据情况选取适当准确度等级和测量范围上限	密封性检定
8	活塞位置指示装置*	位置指示, 分辨力优于 0.1mm	观察活塞平衡
9	可用于高度差测量的计量器具*	视情况定, 分辨力应优于 0.1mm	测量活塞参考平面高度差

表 12 (续)

序号	仪器设备名称	技术要求	用途
10	差压指示仪或 数字压力计	按照测量压力选择合适的测量 范围和分辨力	活塞平衡实验中用于辅助判断
注：* 为必备设备。			

7.2.2 工作介质

测量范围上限为 25 MPa 及以上的压力计使用癸二酸二(2-乙基己基)酯，测量范围上限为 0.6 MPa 和 6 MPa 的压力计，使用变压器油与航空煤油的混合油，其运动黏度应符合表 13 的规定。工作介质性能指标见表 13。

表 13 工作介质及性能指标

工作介质	工作介质运动黏度 (20 °C, 大气压) mm ² /s	备注
变压器油与航空 煤油的混合油	9~12	混合后的工作介质需实测黏度和密度
癸二酸二 (2-乙基己基)酯	20~25	英文名称: Di (2-ethylhexyl) sebacate 分子式: C ₂₆ H ₅₀ O ₄ ; CAS 编号: 122-62-3

7.2.3 环境条件

7.2.3.1 温度

检定前，压力计须在检定环境条件下放置 2 h 以上。

在进行压力计的有效面积检定时，检定过程中的温度应符合表 14 的规定。

表 14 温度要求

准确度等级	环境温度
0.005 级	(20±0.5)°C
0.01 级	(20±0.5)°C
0.02 级	(20±1)°C
0.05 级	(20±2)°C

进行其他项目的检定时，环境温度应满足 (20±2)°C。

7.2.3.2 湿度

实验室的相对湿度应不超过 80%。

7.2.3.3 其他条件

检定时应无影响计量性能的机械振动、气流和磁场。

7.3 检定方法

7.3.1 外观检查

按 6.1 要求通过手感、目测或通电进行检查。

7.3.2 活塞系统检查

用航空汽油或溶剂汽油等溶剂将压力计的活塞和活塞筒清洗干净，放置 10 min，待表面溶剂挥发完后，按 6.2 要求通过手感和目测进行检查。

7.3.3 承重盘和专用砝码检查

按 6.3 要求通过手感、目测检查。

7.3.4 活塞垂直度检定

把活塞筒安装在压力计校验器上，用校验器造压将工作介质引入连接导管及活塞筒内，直到工作介质从活塞筒溢出且无气泡排出时，将表面沾满工作介质的活塞杆放入活塞筒内，安装完毕后，加压使活塞上升到工作位置。

把水平仪放在压力计承重盘的中心处，调节校验器或压力计底座上的调整螺钉，使水平仪气泡处于中间位置，然后把水平仪转动 90° （承重盘不动）。用同样方法调整，使气泡处于中间位置。这样反复进行调整，直至水平仪放在这两个位置上时，气泡均处于中间位置。

将水平仪分别放在 0° 、 90° 位置上（ 0° 为第一次放置的任意位置），在每一个位置均将承重盘转动 90° 、 180° ，读取水平仪气泡对中间位置的偏离值，取两次偏离值中的最大值作为活塞垂直度。

7.3.5 活塞转动延续时间检定

在制造厂注明的测量范围下限压力检定。

在活塞上加放能产生相应压力的专用砝码，该砝码应与实际使用情况一致，不能使用特制的砝码进行转动延续时间的检定。用校验器造压使活塞处于工作位置，顺时针方向转动活塞，测试活塞转速，若活塞 10 s 的转动为 (20 ± 1) r（在不影响活塞转动延续时间合格判定的情况下，可降低此转动速度），则继续计时进行活塞转动延续时间的检定。活塞自开始转动至完全停止的时间间隔为活塞转动延续时间。活塞转动延续时间检定 3 次，取其平均值。

7.3.6 活塞下降速度检定

先排除校验器管道及活塞筒内的空气，在活塞上加放能产生测量范围上限压力的专用砝码，用校验器造压使活塞处于工作位置，在专用砝码中心处放置百分表（千分表），使表的触头垂直于专用砝码水平面且升高（3~5）mm，或使用经过校准的位移传感器测量活塞工作位置，然后约以 30 r/min 的转动速度使活塞顺时针方向自由转动，保持至少 3 min，若此期间活塞已经偏离工作位置，可再次调节压力使活塞保持在工作位置，直到压力计的压力稳定后，关闭通向活塞的阀门，再观察百分表（千分表）指针移动距离或位移传感器数值的变化，同时用计时器测量时间，每次测量时间不少于 1 min，记录 1 min 的活塞下降距离，检定 3 次，取其最大值。

