

YOUQIJING
DICENG
CESHI

油气井地层测试

马建国 编著

YOUQIJING
DICENG
CESHI

石油工业出版社

油气井地层测试

马建国 编著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书把钻井、试油、采油过程中的各种地层测试工艺与技术组合在一起进行论述,如随钻地层测试、电缆地层测试、普通试油试气、钻杆地层测试、生产测井、试井等,介绍了这些工艺的基本技术和新技术所使用的仪器设备,工作原理,资料解释理论方法和应用实例。

本书适合油田地质、石油工程、测井工程技术人员和石油院校本科生、研究生阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

油气井地层测试/马建国编著.

北京:石油工业出版社,2006.8

ISBN 7-5021-5600-3

I. 油…

II. 马…

III. 油气测井

IV. TE 15

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 073429 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.cn

发行部: (010) 64210392

经 销: 全国新华书店

印 刷: 石油工业出版社印刷厂

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 11.5

字数: 290 千字 印数: 1—1500 册

定价: 45.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

石油工作者的研究对象是油藏，斗争对象也是油藏。为了把油藏搞清楚，我们利用各种各样的工艺技术去认识油藏，描述油藏。这当中，大量的工艺技术是静态描述，而动态描述技术却显得很少。为了适应石油工业的迅速发展，油藏动态描述技术必须得到大量应用和大力发展。

试油或地层测试是油气勘探取得成果的关键，是寻找油气田、了解地下情况的最直接手段，也是为开发油气田提供可靠数据依据的一环。这就要求试油或地层测试所录取的资料必须准确、可靠，从而对油气藏做出科学的评价。

一口油气井，无论是勘探阶段，还是生产阶段，在生产阶段无论是早期、中期，还是晚期，都必须不断地进行各个油气藏的动态测试，以便测取油气藏动态特性参数。在这里我们把各种进行油气藏动态测试的工艺技术都称为地层测试。所谓油气藏动态特性参数，主要包括地层静止压力，地层温度，有效渗透率，表皮系数，地层流体产物及其含量，各种地层流体产物的高温高压和常温下的各种性质参数，地层流体产物的产能等。如果我们能够适时、就地、准确、齐全地掌握一口井各个油气藏的动态特性参数，加上对其静态资料的掌握，那么我们石油工程的一切后续工艺和技术措施都会立于不败之地，就会有高产量，高采收率，高经济效益，否则，我们就会犯各种各样的错误。

本书把钻井、试油、采油过程中的各种地层测试工艺与技术，如随钻地层测试、电缆地层测试、普通试油试气、钻杆地层测试、生产测井组合在一起进行论述（试井技术为众所周知，著述丰厚，未编入），介绍了这些工艺的基本技术及新技术所使用的仪器设备，工作原理，资料解释理论方法和应用实例。便于使用者和研究者深入理解，扩展和发展各种工艺技术。

1989年我主编了院内讲义“油气井生产测试”，并对本科生讲授，之后对其做了三次修改，本书是在院内讲义“油气井生产测试”的基础上编写的，充分使用了讲课积累的资料，使用了本人在地层测试科研工作中积累的资料，在大家的努力下编辑成书。

本书在编写过程中得到了石油工程界著名资深专家李溆教授的帮助，尤其是他花费了大量的精力，仔细审阅了全书，提出了许多宝贵的意见和建议，我们深表谢意。

全书由马建国主编，杨玲副主编。

第一章第一第二节，马建国编写，第三到第五节杨玲编写；

第二章任国富编写；

第三章第一到第二节，马建国编写，第三到第六节潘铃黎编写，第七第八节杨玲编写；

第四章，刘小娟编写；

第五章第一节，第四第五节，马建国编写，第二第三节任国富编写；

第六章第一第二节，马建国编写，第三到第六节任国富编写，第七第八节刘小娟编写；

第七章潘铃黎编写。

全书由马建国审定。

目 录

第一章 地层测试测量仪器仪表	(1)
第一节 测量仪器仪表的基本知识 ^[1]	(1)
第二节 压力计及测量	(4)
第三节 流量计及测量	(25)
第四节 温度计及测量	(38)
第五节 液位计及计量	(41)
参考文献	(46)
第二章 随钻地层测试	(47)
第一节 随钻地层测试的发展概况	(47)
第二节 随钻地层测试的数据记录方式	(49)
第三节 随钻地层测试仪器介绍	(52)
参考文献	(57)
第三章 普通试油工艺	(59)
第一节 概述	(59)
第二节 用封隔器分层试油工艺 ^[2]	(65)
第三节 注水泥塞试油工艺 ^[4]	(68)
第四节 桥塞试油工艺	(69)
第五节 求油、气层产能	(72)
第六节 测压、取样及油气层评价	(75)
第七节 试油油气层保护	(78)
第八节 试油作业对油气层的潜在损害及保护措施	(80)
参考文献	(81)
第四章 气井试气	(83)
第一节 试气设计	(83)
第二节 试气程序	(84)
第三节 试气方法	(85)
第四节 煤层气试气 ^[7~9]	(88)
第五节 试气资料的处理 ^[1,2]	(89)
参考文献	(94)
第五章 电缆地层测试	(95)
第一节 电缆地层测试器发展史 ^[1,2]	(95)
第二节 测试仪器及其工作原理 ^[1~4]	(99)
第三节 解释理论介绍	(106)
第四节 对电缆地层测试方法的评价	(125)
第五节 电缆地层测试技术的发展方向	(127)

