

# 精密仪器设计

薛实福 李庆祥 编著

清华大学出版社

7 11700

X97

# 精密仪器设计

薛实福 李庆祥 编著

清华大学出版社

## 内 容 提 要

本书为高等工科院校《精密仪器设计》教材,对精密仪器设计有关的基本理论和方法作了较全面系统的论述,荟集了近代精密仪器设计的有关资料和科研成果,反映了这一学科领域的当代发展水平。

全书共分八章。包括精密仪器设计概论、精密仪器设计的精度理论、精密机械系统设计、微位移技术、定位与测量系统、瞄准与对准系统、总体设计、典型精密仪器设计。

本书适用于精密仪器与机械类专业大专院校师生和从事精密仪器与机械研究、设计、制造和调修的工程技术人员学习和参考。

精密仪器设计  
薛实福 李庆祥 编著

☆  
清华大学出版社出版

北京·清华园

清华大学印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行

☆

开本: 787×1092 1/16 印张: 28 1/4 字数: 723 千字

1991年8月第1版 1991年8月第1次印刷

印数: 0001~5000

ISBN 7-302-00806-X/TH·32

定价: 7.60 元

## 前 言

《精密仪器设计》是以设计为主的专业课程。其目的是使学生综合运用基础理论知识,掌握光、机、电相结合的现代仪器仪表的设计理论和方法,以培养学生独立设计的能力。

本书共分八章。第一章:精密仪器设计概论。阐述了仪器仪表学科发展的重要性和我国这一学科目前的发展水平及与国际上的差距,还介绍了仪器仪表的分类方法及其组成以及国际上仪器仪表的发展趋势;第二章:精密仪器设计的精度理论。包括精度概念、精度评价方法、误差的来源及计算与分析方法、误差的综合及动态精度;第三章:精密机械系统的设计。对通用的基座与支承件,X-Y精密工作台,伺服机械系统及主轴系统,进行了较详细的分析并总结了各部件的设计特点。此外还重点介绍了运用模型实验方法及有限元法计算分析支承刚度和动态性能,在伺服机械系统中重点介绍了先进的控制方案及其具体设计方法,在导轨与轴系设计中着重介绍了静压、液压与气浮导轨以及液体动压轴系,液体、气体静压轴系的设计;第四章:微位移技术,对精密仪器与机械设计的关键技术之一——微位移技术,进行了深入的、系统而全面的讨论。阐述了各种微位移器件的原理、特点及其应用,分析了各种微位移系统的设计方法、优缺点、适用范围及达到的精度,特别是对柔性铰链微位移系统作了全面的论述,同时还介绍了目前世界上各种先进的、实用的微位移机构,供设计者参考。最后讨论了应用微位移机构实现自动调焦的各种方案;第五章:定位与测量系统,包括激光干涉仪、光栅、线纹尺、感应同步器、磁栅及码盘等。重点论述了目前大量应用的光栅及干涉定位系统,并对该系统的设计和特点等问题进行了分析、讨论。微小尺寸的测量问题,是一个难度比较大的新兴课题,本章进行了比较详细的论述;第六章:瞄准与对准系统,对目前通用的接触式和非接触式(包括机械、光学、电学及光电子学)的瞄准方法进行了比较全面的论述,介绍了实现仪器自动化的关键技术——光电自动对准系统,包括各种对准方法及其特点、应用范围和达到的精度;第七章:总体设计,介绍了几种设计方法,对总体设计原则、方法及总体方案制定内容通过实例进行了讨论;第八章:典型精密仪器设计,以目前微电子工业中应用的具有世界先进水平的光学图形发生器为例,介绍了各种实用方案,解剖了它的设计思想,讨论了设计方法并对它的精度进行了分析。

随着科学技术的进步,特别是微电子技术、宇航工业、材料科学、生物工程等等的发展,使精密仪器已进入亚微米级的新时代。为精密仪器提供了广泛的研究领域。为适应科技发展的需要,赶上世界科技进步的步伐,提高我国精密仪器的水平,本书从实际出发,参照全国精密仪器设计的教学大纲编写而成。书中总结了编著者长期的教学经验与科研工作成果,荟集了有关近代精密仪器设计和成果,着力地反映这一学科领域的当代发展水平,能使学生充分了解和掌握精密仪器与机械设计的学术动态和最新成就。同时力图作到概念清楚、深入浅出,对精密仪器设计有关的共同性理论和方法,进行了系统地、全面地阐述。目的便于学生自学并启发学生的创造性。

