

高等学校试用教材

仪表结构设计基础

哈尔滨工业大学初允绵 主编

机械工业出版社

仪表结构设计基础

哈尔滨工业大学初允绵 主编

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $17 \frac{1}{4}$ · 字数 421 千字

1979 年 10 月北京第一版 · 1979 年 10 月北京第一次印刷

印数 00,001—20,000 · 定价 1.60 元

*

统一书号: 15033 · 4834

编者的话

本书是根据1978年4月在天津召开的高等学校一机部对口专业座谈会精神和同年6月在哈尔滨召开的工业自动化仪表专业会议制订的《仪表结构设计基础》教材编写大纲编写的。

为了适应专业培养目标以电为主，并有一定的机械结构设计能力的要求，在编写过程中，对重点内容在理论和计算方面做了必要的阐述，对一般内容则从结构特点和选用方面做了分析；同时反映了当前设计中的新结构和新材料。为了贯彻设计原则，在设计方法上尽量引用、推荐国家和部颁标准、以及有关零件和部件的结构系列。

本书包括机械原理、仪器零件和机械零件三方面必要的内容。由这三方面有关内容组成一门课，涉及基础理论的面较宽，在系统性和完整性方面还有不妥之处，因此有待于在实践中进一步的探讨和改进。全书除绪论外共有十三章，分为三部分：第一部分从第一章到第五章，讲述精密机械和仪表中通用的各种传动机构，包括摩擦传动、齿轮传动、连杆机构、凸轮机构、间歇机构的传动原理和结构参数的计算方法；第二部分从第六章到第八章，讲述保证传动的支承件和零件的联接件，包括轴与支承、导轨和联接的结构及设计验算方法；第三部分从第九章到第十三章，讲述仪器仪表中常用的零件和部件，包括弹性元件的特性与选用的计算分析、示数装置、联轴器、离合器、减震器、仪器外壳等的结构分析与选用的基本原则。

本书可作为高等院校自动化仪表专业及其它仪表类专业的试用教材，亦可供工程技术人员的自学和参考。

本书由哈尔滨工业大学精密仪器系初允绵、黄梯云、竺培国、徐国东、王丕增、陈文贤、洪沅芷、杜汝纯、付继盈等同志编写，初允绵同志担任主编。哈尔滨工业大学机械制造系吴鸿业副教授主审。

在编写过程中，浙江大学、重庆大学和上海机械学院提供了参考教材。天津大学自动化仪表专业提供了宝贵意见。对各兄弟院校给予我们的大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢。

由于我们的政治思想水平和业务水平有限，实践经验又少，更加时间仓促，书中难免有不当和错误之处，恳切希望读者提出批评和指正。

1978年8月

目次

绪论	1
第一章 摩擦传动与带传动	5
§ 1-1 摩擦轮传动	5
§ 1-2 带传动的类型和应用	10
§ 1-3 皮带传动	12
§ 1-4 齿形带传动的设计	19
第二章 齿轮传动	25
§ 2-1 概述	25
§ 2-2 渐开线齿形和渐开线齿轮传动的特点	27
§ 2-3 齿轮各部分名称、符号及标准渐开线齿轮的几何尺寸计算	31
§ 2-4 渐开线齿轮正确啮合条件	35
§ 2-5 齿轮加工原理和根切现象	37
§ 2-6 变位齿轮	41
§ 2-7 齿轮传动的精度要求和精度等级	48
§ 2-8 斜齿轮传动	51
§ 2-9 圆锥齿轮传动	55
§ 2-10 蜗杆传动	57
§ 2-11 轮系	60
§ 2-12 谐波传动	67
§ 2-13 修正摆线齿形啮合的基本概念及其几何参数	70
§ 2-14 精密机械中的齿轮传动设计	75
第三章 连杆机构	86
§ 3-1 机构简图	86
§ 3-2 连杆机构的应用及分类	87
§ 3-3 四连杆机构的基本特性	92
§ 3-4 设计连杆机构的几何方法	95
§ 3-5 曲柄滑块机构的传动特性	96
§ 3-6 近似线性的曲柄滑块机构的设计	100
§ 3-7 连杆机构与传动特性补偿	103
§ 3-8 铰链四杆机构的传动特性及设计	106
§ 3-9 正切机构	109
§ 3-10 正弦机构	110
§ 3-11 拨杆机构	117
§ 3-12 杆机构结构设计中的几个问题	112
第四章 凸轮机构	114
§ 4-1 概述	114

