

光机电一体化丛书

光机电一体化 系统设计

方建军 田建君 郑青春 编著



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

光机电一体化丛书

光机电一体化系统设计

方建军 田建君 郑青春 编著

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

光机电一体化系统设计/方建军, 田建君, 郑青春编著.
—北京: 化学工业出版社, 2003. 9
(光机电一体化丛书)
ISBN 7-5025-4788-6

I. 光… II. ①方…②田…③郑… III. 光学-应用-机电
一体化-系统设计 IV. TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 085497 号

光机电一体化丛书

光机电一体化系统设计

方建军 田建君 郑青春 编著

责任编辑: 任文斗

文字编辑: 王清颖

责任校对: 郑捷

封面设计: 蒋艳君

*

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

北京市昌平振南印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 15 字数 360 千字

2003 年 10 月第 1 版 2003 年 10 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4788-6/TH·145

定 价: 32.00 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

《光机电一体化丛书》编辑委员会

主任 林 宋

副主任 王生泽 王石刚 程愿应

委员 (排名不分先后)

胥信平	黎 放	林 宋	王生泽	王石刚	程愿应
胡于进	张卫国	莫锦秋	何 勇	董方祥	刘继英
罗学科	朱宏军	崔桂芝	殷际英	方建军	田建君
马全明	王延璋	赵 坤	周洪江	刘杰生	徐胜林
韩少军	程 铭				

序

光机电一体化是激光技术、微电子技术、计算机技术、信息技术与机械技术的相互交叉与融合，是诸多高新技术产业和高新技术装备的基础。它包括产品和技术两方面：光机电一体化产品是集光学、机械、微电子、自动控制和通讯技术于一体的高科技产品，具有很高的功能和附加值；光机电一体化技术是指其技术原理和使光机电一体化产品得以实现、使用和发展的技术。

目前，国际上产业结构的调整使得各个行业不断融合和协调发展。作为光学、机械与电子相结合的复合产业，光机电一体化以其特有的技术带动性、融合性和普适性，受到了国内外科技界、企业界和政府部门的特别关注，它将在提升传统产业的过程中，带来高度的创新性、渗透性和增值性，成为未来制造业的支柱，被誉为 21 世纪最具魅力的朝阳产业。我国已经将发展光机电一体化技术列为重点高新技术发展项目，北京市政府也于 2001 年 7 月 23 日批准正式成立了北京市光机电一体化产业基地，预计到 2010 年，北京市光机电一体化产业总产值将达到 336 亿元。

随着光机电一体化技术的不断发展，各个行业的技术人员对其兴趣和需求也与日俱增。但到目前为止，国内还鲜有将光机电一体化技术作为一个整体技术门类来介绍和论述的书籍，这与其方兴未艾的发展势头形成了巨大反差。有鉴于此，由北方工业大学、东华大学、华中科技大学和上海交通大学联合编写光机电一体化丛书，旨在适时推出一套光机电一体化技术基本知识和应用实例的科技丛书，满足科研设计单位、企业及高等院校的科研和教学的需求，为有关技术人员在开发光机电一体化产品时，提供从产品造型、功能、结构、材料、传感测量到控制等诸方面有价值的参考素材。

本丛书共十本，包括《光机电一体化实用技术》、《现代数控机床》、《光机电一体化系统设计》、《智能机器人》、《光机电一体化技术产品实例》、《楼宇设备自动化技术》、《关节型机器人》、《微机电系统设计与制造》、《激光在加工和检测中的应用》、《光电传感器及其应用》。自 2003 年 8 月起陆续出版发行。

丛书的基本特点，一是内容新颖，力求及时地反映光机电一体化技术在国内外的最新进展和作者的有关研究成果；二是系统全面，丛书分门别类地归纳总结了光机电一体化技术的基本理论和在国民经济各个领域的应用实例，重点介绍了光机电一体化技术的工程应用方法和实现方法，许多内容，如楼宇自动门的专门论述，尚属国内首次；三是深入浅出，每本书重点突出，注重理论联系实际。既有一定的理论深度，又偏重实用性，力求满足不同层次读者的需求，适合工程技术人员阅读和高校机械类专业教学的需要。

