

石油与气体加工过程中 压力测量及特殊仪表

〔苏联〕B.A.尼基金 著

北京石油设计院前专家工作室 译

中国工业出版社

81.797
166

石油与气体加工过程中 压力测量及特殊仪表

〔苏联〕B.A.尼基金 著
北京石油设计院前专家工作室 译
陈 知 等 校 订

(苏联石油工业部教育司审定作为石油中等专业学校教材)

中国 1965.12.6 出版社



本書主要分压力测量和特殊仪表两部分。

压力测量部分主要叙述各种压力测量仪表操作原理、构造、校验等。

特殊仪表部分叙述了各种气体自动分析器、测量比重、湿度、氢离子的浓度、含盐量所用的仪表及测量的方法。另外还介绍了各种信号设备的操作原理及其构造等。

本書可供石油工业、化学工业的工程技术人员及仪表工作者参考，亦可供有关院校师生参考。

В. А. НИКИТИН

ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ И ПРИБОРЫ СПЕЦИАЛЬНОГО
НАЗНАЧЕНИЯ В НЕФТЕГАЗОПЕРЕРАБОТКЕ
ГОСТОПТЕХИЗДАТ Москва 1955

• • •

石油与气体加工过程中压力测量及特殊仪表

北京石油设计院前专家工作室 譯

陈 知 等 校 訂

(根据原石油工业出版社原型重印)

•

石油工业部石油科学技术情报研究所图书編輯室編輯 (北京北第六湖堤)

中国工业出版社出版 (北京德胜门内大街10号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

北京商标装潢印刷三厂

新华书店北京发行所发行 • 各地新华书店經售

•

开本 850×1168 1/32 • 印张 8 9/16 • 插頁 1 • 字数 200,000

1958年3月北京第一版

1965年5月北京新版 • 1965年5月北京第一次印刷

印数 0001—1,390 • 定价 (科四) 1.10元

統一書号: 15165 • 3876 (石油—333)

前 言

生产过程自动檢查和自动調节，在技术發展上具有很广闊的前途。广泛采用以現代物理学，电子学，电工学和無綫电工程学之成就为基础的仪表，將有助于苏联包括石油工業在內的整个工業技术的进展。

由于石油工業工艺过程的連續性及其特点，必須特別广泛地采用現代化檢查测量和自动化仪表。

压力測量技术之發展，根据紅外綫光譜分析，紫外綫光譜和質譜分析最新原理制造的自动气体分析器之采用，自动測量比重，氫离子濃度仪表，工艺信号設備以及其他自动技术設備之采用，都將使生产过程的管理更加完善，減輕劳动和減少操作人数，以及提高工業技术水平。

除了在技术各部門中已广泛采用的檢查测量及調节仪表外，还不断地創造和采用着結構更完善，并且經常按最新原理制造的新式仪表。因此，本書中不但叙述已經广泛采用的仪表，同时也涉及苏联生产革新者的創造方向，他們現在正从事創造新式結構的檢查测量和調节仪表，例如应变压力計、光譜-音响气体分析器、質譜分析器、自动警报器以及技术文献中尚未充分介紹的其他檢查仪表。

目前，苏联仪表制造工業生产大量構造、原理和用途都各不相同的仪表，关于这些仪表在参考書及文献中都有介紹。

最近，为了測量密閉設備中顆粒物質表面層和液体液面的高度，測定气体和液体密度及測量压力等，都已开始采用放射性測量法。由于工業上采用这些方法的經驗还不多，所以本書未曾提及。

本書是按照已批准的石油和氣體煉制中等技術學校教學大綱編成的，但本書中對專門書籍中已經敘述過的礦場測量儀表，如深井壓力計、動力儀及指重表等未曾述及。此外，因教材篇幅有限，對一部分儀表，特別是某些特殊測量用儀表，本書中未列入。因此，教師和學生不應被本教材的基本內容所限制。為了充實知識，讀者須閱讀各種書籍，如書末所推薦的書和本書參考文獻中所列各書，以及國內外的期刊。

