



北京市高等教育精品教材立项项目

信号与测试技术

(第2版)

樊尚春 周浩敏 编著



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



北京市高等教育精品教材立项项目

信号与测试技术

(第2版)

樊尚春 周浩敏 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书介绍了连续时间信号分析、离散时间信号分析以及测试中几种信号检测与变换方法和技术;介绍了自动化检测系统中常用的电阻变换原理、电容变换原理、电磁变换原理、压电式测量原理和谐振式测量原理等;介绍了相对位移、运动速度、加速度、转速、振动、力、扭矩、压力、温度、流量等参数的测量系统;介绍了测试系统静态与动态基本特性与测试数据处理方法。

为便于读者学习与掌握本书的主要内容,在一些章节配有一定的实例分析;在每一章都配有习题与思考题。

本书可作为自动化、电气工程及其自动化、信息工程、测控技术与仪器、机械工程及自动化、机械电子工程等专业本科生的教科书或参考书,也可供相关专业的师生和有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

信号与测试技术 / 樊尚春, 周浩敏编著. -- 2 版

-- 北京 : 北京航空航天大学出版社, 2011. 4

ISBN 978 - 7 - 5124 - 0236 - 2

I. ①信… II. ①樊… ②周… III. ①信号分析②信号检测 IV. ①TN911.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 196491 号

版权所有,侵权必究。

信号与测试技术

(第 2 版)

樊尚春 周浩敏 编著

责任编辑 罗晓莉

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱: bhpress@263.net 邮购电话:(010)82316936

北京时代华都印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:25.25 字数:646 千字

2011 年 4 月第 2 版 2011 年 4 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 978 - 7 - 5124 - 0236 - 2 定价:42.00 元

前 言

本书是根据“十一五”北京市高等教育精品教材建设项目制定的教学大纲编写的,主要用于自动化、电气工程及其自动化、信息工程、测控技术与仪器、机械工程及自动化、机械电子工程等专业,作为本科生教材,同时也适用于其他相关专业参考。

测试是人们通过实验认识客观世界并取得对实验对象的定性或定量信息的一种基本方法,它在日常生活、科学研究、工农业生产、交通运输、医疗卫生及国防建设中发挥着基础性作用。测试技术的水平与发展状况充分反映了人类认识客观世界的能力与程度。

本教材以测试技术涵盖的主要经典内容为重点,且适当介绍测试技术发展过程中的新进展、新内容,以便于学生较为系统、全面地掌握测试技术。

本教材共分17章,其中第1~3章由周浩敏教授编著,其余由樊尚春教授编著,并由樊尚春教授统稿。

绪论介绍有关测试技术的基本概念、功能、研究的主要内容,构成测试系统的基本要求以及信号与测控技术的关系等。

第1章主要介绍信号分析与处理的基础知识,包括连续周期信号、连续非周期信号和抽样信号的傅里叶分析,即频谱分析,以建立信号频谱的基本概念,为离散信号的频谱分析奠定基础。

第2章介绍离散时间信号分析,包括序列傅里叶变换、离散傅里叶级数DFS、离散傅里叶变换DFT、快速傅里叶变换FFT及其应用,是本书的重点章节之一。同时对离散时间信号序列及其 z 变换进行了必要讨论。序列 z 变换为进一步讨论离散时间信号频谱分析奠定了数学基础。

第3章介绍测试中几种信号检测与变换方法和技术,包括信号的相关分析与检测,沃尔什变换,希尔伯特变换和主成分分析法。

第4章介绍变电阻测量原理,包括电位器、应变片、压敏电阻、热电阻等。在电位器中,介绍其基本构造、工作原理、特性;阶梯特性和阶梯误差、非线性电位器的特性及其实现;电位器的负载特性、负载误差以及改善措施等。在应变式变换原理部分,介绍金属电阻丝产生应变效应的机理;金属应变片的结构及应变效应,应变片的横向效应及减小横向效应的措施;电阻应变片的温度误差及补偿方法;并介绍电桥原理、差动原理及其应用特点等。在压阻式变换原理部分,介绍半导体材料产生压阻效应的机理、特点;单晶硅的压阻系数等。在热电阻变换原理部分,重点介绍金属热电阻和半导体热敏电阻的特性及应用特点。

第5和第6章分别对变电容器和变磁路测量原理进行讨论。介绍电容式和电感式变换元件的基本结构形式、特性、等效电路以及信号转换线路等。在变磁路测量原理中还特别对电涡流效应、霍尔效应进行介绍。

