

国家重点学科地质工程与钻井工程高校教材

检测技术及 钻井仪表

JIANCE JISHU JI ZUANJING YIBIAO

© 鄢泰宁 胡郁乐 张涛 编著



中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

国家重点学科地质工程与钻井工程高校教材

检测技术及钻井仪表

鄢泰宁 胡郁乐 张 涛 编著



中国地质大学出版社

ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

内 容 简 介

《检测技术及钻井仪表》教材是在《检测技术与勘察工程仪表》(鄢泰宁、曹鸿国、乌效鸣编著,1996年出版)基础上改编而成。在改编过程中删除了一些已经落后或普及了的知识及与钻井(探)工程关系不密切的内容,增加了较多与现代钻井技术密切相关的检测仪表内容及其举例。本教材既包含了工程检测技术的基础理论、基础知识和基本技能,又反映了检测技术为现代钻井服务的最新科技成果,内容丰富,深入浅出,理论联系实际,为教师讲授提供了较大的选择空间。

本教材可供地质工程和钻井(探)专业、矿山机械(侧重于地质工程机械)专业以及相近专业的本科生、研究生作为教材,也可作为从事地矿与油气钻探、水文水井、工程地质钻探与地质灾害治理钻孔施工的技术人员、管理人员培训或专业成人教育的教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

检测技术及钻井仪表/鄢泰宁,胡郁乐,张涛编著. —武汉:中国地质大学出版社,2009. 1
ISBN 978-7-5625-2324-6

I. 检…

II. ①鄢…②胡…③张…

III. 钻井-检测仪表

IV. TE927

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 007352 号

检测技术及钻井仪表

鄢泰宁 胡郁乐 张 涛 编著

责任编辑:段连秀

策划编辑:段连秀

责任校对:林 泉

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路 388 号)

邮政编码:430074

电 话:(027)67883511

传真:67883580

E-mail: cbb @ cug. edu. cn

经 销:全国新华书店

<http://www.cugp.cn>

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16

字数:410 千字 印张:15.625

版次:2009 年 1 月第 1 版

印次:2009 年 1 月第 1 次印刷

印刷:武汉市教文印刷厂

印数:1—3 000 册

ISBN 978-7-5625-2324-6

定价:29.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前言

检测是一切科技活动的基础环节,检测技术及其现代化仪表已广泛应用于包括地质工程和钻井(探)工程在内的各行各业。检测技术的水平已成为衡量一个国家、一个行业现代化水平的重要标志之一。

地质工程和钻井(探)工程涉及到人类面临的资源、能源和环境三大主题,是一个资金密集型和技术密集型行业。它在石油、天然气、煤层气、固体矿产资源、地热、地下水勘探开发,地球科学钻探,环境钻探与治理,非开挖铺管工程、国防建设钻井和地质灾害治理等工程领域得到广泛的应用。钻井(探)工程是一个复杂的动态系统,主要由地层、钻具、钻井液及地面装备四个子系统组成。其中,后三个子系统都安装了不同类型的传感器。在钻井过程中,为了使钻头沿着设计轨迹钻达靶区并保持井眼稳定性(减少或避免井下复杂情况和事故),为了优选钻井参数以提高钻进速度和钻井质量,都离不开现代检测技术。

如果说当前石油、天然气钻井已经用现代检测技术武装起来的话,那么工程地质钻探、找矿岩芯钻探和水文水井钻探等领域由于历史的原因和行业的特点,应用检测技术的水平还较低,还未完全摆脱凭经验打钻的现状,严重制约了钻探生产水平的提高和技术进步。而工程地质钻探、找矿岩芯钻探和水文水井钻探等工程又是国民经济不可或缺的领域,尤其在国务院发出《关于加强地质工作的决定》(国发[2006]4号文)后,为了推进深部和外围找矿工作,必须为各类钻探机械及其配套设备配置参数检测仪表,实施钻探过程的连续监测,识别并预报孔内异常工况。这是由凭经验打钻走向科学施工的必由之路,是降低孔(井)内事故率,实现高效、低成本钻探生产的关键技术措施之一,也是历代钻探工作者多年追求的战略目标。同时,近年来随着电子技术、计算机技术和信号传输与处理技术的进步,现代检测技术也越来越先进,越来越方便。现代检测技术应用于传统的钻探工程领域不仅是必要的,而且是可行的。这也就是近年来各相关院校都把检测技术作为钻井(探)工程、勘察技术与工程专业必修课的原因之所在。

目前市场上虽然已有适用于机械、工业自动化、航空等专业的有关测试技术的教材出售,但是地质工程和钻井(探)工程的工作环境、施工对象与上述行业有很大的差异,对检测技术及其仪表的要求及侧重点也不尽相同。因此,急需一本能结合本专业需要的正式教材。

这次出版的《检测技术及钻井仪表》教材是在原由中国地质大学(武汉)主编,成都理工大学(原成都地质学院)参编的《检测技术与勘察工程仪表》(鄢泰宁、曹鸿国、乌效鸣编著,1996年出版)基础上改编而成。该书曾获中国大学出版协会中南地区优秀教材二等奖和中国地质大学教学成果三等奖,但随着时代的发展和技术的进步,随着专业目录调整,原书中的内容已难适应今天教学的需要。为此,我们在改编过程中删除了一些已经落后或普及了的知识及与钻井(探)工程关系不密切的内容,增加了较多与现代钻井技术密切相关的检测仪表内容及其举例,同时保留了原书分为两大部分的格局。第一部分以工程检测技术的基础知识、共性的内容为主,适当结合专业举例,力图概念清楚、准确,为学生掌握常用检测原理,正确选用检测仪表打好基础;第二部分则从专业的特色出发,就钻井(探)工程各主要参数的检测方法、国内外钻井仪表等内容展开讲述。在选材和编写指导思想上,既强调了检测技术为本专业当前和今后的需要服务,又注意到检测技术作为一门独立的学科体系及其发展前景。

