

# 精密机械设计

上册

邹慧君等编

上海交通大学

# 精密机械设计

中册

邹慧君等编

上海交通大学

# 精密机械设计

下册

邹慧君等编

上海交通大学

书号：7919

# 精密机械设计

(精密机械、精密仪器专业用)

上册

邹慧君等编

上海交通大学

1980年

# 精密机械设计

(精密机械、精密仪器专业用)

中 册

邹 慧 君 等 编

上海交通大学

1980年

# 精密机械设计

(精密机械、精密仪器专业用)

下 册

邹 慧 君 等 编

上海交通大学

1980年

# 前 言

《精密机械设计》是精密仪器和精密机械专业的基础技术课教材。

本书除绪论外，共十八章，分为四个部分：第一部分机械传动，包括摩擦传动、挠性传动、精密齿轮传动、螺旋传动和谐波齿轮传动的结构及其设计计算方法；第二部分轴系及支承零件，包括轴、滑动轴承、滚动轴承、仪表支承和联轴节、离合器的结构和设计计算方法；第三部分其他常用零件，包括螺旋弹簧、弹性元件、精密仪器导轨和零件的联接的结构和设计方法；第四部分精密机械和仪器中常用的组合件，包括微动装置、锁紧装置、限动器、示数装置与记录装置、减震器和阻尼器以及密封装置的基本原理和设计计算方法。

本书编写工作的分工是、绪论、第一章、第二章、第三章、第六章、第七章和第八章由邹慧君编写；第四章、第五章和第十章由邹桂根编写；第九章、第十四章、第十五章和第十七章由杨墉编写；第十一章、第十六章和第十八章由张鄂编写；第十二章由金昭德编写；第十三章由卢钢编写。最后，由邹慧君负责全书的整理和统编工作。

全书各章还由精密仪器系高忠华付教授审阅、定稿。

这次编写工作，虽然我们在前几年教学实践的基础上，尽了较大的努力，力求能较好地满足教学需要，但是由于水平和时间限制，不妥甚至错误之处惟恐难免，希望读者对本书多加批评和帮助，以便在下次修订中加以改正。

编者

1979年6月



# 上册目录

前 言	.....	
绪 论	.....	1
§ 1. 精密仪器的分类及其基本组成部分	.....	1
§ 2. 精密机械设计的基本要求	.....	2
§ 3. 精密机械设计的一般方法	.....	4
§ 4. 精密机械设计的一般步骤	.....	5
§ 5. 选择材料的原则	.....	6
§ 6. 精密机械设计中的精度和误差分析	.....	7
§ 7. 本课程的目的对基本内容	.....	8

## 第一篇 机械传动

第一章 摩擦传动	.....	10
§ 1. 概述	.....	10
§ 2. 定速比摩擦传动设计	.....	12
§ 3. 变速比摩擦传动设计	.....	19
第二章 挠性传动	.....	32
§ 1. 概述	.....	32
§ 2. 平皮带传动	.....	33
§ 3. 同步齿形带传动	.....	45
§ 4. 链传动	.....	55
§ 5. 其它挠性传动	.....	63
第三章 精密齿轮传动设计	.....	65
§ 1. 概述	.....	65
§ 2. 传动型式及选择原则	.....	66
§ 3. 传动比的分配原则	.....	67
§ 4. 总传动比对随动系统性能的影响及其选择原则	.....	77
§ 5. 模数对齿数的确定原则	.....	82
§ 6. 圆柱齿轮的强度计算	.....	85
§ 7. 齿轮传动的回差计算	.....	92

§ 8. 消除和减小齿隙的方法.....	113
§ 9. 齿轮传动的传动精度.....	116
§ 10. 齿轮传动的结构设计.....	124
§ 11. 齿轮材料的选择.....	132
<b>第四章 螺旋传动.....</b>	<b>135</b>
§ 1. 概述.....	135
§ 2. 精密螺旋传动的结构示例.....	139
§ 3. 螺旋传动的计算.....	141
§ 4. 螺旋传动的传动误差分析及提高传动精度的方法.....	146
§ 5. 螺旋传动的设计.....	155
§ 6. 滚珠螺旋传动.....	156
<b>第五章 谐波齿轮传动.....</b>	<b>165</b>
§ 1. 谐波传动概述.....	165
§ 2. 谐波传动的几何尺寸计算.....	172
§ 3. 谐波传动的结构.....	178
§ 4. 谐波传动的设计计算.....	182

