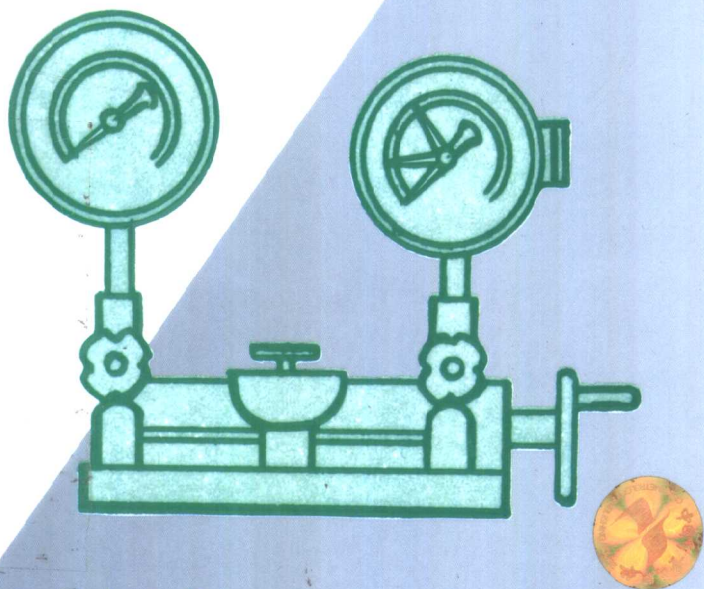


计量器具系列丛书

压力仪表

使用 维修与检定

姚士春 编著



中国计量出版社

计量器具系列丛书

压力仪表使用 维修与检定

姚士春 编著

中国计量出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

压力仪表使用、维修与检定/姚士春编著. —北京:中国计量出版社, 2003.2

(计量器具系列丛书)

ISBN 7-5026-1730-2

I. 压… II. 姚… III. 压力仪表 - 基本知识
IV. TH812

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 006325 号

内 容 提 要

本书在简要介绍压力计量测试以及压力仪表的基本知识的基础上, 详细地介绍了各种常用压力仪表的原理、结构、使用、调试、维修与检定等。

本书可供从事压力仪表使用、检定和维修人员阅读。

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

电话 (010) 64275360

E-mail jlfxb@263.net.cn

北京市迪鑫印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

787mm×1092mm 32 开本 印张 9.375 字数 210 千字

2003 年 4 月第 1 版 2003 年 4 月第 1 次印刷

*

印数 1—5 000 定价: 26.00 元

前 言

压力是最基本的物理量之一，也是工业生产和科研中最重要参数之一。压力仪表广泛应用于石油、化工、冶金、机器制造、航空航天及科学研究等领域，其种类繁多，各具特色；工作原理与结构有繁有简，差别甚大。为向广大基层技术人员和工人普及压力仪表基础知识，提高其实际操作技能，作者根据多年的实践经验，参考了大量有关文献资料，编写了此书，以飨读者。

本书共八章，力求以通俗易懂的文字，辅以图表，简明扼要地介绍各类常用压力仪表的原理、结构、安装、使用、调试、维修与检定等基本知识，侧重于实际操作知识和实践经验的介绍。

在本书编写过程中，得到了王洪伟同志的关心与支持，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平所限，书中错误和不妥之处在所难免，望读者批评指正。

编著者

2002年12月

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 压力测量与检定的基本概念	(1)
第二节 压力仪表的分类	(5)
第三节 压力仪表的使用、维修与检定要求	(11)
第四节 压力测试技术简介	(16)
第二章 液体压力计	(25)
第一节 液体压力计的概况	(25)
第二节 U 形和杯形压力计	(27)
第三节 液体微压计	(34)
第四节 液体压力计的误差及其修正	(43)
第五节 液体压力计的使用与维修	(45)
第六节 液体压力计的检定	(50)
第三章 活塞式压力计	(57)
第一节 活塞式压力计的概况	(57)
第二节 活塞式压力计的主要技术参数	(61)
第三节 活塞式压力计的种类	(65)
第四节 活塞式压力计的测量不确定度评定	(73)
第五节 活塞式压力计的使用与维修	(78)
第六节 活塞式压力计的检定	(85)
第四章 弹性元件压力表	(91)
第一节 弹性元件压力表的概况	(91)
第二节 弹性元件的特性与类型	(94)
第三节 普通弹性元件压力表	(102)
第四节 传动机构与指示装置	(108)