由于本丛书涉及内容广泛，相关技术发展迅速，加之作者水平有限，时间紧促，书中错误和不妥在所难免，恳请专家、学者和读者不吝指教为盼！

《光机电一体化丛书》编辑委员会
2003 年 5 月于北京

前 言

光机电一体化是集精密机械、光学、电子、自动控制和计算机技术于一体的现代机械系统，是知识经济时代机械工业的发展方向。光机电一体化技术正在全世界范围内引起一场新的技术革命。如果说 20 世纪是微电子的世纪，21 世纪则是光电子的世纪。美国商务部也指出，谁在光电子行业取得主动权，谁就将在 21 世纪的尖端科技中夺魁。光机电一体化正是在机电一体化技术的基础上引入光电子而形成的高新技术。目前，光机电一体化技术正方兴未艾，各国都十分重视光机电一体化技术及其产品的研发。我国也十分重视光机电一体化技术的发展，不少地方成立了光机电一体化高科技园区。高等院校也相继设立了机电一体化或光机电一体化专业，培养社会急需的光、机、电结合的复合型技术人才。原有的机械行业从业人员也迫切希望学习光机电一体化知识，跟上时代的步伐。

为了满足大家学习光机电一体化技术的需要，化学工业出版社约请我们出版一套《光机电一体化丛书》。本书是这套丛书中的一本。作者根据多年的教学和科研实践，在原来讲义基础上经过改编和增加新的内容，编写这本光机电一体化系统设计。本书在系统方法论的指导下，围绕光、机、电有机融合的主线，全面地、系统地阐述了光机电一体化系统各组成部件的选型和设计。在此基础上，通过伺服系统设计实例来讨论光机电一体化系统的设计原理和方法。

本书的第 1 章、第 3 章、第 6 章由方建军编写，第 2 章和第 4 章由郑青春编写，第 5 章和第 7 章由田建君编写。全书由方建军统稿。罗学科教授在百忙中审阅全部文稿，并提出修改意见。在本书的编写过程中，景作军、李凯老师，刘仕良、李览博、石杨、郑勇、徐涛、汪正煜、阴丽、张韬等同学给予了大力支持和协助，在此表示深深的谢意。

由于作者水平有限，且时间仓促，书中难免有错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

编者著

2003 年 6 月

内 容 提 要

光机电一体化是集光、机、电于一体的现代机械系统。它由传感、驱动、控制和执行机构四部分组成。本书从光、机、电有机结合的角度出发,较为全面地、系统地阐述了光机电一体化系统的设计原理和方法。全书共分七章,分别介绍光机电一体化系统的主要思想、传感部件的原理和选择、执行元件的原理和驱动、控制器的选择、光机电一体化软件和控制技术、伺服系统设计以及光机电一体化实例。全书的最大特点是在介绍具体部件的原理性知识的同时,通过讲解伺服系统的完整设计过程,帮助读者了解如何设计光机电一体化系统或产品。

本书结构清新、文笔流畅,图文并茂、内容深入浅出、注重实用。它不仅适合于用作高等院校光机电一体化等相关专业本科生的教材,对于从事光机电一体化设计、制造、研究和管理的工程技术人员也有很好的参考价值。

目 录

第 1 章 光机电一体化系统的组成与应用	1
1.1 光机电一体化的概念	1
1.2 光机电一体化系统的组成与实例	1
1.2.1 光机电一体化的组成	1
1.2.2 光机电一体化的实例	2
1.3 光机电一体化的特点	5
1.4 光机电一体化的相关技术	5
1.5 光机电一体化的发展趋势	6
第 2 章 传感器与信号处理	8
2.1 传感器与检测系统的构成	8
2.2 位移传感器	9
2.2.1 电位器	9
2.2.2 感应同步器	9
2.2.3 光栅.....	11
2.2.4 光电编码器.....	12
2.2.5 超声波传感器.....	13
2.2.6 电涡流传感器.....	14
2.2.7 光纤传感器.....	16
2.3 速度传感器.....	19
2.3.1 测速发电机.....	19
2.3.2 光纤多普勒速度计.....	20
2.3.3 霍尔式转速传感器.....	20
2.3.4 电容式转速传感器.....	21
2.3.5 光电式转速传感器.....	22
2.3.6 电涡流式转速传感器.....	22
2.3.7 空间滤波器.....	22
2.4 加速度传感器.....	23
2.4.1 压电式加速度传感器.....	23
2.4.2 倾斜镜式光纤加速计.....	23
2.5 力和力矩传感器.....	24
2.5.1 硅压阻式压力传感器.....	24
2.5.2 力矩传感器.....	24
2.6 视觉传感器.....	25
2.6.1 CCD 工作原理	25
2.6.2 人工视觉系统.....	27

