

第三讲

第八章：带传动（一）

带传动的工作原理、类型和应用；

带传动的工作情况分析；

V带的型号、结构；

带传动的失效形式及设计准则

（教材页数：143-151）



第八章 带传动

8.1 前言

8.2 带传动概述

8.3 普通V带的类型和结构

8.4 带传动的工作情况分析

8.1 前言

原动机：机械设备完成其工作任务的动力来源；
例如各类电动机、柴油机、气缸、液压缸等

传动装置：将原动机的运动和动力传递给工作机
例如带传动、链传动、齿轮传动、螺旋传动、蜗轮蜗杆传动等

控制装置：根据机械系统的不同工况对原动机、传动装置和工作机实施控制的装置；例如电控、机械控制等

工作机：完成生产任务的执行装置；例如铲斗、输送带等

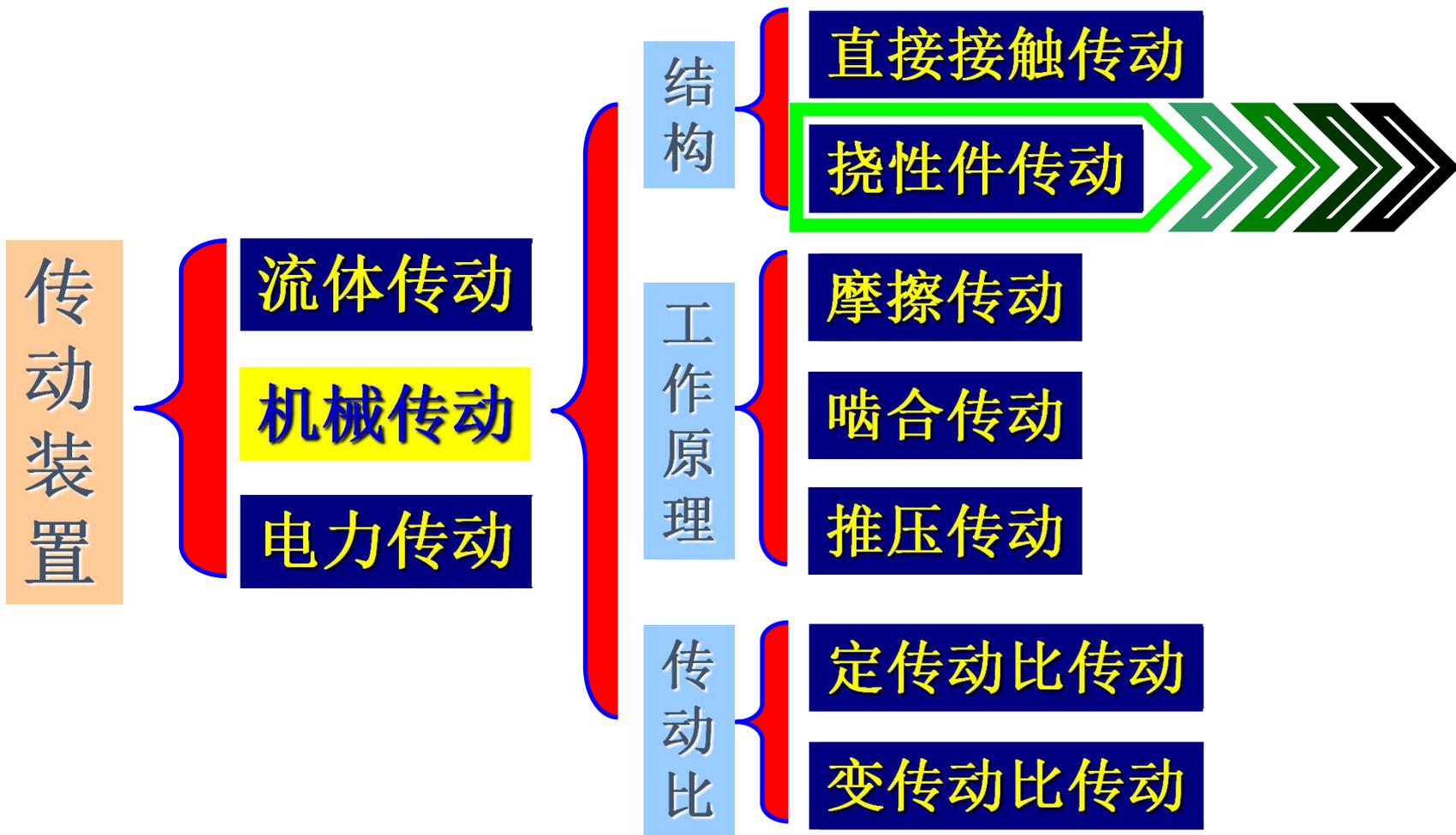
辅助装置：机架、润滑、照明、排污、通风等

一般
机械
设备



传动装置的功用

- 1. 减速或增速** 将工作机的输出速度减小或增加至工作机所需的速度，如减速箱；
- 2. 调速** 对工作机所需的不同转速范围对原动机输出速度进行调整，如变速箱；
- 3. 改变运动形式** 将原动机输出的运动形式（如回转）变为工作机所需的运动形式，如螺旋传动；
- 4. 增大转矩** 将原动机输出转矩提高至工作机所需的工作转矩以满足动力需求；
- 5. 传递和分配动力和运动** 将原动机输出的动力和运动输出至多个工作以满足其不同需求，如机床；