全书共分七章,其中第一章、第二章的第一至第五节、第三章、第五章由鄢泰宁编写,第二章的第六至第九节和第四章由胡郁乐编写,第六章、第七章由张涛编写。最后由主编鄢泰宁负责全书的文字及图件的统稿工作,对部分内容进行了改写或增删,并补充了第六章第三节、第七章的第二节和第七节的内容。

本教材在编写过程中参考了兄弟院校近年来出版的教学用书,也参考了国内外同行在有关刊物和会议上发表的成果,得到了中国地质大学教务处和中国地质大学出版社的大力支持,在此一并表示衷心的感谢。还要感谢中国石油集团钻井工程技术研究院苏义脑院士、北京合康科技发展有限责任公司薛维总经理、俄罗斯萨玛拉地平线有限公司 Г. А. 格里加什金总经理和俄罗斯全俄地球物理研究院井内遥测系统部门经理 В. П. 丘普罗夫为本书提供的许多理论联系实际的材料。

本教材既包含了工程检测技术的基础理论、基础知识和基本技能,又反映了检测技术为本专业服务的最新科技成果,内容丰富,深入浅出,理论联系实际,为教师讲授提供了较大的选择取舍空间。既可供地质工程和钻井(探)专业、矿山机械(侧重于地质工程机械)专业以及相近专业的本科生、研究生作为教材,也可作为从事地矿与油气钻探、水文水井、工程地质钻探与地质灾害治理钻孔施工的技术人员、管理人员培训或专业成人教育的教学用书。

由于作者水平有限,加之该书中涉及的知识面广泛,书中难免有错误和不足之处,敬请广大读者批评指正。

作 者

2008年8月28日于武汉

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 检测技术的发展及其在国民经济中的作用	(1)
第二节 检测技术在钻井(探)中的地位与现状	(2)
第三节 检测系统的组成及其发展趋势	(5)
第四节 本课程的内容与要求	(7)
第二章 工程检测技术基础	(8)
第一节 检测的概念和定义	(8)
第二节 信号概述	(10)
第三节 周期信号的描述	(12)
第四节 非周期信号的描述	(16)
第五节 随机信号的描述	(18)
第六节 检测仪表的静态特性	(25)
第七节 检测仪表的动态特性	(30)
第八节 测量误差的分析与处理	(36)
第九节 检测系统的抗干扰技术	(39)
第三章 常用传感元件的变换原理	(43)
第一节 概 述	(43)
第二节 电阻式传感元件	(46)
第三节 电容式传感元件	(52)
第四节 电感式传感元件	(56)
第五节 热电偶式传感元件	(60)
第六节 电磁式传感元件	(64)
第七节 霍尔式传感元件	(66)
第八节 压电式传感元件	(68)
第九节 光电式传感元件	(72)
第十节 谐振式传感器	(75)
第十一节 本章小结	(77)
第四章 电信号的变换与处理技术	(80)
第一节 电压和电流放大变换电路	(80)

第二节	测量电桥及其放大电路	(82)
第三节	信号滤波	(89)
第四节	调制与解调	(95)
第五节	模拟与数字信号转换器	(100)
第五章	钻井工程主要参数检测方法与技术	(104)
第一节	电机功率的检测	(104)
第二节	压力、拉力和应力的检测	(108)
第三节	转速的检测	(114)
第四节	流量的检测	(117)
第五节	位移和速度的检测	(127)
第六节	扭矩的检测	(134)
第七节	振动和冲击的检测	(138)
第八节	物位的检测	(145)
第九节	钻孔(井)顶角(井斜角)和方位角的检测	(154)
第十节	孔(井)内温度的检测	(163)
第六章	钻井仪器仪表	(165)
第一节	概 述	(165)
第二节	钻井指重表	(167)
第三节	钻井测斜仪表	(172)
第四节	国内外多参数钻井仪的发展现状	(181)
第五节	DDW-3 型钻探微机多功能监测系统	(185)
第六节	上海神开钻井多参数仪 SK-2Z11	(189)
第七节	马丁-戴克钻井仪表	(192)
第七章	随钻测量与地质导向系统	(198)
第一节	概 述	(198)
第二节	有缆式 MWD 系统	(202)
第三节	智能钻柱传输技术	(205)
第四节	泥浆脉冲式 MWD 系统	(209)
第五节	电磁波式 MWD 系统	(219)
第六节	声波式 MWD 系统	(231)
第七节	地质导向钻井系统	(232)
参考文献		(242)

第一章 绪 论

第一节 检测技术的发展及其在国民经济中的作用

检测技术是一门古老而又年轻的技术基础学科,是人类在自身的社会发展和科技进步中创造并发展起来的。说它“古老”,指的是从远古时代起,人类为了生存就本能地进行一些原始的测量。例如,人们为了掌握时间而发明的“日晷”,就是最原始的时间测量装置。长度的测量也是这样,原始方法是利用人体的手臂长度为标准,但手臂长度是因人而异的,于是出现了统一的度量——“王码”,即截一段与国王的手臂长度相等的木材作为“尺度”,至今“王码”还保存在英国的博物馆里。随着农业生产、贸易活动的展开和战争的需要,我们的祖先已学会了观测天象以确定农时季节,用简单的测量工具进行土地丈量、谷物称重,还制作了计里程车和指南车等功能单一的“仪器”。后来,随着社会的进步和生产力的发展,中国、罗马的统治者曾下令统一了国内的度量衡器。这时已开始出现了某些原始的检测理论。