参考文献	(131)
第六章 钻杆地层测试	(133)
第一节 概述 ^[1~3]	(134)
第二节 钻杆地层测试的工作程序及基本原理 ^[1,2,4]	(142)
第三节 地层测试优化设计 ^[5]	(145)
第四节 地层测试资料收集及油藏评价 ^[5]	(148)
第五节 测试压力卡片的定性解释技术	(149)
第六节 测试压力资料的定量解释技术 ^[1,2]	(152)
第七节 煤层气钻杆地层测试技术 ^[5,11~13]	(154)
第八节 含硫化氢井的地层测试试油工艺 ^[5]	(156)
参考文献	(161)
第七章 生产测井	(162)
第一节 概述	(162)
第二节 流量测井	(163)
第三节 电容法持水率仪流体识别测井	(167)
第四节 DDL 型生产测井产出剖面解释 ^[1]	(168)
参考文献	(176)

第一章 地层测试测量仪器仪表

第一节 测量仪器仪表的基本知识^[1]

油气井生产状况是通过各种物理参数表现出来的,而物理参数又是由各种仪器仪表测量得到的。油气井生产测试必须尽可能地取全取准生产过程中直接测取的一些物理参数。最经常测取的物理参数有下面几类。

- (1) 产量数据:其中包括地面或井下的油、气、水产量。
- (2) 压力数据:其中包括地层静压、地层流动压力、压力恢复曲线、压力梯度及井口油管压力、套管压力。
- (3) 原油及水特性资料:包括井下及地面原油取样、样品分析数据。
- (4) 温度数据:包括井下温度及地温梯度等。

因此油气井生产测试必然要经常使用大量的各种类型的测量仪器、仪表。油气井生产测试工作人员必须正确地选择、使用和维护各种仪器、仪表,以便取得准确的,达到一定精度要求的数据。

这里首先对测量仪器、仪表的有关知识作一些简单介绍。

一、测量仪器的基本结构

仪器可广义的分为下列类型。

指示仪表:如温度计、压力计。

记录仪器:如温度和压力记录仪。

控制仪器:如恒温器、浮子式液位控制。

一台仪器或一个仪器系统要能感受某些变量并指示或记录其数值。在系统敏感端和指示、记录或控制端之间,来自敏感元件的信号可以被转换为另一形式,或者被放大、或者从某一点传送到另一点。

以一简单水银温度计为例,敏感元件是水银及其玻璃容器,由于温度变化而引起其体积变化。这个小的体积变化使水银充填到玻璃杆内直径很小的毛细管中,它就被放大,使水银柱弯液面得到一个大的移动量。指示元件就是弯液面处所对应的毛细管的刻度。

1. 敏感元件

利用各种物理原理能得到各种各样的敏感元件,这些元件可以感受某些量的变化,并且给出一个随那些变化量而定的输出信号。凡是感受一种物理量的输入信号,而给出另一种物理量作为信号的元件,称之为“传感器”,又叫变换器。例如,以位移变化表示力的元件。

2. 放大元件

来自敏感元件的信号,往往是非常微弱的,必须放大到足够大之后,才能推动指示元件,或者才能够被传送到一定距离。放大元件可以运用机械的、光学的、流体的和电的原理,也可以综合应用这些原理来放大信号。

杠杆和简单齿轮系是仪器中的典型机械放大装置。

3. 指示和记录元件

当加给一个系统的输入信号被感受和放大之后，增大了而又可用的功率就被用来推动指示器或记录仪，它应能追踪来自放大器的信号而无过大的不准确度。指示器或记录器应对信号的阶跃变化、波动变化和振荡变化快速响应。为了使施加给系统的阻力尽可能地小，指针和所属运动部件都应具有尽可能小的质量或转动惯量，对于记录仪器，其“记录”过程的任何摩擦阻力都应该尽量小，为此，指针和另外的运动部件应尽可能做得轻些，在许多指示仪器中采用了光线或电子束，这实际上消除了“指针”或“记录笔”的惯性。

指示器可以分为两类：

(1) 模拟式。给出指针或液柱等在刻度上的位置。

(2) 数字式。指示一个确切的数值，如车辆中的里程表或计数器。

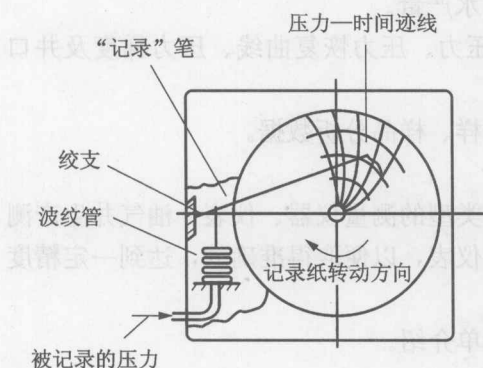


图 1—1 气压记录仪结构图

图 1—1 是一台简单气压记录仪的装置。气压使波纹管（弹性敏感元件）变形，其自由端的动程由杠杆系统放大，给了一个在圆弧上比例于压力的动程。记录纸等速转动，例如 24 小时或 7 天转过一转，臂杆上的笔就描绘出一条连续的压力—时间曲线的记录。输出动程是圆弧的缺点，用圆弧标线的记录纸来克服。当然，有些仪器也采用平移运动来得到直线放大的输出。

4. 信号传输

信号在一台仪器的本机内传送，可以借助于杆、杠杆或液柱等的运动，或者借助于各种形式电量的变化。可是，工业的生产过程控制以及油气井井下压力、温度等的测量，正在愈来愈多地采用远距离指示，一般都是采用气动或电传输。

二、测量仪器的性能指标

1. 准确度

准确度可以定义为测量值与被测量的真值之间的符合程度或接近程度。真值同仪器指示的、记录的数值之间总有差异，即存在测量误差。这种误差的范围或仪器的准确度可以用几种方法来规定。