挠性件传动

在主动轮和从动轮之间存在一个挠性件，靠轮与挠性件的摩擦或啮合，将主动轴上的运动和动力传递到从动轴上。

分类

主要包括带传动、链传动和绳传动。

特点

- 1、靠摩擦或啮合传动，
- 2、能够传递运动或动力，
- 3、结构简单，
- 4、两轴间的中心距较大。



8.2 带传动概述

8.2.1 带传动的分类

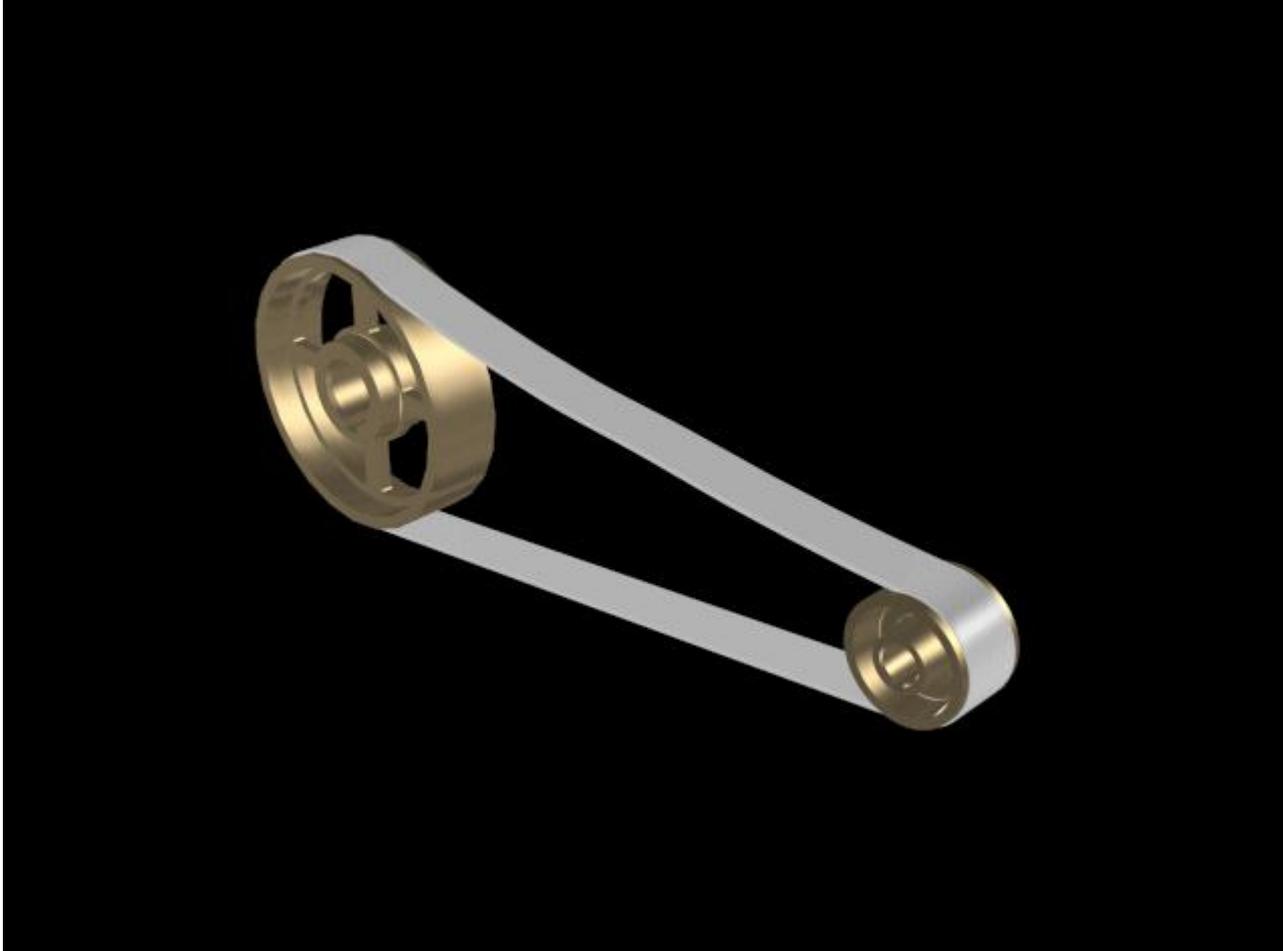
带传动应用广泛，带传动分类按传动原理：

摩擦型：靠带和带轮间的摩擦力，（平带、V带）

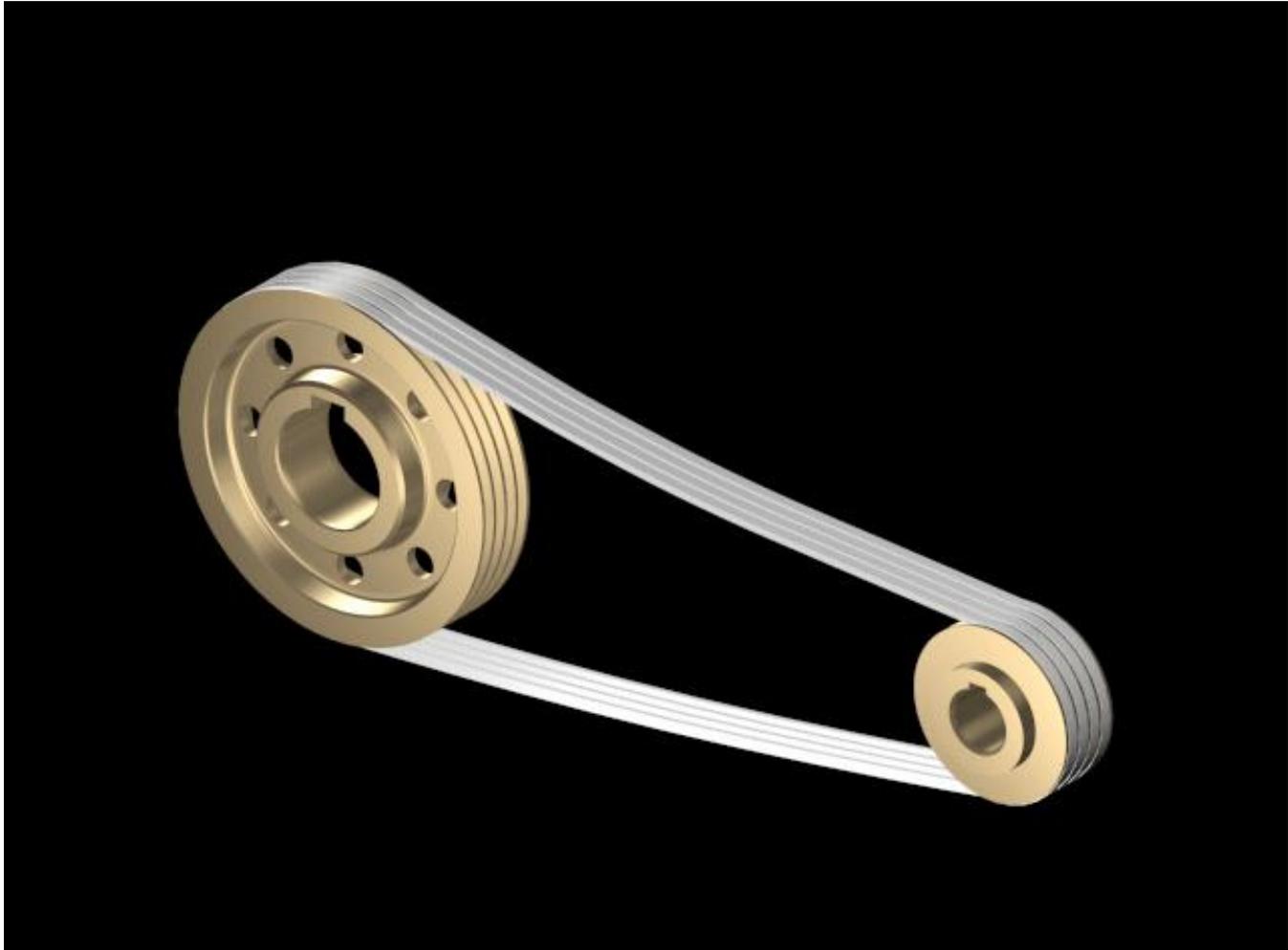
啮合型：靠带齿与轮齿的啮合，（同步带）



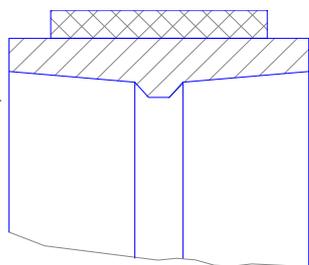
平带



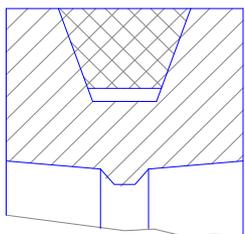
V帶



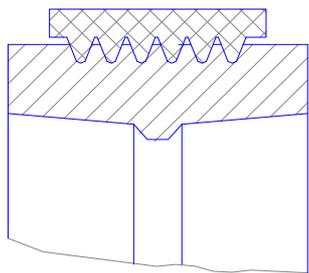
