

铁路职业教育铁道部规划教材

内燃机车检测技术基础

NEIRANJICHEJIANCEJISHUJICHU

TIELU ZHIYE JIAOYU TIEDAOBU GUIHUA JIAOCAI

王连森 主编

高职

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE



铁路职业教育铁道部规划教材

(高 职)

内燃机车检测技术基础

王连森 主 编

胡继胜 主 审

中国铁道出版社

2009年·北 京

内 容 简 介

本书是铁路职业教育铁道部规划教材。全书共五章,主要介绍了机车检测技术基础知识、传感器原理及应用、信号调理技术、机车基本检测技术及机车故障诊断技术。

本书为高职高专内燃机车检修专业教材,也可作为中等职业技术学校内燃机车检修专业教材。还可供其他学校(院)相近专业学生及内燃机车检修工厂和机务段检修人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

内燃机车检测技术基础/王连森主编. —北京:中国铁道出版社,2008.12
铁路职业教育铁道部规划教材. 高职
ISBN 978-7-113-09083-8

I. 内… II. 王… III. 内燃机车—检测—高等学校:技术学校—教材
IV. U262

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 106075 号

书 名:内燃机车检测技术基础
作 者:王连森 主编

责任编辑:赵 静 电话:010-51873133 电子信箱:td73133@sina.com
封面设计:陈东山
责任印制:金洪泽 陆 宁

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)
印 刷:北京海淀五色花印刷厂印刷
版 次:2009年2月第1版 2009年2月第1次印刷
开 本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:7.75 字数:189千
书 号:ISBN 978-7-113-09083-8/U·2266
定 价:16.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部调换。

电 话:市电(010)51873170 路电(021)73170(发行部)
打击盗版举报电话:市电(010)63549504 路电(021)73187

前 言

本书由铁道部教材开发小组统一规划,为铁路职业教育规划教材。本书是根据铁路高职教育内燃机车检修专业教学计划“内燃机车检测技术基础”课程教学大纲编写的,由铁路职业教育机车专业教学指导委员会组织,并经铁路职业教育机车专业教材编审组审定。教材适用教学课时 48 学时,主要介绍了机车检测技术的基础知识、典型的机车检测技术、机车故障诊断技术的基础知识。

本教材的教学目标是:使学生初步掌握机车检测技术的最新理论与知识,及时跟进铁路机务现场检测技术的发展,为及时掌握铁路机务现场不断出现的新的检测设备的工作原理和使用方法打下基础。

在编写过程中,我们查阅了大量的参考资料,多次到铁路机车检修现场调研,多次进行专题交流与研讨。在编排的内容上,注意适用性、理论与实践相结合,突出知识的应用性。在内容的组织上,注意逻辑性、系统性和层次分明;在文字表述上,注意准确、精炼、通俗易懂;在技术发展上,尽量反映目前本领域最新的技术。每章有小结,指导学生掌握学习重点;每章附有复习思考题,供学生巩固学得的知识。

本书由沈阳铁路机械学校王连森主编,沈阳铁路机械学校屈娟参编。具体分工如下:王连森负责绪论、第二章、第四章、第五章的编写;屈娟负责第一章、第三章的编写。

全书由大连交通大学胡继胜教授担任主审。

在编写过程中,得到了全国机车专业高职高专教学指导委员会的大力支持,唐山机车车辆工厂及苏家屯机务段的大力帮助,在此一并致谢。

编 者

2008 年 12 月

目 录

绪 论	1
第一章 检测技术基本知识	3
第一节 概 述	3
第二节 测量的基本概念	6
第三节 测量误差	8
本章小结	10
复习思考题	11
第二章 传感器的原理及应用	12
第一节 传感器的定义、分类与性能指标	12
第二节 电阻式传感器	20
第三节 电感式传感器	24
第四节 压电式传感器	26
第五节 磁电式传感器	28
第六节 电容式传感器	30
第七节 霍尔传感器及其应用	33
第八节 光电式传感器	37
第九节 光纤传感器	40
第十节 热 电 偶	44
第十一节 超声波传感器	46
第十二节 其他传感器简介	48
第十三节 传感器技术的发展方向	51
第十四节 传感器在内燃机车上的应用	52
第十五节 非电量的 A/D 转换技术	57
本章小结	60
复习思考题	60
第三章 信号的调理	62
第一节 电 桥	62
第二节 调制与解调	64
第三节 滤 波 器	66
第四节 信号的显示和记录	67
第五节 抗干扰技术	68

