

机械设计基础

(试 用 教 材)

第五机械工业部七·二一工人大学教材选编小组选编

国防工业出版社

机 械 设 计 基 础

(试 用 教 材)

第五机械工业部七·二一工人大学教材选编组选编

国防工业出版社

内 容 简 介

本书主要内容是研究机械中常用机构和通用零件的分析与设计等问题。

全书分十八章。第一章至第五章讲述了有关机械传动部分；第六章至第九章讲述了轴、轴承和有关联轴器、离合器；第十章至第十二章讲了机械零件的联接；第十三章至十六章讲了弹簧以及典型机构的运动原理和设计；第十七章至十八章介绍了转动机件的平衡、机器调速和机械中的摩擦。

此书可供七·二一工人大学机械类专业试用，各单位根据本专业需要可进行增删。

机械设计基础

(试用教材)

第五机械工业部七·二一工人大学教材选编组选编

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可出字第074号

国防工业出版社印刷厂印装 内部发行

*

787×1092¹/₁₆ 印张27¹/₈ 631千字

1979年2月第一版 1979年2月第一次印刷 印数：00,001—30,000册

统一书号：N15034·1726 定价：2.80元

选编说明

为了更好地贯彻执行毛主席的无产阶级教育路线，加速培养又红又专的职工队伍，适应社会主义革命和社会主义建设的需要，我部企、事业单位相继办起了工人大学。遵照华主席关于“继续搞好教育革命”、“要提倡为革命学习文化、学习技术、精通业务、又红又专”的指示，必须努力办好工人大学。

根据毛主席关于“教材要彻底改革，有的首先删繁就简”的教导，为了尽快解决教材供应不足的问题，经与各省（市、区）有关部门协商，组成了有湖南、陕西、山西、四川、辽宁、黑龙江、内蒙古、江苏、北京等省（市、区）有关厂、校的专、兼职教师，工大毕业学员参加的工人大学机械类教材选编小组，在各地积极提供的一百五十余种教材基础上结合我部工人大学情况，进行了选编工作。最后确定了十一种教材，包括《初等数学》、《高等数学》、《机械制图》、《工程力学》、《电工学》、《金属材料学》、《机械设计基础》、《机床液压传动》、《机械加工工艺及工装设计》、《机床设计》、《机床数控基础》。

各书在审查出版中，分别受到湖南湘潭大学、西北工业大学、西安交通大学、陕西机械学院、北京工业学院、国防工业出版社及山西、陕西、湖南、吉林、天津等印刷单位大力协助，谨在此对各有关单位表示衷心的感谢。

本书系以太原工学院七五年出版的《机械设计基础》、清华大学《机械零件》及西北工业大学的《机械零件与机械原理》三书为主要参考书选编。

由于我们对马列和毛主席关于教育革命的论述学习不够，加上时间仓促，对“四人帮”在教育战线干扰破坏的揭发批判正在深入，教材中难免有缺点和错误，希望广大工人学员、教师提出宝贵意见。

五机部七·二一工人大学教材选编小组

一九七七年四月

目 录

序言	7	齿数	113
第一章 皮带传动	9	§ 3-18 直齿圆锥齿轮的几何尺寸计算	114
§ 1-1 概述	9	§ 3-19 直齿圆锥齿轮强度计算	117
§ 1-2 皮带的弹性滑动及滑动曲线	13	§ 3-20 圆锥齿轮结构和工作图	119
§ 1-3 皮带传动的受力情况和皮带的疲劳 问题	15	§ 3-21 圆弧点啮合齿轮传动简介	120
§ 1-4 三角皮带传动的设计	17	第四章 蜗杆传动	133
§ 1-5 平皮带传动的设计	24	§ 4-1 概述	133
§ 1-6 齿形带传动简介	26	§ 4-2 主要参数选择和几何尺寸计算	135
第二章 链传动	30	§ 4-3 失效形式、材料和结构	141
§ 2-1 概述	30	§ 4-4 受力和计算载荷	143
§ 2-2 套筒滚子链和链轮	31	§ 4-5 强度计算和许用应力	145
§ 2-3 链传动的运动特性及其优缺点	32	§ 4-6 效率和散热计算	147
§ 2-4 套筒滚子链传动的设计计算	33	§ 4-7 蜗杆蜗轮工作图	150
第三章 齿轮传动	41	§ 4-8 其他蜗杆传动简介	153
直齿圆柱齿轮传动	43	第五章 轮系	156
§ 3-1 齿廓啮合的基本定律	43	§ 5-1 轮系的作用和分类	156
§ 3-2 渐开线的形成及其特性	44	§ 5-2 轮系传动比计算	158
§ 3-3 渐开线标准直齿圆柱齿轮各部分名称 和尺寸计算	45	§ 5-3 周转轮系的类型及其效率	163
§ 3-4 渐开线齿轮啮合过程的关系	50	§ 5-4 周转轮系设计的主要问题	166
§ 3-5 齿轮制造的基本原理和精度等级	54	§ 5-5 摆线针轮行星传动简介	171
§ 3-6 齿轮轮齿的破损形式	62	第六章 轴	175
§ 3-7 齿轮材料及其热处理	65	§ 6-1 概述	175
§ 3-8 直齿圆柱齿轮的强度计算	70	§ 6-2 轴的结构设计	177
§ 3-9 标准直齿圆柱齿轮应用的局限性	85	§ 6-3 轴的强度计算	181
§ 3-10 变位齿轮	86	§ 6-4 轴的刚度计算	190
斜齿圆柱齿轮传动	97	§ 6-5 轴的工作图	190
§ 3-11 斜齿圆柱齿轮齿廓的形成	97	第七章 滑动轴承	198
§ 3-12 斜齿圆柱齿轮的几何参数	98	§ 7-1 概述	198
§ 3-13 斜齿圆柱齿轮传动几何计算及其优 缺点	101	§ 7-2 滑动轴承的结构及润滑装置	198
§ 3-14 斜齿圆柱齿轮的强度计算	103	§ 7-3 轴承材料及润滑	205
§ 3-15 圆柱齿轮的结构和工作图	109	§ 7-4 滑动轴承的润滑摩擦 状态和失效形式	209
直齿圆锥齿轮传动	112	§ 7-5 滑动轴承的计算	212
§ 3-16 圆锥齿轮及其分类	112	§ 7-6 其他轴承简介	219
§ 3-17 圆锥齿轮齿廓的形成、背锥和当量 齿数	113	第八章 滚动轴承	223
		§ 8-1 概述	223
		§ 8-2 滚动轴承的类型和性能简介	224

