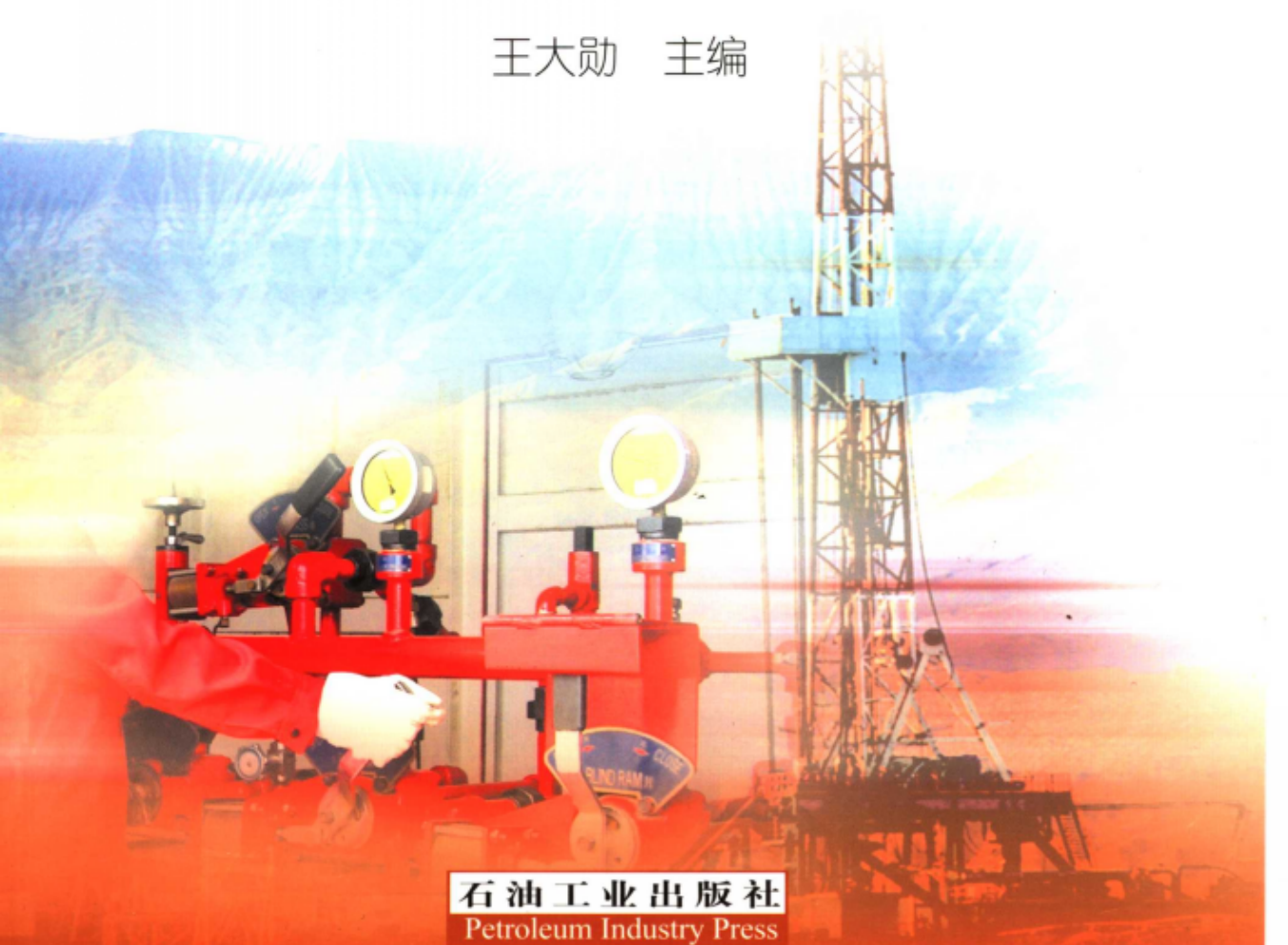




石油高职高专规划教材

钻采仪表及自动化

王大勋 主编



石油工业出版社
Petroleum Industry Press



石油高职高专规划教材

责任编辑：徐秀澎 封面设计：周彦 责任校对：王蕾

ISBN 7-5021-5638-0



9 787502 156381 >

ISBN 7-5021-5638-0/TE·4289 (课)

定价：24.00 元

石油高职高专规划教材

钻采仪表及自动化

王大勳 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书共分三篇、九章。第一篇钻井参数仪表,包括钻井仪表基础知识、常用钻井参数测量、国内外典型钻井仪表简介等;第二篇为采油仪表,包括井站常用测量仪表、井下生产测试仪表等;第三篇为站场自动控制,包括自动控制系统的基本概念、自动控制仪表、井站控制系统等。每章都附有习题与思考题,便于学生复习巩固。

本书可作为高职高专石油工程专业和自动化专业教学使用,也可供广大石油技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

钻采仪表及自动化/王大勋主编.