本章小结	69
复习思考题	69
第四章 机车基本检测技术	70
第一节 振动检测技术	70
第二节 红外线测量装置	75
第三节 光谱、铁谱、气相色谱分析	79
第四节 无损检测技术	88
第五节 转速的测量	95
第六节 压力的测量	96
第七节 温度的测量	100
本章小结	103
复习思考题	104
第五章 机车故障诊断技术	105
第一节 故障诊断基础知识	105
第二节 诊断信号的采集、处理和状态识别	109
第三节 故障诊断在机车上的应用	111
本章小结	116
复习思考题	116
参考文献	118

绪 论

一、机车检测技术的重要性

随着铁路事业的快速发展,各种新技术、新装备不断地得到应用。就铁路牵引动力而言,新型高速重载机车、动车组已大量地投入运用,这些铁路技术装备的共同特点是其自动化、集成化、智能化已达到一定程度。

在这些铁路技术装备的运用、制造、维修过程中,检测技术越来越得到深入和广泛的使用,甚至在技术体系中已成为较关键技术。

作为为铁路技术装备运用服务的维修领域,其检修技术必须适应其发展,目前各类检修设备也大量地使用了检测技术和检测装置。这为提高机车检修质量和保证机车良好的技术状态提供了技术支持,同时也提高了机车检修的效率。

机车检修制度的发展趋势是“机车状态检修”,实施机车状态修的前提是有符合要求的高性能的检测装置及故障诊断技术。

故障诊断技术是通过技术检测手段把检测到的零部件、设备的有关性能参数及状态参数,与储存在计算机中的“专家系统”进行“对话”,进而得出设备技术状态结论的过程与方法。故障诊断技术是建立在信息检测技术、信号处理技术、计算机应用技术、机械工程各学科等现代科学技术成就基础之上的综合性技术。

二、我国机车检测技术应用情况

近年来,我国在新型内燃机车上检测技术得到了一定的应用。

在车载监测装置方面:

(1)采用微机控制系统,能在机车各种工况(牵引、电阻制动、自负荷)运行时,综合、分析、比较来自机车各系统的信号,并用来控制机车,使其尽可能按最佳状态运行。

(2)微机恒励磁控制系统和防空转、防滑行控制系统,使柴油机能在工作范围内保证恒功运行。

(3)故障诊断装置,对机车各系统(走行部、柴油机、主发电机、牵引电机、电路等)的运行参数进行监控、显示、保护及记录。

(4)自负荷试验功能,可在机车静止状态下对机车进行自检试验。

(5)采用轴温监测控制仪,对轴箱、空心轴、牵引电动机等的轴承温度自动进行检测,提高了机车运行的可靠性。

应用在机车检修方面:

(1)轴箱轴承、牵引电机轴承动、静态检测及微机管理系统;

(2)柴油机曲轴轴颈检测系统;

(3)轮对轴颈检测系统,车轮踏面检测系统;

(4)在电路检修方面使用线路状态检查仪,以判定故障形式及处所;

(5)利用光谱、铁谱技术对柴油机进行故障诊断。

三、本课程的主要内容

本书既突出机车检测技术的重点内容,又简明扼要地叙述了检测技术的基本知识,使知识有一定的连贯性。

主要讲述内容:

1. 检测技术的基本知识;
2. 传感器基本原理与应用;
3. 典型的机车检测技术;
4. 机车诊断技术的基本知识。

四、本课程的性质、目的、学习方法

本课程是为强化机车检修专业职业能力而编写的一门专业课。课程内容的知识体系具有现代性、综合性的特点。

通过本课程的学习,使学生紧跟科学技术的发展,提高运用现代化检测技术手段检修机车的能力。

机车检测技术是一门理论性和实践性都较强的课程。学习过程中在打好基础的前提下,一定注意知识应用性的学习和技能训练。

在课程内容具体讲述过程中,高职教学和中职教学,可根据需要进行适当的删减。建议中职教学主要进行应用内容的讲解,对于原理性知识只作为了解内容。

第一章

检测技术基本知识

第一节 概述

一、检测技术的含义及应用

在各项生产和科学实验中,为掌握其过程情况及其结果,需要对各种参数或物理量进行检查和测量,从而获得需要的信息,以作为分析、判断和推理的依据,可以认为检测技术就是人们为了获取被测对象有关的信息所采取的一系列技术措施。随着人类社会进入信息时代,以信息的获取、转换、显示和处理为主要内容的检测技术已经发展成为一门完整的技术科学,在促进生产发展和科技进步方面发挥着重要作用。

检测技术主要应用在以下方面:

1. 控制产品质量。借助检测工具对产品进行质量评价是人们十分熟悉的。这是检测技术的重要应用领域。目前使用的在线检测技术已经达到检测和生产加工同时进行,及时反馈检测结果以对生产过程进行控制,使加工自动调整到最佳状态。

2. 监测设备安全运行。铁路、电力、化工、机械等行业的一些大型设备通常在高温、高压、高速和高负荷状态下运行,保证这些设备安全运行具有重大意义。为此,通常设置故障监测系统以对温度、压力、流量、转速、振动和噪声等多种参数进行动态监测,及时发现异常情况,加强故障预防,达到早期诊断的目的。随着计算机技术的发展,这类监测系统已经发展到故障诊断系统。可以用计算机来处理检测信息,进行分析、判断,及时诊断出设备故障并自动报警或采取相应措施手段。

3. 检测装置是自动化系统中不可缺少的组成部分。人们为了有目的地进行控制,首先必须通过检测获取有关信息,然后才能分析判断以便实现自动控制。一个自动化系统通常由多个环节组成,分别完成信息获取、信息转换、信息处理、信息传送及信息执行等功能。在实现自动化的过程中,信息的获取与转换是极其重要的组成环节,只有精确及时地将被控对象的各项参数检测出来并转换成易于传送和处理的信号,整个系统才能正常地工作。

4. 推动着现代科学技术的进步。检测技术达到的水平愈高,提供的信息愈丰富、愈可靠,科学研究取得突破性进展的可能性就愈大。此外,理论研究的一些成果,也必须通过实验或观测来加以验证,这同样离不开相应的检测手段。

检测技术与现代化生产和科学技术的密切关系,使它成为一门十分活跃的学科,几乎渗透到人类的一切活动领域,发挥着愈来愈大的作用。在铁路机车行业中,检测技术的应用更是如此。

二、检测系统的组成

一个完整的检测系统通常是由传感器、测量电路(信号调理)、显示及记录装置、分析及处理装置组成。分别完成信息获取、转换、显示和处理等功能。当然其中还包括电源和传输通道等不可缺少的部分。图 1-1 给出了检测系统的组成框图。

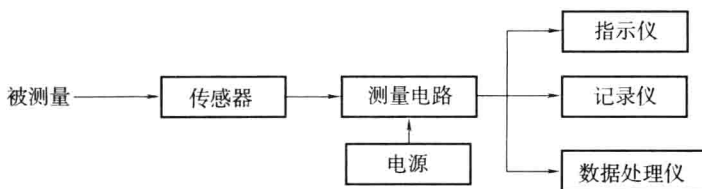


图 1-1 检测系统组成框图

由图 1-1 可知,一个完整的检测过程包含下列环节:信号的提取(由传感器完成)、信号的转换储存与传输(由中间转换装置完成,即测量电路)、信号的显示及记录(由显示装置及记录装置完成)、信号的分析及处理(由处理装置完成)。

1. 传感器

传感器是把被测量(如物理量、化学量、生物量等)变换为另一种与之有确定对应关系并且便于测量的量(通常是电量)的装置。显然,传感器是检测系统与被测对象直接发生联系的部分。它是整个检测系统非常重要的环节,检测系统获取信息的质量往往是由传感器的性能一次性确定的,因为检测系统的其他环节无法添加新的检测信息并且不易消除传感器所引入的误差。