§ 8-3 滚动轴承的代号.....	228	§ 13-2 圆柱形螺旋弹簧的材料、 许用应力及端部结构	333
§ 8-4 滚动轴承尺寸的选择.....	231	§ 13-3 圆柱形拉-压螺旋弹簧的 设计计算	336
§ 8-5 滚动轴承的选择实例.....	240	第十四章 平面连杆机构	343
§ 8-6 滚动轴承组件的设计.....	246	§ 14-1 平面连杆机构及其自由度	343
第九章 联轴器、离合器和制动器.....	259	§ 14-2 四连杆机构的运动 特性及其应用	350
§ 9-1 概述.....	259	§ 14-3 四连杆机构设计简介	357
§ 9-2 联轴器.....	260	第十五章 凸轮机构	363
§ 9-3 离合器.....	266	§ 15-1 凸轮机构的应用和分类	363
§ 9-4 制动器.....	270	§ 15-2 从动件的运动分析及其常用 运动规律	365
§ 9-5 离合器和制动器的操纵装置.....	274	§ 15-3 凸轮轮廓曲线的设计	369
第十章 螺纹联接与螺旋传动	276	§ 15-4 凸轮机构的结构设计	373
§ 10-1 概述	276	§ 15-5 凸轮轮廓的加工和检验概述	376
§ 10-2 机械制造中常用的联接螺纹	278	§ 15-6 圆弧凸轮简介	378
§ 10-3 螺纹联接的主要类型	280	第十六章 间歇运动机构	382
§ 10-4 螺纹联接的防松	288	§ 16-1 概述	382
§ 10-5 单个螺栓的计算	291	§ 16-2 棘轮机构	383
§ 10-6 螺栓组的计算	298	§ 16-3 槽轮机构	389
§ 10-7 螺纹联接的材料与许用应力	300	§ 16-4 交叉轴间凸轮式间歇 机构的介绍	393
§ 10-8 螺旋传动	303	§ 16-5 定位装置简介	395
第十一章 键、花键、销、楔 和焊接联接	311	第十七章 转动构件的平衡和 机器的调速	398
§ 11-1 概述	311	§ 17-1 转动构件的平衡	398
§ 11-2 键联接	311	§ 17-2 机器的调速	405
§ 11-3 花键联接	318	第十八章 机械中的摩擦	413
§ 11-4 销钉联接	319	§ 18-1 概述	413
§ 11-5 楔联接	322	§ 18-2 移动副中的摩擦	413
§ 11-6 焊接	323	§ 18-3 转动副中的摩擦	426
第十二章 过盈配合联接	327	§ 18-4 挠性件传动的摩擦	431
§ 12-1 概述	327	§ 18-5 减小或增大摩擦的途径	433
§ 12-2 过盈配合联接的 用途及装配方法	328		
§ 12-3 过盈配合联接的计算	328		
第十三章 弹簧	333		
§ 13-1 概述	333		

序 言

本课程研究的内容、任务及性质

《机械设计基础》研究的主要内容和任务是：

一、常用机构的分析与设计

它的主要任务是研究机械中常用典型机构的分析与设计方法，培养学生正确的设计思想，掌握设计机构和选择机构的能力。

二、机械零件和部件的分析与设计

组成机械的基本单元称为机械零件，如机械中的轴、齿轮等。为完成同一使命在结构上组合在一起的、一套协同工作的零件总称为部件，如机器中的减速机、联轴器等，本书的主要任务是研究通用零件与部件的设计问题，即在了解通用零部件的特点、结构型式及工作原理的基础上，掌握它们的设计准则、设计方法及有关标准。如零件材料的选择、最合理的结构尺寸的确定、强度、刚度要求、精度等级、表面质量及技术条件等。按照用途，通用零件分为：传动零件：如皮带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动等；轴系零件：如轴、轴承、联轴器等；连接零件：如螺纹连接、链连接等；其他零件：如弹簧等。

