

# 压力测量仪器 的管理

〔日〕 知久明 金田良作 等合编  
房景富 韩慧文 袁先富 译

823.07

计 量 出 版 社

## 内 容 提 要

本书是日本工厂企业进行工业压力测量的经验总结,全书共分七章,系统叙述压力测量的基础知识、弹性压力计、液体压力计、压力变送器、压力测量系统及活塞式压力计,书中还列举了常用压力测量仪器的典型管理标准。

可供各级计量机构中从事压力专业的计量人员阅读,也适用于工业、科研、教学部门从事压力测量的人员参考。

### 压力計測機器の管理

産業計測機器管理基準研究委員会編

計量管理協会 1978

### 压力测量仪器的管理

〔日〕知久明 金田良作 等合編

房景富 韩慧文 袁先富 译

责任编辑 徐鹤

\*

计量出版社出版

(北京和平里11区7号)

中图公司上海印刷厂排版

北京计量印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/32 印张 6 1/2

字数 143 千字 印数 1—30 000

1983 年 2 月第一版 1983 年 2 月第一次印刷

— 统一书号 15210 · 218

定价 0.88 元

科技新书目: 41—176

## 译 者 的 话

压力测量是整个计量测试技术的一个组成部分，在工业生产中起着重要作用。压力测量对于合理地使用原材料，改进工艺流程，提高产品质量都是必不可少的环节。在工业自动化过程中，压力是检测的一个重要参数。为了得到准确可靠的测量信息，必须对工业用压力测量仪表加强管理。随着工业自动化流程日趋复杂，单靠过去传统的检测方法已不能满足现代化生产的需要。许多测量仪器要在生产现场、甚至在生产线上进行校准。这就需要有一整套适合于现代化工业生产对测量仪器进行管理的先进技术。

为了适应上述要求，日本计量管理协会最近成立了“工业测量仪器管理标准研究委员会”，由工业测量仪器的制造部门、使用部门和研究部门等各方面的专家组成了工业测量仪器基本委员会和质量、温度、流量、压力四个分组委员会。经过一年多在工厂现场的实地调查研究，委员会收集到大量材料，最后编写出一套《工业测量仪器管理标准》丛书，作为工业测量仪器的管理指南。

本书系这套丛书的第五分册，是由知久明委员长为首、金田良作为干事的压力分组委员会集体编写的。该委员会的委员包括：小林昭夫、塚本正仁、豊島伸行、藤井定美、三沢武則。

这本书是日本工厂企业进行工业压力测量的经验总结，是根据压力测量的基础知识并结合具体工作经验编写而成的，内容丰富，技术实用，通俗易懂。为了完善全书的系统性，我们又从日文《压力標準の管理技術マニュアル》一书中摘译

了第三章“重锤型压力标准器”，作为本书的第七章“活塞式压力计”，对常用的标准器——活塞式压力计作了较全面的介绍。本书对我国工业部门从事压力测量的人员有实际参考价值，对各级计量部门和科研、教学部门有关压力测量专业的人员也有一定的参考意义。

本书由房景富、韩慧文、袁先富三人翻译，由房景富统稿。

由于译者的水平有限，如发现有翻译错误或不当之处，请读者批评指正。

译 者

1982年2月

# 目 录

## 第一章 概 论

|                           |        |
|---------------------------|--------|
| 1.1 概 述 .....             | ( 1 )  |
| 1.1.1 前 言 .....           | ( 1 )  |
| 1.1.2 内容提要 .....          | ( 1 )  |
| 1.1.3 有关法规 .....          | ( 2 )  |
| 1.2 单位和基准 .....           | ( 3 )  |
| 1.2.1 压力的定义与分类 .....      | ( 3 )  |
| 1.2.2 单 位 .....           | ( 6 )  |
| 1.2.3 基准和溯源性 .....        | ( 8 )  |
| 1.3 压力计的种类和性能 .....       | ( 10 ) |
| 1.3.1 压力计的种类、用途和特征 .....  | ( 10 ) |
| 1.3.2 压力计的测量动作方式和特点 ..... | ( 13 ) |
| 1.3.3 压力计的组成部分和特点 .....   | ( 16 ) |
| 1.3.4 有关压力计的标准 .....      | ( 25 ) |
| 1.4 压力计的选择 .....          | ( 26 ) |
| 1.4.1 一般的选择条件 .....       | ( 26 ) |
| 1.4.2 环境与被测对象的选择条件 .....  | ( 31 ) |
| 1.4.3 压力计的验收和保管 .....     | ( 36 ) |
| 1.5 压力计的安装和测量系统的组成 .....  | ( 37 ) |
| 1.5.1 安装场所的选择 .....       | ( 37 ) |
| 1.5.2 流体的性质 .....         | ( 42 ) |
| 1.5.3 导压管 .....           | ( 46 ) |
| 1.6 压力计的检查 .....          | ( 52 ) |