带传动的类型



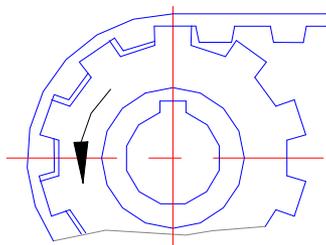
平带传动，结构简单，带轮也容易制造，在传动中心距较大的场合应用较多。



V带传动，应用最广的传动带，V带又可分为普通V带、窄V带、联组V带等。



多楔带传动 兼有平带传动和V带传动的优点，柔性好、摩擦力大，主要用于传递大功率而结构要求紧凑的场合。



同步带传动是一种啮合传动，具有的优点是：无滑动，能保证固定的传动比；带的柔韧性好，所用带轮直径可较小。

摩擦型传动带按截面形状可分为平带、V带（普通V带、窄V带、联组V带）和特殊带（多楔带）

比较平带与V带的摩擦力

平带: $F_f = fN = fQ$

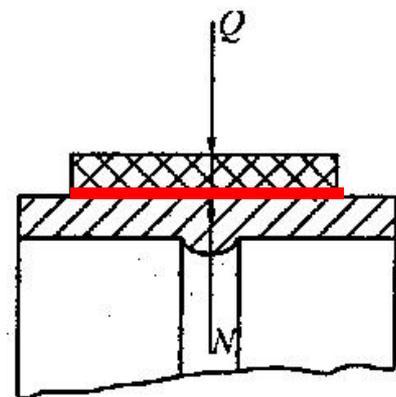
V带: $F_f = 2fN = \frac{f}{\sin \frac{\varphi_0}{2}} Q = f'Q$

