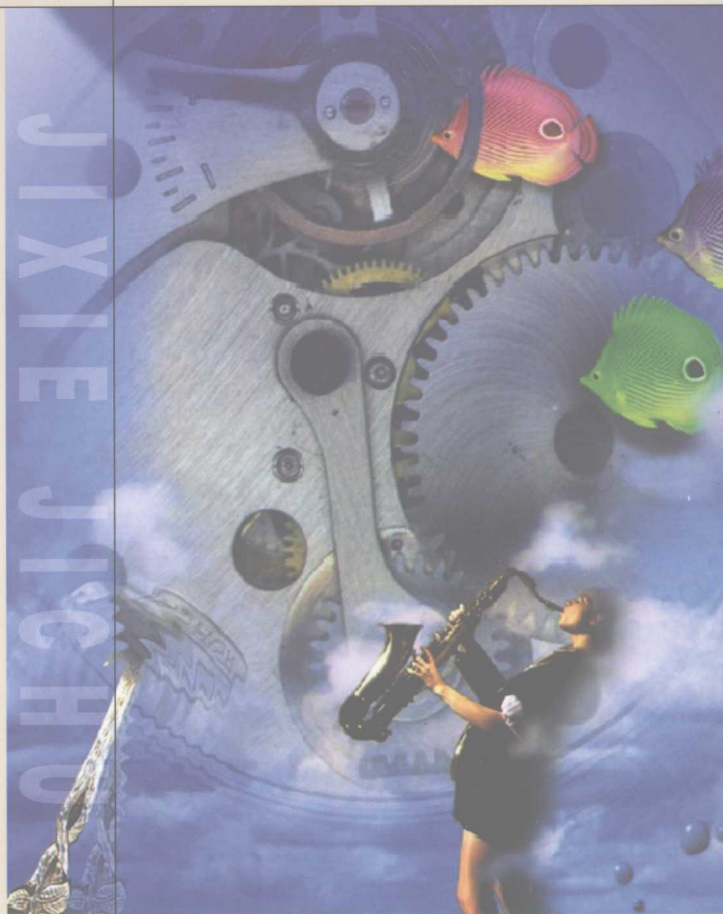


中等职业技术教育系列教材

机械基础

J I X I E J I C H U

熊立峰 马启山 主编



华中师范大学出版社

中等职业技术教育系列教材

机械基础

主 编:熊立峰 马启山

副主编:余 云

编 者:(排名不分先后)

王建军 马启山 柯文征

溪国斌 余 云 毕美玉

熊立峰 陈剑锋

华中师范大学出版社

内容简介

本书是中等职业技术教育系列教材之一,根据劳动和社会保障部培训就业司颁发的《机械基础教学大纲》(2000)编写,供中等职业技术学校机械类专业使用,本书共十一章,分为机械传动、机构和液压传动三部分,主要内容包括:机械基础概述、带传动和链传动、螺旋传动、齿轮传动、轮系、平面机构、凸轮机构、变速机构、间歇运动机构、轴系零件、液压传动基本理论、液压元件、液压基本回路及液压系统实例等。

本书可作为中等职业技术学校机械类或近机类专业教材,也可作为职业培训教材。

新出图证(鄂)字 10 号

图书在版编目(CIP)数据

机械基础/熊立峰 马启山 主编. —武汉:华中师范大学出版社,2007. 10

ISBN 978-7-5622-3645-0

I. 机… II. ①熊… ②马… III. 机械学—专业学校—教材 IV. TH11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 144014 号

机 械 基 础

主 编:熊立峰 马启山

选题策划:第二编辑室 电话:027-67867362

出版发行:华中师范大学出版社

地 址:武汉市武昌珞喻路 152 号 邮编:430079

发行部电话:027-67863426 67863040 67861549 67867076

邮购电话:027-67861321 传真:027-67863291

网址:<http://www.ccnupress.com> 电子信箱:hscbs@public.wh.hb.cn

经 销:新华书店湖北发行所

印 刷 者:武汉市福成启铭彩色印刷包装有限公司

责任编辑:孙 云

封面设计:罗明波

责任校对:方汉交

督 印:章光琼

开本/规格:787mm×1092mm 1/16

印 张:12.75

字 数:320千字

版次/印次:2007年10月第1版 2007年10月第1次印刷

印 数:1—5000

定 价:18.80元

欢迎上网查询、购书

敬告读者:欢迎举报盗版,举报电话 027-67861321

中等职业技术教育系列教材

中等职业技术教育系列教材编写委员会

主任委员 明亚福

副主任委员 叶格成 陈晓毛 林国书 刘堂树

侯江 陈文华 宋有明 周玉堂

执行委员 吴建兵

委员 (排名不分先后)

