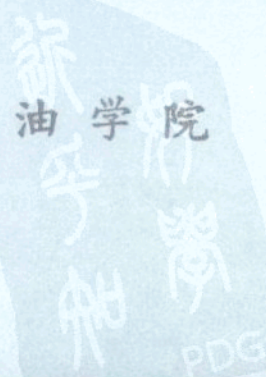


钻井及录井仪表

(上册)

蒋 君 编著

江汉石油学院



前 言

随着石油工业的发展,各种井场参数的自动测量、记录和处理日益重要。因此,钻井和综合录井仪表正在并将继续得到发展和普及。

编写本书的目的就是要系统地介绍各种钻井和录井仪表的基本原理以及一般使用、维护知识。由于这些仪表涉及的知识面较广、较深,为了方便读者,本书介绍了与这些仪表有关的必要的专业基础知识。这样,只要具有初步的电子学基础和力学基础的读者就不必借助过多的参考书而顺利地读完本书。

本册介绍各种非电量转换方法以及各种井场参数传感器的基本工作原理,可供大、中专钻井专业等学生作教材或参考书,亦可供各种从事钻井作业或地质录井的技术人员、工人使用;中册介绍国内外(主要是国外)各种工程参数典型测量仪表的详细工作原理,对这些仪表的信号处理电路所涉及的模拟和集成电路基础知识亦专门作了分析、介绍;下册介绍国外综合录井仪中典型的气测参数测量仪表以及泥浆录井的基本原理及解释。在该册末尾简要介绍国外一些公司生产的钻井和录井仪的基本性能。因此,全书不仅可供从事钻井和录井工作的各种人员使用,而且对于从事仪表的研制和生产的人员亦有一定的参考价值。

本书第一篇至第四篇由清华大学张训时副教授审定,第五篇由江汉石油学院李自俊副教授审定。

在本书编写过程中,得到原南海石油勘探指挥部、江汉油田钻井攻关队赖辛坚同志、渤海海洋石油公司地质服务公司、上海第四石油机械厂、辽河油田郭忠尧同志等单位和个人的大力支持和帮助,江汉石油学院的有关领导亦给予了积极的支持。易湘仁同志等参加了上册部分内容的校审。在此一并表示感谢。由于编者水平有限,错误和缺点在所难免,敬希读者及有关同志批评指正。

编 者

1985年元月

目 录

概 述	1
一、钻井与录井仪表的发展历史	1
二、钻(录)井仪器仪表测量的参数	3
三、钻(录)井仪器仪表的基本结构及特点	6
(一) 传感器	6
(二) 信号处理器	7
(三) 显示记录装置	7
(四) 报警器	8
第一篇 测量技术基础	10
第一章 常用弹性敏感元件	10
§ 1.1 弹性元件的基本特性及误差	10
一、弹性特性的表示	10
(一) 刚度 k	10
(二) 灵敏度 K	11
二、弹性滞后和弹性后效现象	11
(一) 弹性滞后现象	11
(二) 弹性后效现象	11
三、固有振动频率	11
四、弹性敏感元件的误差	11
§ 1.2 测力弹性体的形式及受力后的变形	12
一、悬臂梁式测力传感器	13
(一) 等截面梁	13
(二) 变截面(等强度)梁	13
二、等截面薄板	14
三、弹性体的位移量输出	15
(一) 等截面悬臂梁自由端挠度	15
(二) 等强度悬臂梁自由端挠度	15
(三) 等截面薄板的中心点挠度	15
§ 1.3 测压弹性体的形式及其在压力作用下的变形	15
一、弹簧管	16
二、波纹管	17