检测技术中使用的传感器种类繁多,分类的方法也各不相同。从传感器应用的目的出发,可以按被测量的性质将其分为:

- (1)机械量传感器,如位移传感器、力传感器、速度传感器、加速度传感器等;
- (2)热工量传感器,如温度传感器、压力传感器、流量传感器等;
- (3)化学量传感器;
- (4)生物量传感器等。

从传感器研究的目的出发,着眼于变换过程的特征可以按输出量性质将其分为:

(1)参量型传感器,其输出是电阻、电感、电容等无源电参量,相应的有电阻式传感器、电感式传感器、电容式传感器等。

(2)发电型传感器,其输出是电压或电流,相应的有热电偶传感器、光电传感器、磁电传感器、压电传感器等。

2. 测量电路

测量电路的作用是将传感器的输出信号转换成易于测量的电压或电流信号;通常传感器输出信号是微弱的,就需要由测量电路加以放大,以满足显示、记录装置的要求;根据需要测量电路还能进行阻抗匹配、微分、积分、线性化补偿等信号处理工作。

应当指出测量电路的种类和构成是由传感器的类型决定的,不同的传感器所要求配用的测量电路经常具有自己的特点。

3. 显示及记录装置

显示及记录装置是检测人员和检测系统联系的主要环节,作用是使人们了解检测数值的

大小或变化的过程。目前常用的有模拟显示、数字显示和图像显示三种。

模拟显示是利用指针对标尺的相对位置表示被测量数值的大小,如各种指针式电气测量仪表,其特点是读数方便、直观,结构简单、价格低廉,在检测系统中一直被大量应用。但这种显示方式的精度受标尺最小分度限制,而且读数时易引入主观误差。

数字显示则直接以十进制数字形式来显示读数,实际上是专用的数字电压表,它可以附加打印机,打印记录测量数值,并且易于和计算机联机,使数据处理更加方便。这种方式有利于消除读数的主观误差。

图像显示,如果被测量处于动态变化之中,用显示仪表读数就十分困难,这时可以将输出信号送到记录仪,从而描绘出被测量随时间变化的曲线,作为检测结果,供分析使用。

常用的自动记录仪器有笔式记录仪、光线示波器、磁带记录仪等。

4. 处理装置

对数据进行分析,以对过程及状态进行判断(正常、偏离、故障等)。处理装置主要有数据分析仪、频谱分析仪、计算机。

三、非电量电测法的优点

从检测系统的组成可以看出,对各种被测量的测量通常的做法是通过传感器将其转换为电量,从而使我们能够使用广泛应用的电子测量手段对传感器输出的电信号进行各种处理和显示记录。因此这种非电量电测法构成了检测技术中最重要的内容,利用这种方法几乎可以测量各种非电量参数。因此,电子技术的发展和在检测中的应用大大促进了检测技术的发展,为电子计算机技术进入检测领域创造了条件。

非电量电测法的主要优点如下:

- (1)能够连续、自动地对被测量进行测量和记录。
- (2)电子装置精度高、频率响应好,不仅能适用于静态测量,选用适当的传感器和记录装置还可以进行动态测量甚至瞬态测量。
- (3)电信号可以远距离传输,便于实现远距离测量和集中控制。
- (4)电子测量装置能方便地改变量程,因此测量的范围广。
- (5)可以方便地与计算机相连,进行数据的自动运算、分析和处理。

四、检测技术的发展方向

科学技术的迅猛发展,为检测技术的现代化创造了条件,主要表现在以下两个方面:

第一,人们研究新原理、新材料和新工艺所取得的成果将产生更多品质优良的新型传感器。例如光纤传感器、液晶传感器、以高分子有机材料为敏感元件的压敏传感器、微生物传感器等。

另外,代替视觉、嗅觉、味觉和听觉的各种仿生传感器和检测超高温、超高压、超低温和超高真空等极端参数的新型传感器也是今后传感器技术研究和发展的方向。

新型传感器技术除了采用新原理、新材料和新工艺之外,还向着高精度小型化和集成化的方向发展。

传感器集成化的一个方向是把具有同样功能的传感器集成化,从而使对一个点的测量变成对一个平面和空间的测量。例如,利用电荷耦合器件形成的固体图像传感器来进行的文字和图形识别即是如此。