由於以前沒有介紹過這些專門用途儀表，如新型工業用氣體分析器，自動質譜分析器和濕度計，自動警報器等，而這些儀表都比較新穎和複雜，所以，為了更好地掌握這一教材，必須補充一些理論和技術資料，安裝及操作規程，而最主要的是在試驗室和操作條件下實際去了解這些儀表的操作。

在編寫本教材過程中，作者曾利用一些書籍和雜誌中的技術資料，這些書籍雜誌列舉在本書之末；亦曾利用一些個別儀表的產品說明書，例如，球形差壓計的說明是根據黑色冶金動力設計院的产品說明書，氣體分析器的說明是根據B. A. 巴甫連柯的文章等。

最後，在本書編寫工作中B. A. 巴甫連柯，Л. K. 頓多山斯基和B. P. 恩吉爾斯提出了不少寶貴意見和供給了一些資料，在手稿工作中A. M. 尼基金娜也給予了實際的幫助，作者謹此致以謝意。

目 录

前 言

第一篇 压力测量

緒 論	1
第一章 基本概念, 定义和分类	2
第1节 压力的概念	2
第2节 压力的單位	4
第3节 压力測量仪表的分类	6
第4节 压力測量仪表的校驗程序	8
第二章 液体压力計	10
第1节 双管式及單管式压力計	10
第2节 环形差压計	19
第3节 活塞式压力計	31
第三章 彈簧式压力計	38
第1节 彈簧管压力計	38
第2节 压力計的傳动机构	43
第3节 彈簧管压力計的型式和結構	45
第4节 螺旋彈簧管的压力計	55
第5节 膜式压力計	65
第6节 膜式抽力計	68
第7节 風箱式压力計	71
第四章 电气式压力計	75
第1节 电阻式压力計	75
第2节 应变压力計	78
第3节 压电式压力計	84
第五章 压力計的选择、安裝和校驗	86

第1节 压力計的选择和安裝	6
第2节 压力計之校驗	90

第二篇 特殊仪表

緒 論	95
-----------	----

第六章 气体分析器	96
-----------------	----

第1节 气体分析器的用途及分类	96
第2节 热化学式气体分析器	97
第3节 电导分析式气体分析器	118
第4节 体积压力計式气体分析器	121
第5节 光比色气体分析器	128
第6节 工業用光譜-音响式自动气体分析器	135
第7节 以測量气体导热率为基础的气体分析器	154
第8节 測定氧气的磁力式气体分析器	171
第9节 退極式氧气体分析器	173
第10节 質譜分析仪	177
第11节 气体分析器的輔助设备及安裝条件	185

第七章 測量液体及气体比重的仪表	193
------------------------	-----

第1节 密度和比重的概念	193
第2节 測量液体比重的仪表	196
第3节 測量气体比重的仪表	198

第八章 測量气体湿度的仪表	205
---------------------	-----

第1节 絕對及相对湿度的概念	205
第2节 測量湿度仪表	210

第九章 測量溶液濃度的仪表	216
---------------------	-----

第1节 pH值的概念	216
第2节 pH值測量法	218
第3节 測量pH值用电極的型式和特性	222
第4节 測量pH值的仪表	226
第5节 含鹽量的測量、鹽度計	230

第十章 各种特殊仪表	238
------------------	-----

第1节 总論	238
第2节 СПДМ 型降压訊号器	239
第3节 液流替續器	244
第4节 气动电力信号設備	246
第5节 CY-4 型信号設備	243
第6节 自动警报器	249
推荐文献	264
参考文献	264

第一篇 压力測量

緒 論

任何工艺过程中，压力总是起着重要的作用。石油加工过程的效率、进程和方向、造气、人造液体燃料生产、采油、气体压缩和沿气体干线輸送气体以及各技术部門的其他过程都与压力大小密切相关。

为了說明这点，只須看看下列的事实：在热裂化中压力在20大气压(低温热裂化)和50—70大气压时(高温热裂化)可得最多的液体石油产品和很小量的气态石油产品，而在温度550°C和压力2—5大气压下进行气相裂化，以及在高温和常压下进行的分解，則可得到大量的气体。