三、膜片及膜盒	20
(一) 膜片、膜盒及其用途	20
(二) 波纹膜片	20
(三) 金属膜盒	21
(四) 平膜片 (等截面薄板)	22
第二章 电阻应变片及其应用	24
§ 2.1 电阻应变片的原理和结构	24
§ 2.2 电阻丝应变片的主要特性	26
一、应变片灵敏度与横向效应	26
二、应变片的温度特性及温度补偿	27
三、电阻应变片的频响特性	28
§ 2.3 电阻应变式测力传感器	29
一、应变式测力传感器的结构	29
(一) 具有柱状弹性体的应变式测力传感器	29
(二) 具有悬臂梁式弹性体的应变式测力传感器	30
二、应变测量桥路输出特性	30
(一) 单臂为应变电阻的电桥	30
(二) 双应变片电桥	31
(三) 四应变片电桥	32
§ 2.4 固态压阻式传感器	32
一、概述	32
二、固态压阻式压力传感器的结构	33
第三章 霍尔元件及其应用	35
§ 3.1 霍尔效应和霍尔元件	35
§ 3.2 霍尔元件的特性参数	37
一、输入电阻与输出电阻	37
二、额定激励电流和最大允许激励电流	37
三、不等位电势与不等位电阻	38
四、灵敏度与最大磁感应强度灵敏度	38
五、霍尔电势温度系数	38
六、交流不等位电势与寄生直流电势	38
§ 3.3 霍尔元件使用中存在的问题及解决办法	38
一、霍尔元件的串联联接	39
二、霍尔元件的温度补偿	39
(一) 采用恒流源及分流电阻的温度补偿	39
(二) 采用热敏元件的温度补偿	40
三、霍尔元件不等位电势的补偿	41

§ 3.4 霍尔元件的应用	42
一、霍尔式微压、压力传感器	42
(一) 微位移的测量	42
(二) 霍尔式微压和压力传感器	43
二、霍尔式大电流测量传感器	44
三、霍尔式位移—脉冲转换装置	45
第四章 光电传感器	48
§ 4.1 概述	48
§ 4.2 内光电效应光电元件	48
一、光敏电阻	48
(一) 工作原理	48
(二) 光敏电阻的特性与参数	49
二、光敏晶体管	51
(一) 光敏晶体管的结构和工作原理	51
(二) 光敏晶体管的基本特性	52
§ 4.3 光生伏特效应与光电池	53
一、硅光电池的基本工作原理	53
二、光电池的基本特性	54
(一) 光电池的频谱特性	54
(二) 光电池的光照特性	54
(三) 光电池的转换效率	54
(四) 光电池的频率特性	55
(五) 光电池的温度特性	55
第五章 测温传感器	56
§ 5.1 热电阻式传感器	56
一、热电阻	56
(一) 铂电阻	56
(二) 铜电阻	57
二、热敏电阻	57
(一) 热敏电阻的主要特性	58
(二) 热敏电阻的主要参数	59
三、热电阻式传感器及其应用	59
(一) 热电阻温度计	60
(二) 热电阻在气体成分分析中的应用	61
§ 5.2 热电偶	66
一、热电势效应	66
(一) 两种导体的接触电势	66

(二) 单一导体的温差电势	67
二、热电偶材料	68
三、热电偶结构	70
(一) 普通工业用热电偶	70
(二) 铠装式(套管式)热电偶	70
(三) 快速响应薄膜热电偶	71
四、热电偶的冷端温度问题	71
(一) 将冷端温度保持为 0℃	71
(二) 计算修正法	71
(三) 电桥补偿法	72
(四) 补偿导线法	73
第六章 电感式传感器	74
§ 6.1 电感式传感器	74
一、变隙式电感传感器	74
二、螺管式电感传感器	77
§ 6.2 差动变压器	79
一、工作原理与结构	79
(一) 变隙式差动变压器	80
(二) 螺管式差动变压器	82
二、差动变压器的误差分析	84
(一) 激励电源的幅值和频率影响	84
(二) 温度变化的影响	84
(三) 零点残余电压	84
三、测量线路	86
(一) 差动相敏检波电路	86
(二) 差动整流电路	87
§ 6.3 电感式传感器的应用	87
一、BYM型自感式压力传感器	87
二、微压力变送器	88
第七章 测速发电机	89
§ 7.1 测速发电机的种类	89
§ 7.2 交流测速发电机的结构和工作原理	89
§ 7.3 直流测速发电机的原理	91
§ 7.4 无刷直流测速发电机的原理	93
第八章 同位素量测	95
§ 8.1 同位素的基本知识	95