式中: φ_0 —V带轮之间的轮槽角

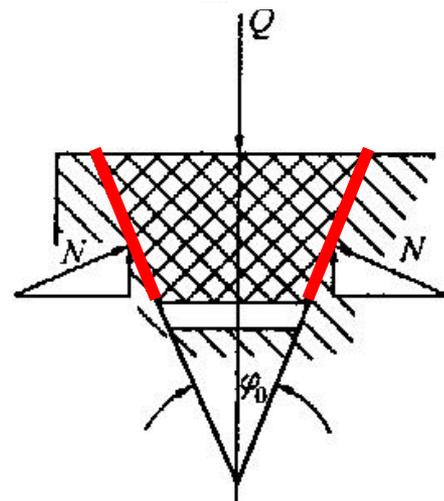
f —带与带轮之间的摩擦系数

f' —V带轮当量摩擦系数 $f' = \frac{f}{\sin \frac{\varphi_0}{2}}$

显然, f' 大于 f $\rightarrow N \uparrow F_f \uparrow$



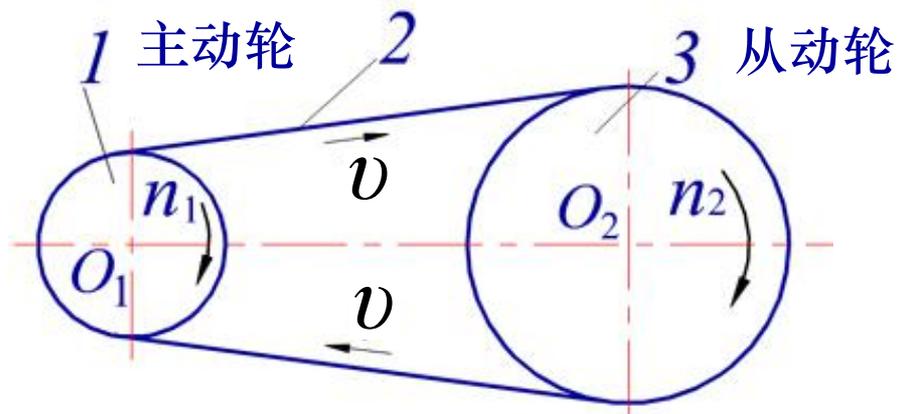
工作面为内圆周面



工作面为两侧面

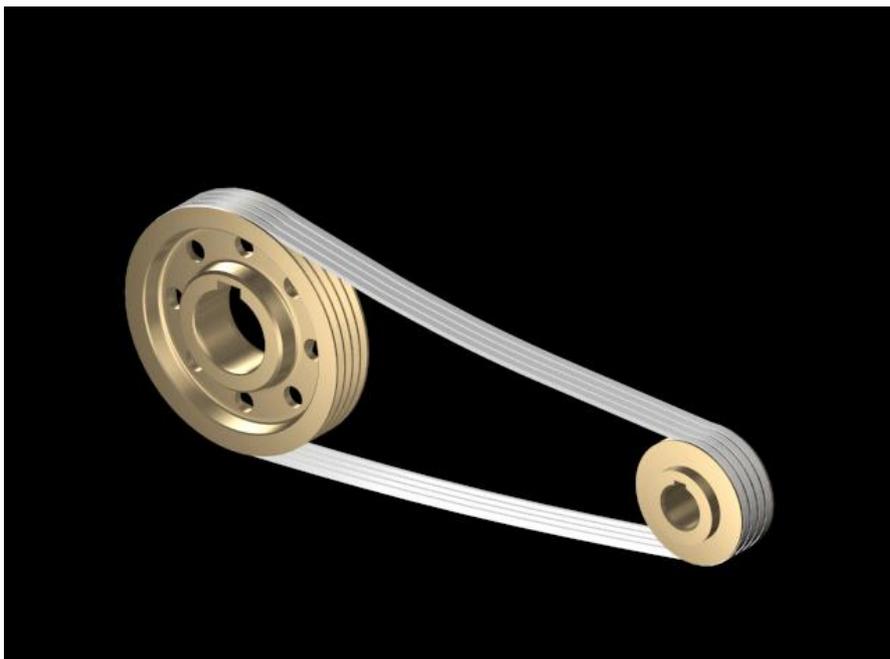
8.2.2 带传动的组成

- 1、主动轮
- 2、从动轮
- 3、传送带



8.2.3 摩擦型带传动的工作原理

靠带和带轮间的**摩擦力**传递运动和动力。



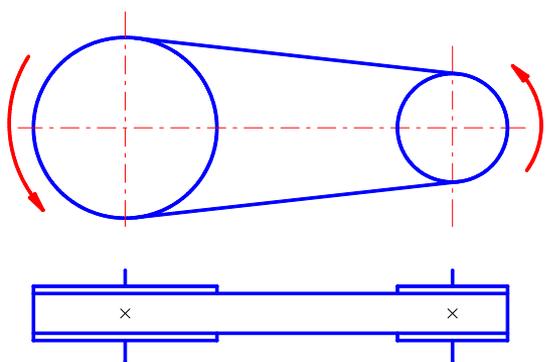
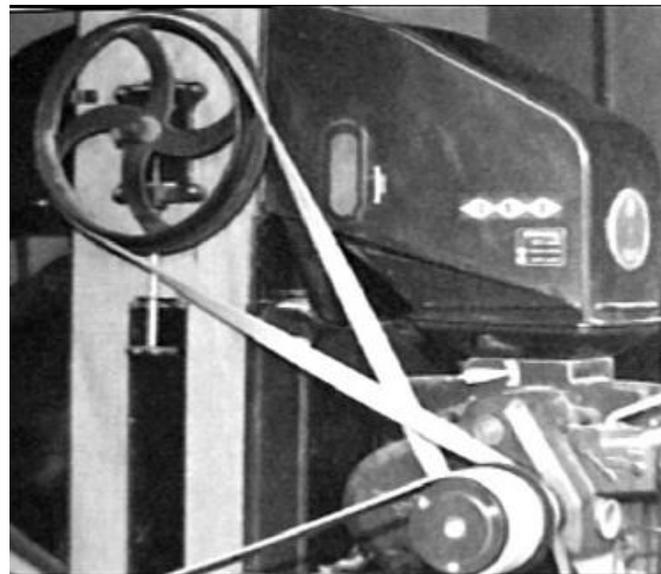
