

光机电一体化

设计使用手册

上册

■ 赵丁选 主编



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

光机电一体化设计使用手册

上 册

赵丁选 主编

化 学 工 业 出 版 社
工业装备与信息工程出版中心
· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

光机电一体化设计使用手册. 上册/赵丁选主编.
北京: 化学工业出版社, 2003. 4
ISBN 7-5025-4340-6

I. 光… II. 赵… III. 光学-应用-机电一体化-
技术手册 IV. TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 013098 号

光机电一体化设计使用手册

上册

赵丁选 主编

责任编辑: 任文斗

文字编辑: 韩 竞 韩庆利

责任校对: 蒋 宇

封面设计: 潘 峰

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市管庄永胜印刷厂印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 41 3/4 字数 1034 千字

2003 年 5 月第 1 版 2003 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4340-6/TH·110

定 价: 86.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

京工商广临字 2002-21 号

编写人员

主 编：赵丁选

副主编：尚 涛 郑咏梅 赵宏伟 马文星 于国飞
李 娟 王晓丽 申桂香 吕小岩 李 忠

主要编写人员：

赵丁选	尚 涛	于秀敏	于国飞	郑咏梅
周军宏	张铁强	冯 毅	赵宏伟	藏雪柏
马文星	瞿爱琴	荆宝德	张代治	于相慧
秦贵和	王 欣	孙晓东	李 娟	赵克利
曲守平	孔德文	曹金海	王晓丽	孙少甫
高秀华	杨占敏	方 杰	申桂香	李 忠
贡凯军	杨力夫	马 铸	朱诗顺	张春雨
张危宁	董宏宇			

参加编写人员：

王国强	宫文斌	黄海东	于清海	孙 晓
王 辉	王芳荣	巩明德	肖英奎	张 鹏
张明旭	申铉京	于繁华	丁德圣	王轻松
崔志军	才 伟	范志红	陈 英	段秀兵
张景波	国香恩	倪 涛	金立生	邓洪超
戴培清	白 笃	孔庆堂	朱春梅	项建忠
乔治山	吴立新	宋彦明	雪继奎	马新峰

前 言

在 20 世纪,单晶硅的问世,使以计算机为主体的微电子工业迅猛发展,各种机电产品扑面而来,改变了人们的生活和工作方式。设计制造先进机械技术、微电子技术、信息技术、自动化技术、激光与红外技术、光纤通信技术已深入到工业、农业、商业、教育、军事和社会生活的各个领域,以空前的规模迅速转化为生产力,极大地提高了劳动生产率和工作效率。特别是光纤技术的发展,使整个通信产业发生了根本性变革,一场信息革命随之崛起,世界仿佛在一夜之间变小,网络成为第四大传播媒体,改变了人们的视听模式,甚至改变了世界军事和战争格局。

高新技术向产业转移,推动生产力的革命性发展,对人类社会的经济、政治结构,对国家和民族的命运和前途,对企业的生存兴衰具有决定性的作用和影响。光机电一体化技术是 21 世纪世界发达国家倡导的高新技术的重要组成部分。我国自“八五”以来,在国家重大科技攻关项目和国家“863”高技术项目的大力支持下,光机电一体化技术取得了长足的进步,在我国的城市、乡村、边远山区,到处都可以感受到光机电一体化技术为人们的衣食住行所带来的巨大方便,一个所谓的“全盘自动化”的时代就要到来,它我们的生活描绘出了更加美好的前景。为此,生活在这个时代的科技工作者,有义务普及光机电一体化技术,有责任推进光机电一体化技术的发展,并在今后的一段时间里,通过我们的努力将我国的光机电一体化技术提高到新的水平。

为了适应目前社会各界开发光机电一体化新产品的迫切需要,广大设计工程师渴望有一本全面、系统地介绍光、机、电一体化基础元件的设计使用手册,为此,我们组织了十几个专业的专家、教授和有丰富实践经验的高级工程师联合编写了这本《光机电一体化设计使用手册》。

该手册包括 6 篇内容,分上、下两册,上册包括第 1 篇至第 3 篇,下册包括第 4 篇至第 6 篇。

第 1 篇总论,主要介绍光、机、电一体化技术的国内外发展概况,光、机、电产品的应用范围,光、机、电的融合方式,光、机、电一体化的技术构成,光、机、电一体化对产品性能的影响等。