机械设计基础这门课程，对机械类各专业来说，是重要的专业基础课之一。通过本课程的学习，把以往所学的数学、力学等知识更加具体地应用到机械工程上，密切了理论与实践的联系，进一步熟练运算能力和作图技巧，培养学生分析问题和解决问题的能力。

机械设计中的几个问题

一、机械设计的步骤

机械设计是具体体现为社会主义建设服务的工作之一，必须贯彻执行“鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义”的总路线，坚定地走“独立自主、自力更生”的道路，充分地体现《鞍钢宪法》中确定的坚持政治挂帅，加强党的领导，大搞群众运动，实行两参一改三结合，大搞技术革新和技术革命这五项基本原则，把敢想、敢干、敢闯的大无畏首创精神同严格的科学态度结合起来，才能设计出符合我国生产实践、具有独特风格的机械设备。对于设计人员来说，十分重要的问题，是在设计的全过程中走“三结合”的道路，才能在设计中反映我国工人阶级的发明创造和先进经验。

一般说来，机械设计分为以下几个步骤：

1. 方案设计：即依据所设计机械的工作要求，拟出运动简图，从运动学上解决所设计机械的可能性。但究竟用那种方案好，须考虑设计任务、产量、制造能力及经济等因素，通过调查研究，对几种方案进行比较来确定。方案确定后，绘制出传动简图。

2. 结构设计：即把传动简图具体化，绘制出装配图，从结构上解决所设计机械的可能性。主要进行如下工作：

- (1) 计算传动的效率、确定功率, 选出电动机。
- (2) 计算作用在主要零件上的载荷, 选定材料进行强度或刚度计算, 确定主要尺寸。
- (3) 绘制装配图。
3. 绘制零件工作图, 从制造上解决所设计机械的可能性。
4. 编写设计计算说明书。

这里应强调指出, 设计工作是综合运用机械方面的知识、总结前人在生产实践活动中的丰富经验、集中群众智慧的过程。所以设计人员必须深入到生产斗争实践, 进行调查研
究, 反复进行分析、比较, 因此, 在步骤上常需要交叉地进行, 有时往往需要反复地进行
修改, 只有这样才能出色地完成设计任务。

二、机械设计的基本要求

1. 使用要求:

- (1) 能有效地完成预定的使用目的。
- (2) 能够可靠地工作, 即在使用期限内不发生破坏; 有关部位的变形不超过允许
限度; 不因个别部位的磨损使整台机器不能正常工作; 各部分的运动有一定的精确度; 不
产生有害的振动等。也就是在设计中必须满足强度、刚度、寿命、精确度及稳定性等要求。
- (3) 保证操作简便和工作安全, 并具有良好的工作环境。

2. 经济方面的要求:

- (1) 所设计的机械具有较高的效率,
- (2) 所设计的机械制造成本要低, 重量要轻。

3. 制造要求:

- (1) 结构简单、合理、制造容易,
- (2) 容易装配和维修。

4. 特殊要求: 即不同用途的机械所提出的要求。如机床有长期保持精度的要求; 化工
机械和热处理的机械有耐高温、耐腐蚀的要求; 大型机械的机架有便于运输的要求等。

总之, 所设计的机械应在满足使用要求的前提下, 努力达到轻、小、简、廉的要求。

三、机械制造中的标准化及其意义

标准化是国家或各部(如机械工业部、冶金部等)对其产品的形式、品种、质量、性
能、尺寸参数、检验方法等所做的技术规定。标准化是我国的一项重要技术政策。

标准化的意义是:

1. 能以最先进的技术, 统一组织零件和部件的成批生产或大量生产。这样就能有效
地保证产品质量、降低成本和节约原材料。
2. 简化了设计工作, 减少了设计工作量, 使设计人员可以把主要精力用于新的、关键
的或重要的零件或部件的设计上。
3. 保证了互换性的要求, 简化了维护检修工作。

可见, 遵守国家标准和部颁标准的要求是使设计工作达到多快好省的重要途径之一。
设计时, 凡是已经标准化了的零件和部件, 都应当按标准选用。

学员通过本课程的学习, 必须熟悉有关的标准, 并能熟练地应用它们。

第一章 皮带传动

§ 1-1 概 述

皮带传动在工业生产的各个部门应用非常广泛。它是由两个皮带轮和一根或数根环形皮带所组成（见图1-1），环形带张紧地套在轮子上。主动轮转动时，通过皮带将动力传递给从动轮。

根据皮带的剖面形状可分为平皮带三角皮带和圆皮带传动三种。其中三角皮带传动应用最为广泛；圆皮带传动一般适用于传递小功率的情况，如缝纫机和某些仪器装置；平皮带传动常用于高速和中心距较大的场合。目前又出现了一种新的传动带——齿形带。

皮带传动是如何工作的呢？传动的特点是什么？传动中各参数之间的关系怎样？以及皮带的张紧等问题分别叙述如下。

一、皮带传动的特点与工作原理

皮带传动是利用摩擦力来传送运动和动力的，因此它具有这样一些特点：构造简单，工作平稳，无噪音；能防止机器其他部分因过载而损坏；皮带有弹性，能吸收冲击，起缓冲的作用；但不能传送很大的功率；传动比不容易稳定；效率较低；轴与轴承要受到较大的载荷。