§ 4-2 从动件常用的运动规律	116
§ 4-3 图解法设计凸轮轮廓	118
§ 4-4 分析法设计凸轮轮廓	122
§ 4-5 凸轮设计中的几个问题	124
§ 4-6 凸轮设计实例	127
第五章 间歇机构	130
§ 5-1 概述	130
§ 5-2 棘轮机构	131
§ 5-3 槽轮机构	134
第六章 轴和支承	138
§ 6-1 概述	138
§ 6-2 轴的设计	138
§ 6-3 轴的强度和刚度的校验	140
§ 6-4 支承及其分类	143
§ 6-5 圆柱支承	144
§ 6-6 圆锥支承和顶尖支承	148
§ 6-7 轴尖支承和球支承	150
§ 6-8 滚动摩擦支承	154
§ 6-9 弹性支承	164
§ 6-10 支承的润滑	166
§ 6-11 液体、气体支承	167
§ 6-12 各种支承的比较	169
第七章 导轨	172
§ 7-1 概述	172
§ 7-2 滑动导轨	172
§ 7-3 滚动导轨	175
§ 7-4 其它导轨简介	178
§ 7-5 各种导轨的比较	180
第八章 联接	182
§ 8-1 概述	182
§ 8-2 可拆联接	182
§ 8-3 不可拆联接	195
第九章 弹性元件	202
§ 9-1 概述	202
§ 9-2 弹性元件的材料	204
§ 9-3 弹簧	205
§ 9-4 游丝	207
§ 9-5 拉丝	209
§ 9-6 膜片膜盒	210
§ 9-7 波纹管	220
§ 9-8 弹簧管	223
§ 9-9 弹性环	226

VI

§ 9-10 弹性筒	228
§ 9-11 双金属弹簧	228
第十章 示数装置	230
§ 10-1 概述	230
§ 10-2 标尺指针示数装置	232
§ 10-3 示数装置的误差	238
§ 10-4 记录装置	241
第十一章 联轴器与离合器	243
§ 11-1 概述	243
§ 11-2 联轴器	243
§ 11-3 离合器	248
第十二章 减震器	254
§ 12-1 减震原理	254
§ 12-2 减震器的类型、安装及选用	256
第十三章 外壳	263
§ 13-1 概述	263
§ 13-2 仪表板仪器的外壳	264
§ 13-3 实验室仪器及控制柜外壳	267

绪 论

一、仪器在现代化生产和科学实验中的作用

在现代化的生产过程和科学实验中，大量使用各种类型的仪器。在各工业体系中，如化工、石油、冶金、动力等工业，特别是在自动化生产程度比较高的工业企业中，仪器已成为检测、计量、记录、计算和控制生产过程不可缺少的工具。

在生产和科学实验中，有许多现象的观察和分析，各种物理量和机械量的测量以及生产过程的控制等工作，已超过人们的感官甚至大脑的能力。因此，人们就必须制造和设计各种仪器，借助于仪器来达到生产和科研的要求。随着自动化生产的发展，要求仪器不仅能把客观的现象或各种物理量显示出来，同时要求根据检测的数据对生产设备进行调节和控制，来达到生产过程的自动化。例如工业用电炉的炉温控制，就是根据炉温的检测结果通过电子电位差计显示并对炉温进行调节和控制。仪器应用的普遍程度和完善程度，将直接影响各部门产品的质量和数量。因此，大力发展和生产高质量的各种仪器及自动化仪表，是加速实现我国四个现代化的重要环节之一。

在我国向科学技术现代化进军中，必须对基础理论和新技术进行研究探讨，而仪器又是进行科学研究的得力助手和进行试验时不可少的工具。仪器的发展水平在某种程度上标志着生产和科学技术的发展水平。由于生产和科学技术的日益发展，无论在品种上、数量上和质量上都不断对仪器提出更高的要求。同时由于生产和科学技术的日益先进，也为仪器的发展创造了更好的条件，开辟了更广阔的途径。仪器仪表工业同其它工业部门一样也在迅速发展。当前主要任务是提高质量、增加品种和产品配套，建立标准化体系，引进先进技术，为建立完整而先进的仪器仪表工业和赶超世界先进水平而奋斗。

二、仪器的分类

由于仪器应用的广泛、种类繁多，因此，对仪器分类是一个相当复杂的问题。总的来说仪器可分为两大类：计量仪器和非计量仪器。在这两类仪器中，根据其使用目的不同又分为若干类。下面我们概括介绍分类情况：

1. 计量仪器 是借助仪器的作用，将被测量取出并与计量单位进行比较，准确地表示被测量的真实数据。计量仪器分为：

（1）长度计量仪器 属于这类仪器的如各种尺寸量具、工具显微镜、测长仪以及测量工件几何形状和表面光洁度等各种仪器；

（2）时间、频率计量仪器 属于这类仪器如各种计时器和钟、表、电子钟、原子钟以及各种频率计等；

（3）力学计量仪器 属于这类仪器如测力仪、压力计(表)、天平、力矩仪以及材料试验机等；

（4）温度计量仪器 属于这类仪器如各种温度计、高温计等；

（5）电工计量仪器 属于这类仪器如各种电流表、电压表、功率表等各种电量计量仪器；

(6) 光学鉴定及实验室分析鉴定仪器 这类仪器一般属于实验室进行科研定量分析的各种仪器,如光波干涉仪等。

以上所述是各种基本量的计量,至于其它导出量的计量,如速度、加速度、容积、流量等,虽然也都有专用的仪器,但都是从长度、时间等一定关系的计量中导出的,所以根据情况组合应用和换算,不再具体细分。

2. 非计量仪器 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装置、仪器以及精密机械等。非计量仪器分为:

(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、 $x-y$ 座标记录仪等;

(4) 计算仪器 它是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;

(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。

应该指出,上述仪器的分类不是绝对的。实际中应用的许多自动化仪表,经常是几种作用的仪器组合在一个仪器中,如计量和显示由一个仪器来完成;或显示记录以及调节由一个仪器来完成等。总之,仪器的组成主要决定于对仪器功能的要求。随着自动化和技术水平的发展,仪器的功能也在不断提高和完善,因此,仪器也就能完成各种复杂的任务。

