

清华开发者书库



系统总结科研、教学与一线
研发的实际经验

全面论述光电系统设计的原
理、方法与关键技术

六位业界知名光电系统领域
专家联袂推荐

Optoelectronic Systems Design
Methods, Practical Techniques, and Applications

光电系统设计

方法、实用技术及应用

吴晗平◎编著

周泽武 中国兵器装备研究院副院长 郭劲 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所研究员
陈念江 中国电子科技集团有限公司首席科学家 闫秀生 中国电子科技集团有限公司首席专家
张新亮 华中科技大学光学与电子信息学院院长 耿林 华北光电技术研究所副总工程师

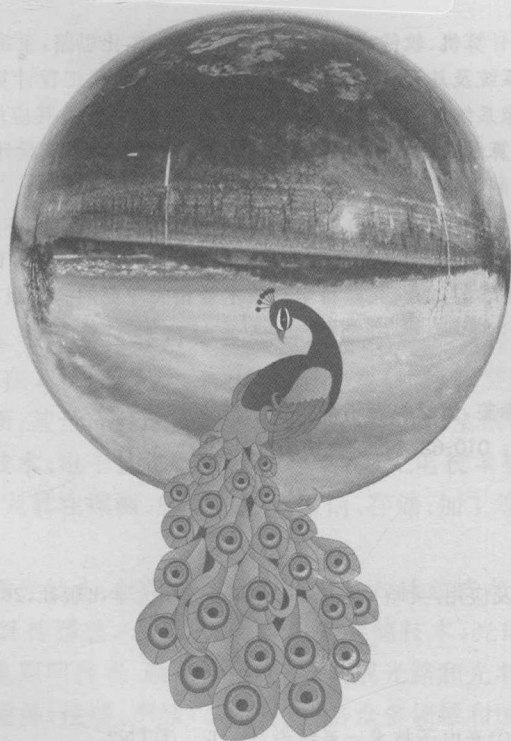
推荐阅读

清华大学出版社



清华

开发者书库



Optoelectronic Systems Design
Methods, Practical Techniques, and Applications

光电系统设计

方法、实用技术及应用

吴晗平◎编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书基于光学、机械结构、电子、计算机、软件、控制等方面的综合一体化思路,系统论述了光电系统设计的方法与实践。全书共分12章,内容包括光电系统及其设计概要、目标与环境辐射及其工程计算、辐射大气透过率的工程理论计算、光学系统及其设计、红外凝视成像系统及其工程技术设计、CCD与CMOS及其应用系统设计、光电微弱信号处理及设计、光电系统作用距离工程理论计算及总体技术设计、太阳能光伏发电及其系统设计、光电系统软件开发与设计、光电系统结构及模块化设计、光电伺服控制系统及设计。

本书融合了作者的实际工作经验与科研成果,并融合了基础理论与工程案例。本书可供从事光电系统(装备)研究、总体论证、技术设计、研制、试验、检验等方面工作的工程技术与管理人员学习、参考,也可作为高等院校光学工程、电子科学与技术、仪器科学与技术、控制科学与工程、兵器科学与技术等相关专业的高年级本科生或研究生的教材。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

光电系统设计:方法、实用技术及应用/吴晗平编著. —北京:清华大学出版社,2019
(清华开发者书库)
ISBN 978-7-302-51892-1

I. ①光… II. ①吴… III. ①光电子技术—系统设计 IV. ①TN2

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第294424号

责任编辑:盛东亮

封面设计:李召霞

责任校对:时翠兰

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载:<http://www.tup.com.cn>,010-62795954

印 装 者:清华大学印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:203mm×260mm 印 张:29.75

字 数:816千字

版 次:2019年7月第1版

印 次:2019年7月第1次印刷

定 价:99.00元

产品编号:077123-01

前言

PREFACE

光电技术与光电系统的发展历史虽然可追溯到一百多年前光电效应及光电器件的出现和应用之际,但光电技术的大量应用是在 20 世纪 50 年代中期。作为现代科技发展的标志性领域,光电技术正全面渗透到人类社会的各个方面,甚至部分改变着人们的生活环境与生活模式。借助计算机技术、信息技术、材料科学技术、先进制造技术、电子技术等的推动与支持,光电技术扩展了人类了解自然、改善生存环境和提高主宰能力的空间,尤其在探测、感知、显示、通信、存储、加工等方面显示了极强的发展潜力和扩展力。

