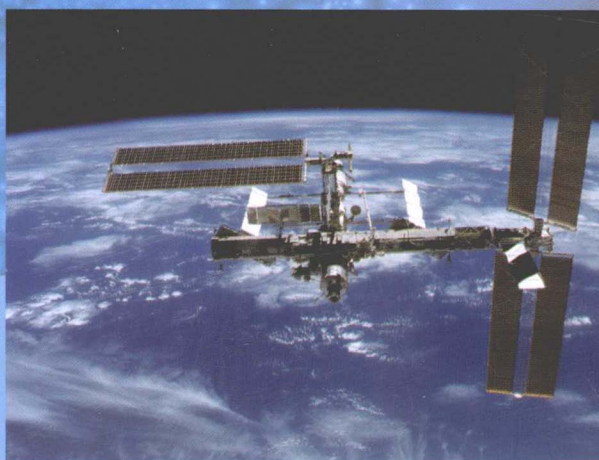


H
LANGTIAN
CESHI JISHU



航天 测试技术

刘向阳 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

航天测试技术

刘向阳 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书是一本系统介绍测试技术及其在航天科技应用的专业教材。本书吸取了作者十余年的教学经验和科研成果,在编写过程中注重测试技术基本概念论述及其工程应用需求,突出体现了测试在航天领域的应用情况,较为全面地反映了航天试验技术概况。

全书内容共分为三部分。第一部分是测试的数学基础和软件,介绍测试基础知识、测试装置基本特性以及测试数据的获得与处理技术;第二部分是测试的物理原理和常用硬件设备,介绍常用传感器及其测量电路和信号的变换、显示和记录等原理及仪器;第三部分是测试技术应用,重点介绍常用工程参量测试、现代测试技术、试验技术基础以及航天试验技术。

本书可作为航天类专业及相近专业本科生的测试技术课程教材,也可供航天类专业研究生及航天科技工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

航天测试技术/刘向阳编著. —北京:国防工业出版社,
2013. 11

ISBN 978-7-118-09075-8

I. ①航... II. ①刘... III. ①航天器—测试技术
IV. ①V41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 250015 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 16 字数 360 千字

2013 年 11 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 48.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717

前 言

航天科学技术是 20 世纪人类认识和改造自然进程中最活跃、最有影响的科技领域。鉴于航天工程是一项耗资巨大、极其复杂的系统工程,航天试验在航天工程中占有举足轻重的地位。航天试验装置已从最初简单的机械式仪表发展成为今天集机械、电子、软件为一体,具有自动化、智能化、高精度和高可靠性等特点的复杂系统。航天测试技术贯穿于整个航天产品预研、研制、试制、生产和使用等过程,是试验验证航天产品性能和可靠性的重要基础。因此,航天测试技术是航天从业人员必须掌握的基本知识,也是航天类专业的专业基础课程之一。

作者在多年的航天类专业测试技术教学中发现,现有的测试技术教材很难满足航天类专业测试技术课程的教学需要。国内目前公开出版的此类书籍大致可分为两类。一类是通用的测试技术教材,一般名为机械工程测试技术、机械工程测试技术基础、机械工程测量与试验技术、非电量测量技术基础或者检测技术等。其优点是全面介绍了测试的基础理论和方法,但没有突出航天测试的需求和特色。另一类是由航天领域资深专家组织编写的部分专著。其优点在于较好地总结概括了航天某一领域的试验技术,但对航天领域整体把握不够全面并且与基础理论衔接不好。针对这两类教材的不足,本书在全面介绍测试基础理论和方法的同时突出了航天领域的应用背景和试验需求,有助于学生了解所学专业的测试需求和提高应用测试理论解决实际问题的能力。

全书内容分为三部分。第一部分是测试技术的数学基础和软件,介绍测试基础知识、测试装置的基本特性以及测试数据的获得与处理技术;第二部分是测试技术的物理原理和常用硬件设备,介绍常用传感器及其测量电路和信号的变换、显示和记录等原理及仪器;第三部分是测试技术的应用,重点介绍常用工程参量的测试、现代测试技术、试验技术基础以及航天试验技术。

