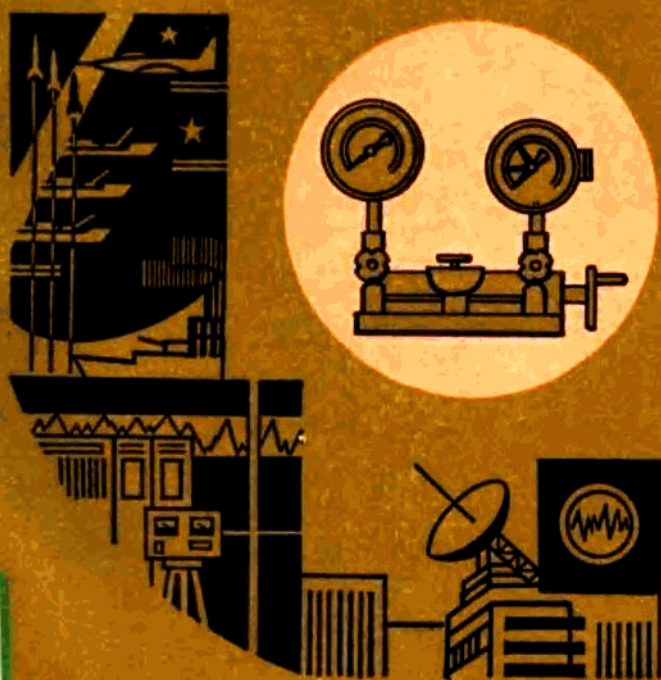


计量中专试用教材

压力计量

蒋思敬 姚士春 编



中国计量出版社

内 容 提 要

本书系统介绍了压力计量的基本概念、计量单位和计量仪器仪表,较详细地介绍了各类压力计量器具的结构和工作原理、检定、维修方法和误差分析。本书除可作为中专、职工岗位培训教材外,尚可供从事压力计量的工程技术人员参考。

计量中专试用教材

压 力 计 量

蒋思敬 姚士春 编

责任编辑 孙维民

◆◆

中国计量出版社出版

北京和平里西街2号

中国计量出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

◆◆

开本 787×1092/16

印张 18 字数 437 千字

1991年1月第1版

1991年4月第1次印刷

印数1—8000

ISBN 7-5026-0380-8/TB·311

定价 9.80 元



出版前言

国家技术监督局是国务院统一管理和组织协调全国技术监督工作的职能部门。负责管理全国标准化、计量、质量监督工作，并对质量管理进行宏观指导。

随着技术监督事业的迅速发展，当前迫切需要大量的各级、各类计量专门人才，举办各种形式的计量中等教育，对于提高在职计量人员的素质，改善计量队伍的结构，培养一批计量队伍的新生力量，都具有重要意义，并将对计量事业的发展产生深远的影响。

近几年来，由于一批计量中专学校的创办，各种形式的计量中等教育如委托或联合办计量中专班，计量函授中专、计量职业高中、计量中专的专业证书培训等，也在各地陆续开展起来，但是缺少教材已成为计量中等教育迫切需要解决的重大问题。因此我们根据国家技术监督局的决定，组织编写了一套计量中专教材，其中包括：几何量、热工、力学、电磁学计量四个专业的部分专业基础课和专业课试用教材，争取在 1988 至 1991 年内出版齐。

本书是委托四川省技术监督学校组织编写的热工专业的专业课教材。

计量事业教育基础十分薄弱。组织编写行业性教材还是第一次，基本条件和经验都不足。因此，这套教材的编写工作是在时间紧、难度大的情况下进行的，虽然经过多方面努力，但仍然存在很多不足之处，甚至于错误。我们拟在试用过程中听取各方面意见，于适当时机再次组织修改。

另外，这套教材主要是根据三年制全脱产的计量中等专业教育的需要编写的。在目前情况下，要对各种形式的计量中等教育都编出相应的教材难以做到。因此，在编写过程中，也一定程度地考虑了运用的多样性，其他形式的计量中等教育可参考本套教材的基本内容，适当调整使用。

在教材的编写、审议过程中，得到了中国计量出版社、中国计量科学研究院、中国测试技术研究院、中国计量学院、中国计量测试学会，河北、四川、山东、吉林省标准计量局及有关的高等院校、省市计量部门、科研单位、大中型企业的大力支持，在此，谨表示衷心感谢！

国家技术监督局宣传教育司

1988.8

编 者 的 话

本教材是根据原国家计量局教育处制定的中专教材编写要求,按照《压力计量》教学大纲编写的。

压力(压强)是最基本的物理量之一,也是国防科研、工业生产过程中最重要的参数之一。压力计量涉及到石油、化工、冶金、机器制造、航空航天及科学研究等领域,应用十分广泛。它不仅关系到产品质量控制,而且还关系到科学研究课题的成败。