第 2 篇机电测量与传感器,主要介绍各种机电传感器的测量原理及设计使用方法,国内外常用机电传感器的型号、规格及选用方法等。

第 3 篇光电测量与传感器,主要介绍各种光电(含激光)传感器的设计使用方法,国内外常用光电(含激光)传感器的型号、规格及选用方法等。

第 4 篇信息处理元件,主要介绍半导体分立器件,数字逻辑电路,A/D、D/A 转换器,存储器,中央处理器,可编程控制器,单片微处理器,数据传输与通讯器件,模拟集成电路,时基电路,电源变换器,函数发生器,电压/频率变换器,显示与记录装置及各种专用电路的原理、功能、选用原则和典型用例等。

第 5 篇执行与控制元件,主要介绍整流器、逆变器、调功器、直流调速器、交流变频调速器、直流电机、交流电机、伺服电机、步进电机、继电器、电磁离合器、电磁阀、机械传

动装置、机械导向装置、液压伺服阀、液压比例阀、电液数字阀、电液步进元件、直接定位机构、光束跟随器等最常用的执行控制元件的功能、原理和设计使用原则、典型用例，国内外产品的规格、型号等。

第6篇典型机电一体化系统举例，介绍包括数控机床、数字照相机、车辆自动变速系统、汽车电子点火系统等19种机电一体化系统的设计方法和工作原理等，供设计者在设计时作为参考。

本手册可供机械工程及自动化方面的技术人员在改造老产品和开发新产品设计时使用，也可供高等院校机械工程、自动化专业师生在教学与科研中作为参考。

赵丁选

2002年10月14日

目 录

第 1 篇 总 论

第 1 章 光、机、电一体化技术发展概况	1
1.1 概念的提出	1
1.2 光机电一体化的发展过程	1
1.3 光机电一体化产品的应用范围	4
1.4 光机电一体化的发展趋势	4
第 2 章 光、机、电一体化的技术构成	6
2.1 机械本体	6
2.1.1 对机械本体的要求	6
2.1.2 精密机械传动机构	7
2.2 传感技术	7
2.2.1 传感器的构成	7
2.2.2 传感器分类	7
2.3 信息处理技术	8
2.3.1 信息处理的工具	8
2.3.2 数据处理的数据类型	8
2.3.3 信息的生成采集和系统的输入输出	8
2.3.4 信息存储	9
2.3.5 数据库系统	9
2.3.6 信息的传输和计算机网络	9
2.3.7 计算机信息处理的结构	10
2.4 驱动技术.....	10
2.4.1 精度位置控制执行器.....	10
2.4.2 步进电机或电机控制的定量液动机.....	10
2.4.3 液压扭矩放大器	11
2.4.4 电液伺服阀.....	11
2.4.5 步进电机驱动技术.....	11
2.5 接口技术.....	11
2.5.1 接口分类.....	12
2.5.2 接口的基本功能.....	12
2.5.3 接口的基本结构.....	13
2.6 软件与综合技术.....	13
2.6.1 系统软件.....	13
2.6.2 应用软件.....	14

2.6.3 软件的发展	14
2.6.4 软件开发技术	15
第3章 光、机、电的融合方式	16
3.1 机械本体上加入光电器件	16
3.2 光电器件代替原来的机械式控制部分	16
3.3 机械式信息处理机被光电技术全部代替	17
3.4 机械部分比较简单,以光、电部分为主开发的光机电产品	17
第4章 光、机、电一体化对产品性能的影响	18