本书是作者在多年从事航天类专业测试技术课程教学和科研实践的基础上,参阅部分其他院校和科研单位出版的教材和资料编写完成的。在此,对引用文献的作者致以谢意。

北京理工大学王宁飞教授、周生国教授、李世义教授和张训文副教授审阅了本书的全

部书稿,提出许多建设性意见;航天五院航天器测试中心王华茂研究员和 91550 部队卢长海工程师对本书的第 9 章进行了审阅,并提出了很好的修改意见。在此,对参与审稿的教授和专家表示衷心的感谢。

本书在编写和出版过程中得到了北京理工大学和国防工业出版社的大力支持和帮助。本书是北京理工大学“十二五”规划教材,在出版过程中获得了北京理工大学专项经费支持。此外,研究生杨磊、王司宇、周东谟和赵洋等参与了本书的排版、绘图、录入以及校对等工作。在此对以上单位和个人一并表示衷心的感谢。

由于本人水平有限,书中难免存在错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编著者

目 录

第 0 章 绪论	1
第 1 章 测试的基础知识	4
1.1 测量的基本概念	4
1.1.1 法定计量单位	4
1.1.2 计量相关概念	4
1.1.3 测量方法	5
1.1.4 与测试装置相关的术语	5
1.2 测量误差与不确定度	6
1.2.1 误差基本概念	6
1.2.2 测量不确定度评定	7
1.3 测试信号描述	11
1.3.1 测试信号分类	11
1.3.2 傅里叶变换	13
1.3.3 标准信号频谱及其应用	16
1.4 测试数据拟合	19
1.4.1 测试数据表示方法	19
1.4.2 测试数据线性拟合	20
1.4.3 可转换为线性方程的非线性拟合	21
1.4.4 通用非线性拟合	21
第 2 章 测试装置的基本特性	24
2.1 测试装置的数学模型	24
2.1.1 测试装置的输入输出关系	24
2.1.2 线性系统	24
2.1.3 测试装置特性	25
2.2 测试装置的静态特性	26
2.2.1 灵敏度	26
2.2.2 线性度	26
2.2.3 回差	27
2.2.4 重复性	27
2.2.5 其他指标	27

2.3	传感器静态特性指标计算方法	28
2.3.1	传感器静态校准数据	28
2.3.2	单项静态特性指标计算方法	28
2.3.3	综合性能指标计算方法	29
2.3.4	计算实例	30
2.4	测试装置的动态特性描述	31
2.4.1	传递函数	32
2.4.2	频率响应函数	32
2.4.3	脉冲响应函数	33
2.4.4	阶跃响应函数	34
2.5	测试装置的动态特性分析	35
2.5.1	无失真测试	35
2.5.2	测试环节组合特性	36
2.5.3	一阶系统	38
2.5.4	二阶系统	40
2.5.5	测试装置动态特性获得	42
2.6	测试信号数字化过程分析	44
2.6.1	数据采集系统	44
2.6.2	AD转换器特性	45
2.6.3	采样保持器特性	45
2.7	测试过程干扰分析	47
2.7.1	测试装置的干扰模型	47
2.7.2	干扰对测试装置特性的影响	48
2.7.3	常见的抑制干扰方法	49
2.8	测试装置的动态非线性	50
2.8.1	动态非线性问题的提出	50
2.8.2	动态非线性研究关注的问题	52
2.8.3	常见的动态非线性模型	52
2.8.4	动态非线性判定方法	54
第3章	传感器原理与测量电路	57
3.1	传感器概述	57
3.1.1	传感器组成	57
3.1.2	传感器命名	57
3.1.3	传感器分类	58
3.2	电阻应变式传感器	59
3.2.1	电阻应变片工作原理	59
3.2.2	电阻应变片应用	61
3.2.3	测量电路	62