8.2.4 带传动的工作特点

- 传动带具有挠性和弹性，可吸收振动和缓和冲击，使传动平稳、噪音小。
- 当过载时，传动带与带轮之间可发生相对滑动而不损伤其它零件，过载保护。 $v=5\sim 25\text{m/s}$ $i_{\text{平}}\leq 5, i_{\text{v}}\leq 7$
- 适合于主、从动轴间中心距较大的传动。
- 由于有弹性滑动的存在，**不能保证精确的传动比。**
- 由于需要施加张紧力，所以会产生较大的压轴力，使轴和轴承受力较大。
- 摩擦易产生静电，不适于高温、易燃、易爆场合。

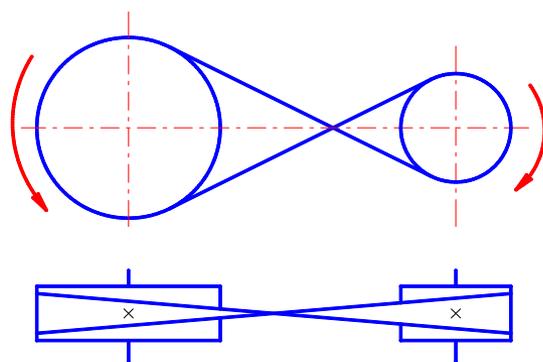
多级传动中，带布置在高速级或低速级？

8.2.5 传动型式

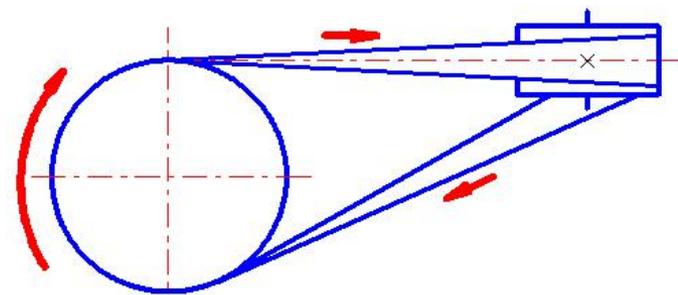
- 开口传动：两轴平行， ω_1 、 ω_2 同向。
- 交叉传动：两轴平行， ω_1 、 ω_2 反向。
- 半交叉传动：两轴交错，不能逆转。