7.3.7 密封性检定

将工作介质充满校验器内腔和各导管，排除内部的气体，在校验器的一个测试端上连接数字压力计或精密压力表，关闭通向活塞及其他接口的阀门，用校验器加压至 5.8 规定的试验压力，进行 15 min 的密封性试验，从第 11 min 开始，记录后 5 min 的压力下降值。再以同样的方法在其余测试端进行密封性检定。

7.3.8 活塞有效面积检定

检定压力计的活塞有效面积，一般采用起始平衡法。

将被检压力计活塞系统和标准压力计活塞系统安装在同一校验器上（或者将标准压力计与被检压力计通过管路连接起来），通过调整使活塞垂直。

首先确定起始平衡点，起始平衡点压力值 p_0 根据检定的压力上限，按表 15 选取。

表 15 起始平衡点

检定上限/MPa	0.6	6	25	60	100	160	250	500
起始平衡点压力/MPa	0.3	1	2	10	10	20	25	50

在标准活塞与被检活塞上加放相应数量的砝码，用校验器加压使标准与被检活塞升至工作位置。在检定过程中，两压力计的活塞均保持各自的工作位置，以约 30 r/min 的旋转速度使两活塞按顺时针方向转动，若两活塞不平衡，则在上升活塞上加放相应的小砝码，直至两活塞平衡为止。

确定两活塞是否平衡，应观察其是否分别以当前测量点自身应有的下降速度下降或使用差压指示仪或数字压力计来辅助判断平衡。

确定两活塞平衡后，记录当前压力值、活塞温度、两活塞上加放的砝码质量等信息，完成起始平衡点的检定。起始平衡后，活塞上加放的所有砝码作为起始平衡质量，必须保持不变。然后以同样的方法，均匀的升压、降压进行其他检定点正反行程的检定。

检定点压力为 p_1, p_2, \dots, p_n ，其中 n 为单行程压力点的数目， n 应不小于 5，压力点应在检定范围内基本均匀分布。

被检压力计的测量范围上限大于标准压力计测量范围上限时，只检定至标准压力计的测量范围上限。

7.3.8.1 不需要实测压力形变系数的压力计的活塞有效面积计算

对于测量范围上限为 0.6 MPa 和 6 MPa 的压力计， $A_p = A_0$ ，不需要实测压力形变系数。

其单个检定点的活塞有效面积按公式 (2) 计算：

$$A_{i,0} = A_{s,0} \cdot \frac{m_i \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_i}\right) \cdot [1 + (\alpha_{s,p} + \alpha_{s,c})(t_s - t_r)]}{m_{s,i} \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{s,i}}\right) \cdot [1 + (\alpha_p + \alpha_c)(t - t_r)]} \cdot \left\{ 1 + \frac{p_0}{\Delta p} [(\alpha_{s,p} + \alpha_{s,c})(t_s - t_{s,0}) - (\alpha_p + \alpha_c)(t - t_0)] \right\} \quad (2)$$

式中：

$A_{i,0}$ —— 在第 i 个检定点被检压力计的零压活塞有效面积， m^2 ；

$A_{s,0}$ —— 标准压力计的零压活塞有效面积， m^2 ；

$m_{s,i}, m_i$ —— 起始平衡点后，标准压力计和被检压力计第 i 个检定点相对于起始平衡点增加的砝码质量，kg；

$\rho_{s,i}, \rho_i$ —— 分别对应 $m_{s,i}, m_i$ 的密度， kg/m^3 ；

- $\alpha_{s,p}, \alpha_{s,c}$ ——标准压力计活塞杆和活塞筒材料的线膨胀系数, $^{\circ}\text{C}^{-1}$;
 α_p, α_c ——被检压力计活塞杆和活塞筒材料的线膨胀系数, $^{\circ}\text{C}^{-1}$;
 t_s, t ——标准压力计和被检压力计活塞系统的温度, $^{\circ}\text{C}$;
 t_r ——约定温度, 20°C ;
 $t_{s,0}, t_0$ ——标准压力计和被检压力计起始平衡点的活塞系统温度, $^{\circ}\text{C}$;
 p_i ——在第 i 个检定点的压力名义值, Pa;
 p_0 ——起始平衡点压力, Pa;
 Δp ——起始平衡点以后的检定点与起始平衡点压力差, Pa;
 ρ_a ——压力计周围空气的密度, kg/m^3 。

