

高等学校试用教材

检测技术 及勘察工程仪表

鄢泰宁 曹鸿国 乌效鸣 编著



中国地质大学出版社

高等学校试用教材

检测技术及勘察工程仪表

鄢泰宁 曹鸿国 乌效熾 编著

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国地质大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

检测技术及勘察工程仪表/鄢泰宁,曹鸿国,乌效鸣编著. —武汉:中国地质大学出版社,
1996.5

ISBN 7-5625-1013-x

I. 检…

II. ①鄢…②曹…③乌…

III. 检测技术-勘察工程-仪表

IV. TH763.5

出 版 中国地质大学出版社(武汉市喻家山·邮政编码 430074)

责任编辑 刘先洲 戎 信 责任校对 熊华珍

印 刷 湖北省地质图印刷厂

经 销 湖北省新华书店

开本 787×1092 1/16 印张 15.75 字数 400 千字

1996年5月第1版 1996年5月第1次印刷 印数 1—1500 册

定价:12.00 元

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地应用于包括勘察工程(原探矿工程)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。

80年代以来,国内所有有探矿工程专业的院校都先后开设了“检测技术”(有的称为“测试技术”)这门选修课。随着技术的进步和大批勘察队伍转向建筑施工市场,各用人单位对勘察工程及相关专业的毕业生在知识结构和能力方面也提出了新的要求。近年来,各兄弟院校在教学内容拓宽和课程改革中,普遍认识到“检测技术及勘察工程仪表”课程设置的重要性,并先后把它列为必修课向高年级学生讲授。

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,但是勘察工程的工作环境、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,急需一本能纵揽各地质院校自编教材之长,结合本专业需要的正式统编教材。地质矿产部高校探矿工程专业课程教学指导委员会在第二届第一次会议上决定组织力量编写有关检测技术与勘察工程仪表的教材,由中国地质大学(武汉)主编,成都地质学院(现成都理工学院)参编。会后两个单位的同志在研讨五院校各自编教材和大纲的基础上,提出了编写提纲,确定教材内容由两部分组成: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,就勘察工程各主要参数的检测方法、国内外勘察工程仪表等内容进行讲述。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的体系和发展前景。

本教材可供勘察工程(原钻探、钻井专业)、矿山机械(原勘探机械)和地下建筑(原掘进)专业以及相近专业的本、专科生作为教材,也可作为原探矿工程专业的技术干部培训或专业成人教育(知识更新)教学用书。

全书共分十章,其中第一章、第二章的第2—5节、第三章的11节及第六、七、八、九章由中国地质大学(武汉)鄢泰宁编写,第二章的1节和第6—10节、第三章的1—10节、第四章、第七章第4节的“一”和“二”部分由成都理工学院曹鸿国编写,第五章、第十章由中国地质大学(武汉)乌效鸣编写。最后由主编鄢泰宁负责全书的统稿工作,对部分内容进行了改写或增删。

本教材在编写过程中参考了各兄弟院校的自编讲义以及近年来新出版的其他专业的教学用书,参考了国内外同行在有关刊物和会议上发表的成果,河北地矿局教授级高工阮学谦和其他单位的一些专家曾向作者热情地提供资料,还得到了各兄弟院校教材科、勘察工程或相关教研室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。在本教材出版之际,我们还要向曾在国内探工专业首先讲授“检测技术及仪表”课程,并为该教材的体系形成做出过贡献的戴学恕、李砚藻、李荣刚教授等人表示深深的敬意。