压力计量教材全书共八章。第一章概述了压力计量的发展以及它在国民经济中的作用和地位。第二章阐述了压力的概念、压力计量单位、压力仪器仪表的类别及量值检定系统表。第三章讲述了流体静压力的特性与基本方程式,分别介绍了各种类型液体压力计的结构和原理,并分析了液体压力计的误差及其修正,以及这类压力计的使用和维护。第四章介绍了弹性式压力仪表的弹性敏感元件的类型和特性,各类压力表的结构,使用中引起误差的因素及其修正,压力表的调修等。第五章系统地阐明了活塞式压力计的工作原理,活塞系统计量性能的基本参数,各种类型的活塞式压力计的结构特点,并分析了活塞式压力计的主要修正量,使用维护与调修。第六章介绍了压力传感器的静态特性、静态性能、静态误差、动态特性与动态性能,分别介绍了各具不同结构原理的电位器式、应变式、电容式等十余种类型的压力传感器。第七章对低压力、绝对压力、超高压力和动态压力的测试作了简略概括的介绍。第八章介绍了对液体压力计、活塞式压力计、弹簧管压力表的检定以及检定结果的数据处理;还对压力传感器的检定(校准)及检定后的性能参数的计算方法作了介绍。

鉴于压力计量涉及面广,内容较丰富,为使教材内容系统而完整,并具有一定的深度和广度,编者尽力将教材写得全面,力求以深入浅出、通俗易懂的文字,内容新颖、辅以图表的形式,实用与先进相结合。又由于教材按大纲要求,在保证学时和教学质量的前提下,授课时可针对实际情况允许有一定的灵活性,有些章节的内容可以让学生根据具体需要加以参考。

本教材还可作为计量部门培训专业人员用书,并可供具有中等以上文化程度的计量测试人员、工程技术人员参考。

本书由西北工业大学教授孙希任主审。由中国测试技术研究院高级工程师蒋思敬和航空航天工业部飞行试验研究院工程师姚士春合编。其中第一、二、三、五章由蒋思敬编写,第四、六、七章由姚士春编写,第八章由二人合写。

由于编者理论水平有限,实践经验不足,缺点和错误在所难免,欢迎广大读者批评指正。

1990年6月

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 压力计量发展概况	(1)
第二节 压力计量在国民经济中的应用	(3)
第三节 本课程的基本内容、学习目的和方法	(5)
习题	(7)
第二章 压力基础知识	(8)
第一节 压力的概念	(8)
第二节 质量与重力	(11)
第三节 压力计量单位	(13)
第四节 压力计量仪表的分类	(16)
第五节 压力量值传递系统	(19)
附录	(23)
习题	(24)
第三章 液体压力计	(25)
第一节 流体及其主要物理力学性质	(25)
第二节 流体静压力及其特性和流体静压力基本方程式	(30)
第三节 流动流体压力基本方程式	(33)
第四节 U 形压力计	(36)
第五节 杯形压力计	(40)
第六节 倾斜式微压计	(43)
第七节 补偿式微压计	(45)
第八节 二等标准液体压力计	(48)
第九节 基准液体压力计介绍	(56)
第十节 液体压力计的误差及其修正	(60)
第十一节 液体压力计的使用和维护	(64)
第十二节 台式血压计的使用和维护调修	(66)
习题	(69)
第四章 弹性式压力仪表	(71)
第一节 弹性式压力仪表的基本概况	(71)
第二节 弹性敏感元件的类型	(74)
第三节 弹性敏感元件的特性	(81)
第四节 单圈弹簧管式压力表	(85)
第五节 其它类型的弹性式压力表	(88)

第六节 特殊用途的压力表	(92)
第七节 远传压力表	(95)
第八节 传动机构	(98)
第九节 单圈弹簧管的初步设计与计算	(101)
第十节 齿轮传动与示数装置的设计要求	(104)
第十一节 压力表在使用中引起误差的因素及有关注意事项	(106)
第十二节 压力表的调整	(109)
第十三节 压力表的修理	(112)
习题	()
第五章 活塞式压力计	(121)
第一节 活塞式压力计结构和工作原理	(121)
第二节 活塞系统计量性能的基本参数	(124)
第三节 简单活塞式压力计	(134)
第四节 带承重杆加负荷的活塞式压力计	(137)
第五节 带增压器型的活塞式压力计	(140)
第六节 浮球式压力计	(143)
第七节 双活塞式压力真空计	(146)
第八节 带液柱平衡活塞式压力计	(149)
第九节 单活塞式压力真空计	(152)
第十节 气体活塞式压力计	(156)
第十一节 活塞式压力计的主要修正量	(158)
第十二节 活塞式压力计的正确使用	(161)
第十三节 活塞式压力计的维护与调修	(163)
习题	(168)
第六章 压力传感器	(169)
第一节 概述	(169)
第二节 压力传感器的分类和名词术语	(171)
第三节 传感器的静态特性与静态性能	(175)
第四节 压力传感器的静态误差	(180)
第五节 传感器的动态特性与动态性能	(183)
第六节 电位器式压力传感器	(186)
第七节 应变式压力传感器	(194)
第八节 电容式压力传感器	(198)
第九节 变磁阻式压力传感器	(202)
第十节 压力变送器	(205)
第十一节 压阻式压力传感器	(208)
第十二节 压电式压力传感器	(211)
第十三节 谐振式压力传感器	(214)
第十四节 霍尔式压力传感器	(217)