2.7	色彩传感器	27
2.7.1	色彩传感器的工作原理	28
2.7.2	双结型色彩传感器的测色电路	28
2.8	光电传感器	29
2.8.1	光敏电阻	30
2.8.2	光电二极管和光电三极管	30
2.8.3	红外传感器	31
2.9	其他传感器	32
2.9.1	温度传感器	32
2.9.2	气敏传感器	33
2.10	信号处理	35
2.10.1	开关量接口电路	35
2.10.2	模拟信号的输入	35
第3章	执行装置及其驱动	41
3.1	步进电动机及其驱动	41
3.1.1	步进电动机工作原理与分类	41
3.1.2	步进电动机的性能指标	43
3.1.3	步进电动机驱动电源	44
3.1.4	步进电动机选型	48
3.1.5	直线式步进电动机	49
3.2	直流伺服电动机及其驱动	50
3.2.1	直流伺服电动机的分类	50
3.2.2	直流伺服电动机的机械特性和调节特性	51
3.2.3	直流伺服电动机 PWM 控制原理	52
3.2.4	直流伺服电动机驱动用集成电路	53
3.2.5	直流伺服电动机选型	55
3.3	交流伺服电动机	58
3.3.1	交流伺服电动机的发展	58
3.3.2	交流伺服电动机调速方法	58
3.3.3	SPWM 变频调速	60
3.3.4	交流伺服电动机的矢量控制	64
3.3.5	交流伺服电动机的选型	66
3.4	液压执行装置	67
3.4.1	液压执行机构	67
3.4.2	液压执行机构的驱动	70
3.5	气动执行装置	70
3.5.1	气动执行机构	70
3.5.2	气动执行机构的驱动	71
3.6	新型执行装置	72
3.6.1	压电执行装置	72

3.6.2	热变形执行装置	73
3.6.3	形状记忆合金执行装置	73
3.7	机械传动机构	74
3.7.1	谐波齿轮传动	74
3.7.2	同步带传动	75
3.7.3	滚珠丝杠传动	76
第4章	工业控制计算机	78
4.1	工业控制计算机的总线结构	78
4.1.1	总线技术	78
4.1.2	工业标准总线	79
4.2	工业PC机	83
4.2.1	工业PC机的特点	83
4.2.2	工业控制机及外围接口产品	83
4.2.3	嵌入式工业PC——PC/104	84
4.3	单片机	87
4.3.1	MCS-51单片机组成控制系统	88
4.3.2	单片机控制系统信息输入通道设计	89
4.3.3	单片机控制系统功率驱动接口设计	92
4.3.4	单片机控制系统人机界面设计	94
4.3.5	单片机应用系统设计	96
4.3.6	单片机应用系统实例	97
4.4	可编程逻辑控制器	102
4.4.1	PLC的结构	102
4.4.2	PLC的工作原理	104
4.4.3	PLC控制系统的设计方法和步骤	105
4.5	PLC应用实例	107
4.6	工业控制计算机的选型	110
第5章	光机电一体化系统的软件技术	112
5.1	光机电一体化系统的软件工程方法	112
5.1.1	软件工程方法	112
5.1.2	工控软件设计	115
5.1.3	组态软件	117
5.1.4	嵌入式操作系统	118
5.2	软件抗干扰技术	121
5.2.1	软件抗干扰	121
5.2.2	数字滤波	121
5.2.3	编程举例	122
5.3	数字PID算法	125
5.3.1	常规数字PID算法	126
5.3.2	数字PID的改进算法	129