北京:石油工业出版社,2006.10

(石油高职高专规划教材)

ISBN 7-5021-5638-0

I. 钻…

II. 王…

III. ①油气钻机-仪表装置-高等学校:技术学校-教材

②油气钻井-自动化-高等学校:技术学校-教材

IV. TE92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 085528 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.com.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 10 月第 1 版 2006 年 10 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:16.5

字数:418 千字 印数:1—2000 册

定价:24.00 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

《钻采仪表与自动化》教材是根据石油高职高专教学与教材规划研讨会会议精神，编写一批具有石油特色，与石油高职高专应用型人才的知识、能力结构相适应的“换代型”教材，结合《钻采仪表与自动化》课程教材编写大纲而编写的。

本教材根据高职高专职业教育和培养目标及高职教育的特点，在教材内容的选择上，突出了高职教育的职业性、技术性、应用性、针对性强的原则，也兼顾了前瞻性、先进性和创新性的特点，紧密结合生产实际，注意发挥图、表、例在塑造应用型人才中的作用，努力做到能为生产、建设服务、管理一线直接应用。

本教材主要适用于油气开采、钻井技术专业，学制为三年的高职高专学生，总学时大约 56 学时。多专业可根据具体课程计划，选取相关内容进行讲授。

本教材由王大勋任主编，储存、严宏东任副主编。第一章由李建铭编写；第二、三章由王大勋编写；第四章第一至三节、第六章、第九章由严宏东编写；第四章第四节、第五章由储存编写；第七章由张其敏编写；第八章由王克华编写；王大勋负责对全书进行统校。

由于编写能力有限，时间仓促，书中有些内容难免有不够妥当甚至错误之处，还望读者不吝赐教，提出宝贵意见，以供修订时加以提高和改正。

编 者

2006 年 6 月

目 录

第一篇 钻井参数仪表

第一章 钻井仪表基础知识	1
第一节 测量、控制仪表概述	1
第二节 测量仪表的品质指标	4
第三节 钻井仪表的分类与构成	8
习题与思考题	10
第二章 常用钻井参数测量	11
第一节 压力测量	11
第二节 钻压测量	18
第三节 钻井液压力测量	23
第四节 钻井液流量测量	25
第五节 钻井液容量测量	34
第六节 钻井液密度测量系统	38
第七节 转盘扭矩测量	41
第八节 大钳扭矩测量	45
第九节 转盘转速传感器	46
第十节 钻井进尺测量	48
习题与思考题	49
第三章 国内外典型钻井仪表简介	51
第一节 ZC2 型六参数钻井仪	51
第二节 录井仪	56
第三节 马丁德克钻井仪表	61
第四节 钻井数据计算机采集系统	67
习题与思考题	71

第二篇 采油仪表

第四章 井站常用测量仪表	73
第一节 压力测量仪表	73
第二节 流量测量	74
第三节 液位测量	93
第四节 温度测量	96

习题与思考题	121
第五章 井下生产测试仪表	123
第一节 井下压力计	123
第二节 井下温度计	139
第三节 井下流量计	144
第四节 井下取样器	154
第五节 油井找水仪	157
习题及思考题	160
第六章 抽油井井下探测与示功图测试	162
第一节 井下液面探测	162
第二节 深井泵示功图测试	171
习题与思考题	181

第三篇 站场自动控制

第七章 自动控制系统基本概念	182
第一节 自动控制系统概述	182
第二节 自动控制系统的过渡过程及品质指标	186
第三节 被控对象的特性	190
第四节 基本控制规律	196
习题与思考题	205
第八章 自动调节仪表	207
第一节 调节仪表的作用与分类	207
第二节 DDZ-Ⅲ型电动调节器	209
第三节 执行器	218
习题与思考题	228
第九章 井站控制系统	229
第一节 调节系统的投运	229
第二节 站场的自动控制系统	232
第三节 计算机控制系统	234
习题与思考题	241
附录	242
附录一 常用压力表规格及型号	242
附录二 铂铑 ₁₀ -铂热电偶分度表	243
附录三 镍铬-铜镍热电偶分度表	248
附录四 镍铬-镍硅热电偶分度表	248
附录五 铂电阻分度表	252
附录六 铜电阻 (Cu50) 分度表	254
附录七 铜电阻 (Cu100) 分度表	255
参考文献	256

第一篇 钻井参数仪表

第一章 钻井仪表基础知识

第一节 测量、控制仪表概述

在石油工业生产过程中,为了提高石油产量、降低开发成本、获得高效能的生产速度,确保生产的正常、安全进行,必须准确、及时地对生产过程中的各种变量进行测量,以使石油的开发和生产能够顺利进行。

将生产过程中对各种变量的数值检测并显示出来的过程称为测量过程。通过对各种变量的测量,可以及时了解工业生产的状况,为操作人员提供操作依据,也为自动控制系统提供控制依据。