第十五节 其它型式的压力传感器	(220)
第十六节 石英包端管压力计	(223)
习题	(226)
第七章 压力测试技术	(228)
第一节 低压力测试技术	(228)
第二节 绝对压力测试技术	(230)
第三节 超高压力测试技术	(233)
第四节 动态压力测试简介	(236)
习题	(239)
第八章 压力仪表的检定	(240)
第一节 液体压力计的检定	(240)
第二节 台式血压计的检定	(243)
第三节 弹簧管式压力表的检定	(249)
第四节 几种专用压力表的附加检定	(254)
第五节 活塞式压力计的检定	(257)
第六节 活塞式压力计检定结果数据计算和处理	(263)
第七节 关于活塞式压力计准确度的评定	(266)
第八节 压力传感器的检定(静态校准)	(269)
第九节 压力传感器在检定(校准)后的性能参数计算	(274)
习题	(279)
参考文献	(280)

第一章 概 述

第一节 压力计量发展概况

压力计量的发展与生产、生活和科学研究的需要息息相关。伴随着社会生产力的发展、科学技术的进步,压力计量仪器仪表也发展起来,并且形成较为完整的压力计量专业。在世界范围内,由于各国社会经济发展不平衡,科学研究成果各有所长,因此压力仪器仪表的发展水平存在一定的差别。

一、国外压力计量发展简况

1643年意大利科学家托里拆里将装满水银的玻璃管置于水银槽中的装置,首次测得了大气压力值,并在反复试验的基础上,得出大气压力值随时间而变化和随海拔高度的增大而减小的结论。他还测得真空值。气压计可说是世界上诞生的第一只压力计量仪器。

自瓦特发明蒸汽机以后,为了解决压力计量问题,1847年法国人波登(E. Bourdon)总结前人经验,制造出实用的单圈弹簧管式压力表。单圈弹簧管又称包端管(波登管),含有纪念创造人的意义。

1884年国际计量局生产了一台国际气压计基准器,准确度为 $\pm 0.005\%$,使用至1966年。

1893年美国人阿马伽(E. H. Amagat)发表了使用活塞式压力计精密测量静态压力的论文。这种压力计的测量范围为 $69 \sim 69 \times 10^8 \text{ Pa}$ ($0.01 \sim 1 \times 10^4 \text{ lbf/in}^2$),在每间隔1%的量程上的测量误差为 $0.01 \sim 0.05\%$ 。

美国高压物理学家布里奇曼,研制成功了测量高压的液压活塞式压力计,测量上限3 GPa。他还研制成功超高压发生装置,测量上限为40 GPa。

二、我国压力计量事业发展概况

1949年前,我国只有与人民生活 and 贸易有关的度量衡计量机构,工业计量制度没有建立,计量单位没有统一。现代工业虽有一定的发展,但压力仪表主要来自英、美、法、德、日等国,其计量单位十分杂乱,根本谈不上压力量值的准确一致和对仪表的正确使用。

1949年10月以后,我国工农业生产蓬勃发展,我国政府一方面重点投资建设大型压力仪表生产厂,同时也建立中、小型压力仪表生产厂。大中小型生产厂各有特色,又成为一个整体,以满足各行各业对压力仪表的需要;另一方面,1955年1月设立了国家计量局(今属于国家技术监督局)职能机构,有计划有步骤地发展计量事业,保证计量制度和计量单位制的统一,进而促进国民经济健康而持续的发展。

1958年国家科委计量局建立压力试验室,这标志着压力计量基准、标准器的建立和压力计量单位的复现等技术工作进入新的发展时期。

在统一计量单位的基准上,各行各业对计量测试技术的研究日益受到重视,1985年成立了中国测试技术研究院,对测试技术着重进行研究,以适应新形势下的要求。

我国基准、标准器的建立,取得突出成绩的主要方面有:

1961年试制成功一等标准活塞式压力计,测量范围0.04~250 MPa,准确度为 $\pm 0.02\%$ 。

1963年试制成功工作基准微压计,测量范围0~4000 Pa。后因不稳定,已经封存。

1965年研制成功国家基准活塞式压力计,测量范围0.1~10 MPa,准确度为 $\pm 0.0021\%$ 。

1985年建立0~4 000 Pa基准微压计,精确到 ± 0.24 Pa。但不稳定,已经封存。又于1987年建成国家基准微压计,0~2 500 Pa,精确到 ± 0.1 Pa。

1986年建立测量表压、差压、绝压的国家基准器,测量上限为 1.2×10^5 Pa,准确度为 $\pm 0.0003\%$ 。

60年代初期,全国各省(市)、自治区、地(市)、县相继建立计量局和压力试验室,为贯彻国家计量法令和保证压力量值准确一致作出了贡献。

在全国各经济协作区,即辽宁省、北京市、天津市、上海市、湖北省、陕西省和四川省计量局先后建立工作基准活塞式压力计,测量范围为0.04~60 MPa,准确度为 $\pm 0.005\%$ 。

各省(市)、自治区计量局和大型厂矿、事业、科研等部门建立了一等标准活塞式压力计和一等标准补偿式微压计等标准器。

各地(市)、县计量局和中小型厂矿、事业、科研部门分别建立了二、三等压力标准器,基本满足了生产和科研的需要。

目前,全国的压力计量已形成严密而健全的检定系统,加之检定规程的完备,从而使压力仪表的准确一致和正确使用得到保证。

三、压力计量发展方向

近40年来,压力仪表的结构由简单到复杂、从机械式发展到电气式;其测量范围由中、低压向微压和超高压发展;压力的示值显示方式从指针刻度盘显示发展到数字显示,从仅能显示而发展到应用微机控制的自动记录和打印,甚至自动处理数据;压力仪表由简单控制生产过程到自动控制、调节生产过程等等。但是,压力计量工作任务艰巨,任重道远。现对今后的发展动向作一大致介绍。

(一) 研制新的压力仪表

1. 研制新的压力基准和标准器。我国的中低压和微压基准器已进入国际先进行列,但是随着科学技术的发展,新材料、新工艺不断涌现,新技术的发展和应用,特别是超导材料的发展和应用,压力基准器和标准器必将出现新的品种,而把我国的压力基准、标准器提高到新的世界先进水平。

2. 压力仪表量程向两端延伸是各类压力仪表的共同发展规律,即从急需而容易制造的

量限开始,然后向两端延伸发展。目前我国高压仪器的量限为 2.5 GPa,微压的量限为 200 Pa。至于测量高于 2.5 GPa 压力的装置,测量低于 200 Pa (甚至几十帕) 的压力仪表尚待解决。

3. 研究和提高特殊压力仪表的适应和承受能力。特殊压力仪表测量对象复杂。使用环境条件较为恶劣,如高温、高压、腐蚀、瓦斯和振动情况均有。有的仪表同时承受几种较差的条件。如测量石油井底压力的压力传感器,既要耐高温(80℃以上),又要耐腐蚀。抗硫压力表(耐酸碱),抗腐蚀的氨用压力表、防爆压力表等,目前均有使用,但耗损率高,还需提高产品的适应和承受能力。

(二) 压力仪表由测量静压向测量动压发展

内燃机依靠气体燃烧推动活塞、液压机床依靠液压传动部件、枪弹依靠火药爆炸的压力推动弹丸运动,原子弹利用爆炸过程的冲击波或气流压力摧毁目标等等。在上述情况下,都需要测量瞬间的压力变化,因此,瞬时压力和冲击压力的计量,日益受到重视和发展。

(三) 广泛采用传感器技术

压力传感器已向体积小、重量轻、测量范围广,测压速度快和测量动态压力等方向发展,基本满足了工业自动化测量的需要。因而广泛采用传感器技术势在必行。

(四) 压力计量测试方法不断推陈出新

在计量测试过程中,应根据各种压力仪表测压原理和准确度要求,应用相应的计量原理选用不同的计量测试方法。已有的计量测试方法并非完美无缺,还需改进提高和完善,对新型压力仪表和各种压力容器的性能试验,往往无固定的计量测试方法,需对被计量测试的对象作全面了解,制定出合理的方案,以满足对计量测试的要求。

第二节 压力计量在国民经济中的应用

在工农业生产、国防建设、科学研究以及人民日常生活各个领域中,凡是利用液体、气体、蒸汽等介质作为动力、加热、密封试验和性能试验等,都反映出有“压力”这个物理量。因此,需要使用各种能显示压力量值的仪器仪表来计量压力的大小和变化等,以便保证生产、科研和人民生活的正常运行。可见,压力计量与国民经济的各个部门,与人民的日常生活等有着密切的联系。