固体燃料加氢过程的强度亦取决于压力的大小。

相反地，許多过程，例如潤滑油生产，溶剂的蒸出，酚类的精餾等，主要是在深度真空中进行，因为在真空中，一切液体在較低的温度下沸騰和蒸發，因而就保证了工艺过程的良好条件和取得最优質量的产品。水的沸点在常压(760公厘水銀柱)时为100°C，在100公厘水銀柱时为52°C，在30公厘水銀柱时为29.1°C，在5公厘水銀柱时为1.2°C；这些数据可以作为液体沸点随压力而变化这一現象的典型例子。

压力同时也决定了許多物質的状态。例如，饱和蒸汽的温度就只是压力的函数。如甲烷，乙烷，丙烷等烴类，在常压下是气态，但在較高的压力下(对各种烴都有其一定的压力)則会变成液态。

为了正确地操縱生产过程，使生产过程循着所需的工艺方向进行，保证生产的安全和不至破坏设备的正常操作，就需要经常地检查生产过程的操作压力。

测量压力所用的仪表种类甚多，其構造、用途和测量精确度各不相同，例如简单的玻璃管压力計，彈簧压力計和真空計，帶远距离电动或气动傳訊設備的自动記錄，接触和調节仪表等等。同时压力测量范围从百万分之几公厘水銀柱至数百甚至数千个大气压。因此，测量技术越来越复杂，而檢查测量仪表不断地得到改进。

本書第一篇就是研究压力测量用的各种控制测量仪表的結構、操作原理和用途。

第一章 基本概念，定义和分类

第1节 压力的概念

各种外界因素对固态、液态和气态物質所产生的承压状态通常以压力值来表示。

垂直作用在每單位表面积上的力，称为压力。通常認為，这一力均匀分佈在整个作用面积上。

在液体中，压力均匀地傳到液体所有的質点，而液体又將压力垂直地傳到周圍的壁，因为液体本身是無壓縮性的。

对于气体或蒸汽，压力亦是傳到气体或蒸汽所佔体积的每一点上。此时，在压力作用下，气体或蒸汽就被壓縮而改变其体积，与此同时，气态物質的蒸汽压随着压力成正比而变化。气体或蒸汽因其自身的蒸汽压而把压力傳到容器壁上和各限制面上。

在测量压力的實踐中，必然会遇到絕對压力(或称全压)、表压或相对压力、大气压力(或称气压)和真空度或殘压(低于大

气压)。

现在来研究所有这些情况。

设容器A(见图1)中压力等于 p_a ，而外面介质的压力为 p_b ，同时 $p_a > p_b$ 。

此时，在容器内部表压的作用下，U形管左边小管中的液体(水银)就上升。当两边作用于 ab 断面上的压力达到平衡时，可作出下面的等式：

$$p_a F = p_b F + F h \gamma, \quad (I, 1)$$

式中 p_a ——绝对压力； p_b ——大气压力； F ——管子断面积；
 γ ——比重，公斤/立方公尺； h ——液柱高度。

将(I, 1)稍加改变，可得

$$h = \frac{p_a - p_b}{\gamma}, \quad (I, 2)$$

亦即：平衡上述压力差的液柱，其高度与压力差(压力降)成正比，与液体密度成反比，但与管子的几何尺寸(断面)无关。

如此时的压力差 $p_a - p_b$ 为1大气压，亦即10000公斤/平方公尺，则当充水银时(水银密度=13596公斤/立方公尺)，高度 h 等于

$$h = \frac{p_a - p_b}{\gamma} = \frac{10000}{13596} = 0.7356 \text{公尺} = 735.6 \text{公厘}.$$