第五节	弹性元件压力表的误差与修正	(113)
第六节	压力表的使用与保养	(118)
第七节	弹性元件压力表的调整	(121)
第八节	弹性元件压力表的修理	(126)
第九节	弹性元件压力表的检定	(136)
第五章	专用压力仪表	(142)
第一节	数字式电子血压计	(142)
第二节	汞柱式血压计和膜盒血压表	(147)
第三节	膜盒压力表	(155)
第四节	超高压压力表	(160)
第五节	轮胎压力表	(163)
第六节	记录式压力表	(166)
第七节	电远传压力表	(170)
第八节	电接点压力表和带检验指针压力表	(177)
第九节	特殊环境使用的压力表	(180)
第十节	氧气减压器	(184)
第六章	压力传感器	(187)
第一节	压力传感器的概况	(187)
第二节	电阻式压力传感器	(192)
第三节	电容式压力传感器	(201)
第四节	电感式压力传感器	(205)
第五节	压电式压力传感器	(207)
第六节	振频式压力传感器	(210)
第七节	光学式压力传感器	(213)
第八节	压力传感器的使用与维修	(217)
第九节	压力传感器的检定	(222)
第七章	压力变送器	(226)
第一节	压力变送器的概况	(227)

第二节	气动压力变送器	(230)
第三节	电动压力变送器	(235)
第四节	电容式压力变送器	(241)
第五节	压力变送器的调整与维修	(246)
第六节	压力变送器的检定	(256)
第八章	数字压力计	(259)
第一节	数字压力计的概况	(259)
第二节	数字式气压计	(263)
第三节	力平衡式数字压力计	(267)
第四节	固态(压阻)式数字压力计	(271)
第五节	带微机的振动筒数字压力计	(276)
第六节	数字压力计的使用与维修	(280)
第七节	数字压力计的检定	(284)
参考文献		(287)

第一章 概 述

第一节 压力测量与检定的基本概念

一、压力测量的意义

在工业生产、国防建设、科学研究、日常生活与医疗卫生等领域中，压力是一个非常重要的参数。压力仪器仪表或装置设施对生产或试验过程进行显示、记录、监控、调节，以保证产品和科研成果的质量，为生产和科研过程提供安全保证。

二、压力自动测试系统

由于集成电路、电子计算机技术和传感器技术的飞速发展，给压力测试技术的发展带来新的活力与机遇。不仅对生产、试验过程的压力参数要进行测试、收集和数据显示，还要对其结果进行适时的分析、处理、转换、反馈或通讯控制等，从而把生产、试验过程与被测参数的测试与数据处理构成一个完整、统一的整体。随着工业技术的发展和科学试验水平的提高，过去常用的某些压力仪表已不再适用于集中控制，所以采用了把压力转换成电参数输出的压力传感器或压力变送器，便于观测、记录、远传与控制。即把过去由工作人员和测量仪表进行的测试，变为由电子计算机通过接口控

制测量系统中的各个单元,管理和控制操作测试过程,在软件和硬件的统一控制下协调工作,从而形成压力自动测试系统。

可见,压力测量不仅需要大量的测量仪表,而且还需要一定量的自动测试系统。

三、压力仪表的计量检定

1. 压力仪表

本书提及的压力仪表,广义上就是三个国家计量检定系统中所称的压力计量器具。即是检定系统 JJG2023—1989 (低压到高压范围 $-0.1\text{MPa} \sim 250\text{MPa}$)、JJG2070—1990 (高压到超高压范围 $200\text{MPa} \sim 2\ 500\text{MPa}$)、JJG2071—1990 (微压范围 $-2.5\text{kPa} \sim 2.5\text{kPa}$) 中的基准器具、标准器具、工作计量器具三大类。其中包括活塞式压力计、液体压力计、弹性元件压力表、压力传感器和数字压力计等压力仪器仪表。为了叙述的方便,无论是仪器、仪表或装置,以下均统称为压力仪表。当具体介绍到某种计量器具时,再专用该仪表的详细名称,例如单圈弹簧管压力表、应变式压力传感器等。

压力表常被称为弹簧式压力表、弹性式压力表等,因为它们都离不开弹性元件。因而本书采用检定系统中的称谓——弹性元件压力表,显得更贴切、更直观。

2. 质量评定的表示

在检定系统 JJG2023—1989 中,对一等以上标准器具的质量评定用总(扩展)不确定度表示,而二等标准及其以下的计量器具的质量评定以允许误差表示。在检定系统 JJG2070—1990 中,对计量器具的质量评定均用总(扩展)不确定度表示。而在检定系统 JJG2071—1990 中,对计量基准器具的质量评定,其测量不确定度用绝对误差值表示;对一等、二等标准的补偿式微压计的测量不确定度也用绝对误