现代光电技术主要包括激光技术、红外技术、紫外技术、太赫兹技术、微光夜视技术、CCD 或 CMOS 成像技术、平板显示技术、光纤传感技术、光通信技术、光存储技术、光电探测技术、光电检测与控制技术、太阳能光伏发电技术、光电照明技术、微纳光电技术、集成光路和光电子集成技术等。以光电技术为核心支撑的光电系统(装备、设备、仪器、产品),在国民经济众多领域和国防领域发挥着越来越重要的作用,甚至是不可替代的作用。

随着科学技术的进步,以及光电技术具有的许多优点,光学系统(仪器)逐渐拓展到了光电系统,并已发展成从 X 射线、紫外线、可见光、红外线到太赫兹波段的多功能、高精度的许多类别的高技术产品。光电系统的设计涉及光(光学)、机(机械结构)、电(电子)、算(计算机)、软件、控制等多学科的技术内容,而且由于光电系统类别繁多,发展迅速,光电系统设计至今没有一个完整的规范性定义。

本书从总体技术设计、军民用途的角度出发,基于光、机、电、算、软件、控制等方面的综合一体化思路和技术方法,介绍和论述了信息光电系统和能量光电系统及其设计,内容包括光电系统及其设计概要、目标与环境辐射及其工程计算、辐射大气透过率的工程理论计算、光学系统及其设计、红外凝视成像系统及其工程技术设计、CCD 和 CMOS 及其应用系统设计、光电微弱信号处理及设计、光电系统作用距离工程理论计算及总体技术设计、太阳能光伏发电及其系统设计、光电系统软件开发与设计、光电系统结构及模块化设计、光电伺服控制系统及其设计。

对于其他军民用电光系统,如光电制导系统、高能激光武器系统、激光探潜系统、光纤传感系统、自适应光学系统、激光通信系统、激光加工与制造系统、太赫兹探测系统、真空紫外探测系统、微纳光电系统等,以及某些设计内容,如“六性”(可靠性、维修性、保障性、安全性、测试性、环境适应性)设计、“三化”(通用化、组合化、系列化)设计等,由于篇幅所限或另有专著介绍等原因,本书则较少介绍或没有涉及,读者可以参阅相关专著或其他文献资料(如有关环境与可靠性设计,也可参阅作者的另一本著作《光电系统环境与可靠性工程技术》)。

本书不求面面俱到,但求提升能力、启发潜能、注重创新与工程应用,以几类典型光电系统和有关重要设计技术内容为着重点,突出总体综合一体化。本书涉及多学科,其中有些技术思路、方法反映了作者的观点和工作感悟,通过书中示例,以期读者能举一反三。希望本书的出版能起到抛砖引玉的作用。

作者从 20 世纪 90 年代初开始,曾主持并参加了多个型号光电装备(军用光电装备)的预先研究、总体论证、技术设计、研制、生产、内外场试验、检验等全过程的一线工作,亲历相关工程实践。本书从立意、科研、积累素材到书稿成型历时二十余年,融合了作者长期从事相关技术工作的部分成果、经验和体会。在成书过程中还参考了许多文献资料,在此向文献作者表示衷心的感谢。此外,还要特别感谢清华大学出版社和盛东亮编辑为本书的出版所做的工作。

多年来,本书主体内容在国内航空、航天、兵器、电子、中科院、部队等光电类科研院所、大型企业的相关科技人员、项目负责人在职高级研修培训,以及在光学工程、检测技术与自动化装置、电子科学与技术等专业研究生和光电信息科学与工程专业高年级本科生教学中进行多次试用,虽然每次试用内容有所增减、繁简侧重不同、深度有所区别,但反响良好。本书虽经不断修订与完善,期望能与时俱进,但由于内容范围非常广泛,加之作者水平所限,以及许多技术内容还处在不断快速发展之中,书中仍难免存在诸多不足、疏漏,甚至欠妥之处,欢迎读者批评指正。联系邮箱:wuhanping601@sina.com。