3.2.4	电阻应变仪	65
3.2.5	压阻式传感器	66
3.2.6	电阻应变式传感器特点	67
3.3	电感式传感器	67
3.3.1	自感式传感器	67
3.3.2	互感式传感器	70
3.3.3	电涡流式传感器	71
3.3.4	电感式传感器特点	71
3.4	电容式传感器	72
3.4.1	电容式传感器工作原理	72
3.4.2	测量电路	73
3.4.3	电容式传感器特点	73
3.5	压电式传感器	74
3.5.1	压电效应	74
3.5.2	压电材料	76
3.5.3	等效电路和测量电路	76
3.5.4	使用时应注意的问题	78
3.5.5	IEPE 压电式传感器	79
3.5.6	特点	79
3.6	热电式传感器	80
3.6.1	热电偶的工作原理	80
3.6.2	热电偶材料与结构	82
3.6.3	热电偶冷端处理方法与测量仪器	84
3.6.4	热电阻	86
3.6.5	热敏电阻	87
3.7	半导体传感器	87
3.7.1	光敏式传感器	88
3.7.2	磁敏式传感器	89
3.7.3	气敏式传感器	91
3.7.4	湿敏式传感器	92
3.8	各种波的应用	92
3.8.1	概述	92
3.8.2	辐射测温原理	94
3.8.3	红外应用	96
3.8.4	激光应用	98
3.8.5	微波应用	99
3.8.6	超声波应用	101
3.8.7	射线应用	102
3.9	传感器发展趋势	103

3.9.1	传感器发展趋势	103
3.9.2	ST-3000 智能变送器	104
第4章	信号变换、记录与显示	107
4.1	信号变换器	107
4.1.1	电桥电路	107
4.1.2	放大器	108
4.1.3	滤波器	108
4.1.4	调制与解调	111
4.1.5	信号输出	113
4.2	数据采集模块	114
4.2.1	模拟量数据采集原理	114
4.2.2	测试总线	115
4.2.3	数据采集卡介绍	116
4.3	记录与显示仪器	118
4.3.1	笔式记录仪	119
4.3.2	智能数显表	119
4.3.3	动态测试分析仪	120
4.3.4	数字存储示波器	121
4.3.5	虚拟仪器	123
第5章	测试数据获得与处理	124
5.1	测试数据获得	124
5.1.1	采集卡软件安装及注册	124
5.1.2	数据采集程序设计	126
5.1.3	数据采集程序调试	127
5.2	常用测试数据处理方法	127
5.2.1	常见信噪分离方法	128
5.2.2	标定数据代入	129
5.2.3	测试数据综合	129
5.2.4	数据分析	130
5.3	离散傅里叶变换与谱分析	130
5.3.1	离散傅里叶变换及其快速算法	130
5.3.2	截断效应与窗函数	131
5.3.3	频域采样	132
5.3.4	功率谱分析	132
5.3.5	现代信号分析方法	133
5.4	数字滤波	133
5.4.1	数字滤波原理	133

5.4.2	数字滤波器设计	134
5.4.3	测试装置动态特性补偿	134
5.4.4	现代滤波技术	135
5.5	常用数据处理软件	135
5.5.1	Excel	135
5.5.2	Origin	136
5.5.3	MATLAB	136
5.6	虚拟仪器技术	137
5.6.1	虚拟仪器含义及组成	137
5.6.2	虚拟仪器软件	138
5.6.3	基于LabVIEW的虚拟仪器设计举例	139
第6章	常用工程参量测试	142
6.1	压力测试	142
6.1.1	压力测试概述	142
6.1.2	常用测压传感器	143
6.1.3	真空度测试	146
6.1.4	动态压力校准设备	149
6.1.5	压力测试特殊问题	150
6.2	力的测试	151
6.2.1	测力概述	151
6.2.2	常用测力传感器	153
6.2.3	动态力校准装置	154
6.2.4	推力台	156
6.2.5	多分力测试	157
6.2.6	微推力测试	159
6.3	运动参数测试	161
6.3.1	概述	161
6.3.2	位移测试	162
6.3.3	速度测试	164
6.3.4	常用加速度传感器	166
6.3.5	振动测试及激振试验	167
6.3.6	加速度传感器校准	168
6.3.7	加速度测试特殊问题	170
6.4	温度测试	171
6.4.1	概述	171
6.4.2	温度测试方法	172
6.4.3	温度传感器校验	173
6.4.4	热电偶测温	174