测量仪表按其测量变量的不同,常分为压力、液位、流量、温度等类型仪表。由于石油工业生产的复杂性,被测量介质物理化学性质差异大,测量要求也各不相同。随着生产的发展,目前使用的测量仪表品种繁多,结构不尽相同,新型仪表也层出不穷。本章节主要讨论测量仪表的误差及其精度等级,介绍测量仪表的一般构成和分类,分析各种测量仪表的结构、性能和使用。

任何的生产工艺过程都对生产过程有一定的指标和要求,并且通过一定的手段来实现控制。早期是在生产过程中借助一些设备进行手动操作,依靠人的经验进行控制,这种控制方法称为手动(或人工)控制方法;随着技术的进步和生产要求的提高,人们开始借助于自动化设备或装置来控制生产过程的进行,这种控制方法,称之为自动控制方法。生产过程中为实现自动化而采用自动化装置所构成的系统,称为生产自动化系统。

自动化系统是人们认识自然和改造自然的产物。人们在对自然界的认识和改造过程中,充分认识、掌握自然规律,推动工业自动控制技术的不断进步,于是有了各种自动化装置的出现。自动化装置将人们从繁重的体力劳动中解放出来,利用自动化装置管理生产,又进一步推动了自动化系统的发展。自动化系统的产生也是生产过程要求的必然产物。石油的生产过程,通常是在密闭的管道设备中连续进行,一般具有高温、高压、有毒、易燃、易爆等特点。为保证安全生产和提高产量,对石油开采每个生产过程中的物理量都有一定的控制要求。采用人工控制的方法无法对复杂的生产过程状况进行观测,也无法对其进行干预。只有使用适合生产工艺要求的自动化装置,才能使生产按照人们的要求进行。

自动化控制系统是由手动操纵控制而发展起来,如在手动控制水槽的液位过程中,人们首先通过眼睛观察液位的高度,再由大脑判断其液位比期望的高度是高或是低,是否符合期望的要求,然后根据其差值来确定阀门开度开大多少或关闭多少,最后由手动去改变阀门的开度。由以上分析可知,如要用自动化装置代替人工操作,首先应有代替人眼睛的自动测量

装置，并应有代替大脑运算的装置，即控制器；还有代替人手作用的装置——执行器。

在石油生产过程中，为了正确地指导生产操作，保证安全生产，保证产品质量和实现生产过程自动调节，需要对石油开采工艺生产中的压力、物位、流量、温度等参数进行自动测量。用来测量这些参数的仪表称为测量仪表。

一、测量的概念

测量是用实验的方法或专门的仪器、设备，将被测物理量与该参数的已知测量单位（标准量）进行比较，以求得二者比值，进而求得被测物理量的量值。被测物理量的量值与单位的关系可用下式表示：

$$Q=qV \quad (1-1)$$

式中 Q ——被测量；

V ——测量单位；

q ——被测量与所选测量单位的比值。

比值与测量单位的大小有关。为了准确地表达被测量的测量值，在其比值结果上均需乘以测量单位。

测量是用专门的测量器具，对客观事物取得数量观念的认识过程。测量的目的是为了尽可能准确地收集被测对象的有关信息，以便掌握被测对象的参数和控制生产过程。一切测量过程均包括比较、示差、平衡和读数等环节。测量过程的核心是比较，即把一个被测量直接或间接地与另一个同类的标准量进行比较，从而定出被测量是标准量的若干倍，或是若干分之一，也就是确定两者之间的比值。我们可以以天平称重为例，看看测量过程中的这几个环节。为了比较被测量和标准量，把重物和砝码分别放在两侧称盘中，这叫对比。然后判断谁重谁轻，这可以借助于观察天平中间的指针偏向何方，以判别有无差值，这叫示差。如存在差值就要调整砝码的大小，一直至砝码与重物平衡时为止，这个调节的动作叫平衡。然后可以根据砝码的大小和多少读出（或算出）物重的数值，这叫读数。以上动作，贯穿在一切测量过程中。要改变测量就要简化和改进这些环节。在生产过程中，常常希望自动实现上述测量过程，这种自动测量过程称为自动检测。

测量过程的关键在于比较，但是被测量与标准量直接进行比较的场合不多。大多数的被测量和标准量都要变换到双方都便于比较的某个中间量，才能进行比较。例如指针式压力表测量压力时，被测压力被变换成压力表指针的偏转，而压力的标准量变换成压力表的刻度，这时被测量和标准量都必须经过变换到角位移这样的中间变量，以便直接进行比较。因此，变换是测量的中心。测量变换是指把被测量按一定的规律变换成另一种物理量的过程。实现这种变换过程的元件称为变换元件。变换元件是以一定物理定律为基础的，它完成一个特定的变换任务。多个变换元件的有机组合可构成测量仪表。变换更是非电量电测技术的核心。非电量电测技术就是将各种非电的物理变量变换为电参量，然后进行测量的。这样就使这些非电物理量的测量具有快速、准确、直观、遥测以及自动测量等优点。