一、压力仪表在生产中具有安全防护作用

各种型式的受压容器都有额定的压力值。如果对容器所承受的压力量值缺乏检查,就可能使其受到损坏,造成生命财产的损失。如生产、生活用锅炉,若无压力表和水位计监视,就很难控制锅炉内的气压和给水量。发电厂的高压鼓形锅炉,只要停止半分钟给水,就会造成压力突增。可能会发生爆炸事故。当压力表失准时,也不能如实反映锅炉内的真实压力值;如压力偏低,不能满足生产、生活的需要;如压力偏高,超过锅炉的承受能力,将使锅

炉发生爆炸。因压力表失准而造成锅炉爆炸事件曾发生过多次。

二、在医疗卫生中的作用

人体（或动物）心脏收缩或舒张时的压力差，促进了血液循环，保证人体各机能正常工作。心脏的收缩与舒张压力及血管承受压力的能力，根据不同年龄各有不同的额定值。如垂危病人血压偏低；血压过高而超过脑血管的受压能力使其破裂时，会发生脑溢血的疾病。血压的变化，直接反映人体的健康状态。因此，医生往往借助血压计或血压表检查人体心脏功能是否正常和血管的输血功能是否符合要求，以准确判断病情，为对症下药提供依据。

对于具有安全防护作用的压力表以及医疗用的血压计（表），属于“安全防护”、“医疗卫生”的压力仪表，按国家计量法规定，必须实行强制性检定。未按规定申请或检定不合格的仪表不得使用。可见，压力计量工作人员责任重大，在工作中必须一丝不苟。

三、在工业生产中的作用

压力是工业生产中的重要参数之一，在石油、化工、电力、原子能、冶金、轻工、食品等各类工业中均占有重要地位。压力计量是正确指导生产操作、保证生产安全、保证产品质量和实现生产过程自动化必不可少的环节。

我国石油天然气储量大，在钻探阶段，压力参数是决定油气储量和有无开采价值的重要依据之一；在开采过程中，采油（气）队根据油（气）井压力参数的变化，采取相应的技术措施，以保证油（气）井的稳产高产。又如利用在真空条件下，一般液体会在较低的温度下沸腾和蒸发的特点，使润滑油生产、溶剂的蒸馏、白糖和食盐的精制等在真空条件下进行，可以保证工艺过程有良好的条件并取得优质产品。在冶金工业生产过程中各种冶炼炉的炉膛压力、烟道压力、氧气供给压力的测量和控制，不仅是生产过程所必须的，而且对于节约能源和安全生产具有重大意义。在化工生产中，氨的合成、塑料的形成、橡胶的压制等行业也需广泛使用压力仪表来指示和控制生产过程。

在工业生产中，有些参数如物位、流量的测量，可以通过压力或压差来达到目的，即测出压力或压差便可确定物位或流量。

四、在农业生产中的作用

水是农业生产的命脉，在修堤筑堰、拦河筑坝、疏通河道等水利工程中，除考虑水利因素外，更要考虑水力因素。水力发电成本低，经济效益高，是能源开发的重要资源。但水力也有弊，因为静止与流动的水对堤堰、河岸将产生静止状态和流动状态的压力和推力。因而在设计、施工中，既要节约投资，使建设效益好，又要考虑汛期水位增高，流量增大对堤岸的静压力和动压力都增大后的承受能力，使其安全可靠，长期造福于农业生产，否则将是堤溃、岸崩，洪水泛滥，造成不应有的生命财产损失。

气象天气预报是农业生产中春播、夏管、秋收的依据之一。大气压力是天气预报的重要

参数。如大气压力测量失准,可能造成天气预报的失准,这将间接影响农业生产。

五、在国防建设中的作用

飞机、导弹的模拟飞行试验,必须测量出它们在气流中飞行时表面的压力分布;为确定飞机、导弹、火箭、卫星的飞行高度及潜水艇在深水中运行时海水的阻力与海水深度;对枪膛、炮膛弹药引爆时产生的压力(对弹头的推力)和炮弹的爆炸压力(杀伤力)进行测量,据此设计出具有高效率而又轻便的武器。所有这些压力参数都离不开压力仪表的测试与计量。