开口传动



交叉传动



半交叉传动

8.2.6 带传动的应用



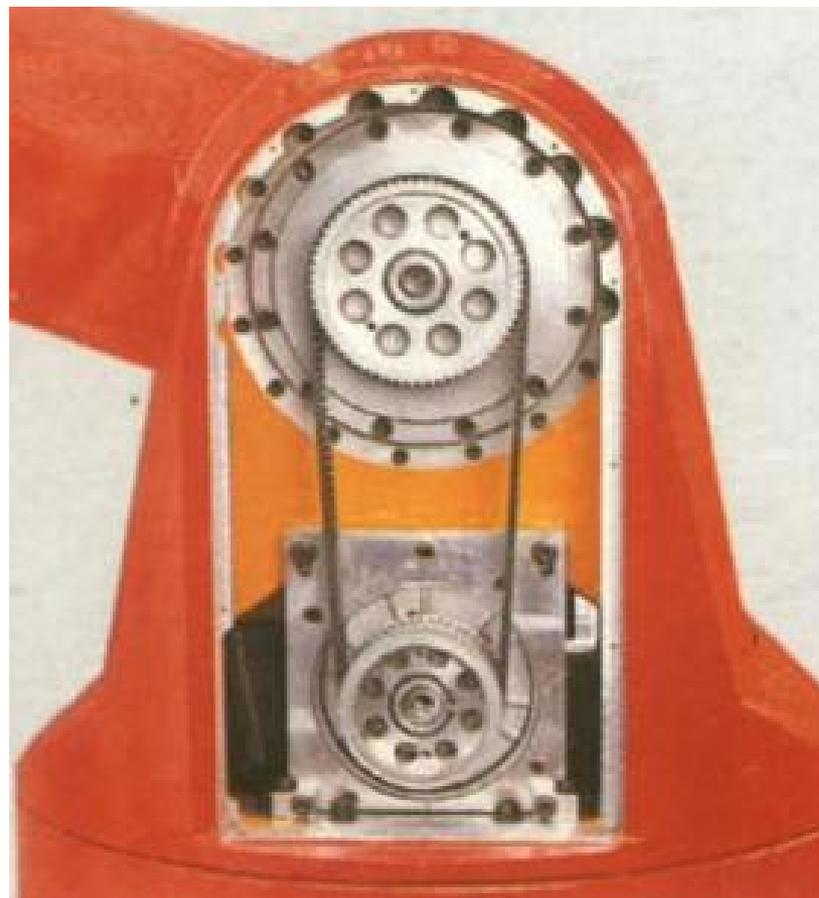
汽车发动机（同步带、多楔带）



拖拉机(普通V带)



大理石切割机(平带)