吴晗平

2019 年 2 月

于武汉工程大学光电子系统技术研究所

目录

CONTENTS

第 1 章 光电系统及其设计概要	1
1.1 光电系统的界定、基本组成及设计	1
1.1.1 光电系统的界定	1
1.1.2 光电系统的基本组成	2
1.1.3 设计概述	4
1.2 光电系统的分类及应用	4
1.2.1 光电系统的分类	4
1.2.2 光电系统的应用	6
1.3 光电系统的发展基础及制约因素	6
1.3.1 光电系统的发展基础	6
1.3.2 光电技术及系统发展的主要制约因素	7
1.4 光电系统设计思想的转变	8
1.5 光电系统设计流程与考虑因素	11
1.5.1 光电系统设计流程及结果	11
1.5.2 光电系统设计考虑因素	12
1.6 光电系统总体技术与总体设计	14
1.6.1 光电系统总体技术研究	14
1.6.2 光电系统总体设计	15
1.6.3 光电系统总体优化设计	19
1.7 光电系统工程方法	20
1.7.1 技术成熟度与制造成熟度	20
1.7.2 系统工程的核心思想	21
1.7.3 产品开发技术过程	22
1.7.4 产品分析方法	24
1.7.5 产品成熟度快速提升模型	24
1.8 光电产品工程设计控制程序	25
1.8.1 设计输入控制	25
1.8.2 设计过程控制	25
1.8.3 设计输出控制	29
1.8.4 设计更改控制	30
1.8.5 技术服务和记录	30
1.8.6 新产品设计试制进程	30
1.9 光电产品设计图样文件技术要求	32

1.9.1	产品图样及设计文件的完整性	32
1.9.2	设计文件的内容及要求	33
1.10	光电系统设计与仿真软件	35
第2章	目标与环境辐射及其工程计算	38
2.1	光辐射与度量	38
2.1.1	光辐射及其红外辐射	38
2.1.2	光度量和辐射度量	39
2.2	绝对黑体及其基本定律	50
2.2.1	绝对黑体与非黑体	50
2.2.2	普朗克定律	60
2.2.3	斯忒藩-玻耳兹曼定律	60
2.2.4	维恩位移定律	71
2.2.5	朗伯余弦定律	74
2.3	辐射源及特性形式分类	75
2.3.1	辐射源分类	75
2.3.2	辐射源特性形式	76
2.4	点源、小面源、朗伯扩展源及成像系统像平面的辐照度	79
2.4.1	点源、小面源、朗伯扩展源产生的辐照度	79
2.4.2	成像系统像平面的照度	82
2.5	非规则体的辐射通量计算及目标面积的取法	83
2.5.1	非规则辐射体的辐射通量计算	83
2.5.2	辐射计算中目标面积的取法	84
2.6	目标与环境光学特性的分类及特点	85
2.6.1	空间目标与深空背景	85
2.6.2	空中目标与天空背景	85
2.6.3	地面目标与地物背景	86
2.6.4	海面目标与海洋背景	86
2.7	环境与目标光辐射特性	87
2.7.1	天体背景光辐射特性	88
2.7.2	太阳光辐射特性	89
2.7.3	天空背景光辐射特性	92
2.7.4	海洋背景光辐射特性	94
2.7.5	自然辐射源与目标辐射源	96
2.8	目标辐射的简化计算程序	100
第3章	辐射大气透过率的工程理论计算	101
3.1	地球大气的组成与结构及其辐射吸收作用	101
3.1.1	地球大气的组成	101
3.1.2	大气层结构	110
3.1.3	大气的辐射吸收作用	112
3.2	大气衰减与透过率	113
3.3	大气中辐射衰减的物理基础	114
3.4	大气透过率数据表	115
3.5	海平面上大气气体的分子吸收	123

3.6	不同高度时的分子吸收修正问题	126
3.6.1	吸收本领随高度而改变所引起的修正	126
3.6.2	分子密度随高度而改变所引起的修正	127
3.6.3	纯吸收时的透过率计算方法	128
3.7	大气分子与微粒的散射	129
3.8	与气象条件有关的衰减	132
3.9	平均透过率与积分透过率的计算方法	133
3.9.1	平均透过率的计算方法	133
3.9.2	积分透过率的计算方法	133
3.10	计算示例	134
3.11	几种大气辐射传输计算软件应用比较分析	137
第4章	光学系统及其设计	140
4.1	光学仪器及其发展	140
4.1.1	光学理论的发展	141
4.1.2	新设计的发展	141
4.1.3	新材料、新工艺、新器件的发展	142
4.1.4	电子技术的发展	142
4.1.5	光学仪器的类别	142
4.1.6	光学仪器发展简史及其发展趋势	143
4.2	光学设计及其发展	145
4.2.1	光学设计概述	145
4.2.2	光学设计的主要过程和基本步骤	148
4.2.3	像差与光学设计过程	149
4.2.4	光学系统设计要求	149
4.2.5	光学设计的发展概况	150
4.3	应掌握的 optical 设计基础	151
4.4	光线追迹及像差校正常用方法	152
4.4.1	光线追迹概述	153
4.4.2	光学系统的像差概述	153
4.4.3	像差校正的常用方法	156
4.5	光学设计的大致类型及各类镜头的设计差别	157
4.5.1	光学设计的大致类型	157
4.5.2	各种镜头的设计差别	159
4.5.3	数码相机的镜头焦距与光学镜头	160
4.5.4	新型光学系统类型及其设计差别	162
4.6	可见光光学系统设计示例：用于可见光电视导引头的摄像物镜设计	162
4.6.1	光学性能指标	163
4.6.2	光学系统的结构	163
4.6.3	设计结果	165
4.6.4	结论	167
4.7	非成像光学系统设计示例：太阳能采集用 1000mm 口径菲涅耳透镜设计	167
4.7.1	菲涅耳透镜结构	168
4.7.2	主要技术指标要求	168