虽然检测技术古已有之,但是作为一门独立的学科,现代检测技术是近半个多世纪才发展起来的,所以说它又是一门年轻的发展中的学科。随着世界近代工业、农业和军事技术的发展,检测技术的测量对象愈来愈广泛,几乎遍及所有的理、工、医、农学科和某些社会科学领域。由于学科之间的差异和对测量的精度要求愈来愈高,检测技术就要在传统机械测量的基础上,不断寻找新的检测手段。

当代从事科学研究与生产施工的技术人员面临的已不仅是传统的静态测量(测量那些不随时间变化或变化很缓慢即准静态的物理量),而是越来越多不可避免的动态物理量测试。图 1-1 是动态测试在整个测量中所占比重(随年代变化的曲线),从图中可以看出,到 20 世纪 60 年代动态测试的比例已超过 50%,进入 21 世纪就已超过 90%。动态测试的要求是准确、快速地对生产过程进行连续监测。如果说静态测试

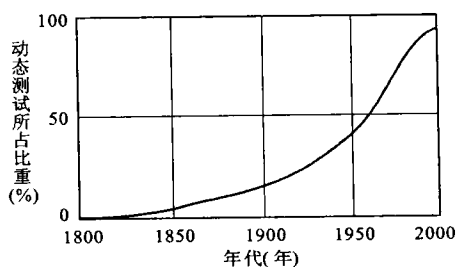


图 1-1 动态测试的发展

中强调的是测量系统输入与输出的数值对应关系,重视数值的误差分析,那么动态测试强调的是输入与输出信号上的对应关系,它以信号的不失真复现分析作为基础。因此,现代检测技术需要研究的是信号的获取、信号的加工、信号的处理与分析,以及信号的记录等一系列流程所依存的系统和环节,包括硬件和软件以及它们的组合。

从古人用“日晷”“立竿见影”的办法粗略地估测时间,到后人利用谐振系统的周期(机械钟表)较准确地计量时间,直至今今天人们以铯原子基态超精细结构的能级跃迁为基础,以 30 万年约误差不大于 1 秒的准确度测量时间,在历史的长河中,检测技术的巨大进步与科学技术的发展

展是密不可分的。检测技术在不断吸取其他基础学科、边缘学科的新理论、新成果(半导体技术、光导纤维、声学、计算机技术、通信技术、遥感技术、自动化技术以及近代物理、数理统计、控制论、信息论等)的过程中,自身也得到了飞速的发展。反过来,检测技术的进步又加速了科学技术的发展,这种相辅相成的关系推动着社会生产力不断前进。如果说这种关系历来就存在的话,那么现代科学技术和现代检测技术的关系比任何时候都更为密切。

中国有句古话:“工欲善其事,必先利其器”。用这句话来说明检测技术与科学技术的关系是很恰当的。这里,所谓“事”可以理解为科学技术,而“器”则是检测仪表。翻开科学发展史就会看到,许多重大的科学成就几乎都与某种新的检测仪器的诞生密切相关。1665年,虎克利用光学显微镜首先发现了细胞,促进了生物学的发展。伽里略发明了望远镜,促进了天文学的发展,等等。因此,可以认为没有检测技术就没有现代科学技术。

在“科学技术是第一生产力”的今天,先进的检测手段在国民经济中的作用越来越大,例如,正因为我国的西安卫星监控中心进入了世界先进行列,才能保证长征运载火箭准确无误地把同步卫星送到预定位置,才能保证神五、神六载人飞船顺利返回。2007年10月24日我国成功地把嫦娥一号卫星送入太空,并实现绕月飞行。绕月飞行并不是我们的目的,目的在于利用嫦娥1号卫星及其上面安装的CCD立体相机、激光高度计、成像光谱仪、伽马/X射线谱仪、微波探测仪和太阳风粒子探测器等仪器对月球进行探测,以获取月球表面三维立体影像;分析月球表面14种有用元素含量和物质类型的分布特点;利用微波辐射技术,获取月球表面月壤的厚度数据;探测地球至月亮的空间环境。可见只有配以世界先进水平的检测手段,才可能实现达到国际水平的科学目标。同样,如果在机械加工中沿用陈旧的检测方式,即经过几个加工过程后再进行人工质量检验,则必然会出次品甚至废品。而现代精密机械工艺中的检测,是在工件加工过程中对各种参数(例如位移量、角度、圆度、孔径等)和影响加工质量的间接参量(例如振动量、温度乃至刀具的磨损等)进行实时监测,实时处理,并实现反馈控制。只有这种在线检测-处理-控制三位一体,才能保证预期的高质量要求。

总之,检测技术在国民经济各行各业中的应用之广是不言而喻的。可以说,没有现代化的检测技术,就没有人民生活水平和国民经济的现代化。

第二节 检测技术在钻井(探)中的地位与现状

大诗人李白曾在诗中感叹“蜀道难于上青天”,似乎世界上最难的事是“上天”。其实不然,目前人类已经把宇航员送上了距地球384 401km的月球,把仪器送上了更遥远的火星,但“入地”的世界记录只有12 262m。因为地壳的密度比大气层大数千倍,而且随深度增大,地层的压力和温度将增高,这些因素都使得“入地”更难。

所谓“入地”指的是钻井(探)工程。它涉及到人类面临的资源、能源和环境三大主题,是一个资金密集型和技术密集型行业。它在石油、天然气、煤层气、固体矿产资源、地热、地下水勘探开发,地球科学钻探,环境钻探与治理,非开挖铺管工程和国防建设钻井等工程领域得到广泛的应用。图1-2表明,随着需求量增大和技术进步,全世界及美国、加拿大、中国、俄罗斯的石油、天然气钻井数量基本趋势都是逐年增加。