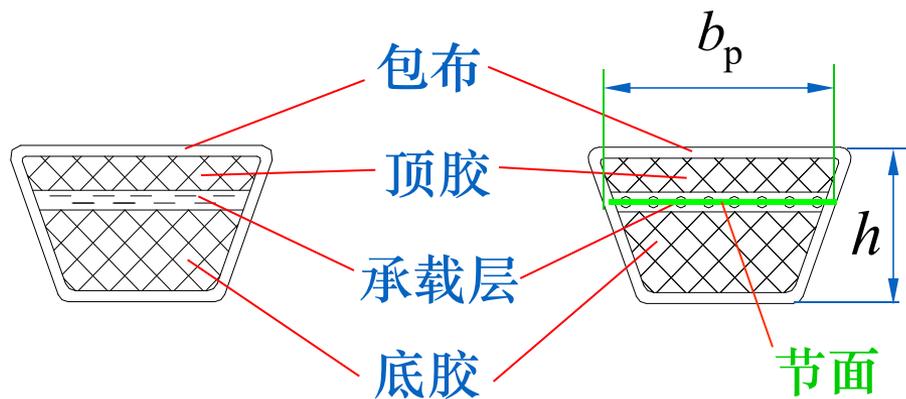
机器人关节（同步带）



8.3 普通V带的类型和结构

8.3.1 普通V带 ($h / b_p \approx 0.7$) 的结构

对V带的结构要求是曲挠性好、横向刚度大、承载能力高、寿命长。



普通V带已经标准化，是无接头的环形带。

8.3.2 普通V带的型号和基本尺寸

截面尺寸

带宽 b

节宽 b_p

带截面高度 h

节面到顶面高度 h_a

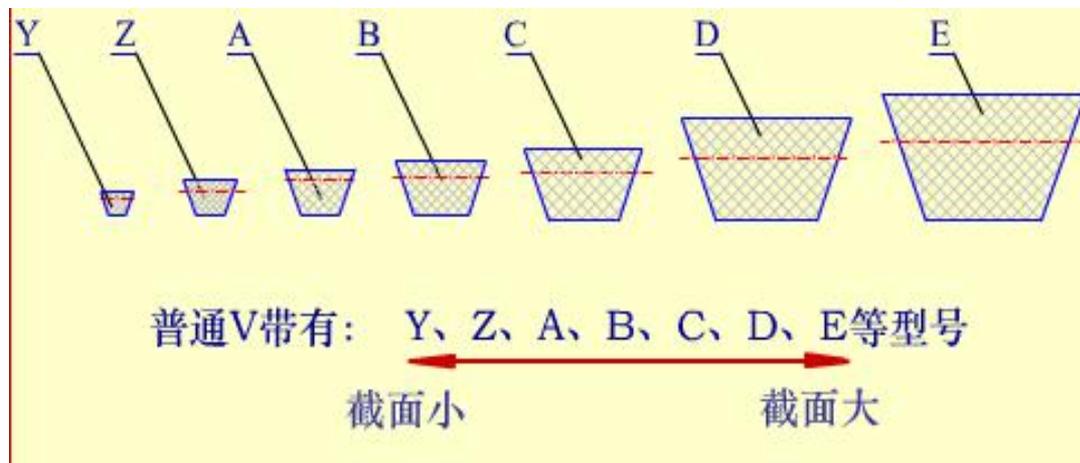


表 7.1 普通 V 带截面基本尺寸

	带型	Y	Z	A	B	C	D	E
	b/mm	6.0	10	13	17	22	32	38
	b_p/mm	5.3	8.5	11	14	19	27	32
	h/mm	4.0	6	8	11	14	19	25
	h_a/mm	0.96	2.01	2.75	4.12	4.8	6.87	8.24
	ϕ	40°						
$m/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-1})$	0.02	0.06	0.1	0.17	0.3	0.6	0.9	

8.3.3 基本定义

节线与节面：

V带在作纵向弯曲时，在带中保持不变的周线称为V带的节线，由节线组成的面称为节面。

节宽：

带的节面宽度称为节宽 b_p 。

带的基准长度：

在规定的张紧力下，V带位于两测量带轮基准直径上的周线长度称为带的基准长度 L_d 。

带轮基准直径：

V带轮在轮槽基准宽度处的直径称为V带轮的基准直径 d_d 。

普通 V 带基准长度 L_d 及长度系数 K_L

基准长度 L_d/mm	带 型						
	Y	Z	A	B	C	D	E
	K_L						
200	0.81						
224	0.82						
250	0.84						
280	0.87						
315	0.90						
355	0.92						
400	0.96	0.87					
450	1.00	0.89					
500	1.02	0.91					
560		0.94					
630		0.96	0.81				
710		0.99	0.83				
800		1.00	0.85	0.82			
900		1.03	0.87	0.84	0.83		
1 000		1.06	0.89	0.86	0.86	0.83	
1 120		1.08	0.91	0.88	0.88	0.86	
1 250		1.10	0.93	0.90	0.91	0.89	
1 400		1.14	0.96	0.92	0.93	0.91	