水银柱这一高度与温度 0°C 相适应，因为只有在这一条条件下，1立方公尺水银的重量才等于13596公斤。

研究断面 ab 两边压力的平衡(图1)，就可求出绝对压力、表压和大气压力之间的关系：

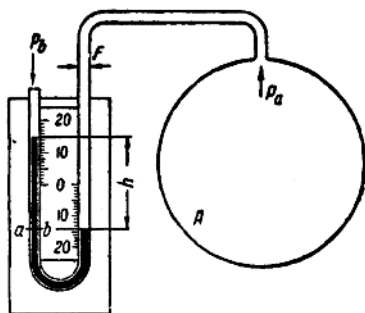


图1 压力测量图

$$p_a = p + p_b, \quad (I, 3)$$

式中 p_a ——绝对压力； p ——表压； p_b ——大气压力。

由此可知，绝对压力等于大气压力与表压之和。

根据这一等式，可以求出表压 p ：

$$p = p_a - p_b, \quad (I, 4)$$

亦即：表压等于绝对压力与大气压力之差。这就是说，表压表明容器中的压力比大气压力高多少。表压常常亦称作表示压力，因为任何压力计测出的都是表压 (amu)。

当绝对压力低于一个大气压力时，表压就成负值，亦即具有真空度 p_h ：

$$p_h = p_b - p_a. \quad (I, 5)$$

因此，真空计永远表示大气压力与绝对压力之差。当真空时，绝对压力 (或残压) 等于大气压力与真空计所示压力之差，更确切些说，就是大气压力与真空度之差：

$$p_a = p_b - p_h. \quad (I, 6)$$

大气压力用气压计来测量，因此通常也称它为气压。

第2节 压力的单位

科学、技术和工业上所需测量压力的范围很广——从很小的压力至高压和超高压。随着所测压力值和采用的单位制的不同，采取各种压力单位。

既然压力与作用力成正比，与力所作用的面积成反比，则压力单位可根据单位面积上所受力的单位来确定。因此为了要以单位制去表示压力单位，必须用相应单位制的面积单位除以力的单位。

在 CGC 制 (公分, 克, 秒) 中力的单位是达因 (dyn)，面积的单位是平方公分 (cm^2)，故压力单位为达因/平方公分。在 MTC 制中 (公尺, 吨, 秒) 压力单位为斯干 Φ /平方公尺, (cm/m^2)，称为皮

茲(нз)。100 皮茲的單位称为百皮茲(нз)或巴(б)，亦即 $1\text{нз} = 1б = 100\text{нз}$ 。

气象学中采用压力單位微巴(мб)，等于千分之一巴。

在技术單位制 МКС 制(公尺，公斤(力)，秒)压力單位为公斤/平方公尺。

实用的压力單位有下列几种：物理大气压，工業大气压，公厘水銀柱，公厘或公尺水柱。

物理大气压 这是科学和技术中最早采用的一种压力單位，它是海平面上地球大气層空气柱的平均压力。一个物理大气压是假設高为760公厘水銀柱在 0°C ，水銀密度13.596克/立方公分和重力加速度为980.665公分/秒²时作用于水平面的压力。

目前，在工業測量中禁止采用物理大气压。

工業大气压 1平方公分面积上均匀承受1公斤作用力时的压力称为1工業大气压；其因次是公斤/平方公分，工業大气压是工業測量中的基本單位。

工業大气压單位的缺点在于它不是从一种單位制引伸出来的，而是利用 CGS 制的面积單位和 МКС 制的力單位，因此在計算时必须注意。

公厘水銀柱 1平方公厘面积在1公厘高水銀柱(水銀密度13.596克/立方公分(0°C 时)，重力加速度980.665公分/秒²)的作用下所受到的压力称为1公厘水銀柱压力。它用符号公厘水銀柱(ммрт.ст.)表示。

公厘水柱或公尺水柱 这是一种与公厘水銀柱相類似的單位，其区别只在于荷重由相应高度的水柱当温度在 4°C 和水的密度等于1.0克/立方公厘时所产生。公厘或公尺水柱用公厘水柱(ммвод.ст.)或公尺水柱(мвод.ст.)表示。