第7章介绍压电式测量原理。分析、讨论石英晶体、压电陶瓷、聚偏二氟乙烯等常用压电材料的压电效应，同时还介绍压电换能元件的等效电路及信号转换电路。

第8章介绍先进的谐振式测量原理。讨论谐振现象、谐振子的机械品质因数 Q 值、闭环自激系统基本结构及实现条件、敏感机理及特点、谐振式传感器的输出等。

第4~8章中介绍的是具有普遍意义的敏感机理和变换原理，这些属于测试技术中的基础内容。

第9~14章介绍在工业测量及控制过程中常用的一些参数，如相对位移、运动速度、转速、加速度、振动、力、转矩、压力、温度和流量等的检测系统，对上述各种参数常用的测试系统的实现方式、组成、工作原理等进行分析与讨论。考虑到同一个被测参数，可以采用多种不同的敏感机理、测量方式、系统结构来实现测试系统，因此，特别对它们的不同之处进行论述。另外，还特别介绍一些测量原理与第4~8章介绍的敏感原理不同的典型测试系统，如激光位移测量系统、光栅位移测量系统、激光测速系统、伺服式加速度测量系统、机械式力平衡装置、活塞压力计、位置反馈式压力测量系统、力反馈式压力测量系统、热电偶测温系统、全辐射测温系统、亮度式测温系统、比色测温系统、半导体 $P-N$ 结测温系统、涡轮流量计、漩涡流量计、热式质量流量计等。第9~14章的内容是本教材的重点内容。

第15和第16章则重点介绍测试系统的静、动态特性的描述与数据处理。包括测试系统特性的一般描述方式；典型静、动态测试数据的获取过程；典型数据处理过程，即利用实际数据计算、分析、评估测试系统自身的静、动态特性等；这些也属于测试技术内容中重要的基础部分。

在编写过程中，作者结合多年来在教学工作中积累的经验与科研工作中取得的研究结果，同时参考、引用了许多专家学者的论著和教材，在此一并表示衷心感谢。

测试技术内容广泛且发展迅速，由于编者学识、水平有限，教材中的错误与不妥之处，敬请读者批评指正。

作者
2010年8月

目 录

第 0 章 绪 论	1
0.1 引 言	1
0.2 测试技术的功能	2
0.3 测试技术研究的主要内容	2
0.3.1 测量原理	2
0.3.2 测量方法	3
0.3.3 测量系统	3
0.3.4 数据处理	5
0.4 信号与测控技术	5
习题与思考题	6
第 1 章 信号分析与处理基础	7
1.1 信号分析和处理概述	7
1.1.1 信息和信号	7
1.1.2 信号分析、信号处理	10
1.1.3 基本的连续信号	13
1.2 连续信号的时域分析	19
1.2.1 连续信号的时域分解	19
1.2.2 卷积法求线性非移变系统零状态响应	20
1.3 周期信号的频谱分析——傅里叶级数	20
1.3.1 三角函数形式的傅里叶级数	21
1.3.2 指数形式的傅里叶级数	23
1.3.3 周期信号的功率谱	28
1.4 非周期信号频谱分析——傅里叶变换	30
1.4.1 傅里叶变换	30
1.4.2 典型非周期信号的频谱	32
1.4.3 傅里叶变换的性质	36
1.5 周期信号的傅里叶变换	42
1.5.1 复指数、正弦、余弦信号的傅里叶变换	42
1.5.2 一般周期信号的傅里叶变换	43
1.5.3 周期信号与单周期脉冲信号频谱间的关系	44
1.6 能量谱	45
1.7 抽样信号的傅里叶变换	47