# 中册目录

## 第二篇 轴系及支承零件

<b>第六章 轴</b> .....	193
§ 1. 概述.....	193
§ 2. 轴的结构设计.....	194
§ 3. 轴的旋转精度及其提高的方法.....	201
§ 4. 轴的强度计算.....	203
§ 5. 轴的刚度.....	206
§ 6. 轴的振动和临界转速.....	212
<b>第七章 滑动轴承</b> .....	221
§ 1. 概述.....	221
§ 2. 非液体摩擦滑动轴承.....	227
§ 3. 液体摩擦径向动压轴承.....	232
§ 4. 其他液体轴承介绍.....	242
§ 5. 润滑剂和润滑方法.....	248
§ 6. 气体润滑轴承.....	254
<b>第八章 滚动轴承</b> .....	271
§ 1. 概述.....	271
§ 2. 滚动轴承的结构类型和选用原则.....	272
§ 3. 滚动轴承的标准与代号.....	278
§ 4. 滚动轴承组合的结构设计.....	282
§ 5. 球轴承中钢球受力及摩擦力矩分析.....	289
§ 6. 滚动轴承的选择计算.....	295
§ 7. 非标准滚动轴承.....	311
<b>第九章 仪表支承</b> .....	317
§ 1. 概述.....	317
§ 2. 圆柱支承的结构与计算.....	317
§ 3. 圆锥支承和顶针支承.....	322
§ 4. 刀口支承的结构.....	324
§ 5. 弹性摩擦支承.....	327
§ 6. 电磁支承.....	336

§ 7. 减小支承摩擦力矩的方法	342
<b>第十章 联轴节和离合器</b>	346
§ 1. 概述	346
§ 2. 联轴节	346
§ 3. 离合器	356

### 第三篇 其它常用零件

<b>第十一章 螺旋弹簧</b>	367
§ 1. 概述	367
§ 2. 圆柱形压缩弹簧的设计计算	372
§ 3. 圆柱形拉伸弹簧的设计计算	380
§ 4. 圆柱形扭转弹簧的设计计算	384
§ 5. 圆锥形螺旋弹簧的设计计算	387
<b>第十二章 弹性元件</b>	389
§ 1. 概述	389
§ 2. 片簧的结构和计算	391
§ 3. 游丝的设计和计算	398
§ 4. 膜片与膜盒	401
§ 5. 波纹管	402
<b>第十三章 精密仪器导轨</b>	405
§ 1. 概述	405
§ 2. 滑动摩擦导轨	406
§ 3. 滚动摩擦导轨	412
§ 4. 弹性摩擦导轨	416
<b>第十四章 零件的联接</b>	418
§ 1. 概述	418
§ 2. 螺纹联接	419
§ 3. 销联接	434
§ 4. 速拆联接	438
§ 5. 夹紧联接	439
§ 6. 铆钉联接	439
§ 7. 弯折联接	442
§ 8. 焊接	443
§ 9. 胶接	449
§ 10. 特种胶粘剂与环氧树脂	452

# 下 册 目 录

## 第四篇 精密机械和仪器中常用的组合件

第十五章 微动装置、锁紧装置和限动器.....	457
§ 1. 微动装置.....	457
§ 2. 锁紧装置.....	466
§ 3. 限动器.....	469
第十六章 阻尼器和减震器.....	479
§ 1. 阻尼器.....	479
§ 2. 减震器.....	490
第十七章 示数装置与记录装置.....	499
§ 1. 概述.....	499
§ 2. 标尺指针示数装置.....	499
§ 3. 精密读数装置.....	504
§ 4. 数字显示器件.....	510
§ 5. 记录装置.....	516
第十八章 密封及密封装置.....	526
§ 1. 概述.....	526
§ 2. 自封型密封圈.....	528
§ 3. 机械密封.....	532
§ 4. 其它型式的密封.....	537
附录一 常用数据.....	543
附录二 常用材料.....	554
附录三 电镀与化学涂复.....	572