测量结果可以用数值表现，也可以表现为曲线或图形。但是一个完整的测量结果应该包括一定的数值，如大小和符号、相应的单位和测量误差。对于后面两项，初学者往往容易忽视。表示测量结果时，不注明单位，将毫无意义。而不包含误差范围的测量结果，也不能准确地说明测量结果的可靠程度。因为测量结果不可能避免误差存在，只有给出某一测量的误差范围，才能真实地说明测量值的价值。

二、测量方法

测量方法就是实现被测量与其单位比较的方法。对其参数的测量来说，测量方法的选择十分重要。若方法不当，即使有精密的测量仪表和设备，也往往不能得到理想的结果。

测量方法从不同的角度出发，有不同的分类方法。

1. 按测量方式分类

按测量方式的不同可分为直接测量、间接测量和组合测量三类：

(1) 直接测量

直接测量就是将被测量与标准（测量单位）直接进行比较或用预先按标准量定好的仪器直接得出测量值的方法。例如，用压力表测压力，用温度计测温度等。

(2) 间接测量

间接测量就是对几个与被测量有确定函数关系的物理量进行直接测量，然后通过函数关系式求得被测量的结果。例如，求矩形面积 $A=L$ （长） $\times B$ （宽），只要将直接测得的 L 和 B 带入算式就可得到面积 A 的值。

(3) 组合测量

在测量中使各个未知量以不同的组合形式出现（或改变测量条件以获得这种不同的组合），根据直接测量所获得的数据，通过求解联立方程组以求得未知量的数值，这类测量称为组合测量。

2. 按测量条件分类

按测量条件的不同，测量可以分为等精度测量和不等精度测量。

(1) 等精度测量

在测量条件完全相同的情况下进行的一系列测量，这些测量的精度是相同的，故称之为等精度测量。例如，同一个人同一环境条件下，用同一仪器对同一被测量进行的多次测量，便是等精度测量。因为这种测量简单易行，并能在一定范围内提高测量精度，所以应用最为普遍。但在实际工作中，由于客观条件的限制，有时不可能做到等精度测量。

(2) 不等精度测量

在几种不同的测量条件下进行的测量，采用不同的测量方法（包括使用不同的测量仪器）、不同的测量次数或由不同的测量者进行多次测量等，这些测量的精度是不相同的，故称之为不等精度测量。

3. 按接触方式分类

按接触方式不同可分为接触式测量和非接触式测量。

(1) 接触式测量

接触式测量就是在测量过程中测量的敏感元件直接与被测介质接触，得到被测量结果的方法。例如，水银温度计测量温度。此类方法一般精度较高，测量范围广，使用方便。

(2) 非接触式测量

非接触式测量就是在测量过程中测量仪表的任何部分都不与被测介质接触就能得到测量结果的方法。例如，光学、超声波、放射线等仪表。它不干扰被测对象，特别是在一些接触式测量方法不能胜任的场合，如运动对象的参数测量、腐蚀性介质及危险场合下的参数测量等，使用非接触测量方法就更为方便、安全和准确。

三、测量仪表

测量仪表是进行测量的基本工具之一。

由于石油开发和生产过程中，各类参数种类繁多，生产条件各有不同，应用的各种测量仪表工作原理和结构也各有不同。但是，从测量仪表的组成来看，基本上是由测量机构、传送放大机构和显示机构三部分组成。测量机构直接感受被测参数，并将它转换成适合于测量的信号，经传送放大机构对信号进行传送放大，最后由显示机构进行指示、记录。

综上所述，测量仪表无论应用哪一种原理，它们的共性在于被测参数都要经过一次或多次的信号能量形式变换，最后由指针的位移或数字形式显示出来。所以各种测量仪表的测量过程，实质上就是将被测参数信号能量形式一次或多次不断地变换和传送，并将被测参数与其相应的测量单位进行比较的过程。而测量仪表就是实现这种变送和比较的工具。

第二节 测量仪表的品质指标

一、测量误差

在检测过程中，由于环境存在着各种各样的干扰因素，以及所选用的仪表精度有限，实验手段不够完善，检测技术的限制等原因，必然使测量值和真实值之间存在一定的差值，这个差值称为测量误差。

1. 真实值

真实值是一个理想的概念，因为任何可以得到的数据都是通过测量得到的，它受到测量条件、人员素质、测量方法和测量仪表的影响。一个测量结果，只有当知道它的测量误差的大小及误差的范围时，这种结果才有意义，因此，必须确定真实值。在实际应用中，常把以下几种情况定为真实值。

(1) 计量学约定的真值

计量学约定的真值即测量过程中所选定的国际上公认的某些基准量。例如1983年第十七届国际计量大会审议并批准了米的新定义为“米等于光在真空中 $1/299792458s$ 时间间隔内所经路径的长度”。这个米基准就当作计量长度的约定真值。又如在一个大气压下，水沸腾的温度为 $100^{\circ}C$ ，即为约定真值。