钻井工程是一个复杂的动态系统,主要由地层、钻具、钻井液及地面装备四个子系统组成。其中,后三个子系统都安装了多个不同类型的传感器。在钻井过程中,为了使钻头沿着设计轨迹钻达靶区并保持井眼稳定性(减少或避免井下复杂情况和事故),为了优选钻井参数以提高

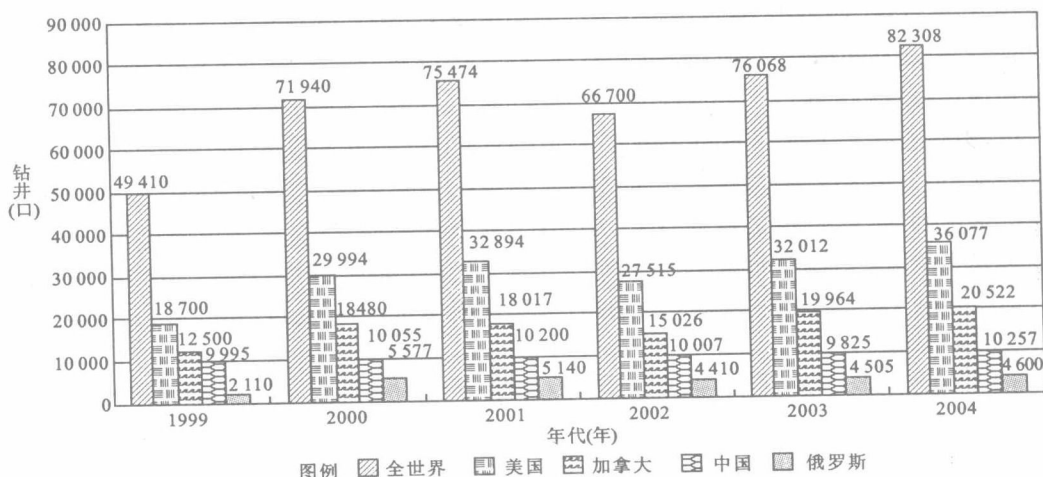


图 1-2 1999—2004 年全世界及美国、加拿大、中国、俄罗斯的油气钻井数量

钻进速度和钻井质量,为了提高固井质量及测试成功率,都离不开现代检测技术。

近百年来,世界石油、天然气钻井技术的进展,可以粗略地划分为如下几个发展阶段。

(1)“摸着钻”——20 世纪 50 年代以前,主要凭经验钻井;

(2)“算着钻”——从 20 世纪 50 年代至 80 年代初,在多种力学模型和理论算法的支持下,钻井开始走向“科学”;

(3)“看着钻”——从 20 世纪 80 年代初至 90 年代,随钻测量仪可监测并显示钻井方向参数、井下钻压、扭矩、振动、环空温度及地层参数;

(4)“变着钻”——从 20 世纪 80 年代中后期至今,可实现不起钻遥控调节井下钻具组合的结构和工作状态,大大增强了井眼轨迹控制的能力,实现大位移钻井;

(5)“自动钻”——从 20 世纪 80 年代末开始,国外某些公司通过井下闭环方式实现井眼轨迹的自动控制,形成了当今国际钻井界方兴未艾的最新热点。

如果说当前石油、天然气钻井已经进入了“看着钻”和“变着钻”阶段的话,那么工程地质钻探、找矿岩芯钻探和水文水井钻探等领域应用检测技术的水平还较低,由于历史的原因和行业的特点,基本上还处在“算着钻”的阶段,甚至少数单位仍在“摸着钻”,还未摆脱凭经验打钻的现状,严重制约了钻探生产水平的提高和技术进步。而工程地质钻探、找矿岩芯钻探和水文水井钻探等工程又是国民经济不可或缺的领域,尤其在国务院发出《关于加强地质工作的决定》(国发[2006]4 号文)后,为了推进深部和外围找矿工作,必须为各类钻探机械及其配套设备配置参数检测仪表,实施钻探过程的连续监测,识别并预报孔内异常工况。这是由凭经验打钻走向科学施工的必由之路,是降低孔(井)内事故率,实现高效、低成本钻探生产的关键技术措施之一,也是历代钻探工作者多年追求的战略目标。同时,近年来随着电子技术、计算机技术和信号传输与处理技术的进步,现代检测技术也越来越先进,越来越方便。现代检测技术应用于传统的钻探工程领域不仅是必要的,而且是可行的。这也就是近年来各相关院校都把检测技术作为钻井(探)工程、勘察技术与工程专业必修课的原因之所在。

近十几年来,世界上不少国家都已生产并应用了许多功能各异的钻井(探)工程仪表,其中一些先进的仪表把现代传感技术、电子技术和微机及其数据处理软件结合起来,组成了功能齐

全,能自动显示、记录并自动约束与报警的钻井(探)过程监测系统。其中代表国际水平的主要是美国 MD TOTCO 公司、英国 Rigserv 公司和加拿大 Datalog 公司等,它们的主要服务对象是石油钻井,而在固体矿产岩芯钻探领域比较成熟,对我国影响比较大的是俄罗斯的 KYPC 系列钻探参数检测系统。

(1)美国的 SR-WellWatch 钻井仪表可监测和记录井深、钻头垂深、大钩载荷、滑车速度、滑车高度、起下钻速度、吊钳扭矩、气体探测、立管压力、套管压力、泥浆池体积、总泥浆体积、总泥浆排量、泥浆泵冲次、泥浆泵总冲次、泥浆泵总排量等钻探参数,提高钻探效率和安全性,当检测参数(如大钩载荷、泥浆体积、硫化氢气体)超出安全值范围时就报警。同时具有历史数据记录功能和强大的电子报表功能,可通过局域网交换信息,也可通过 Internet/Intranet 进行钻井信息的远程通信。

