

压力表

许正国 主编

水利电力出版社

内 容 提 要

本书对压力测量仪表的工作原理、结构和使用调整等作了全面系统的叙述。其中对新型电动压力变送器,如应变式、电容式、振弦式压力变送器等作了比较详细的介绍;另外还介绍了压力开关和新型压力显示仪表。

本书可供电力、冶金、石油、化工等工业部门从事生产过程控制仪表安装及维修的工程技术人员和工人工作和学习时参考。

压 力 表

许正国 主编

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 8.875印张 193千字 1插图

1990年10月第一版 1990年10月北京第一次印刷

印数0001—2940册

ISBN 7-120-01194-4/TP·42

定价5.50元

前 言

在火力发电厂中，无论是机组安装人员，还是生产维修人员，对于压力表和压力测量并不陌生，但要系统地正确地全面了解，则又感到缺乏较系统的专业技术读物（本专业的工人和技术人员更希望能够有一本较完善的读物和参考资料）。随着机组容量的增大，自动化水平的提高，对一些新型压力变送器和仪表的原理和性能，更希望能有系统的了解，本书就是为满足这种需要而编写的。

本书除论述了一般压力仪表外，还较详细地论述了目前最先进的几种压力变送器和显示仪表，并对正在发展中的先进压力变送器作了简单介绍。

本书由许正国主编，其中第四章第四节、第五节由李一平同志编写，李一平同志还负责绘制书中的大部分附图。

在编写过程中得到了有关电厂、工厂和公司的支持，在此一并致谢。

由于编写时间仓促，调查研究不够深入，新型变送器的资料又很少，加上编者经历不广，水平有限，定有不少缺点和错误，恳请广大读者赐教指正。

编者

1989年11月

目 录

前 言

第一章 概述	1
第一节 压力的概念和单位.....	1
一、压力的概念 二、压力单位	
第二节 压力表的分类.....	5
一、根据作用原理分类 二、按被测压力种类和大	
小分类 三、按显示方式分类 四、按使用环境分	
类 五、其它分类方式	
第三节 压力表的选择.....	6
一、一般选择条件 二、特殊条件的选择	
第二章 静重式压力计	9
第一节 液体压力计.....	9
一、U形管压力计 二、单管压力计 三、多管压	
力计 四、斜管微压计 五、补偿式微压计	
第二节 活塞式压力计.....	16
一、液体式活塞压力计 二、浮球式标准压力计	
第三章 弹性压力表	24
第一节 弹性感压元件的特性.....	24
一、弹性滞后和蠕变 二、弹性后效和永久变形	
三、比例极限	
第二节 弹簧管压力表.....	26
一、单圈弹簧管压力表 二、精密压力表 三、螺	
旋形弹簧管压力表	
第三节 膜片压力表.....	38

一、工作原理 二、膜片压力表的型式及技术特性	
第四节 膜盒压力表·····	40
一、工作原理 二、膜盒压力表的型式及技术特性	
第五节 波纹管压力表·····	44
一、工作原理 二、波纹管的特性	
第四章 电动压力变送器·····	47
第一节 差动变压器式压力变送器·····	48
一、工作原理 二、技术性能	
第二节 电位器式压力变送器·····	53
一、工作原理 二、滑线电阻器的特性 三、滑线电阻器的材料 四、技术性能	
第三节 应变式压力变送器·····	55
一、应变片 二、应变片组成的压力变送器 三、测量电路 四、EPR-11W型变送器的技术特性	
第四节 扩散硅压力变送器·····	68
一、概述 二、工作原理 三、敏感元件 四、转换电路 五、技术特性 六、集成压力变送器	
第五节 电容式压力变送器·····	90
一、结构形式 二、特点 三、工作原理 四、技术性能	
第六节 振弦式压力变送器 ·····	109
一、工作原理 二、结构特点 三、振弦的激励方式 四、信号处理 五、820系列振弦式变送器	
第七节 霍尔压力变送器 ·····	124
一、霍尔效应与霍尔元件 二、霍尔元件的误差及补偿方法 三、工作原理 四、测量电路 五、技术性能	
第八节 DDZ-II型矢量机构力平衡式压力	