(2) 标准仪器的相对真值

可以用高一级标准仪器的测量值作为低一级仪表测量值的相对真值，在这种情况下，真值又称为实际值或标准值。例如对同一个被测量，标准压力表示值为 $16MPa$ ，普通压力表示值为 $16.01MPa$ ，则该被测量压力表测量值是 $16.01MPa$ ，相对真值（实际值）为 $16MPa$ 。用普通压力表测量后产生的误差为： $\Delta=16.01-16=0.01MPa$ 。

(3) 理论真值

如平面三角形的内角之和恒为 180° 。

2. 误差的分类

(1) 根据误差的表达方式分类

1) 绝对误差。被测变量的测量值 (X) 与真实值 (T) 之间的差值称为绝对误差。表示为：

$$\Delta = X - T \quad (1-2)$$

式中 X ——测量值，即被测变量的仪表示值；

T ——真实值，在一定条件下，被测变量实际应有的数值；

Δ ——绝对误差。

绝对误差直接说明了仪表示值（测量值）偏离实际的大小。对同一个实际值来说，测量产生的绝对误差小，则直观地说明了测量结果比较准确。但绝对误差不能作为不同量程的同类仪表和不同类型仪表之间测量质量好坏的比较尺度，且不同量纲的绝对误差无法比较。为了更准确地描述仪表测量质量的好坏，明确测量结果的可信程度，通常将绝对误差与被测值的大小作一比较，从而引入相对误差的概念。

2) 相对误差。相对误差是被测量的绝对误差与真实值（或测量值）比较的百分数，表示为：

$$\delta = \frac{\Delta}{T} \times 100\% \approx \frac{\Delta}{X} \times 100\% \quad (1-3)$$

例如，用电阻式温度计测量 200°C 温度时，产生的绝对误差是 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，得到相对误差 δ 是 $\pm 0.25\%$ 。用热电偶温度计测量 800°C 温度时，产生的绝对误差是 $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ ，得到相对误差 δ 是 $\pm 0.125\%$ 。可见，用绝对误差比较则电阻式温度计测量的准确度高，但用相对误差比较则发现，热电偶温度计相对于测量的真实值而言，测量结果的准确度高。

3) 引用误差。绝对误差与仪表量程比值的百分数称为引用误差，表示为：

$$\delta_{引} = \frac{\Delta}{X_{\max} - X_{\min}} \times 100\% = \frac{\Delta}{M} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中 X_{\max} ——仪表标尺上限刻度值；

X_{\min} ——仪表标尺下限刻度值；

M ——仪表的量程。

(2) 根据误差的测试条件分类

1) 基本误差。在规定的工作条件下（如温度、湿度、电源电压、频率等一定），仪表本身具有的误差叫基本误差。可用最大引用误差的计算方法来表示基本误差的大小。

2) 附加误差。当仪表的工作条件偏离正常范围时所引起的误差就是附加误差。

(3) 根据误差出现的规律分类

1) 系统误差。在相同条件下多次测量同一值时，误差的大小和符号保持不变或按一定规律变化的误差叫系统误差。误差的大小和符号已确定的系统误差称已定系统误差；误差的大小和符号按一定规律变化的系统误差称未定系统误差，根据它不同的变化规律，有线性变化的、周期变化的以及按复杂规律变化的等。

系统误差主要是由于实验方法不合理、测量装置本身在使用中变形、未调到理想状态或电源电压波动等原因造成的。在人工测量中，操作者的操作习惯和读数方式所造成的误差都属系统误差。系统误差的特征是误差出现的规律和产生原因是可知的，因此可以通过分析、预测加以消除。

当测量值 X 通过式 (1-5) 修正后，就可获得具有一定准确度的实际值（真实值）。系统误差的大小体现了测量结果偏离真实值的程度。

$$T = X + C \quad (1-5)$$

式中 C ——测量结果的修正值或测量系统中的修正环节。

2) 随机误差。在相同条件下多次测量某一值时, 误差的大小和符号以不可预见的方式变化, 称为随机误差, 随机误差是由于许多偶然的因素所引起的综合结果。它既不能用实验方法消去, 也不能简单加以修正。单次测量的随机误差没有规律, 但在多次测量时总体上服从统计规律, 通过统计学的数学分析来研究和估计测量结果的准确可信程度, 并通过统计处理, 减少影响。

随机误差的大小表明对同一测量值多次重复测量结果的分散程度。

3) 粗大误差。明显歪曲测量结果的误差, 称为粗大误差。产生的原因有测量方法不当、工作条件不符合要求等原因, 但更多的是人为原因。含有粗大误差的测量结果称为坏值或异常值, 应予删除。