(由于教材内容中涉及的知识面很广,又是第一本为本专业学生编写的检测技术及仪表类

教材,因编者的水平有限,经验不足,加之时间短促,难免有错误和不妥之处,敬请各位任课教师、同行及读者批评指正。

编 者

1994年4月

目 录

第一章 绪论	(1)
§ 1·1 检测技术的发展及其在国民经济中的作用	(1)
§ 1·2 检测技术在勘察工程中的地位与现状	(2)
§ 1·3 检测系统的组成	(3)
§ 1·4 本课程的内容与要求	(4)
第二章 工程检测技术基础	(6)
§ 2·1 检测的概念和定义	(6)
§ 2·2 信号概述	(8)
§ 2·3 周期信号的描述	(10)
§ 2·4 非周期信号的描述	(13)
§ 2·5 随机信号的描述	(16)
§ 2·6 检测仪表的静态特性	(21)
§ 2·7 检测仪表的动态特性	(25)
§ 2·8 测量误差的分析与处理	(29)
§ 2·9 提高检测仪表测量精度的措施	(32)
§ 2·10 工程检测仪表的选用	(35)
第三章 常用传感元件的变换原理	(40)
§ 3·1 概述	(40)
§ 3·2 电阻式传感元件	(43)
§ 3·3 电容式传感元件	(49)
§ 3·4 电感式传感元件	(53)
§ 3·5 热电偶式传感元件	(57)
§ 3·6 电磁式传感元件	(61)
§ 3·7 霍尔式传感元件	(63)
§ 3·8 压电式传感元件	(65)
§ 3·9 光电式传感元件	(71)
§ 3·10 谐振式传感器	(73)
§ 3·11 本章小结	(76)
第四章 检测信号的调理、传输与显示(记录)	(81)
§ 4·1 检测信号的调理	(81)
§ 4·2 信号的传输及干扰抑制	(89)
§ 4·3 检测信号的显示与记录	(91)

第五章 计算机控制的数据采集与处理	(105)
§ 5·1 数据采集系统的组成.....	(105)
§ 5·2 信号的基本数字加工.....	(113)
§ 5·3 数据的均值处理与概率密度分析.....	(120)
§ 5·4 数字滤波.....	(121)
第六章 勘察工程主要参数的检测方法与技术	(124)
§ 6·1 电机功率的检测.....	(124)
§ 6·2 压力、拉力和应力的检测	(128)
§ 6·3 转速的检测.....	(138)
§ 6·4 流量的检测.....	(141)
§ 6·5 位移和速度的检测.....	(151)
§ 6·6 扭矩的检测.....	(158)
§ 6·7 振动和冲击的检测.....	(163)
§ 6·8 物位的检测.....	(171)
第七章 钻进过程的综合监测仪表(系统)	(180)
§ 7·1 概述.....	(180)
§ 7·2 钻进过程的综合监测仪表.....	(183)
§ 7·3 钻进过程的微机监测系统.....	(190)
§ 7·4 钻孔信号传输通道及其应用.....	(204)
§ 7·5 监测仪表(系统)在灌注桩工程中的应用.....	(212)
第八章 勘察机械检测试验台	(218)
§ 8·1 岩芯钻机综合性能检测试验台.....	(218)
§ 8·2 泥浆泵检测试验台.....	(221)
第九章 岩体变形和位移的检测仪表	(223)
§ 9·1 围岩相对移近量及破裂程度的检测.....	(223)
§ 9·2 岩体内钻孔位移检测.....	(225)
§ 9·3 岩体内钻孔轴向应变的检测.....	(230)
第十章 智能化仪器仪表(简介)	(233)
§ 10·1 智能化仪器仪表的结构与功能	(233)
§ 10·2 智能化仪器仪表的主要硬件	(235)
§ 10·3 智能化仪器仪表的软件结构	(238)
§ 10·4 智能化过程中的数字化时频域转换	(241)
参考文献	(245)

第一章 绪 论

§ 1.1 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),而是越来越多的、不可避免的动态物理量的测试。图 1-1 是动态测试在整个测量中所占的比重(随年代变化)的曲线,从图中可以看到,在 20 世纪 60 年代动态测试的比例已超过 50%,进入 21 世纪将超过 90%。动态测试的特点是要求准确、快速地对生产过程进行连续监测。如果