一、放射性同位素	95
二、放射性核的衰变种类及其性质	95
(一) α 衰变	95
(二) β 衰变	95
(三) γ 衰变	96
§ 8.2 射线和物质的相互作用	98
一、带电粒子和物质的相互作用	98
二、 γ 光子和物质的相互作用	99
(一) 光电效应	99
(二) 康普敦效应	99
(三) 电子对效应	100
§ 8.3 γ 射线在物质中的减弱	100
§ 8.4 同位素检测的基本原理	102
一、电离室	102
二、闪烁计数器	103
(一) 碘化钠晶体闪烁体	104
(二) 光电倍增管	104
三、盖革计数管	106
§ 8.5 放射性的防护	107
第九章 气动仪表基础	109
§ 9.1 气动仪表的基本元件	109
一、节流元件	109
(一) 气阻	109
(二) 节流育室	110
(三) 节流通室	112
二、气动放大器	113
(一) 喷嘴挡板型放大器	113
(二) 功率放大器	114
§ 9.2 气动仪表的传动机构	116
一、平面四连杆机构	116
二、曲柄—滑块机构	117
三、曲柄滑块机构与四连杆机构组成的复合传动机构	117
四、空间四连杆机构	118
§ 9.3 气动差压变送器	118
一、结构和原理	118
二、受力分析	119
(一) 自由状态的受力分析	119
(二) 工作状态的受力分析	120

§ 9.4 气动指示记录仪原理	122
一、三针记录调节仪的测量机构	122
(一) 工作原理	125
(二) 传递函数	126
(三) 一些具体考虑	127
二、小表指示仪的工作原理	127
三、QXZ气动色带指示仪	128
(一) 结构和工作原理	128
(二) 测量机构的传递函数	130
(三) 小结	131
§ 9.5 电/气转换器	132
一、用途	132
二、基本工作原理	132
(一) 电/气转换器的基本结构及工作原理	132
(二) 系统传递函数	132
(三) 结论	134
三、有正、负两个反馈波纹管的电/气转换器	135
四、双杠杆结构的电/气转换器	136
五、用环形喷嘴挡板的电/气转换器	138
§ 9.6 气/电转换器	140

第二篇 井场参数的测量 141

第十章 工程参数测量 141

§ 10.1 钻压的测量	141
一、和死绳固定器配套安装的传感器	142
二、死绳膜片	144
§ 10.2 进尺、井深、钻速的测量	144
一、基本概念	145
二、测量信号的取得	145
三、机械式进尺记录机构	147
四、自动机电组合记录装置	147
五、光学编码器	148
六、钻速的测量和记录装置	149
七、具有升沉补偿装置的半潜式钻井平台的进尺测量	153
§ 10.3 转盘扭矩的测量	156
一、过桥轮式机械—液压传感器	156
(一) 链条张力与转盘扭矩之间的关系	157
(二) 链条对过桥轮的压力	158

(三) 液缸受力分析	156
二、电扭矩传感器	160
§ 10.4 转盘转速、泵速和泵冲次的测量	162
一、测速发电机式传感器	162
二、气动传感器	163
三、接近开关式传感器	164
四、磁电式转速传感器	166
五、泵冲数的累计	169
§ 10.5 进、出口泥浆流量的直接测量	169
一、气动靶式流量计	170
二、电磁流量计	171
(一) 电磁流量计工作原理	172
(二) 电磁流量传感器的结构	172
(三) 电磁流量传感器中的干扰及其它必须解决的问题	173
(四) 转换器原理	178
三、档板流量计	180
§ 10.6 泵压传感器及其它有关装置	181
§ 10.7 泥浆比重(密度)的测量	184
一、基于阿基米德原理的泥浆比重传感器	184
(一) 传感器原理和结构	184
(二) 力—电转换元件	186
(三) 球体自重影响的消除方法	187
二、泥浆比重的同位素检测	187
三、定液位筒式比重传感器	189
§ 10.8 泥浆液位和体积的测量	190
一、浮球杠杆机构	190
二、磁力驱动机构	192
三、带轮传动机构	192
四、地面泥浆总体积及其变化量的计算	193
五、在半潜式钻井平台上液位传感器的安装	193
§ 10.9 泥浆温度的测量	195
第十一章 气测参数测量	196
§ 11.1 泥浆电导率的测量	196
一、电导率定义	196
二、电导率的温度系数	196
三、电导率测量方法	197
(一) 有电极测量法	197
(二) 无电极测量法	198

