

GUANG DIAN YIQI SHEJI

普通高等院校光电工程系列“十二五”规划教材

光电仪器设计

高明 刘缠牢 吴玲玲 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

内 容 简 介

本书从仪器总体设计出发,结合现代测试技术,系统、全面地阐述了“光电仪器设计”的基本理论及设计方法,详细地介绍了光电仪器的设计思路及其关键技术,并结合实例讲解了光电仪器的设计过程。全书分为6章,包括光电仪器设计概论、光电仪器总体设计、仪器设计的精度理论、光电仪器中的定位与校准、光电仪器中的光电探测及常用检测电路、光电仪器设计举例及典型成像光谱仪简介。

本书荟萃了现代仪器设计的有关资料和科研成果,具有相当的深度和广度。本书适用于测控技术与仪器、光电信息工程及光电类专业大专院校师生,也可供从事光电系统研究、设计、制造和系统开发的工程技术人员学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

光电仪器设计/高明,刘缠牢,吴玲玲编著. —北京:国防工业出版社,2012.7

普通高等院校光电工程系列“十二五”规划教材
ISBN 978-7-118-07768-1

I. ①光... II. ①高...②刘...③吴... III. ①光电仪器-设计-高等学校-教材 IV. ①TH890.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 081479 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 21 字数 490 千字

2012 年 7 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 38.00 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

仪器的实质是信息获取、信息处理、信息利用的工具,而仪器仪表学科则是研究以获取信息为目的的信息转换、处理、传输、存储、显示与应用等技术与应用科学。

纵观人类科技发展史不难看出,科技重大成就的获得和科学新领域的开辟往往是以测试仪器和测试技术方法上的突破为先导的。随着科学技术的发展,仪器技术内涵在逐步扩展,仪器设计中不断引入先进的光学技术、电子技术,使仪器向光、机、电结合方向发展。随着计算机技术的发展,仪器仪表又向智能化迈进,Internet 的普及促使仪器技术向网络化发展,一些尖端现代仪器还将生物技术、材料科学以及物理、化学的新技术引入其中。光电仪器是现代仪器技术的综合体现,由于其种类繁多,方法各异,发展至今还没有一个完整和规范的设计体系。

本书从仪器总体设计出发,结合现代测试技术,系统地阐述了“光电仪器设计”的基本理论及设计方法。重点是介绍具有普遍意义的测量类光电精密仪器的有关设计内容,以阐明光电仪器设计中带有共性的问题。

本书是根据全国高等学校仪器仪表学科教学指导委员会关于“仪器仪表学科发展战略”及“光电仪器设计”教学大纲编写的。

“光电仪器设计”是以设计为主的专业课程。其目的是使学生学会综合运用相关的基础理论知识,掌握光、机、电、计算机相结合的现代仪器设计理论和方法,培养学生独立设计与研究现代光电精密仪器系统的能力。

全书共分6章。分别为光电仪器设计概论、光电仪器总体设计、仪器设计的精度理论、光电仪器中的定位与校准、光电仪器中的光电探测及常用检测电路、光电仪器设计举例及典型成像光谱仪简介。其中第1、2、3、6章由高明执笔;第4章、5.1节由吴玲玲执笔;5.2节和5.3节由刘缠牢执笔;全书由高明统稿。

本书是在测控技术与仪器专业、光电信息工程专业本科生及仪器科学与技术、光学工程硕士研究生校内用讲义基础上,参阅大量文献资料及作者多年科研成果编写而成的,在此对文献作者表示衷心感谢。

本书可供高等工科院校测控技术与仪器、光电信息工程及光电类专业大专院校师生使用,同时也可供从事精密仪器、光学仪器及光电系统的研究、设计、制造和系统开发的工程技术人员学习和参考。

由于水平有限,书中难免有不妥和错误之处,希望读者提出宝贵意见。

作 者

2011年6月于西安工业大学

目 录

第 1 章 光电仪器设计概论	1
1.1 概述	1
1.1.1 现代设计的概念	1
1.1.2 研究对象及分类	5
1.1.3 仪器仪表学科目前发展概况	7
1.1.4 我国光电仪器发展的状况	11
1.2 光电仪器的组成	12
1.3 光电仪器的静态特性	16
1.3.1 静态测量中输入和输出的关系	16
1.3.2 仪器的静态特性指标	16
1.4 光电仪器的动态特性	18
1.4.1 仪器系统的数学模型	18
1.4.2 系统传递函数、脉冲响应函数和频率响应函数	19
1.4.3 仪器系统的动态特性	20
第 2 章 光电仪器总体设计	23
2.1 设计任务分析	23
2.2 信号转换原理的选择	26
2.3 提高仪器精度的技术措施	39
2.3.1 设计原则	39
2.3.2 若干设计原理	53
2.4 仪器结构参数及技术指标的确定	61
2.5 光电仪器中的光学系统参数的确定	69
2.5.1 光源	69
2.5.2 基于目视方式的光学系统基本参数的确定	72
2.5.3 基于光电探测方式的光学系统参数的确定	86
2.6 总体设计中应考虑的其他问题	91
2.7 仪器总体方案的确定	92
2.7.1 总体设计	92
2.7.2 光学系统设计	102
2.7.3 机械结构设计	108

