

机械基础

主 编 王红梅 周亚男



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

前 言

为深入贯彻落实党的十九大精神，推进实现教育部印发《教育信息化“十三五”规划》，不断扩大优质教育资源覆盖面，优先提升教育信息化促进教育公平、提高教育质量。通过推广“一校带多点、一校带多校”的教学和教研组织模式，逐步使依托信息技术的“优质学校带薄弱学校、优秀教师带普通教师”模式制度化。同时按照职业院校“十三五”发展规划目标，以完善办学功能、注重内涵发展、提高办学质量为宗旨，不断深化人才培养模式和教学模式的改革创新，加快学校专业课程体系和精品课程的建设。因此我们组织了具有丰富教学经验的教师和教学一线的优秀教师，按照新教学模式的要求，并结合院校和学生实际，编写了本教材。

本教材的特点主要体现在以下几个方面。

(1) 以能力为本位，突出职业技术教育特色。根据机械类高级工从事相关岗位的实际需要，对教材内容的深度、难度做了适当的调整，吸收和借鉴职业院校教学改革的成功经验，合理确定学生应具备的能力结构与知识结构，以满足企业对技能型人才的需求，并为今后学生实践能力的进一步提升奠定基础。

(2) 本教材在编写过程中，严格贯彻国家相关技术标准要求，并力求使教材内容涵盖相关国家职业标准的知识和技能要求。

(3) 在教材内容的呈现形式上，较多地利用图片、实物照片和表格等形式将知识点进行生动的展示，力求让学生更加直观地理解和掌握所学内容。针对不同的知识点，以问题为导向设计了贴近实际生产、生活的互动栏目，意在引导学生自主学习、激发学习兴趣，使教材直观、易教、易学。

(4) 为能更好地提升教学质量，本教材配有方便教学的 PPT 课件、多媒体资源等。此外还配有习题册，以便教师教学和学生练习使用。

在本课程的研发过程中得到了李文利、王东风以及各合作部门在技术、人员、经费等资源的大力支持，在此表示诚挚的感谢。

编 者

目 录

绪论	1
第一篇 机械传动	
第 1 章 带传动	7
1.1 平带传动	7
1.2 V 带传动	12
1.3 V 带传动的安装、维护及同步带传动简介	20
第 2 章 螺旋传动	24
2.1 螺纹概述	24
2.2 普通螺旋传动	29
2.3 差动螺旋传动与滚珠螺旋传动	33
第 3 章 链传动和齿轮传动	37
3.1 链传动	37
3.2 齿轮传动概述	41
3.3 渐开线标准直齿圆柱齿轮传动	45
3.4 其他齿轮传动	49
3.5 齿轮轮齿的失效形式	52
第 4 章 蜗杆传动	55
4.1 蜗杆传动概述	55
4.2 蜗杆传动的主要参数和正确啮合条件	60
第 5 章 轮系	64
5.1 轮系的分类及应用	64
5.2 定轴轮系传动比的计算	68
5.3 定轴轮系转速的计算	72
5.4 周转轮系传动比的计算	75

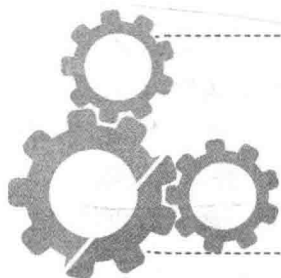


第二篇 常用机构

第 6 章 平面连杆机构	83
6.1 平面机构及其运动副	83
6.2 铰链四杆机构的基本类型与应用	87
6.3 铰链四杆机构的基本性质	91
6.4 铰链四杆机构的演化及应用	96
第 7 章 凸轮机构	100
7.1 凸轮机构概述	100
7.2 凸轮机构的工作过程及从动件的运动规律	103
7.3 凸轮轮廓曲线的画法	107
第 8 章 其他常用机构	110
8.1 变速机构	111
8.2 间歇运动机构	115