第7章 现代测试技术	179
7.1 粒子图像测速.....	179
7.1.1 概述.....	179
7.1.2 工作原理及仪器组成.....	180
7.1.3 数据处理方法.....	181
7.1.4 应用及发展趋势.....	181
7.2 拉曼散射及其应用.....	182
7.2.1 基础知识.....	182
7.2.2 温度测试.....	184
7.2.3 微尺度应力场测试.....	185
7.3 朗缪尔探针.....	186
7.3.1 等离子体及相关概念.....	186
7.3.2 单探针测试原理.....	188
7.3.3 多探针及其测试原理.....	189
7.3.4 测试误差及应用场合.....	191
第8章 试验技术基础	192
8.1 概述.....	192
8.1.1 试验需求分析.....	193
8.1.2 试验系统设计.....	194
8.1.3 试验系统调试.....	195
8.2 测试仪器选用原则.....	196
8.2.1 传感器选用原则.....	196
8.2.2 信号变换器选用原则.....	197
8.2.3 显示记录仪器选用原则.....	197
8.3 电磁干扰及其抑制.....	198
8.3.1 电磁干扰.....	199
8.3.2 抑制电磁干扰的基本方法.....	201
8.3.3 抑制电磁干扰的基本措施.....	202
8.3.4 电缆选择与使用.....	204
8.4 试验系统设计举例.....	205
8.4.1 导弹摆差试验.....	205
8.4.2 燃气温度试验.....	206
8.4.3 燃气调压降温机构性能试验.....	207
第9章 航天试验技术	209
9.1 常见的航天试验项目.....	209
9.1.1 概述.....	209

9.1.2	分系统性能试验	210
9.1.3	环境适应性试验	210
9.1.4	综合测试	211
9.1.5	飞行试验与航天测控系统	212
9.2	航天器轨道测量	213
9.2.1	概述	213
9.2.2	跟踪测轨系统	214
9.2.3	距离测量	214
9.2.4	速度测量	215
9.2.5	角度测量	215
9.2.6	GPS 测轨系统	216
9.3	航天器姿态确定	218
9.3.1	概述	218
9.3.2	姿态敏感器	219
9.3.3	姿态确定方法	221
9.3.4	GPS 定姿	222
9.4	遥测与统一载波测控系统	223
9.4.1	概述	223
9.4.2	遥测系统组成及分类	224
9.4.3	PCM 遥测系统	225
9.4.4	统一载波测控系统	226
9.5	空间环境模拟试验	227
9.5.1	概述	227
9.5.2	空间真空环境模拟	228
9.5.3	冷黑环境模拟	229
9.5.4	太阳辐照环境模拟	229
9.5.5	真空热环境试验及试验设备	229
9.5.6	火箭发动机空间环境试验	231
9.6	综合测试	231
9.6.1	概述	231
9.6.2	分类	232
9.6.3	系统组成与测试流程	233
9.6.4	各研制阶段测试内容	234
附录		236
参考文献		242

第0章 绪 论

1. 测试技术的作用

测试是测量和试验的统称,其基本任务是获取有用的信息并将其提供给观察者或者输入到其他信息处理装置和控制系统等。

测试技术是人类认识客观世界的重要手段,也是科学研究的基本方法。随着人类对客观世界认识的不断深入,人类依赖自身有限的感觉器官(如眼、耳、鼻等)所获取的信息参量和定性结论已远不足以应对科学技术发展的需要。测试技术是对人类感官系统的有效延伸和深化,可以帮助人们获得更为有效、准确、全面的信息。大量先进、精密的测试仪器与设备的诞生和使用大大加速了人类认识客观世界的步伐。

测试技术在工程技术领域也得到了广泛的应用。工程研究、产品开发、生产过程监控和性能试验等都离不开测试技术。现代工业产品的典型特征是可控性和智能化。测试装置是控制系统的重要组成部分,也是智能中心赖以获取信息的唯一途径。随着自动控制技术的不断应用和工业产品的高度智能化,测试技术已渗透到人们生活的方方面面。家用电器、汽车和消费电子产品中都程度不同地使用了测试技术。