马启山 陈剑锋 吴喜明 王珥

尹学军 熊立峰 周保林 乐小勇

朱中清 李毓红 谢艳兵 陈志刚

前 言

人类文明的发展,机械起到了重要的促进作用。即使在这个高集成、高信息化、知识高速发展的现代社会,机械行业仍处在举足轻重的位置,随着高精密加工的零件被广泛应用在各个领域,机械将扮演着越来越重要的角色。

机械基础是中等职业学校机电类专业的一门专业基础课,通过学习,可熟悉和掌握带传动、螺旋传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动和轮系等机械传动形式;平面连杆、凸轮及其他常用的机构;键、销、轴、轴承、联轴器、离合器和制动器等轴系零件;液压传动的基本概念、常用液压元件、液压基本回路和典型液压系统等知识。

参加本书编写的有:王建军、马启山、柯文征、溪国斌、余云、毕美玉、熊立峰、陈剑锋等。主编:熊立峰、马启山;副主编:余云。

由于编者水平有限,错漏之处在所难免,恳请读者批评指正,并提出宝贵意见。在编写的过程中,参考了大量国内公开发行的书籍和资料,在此向各位作者一并表示衷心的感谢。

编 者

2007年8月

目 录

绪论	(1)
第一章 机械基础概述	(2)
1.1 机器的组成	(2)
1.2 运动副及机械传动分类	(3)
习 题	(5)
第二章 带传动和链传动	(6)
2.1 带传动的主要类型、特点和应用	(6)
2.2 普通 V 带和带轮的结构	(9)
2.3 链传动的类型和应用特点	(15)
习 题	(18)
第三章 螺旋传动	(19)
3.1 螺纹的种类及应用	(19)
3.2 螺旋传动的应用形式	(27)
习 题	(32)
第四章 齿轮传动	(34)
4.1 齿轮传动的类型和应用特点	(34)
4.2 渐开线齿廓	(36)
4.3 直齿圆柱齿轮的基本参数和几何尺寸计算	(39)
4.4 其他常用齿轮及其传动简介	(46)
4.5 齿轮的根切现象、最少齿数和变位齿轮简介*	(51)
4.6 渐开线圆柱齿轮精度简介	(55)
4.7 齿轮轮齿的失效形式	(57)
4.8 蜗杆传动	(60)
习 题	(65)
第五章 轮系	(67)

5.1 轮系的分类与应用特点	(67)
5.2 定轴轮系	(68)
5.3 周转轮系简介*	(73)
习 题	(75)
第六章 平面机构	(77)
6.1 铰链四杆机构	(77)
6.2 铰链四杆机构的演化形式	(80)
6.3 四杆机构的基本特性	(83)
习 题	(85)
第七章 凸轮机构、变速机构、间歇运动机构	(87)
7.1 凸轮机构	(87)
7.2 间歇运动机构	(93)
7.3 变速机构	(98)
习 题	(101)
第八章 轴系零件	(103)
8.1 轴	(103)
8.2 键与销	(110)
8.3 轴承	(113)
8.4 联轴器、离合器与制动器	(127)
习 题	(134)
第九章 液压传动基本理论	(136)
9.1 液压传动概述、工作原理及组成	(136)
9.2 液压传动系统的流量和流量损失	(138)
9.3 液压传动系统的压力和压力损失	(141)
习 题	(145)
第十章 液压元件	(147)
10.1 液压泵	(147)
10.2 液压缸	(152)
10.3 控制阀	(158)
10.4 液压辅件	(173)

习 题	(178)
第十一章 液压基本回路及液压系统实例	(179)
11.1 液压基本回路	(179)
11.2 液压传动系统实例	(188)
习 题	(191)
主要参考文献	(193)