第三篇 轴系零件

第 9 章 键和销	125
9.1 平键及其连接	125
9.2 其他键及其连接	129
9.3 销及其连接	132
第 10 章 轴和轴承	134
10.1 轴	134
10.2 滚动轴承	139
10.3 滑动轴承	147
第 11 章 联轴器、离合器和制动器	151
11.1 联轴器	151
11.2 离合器	154
11.3 制动器	156
参考文献	159



绪 论

机械是人类进行生产劳动的主要工具，也是社会生产力发展水平的重要标志。人类为了适应生产和生活的需要，不断推动着机械工业的发展。1782年，英国人瓦特发明了蒸汽机，促进了工业革命。从此，机械有了日新月异的迅猛发展。现今，在人们的生产和生活中广泛地使用着各种类型的机械，如图0-1所示的数控机床、摇臂钻床、汽车、CRH动车组列车等，以减轻或代替人们的劳动。那么，这些机械是怎样组成并工作的呢？



图0-1 各种机械

1. 课程的性质和学习内容

1) 本课程的性质

机械基础是机械类专业的一门基础课，其研究对象是机构和机器。通过本课程的学习，为学生学习专业技术课程和培养专业岗位能力打下基础。



2) 课程内容

本课程包括如下主要内容。

(1) 机械传动。机械传动包括带传动、螺旋传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动和轮系。

(2) 常用机构。常用机构包括平面连杆机构、凸轮机构及其他常用机构。

(3) 轴系零件。轴系零件包括键、销、轴、轴承、联轴器、离合器和制动器。

2. 机器与机构

机器是人们根据使用要求而设计的一种执行机械运动的装置，可以用来变换或传递能量、物料与信息，从而代替或减轻人类的体力劳动和脑力劳动。例如，图 0-2 所示的汽油机。机构是具有确定相对运动的构件组合，是用来传递运动和动力的构件系统。例如，图 0-3 所示的汽油机的曲柄滑块机构。

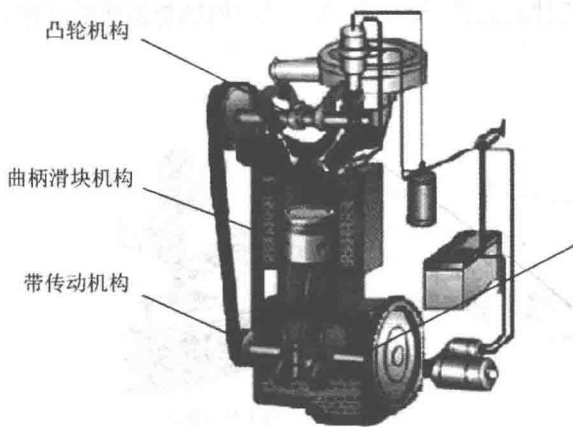


图 0-2 汽油机

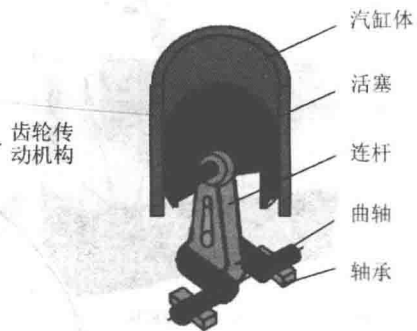


图 0-3 曲柄滑块机构

一般而言，机器通常由动力部分、传动部分、执行部分和控制部分组成，各组成部分的作用和应用举例如表 0-1 所示。

表 0-1 机器各组成部分的作用及应用举例

组成部分	作用	应用举例
动力部分	机器工作的动力来源，把其他类型的能量转换为机械能，以驱动机器各部分运动	电动机、内燃机、空气压缩机等
传动部分	将动力部分的运动和动力传递给执行部分	机床中的带传动、齿轮传动、螺旋传动等
执行部分	直接完成机器工作任务的部分，处于整个传动装置的终端	机床的主轴、托板
控制部分	控制机器正常运行和工作，并随时实现或终止机器的各种预定动作	汽车的转向盘、刹车装置等



机器与机构在功用上的区别在于：机器是利用机械能做功或实现能量转换的，而机构是传递或转换运动，或者实现某种特定的运动形式。如果不考虑做功或实现能量转换，只从结构和运动的角度来看，机构和机器之间是没有区别的。因此，为了简化叙述，有时也用“机械”一词作为机构和机器的总称。