(1) 点准确度：一台仪器的准确度，仅由其量程内的一点或数点来规定，此种方法特别适用于温度测量装置。温度装置中的这些点是取自纯固体或纯液体的熔化或蒸发温度。

(2) 真值百分率：采用真值百分率表示准确度的仪器，误差按下式计算：

$$\text{误差} = [(\text{测量的数值} - \text{真值}) / \text{真值}] \times 100\%$$

所规定的误差百分率是该仪器量程内任意点误差的最大值。

(3) 满刻度偏转 (fsd—full scale deflection) 百分率：这里的误差是根据刻度的最大值而计算出来的，故：

$$\text{误差} = [(\text{测量的数值} - \text{真值}) / \text{最大刻度值}] \times 100\%$$

应当注意，同时使用数台仪器，而它们的读数又要合并到一起时，最后结果的准确度将低于其中准确度最差的那台仪器的数值。

2. 精度或重复性

精度是同一件仪器对同一被测数值的读数的重复性，它用最大差数表示。

仪器使用一段时间后, 既使可能保持精度, 但是也会出现仪器的“漂移”, 即准确度的变化, 这是由于各种不同的原因, 诸如磨损、摩擦值的变化, 高温元件的氧化等等所造成的。

3. 分辨力或鉴别率

这是指仪器能够在输入信号中检测到的最小变化量, 也就是仪器反映的被测物理量的最小变化。可以用一个实际数值或满刻度值的一个分数或百分率来表示。

4. 灵敏度

灵敏度用来表示一台仪器或一个仪器系统某一部分的输出信号和输入信号之间的关系, 即: $\text{灵敏度} = (\text{输出信号的变化量}) / (\text{输入信号的变化量})$ 。

因此, 一台线性仪器或元件的灵敏度是一个常数, 即输入信号等量变化产生输出信号等量变化。

静态特性: 仪器关于定常的 (或变化缓慢的) 被测物理量值的反映。

动态特性: 仪器对于随时间变化的被测物理量的响应特性。

5. 环境

一台仪器如果必须在一种异常条件下工作, 它的准确度, 精度和可靠性都将受到影响。改变设计和制造方法来抵消这些影响通常会增加价格。以下列举的环境条件都是要影响到仪器的准确度, 精度和可靠性。

(1) 周围环境温度过高或过低。这将使测量元件及其他构件产生膨胀或收缩、或者改变其中力、应力、应变, 从而影响输出信号。井下测试仪器均承受高温, 因而设计制造复杂、造价高。

(2) 大的加速度。

(3) 腐蚀介质、盐水钻井液、含硫油气水, 都是腐蚀介质, 均要求特别的耐腐蚀材料。

(4) 高压条件。测试仪器应有相应的设计以适应高压条件。

三、测量系统中的误差来源

如果被测量的某一参数在理论上具有确定值, 则称理论值为真值。实际的测量值与真值之差, 称为测量误差。

由于测量仪器、测量方法、周围环境、及人为因素等多方面的限制, 真值实际上无法测得, 故一般常用多次重复测量所得的测量值的算术平均值来作为真值的近似值 (估计值), 各测量值与其算术平均值之差, 称为剩余误差, 或离差。误差可分为过失误差、系统误差和偶然误差。

1. 过失误差

过失误差是测量中犯错误造成的, 例如测量时仪器突然失灵、读错或记错试验数据、操作不正确等。过失误差的出现一般是偶然的, 符号是不定的, 而且误差值很大, 用含有过失误差的试验数据计算出来的测量结果, 将会导致错误的结论。因此, 除在测量中应尽量避免产生过失误差外, 还应注意在数据处理时按异常数据检验准则及时发现和剔除它。

2. 系统误差

系统误差的特点是在整个测量过程中, 误差值的大小和符号是固定不变的, 或者是按一定规律变化的。根据其变化规律, 系统误差分为恒定的和变化的系统误差。变化的系统误差又可细分为线性系统误差、周期性系统误差和按复杂规律变化的系统误差。试验数据中的系统误差愈大, 所计算出的测量结果的准确度就愈低。它不能用增加测量次数来减小或消除,

而应通过预先试验或分析的方法,查明其产生原因和变化规律,从而在测量时采取相应的措施使之减小或消除,或者对测量结果加以修正。

3. 偶然误差

偶然误差是指在相同的测量条件下,所得到的数据间仍然存在着的微小误差。它的特点是在测量过程中,对于每一次测量值,误差的大小和符号都无法预测,具有随机性。但是对大量重复试验的数据进行分析后,发现它的概率分布却服从一定的统计规律。显然,偶然误差是一种随机变量,因此又称为随机误差。偶然误差是由许多无法预测和控制的因素综合影响造成的,如外界条件(温度、电源电压)的微小波动,电磁场干扰,测试者的估计误差等。偶然误差无法预先消除或事先修正,而只能根据统计规律估计其误差的分布范围。

上述三类误差有时可以相互转化。例如,当偶然误差中某项误差的变化规律被认识和掌握以后,则该项误差即可作为系统误差处理;反之,某项系统误差的规律未被掌握之前,归入偶然误差处理。与此相仿,在对过失误差的处理中,有时也很难区分到底是一项偶然误差,还是一个差错。

四、测量仪器的校准

国际单位制(SI制)规定了7个基本单位和两个辅助单位。7个基本单位是:米(长度);千克(质量);秒(时间);安培(电流);开尔文(温度);坎德拉(光强度);摩尔(物质的量);两个辅助单位是弧度(平面角)和球面角(立体角)。我们油气井生产测试所用的仪器仪表中,所测的温度是基本单位,其他如压力、流量、容积等都是导出单位。但是它们都有主基准。

