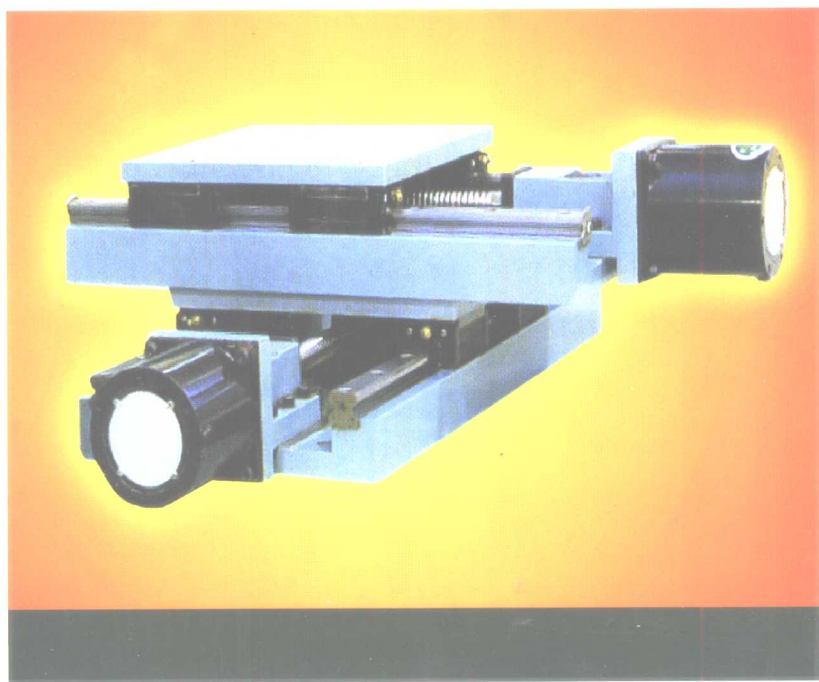



李 蕾 主编 崔建国 副主编

精密机械设计



Chemical Industry Press

 化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

精密机械设计

李 蕾 主 编
崔建国 副主编



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

精密机械设计/李蕾主编. —北京: 化学工业出版社,
2005. 2

ISBN 7-5025-6475-6

I. 精… II. 李… III. 机械设计 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 136134 号

精密机械设计

李 蕾 主 编

崔建国 副主编

责任编辑: 刘 哲 周 红

文字编辑: 宋 薇

责任校对: 郑 捷

封面设计: 于 兵

*

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

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市海波装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 20½ 字数 507 千字

2005 年 3 月第 1 版 2005 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6475-6/TH·282

定 价: 42.00 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

前 言

现代仪器、仪表发展的重要特点之一是光学系统（包括光电转换系统）、电路系统和精密机械结构三者密切联系、互相配合，共同保证仪器技术性能的实现。近年来，尽管电子技术、光电技术得到了迅速发展，但在目前情况下，无论是光学精密机械仪器、光电仪器还是机电仪器、电子仪器，都因为与精密机械结构密不可分而具有实用价值。随着生产的发展，精密机械已经广泛地应用在国民经济和国防工业的许多部门，如火箭、人造卫星和宇宙飞船上的陀螺仪、机械手和机器人、计算机的外围设备、集成电路的光刻机、各种精密机床、精密加工机床的测试设备、仪器和仪表（钟表及照相机）等。目前，智能微机电系统的发展也是现代的科技前沿，它在诸多领域中有着广泛的辅助作用，其潜在价值是不可估量的，微机电系统的发展前景也是相当可观的。

精密机械结构在仪器中的主要作用是组成具有确定运动规律的相对活动系统，来传递、变换、控制运动和传递数值，指示工作，以及调整、固定和稳定光学部件、光电器件、电气元件和机械构件的相对位置。因此，精密机械本身的完善程度，将直接影响各种产品的质量。精密机械结构部分不仅在质量上对保证仪器技术性能的实现有着极为重要的作用，而且在仪器构件的数量上，也往往占有相当大的比例。在德国、瑞士、日本、俄罗斯和中国的研究部门、高等院校中都已设置了精密机械工程系和研究机构，以培养适应 21 世纪科学技术和社会经济发展需要，有较强机械设计能力，扎实的工艺知识和光、机、电综合素质的富有创新精神的高级专门人才。