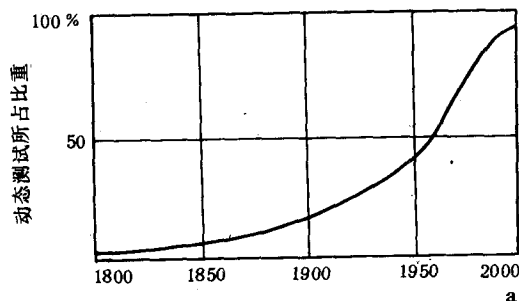


图 1-1 动态测试的发展

说静态测试中强调的是测量系统的输入与输出的数值对应关系,重视数值的误差分析,那么,动态测试强调的则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 万年的误差不大于 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。所以,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”的时代,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。同样,在精密机械加工中如果用陈旧的检测方式,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的应用之广是不言而喻的。没有现代化的检测技术,国家的四个现代化是难以实现的。

§ 1·2 检测技术在勘察工程中的地位与现状

勘察工程是地质工程中的重要组成部分,也是消耗国家投入的地质事业费最多的一个部门。勘察工程包括工程地质勘察、找矿岩芯钻探、水文水井钻探、石油(天然气)钻井、坑探掘进、建筑基础施工和地质灾害防治等内容。总之,勘察工程的工作对象是地壳,它所使用的设备是用途各异的钻机、泵、动力机、凿岩台车、运输机械、通风机械以及其他施工机械。操作者在施工中不仅十分关注岩土钻凿的效率和质量,还要随时判断设备和钻凿工具的工作状况是否正常,以保证施工过程的安全、低耗。而效率、质量、安全等指标的获取,都离不开检测技术的应用。这也就是近年来各有关院校都把检测技术作为勘察工程专业必修课的原因之所在。

由于历史的原因和本专业的特殊性——构成地壳之岩石、矿物自身的复杂性,影响钻掘工具工作状况的因素众多,加之其工作在地下深部,使得施工参数的选择及其技术经济指标的变化处于一个复杂的时变系统之中,目前多数勘察施工单位应用检测技术的水平还较低,基本上还未摆脱凭经验打钻,凭经验掘进的现状。主要存在着以下三个问题,一是操作者的经验不尽

相同,造成在连续作业的钻掘施工中规程参数不统一,不同班组的技术经济指标存在着显著差异,甚至影响工程质量(例如造成钻孔弯曲);二是操作者只能凭听(机器声音)、看(钻凿工具的进尺快慢)、摸(机器的震动)等感觉来获取施工过程是否正常的信息,而人的感觉难免粗糙失准;三是操作者必须随时对耳、眼、手感觉到的信息进行综合分析,与头脑中的经验不断对比并快速作出判断,以便及时采取手动控制措施,而人的反应速度往往滞后于孔内钻凿工具工况的变化速度,故一些恶性孔内事故仍难以避免,同时,施工中操作者的心理负担也很重。因此,目前凭人的感官和经验打钻(掘进)的现状已严重制约了勘察工程生产水平的提高和勘察技术的进步。

随着找矿工作的难度和深度加大,随着各种新机具的出现,允许采用强力钻凿规程参数,凭经验控制钻凿生产过程更加困难。因此,国内外勘察工程界都清醒地认识到,应用检测技术,为勘察机械及其附属工具配上检测仪表,实现对施工过程的连续监测,识别并预报孔内异常工况,逐步实现生产过程最优化,是由凭经验打钻(掘进)走向科学施工的必由之路。

近十几年来,世界上不少国家已生产并应用了许多功能各异的勘察工程仪表,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凿过程监测系统。例如美国的 Dril—Sentry 钻进监测记录仪、21GBC—R 多臂井下钻车电脑导向仪,俄罗斯的 ЯХОHT 钻进信息检测智能系统、ОПТИМ 恒钻速系统,瑞典的钻进参数实时图形显示仪,日本的 BDR-5 型钻探参数监测仪,中国的 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等等。这些仪器是检测技术与勘察工程专业特点相结合的产物。它们都能用于野外施工的恶劣环境,能连续地实时采集并显示多个工艺参数的瞬时值,能绘出反映诸参数前后变化趋势的过程曲线,能实现参数超限自动报警,有的仪表还可以按人们设定的优化规则自动控制钻凿过程。