如果使用简化方法计算被检压力计的活塞有效面积, 则需要在各点检定完后对起始平衡点进行复测, 检定前后起始平衡质量之差没有超过相当于该点压力最大允许误差绝对值的 10% 的小砝码质量时, 则可以使用公式 (3) 计算被检压力计的活塞有效面积, 否则应使用公式 (2) 计算。

$$A_{i,0} = A_{s,0} \times \frac{m_i}{m_{s,i}} \quad (3)$$

活塞有效面积平均值按公式 (4) 计算:

$$A_0 = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (A_{i+,0} + A_{i-,0}) \quad (4)$$

式中, $A_{i+,0}$ 和 $A_{i-,0}$ 分别表示被检压力计在第 i 个检定点正行程和反行程的活塞有效面积。

有效面积的实验标准差 s_A 按公式 (5) 计算:

$$s_A = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n [(A_{i+,0} - A_0)^2 + (A_{i-,0} - A_0)^2]}{2n - 1} \right\}^{1/2} \quad (5)$$

s_A/A_0 应符合 5.2 的规定。

7.3.8.2 需要实测压力形变系数的压力计的活塞有效面积和压力形变系数计算

测量范围上限为 25 MPa 及以上的压力计, $A_p = A_0(1 + \lambda p)$, 应在有效面积检定后计算被检压力计的压力形变系数。

公式 (2) 和公式 (3) 分别转变为公式 (6) 和公式 (7), 用于计算单个检定点的活塞有效面积。

$$A_{i, p_i+p_0} = A_{s,0} \cdot \frac{m_i \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_i}\right) \cdot [1 + (\alpha_{s,p} + \alpha_{s,c})(t_s - t_r)] \cdot [1 + \lambda_s(p_i + p_0)]}{m_{s,i} \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{s,i}}\right) \cdot [1 + (\alpha_p + \alpha_c)(t - t_r)]} \cdot \left\{ 1 + \frac{p_0}{\Delta p} [(\alpha_{s,p} + \alpha_{s,c})(t_s - t_{s,0}) - (\alpha_p + \alpha_c)(t - t_0)] \right\} \quad (6)$$

$$A_{i, p_i+p_0} = A_{s,0} \times \frac{m_i [1 + \lambda_s(p_i + p_0)]}{m_{s,i}} \quad (7)$$

式中：

λ_s ——标准压力计活塞系统的压力形变系数， Pa^{-1} 。

首先计算出各检定点的活塞有效面积 A_{i, p_i+p_0} ，根据线性形变的模型 [公式 (8)]，采用最小二乘法将 A_{i, p_i+p_0} 对 $(p_i + p_0)$ 进行线性回归，计算被检压力计零压活塞有效面积 A_0 和压力形变系数 λ 以及相应的线性回归标准差。 A_0 的线性回归标准差的相对值应符合 5.2 的规定，计算方法见附录 A。

$$A_{i, p_i+p_0} = A_0 \cdot [1 + \lambda(p_i + p_0)] \quad (8)$$

注：可采用 Excel 或类似软件中的函数，对 A_{i, p_i+p_0} 和 $(p_i + p_0)$ 进行线性回归，所得截距即为零压活塞有效面积 A_0 ，斜率为 A_0 与形变系数 λ 的乘积，从而可得到 λ 。相应地，也可计算出 A_0 的线性回归标准差。

7.3.9 鉴别阈检定

鉴别阈检定在检定活塞有效面积过程中，起始平衡点进行。当压力平衡后，在被检压力计上加放能破坏两活塞平衡的最小砝码，该砝码质量值为该压力计的鉴别阈。

7.3.10 活塞及其连接件质量和专用砝码质量检定

质量的检定，参照 JJG 99《砝码》进行。

压力计专用砝码、活塞及其连接件的质量可按质量标称值或压力标称值配置。

对于测量范围上限为 0.6 MPa 和 6 MPa 的压力计，若配置标称压力值的专用砝码，则专用砝码、活塞及其连接件质量按公式 (9) 计算：

$$m = p \times A_0 \times \frac{1}{g} \times \left(1 + \frac{\rho_a}{\rho_m}\right) \quad (9)$$