(4) 动态误差与静态误差

1) 静态误差。仪表进入到一种新的平衡状态后具有的误差。这时仪表的示值是稳定的。一般仪表的精度都由静态误差决定。

2) 动态误差。被测信号变化时, 由于仪表惯性而不能准确跟踪信号变化, 使示值产生滞后误差, 即为动态误差。当信号稳定下来后, 动态误差最终会消失。但在动态测试、系统环节多、惯性时间长时, 必须充分考虑其影响。

二、仪表的精度

精确度(精度)是描述仪表测量结果准确程度的综合指标, 精度高低主要由系统误差和随机误差的大小确定。

精确度表示测量结果中系统误差大小的程度, 测量结果与被测量真实值的偏离程度。系统误差越小, 测量结果越正确。精密度表示测量结果中随机误差大小的程度, 指在一定条件下, 多次重复的测量结果的分散程度。随机误差越小, 测量结果越精密。

根据仪表的使用要求, 规定一个在正常情况下允许的最大误差, 这个允许的最大误差就称为允许误差。允许误差一般用相对百分误差来表示, 即一台仪表的允许误差是指在规定的正常情况下允许的相对百分误差的最大值, 可表示为:

$$\text{仪表的允许误差} = \pm \frac{\text{仪表的最大绝对误差}}{\text{标尺上限值} - \text{标尺下限值}} \times 100\%$$

或

$$\delta_{\max} = \pm \frac{\Delta_{\max}}{X_{\max} - X_{\min}} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中 δ_{\max} ——仪表的允许误差;

Δ_{\max} ——标尺范围内的最大绝对误差;

$X_{\max} - X_{\min}$ ——仪表的标尺范围(量程)。

仪表的精度等级是按国家统一规定的允许误差划分成的若干等级。因此, 仪表的精度等级与仪表允许误差的大小有关。根据仪表的允许误差去掉“±”号和“%”号后的数值, 可以用来确定仪表的精度等级。目前, 我国生产的仪表常用的精度等级有 0.005; 0.02; 0.1; 0.2; 0.4; 0.5; 1.0; 1.5; 1.5; 1.0; 2.5; 4.0 等。如果某台测量仪表的允许误差为 ±1.5%, 则认为该仪表的精度等级符合 1.5 级。为了进一步说明如何确定仪表的精度等级, 下面再举一个例子。

例 某台测量仪表的测温范围为 0~500℃, 仪表的最大绝对误差为 ±4℃, 试确定该仪

表的允许误差与精度等级。

解：仪表的允许误差为：

$$\delta_{\max} = \pm \frac{4}{500-0} \times 100\% = \pm 0.8\%$$

如果将该仪表的允许误差去掉“±”号和“%”号，其数值为0.8。由于国家规定的精度等级中没有0.8级仪表，同时，该仪表的允许误差超过了0.5级仪表所允许的最大误差，所以，这台测温仪表的精度等级为1.0级。

仪表的精度等级是衡量仪表质量优劣的重要指标之一，数值越小，仪表精度等级越高，仪表的准确度也越高。工业现场用的测量仪表，其精度大多在0.5级以下。

仪表的精度等级一般可用不同的符号形式标志在仪表面板上，如⊙、△等。

三、仪表的灵敏度

灵敏度表达测量系统反映被测量变化的灵敏程度，它是输出与输入之比的对应关系。当测量系统的输入 X 有一个变化 ΔX ，引起输出 Y 产生相应的变化 ΔY ，在稳态情况下，则称：

$$S = \frac{\Delta Y}{\Delta X} \quad (1-7)$$

为测量系统的灵敏度。

表示灵敏度时，输入量必须用实际物理量单位，如差动变压器式位移传感器，输入信号的变化量为1mm位移时，产生输出信号变化量为2mV的输出电压变化，其灵敏度 $S = 2\text{mV}/\text{mm}$ 。

若输出和输入都是同一量纲时，则称为放大倍数和倍率。例如，一种机械式位移传感器当输入信号（位移量）有0.01mm的变化时，输出信号也是位移量，为10mm，此时， $S = 10/0.01 = 1000$ 。

S 越大，表示仪器越灵敏。 $S > 0$ ，表示输出量随输入量的增加而增大；而 $S < 0$ ，则表示输出量随输入量的增加而减少。

由多个测量环节组成的测量系统，总灵敏度为各部分灵敏度的乘积，即：

$$S = \frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{\Delta Y_1}{\Delta X_1} \cdot \frac{\Delta Y_2}{\Delta Y_1} \cdot \frac{\Delta Y_3}{\Delta Y_2} \cdots = S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdots \quad (1-8)$$

仪表的灵敏度，在数值上就等于单位被测参数变化量所引起的仪表指针移动的距离（或转角）。例如，一台测量范围为0~100℃的测温仪表，其标尺长度为20mm，则其灵敏度 S 为0.2mm/℃，即温度每变化1℃，指针移动了0.2mm。