变送器	129
一、概述 二、结构和工作原理 三、低频位移检测放大器原理 四、主要技术性能	
第九节 DDZ-III型矢量机构力平衡式压力	
变送器	145
一、结构和工作原理 二、低频位移检测放大器	
三、主要技术性能 四、安全保持器	
第十节 压电式压力变送器	159
一、压电效应 二、压电材料 三、压电式压力变送器 四、测量电路 五、压电式压力变送器的应用	
第十一节 光纤式压力变送器	171
一、光导纤维导光的基本原理 二、光导纤维的种类和参数 三、光纤式压力变送器 四、全光式压力(压差)变送器	
第十二节 智能式压力(压差)变送器	183
一、产品介绍 二、DSTJ3000型智能变送器	
第五章 气动压力变送器	191
第一节 QDZ-II型压力变送器	191
一、工作原理 二、测量部分 三、气动转换部分 四、技术性能	
第二节 带矢量机构的气动压力变送器	199
一、概述 二、工作原理 三、结构 四、技术性能	
第三节 矢量渐开线式气动压力变送器	205
一、矢量渐开线机构 二、PREX3000矢量渐开线式气动压力变送器 三、气/电转换器	
第六章 压力开关	216

第一节 概述	216
一、开关量的一般知识 二、开关信号在电厂中的使用情况 三、对压力开关的要求	
第二节 触点式压力开关	219
一、触点的结构和材料 二、触点的灭火花电路 三、接点压力表 四、压力开关	
第三节 干簧管式压力开关	227
一、干簧管 二、干簧管的工作原理 三、干簧管压力开关	
第四节 其它型式的压力开关	229
一、PDC型压力开关 二、霍尔开关集成电路 三、扩散硅集成压力开关	
第七章 显示仪表	234
第一节 镍钛驱动器式仪表	234
一、一般知识 二、镍钛驱动器 三、驱动器的技术特性	
第二节 直线电机式记录仪	241
一、直线电动机的一般知识 二、LN-100系列小长图记录仪	
第三节 磁平衡式自动平衡显示仪	249
一、DDZ-III型记录仪 二、NRE型记录仪	
第四节 气动压力显示仪	270
一、结构 二、工作原理 三、Q401型色带指示仪的技术特性	
参考文献	273

第一章 概 述

在火力发电厂中，压力是热力过程的主要参数之一。为了保证锅炉和汽轮机及其附属设备的安全经济运行，必须监视和控制各系统中工质的压力。电厂中压力参数的范围比一般工业部门宽，例如从汽轮机凝汽器的真空，炉膛的负压，到高压给水和蒸汽的亚临界或超临界压力等。据统计，一台200MW的单元机组，使用的压力表、压力开关和压力变送器就有二百多台（只）。随着高参数大容量机组的发展，以及自动化水平的提高，不仅需要一般常用的液体压力计和弹性压力表，而且更需要一些新型的压力开关和压力变送器，才能满足监视、控制和自动化的要求。

第一节 压力的概念和单位

一、压力的概念

压力是均匀作用在单位面积上的垂直力，工程技术上称为压力，物理学中称为压强。通常在工业测量领域里是指流体压力。

当流体处于静止或相对静止状态时，流体的压强称为流体静压力。流体静压力的方向总是和作用的面积相垂直，在静止流体内部任意点处的流体静压力在各个方向都是相等的。

对于运动流体，流动现象可用伯努利定理进行解释，即理想不可压缩流体在重力场的作用下，沿流线的运动可用下

列关系式表示:

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{常数} \quad (1-1)$$

式中 p ——静压;

$\frac{1}{2}\rho v^2$ ——动压, ρ 为流体密度, v 为流体速度;

g ——重力加速度;

h ——距某标准面的高度。

当流体是在同一水平面稳定流动时, 将得到下式:

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{常数} \quad (1-2)$$

该式表明静压与动压之和, 即总压力为常数。流速大时静压低, 流速小时静压高。

测量压力值的有无、大小和变化情况的计量器具称为压力计或压力表, 用压力仪器仪表进行测量压力的过程称为压力计量或压力测量。

根据零点的参考压力不同, 可把压力分为绝对压力、表压力和压力差。

以完全真空作零标准表示的压力称为绝对压力, 测量绝对压力的仪表称为绝对压力表。

以大气压力作零标准表示的压力为表压力, 表压力是相对压力, 也称剩余压力, 用来测量表压力的仪表称为压力表。

所谓大气压力, 是指地球表面上分子运动力所产生的压力。大气压力值随着某一地点在海平面上的高度、纬度、气象情况和时间而变。它的标准值是由纬度为 45° , 温度为 0°C , 重力加速度为 9.80665m/s^2 的海平面上的空气柱重量所产生的压力确定的, 等于 101325Pa (760mmHg)。