1.7.1 时域抽样	48
1.7.2 抽样定理	50
习题与思考题	53
第2章 离散时间信号分析	55
2.1 离散时间信号——序列及其 z 变换	55
2.1.1 序列	55
2.1.2 基本序列	56
2.1.3 序列 z 变换的定义	60
2.1.4 z 变换的收敛域	62
2.1.5 z 变换的性质	66
2.1.6 z 反变换	68
2.2 序列的傅里叶变换	70
2.3 离散傅里叶级数(DFS)	72
2.3.1 傅里叶变换在时域和频域中的对偶规律	72
2.3.2 离散傅里叶级数 DFS	73
2.4 离散傅里叶变换(DFT)	77
2.4.1 离散傅里叶变换(DFT)定义式	77
2.4.2 离散傅里叶变换与序列傅里叶变换的关系	79
2.4.3 离散傅里叶变换的性质	80
2.5 快速傅里叶变换(FFT)	82
2.5.1 DFT 直接运算的问题和改进思路	82
2.5.2 基2按时间抽取的FFT算法(时析型)	83
2.5.3 IDFT的快速算法(IFFT)	88
2.6 离散傅里叶变换的应用	89
2.6.1 用FFT实现快速卷积	90
2.6.2 连续时间信号的数字谱分析	93
2.6.3 FFT在动态测试数据处理中的应用	97
2.7 二维傅里叶变换	102
2.7.1 二维傅里叶级数	102
2.7.2 二维傅里叶变换	102
习题与思考题	108
第3章 测试中几种重要的信号检测和变换方法和技术	109
3.1 信号的相关分析与检测	109
3.1.1 信号的相关函数	109
3.1.2 信号的相关检测技术	114
3.1.3 相关检测在硅谐振式微传感器动力学特性检测中的应用	115
3.2 沃尔什变换	119

3.2.1 沃尔什函数	119
3.2.2 沃尔什函数的性质	120
3.2.3 沃尔什级数	122
3.2.4 离散沃尔什函数	123
3.2.5 沃尔什变换	126
3.2.6 快速沃尔什变换	128
3.3 希尔伯特变换	132
3.3.1 希尔伯特变换定义	132
3.3.2 希尔伯特—黄变换	136
3.4 主成分分析法	141
3.4.1 主成分分析法	141
3.4.2 确定主成分的方法和步骤	145
习题与思考题	146
第4章 变电阻测量原理	147
4.1 电位器原理	147
4.1.1 基本构造及工作原理	147
4.1.2 线绕式电位器的特性	148
4.1.3 非线性电位器	149
4.1.4 电位器的负载特性及负载误差	151
4.1.5 非线性绕式电位器	154
4.2 应变式变换原理	154
4.2.1 金属电阻的应变效应	154
4.2.2 金属应变片的结构及应变效应	155
4.2.3 横向效应及横向灵敏度	156
4.2.4 电阻应变片的种类	157
4.2.5 电阻应变片的温度误差及补偿方法	158
4.2.6 电桥原理	161
4.3 压阻式变换原理	165
4.3.1 半导体材料的压阻效应	165
4.3.2 单晶硅的晶向、晶面的表示	166
4.3.3 压阻系数	167
4.4 热电阻变换原理	169
4.4.1 热电阻	169
4.4.2 金属热电阻	170
4.4.3 半导体热敏电阻	172
习题与思考题	173

第5章 变电容测量原理	176
5.1 基本电容式敏感元件	176
5.2 电容式敏感元件的主要特性	177
5.2.1 变间隙电容式敏感元件	177
5.2.2 变面积电容式敏感元件	178
5.2.3 变介电常数电容式敏感元件	179
5.2.4 电容式敏感元件的等效电路	180
5.3 电容式变换元件的信号转换电路	180
5.3.1 运算放大器式电路	180
5.3.2 交流不平衡电桥	181
5.3.3 变压器式电桥线路	181
5.3.4 二极管电路	182
5.3.5 差动脉冲调宽电路	184
习题与思考题.....	186
第6章 变磁路测量原理	187
6.1 电感式变换原理	187
6.1.1 简单电感式原理	187
6.1.2 差动电感式变换元件	191
6.2 差动变压器式变换元件	192
6.2.1 磁路分析	192
6.2.2 电路分析	194
6.3 电涡流式变换原理	195
6.3.1 电涡流效应	195
6.3.2 等效电路分析	195
6.3.3 信号转换电路	196
6.4 霍尔效应及元件	198
6.4.1 霍尔效应	198
6.4.2 霍尔元件	199
习题与思考题.....	199
第7章 压电式测量原理	200
7.1 石英晶体	200
7.1.1 石英晶体的压电机理	200
7.1.2 石英晶体的压电常数	202
7.1.3 石英晶体几何切型的分类	204
7.1.4 石英晶体的性能	204
7.2 压电陶瓷	205