差值表示；对其他类型的一等、二等及三等标准器具、工作计量器具的测量不确定度、则用引用误差表示。

虽然国家发布并要求实施计量技术规范 JJF1059—1999《测量不确定度评定与表示》，然而国家对检定系统、技术规范、检定规程的修订与完善尚未完成，即未作出统一规定，在何种情况下应用测量不确定度或允许误差尚未明确。因此，工作中只能按现行法规性技术文件执行。

3. 计量器具的检定

使用者应注意对压力仪表按期送检。因为经过检定合格的仪表，使用一段时间后，由于环境影响、零件自然磨损和元器件老化，或使用不当、维护不良等原因，引起计量性能发生变化，只有根据检定结果作出继续使用或修理后，在有效期内使用的结论。因此，检定规程都规定了各种仪表的检定周期。

4. 量值传递与量值溯源

二者如图 1-1 所示，它们在本质上没有多少区别，只是量值传递从国家计量基准开始，按检定系统的传递程序和检定规程逐级检定，把量值自上而下传递到工作计量器具。

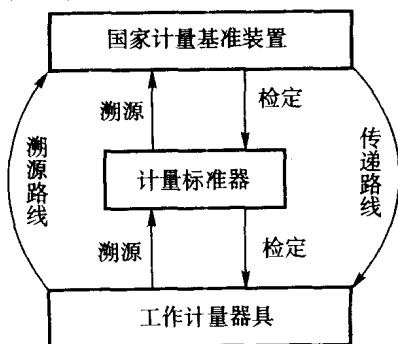


图 1-1 量值传递与溯源示意图

而量值溯源则是从下至上追溯计量标准直至国家和国际计量基准。它可以不按严格的等级，打破等级或地区的界限，中间环节少，可使准确度损失少。因此，溯源性是“通过具有规定不确定度的不间断的比较链，使测量结果或标准的量值能够与规定的计量标准（通常是国际或国家计量标准）联系起来的特性”。

具体对哪种压力仪表进行检定，就用哪种仪表相应的检定规程，运用相关的标准器具和环境条件，计量人员实施其检定，作出该仪表计量特性是否符合法定要求及合格与否的结论。

四、压力计量单位

1. 采用国际单位制中具有专门名称的导出单位帕[斯卡]，单位符号 Pa。在工程技术中，由于测试条件与技术要求不同，相应使用了多种压力计量单位，相互间可以进行换算。换算给技术交流和相互比较带来不便，很有必要使用一种统一的压力单位。因而国际上规定使用帕斯卡，它是 1971 年在第十四届国际计量大会上决定的，是具有专门名称的导出单位。

1984 年 2 月 27 日，国务院发布了《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》，确定了以国际单位制单位为基础的我国法定计量单位，它的特点是结构简单、科学性强、使用方便，易于推广。其中也规定用帕斯卡作为法定的压力计量单位，这就迫使在用的压力仪表须采取压力单位改制的措施。我国自 1985 年起实施改制，并要求从 1987 年起不得再生产非法定计量单位的仪表，1990 年以前，要完成向国家法定计量单位的过渡。

当时的改制，对在用的压力仪表和仪器设备，能通过检

修加以调整或改装的，尽量调整改装，使其符合法定计量单位的要求；不能调整改装的，在设备仪表更新时解决。更新前，使用老设备仪表进行检测所得的结果，应换算成法定计量单位。

2. 换算关系。鉴于有些技术领域考虑沿用的方便和国际交流的需要，特别是引进的有些压力仪表仍有 mbar, psi 等单位，故对一些非法定压力单位仍需了解其与其他单位间的关系，这里列出帕斯卡与工程技术中常见的压力单位的换算关系，见表 1-1。

表 1-1 帕斯卡与常见的非法定单位换算表

压力单位	帕 Pa (N/m ²)	工程大气压 (kgf/cm ²)	毫米汞柱 (mmHg)	毫米水柱 (mmH ₂ O)	毫巴 (mbar)	标准大气压 (atm)	磅力每平方 英寸 (lbf/in ² , psi)
Pa (N/m ²)	1	1.019 72 × 10 ⁻⁵	0.750 06 × 10 ⁻²	0.101 972	1 × 10 ⁻²	0.986 9 × 10 ⁻⁵	0.000 145
kgf/cm ²	98 066.5	1	735.56	10 000	980.665	0.967 8	14.224
0℃时 mmHg	133.322 4	0.001 359 51	1	13.595 1	1.333 2	0.001 315 8	0.019 337
4℃时 mmH ₂ O	9.806 65	1 × 10 ⁻⁴	0.073 556	1	0.098 06	0.967 8 × 10 ⁻⁴	0.001 422
mbar	100	0.001 019 7	0.750 06	10.197 2	1	0.986 9 × 10 ⁻³	0.014 504
atm	101 325	1.033 227	760	10 332.28	1 013.25	1	14.695 94
lbf/in ² 或 psi	6 894.75	0.070 307	51.715	703.07	68.947 6	0.068 046	1