本书第一、二、三、八章由薛实福教授执笔,第四、五、六、七章由李庆祥副教授执笔。全书由重庆大学黄尚廉教授审阅。编写过程中得到本教研组及微细工程研究所有关同志支持,以及罗延秀、刘玉环、王伯雄、高宏、赵立人、于水等同志的热情帮助,顺致衷心谢意。

本书可供高等工科院校精密仪器、电子精密机械、精密机械及光学仪器等专业师生使用,同时也可供从事精密仪器与机械研究、设计、制造、使用和调修的工程技术人员学习和参考。

由于编者水平有限、时间仓促,书中难免有不妥甚至错误之处,殷切希望读者提出宝贵意见。

编著者

1989.10 于清华园

# 目 录

<b>第一章 精密仪器设计概论</b> .....	1
§ 1-1 概述 .....	1
一、精密仪器是仪器仪表学科的重要组成部分 .....	1
二、我国精密仪器发展的状况 .....	1
三、仪器仪表行业的任务 .....	2
四、本课程的目的与要求 .....	2
§ 1-2 仪器的分类 .....	2
§ 1-3 仪器的基本组成 .....	4
§ 1-4 精密仪器设计的指导思想、原则与程序 .....	6
一、设计指导思想 .....	6
二、设计原则 .....	7
三、设计程序 .....	8
§ 1-5 精密仪器发展的特点和趋势 .....	8
<b>第二章 精密仪器设计的精度理论</b> .....	10
§ 2-1 仪器精度理论中的若干基本概念 .....	10
一、误差 .....	10
二、精度 .....	11
三、精密仪器的精度指标 .....	13
§ 2-2 仪器误差的来源与分析 .....	22
一、原理误差 .....	22
二、制造误差 .....	23
三、运行误差 .....	24
§ 2-3 仪器误差的计算分析方法 .....	27
一、误差独立作用原理 .....	27
二、微分法 .....	28
三、几何法 .....	29
四、逐步投影法 .....	29
五、作用线与瞬时臂法 .....	30
§ 2-4 仪器误差的综合 .....	33
一、随机误差的合成 .....	33
二、系统误差的合成 .....	34
三、不同性质误差的合成 .....	35
四、误差合成举例 .....	35
§ 2-5 仪器精度设计与误差分配 .....	38

一、仪器精度指标的制定	38
二、仪器精度分配步骤与依据	38
三、误差的分配方法	39
§ 2-6 仪器的动态精度	40
一、临界频率特性	41
二、被测量件的临界送进速度	41
三、极限动态误差	41
四、精度幅频特性	42
五、精度过渡函数	43
<b>第三章 精密机械系统的设计</b>	<b>46</b>
§ 3-1 基座与支承件	46
一、基座与支承件的结构特点及主要技术要求	46
二、基座与支承件的结构设计	50
三、基座与支承件的材料选择	65
§ 3-2 精密 X-Y 工作台	66
一、X-Y 工作台的性能要求、型式及组成	66
二、导轨的基本要求	68
三、滑动摩擦导轨	77
四、滚动摩擦导轨	80
五、液体静压导轨	86
六、空气静压导轨	98
§ 3-3 伺服机械系统设计	108
一、伺服系统的分类	109
二、机械传动装置的主要参数确定原则	110
三、机械传动装置的特性分析和计算	113
四、开环系统的误差分析与校正	114
五、开环系统的加减速控制电路	121
六、闭环伺服系统	123
§ 3-4 主轴系统	139
一、主轴系统设计的基本要求	139
二、滚动摩擦轴系	146
三、滑动摩擦轴系	152
四、主轴设计	182
<b>第四章 微位移技术</b>	<b>184</b>
§ 4-1 概述	184
一、微位移机构的分类及应用	185
二、几种常用的微动工作台简介	187
§ 4-2 压电、电致伸缩器件	193