三、仪表结构设计基础课程的性质和任务

仪表结构设计基础课程是研究仪器仪表中机械传动和机械结构的原理和设计的一门课程。本课内容是以传动为主,包括各种传动机构,以及保证传动的支承件;同时也讲述仪器仪表中常用零部件,包括弹性元件、示数装置、联接件及壳体等。本课程是在学习过机械制图、工程力学和制造工艺的基础上进行讲授。

课程的任务主要是培养学生对仪器仪表的机械传动和机械结构有进行分析和设计的能力,为今后仪表设计打下必要的机械基础。

四、仪表结构设计的基本原则

(一) 使用对设计的要求

由于仪器的作用和工作条件不同,使用要求也各有不同。但一般来说对仪器的要求应有以下三个方面:

1. 基本性能 仪器的基本性能一般包括仪器的工作范围和在此范围内要达到的精度。如压力表的基本性能是测量压力的范围和测量压力的准确程度(以误差 $0.01\sim 0.001$ 表示)。

2. 可靠性和稳定性 即在一定的工作范围和条件下,在受力状态和外界影响下(如振动、冲击、腐蚀等),其结构和零件有足够的强度和刚度,活动件运动灵活,磨损小寿命长,保证仪表能正常耐久的工作。

3. 其它特殊要求 根据使用条件对仪表提出的附加要求。如对体积、重量和外壳固定

型式等提出的要求，或在低温条件下工作的要求等。

（二）仪器结构设计的基本原则

为使机构设计保证精度、强度、刚度、机械效率以及合理的结构工艺性，就必须了解影响这些问题的因素。设计中合理地减少这些因素的影响就是设计基本原则的根据。

1. 仪器的精度：是指仪器工作结果的正确程度。精度和误差是两个互相对立的概念，也就是说，仪器的误差越小则仪器的精度越高。产生仪器误差的原因大致有三种：

（1）设计误差 这种误差产生在仪器设计过程中。如拟定仪器原理图时采用近似的假定，在设计结构时，选用近似的机构代替纯理论上的机构等；

（2）工艺误差 这类误差基本上产生在仪器制造过程中。如零件的加工误差和装配调整误差等。另外零件材料的性能不能完全符合设计的数据所产生的误差，亦属此类；

（3）使用误差 这类误差产生在仪器使用过程中，如环境的温度、压力等条件对零件尺寸和元件性能的影响造成的误差，以及由于零件磨损所造成的误差等。

上述三种误差有时是相互制约的。例如为了减小设计误差而不采用近似机构，结果使仪器的结构设计很复杂，因而增加了制造上的困难和工艺误差。又如为了减小工艺误差，采用较高精度的公差、精密的设备和制造工艺的方法来加工。这样一来就提高了仪器制造的成本。因此，处理好这三种误差的关系，对合理提高仪器精度非常重要。

2. 提高仪器精度的基本原则：

（1）在满足要求的条件下，应尽可能采用简单的结构。这不仅能降低制造成本，并且由于制造简单、工艺误差小而有利于提高仪器的精度；

（2）设计仪器时，单纯靠提高零件的制造精度来保证仪器的精度有时是不合理的，因为这样不但提高了制造成本，有时也难以达到。因此，在仪器设计时必须考虑采用调整环节和补偿机构来提高和保证仪器的精度；

（3）在机械传动机构中，传动件之间的间隙是造成仪器误差的原因之一。因此，对要求无间隙的传动中应采用消除间隙的零件结构，避免仪器传动中的空程和回程误差；

（4）传动件之间的摩擦对灵敏度较高的仪器来说，是仪器主要误差之一，通常称为摩擦误差。在设计灵敏度较高的仪器时，应力求减小摩擦。减小摩擦的方法除考虑结构外，还应选择摩擦系数较小的材料和提高零件摩擦面的表面光洁度。在需要的条件下可以采用润滑和适于润滑的结构；

（5）提高零件的耐磨性和装配联接的可靠性是保持精度稳定的重要措施之一。因此，对影响精度的活动零件，应采用耐磨材料或对零件表面进行耐磨处理；另外应考虑磨损后便于调整的结构。对联接件应有防松措施和调整后的锁紧和固封结构等。影响精度稳定性的另外原因还有材料性能的稳定性，尤其是仪表中的弹性元件，其性能的不稳定是仪器精度不稳定的重要因素，因此，弹性元件和其它性能不稳定的零件，必须在工艺上采用对零件性能的稳定处理。

应该注意在分析各种误差时，必须明确，哪些误差是影响仪器精度的主要因素，以便在主要误差上采取措施，在结构和工艺上都应严格控制，而对非主要误差则可放宽要求。

3. 仪器零件的强度：零件的强度是表示零件承受负荷的能力。强度的概念和计算在材料力学中已经讲过。一般仪器零件受力较小，在设计时，通常按结构要求所确定的零件尺寸，强度一般不会发生问题，也就是不致发生断裂损坏。但在设计仪器时必须考虑到零件在