2. 测试装置的一般组成

实现测试功能的设备集合被称为测试装置或测试系统。测试装置具备的基本功能是敏感被测物理量的变化、将其变换或者放大并显示给观察者。图0-1所示的水银温度计即是简单的测试装置。水银具有热导率大、比热容小、膨胀系数均匀、体积随着温度的变化呈直线关系等特点。水银温度计测温时,水银球会敏感被测对象温度变化使水银体积发生变化。温度计内的玻璃毛细管被设计得很细,以将水银球体积的微小变化放大成水银液位变化。温度计上的刻度则有助于观察者读数。水银温度计是一种结构简单、使用方便、测量较准确并且测量范围大的温度计,也是传统的机械式测试装置的典型代表,至今仍然在日常生活中得到应用。

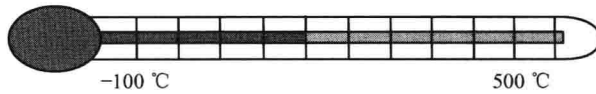


图0-1 简单的测试装置

对现代工业生产和科学研究,传统的机械式测试装置存在很大的局限性。这些测试装置要求观察者必须到现场观测,并且只能测量随时间变化缓慢或者不变的参量,不能对测试结果进行记录和后续分析。因此,现代测试装置通常采用将测试参量变换成电量的方式实现,具体组成如图0-2所示。其中,传感器用于将被测对象的物理量变换成电阻、电压等电学参量,并由信号变换装置将其变换成幅值较为接近的同一电量(通常是电压),再一起送入显示、记录装置进行数据处理后将观察者所关心的结果直接显示出来以

及将测试数据记录保存以便进一步分析。由此可见,相对于传统的机械式测试装置,现代测试装置在基本的变换功能上并没有变化,但在信息的测量精度和传输处理方式有明显的提升。

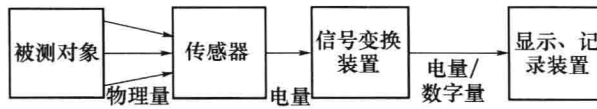


图 0-2 现代测试装置组成

3. 现代测试技术特点

随着物理学、电子学以及计算机等学科的迅猛发展,测试技术也得到了长足的发展。与传统的测试技术相比,现代测试技术具有如下特点。

(1) 测量范围进一步拓宽。一方面,科学技术的发展对测量范围提出了更高的要求;另一方面,科学技术的发展也使测试技术满足这些要求成为了可能。例如,为满足超低温技术发展的要求,利用超导体的约瑟夫逊效应已开发出能测量 10^{-6} K 的超低温传感器。目前,电压范围可达 $10^{-9} \sim 10^6$ V,温度测量则可覆盖 $0 \sim 10^{10}$ °C。

(2) 传感器向新型、微型、智能型发展。传感器领域是一个对基础研究成果非常敏感的领域。新研究成果的出现往往就意味着新型传感器的诞生。此外,为降低成本和便于使用,传感器也充分吸收了微电子和计算机领域的最新研究成果,向微型和智能型方向高速发展。基于微机电系统(MEMS)的微制造技术已成为传感器制造的重要手段。

(3) 测量仪器向高精度、多功能和集成化方向发展。随着技术的发展,现代测试装置的测量精度越来越高。例如,人体测温精度就已经由过去的 $\pm 0.1 \sim \pm 1$ °C 发展到 ± 0.01 °C,从而能够反映人体温度的细微变化。现代测试装置也已不再完全是由图 0-2 所示的三部分组成。目前,已出现了能够同时测量压力、温度等多个参数以用于计算和修正气体流量测量结果的智能流量计以及具有信号感测、放大和变换等功能的压力变送器等新型测量仪器。

(4) 参数测量与数据处理向自动化和网络化方向发展。现代工程研究需要测量大量的参数并进行复杂的数据处理,仅靠人工手动控制已经无法实现。计算机技术的发展为测试技术满足这一需求提供了可能,虚拟仪器(Virtual Instrumentation, VI) 等新的技术手段也应运而生,并且逐渐发展成为现代测试技术的主流。虚拟仪器技术的基本思想是利用计算机强大的软件资源,使本来需要使用硬件实现的功能能够用软件实现,打破了传统测量仪器由厂家定义而用户无法改变的模式,为测试领域注入了新的活力。同时,随着通信和网络技术的发展,传感器网络、远程测试以及分布式测试系统等新的测试模式也在不断涌现。