式中：

m ——专用砝码质量、活塞及其连接件质量（真空质量），kg；

p ——被测量压力值，Pa；

A_0 ——被检压力计零压活塞有效面积， m^2 ；

ρ_a ——压力计周围空气的密度， kg/m^3 ；

ρ_m ——专用砝码、活塞及其连接件材料密度， kg/m^3 ；

g ——压力计使用地点的重力加速度， m/s^2 。

测量范围上限为 25 MPa 及以上的压力计，若配套的专用砝码是标称压力值的，则按顺序号使用的大砝码质量按公式 (10) 计算，活塞及其连接零件和未按顺序使用的砝码质量按公式 (9) 计算。

$$m_j = \frac{A_0 \cdot p_j}{g} \cdot \left(1 + \frac{\rho_a}{\rho_m}\right) \cdot [1 + (2j - 1) \cdot \lambda \cdot p_j] \quad (10)$$

式中：

m_j ——按次序加载的第 j 块砝码的质量（真空质量），kg；

p_j ——加载第 j 块砝码产生的名义压力值，Pa；

A_0 ——被检压力计零压活塞有效面积， m^2 ；

g ——压力计使用地点的重力加速度， m/s^2 ；

ρ_a ——压力计周围空气的密度， kg/m^3 ；

- ρ_m ——砝码材料的密度， kg/m^3 ；
 λ ——活塞系统的压力变形系数， Pa^{-1} ；
 j ——主砝码编号。

注：公式（10）的适用条件为：按顺序号使用的大砝码只包含单一压力规格。

检定时须明确砝码的真空中质量与约定质量，如果无法得到专用砝码（包括活塞及连接件）的密度和真空中质量，公式（2）、公式（3）、公式（6）、公式（7）、公式（9）、公式（10）中的质量和密度可分别用约定质量和约定密度“ $8\,000\text{ kg}/\text{m}^3$ ”代替。

注：约定质量以前也称折算质量。约定质量的定义：一物体在约定温度和约定密度的空气中，与一约定密度的标准器达到平衡，则标准器的质量即该物体的约定质量。约定温度（ t_{ref} ）为 $20\text{ }^\circ\text{C}$ ；约定的空气密度（ ρ_0 ）为 $1.2\text{ kg}/\text{m}^3$ ；砝码约定质量的约定密度（ ρ_{ref} ）为 $8\,000\text{ kg}/\text{m}^3$ 。约定质量 m_c 与真空中质量 m 的关系见公式（11）：

$$m = \frac{0.999\,85}{\left(1 - \frac{\rho_0}{\rho_m}\right)} m_c \quad (11)$$

7.3.11 活塞有效面积周期变化的计算

活塞有效面积周期变化是检定得到的活塞有效面积值与上一个周期检定得到的活塞有效面积值的差值的绝对值与上一个周期活塞有效面积值比值的百分数。应分别计算被检压力计零压活塞有效面积 A_0 和测量范围上限活塞有效面积 $A_{p,\text{max}}$ 的周期变化，见公式（12）和（13）：

$$\Delta A_0 = \frac{|A_0 - A'_0|}{A'_0} \times 100\% \quad (12)$$

式中：

- ΔA_0 ——被检压力计零压活塞有效面积周期变化；
 A_0 ——本次检定被检压力计零压活塞有效面积， m^2 ；
 A'_0 ——上一周期被检压力计零压活塞有效面积， m^2 。

$$\Delta A_{p,\text{max}} = \frac{|A_{p,\text{max}} - A'_{p,\text{max}}|}{A'_{p,\text{max}}} \times 100\% \quad (13)$$

式中：

- $\Delta A_{p,\text{max}}$ ——被检压力计测量范围上限活塞有效面积周期变化；
 $A_{p,\text{max}}$ ——本次检定被检压力计测量范围上限的活塞有效面积， m^2 ；
 $A'_{p,\text{max}}$ ——上一周期被检压力计测量范围上限的活塞有效面积， m^2 。