传感器集成化的另一个方向是不同功能的传感器集成化,从而使一个传感器可以同时测量不同种类的多个参数。例如,测量血液中各种成分的多功能传感器。

除了传感器自身的集成化之外,还可以把传感器和后续电路集成化。传感器和测量电路的集成化可以抗干扰,提高灵敏度,方便使用。如果将传感器和数据处理电路集成在一起,则可以方便地实现实时数据处理。

第二,检测系统目前正迅速地由模拟式、数字式向智能化方向发展。带有微处理机的各种智能化仪表已经出现,这类仪表选用微处理机做控制单元,利用计算机可编程的特点,使仪表内的各个环节自动地协调工作,并且具有数据处理和故障诊断功能,成为一代崭新仪表,把检测技术自动化推进到一个新水平。

智能化仪表比一般检测装置功能强得多,它可以进行:

(1)自动调零和自动校准。

(2)自动量程转换。在程序控制下,可以使测量工作从高量程到低量程自动进行,并通过比较判断,使被测量处于最适当的量程之内。

(3)自动选择功能、通过多路转换器和 A/D 转换器的配合,在程序控制下,既可以顺序地测量,也可以任意地选择对应不同参数的测量通道,从而自动改变仪表测量功能。

(4)自动数据处理和误差修正。利用微机强大的运算能力,编制适当的数据处理程序,即可完成线性化、求取平均值、标准偏差、做相关计算等数据处理工作,并且可以根据工作条件的变化,按照一定公式自动计算出修正值,同时修正测量结果,提高测量精度。

(5)自动定时测量。利用计算机硬件定时或软件定时的功能可以完成各种时间间隔的定时自动测量。

(6)自动故障诊断。在微机控制下,可对仪表电路进行故障检查和诊断,遇到故障点后能够自动显示故障部位,使得排查故障方便,缩短检修时间。

第二节 测量的基本概念

一、测量的概念

所谓测量或检测就是指为了获得测量结果或被测量的值而进行的一系列操作,它是将被测量与同性质单位的标准量进行比较,并确定被测量对标准量的倍数。

经过测量后所得的被测量的值叫测量结果,测量结果一般是由数值大小和测量单位两部分组成,数值的大小除了可以用数字表示外,还可以用曲线或图形的方式进行表示。测量单位在测量结果中则是必不可少的,否则测量的结果没有任何意义。

测量过程的核心是比较,但被测量能直接与标准量比较的场合并不多,大多数情况下,是将被测量和标准量变换成双方易于比较的某个中间变量来进行的。例如用弹簧秤称重,被测量通过弹簧按比例伸长,转换为指针位移,而标准重量转换成标尺刻度。这样,被测量和标准量都转换成位移这一中间变量,可以进行直接比较。

此外,为了提高测量精度,并且能够对变化快、持续时间短的动态量进行测量,通常将被测量转换为电压或电流信号,利用电子装置完成测量过程。因此,转换是实现测量的必要手段,也是非电量电测的核心。

在实际的测量中,为了得到测量结果,我们可采取不同的测量方法来实现对被测量的测

量,通常根据被测量的性质、特点和测量的要求来选择适当的测量方法。

二、测量方法

在检测过程中,对于被测量的测量按测量手段可分为两类:直接测量和间接测量。

1. 直接测量 直接测量是用测量仪器和被测量进行比较,直接读取被测量的测量结果。例如用刻度尺、游标卡尺、天平、直流电流表等进行的测量就是直接测量。

2. 间接测量 间接测量是不能直接用测量仪器得到被测量的大小,而要依据与被测量有确定函数关系的几个量,代入函数关系式,从而得到被测量的大小。例如重力加速度,可通过测量单摆的摆长和周期,再由单摆周期公式算出,这种类型的测量就是间接测量。