所谓仪表的灵敏限，是指引起仪表指针发生动作的被测参数的最小变化值。通常仪表灵敏限的数值应不大于仪表允许绝对误差的一半。

值得注意的是，上述指标一般只适用于指针式仪表。在数字式仪表中，往往用分辨率来表示仪表灵敏度（或灵敏限）的大小。数字式仪表的分辨率就是在仪表的最低量程上最末一位改变一个数所表示的被测参数变化量。以七位数字电压表为例，在最低量程满度值为1V时，它的分辨率则为0.1μV。数字式仪表能稳定显示的位数越多，则分辨率越高。

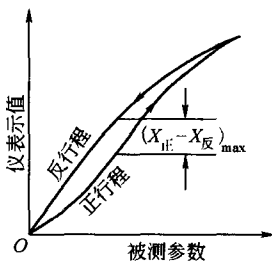
当用仪表对被测量进行测量时，被测量突然变化以后，仪表指示值总是要经过一段时间后才能准确地显示出来。反应时间就是用来测量仪表能不能尽快反应出参数变换的品质指

标。反应时间长,说明仪表需要较长时间才能给出准确的指示值,那就不宜用来测量变换频繁的参数。因为在这种情况下,当仪表尚未准确显示出被测值时,参数本身却早已变化了,使仪表始终指示不出参数瞬时值的真实情况。所以,仪表反应时间的长短,实际上反映了仪表动态特性的好坏。

四、仪表的变差

在外界条件不变的情况下,使用同一仪表对某一参数进行正、反行程(被测参数由小到大和由大到小)测量时,所得仪表示值之间的差值,称为变差。变差的大小,一般用在同一被测参数数值下,正、反行程时仪表示值之间的最大差值与仪表量程之比的百分数表示:

$$h = \frac{(X_{正} - X_{反})_{max}}{X_{max} - X_{min}} \times 100\% \quad (1-9)$$



式中 h ——变差, %;

$X_{正}$ ——仪表的正行程示值;

$X_{反}$ ——仪表的反行程示值;

X_{max} ——仪表标尺上限刻度值;

X_{min} ——仪表标尺下限刻度值。

造成变差的原因很多,例如传动机构的间隙,运动部件的摩擦,弹性元件的弹性滞后影响等。变差的大小反映了仪表的精密程度,因此要求仪表的变差不能超出仪表精度等级所限定的允许误差。测量仪表的变差示意图如图 1-1 所示。

图 1-1 测量仪表的变差

第三节 钻井仪表的分类与构成

钻井仪表就是在钻井工艺过程中能够进行感应、测量、传送或调节的设备和装置。在生产过程中,为了及时准确地了解生产过程进行的情况,需要使用各种自动测量仪表,不断地对生产过程中的各个参数进行检测,并把测量结果及时指示或记录下来,这个系统就叫自动测量系统。而钻井仪表实际上就是一种测量系统。它在钻井过程中可以连续地测量、显示和记录钻井工艺的各种有关参数。

钻井仪表系统可以分为三大部分:信号检测部分、信号变换部分、指示和记录部分。

一、钻井仪表的分类

1. 按所用动力分类

- 1) 气动仪表,如气动记录仪等。
- 2) 液动仪表,如泵压表、指重表等。
- 3) 电动仪表,如电动转速表、电动压力变送器等。

2. 按用途分类

各种钻井参数检测仪表,如指重表、泵压表、流量表等。

3. 按结构及完善程度分类

- 1) 单参数检测仪表,如指重表、测斜仪等。
- 2) 成套钻井参数测量记录仪,如 ZJC 型六参数钻井仪、ZJC 型八参数钻井仪等。

- 3) 用计算机控制的钻井数据收集系统, 如 M/D-3200 马丁·德克钻井仪等。
- 4) 钻井数据集中遥测和分析系统, 如 TELEDRILL 钻井仪等, 可对 100 台钻机进行遥控。