本书力求在建立精密设计基础（零部件结构设计）的同时，加强精度设计理论，精密仪器、设备设计基础理论及整机设计概念，吸收了现代精密仪器设计的基本内容，对精密机械设备的总体设计、系统设计、部件设计以及精确度计算等方面进行论述，并通过详尽的实例分析说明，为仪器仪表类专业的学习和机械类专业的选修提供了不同的空间，也可作为电子、自动化等专业的参考教材，使用者可根据要求酌情选用。

本书主编李蕾，副主编崔建国。第 1 章、第 9 章和第 13 章由李蕾编写，第 2 章、第 7 章、第 8 章和第 11 章由崔建国编写，第 4 章、第 5 章和第 6 章由齐瑞贵编写，第 3 章、第 10 章和第 12 章由屈利刚编写。由于编者水平有限，书中难免有不足之处，恳请同行学者和广大读者提出宝贵意见。

编者

2004. 12

目 录

第 1 章 精密机械设计概论	1
1.1 概述	1
1.1.1 基本概念	1
1.1.2 我国精密仪器发展的状况及任务	2
1.1.3 本课程的研究对象、内容及任务	3
1.2 精密仪器设备产品结构的组成	4
1.2.1 零件、部件、组件与整机	4
1.2.2 工作机的概念	4
1.2.3 精密仪器设备产品的结构	6
1.2.4 精密仪器设备中机械系统与结构的功能和应用	7
1.3 精密仪器设备产品结构设计的简介	9
1.3.1 精密仪器设备产品结构的基本要求	9
1.3.2 精密仪器设备产品结构的设计原则和设计程序	12
1.4 精密仪器发展的特点和趋势	13
思考题与习题	14
第 2 章 精密机械设计基础	15
2.1 工程材料及热处理概述	15
2.2 工程材料及热处理	15
2.2.1 常用的工程材料	15
2.2.2 钢的热处理	18
2.2.3 金属零件的表面精饰	19
2.2.4 材料选用的基本原则	20
2.3 零件的几何精度概述	21
2.4 零件的几何精度	22
2.4.1 公差与配合的基本术语和定义	22
2.4.2 极限与配合及其选择方法	27
2.4.3 形状与位置公差及其选择方法	34
2.4.4 表面粗糙度及其选择方法	42
2.5 机械零件设计基础	46
2.5.1 零件的工作能力及其计算	46
2.5.2 零件的结构设计	51
思考题与习题	53
第 3 章 精密机械设计的精度理论	55
3.1 精度理论的基本概念	55
3.1.1 误差	55
3.1.2 精度	60

3.2 精度的评价和分析	63
3.2.1 精度指标和标准	63
3.2.2 总体精度分析	65
3.3 误差的合成	66
3.3.1 误差独立作用原理	66
3.3.2 随机误差的合成	67
3.3.3 系统误差的合成	68
3.4 精度设计及其分配	69
3.4.1 精度分配	69
3.4.2 误差补偿	71
思考题与习题	72
第4章 螺旋传动	73
4.1 概述	73
4.2 滑动螺旋传动	73
4.2.1 螺纹的形成、类型、主要参数及其运动规律	73
4.2.2 滑动螺旋传动的形式	74
4.2.3 滑动螺旋副的摩擦、效率和自锁	76
4.2.4 滑动螺旋传动的设计	78
4.2.5 影响螺纹传动精度的因素及提高传动精度的措施	82
4.2.6 螺旋传动的空回	86
4.3 滚动螺旋传动	87
4.3.1 概述	87
4.3.2 滚珠螺旋传动的结构形式	88
4.3.3 影响螺旋传动精度的因素	91
4.3.4 滚珠螺旋副的精度、代号和标记	92
思考题与习题	92
第5章 凸轮机构	93
5.1 凸轮机构的应用和类型	93
5.1.1 凸轮机构的应用	93
5.1.2 凸轮机构的类型	94
5.1.3 凸轮机构的特点	94
5.2 从动件常用运动规律	95
5.2.1 等速运动规律	95
5.2.2 等加速等减速运动规律	96
5.2.3 简谐运动规律	97
5.3 凸轮轮廓线的设计	97
5.3.1 图解法设计凸轮的轮廓线	97
5.3.2 解析法设计凸轮轮廓线	99
5.4 凸轮机构基本参数的确定	100
5.4.1 凸轮机构的压力角 α	100
5.4.2 基圆半径 r_0 与偏心距 e	101