例如，摩托车是多件实物的组合体，它由发动机、链传动、前后车轮、车架、车把和控制器等组合而成（图 0-4），用以实现人们所预期的工作要求和动作。



图 0-4 摩托车

动力部分、传动部分、执行部分和控制部分之间的关系，如图 0-5 所示。

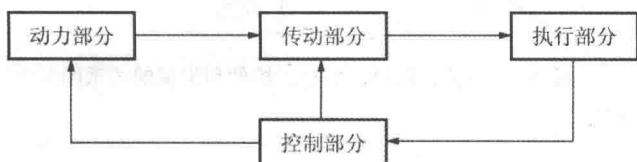


图 0-5 机器组成部分关系图

3. 构件与零件

构件是机构中运动的单元体，如汽油机曲柄滑块机构中的连杆等（图 0-6）。

零件是机器及各种设备的基本组成单元。从机器的构成上看，零件是构件的组成部分，如汽油机连杆上的螺母、螺栓、连杆体、连杆盖等（图 0-7）。有时也将用简单方式连成的单一元件称为零件，如轴承、轴等。

零件与构件的区别在于零件是制造的单元，构件是运动的单元，构件可以是一个独立的零件，也可以由若干个零件组成。

零件、机器、机构、构件和机械的关系图如图 0-8 所示。



图 0-6 汽油机的连杆

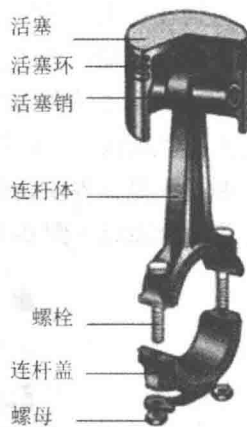


图 0-7 连杆组件

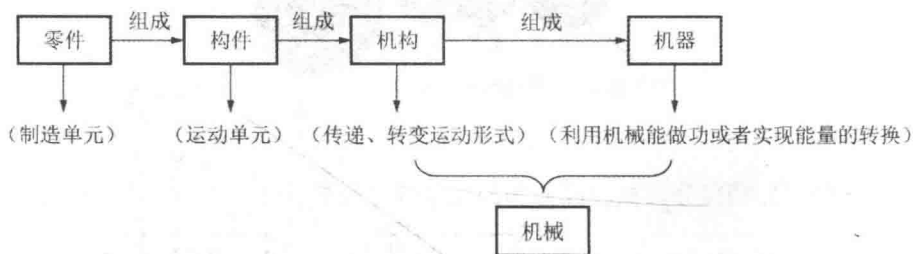
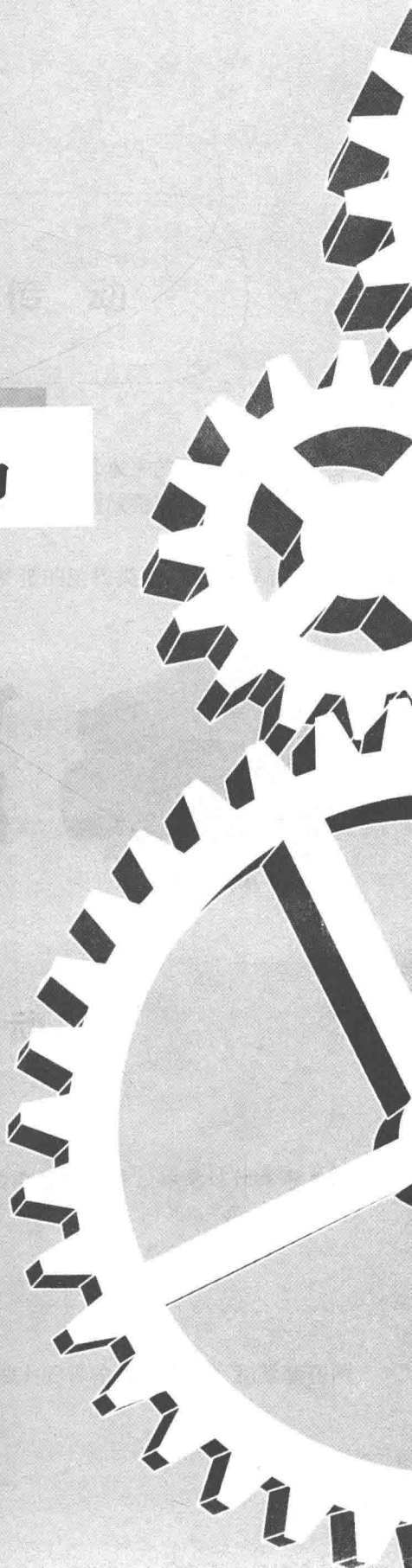
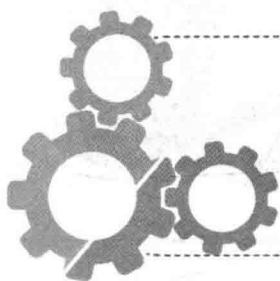