4. 测试技术在航天领域中的应用

航天科学技术是 20 世纪人类认识和改造自然进程中最活跃、最有影响的科技领域,是国家科技实力的体现,也是高科技的象征。

测试技术在航天领域占有重要的地位,并且得到了广泛的应用。首先,航天工程是一项耗资巨大、极其复杂的系统工程,航天地面试验在航天产品(包括火箭、导弹以及卫星等)研制中占有举足轻重的地位,而测试技术则是开展航天试验的重要技术基础。航天

测试技术贯穿于整个航天产品预研、研制、试制和生产等过程,是试验验证航天产品性能和可靠性的重要基础。航天试验装置已从最初简单的机械式仪表发展成为今天集机械、电子、软件为一体,具有自动化、智能化、高精度、高分辨率、高可靠性等特点的复杂系统。其次,航天产品自身的特点决定了航天测试不同于其他领域的测试。航天产品与地面基地距离遥远;航天产品运行时需要在线实时进行航天产品的轨道、姿态以及其他状态参数的测试;航天产品所处的空间环境与地面环境有很大不同,并且在发射与返回的阶段还要经受严酷而恶劣的动力学环境考验。这些特点决定了航天测试的独特性。例如,航天产品运行中的测试数据传输必须采用遥测技术方能实现。最后,人类在航天探索中总会碰到一些前所未有的、采用现有技术手段无法解决的测试问题。航天测试要求航天从业人员对新技术较为敏感,具有很强的学习和创新能力,能够利用新的科技成果创造性地解决研究中所需要的问题。事实上,很多测试的新技术都是首先在航天领域得到应用,待到逐渐成熟才在民用领域得到大范围应用。

5. 本书主要内容

本书内容可以概括为数学、物理和应用层 3 个层次。

数学层采用信号、系统等数学方法和理论分析测试装置基本特性、信号的变换及其处理等问题,内容为第 1 章、第 2 章和第 5 章。第 1 章介绍测试基本知识,包括测量基本概念、测量误差与不确定度、测试信号描述以及测试数据拟合等内容。第 2 章介绍测试装置的基本特性,主要内容为测试装置的数学模型、静态特性及其指标计算方法、动态特性和抗干扰技术等。第 5 章介绍测试数据的获得与处理,内容包括测试数据获得、测试数据处理方法和虚拟仪器技术。

物理层关注测试装置及仪器的物理实现原理及常用仪器设备,内容为第 3 章和第 4 章。第 3 章介绍各种常用传感器的工作原理与测量电路。第 4 章介绍信号的变换、显示与记录原理及常用的仪器设备。

应用层着眼于应用测试知识和理论解决实际问题的能力培养,内容为第 6 章~第 9 章。第 6 章介绍压力、力、运动参数以及温度等常用参量测试方法、常用传感器、校准设备以及实际应用中应注意的特殊问题。第 7 章介绍几种现代测试技术及其应用,包括粒子图像测速、拉曼散射以及朗缪尔探针等,目的在于开阔视野。第 8 章介绍试验技术基础,内容包括试验系统研制过程、测试仪器的选用原则、电磁干扰及其抑制方法和试验系统设计举例。第 9 章在对航天常用试验项目简要介绍后对航天产品轨道测量、姿态确定、遥测技术以及空间环境模拟、综合测试进行了详细讲述。

第1章 测试的基础知识

1.1 测量的基本概念

测试是具有试验性质的测量,而测量是确定被测对象的量值的过程。所谓量是指现象、物体或者物质可定性区别和定量确定的一种属性。不同类的量彼此可以定性区别,而同类的量之间是以量值大小来区别的。

测量过程必须具备的四要素分别为被测对象、计量单位、测量方法和测量误差。对任一测量过程,都必须首先确定具体的被测对象;用来表示测量结果的量值则只有用数值和计量单位的乘积表示方有意义;在测量过程中,必须具有明确的、可实现的测量方法;鉴于任何测量结果都不可能是完全准确的,因此,必须对测量过程中的测量误差进行评估。

1.1.1 法定计量单位

法定计量单位是强制性的,各行业、各组织都必须遵照执行。我国的法定计量单位是以国际单位制为基础并选用少数其他单位制的计量单位来组成的。

法定计量单位可分为基本单位、辅助单位和导出单位三类。

基本单位是根据国际单位制的7个相互独立的基本量(分别为长度、质量、时间、温度、电流、光强度和物质的量)确定的,分别为米(m)、千克(kg)、秒(s)、开尔文(K)、安(A)、坎(cd)、摩(mol)。