4.7.3	设计计算过程	168
4.7.4	设计结果分析与讨论	171
4.8	光机一体化设计示例:某型红外成像光学系统工程设计	172
4.8.1	使命任务	172
4.8.2	设计特点	172
4.8.3	设计思路	172
4.8.4	设计依据	173
4.8.5	主要功能与性能要求	173
4.8.6	系统组成与接口	174
4.8.7	工作原理	175
4.8.8	光学系统的设计	176
4.8.9	遮光罩的设计	178
4.8.10	主体机械结构设计	178
4.8.11	关重件特性分析	181
4.8.12	可靠性与电磁兼容性设计	181
4.8.13	标准化执行情况	181
4.8.14	系统主要技术指标计算(系统设计计算)	181
4.8.15	设计结果与分析	184
4.8.16	设计输出文件	185
第5章	红外凝视成像系统及其工程技术设计	186
5.1	热成像技术特点	186
5.2	红外凝视成像技术的发展	190
5.3	红外凝视成像系统的工作原理	193
5.3.1	红外凝视成像系统的组成和工作原理	193
5.3.2	红外热成像系统性能评价的常用指标	196
5.3.3	凝视成像系统的优点	197
5.4	IRFPA非均匀性产生的原因及其校正技术	199
5.4.1	红外焦平面非均匀性产生的原因	200
5.4.2	红外焦平面NUC方法	201
5.4.3	四种算法的优点和缺点	205
5.4.4	三种新算法	205
5.4.5	非均匀性表示方法	209
5.5	红外凝视系统中的微扫描技术	210
5.5.1	红外成像过程	210
5.5.2	微扫描	211
5.5.3	非均匀微扫描	215
5.6	热像仪产品选例	218
5.7	红外传感器工程设计出发点及分析	222
5.8	红外工作波段的选取分析	222
5.8.1	光谱辐出度	223
5.8.2	光谱辐射对比度	223
5.8.3	光谱辐射对比度极值波长	223
5.8.4	两个红外波段的实际比较	224

5.9	系统总体对红外传感器提出的功能及性能指标要求	225
5.9.1	主要功能	225
5.9.2	红外传感器的性能	225
5.10	红外传感器的工作原理与组成	225
5.10.1	红外传感器的工作原理	225
5.10.2	红外传感器的组成	225
5.11	红外探测器件及物镜光学参数选取	227
5.11.1	红外探测器组件的选取	227
5.11.2	物镜光学系统的设计考虑及参数选取	228
5.11.3	物镜的温度补偿	229
第 6 章	CCD 和 CMOS 及其应用系统设计	230
6.1	CCD 的基本原理及其主要性能指标	230
6.1.1	CCD 器件的基本原理	230
6.1.2	CCD 传感器的主要性能指标	231
6.2	CCD 成像器件与真空摄像管的比较	234
6.3	CMOS 传感器的基本原理及其主要性能指标	234
6.3.1	CMOS 的基本原理	234
6.3.2	CMOS 传感器的主要性能指标	235
6.4	CCD 和 CMOS 传感器的比较及发展趋势	237
6.4.1	制造工艺的差异	238
6.4.2	性能差异	238
6.4.3	CCD 与 CMOS 的发展趋势	240
6.5	CCD 摄像机分类与例示	242
6.5.1	CCD 摄像机分类	242
6.5.2	CCD 摄像机例示	243
6.6	CCD 的工程技术应用	248
6.6.1	CCD 的七个主要应用领域	248
6.6.2	尺寸测量	248
6.6.3	工件表面质量检测(粗糙度、伤痕、污垢)	254
6.7	CCD 图像传感器在微光电视和紫外成像系统中的应用	255
6.7.1	CCD 图像传感器在微光电视系统中的应用	255
6.7.2	CCD 图像传感器在紫外成像系统中的应用	257
6.7.3	存在的问题及解决途径	258
6.8	高灵敏度 CCD 光电信号检测系统设计示例	258
6.8.1	光电信号检测系统的组成	258
6.8.2	高性能 CCD 简介	258
6.8.3	CCD 输出信号的预处理	259
6.8.4	A/D 转换	260
6.8.5	微控制器	260
第 7 章	光电微弱信号处理及设计	263
7.1	微弱信号检测概述	263
7.2	微弱信号检测的基本理论	264
7.2.1	微弱信号的基本知识	264