|       |                     |        |
|-------|---------------------|--------|
| 1.6.1 | 压力测量误差 .....        | ( 52 ) |
| 1.6.2 | 防止误差的措施与误差的修正 ..... | ( 55 ) |
| 1.6.3 | 压力计精度的检查和校准 .....   | ( 57 ) |
| 1.6.4 | 压力标准器 .....         | ( 61 ) |

## 第二章 弹性压力计

|       |              |        |
|-------|--------------|--------|
| 2.1   | 概 述 .....    | ( 66 ) |
| 2.2   | 组 成 .....    | ( 67 ) |
| 2.2.1 | 波登管压力计 ..... | ( 67 ) |
| 2.2.2 | 波纹管压力计 ..... | ( 78 ) |
| 2.2.3 | 膜片压力计 .....  | ( 81 ) |
| 2.2.4 | 膜盒压力计 .....  | ( 82 ) |
| 2.3   | 典型管理标准 ..... | ( 86 ) |
| 2.4   | 注意事项 .....   | ( 86 ) |

## 第三章 液体压力计

|       |               |        |
|-------|---------------|--------|
| 3.1   | 概 述 .....     | ( 87 ) |
| 3.2   | 组 成 .....     | ( 91 ) |
| 3.2.1 | U 形管压力计 ..... | ( 91 ) |
| 3.2.2 | 单管式压力计 .....  | ( 91 ) |
| 3.2.3 | 斜管式压力计 .....  | ( 92 ) |
| 3.2.4 | 绝对压力计 .....   | ( 93 ) |
| 3.2.5 | 其他液体压力计 ..... | ( 93 ) |
| 3.3   | 典型管理标准 .....  | ( 96 ) |
| 3.4   | 注意事项 .....    | ( 96 ) |

## 第四章 电动压力变送器

|     |           |        |
|-----|-----------|--------|
| 4.1 | 概 述 ..... | ( 97 ) |
| 4.2 | 组 成 ..... | ( 98 ) |

|       |                       |       |
|-------|-----------------------|-------|
| 4.3   | 典型管理标准 .....          | (100) |
| 4.4   | 注意事项 .....            | (100) |
| 4.4.1 | 一般注意事项 .....          | (100) |
| 4.4.2 | 管理周期 .....            | (101) |
| 4.4.3 | 零点调整、量程调整和直线性调整 ..... | (101) |
| 4.4.4 | 防爆品 .....             | (101) |

## 第五章 气动压力变送器

|       |              |       |
|-------|--------------|-------|
| 5.1   | 概 述 .....    | (103) |
| 5.2   | 组 成 .....    | (109) |
| 5.3   | 典型管理标准 ..... | (110) |
| 5.4   | 注意事项 .....   | (111) |
| 5.4.1 | 一般注意事项 ..... | (111) |
| 5.4.2 | 管理周期 .....   | (111) |
| 5.4.3 | 垫圈类零件 .....  | (111) |
| 5.4.4 | 其 他 .....    | (116) |

## 第六章 压力测量系统

|       |                    |       |
|-------|--------------------|-------|
| 6.1   | 普通的压力测量系统 .....    | (117) |
| 6.1.1 | 压力计的配管要领 .....     | (117) |
| 6.1.2 | 取压口 .....          | (118) |
| 6.1.3 | 阀 门 .....          | (119) |
| 6.1.4 | 压力计的安装 .....       | (120) |
| 6.1.5 | 工业用压力计的测量系统 .....  | (120) |
| 6.2   | 产生冷凝液的气体压力测量 ..... | (121) |
| 6.2.1 | 概 述 .....          | (121) |
| 6.2.2 | 测量系统的组成 .....      | (122) |
| 6.2.3 | 测量系统的选择 .....      | (125) |
| 6.3   | 水蒸气的压力测量系统 .....   | (125) |