第2篇 机电测量及传感器

第1章 传感器概论	20
1.1 传感器的定义	20
1.2 传感器的组成和分类	20
1.2.1 组成	20
1.2.2 分类	20
1.3 传感器技术的发展方向	21
1.4 传感器性能名词术语	22
1.5 传感器的特性	22
1.5.1 输入信号特性	23
1.5.2 静态特性	23
1.5.3 动态特性	24
1.6 传感器的选用原则	27
第2章 弹性敏感元件	29
2.1 弹性敏感元件基本特性	29
2.1.1 弹性特性	29
2.1.2 弹性滞后	29
2.1.3 弹性后效和蠕变	30
2.1.4 固有振动频率	30
2.1.5 品质因数	30
2.2 弹性敏感元件的材料	30
2.3 弹性敏感元件的形式和力学特性	31
2.4 弹性敏感元件设计计算	32
第3章 电阻式传感器	35
3.1 电阻应变片式传感器产品	35
3.1.1 应变式力传感器和称重传感器	35
3.1.2 应变式压力传感器	38
3.1.3 应变式加速度传感器	39
3.2 电位计式传感器	39
3.2.1 线绕电位器结构和工作原理	39
3.2.2 线绕电位器传感器的阶梯特性、分辨率和误差	39

3.2.3 非线绕式电位器·····	40
3.2.4 电位器式传感器·····	41
第4章 电容式传感器 ·····	42
4.1 电容式传感器原理·····	42
4.1.1 基本原理·····	42
4.1.2 电容式传感器的种类·····	42
4.1.3 电容式传感器的等效电路·····	45
4.2 电容式传感器的测量电路·····	45
4.2.1 运算放大器式电路·····	45
4.2.2 电桥电路·····	46
4.2.3 调频电路·····	46
4.2.4 谐振电路·····	46
4.2.5 二极管T型网络·····	47
4.2.6 脉冲宽度调制电路·····	47
4.3 电容传感器影响精度的因素·····	48
4.3.1 温度·····	48
4.3.2 漏电阻·····	48
4.3.3 边缘效应与寄生参量·····	49
4.4 电容式传感器产品·····	49
4.4.1 电容式加速度传感器·····	49
4.4.2 电容式压力传感器·····	50
4.4.3 电容式称重传感器·····	51
4.4.4 电容式物位和厚度传感器·····	51
4.5 电容式接近开关·····	51
第5章 变磁阻式电感传感器 ·····	53
5.1 变磁阻式电感传感器原理·····	53
5.1.1 基本原理·····	53
5.1.2 变磁阻式电感传感器的种类和等效电路·····	53
5.2 变磁阻式电感传感器的结构类型和输出特性·····	54
5.2.1 变气隙变磁阻电感传感器·····	54
5.2.2 螺管式变磁阻电感传感器·····	55
5.3 变磁阻式电感传感器测量电路·····	56
5.4 主要参数设计·····	57
5.4.1 具有铁心和小气隙的电感线圈的设计要点·····	57
5.4.2 差动螺管式线圈的设计要点·····	57
5.5 影响传感器精度的因素分析·····	58
5.5.1 电源电压和频率的波动·····	58
5.5.2 温度变化的影响·····	58
5.5.3 非线性特性·····	58
5.5.4 输出电压与电源电压之间的相位差·····	58

5.5.5 零位误差·····	58
5.6 变磁阻式电感传感器的应用·····	59
5.6.1 电感式位移传感器·····	59
5.6.2 电感式压力传感器·····	59
5.6.3 电感式接近开关·····	59
5.6.4 压磁式传感器·····	60
5.7 差动变压器式传感器·····	61
5.7.1 差动变压器式传感器原理·····	61
5.7.2 结构类型和基本特性·····	62
5.7.3 测量电路·····	64
5.7.4 差动变压器式传感器产品·····	66
5.8 电涡流式传感器·····	67
5.8.1 电涡流式传感器种类和原理·····	67
5.8.2 电涡流式传感器测量电路·····	68
5.8.3 电涡流式传感器产品·····	69
第6章 压电式传感器 ·····	70
6.1 压电式传感器原理·····	70
6.1.1 压电效应·····	70
6.1.2 压电常数·····	71
6.2 压电元件结构形式和等效电路·····	72
6.3 压电材料·····	72
6.3.1 压电晶体·····	72
6.3.2 压电陶瓷·····	73
6.4 压电式传感器测量电路·····	73
6.4.1 电压放大器·····	73
6.4.2 电荷放大器·····	74
6.5 压电式传感器的误差·····	75
6.5.1 横向灵敏度及其所引起的误差·····	75
6.5.2 温度影响·····	75
6.5.3 湿度、磁场和声场·····	75
6.5.4 电缆噪声·····	75
6.6 压电式传感器产品·····	76
6.6.1 压电式加速度传感器·····	76
6.6.2 压电式力传感器·····	77
6.6.3 压电式压力传感器·····	78
第7章 磁电式传感器 ·····	80
7.1 磁电式传感器原理·····	80
7.1.1 基本原理·····	80
7.1.2 磁电式传感器的类型和结构·····	80
7.2 磁电式传感器特性·····	82