5.3.3	数字 PID 参数整定	135
5.4	模糊控制技术	138
5.4.1	引言	138
5.4.2	模糊控制系统的组成及基本原理	138
5.4.3	模糊化	139
5.4.4	非模糊化	141
5.4.5	模糊控制规则	142
5.5	人工神经网络	142
5.5.1	生物神经元的基本结构	142
5.5.2	人工神经元的基本结构	143
5.5.3	人工神经网络模型	144
5.5.4	人工神经网络的学习	144
5.5.5	误差反向传播网络及其学习	145
5.5.6	人工神经网络的特点和局限性	147
5.5.7	人工神经网络应用举例	147
第 6 章	伺服系统设计	151
6.1	伺服系统及其构成	151
6.2	伺服系统的设计步骤和技术要求	151
6.2.1	伺服系统的设计步骤	151
6.2.2	伺服系统的主要技术要求	152
6.3	开环伺服系统设计	153
6.3.1	开环伺服系统的稳态设计	153
6.3.2	开环伺服系统的控制系统设计	157
6.4	闭环伺服系统设计	158
6.4.1	闭环伺服系统的构成	158
6.4.2	闭环伺服系统的稳态设计	158
6.4.3	连续伺服系统的动态设计	162
6.4.4	连续伺服系统的动态设计实例	168
6.5	数字伺服系统的设计	176
6.5.1	数字伺服系统的结构形式	176
6.5.2	数字伺服系统的设计方法	177
6.6	数字伺服系统设计实例	187
第 7 章	光机电一体化系统产品应用举例	190
7.1	CT 扫描机	190
7.1.1	简介	190
7.1.2	CT 成像原理	190
7.1.3	CT 扫描机的构成	191
7.2	可视对讲门铃	194
7.2.1	可视对讲门铃功能	194
7.2.2	可视对讲门铃的组成	195

7.2.3	可视对讲门铃的工作原理	195
7.2.4	控制电路的实现	197
7.2.5	应用	197
7.3	全自动洗衣机	198
7.3.1	一般的全自动洗衣机简介	198
7.3.2	模糊控制的全自动洗衣机	199
7.4	活塞外轮廓测量仪	202
7.4.1	系统组成	203
7.4.2	系统原理	204
7.4.3	系统软件设计	205
7.5	智能比色测温计	207
7.5.1	智能比色测温计的组成	207
7.5.2	智能比色测温计的原理	207
7.5.3	智能比色测温计的测温探头	208
7.5.4	智能比色测温计程序设计	209
7.5.5	其他产品简介	210
附录	213
附录 1	无源校正网络	213
附录 2	有源校正网络	215
附录 3	XF 和 XB 系列旋转变压器技术数据	218
附录 4	CY 系列直流永磁式测速发电机	218
附录 5	ZCF 系列直流测速发电机技术数据	218
附录 6	反应式步进电动机技术性能数据	219
附录 7	BC 系列磁阻式步进电动机数据	219
附录 8	86BYG 步进电动机数据	220
附录 9	110BYG 步进电动机数据	220
附录 10	57BY 步进电动机参数	220
附录 11	稀土永磁材料的直流力矩电动机	221
附录 12	SZ 系列直流电动机技术数据	221
附录 13	LY 系列直流力矩电动机技术数据	223
附录 14	交流同步伺服电动机	224
附录 15	交流同步电动机	224
参考文献	225

第 1 章 光机电一体化系统的组成与应用

1.1 光机电一体化的概念

20 世纪 70 年代，微电子技术引起了新技术领域的深刻变革，机电一体化技术应运而生。20 世纪 90 年代，光机电一体化技术正引起一场新的革命。美、日等发达国家积极抢滩光机电一体化技术，企图在这个新的高技术领域独占鳌头。有人指出，20 世纪是微电子的世纪，21 世纪则是光电子的世纪。美国商务部也指出，谁在光电子行业取得主动权，谁就将在 21 世纪的尖端科技中夺魁。

什么是光机电一体化？到目前为止，没有人能够给出它的精确定义。光机电一体化概念的萌芽，可以追溯到德国提出的精密工程技术。早在 1981 年，在德国工程师协会、德国电气工程技术协会及其共同组成的精密工程技术专家组提出的《关于大学精密工程技术专业的建议书》中，提出将精密工程技术定义为光、机、电一体化的综合技术，并用图 1-1 来说明其定义。它包括机械（含液压、气动及微机械）、电工与电子、光学及其不同技术的组合（电工与电子机械、光电子技术与光学机械），其核心为精密工程技术。