5.4.3 滚子半径 r_T	101
思考题与习题	102
第6章 齿轮传动系统	103
6.1 齿轮机构的特点和类型	103
6.2 齿廓啮合原理	104
6.2.1 齿廓啮合基本定律	104
6.2.2 渐开线的形成及其性质	105
6.3 齿轮各部分的名称及渐开线标准齿轮的基本尺寸	107
6.3.1 齿轮各部分的名称和符号	107
6.3.2 基本参数	108
6.3.3 标准直齿圆柱齿轮几何尺寸的计算	109
6.3.4 渐开线圆柱齿轮任意圆上的齿厚	110
6.4 渐开线直齿圆柱齿轮啮合传动	111
6.4.1 正确啮合条件	111
6.4.2 标准中心距与传动比	111
6.4.3 齿轮连续传动的条件	112
6.5 渐开线齿廓的切制原理、根切和最少齿数	113
6.5.1 齿廓的切制原理	113
6.5.2 齿廓的根切现象	115
6.5.3 渐开线标准齿轮不发生根切时最少齿数	116
6.6 变位齿轮简介	117
6.7 斜齿圆柱齿轮传动	118
6.7.1 渐开线斜齿圆柱齿轮曲面形成及啮合特点	118
6.7.2 斜齿圆柱齿轮的基本参数和几何尺寸的计算	119
6.7.3 斜齿圆柱齿轮的正确啮合条件	120
6.7.4 重合度	121
6.7.5 斜齿圆柱齿轮的当量齿数	121
6.8 齿轮传动的失效形式及设计准则	122
6.8.1 齿轮传动的失效形式	122
6.8.2 设计准则	123
6.9 齿轮的材料	123
6.10 圆柱齿轮的强度计算	124
6.10.1 直齿圆柱齿轮疲劳强度计算	124
6.10.2 斜齿圆柱齿轮疲劳强度的计算	131
6.11 圆锥齿轮传动	132
6.11.1 圆锥齿轮传动的应用和特点	132
6.11.2 直齿圆锥齿轮的背锥及当量齿轮	133
6.11.3 基本参数	133
6.11.4 圆锥齿轮的正确啮合条件与传动比	134
6.11.5 直齿圆锥齿轮的几何计算	134
6.11.6 直齿圆锥齿轮的强度计算	135

6.12 蜗杆传动	136
6.12.1 蜗杆蜗轮的形成原理和传动特点	137
6.12.2 蜗杆传动正确啮合条件	137
6.12.3 蜗杆传动的主要参数和几何尺寸	138
6.12.4 蜗杆传动的失效形式和材料的选择	141
6.12.5 蜗杆传动的强度计算	141
6.13 非圆齿轮机构简介	143
6.14 轮系	144
6.14.1 轮系的类型	144
6.14.2 轮系的传动比计算	145
6.14.3 轮系的应用	148
6.14.4 几种常用的行星齿轮传动简介	149
6.15 齿轮传动精度与空回	153
6.15.1 齿轮传动精度	153
6.15.2 齿轮传动的空回	156
6.15.3 消除或减小空回的方法	157
6.16 齿轮传动链传动比的分配	158
思考题与习题	161
第7章 带传动与链传动	162
7.1 带传动概述	162
7.1.1 带传动的类型	162
7.1.2 V带的类型与结构	162
7.1.3 带传动的几何关系及其特点	163
7.2 带传动的受力分析	164
7.2.1 带的受力分析	164
7.2.2 带的应力分析	165
7.2.3 带传动的弹性滑动和打滑	166
7.3 V带传动的设计	167
7.3.1 设计条件及内容	167
7.3.2 设计方法及步骤	167
7.4 V带传动的张紧装置	173
7.4.1 定期张紧装置	174
7.4.2 自动张紧装置	174
7.4.3 张紧轮装置	174
7.5 链传动概述	175
7.6 链传动的结构特点	175
7.6.1 链传动的结构特点	175
7.6.2 滚子链及其链轮	176
7.6.3 链传动的布置	178
7.7 链传动的运动特性	178
7.7.1 链传动的运动不均匀性	178