7.2.1 灵敏度	82
7.2.2 频率响应特性	82
7.3 设计要点	82
7.4 磁电式传感器测量电路	83
7.4.1 积分电路	83
7.4.2 微分电路	83
7.5 磁阻式传感器误差	84
7.5.1 温度误差	84
7.5.2 永久磁铁的不稳定性误差	84
7.5.3 磁电式传感器的非线性误差	84
7.6 磁电式传感器产品	84
第8章 固态压阻式传感器	86
8.1 压阻式传感器原理	86
8.1.1 压阻效应	86
8.1.2 压阻系数	86
8.2 压阻传感器材料和结构类型	86
8.2.1 单晶硅敏感元件	86
8.2.2 结构类型	87
8.3 压阻传感器温度漂移	87
8.4 压阻传感器测量电路	88
8.5 压阻式传感器产品	89
8.6 半导体应变计	90
8.6.1 半导体应变计工作原理	90
8.6.2 半导体应变计的种类	90
8.6.3 半导体应变计特性	91
8.6.4 半导体应变计的补偿	91
8.6.5 半导体应变计产品	92
8.7 薄膜应变片传感器	92
8.7.1 薄膜应变片原理	92
8.7.2 薄膜应变片结构特点	93
8.7.3 薄膜应变片的种类	93
8.7.4 薄膜应变片压力传感器	94
8.8 厚膜应变片传感器	94
8.8.1 厚膜应变片原理	94
8.8.2 厚膜应变片式传感器	95
第9章 霍尔式传感器	97
9.1 霍尔效应	97
9.2 霍尔元件的材料和结构类型	98
9.2.1 材料	98

9.2.2 结构类型	98
9.3 霍尔元件技术参数	98
9.4 测量电路	99
9.5 霍尔元件的测量误差和补偿方法	99
9.5.1 零位误差及其补偿方法	99
9.5.2 温度误差及其补偿方法	99
9.6 霍尔式传感器产品	101
9.7 磁敏电阻器	102
9.7.1 磁阻效应	102
9.7.2 磁敏电阻的结构	103
9.8 磁敏二极管和磁敏三极管	103
9.8.1 磁敏二极管	103
9.8.2 磁敏三极管	105
9.8.3 磁敏式晶体管的应用	105
第10章 热电式传感器	107
10.1 热电偶	107
10.1.1 热电偶原理	107
10.1.2 热电偶的材料和结构类型	108
10.1.3 热电偶冷端温度及其补偿	109
10.1.4 热电偶的测量线路	112
10.1.5 热电偶的传热误差和动态误差	114
10.1.6 热电偶产品	115
10.2 热电阻和热敏电阻	116
10.2.1 金属热电阻	116
10.2.2 半导体热敏电阻	117
第11章 谐振式传感器	121
11.1 谐振式传感器基本原理	121
11.1.1 基本原理	121
11.1.2 品质因数	122
11.1.3 分类和设计要点	122
11.2 振弦式传感器	123
11.2.1 工作原理与激励方式	123
11.2.2 振弦的固有频率与输出特性	124
11.2.3 振弦式传感器应用举例	125
11.3 振筒式压力传感器	126
11.4 振膜式传感器	126
11.5 振梁式传感器	126
11.6 压电式谐振传感器	127
11.7 谐振梁式差压传感器	128
11.8 硅微结构谐振式传感器	128