图1-1a中，1和2分别为主动和从动的皮带轮， D_1 、 D_2 和 n_1 、 n_2 是其直径和转速。两轮中心间的距离为 A 。皮带套在轮上的实际长度要比理论上的几何长度略小一些，这样，才能绷得紧，对轮的表面有足够的压力，能在工作时引起足够的摩擦力来传送运动和动力。

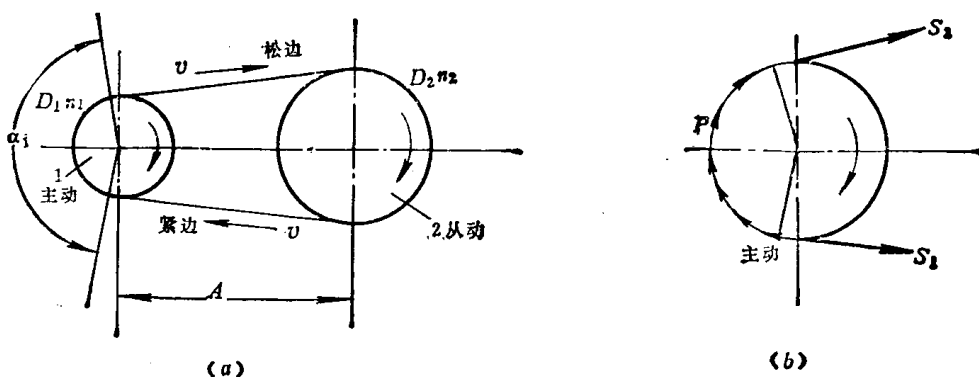


图1-1 传动形式

在传动工作之前，皮带与轮静止不动，这时，皮带各处的松紧程度是相同的，所受拉力处处相等。当传动工作之后，情况起了变化，原来静止着的平衡状态被打破，而达到新的运动着的平衡；皮带两边的松紧就不一样了。图中，下面一边的皮带受主动轮的拖动，

同时，它又拖动从动轮运转，这样，使它所受的拉力加大而成为皮带的紧边。至于上面一边的皮带，则受主动轮的推动，同时，它又推动从动轮运转，这样，所受的拉力就要减小而成为皮带的松边。

皮带是一个挠性零件，根据挠性零件的力学原理，不管零件弯成什么形状，凡是沿着零件长度方向所加上去的各种力应该彼此平衡。对于在主动轮和从动轮两边的皮带来说，皮带受到紧边拉力、松边拉力和轮表面摩擦力的作用。如这三种力分别用 S_1 、 S_2 和 P 来表示，则它们之间应有如下的关系（图1-1 b）：

$$P = S_1 - S_2$$

这个 P 力既是作用在皮带与轮表面间的摩擦力，也是主动轮拖动皮带、皮带拖动从动轮的圆周力。皮带传动之所以能传送运动和动力，就因为有它在起作用的原因。因此， P 力被称为有效拉力，其值愈大，对工作就愈有利。有效拉力 P 与传动的转矩 M_{n1} 、 M_{n2} 和功率 N 之间有如下的关系：

$$M_{n1} = P \frac{D_1}{2}; \quad M_{n2} = P \frac{D_2}{2}$$

$$N = \frac{Pv (\text{kg} \cdot \text{m}/\text{sec})}{102} \text{ kw} \quad (1-1)$$

或者

$$N = \frac{Pv (\text{kg} \cdot \text{m}/\text{sec})}{75} \text{ ps} \quad (1-1a)$$

所以，在传动中应设法尽量加大有效拉力。由实践和理论分析知道，影响有效拉力 P 的因素有好几方面：

（1）绷紧的影响——皮带在轮上绷得愈紧， P 力就愈大。但是，绷紧的程度也要适当，如果绷得过紧，皮带的寿命和传动的效率会显著降低，轴与轴承会受力太大而引起严重的发热。至于怎样确定合适的绷紧程度，一般都靠经验，或在皮带的中间用弹簧秤加力，再测皮带下垂的距离。对一般的皮带传动来说，如下垂距离 Δ (cm) 与所加的力 Q (kg)、传动中心距 A (cm) 和皮带的截面积 F (cm²) 之间能符合如下的关系，就比较合适，见图1-2所示。

$$\Delta = (0.014 \sim 0.018) \frac{QA}{F}$$

与此相当的皮带初应力（单位截面的皮带绷紧力）为 $14 \sim 18 \text{ kg/cm}^2$ 。

（2）摩擦的影响——皮带与皮带轮表面间的摩擦系数愈大，有效拉力就愈大。而摩擦系数的大小又与皮带和皮带轮的材料以及两者接触表面的形状有关。目前，一般的传动皮带采用涂有橡胶的帆布材料，皮带轮采用铸铁材料，以确保能获得较大的摩擦系数。至于接触表面的形状则以 V 形（三角皮带）为好。它与平面形（平皮带）的对比关系，犹如三角螺纹与矩形螺纹的关系一样，前者的当量摩擦系数是大于后者的。