7.2.2	微弱信号检测的理论方法	265
7.2.3	提高微弱信号检测能力的途径	271
7.3	紫外目标探测弱信号处理方法示例	272
7.3.1	弱信号自适应处理	273
7.3.2	滤波性能评价	278
7.3.3	仿真计算与结果分析	278
7.4	基于FPGA的紫外通信微弱信号放大器设计示例	280
7.4.1	放大器技术指标、组成与工作原理	281
7.4.2	预放电路设计与仿真	281
7.4.3	A/D转换	284
7.4.4	数字滤波的设计及仿真	286
7.4.5	设计结果分析	289
第8章	光电系统作用距离工程理论计算及总体技术设计	290
8.1	红外系统的作用距离计算	290
8.1.1	方程一般形式推导	290
8.1.2	背景限制探测器的一般作用距离方程式	292
8.1.3	特殊系统的作用距离方程式	293
8.2	脉冲激光测距系统的作用距离计算	297
8.2.1	激光测距公式	297
8.2.2	脉冲式激光测距仪测距方程式	298
8.3	电视跟踪仪的作用距离计算	300
8.3.1	电视跟踪仪的作用距离计算(一)	300
8.3.2	电视跟踪仪的作用距离计算(二)	302
8.3.3	电视跟踪仪的作用距离计算(三)	302
8.4	微光电视的作用距离计算	302
8.5	光纤通信系统的作用距离计算	303
8.6	总体技术设计与示例	307
8.6.1	预先分析与研究	307
8.6.2	系统初步设计	308
8.6.3	综合权衡研究和系统最终设计	312
第9章	太阳能光伏发电及其系统设计	315
9.1	太阳能发电概述	315
9.2	光伏发电历史及应用领域	316
9.2.1	光伏发电历史	316
9.2.2	应用领域	318
9.3	太阳能电池	318
9.4	太阳能光伏发电系统的组成	323
9.4.1	太阳能电池板	323
9.4.2	充电控制器	323
9.4.3	蓄电池	324
9.4.4	逆变器	327
9.4.5	太阳能供电系统的特点及类型	327
9.4.6	独立光伏发电系统	327

9.4.7	并网光伏发电系统	328
9.5	太阳能光伏发电系统的设计方法	332
9.5.1	一般工程设计步骤	333
9.5.2	设计因素分析	333
9.5.3	常用设计方法	336
9.5.4	成本核算	340
9.6	住宅用太阳能光伏系统简易设计示例	340
9.6.1	设计步骤	341
9.6.2	设计条件	341
9.6.3	太阳能电池阵列设计	341
9.7	10kW 太阳能并网发电系统设计示例	342
9.7.1	并网发电系统的组成	342
9.7.2	10kW 太阳能并网发电系统的设计	342
9.7.3	并网逆变器	343
9.7.4	配电室设计	343
9.7.5	防雷	343
9.7.6	系统建设及施工	343
9.7.7	设备安装部分	344
9.7.8	检查和调试	344
9.7.9	并网网站建设流程图	345
9.7.10	并网发电系统配置表	345
9.7.11	10kW 并网发电系统光电场配套图纸	345
9.8	太阳能和风能一体化发电系统设计示例	347
9.8.1	太阳能与风能一体化发电系统	347
9.8.2	风光互补发电系统的组成和分类	347
9.8.3	风力发电机	348
9.8.4	风光互补发电系统的设计方法	349
9.8.5	离网户型风光互补发电系统的设计	350
9.8.6	系统最终设计方案	362
9.8.7	系统性能分析	363
9.9	太阳能光伏/光热综合利用的温控系统设计示例	363
9.9.1	温控系统的组成及工作原理	364
9.9.2	设计指标	365
9.9.3	系统设计	365
9.9.4	光学薄膜仿真	369
第 10 章	光电系统软件开发与设计	371
10.1	软件开发程序流程及文档	371
10.1.1	进程管理的目的和要求	372
10.1.2	开发情况检查	373
10.2	软件设计概述	373
10.3	软件设计开发控制程序	373
10.3.1	设计和开发的输入	374
10.3.2	设计和开发的输出	374