第 12 章 数字式传感器	130
12.1 概述	130
12.2 编码器	131
12.2.1 角度数字编码器	131
12.2.2 直线位移编码器	138
12.3 位移-数字传感器	139
12.3.1 编码技术	139
12.3.2 模-数 (A/D) 转换技术	141
12.3.3 电压-频率 (V/f) 转换技术	142
12.4 角度-数字传感器	143
12.4.1 光电编码器	143
12.4.2 应用实例	144
12.4.3 性能参数	144
12.5 感应同步器	145
12.5.1 感应同步器的工作原理	145
12.5.2 感应同步器的种类	146
12.5.3 感应同步器的结构	148
12.5.4 感应同步器的误差消除	149
12.5.5 感应同步器的典型应用	150
第 13 章 特殊传感器	154
13.1 陀螺传感器	154
13.1.1 陀螺的工作原理	154
13.1.2 微动同步器的工作原理	156
13.2 磁栅传感器	157
13.2.1 磁栅传感器的结构与工作原理	158
13.2.2 数字测量原理	159
13.2.3 影响磁栅传感器性能的有关因素	159
13.3 红外辐射传感器	160
13.3.1 红外辐射的物理基础	160
13.3.2 常见红外传感器	162
13.3.3 红外传感器的性能参数	164
13.3.4 红外辐射检测技术的应用	165
13.4 核辐射传感器	171
13.4.1 核辐射的基本特性	171
13.4.2 核辐射传感器	175
13.4.3 核辐射传感器的应用	177
13.4.4 核辐射传感器的误差	178
13.5 放射性的保护	179
第 14 章 国内外新型传感器产品简介	180
14.1 国外部分典型传感器	180

14.1.1 应变计	180
14.1.2 测力(称重)传感器	185
14.1.3 加速度传感器	188
14.1.4 压力传感器	190
14.2 国内部分传感器	192
14.2.1 位移传感器	192
14.2.2 力、称重传感器	200
14.2.3 压力传感器	210
14.2.4 加速度传感器	218
14.2.5 压电晶体与压电陶瓷	221

第3篇 光电测量与传感器

第1章 光电测量与传感器	229
1.1 光的传播描述与量度	229
1.1.1 光线的传播与成像	229
1.1.2 光的波动性与粒子性	230
1.1.3 光的干涉与干涉仪	231
1.1.4 光的衍射与衍射光栅	236
1.1.5 光的偏振与偏振器件	241
1.1.6 光辐射的度量	243
1.1.7 光辐射基本定律和公式	245
1.1.8 光辐射测量仪器	246
1.2 光辐射源	250
1.2.1 光源的基本特性参数	250
1.2.2 热辐射光源	252
1.2.3 气体放电光源	254
1.2.4 固体发光光源	256
1.2.5 激光光源	260
1.3 光辐射探测器件	264
1.3.1 分类	264
1.3.2 光电转换的原理	265
1.3.3 特性参数与噪声	269
1.3.4 光电子发射型探测器	272
1.4 光电探测技术	286
1.4.1 光电探测技术中的光学系统	286
1.4.2 光电变换的基本形式	289
1.4.3 光电检测电路设计	292
1.4.4 非相干时变光信号的直接探测方法	301
1.4.5 非相干时变光信号的调制探测方法	308
1.4.6 光学目标的空间定位技术	312

1.4.7	光学图像的扫描技术	318
1.4.8	相干光信号的强度调制与探测技术	322
1.4.9	相干光信号的相位调制及探测技术	324
1.4.10	相干光信号的频率、波长调制与探测技术	330
1.5	光电典型测量系统	334
1.5.1	光电尺寸检测系统	334
1.5.2	光电轮廓检测系统	343
1.5.3	光电图像检测系统	345
1.5.4	光电位移检测系统	347
1.5.5	光电速度检测系统	350
1.5.6	光电色度测量仪器	356
1.5.7	光电表面粗糙度检测系统	361
1.5.8	光热探测应用系统	364
1.5.9	光电编码器及其应用	373
1.5.10	光弹测力系统	378
第2章	光纤测量与传感器	381
2.1	光纤的结构与性能	381
2.1.1	光纤的结构与分类	381
2.1.2	光纤中光传输描述	384
2.1.3	光纤的光学性能	386
2.1.4	光纤的物理化学性能	390
2.2	光纤参数测量	391
2.2.1	光纤衰减测量	391
2.2.2	光纤色散的测量	395
2.2.3	基带测量	398
2.2.4	光纤截止波长测量	399
2.2.5	模场直径的测量	402
2.2.6	光纤偏振特性测量	404
2.2.7	折射率分布测量	409
2.2.8	光纤数值孔径的测量	411
2.2.9	光纤几何尺寸的测量	413
2.3	光纤传感技术原理	415
2.3.1	光纤强度调制传感原理	415
2.3.2	光纤位相调制传感原理	420
2.3.3	光纤偏振调制传感原理	423
2.3.4	光纤波长调制传感原理	424
2.3.5	光纤频率调制传感原理	427
2.4	光纤信号检测方法	427
2.4.1	光纤强度信号检测方法	427
2.4.2	光纤位相信号检测方法	428