2.7.4	电源设计	111
第3章	仪器设计的精度理论	116
3.1	仪器精度理论中的基本概念综述	116
3.1.1	误差	116
3.1.2	精度	120
3.2	原理误差	121
3.2.1	原理误差	121
3.2.2	原理误差分析方法举例	122
3.3	仪器机构误差分析及常见误差计算方法	126
3.3.1	原始误差与作用件	126
3.3.2	误差计算方法	128
3.4	仪器精度设计与误差分配	142
3.4.1	仪器精度指标的制定	142
3.4.2	仪器精度分配步骤与依据	142
3.4.3	误差的分配方法	143
3.5	总体精度分析的目的和方法	144
3.5.1	总体精度分析的目的和任务	144
3.5.2	总体精度分析的方法和步骤	145
3.6	仪器精度和测量精度	147
3.6.1	仪器精度	147
3.6.2	仪器精度和测量精度的关系	148
3.7	光学经纬仪的总体精度分析	150
3.7.1	经纬仪的测角原理和基本结构	150
3.7.2	经纬仪不满足几何条件时所产生的误差	151
3.7.3	光学经纬仪的总体精度分析	153
第4章	光电仪器中的定位与校准	165
4.1	概述	165
4.2	定位	165
4.2.1	光栅定位测量系统	166
4.2.2	激光在定位中的应用	181
4.2.3	机械定位装置	189
4.3	校准	200
第5章	光电仪器中的光电探测及常用检测电路	214
5.1	光电探测器及其选用	214

5.1.1	光探测器的性能指标	215
5.1.2	探测器的噪声	218
5.1.3	热探测器	221
5.1.4	光发射器件	223
5.1.5	固体光子探测器	224
5.1.6	位敏光探测器	226
5.1.7	CCD 成像器件及其应用	228
5.1.8	COMS 成像器件	233
5.2	光电信号检测电路设计	234
5.2.1	缓变光信号检测电路的设计	235
5.2.2	变光信号检测电路的设计	247
5.3	时变光信号的调制检测	256
5.3.1	调制的基本原理和类型	256
5.3.2	调制器	262
5.3.3	调制信号的解调	266
第 6 章	光电仪器设计举例及典型成像光谱仪简介	271
6.1	平视显示器视差测量仪	271
6.1.1	视差测量仪原理及系统组成	272
6.1.2	调焦物镜设计	275
6.1.3	目镜设计	285
6.1.4	目视望远系统	289
6.1.5	CCD 接收物镜的设计	290
6.1.6	视差测量仪软件的实现	298
6.2	微小锥体零件自动检测仪	301
6.2.1	被测微小零件外形结构	301
6.2.2	自动检测设备的技术指标及总体方案选择	301
6.2.3	关键参数检测方法	304
6.2.4	自动检测的控制实现	310
6.2.5	实际测量结果	321
6.3	典型成像光谱仪简介	322
6.3.1	成像光谱仪的应用	322
6.3.2	成像光谱仪的工作原理	323
6.3.3	几种典型成像光谱仪	326
参考文献		330

第1章 光电仪器设计概论

1.1 概 述

仪器是传递和转换信息的工具,它是各类仪器仪表、传感器及观察、监控、测试、分析设备的总称。随着科学技术的进步,仪器对于人们的生产、生活以及高尖技术的发展,显得愈发重要。据美国国家标准局的统计,美国“阿波罗”登月计划总投资 200 亿美元,其中用于测量和试验的费用达 100 亿美元 ~ 110 亿美元,占总投资的 40%。仅此一例便可以说明,仪器仪表学科在自然科学与国民经济的发展中具有十分重要的地位与作用。

仪器仪表发展至今已成为一门独立的学科,而光电仪器则是仪器仪表学科的一个重要分支。它是传统的与现代的光学机械技术、电子技术与计算机技术的集成。人们在认识世界的过程中约 80% 的信息是通过视觉获取的。光电仪器将人们的视觉扩展到远至星际距离,小至原子尺寸,其特点是将光学信息转变成电信号输出,因而可以运用现代电子学的一切成果来处理光学信息。目前光学技术与光电仪器已渗透到国民经济各部门,得到广泛应用。

可以说,光电仪器的发展水平是科学技术现代化的重要标志,没有现代化的光电仪器,国民经济是无法发展的。

本书是围绕光电仪器的设计理论而言的,因此,在讲解有关内容之前,有必要介绍一下关于现代设计的一些概念。

1.1.1 现代设计的概念

1. 设计的概念及特征

设计是人类改造自然的基本活动之一。它与人类的生产活动及生活紧密相关。人类在改造自然的历史长河中,一直从事设计活动。从某种意义上讲,人类文明的历史,就是不断进行设计活动的历史。“设计”一词,即英语的“Design”,起源于拉丁语“Designare”,此词由“De”和“Signare”(符号、记号、图形之意)两词组成,因而它的最初含义是:记下(画下)符号、记号、图形的意思,相当于“图案”的意思。

随着人类社会的进步和需要,设计这个词可以有广义和狭义两种概念。广义概念是指对发展过程的安排,包括发展的方向、程序、细节及达到的目标。狭义的概念是指客观需求转化为满足该需求的技术系统(或技术过程)的活动。

现代化工业产品的设计,在国外也叫做工业设计。它是以客观的、科学的方法,来从事新产品开发工作。1964 年在比利时召开的国际工业设计教育讨论会上,对工业设计定义如下:“工业设计是一种创造性行为,它的目的在于决定产品的正式品质。所谓正式品质,除了产品外形和表面特点外,更重要的是决定产品结构和功能关系,以获得一种使生

产者和消费者都能满意的整体。”

随着科学技术和生产力的不断发展,设计和设计科学也在不断向深度和广度发展,其内容、要求、理论和手段等都在不断更新。

近些年来对设计有些新的提法:

设计是一种创造性活动,设计的核心是创造性,如果没有创新,就不叫设计。

设计是一种优化过程,是在给定条件下,针对目标谋求最优解的过程。

设计是把各种先进技术转化为生产力的一种手段,它反映当时生产力的水平,是先进生产力的代表。

设计是一种技术性、经济性、社会性、艺术性的综合产物。

设计是为满足需求而进行的一种创造性思维活动的实践过程。

设计是通过分析、创造与综合,创造性地建立满足特定功能要求的技术系统的活动过程。

从上面这些设计的描述中,可以综合来理解设计的含义,即为了满足人类与社会的功能要求,将预定的目标通过人们创造性思维,经过一系列规划、分析和决策,产生载有相应的文字、数据、图形等信息的技术文件,以取得最满意的社会与经济效益,这就是设计。然后通过实践转化为某项工程,或通过制造,成为产品,造福于人类。产品设计过程从本质上说就是创造性的思维与活动过程,是将创新构思转化为有竞争力的产品的过程。

从设计定义出发可以看出,工业产品设计应该具有以下特征。

(1) 需求特征。产品设计的目的是满足人类社会的需求,所以设计始于需要,没有需要就没有设计。

(2) 创造性特征。时代的发展,使人们的需求、自然环境、社会环境都处于变化之中,从而要求设计者适应条件变化,不断更新老产品,创造新产品。

(3) 程序特征。任何产品设计都有设计过程,它是指从明确设计任务到编制技术文件所进行的整个设计工作的流程。设计过程一般可分为四个主要阶段:产品规划、原理方案设计、技术设计和施工设计。这种过程叫做设计程序。按设计程序进行工作,才能提高效率,保证设计质量。

(4) 时代特征。设计活动受时代的物质条件、技术水平的限制,如设计方法、设计手段、材料、制造工艺等。所以,各种产品设计都具有时代的烙印。

认识了产品设计的特征,才能全面地、深刻地理解设计活动的本质,进而研究与设计活动有关的各种问题,以解决产品设计问题。

2. 设计发展的基本阶段

在介绍现代设计与传统设计的区别之前,先来简单回顾一下人类从事设计活动发展的几个基本阶段。从人类生产的进步过程来看,整个设计进程大致经历了如下四个阶段。

1) 直觉设计阶段

古代的设计是一种直觉设计。当时人们或许是从自然现象中直接得到启示,或是全凭人的直观感觉来设计制作工具。设计者多为具有丰富经验的手工艺人,他们之间没有信息交流。产品的制造只是根据制造者本人的经验或其头脑中的构思完成的,设计与制造无法分开。设计方案存在于手工艺人头脑之中,无法记录表达,产品也是比较简单的。一项简单产品的问世,周期很长,这是一种自发设计。直觉设计阶段在人类历史中经历了

一个很长的时期,17 世纪以前都属于这一阶段。

2) 经验设计阶段

随着生产的发展,产品逐渐复杂起来,对产品的需求量也开始增大,单个手工艺人的经验或其头脑中自己的构思已难满足这些要求,因而促使手工艺人必须联合起来,互相协作,逐渐出现了图纸,并开始利用图纸进行设计。一部分经验丰富的人将自己的经验或构思用图纸表达出来,然后根据图纸组织生产。到 17 世纪初,数学与力学结合后,人们开始运用经验公式来解决设计中的一些问题,并开始按图纸进行制造,如早在 1670 年就已经出现了有关大海船的图纸。图纸的出现,既可使具有丰富经验的手工艺人通过图纸将其经验或构思记录下来,传于他人,便于用图纸对产品进行分析、改进和提高,推动设计工作向前发展;还可满足更多的人同时参加同一产品的生产活动,满足社会对产品的需求及生产率的要求。因此,利用图纸进行设计,使人类设计活动由自发设计阶段进步到经验设计阶段。

3) 半理论半经验设计阶段

20 世纪初以来,由于试验技术与测试手段的迅速发展和应用,人们把对产品采用局部试验、模拟试验等作为设计辅助手段。通过中间试验取得较可靠的数据,选择较合适的结构,从而缩短了试制周期,提高了设计可靠性。这个阶段称为半理论半经验设计阶段(又称中间试验阶段)。在这个阶段中,随着科学技术的进步、试验手段的加强,设计水平得到进一步提高,并取得了如下进展:① 加强设计基础理论和各种专业产品设计机理的研究,如材料应力应变、摩擦磨损理论,零件失效与寿命的研究,从而为设计提供了大量信息,如包含大量设计数据的图表(图册)和设计手册等;② 加强关键零件的设计研究,特别是加强了关键零部件的模拟试验,大大提高了设计速度和成功率;③ 加强了“三化”,即零件标准化、部件通用化、产品系列化的研究,后来又提出设计组化,这便进一步提高了设计的速度、质量,降低了产品的成本。在这个阶段由于加强了设计理论和方法的研究,与经验设计相比大大减少了设计的盲目性,有效地提高了设计效率和质量并降低了设计成本。至今,这种设计方法仍被广泛应用。

4) 现代设计阶段

近 30 年来,由于科学和技术迅速发展,对客观世界的认识不断深入,设计工作所需的理论基础和手段有了很大进步,特别是电子计算机技术的发展及应用,对设计工作产生了革命性的变革,为设计工作提供了实现设计自动化的条件。例如 CAD 技术能得出所需要的设计计算结果资料和生产图纸,一体化的 CAD/CAM 技术更可直接输出记录有关信息的纸带,使用这种纸带,NC 机床即可直接加工出所需要的零件,从而使人类设计工作步入现代设计阶段。

此外,步入现代设计阶段的另一个特点就是,当代对产品的设计已不能仅考虑产品本身,还要考虑对系统和环境的影响;不仅要考虑技术领域,还要考虑经济、社会效益;不仅考虑当前,还要考虑长久发展。例如,汽车设计,不仅要考虑汽车本身的有关技术问题,还需考虑使用者的安全、舒适、操作方便等因素。此外,还需考虑汽车的燃料供应和污染、车辆存放、道路发展等问题。总之,目前已进入现代设计阶段,这就要求在设计工作中把自然科学、社会科学、人类工程学,以及各种艺术、实际经验和聪明才智融合在一起,应用于设计中。