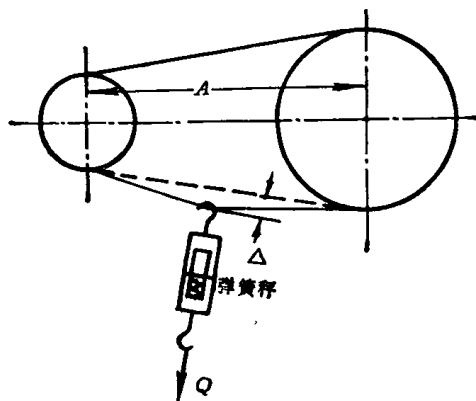


图1-2 绷紧力的影响

(3) 尺寸的影响——皮带截面积 F 愈大, P 力就愈大。皮带厚度 h 与小皮带轮直径 D_1 的比值 h/D_1 愈小, 则 P 力也愈大。因此, 采用较大的小皮带轮直径是对工作有利的。但是, 这样会增加制造皮带轮的成本, 并使传动的轮廓尺寸加大。不能片面地看问题。

(4) 包角的影响——包角 α_1 是皮带包在小皮带轮上所对中心的角度, 它与皮带轮直径 D_1 、 D_2 、传动中心距 A 之间有如下的关系 (图1-1):

$$\alpha_1 = 180^\circ - \frac{D_2 - D_1}{A} \times 57.3^\circ \quad (1-1b)$$

包角愈大, 有效拉力也愈大。从以上关系可以看出, 缩小两个皮带轮直径之差 ($D_2 - D_1$), 加大中心距 A , 将使包角 α_1 加大, 对工作有利。但是, 这与增加传动比 i 、并缩小传动的轮廓尺寸是有矛盾的, 而且中心距过大将引起下垂的皮带松边在轮上跳跃抖动, 因此必须恰当处理。

(5) 载荷平稳性的影响——载荷愈平稳, 有效的 P 力就愈大, 所传送的转矩和功率也愈大。

(6) 速度的影响——皮带绕在轮上的弯曲部分, 在运转时会引起离心力。皮带的速度愈高, 离心力就愈大。离心力将使皮带在轮上的压力减轻, 与有效拉力 P 是有矛盾的。因此, 要限制皮带速度不能过高。但是, 皮带的速度过低, 又会减小传动的功率, 这样, 又要限制皮带速度不能过低。一般, 皮带的速度 v 常在 $5 \sim 25 \text{ m/sec}$ 的范围内。特殊低速和高速的, 也在 1 m/sec 以上和 30 m/sec 以下。

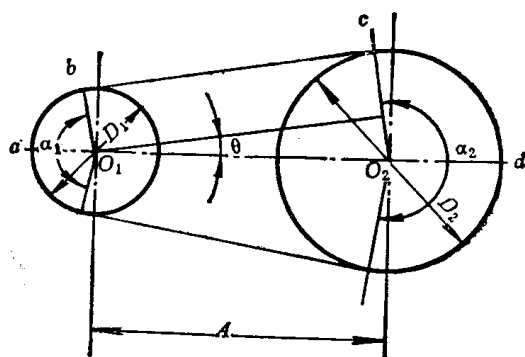


图1-3 皮带传动几何关系

二、皮带传动的几何关系

皮带传动的主要几何参数有: 中心距 A 、皮带长度 L 、皮带轮直径 D_1 、 D_2 、包角 α_1 、 α_2 (参看图1-3)。皮带传动的几何关系式如下:

$$L \approx 2A + \frac{\pi}{2} (D_1 + D_2) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4A} \quad (1-2)$$

〔注〕 见图1-3, 通过图中的几何关系, 可以看出, 皮带的总长度为:

$$L = 2(\widehat{ab} + \widehat{bc} + \widehat{cd})$$

$$= \left(\frac{\pi}{2} - \theta \right) D_1 + 2A \cos \theta + \left(\frac{\pi}{2} + \theta \right) D_2 = \left(\frac{\pi}{2} - \theta \right) D_1 + 2A \cos \theta + \left(\frac{\pi}{2} + \theta \right) D_2$$

$$\text{取 } \theta \approx \sin \theta = \frac{D_2 - D_1}{2A} \text{ 及 } \cos \theta = \sqrt{1 - \sin^2 \theta} = \sqrt{1 - \frac{(D_2 - D_1)^2}{4A^2}}$$

代入上式可得:

$$L \approx \frac{\pi}{2} (D_2 + D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{2A} + 2A \sqrt{1 - \frac{(D_2 - D_1)^2}{4A^2}}$$

将 $\sqrt{1 - \frac{(D_2 - D_1)^2}{4A^2}}$ 展开为多项式, 因 $(D_2 - D_1)$ 与 A 相比很小, 所以可略去分母为 A^2 以上的高次项, 故得:

$$\sqrt{1 - \frac{(D_2 - D_1)^2}{4A^2}} \approx 1 - \frac{(D_2 - D_1)^2}{8A^2}$$

代入前式可得:

$$L \approx \frac{\pi}{2} (D_2 + D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{2A} + 2A \left[1 - \frac{(D_2 - D_1)^2}{8A^2} \right] = 2A + \frac{\pi}{2} (D_2 + D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4A}$$

$$A \approx \frac{2L - \pi(D_1 + D_2) + \sqrt{[2L - \pi(D_1 + D_2)]^2 - 8(D_2 - D_1)^2}}{8} \quad (1-3)$$

$$\alpha_1 \approx 180^\circ - \frac{D_2 - D_1}{A} \times 60^\circ \quad (1-4)$$

$$\alpha_2 \approx 180^\circ + \frac{D_2 - D_1}{A} \times 60^\circ \quad (1-5)$$

三、皮带的张紧方法

皮带传动中的皮带是张紧地套在皮带轮上的，可是经过一段时间工作后，皮带要发生塑性伸长，使张紧力渐渐减小，如不调整将使传动不能正常进行，所以要设置调节机构来定期或自动张紧皮带，下面介绍常见的二种张紧方法：