图 0-8 零件、机器、机构、构件和机械的关系图

第一篇 机械传动

传动是指利用构件或机构把动力从机器的一部分传递到另一部分，使机器或机器部件运动或转动。在现代工业中，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4种。其中，机械传动是最基本、应用最普遍的传动方式，它利用机械方式来实现运动和动力的传递。常用的机械传动的形式有带传动、螺旋传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动等。





第1章 带传动

带传动是机械传动中重要的传动形式之一，随着工业技术水平的不断提高，带传动在金属切削机床、汽车工业、家用电器、办公机械等多个领域得到广泛应用。带传动实例如图 1-1 所示。

本章主要介绍平带传动的传动形式及主要参数，V 带的结构类型、V 带传动的主要参数，以及 V 带传动的安装与维护等内容。

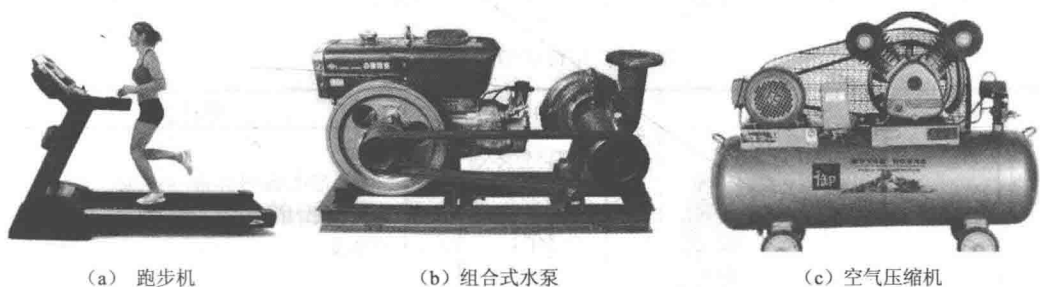


图 1-1 带传动实例

1.1 平带传动

思考

在实际生活中，有许多利用带传动的例子，带的类型也很多，你见过什么形式的传动带？用在了什么机器上？

1.1.1 带传动概述

1. 带传动的组成和原理



带传动一般由主动轴上的带轮（主动轮）、从动轴上的带轮（从动轮）和紧套在两轮上的挠性带组成，如图 1-2 所示。

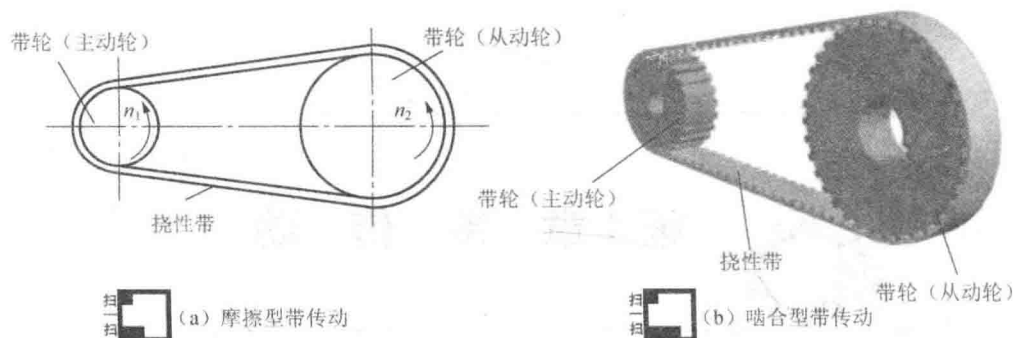


图 1-2 带传动的组成

传动带张紧在主动轮和从动轮上，使带与带轮接触面间产生正压力，主动轮转动时，依靠带与带轮接触面之间的摩擦力（或啮合力）来传递运动和动力。

2. 带传动的类型

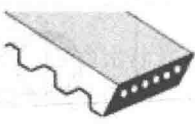
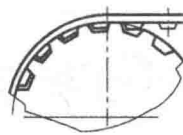
根据工作原理不同，带传动分为摩擦型带传动 [图 1-2 (a)] 和啮合型带传动 [图 1-2 (b)] 两种。带传动的类型及特点如表 1-1 所示。

表 1-1 带传动的类型及特点

类型	图例	简图	特点