2.4.3	光纤波长信号检测方法	431
2.4.4	光纤频率信号检测方法	432
2.4.5	光纤偏振信号检测方法	433
2.5	光纤机械量传感器	433
2.5.1	位移传感器	433
2.5.2	压力传感器	436
2.5.3	振动传感器	440
2.5.4	形变传感器	443
2.5.5	加速度传感器	445
2.5.6	转角传感器	446
2.6	光纤温度传感器	448
2.6.1	辐射式温度传感器	448
2.6.2	吸收式温度传感器	449
2.6.3	荧光式温度传感器	450
2.6.4	热色式温度传感器	451
2.6.5	分布式温度传感器	452
2.6.6	反射式温度传感器	454
2.6.7	光功率振动光纤温度传感器	455
2.6.8	光纤偏振温度传感器	457
2.6.9	自辐射式温度传感器	458
2.6.10	干涉型温度传感器	459
2.7	光纤液体传感器	460
2.7.1	液位传感器	460
2.7.2	浓度传感器	461
2.7.3	流量流速传感器	465
2.7.4	远距离液漏传感器	466
2.8	光纤电磁量传感器	467
2.8.1	磁场传感器	467
2.8.2	光纤电压传感器	471
2.8.3	电流传感器	472
2.8.4	电磁场传感器	474
2.9	光纤化学量传感器	476
2.9.1	光纤气体成分含量传感器	476
2.9.2	光纤 pH 值传感器	480
2.9.3	光纤乙醇含量传感器	482
2.9.4	光纤放射线传感器	483
2.10	光纤物医学传感器	485
2.10.1	光纤血红蛋白传感器	485
2.10.2	光纤血流速、血流量传感器	485
2.10.3	光纤血压传感器	487

2.10.4	光纤脉象传感器	487
2.10.5	光纤血色素传感器	489
2.10.6	光纤心血管参量传感器	489
2.10.7	光纤内窥镜	491
2.11	其他类型光纤传感器	491
2.11.1	光纤图像传感器	491
2.11.2	光纤光颜色分析系统	493
2.11.3	光纤陀螺仪	497
2.11.4	光纤表面粗糙度传感器	500
2.11.5	光纤工业电视	506
第3章	激光测量与传感器	511
3.1	激光的形成和特性	511
3.1.1	激光的基本特性	511
3.1.2	激光的形成与模式	512
3.1.3	激光工作物质	514
3.1.4	泵浦	516
3.1.5	谐振腔	517
3.1.6	激光束的传播与变换	518
3.2	激光参数与性能	522
3.2.1	激光脉冲波形测量	522
3.2.2	激光测量与功率测量	525
3.2.3	激光束空间分布参数测量	528
3.2.4	激光波长与线宽测量	530
3.2.5	激光频率稳定性测量	534
3.3	激光的非线性光线效应与调制技术	535
3.3.1	激光非线性频率变换技术	535
3.3.2	激光调制	540
3.3.3	激光偏转	547
3.3.4	激光选模技术	550
3.4	激光干涉测量仪器	551
3.4.1	基本组成和形成	551
3.4.2	光源选择	552
3.4.3	干涉系统的结构	552
3.4.4	信号接收与处理	557
3.4.5	激光干涉测长仪	557
3.4.6	激光比长干涉仪	558
3.4.7	激光精密定位干涉仪	559
3.4.8	激光丝杆动态测量干涉仪	559
3.4.9	激光平面干涉仪	560
3.4.10	激光球面干涉仪	560