我们实际进行测量工作的仪器,可以根据一种较高准确度的参考仪器进行校验(或称标定,校准)。这些参考仪器再依次根据更高级的仪器来核准;或者根据自然的主基准、或者对照其他的准确标准来核准。实质上,任何一种测量工作最终都能推述到所涉及的主基准。

所谓校验,是用相对标准来确定测量仪表或测量系统测值读数(有时是电输出量)与机械输入量之间关系的过程。这个关系常以曲线或数学式来表示,称为校验曲线或校验方程。对于电输出量或测值读数与机械输入量之间成比例关系的则以一常数来表示,称为校验常数。因此,校验也就是确定校验曲线,校验方程和校验常数的过程。

根据测量系统的应用范围,校验分为静态校验和动态校验两类。对于测量静态机械参量或缓慢变化的机械参量,测量系统一般只作静态校验。

静态校验的结果,除了给出校验曲线,校验方程或校验常数外,还必须给出该校验结果的波动范围,包括曲线方程的非线性度,滞后及重复性。

测量系统的校验有分部校验和系统校验,为了减小测量中系统各组成部分的匹配误差,常采用系统校验,即在使用前将传感器、测量电路和记录仪表接成一个特定的测量系统,利用机械输入量直接获得测量系统的相应输出量,求得系统的校验曲线、方程和系数。

在系统校验中应注意,系统各环节的幅度不能饱和,校验时的配套条件和使用时的配套条件要完全一致,校验后各环节的放大倍数调节器不能再任意转动。

第二节 压力计及测量

一、概述

油层能量的大小的主要标志是油层压力的大小;油气井产量的大小是与井底、井口压力

密切相关的,是不可缺少的数据;油层原油天然气的性质也与压力密切相关;原油天然气的地面计量中也必须得到压力数据。因此在石油天然气的开发、生产中,测取最多的物理量就是压力。在油气井生产测试中,压力测试(包括地面测量和井下测量)也是最重要的测试。

在物理学中,将液体、气体或蒸汽(统称流体)垂直作用在单位面积上的力称为“压强”,在工程技术上一般称它为“压力”。这种压力是由介质的分子运动对容器壁的作用而产生的。压力通常用绝对压力和表压力来表示。绝对压力是指液体、气体或蒸汽垂直作用在单位面积上的全部压力,其中包括流体本身的压力和大气压力。表压力等于绝对压力与大气压力之差,是相对压力。由于生产中使用的压力测量仪表,一般都是处于大气压力之中,所以它的指示值总是指出被测介质压力超出大气压力的数值,即表压力。绝对压力低于大气压力时,用真空度来表示,也可用负压力来表示。

测量大气压的仪表叫气压表,测量表压力的仪表叫压力表或压力计,测量负压力的仪表叫真空表。有时为了测量两个压力之差,使用差压力计。

根据压力的定义,它的大小等于单位面积上的作用力,所以它的单位是力和长度的导出单位。在物理学和工程上应用各种不同单位制,下面介绍几种目前经常采用的压力单位。

(1) 物理大气压,定义为在温度为 0°C 和标准重力加速度 (980.665cm/s^2) 下,760mm 的水银柱作用于底部水平面上的压力,即为一个物理大气压或称标准大气压。通常 1 个大气压等于 0.101325MPa 。

(2) 工程大气压 (kgf/cm^2): 这是工程技术中应用广泛的一种压力单位,也就是指每一平方厘米的面积上有一公斤力的压力。

(3) lb/in^2 (psi): 这是英、美等国家常用的一种压力单位。相当于在每一平方英寸的面积上有一磅力的压力。

$$1\text{kgf/cm}^2 = 14.223\text{lb/in}^2$$

(4) SI 公制压力单位(惟一法定单位);帕斯卡 (Pa),相当于每一平方米的面积上有 1 牛顿力的压力。

$$1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2$$

$$1\text{MPa} = 10^6\text{Pa} = 10.197\text{kg/cm}^2 = 145.05\text{psi}$$

压力计的种类很多,根据工作原理可分为液柱压力计、弹性式压力计、电气式压力计和活塞式压力计。在油气井生产测试中,按用途分为地面测量压力计和井下测量压力计。

二、地面压力计及测量

1. 弹簧管压力表

弹簧管压力表是地面流体压力测量中使用最多的一种压力表,它是弹性压力计的一个类型。弹性压力计中常用的弹性元件有弹簧管、膜盒、波纹管等,它们分别构成了弹簧管压力表,膜片压力计、膜盒压力计、波纹管压力计等。

弹性压力计是利用各种形式的弹性元件作为敏感元件来感受压力,并使弹性元件受压后变形产生的反作用力与被测压力平衡,此时弹性元件的变形就是压力的函数,这样就可以用测量弹性元件的变形(位移)的方法来测得压力的大小。