我们相信,如果广大勘察工程技术人员掌握并熟悉了检测技术,能够正确选择并应用勘察工程仪表,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,我国的勘察工程技术水平将跃上一个新台阶,勘察工程学科本身也将走向进一步成熟。

§ 1·3 检测系统的组成

检测系统的各个组成部分通常以信息流的过程来划分,一般可以分为:

信号的获取——传感器(变送器,换能器);

信号的转换——放大器,变换器;

信号的显示——指示仪,记录仪,报警器;

信号的处理——调节器,数据分析师,电子计算机。它们之间的关系可用图 1-2 的框图来表示。

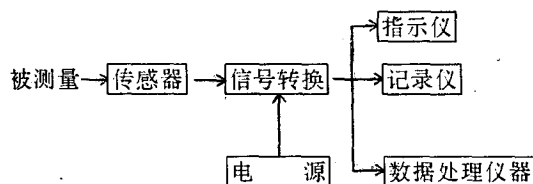


图 1-2 非电量检测系统的组成

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。

信号转换部分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、调制与解调、阻抗变换、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”。

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,还必须把信号送至记录仪自动记录下来,如记录仪、光线示波器、磁带记录仪、微机的外部设备(打印机和绘图仪)都属此类记录仪。

对于动态信号的检测过程,有时还必须对测得的信号数值加以分析和数据处理,例如复杂的波形要进行频谱分析,有些采样原始值还要进行数理统计的运算。属于这方面的仪器有频谱分析仪、波形分析仪等。当然,在微机已很普及的今天,这些信号数据处理的工作均可由软件来完成。

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。例如信号转换部分,有时可以是许多仪器组合而成,有时却可能简单到仅有一个变换电路,甚至可能仅是一根导线。

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。不仅如此,检测系统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,这就不仅是单纯的感官延伸了,而是具有了处理与判断信息的能力,也可以看作是一种智能的复制和扩展。

§ 1·4 本课程的内容及要求

本课程的内容共分两大部分。前五章主要介绍通用的工程检测技术,并适当举一些结合勘察工程专业特点的实例。在这五章中系统地阐述工程检测技术的基本知识,被测信号的获取、变换、传输、处理、显示、记录以及微机如何控制数据的采集与如何进行数据处理等内容。后五章着重结合勘察工程的特点,分别就国内外勘察工程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勘察工程仪表(监测系统),并对智能化仪表这类很有发展前途的方向进行了一些简介。

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

国民经济的发展和勘察工程专业的技术进步,未来的勘察工程师们在生产施工和科学研究中必定离不开检测技术及其仪表。同时,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、控制理论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勘察工程专业的学生,加之学时较少,实验手段还较落后,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,勘察工程仪表(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勘察工程仪表的“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

§ 2·1 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。这一检测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,以便掌握被测对象的工作状况,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它物理量 $y_1, y_2, \dots, y_m$ 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:

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

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

由式(2-1)可知, A_x 的大小随所选定的计量单位 A_c 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。为了把检测结果正确地表征出来,必须在检测结果 x 后面标明标准量 A_s 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。

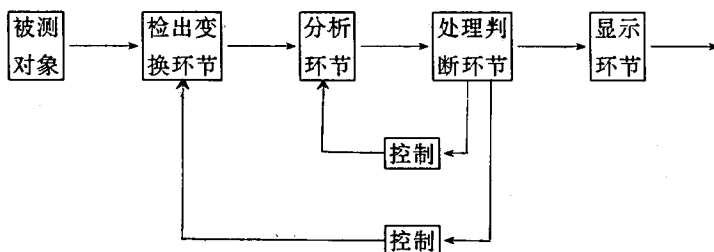


图 2-1 广义检测系统框图

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。通常,被测量能直接与标准量比较的场合不多,大多数情况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,即是一个比例环节($y=kx$),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。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($u_1, u_2, \dots, u_m$)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。由此,显示方法也可相应分为指示型、记录型和打印型等类别。