7.2.1 压电陶瓷的压电机理	205
7.2.2 压电陶瓷的压电常数	205
7.2.3 常用压电陶瓷	206
7.3 聚偏二氟乙烯(PVF ₂)	206
7.4 压电换能元件的等效电路	207
7.5 压电换能元件的信号转换电路	208
7.5.1 电荷放大器与电压放大器	208
7.5.2 压电元件的并联与串联	209
习题与思考题	210
第 8 章 谐振式测量原理	211
8.1 谐振状态及其评估	211
8.1.1 谐振现象	211
8.1.2 谐振子的机械品质因数 Q 值	213
8.2 闭环自激系统的实现	214
8.2.1 基本结构	214
8.2.2 闭环系统的实现条件	214
8.3 敏感机理及特点	215
8.3.1 敏感机理	215
8.3.2 谐振式测量原理的特点	216
8.4 频率输出谐振式传感器的测量方法比较	216
习题与思考题	217
第 9 章 相对位移测量系统	218
9.1 概 述	218
9.2 相对位移测量装置的标定	218
9.3 激光位移测量装置	219
9.3.1 光干涉原理	219
9.3.2 激光干涉仪	220
9.4 光栅位移测量系统	221
9.4.1 光栅的结构和分类	221
9.4.2 莫尔条纹	222
9.4.3 辨向和细分电路	223
9.5 感应同步器系统	225
9.5.1 感应同步器的结构与分类	225
9.5.2 感应同步器的工作原理	226
9.5.3 信号的处理方式和电路	227
习题与思考题	230

第 10 章 运动速度、转速、加速度和振动测量系统	233
10.1 运动速度测量	233
10.1.1 微积分电路法	233
10.1.2 平均速度测量法	233
10.1.3 磁电感应式测速度法	235
10.1.4 激光测速法	235
10.2 转速测量	236
10.2.1 测速发电机	236
10.2.2 频率量输出的转速测量系统	237
10.3 加速度测量	241
10.3.1 理论基础	241
10.3.2 位移式加速度传感器	244
10.3.3 应变式加速度传感器	245
10.3.4 压电式加速度传感器	246
10.3.5 伺服式加速度测量系统	249
10.4 振动测量	252
10.4.1 振动位移(振幅)测量	252
10.4.2 振动速度测量	254
10.4.3 振动测量系统的组成	255
习题与思考题	255
第 11 章 力、转矩测量系统	257
11.1 力的测量	257
11.1.1 机械式力平衡装置	258
11.1.2 磁电式力平衡装置	258
11.1.3 液压式测力系统	258
11.1.4 气压式测力系统	259
11.1.5 位移式测力系统	259
11.1.6 应变式测力系统	260
11.1.7 压电式测力传感器	265
11.1.8 压磁式测力传感器	265
11.2 转轴转矩测量	266
11.2.1 电阻应变式转矩传感器	267
11.2.2 压磁式转矩传感器	267
11.2.3 扭转角式转矩传感器	268
习题与思考题	269

第 12 章 压力测量系统	270
12.1 概 述	270
12.1.1 压力的概念	270
12.1.2 压力的单位	270
12.1.3 压力测量系统的分类	271
12.2 液柱式压力计和活塞式压力计	272
12.2.1 液柱式压力计	272
12.2.2 活塞式压力计	273
12.3 开环压力测量系统	274
12.3.1 机械式压力表	274
12.3.2 电位计式压力传感器	275
12.3.3 应变式压力传感器	275
12.3.4 压阻式压力传感器	278
12.3.5 电容式压力传感器	281
12.3.6 压电式压力传感器	282
12.3.7 变磁阻式压力传感器	283
12.4 伺服式压力测量系统	284
12.4.1 位置反馈式压力测量系统	284
12.4.2 力反馈式压力测量系统	287
12.5 谐振式压力传感器	290
12.5.1 谐振弦式压力传感器	290
12.5.2 振动筒式压力传感器	292
12.5.3 谐振膜式压力传感器	295
12.5.4 石英谐振梁式压力传感器	295
12.5.5 硅谐振式压力微传感器	297
12.6 动态压力测量时的管道和容腔效应	300
12.6.1 管道和容腔的无阻尼自振频率	301
12.6.2 管道和容腔存在阻尼时的频率特性	301
12.7 压力测量装置的静、动态标定	303
12.7.1 压力测量装置的静态标定	303
12.7.2 压力测量装置的动态标定	304
习题与思考题	305
第 13 章 温度测量系统	307
13.1 概 述	307
13.1.1 温度的概念	307
13.1.2 温 标	307
13.1.3 温度标准的传递	308