10.3.3	设计和开发的评审	374
10.3.4	设计开发的验证	375
10.3.5	设计开发的确认	375
10.3.6	设计和开发的更改	375
10.4	嵌入式软件及其设计	375
10.4.1	嵌入式软件的概念及特点	375
10.4.2	嵌入式软件分类	376
10.4.3	嵌入式软件的体系结构	376
10.4.4	嵌入式软件的设计流程	377
10.4.5	嵌入式系统的硬件结构	379
10.4.6	嵌入式系统的软件结构	379
10.4.7	嵌入式软件的开发流程	380
10.5	软件设计示例	381
10.5.1	系统硬件组成分析	381
10.5.2	系统软件设计	382
第 11 章	光电系统结构及模块化设计	386
11.1	结构设计与工艺概述	386
11.1.1	光电电路设计与结构设计概念	387
11.1.2	光电产品结构设计与工艺的内容	387
11.1.3	光电产品结构设计与工艺的任务	388
11.2	结构总体设计	388
11.2.1	结构总体布局	388
11.2.2	模块尺寸及总体尺寸的确定	389
11.2.3	结构形式确定	389
11.2.4	热设计方案确定	389
11.2.5	抗振抗冲击	390
11.2.6	电磁兼容性设计	392
11.2.7	密封性设计	392
11.3	模块化设计	394
11.3.1	模块	394
11.3.2	模块特征	394
11.3.3	模块分类	394
11.3.4	模块化与标准化的关系	395
11.3.5	光电装备模块化结构体系	395
11.4	优化设计	395
11.4.1	价值工程设计	395
11.4.2	设计优化	396
11.4.3	计算机辅助设计技术	397
11.4.4	抗恶劣环境优化设计	397
11.5	光电跟踪指向器结构设计示例	397
11.5.1	结构总体设计考虑	397
11.5.2	指向器重量计算	399
11.5.3	俯仰轴校核	399

11.5.4	方位轴校核	401
11.5.5	指向器精度计算	402
11.5.6	指向器固有频率计算	403
11.5.7	指向器尺寸链计算	404
11.5.8	激光器散热分析	405
11.5.9	电磁兼容性的具体要求与设计措施	405
第 12 章	光电伺服控制系统及其设计	407
12.1	自动控制基础	407
12.1.1	自动控制的基本概念	407
12.1.2	开环控制方式	408
12.1.3	反馈控制方式	408
12.1.4	复合控制方式(开环控制+闭环控制)	409
12.1.5	自动控制系统的分类	409
12.2	控制系统的基本要求与性能指标	410
12.2.1	控制系统的基本要求	410
12.2.2	控制系统的性能指标	410
12.3	控制系统设计的基本问题	414
12.4	控制系统的设计方法	416
12.5	光电伺服系统	418
12.5.1	结构组成与分类	418
12.5.2	技术要求	420
12.5.3	执行元件	420
12.5.4	光电跟踪伺服系统及其控制技术的发展趋势	426
12.6	光电跟踪控制系统	428
12.6.1	跟踪控制系统主要性能指标提出的依据	428
12.6.2	跟踪系统的基本技术问题	429
12.6.3	高精度控制技术	433
12.7	光电跟踪伺服系统设计示例	436
12.7.1	主要性能指标	436
12.7.2	光电跟踪伺服系统的总体结构	436
12.7.3	伺服控制系统的方案设计	437
12.7.4	负载力矩及相关主要部件选型	439
12.7.5	系统总体计算	442
12.8	光电跟踪伺服系统的建模与仿真示例	443
12.8.1	伺服系统的工作原理与结构	443
12.8.2	伺服系统主要部件的数学模型	444
12.8.3	环路建模仿真	446
12.9	机械结构因素对光电跟踪伺服系统性能的影响	453
12.9.1	转动惯量与伺服系统性能的关系	454
12.9.2	结构谐振频率与伺服系统性能的关系	455
12.9.3	摩擦力矩与伺服系统性能的关系	456
12.9.4	消除或减小机械谐振的措施	456
	参考文献	458