六、在科学研究中的作用

在科研中,对各种材料,包括金属、非金属、绝缘体、半导体、导体和超导体等进行物理和化学的研究,特别是对在高温高压作用下引起物质性能改变的研究,而产生各种新型的高强度材料,例如将松软的石墨放在 $1500\sim 2000^{\circ}\text{C}$ 的温度和 $400\sim 500\text{ MPa}$ 的高温高压装置中,在催化剂的作用下,就能转变成晶莹闪烁的人造金刚石。又据报导(注):在 $2\times 10^5\text{ MPa}$ 压力作用下,气态氢可以转变为固态氢,是具有金属性能的特轻材料,有希望成为室温超导材料;近年有的科学家研究气态氧在 $1\times 10^5\text{ MPa}$ 压力作用下转变为固态氧,其样品能反映红光,呈现出特有的金属光泽,氧转变后的材料是否具有导电性,科学家们正在深入的研究(注:见1987年6月29日《参考消息》)。

压力计量的作用远不止于此。总的来说,从人们日常生活到工农业生产自动化、国防、科研等各个领域都需广泛使用压力仪器仪表,以对生产进行调节,保证产品质量和科研成果,使生产和科研过程中不致发生事故,成为保证生产、人身安全的重要一环。

第三节 本课程的基本内容、学习目的和方法

一、本课程的基本内容

压力仪器仪表是压力计量的工具。本课程以目前使用量大,常见的液体压力计,活塞式压力计、弹性压力表为主要的学习内容。它们的结构简单,准确度高,稳定性好,且易于操作和维护使用。又由于电子技术的发展和自动化测量的需要,国内有些厂家对定型的压力传感器已投入批量生产,在科研单位和国防生产线上已有较多的使用数量,故压力传感器也是重要的学习内容。同时,教材中对国内、国外压力计量的科研成果与新技术的运用,如国家基准液体压力计,超高压测量、低压测量、动态压力测试,绝对压力测试亦作了介绍,应是学习了解的基本内容。

压力仪器仪表种类繁多,各有特色,学习时应掌握的基本内容是:

(一) 结 构 和 原 理

各种类型的压力仪器仪表,它们的结构和工作原理各不相同,经过归纳整理,其结构一

般可分三个主要部分。如图 1.1 所示。

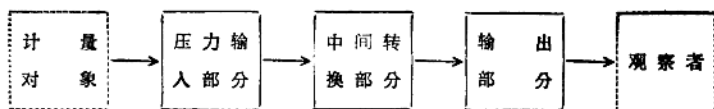


图 1.1 压力仪表结构方框图

三部分中的每一部分是一个结构单元，三个（或多个）部分构成测量装置。它们构成压力信号从输入到输出的通道，从而显示出被计量的压力量值。例如弹簧管压力表第一输入部分是弹簧管，它把被计量的压力量值转变成下一步处理的信号（弹簧管受压后产生弹性变形）；第二部分是中间转换部分，它把输入信号放大，使之适合输出的需要（弹簧管弹性变形引起的线位移经传动放大机构的放大，变成指针的角位移）；第三是输出部分，即指示装置，它将被测压力量值显示给观察者（指针偏转后在表盘上的位置，显示出被测压力量值）。如果是压力传感器，第一部分是弹性元件，受压后产生变形位移，第二部分是机械量转换为电量（电流、电压、电阻等或加以放大），第三部分一般由数字显示装置显示为被测压力量值（电参量）。

基础课讲述的设备结构是普遍适用的典型例子，而压力专业课既要讲典型结构，更要注意每台仪器的特殊结构。因为每台仪器结构的细微变化（如几何量变化）都将影响仪器的准确度。

仪器结构一经确定，其工作原理便基本确定。与工作原理密切相关的帕斯卡定律，流体静力学平衡原理和数学方程等基本内容应彻底理解和掌握应用。

（二）学习压力计量检定规程

检定规程中规定了计量检定的操作方法和步骤以及检定结果的数据处理。

在压力计量检定中，操作方法和步骤的不同有可能影响仪器仪表的准确度。为了保证压力量值的准确一致，故在检定规程中规定了操作方法和步骤。这需要通过第八章压力仪表的检定和实验课去理解和掌握。

在了解仪表的检定方法以后，还应较熟练、正确地掌握操作技术。正确的操作技术来源于：熟悉所使用的标准器和受检计量器具的结构、原理和性能；正确使用压力仪表并能及时判断它们是否处于正常工作状态；能够分析在检定中出现的异常状态，力求排除由异常状态带来的故障等。具体的操作技术在课程实验中获得。

（三）学习运用误差理论知识

应用误差理论对计量检定结果的准确度等级作出准确的评价。从误差理论知识得知，任一计量检定结果都客观地存在误差。准确度等级综合反映了计量器具的技术性能指标，所以首先应正确处理（计算）检定数据，以便得到正确的结果；其次根据被计量仪表准确度等级的需要选用合适的误差合成方法，以便确定准确度等级。