按照被测量获得的方法可分为偏差式测量、零位式测量和微差式测量。

1. 偏差式测量

用测量仪表指针相对于刻度起始点的位移(偏差)来表示被测量大小的测量方法称为偏差式测量。使用这种测量方法的仪表内并没有标准量具,而只有经过标准量具校准过的标尺或刻度盘,在测量时,利用仪表指针在标尺或刻度盘上的相对偏差,读取被测量的大小,这种测量方法测量速度快捷、方便,但是测量的精度较低,被广泛应用在各种工程测量中。

2. 零位式测量

用指零式仪表来反映测量系统的平衡状态,在测量过程中,当指零式仪表指零,测量系统达到平衡时,用已知的标准量来确定被测量的大小,这样的测量方法称为零位式测量。天平就是典型的零位式测量来实现对被测量的测量,用已知重量的砝码放在天平的右侧托盘里,使天平达到平衡状态,这样就可以通过已知砝码的重量来测量出天平左边托盘里的被测量的重量了。

用电位差计测量未知电压也属于零位式测量,图 1-2 所示的电路是电位差计的原理性示意图。

图中 E 为工作电池的电动势,在测量前先调节 $RP1$,校准工作电流使其达到标准值,接入被测电压 U_x 后,调整电位器 RP 的活动触点,改变标准电压的数值,使检流计 P 回零,达到 A 、 D 两点等电位,此时标准电压 U_k 等于 U_x ,从电位差计读取的 U_k 的数值就表示了被测未知电压 U_x 。

由于指零式仪表比较灵敏,使指零式仪表达达到平衡就会是一个比较慢的过程,虽然测量的精度很高,但测量过程复杂,时间较长,因此零位式测量只适合于被测量是变化缓慢的量,而不适合变化很快的被测量。

3. 微差式测量

这是综合零位式测量和偏差测量的优点而提出的一种测量方法。基本思路是将被测量 x 的大部分作用先与已知标准量 N 的作用相抵消,剩余部分即两者差值 $\Delta = x - N$,这个差值再用偏差法测量。微差式测量中,总是设法使差值 Δ 很小,因此可选用高灵敏度的偏差式仪表测量之。即使差值的测量精度不高,但最终结果仍可达到较高的精度。

例如,测定稳压电源输出电压随负载电阻变化的情况时,输出电压 U 。可表示为 $U = U + \Delta U$,其中 ΔU 是负载电阻变化所引起的输出电压变化量,相对 U 来讲为一小量。如果采用偏

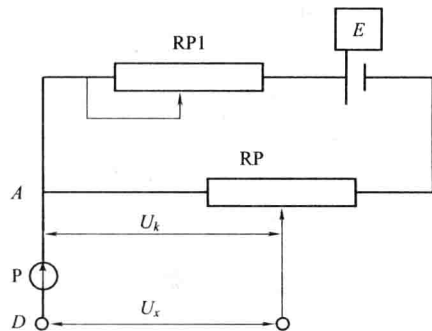


图 1-2 电位差计的原理性示意图

差法测量,仪表必须有较大量程以满足 U_0 的要求,因此对 ΔU 这个小量造成的 U_0 的变化就很难测准。当然,可以改用零位式测量,但最好的方法是如图 1-3 所示的微差式测量。

图中使用了高灵敏度电压表——毫伏表和电位差计, R_r 和 E 分别表示稳压电源的内阻和电动势, R_L 表示稳压电源的负载, E_1 、 R_1 和 R_w 表示电位差计的参数。在测量前调整 R_1 , 使电位差计工作电流 I_1 为标准值。然后,使稳压电源负载电阻 R_L 为额定值。调整 R_P 的活动触点,使毫伏表指示为零,这相当于事先用零位式测量出额定输出电压 U 。正式测量开始后,只需增加或减小负载电阻 R_L 的值,负载变动所引起的稳压电源输出电压 U_0 的微小波动值 ΔU ,即可由毫伏表指示出来。根据 $U_0 = U + \Delta U$,稳压电源输出电压的各种负载下的值都可以准确地测量出来。