SR-WellWatch 钻井仪表主要包括井场值班室微机监控显示模块、井场监控显示模块、数据采集和管理模块、水力管汇传感模块、泥浆池/泥浆泵模块及其他传感器模块。

(2)英国的 SmartDrill 21 属于智能自动钻探系统和滑车安全系统,主要包括:触摸屏显示和控制模块、控制电路模块、传感器和人机交互模块。它使用了可编程逻辑控制器和触摸屏技术,通过传感器和人机交互界面来优化钻进过程并确保钻进安全。系统通过绞车上的编码器检测滑车运动速度,通过重量检测系统或大钩荷载传感器检测钻头压力,再根据预设的参数和传感器的反馈来控制钻头压力或钻进速度,实现自动平稳钻进。

(3)加拿大的 WW EDR 电子钻井仪表可监测目前市场上所有钻探和地质数据传感器,包括 LWD(随钻测井)、MWD(随钻测量),监测井深、钻速、钻压、扭矩、立管压力、转速、泵冲次等钻进参数,密度、温度和电导率等泥浆参数,还可监测分析气体成分。系统可添加岩性参数记录,可输出 LAS、Excel 和 Access 格式的数据。系统通过触摸屏美观实用的用户界面,以各种方式显示数据,打印实时数据或者历史数据,并通过 TCP/IP 网络连接可让你在任何地点获得准确、实时的数据。用户还可为所有参数自行设置报警限。

(4)俄罗斯的 KYPC 钻探参数检测系统与 YKB-5、YKB-7、YKB-8 系列新型钻机(立轴式)配套使用,可监测大钩载荷、钻压、转速、泵压、泵量、钻速、扭矩等钻进参数,其中用安装在钻机给进油压系统的压磁式传感器测钻压,用拉力传感器测大钩载荷,用压磁式传感器测泵压,用涡轮流量计测泵量,用装在钻机立轴上的测速发电机测钻速,用连在直流电机驱动轴上的测速发电机测转速,用间接法测扭矩。

(5)国内石油钻井常用的“神开”钻井参数仪测量参数主要有:时间、井深、垂深、钻时、进尺、大钩负荷、钻压、转盘转速、转盘扭矩、大钳扭矩、立压、套压、泵冲 1、泵冲 2、泵冲 3、入口与出口的泥浆流量、密度、温度、电导率、单池泥浆体积、起下钻泥浆池体积、泥浆的溢漏、成本,还有烃组分等录井参数。

(6)中国地质大学(武汉)的 DDW-3 型钻探微机多功能监测系统、CUG-1 型钻探微机智能监测系统 and 无传输信号线钻探参数微机多功能监测系统可实时采集钻压、转速、扭矩、泵压、泵量、功率、钻速、进尺、孔深九个钻进参数;可对五个主要参数设置上、下约束阈值,实现自动监测与报警;具有“历史”数据和曲线回放功能;可编制并输出各类报表。

当然,以上产品和成果基本都是检测钻场地表参数,但真正的钻进过程是发生在地下深处,所以检测井底钻探参数的意义更加重要,同时难度也更大。它不仅解决井下恶劣环境下的参数检测问题,还要解决井底信号向地表传输的问题。近年来国外一些钻井仪器公司和中国石油总公司石油勘探研究院、中国地质大学(武汉)都推出了可完成井内钻井参数检测的仪

器。以先进的地质导向技术为例,它利用近钻头地质、工程参数测量和随钻控制手段来保证实际井眼穿过储层并取得最佳位置。其中,国外公司(如 Schlumberger 的 GST 系统、Halliburton 公司的 PZST 系统、俄罗斯萨玛拉地平线公司的 ZTS 系统)和中国石油集团钻井研究院分别采用泥浆脉冲或电磁波方式向地表传输信号,实现了近钻头的伽马、电阻率、井斜实时测量及上传。

我们相信,如果广大钻井(探)工程技术人员熟悉并掌握了检测技术,能够正确选择并应用钻井(探)仪表,或者能从本行业的特点出发与从事检测技术的专业人员一道研制开发新的仪表,为生产服务,那么我国的钻井(探)工程技术水平将跃上一个新台阶,钻井(探)工程学科本身也将走向进一步繁荣。

第三节 检测系统的组成及其发展趋势

检测系统的各个组成部分通常以信息流的过程来划分,一般由信号采集、信号处理和结果表达三部分组成(图 1-3)。

信号采集——传感器(变送器,换能器)是测量系统中的一种前置部件,它将输入变量转换成可供测量的电信号;

信号处理(转换)——由于传感信号一般混杂有其他干扰信号和噪声,为了提取有用信号,方便随后的处理过程,需要将信号整形、放大、滤波、线性化,或转换成数字信号等处理,这些由中间变换装置来完成;

信号的结果表达——最后将测量结果显示、记录,或提供反馈控制信号。

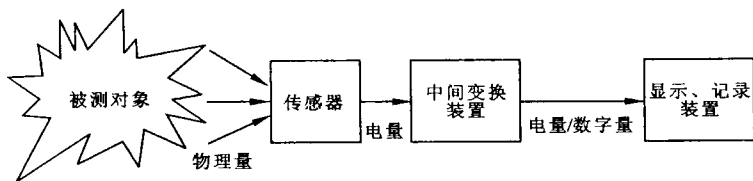


图 1-3 检测系统的组成

传感器是一个把被测物理量转换成电量的装置。例如,钻压传感器把油压信号或大钩钢丝绳的拉力转换为电阻参数的变化。传感器在检测系统中占有重要的位置,它获得信号的正确与否,关系到整个检测系统的精度。如果传感器的误差很大,后续的信号转换部分再精密,也难以提高检测系统的精度。