|        |                        |       |
|--------|------------------------|-------|
| 6.3.1  | 概 述 .....              | (125) |
| 6.3.2  | 测量系统的组成 .....          | (126) |
| 6.4    | 易蒸发液体的压力测量系统 .....     | (126) |
| 6.4.1  | 概 述 .....              | (126) |
| 6.4.2  | 测量系统的组成 .....          | (127) |
| 6.5    | 层分离及相分离的流体压力测量系统 ..... | (127) |
| 6.5.1  | 概 述 .....              | (127) |
| 6.5.2  | 测量系统的组成 .....          | (128) |
| 6.6    | 凝固性液体的压力测量系统 .....     | (128) |
| 6.6.1  | 概 述 .....              | (128) |
| 6.6.2  | 测量系统的组成 .....          | (128) |
| 6.7    | 混有固体颗粒的流体压力测量系统 .....  | (130) |
| 6.7.1  | 概 述 .....              | (130) |
| 6.7.2  | 测量系统的组成 .....          | (131) |
| 6.8    | 腐蚀性流体的压力测量系统 .....     | (132) |
| 6.8.1  | 概 述 .....              | (132) |
| 6.8.2  | 耐腐蚀材料 .....            | (132) |
| 6.8.3  | 测量系统的组成 .....          | (132) |
| 6.9    | 高温和低温流体的压力测量系统 .....   | (133) |
| 6.9.1  | 概 述 .....              | (133) |
| 6.9.2  | 选择材料的方法 .....          | (133) |
| 6.10   | 脉动流体的压力测量系统 .....      | (133) |
| 6.11   | 差压测量系统 .....           | (134) |
| 6.11.1 | 概 述 .....              | (134) |
| 6.11.2 | 差压测量系统 .....           | (134) |
| 6.12   | 典型管理标准 .....           | (136) |
| 6.13   | 注意事项 .....             | (137) |

## 第七章 活塞式压力计

|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| 7.1 概 述 .....                   | (144) |
| 7.1.1 原理及分类 .....               | (145) |
| 7.1.2 活塞有效面积(活塞式压力计的装置常数) ..... | (150) |
| 7.1.3 误差因素 .....                | (152) |
| 7.1.4 压力介质 .....                | (162) |
| 7.2 结 构 .....                   | (163) |
| 7.2.1 液体(油压)式活塞压力标准器 .....      | (163) |
| 7.2.2 气体(空气压)式活塞压力标准器 .....     | (165) |
| 7.2.3 特殊活塞式压力标准器 .....          | (167) |
| 7.3 校准和管理 .....                 | (169) |
| 7.3.1 校准方法的种类和条件 .....          | (169) |
| 7.3.2 绝对校准 .....                | (170) |
| 7.3.3 比较校准 .....                | (186) |
| 7.3.4 标准器的维护和管理 .....           | (189) |
| 7.3.5 注意事项 .....                | (192) |
| 7.4 应 用 .....                   | (193) |
| 7.4.1 概 述 .....                 | (193) |
| 7.4.2 一般校准 .....                | (194) |
| 7.4.3 特殊校准 .....                | (195) |

# 第一章 概 论

## 1.1 概 述

### 1.1.1 前 言

压力计主要是指测量流体压力的测量仪器的总称。压力计有两类：一类是测量流体静压力(随时间变化慢的压力)的压力计；一类是测量流体变动压力(随时间变化快的压力)的压力计；例如测量往复式发动机或压缩机等气缸内变动压力的压力计。为了区别这两类压力计，把测量脉动压力的压力计叫做示功器。

压力计测量压力的基本方法有两种：一种是使压力与固体或流体的重量平衡或使压力与弹性体的弹性变形产生的应变力平衡的方法，即机械式测量方法；另一种是不直接测量由压力产生的力，而是利用与压力有关的物理现象来测量压力的方法；例如利用电气性质的变化等。特别是当真空度高，用机械方法测量困难时，通常都是利用放电现象、电离现象和热传导率变化等进行测量。

本书介绍压力计有工业上常用的利用机械测量方法的弹性压力计和液体压力计，同时介绍用于远距离指示感压部分位移量的电动压力变送器、气动压力变送器和连接压力计的管道系统，即压力测量系统。