§ 11.2 硫化氢浓度的测量	199
§ 11.3 天然气浓度的测量	200
一、燃烧式传感器	200
二、氢火焰电离检测器	200
§ 11.4 气相色谱分析的基本原理	203
一、概述	203
二、气体组分的分离原理	203
(一) 分离过程	203
(二) 色谱图的参数	204
(三) 操作条件对色谱柱分离效能的影响	205
§ 11.5 红外气体分析仪的基本原理	206
一、利用红外线进行气体组分分析的基本原理	206
二、红外气体分析仪的种类及其工作原理	207
(一) 电容微音器式红外分析仪的基本工作原理	207
(二) 采用半导体光电检测器的红外分析仪的基本工作原理	209
§ 11.6 泥岩密度计及其使用	210
§ 11.7 测压式碳酸盐测定仪	213

概 述

一、钻井与录井仪表的发展历史

钻井仪表的发展是与钻井工艺相适应的,而且,作为一种仪表,它又和整个仪表科学技术的发展密切相关。

从1900年以来,旋转钻井大致经历了概念形成阶段(1900~1920年)、缓慢发展阶段、(1920~1948年)、科学化阶段(1948~1968年)以及自动化阶段(1968年之后),目前正向着全面实行最优化控制的方向发展。

钻井工艺的发展对钻井仪表提出了越来越高的要求。在缓慢发展阶段,钻机上逐步配备了一些简单的基础仪表,如指重表、钻压表、转速表等。在科学化阶段,为了钻井作业的高效率安全进行,也由于大力开展钻井科学研究的需要,要求监测和相关记录的钻井参数逐步增多。在这种情况下,逐步发展了各种成套的常规钻井仪表。与当时的仪表技术水平相适应,这类仪表大多采用机械、液动、气动或电动记录仪把多个钻井参数集中显示记录,资料以随时或井深变化的曲线图形式加以记录,主要靠人工进行分析、处理。图0—1为这类仪表的一种典型系统框图。

在这一阶段,最优化钻井工艺获得了发展。发展最优化钻井工艺需要搞清每个钻井参数对钻井效果的影响,要在收集大量的现场和实验数据的基础上建立把各个参数联系起来的数学模型,而数学模型的正确与否又要用现场实践来检验。显然,在这一过程中,钻井仪表是不可缺少的重要工具。

实施最优化钻井工艺,要求对大量的历史的和实时的井场资料按照一定的数学模式及时地进行分析处理,并及时地向操作人员发出各种命令。这种资料分析、处理工作十分复杂,靠人工是无法及时完成的。这样,便促进了新型的微处理机控制的井台仪表或计算机控制的遥测遥控系统的发展。这类仪表不仅具有常规仪表的一般监测功能,而且具有很强的运算、判断能力。此外,数据显示记录的格式和方法也更加多样化,且更便于使用。图0—2为一种可以远传的井场微处理机控制的数据收集系统框图。其中目测仪是微处理机控制的系统核心,它带有屏幕显示器,可以显示直接量测或计算得到的多种参数或由主控站下达的指令信息。在井场上可配备多台从动CRT屏幕显示器供各种人员监视之用。高速印刷机可以及时地把井场信息印成参数表以永久保存。此外,目测仪测得的各种参数均可通过有线或无线数据传输设备送到主控站以便存入磁性存储器和进行进一步分析处理。这些,都是常规钻井仪表所无法比拟的。