绪 论

机械始于工具,在远古时代,人类就开始使用石器进行钻火、捕猎,随后逐步发明和制造出了弓、弩、发石机等军事机械;耕、犁、耨车、扇车、翻车等农业机械;水转连磨、水转大纺车等水力机械;缫车、纺车、织机等纺织机械;还有铸造、锻造、表面处理、切削加工等各种加工技术和加工机械等。现代社会人类使工具的种类、材料、工艺、性能等方面发生了翻天覆地的变革,但无论如何,现代各种精密复杂的机械都应是从古代简单的工具逐步发展而来的。

机械拥有一个非常庞大的家族,内容广泛,种类繁多。按照能量转换角度划分,有动力机械,它是把各种能源转换为便于利用的机械能,如风力机、汽轮机、内燃机、汽油机、电动机、液压马达、气动马达等;有机械能转换机械,它是把机械能转换为其他能源形式,如发电机、热泵、液压泵、压缩机等;还有工作机械,它是利用人力、畜力和动力机械提供的机械能来改变工作对象的状态和位置,如造纸机、粉碎机、物料搬运机等。如果按照产业领域划分,有农业机械、林业机械、矿山机械、冶金机械、交通运输机械、建筑机械、纺织机械、塑料机械、橡胶机械、印刷机械、仪器仪表、工作母机(各种机床)等等。

学习本课程,需善于观察日常生活中的各种简单机械原理的应用,如:自行车的链传动、机械钟表的齿轮传动、台虎钳的螺旋传动、补鞋机的凸轮机构、螺栓螺母的螺纹连接、翻斗车箱的液压传动等,从中培养兴趣,并做到理论与实际应用的结合。

第一章 机械基础概述

1.1 机器的组成

一、机器和机构

1. 机器

随着科学技术的发展,人类不断地在用自己聪明的才智设计出各种新的机器,机器是人类经过长期生产实践创造出来的重要工具,利用机器可以减轻或代替人的体力劳动,能够大大提高劳动生产率和产品质量,创造更多的物质财富。而其构造、性能和用途也各不相同,但是从机器的组成部分、运动的确定性和机器的功能关系来分析,所有机器都具有以下三个共同的特征:

(1) 任何机器都是人为的实物组合体。如图 1-1 所示的单缸内燃机,是由汽缸、活塞、连杆、曲轴、轴承等构件组合而成的。

(2) 各运动实体之间具有确定的相对运动。如图 1-1 所示的活塞 2 相对汽缸 1 的往复移动,曲轴 4 相对两端轴承 5 的连续转动。

(3) 能实现能量的转换,代替或减轻人类的劳动,完成有用的机械功。例如,发电机可以把机械能转换为电能;运输机器可以改变物体在空间的位置;金属切削机床能够改变工件的尺寸、形状;计算机可以变换信息等。按其用途,机器可分为发动机(原动机)和工作机。发动机是将非机械能转换成机械能的机器。例如,电动机是将电能转换成机械能的机器,内燃机是将热能转换成机械能的机器。

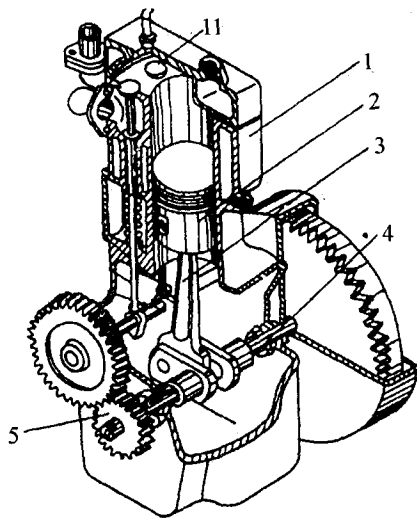
机器种类繁多,其结构形式等用途各不相同,一部完整的机器由五大部分组成:原动部分、工作部分、执行部分、传动部分和检控部分。

2. 机构

机构是用来传递运动和动力的构件系统。如图 1-1 中 1、2、3、4 组成的曲柄滑块的机构。

与机器相比较,机构也是人为实体(构件)的组合,各运动实体之间也具有确定的相对运动,但不能做机械功,也不能实现能量转换。

机器与机构的区别在于:机器的主要作用是利用机械能做功或实现能量的转换;机构的主要作用在于传递或转变运动的形式。例如航空发动机、机床、轧钢机、纺织机和拖拉机等都是机器,而钟表、仪表、千斤顶、机床中的变速装置或分度装置等都是机构。通常,机器必包含一