指示仪表显示的值仅是被测量的瞬时值,如要显示被测量的时间历程,就必须配以走时记录机构,这将在第四章的记录仪器仪表一节中专门介绍。

§ 2·2 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、位移等一系列的内部特征和外部特征表现,但操作者为了研究钻进过程的本质变化,就可以通过仪器观测反映钻进过程的有关参数或图像,如钻压、钻速、扭矩的变化情况,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。

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,任何周期信号都可以看作是简谐信号的合成。

非周期信号没有重复周期。非周期信号包括瞬态信号和准周期信号两类。准周期信号是由有限个简谐信号合成的一种非周期信号。设信号 $x(t)$ 由二个简谐信号合成,即

$$x(t) = A\sin 2t + B\sin(\sqrt{3}t + \theta)$$

二个简谐信号的角频率分别为 2 和 $\sqrt{3}$ ，它们的周期分别为 π 和 $\frac{2\pi}{\sqrt{3}}$ 。由于二者没有最小公倍数，或者说由于二个角频率的比值为无理数，它们之间没有一个共同的基本周期，所以信号 $x(t)$ 是非周期的，但它又是由简谐信号合成的，故称之为准周期信号。

2. 非确定性信号

非确定性信号是无法用明确的数学解析关系式表达的信号，即无法预见对应于某一瞬时信号幅值的数值。这种信号通常又可称为“随机信号”。例如盲人的步行路线，环境的噪声等都属于这一类信号。随机信号只能用概率统计的规律加以描述。

信号还可按其取值情况分为模拟(连续)信号和离散信号。模拟信号是指在某一自变量间隔内，信号的幅值可以取连续范围内的任意数值，如图 2-2a 所示。而离散信号是指自变量在某些不连续数值时才具有幅值的信号，如图 2-2b 所示。作为离散信号的特例，各离散点的幅值也可以离散化，如以二进制的编码表示，则称为数字信号。