另一方面,录井仪器的不断改进也使一度由于电测井技术的冲击而衰落的泥浆录井技术获得了新的生命力。在六十年代,特别是七十年代,计算机及大规模集成电路的迅猛发展,为录井仪器的现代化提供了可能。现代的录井仪器不仅包括用于地层评价的天然气分析(即“气测”)设备,而且包括供钻井使用的各种井场参数测量记录仪器仪表。此外,通常还配备在线或离线的功能较强的电子计算机以进行资料分析和解释。图0—3示出了这种多

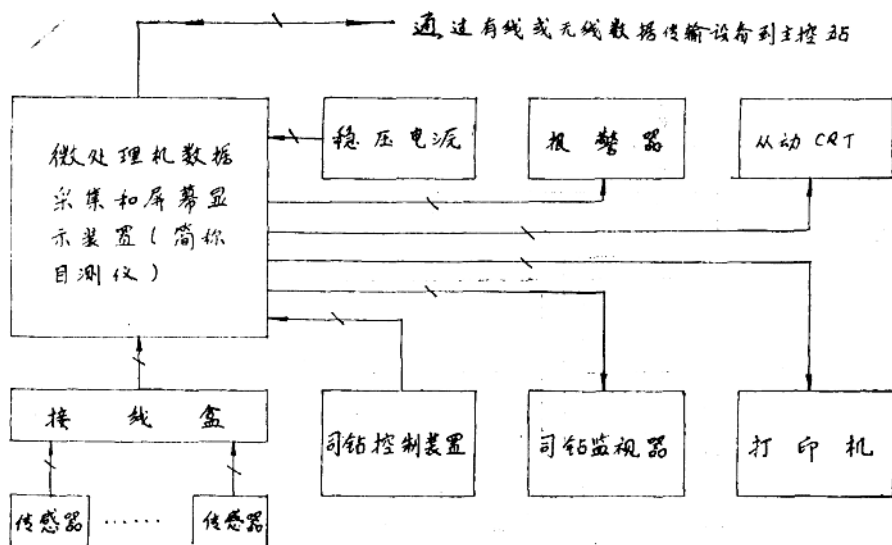


图0—2 一种微处理器控制的井场数据收集系统

功能综合录井仪的系统框图。其中，实线框为对于地质录井而言是主要的设备，而虚线框为主要用于钻井而对于地质录井较为次要的设备。为了适应用户的各种不同要求，综合录井仪通常设计成积木式结构，即由若干台可以独立使用的仪器装在标准框架中构成一个完整的测量系统。图0—4所示为美国EXLOG公司所用的GEMDAS X1综合录井工作房中仪器配置图。在这种仪器系统中，各仪器的功能和复杂程度各不相同，但基本上都是由中、小规模或大规模集成电路组成的电子仪器。这些仪器易于和电子计算机接口，信号处理能力也比液动、气动仪表强得多。因而，其功能是常规的钻井仪表难以比拟的。但是，这类仪器对环境要求较为苛刻。因而难以直接安装在井台上，且因其成本较高，因而它们不能取代一般的钻井仪表。

目前，国内外大量钻机配备的仍是常规钻井仪表。新的微处理器控制的井台仪表或复杂的综合录井仪尚未大量普及。无论是哪一类仪表，都有一些共有的原理和技术，本书主要讨论的正是这样的一些内容。而对于各种具体的仪器仪表结构、原理和使用方法，则无法给予过多的注意。

二. 钻(录)井仪器仪表测量的参数

钻井是一项复杂的系统工程。影响和反映钻井安全、钻井质量、钻井效率及钻井成本的变量很多，其变化范围也很大。在这些变量中，有的是由客观条件决定的不可控变量，有些则是可以由人工调节的可控变量；有些是可以在地面上直接或间接测量的，有些则是目前尚无法测量的。