1—汽缸 2—活塞 3—连杆
4—曲轴 5—轴承

图 1-1 单缸内燃机

个或一个以上的机构。

从运动的观点来看,机器和机构二者之间没有区别,因此将它们统称为机械,即机械是机器与机构的总称。

二、构件和零件

1. 构件

机器及机构是由许多具有确定的相对运动的构件组合而成的,因此,构件是机构中的运动单元体,也就是相互之间能作相对运动的物体。在机械中应用最多的是刚性构件,即作为刚体看待的构件。一个构件,可以是单一的零件,如图 1-1 中曲轴 4;也可以是几个零件的刚性组合体,如图 1-1 中连杆 3,就是由几个可以拆卸的物体组合而成的刚性体。图 1-2 是连杆构件的组成图,它由连杆体 1、连杆盖 3、螺栓 2 和螺母 4 等物体组合而成。

构件按其运动状况,可分为固定构件和运动构件两种。固定构件又称机架,是机构中固结于定参考系的构件。固定构件一般用来支持运动构件,通常就是机器的基体或机座。运动构件又分成主动件(原动件)和从动件两种。主动件是机构中作用有驱动力或力矩的构件,有时也将运动规律已知的构件称为主动件。形象地说,主动件就是带动其他可动构件运动的构件,从动件是机构中除了主动件以外的随着主动件运动而运动的构件。

2. 零件

零件是构件的组成部分。机构运动时,属于同一构件中的零件,相互之间没有相对运动。构件与零件的区别在于:构件是运动的单元,零件是加工制造的单元。

三、机器的组成

机器基本上是由动力部分、工作部分(执行部分)和传动装置三部分组成的。动力部分是将其他形式的能转换为机械能,是机器动力的来源。常用的动力部分有电动机、内燃机和空气压缩机等。工作部分是直接完成机器工作任务的部分,处于整个传动装置的终端,其结构形式取决于机器的用途。例如金属切削机床的主轴、拖板、工作台等。传动装置是将动力部分的运动和动力传递给工作部分的中间环节。例如金属切削机床中常用的带传动、螺旋传动、齿轮传动、连杆机构、凸轮机构等。

在自动化机器中,除上述三部分外,还有自动控制部分。

1.2 运动副及机械传动分类

运动副是两构件直接接触组成的可动连接,它限制了两构件之间的某些相对运动,而又允许有另一些相对运动。各种机械的形式构造及用途虽各不相同,但它们都是由一些机构组成的,研究机构的内容是分析构件之间的相对运动关系,例如图 1-1 中气缸和活塞,既相互接触,又允许活塞相对于气缸作往复直线运动。

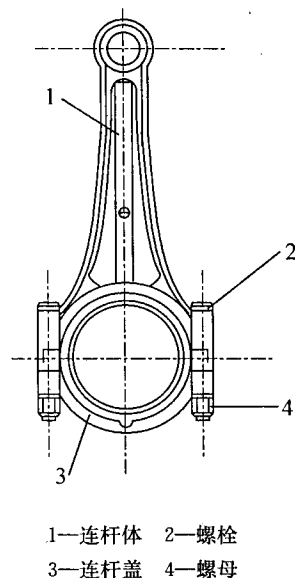


图 1-2 内燃机的连杆构件

两构件组成运动副时,能参与接触的点、线、面称为运动副元素。

根据运动副中两构件的接触形式不同,运动副可分为低副和高副。

一、低副

低副是指两构件以面接触的运动副。按两构件的相对运动形式,低副可分为以下几种:

(1) 转动副 组成运动副的两构件只能绕某一轴线作相对转动的运动副称为转动副。如图 1-3 所示的铰链连接就是转动副的一种形式,即由圆柱销孔及其两端面组成的转动副。铰链连接的两构件只能绕 Z 轴自由转动,沿 X 轴和 Y 轴的自由移动则被限制(约束)。