# 绪 论

## § 1 精密仪器的分类及其基本组成部份

随着生产和科学技术的日益发展,仪器的应用愈来愈广,仪器的品种愈来愈多,并且逐渐完善起来。目前工业生产和科学实验中,常利用各种仪器进行测量、观察、计算、控制和记录等。要对这些应用十分广泛的所有仪器进行分类是一个相当复杂的问题。不同的分类目的,就有不同的分类方法。如果按照不同使用目的来分类,仪器可以大致分为下列几类:即测量仪器、观察仪器、计算仪器和记录仪器等。如果按照仪器的构造和工作原理来分类,仪器又可分为:电学仪器、光学仪器、气动仪器、声电仪器等等。

测量仪器在精密仪器制造工业应用极为广泛,这种仪器主要用来测量各种机械量和物理量(如长度、位移、速度、加速度、振动、力矩以及目标方位、船舶的航向等等)。例如,测微仪、圆度仪、测振仪、动平衡仪、计程仪、测深仪、陀螺仪、雷达、齿轮测试仪器等等都是常用的测量仪器。从这些仪器的内部构造和工作原理来看,大多是由精密机械和电路系统两大部份组成,因此通常就称之为“机电仪器”。

对于机电测量仪器,如从它们的内部功用来划分,通常可以将仪器分成几个组成部份:

1. 精密机械部份:在精密仪器中主要是用作传送和执行的机构,是决定仪器技术性能最重要的组成部份。如圆度仪的主轴系统,动平衡仪的弹性摆架系统,陀螺仪的陀螺马达,雷达的天线回转系统等等都是精密机械部份。对于随动测量的仪器,如雷达、计程仪、陀螺仪等,精密机械部份还应包括它们随动系统中的传动、变速的机械结构。
2. 测量元件:将物理量或机械量转换成电量的元件,一般就称之为测量传感器。
3. 电气测量部份:将传感器产生的电参数加以测量。
4. 显示和记录装置:将被测得的物理量或和机械量显示和记录下来。

必须指出,并不是所有测量仪器都必须包含有上述四个部份。

仪器的精密机械部份,在实现整个仪器的技术性能指标中,起着十分重要的作用,是整个仪器的关键部份。仪器的精密机械部份除了包含各种典型机构外,还包含有其他机械传动和零部件,例如有摩擦传动、挠性传动、齿轮传动、螺旋传动等机械传动;同时还有轴、轴承、联轴器、限动器、阻尼器、弹性元件、导轨、示数装置以及密封装置等典型零、部件。

一般说来,仪器的机械部份同机器在结构上并没有截然的区别。但是,由于用途和使用要求不同,同机器相比,仪器一般具有以下特点和要求:精度较高,功率较小,重量较轻、体积较小、结构紧凑、工作灵便等。但是,并不所有的精密仪器都是体积小、重量轻的,例如:有的天文望远镜和卫星地面站的天线装置,重量可达几吨或几十吨,高度可达几米或几十米。这些大型的精密仪器,有时就被称为精密机械。

## § 2 精密机械设计的基本要求

在目前条件下，任何一种仪器都不可能脱离或简或繁的机械结构而具有实用价值。在机电测量仪器中，机械部份和电路部份共同保证仪器的技术性能的实现。在很多场合，机械部份对仪器的技术性能指标的影响更为显著。

仪器的主要技术性能指标是仪器的工作精度。因此，仪器的机械设计，主要考虑如何保证仪器必要的工作精度。只有在受力较大的情况下，如雷达的天线回转装置，由于所受风力（或水力）较大，因此还必须考虑外力对零部件的影响，进行必要的强度计算。