直接影响钻井效率和成本的主要有以下一些参数：

1. 地层岩性。

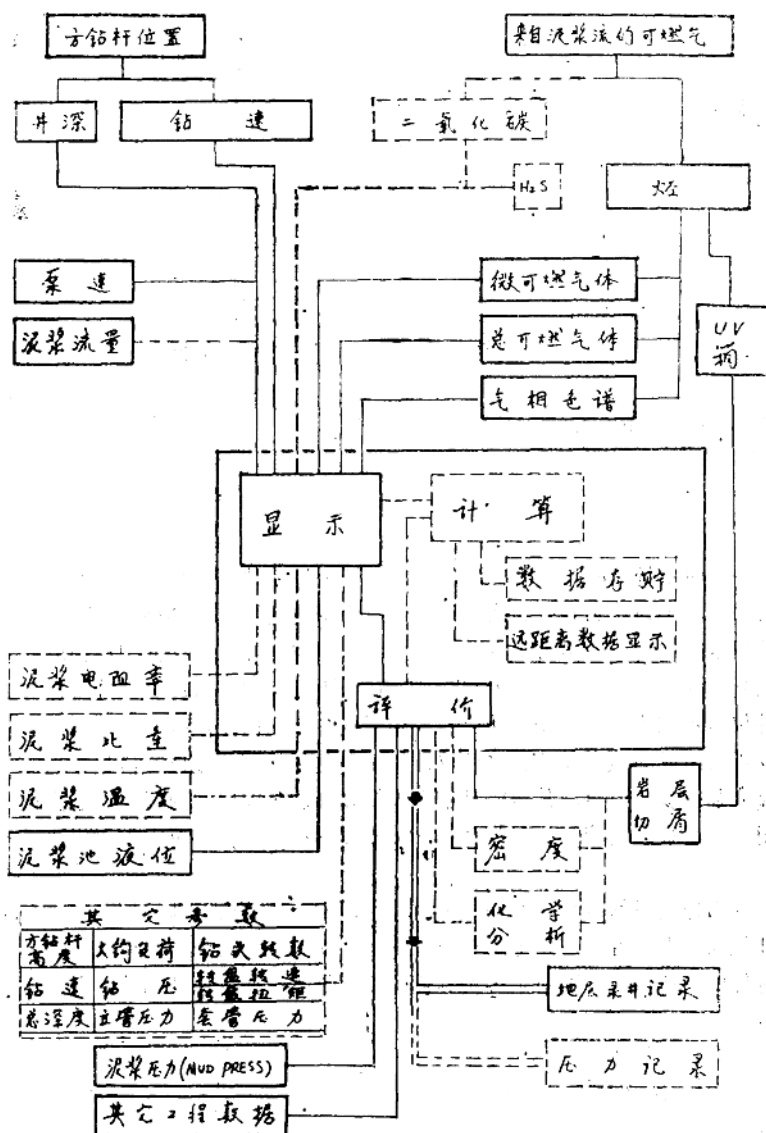


图 0—8 现代综合录井仪系统框图

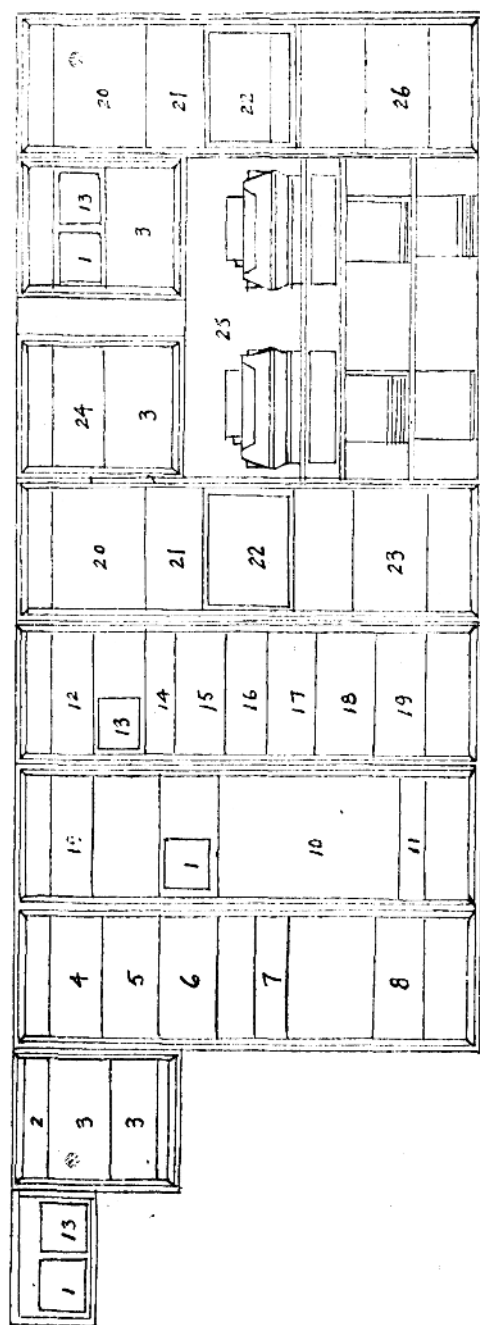


图 0-4 一种综合录井仪仪器配置

- | | | | |
|-----------------|----------------|---------------|--------------|
| 1. CRT 屏幕显示器 | 2. 远动泵冲数指示/计数器 | 3. 三道和六道记录仪 | 4. 总烃检测器 |
| 5. 多点绘图记录仪 | 6. 烃气相色谱仪 | 7. H_2S 检测器 | 8. 稳压电源 |
| 9. 交流电源功能监视器 | 10. 其它附加设备空间 | 11. 配线盘 | 12. 泥浆流量监测仪 |
| 13. 微处理器泥浆体积和算仪 | 14. 进尺盘 | 15. 钻井监视盘 | 16. 泥浆比重/温度计 |
| 17. 泥浆电阻率仪 | 18. 出口流量控制盘 | 19. 多路调制器 | 20. 磁带机 |
| 21. 计算机 | 22. 计算机终端 | 23. 备用电源 | 24. 公用报警 |
| 25. 印字/绘图机 | 26. 充气控制盘 | | |

2. 设计井深。(以上为不可控参数)

3. 泥浆参数: 泥浆类型、固相含量、比重、塑性粘度、剪切力等。

4. 水力参数：泵压、排量、喷射速度、环空流速等。
5. 钻头类型。
6. 钻压。