1) 仪器结构

弹簧管压力表主要有弹簧管(又叫波登管、包式管),齿轮传动机械,示数装置(分针和刻度盘)以及外壳几个部分组成。其结构如图 1—2,图 1—3 所示。

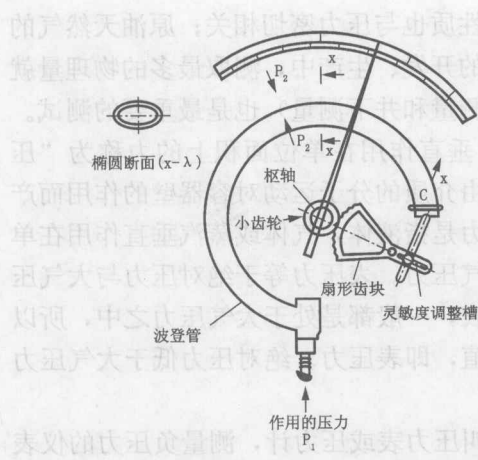


图 1—2 弹簧管压力表结构图

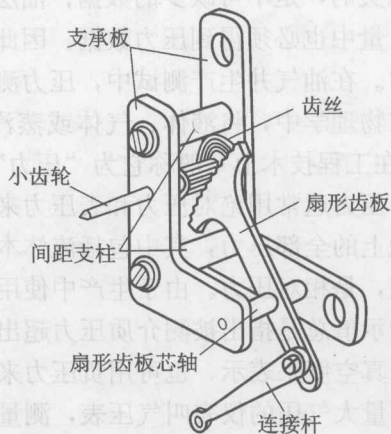


图 1—3 压力表齿轮传动机械

2) 工作原理

弹簧管是一根弯成圆弧形的横截面为椭圆的空心管子。弹簧管的自由端是封闭的，它借助于拉杆和扇形齿块以铰链的方式相连，扇形齿块和小齿轮齿合，在小齿轮轴心上装着指针，为了消除扇形齿块和小齿轮之间的间隙活动，在小齿轮的轮轴上安装了螺旋形的游丝。

弹簧管的另一端焊在仪表的壳体上，并与管接头相通，管接头用来把压力计与需要测量压力的空间相连，介质由所测空间通过细管进入弹簧管的内腔中，在介质压力的作用下，弹簧管内部压力的作用使其极力倾向变为圆形，迫使弹簧管的自由端产生移动，这一移动距离（通常称为管端位移量）借助连接杆，带动齿轮传动机构，使固定在小齿轮上的指针相对于刻度盘旋转，指针旋转角的大小正比于弹簧管自由端的位置，亦正比于所测压力的大小，因此可借指针在刻度盘上的位置指示出待测压力值。

3) 技术性能

制造弹簧的材料要求具有较高的弹性极限，抗疲劳极限和良好的耐腐蚀性、易焊接、加工性能好，其化学成分和机械性能均匀一致。通常采用的有磷青铜，50CrV 钢，要求耐腐蚀时常采用 1Cr18Ni9Ti 和 N42CrTi 等不锈钢。

为了保证弹簧管压力表正确指示和长期使用，使用时应注意下列各项规定：

- (1) 仪表应在正常允许的压力范围内工作，在静压力下一般不应超过测量上限值的 70%，在波动压力时，不应超过测量上限值的 60%。
- (2) 工业用压力表应在环境温度 $-40 \sim +60^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不大于 80% 的条件下使用。
- (3) 仪表安装处与测定点间的距离应尽量短，以免指示缓慢。
- (4) 在振动情况下使用仪表时要装减振装置。
- (5) 仪表必须铅直安装，无泄露现象。
- (6) 仪表的测定点与仪表的安装处应处于同一水平位置，否则将产生附加高度误差，必要时需加修正值。
- (7) 测量有爆炸、腐蚀、有毒气体的压力时，应使用特殊的仪表。氧气压力表严禁接触油类，以免爆炸。
- (8) 测量结晶或黏度较大的介质时，要加装隔离器。

(9) 仪表必须定期校验,合格的才能使用。

单圈弹簧管压力表在受压力时,由于自由端的位移和转动力矩小,只能作指示仪表使用,为了使弹簧管压力表成为压力记录仪表,为了能带动记录机构运动,就需要弹簧管自由端有较大位移和转动力矩,因此常把弹簧管转上数圈,成了多圈弹簧管压力计,如图 1—4 所示,这种压力计也叫螺线管压力计,弹簧管的圈数一般有 2 圈,5 圈至 9 圈,看需要而定,管端的转角一般在 54° 左右。

图 1—4 为一多圈弹簧管的示意图,弹簧管 3 一端固定在支架上 and 管 2 相连,另一端则和连接片 4 相连,连接片又连接着杠杆 6,当弹簧管中承受压力后,其自由端转动,带动轴 5 转动,通过滑架 7,拉杆 8 等一套传动机构而使指针 9 转动,指针端部装有记录笔头,用来在记录纸上记录下压力变化的曲线。

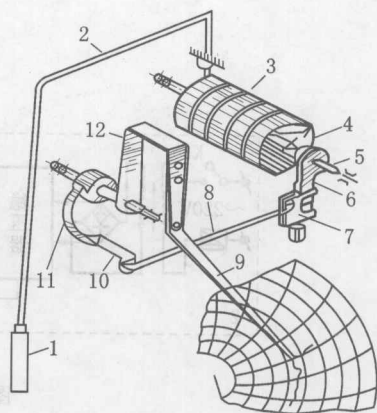


图 1—4 多圈弹簧管压力计

1—管接头; 2—管; 3—弹簧管; 4—连接片; 5—轴; 6—杠杆; 7—滑架; 8—拉杆; 9—指针; 10—支架; 11—金属补偿器; 12—弯杆

2. YDS—II 型远传压力表^[1]

YDS—II 型远传压力表是用在自动测量各种无腐蚀性气体和液体压力的仪表。此仪表有就地指示装置,也有将压力转换为电信号进行远传的装置,它属于电气压力仪表,电气压力仪表类型很多,有电阻式压力计以及分电位式,应变式,压阻式,电感式压力计,差动变压器式压力计,电容式压力计,霍尔式压力计,振弦式压力计,压电式压力计等等。