(1) 调节中心距的办法，把两皮带轮之间的中心距做成可调节的，即把皮带轮中的一个做成位置可移动的或可摆动的，通常用调节螺丝来调节电机的位置或利用电机的重量来达到张紧皮带的目的，如图(1-4)(1-5)。

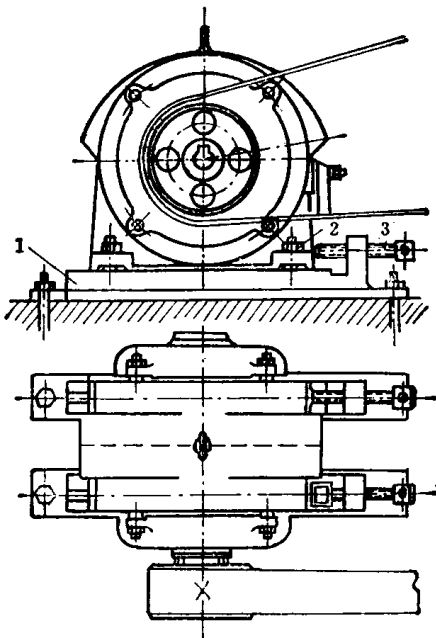


图1-4 具有拉紧轴皮带传动(水平时)

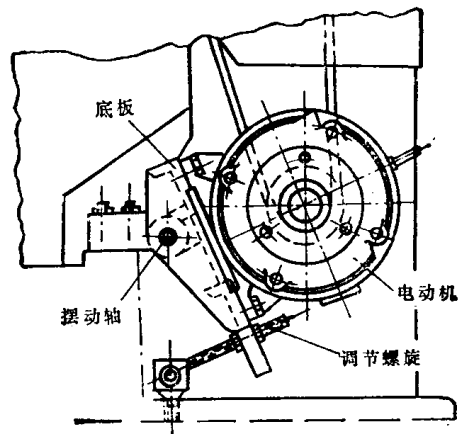


图1-5 具有浮动轴皮带传动

(2) 采用张紧轮的办法，就是利用张紧轮来压迫皮带张紧(见图1-6)。此法还可以增加皮带在轮面上的包角，对传动更为有利，但安装张紧轮的结构较为复杂，不如前一种方法简便。

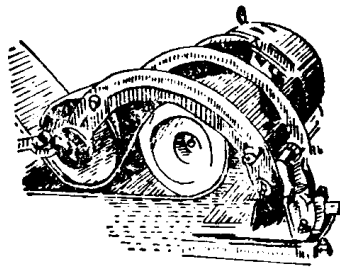


图1-6 具有张紧轮的皮带传动

§ 1-2 皮带的弹性滑动及滑动曲线

皮带传动中除了过载时发生打滑以外, 还有一种弹性滑动, 弹性滑动是皮带传动和摩擦传动中所特有的, 它是不可避免的物理现象。下面介绍产生弹性滑动的原因及过程。

一、弹性滑动

从皮带的工作过程可知, 由于皮带主动边和从动边的受力大小不同, 所引起皮带的弹性变形也不同 (参看图1-7)。皮带自 a 点绕上主动轮, 此时皮带和皮带轮的速度是相等的。但皮带自 a 点按箭头方向运转时, 皮带的拉力由 P_1 慢慢降低到 P_2 , 所以皮带拉伸弹性变形也相应地减少, 即是说当皮带轮等速地从 a 点转到 c 点时, 皮带相应地从 a 点只转到 c' 点, 这可看出在主动轮上皮带速度 v 落后于皮带轮的速度 v_1 , (即 $v < v_1$), 两者之间产生了相对滑动。同样现象发生在从动轮上, 但情况恰恰相反, 皮带的速度 v , 领先于皮带轮的速度 v_2 (即 $v > v_2$)。在皮带转动中, 由于皮带的弹性变形使皮带的速度落后或领先于皮带轮速度的这种现象称为皮带的弹性滑动。

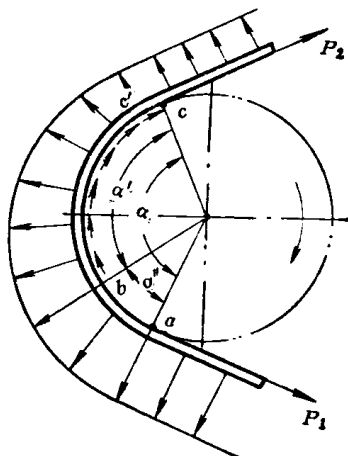


图1-7 皮带的滑动

由于弹性滑动, 使从动轮的速度降低, 即 $v_2 < v_1$, 这个降低值可用滑动率 ε 来表示。

$$\varepsilon = \frac{v_1 - v_2}{v_1} 100\% = \left(1 - \frac{n_2 D_2}{n_1 D_1}\right) 100\% \quad (1-6)$$