绝对压力等于表压力与大气压力之和，其关系见图1-1。

绝对压力低于大气压力时，表压力称为疏空，也称真空或负压。

压力差是用两个压力之差表示的压力，也就是以大气压力以外的任意压力之差表示的压力。

二、压力单位

1. 帕斯卡 (Pa)

帕斯卡是1971年第14届国际计量大会通过的国际单位制压力单位。其定义为1 N的力均匀作用在

1 m²面积上所形成的压力，即

$$1\text{Pa}=1\text{N/m}^2 \text{ (牛顿每平方米)}$$

我国已确定Pa为法定计量单位。

2. 物理大气压 (atm)

物理大气压是科学技术中最早采用的压力单位。其定义为在温度为0℃ (此时水银重度为13.5951g/cm³) 和标准重力加速度 (980.665cm/s²) 下，760mm高的水银柱作用于底部水平面上的压力。物理大气压亦称标准大气压。

3. 工程大气压 (at)

工程大气压是工程技术中应用最广泛的一种压力单位，一个工程大气压等于1 cm²面积上均匀垂直地承受着1 kgf力时形成的压力，也用kgf/cm²表示。

4. 毫米水柱 (mmH₂O) 和毫米水银柱 (mmHg)

这是一种在实际使用中很直观的单位。毫米水柱相当于

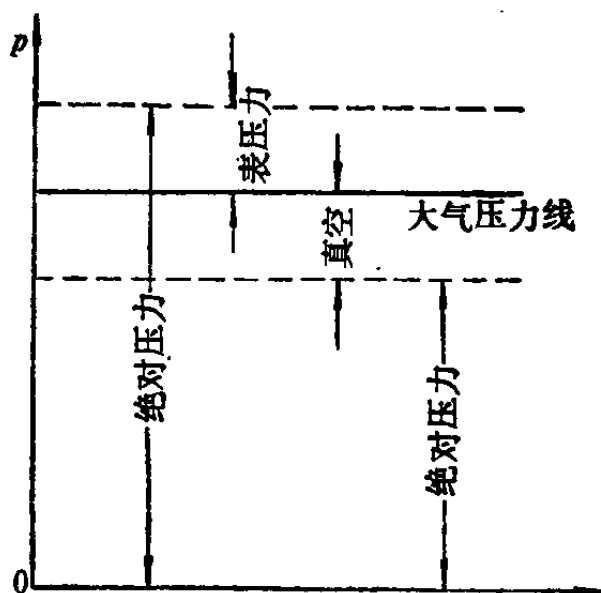


图 1-1 压力关系

重力加速度为 980.665cm/s^2 ，温度为 4°C 时，若干毫米高度垂直水柱对底面积的压力。毫米水银柱相当于重力加速度为 980.665cm/s^2 ，温度为 0°C 时，若干毫米高度垂直水银柱对底面积的压力。毫米水银柱也称托（Torr）。

5. 巴（bar）

巴为1948年国际计量大会通过的压力单位，西欧国家通用。其定义为1巴=10⁶达因/厘米²（1 bar=10⁶dgn/cm²）。

6. 英制压力单位

英制压力单位有磅力/英寸²（psi），英寸水柱（inH₂O），英寸水银柱（in Hg）等，为英美国家所通用。

各种压力单位之间的换算关系见表1-1。

表 1-1 压 力 单 位 的 换 算

	帕 (Pa) (N/m ²)	工 程 大气压 (at) (kgf/ cm ²)	物理大气压 (atm) (760mmHg)	托 (Torr) (mmHg)	毫米水柱 (mmH ₂ O)	巴 (bar)	磅力/ 英寸 ² (psi)
1 帕	1	1.02×10^{-5}	9.87×10^{-6}	0.75×10^{-2}	1.02×10^{-1}	10^{-5}	1.45×10^{-4}
1 工程 大气压	9.81×10^4	1	9.68×10^{-1}	7.36×10^2	10^4	9.81×10^{-1}	1.42×10^1
1 物理 大气压	1.01×10^5	1.03	1	7.60×10^2	1.03×10^4	1.01	1.47×10^1
1 托 (毫米 汞柱)	1.33×10^2	1.36×10^{-3}	1.32×10^{-3}	1	1.36×10^1	1.33×10^{-3}	1.93×10^{-2}
1 毫米 水 柱	9.81	10^{-4}	9.68×10^{-5}	7.36×10^{-1}	1	9.81×10^{-5}	1.42×10^{-3}
1 巴	10^5	1.02	9.87×10^{-1}	7.50×10^2	1.02×10^4	1	1.45×10^1
1 磅力 /英寸 ²	6.89×10^3	7.03×10^{-2}	6.80×10^{-2}	5.17×10^1	7.03×10^3	6.89×10^{-2}	1