二. 钻井仪表的构成

钻井仪表系统由传感器 (一次仪表)、中间变换器 (放大器、校正器)、显示记录仪、计算机、打印机、报警器等构成, 如图 1-2 所示。

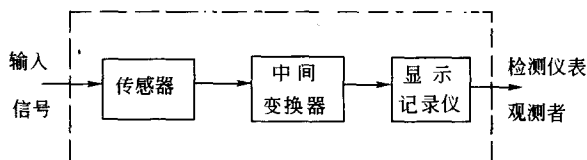


图 1-2 钻井仪表构成方框图

1. 传感器

传感器也称一次仪表, 它能把待测参数的变化分辨出来, 并可以转化为另一种形式的可测量。它有两种功能: 一是能够感受待测参数; 另一是变换和传送待测参数。

传感器的输入量即为待测的钻井参数; 而输出量则是另一种形式的可测量, 如电压、电流、频率、气压、液压等。

传感器的输入量信号来源于钻机的三大系统: 循环系统、起升系统、旋转系统。它们分装在钻机的各有关部位。

取自循环系统的参数有 6 个: 钻井液密度、出口钻井液温度、地面钻井液总体积、出口钻井液流量、泵压、泵排量。

与起升系统有关的参数为指重和进尺。

取自旋转系统的参数为转盘转速和扭矩。

2. 中间变换器

从传感器来的信号往往能量较低, 不足以直接推动显示记录仪表, 因此需加以放大, 而过强的信号则需加以衰减, 信号中所含的各种干扰成分必须加以滤除, 显示仪表往往具有标准量限, 因而要把传感器输出信号作相应的调整与校正。如果要显示记录一个运算结果 (如钻井液体积等于钻井液液位与钻井液池截面积之积), 则还要求对原始数据做适当的运算。

上述的放大、衰减、校正、滤波、阻尼及运算作用, 都是由中间变换器来实现的。

变换器可以由气动元件、液动元件、电子元件组成的电子线路或计算机系统, 它们的性能及复杂程度有较大差异。

3. 显示、记录仪表

显示、记录部分的作用是实时地显示和永久性地记录各种钻井参数资料。

显示器有模拟指针式表头 (如电压表、电流表、压力表等), 也有数字式显示器 (如发光二极管、液晶显示), 还有屏幕显示器等。装在钻台上的显示器, 应保证司钻可以在一定的距离内能准确地读出数值。

记录仪可以连续地记录生产系统或工艺过程中的某些变量。在多数场合中, 变量值被记录在时间坐标上, 即把随时间变化的变量值作为记录的内容。

记录仪可以大致分为两种类型: 圆图记录仪和长图记录仪。圆图记录仪使用有规定刻度的圆形记录纸; 长图记录仪则用很长的带状记录纸, 随着记录将记录纸收卷在卷纸轴上。

记录仪的走纸信号既可以是时间，也可以是井深。因此同一个参数，既可记录成时间函数曲线，也可记录成井深函数曲线。

有的记录仪只记录1个变量，而有的记录仪却能够记录2个、4个、6个、8个以至更多个变量。钻井仪表中就往往使用多道记录仪，把几个参数集中记录在一张记录纸上，既节约了设备，又便于把各有关的参数联系起来进行综合观察，分析对比。

4. 其他部分

1) 计算机是一个具有存储、运算等功能的电子装置。

一些反映钻井工艺实质性参数的运算，如 dc 指数、水力功率、环空流速、排量、泵压等都在这里进行。

它有若干个存储器，能存储检测程序，使各种原始数据有秩序地进入计算机。它能存储运算程序，指挥和操纵其内部的运算器，将各种参数根据程序进行运算。它还能够把原始数据、中间结果和最终结果记忆下来，以备对比之用。

总之，它是数据采集系统的核心，是所有外围执行装置的指令装置。

2) 打印机、记录仪和报警器都是处理机的外围装置。

打印机是为了把数据保留下来，以备分析使用。它可以根据需要，把数据整理成报表或报告的格式。

记录仪是为了把收集的数据集中到计算分析中心，以备综合其最优措施，实现对下一口井的最优化设计，或对该井进行综合的技术经济评价。必须把数据以记录形式保留下来，供计算机分析使用。

报警器包括声、光报警装置，一旦反映钻井安全的若干参数出现异常时，计算机根据这些异常数据，进行逻辑判断，给出预报，并操纵其报警装置，提醒人们注意，以提前采取应变措施，保证安全生产。

◇ 习题与思考题 ◇

1. 什么是测量？在工业生产中常用哪几种测量方法？
2. 什么是测量误差？它有哪些表示方法？根据测量误差产生的原因，测量误差有哪几种？
3. 什么是绝对误差和相对误差？绝对误差和相对误差值是否相同？
4. 什么是系统误差和随机误差？造成系统误差和随机误差的原因是什么？
5. 检测仪表主要由哪几个部分组成？其各组成部分的功能如何？
6. 检测仪表的等级是如何确定的？
7. 仪表的品质指标主要有哪些？
8. 什么是仪表的变差？什么是仪表的精度？什么是测量精度？它们之间有何联系？
9. 某温度表的测量范围为 $0\sim 1000^{\circ}\text{C}$ ，精度等级为 0.5 级，试问此温度表的允许最大绝对误差为多少？在校验点为 500°C 时，温度表的指示值为 504°C ，试问该温度表在这一点上准确度是否符合 1 级，为什么？
10. 两仪表的指示标尺完全相同，其量程分别是 $0\sim 10\text{MPa}$ 和 $0\sim 100\text{MPa}$ ，若它们的绝对误差均为 0.4MPa ，试问哪块仪表的精度高？哪块仪表的灵敏度高？
11. 一台电子电位差计，其量程范围为 $0\sim 1000^{\circ}\text{C}$ ，校验中发现其绝对误差为 $\pm 12^{\circ}\text{C}$ ，试确定该表的精度等级。