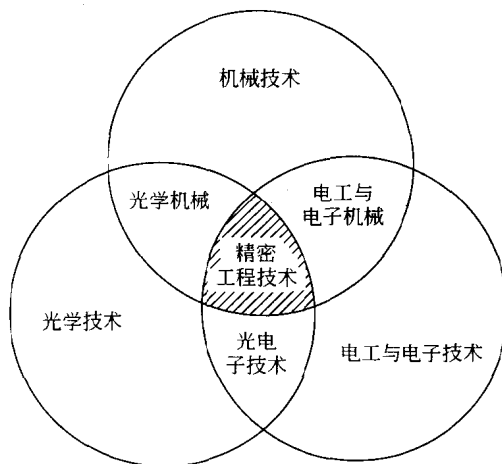


图 1-1 精密工程技术的定义

精密工程技术的定义从某种程度上说明了光机电一体化的涵义。一般认为，光机电一体化是由光学、机械学、微电子学、信息处理与控制 and 软件等各种相关技术交叉融合而构成的群体技术。各种新技术的相互渗透和有机融合是光机电一体化技术的灵魂。

精密工程技术的定义从某种程度上说明了光机电一体化的涵义。一般认为，光机电一体化是由光学、机械学、微电子学、信息处理与控制 and 软件等各种相关技术交叉融合而构成的群体技术。各种新技术的相互渗透和有机融合是光机电一体化技术的灵魂。

光机电一体化是在机电一体化基础上引入光学技术而形成的一门新技术。光学技术不是简单地加盟机电一体化技术，而是渗透在机电一体化的各个组成部分。在传感器方面，光学传感器得到广泛的应用。利用激光的单色性强而制作的激光测距仪，提高了测量的精度和量程。例如，航空中心利用原有的测距传感器测量卫星的高度误差为 7~10m，而用激光测距仪测量的误差仅为 1~2cm。光学蚀刻技术是大规模集成电路的制造手段。随着光子技术的发展，人们正在研究光子计算机。利用光子技术制作超大规模的集成电路，提高芯片的运行速度和抗干扰能力。在微光机电系统中，利用 LIGA 技术可以在硅片上进行 3 维体加工，制造微驱动器，如微型电动机。利用微光机电技术，可以制作微型传感器，如微压力传感器、微光学开关等。

1.2 光机电一体化系统的组成与实例

1.2.1 光机电一体化的组成

图 1-2 为光机电一体化的组成。它大体包括 4 个部分，本体结构、计算机控制器、驱动

装置、传感器。如果将光机电一体化比做人的话，本体结构是光机电一体化产品的“躯体”，用于连接和支撑其他的功能部分；传感器是“五官”，用来感知外界和躯体内部的变化；计算机控制器相当于人体的“大脑”，是光机电一体化的灵魂；驱动装置类似人体的“四肢”，用于完成控制器交给的任务。

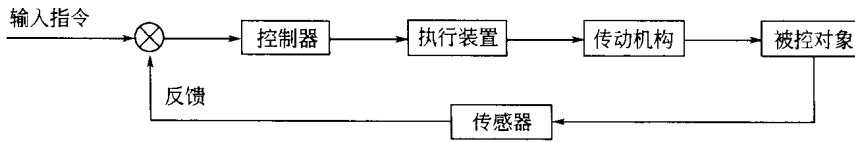


图 1-2 光机电一体化的组成

(1) 控制器

由计算机和输入输出接口组成。在光机电一体化产品中，常用的计算机有单片机、可编程控制器和工业控制计算机等。输入输出接口是控制器接受传感器返回的电信号，并将处理结果输出，从而驱动执行装置的接口。控制器是控制系统的核心。控制系统分开环系统和闭环系统。控制算法在控制器中完成。

(2) 执行装置

执行装置按照控制器发出的指令，将电信号转换为机械能，驱动机械部分进行运动的装置。执行装置分电动、气动和液动 3 大类。在第 3 章中将对此进行阐述。

(3) 传感器

传感器将被测对象的状态转化为电信号的装置。在闭环控制系统中，传感器作为反馈装置是必不可少的。

(4) 机械结构

机械结构是光机电一体化产品所有功能的支撑结构，完成系统的结构功能。机械结构在光机电一体化产品中往往占据很大的体积和质量。因此应尽量采用新材料、新工艺、新结构，满足光机电一体化产品小、轻、美观的特点。在设计光机电一体化产品时，应尽可能减少使用机械结构，如利用直接传动而去掉机械传动机构等。

1.2.2 光机电一体化的实例

要想充分理解光机电一体化产品，最有效的方法是考察光机电一体化产品实例。本节仅列举光-气伺服系统和 VCD 放像机两个例子进行简要介绍。

(1) 光-气伺服系统

电子元器件对电磁干扰和放射线干扰非常敏感。因此电动伺服系统的抗电磁干扰和放射线干扰的性能较差，在实际工作中容易引起误操作。光子元件和机械部件可以有效防护电磁及放射线干扰。因此在环境恶劣的条件下，用光子元件和机械部件组成的光-气伺服系统代替电子元器件构成的电动伺服系统是最佳选择。