① 斯干(Стон)——МТС 制中力的單位。

必須指出，虽然上述單位沒有压力因次，但是，如果严格地遵守上述条件时，上述單位与其他基本單位仍是存在着簡單比例关系的。例如，1公尺水柱相当于0.1公斤/平方公分，而公厘水柱正确相当于压力單位公斤/平方公尺，因而，这就使这些單位的使用大大地简化。

現在談談英制压力單位——磅/平方吋，这一單位在苏联不正式采用。

上述压力單位間具有一定的簡單比例关系，这些比例关系見表1。

各种压力單位間的比例关系

表 1

压力單位	公斤/平方公分	公斤/平方公尺	百皮茲或巴(6)	公厘水銀柱	公厘水柱	公尺水柱	物理大气压	磅/平方吋
公斤/平方公分	1.0000	10000	0.9806	735.56	10000	10.000	0.9678	14.223
公斤/平方公尺	0.0001	1.0000	0.000098	0.0735	1.0000	0.001	0.0000967	0.00142
百皮茲或巴	0.0197	10197	1.000	750.06	10197	10.197	0.9869	14.504
公厘水銀柱	0.00136	13.6	0.00133	1.000	13.6	0.0136	0.00131	0.01934
公厘水柱	0.0001	1.000	0.000098	0.0735	1.000	0.001	0.0000967	0.00142
公尺水柱	0.100	1000	0.09806	73.556	1000	1.000	0.09678	1.4223
物理大气压	1.0332	10332	1.0132	760.000	10332	10.332	1.000	14.696
磅/平方吋	0.0703	703	0.0689	51.715	703	0.703	0.0680	1.000

第3节 压力测量仪表的分类

压力测量仪表可按其测量值的类别(压力、真空、压力降)，操作原理和精确度来进行分类。除此以外，仪表按其用途又可分为标准仪表和工業(操作)仪表兩类。属于标准仪表的是所有只作校驗用的仪表，而其他直接用于测量压力的仪表均屬工業仪表。

按測定值类别，仪表分成：气压計——用于测量大气压力；

压力計——用于測量表压；真空計——用于測量真空度（如燃燒室中真空度不高時可用抽力計）。測量絕對压力可使用所謂絕對压力計。如果沒有絕對压力計，可用兩個仪表來進行測量：若絕對压力高于大气压力，使用压力計和气压計，若絕對压力低于大气压力，則使用真空計和气压計。最后，還有測量压力差用的差压計和測量很小的表压（200公厘水柱以下）用的微压計。

按操作原理，所有压力測量仪表可分成三类：

1. 用已知力平衡未知压力的原理以測量压力的仪表；
2. 用彈性元件變形的方法測量压力的仪表；
3. 用某些物質在压力作用下改变其电气性質的仪表。例如改变电阻。

第一类仪表包括液体压力計，在此类压力計中，所測压力用具有适当密度的液柱平衡，压力值可直接在仪表刻度盤讀出。

此类液体压力計包括U形管压力計，單管（壺式）压力計或真空計，斜管微压計，鐘形抽力計，水銀气压計和环形差压計。

属于这一类的还有活塞式仪表，在此类仪表中所測压力以在一定面积的活塞上加上砝碼来平衡：帶簡單活塞（魯赫高里茨式压力机）的活塞式压力計和帶測量用倍加器的M.K.茹霍夫斯基式活塞式压力計等，这些压力計很少直接用于測量压力，而一般只作各种彈簧式压力計分度和校正之用。

第二类代表包括彈簧式（彈簧管），膜式，風箱式和其他压力計，在此类仪表中，因所測压力的作用而产生的彈性元件的變形，通过放大或傳动機構使仪表指針位移。此类仪表在工業中应用最广。按彈性元件形狀的不同，彈簧式仪表分成單彈簧管，螺旋彈簧管，膜式和風箱式压力計和真空計。