(2) 移动副 组成运动副的两构件只能作相对直线移动的运动副,称为移动副,如图 1-4 所示。

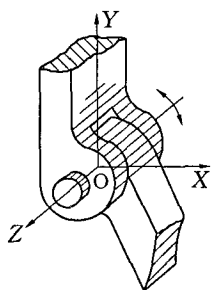
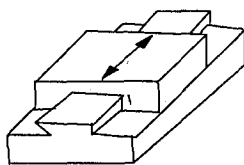
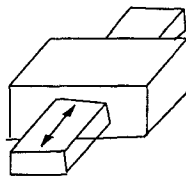


图 1-3 铰链连接



(a) 燕尾滑板

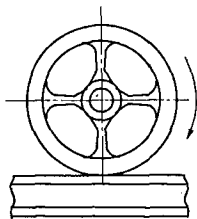


(b) 滑块与导轨

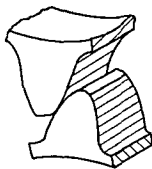
图 1-4 移动副

二、高副

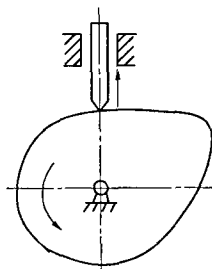
高副是指两构件以点或线接触的运动副。如图 1-5 所示为常见的几种高副接触形式:图 (a) 是车轮与钢轨的接触,图 (b) 是齿轮的啮合,都属于线接触的高副;图 (c) 是凸轮与从动杆的接触,是属于点接触的高副。



(a)



(b)



(c)

图 1-5 高副

低副和高副由于两构件直接接触部分的几何特征不同,因此在使用上也具有不同的特点。

低副是面接触的运动副,其接触表面一般为平面或圆柱面,容易制造和维修,承受载荷时单位面积压力较低(故称低副),因而低副比高副的承载能力大。低副属滑动摩擦,摩擦损失大,因而效率较低;此外,低副不能传递较复杂的运动。

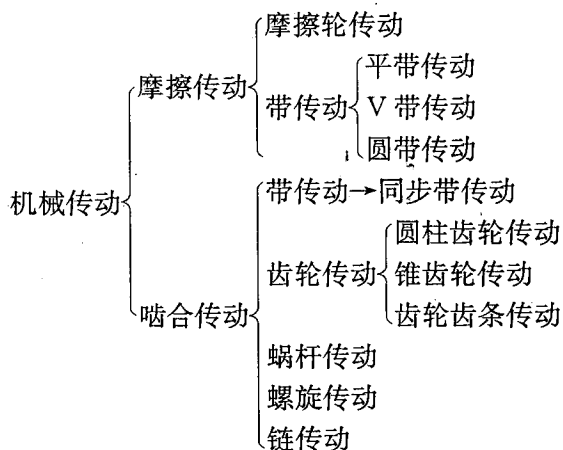
高副是点或线接触的运动副,承受载荷时单位面积压力较高(故称高副),两构件接触处容易磨损,寿命短,制造和维修也较困难。高副的特点是能传递较复杂的运动。

三、机械传动分类

传动装置是一般机器的三大组成部分之一,现代工业中主要应用的传动方式有机械传动、液压传动、气动传动和电气传动四种。其中,机械传动是一种最基本的传动力式,应用最普遍。

用来传递运动和动力的装置叫做机械传动装置。按其传递运动和动力的方式,机械传动可分为摩擦传动和啮合传动两大类。按运动副构件的接触方式可分为直接接触传动和有中间挠性件(带、链等)传动两种。

机械传动的一般分类如下:



习 题

- 1-1 机器与机构有什么区别? 试举例说明。
- 1-2 机器通常由哪几部分组成,各部分起什么作用?
- 1-3 什么是构件? 什么是零件? 构件与零件关系如何? 试举例说明。
- 1-4 什么是运动副? 运动副如何分类?
- 1-5 运动副中的高副与低副如何区分? 各有什么特点? 试举例说明。