7. 转盘转速。（以上为可控参数）

反映钻井效率、钻井安全、地质情况的主要参数则有进尺、钻速（钻时）、总深度、泥浆比重、泥浆温度、泥浆电导率、泥浆流量、硫化氢含量、转盘（钻柱）扭矩、起下钻速度、“d”指数以及其它从上述各量经数学运算而得到的差值或变化值等。

用于地层评价的参数还有泥浆中天然气总含量及其组分等。

随仪表的用途和功能不同，它们所测的参数量和类型也不相同。一般的常规成套仪表通常至少可以测量并记录钻压（大钩负荷）、进尺（钻速、钻时）、井深、转盘扭矩、转盘转速、泵冲次（泵速）、泵压、泥浆比重和温度等。而新型的微处理机井台仪表测量的参数则要多得多，如美国Martin—Decker公司的产品M/D—3200数据处理系统可以测量或计算29个钻井参数。图0—3表明，用于地层评价和钻进的综合录井仪除了测量一般钻井仪表检测的参数外，通常还测量天然气总含量、气相色谱、 H_2S 含量等参数。

三、钻（录）井仪器仪表的基本结构及特点

尽管各种钻（录）井仪器仪表的性能及复杂程度差异极大，但和其它仪器仪表一样，大致可分为四部分，即传感器（俗称一次仪表）、信号处理器、显示记录系统、报警器等。它们的相互关系如图0—5所示。

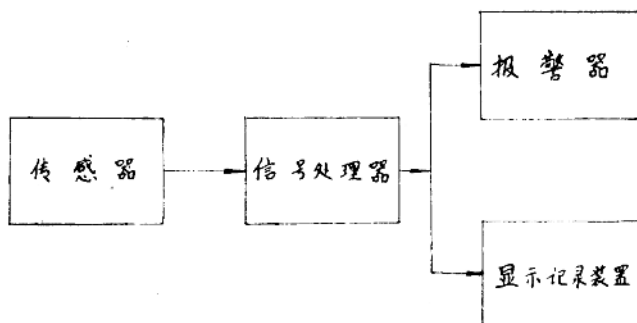


图0—5 钻井仪表的一般结构框图

（一）传感器

传感器俗称“一次仪表”，其作用是实现从一种物理量到另一种物理量的变换。它的输入信号为待测物理量（如位移、温度、压力、比重、扭矩等），输出信号为可以由信号处理器接收的物理量（如气压、液压、电压、电流等）。