3. 现代设计与传统设计

20 世纪以来,由于科学和技术的发展与进步,对设计的基础理论研究得到了加强,随着设计经验的积累,以及设计和工艺的结合,已形成了一套半经验半理论的设计方法。依据这套方法进行产品的设计,称为传统设计。传统是指这套设计方法已沿用了很长时间,直到现在仍被广泛地采用着,传统设计又称常规设计。

传统设计是以经验总结为基础,运用力学和数学而形成的经验、公式、图表、设计手册等作为设计的依据,通过经验公式、近似系数或类比等方法进行设计。传统设计在长期运用中得到不断完善和提高,是符合当代技术水平的有效设计方法。但由于所用的计算方法和参考数据偏重于经验的概括和总结,往往忽略了一些难解或非主要因素,因而造成设计结果的近似性较大,也难免有不确切和失误。此外,在信息处理、参量统计和选取、经验或状态的存储和调用等还没有一个理想的有效方法,解算和绘图也多用手工完成,所以不仅影响设计速度和设计质量的提高,也难以作到精确和优化的效果。传统设计对技术与经济、技术与美学也未能作到很好统一,给设计带来一定的局限性。这些都是有待于进一步改进和完善的不足之处。

图 1-1 所示为一般传统机械设计过程。由图 1-1 可见,这一过程的特点是:

(1) 它的每一个环节都依靠设计者用手工方式来完成。从本质上来说,这些都是凭借设计者直接的或间接的经验,通过类比分析或经验公式来确定方案,对于特别重要的设计或计算工作量不太大的设计,有时可对拟定的几个方案做计算对比。方案选定后按机械零件的设计方法或按标准选用,最后绘出整机及部件装配图和零件图,编写技术文件,从而完成整机设计。

(2) 按传统机械设计方法,设计人员的大部分精力耗费在零部件的常规设计(特别是繁重而费时的绘图工作)中,而对整机全局问题难以进行深入研究,对于一些困难而费时的分析计算,常常不得不采用作图法或类比定值等粗糙的方法,因此,传统机械设计方

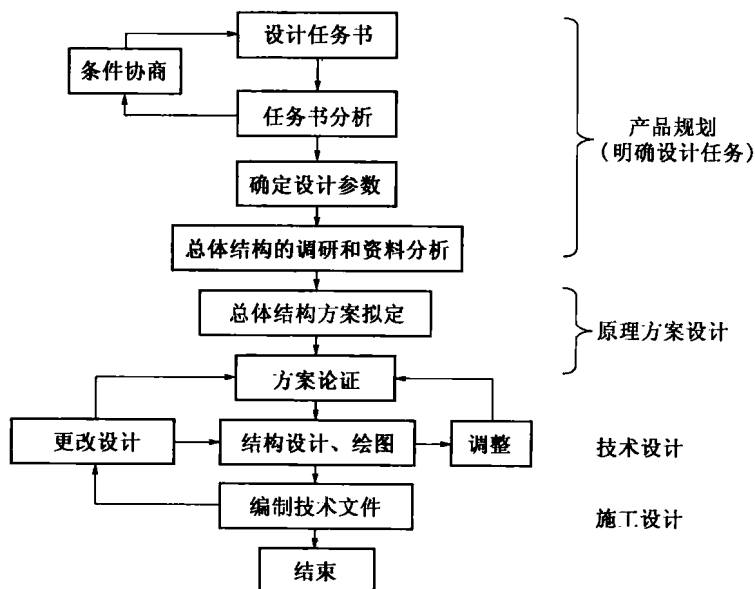


图 1-1 传统机械设计

法具有很大的局限性,主要表现在以下方面:①方案的拟定很大程度上取决于设计者的个人经验,即使同时拟定了几个方案,也难以获得最优方案;②在分析计算工作中,由于受人工计算条件的限制,只能采用静态的或近似的方法而难以按动态的精确的方法计算,计算结果未能完全反映零部件的真正工作状态,影响了设计质量;③设计工作周期长,效率低,成本高。

所以,传统设计方法是一种以静态分析、近似计算、经验设计、手工劳动为特征的设计方法。显然,随着现代科学技术的飞速发展,生产技术的需要和市场的激烈竞争,以及先进设计手段的出现,这种传统设计方法已难以满足当今时代的要求,从而迫使设计领域不断研究和发展新的方法和技术。

20世纪60年代以来,科学技术的飞速发展和计算机技术的应用与普及,给设计工作包括机电产品的设计工作带来了新的变化。随着科技发展,新工艺、新材料的出现,微电子技术、信息处理技术及控制技术等新技术对产品的渗透和有机结合,以及与设计相关的基础理论的深化和设计新方法的涌现,都给产品设计开辟了新途径,使产品设计跨上了现代设计的水平。在这一时期,国际上在设计领域相继出现了一系列有关设计学的新兴理论与方法,统称为现代设计。当然,现代设计不仅指设计方法的更新,也包含了新技术的引入和产品的创新。目前现代设计所指的新兴理论与方法主要包括优化设计、可靠性设计、设计方法学、计算机辅助设计、动态设计、有限元法、工艺艺术造型设计、人机工程、并行工程、价值工程、反求工程设计、模块化设计、相似性设计、虚拟设计、疲劳设计、三次设计、摩擦学设计、人工神经元计算方法等,其发展方兴未艾。