第二章 带传动和链传动

2.1 带传动的主要类型、特点和应用

一、带传动的主要类型

带传动一般由主动带轮 1、从动带轮 2 和传动带 3 组成(图 2-1)。根据传动原理的不同,带传动可分为两大类。

1. 摩擦型带传动

摩擦型带传动利用带与带轮间的摩擦力传递运动和动力。按截面形状可分为平带传动、V 带传动、多楔带传动、圆形带传动等(图 2-2),以普通 V 带传动应用最广。

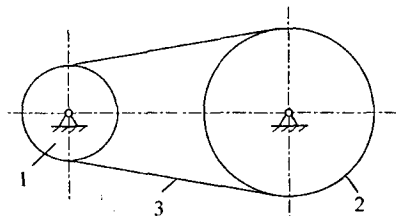


图 2-1 带传动的组成

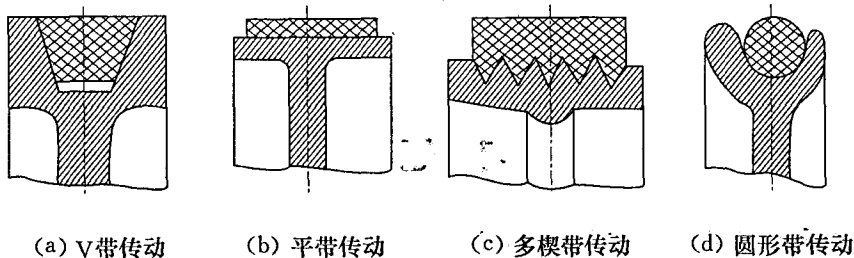


图 2-2 摩擦型带传动

2. 啮合型带传动

啮合型带传动有以下类型：

(1) 同步带传动 工作时,利用带上内侧凸齿与带轮齿槽的啮合传递运动和动力。同步带传动,亦称同步齿形带传动(图 2-3)。

(2) 齿孔带传动 工作时,利用带上的孔与带轮上的齿啮合传递运动和动力(图 2-4)。

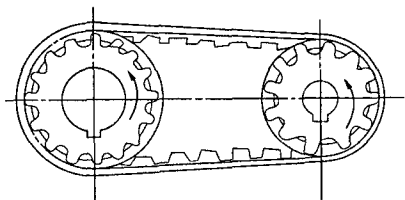


图 2-3 同步带传动

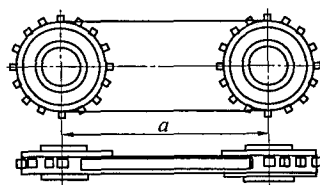


图 2-4 齿孔带传动

二、带传动的形式

1. 常见的带传动形式有开口传动(图 2-5(a))、交叉传动(图 2-5(b))、半交叉传动(图 2-5(c))和角度传动(图 2-5(d))。交叉传动用于两轴平行的反向传动;半交叉传动用于两轴空间

交错的单向传动。平带可用于交叉传动和半交叉传动。V带一般不宜用于交叉传动和半交叉传动。

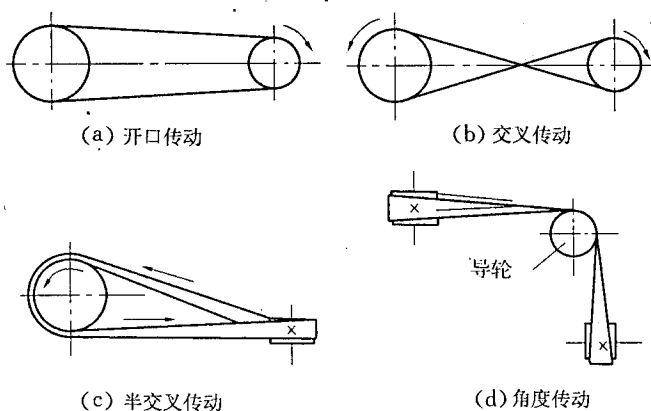


图 2-5 传动形式

2. 平带传动的主要参数

(1) 包角 α 包角 α 是指带与带轮接触弧所对的圆心角。包角的大小,反映带与带轮轮缘表面间接触弧的长短。包角越小,接触弧长越短,接触面间所产生的摩擦力总和也就越小。为了提高平带传动的承载能力,包角不能太小,一般要求包角 $\alpha \geq 150^\circ$ 。由于大带轮上的包角总是比小带轮上的包角大,因此只须验算小带轮上的包角是否满足要求即可,小带轮包角 α_1 的计算方法如下:

$$\text{开口传动} \quad \alpha_1 \approx 180^\circ - \frac{D_2 - D_1}{a} \times 60^\circ \quad (2-1)$$

$$\text{交叉传动} \quad \alpha_1 \approx 180^\circ + \frac{D_2 + D_1}{a} \times 60^\circ \quad (2-2)$$

$$\text{半交叉传动} \quad \alpha_1 \approx 180^\circ + \frac{D_1}{a} \times 60^\circ \quad (2-3)$$