7.7.2 链传动的动载荷	179
7.8 链传动的设计计算	180
7.8.1 链传动的失效形式	180
7.8.2 链传动的额定功率曲线	180
7.8.3 链传动的主要参数及其选择	183
7.8.4 链传动作用在轴上的力 Q	184
7.8.5 低速链传动的静力强度计算	184
思考题与习题	185
第8章 摩擦轮传动	187
8.1 概述	187
8.2 摩擦轮传动的类型及其应用范围	187
8.2.1 摩擦轮传动的类型	187
8.2.2 摩擦轮传动的应用范围	188
8.3 摩擦轮传动	189
8.3.1 传动的工作原理	189
8.3.2 圆柱摩擦轮传动的计算	191
8.3.3 圆锥摩擦轮传动的计算	191
8.3.4 作用在轴上的载荷	192
8.3.5 摩擦轮材料	192
思考题与习题	193
第9章 主轴系统设计	194
9.1 主轴系统设计的基本要求	194
9.1.1 主轴系统回转精度	194
9.1.2 主轴的系统刚度	195
9.1.3 主轴系统的振动	195
9.1.4 主轴热变形	195
9.1.5 轴承的耐磨性	196
9.2 滚动摩擦轴系	196
9.2.1 标准滚动轴承	196
9.2.2 非标准滚动轴承轴系	205
9.3 滑动摩擦轴系	206
9.3.1 圆柱形滑动摩擦轴系	206
9.3.2 圆锥形滑动摩擦轴系	210
9.4 主轴的设计	212
9.4.1 轴的分类	212
9.4.2 轴的材料	212
9.4.3 轴的结构设计	213
9.4.4 轴的强度计算	216
9.4.5 轴的刚度计算	219
思考题与习题	220
第10章 支承系统设计	221

10.1 基座与支承件	221
10.1.1 基座与支承件的结构特点及主要技术要求	221
10.1.2 基座与支承件的结构设计	224
10.1.3 基座与支承件的材料选择	229
10.2 精密工作台	230
10.2.1 工作台的分类	231
10.2.2 X-Y工作台的性能要求、形式及组成	231
10.2.3 导轨的性能要求	232
10.2.4 滑动摩擦导轨	237
10.2.5 滚动摩擦导轨	241
思考题与习题	246
第 11 章 精密位移检测装置	247
11.1 机械类位移检测装置	248
11.1.1 丝杠螺母副位移检测装置	248
11.1.2 多齿分度盘角位移检测装置	251
11.1.3 钢球分度盘角位移检测装置	254
11.1.4 蜗杆蜗轮副角位移检测装置	255
11.2 光电类位移检测装置	256
11.2.1 线纹尺位移检测装置	256
11.2.2 度盘角位移检测装置	259
11.2.3 光栅位移检测装置	260
11.2.4 码盘、码尺位移检测装置	266
思考题与习题	267
第 12 章 总体设计	268
12.1 总体设计的设计过程	268
12.2 现代精密设计方法简介	269
12.2.1 机电一体化设计基本原理	269
12.2.2 机电一体化设计的关键技术	270
12.2.3 机电一体化设计的类型	271
12.3 设计方案的拟订	271
12.3.1 主要技术参数和技术指标的内容	271
12.3.2 确定主要技术参数和技术指标的方法	272
12.3.3 总体方案的制定	272
12.4 设计方案的评价	287
12.4.1 评价的内容	288
12.4.2 评价的方法	289
12.5 总体设计实例	291
12.5.1 打印机	291
12.5.2 PLC控制钻扩铰组合机床	296
12.5.3 多用途数控五轴联动激光加工机	306
12.5.4 电子钟表	312
思考题与习题	316
参考文献	317

第1章

精密机械设计概论

1.1 概述

1.1.1 基本概念

精密机械设备一般是指结合光、电、气、液原理设计的“精密加工设备”、“精密测量仪器”等。

在生产和科学实验过程中，精密仪器设备越来越广泛地应用在工业、农业、国防和科学技术现代化建设的各个领域，成为具有信息采集、处理、传递、转换、存储、显示和控制等各种功能的高级工具。随着微电子技术、传感技术、激光技术和计算机应用技术的发展，现代精密仪器设备正沿着自动化、光机电一体化和智能化的方向蓬勃发展，成为光、机、电、算多种技术应用的综合技术系统。

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，可将机电产品看做技术系统。而概括地说技术系统的处理对象即是能量、材料和信息三类。技术系统的功能就是将输入的能量、材料和信息进行有目的转换或变化后输出。在输入、输出过程中，随时间变化的能量、材料和信息称为能量流、材料流和信息流。能量包括机械能、热能、电能、光能、化学能和生物能等。材料可分为毛坯、气体和液体等。而信息体现为数据控制脉冲、显示等。技术系统及其处理对象可用示意图（见图1-1）表示。