第三类包括电动仪表，錳銅合金电阻压力計，应变压力計或应变差压計，压电式石英压力計等。

按指示值的精確度，所有压力測量仪表，根据其不同用途可

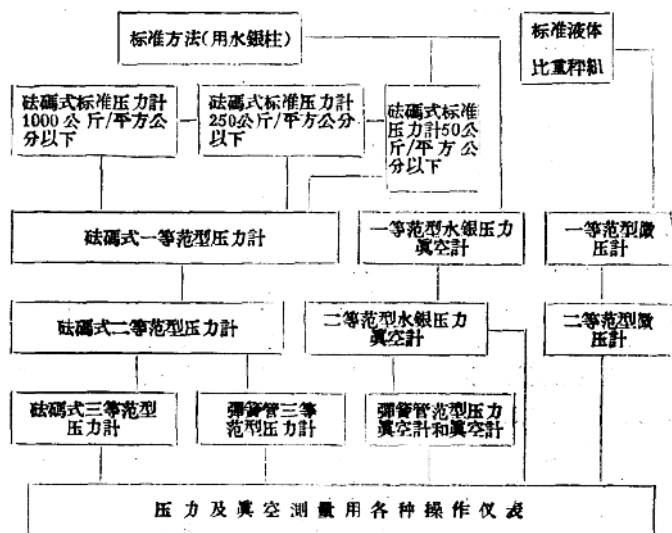
分成若干級。

精確度的級數是相當於允許誤差最大值（以該儀表的測量範圍或刻度範圍的百分數表示）的數字。例如1級精確度壓力計的允許誤差只能是刻度上限的 $\pm 1\%$ 。如果壓力計刻度為0—50公斤/平方公分，則允許誤差的絕對值為0.5公斤/平方公分。壓力測量儀表的精確度級數如下：0.005；0.01；0.02；0.03；0.05；0.1；0.2；0.35；0.5；1.0；1.5；2.5；4.0；6.0。

除此以外，壓力測量儀表還可分成就地安裝儀表和遠距離操縱儀表，指示式儀表和自動記錄式儀表，氣動遠距離傳訊儀表和電動遠距離傳訊儀表等。

第4節 壓力測量儀表的校驗程序

壓力及真空測量儀表校驗程序



校驗程序規定从标准仪表把正确的压力單位值轉給操作仪表的方法和程序。

在测量气体和液体压力方面使用的主要标准仪表，为精确度級数 0.005 的标准水銀压力真空計，其次是标准砵碼式压力計，这种仪表用来校准一等范型测量仪表——测量范围在 50 公斤/平方公分以下及 2000 公斤/平方公分以下的砵碼式范型压力計以及范型水銀压力真空計。二等范型仪表——精确度稍低的砵碼式压力計和水銀压力真空計——用一等范型仪表校驗。校驗程序中最后是三等范型仪表（砵碼式和彈簧管压力計，以及彈簧管式真空計），它按二等标准仪表校驗，而它本身又可用以校驗生产上及其他实际测量中所用的压力测量操作仪表。

下面列出压力测量仪表的極限誤差[15]。

标准水銀压力真空計.....	0.005%
砵碼式标准压力計50公斤/平方公分以下	0.01%
砵碼式标准压力計 250公斤/平方公分以下.....	0.02%
砵碼式标准压力計1000公斤/平方公分以下.....	0.03%
砵碼式一等范型压力計50公斤/平方公分以下	0.02%
砵碼式一等范型压力計500公斤/平方公分以下.....	0.05%
砵碼式一等范型压力計2000公斤/平方公分以下	0.05%
砵碼式二等范型压力計50公斤/平方公分以下	0.05%
砵碼式二等范型压力計500公斤/平方公分以下.....	0.1%
砵碼式二等范型压力計2000公斤/平方公分以下	0.1%
砵碼式三等范型压力計50公斤/平方公分以下	0.2%
彈簧管式三等范型压力計.....	0.2—0.35%
一等范型水銀压力真空計.....	0.1公厘水銀柱
二等范型水銀压力真空計.....	0.2公厘水銀柱
彈簧管式三等范型压力真空計和真空計.....	0.2—0.35%
校驗液体比重計.....	0.001公厘水柱
一等范型微压計.....	0.005—0.01公厘水柱
二等范型微压計.....	0.02—0.1公厘水柱
操作仪表.....	0.5—4%