### 1.1.2 内容提要

本书系有关压力计及压力测量系统维护管理方面的通用管理标准。在不同的使用场合应以这个标准作为典型示范，

结合压力计的具体使用目的、使用条件、环境条件，制订出适合于该使用场合的具体管理标准，並以此为依据实施正确的维护管理，从而提高工业测量水平。这也是编写本书的目的。

因此，在内容安排上，在第一章概论里讲解了有关压力测量仪器维护管理方面必须注意的问题，共分为六节。第1节绪论；其余几节介绍压力测量基础；第2节介绍压力单位和基准並作为压力计的通用内容；第3节介绍压力计的种类和性能；第4节介绍压力计的选择标准；第5节介绍压力计的安装和测量系统的组成；第6节介绍压力计的检查 and 标准器。以后各章分别介绍在工业测量中常用的压力计，分别讲述了有关弹性压力计(第二章)、液体压力计(第三章)、电动压力变送器(第四章)、气动压力变送器(第五章)的概况、构造、特点、使用方法等，列举了这些常用压力计的典型管理标准。

在维护管理压力计时，首要的当然是根据使用目的，选择规格、型号最合适的压力计。但是，设计使压力计适应测量条件，特别是被测流体性质和状况的压力测量系统並且进行正确的施工和管理，也很重要。

因而在第六章压力测量系统中提出了标准的管道系统和管理上的注意事项。

最后，在第七章编入了常用的压力标准器——活塞压力计的原理、结构、分类及应用等内容。

书中叙述的典型管理标准和压力测量系统只是一个示例。在实际管理压力计和建立管路系统时，要认真阅读並充分理解每台仪器所附的使用说明书，综合考虑工艺过程中压力测量的目的，仪器使用条件和环境条件，制订符合实际的管理方法并予以实现。

### 1.1.3 有关法规

为了确保计量的安全，日本制定有计量法和一系列法令、

法规.下面列出与压力计有关的法规,供参考.

- (1) 计量法
- (2) 计量法施行细则
- (3) 计量器具检定检查法令
- (4) 计量器具检定检查规则
- (5) 标准器检查规则
- (6) 高压气体管理法
- ① 冷冻安全规则
- ② 液化石油气安全规则
- ③ 一般高压气体安全规则
- ④ 联合企业等安全规则
- (7) 劳动安全卫生法
- ① 劳动安全卫生规则
- ② 锅炉及压力容器安全规则
- (8) 消防法
- ① 关于管制危险物品的政令
- ② 关于管制危险物品的规则

此外,关于压力计的有关标准请参阅 1.3.4 压力计的有关标准.

## 1.2 单 位 和 基 准

### 1.2.1 压力的定义与分类

压力是用均匀作用在单位面积上的垂直力定义的,是表示强度的力学量.在连续体中,通过一个任取的平面,把所分成的两部分相互推挤时所产生的法向应力就是压力.此时,把整个作用在连续体上的力叫全压力.虽然还有固体内部的压力,固体间接触面的压力等情况,但是,通常在工业测量领域所研究的压力是流体压力.

对于静止流体,任何一点的压力与所取的面无关,在所有方向上都具有同样大小.把这种具有各向同性的压力叫做静水压.在重力场中,在同一水平上各点的压力相等,形成等压面,但是在垂直方向产生压力梯度.

对于运动流体,任何一点的压力是所取平面方向的函数,并在与流动方向垂直的面上得到最大值.把这个压力的最大值叫做该点的总压力.而作用在与流动方向平行的面上的压力,就是通常所称的静压力.把总压力与静压力之差称做动压力.动压力是流速的函数.设流体密度为  $\rho$ , 速度为  $v$ , 则动压力可用  $\frac{1}{2}\rho v^2$  表示.

流体现象可用与此有关的流体能量守恒定律——伯努利定理进行解释,即假定流体为无粘性的理想流体并忽略流体的压缩性时,则沿着一流的下列关系式成立:

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{const} \quad (1.1)$$

式中:  $P$ ——静压;

$\frac{1}{2}\rho v^2$ ——动压;

$g$ ——重力加速度;

$h$ ——距某标准面的高度.

当流体成水平方向的稳定流动时,得到下式:

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{const} \quad (1.2)$$

这时静压与动压之和,即总压力为常数.流速大时静压低,反之,流速小时静压高.

对于实际流体,由于有粘滞阻力引起的能量损失,所以总压力不能保持常数,而沿流动方向减少.有涡流的情况也是这样.

此外,当流体静止时,即  $v = 0$  时,式 (1.1) 变成与静止流体有关的伯努利方程:

$$P + \rho gh = \text{const} \quad (1.3)$$

从测量角度来看,根据流体压力随时间有无变化的特征,把流体压力大体分为静压力和动压力. 为了避免和上述流体力学的静压,动压分类相混淆,特地把这里提到的静压力叫做静定压(力)●,把动压力叫做变动压(力).把变动压(力)又细分为狭义的变动压(力)和脉动压(力).