图 1-3 所示为光-气伺服系统的工作原理。将控制计算机放在远离电磁干扰的地方，通过光缆与现场设备连接。整个系统的工作流程如下。

在光-气伺服系统的前向通道，旋转光-光编码器将滑板的位移转化为光脉冲信号，由光缆输送到光电转换器进行光-电信号的转换，电脉冲信号通过计数器形成二进制数字量，输入到计算机中。

控制计算机将反馈量和输入量进行比较，形成位置误差信号。然后按照一定的控制算法

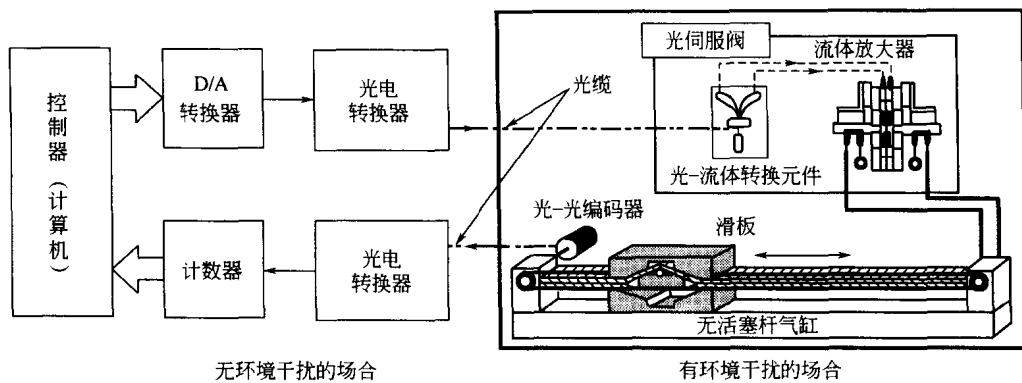


图 1-3 光-气伺服系统的工作原理

进行运算，形成新的位置控制量。

在光-气伺服系统的后向通道，位置控制量经 D/A 转换后形成模拟控制量。电-光转换器件将电信号转化为对应的光信号，由光缆将光能传输到光伺服阀。光伺服阀则输出与光能对应的压缩空气能，使其驱动无活塞杆气缸，进而带动滑板运动。

光伺服阀由光-流体转换元件和流体放大器构成。光-流体转换元件的作用是将激光信号转换成流体压力信号；流体放大器的作用是利用喷嘴挡板机构对流体能量进行放大。

在光-气伺服系统中，光缆、光-光编码器和光伺服阀都不受电磁和放射性干扰，系统的可靠性高。目前，光-气伺服系统的控制性能已经能够达到电控气动伺服系统的性能。

(2) VCD 放像机

VCD 放像机（激光影碟机）是典型的光机电一体化产品。VCD 和 CD 类似，只是结构更加复杂。VCD 盘面上以坑、岛形式记载着声音和图像信息。当光盘放进影碟机的托架上，主轴伺服系统带动托架和光盘作高速旋转运动，拾讯头的物镜将激光束聚焦后照射到光盘的表面，盘面上的坑、岛对投射激光的反射强弱不同，反射光通过光电转换、解调电路，将声音和图像信息分开，分别送到放音系统和图像显示设备。VCD 影碟机的结构复杂，本节只介绍拾讯头自动聚焦伺服系统。

图 1-4 所示为 VCD 自动聚焦伺服系统。为了准确读取 VCD 盘面上的信息，拾讯头和盘面之间必须保持恒定的距离。当光盘随主轴伺服系统作高速旋转时，由于盘面的翘曲、盘面与主轴不垂直、光盘面与拾讯头物镜之间会出现高频颤动，影响信息的读取。因此需要 VCD 自动聚焦伺服系统。盘面和拾讯头物镜之间的距离通过四象限的光电管来检测。图 1-5 是利用像散法测距的原理。当光盘和物镜之间的距离保持在正确位置上时，光盘反射的影像投射到光检测表面是圆形，四个光电管的电流信号相等，放大器输出的电压为 0，如图 1-5(a) 所示；当光盘靠近拾讯头物镜时，反射光投射到光检测表面是椭圆形，此时输出电压为正，如图 1-5(b) 所示；当光盘远离拾讯头物镜时，反射光投射到光检测表面也是椭圆形，但与图 1-5(b) 所示正好相反，此时输出电压为负，如图 1-5(c) 所示。在距离变化不大的范围内，检测的特性如图 1-5(d) 所示。