第二节 压力仪表的分类

关于压力仪表的分类，没有统一的现行规定，这里按压

力仪表在检定系统中的位置、以及工作原理来分类，或按通常习惯，按被测压力与用途、测量范围和显示方式来分类。

一、按在检定系统中的位置分类

我国的压力计量器具检定系统按压力测量范围划分有三个。而在检定系统框图中可见，计量器具共分为三大类，即计量基准器具、计量标准器具、工作计量器具。

1.JJG2023—1989 检定系统中的国家计量基准器具，包括计量基准、压力副基准与压力工作基准都是由活塞式压力计组成。计量标准器具包括活塞式压力计、活塞式压力真空计、液体压力计和数字压力计（包括石英波登管压力计）等。工作计量器具有弹性元件压力表、液体压力计和压力传感器。

2.JJG2070—1990 检定系统中的国家基准装置，主要包括一套具有直接加载的控制间隙型活塞式压力计及一组三等标准砝码。计量标准器具包括测量上限分别为 1 600MPa 和 2 500MPa 的标准电阻压力计。工作计量器具包括测量上限至 2 500MPa 的电阻压力计，测量上限为 1 600MPa 的压力传感器和弹簧管压力表。

3.JJG2071—1990 检定系统中的国家压力基准器为补偿式液体压力计。计量标准器具包括补偿式微压计、微压天平、钟罩式微压计与数字式微压计等。工作计量器具包括弹性元件微压计、数字式微压计、倾斜式微压计、差压计与微压传感器等。

二、按压力仪表的工作原理分类

1. 液体压力计

液体压力计是基于流体静力学原理，利用液柱的自重产

生的压力与被测压力平衡的原理制成的压力计。通过判读显示的液柱高度差（或通过计算方法）确定被测压力值。

常用的液体压力计有：测量微压的各种微压计，传压介质是水或乙醇。测量低压的杯形压力计和 U 形压力计，现场使用的多为水柱压力计。由于水银对环境的污染和对人体的毒害，在 20 世纪 80 年代就开始由限制到取消水银压力计。所以，使用的水银压力计已不多见，仅在试验室存有为数不多的标准水银气压计和基准、标准水银压力计，取而代之的是无汞压力计或数字压力计。本书对水银压力计不再介绍。

2. 活塞式压力计

活塞式压力计是基于帕斯卡定律和流体静力学力平衡原理，利用压力作用在活塞上的力与砝码的重力相平衡的原理制成的压力计。通过压力计活塞系统的有效面积与承重砝码的质量来确定被测的压力值。

常用的活塞式压力计种类较多，根据传压介质的不同，分为液压与气压两种压力计；根据荷重方式的不同，分为直接承重与间接承重的压力计，根据结构的不同，分为单活塞和双活塞压力真空计；根据压力类别的不同，分为测绝对压力的、测正负表压的活塞式压力计；还有带滑动轴承与滚珠轴承的压力计，有带倍增器型、可控间隙型活塞式压力计，差动活塞压力计以及浮球式压力计等。

3. 弹性元件压力表

弹性元件压力表是利用弹性敏感元件在压力作用下产生弹性变形，其变形的大小与作用压力成一定的线性关系，通过传动放大机构的放大后，用指针或其他显示装置表示出被测的压力量值。

由于使用的弹性元件形状不同，而形成各种用途的压力表。常用的有单圈弹簧管压力表、螺旋弹簧管压力表、膜

片、膜盒、波纹管压力表等。有其他用途的如电接点压力表、带检验指针压力表、轮胎压力表等。由于被测介质不同或抗腐蚀的有氧气压力表、氨气压力表、乙炔压力表、耐硫或抗酸压力表。

4. 压力传感器

压力传感器又称电测式压力计，是能感受规定的被测压力并按照一定规律转换成为可用信号输出的器件或装置。

压力传感器主要将转换元件（如应变转换元件、电容转换元件、电位器转换元件等）感受的压力转换成为可用的信号（如电压、电容、电阻等电参数）输出，为此构成应变式、电容式与电位器式压力传感器。