13.1.4	温度计的标定与校正	308
13.1.5	测温方法与测温仪器的分类	309
13.2	热电偶测温	309
13.2.1	热电效应	310
13.2.2	热电偶的工作机理	311
13.2.3	热电偶的基本定律	312
13.2.4	热电偶的误差及补偿	313
13.2.5	热电偶的组成、分类及特点	316
13.3	热电阻电桥测温系统	317
13.3.1	平衡电桥电路	317
13.3.2	不平衡电桥电路	318
13.3.3	自动平衡电桥电路	318
13.4	非接触式温度测量系统	319
13.4.1	全辐射测温系统	319
13.4.2	亮度式测温系统	320
13.4.3	比色测温系统	320
13.5	半导体 P-N 结测温系统	322
	习题与思考题	323
第 14 章	流量测量系统	325
14.1	概述	325
14.2	流体力学的基本知识	326
14.2.1	流体的主要物理性质	326
14.2.2	雷诺数	327
14.2.3	流体流动的连续性方程	327
14.2.4	伯努利方程	327
14.3	转子流量计	329
14.3.1	工作原理	329
14.3.2	流量方程式	329
14.3.3	转子流量计的特点	330
14.4	节流式流量计	331
14.4.1	工作原理	331
14.4.2	流量方程式	331
14.4.3	取压方式	333
14.4.4	节流式流量计的特点	334
14.5	靶式流量计	334
14.5.1	工作原理	334
14.5.2	流量方程式	334
14.5.3	靶式流量计的特点	335

14.6	涡轮流量计	335
14.6.1	工作原理	335
14.6.2	流量方程式	336
14.6.3	涡轮流量计的特点	337
14.7	电磁流量计	337
14.7.1	工作原理	337
14.7.2	电磁流量计的结构特点	338
14.7.3	电磁流量计的特点	339
14.8	漩涡流量计	339
14.8.1	卡门涡街式漩涡流量计	339
14.8.2	旋进式漩涡流量计	340
14.9	超声波流量计	340
14.10	质量流量的间接测量	342
14.10.1	体积流量计加密度计	342
14.10.2	体积流量计加温度压力补偿	342
14.11	热式质量流量计	343
14.11.1	工作原理	343
14.11.2	热式质量流量计的特点	344
14.12	谐振式科里奥利直接质量流量计	344
14.12.1	工作原理	344
14.12.2	信号检测电路	347
14.12.3	分类与应用特点	348
14.13	流量标准与标定	350
	习题与思考题	351
第 15 章	测试系统的静态特性与数据处理	352
15.1	测试系统的静态特性一般描述	352
15.2	测试系统的静态标定	352
15.2.1	静态标定条件	352
15.2.2	测试系统的静态特性	353
15.3	测试系统的主要静态性能指标及其计算	354
15.3.1	测量范围	354
15.3.2	静态灵敏度	354
15.3.3	分辨力与分辨率	355
15.3.4	时漂与温漂	355
15.3.5	线性度	356
15.3.6	符合度	358
15.3.7	迟滞	358
15.3.8	非线性迟滞	358

15.3.9 重复性	359
15.3.10 综合误差	360
15.3.11 计算实例	362
习题与思考题	364
第16章 测试系统的动态特性与数据处理	366
16.1 概述	366
16.2 测试系统动态特性方程	366
16.2.1 微分方程	366
16.2.2 传递函数	367
16.2.3 状态方程	368
16.3 测试系统动态响应及动态性能指标	368
16.3.1 测试系统时域动态性能指标	369
16.3.2 测试系统频域动态性能指标	374
16.4 测试系统动态特性测试与动态模型建立	379
16.4.1 测试系统动态标定	379
16.4.2 由实验阶跃响应曲线获取系统的传递函数的回归分析法	381
16.4.3 由实验频率特性获取系统的传递函数的回归法	386
习题与思考题	387
参考文献	389

第 0 章 绪 论

基本内容

测试 测量 试验 信息 信号
参数测量、监控与分析
测量原理、方法、系统与数据处理
模拟式测量系统
数字式测量系统
测控技术

0.1 引 言

测试是测量与试验(实验)的简称。

测量是利用各种装置对可观测量(或称被测参数)进行定性和定量的过程。而这一过程的结果,需要以信号来表征。

试验是指在真实情况或模拟条件下对被研究对象(如材料、元件、设备、系统、动物、有机物、方法)的特性、极限、能力、效果、可靠性、适应性、反应性或技能进行测量、度量等的研究过程。