在图 1-4 中，放大器 A_1 将四象限光电管产生的电流转换成误差电压 U ，经过 A_2 、 A_3 放大后，一路经 A_5 滤波取其直流分量，在放大器 A_6 组成的窗口比较器中形成矩形脉冲电压，控制功率管，从而用来驱动直流伺服电动机。电机带动机械传动机构使拾讯头作升降运动，激光束进入聚焦条件时停止运动。这部分电路属于拾讯头的粗调。另一路经 A_4 放大后

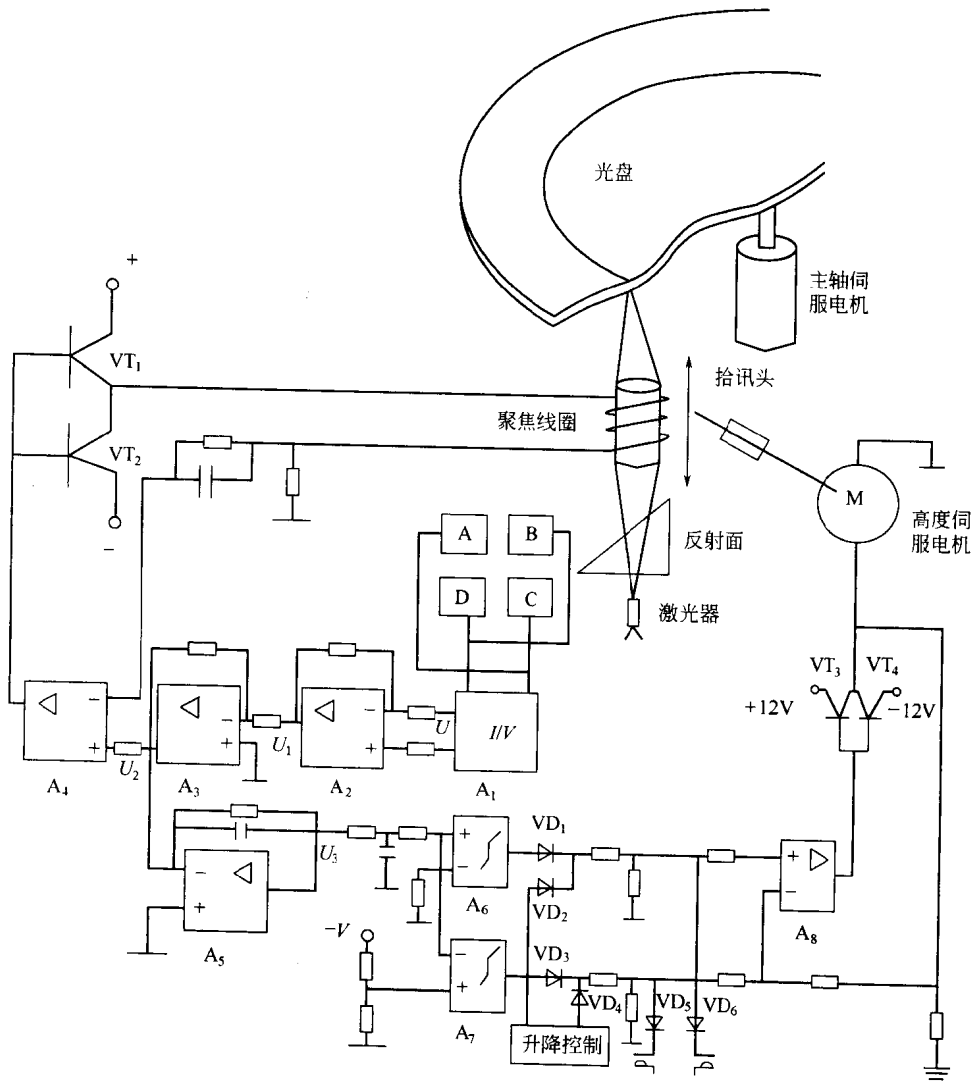


图 1-4 VCD 自动聚焦伺服系统

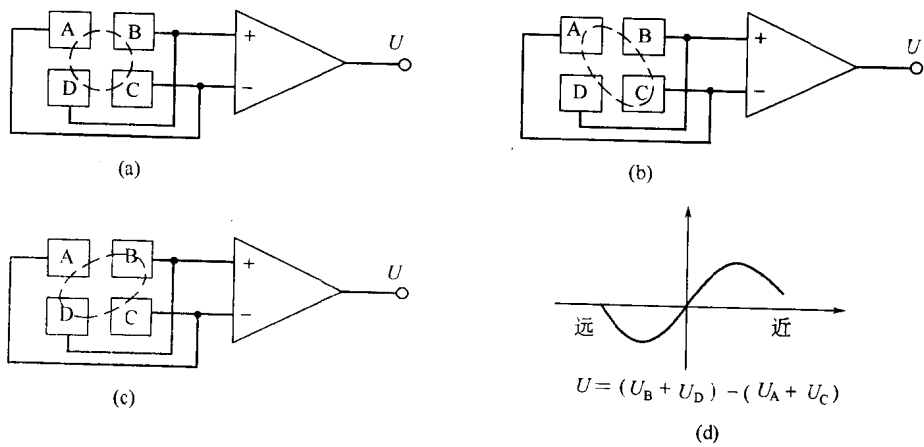


图 1-5 像散法测距

由功率管 VT_1 、 VT_2 输出给聚焦线圈激磁，线圈产生电磁力作用于物镜，使物镜上、下微小移动，以补偿光盘面的振颤，从而使激光束准确聚焦于光盘信息面上，保证准确读取信息。

1.3 光机电一体化特点

光机电一体化技术正在工业领域引起一场新的变革。它之所以能够迅速发展，是有其原因的。下面简要列举光机电一体化技术的几个方面的特点。

(1) 小型化、轻型化

由于微电子学和半导体技术的发展，光机电一体化产品的控制装置、显示部件等都普遍采用大规模集成电路。使得产品的体积和质量可以做成原来的几分之一或十几分之一，向小型化、轻型化方向发展。20 世纪 90 年代，出现了微光机电系统，产品向微型化方向发展。

(2) 高精度、多功能

光机电一体化技术使机械传动部件减少，因而使机械磨损、配合间隙和受力变形等所引起的动作误差大大减小；同时因各种干扰因素造成的误差，还可通过自动控制系统的自诊断、校正、补偿达到所要求的工作精度。如进行地震勘探的数字式地震仪，能将传感器接受到的地震反射波噪声干扰送到微机进行处理，经过筛选后的信息可供地质学家准确了解地层结构和地质结构。机械式勘探仪则无抗干扰能力，精度较低。