考虑到在工业测量领域里广泛使用的弹性压力计特性,通常采用下述意义的术语,在本书中也是用这些术语的含意.

静定压(力):压力随时间的变化,每秒钟为压力计分度值的 1% 或每分钟 5% 以下的压力叫做静定压(力). 平时单称压力时就指的是静定压力.

变动压(力):压力随时间的变化超过静定压(力)限度的压力叫变动压力.狭义的分类,把非周期变化的压力叫变动压(力).把不连续而且变化大的压力叫冲击压(力).

脉动压(力):压力随时间变化超过静定压(力)限度并作周期变化的压力,叫脉动压(力).

压力按测量方法分类,根据取零标准的方法分为三类:绝对压(力)、表压(力)、差压(压力).

绝对压(力):以完全真空作零标准表示的压力叫绝对压(力).表示绝对压(力)的时候,通常在单位符号后边附加上符号“abs”.在用绝对压(力)表示低于大气压的压力时,把该绝对压(力)叫真空度.

表压(力):以大气压作零标准表示的压力叫表压(力).单称呼压力时指的就是表压(力).表示表压(力)的时候,通常在

---

● 带括号的写法表示这部分可以任意省略,如把静定压力简称为静定压,下同.

单位符号后边附加上符号“G”。当用表压(力)表示负表压(力)(低于大气压的压力)时,把该表压(力)叫真空压(力)①\*。

差压(压力):用两个压力之差表示的压力叫差压(压力),也就是以大气压以外的任意压力作零标准表示的压力。

图 1.1 是表示这些名词术语关系的图解。

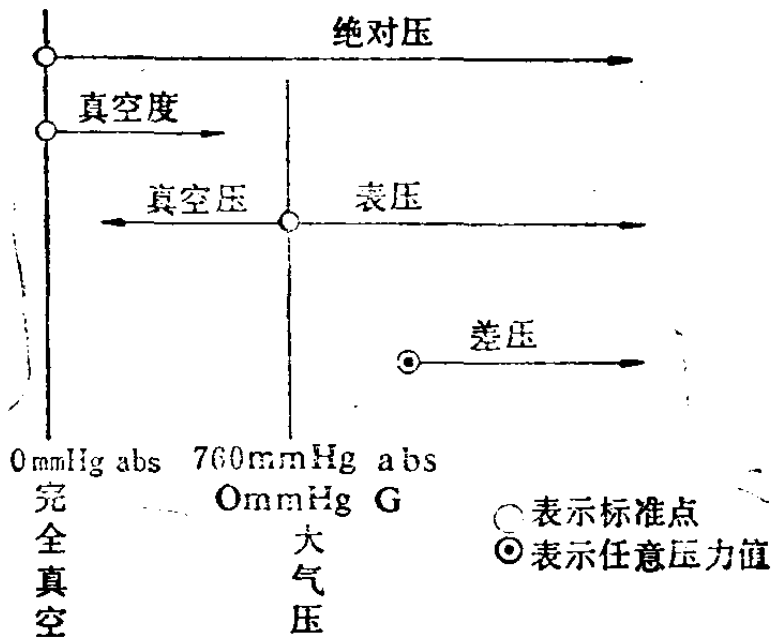


图 1.1 压力的种类和关系

### 1.2.2 单位

压力的单位种类很多。有 MKS 单位制、CGS 单位制、工程单位制、液柱单位制以及大气压为标准的单位。因为应用的习惯和压力测量手段、测量范围等关系，各种单位一直在混用。

日本计量法第五条及第六条中规定压力的法定计量单位有六种：牛顿每平方米、千克力每平方米、米汞柱、米水柱、大气压及巴。②

① 按能测正、负表压(力)刻度的压力计叫做压力真空计。

\* 这里讲的真空压在我国也叫疏空——译者注

② 最近 (1978 年 5 月) 根据日本计量法的部分修正，新增加了法定计量单位帕斯卡(Pa)。

在工业测量领域主要采用工程单位制及液柱单位制的四个倍数和分数单位.即在高压范围采用  $\text{kgf}/\text{cm}^2$ , 在真空、微压、低压范围采用  $\text{cmHg}$ 、 $\text{mmHg}$  及  $\text{mmH}_2\text{O}$ . 采用哪种单位是任意的, 但是通常认为最好采用能使测量值的数值在 0.1 到 1000 之间的单位. 根据这种观点, 除特殊情况外, 上述四种单位完全可以满足工业测量的被测压力范围的要求.