式中, D_1 ——小带轮直径, mm;

D_2 ——大带轮直径, mm;

a ——中心距, mm。

(2) 带长 L 平带的带长是指带的内周长度,其计算方法如下:

$$\text{开口传动} \quad L = 2a + \frac{\pi}{2} (D_2 + D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4a} \quad (2-4)$$

$$\text{交叉传动} \quad L = 2a + \frac{\pi}{2} (D_2 + D_1) + \frac{(D_2 + D_1)^2}{4a} \quad (2-5)$$

$$\text{半交叉传动} \quad L = 2a + \frac{\pi}{2} (D_2 + D_1) + \frac{D_2^2 + D_1^2}{2a} \quad (2-6)$$

在实际使用中,按上式计算所得带长还须考虑平带在带轮上的张紧量、悬垂量(中心距较大时)和平带的接头量。

(3) 传动比 i 在不考虑传动中的弹性滑动时,平带传动的传动比可用从动轮和主动轮直径之比计算,即

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1} \quad (2-7)$$

受小带轮的包角和带传动外廓尺寸的限制,平带传动的传动比 $i \leq 5$ 。

(4) 平带传动主要参数计算举例

【例 2-1】 在平带开口传动中,已知主动轮直径 $D_1 = 200 \text{ mm}$,从动轮直径 $D_2 = 600 \text{ mm}$,两传动轴中心距 $a = 1200 \text{ mm}$ 。试计算其传动比,验算包角和带长。

解 (1) 传动比
$$i = \frac{D_2}{D_1} = \frac{600}{200} = 3$$

(2) 小带轮包角
$$\alpha_1 \approx 180^\circ - \frac{D_2 - D_1}{a} \times 60^\circ = 180^\circ - \frac{600 - 200}{1200} \times 60^\circ = 160^\circ$$

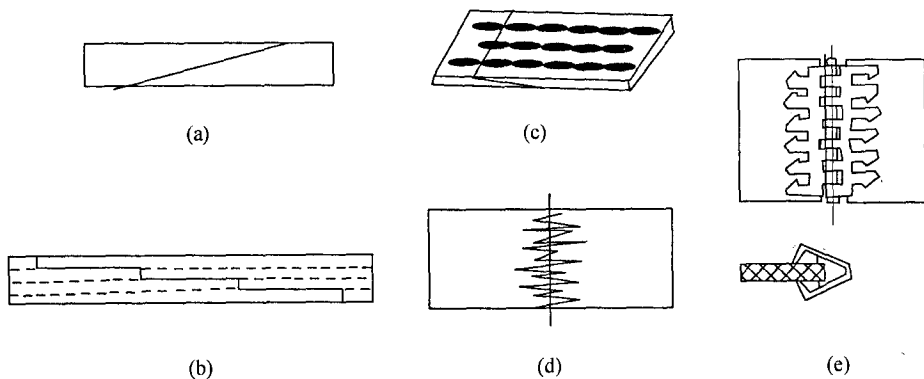
(3) 带长
$$L = 2a + \frac{\pi}{2}(D_2 + D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4a}$$

$$= 2 \times 1200 + \frac{3.14}{2} \times (600 + 200) + \frac{(600 - 200)^2}{4 \times 1200} = 3698.3 \text{ mm}$$

3. 平带的类型和接头方式

(1) 平带的主要类型有:皮革平带、帆布芯平带、编织平带和复合平带等。其中以帆布芯平带(以帆布为抗拉体的平带)使用最为广泛。

(2) 平带的接头方式常用的有:胶合、缝合、铰链带扣等(图 2-6)。经胶合或缝合接头,传动时冲击小,传动速度可以高一些。铰链带扣式接头传递的功率较大,但传动速度不能太高,以免引起强烈的冲击和振动。当传动速度较高时($v \geq 25 \text{ m/s}$),可采用轻而薄的高速平带;传递功率较小时,可采用编织平带(编织平带是由纤维线编织成的无接头平带);传递功率较大时,可采用由锦纶片或涤纶绳作承载层、工作面贴铬鞣革或挂胶帆布的无接头复合平带。