测试的基本任务是获取信息,测试技术是信息科学的重要分支。测试是人们通过实验认识客观世界取得对实验对象的定性或定量信息的一种基本方法。在当代高科技发展中,测试工作已处于各种现代装备系统设计和制造的首位,并成为生产率、制造能力及实用性水平的重要标志。据统计,测试成本已达到所研制装备系统总成本的 50%,有的甚至高达 70%。而且编制测试程序所花的时间要比系统设计所花的时间长得多。因此测试在现代装备系统设计与制造中具有极为重要的作用。它已成为保证现代装备系统达到实际性能指标的重要手段。国际上,发达工业国都对测试技术、测试设备和系统投入了巨资进行开发研究并取得了惊人的发展。随着科学技术发展,各学科领域对测试技术都提出了越来越高的要求,因为任何一个新的学科理论和现代装备,如果没有先进的测试技术和仪器支持,其研究、设计及试验都是不可能的。微电子技术、微(纳)机电技术和计算机技术极大地推动了测试技术和仪器的发展并使常规的测试原理和仪器设计发生了重大变化,未来还将会产生更加新颖的测试理论以及新的测试仪器和系统,在大大提高测试质量的情况下,亦必将会大大地降低测试成本。测试贯穿整个试验与测量的全过程,对现代装备系统的性能与质量起保证作用。

测试总是需要一定的测试设备,而测试系统是把被测参数自动转换成具有可直接观测的指示值或等效信息的测试设备,其中关键部件是传感器。传感器是由敏感元件直接感受被测量,并把被测量转变为可用电量(电信号)的一套完整的测量装置。因此,传感器属于测试系统。

信息本身不具备传输、交换的功能,只有通过信号才能实现这种功能,所以测试技术与信号密切相关。信息、信号、测试与测试系统之间的关系可以表述为:获取信息是测试的目的,信

号是信息的载体,测试是得到被测参数信息的技术手段。

0.2 测试技术的功能

人类的日常生活、生产活动和科学实验都离不开测试技术。那么,测试技术有哪些主要功能呢?从本质上说,测试的功能是人们感觉器官(眼、耳、鼻、舌、身)所产生的视觉、听觉、嗅觉、味觉、触觉的延伸和替代。

例 1:飞行中的飞机。

飞行员要知道“飞行状态”信息并正确驾驶飞机安全飞行,必须知道:

飞行参数:高度 H ,速度 v ,航向 ψ 等;

发动机参数:温度 t ,压力 p ,转速 n ,流量 Q 等。

上述物理量的测量在飞机刚发明时,许多参数还能靠飞行员的感觉来测定;而现代飞机必须用相应传感器的测量来获得上述各种参数的信息。这是测试技术的功能之一——参数的测量。

例 2:航天飞机完成飞行任务时,需监测信号约 3 250 个;试飞研究时约需监测 2 570 个缓变信号,几百个速变信号,有的要求一个传感器输出几个信号。这说明现代飞行器上需要监测的参数多而且广,参数大致可分为 7 大类:①飞行参数;②导航参数;③运载火箭和飞机的发动机参数;④座舱环境参数;⑤飞行员生理参数;⑥飞行员生活用品供应系统参数;⑦飞行器结构参数。

对上述参数监测的同时,还需要加以控制,这是测试技术的又一个功能——参数的监(测)控(制)功能。

例 3:“火星探路者”探测器。

1997 年 7 月 4 日,美国“火星探路者”探测器在火星着陆,经过其所带的漫游车实地探测,使人们第一次得知:火星在几十亿年以前发过特大洪水;实际测量出如果一个人站在火星表面,身体不同高度部位,在短时间内,可以经历春、夏、秋、冬四个季节;并证实,火星岩石的化学成分与以前地球上发现的 12 颗陨石相同。这个例子说明了测试技术的另一个功能——科学试验中测量分析功能。

归纳起来,测试技术具有三种主要功能:

- (1) 过程中参数测量功能;
- (2) 过程中参数监控功能;
- (3) 科学试验中测量分析功能。

0.3 测试技术研究的主要内容

测试技术研究的主要内容是对与被测量有关的测量原理、测量方法、测量系统和数据处理等四个方面进行研究。

0.3.1 测量原理

测量原理是指采用什么样的原理(依据什么效应)去测量(感受)被测量,实质上就是传感