有冲击条件下工作的情况，其冲击负荷比静负荷可能大几十倍以上。这就必须考虑到最大冲击负荷情况下零件应有足够的强度。因此可以通过受力分析和理论计算，也可以通过实验来确定零件的主要尺寸。

4. 仪器零件的刚度：刚度是表示在负荷作用下零件抵抗弹性变形的能力。有时零件不仅要有足够的强度，还要有足够的刚度，使零件的弹性变形不超过允许的限度。在仪器中要求一些细长的杆件和由于弹性变形而影响仪器精度的零件等，必须具有一定的刚度，以保证仪器的正常工作。

5. 机构的机械效率：主要表示机构本身运动消耗能量的大小。如当一定的能量通过机构传递出去，由于机构存在摩擦，故被传递的能量一部分消耗于摩擦，一部分传递出去。传递出去的能量称为有效能量，消耗于摩擦的能量称为能量损耗。有效能量与被传递的总能量之比则称为机械效率 η 。机械效率很高的传动机构，即摩擦损耗很小，活动机构很灵活。当摩擦损耗为零时，效率为100%。实际的效率都是小于100%的。如齿轮传动的机械效率在85~95%之间。提高机构的机械效率主要是降低机构的摩擦阻力。如机构中采用摩擦力矩较小的支承；在保证强度和刚度的条件下，零件的形状和重量尽可能小巧轻便；提高零件摩擦面的表面光洁度和采用润滑油减小摩擦来提高机构的机械效率。

6. 零件结构工艺性：工艺性是指零件制造的难易性。良好的工艺性能保证零件用最小的工时、材料和加工费用制造出来，即符合多快好省的原则。因此，设计零件的结构形状应尽可能的简单，以适合一般的设备和标准刀具进行加工。对于结构复杂的零件，可以采用由几个简单零件联接组成。另外，进行结构设计时，尽量采用标准化、系列化、通用化的零件及技术标准，以缩短设计和生产的周期，降低成本，提高产品质量。

（三）设计程序

1. 分析所设计的仪器的使用要求，并规定仪器应具有的基本性能。

2. 方案设计，即设计仪器的传动方案和简图，根据初步设计的方案分析对比，最后确定最好的方案。

3. 技术设计，即在简图的基础上进行必要的计算和分析，绘制仪器的总体结构图和零部件结构图，编写包括分析和计算的设计说明书。

4. 试制和试验，目的是检查结构设计是否达到预期的效果及其优缺点。

5. 修改设计，根据试制和试验的总结，修改设计，最后设计定型。

为使设计的仪器符合要求，我们必须经过调查研究和分析现有国内外资料，听取使用者和生产者的意见。在充分研究和比较的基础上，吸取有益的经验，改进缺点，经过实践和总结，才能设计出性能和工艺性都比较好的仪器。

第一章 摩擦传动与带传动

摩擦传动主要依靠摩擦力来传递运动和动力。常用的摩擦传动有摩擦轮传动和一些带传动。但所有的带传动并不都是依靠摩擦力进行传动的。按照传动的原理，带传动可分为两种类型：一种是依靠摩擦力进行传动的，例如皮带传动、弹簧带传动等；另一种则主要依靠轮齿进行传动，例如齿形带传动等。下面我们分别介绍这些传动形式。

§ 1-1 摩擦轮传动

一、摩擦轮传动的特点

摩擦轮传动是利用主动轮与从动轮接触处的摩擦力来实现传动的。它可用于传动互相平行或相交而距离不大的两轴间的运动。图 1-1 为最简单的摩擦轮传动。摩擦力的大小与传动轮间的相互压紧力 Q 成正比。

(一) 产生压紧力 Q 的方法：

1. 利用弹簧产生压力。如图 1-1 所示，其中小轮的轴承是可以移动的，弹簧的压紧力加在小轮的轴承上；

2. 当两轮或两轮之一是由弹性模数低的材料，如皮革、塑料、橡皮等制成时，可利用轮子材料的弹性来产生预紧力；

3. 利用机构本身的重量或附加的重量产生压力；

4. 利用偏心来压紧等。

(二) 摩擦轮传动的优点：与其它形式的传动比较，优点是：

1. 结构简单；
2. 当过载时，轮与轮间发生滑动，可防止机件的损坏；
3. 工作平稳无噪音；
4. 传动比能够平缓地改变，因此可以获得无级变速。

(三) 摩擦轮传动的缺点：

1. 传动中可能产生相对滑动，因而不能保证严格的传动比；
2. 不适于传递大的转矩。因为在这种情况下，压紧力必须加得很大，这不仅使结构外形尺寸加大，而且工作面的磨损也十分严重；
3. 效率较低，为 0.85~0.90。