(a) 皮革平带的胶合 (b) 帆布芯平带的胶合 (c) 用皮条缝合 (d) 用肠弦缝合 (e) 铰链带扣

图 2-6 平带常用的接头方式

三、带传动的工作原理和传动比

1. 带传动的工作原理

带传动是利用带作为中间挠性件,依靠带与带轮之间的摩擦力或啮合来传递运动和(或)动力的。如图 2-1 所示,把一根或几根闭合成环形的带张紧在主动轮 D_1 和从动轮 D_2 上,使带与两带轮之间的接触面产生正压力(或使同步带与两同步带轮上的齿相啮合),当主动轴 O_1 带动主动轮 D_1 回转时,依靠带与两带轮接触面之间的摩擦力(或齿的啮合)使从动轮 D_2 带动从动轴 O_2 回转,实现两轴间运动和(或)动力的传递。

2. 带传动的传动比

带传动的传动比 i 就是带轮角速度之比或带轮的转速之比,即

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (2-8)$$

式中, ω_1 ——主动轮的角速度, rad/s;

ω_2 ——从动轮的角速度, rad/s。

四、带传动的特点和应用

平带的截面形状为扁平矩形,与带轮接触的环形内表面为工作面。最常用的传动形式为两轴平行、转向相同的开口传动,如图 2-5(a)所示。材料有橡胶帆布、锦纶、棉布等。普通平带用特制的金属接头或粘接接头将带接成环形,运转不平稳,不适于高速传动,而高速平带无接头。

各种带传动中,平带传动结构最简单,带轮容易制造,带的磨损较轻,传动效率较高,在传动中心距较大的场合应用较多。

V 带的截面形状为梯形,两侧面为工作表面。由于 V 带传动是利用带和带轮梯形槽面之间的摩擦力来传递动力的,所以传递的动力比平带大,一般在相同条件下,可大三倍,从而具有较大的传动能力,而且允许的传动比也较大,中心距较小(比平带传动小),结构紧凑。因此在一般机械传动中,V 带传动较平带传动应用更为广泛。

多楔带是在平带基体上由多根 V 带组成的传动带。多楔带传动兼有 V 带传动和平带传动的优点,不但摩擦力大,并且载荷沿带宽分布较均匀。多楔带传动主要用于传递功率较大并要求结构紧凑的场合,特别适用于要求 V 带根数多或垂直于地面的平行轴传动。

圆形带的横截面为圆形。圆形带传动便于快速装拆,但只能传递很小的功率,一般用于轻型机械,如缝纫机、吸尘器等。

同步带传动是具有中间挠性体的啮合传动,带的内周有一定形状的齿和带轮上相应的齿槽相啮合,带和带轮面间无滑动,使主、从动轮线速度相等,因而能保证准确的传动比,其适应的速度范围广($v \leq 50$ m/s),传动比大($i \leq 12$),传动效率高($\eta = 0.98 \sim 0.99$),传动结构紧凑。故常用于要求传动比准确的中小功率传动,如电子计算机、数控机床及纺织机械等。

啮合型带传动中的齿孔带传动,常用于放映机、打印机中,以保证同步运动。

摩擦型带传动的主要特点是:带是挠性体,富有弹性,能缓冲和吸振,传动平稳,噪声小。过载时,带在带轮上发生打滑,可防止其他零件的损坏,起到安全保护作用。但由于弹性滑动,不能保证准确的传动比。传动效率较低,带的寿命较短。由于需要施加张紧力,轴和轴承受力较大。适用于要求传动平稳,传动比不要求准确,中小功率及中心距较大的场合。不适宜在高温、易燃、易爆、有腐蚀介质的场合下工作。

本章主要介绍普通 V 带传动。

2.2 普通 V 带和带轮的结构

一、V 带的结构和标准

1. 普通 V 带的截面为等腰梯形,由弯曲时承受拉伸的伸张层 1、承受基本拉力的强力层 2、弯曲时承受压缩的压缩层 3 和起保护作用的包布层 4 等四部分组成,如图 2-7 所示。强力