第二节 压力表的分类

在生产过程中，需要测量的压力，其范围很广，同时由于使用条件和环境的要求不同，压力仪表的种类很多。压力表有多种分类方法，如按作用原理、被测压力的种类、显示方式和使用环境分类方法等。

一、根据作用原理分类

1. 静重式

静重式压力计包括液体式压力计和活塞式压力计。

液体式压力计有U形管、单管、斜管、钟罩式和环天平式压力计等。

活塞式压力计有活塞式压力计、活塞式压力真空计。从其结构来分，有单活塞式、双活塞式、可控间源活塞式、圆柱形活塞式和球形活塞式压力计等。

2. 弹性式

弹性式压力表有弹簧管式、膜片式、膜盒式和波纹管式等。弹簧管式又分单圈弹簧管式、多圈弹簧管式、盘旋管式和螺旋管式等。

3. 电测式

电测式一般为远程传送式压力表，压力变送器属于这一类。压力变送器分位移式、力平衡式等。按其信号转换方式可分为电阻式、电感式、电容式、频率式等。压力变送器除电动式外，还有气动式。

二、按被测压力种类和大小分类

按被测压力的种类，可分为表压压力表、绝对压力表、差压压力表等。表压压力表包括压力表、真空表、真空压力

表等。

按被测压力大小可分为真空表、微压表、中压及高压压力表等。

三、按显示方式分类

按显示方式分类，可分为指示式、记录式、信号式等。

四、按使用环境分类

按使用环境，可分为普通型、耐震型、禁油型、耐酸型、隔爆型和高温型等。

五、其它分类方式

按安装方式，可分为盘装型和就地安装型；按外部形状，可分方型和圆型；按准确度等级，可分为0.2~4级等。

第三节 压力表的选择

为了使压力表充分发挥作用，应综合考虑测量目的，测量环境，维修管理难易程度，可靠性和经济性等要求选择最适用的压力仪表。

一、一般选择条件

(一) 仪表种类的选择

根据监视的要求，可分别选择现场指示型、报警型和控制盘指示型。对于电动或气动压力变送器的应用，则应综合考虑它们各自的特点。例如，对于气动压力变送器，不需要考虑防爆、防噪声等问题，但是要考虑到它的传送距离受限制的缺点；电动压力变送器一般不受传送距离的限制，但是存在着防爆、防噪声问题，还要考虑统一输出信号的问题。

(二) 仪表规格的选择

根据被测介质压力的大小，参照压力表系列中规定的压

力测量范围进行规格的选择。对于弹性压力表，一般规定是，被测参数额定值为压力表的满量程值的 $2/3$ ，如被测压力额定值为 10MPa ，则应选择 $0\sim 16\text{MPa}$ 的压力表，这是指稳定负荷条件下的情况；如在波动负荷情况下，压力表的经常指示范围则不应超过满量程的 $1/2$ 。对于最低压力，不论是稳定负荷或是波动负荷的情况，压力指示范围都不应该低于满量程的 $1/3$ 。

选用压力表时，还要考虑其准确度等级。工业用弹性压力表的准确度级一般为 $1\sim 4$ 级，气动和电动压力变送器的准确度级为 $0.2\sim 0.5$ 级。应根据要求选择所需准确度的压力表。在电厂中，主蒸汽压力、汽包压力、汽轮机监视段压力可选用准确度较高的压力表，其它可选用准确度较低的压力表。

二、特殊条件的选择

1.按环境条件选择

在受机械振动影响大的场所，应选用具有耐振结构的压力表。

环境温度很高时，可选用结构上耐高温的压力表。

对腐蚀性环境，原则上应尽量避免。如无法避免时，则应采取防腐蚀措施。如对外壳涂耐腐漆或使用耐腐蚀材料制成的压力表，并且要求密封性强，以免损伤仪表内部机件。

对于易燃易爆等危险环境，如油泵房、制氢站等场所，必须选用防爆型仪表。

2.按被测介质的性质选择

被测介质具有腐蚀性时，应选用耐腐蚀材料制成敏感元件的压力表，或者选用带耐腐蚀材料隔膜的压力表。

测量氧气时，必须使用有禁油标记的压力表，这是因为

氧气直接接触油脂，会发生剧烈的氧化反应而引起爆炸。因此，即使感压元件中残存很少一点油脂都是十分危险的。对这种禁油压力表，应进行严格的管理。

对于脉冲压力，例如活塞泵出口压力，不仅难以准确测量，而且由于指示机构磨损和感压元件疲劳，压力表很易失效。在这种场合，可选用带有缓冲装置的压力表。

在测量蒸汽或气体压力时，为了防止弹簧管损坏而使压力表正面损坏，应选用外壳背面有排气孔的压力表。这种型式的压力表一般称为安全型仪表，但此种要求不适用于不准被测介质逸出表外的压力表。