7.4 检定结果的处理

检定合格的压力计，出具检定证书；检定不合格的压力计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

压力计首次检定的检定周期为 1 年，后续检定的检定周期不超过 2 年。

附录 A

通过线性回归方法计算活塞有效面积 A_0 和压力形变系数 λ

将 A_{i, p_i+p_0} 和 $(p_i + p_0)$ 按照线性模型进行回归计算：

$$y = a + bx$$

模型的变量输入为：

$$x_{i\pm} = p_i + p_0$$

$$y_{i\pm} = A_{i\pm, p_i+p_0}$$

其中： $i=1, 2, \dots, n$ ， n 为单行程测量点的数目， x_{i+} 和 y_{i+} 是正行程的变量， x_{i-} 和 y_{i-} 是反行程的变量。最小二乘法线性回归得到的 a ， b 及它们的线性回归标准差和相关系数为：

$$a = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (y_{i+} + y_{i-}) \right] \left[\sum_{i=1}^n (x_{i+}^2 + x_{i-}^2) \right] - \left[\sum_{i=1}^n (x_{i+} y_{i+} + x_{i-} y_{i-}) \right] \left[\sum_{i=1}^n (x_{i+} + x_{i-}) \right]}{2n \left[\sum_{i=1}^n (x_{i+}^2 + x_{i-}^2) \right] - \left[\sum_{i=1}^n (x_{i+} + x_{i-}) \right]^2}$$

$$b = \frac{2n \left[\sum_{i=1}^n (x_{i+} y_{i+} + x_{i-} y_{i-}) \right] - \left[\sum_{i=1}^n (x_{i+} + x_{i-}) \right] \left[\sum_{i=1}^n (y_{i+} + y_{i-}) \right]}{2n \left[\sum_{i=1}^n (x_{i+}^2 + x_{i-}^2) \right] - \left[\sum_{i=1}^n (x_{i+} + x_{i-}) \right]^2}$$

$$s(a) = s \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{i+}^2 + x_{i-}^2)}{2n \left[\sum_{i=1}^n (x_{i+}^2 + x_{i-}^2) \right] - \left[\sum_{i=1}^n (x_{i+} + x_{i-}) \right]^2}}$$

$$s(b) = s \cdot \sqrt{\frac{2n}{2n \left[\sum_{i=1}^n (x_{i+}^2 + x_{i-}^2) \right] - \left[\sum_{i=1}^n (x_{i+} + x_{i-}) \right]^2}}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \{ [y_{i+} - (a + bx_{i+})]^2 + [y_{i-} - (a + bx_{i-})]^2 \}}{2n - 2}}$$

$$r(a, b) = - \frac{\sum_{i=1}^n (x_{i+} + x_{i-})}{\sqrt{2n \sum_{i=1}^n (x_{i+}^2 + x_{i-}^2)}}$$

上述结果也可通过 Excel 的内置函数 Linest 求得。

因此，活塞有效面积 A_0 和压力形变系数 λ 的结果为：

$$A_0 = a$$

$$\lambda = \frac{b}{a}$$

它们的线性回归标准差为：

$$s(A_0) = s(a)$$

$$s(\lambda) = s\left(\frac{b}{a}\right) \cong \frac{s(b)}{a}$$

附录 B

活塞有效面积检定的直接平衡法

首先，确定标准压力计与被检压力计的活塞及其连接件质量 m_s 、 m ，然后测出两压力计参考平面的高度差 H ，再开始进行第一个平衡点的检定，第一个平衡点压力值一般为压力计测量范围上限的 10%~20%，分别在两压力计活塞上加放相应的专用砝码，用校验器加压使标准与被检活塞升至工作位置。在检定过程中，两压力计的活塞均保持各自的工作位置，以约 30 r/min 的旋转速度使两活塞按顺时针方向转动，若两活塞不平衡，则在上升活塞上加放相应的小砝码，直至两活塞平衡为止。

确定两活塞是否平衡，应观察其是否分别以当前测量点自身应有的下降速度下降或使用差压指示仪或数字压力计来辅助判断平衡。

确定两活塞平衡后，记录当前压力值、活塞温度、两活塞上加放的砝码质量等信息，完成一个检定点的检定。然后以同样的方法，均匀的升压、降压进行其他检定点的检定，检定点一般不少于 5 点，且尽量在检定范围内均匀分布。在每一检定点进行升压、降压检定时，各读取一次数值。被检压力计的测量范围上限大于标准压力计测量范围上限时，只检定至标准压力计的测量范围上限。