1) 仪器结构

此仪表由三部分组成:

一次表部分——包括压力敏感元件(弹簧管)、变送元件(差动变压器)和就地指示装置。见图 1—5。

电器箱部分——包括变压器、稳压器、振荡器、放大器几个单元。

二次表部分——包括电流表、电压表或其他接收装置。

2) 工作原理

此仪表中的振荡器产生一个频率为 1200r/s , 幅度为 $3\sim 4\text{V}$ 的高频电源供给差动变压器工作,放大器的作用是将差动变压器的输出信号加以放大送到二次表进行显示。在变送器没有工作时(即压力没有进入弹簧),与弹簧管自由端 A 用刚性杆 B 连接的差动变压器铁芯 F 处在中间位置,此时,差动变压器没有输出。

当压力进入弹簧管后,变送器开始工作,弹簧管自由端 A 将产生一个位移,此位移经传动机构转变为角位移,然后带动指针将压力就地指示在刻度盘上,与此同时,差动变压器的铁芯 F 在杆 B 的带动下偏离了原来的中间位置,而向上产生一个垂直位移,这样就破坏了差动变压器次级的电磁平衡,从而在次级输出端产生一个不平衡电动势 ΔE ,这个 ΔE 经放大整流后,输出一个我们所需的直流电信号。在控制室的二次表将接受到的直流电信号指示出来。即完成了压力的遥测。

3) 技术性能

电源

220V, 50Hz

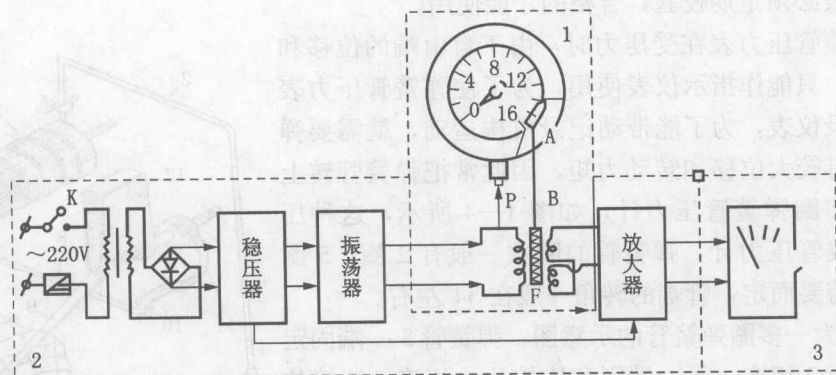


图 1—5 YDS—II 型仪表结构图

1——一次表；2——电器箱；3——二次表

输出信号

0~1mA 或 0~5V, DC

准确度

1.5 级

测压范围 (MPa)

0~0.588、0.981、1.569、2.452、3.923、5.884、9.807、
15.691、24.517、39.227、58.840

温度

5~35℃

湿度

当环境温度为 20℃ 时, 相对湿度不大于 80%

电压波动

±10% (200~240V)

3. 霍尔压力表

霍尔压力表是利用霍尔元件在磁场中位移产生微压而制成的一种遥测压力表, 它具有较高的灵敏度和精度, 能与标准型号的二次仪表配套作远距离压力指示及记录。

1) 仪表结构

霍尔压力变送器的结构主要由定电压电源和压力转换机构构成。

定电压电源: 采用两级稳压的定电压电路。220V 交流电位变压器变压后输出 $2 \times 33V$, 通过两只二极管作全波整流和三只硅稳压管作两级稳压, 在电位器 R_4 的调制下使用 A、B 两端可输出 2V 的直流电压, 供霍尔片使用。

压力转换机构: 图 1—6 所示为 HYD-2 型压力转换机构。弹性元件 (弹簧管) 一端与测压接头相通, 另一端装着霍尔片, 并置于两块成 II 字型永久磁钢中心。移动磁钢的固定位置, 能使零点得到改变。

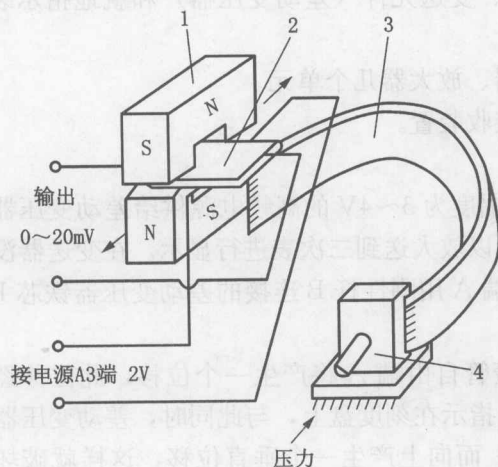


图 1—6 HYD-2 型压力转换结构

1—磁钢；2—霍尔片；3—弹簧管；4—接头

显示仪表: 霍尔压力变送器使用时需与显示仪表 XCZ-103 型动圈毫伏计配套。

更换不同规格的弹性元件, 可制成各种测压

范围的霍尔压力变送器，这种变送器的输出信号统一为直流 0~20mV。

2) 工作原理

通有直流电流的霍尔片（即半导体）放在垂直于电流方向的磁场中（图 1—7），当弹性元件（弹簧管、波纹管、膜片、膜盒）在压力的作用下产生位移并带动霍尔片移动时，使霍尔片在垂直于电流和磁场的方向上产生一个与电流和磁场强度成正比例的霍尔电势。这个电势送至显示仪表便可指示或记录出压力值。电势与电流，磁场强度之间的关系可用公式表示。