一、压电与电致伸缩效应——机电耦合效应 .....	193
二、材料 .....	194
三、压电、电致伸缩器件 .....	196
§ 4-3 电磁控制的微动工作台 .....	199
一、电磁驱动原理 .....	199
二、位置控制范围 .....	200
三、设计中考虑的几个问题 .....	201
四、应用实例 .....	202
§ 4-4 柔性铰链 .....	203
一、柔性铰链的类型 .....	203
二、柔性铰链的设计 .....	203
§ 4-5 精密微动工作台的设计及其特性分析 .....	211
一、微动工作台的设计要求 .....	211
二、精密微动工作台设计中的几个问题 .....	211
三、精密微动工作台的设计 .....	215
四、微动工作台的特性分析 .....	217
§ 4-6 其它类型的微位移机构 .....	221
一、电热式微位移机构 .....	221
二、机械式微位移机构 .....	222
三、机械组合式微位移机构 .....	223
§ 4-7 调焦与调平 .....	225
一、气动调焦 .....	227
二、斜光束自动调焦 .....	233
三、象散法自动调焦 .....	236
四、比相法自动调焦 .....	237
五、图象处理法自动调焦 .....	239
六、偏心光束法自动调焦 .....	242
七、其它自动调焦方法简介 .....	244
<b>第五章 定位与测量系统</b> .....	<b>248</b>
§ 5-1 概述 .....	248
§ 5-2 光电编码技术 .....	249
一、编码器的种类 .....	249
二、透射式光电编码器中的几个基本问题 .....	253
§ 5-3 光栅定位测量系统 .....	255
一、莫尔条纹定位测量原理 .....	255
二、莫尔条纹读数系统 .....	259
三、光栅副的设计 .....	262
四、影响莫尔条纹信号的因素 .....	262
五、莫尔条纹信号的细分 .....	265



六、圆光栅莫尔条纹 .....	270
七、三光栅系统 .....	275
八、零位光栅 .....	277
§ 5-4 其它编码器 .....	283
一、线纹尺与度盘 .....	283
二、码尺与码盘 .....	285
三、感应同步器与旋转变压器 .....	287
四、磁栅 .....	290
§ 5-5 激光干涉定位测量系统 .....	293
一、干涉仪的原理 .....	293
二、干涉仪设计中的几个问题 .....	294
三、双频激光干涉仪 .....	319
§ 5-6 微小尺寸测量系统 .....	323
一、微位移的测量 .....	324
二、微细图形尺寸的测量 .....	324
三、膜层厚度测量 .....	330
<b>第六章 瞄准与对准系统</b> .....	<b>340</b>
§ 6-1 接触式瞄准方法 .....	341
一、机械测头 .....	341
二、光电测头 .....	345
三、电学测头 .....	345
§ 6-2 非接触式瞄准方法 .....	350
一、光学法 .....	350
二、光电显微镜 .....	352
三、光电准直仪 .....	359
§ 6-3 光电自动对准系统 .....	360
一、光度式光电自动对准 .....	361
二、扫瞄式光电自动对准 .....	364
三、光栅衍射式光电自动对准 .....	370
四、波带片式光电自动对准 .....	374
五、X 射线、电子束自动对准 .....	376
<b>第七章 总体设计</b> .....	<b>378</b>
§ 7-1 设计方法概述 .....	378
一、新产品设计试制过程 .....	378
二、设计方法概述 .....	380
§ 7-2 设计任务分析 .....	384
§ 7-3 主要参数与技术指标 .....	385
一、主要参数与技术指标的内容 .....	385

二、确定主要参数和技术指标的方法 .....	386
§ 7-4 总体方案的制定 .....	393
一、基本设计原则 .....	393
二、总体方案制定的内容 .....	404
<b>第八章 典型精密仪器设计</b> .....	<b>411</b>
§ 8-1 概述 .....	411
一、集成电路发展简况 .....	411
二、大规模集成电路制作技术 .....	411
三、国内外图形发生器简况 .....	414
§ 8-2 光学图形发生器总体设计 .....	419
一、光学图形发生器制版的基本原理及图形发生器的基本功能 .....	420
二、主机总体方案 .....	421
三、精密定位工作台 .....	426
四、计算机控制方式 .....	427
五、光学系统与成象质量 .....	428
§ 8-3 TF-2 型光学图形发生器的设计简介 .....	432
一、TF-2 型光学图形发生器设计技术指标 .....	432
二、设计任务分析及总体方案 .....	432
三、整机结构原理 .....	434
四、误差分配与精度分析 .....	439
<b>主要参考文献</b> .....	<b>442</b>

# 第一章 精密仪器设计概论

## § 1-1 概 述

### 一、精密仪器是仪器仪表学科的重要组成部分

仪器仪表是人们用来对物质(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装置的总称。

仪器仪表发展至今已成为一门独立的学科,而精密仪器则是仪器仪表学科的一个重要组成部分。它研究的对象是测量各种物理量所用的仪器仪表。这些物理量包括长度、力学、热工、电磁、光学、无线电、时间频率、电离幅射等。