——为了在有关人员之间, 甚至在整个社会顺利地进行有关“量”的信息传递与交换, 希望采用的单位能简单、统一. 因此, 为谋求在国际上计量单位的标准化, 提倡向国际单位制 (SI) 统一.

国际单位制规定的压力单位是帕斯卡 (Pa). 帕斯卡是在 1971 年第十四届国际计量大会上给予国际单位制压力单位牛顿每平方米的专门名称,  $1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2$ .

日本正在日本工业标准等方面推行国际单位制. 已作了部分修改的计量法规定采用帕斯卡 (Pa). 然而, 在实际应用中向帕斯卡单位过渡还存在许多问题, 在国际上也还有些争论. 虽然, 预期将来压力单位能统一为帕斯卡单位系列, 但是作为必不可少的前提条件是使用和普及按帕斯卡单位刻度的压力计.

在本书中考虑到将来采用帕斯卡单位系列, 同时适应当前工业界使用压力计的实际情况, 采用了有限的几种压力单位. 在以下各节中采用了四种压力单位:  $\text{kgf}/\text{cm}^2$ 、 $\text{cmHg}$ 、 $\text{mmHg}$  及  $\text{mmH}_2\text{O}$ . 其中  $\text{kgf}/\text{cm}^2$  是根据国际的表示方法, 排除了在日本使用的  $\text{kgW}/\text{cm}^2$  和  $\text{kg}/\text{cm}^2$  的表示方法. 同时, 也排除了  $\text{mmAq}$  的写法. 关于单位符号的写法, 要注意符号中大写、小写区别并以正体书写, 而量的符号用斜体书写.

此外, 把测量结果等以文献资料形式对外发表, 特别是在

国际上发表时,即使在当前,也希望换算成帕斯卡系列单位的值. 换算时,一定要注意根据测量值有效数字的数量级进行换算.

表 1.1 表示主要压力单位换算关系.

表 1.1 压力单位换算系数表

|                      | Pa                                   | kgf/cm <sup>2</sup>      | cmHg                    | mmHg                    | mmH <sub>2</sub> O |
|----------------------|--------------------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------|
| 1Pa                  | =1                                   | $1.01972 \times 10^{-5}$ | $7.5006 \times 10^{-4}$ | $7.5006 \times 10^{-3}$ | 0.101972           |
| 1kgf/cm <sup>2</sup> | =98067                               | 1                        | 73.556                  | 735.56                  | 10000              |
| 1cmHg                | =1333.22                             | 0.013595                 | 1                       | 10.000                  | 135.95             |
| 1mmHg                | =133.322                             | 0.0013595                | 0.10000                 | 1                       | 13.595             |
| 1mmH <sub>2</sub> O  | =9.8067                              | 0.00010000               | 0.0073556               | 0.073556                | 1                  |
| 1N/m <sup>2</sup>    | =1Pa                                 |                          |                         |                         |                    |
| 1atm                 | =101325Pa=1.03323kgf/cm <sup>2</sup> |                          |                         |                         |                    |
| 1bar                 | =100000Pa=1.01972kgf/cm <sup>2</sup> |                          |                         |                         |                    |

1.2.3 基准和溯源性

基准是具体复现单位大小的装置或方法. 压力基准可以采用属于物性常数的压力定点①等方法. 但是,一般采用属于一次压力计的液体压力计②和活塞压力计③作为压力基准器和压力标准器.

压力标准器按其测量对象及精度分为几个等级,并没有限制标准器的结构. 在检查校准工业用的压力测量仪器时,所用的实用标准器大多数是压力标准器. 根据计量法的规定,压力标准器是实用压力标准,对精度和结构有一定限制,并且在计量法中规定必须用压力标准器对压力测量仪器进行管理.

在生产线上进行校准等简单检查时,可以不用压力标准器,而用经过仔细校准过的二次压力计(弹性压力计等). 有

① 如 CO<sub>2</sub> 的气-液相平衡点,在 0℃ 时其平衡压力值为 35.54 kgf/cm<sup>2</sup>.  
② 在日本计量法上分别叫做液柱式压力计和重锤式压力计.