二、本课程的学习目的

通过本课程的学习,为读者从事压力计量工作打下初步基础,再经实际工作的锻炼,能为工农业生产、国防、科研提供准确可靠的压力计量数据。

学完本课程后,在实际工作中还可能接触到本课程没有讲述的压力仪器仪表,还会遇到使用、维护、检定、调修的新问题或对仪器仪表进行技术改造,挖潜革新等技术问题。同时结合本课程的先导课:数学、物理、流体力学、机械原理、误差理论等基础课程所学习的内容,将压力专业课和基础课的知识结合起来,对问题进行分析研究。这样,如遇到技术问题,就会迎刃而解。

三、本课程的学习方法

1. 对照具体的仪表学习基础知识。压力专业课多数是针对某一仪表而学习的。其中多数仪表有实物样品,理论联系实际,容易理解和记忆。

2. 压力计量检定是一项操作技术,要求熟练掌握检定,调修技术和数据处理技能。只有经过多检定、多调修、多计算,并不断总结、积累经验,使技术能力与业务水平不断提高,不断创新。

习 题

1. 简述压力计量在国民经济中的应用。
2. 压力计量的发展方向是什么?
3. 我国压力计量检定机构是怎样布局的?

第二章 压力基础知识

第一节 压力的概念

一、压力的含意

压力又称压强，是垂直作用在单位面积上的分布力。

压力的作用力含意是广泛的，作为物理概念，力是物质间的相互作用。由于自然界中物质间的相互作用的方式和原理的不同，力可分为多种类型，例如万有引力、弹性力、摩擦力、静电力和电磁力等。力可以改变物体的机械运动状态或改变物体所具有的动量，使物体产生加速度，这是力的动态效应。力还可使物体产生形变，在物体中产生应力，这是力的静态效应。凡是使物体动量发生改变而获得加速度或使物体产生变形的作用力都称为力。

从力的动态效应，压力等于单位面积 A 上物体动量的改变率

$$P = \frac{1}{A} \cdot \frac{d(mv)}{dt} \quad (2.1)$$

式中： $d(mv)/dt$ ——物体运动而产生的作用力，即 $F = d(mv)/dt$ ，

m ——物体质量 (kg)；

v ——物体运动速度 (m/s)；

t ——物体运动时间 (s)；

p ——压力量值 (P^0)；

A ——作用面积 (m^2)；

$$\text{因此 } p = \frac{F}{A} \quad (2.2)$$

式 (2.2) 是压力的基本表示式。压力的量值在工程技术上都用压力仪表来测量。

在压力作用下，受压物体的体积和形状都要发生变化，同时增加对容器的反压力，当作用于物体上的压力消失时，物体又恢复原来的体积和形状，物体的这种性质称为弹性。平衡时，外力与物体的弹力的量值相等。因此，可用物体的弹力来表示压力量值。

液体的压力：在液体中，由于液体自重产生的压力作用于液体中各高度层的面积上产生的力，分别作用于容器的器壁，同时液体的体积也有改变。如图 2.1 所示，设有一定容积的密封容器装满液体，容器的侧壁装有两个面积不相同的活塞 A 和 B ，有一作用力 F_A 推动活塞 A 移动的位移量为 x ，从而使容器内的液体产生 p_A 的压力，此时 p_A 经液体传递到活塞 B 上，推动活塞 B 向前移动距离 x' ，从而产生的作用力为 F_B 。根据能量守恒定律有

$$F_A \cdot x = F_B \cdot x'$$

$$\text{因 } F_A = p_A \cdot A_A, \quad F_B = p_B \cdot A_B$$

$$\text{故 } p_A \cdot A_A \cdot x = p_B \cdot A_B \cdot x'$$

式中: A_A 、 A_B ——A、B 活塞的作用面积 (m^2)。

因液体的可压缩性小 (纯水为 $1/20\,000$)，若忽略不计，则 A 活塞受力后排开液体的体积和进入 B 活塞液体的体积相等，即

$$A_A \cdot x = A_B \cdot x' \quad \text{则}$$

$$p_A = p_B$$

图 2.1 的演示证明了当液体受压后，压力传向四面八方，其强度保持不变。这是液压技术的基本原理。

法国科学家帕斯卡 (B. Pascal 1623~1662 年) 在 1653 年首先认识液体压力规律，因而叫帕斯卡定律：“当外力作用于液体表面所产生的压力 (压强)，传播到液体中的任何方向，其强度保持不变。”此定律也适用于气体，故帕斯卡定律也可叙述为：“当外力作用于密闭流体所产生的压力，传播到流体的任何方向，其强度保持不变。”帕斯卡定律对液压技术的发展，起了重要作用。如水泵机、千斤顶、液压制动器等都是根据帕斯卡定律研制成的。同时帕斯卡定律也是压力计量所依据的基本原理。