### 二、我国精密仪器发展的状况

我国古代就已发明创造了仪器,如算盘、指南针、记里鼓车、地动仪等。但是由于长期处于封建统治之下,社会生产力始终停留在较低的水平上,因而远远地落后于世界水平。

解放前,我国长期遭受帝国主义的掠夺和反动派的残酷统治,根本谈不到有仪器工业,仅有的几家小型企业,技术落后、设备陈旧、只能生产一些教学仪器,电工测试仪表以及温度计、压力表等产品。

解放后,在党的领导下,社会主义制度为仪器制造业带来了新的生命力。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。到1956年9月正式在第一机械工业部里,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地应用与发展。

目前我国仪器仪表产品的综合水平,大体上相当于国际60年代中期的水平,其中属80年代水平的约占2%。

我国仪器仪表产品与国外的主要差距为:

1. 品种系列不全,成套水平低:世界上仪器仪表大约有25000种,而我国机械部所属的只有12000多种。这些品种中大多是中、低档产品,高水平的产品品种不齐或不成系统,满足不了社会生产力发展的需要。

2. 技术性能低、质量差:在精度上较国际水平约低1—2个等级,如工业控制计算机,单机平均无故障时间国外为1.8万多小时,而国产单机则为2千小时,国外现场工作仪表平均无故障率时间普遍达到10—30万小时,而国产仪表一般只有5千小时。国内外工业仪表的相对故

障率大体为 9 : 1。

3. 标准化程度低: 在我国的仪器仪表标准中, 国际标准的覆盖率只占 18%, 绝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, 它影响制造厂的生产效率, 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—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仪表整机更新换代的需要。我国的仪器仪表企业, 新技术采用慢, 产品更新周期一般为 3—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式。国外已把微处理器作为仪器仪表的组成部件, 而国内则处于初步应用阶段。国内仪器多为单点, 单参数、静态测量, 而国际上已向多点、多参数、自动测量发展, 由静态测量为主向静动态结合方向发展, 由接触式向非接触式测量发展。其它在仪器仪表材料、工艺、元器件等方面也都存在不少的差距。

### 三、仪器仪表行业的任务

新的技术革命, 使人类社会进入了信息时代, 在信息时代仪器仪表作为获取、测量、传递、变换、处理、监视、显示与控制信息的重要工具, 无疑将受到广泛的重视。它已成为现代科学和生产技术发展必不可少的重要基本设备, 也是提高人民物质文化的技术工具。因此在一定意义上讲, 仪器仪表技术和生产的发展标志着一个国家的经济与技术水平。近十年来, 世界上工业发达的国家十分重视仪器仪表的发展, 早已很明智地优先发展仪器仪表工业, 其速度远远超过国民经济其它部门的发展, 而且还明显有继续上升的趋势。

为了迎接新技术革命的挑战, 实现党的十二大提出的力争在 2000 年我国工农业总产值翻两番的宏伟目标, 仪器仪表工业必须超前满足国民经济各部门以及机械工业“三上一提高”(上质量、上品种、上水平、提高经济效益)的需要。因此仪器仪表工业的总目标是: 在十年到十五年的时间里, 依靠科学技术进步及正确的工业和技术发展政策, 使主要产品达到工业发达国家 70 年代末和 80 年代初的水平, 基本上满足国家重点建设项目和技术改造项目以及国民经济各部门发展的需要。

### 四、本课程的目的与要求

我国的仪器仪表生产与技术, 不仅落后于工业发达国家, 也远远满足不了国内的需要。因此, 为仪器仪表行业输送具有坚实的理论基础, 较强的独立工作能力, 勇于探索、改革, 富于创新的仪器专业人材, 就成为一项重要的战略任务。本课程是培养精密仪器方面专业人材的一门主修课程, 是一门综合性专业课。本课程的目的要求是:

1. 通过〈精密仪器设计〉课程学习, 掌握机、光、电技术结合的仪器总体设计有关基础理论知识。
2. 初步掌握仪器总体设计和系统设计的方法。
3. 初步具有正确的估算和分析仪器精度的能力。

## § 1-2 仪器的分类

机械工程在其发展过程中, 形成能量、信息和材料三大技术领域。按系统工程的观点, 可以

认为：仪器是以信息流和信息变换为主的技术系统，如测量仪器、控制仪器、电影机和照相机、计算仪器、天文仪器、导航仪器等。

机械是以能量和能量变换为主的技术系统；如机床、液压机械、发动机、运输工具、农业机械、纺织机械、包装机械、制冷机械、建筑机械等。

器械是以材料流和材料变换为主的技术系统，如气锅炉、冷凝器、热交换器、却冷器、过滤器、离心机等。

用信息流可以控制能量流和材料流，因此仪器的应用十分广泛。由于新技术不断地涌现，仪器新产品不断产生，其种类十分繁多。因此要对仪器进行细致的分类是相当复杂的，目前尚无统一的分类方法。