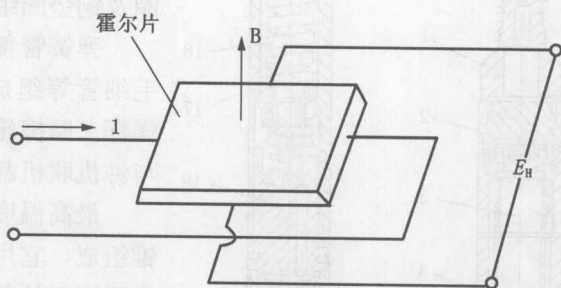


图 1—7 霍尔压力变送器原理图

$$E_H = KIB \quad (1-1)$$

式中 E_H ——霍尔电势，mV；

K ——常数；

I ——通过导体的电流，mA；

B ——磁场强度，G。

3) 技术性能

根据具体要求更换不同规范的弹簧管以适应测量不同压力值的要求。

电源电压：220V，50~60Hz；

质量：3kg；

输出电压：0~20mV；

工作环境温度：-10~50℃；

误差：±1%；

环境相对湿度：80%以下；

消耗功率：2.5W。

三、井下压力计及测量

井下压力测试工作所取得的压力资料是油气田开发中的一项重要参数，它是研究油气层特性，了解油气田在不同开发阶段的变化，掌握油气田动态的主要依据之一，是电缆地层测试、中途测试、试油、试井、生产测井主要测取的参数。

欲测试其压力值的地层均在井下，距地面往往数千米，与地面测压最大的区别是压力高，环境温度高。环境温度高会使测压元件受到温度的影响而产生热膨胀，指示和记录发生非线性漂移。所以井下压力计的最大难点在于克服高温的影响而保持较高的精度，这就对设计制造工艺提出了很高的要求^[2]。

下面介绍现场应用较多的井下压力计。

1. CY613-A 井下压力计^[1]

1) 仪器结构

CY613-A 井下压力计结构如图 1—8 所示，它由四大部分组成：绳帽部分、钟机部分、弹簧管部分，最高温度计部分。

绳帽部分：用于穿引钢丝、吊挂仪器下井测试，在其端部车有沟槽，以备钢丝被拔断造成仪器落井时进行打捞。

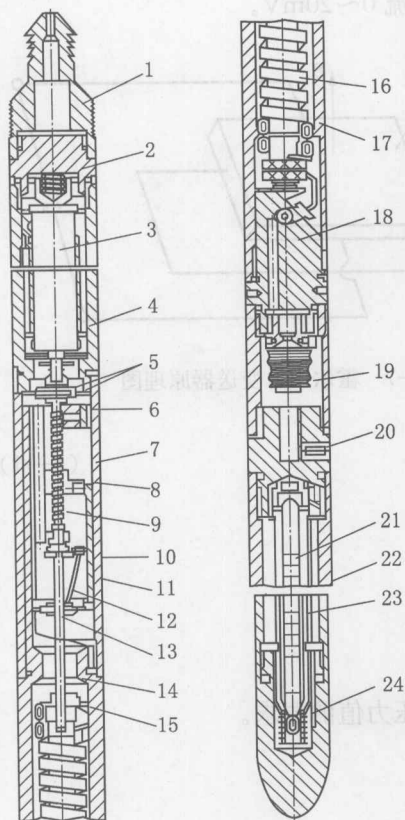


图 1—8 CY613—A 型井下压力计

- 1—绳帽；2—钟机压紧接头；3—钟机；4—钟筒；5—摩擦轮；6—螺杆上支承；7—记录装置外壳；8—记录筒固定套；9—螺杆；10—支承螺钉；11—记录筒；12—记录笔；13—固定螺钉；14—记录笔杆；15—记录笔杆承套；16—螺旋弹簧管；17—外壳；18—心脏主体；19—温度计外壳；20—褶皱盒；21—滤网；22—最高温度计；23—护套；24—底堵

钟机部分：它由钟机、摩擦轮、压紧装置、橡胶垫圈及铜垫圈组成。钟机是动力源。

弹簧管部分：由褶皱盒、心脏主体，螺旋弹簧管及毛细管等组成的压力传递系统和由记录笔杆，记录筒、螺杆、摩擦轮等组成的记录系统。由摩擦轮将记录系统与钟机联机起来。

最高温度计部分：由最高温度计室里的温度计和尾锥组成。它用来记录测压过程中仪器所遇到的最高温度。高温温度计装在金属护套内，金属护套装在仪器外壳中。最高温度计的两端有橡胶垫圈及弹簧减震装置。

整个仪器外壳用不锈钢制成，各段均用螺纹连接，用橡胶垫圈密封。在仪器外壳有网纹滚花或铣有两平面，以便于拆装仪器。

2) 工作原理

仪器采用多圈式弹簧管作为压力测量元件，用毛细管来连通褶皱盒（封包）和弹簧管。褶皱盒相当于一个隔离器，以避免毛细管和弹簧管内腔被污物堵塞。褶皱盒毛细管和弹簧管内腔中充满传压介质（通常为邻苯二甲酸二丁脂、乙醚、甲苯、乙基苯等液体）。被测压力作用于褶皱盒上，由于传压介质不可压缩，此压力经毛细管传递给弹簧管，使弹簧管随压力的变化而成比例地伸展，当仪器承受测量范围内的最高压力值时，其伸展的角度为 $24^{\circ} \sim 280^{\circ}$ 。弹簧管伸展时带动装在其自由端的记录笔在与弹簧管轴向垂直的平面内旋转，在记录筒内的记录卡片上划出印痕（此印痕的高度与被测压力成正比），同时，记录筒在钟机带动下向下匀速移动。这样就构成了时间—压力坐标系统的记录图（记录卡片）。