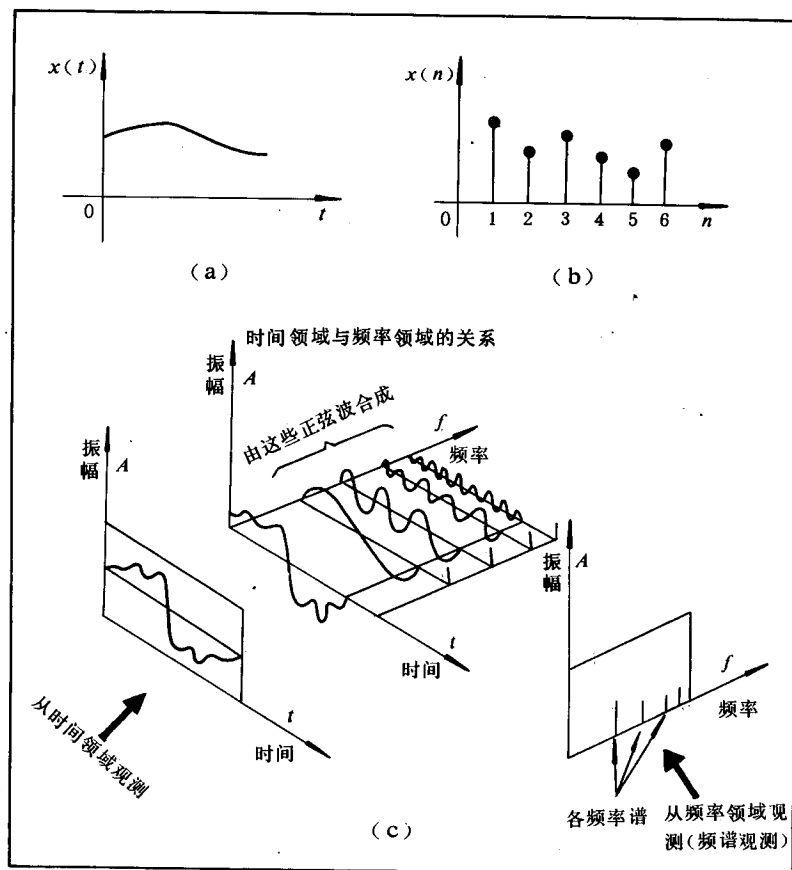


图 2-2

(a) 模拟信号; (b) 离散信号; (c) 频域描述概念图

三、信号的描述

在工程实际中绝大多数信号都是随时间而变化的量，通常采用“时间域”的概念予以描述，即描述该信号随时间变化的性质。但同样是这一信号，在检测技术中往往还采用“频率域”的概

念予以描述。频率域的描述是把一复杂信号分解成某种类型基本信号之和,所采用的基本信号是一些易于实现、分析和处理的信号,最常用的是正(余)弦信号,每一个正(余)弦信号的频率是确定的,作为一个“频率成分”。一个复杂信号能分解出多少个正(余)弦信号,就认为这个复杂信号有多少个频率成分。以复杂信号的频率结构来描述信号的方法称为“频域描述”。进行频域描述的图形则称为“频谱图”。图 2-2(c)即为频域描述概念的说明图。

时域描述和频域描述是一个信号在不同域中的两种表示方法。其信号的信息量并不发生改变。一个信号如何从时域描述转化为频域描述,其转换的数学方法是傅里叶分析法。

§ 2·3 周期信号的描述

一、周期信号的分解

我们知道,作为基本信号之一的正(余)弦信号,可以用三个基本要素即振幅 A 、圆频率 ω (或频率 $f, f = \frac{\omega}{2\pi}$) 和初相角 φ_0 来完全确定之。实际的周期信号往往不是仅含一个正(余)弦的简单周期信号。根据高等数学的推演,一个周期函数 $x(t)$ 如满足狄里赫利条件,则可展开成傅里叶级数,用许多个正(余)弦函数之和来表示。

1. 三角傅里叶级数

周期信号 $x(t)$ 的三角傅里叶级数表达式为

$$x(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega_0 t + b_n \sin n\omega_0 t) \quad (2-3)$$

式中: a_0 、 a_n 和 b_n 称为傅里叶系数,可由下式求取

$$\left. \begin{aligned} a_0 &= \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x(t) dt \\ a_n &= \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x(t) \cos n\omega_0 t dt \\ b_n &= \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x(t) \sin n\omega_0 t dt \end{aligned} \right\} \quad (2-4)$$

式中: T ——该周期信号的周期; $\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$ ——该周期信号的基频。

将式(2-3)中的正弦、余弦项合并,可得

$$x(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\omega_0 t - \varphi_n) \quad (2-5)$$

式中: $A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$ ——各频率成分的振幅; $\varphi_n = \text{tg}^{-1}(\frac{-b_n}{a_n})$ ——各频率成分的初相角。

式(2-5)表明周期信号 $x(t)$ 可以用一个常值分量 a_0 和无限多个谐波分量之和表示。其中 $A_1 \cos(\omega_0 t - \varphi_1)$ 为一次谐波分量(或称基波)。基波的频率与信号的频率相同,高次谐波的频率为基频的整数倍。高次谐波又可分为奇次谐波(n 为奇数)和偶次谐波(n 为偶数)。周期函数 $x(t)$ 具有奇偶特性时,其傅里叶级数展开式有较大的简化,计算起来更为方便。

如果一周期函数是一奇函数,即 $x(t) = -x(-t)$,可以由傅里叶系数公式得出 $a_0 = 0, a_n = 0$; 如果一周期函数是一偶函数,即 $x(t) = x(-t)$,由傅里叶系数公式可以得出 $b_n = 0$ 。