信号处理(转换)是对传感器送出的信号进行加工,如将电阻抗变为电压信号,将信号放大、滤波、量程变换、线性化,以及转换成数字编码信号等。经过这样的加工,使之变为一些合乎需要,便于输送、显示、记录以及可作进一步后续处理的信号。从广义上看,这也是传感器与信号处理之间的一种“接口”。在传统模拟仪器里,这些功能都由硬件电路来实现。

检测的目的是使人们了解要测的数值大小,所以必须有显示与记录装置。目前常用的显示方式有三种:模拟显示、数字显示和图像显示。模拟显示是利用指针对标尺的相对位置来显示读数,如毫安表、毫伏表等。数字显示是用数码来显示读数,如数字电压表等。图像显示是用屏幕显示读数或者被测参数的变化曲线;对于动态过程的检测,不仅要读出信号的瞬时值,

还要了解它的变化过程,所以光有显示仪表还不够,还必须把信号送至自动记录设备,如记录仪、计算机显示屏、打印机和绘图仪等。

上述所列检测系统各组成部分都是“功能块”的含义,在实际检测工作中,这些功能块所表达的具体内涵可能伸缩性很大。检测系统的任务是测出被测对象中人们感兴趣的某些特征性参数信号,不管中间经过多少环节的变换,在这些过程中必须不失真,也不受干扰地把所需信息通过其信号载体传送到输出端。这就要求系统本身具有不失真传输信号的能力,还要具有在外界干扰条件下,能够提取和辨识信号中所含有用信息的能力。

检测系统在一定程度上是人类感官的某种延伸。但它比人的感官能获得更客观、更准确的量值,更宽阔的量程,更迅速的反应。随着技术进步,钻井(探)参数仪表正由过去的机械、液压仪表向数字化、模块化、智能化、集成化和网络化方向发展;一次仪表向集成、高精度、低漂移发展;二次仪表向计算机处理、绘图成像、智能方向发展;程序软件向人机界面图符化、处理信息大型化、多功能化发展;数据传输向网络化、Internet 方向发展。现代检测系统已在传统模拟检测仪器的基础上发展为嵌入微处理器的智能仪表、虚拟仪表和正在出现的网络检测系统。

智能仪表引入了“软件”环节,将微处理器、存储器、接口等芯片与传感器等融合在一起,形成目前应用最为广泛的智能仪器。它有专用的小键盘、开关、按键及显示屏等,多使用汇编语言,体积小,专用性强。它已不仅是单纯的感官延伸,而是经过对所测结果的实时处理,还能把最能反映研究对象过程本质的特征提取出来并加以识别,具有处理、存储、解析及自诊断、自校准、自适应等功能。

由于计算机技术的进步,在检测仪表领域,计算机技术与仪表相结合,形成了一种新概念——虚拟仪器。所谓虚拟仪器,是在以通用计算机为核心的硬件平台上,由用户设计定义,具有虚拟面板,测试功能由测试软件实现的一种计算机仪器系统。这里的“虚拟”有两个必备要素:①虚拟的仪器面板;②由算法代替电子线路,软件实现仪器的测量功能。

一套虚拟仪器系统就是一台工业标准计算机或工作站配上功能强大的应用软件、低成本的硬件(例如插入式板卡)及驱动软件。计算机是载体,软件是核心。它充分利用计算机技术,可由用户自己设计、定义仪器的功能。虚拟仪器可在相同的硬件系统上,通过不同的软件来实现完全不同的测试功能,因此可以说“软件即仪器”。虚拟仪器代表着从传统硬件为主的测量系统到以软件为中心的测量系统的根本性转变。有了虚拟仪器,用户只能使用制造商提供的仪器功能的传统观念正在改变,用户自己设计、定义的范围进一步扩大;同一台虚拟仪器可在更多场合应用,用户可以完全根据自己的需求组建测量和自动化系统。常用的虚拟仪器用开发软件有 LabVIEW、LabWindows/CVI、VEE 等。

目前正在出现的网络检测系统是智能化测量(控制)技术与 Internet 网结合的新产物。如图 1-4 所示,一个科学钻井平台需要多台计算机系统来测量和监控钻机、泵组等设备的钻进过程参数、泥浆性能参数、井(孔)内参数、岩样分析参数等。还必须测量主设备的电压、电流、功率、功率因数以及各种辅助设备的运行状态,然后进行综合处理。将各种被监测的重要参数进行数字或模拟显示,自动调整运行工况,对某些超限参数进行声、光报警或采取紧急措施,并把所测数据自动导入数据库系统,再通过 Internet 网发送至各后方管理部门和机构,实现资源共享。