随着科学技术的发展,以及民用和军用领域的需求日益增长,光电系统的构成越来越复杂,其技术含量越来越高,牵涉的学科和技术也越来越多。如何实现光电系统的预定性能和高质量,使其在特定约束条件下达到最优化,这就需要在源头从系统工程的角度进行顶层设计,亦即需要进行光电系统设计。

产品的性能与质量源于设计,设计引领未来。一般而言,现代光电系统往往是光、机、电、算、软件、控制一体化产品,涉及多个专业,系统复杂,研制周期长、成本高。设计水平的提高、设计人员之间(单机设计人员之间、单机与总体设计师之间)的密切合作,需要高层次的知识融合和能力提升。这就更需要设计人员以工程应用为准则,以总体技术设计为出发点,掌握光电系统设计的思路、基本方法和主要技术内容。

本章首先在光电系统界定、基本组成与设计概述的基础上,介绍光电系统的分类与应用、光电系统的发展基础与制约因素,阐述光电系统设计思想的转变、光电系统设计流程与考虑因素。然后,重点研讨光电系统总体技术与总体设计、光电系统工程方法等基本内容。最后,详细介绍光电产品工程设计控制程序、设计图样文件技术要求,并简要分析系统设计常用的仿真软件。

1.1 光电系统的界定、基本组成及设计

光电系统的规范界定是其设计的前置性工作,从不同角度界定和分析其基本组成,理清设计的含义和分类,以及总体设计过程中应特别注意的事项,对系统设计具有重要作用和意义。

1.1.1 光电系统的界定

光电系统至今没有完整、规范的定义。本书给予定义如下:光电系统是指用光学、电子学和控制理论等方法对光信息/光能进行(产生、传输、变换、处理和控制在)单项操作或多项综合协调操作,并以光学(光电)为核心的众多技术融合组成的系统。它是光学系统的延伸和发展,更是光学系统、电子系统、结构系统、控制系统、计算机硬件与软件系统等一体化集成发展的产物。

光电系统可以是用于接收来自目标反射或自身辐射的光辐射,通过传输、变换、处理、控制等环节,获得所需要的信息或能量,并进行必要环节操作的光电装置。这样,它的基本功能就是将接收到

的光辐射转换为电信号,并利用它去达到某种实际应用的目的。例如,测定目标的光度量、辐射度量或各种表观温度;测定目标光辐射的空间分布及温度分布;测定目标所处三维空间的位置或图像等。利用这些所测得的信息,按实际应用的要求进行处理和控制,分别构成诸如成像、瞄准、搜索、跟踪、预警、测距和制导等多种光电系统。

光电系统也可以是产生特定光能(如激光)和/或利用光能、控制光能的光电装置,例如激光加工制造系统、激光武器系统和太阳能光电系统等。

总体来看,光电系统是指在地面、海洋和空中等环境中使用的,由光学、机械、电子、计算机软硬件(软件与硬件)、控制等部分组成的综合系统,包括能够独立完成某些规定功能的整机、分系统、分机或单元。通常光电系统也称光电设备、光电仪器或光电产品;如果处于交付和/或使用状态,则称为光电装备。尽管它们实际上在复杂程度、体积大小、功能多少等方面存在差异,但它们都是能够独立完成一种或多种规定功能的集合体,在产品层面上是同义的。

1.1.2 光电系统的基本组成

光电系统的基本构成示意图如图 1.1 所示。主体一般包括光、机、电、算、控制,即光学系统、(机械)结构、传感(探测)器/能量转换器、电子系统(信号处理/功率放大电路)、计算机软硬件、伺服控制/(动力)驱动。从设计角度考虑,光电系统组成还应包括目标与环境 and 辐射传输介质(如大气)。通常而言,图 1.1 中右单向箭头表示被动光电系统;左单向箭头表示主动光电系统(如激光加工制造系统);双向箭头表示双工系统(如激光通信系统和激光测距系统)。对于红外光电系统(如图 1.2 所示),主体包括光学系统、探测器、电子系统、输出和控制单元,以及致冷器等。应该指出的是,在有的系统内,有的组成可能没有,而有的系统又会因某个特殊功能的需要而增加一些其他的组成(如图 1.3 和图 1.4 所示),其中最基本的核心组成单元往往包括光学系统、传感(探测)器/能量转换器、电子系统。随着技术的发展,信号处理的含义越来越广,包括普通信号处理、微弱信号处理、图像处理与识别和智能信号处理等。