钻井仪表的传感器的输入信号取自钻机的三大系统：循环系统、旋转系统、提升系统。它们分散装在钻机的各有关部位。

传感器在仪表中占有重要的地位。它是否可靠而精确地获取信息，关系到整个测量系统的精度。如果传感器本身的误差就很大，那末，后续信号处理电路及显示记录仪表的精度再高对于整个系统而言也就没有什么价值了。传感器以前也称为“变送器”、“换能器”。现

在过程检测仪表中统一称为传感器，而只把具有标准输出信号的传感器称为“变送器”。

应当指出，在钻井仪表中，某些物理量的测量常常要经过几次信号变换，输出信号也不一定是电量。为了和显示记录仪表相适应，常常需要实现电、液、气的相互变换，本书中称实现这种输出量变换的装置为“转换器”。

目前，国外各类钻（录）井仪表中的传感器虽然具体结构各不相同，但其基本原理却大同小异。

（二）信号处理器

从传感器来的信号往往是低能的（个别参数，如立管压力例外），不足以推动显示、记录仪表，因而必须加以放大（对过强的信号则要以衰减）；信号中所含的各种扰动成分必须加以滤除；显示记录仪表往往具有标准量限（如电动仪表为0~10伏直流电压或4~20毫安直流电流；气动仪表为0.2~1公斤/厘米²等），因而要对传感器输出信号作相应的校正；如果要显示或记录一个运算结果（例如，泥浆体积等于泥浆池液位和其截面积的乘积），则还要求对原始数据作适当的运算。

上述这些放大、衰减、校正、滤波以及运算等功能是由“信号处理器”实现的。信号处理器可能是由气动元件、液动元件、电子元件组成的简单部件，也可能是很复杂的电子线路或计算机系统，其性能和复杂的程度差异极大，由于集成电路和计算技术的迅速发展，钻井仪表中的信号处理器已经发生了巨大的变化，并且正在进一步发展之中。

（三）显示记录装置

显示器是测量仪表的输出设备之一。目前，钻（录）井仪表中常用的显示方式大致有三种：模拟显示、数字显示和图象显示。模拟显示是用指针对标尺的相对位置来表示读数，属于这类的有各种电流表、电压表、气压表、液压表等。这种显示方式的优点是易于从指针摆动看出参数变化的趋势，其缺点则是在读数时易受人的主观因素的影响，且难以读出精确的数值。数字显示是用数字形式来显示读数，它是随数字技术的发展而发展起来的。数字显示仪表的工作原理是基于将各种连续的被测量参数，通过模/数转换器变成对应的数字编码，然后通过数字显示器件显示出来。当然，如果被测信号已经是数字量（如泵冲次），则不需要专门的模/数转换器。考虑到上述两种情况，可以画出如图0—6所示的数字显示装置框图。

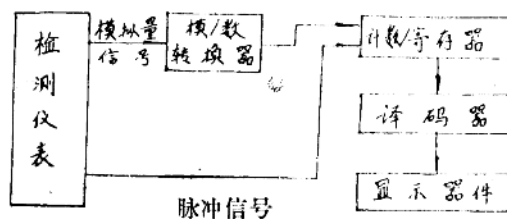


图0—6 数字显示装置框图

这类仪表在原理上避免了模拟显示仪表所具有的电—磁偏转或弹簧管、波纹管之类的机械结构（除机械计数器外），其特点是：测量速度快、精度高（分辨率高）、读数直观、准确、重复性好、便于和数字计算机以及其它数字装置连用。其缺点是不易察觉被测参数的变化趋势。

随着钻井工艺的发展，被检测或计算的参数的增加，使集中显示成为一个突出的问题。