B.1 不需要实测压力形变系数的压力计的活塞有效面积计算

对于测量范围上限为 0.6 MPa 和 6 MPa 的压力计， $A_p = A_0$ ，不需要实测压力形变系数。

其单个检定点的活塞有效面积用公式 (B.1) 计算：

$$A_{i,0} = A_{s,0} \cdot \frac{\left\{ \sum_j m_j \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_j} \right) + \frac{\gamma \cdot C}{g} \right\}_i \cdot [1 + (\alpha_{s,p} + \alpha_{s,c})(t_s - t_r)]}{\left\{ \sum_j m_{s,j} \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{s,j}} \right) + [\rho_F(p_i) - \rho_a] AH + \frac{\gamma \cdot C_s}{g} \right\}_i \cdot [1 + (\alpha_p + \alpha_c)(t - t_r)]} \quad (\text{B.1})$$

式中：

$A_{i,0}$ —— 在第 i 个检定点被检压力计的零压活塞有效面积， m^2 ；

$A_{s,0}$ —— 标准压力计的零压活塞有效面积， m^2 ；

$m_{s,j}$ 、 m_j —— 第 j 个检定点标准压力计和被检压力计所加砝码（含活塞和承重盘）的质量， kg ；

$\rho_{s,j}$ 、 ρ_j —— 分别对应 $m_{s,j}$ 、 m_j 的密度， kg/m^3 ；

$\alpha_{s,p}$ 、 $\alpha_{s,c}$ —— 标准压力计活塞杆和活塞筒材料的线膨胀系数， $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ；

α_p 、 α_c —— 被检压力计活塞杆和活塞筒材料的线膨胀系数， $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ；

t_s 、 t —— 标准压力计和被检压力计活塞系统的温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

t_r —— 约定温度， 20°C ；

p_i —— 在第 i 个检定点的压力名义值， Pa ；

$\rho_F(p_i)$ —— 工作介质在当前测量压力下的密度， kg/m^3 ；

- ρ_a ——压力计周围空气的密度, kg/m^3 ;
 H ——标准压力计和被检压力计的参考平面高度差 (标准压力计高时取正值), m ;
 γ ——工作介质的表面张力系数, N/m ;
 C_s, C ——标准压力计和被检压力计的活塞圆周长, m 。

注:

1 0.01级及以下的压力计可省略液体表面张力项和空气浮力修正项, 省略后公式 (B.1) 变为公式 (B.2):

$$A_{i,0} = A_{s,0} \cdot \frac{(\sum_j m_j)_i \cdot [1 + \alpha_s(t_s - t_r)]}{\left\{ \sum_j m_{s,j} + [\rho_F(p_i) - \rho_a] AH \right\}_i \cdot [1 + \alpha(t - t_r)]} \quad (\text{B.2})$$

2 被检压力计与标准压力计的活塞系统材料基本相同时可省略温度修正项; 通过上述的简化后, 公式 (B.1) 变为公式 (B.3):

$$A_{i,0} = A_{s,0} \cdot \frac{(\sum_j m_j)_i}{\left\{ \sum_j m_{s,j} + [\rho_F(p_i) - \rho_a] AH \right\}_i} \quad (\text{B.3})$$

活塞有效面积平均值按公式 (B.4) 计算:

$$A_0 = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (A_{i+,0} + A_{i-,0}) \quad (\text{B.4})$$

公式 (B.4) 中, $A_{i+,0}$ 和 $A_{i-,0}$ 分别表示被检压力计在第 i 个检定点正行程和反行程的活塞有效面积。

有效面积的实验标准差 s_A 按公式 (B.5) 计算:

$$s_A = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n [(A_{i+,0} - A_0)^2 + (A_{i-,0} - A_0)^2]}{2n - 1} \right\}^{1/2} \quad (\text{B.5})$$

s_A/A_0 应符合 5.2 的规定。

B.2 需要实测压力形变系数的压力计的活塞有效面积计算

测量范围上限为 25 MPa 及以上的压力计, $A_p = A_0(1 + \lambda p)$, 应在有效面积检定后计算被检压力计的压力形变系数。

公式 (B.1) 转变为公式 (B.6)。

$$A_{i,p_i} = A_{s,0} \cdot \frac{\left[\sum_j m_j \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_j} \right) + \frac{\gamma \cdot C}{g} \right]_i \cdot [1 + (\alpha_{s,p} + \alpha_{s,c})(t_s - t_r)] (1 + \lambda_s p_i)}{\left\{ \sum_j m_{s,j} \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{s,j}} \right) + [\rho_F(p_i) - \rho_a] AH + \frac{\gamma \cdot C_s}{g} \right\}_i \cdot [1 + (\alpha_p + \alpha_c)(t - t_r)]} \quad (\text{B.6})$$