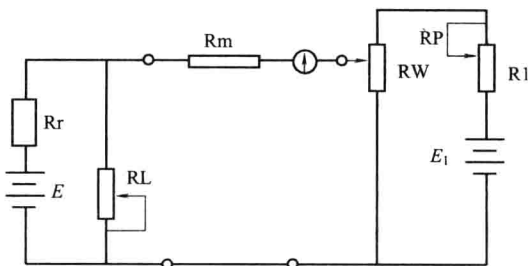


图 1-3 微差式测量原理

增加或减小负载电阻 R_L 的值,负载变动所引起的稳压电源输出电压 U_0 的微小波动值 ΔU ,即可由毫伏表指示出来。根据 $U_0 = U + \Delta U$,稳压电源输出电压的各种负载下的值都可以准确地测量出来。

微差式测量法的优点是反应速度快,测量精度高,特别适合于在线控制参数的测量。

第三节 测量误差

一、测量误差的定义

1. 真值

严格定义的理论值或者客观存在的实际的值称为理论真值,例如,三角形的内角和是 180° 等。在实际的测量当中理论真值是很难获得的,所以常用约定真值或相对真值来代替理论真值。

2. 示值

检测系统(仪器)指示或显示被测量的数值叫示值,也称为测量值。

3. 测量误差

测量误差指测量结果与被测量真值之差。在实际测量中,由于人们对客观事物认识的局限性及测量器具的不准确性、测量手段的不完善、测量环境条件的变化以及测量工作中的失误等原因,都会使测量结果与被测量真值之间存在一定的差异,导致测量误差。

二、测量误差的表示方法

检测系统的基本误差通常有两种表示形式:绝对误差和相对误差。

1. 绝对误差

绝对误差:测量值与被测量的真值之间的代数差,即

$$\Delta = A_x - A_0$$

式中 Δ 为绝对误差, A_x 为测量值, A_0 为真值,由于 A_0 一般很难得到,所以常用高一级的标准仪器的示值即相对真值来代替 A_0 。

绝对值与 Δ 大小相等,而符号相反的称为修正值,常用 C 表示,即有

$$C = -\Delta$$

例:已知三角形的内角和 180° , 用量角器测量得三角形的内角和为 181° , 那么此次测量的绝对误差为

$$\Delta = A_x - A_0 = 181^\circ - 180^\circ = 1^\circ$$

由例可以看出:绝对误差是有单位的,其单位与测量值和真值相同;绝对误差是有符号的,绝对误差为正表示测量值大于真值,绝对误差为负则表示测量值小于真值。

2. 相对误差

(1)实际相对误差:绝对误差 Δ 与真值 A_0 的比值,即

$$\gamma_A = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\%$$

(2)示值相对误差:绝对误差 Δ 与示值 A_x 的比值,即

$$\gamma_x = \frac{\Delta}{A_x} \times 100\%$$

(3)满度相对误差:测量过程中的最大绝对误差 $\Delta_{\max}$ 与检测系统的满度值 $A_{\max}$ 的比值,即

$$\gamma_{\max} = \frac{\Delta_{\max}}{A_{\max}} \times 100\%$$

3. 精度

检测系统(仪器)常以满度相对误差的最大值作为判断检测系统精度等级的标准,即用满度相对误差的最大值去掉正负号和百分号后的数字表示该仪器精度等级。

根据国家有关精度等级的规定,将精度 S 划分为七个等级,分别是 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0 级。但是当我们通过测量和计算所得到的测量仪器精度不是这七个中的某一个时,应该如何处理才符合国家规定的标准精度等级呢?

例:有一个量程为 0~1 000 V 的数字电压表,假设这个电压表整个量程中的最大绝对误差为 1.21 V,即有

$$S = \frac{|\Delta_{\max}|}{A_{\max}} \times 100\% = \frac{1.21}{1\,000} \times 100\% = 0.121\%$$

结果 0.121 不是七个精度等级中的某一个,所以我们需要对这个结果进行一下处理。

0.121 介于这七个精度等级中的 0.1 级和 0.2 级之间,如果按照四舍五入的原则应该选 0.1 级,但是在精度等级的选取中,应该严格按照选大不选小的原则来确定精度等级,即选 S 为 0.2 级。