按照传动比的性质，摩擦轮传动可分为定传动比和变传动比两种。

二、定传动比的摩擦轮传动

定传动比的摩擦轮传动可分为圆柱摩擦轮传动和圆锥摩擦轮传动。

1. 圆柱摩擦轮传动

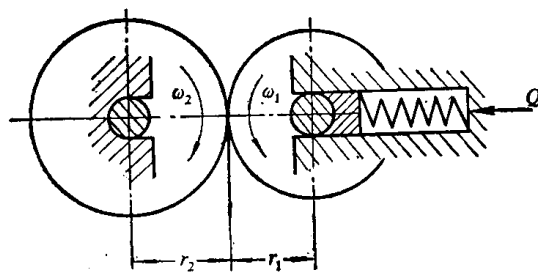


图1-1 圆柱摩擦轮传动

圆柱摩擦轮传动用于传递两平行轴间的回转运动如图 1-1 所示, 在没有滑动时, 其传动比为

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1} \quad (1-1)$$

式中 r_1 ——主动轮半径;

r_2 ——从动轮半径。

设计时, 需要计算压紧力 Q 。

在压紧力作用下, 主动轮与从动轮接触处的摩擦力 F 为

$$F = fQ$$

式中 f ——摩擦系数。

在摩擦力 F 的作用下, 从动轮获得的转矩 M 为

$$M = Fr_2 = fQr_2$$

为了保证传动可靠, 不发生打滑, 设计时应考虑储备系数 k (其值在 1.25~3 之间选取), 即

$$kM = fQr_2$$

因此得压紧力为

$$Q = \frac{kM}{fr_2} \quad (1-2)$$

摩擦轮宽度 B 可由下式求出:

$$B \geq \frac{Q}{[q]} \quad (1-3)$$

式中 $[q]$ ——轮面许用单位压力。

为了保证两摩擦轮沿轮面全宽接触, 应使

$$B \leq 2r_1$$

摩擦系数 f 和许用单位压力 $[q]$ 可按表 1-1 选取。

2. 圆锥摩擦轮传动

圆锥摩擦轮传动用于传递相交轴间的回转运动如图 1-2。两轮夹角 α 可为任意值, 但一般多为直角, 即

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 = 90^\circ$$

表 1-1 摩擦系数 f 和许用单位压力 $[q]$

材	料	f	$[q]$ 兆帕 (MPa)
钢与钢或与铸铁	(有润滑油)	0.05~0.10	15~20
铸铁与钢或与铸铁	(干燥状态)	0.1~0.15	10~15
铸铁与布质塑料	(干燥状态)	0.1~0.18	2~2.5
铸铁与纤维	(干燥状态)	0.15~0.30	2.5~4.5
铸铁与皮革	(干燥状态)	0.15~0.30	3.0~3.5
铸铁与压纸板	(干燥状态)	0.15~0.40	3.0~6
铸铁与木材	(干燥状态)	0.40~0.50	0.5~1
铸铁与特殊橡皮	(干燥状态)	0.50~0.75	0.25~0.5

注: $1\text{MPa} = 10^6\text{Pa}$

$1\text{Pa} = 9.8 \times 10^4 \text{kg/cm}^2 \approx 10^5 \text{kg/cm}^2$

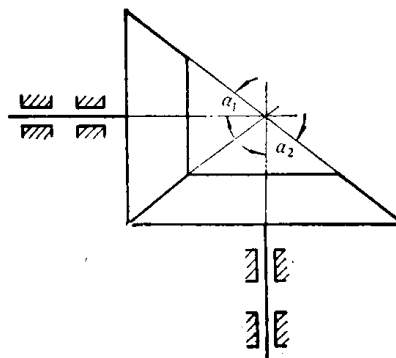


图 1-2 圆锥摩擦轮传动

在没有相对滑动的情况下, 这种机构的传动比为

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \alpha_2}{\sin \alpha_1} \quad (1-4)$$

$$\text{当 } \alpha = 90^\circ \text{ 时, } i_{12} = \operatorname{tg} \alpha_2 = \operatorname{ctg} \alpha_1 \quad (1-5)$$