式中:

λ_s ——标准压力计活塞系统的压力形变系数, Pa^{-1} 。

首先计算出各测量点的活塞有效面积 A_{i,p_i} , 根据线性形变的模型[公式 (B.7)], 采用最小二乘法将 A_{i,p_i} 对 p_i 进行线性回归, 计算被检压力计零压活塞有效面积 A_0 和压力形变系数 λ 以及相应的线性回归标准差, A_0 的线性回归标准差的相对值应符合

5.2 的规定，计算方法见附录 A。

$$A_{i, p_i} = A_0 \cdot (1 + \lambda p_i) \quad (\text{B.7})$$

注：可采用 Excel 或类似软件中的函数，对 A_{i, p_i} 和 p_i 进行线性回归，所得截距即为零压活塞有效面积 A_0 ，斜率为 A_0 与形变系数 λ 的乘积，从而可得到 λ 。相应地，也可计算出 A_0 的线性回归标准差。

附录 C

活塞式压力计检定记录格式

证书编号 _____

被检压力计信息：

送检单位：

制造厂商：

编号：

准确度等级：

测量范围：

型号/规格：

上周期 A_0 (cm^2)：上周期 $A_{p,\max}$ (cm^2)：上周期 λ (MPa^{-1})：

是否首次检定：

检定依据：

环境信息：

检定日期：

检定地点：

环境温度 ($^{\circ}\text{C}$)：

相对湿度 (%)：

工作介质：

标准器信息：

标准器编号：

准确度等级：

型号/规格：

测量范围：

 $A_{s,0}$ (cm^2)： λ_s (MPa^{-1})：

证书编号：

有效期至：

检定内容：

外观：

活塞系统：

承重盘和专用砝码：

活塞垂直度：

鉴别阈：

密封性：

活塞转动延续时间：(测量压力： MPa)

(1) min s (2) min s (3) min s

平均值： min s

活塞下降速度：(测量压力： MPa)

(1) mm/min (2) mm/min (3) mm/min

最大值： mm/min

活塞有效面积的检定：

起始平衡点

起始平衡点 p_0	压力点 MPa	标准端砝码质量 kg	标准端活塞温度 $^{\circ}\text{C}$	被检端砝码质量 kg	被检端活塞温度 $^{\circ}\text{C}$

检定点	p_i MPa	$p_i + p_0$ MPa	标准端			被检端			
			相对于起始 点砝码加载量 kg	活塞 温度 ℃	砝码 密度 kg/m ³	相对于起始 点砝码加载量 kg	活塞 温度 ℃	砝码 密度 kg/m ³	被检活塞 $A(p_i + p_0)$ MPa
正行程第 1 点									
正行程第 2 点									
正行程第 3 点									
正行程第 4 点									
正行程第 5 点									
反行程第 1 点									
反行程第 2 点									
反行程第 3 点									
反行程第 4 点									
反行程第 5 点									

有效面积检定结果：

A_0 (cm²):

实验/回归标准差：

λ (MPa⁻¹):

$A_{p, \max}$ (cm²):

周期变化: ΔA_0 :

$\Delta A_{p, \max}$:

活塞及其连接件质量和专用砝码质量的检定：

序号	标称质量/kg (标称压力/MPa)	约定质量/kg	真空质量/kg	砝码密度 kg/m ³	数量/块 (或编号)
1					
2
...

结论: 合格

不合格

检定员:

核验员:

附录 D

检定证书/检定结果通知书内页信息及格式

- D.1 检定证书/检定结果通知书内页应包含以下信息：
 - D.1.1 检定证书/检定结果通知书编号；
 - D.1.2 检定所用计量基准或计量标准信息；
 - D.1.2.1 计量基准或计量标准名称；
 - D.1.2.2 测量范围；
 - D.1.2.3 不确定度/准确度等级/最大允许误差；
 - D.1.2.4 证书编号；
 - D.1.2.5 检定证书有效期；
 - D.1.3 检定条件；
 - D.1.3.1 检定条件：温度、相对湿度等；
 - D.1.3.2 检定地点；
 - D.1.4 被检项目及检定结果；
 - D.1.5 检定不合格项说明（只用于检定结果通知书内页格式）；
 - D.1.6 页码；
 - D.1.7 还可有附加说明部分。
- 以上信息，除 D.1.7 为可选择项外，其余均为必备项。