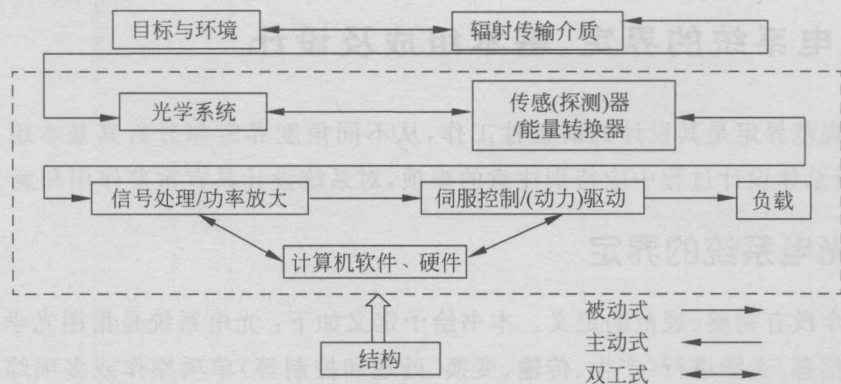


图 1.1 光电系统基本构成示意图

近代光学和光电子技术的迅猛发展,使光学仪器的研制发生了很大变化,衍生出了许多学科和成像技术。传统光机结构的光学仪器发展成了光、机、电、计算机软硬件、控制一体化的光电系统(简称光机

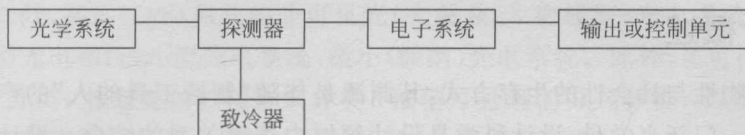


图 1.2 红外光电系统基本组成示例

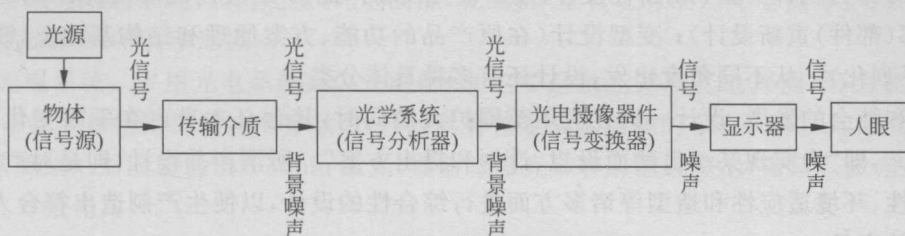


图 1.3 光电成像系统基本组成示例

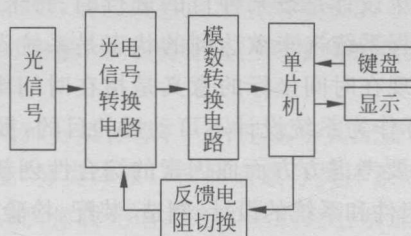


图 1.4 光电检测系统基本组成示例

电一体化产品),创造了很多新颖的光电器件和仪器。同时,在传统光学的基础上,发展了许多新的成像技术、新的光学材料、形成新的加工方法和新的光学器件,形成了新的光学分支。其中,光学成像技术的变化主要表现在以下几个方面:

(1) 光学成像器件和系统的光谱范围已经由可见光光谱扩展到几乎全光谱范围,包括远红外、中红外、近红外、可见光和紫外光谱区。

(2) 光学成像器件不只是简单的透镜、棱镜和反射镜,已经设计和制造出诸如全息透镜、衍射透镜和微透镜阵列等新型光学器件。

(3) 光学系统的成像不只是遵守折射定律和反射定律,衍射理论已经成为衍射光学器件的基本成像理论。

(4) 光学器件的加工方法不只是传统的粗磨、精磨和抛光工艺,已经创立了全息干涉术法、蚀刻法以及微透镜加工方法。

(5) 光学器件的外形尺寸在两个极端方向发展,一些光电仪器要求每毫米基板上能刻出千百个透镜(微透镜阵列),而另一些光学仪器则要求主反射的通光孔径大到 8.1m(如 Gemini 望远镜),甚至更大,全息光栅和薄膜透镜的应用使透镜的厚(薄)度到了极限。

(6) 光学器件和系统的应用环境已经由实验室和地球表面延伸到了宇宙的其他空间。环境条件对元器件和系统的要求越来越高,也越来越苛刻,或者说环境条件对光电系统具有越来越重要的影响。