目前,产品的现代设计的主要特点表现为以下几个方面。

- (1) 设计对象由单机走向系统。
- (2) 设计要求由单目标走向多目标。
- (3) 设计所涉及的领域由某一领域走向多个领域。
- (4) 产品更新速度加快,要求设计速度加快。
- (5) 设计的发展要适应科技发展,特别是适应计算机技术和先进的工艺水平。

现代设计是在传统设计基础上发展起来的,它继承了传统设计的精华。由于传统设计发展到现代设计有时序性和继承性,当前正处于共存性阶段。图1-2所示为现代设计的基本作业过程。与传统设计相比,它则是一种动态分析、精确计算、优化设计和CAD为特征的设计方法。

1.1.2 研究对象及分类

光电仪器设计理论及技术是“光学工程”和“仪器科学与技术”学科的重要组成部分,其研究对象为基于光学原理、采用光电转换技术的各类光电精密仪器。光电仪器按其工作的光谱区域,可分为紫外线、可见光和红外线三类;按照明方式的不同,可分为主动式(有源)和被动式(无源)两类,被动式光电仪器是利用信息源(被测目标)的自身辐射(光辐射、热辐射等)获取目标的有效信息,主动式光电仪器需要加特定的照明光源;按其工作原理不同,可以分为光学杠杆类仪器(反射原理),显微、望远、投影、照相类仪器(成像原理),干涉、衍射、偏振类仪器(物理光学),流速仪、激光陀螺(多普勒效应),纤维光学类仪器(导波光学原理)等;按其用途不同,可以分为计量、观察、摄影、照相、军用、医用、分

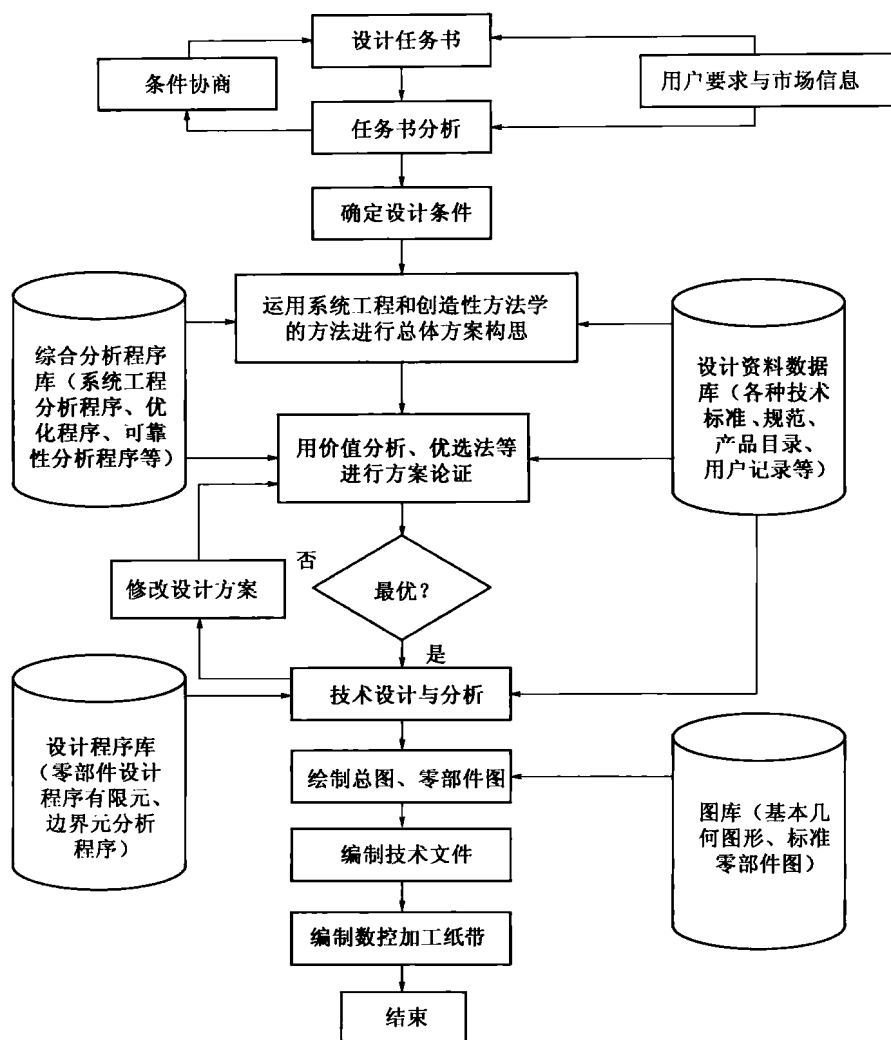


图 1-2 现代设计作业过程

析、通信等许多类,其中最主要的、应用最广泛的是计量类光电仪器,它用于各种物理量的计量与测试。由于光电仪器种类繁多,本书重点介绍具有普遍意义的光电精密测试仪器的设计理论与方法,以阐明光电仪器设计中带有共性的问题。

“计量”是计量学的简称,英文名词为 Metrology。计量学是有关测量的知识领域,它包括与测量有关的一切理论实际问题。计量包括基准(标准的建立)、复现、保存和传递;测量方法及精度估计;根据预定目的检查仪器和器具的特性等。计量学包括基本物理量的测试,也包括物理常数、材料和物质特性的测试。计量仪器是将被测物理量转化成指示值或等价信息的测量器具。光电仪器具有不接触的特点,其灵敏度高,用途广,具有良好的发展前景。

目前,国际测量技术的发展趋势有以下特点:

(1) 传统测量仪器向数字化、光机电一体化方向发展。新一代的工具显微镜、轮廓投影仪甚至千分尺均已改成数字输出,并带有 RS-232 接口,可与实时数据处理器连接。