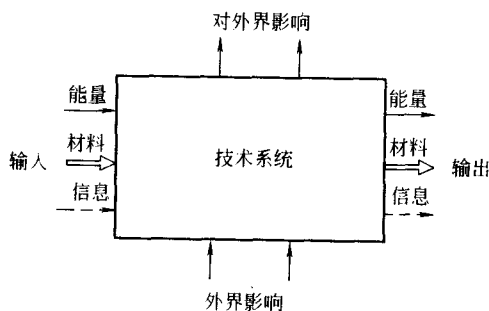


图 1-1 技术系统及其处理对象

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、照相机、计算仪器、天文仪器和导航仪器等。例如显示仪器是接受计量仪器测量部分的信号经过处理后显示出结果的仪器。

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、制冷机械和建筑机械等。例如由系统的输入及输出内容分析可知电机系统的功能是能量转换。

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、冷却器、过滤器和离心机等。例如冲床系统的功能是材料分离。

由于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。对于精密机械的研究，范围相当广泛，不仅包含精密测量仪器，而且也包含了精密加工设备等。

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、时间频率和电离辐射等。

1.1.2 我国精密仪器发展的状况及任务

现代仪器发展的重要特点之一是光学系统（包括光电转换系统）、电路系统和精密机械结构三者密切联系、互相配合，共同保证仪器技术性能的实现。近年来，尽管电子技术、光电技术得到了迅速发展，但就目前情况而言，精密机械结构仍是光学精密机械仪器、光电仪器、机电仪器、电子仪器的基本组成部分，且具有实用价值。随着生产的发展，精密机械已经广泛地应用在国民经济和国防工业的许多部门，如火箭、人造卫星和宇宙飞船上的陀螺仪、机械手和机器人、计算机的外围设备、集成电路的光刻机、各种精密机床、精密加工机床的测试设备、仪器和仪表（钟表及照相机）等。

精密机械结构在仪器中的主要作用是组成具有确定运动规律的相对活动系统来传递、变换和控制运动，传递数值，指示工作以及调整、固定和稳定光学部件、光电器件、电气元件和机械构件的相对位置。因此，精密机械本身的完善程度，将直接影响各部门产品的质量。精密机械结构部分不仅在质量上对保证仪器技术性能的实现有着极为重要的作用，而且在仪器构件的数量上，也往往占有相当大的比例。在德国、瑞士、日本、俄罗斯和我国的研究部门、高等院校中都已设置了精密机械工程方面的研究机构。

由于生产科学技术的日益发展，对于精密机械无论在产品的品种上、数量上和质量上都不断提出了更高的要求。同时也为精密机械的发展创造了更好的条件，开辟了更广阔的途径。从技术发展的历史来看，精密机械的研究和发展主要取决于设计理论、方法、测试和工艺技术的不断更新与提高。在 20 世纪 50 年代，最高加工精度只能达到 $1\sim 0.1\mu\text{m}$ 。20 世纪 60 年代以来，由于金刚石刀具和磨具的应用，特别是激光和微机技术的发展，使最高加工精度和测量精度达到了 $0.1\sim 0.01\mu\text{m}$ 。例如美国 Y-12 工厂研制成功的 Moore 车床、日本丰田工机的 APH50-32 超精车床，主轴回转精度均为 $0.025\mu\text{m}$ ，被加工有色金属零件的表面粗糙度为 $R_a 0.01\mu\text{m}$ ；联邦德国 Heidenhain 的 DS200/400 型转台和日本东京圆度仪的主轴回转精度为 $0.01\mu\text{m}$ ，示值误差为 $0.1''$ ；英国 Taylor Hobson 公司的 Talyrond 73 型圆度仪主轴回转精度为 $0.025\mu\text{m}$ ，Talycentric 转台为 $0.013\mu\text{m}$ 。我国也先后制造了不少精密机械产品，如 ST-186 型、SL-222 型高精度磁盘车床主轴回转精度为 $0.2\mu\text{m}$ ；多齿分度台分度精度为 $0.1''$ ；HJY015 型高精度圆光栅检测仪的主轴回转精度为 $0.03\mu\text{m}$ ；1m 激光比长仪的测量精度为 $0.1\mu\text{m}$ 等。今后精密机械设备的发展目标则更高，将达到 $0.01\sim 0.001\mu\text{m}$ 。