D.2 检定证书/检定结果通知书内页式样。

D.2.1 检定证书内页。

证书编号××××××-××××

检定结果

1. 被检压力计信息

测量范围：

2. 检定条件

工作介质：

使用地点的重力加速度：

3. 结果

外观：

活塞系统：

承重盘和专用砝码：

活塞垂直度：

A_0 (cm²):

实验/回归标准差：

λ (MPa⁻¹):

$A_{p,\max}$ (cm²):

活塞转动延续时间：

活塞下降速度 (mm/min):

鉴别阈 (mg):

密封性：

活塞有效面积周期变化: ΔA_0

$\Delta A_{p,\max}$

活塞及其连接件质量和专用砝码质量符合下表要求。

序号	标称值	砝码质量/kg	砝码密度 kg/m ³	数量/块 (或编号)
1				
2				
...				

以下空白

D. 2. 2 检定结果通知书内页。

证书编号××××××-××××

检定结果

1. 被检压力计信息

测量范围：

2. 检定条件

工作介质：

使用地点的重力加速度：

3. 结果

外观：

活塞系统：

承重盘和专用砝码：

活塞垂直度：

 A_0 (cm²):

实验/回归标准差：

 λ (MPa⁻¹): $A_{p,max}$ (cm²):

活塞转动延续时间：

活塞下降速度 (mm/min):

鉴别阈 (mg):

密封性：

活塞有效面积周期变化: ΔA_0 $\Delta A_{p,max}$

活塞及其连接件质量和专用砝码质量。

序号	标称值	砝码质量/kg	砝码密度 kg/m ³	数量/块 (或编号)
1				
2				
...				

检定不合格项说明：

以下空白

附录 E

重力加速度

使用 0.005 级和 0.01 级压力计的单位，应进行重力加速度实地测量，使用其他准确度等级压力计的单位，可根据情况选择实地测量或参考使用表 E.1 列出的重力加速度值或用公式 (E.1) 近似计算重力加速度。

表 E.1 中国部分城市重力加速度

地点	重力加速度 g m/s^2	地点	重力加速度 g m/s^2
北京	9.801 5	乌鲁木齐	9.801 5
上海	9.794 6	吐鲁番	9.802 4
天津	9.801 1	哈密	9.800 6
重庆	9.791 4	拉萨	9.779 9
哈尔滨	9.806 6	成都	9.791 3
佳木斯	9.807 9	昆明	9.783 6
牡丹江	9.805 1	贵阳	9.786 8
齐齐哈尔	9.808 0	南宁	9.787 7
长春	9.804 8	柳州	9.788 5
吉林	9.804 8	郑州	9.796 6
沈阳	9.803 5	洛阳	9.796 1
大连	9.801 1	开封	9.796 6
丹东	9.801 9	武汉	9.793 6
锦州	9.802 7	宜昌	9.793 3
石家庄	9.799 7	长沙	9.791 5
阜新	9.803 2	衡阳	9.790 7
保定	9.800 3	广州	9.788 3
唐山	9.801 6	海口	9.786 3
张家口	9.800 0	南昌	9.792 0
承德	9.801 7	九江	9.792 8
太原	9.797 0	福州	9.789 1
大同	9.798 4	杭州	9.793 6
包头	9.798 6	南京	9.794 9
乌兰浩特	9.806 6	徐州	9.796 7
海拉尔	9.808 1	合肥	9.794 7
西安	9.794 4	蚌埠	9.795 4
延安	9.795 5	安庆	9.793 6
宝鸡	9.793 3	芜湖	9.794 4
兰州	9.792 6	济南	9.798 8
西宁	9.791 1	青岛	9.798 5
银川	9.796 1	德州	9.799 5

重力加速度近似计算公式：

$$g_{h\phi} = \frac{9.806\,65 \times (1 - 0.002\,65 \times \cos 2\phi)}{1 + \frac{2h}{R}} \quad (\text{E. 1})$$

式中：

R —— 地球半径，约为 $6\,371 \times 10^3$ m；

h —— 测量地点的海拔高度，m；

ϕ —— 测量地点的纬度。

附录 F

常用活塞和活塞筒材料的线膨胀系数

常用活塞和活塞筒材料的线膨胀系数见表 F.1。

表 F.1 常用活塞和活塞筒材料的线膨胀系数近似值表

材料	线膨胀系数
合金钢	$1.2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
碳化钨	$4.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$