例:现有 1.5 级 0~1 000 V 和 2.5 级 0~300 V 的两个电压表,要测量 220 V 的电压,试问采用哪个电压表更好、更精确。

分析:依据题中的要求,要想知道用哪个电压表测量更好、更精确,只需要知道在测量 220 V 电压时,哪个表所得的最大示值相对误差更小。

解:用 1.5 级 0~1 000 V 的电压表测量 220 V 电压时,最大示值相对误差为

$$\gamma_{x1} = \frac{\Delta_{\max1}}{A_x} \times 100\% = \frac{A_{\max1} \times S_1}{A_x} \times 100\% = \frac{1\,000 \times 1.5\%}{220} \times 100\% \approx 6.82\%$$

用 2.5 级 0~300 V 的电压表测量 220 V 电压时,最大示值相对误差为

$$\gamma_{x2} = \frac{\Delta_{\max 2}}{A_x} \times 100\% = \frac{A_{\max 2} \times S_2}{A_x} \times 100\% = \frac{300 \times 2.5\%}{220} \times 100\% \approx 3.41\%$$

从结果可看出,并不是仪表的精度等级越高,测量的结果就越精确,而是要把仪表的精度等级和量程同时考虑才能得到较为精确的结果。通常我们在测量某一个值的时候,总是希望示值落在仪表满量程的 2/3 处。

三、误差的分类

按照误差出现规律的不同,将其分为粗大误差、系统误差和随机误差三种。

1. 粗大误差

粗大误差是指在一定测量条件下,测量值明显偏离真值的误差。

粗大误差一般是由于检测系统(仪器)故障、操作不当或外界干扰造成的。含有粗大误差的测量值称为异常值或坏值。在测量过程中如发现应立即予以剔除,以免影响测量结果的准确程度。

2. 系统误差

在相同条件下,对同一被测量进行多次测量所得结果的平均值与被测量真值之差,称为系统误差。

系统误差一般是由于测量仪器的制造、安装及使用方法不正确;操作人员的读数方式不恰当;测量过程中外界(温度、湿度、气压等)干扰所造成的,系统误差是一种有规律的误差,可采用修正值或补偿的方法来减小或消除误差。

3. 随机误差

在相同条件下,多次测量同一被测量时,其误差的大小与符号均无规律变化,这样的误差称为随机误差。

随机误差一般是由于仪器或测量过程中,某种未知或无法控制的因素造成的,它是不能用技术措施来消除的,但是通过多次测量会发现随机误差服从一定的统计规律(正态分布等)

在任何一次测量中,系统误差和随机误差一般都是同时存在的。当它们同时存在时,可以分以下三种情况来处理测量结果:

系统误差大于随机误差,随机误差按系统误差来处理;

系统误差小于随机误差,且系统误差很小,已经校正,则可仅按随机误差处理;

系统误差和随机误差大小差不多时,则需分别按照不同的方法对它们进行处理。

本章小结

测量就是指为了获得测量结果或被测量的值而进行的一系列操作,它是将被测量与同性质的标准量进行比较,并确定被测量对标准量的倍数。

测量一个被测量可以通过不同的方法来实现,按照测量的手段可分为:直接测量和间接测量;按照被测量值获得的方法可分为:偏差式测量、零位式测量和微差式测量。

微差式测量是综合了偏差式和零位式的优点的一种测量方法。

基本误差分为绝对误差和相对误差。绝对误差是有符号和单位的,相对误差也分为实际相对误差、示值相对误差和满度相对误差。在测量某一被测量,仪表量程的选取原则是:尽量让示值落在仪表满量程的 2/3 处。

按照误差出现规律的不同,把误差分为粗大误差、系统误差和随机误差三种。发现粗大误差要剔除,在实际的测量中系统误差和随机误差总是一起出现。

复习思考题

1. 试述检测技术的含义、作用。
2. 试述检测技术的主要应用。
3. 试述检测系统的基本组成。
4. 非电量测量的优点是什么?
5. 试述检测技术的发展方向。
6. 什么是测量?
7. 测量有哪些方法? 什么是微差式测量?
8. 误差按照其出现规律不同,分为几类?