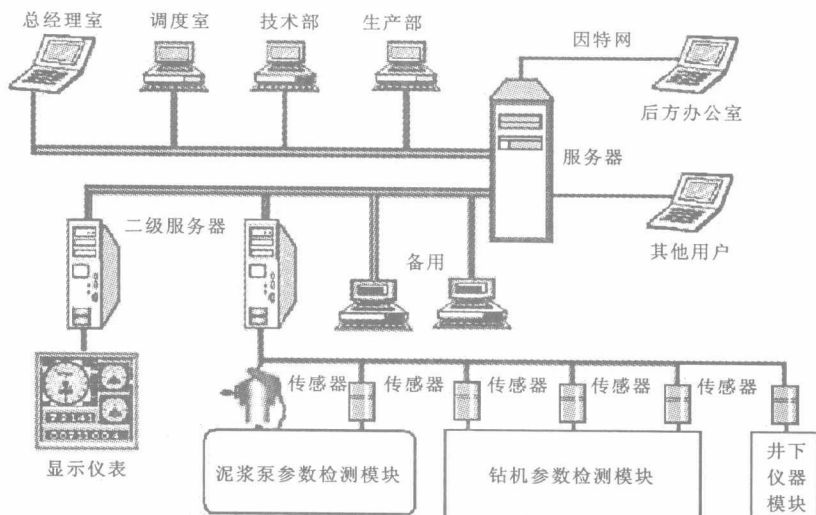


图 1-4 用于钻井(探)平台的网络检测系统组成示意图

第四节 本课程的内容与要求

本课程的内容共分两大部分。前四章主要介绍通用的工程检测技术,并适当举一些结合钻井(探)专业特点的实例。在这四章中系统地阐述了检测技术在国民经济和钻井(探)工程中的地位、现状及发展趋势,检测技术的基本知识,获取被测信号的常用传感元件,检测信号的预处理等内容。后三章着重结合钻井(探)工程的特点。分别就钻井(探)界所关心的主要参数,研讨常用的检测方法、原理及其传感器的结构与用法,通过实例介绍国内外较成功的钻井过程监测系统,并用一章的篇幅对具有应用前景的定向钻井随钻测量系统进行专门介绍。

检测技术是一切专业技术的基础环节,目前已成为大专院校理工科专业的必修课程。随着国家对资源和能源的需求量不断增大,国民经济对钻井(探)专业人才的需求量也与日俱增。我们相信,未来的钻井(探)工程师们在今后的生产和科研工作中必定离不开检测技术及钻井工程仪表。

检测技术作为一门边缘的信息学科,它综合了现代物理学、数学、力学、电工学、电子学、数理统计和计算机技术等方面的成果,具备上述基础是学好本课程的前提。但是,我们不可能按仪器仪表专业、电子技术专业的基础来要求钻井(探)工程专业的学生。加之学时较少,实验手段有限,所以在教材编写的指导思想上强调检测技术与本专业当前和今后的需要相结合,以讨论检测技术的基本理论,变换元件的物理基础,传感器的结构、原理、测量程序和选用依据,钻井仪表(检测系统)的组成、功能、原理等内容为重点。由于工程中各种检测对象的类型及其所处的环境条件可能有较大的差异,为了适应各种工况,变换元件和传感器的类型和规格很多,在教材中不可能详细列举。

学生通过这门课程的学习,应能较系统地掌握检测技术及钻井(探)工程仪表的“三基”内容,能从本专业的实际问题出发提出参数检测任务的方案,会正确选择适用的检测原理与方法,能正确对传感器进行选型设计,懂得一个仪表或检测系统从参数的信号获取到检测信号的输出应具备什么样的结构,与从事仪器仪表设计的专业人员有共同语言,能与他们共同研制与开发勘察工程仪表和监测系统。

第二章 工程检测技术基础

第一节 检测的概念和定义

一、检测的概念

检测就是借助专门的技术工具通过实验、计算而获得被测量的值(大小和方向)。可见,检测即是对被测对象的信息采集过程。这一过程必须在限定的时间内尽可能正确地采集被测对象的未知信息,以便掌握其工作状况,从而实现对生产过程的监测与控制。

工程检测技术中,通常采用直接检测和间接检测的方法。

直接检测是把事先标定好的测量仪器仪表对被测的量进行比较实验,从而得出该量的数值。由于直接检测简便易行,因而是工程技术领域应用最广的一种测量方法。具体测量时,因选用检测仪表原理的差异,又有偏差法、零位法和微差法之别。

间接检测即不是直接测量待求量 x ,而是对与待求量 x 有确定性函数关系的其他物理量 $y_1, y_2, \dots, y_m$ 进行直接检测,然后再通过已知函数关系求出该待测量 x 的值,即 $x=f(y_1, y_2, \dots, y_m)$ 。例如,欲测量电功率 P ,一般不是直接测量功率 P ,而是根据 $P=IU$ 的函数关系,先直接测量 I 和 U ,然后经乘法运算再间接求得电功率 P 的数值。当然,间接检测比直接检测似乎复杂一些,但在直接检测不方便时,误差较大时,或没有相应仪器仪表时就必须采用间接检测方法。

二、检测的定义

根据古典检测概念的狭义理解,检测就是把被测量与同性质的标准量进行比较,并确定出被测量对标准量的倍数。所谓标准量,是作为该被测物理量的计量单位,其量值为国际上或国家所公认的,且具有足够的稳定性。用数学公式表征上述定义,则有:

$$x = A_x \cdot A_e \quad (2-1)$$

式中: x 为被测物理量; A_e 为被测量所选定的计量单位,即标准量; A_x 为比值,与所选定的计量单位比较,是被测量的无量纲倍数。

由(2-1)式可知, A_x 的大小随所选定的计量单位 A_e 而定。所采用的计量单位愈小,对既定的被测量而言,其比值 A_x 愈大,故测量精确度有可能愈高。为了正确地表征检测结果,必须在检测结果 x 后面标明标准量 A_e 所用的单位,检测结果应是有量纲的数值。

现代检测技术的应用领域在不断地扩展,它是对被测信号进行检出变换、分析处理、判断、控制、显示等环节的有机统一的综合过程,因而广义检测系统(图2-1),已冲破了古典检测的狭义概念,这正是检测技术发展的必然趋势。