辅助单位包括平面角的单位——弧度(rad)和球面角的单位——球面度(sr)。

导出单位是指除基本单位、辅助单位以外的其他可根据基本单位和辅助单位所代表的物理量关系表示的各种单位。例如,力的国际单位N就是由kg、m、s等3种基本单位表示的导出单位。

1.1.2 计量相关概念

为了实现计量单位的统一和测量量值的准确可靠,必须对测量的仪器进行计量。

计量的基准是指用来保存、复现计量单位的计量器具。按照精度从高到低的顺序,计量的基准分为国家基准、副基准、工作基准。国家基准是指在特定计量领域内,用来保存和复现该领域计量单位并具有最高的计量特性,经国家鉴定、批准的计量器具。副基准是指通过与国家基准比对或校准来确定其量值,并经国家鉴定、批准的计量器具。工作基准是指通过与国家基准或副基准比对或者校准,用来检定计量标准的计量器具。其设立目的是为了减少频繁使用国家基准和副基准,以免它们丧失应有的计量特性。

计量标准是指用来对工作计量器具(即测试过程中的测量仪器)进行检定和校准的仪器或者器具,其精度低于计量基准,但容易实施和操作。

量值传递是指通过对计量器具实施检定或校准,将国家基准所复现的计量单位量值经过各级计量标准传递到工作计量器具,以保证被测对象量值的准确与统一。其中,检定是根据检定规程等类似法规对计量器具的计量性能进行较全面的评定,并作出合格与否的结论;校准则是针对示值给出校准值及其不确定度,而无需给出合格与否的结论。

对航天领域的产品研制、型号生产等任务中的测试过程,其所使用的计量器具检定是强制性的,必须在一定时间间隔期限内送到相关的计量部门进行检定。

1.1.3 测量方法

测量方法是指在实施测量中所涉及的一套理论运用与实际操作,其基本要素为测量原理和获得测量结果的方式。

按照测量值的获得方法,测量方法可分为直接测量、间接测量和组合测量。直接测量是指无需经过函数关系计算,直接通过测量仪器得到被测量的量值;间接测量是指在直接测量值的基础上根据已知的函数关系计算得到被测量的量值;组合测量是指被测量与测量量(通过直接测量或者间接测量获得)之间的数学关系是复杂的、隐式方程,需要根据测量量采取求解方程等复杂的数据处理方法得到被测量的量值。例如,温度计测水温属于直接测量,矩形面积测量属于间接测量,GPS定位属于组合测量。

按照测量条件不同,测量方法可分为等精度测量和不等精度测量。当测量过程中的仪器、环境、方法和测量人员都保持一致或者不变时,该过程称为等精度测量;否则,称为不等精度测量。

按照是否与测量对象机械接触,测量方法可分为接触式和非接触式。非接触式可避免传感器对被测对象的机械作用以及对其特性的影响。

1.1.4 与测试装置相关的术语

测试装置(也称测试系统)是指为了确定被测量值所需的器具和辅助设备的总体。常用的与测试装置相关的术语主要有以下几种。

(1) 测量变换器。提供与输入量有给定关系的输出量的测量器件。根据测量变换器的定义,传感器、信号变换器以及其组合均可视为测量变换器。

(2) 变送器。输出量为标准信号的测量变换器。工业上常用的标准信号为4~20mA电流信号和1~5V电压信号。

(3) 准确度等级。用来表示测量器具的等级和级别。每一等级的测量器具都有相应的计量要求,以保证其误差在规定范围以内。

(4) 标称范围。标称范围也称示值范围,即测量器具标尺范围所对应的被测量示值的范围。

(5) 测量范围。在允许的误差范围内,测量器具所能测量的被测量值的范围。通常情况下,测量范围与标称范围是一致的,但有时标称范围会大于测量范围。

(6) 量程。标称范围上下限之差的绝对值。

(7) 漂移。反映测量器具的计量特性随时间缓慢变化的程度。常见的漂移参数为零点漂移和灵敏度漂移。