常用的有测量表压、测量差压以及测量绝对压力的压力传感器。

当输出为规定的标准信号即电流或电压信号，或是气体压力信号时，则称为压力变送器。在近 10 年内，压力变送器发展很快，已由体大笨重的 I 型发展到体积很小的 III 型变送器，而且被广泛应用。

5. 数字式压力计

数字式压力计又称为综合式压力仪表，是采用数字直接显示被测压力量值的压力计。其工作原理是：被测压力通过传压介质施加于压力传感器，随着压力的变化，压力传感器便输出相应的电信号，该电信号经过信号处理，最后在显示器上显示出被测的压力量值。

数字压力计按使用结构分为整体型——压力传感器与数字显示仪制成一个整体，分离型——压力传感器与数字显示仪分成两体，并用专配电缆连接起来。

数字压力计主要用于测量表压、差压和绝对压力。在工程技术中，要求自动控制，要求既能显示生产流程中的压力

参数, 又能将压力信号输出供数据分析与处理。随着科学技术的发展, 已制造出很多种数字压力计, 以供选择。

三、按准确度等级分类

1. 液体压力计

微压的压力基准器是补偿式液体压力计, 以绝对误差表示测量不确定度。标准器具用等表示, 有一等、二等和三等标准器具。工作计量器具用级表示, 有 0.5, 0.6, 1, 1.5, 2.5 和 4 级。

低压液体压力计的标准器具也是用等表示, 有一等、二等和三等标准器具。工作计量器具用级表示, 有 1 级、1.5 级、2.5 级和 4 级。

2. 活塞式压力计

国家基准装置扩展不确定度 $[U_{rel}, k=3]=2.1 \times 10^{-5}$, 压力副基准扩展不确定度 $[U_{rel}, k=3]=2.5 \times 10^{-5}$, 工作基准扩展不确定度 $[U_{rel}, k=3]=5 \times 10^{-5}$ 。标准器具用等表示, 一等标准器不确定度 $\delta[U_{99}]=2 \times 10^{-4}$, 二等标准器允许误差 $\Delta = \pm 5 \times 10^{-4}$, 三等标准器允许误差 $\Delta = \pm 2 \times 10^{-3}$ 。

3. 弹性元件压力表

用级表示, 弹簧管式精密压力表有 6 个级: 0.06 级、0.1 级、0.16 级、0.25 级、0.4 级和 0.6 级。一般压力表有 4 个级: 1 级、1.6 (1.5 级)、2.5 级和 4 级。

4. 压力传感器

只进行测试, 不作量值传递标准器。准确度级别有 10 个: 0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 1.5, 2.5 和 4 级。

5. 数字压力计

标准器具用等表示: 一等标准器不确定度 $\delta[U_{99}]=2 \times$

10^{-4} ，二等标准器允许误差 $\Delta = \pm 5 \times 10^{-4}$ ，三等标准器允许误差 $\Delta = \pm 1 \times 10^{-3} \sim 6 \times 10^{-3}$ ，按检定规程上的准确度级别有 4 个：0.1 级、0.2 级、0.5 级和 1 级。

6. 超高压压力仪表

超高压(200~2 500)MPa 的国家基准装置，主要有一套具有直接加载的控制间隙型活塞式压力计，其扩展不确定度 $[U_{rel}, k=3] = 1.5 \times 10^{-3}$ 。标准器具是测量上限分别为 1 600MPa 和 2 500MPa 的标准电阻压力计，扩展不确定度 $[U_{rel}, k=3] = 5 \times 10^{-3}$ 。工作计量器具包括上限至 2 500MPa 的电阻压力计和测量上限为 1 600MPa 的压力传感器、弹簧管压力表。

四、按所测压力范围与用途分类

1. 压力表(计)主要用于测量表压力。
2. 气压表(计)主要用于测量大气压力。
3. 绝压计用于测量绝对压力。
4. 微压计(表)用于测量微小压力。
5. 真空计(表)用于测量负压力。
6. 差压计(表)用于测量两压力的差值。

五、按显示方式分类

1. 现场显示型

如指针式、记录式压力表、带报警器或调节器、控制器的仪表，主要用于现场测试。

2. 远距离显示型

远传式、信号式压力表，除了能在现场指示压力外，还能在远距离外进行压力的显示与控制。常用的有电位器式、差动式远传压力表，还有电动压力变送器与气动压力变送器等。