三、变传动比的摩擦轮传动

在仪表中, 为了迅速调节速比, 或获得无级变速, 经常采用变传动比的摩擦轮传动。这种传动的式样很多, 图 1-3 是它的各种典型结构的原理图。

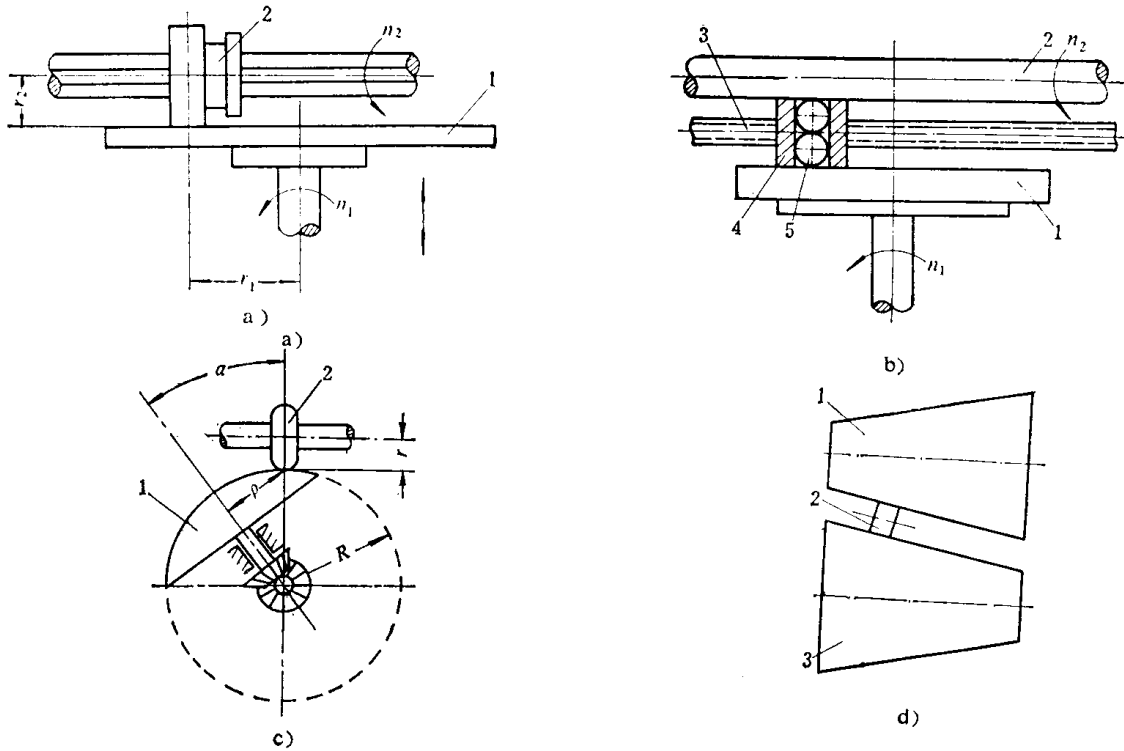


图1-3 各种变传动比的摩擦传动结构

图 1-3 a 是最简单的滚轮式盘形无级变速器。当输入轴带动圆盘 1 以转速 n_1 转动时, 摩擦力使压紧在圆盘上的滚轮 2 也跟着转动。只要调整 r_1 的大小, 就可以改变传动比。滚轮式盘形无级变速器的缺点是: 为了改变传动比而调节滚轮位置时, 零件工作面的磨损比较严重, 且调节时所需的力也较大。因此, 有时采用图 1-3 b 的形式, 即滚珠式盘形变速器。图中主动圆盘 1 的转动通过两个滚珠 5 传到从动轴上去, 滚珠由夹套 4 支持, 利用传动螺杆 3 来调节滚珠与圆盘的相对位置。图 1-3 c 是菌形摩擦变速器, 它与盘形变速器的不同处是: 以半径为 R 的菌形球面零件 1 代替圆盘。只要改变球面零件的偏转角 α , 就可实现变速传动, 其传动比为

$$i_{21} = \frac{\rho}{r} \quad (1-6)$$

式中 r —— 滚轮 2 的半径;

$$\rho = R \sin \alpha。$$

图 1-3 d 为截锥式无级变速器。当主动和从动截锥摩擦轮之间的摩擦滚子 2 沿其轴向改变位置时, 传动比也相应改变。

下面讨论滚轮式盘形无级变速器。图 1-4 是这种变速器的实际结构图。

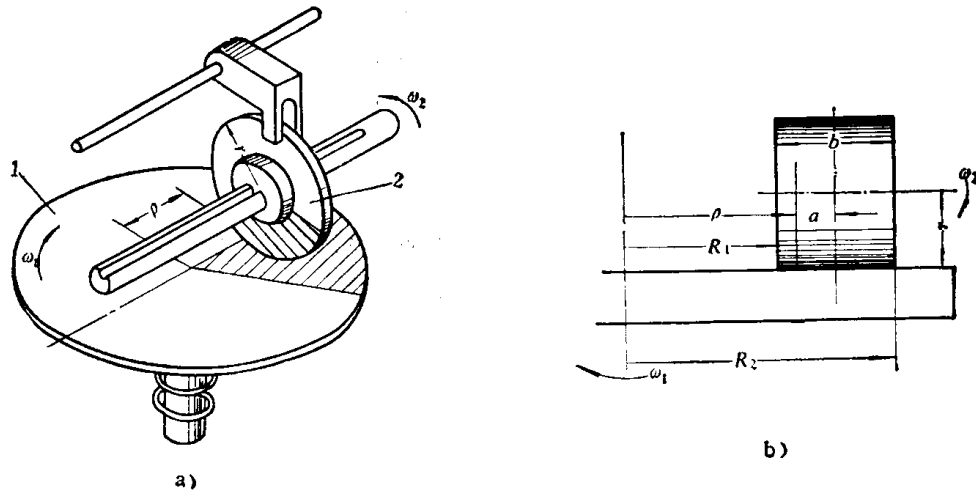


图1-4 滚轮式盘形无级变速器

1—圆盘 2—滚轮

(一) 滚轮式盘形无级变速器的传动比

滚轮2与圆盘1的接触系沿长度等于滚轮厚度的线。当机构传动时,只可能在接触线的一点上两机件有相同的线速度,而其它接触点则产生相对滑动。

设由圆盘中心到圆盘与滚轮有相同线速度的点的距离为 ρ ,而滚轮的半径为 r ,则传动比 i_{21} 应为

$$i_{21} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{\rho}{r} \quad (1-7)$$

假定滚轮与圆盘沿接触长度上的摩擦力是均匀分布的,且摩擦系数也是定值,则由图1-4 b可求得圆盘作用在从动滚轮上的摩擦力的合力等于

$$p \left[\left(\frac{b}{2} + a \right) - \left(\frac{b}{2} - a \right) \right] = p \times 2a$$