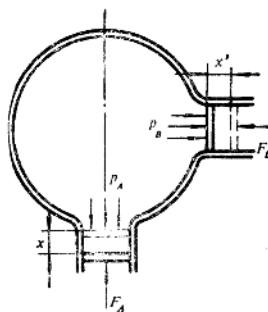


图 2.1 液体压力传递示意图

气体的压力：同液体压力一样，压力垂直均匀传递到被作用的面积上。而气体受压后其体积的改变十分明显，即气体所占有空间的压力增大，其体积将减小，而密度增大。气体压力同样传到容器的器壁和各种限制面上。

固体的压力：当外力作用于固体上时，就会因受力变形而产生应力。压力与应力是同一计量单位。力作用于固体，不象流体那样均匀传递到每一个质点。因此，当压力作用于固体上时，固体的体积可能局部或全部变形，在超极限压力后，可能产生塑性变形，使物体局部或全部的损坏。

二、压力的分类

由于使用场合的不同，需要的条件也不一样，因此有各种不同的压力。为叙述方便起见，将几种不同的压力概念一一介绍。

1. 大气压力：大气自重所产生的压力，亦称气压，以 p_0 表示。大气压力量值随气象情况、海拔高度和地理纬度等不同而改变。

2. 绝对压力：以零作参考压力的差压。

3. 表压力：以环境大气压力作参考压力的差压。在不混淆的情况下常简称压力。

(1) [正]表压：绝对压力高于大气压力的表压力。以 p 表示 (方括号 [] 中的正字，在不致引起混淆、误解时可以省略)。

(2) 负[表]压：绝对压力低于大气压力的表压力。以 p_0 表示。

(3) 真空度：低于大气压力的绝对压力。

(4) 差压〔压力〕：两个相关压力之差。

(5) 静态压力：在所研究的领域内，不变压力或变化缓慢到可以不考虑其随时间变化的压力。

(6) 动态压力：在所研究的领域内，随时间变化的压力。

各种压力之间的关系：

取一压力容器，其内腔与一装有水银的 U 形压力计相通，如果容器与大气压力连通，则作用在两边管子水银面上的压力相等，因此在两管子中的水银面将在同一水平面上（图 2.2 a）。如果容器升压，当水银面升到一定高度 h 时保持平衡，此时在截面位置 0-0 处两边压力相等（图 2.2b），而压力容器内的压力为

$$p_a = p_0 + h \rho g = p_0 + p \quad (2.3)$$

或

$$p = p_a - p_0 \quad (2.4)$$

式中： $p = \rho gh$ ——表压力，又称相对压力；

ρ ——水银密度 (kg/m^3)；

g ——重力加速度 (m/s^2)。

式 (2.4) 中 p 为〔正〕表压，即高于大气压力的绝对压力与大气压力之差。

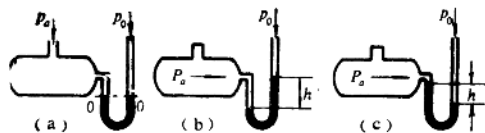


图 2.2 压力概念原理图

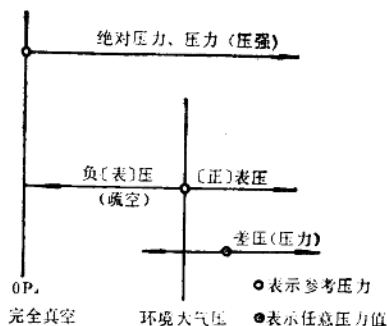


图 2.3 各种压力命名间的关系

如图 2.2 c 所示，当容器绝对压力小于大气压力时，水银面由管子右端受大气压力而下降，左端上升，两液面之间的高度差为 h ，在 0-0 位置处保持平衡，此时平衡方程式为

$$p_a + p_v = p_0 \quad \text{或}$$

$$p_v = p_0 - p_a \quad (2.5)$$

式 (2.5) 为负〔表〕压表示式。即当绝对压力小于大气压力时，大气压力与绝对压力之差。

图 2.3 说明以上各种压力概念之间的关系。

完全真空是一种理想而实际不存在的状态，假设在这种状态下绝对压力为零，在图 2.3 中用供计算绝对压力的参考线表示，如任一容器中还存在微量的压力，称之为真空度。微量绝对压力 p_a 的计量，在我国属于真空计量试验室的业务范围。

以上几种不同的压力，体现在压力仪表中的粗略情况是：如果在受压容器中的绝对压力等于大气压力，即 $p_a = p_0$ ，从式 (2.4)、(2.5) 中知，〔正〕表压和负〔表〕压的示值均为零，也就是压力表、真空表或压力真空表的指针均指示在零点处。同理，如果容器中表压力指示为零，则绝对压力等于大气压力，即 $p_a = p_0$ ，这时只能用大气压力表去测量容器中的大气压