按产品分类：如工业自动化仪表与装置、电工仪器仪表、分析仪器、光学仪器、材料试验机、气象海洋仪器、照像机械、电影机械、办公机械、生物医疗仪器、无线电电子测量仪器、航空仪表、船用导航仪表、地震仪器、汽车仪表、拖拉机仪表、轴承测试仪表等等。这种分类方法一般是产品管理部门使用较多。

另一种是从计量测试角度将仪器分为计量仪器和非计量仪器两大类。

1. 计量仪器：它是用仪器将被测量取出并与计量标准进行比较，准确地表示被测量的真实数值。计量仪器分为：

(1) 长度计量仪器：这类仪器有各种长度、角度测量仪器。如各种尺寸的量具、工具显微镜、测量仪以及表面粗糙度和工件几何形状测量仪器、光电光波比较仪等。

(2) 时间频率计量仪器：这类仪器有各种计时器和钟、表、石英钟、电子钟、原子钟、铯原子时间频率基准器和各种频率计等。

(3) 力学计量仪器：这类仪器有测力仪、压力计、硬度计、各种称量、天秤、力矩仪以及材料试验机、振动测量仪器等。

(4) 热工计量仪器：这类仪器有温度计量仪器，如各种温度计、水、气、油的流量计、各种气压计、真空计等。

(5) 电磁计量仪器：这类仪器有电量测量仪器，如各种交、直流电压表、电流表、功率表、电容、电阻测量仪器，磁量测量仪器有磁性材料测量仪和磁参量测试仪器等。

(6) 光学计量仪器：这类仪器有光度计、色度计、光谱辐射计、激光参数计量仪、光学传递函数测量仪等。

(7) 电离辐射计量仪器：这类仪器有放射性核素计量， $\alpha$ 、 $\gamma$ 射线剂量和中子计量等。

(8) 标准物质计量仪器：这类仪器有标准物质测量、各种气体分析、有机分析、无机分析仪器等。

上述这些多是各种基本量的计量仪器。其它还有些导出量仪器，如速度、加速度计等。

2. 非计量仪器：是指除计量仪器外，借助仪器的作用完成一定任务和程序的各种光、电精密机械。可分为：

(1) 观察仪器：它是扩大人们的视觉，以便真实地反映客观现象，如各种显微镜、望远镜、夜视仪器以及工业电视等。

(2) 显示仪器：它是接受某些计量仪器测量部分的信号，经过处理后显示出结果的仪器，如各种测微仪、电子电位差计、流量指示仪等。

(3) 记录仪器：它是把客观存在的暂态现象和动静态物理量的变化情况，用记录的方法把它保存下来，以便进行分析和研究。如摄影机、各种温度或压力的自动记录仪、X-Y 坐标记录

仪等,还有光线示度器,存储示度器、各种打印设备。

(4) 计算仪器:它代替人们迅速地进行数学运算和数据处理。如各种专用和通用的计算机、计算器。

(5) 调节仪器:也称控制仪。它是对控制对象按照生产的要求进行调节,完成人们要求的工作任务。如自动化生产程序中的各种调节器和自动调整装置等。

实际应用的仪器,常常是几种作用的仪器组合在一起,如计量和显示组成一台仪器或计量、显示、记录以及控制组合成一台仪器等等。

上述各种仪器从计量对象来看,包括物理、化学的、生物的各种量,但精密仪器侧重于物理量的测量。而物理量中标准物质、电离辐射、电磁量的计量等不属于本书所要研讨的内容,本书主要研讨的是机械量(几何量和力学量)以及其它物理量的测量,如位移、尺寸、力、重量、转矩、速度、加速度、温度、硬度、密度、湿度、比重、流量、振动等。也包括微细技术中的微细加工工艺设备和测试仪器设备等。

### § 1-3 仪器的基本组成

仪器种类异常繁多,但不论精密仪器有多大的差别,我们仍可以从它的功能或其它方面出发将其分为若干个基本的组成部分。

例 1 图 1-1 是在比长仪上作绝对法测量的例子。其中 4 为瞄准显微镜,它的作用是通过非接触的光学方法感受被测工件 5 的原始信号,并进行转换放大实现对零; 2 是线纹尺,作基准部件用; 3 是读数显微镜,它的作用是通过非接触的光学方法感受线纹尺的信号,并进行转换放大和读数; 1 是定位部件。此绝对法测量例子的框图也可用图 1-2 来表示。