式中 p —— 滚轮与圆盘接触线上单位接触长度上的摩擦力。

p 的大小可用下式求出

$$p = \frac{F}{b} = \frac{fQ}{b} \quad (1-8)$$

式中 Q —— 压紧力。

上述摩擦力合力所产生的从动滚轮转矩 M 应等于

$$M = \frac{fQ}{b} \times 2ar$$

因此

$$a = \frac{Mb}{2fQr} \quad (1-9)$$

从图1-4 b中的几何关系,可以确定 ρ 值的大小

$$\rho = \frac{R_1 + R_2}{2} - a = \frac{R_1 + R_2}{2} - \frac{Mb}{2fQr}$$

故变速器的传动比 i_{21} 为

$$i_{21} = \frac{\rho}{r} = \frac{\frac{R_1 + R_2}{2} - \frac{Mb}{2fQr}}{r} \quad (1-10)$$

由上式可知, 当转矩 $M = 0$ 时, 传动比

$$i_{21} = \frac{R_1 + R_2}{2r}$$

而当转矩 $M = fQr$ 时, 则

$$i_{21} = \frac{\frac{R_1 + R_2}{2} - \frac{b}{2}}{r} = \frac{R_1}{r} \quad (1-11)$$

从上面讨论可以看出, 这种变速器的传动比, 不仅决定于零件的几何尺寸, 而且与载荷的大小有关。为了计算方便, 一般都取 $\rho = \frac{R_1 + R_2}{2}$, 这显然是有误差的。为了减少这种误差, 一般要求滚轮在保证传动的情况下, 其宽度 b 应做得尽可能小。

(二) 滚轮式盘形无级变速器的力矩计算

设计滚轮式盘形无级变速器时, 需要计算下列力矩与力:

1. 转动圆盘所需力矩 M_0 可用下式确定

$$M_0 = \frac{M + M_1 + Qk}{r} \rho + M_2 \quad (1-12)$$

式中 M ——工作阻力力矩;

M_1 ——工作轴支承中的摩擦力矩;

M_2 ——圆盘支承中的摩擦力矩;

Q ——压紧力;

r ——滚轮的半径;

ρ ——滚轮与圆盘接触点到圆盘中心的距离;

k ——滚动摩擦系数。对于表面光洁度很高的钢对钢取 0.005 厘米; 铸铁对铸铁取 0.005~0.01 厘米。

2. 移动滚轮所需的力 P 为

$$P = Q(f + f_2) + f_1 \frac{M}{r_B} \quad (1-13)$$

式中 f ——滚轮与圆盘间的滑动摩擦系数;

f_1 ——滚轮轴与滚轮间的滑动摩擦系数;

f_2 ——导架与导轨间的滑动摩擦系数;

r_B ——滚轮轴的半径。

3. 压紧力 Q

确定圆盘与滚轮间的压紧力时, 应考虑下列要求:

(1) 压紧力 Q 应保证圆盘能无滑动地带动滚轮转动;

(2) 在圆盘与滚轮之间的良好润滑条件下, 能保证机构正常工作;

(3) 计算压紧力 Q 时, 应考虑到由于温度的变化影响载荷的增大。

一般压紧力 Q 可按下式确定

$$Qf' = F \quad (1-14)$$

式中 f' ——良好润滑表面的滑动摩擦系数；

F ——使滚轮转动所需要的力，其大小可用下式求出

$$F = \frac{nM + M_1 + Qk}{r} \quad (1-15)$$

式中 n ——考虑由于温度变化造成载荷增大的系数，对于室内工作的仪器，其大小可取为，

$n = 1 \sim 2$ ；对于野外工作的仪器， $n = 2 \sim 3$

因此

$$Q = \frac{nM + M_1}{f'r - k} \quad (1-16)$$

§ 1-2 带传动的类型和应用

带传动是应用很广的一种传动方式。它的类型很多。

一、皮带传动

皮带传动由两个皮带轮 1 与 2 及紧套在轮上的一条弹性皮带 3 构成如图 1-5。由于皮带是紧套在轮上的，所以皮带对轮子有一定的压力。当主动轮旋转时，带与轮之接触面产生一定的摩擦力，摩擦力带动从动轮旋转。

按皮带的截面形状可将皮带传动分为平皮带、三角皮带和圆皮带三种类型如图 1-6。其中圆皮带只适用于小功率传动，三角皮带的承载能力较高，应用最广。

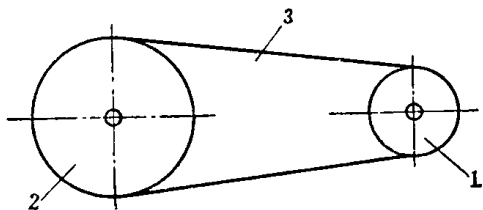


图1-5 皮带传动

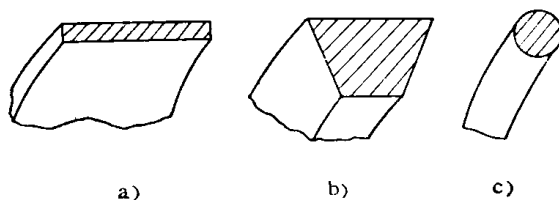


图1-6 皮带的种类

（一）皮带传动的优点：与齿轮传动相比，其优点是：

1. 可用于两轴中心距较大的传动；
2. 冲击、振动小，无噪声；
3. 当过载时，皮带会在带轮上打滑，因此可以防止主要机件损坏；
4. 结构简单、成本低、保养维护简单。