(2) 测量方式向自动化测量、智能化测量、在线测量方向发展。在这方面,光纤传导技术、图像处理技术、激光扫描跟踪技术得到了成功的应用。

(3) 加工过程检测向系统网络化方向发展。网络系统内的所有测量仪器都有输出数据的功能。计算机对各种测量数据集中管理,防止加工过程出现异常,保证质量,缩短工具,减少总的制造费用。

1.1.3 仪器仪表学科目前发展概况

1. 仪器仪表在当代社会的重要作用

仪器仪表在人类的生产活动、军事技术、科学研究中扮演着重要角色,且随着科技的发展其角色的重要性愈显重要。

在国民经济运行中,仪器仪表是“倍增器”,对国民经济有着巨大的辐射作用和影响力。美国商业部国家标准局 20 世纪 90 年代发布的调查数据表明,美国仪器仪表产业的产值约占工业总产值的 4%,而它带动的相关经济的产值却达到社会总产值的 66%,仪器仪表发挥着“四两拨千斤”的巨大倍增作用。事实上,现代化大生产,如发电、炼油、化工、冶金、飞机和汽车制造等,离开了只占企业固定资产约 10% 的各种测量与控制仪器仪表装置就不能正常安全生产,更难以创造巨额的产值和利润。专家们形象地把仪器仪表比喻为国民经济中的“卡脖子”产业。

在科学研究中,仪器仪表是“先行官”。离开了科学仪器,一切科学研究都无法进行。发展高新技术必须要有先进的仪器仪表作依托,现代仪器仪表是发展高新技术必需的及重要的手段和技术基础。在重大科技攻关项目中,几乎 1/2 的人力财力都用于购置、研究和制作测量与控制的仪器设备。诺贝尔奖设立至今,众多获奖者都是借助于先进仪器的诞生才获得重要的科学发现;甚至许多科学家直接因为发明科学仪器而获奖。据统计资料显示,近 80 年来诺贝尔奖获得者中同科学仪器有关的达 38 人。1992 年诺贝尔化学奖获得者 R. R. Ernst 说:“现代科学的进步越来越依靠尖端仪器的发展”。基因测量仪器的问世,使世界基因研究计划提前 6 年完成就是最好的证明。从“神舟”2 号至“神舟”5 号上,共有 185 台(套)科学仪器装置,为“神舟”5 号飞船的成功发射并获取大量宝贵的飞行试验数据和科学资料起到了关键性作用。要加快科学研究和高技术的发展,仪器仪表必须先行。

在军事上,仪器仪表是“战斗力”。仪器仪表的测量控制精度决定了武器系统的打击精度,仪器仪表的测试速度、诊断能力则决定了武器的反应能力。先进的、智能化的仪器仪表已成为精确打击武器装备的重要组成部分。1991 年海湾战争中美国使用的精密制导炸弹和导弹只占 8%,而在 12 年后的伊拉克战争中,美国使用的精密制导炸弹和导弹达到了 90% 以上,这些先进武器都是靠一系列先进的测量与控制仪器仪表系统装备并实现其控制功能的。1994 年美国国防部成立了“自动测试系统执行局”,以统一海陆空三军的测试技术、产品与标准,来保证立体作战方式的有效实施。现代武器装备,几乎无一不配备相关的测量控制仪器仪表。

现代仪器仪表还是当今社会的“物化法官”。在检查产品质量、监测环境污染、检查违禁药物服用、识别指纹假钞、侦破刑事案件等中,无一不依靠仪器仪表进行“判断”。

仪器仪表在关注生产活动、军事技术、社会服务与科学研究的同时,也开始走进家庭,

成为提高人们生活质量的重要手段。仪器仪表在实验教学、气象预报、大地测绘、诊治疾病、指挥交通、探测灾情等社会生活许多领域都有广泛应用。

中共十六大报告中指出,要以信息化带动工业化,以工业化促进信息化,走出一条新型工业化的道路。而在这个进程中,仪器仪表既肩负着以信息化带动工业化的重任——改造传统工业的必备手段,又扮演着以工业化促进信息化进一步发展的重要角色——信息化的重要内容和主要标志。因此,无论是信息化还是工业化,如果没有先进仪器仪表的支撑是完全不可能实现的。

2. 仪器仪表的发展趋势

1) 发展科学仪器已成为国家的一项战略措施

现代仪器仪表的发展水平,是国家科技水平和综合国力的重要体现,仪器仪表制造水平反映出国家的文明程度。为此,世界发达国家都高度重视和支持仪器仪表的发展,美、日、欧等发达国家和地区早已制定各自的发展战略并锁定目标,有专门的投入,以加速原创性仪器的发明、发展、转化和产业化进程。发达国家中的科学仪器的发展,已从自发状态转入到有意识、有目标的政府行为上来。

前已提及,美国对仪器仪表的发展给予高度重视和支持;日本科学技术厅已把测量传感技术列为 21 世纪首位发展的技术;德国大面积推广了应用自动化控制仪器系统,20 世纪 90 年代的 6 年期间就增加了 350% 的市场,保证了劳动生产率增长 1.9%;欧共体制定第三个科技发展总体规划,将测量和检测技术列为 15 个专项之一。我国政府在国民经济和社会发展第十个“五年计划纲要”中明确指出“把发展仪器仪表放到重要位置”,国家发展和改革委员会、科学技术部列专项支持仪器仪表发展,今年国家制定中长期科学和技术发展规划对仪器仪表也给予了高度的重视。