目前我国仪器仪表产品的综合水平，大体上相当于国际 20 世纪 60 年代中期的水平，其中属 20 世纪 80 年代水平的约占 2%，与国外产品相比主要的差距如下。

(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 2000h，国外现场工作仪表平均无故障率时间普遍达到 10 万~30 万小时，而国产仪表一般只有 5000h。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、通用化和系列化工作仍旧存在许多问题, 它不仅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、功能少且智能化程度低。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、单参数及静态测量, 而国际上已向多点、多参数及自动测量发展, 由静态测量为主向静动态结合方向发展, 由接触式测量向非接触式测量发展。其他在仪器仪表材料、工艺和元器件等方面也都存在不少的差距。

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。近几十年来, 世界上的工业发达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他部门的发展, 而且还明显有继续上升的趋势。

我国仪器仪表工业必须超前满足国民经济各部门的需要。因此仪器仪表工业的总目标如下。在 10~15 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 20 世纪 80 年代的水平, 基本上满足国家重点建设项目、技术改造项目以及国民经济各部门发展的需要。

1.1.3 本课程的研究对象、内容及任务

本课程主要研究精密机械设计中常用机构和常用的零件、部件, 并介绍其工作原理、特点、应用范围、选型、材料、精度原理以及设计计算的一般原则和方法。

本课程的主要任务如下。

(1) 使学生初步掌握常用机构的结构分析、运动分析、动力分析及其设计方法。

(2) 使学生掌握通用零部件的工作原理、特点、选型及其计算方法, 培养学生能运用所学基础理论知识, 解决精密机械零部件的设计问题。

(3) 培养学生具有设计精密机械传动和仪器机械结构的初步能力以及对某些典型零部件的精度分析, 并提出改进措施。

(4) 使学生了解常用机构和零部件的实验方法; 初步具有某些零部件的性能测试和结构分析能力。

(5) 使学生了解材料与热处理、公差与配合方面的基本知识, 并能在工程设计中正确选用。

(6) 使学生初步掌握精度设计的基本理论与精密仪器设备和精密加工设备的基本设计步骤和设计准则, 学习具体应用, 为日后的设计工作奠定基础。

1.2 精密仪器设备产品结构的组成

1.2.1 零件、部件、组件与整机

“机械”这个名词一般被认为是“机器”和“机构”的总称。机械的类别很多，通常可分为采矿、冶金、建筑、石油、化工、轻工、纺织等。机构是用来传递运动和力的可动装置，即用以改变刚体机械运动的装置。工程实际中常见的机构有连杆机构、凸轮机构和齿轮机构等。在实际生活中，我们还会经常接触到许多机器，“机器”是一种借助于机械运动而代人完成一定工作的工具，如洗衣机、缝纫机、内燃机、电机、各种机床、汽车和起重机等。各种机器的类型不同，但从不同的形式、构造和用途来看，却都是由各种机构组合而成，而机构是由构件组成的。机构中的构件可以是单一的零件，也可以是被称为部件的几个零件的合体。通常构件和零件是两个不同的概念，构件指的是“运动单元”，而零件则是“制造单元”。

(1) 零件又称元件，是产品的基础，是组成产品的最基本成分，是一个不经破坏不可分解的单一整体，是一种不采用装配工序而制成的成品。零件通常是用一种材料经过所需的各种加工工序制成的，如螺钉、弹簧和轴等。

(2) 部件又称器件，是生产过程中由加工好的两个或两个以上的零件，以可拆连接或永久连接的形式，按装配图要求装配而成的一个单元。其目的是将产品的装配分成若干初级阶段，也可以作为独立的产品，如滚动轴承、直线导轨和减振器等。

(3) 组件又称整件，是由若干零件和部件按装配图要求，装配成的一种具有完整机构和结构，能实施独立功能，能执行一定任务的装置。从而将比较复杂产品的装配分成若干高级阶段，或作为独立的产品，如减速器、计数器、限动器和阻尼器等。

(4) 整机是由若干组件、部件和零件按总装配图要求，装配成的完整的仪器设备产品。整机能完成技术条件规定的复杂任务和功能，并配备所需的一切配套附件，如录放机、复印机、摄像机和放映机等。

随着生产和科学技术的发展，尤其是数学、电子学、自动控制和计算机等现代科学技术的巨大进步，各种精密机械及产品已经广泛应用于国民经济和国防工业的许多部门，如各种精密仪器、仪表、精密加工机床、医疗器械、计算机外围设备、机器人、火箭、卫星及雷达和通信设备伺服系统中的动力传动及精密传动等。因此，精密机械本身的质量和完善程度，将直接影响各部门产品的质量和可靠性。