（二）皮带传动的缺点是：

1. 由于皮带在轮上有打滑现象，故传动比不能准确固定；
2. 外廓尺寸较大；
3. 轴与轴承上受压力较大；
4. 传动效率较低；
5. 不能用于易爆危险场合，因为皮带易摩擦生电。

由此可见，皮带传动可以用在两轴中心距较大、速度较高而传动比又不需要十分精确的地方。

皮带传动的负载能力较大,其常用的功率是1~35千瓦,圆周速度一般是5~25米/秒,传动比一般小于10,故常用于机械中的动力传动。在利用电机带动的自动装置中,亦有采用皮带传动。

二、绳传动

绳传动用来传递负载较小的远距离平行轴或相交轴的旋转运动和直线运动。XWC 电子电位差计中的打印架就是用这种方式来移动的。

绳传动的主要优点是:

1. 可以实现距离较远的运动传递;
2. 结构简单,容易加工,成本低;
3. 传动平稳,无噪音和冲击。

缺点是传动精度低,只能传递较小的转矩。绳的材料有金属丝、弦丝、尼龙丝等。绳轮的材料常采用硬铝,为了防止绳子在工作时产生滑动,可将绳端挂在绳轮的小弹簧上,以产生拉紧力。图1-7所示为绳传动在游标式读数装置上的应用。

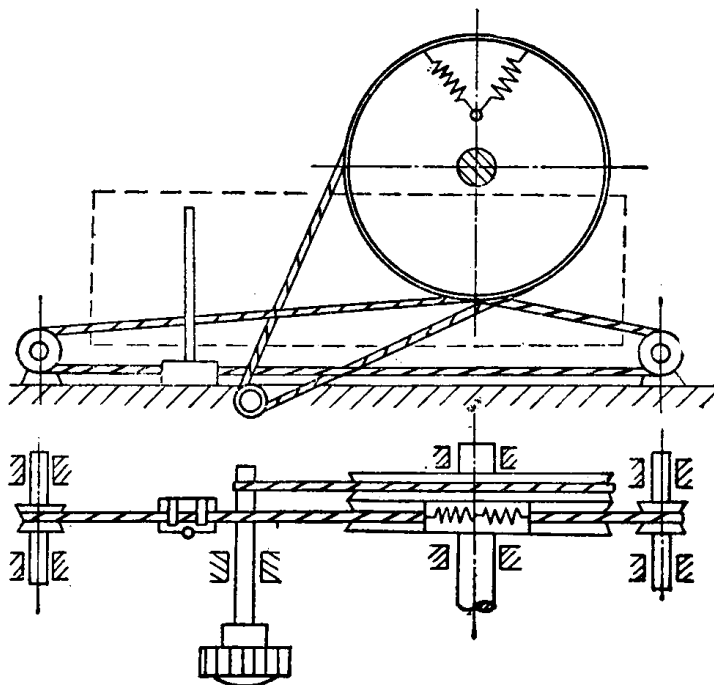


图1-7 绳传动

三、弹簧带传动

弹簧带传动由具有一定初拉力的弹簧带和带轮来传递运动。这种带传动的主要特点是结构简单,轻便,能消除冲击、振动,但传动载荷小,精度低。图1-8是弹簧带传动的示意图。其中惰轮2的作用是为了消除来自主动轮方面的各种机械干扰,如冲击和振动等。

主动轮和从动轮的材料可用硬铝等,弹簧带的材料是弹簧钢丝。弹簧带端部连接的一种方法见图1-9所示。利用节距相等、旋向相同的连接弹簧2将弹簧带1的两端连接起来。为保证弹簧带工作平稳,弹簧带两端钢丝的接触端面,在装入连接弹簧之前必须加工,使之对齐吻合。

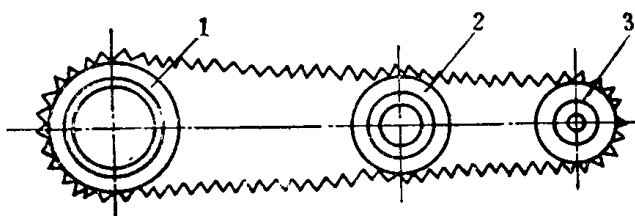


图1-8 弹簧带传动

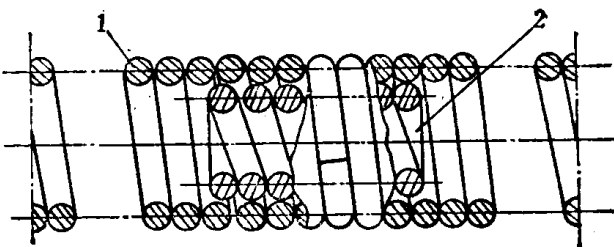


图1-9 弹簧带端部的连接

四、齿形带传动

齿形带传动是综合了带传动、链传动优点的新型传动。它以钢丝绳等为强力层,外面用橡胶或聚氨酯包覆,带的工作面制成齿形,与齿形带轮作啮合传动如图1-10。由于带与轮之