式中 D_1, D_2 ——小皮带轮和大皮带轮的直径 (mm);

n_1, n_2 ——主动轮和从动轮的转速 (r.p.m.);

ε ——滑动率, 通常是在 1~2% 的范围内。

二、滑动曲线

滑动曲线表示了滑动率 ε 与有效应力 $K = \frac{P}{F}$ (P ——有效拉力, 即皮带所传递的圆周力; F ——皮带的截面面积) 之间的关系, 这条曲线是由实验得到的。它的实验条件为: 传动水平放置, 包角 $\alpha = 180^\circ$, 速度 $v = 10\text{m/sec}$, 载荷平稳等。

现在我们来分析一下这条曲线, 由图 1-8 可看出:

当 $K < K_0$ 时, ε 与 K 成直线关系, 它说明皮带在弹性滑动情况下工作。皮带传动工作是稳定的。

当 K 在 K_0 和 $K_{\max}$ 之间时, ε 随 K 的增加而迅速上升, 说明在这区域内除了有弹性活动外, 还有打滑现象存在。皮带传动工作不稳定。

当 $K \geq K_{\max}$ 时, 皮带完全打滑, 传动失效, 而且还带来一些很不利的其他后果, 如使皮带很快发热,

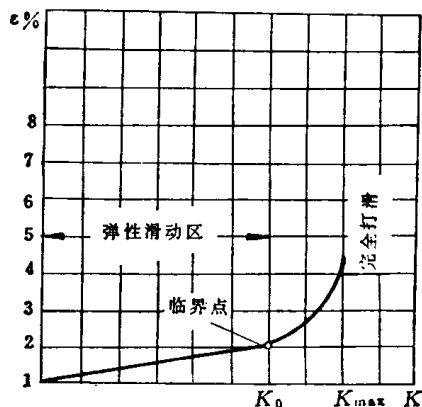


图1-8 滑动曲线

磨损加剧, 传动的效率降低等, 所以设计时, 防止打滑, 是我们需要解决的主要矛盾。

综合上述分析, 设计皮带传动时应使有效应力 K 等于或稍小于 K_0 值, 这样, 既保证皮带正常工作, 又保证皮带的承载能力较大。

设计皮带传动时, 一根皮带所传递的功率 N_0 值, 是由有效应力 K_0 值经过换算得来的。

$$N_0 = \frac{vFK_0}{102} (\text{kW})$$

或

$$N_0 = \frac{vFK_0}{75} (\text{ps}) \quad (1-7)$$

式中 v ——皮带的速度 (m/sec);

F ——皮带的断面面积 (cm^2);

K_0 ——皮带的有效应力 (kg/cm^2);

N_0 ——一根皮带所能传递的功率 (kW)。附表 (1-4), 是一根三角皮带所传递的功率。

按滑动曲线设计皮带传动, 就能保证皮带工作时不产生打滑现象, 即皮带工作时, 要满足 $K \leq K_0$ 的关系。

根据实验得到的 K_0 称为皮带的许用有效应力。如平皮带实验的条件是: 初应力 $\sigma_0 = 18 \text{ kg/cm}^2$; 包角 $\alpha = 180^\circ$; 皮带速度 $v = 10 \text{ m/sec}$; 载荷稳定。

下面列出许用有效应力 K_0 的数值:

皮革带:
$$K_0 = 29 - 300 \frac{\delta}{D_1} (\text{kg/cm}^2)$$

橡胶布带:

$$b \leq 300 \text{ mm} \quad K_0 = 25 - 100 \frac{\delta}{D_1} (\text{kg/cm}^2)$$

$$b > 300 \text{ mm} \quad K_0 = 23 - 100 \frac{\delta}{D_1} (\text{kg/cm}^2)$$

缝合棉布带:
$$K_0 = 20 - 200 \frac{\delta}{D_1} (\text{kg/cm}^2)$$

棉布带:
$$K_0 = 21 - 150 \frac{\delta}{D_1} (\text{kg/cm}^2)$$

毛织带:
$$K_0 = 18 - 150 \frac{\delta}{D_1} (\text{kg/cm}^2)$$

在设计皮带传动时, 我们将遇到条件不同的情况。为了考虑实际的工作条件, 必须将有效应力 K 加以修正, 如平皮带实际的许用有效应力应按下式计算

$$K = K_0 c_1 c_2 c_3$$

c_1 为考虑包角 (小皮带轮上的包角 α_1) 影响的修正系数, 按表 1-1 选取。

表 1-1 包角修正系数 c_1

α_1	150°	160°	170°	180°	200°	210°	220°
c_1	0.91	0.94	0.97	1.00	1.10	1.15	1.20

c_2 为考虑离心力影响的速度修正系数, 按表 1-2 选取。

表1-2 速度修正系数 c_2

v 米/秒	1	5	10	15	20	25	30
c_2	1.04	1.03	1.00	0.95	0.88	0.79	0.68

c_3 为考虑工作情况的修正系数在载荷比较平稳的条件下, 一般选取 c_3 为 1~0.7。

皮带传动除打滑以外, 还可能由于皮带的疲劳破坏而失效, 疲劳现象与皮带受力情况有关。

§ 1-3 皮带传动的受力情况和皮带的疲劳问题

一、皮带传动的受力情况

皮带工作时, 作用在皮带上有三种应力。

1. 拉应力

皮带工作时, 主动边上的拉应力与从动边上的拉应力分别为:

$$\sigma_1 = \frac{P_1}{F} \quad (1-8)$$

$$\sigma_2 = \frac{P_2}{F} \quad (1-9)$$

式中 F ——皮带断面面积(cm^2);