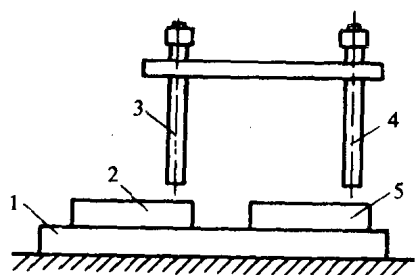


图 1-1 绝对法测量

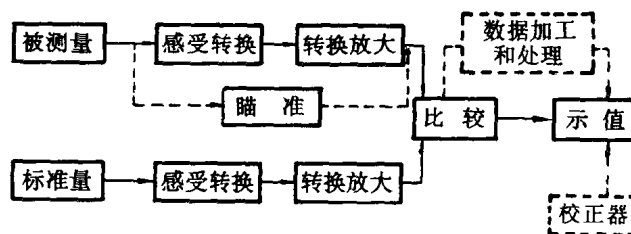


图 1-2 测量方法框图

例 2 万能齿轮整体误差测量机(以下简称测量机)是一种无渐开线基准元件的新型齿轮测量仪器,它是点测头连续自动地测出齿轮整体误差的曲线,图 1-3, 1-4 是由我国某厂研制成功的该仪器的结构原理图和外形简图。与被测齿轮 8 同轴安装一圆光栅盘,盘上有 32400 条线,在安放点测量头的切向滑架 7 上装有每毫米 50 条刻线的长光栅。测量时,首先使测量头准确地移至被测齿轮的基圆切线位置,并与齿面相接触,然后由回转着的被测齿轮带动测头沿齿面的法线方向移动并进行测量。测定一齿后,以切向自动分齿法继续测量下一齿,逐齿测量,直至全部测完该截面上的所有同名齿廓。在测量过程中,长光栅与点测头作同步移动,它将按照相同的取样间隔(该仪器为 0.1mm)脉冲数发出取样信号,而圆光栅盘则与被测齿轮作同步转

动,它将发出与被测量齿轮实际角度 $\theta$ 相应的脉冲信号。两路信号同时送入专用电子计算机,并在计算机内部将齿轮的实际转角脉冲信号和预置程序的理论转角脉冲信号相比较,齿轮的整体误差值即可由计算机的数显装置显示出来。经数模转换装置转换成模拟电压量输出至记录器,经放大后推动记录笔扫描,与此同时,通过主机内的自整角发生、接收系统经变速机构带动记录纸移动。这样就自动绘出被测齿轮的截面整体误差曲线。

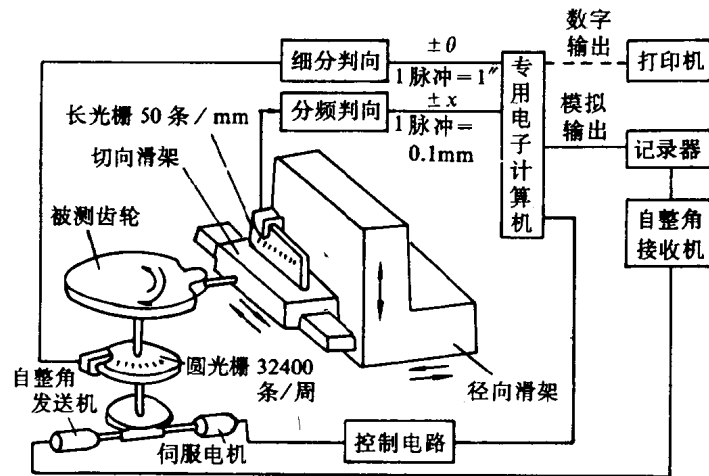


图 1-3 整体误差测量机结构原理

当然还可列举其它一些测量方面的例子。但是,作为一台测量仪器,而不是作为自动化生产过程中的一个检测环节,那末不论最后的示值以什么形式给出,测量系统的框图均可用图 1-2 来表示。对于一些复杂参数的测量,或者对像三坐标测量机等复杂量仪,则在感受信号到显示之间,往往还有一套数据加工和处理的环节。除此之外,有些系统中,还有一些校正值要加到示值中去。这些校正值,或根据测量得来,或事先预置。数据加工和处理及校正