光机电一体化系统通过改变程序、指令等软件内容而不必改动硬件就能变化产品的功能。如激光加工中心能自动完成焊接、切割、划线等操作，可加工金属、塑料、陶瓷等材料。

(3) 可靠性高

由于激光技术和电磁技术的发展，传感器和驱动控制器等装置采用非接触式代替接触式，减少装置的可动部件和磨损部件。光机电一体化产品同时具有自诊断、自动监测功能，碰到过载、失速等事故，能进行自我保护，防止出现事故。因此，产品的可靠性得到提高。

(4) 柔性化、智能化

光机电一体化产品采用高性能的微处理器作为系统的控制器。在产品设计上，尽量采用软件来实现硬件的功能。因此，一旦产品的工作对象发生改变，只要修改相应的软件就可以完成功能的扩展和更换，而不需要增添任何硬件。NC 机床和工业机器人就是有力的例证。

(5) 知识密集

光机电一体化产品的设计往往要涉及多学科的专业知识，需要一个知识结构合理、经验丰富的设计团队共同完成。因此，光机电一体化产品是知识密集的产品，具有很高的功能水平和附加值，市场竞争力强。静电复印机、彩色印相机等，就是一种由光、机、电、磁、化学等多种学科和技术复合创新的新型产品，在市场上具有很强的竞争力和高附加值。

1.4 光机电一体化相关技术

光机电一体化技术是光学、机械学、电子学、信息处理与控制等多学科相互渗透、相互融合而形成的边缘技术。它所涉及的技术领域极其广泛，但概括起来讲，有以下 7 项共性技术。

(1) 机械技术

机械技术是光机电一体化技术的基础。它对光机电一体化产品的结构、功能、体积等有