由于仪器的机械部份对仪器的技术性能影响极大，因此设计仪器的机械部份时必须认真考虑如何满足仪器的技术性能指标，具体来讲要满足使用和经济两个方面的基本要求。

### （一）使用方面的要求

不同用途和不同使用条件的仪器，对机械设计的要求也不完全相同。根据使用提出的要求是仪器最基本的要求，它主要包括下述内容：

#### 1. 准确而可靠地实现规定的运动关系和运动范围。

保证一定的精度，这是达到仪器某种测量目的最根本的条件，为了实现这一要求，必须正确地拟定其传动系统以及选择、设计所需的传动机构，同时对机构的精确度、零件的制造误差都要提出一定的要求。

#### 2. 具有较好的灵敏度和稳定性

对于测量仪器、要求在被测参数反复变化时，能迅速跟上并稳定下来，为此要求采用的机构本身要灵活、运动环节（运动链）要尽量少，并使机械部份的惯性小，同时还要把机械部份中的摩擦损耗减少到最低限度。

#### 3. 具有足够的强度、刚度和抗振抗腐蚀能力

对于仪器来说，由于其零件一般受力较小，所以强度问题显得不太突出，但对于受力较大的零件，必须进行强度校核，以免引起零件的破坏。零件具有足够的刚度，使其不产生过大的变形，以免影响仪器精确地进行工作。

对于有些仪器，特别是装在舰船上的仪器还需经受一定频率范围的振动、冲击，不能由于舰船的振动干扰而破坏仪器的正常工作。长期浸沉于水下的航海仪器（例如声纳、雷达天线的裸露部份等）设计选用的材料必须具有对海水的高抗蚀能力。

#### 4. 仪器的结构紧凑、重量轻尺寸小

对于各种仪器，在保证必要的工作精度，准确、可靠的基础上，结构应尽量紧凑，减小仪器的重量和尺寸。

#### 5. 具有良好的操纵性能和便于进行维护、修理

良好的操纵性能可以减轻仪器操纵的劳动强度，有利于发挥人的积极因素。便于进行维护、修理，可以减少仪器的机械部份在使用过程中的维修工作量，提高仪器的效能。

### （二）经济方面的要求

“节约是社会主义经济的基本原则之一”。所以，在设计仪器时，在满足使用要求的

前提下，还要满足经济性的要求。仪器的经济性表现在设计、制造、使用的全过程中。设计和制造的经济性主要表现在结构简单实用及制造成本的降低；使用的经济性表现为仪器的性能好、寿命长、效率高以及使用维护费用的低廉等。具体来讲主要有以下几条：

### 1. 测量性能好、效率高

就是提高仪器使用效能，多快好省地完成测量工作。因此是经济性中十分重要的要求。

### 2. 良好的工艺性

良好的工艺性就是要求其零件和组合结构在一定的生产规模和生产条件下，用最低的制造成本、最简便的加工方法、最短的时间和最少的劳动量制造出来。工艺上的要求主要分毛坯、加工和装配三方面来考虑。主要有以下几点：

(1) 仪器整体结构应该容易分成若干组件、各组件之间的联系和相互配置应能保证相对位置精度、拆装方便易于调整。尽可能做到装调时互不影响。

(2) 减少和适当统一产品中部件、零件和材料品种。尽量减少产品中零件的数量，力求简单、制造方便、生产周期短。

(3) 零件的形状应尽量简单，便于加工。最好由平面、圆柱面或圆弧面等简单的形状所组成。刀具难以达到的加工部位，应尽量避免。

(4) 零件材料的选择不仅考虑材料的机械物理性能，还应该注意到材料的加工性能，使零件的材料同加工方法及技术要求相适应。

(5) 合理地规定零件的加工精度和表面光洁度。零件的加工精度和表面光洁度，应当在满足零件工作要求的条件下尽量地低，不应过高，以免增加制造成本和机械加工劳动量。

(6) 零件的孔、槽等尺寸，应尽可能根据标准刀具的尺寸来确定。在同一零件上的圆角、退刀槽等尺寸应一致。

(7) 零件的工作图上应具有合理的尺寸基准和尺寸注法，使零件的设计基准与工艺基准尽量重合。零件的尺寸注法同加工方法相适应。

(8) 便于装配和拆卸。

总之，良好的工艺性是一个涉及面很广的复杂问题，设计者应当具有从毛坯生产开始，一直到装配成品零件为止全部过程的丰富的工艺知识，同时需要深入生产现场，与工人紧密结合，在不断的实践和总结中逐步解决。