摩擦型带传动	平带		截面形状为扁平矩形，内表面为工作面。结构简单，但传动比不准确
	V带		截面形状为梯形，两侧面为工作面。承载能力较大，约为平带的3倍，使用寿命长
	多楔带		截面形状为多楔形，多楔带的楔形侧面为工作面。传递功率大，传动效率较高且使用寿命长
	圆带		截面形状为圆形。抗拉强度较高，安装方便，使用寿命长



续表

类型	图例	简图	特点
啮合型带传动			依靠带内侧的横向齿与带轮啮合来传动。传动比准确，传动效率高

3. 带传动的传动比

带传动的传动比是主动轮的转速 n_1 与从动轮的转速 n_2 之比，用公式表示为

$$i_{12} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1}$$

式中， n_1 、 n_2 ——主动轮和从动轮的转速 (r/min)；

d_1 、 d_2 ——主动轮和从动轮的直径 (mm)。

4. 带传动的特点

- (1) 结构简单，使用维护方便，制造容易，成本低，适用于两轴中心距较大的场合。
- (2) 富有弹性，能缓冲、吸振，传动平稳，噪声低。
- (3) 过载时会产生打滑现象，可起到安全保护作用。
- (4) 不能保证准确的传动比，不适宜要求传动比准确的场合。
- (5) 不宜在高温、淋水的场合使用。

1.1.2 平带传动

1. 平带传动的传动形式及工作特点

平带传动是由平带和平带轮组成的摩擦传动，如图 1-3 所示。平带的横截面为扁平矩形，其工作面是与轮缘表面相接触的内表面，如图 1-4 所示。

平带传动的传动形式有开口式、交叉式和半交叉式 3 种，其工作特点如表 1-2 所示。

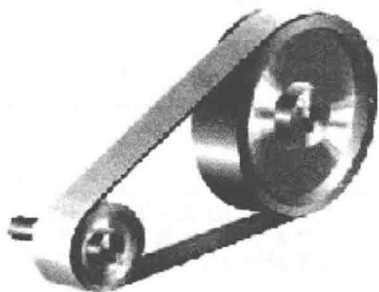


图 1-3 平带传动



图 1-4 平带的工作面



表 1-2 平带传动的形式及特点

传动形式	开口式传动	交叉式传动	半交叉式传动
简图			
图例			
工作特点	两轴平行, 转向相同, 可双向传动。带只单方向弯曲, 使用寿命长	两轴平行, 转向相反, 可双向传动。带受附加扭转力作用, 且在交叉处磨损严重	两轴交错, 只能单向传动。带受附加扭转力作用, 带轮要有足够的宽度