2) 仪器科学与技术的发展

当今科学仪器技术最引人注目的发展是在生物、医学、材料、航天、环保、国防等直接关系到人类生存和发展的诸多领域中。研究的尺度深入到介观和微观,要求不仅能确定分析对象中的元素、基因和含量,而且能回答原子的价态、分子结构和聚集态、固体结晶形态、短寿命反应中间产物的状态和生命化学物理进程中的激发态;不但能提供在自在状态下的分析数据,而且可作表面、内层和微区分析,甚至三维立体扫描分析和时间分辨数据。从而,发展高分辨率、高选择性、高灵敏度的活体动态研究技术、原位技术、非接触(无损)测定技术等已成为趋势,发展超快时间分辨和超高空间分辨技术已成为仪器发展新的追求目标。研究的对象和过程已从静态转入动态。国际上正在大力发展集采样、样品处理(制作)、自动检测分析和结果输出一身的流程分析系统,发展现场和实时的研究手段。生命科学等复杂体系研究的瓶颈是缺乏灵敏、有效和快速的现场或实时的研究手段,解决这一问题的突破口在于发展新的检测原理和新的检测仪器。

3) 现代仪器的发展方向

现代仪器的发展趋向智能化、微型化、集成化、芯片化和系统工程化。利用现代微制造技术、纳米技术、计算机技术、仿生学原理、新材料等高新技术的科学仪器已成为主流,如微型全化学分析系统、微型实验室、生物芯片、芯片实验室等。例如,正在发展的芯片型自动分析元件,不仅有测试功能,而且还可以执行分离、反应等操作。综合这些芯片的功能将组成微型的分析仪器,进而形成芯片实验室。这些分离分析元器件可

做在玻璃、石英或塑料基体上,大小犹如芯片,但是具备某些“传统”分离、分析仪器的功能。

在微型元器件、微处理器高度发展的基础上,研究和开发小型价廉而又准确可靠的家用和个人分析仪器看来可能有广阔的市场。

信息技术的飞速发展,给仪器仪表带来的又一个重大变化就是测试仪器网络化。由于仪器的自动化、智能化水平的提高,多台仪器联网已推广应用,虚拟仪器、三维多媒体等新技术开始实用化。因此,通过 Internet 网,仪器用户之间可异地浏览和交换信息,厂商能直接与异地用户交流,能及时完成如仪器故障诊断、指导用户维修或交换新仪器改进的数据、软件升级等工作。仪器操作过程更加简化,功能更换和扩张更加方便。网络化测试系统(仪器)是今后测试技术发展的必然道路。

另外,在一些重大科学前沿研究中,测试及研究手段成为重大复杂的科研工程,如大型天文望远镜、高能粒子加速器、航天遥感系统等,都是由诸多高新技术武装起来的分系统集成。

总之,随着科学技术尤其是电子信息技术的飞速发展,迫切需要数字化、智能化、网络化、微型化、多功能化的现代仪器解决科学问题。特别是进入 21 世纪以来,随着计算机网络技术、软件技术、纳米技术的发展,测控技术出现了虚拟化、远程化和微型化的发展趋势。现代化仪器应是高新技术包括集传感器技术、计算机技术、电子技术、现代光学、精密机械等多种高新技术于一身的产品,其用途也从单纯数据采集发展为集数据采集、信号传输、信号处理以及控制为一体的测控过程。

3. 仪器仪表技术的特点

仪器是认识世界的工具,是人们用来对物质(自然界)实体及其属性进行观察、监视、测定、验证、记录、传输、变换、显示、分析处理与控制的各种器具与系统的总称。仪器的功能在于用物理、化学或生物的方法,获取被检测对象运动或变化的信息,并将获取信息转换处理成为易于人们阅读、识别、表达的量化形式,或进一步数字化、图像化,直接进入自动化、智能化运转控制系统。

仪器的实质是信息获取、信息处理、信息利用的工具,而仪器仪表学科则是研究以获取信息为目的的信息转换、处理、传输、存储、显示与应用等技术与装置的应用科学。该学科具有以下特点:

1) 仪器技术是信息技术

著名科学家钱学森明确指出:“发展高新技术信息技术是关键,信息技术包括测量技术、计算机技术和通信技术。测量技术是关键和基础。”

现代仪器仪表是对物质世界的信息进行测量与控制的基础手段和设备,因而美国商务部 1999 年报告在关于新兴数字经济部分提出,信息产业包括计算机软硬件行业、通信设备制造及服务行业、仪器仪表行业。这一界定在表明仪器仪表行业是信息产业组成部分的同时,也说明仪器技术也是信息技术的组成部分。

2) 仪器技术是信息技术中的源头技术

信息技术包括信息获取、信息处理、信息传输三部分内容。其中,信息的获取是靠仪器来实现的。仪器中的传感器、信号采集系统就是完成这一任务的具体器件。如果不能获取信息,或信息获取不准确,那么信息的存储、处理、传输都是毫无意义的。因而,信息

获取是信息技术的基础,是信息处理、信息传输的前提。仪器是获取信息的工具,没有仪器,进入信息时代将是不可能的。因而,仪器技术是信息技术中“信息获取—信息处理—信息传输”的源头技术,也是信息技术中的关键技术。

3) 仪器技术是现代科技的前沿技术

工欲善其事,必先利其器。现代高新技术,如航天、遥感、生物工程、医疗、环保、新材料等领域的研究发展以及各类基础科学实验工作,无不直接依靠仪器来完成。

现代仪器技术是知识创新和技术创新的基础,电子显微镜、质谱技术、CT 断层扫描仪、X 射线物质结构分析仪、光学相衬显微镜、扫描隧道显微镜等先进仪器的诞生对人类的科学研究产生了划时代的意义。纵观人类科技发展史不难看出,科技重大成就的获得和科学新领域的开辟往往是以测试仪器和测试技术方法上的突破为先导的。自诺贝尔奖设立至今,已有 40 人次因为在仪器研制上的贡献获得了诺贝尔物理奖。这一数字足见仪器在基础科学与应用科学领域中的重要而特殊的地位。