### 3. 广泛采用标准件、规格件、通用件和外购件。

零件的标准化就是把零件的型式和尺寸归并为有限的几种，由国家定为标准。规格化就是在某一部门和工厂的范围内实施的标准。通用化就是在系列产品中把一些产品中把一些零件的种类尽量减少而通用于这些产品中。

标准化的意义有下列几方面：

(1) 把为数众多、型式和尺寸各不相同的同类零件归并在一个合理限定的数目上，使这些零件有可能在专门工厂或工厂的专门车间内用专用设备、专用工具和最先进的方法来进行大量生产。这样就能大大地降低零件的制造劳动量、金属消耗量、设备工具等费用，从而降低这些零件的价格；

(2) 使零件的工艺条件和试验方法标准化，从而提高其质量、工作性能和使用期限；



(3) 采用标准件可以缩短新产品的生产周期，因为这些标准件没有再另行设计、制造的必要了；

(4) 由于标准件互换性强，损坏的零件易于购置更换，因而可以减少修配劳动量和缩短修配时间。

应当指出，采用标准件并不会限制设计者的创造能力，相反可以减轻设计工作量，使设计者可以集中精力从事更重要的改进和设计工作。

现在许多常用的零件(如螺栓、螺钉、螺母、垫圈、键、销、滚动轴承等)都有国家标准(GB)或部颁标准(JB、NE、CB、HB等)，设计时必须遵循这些标准。对于还没有标准的零件，可参照有关的企业标准。

上述仪器的机械部份的设计的两方面基本要求，概括起来就是使所设计的机械部份能满足性能好、寿命长、效率高、成本低、重量轻、体积小和维护使用方便的总要求。这些要求是统一的，但是在具体处理上有时又可能是矛盾的。“有许多的矛盾存在，其中必有一种是主要的矛盾”，因此，在设计过程中要分清主次，重点处理好主要矛盾，同时妥善解决好其他的矛盾。

### § 3 精密机械设计的一般方法

精密机械设计，不只是一个具体的方法问题，而是首先要有正确的指导思想。在设计过程中，必须坚持为社会主义革命和建设服务的政治方向，必须坚持群众路线，必须坚持理论联系实际的原则，必须坚持独立自主、自力更生的革命精神。在正确思想的指导下，对设计任务中有关问题要深入地加以研究和分析；对原有文献、资料，包括外国的先进经验要结合当前生产的实际情况加以分析和应用。总之，设计者要有对工作的高度责任感，要切实掌握丰富的理论和实践知识，才能设计出符合社会主义方向、具有先进科学技术水平的仪器来。

精密机械设计方法必须根据“具体情况作具体分析”的原则，采用具体的设计方法。目前，主要有三种设计方法。

#### (一) 理论设计

理论设计是根据人们已掌握了合乎客观规律的理论 and 实践知识来进行机械的设计工作，根据设计工作已知条件和进行顺序的不同，理论设计又可分为以下两种情况：

1. 设计计算：这种设计方法就是根据零件的受力情况，零件选的材料，以及零件的工作条件等运用计算公式直接求出零件应具有几何尺寸。

2. 校核计算：这种计算方法是根据近似计算，或按标准规范，或者根据设计者的经验直接进行结构设计等方法，而初步定出零件的几何尺寸和形状，然后再用理论计算的方法校核其强度或刚度是否满足工作要求。如不满足，则改变零件的尺寸或材料，使其满足工作要求。

#### (二) 经验设计

经验设计是建立在生产实践的基础上，采用类比的方法进行设计。这种设计常用于零件外形和受载情况比较复杂，而目前又不能精确地进行理论分析的情况。例如仪器的壳体