P_1, P_2 ——主动边和从动边的拉力(kg)。

2. 离心应力

运转时, 皮带与皮带轮一起作圆周运动, 由于皮带本身的重量而产生离心力 C , 故在皮带全长上引起离心拉力 P_c 。从而在皮带内产生离心应力, 见图 (1-9)。根据计算: 离心拉力

$$P_c = \frac{100\gamma F v^2}{g} \quad (1-10)$$

离心应力

$$\sigma_c = \frac{P_c}{F} = \frac{100\gamma v^2}{g} \quad (1-11)$$

式中 γ ——皮带单位体积的重量(kg/cm^3);

v ——皮带的速度(m/sec);

g ——重力加速度($9.81\text{m}/\text{sec}^2$)。

在一般的速度范围内, 离心应力是很小的。可以忽略不计, 但在高速传动中, 不能忽略。

3. 弯曲应力

皮带绕在皮带轮上由直变弯产生弯曲, 由于弯曲引起弯曲应力 σ_w , 根据工程力学可推出:

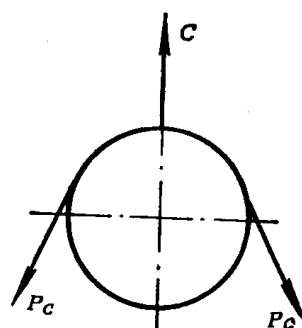


图1-9 作用在皮带上的离心力

$$\sigma_w = E \frac{\delta}{D} \quad (1-12)$$

式中 δ ——皮带的厚度(cm);

E ——皮带材料的弹性模数(kg/cm²);

D ——皮带轮直径(cm)。

对于三角皮带, 由于应力和应变并不保持线性关系, 一般按经验公式来计算:

$$\sigma_w = 2 \frac{h_0}{D} \left(800 + 16000 \frac{2h_0}{D} \right) \quad (1-13)$$

式中 h_0 ——皮带剖面形心到梯形上底的距离(mm), 其值见表(1-4)。

综上所述各种应力的分析, 我们可画出皮带工作时的应力分布图。从图(1-10)中看出, 皮带在运转时, 其上每一点的应力是发生周期性的变化的, 其中弯曲应力和拉应力较大, 最大应力发生在主动边进入小皮带轮接触点 a 处, 其值等于上述三种应力之和, 即

$$\sigma_{\max} = \sigma_1 + \sigma_{w1} + \sigma_{c0} \quad (1-14)$$

二、皮带的疲劳

由上可知, 皮带是在周期性的变应力下工作, 在这种变应力作用下,

传动工作一段时间后, 皮带的某些部分将发生疲劳破坏, 疲劳破坏愈快, 皮带使用寿命就愈短。另一方面, 由于应力的多次变化, 以及磨损等因素, 而使皮带发热, 发热将使皮带的强度和寿命剧烈地降低。为了防止皮带疲劳破坏, 有的国家是根据疲劳曲线, 列出载荷与循环基数之间的关系式, 如下:

$$N = \left(\frac{Q}{P} \right)^x \quad (1-15)$$

式中 Q 、 x ——为常数;

P ——皮带所受的最大载荷;

N ——循环基数。

目前我们设计时, 利用限止某些参数来保证皮带具有一定的使用寿命, 设计时常采用下面二种方法, ①限止皮带的弯曲应力; ②限止皮带每分钟内的应力变化次数。

从公式(1-12)、(1-13)中可看出, 皮带的弯曲应力是与皮带轮直径大小和皮带的厚度有关, 直径愈小, 皮带愈厚, 弯曲应力就愈大。从减小弯曲应力出发, 皮带轮直径选择得愈大愈好, 但事物总是一分为二的。皮带轮直径愈大, 结构就不紧凑, 所以为了保证皮带有一定的寿命, 则规定了皮带轮的最小直径, 其值见表1-3。

应力变化的次数, 可用皮带每秒钟内围绕皮带轮的次数——绕转数 u 来表示。

$$u = \frac{v}{L} \quad (1/\text{sec}) \quad (1-16)$$

式中 v ——皮带的速度(m/sec);

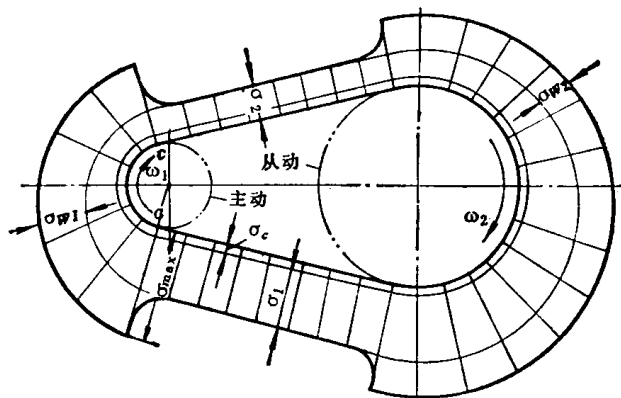


图1-10 皮带上的应力分布图