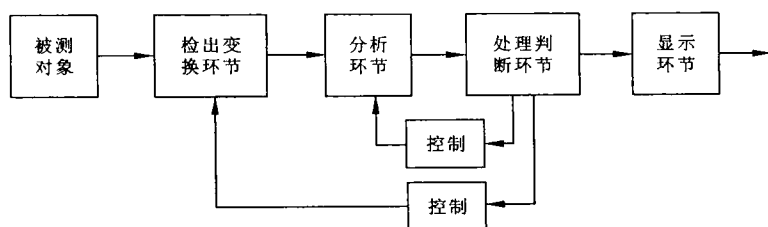


图 2-1 广义检测系统框图

三、检测仪表的基本功能

检测仪表(装置或系统)是实现检测的技术手段,虽然其结构类型可以千差万别,但在实现检测任务时所具备的基本功能却是一致的。一般说来,检测仪表都具有检出变换、标准量保存、运算比较和操作显示四种功能。

1. 检出变换功能

检测的关键在于被测量和标准量进行比较。被测量能直接与标准量比较的场合不多,通常是被测量和标准量需预先变换成两者都便于检出和比较的某个中间量,再行比较。例如,用水银温度计测量室温时,室温(被测量)被变换成玻璃管内水银柱的热膨胀位移量,而温度的标准量则预先被传递到玻璃管的标尺分度上。这时被测量和标准量都变换成同性质的线位移(中间量),这样就可以进行比较了。可见,通过变换才能实现检测,或使检测更为方便。因而,检测仪表的检出变换功能是整个检测技术的核心。

从被测对象中检出被测量 x 后,还应按一定的变换函数 $y=f(x)$ 关系,将其变换成所需的输出量 y 。显然,最简单、最理想的变换规律,是输出量 y 与被测量 x 成线性关系($y=kx$),但这只是理想的情况。实际物理系统中,还有许多其他影响因素(如 $u_1, u_2, \dots, u_m$)以不同方式和程度影响着输出量 y ,故实际的测量仪表中,其变换环节的输出量与输入量之间应是一个多变量函数关系,即

$$y = f(x, u_1, u_2, \dots, u_m) \quad (2-2)$$

放大环节可看作仪表变换功能的一种特殊形式,即同类量间的变换。

与变换功能密切相关的是仪表同时应具有选择功能。也就是说,测量仪表响应被测量 x 的同时,还应具有抑制影响量(如 $u_1, u_2, \dots, u_m$)的能力。选择性也是测量仪表检出变换功能的重要指标。

2. 标准量保存

任何一个检测仪表都保存有标准量(或标准中间量),以便直接或间接地与被测量比较。在模拟式仪表中,标准量一般以仪表的刻度盘形式予以保存。而数字仪表中,一般则以稳定的脉冲或标准时间段作为标准量保存下来。

显然,检测仪表所保存的标准量的精度之高低,将直接决定该仪表的精度。

3. 运算比较

一般经变换后的被测量,就能直接或间接地与检测仪表所保存的标准量进行比较。在模拟式仪表中,比较过程由测量者对刻度盘的读数来完成。而数字仪表的比较过程,实际上就是脉冲的计数过程。

现代检测仪表(装置或系统),往往包含有极强的运算功能,如备有微处理机的测量仪器仪表便是典型例证。

4. 显示操作

显示操作是人-机联系的一种手段。它将测量结果以指针的转角、记录笔的位移、数字及符号、文字或图像显示出来。

第二节 信号概述

一、信息与信号

在生产和科学实验中,经常要对客观存在的物体或物理过程进行观测,这些客观存在的事物包含着大量标志其自身所处的时间、空间特征的数据和“情报”,这就是该事物的“信息”。信息论认为,信息就是客观事物的时间、空间特殊性,是无所不在、无时不存的,是一个“场”的概念。但是人们为了某种特定的目的,总是从浩如烟海的信息中把所需要的部分提取出来,所需了解的那部分信息以各种技术手段表达出来,供人们观察和分析,这种信息的表达形式称为“信号”。也就是说,信号是某一特定信息的载体,而在检测过程中信号又以状态参数(可能是离散的,也可能是连续的)的形式来记录。例如,一台钻机在某一时间对某一地层钻进的过程中,会有声音、振动、旋转、位移等一系列内部特征和外部特征表现,但操作者可以通过仪器观测反映的有关参数(如钻压、钻速、扭矩)变化情况来研究钻进过程,这些就是反映钻进过程的信号。通过处理与分析这些信号,便可了解在具体条件下的孔内工况是否出现了显著性变化。

二、信号的分类

被观测的信号可以分成两大类:确定性信号与非确定性信号。如图 2-2 所示,确定性信号和非确定性信号还可进行更细的分类。

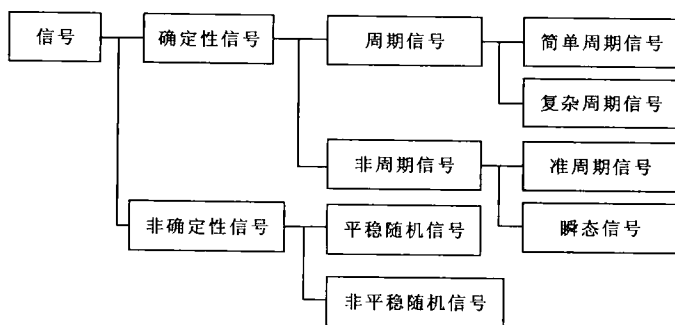


图 2-2 信号的分类框图

1. 确定性信号

确定性信号是能用明确的数学关系式表达的信号。确定性信号根据其波形是否有规律地重复分为周期性信号和非周期性信号。

周期性信号是按一定周期 T 重复的信号。简谐信号是最简单的周期信号,任何周期信号