第二章 静重式压力计

第一节 液体压力计

液体压力计是最早用来测量压力的一种仪器。由于其结构简单、使用方便、价格便宜，所以在现场和试验室内广泛用来测量低于 $133 \times 10^3 \text{ Pa}$ (1000 mmHg) 的压力、压差和负压，也可用作标准仪器。液体压力计的缺点是体积大，不能测量高压，读数不方便和玻璃易破损等。

一、U形管压力计

图2-1所示为U形管压力计，它由弯成U形的玻璃管和刻度标尺组成，管内充以工作液体（亦称封液）。根据流体静力学原理可知，当被测介质压力与工作液体液柱所产生的压力平衡时，可列出压力平衡方程式：

$$p_1 = p_2 + g(\rho_2 - \rho_1)(H - h_2) + g(\rho - \rho_1)h \quad (2-1)$$

式中 g ——当地重力加速度， m/s^2 ；

p_1, p_2 ——高、低压侧压力， Pa ；

ρ, ρ_1, ρ_2 ——工作液体、高压侧液体、低压侧液体的密度， kg/m^3 ；

h ——液柱高度， m 。

上式说明，在 p_2 、 ρ 、 ρ_1 、 ρ_2 、 g 和 H 一定的情况下， h 可以表示压力 p_1 的大小。若 $\rho_1 = \rho_2$ ，且 ρ_1 和 ρ_2 比 ρ 小很多以至可以忽略时，则式(2-1)可简化为

$$p_1 = p_2 + g\rho h \quad (2-2)$$

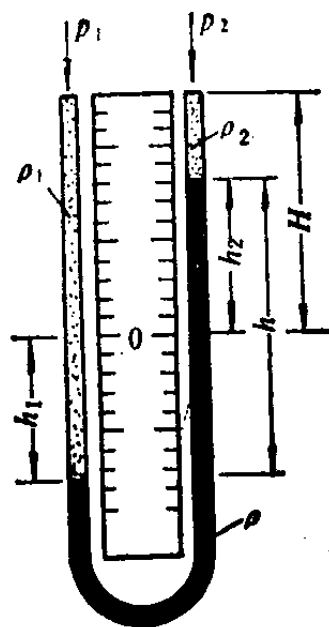


图 2-1 U形管压力计

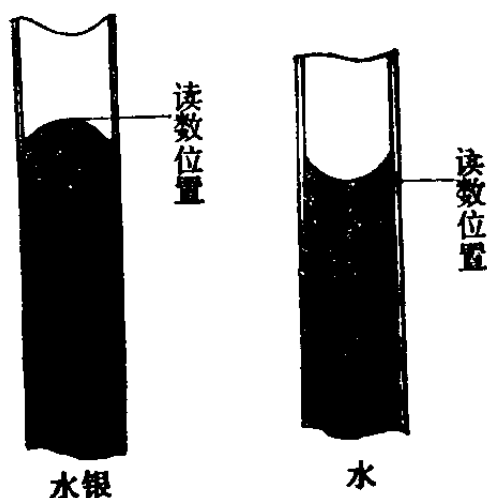


图 2-2 弯月面形状

图2-1中刻度的零位置即是压力 p_1 和 p_2 相等时的液面位置。以零位为标准线，当 $p_1 > p_2$ 时，左侧液面下降，右侧液面上升。如果管径相等，则上升和下降的高度相等，因此两管内的液柱高度差可以用上升侧或下降侧的读数的二倍表示。但是严格地讲，管子的管径不可能完全相等，加上液体弯月面的影响，所以在要求精密测量时，必须两边读数。只有在要求不高时才可单边读取。

U形管的工作液体用以隔离U形管两侧的介质并形成一定高度的液柱以平衡被测压力，因此要求工作液体的流动性好、有清晰的液面，不与被测介质混合或化合，液体的密度及其与温度的关系必须是已知的，液体在环境温度的范围内不应气化或凝固。常用的液体有水、酒精、水银和四氯化碳等。

由式(2-2)看出，由于工作液体的密度随温度变化而变化，重力加速度随测量地点的纬度和海拔高度不同而不