4) 现代仪器仪表发展的关键技术

现代仪器仪表科学技术的发展趋势和特点,决定了仪器仪表发展的关键技术。

(1) 传感技术。传感技术不仅是仪器仪表实现检测的基础,也是仪器仪表实现控制的基础。传感技术主要是对客观世界有用信息的检测,它包括被测量敏感技术,涉及各学科工作原理、遥感遥测、新材料等技术;信息融合技术,涉及传感器分布、微弱信号提取(增强)、传感信息融合、成像技术;传感器制造技术,涉及微加工、生物芯片、新工艺等技术。

(2) 系统集成技术。系统集成技术直接影响仪器仪表和测量控制科学技术的应用广度和水平,特别是对大工程、大系统、大型装置的自动化程度和效益有决定性影响,它是系统级层次上的信息融合控制技术。

(3) 智能控制技术。智能控制技术是人类以接近最佳方式或通过测控系统以接近最佳方式监控智能化工具、装备、系统达到既定目标的技术,是直接涉及测控系统的效益发挥的技术,是从信息技术向知识经济技术发展的关键,是测控系统中最重要和最关键的软件资源。

(4) 人机界面技术。人机界面技术主要为方便仪器仪表操作人员或配有仪器仪表的主设备、主系统的操作员操作仪器仪表或主设备、主系统服务。人机界面技术包括显示技术、硬拷贝技术、人机对话技术、故障人工干预技术等。

(5) 可靠性技术。仪器仪表和测控系统的可靠性技术除了测控装置和测控系统自身的可靠性技术外,同时还要包括被测控装置和系统出现故障时的处理技术。测控装置和系统可靠性包括故障的自诊断、自隔离技术、故障自修复技术、容错技术、可靠性设计技术、可靠性制造技术等。

4. 仪器仪表学科特点

仪器仪表学科随着科学技术的发展其内涵在逐步扩展,从最初的机械类专业转为半机类专业,进而成为信息类专业,仪器仪表学科的知识在不断扩充、更新。现代仪器仪表涉及机械学、光学、电学和计算机科学等学科知识,仪器仪表学科是以机械学、光学、电学和计算机科学等学科为基础而形成的多学科交叉的边缘学科。

仪器技术是一门对高新技术极度敏感,集各种高新技术于一身的应用型技术。早期

仪器仪表多为机械结构,而后仪器设计中引入光学技术,使不少仪器成为光、机结构。随着电子技术的发展,电子技术逐渐成为仪器技术的重要内容,仪器设计中不断引进先进的光学技术、激光技术,使仪器向光、机、电结合方向发展。随着计算机技术的发展仪器仪表又向智能化迈进,Internet 的普及促使仪器向网络化发展,一些尖端现代仪器还将生物技术、材料科学以及物理、化学的新技术引入其中。仪器仪表的发展史揭示了仪器技术是“集成技术”的特点。

综上所述,学科的交叉性与技术的集成性成为仪器仪表学科的显著特点。

1.1.4 我国光电仪器发展的状况

1955 年在全国第一次拟定 12 年科学技术发展规划时,把仪器仪表作为保证我国科技发展的重要手段。1956 年 9 月正式在第一机械工业部里正式成立了仪器仪表工业管理局。在第二个“五年计划”初期,新建了一批规模较大的仪器、仪表制造厂,生产得到了飞速的发展,如电工仪器、计量仪器、大地测量仪器、热工仪表、分析仪器、计时仪器以及汽车、航空仪器等,形成了门类较为齐全和完整的体系。

我国仪器仪表工业服务于各个部门,在机械、电子、石油、化工、轻纺、电力、核工业、航天、兵器、造船、冶金工业以及天文气象、地质勘探、特别是在其自动化生产程度比较高的工业企业中,已成为进行检测、计量、记录、计算和控制生产过程中不可缺少的基本设备。在农业、医疗卫生、金融经济、环境保护等各个领域,仪器仪表也日益得到广泛应用与发展。

目前我国光电仪器发展水平还存在以下问题。

1. 支撑光电仪器发展的基础理论研究薄弱

在材料、元器件、工艺等方面与国外先进的研究成果相比还存在一定差距。信号传输、变换和感知存在灵敏度低、动态范围小、频率单一等缺点,使光电仪器的发展受到了制约。

2. 支持光电仪器发展的相关技术明显不足

由于缺乏相应的支持技术与条件,如光频段的光电相关处理、光频段的光电转换与数字处理、光学元件的加工制造技术等,使光频段所具有的容量大、分辨率高等优势没有得到充分发挥。光电仪器大多工作在直接探测、基本处理、传统制造水平上,使光电仪器在作用范围、测量手段等方面受到了局限。

3. 标准化程度低

在我国的仪器标准中,国际标准的覆盖率不到 20%,而光电类精密测试仪器的覆盖率更少,且大多数产品没有可靠性指标。标准化、通用化、系列化工作仍旧存在许多问题,直接影响到生产厂家的生产效率,也给用户及维修带来很大的不便。

4. 新技术采用缓慢,产品更新换代周期长

国外一些厂家产品的开发周期一般为 1 年~2 年,少则半年或几个月。元器件每年更新 20%~30%,基本上可以保证仪器整机更新换代的需要。我国的仪器生产企业,新技术采用慢,产品更新周期一般为 3 年~4 年,少则也需要两年。

5. 产品结构落后、功能少、智能化程度低

国际上的光电类仪器已由单元组合式向功能组件组装式发展,而国内多为单元组合