测量卡片上记录的位移（自基线至各记录点的垂直距离），借助校验曲线就可算出各记录点所代表的压力值。基线是在仪器下井前人工划出的零位线。

CY613—A 井下压力计是弹簧管式井下压力计中的一种，虽然已经是落后的品种，使用得也不多了，但为了较好的掌握弹簧管式井下压力计的结构、原理，我们首先介绍它。

考虑温度对压力值的影响，在计算压力时还应作温度校正。

3) 技术特性及规格参数

CY613—A 型井下压力计技术特性及规格参数见表 1—1。

表 1—1 CY613—A 型井下压力计技术特性及规格参数

外径 mm	长度 mm	重量 kg	隔离方式	仪器测量上限 MPa	精度 (全量程%)	灵敏度 (全量程%)	钟机系列 h	最高工作温度 ℃	卡片尺寸 mm×mm
36	1425	6	褶皱盒式	5~30 系列	0.5%	0.3%	10, 50	80	54×60

2. DMH-66 型精密压力计^[1]

1) 仪器结构

DMH-66 型精密压力计的结构如图 1—9 所示。

DMH-66 型精密压力计由五部分组成：外壳部分、驱动计时系统、测压系统、记录部分和最高温度计部分。

(1) 外壳部分。主要包括绳帽、迷宫外壳、弹簧外筒、记录外壳、温度计外壳等。DMH-66 型精密压力计的绳帽与其他类型的机械压力计绳帽不同。它由打捞颈、衬套、销子和紫铜垫组成。

(2) 驱动计时系统。它由钟机轮系和驱动弹簧组成。钟机轮系与常用钟机的轮系基本相同。驱动弹簧是一根较长的螺旋形扭力弹簧。它有一般钟机发条的作用。钟机既有计时作用，又有驱动测量弹簧和柱塞杆旋转的作用。DMH-66 型精密压力计的驱动计时系统有七种型号。

(3) 测压系统。主要包括传压接头、迷宫隔离部分、测量弹簧、旋转活塞及密封接头等。

(4) 记录部分。由记录笔、卡纸筒、记录卡片、卡圈及压紧接头等组成。记录卡片由金属片制成。

(5) 最高温度计部分。该部分与其他型号机械压力计的最高温度计部分基本相同。

2) 工作原理

被测压力由传压孔经传压接头内的孔道进入迷宫隔离部分，借助于迷宫内的工作液将被测压力传入弹簧室（弹簧外筒内），作用于旋转活塞截面，使活塞产生轴向拉力拉动测量弹簧，弹簧即产生变形。装在旋转活塞下端的记录笔随之产生相应的位移。记录在卡纸筒的卡片上。与此同时，驱动计时系统测量弹簧、连续旋转活塞、记录笔旋转，进行横向记录。在卡片上构成压力（纵向）—时间（横向）关系曲线。装在压力计下部的最高温度计记录了测压过程的最高温度值。以便计算压力值时进行温度校正。

3) 特点

DMH-66 型精密压力计有以下特点：

(1) 该压力计在测试过程中，活塞产生轴向位移的同时又做旋转。这是它的突出特点。所以又称为“柱塞旋转式弹簧压力计”。由于活塞在做轴向移动的同时增加了旋转，从而减小了轴向运动的摩擦阻力，达到提高仪器精度的目的。

(2) DMH-66 型精密压力计的活塞最大行程 200mm。这是其他型号的弹簧压力计所

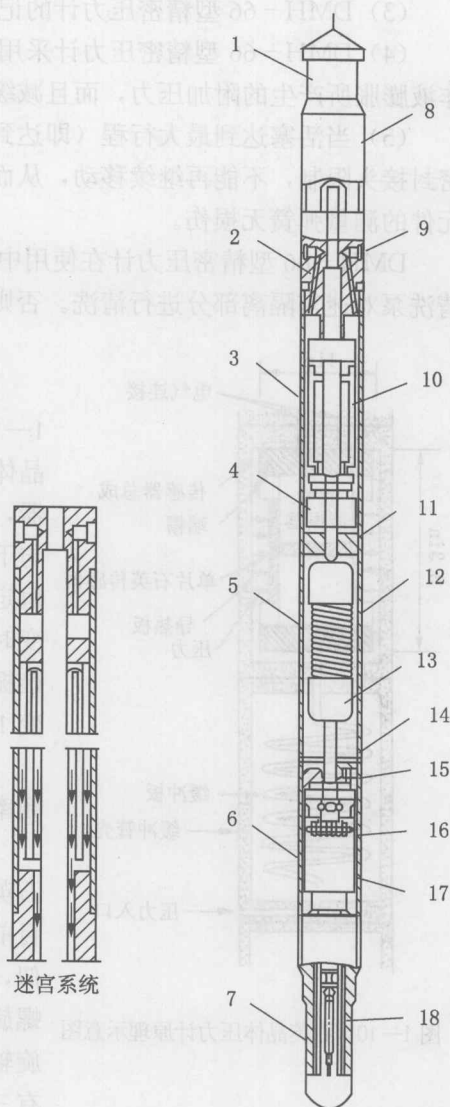


图 1—9 DMH-66 型精密压力计结构图

1—绳帽；2—传压接头；3—迷宫外壳；4—传动密封接头；5—弹簧外筒；6—记录外壳；7—温度计外壳；8—钟机结构；9—传压孔；10—迷宫隔离部分；11—无摩擦密封圈；12—测量弹簧；13—弹簧接头；14—测量系统固定压盖；15—连续旋转活塞；16—记录笔；17—卡纸筒；18—最高温度计