2. 平带的接头形式

按传动的要求不同, 平带应选择不同的接头形式。平带常见的接头形式及应用特点如表 1-3 所示。

表 1-3 平带常见的接头形式及应用特点

接头形式	简图	应用特点
黏结接头		接头平滑、可靠、连接强度高, 可用于高速、大功率及有张紧轮的传动
带扣接头		连接迅速方便, 但其端部结构被削弱, 运转中有冲击, 速度不能太高。一般用于线速度 $v < 20\text{m/s}$, 经常改接的中小功率的橡胶帆布平带传动中
螺栓接头		连接方便, 接头强度高, 只能单向传动, 传递功率大。一般用于线速度 $v < 10\text{m/s}$, 功率较大的橡胶帆布的平带传动



1.1.3 平带传动的主要参数

1. 传动比

平带传动的传动比计算公式同带传动的传动比。

通常平带传动的传动比 $i_{12} \leq 5$ 。

2. 带轮的包角

带轮的包角是指带与带轮接触面的弧长所对应的圆心角,如图 1-5 所示。包角越小,接触的弧长就越短,接触面之间所产生的摩擦力总和就越小,带能传递的功率就越小。由于大带轮的包角总是比小带轮的包角大,因此,只计算小带轮的包角是否符合要求即可。一般要求小带轮包角 $\alpha_1 \geq 150^\circ$ 。

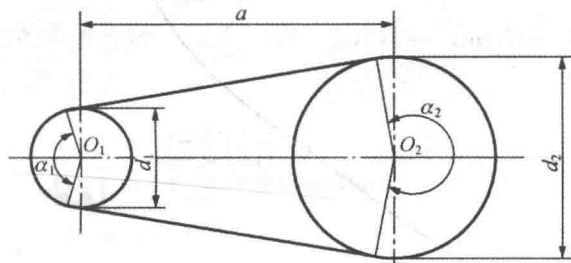


图 1-5 带轮的包角

3. 平带的几何长度

平带的几何长度是指根据图 1-5 计算出的长度,称为计算长度。采用不同传动形式时,带轮的包角和带长不尽相同,带轮的包角和带长的计算公式如表 1-4 所示。在实际使用中,带的长度还必须考虑带的悬垂量和带的接头量。

表 1-4 不同传动形式带轮包角和带长的计算公式

传动形式	开口传动	交叉传动	半交叉传动
小带轮包角 ($^\circ$)	$\alpha_1 = 180^\circ - \frac{d_2 - d_1}{a} \times 60^\circ$	$\alpha_1 = 180^\circ + \frac{d_1 + d_2}{a} \times 60^\circ$	$\alpha_1 = 180^\circ + \frac{d_1}{a} \times 60^\circ$
平带几何长度 (mm)	$L = 2a + \frac{\pi}{2}(d_1 + d_2) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4a}$	$L = 2a + \frac{\pi}{2}(d_1 + d_2) + \frac{(d_1 + d_2)^2}{4a}$	$L = 2a + \frac{\pi}{2}(d_1 + d_2) + \frac{d_1^2 + d_2^2}{2a}$

【例 1-1】 某带式输送机,工作中发现其上的平带由于变形、磨损、老化等原因已不能正常使用,需要更换。通过测量得到主动轴与从动轴之间的中心距 $a = 480\text{mm}$, 主动轮(小带轮)直径 $d_1 = 80\text{mm}$, 从动轮(大带轮)直径 $d_2 = 200\text{mm}$ 。试计算传动比和小带轮包角,并确定所需平带的几何长度。



解 (1) 计算传动比。

$$i_{12} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{200}{80} = 2.5$$

因为 $i_{12} < 5$ ，所以传动比合格。

(2) 计算小带轮包角。

$$\alpha_1 = 180^\circ - \frac{d_2 - d_1}{a} \times 60^\circ = 180^\circ - \frac{200 - 80}{480} \times 60^\circ \approx 165^\circ$$

因为 $\alpha_1 \approx 165^\circ > 150^\circ$ ，所以包角合格。

(3) 计算平带的长度。

$$\begin{aligned} L &= 2a + \frac{\pi}{2}(d_1 + d_2) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4a} \\ &= 2 \times 480 + \frac{\pi}{2}(80 + 200) + \frac{(200 - 80)^2}{4 \times 480} = 1407.1(\text{mm}) \end{aligned}$$