1.2.2 工作机的概念

常用机械分为动力机械和工作机械两大类。

动力机械是转换能量形式的设备。工作机械（简称工作机）是用来改变劳动对象的形状、性质、状态和位置的机械，如金属切削机床、锻压机械、纺织机械、印刷机械及精密机械设备等。

现代工作机常由下列部分组成。

(1) 原动机构。原动机构是工作机或机构的运动源。例如电机、电磁铁和汽缸等。原动机构虽然与工作机完成预定的工艺过程无直接的关系，但选择是否合理，对工作机的组成有

着很大的影响。

原动机构的不断发展，如微分电机、步进电机、电液脉冲电机和直线电机等的出现，有利于简化工作机的结构——特别是传动系统，并为实现数字程序控制创造了条件。因此，合理地选择原动机构，是使工作机结构简单、工作可靠和维修方便的重要因素。

(2) 执行机构。执行机构是用来以特定的动作完成预定工艺任务，具体表现了工作机的使用特性。例如工件自动上料装置的执行机构（见图 1-2 中的件 1~件 4 及件 6）。

工件在机床或自动线上的自动运送和装卸，是实现工艺过程自动化的必须和重要环节。由于各种工件的外形尺寸、组成材质和加工工艺各不相同，实现各种工件的自动运送和装卸所采用的方式和机构也各不相同。但是，单个工件的自动上料装置的基本工作原理和组成却是相似的。

有些运动较复杂的执行机构，能像手一样灵活动作，因而被人们称为机械手。而具有独立的原动机构、传动机构、控制机构和能按指令工作的机械手，已是一种独立的工作机了。

(3) 传动机构。传动机构是用来在原动机构和执行机构之间传递运动和能量的。

传动机构的类型很多，除了常见的齿轮副、带传动和杠杆传动等机械传动外，还有气压、液压或其他形式的传动。选用传动机构时，应根据执行机构的运动要求、调整范围及其他条件进行综合考虑。

(4) 控制机构。控制机构用来保证执行机构严格按照预定的程序运动，并在一定时间内完成工作循环。

早期的控制机构，大多是凸轮杠杆式的机械控制系统。随着电子技术的迅速发展，电子控制系统，尤其是采用计算机的控制系统，得到了广泛的应用。目前，具有检测控制功能的计算机控制系统，已经能实时、精确地控制各种设备的运行。应用计算机控制的机器，不仅可靠，而且便于修改，应用十分方便。

对于专用机械设备，由于加工条件较稳定，加工对象变化不大，因而可用结构较为固定的计算机控制系统进行控制。例如生产涤纶电容器的卷绕机，就是利用一种称为可编程控制器的专用计算机控制器进行控制的。

(5) 检测机构。检测机构的作用是检查和测量被加工工件或执行机构的工作参数，为控制系统的动作提供依据。它包括信号传递、信号放大和信号处理等部分。

早期的检测系统也是机械式的，如 20 世纪 40 年代设计的白炽灯泡芯柱机上，就有检查实心杆、喇叭等是否已上料的机构。若实心玻璃杆由于某种原因未能落入夹钳，夹钳移位时不能推开下一个工位的探杆，则喇叭上料机构不动作，喇叭不上料。总之，只要前一个工件没有上料，后续的工作就全部不再上料。

随着电子技术的发展，机械式检测已被电子检测逐步取代。目前，在计算机控制的机械中，无论检测的对象是什么信号，都将其转换为电信号，经计算机处理，以决定下一步的动

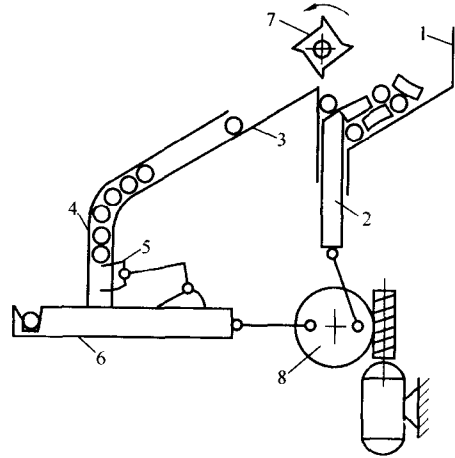


图 1-2 工件自动上料装置

1—料斗；2—定向机构；3—运送装置；4—储料斗；
5—控制器；6—上料器；7—拨正器；8—驱动装置

作。例如涤纶电容器卷绕机中，当任何一张膜工作不正常（拉断或卡死等）时，光电检测装置将检测到的光信号转换为电信号，送入计算机处理，并发出指令，使机器停止卷绕，等待处理。一般来说，检测精度要高于要求控制的精度。