器这两个环节,在框图 1-2 中均用虚线框出。

根据仪器中各部件的功能,依据图 1-1 至 1-4,可将各类仪器的组成分为以下几个基本组成部分。

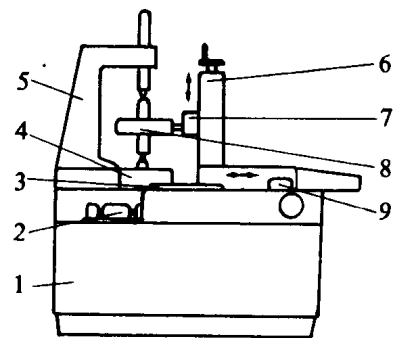
### 1. 基准部件

基准部件是仪器的重要组成部分,是决定仪器精度的主要环节。基准器的形式很多,如量块、精密测量丝杠、线纹尺和度盘、多面棱体,多齿分度盘、光栅尺(盘)、磁栅尺(盘),感应同步器及光波等。对复杂参数,还有渐开线样板、表面粗糙度样板以及标准的圆运动、渐开线运动和齿轮啮合运动等标准件和标准运动。此外,还有标准硬度块、标准频率计、标准时间、标准照度、流量标准、色度标准、激光参数标准、温度标准、标准测力计、称重标准等等。

### 2. 感受转换部件

感受转换部件的作用是感受被测量,拾取原始信号。有些场合,感受转换部件仅起感受原始信号的作用,但在很多场合下,在感受原始信号的同时,也起信号一次转换的作用。感受转换部件有接触式和非接触式两大类。接触式的感受转换部件一般指各种机械式测头;非接触式感受转换部件又可分为几种:如气动非接触测头,光学探头,红外线、涡流测头,拾音器等。

在测量某些参数时,感受转换部件的作用显得特别重要,其精度直接影响整个测量系统精度。例如小孔表面粗糙度的测量,其主要问题是如何感受小孔的表面不平度。再如检查表面缺



- 1——机身;      2——电动机;
- 3——控制面板; 4——支座;
- 5——立柱;     6——径向滑架;
- 7——切向骨架; 8——波测齿轮;
- 9——读数头。

图 1-4 整体误差测量机外形

陷,由于原始信号的规律不易掌握,所以,首先也是遇到拾取原始信号上的困难。如果原始信号无法拾取,当然谈不上对信号的进一步处理了。

### 3. 转换放大部件

转换放大部件的作用是将感受转换来的微小信号,通过各种原理(如光、机、电、气)进行进一步的转换和放大,成为可使观察者直接接收的信息。如供显示或进一步加工处理的信号。在绝对法测量的条件下,对于感受基准量的部分来说,其中的转换放大部件,或是一套测微读数装置,或是对莫尔条纹或光波干涉条纹等的细分装置及相应的电路。

### 4. 瞄准部件

瞄准部件的主要要求是指零准确,一般不作读数用,故不要求确定的灵敏度。如在绝对法测量的图 1-1 中,瞄准显微镜 4 虽然具有对被测量原始信号的感受转换和放大功用,但由于它在这里主要对被测量起瞄准作用,所以把这类部件统称之为瞄准部件。

在具体测试中,读数部分和瞄准部分有时可以互换而不是绝对的,如测微仪主要用于读数,但亦可作为瞄准部件。

### 5. 处理与计算装置

其中包括数据加工和处理、校正、计算等。这些工作常用微处理器、微处理机来进行。

### 6. 显示部件

它的作用是显示测量结果。显示部件的种类很多,如指针表盘、记录器、数字显示器、打印机、荧光屏图象显示器等。

### 7. 驱动控制器

驱动测量部分的测头移动或驱动工作台实现测量运动,或在自动检测仪器中,将测量出误差量放大,驱动控制系统实现误差补偿等。

### 8. 机械结构部件

主要有基座和支架、导轨与工作台、轴系以及其它部件,如微调和锁紧、限位和保护等机构。它们都是仪器中不可缺少的部件,其精度有时对仪器精度的影响起决定性作用。

具体的一台仪器仪表,应该包括上述哪些部件,应根据需要,在总体设计时,统一考虑和确定。有关仪器的几个基本组成部件,将分别在下面各章内详细地讨论。

## § 1-4 精密仪器设计的指导思想、原则与程序

### 一、设计指导思想

1. 精度要求:对于测量仪器,首要的是精度。根据不同的仪器及不同的测量条件,选用相应的静态或动态精度特性指标。仪器精度取值要合理。不分对象地要求仪器精度愈高愈好,实际上是完全不必要的。应该根据实际中被测对象的精度要求来确定仪器精度,一般仪器的测量误差取被测件公差  $1/3$ ,有时取被测件公差  $1/5$  或  $1/10$ 。对仪器零件精度的要求也应合理,不应要求仪器所有零件都高精度,而只应对仪器中直接参与测量的那些零部件,即测量链中的关键零件规定严格的精度要求。