计算结果取整为 1407mm，再留取适当的接头量，截取平带的长度并连接后换上。

1.2 V 带传动

思考

在如图 1-6 所示的手扶拖拉机带传动机构中，采用 V 带传动将电动机的运动传递到主轴箱，通过箱内的传动系统实现主轴的旋转运动。实际生活中，V 带传动比平带传动应用更广泛，为什么呢？V 带传动有哪些特点呢？

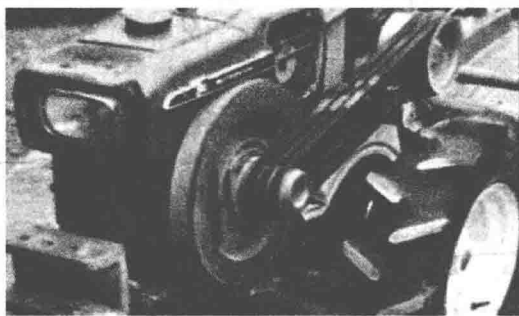


图 1-6 手扶拖拉机带传动机构

1.2.1 V 带传动概述

V 带传动一般是由一条或数条 V 带和 V 带轮组成的摩擦传动。图 1-6 所示的手扶拖拉机的带传动机构是由三根 V 带组成的。与平带传动相比较，V 带传动具有传动平



稳、噪声低、传动中不易产生振动、传递功率大等优点。

一般来说，V带传动主要用于传递功率小于等于100kW，带速为5~25m/s，要求传动平稳但传动比不严格的机械中。

1. 普通V带的结构、标准

V带制成没有接头的环形带，横截面为等腰梯形，工作面是两侧面，其横截面结构如图1-7所示，分别由包布、顶胶、抗拉体和底胶四部分组成。抗拉体是V带的主要承力层，按抗拉体的材质不同，V带的结构分为帘布芯结构和绳芯结构两种。帘布芯结构制造方便，抗拉强度高，价格低廉，应用广泛；绳芯结构柔韧性好，抗拉强度低，适用于转速较高的场合。

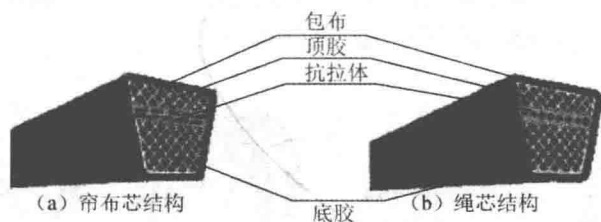


图 1-7 V带横截面的结构

V带有多种类型，常用的有普通V带、窄V带、宽V带等，它们的楔角（V带两侧边的夹角 α ）均为 40° 。其中普通V带应用最广泛。对于楔角为 40° ，相对高度 (h/b_p) 为0.7的V带称为普通V带，其横截面尺寸如图1-8所示。

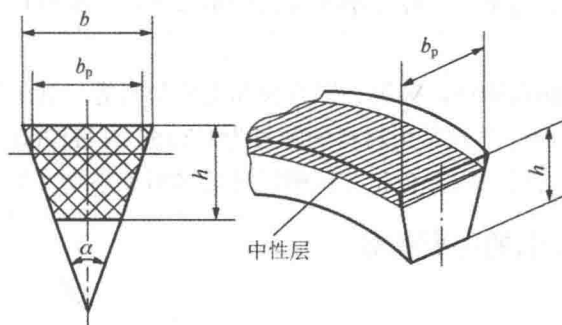


图 1-8 普通V带横截面尺寸

图1-8中，顶宽 b 为V带横截面中梯形轮廓的最大宽度；节宽 b_p 为V带绕带轮弯曲时，其长度和宽度均保持不变的面层称为中性层，中性层的宽度称为节宽；高度 h 为梯形轮廓的高度；相对高度 h/b_p 为带的高度与其节宽之比。

普通V带已经标准化，按横截面尺寸由小到大分为Y、Z、A、B、C、D、E 7种型号，其横截面尺寸如表1-5所示。在相同条件下，横截面尺寸越大，能够传递的功率越大。