1.2.3 精密仪器设备产品的结构

任何一部比较复杂的精密仪器设备产品，按照结构和工艺的观点，均可视为由若干零件、部件和组件组成。

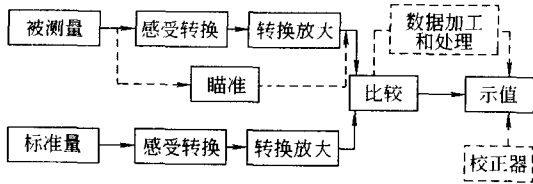


图 1-3 测量方法框图

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 1-3 中均用虚线框出。

根据仪器中各部件的功能，可将各类仪器的组成分为以下几个基本组成部分（见图 1-4、图 1-5）。

(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。基准部件的形式很多，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、标准测力计和称重标准等。

(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如下几种：气动非接触测头、光学探头、红外线、涡流测头和拾音器等。

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。再如检查表面缺陷，由于原始信号的规律不易掌握，所以，也是首先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

例如对于测量仪器而言，不论最后示值以什么形式给出，测量方法框图如图 1-3 所示。对于一些复杂参数的测量或者对像三坐标测量机等复杂测量仪，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

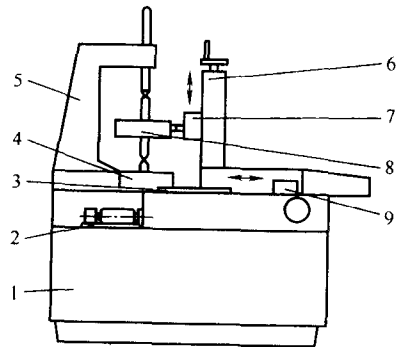


图 1-4 整体误差测量机外形

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

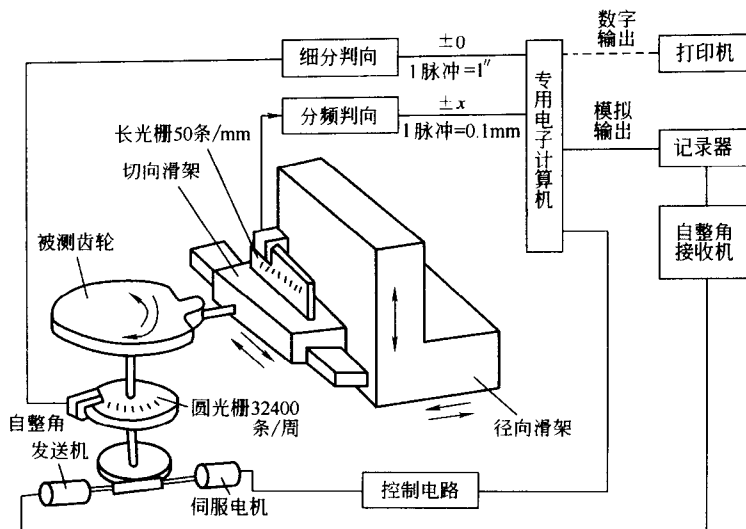


图 1-5 整体误差测量机构原理

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。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、处理、校正与计算等。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、打印机和荧光屏图像显示器等。

(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、轴系以及其他部件，如微调 and 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。

1.2.4 精密仪器设备中机械系统与结构的功能和应用

组成精密机械系统与结构的零部件和机构种类繁多，各自的功能和作用多种多样，但可概括为如下两个主要方面。

(1) 通过各种传动机构及其相互组合，构成精密仪器设备中具有确定运动规律的执行机构或相对活动系统，以实现运动、能量和信息的传递、转换、控制、显示和记录以及完成精密仪器设备功能所要求的各种动作。

(2) 通过机座、机壳等各种基体零部件和紧固件的组合，构成精密仪器设备中机构的机架和支承系统，以实现仪器设备中各种元器件的刚性或弹性连接、固定和调整，保证各元器件获得所要求的、确定的和稳定的相对位置。

精密机械系统与结构的应用实例之一是数控绘图仪中的机械装置。数控绘图仪是根据电