2. 经济性要求:设计仪器时,不应盲目地追求复杂、高级的方案,如能采用某种最简单的方案便能满足所提出的功能要求,则此方案便是最经济的设计方案。因为采用最简单的方案意味着零部件少、元件少、可靠性高、成本低等。一般说来,简单方案比较经济,但也不能一概而



论,还必须和被测件批量的大小、要求的效率、测量误差所造成的损失、零件公差带及尺寸分布情况等综合考虑。如大批生产时,往往自动测量比手工测量更为经济,在精度或效率要求较高时,简单方案便不能满足要求,必须由简到繁选用相应的方案。在技术设计阶段中,还应注意提高“三化”程度和工艺性,使零件制造也符合经济性的要求。仪器生产大部分产品是小批量、多品种,因而在组织设计与生产时,要灵活迅速地采用各种先进技术,争取最大经济效果。

在考虑仪器经济性时,不应仅限于仪器的制造成本,而且还应考虑仪器的使用成本,即除仪器原价外,还有使用期间的保养费、工时费、备件费、运转费(动力及辅料费)、停工损失费、管理费、培养费等。必须综合考虑后,才能看出真正的经济效果,从而做出选用方案的正确决策。

3. 效率要求:一般情况下,测量或检验效率应与生产制造效率相适应。实际上,测量效率通常比生产效率低。在这种情况下,则应尽量考虑采用自动化或半自动化测量方案。若工艺稳定,则可采用统计检验方案。在自动化生产线上,整个过程是按严格的节拍进行的。此时测量速度必须与生产节拍相吻合。因此,仪器的操作方式要适合生产测量的需要。提高测量速度,不仅提高了生产率,有时也可以起到提高精度的作用。因为生产效率提高,会缩短测量时间而减少温度变化对降低测量精度的影响。

采用自动化测量不仅可以缩短时间,提高生产率,而且可以提高测量精度,节省人力,消除人为误差,避免重复单调的劳动操作,减少费用,还便于远距离显示及反馈,避免辐射影响等,这是测量技术发展的主要方向之一。

4. 可靠性要求:是指一种产品在一定时间内和一定条件下,不出故障地发挥其规定功能的概率。

可靠性指标除了用完成规定功能的成功概率表示外,还可以用平均故障间隔时间或称产品平均寿命、故障率或称失效率、有效性、平均保养间隔时间或平均寿命等来表示。

一台仪器或一套自动测量系统,无论在原理上如何先进,在功能上如何全面,在精度上如何高级,假若可靠性差,故障频繁,不能长时期地稳定工作,则该仪器或系统就没有使用价值。因此,随着现代化仪器及测量系统的发展,可靠性要求愈来愈重要,与此相应,可靠性的评价便不能象过去那样仅停留在定性的概念性分析上,而应该科学地进行定量计算。

5. 寿命要求:在设计中应注意考虑提高寿命的方法,如结构中尽量减少磨损件,用分子内摩擦元件代替外摩擦元件;选用适当的材料及热处理、化学处理方法;规定合理的使用操作规程、维护保养方法、包装搬运要求及使用环境条件等等。

6. 造型要求:仪器的外观设计亦极为重要。总体结构的安装,部件间的造型、细部的美化等,都必须认真考虑。最好经过美工人员的专门设计,使产品造型优美、色泽柔和、美观大方、外廓整齐、细部精致。总之要使人们感到是一台精密仪器,必须小心维护,细致操作,从而提高了仪器的精度保持性和仪器的使用寿命。

## 二、设计原则

为了减少仪器误差,保证仪器精度,在设计时应考虑以下原则:

### 1. 从原理上提高精度的原则

(1) 误差平均原理:如采用多次重复测量,取平均误差,以提高测量精度。又如采用密珠滚珠导轨,静压导轨均化误差等。

(2) 位移量同步比较原理:如图 1-3 的齿轮检查仪就采用这种原理,即采用圆光栅角位移与直线光栅线位移同步运动的方法测齿轮误差。