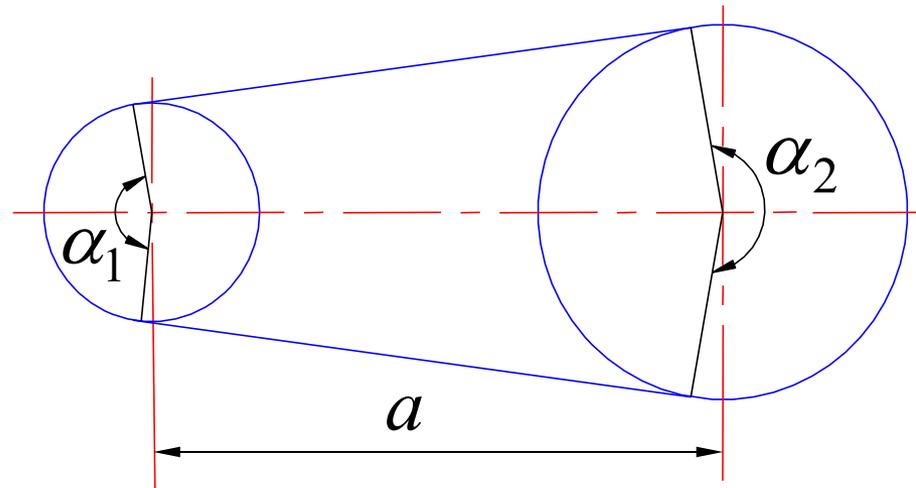


8-4 带传动的工作情况分析

8.4.1 两个名词

1 包角 α_1 , α_2

2 中心距 a



8.4.2 工作情况分析

尚未工作时

带两边所受拉力均为初拉力 F_0

工作时

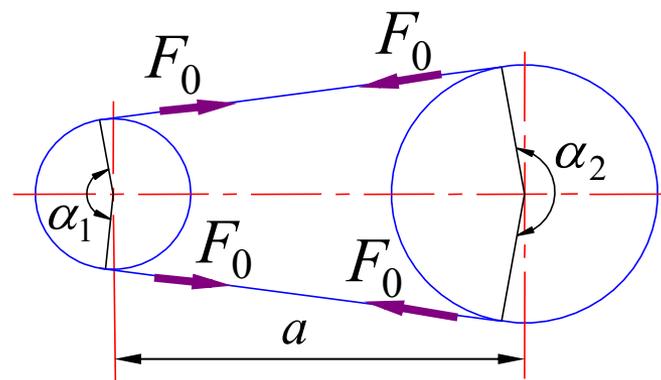
主动轮受驱动力矩 T_1

当主动轮转动时，在摩擦力作用下带绕入主动轮一边被进一步拉紧，**紧边**。

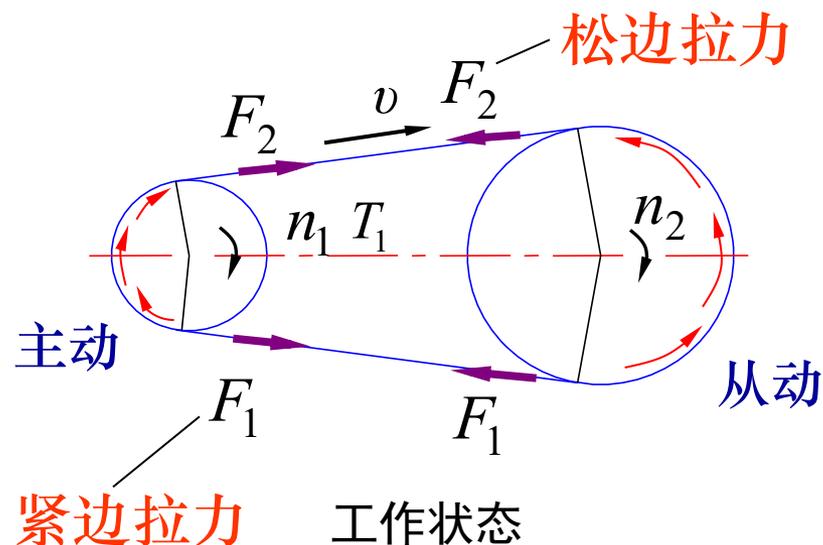
带的另一边被放松，**松边**。

紧边 $F_0 \longrightarrow F_1$

松边 $F_0 \longrightarrow F_2$



尚未工作状态



紧边拉力

工作状态

8.4.3 受力分析

1 总摩擦力 F_f

取主动轮一端的带为分离体，作用于带上的总摩擦力为 F_f ，所有力对O点的矩平衡：

$$\Sigma M=0 \longrightarrow F_f \cdot \frac{d_1}{2} + F_2 \cdot \frac{d_1}{2} - F_1 \cdot \frac{d_1}{2} = 0 \longrightarrow \boxed{F_f = F_1 - F_2}$$

2 有效拉力 F

带传递的有效拉力 F 是带的紧边和松边拉力之差

$$\boxed{F = F_1 - F_2}$$

有效拉力 F 是由带与带轮接触弧上摩擦力提供的。

有效拉力 F (N) 的大小取决于所传递的功率 P (kW) 。

$$F = \frac{1000 P}{v}$$

3 紧边、松边拉力与初拉力的关系

假设带在工作前后总长度不变，则由变形协调条件得，紧边的伸长增量等于松边的伸长减量，即紧边的拉力增量等于松边的拉力减量：

$$F_1 - F_0 = F_0 - F_2$$

$$2F_0 = F_1 + F_2$$

4 紧边和松边拉力关系

带在带轮上即将打滑而尚未打滑的临界状态时可用欧拉公式描述：

$$F_1 = F_2 e^{f\alpha_1}$$

F_1 —紧边拉力

F_2 —松边拉力

e —自然对数的底 ($e=2.718\dots$)

f —摩擦系数 (对V带用当量值)

α_1 —带在小带轮上的包角, rad

5 最大有效拉力

从上面的公式联立可得传动带所能传递的最大有效拉力 F_{max}

$$F_{\max} = 2F_0 \frac{1 - \frac{1}{e^{f\alpha_1}}}{1 + \frac{1}{e^{f\alpha_1}}}$$

结论

- ① 初拉力 $F_0 \uparrow$ ，则 $F_{\max} \uparrow$
- ② 包角 $\alpha_1 \uparrow$ ，则 $F_{\max} \uparrow$
- ③ 摩擦系数 $f \uparrow$ ，则 $F_{\max} \uparrow$



8.4.4 带的应力分析

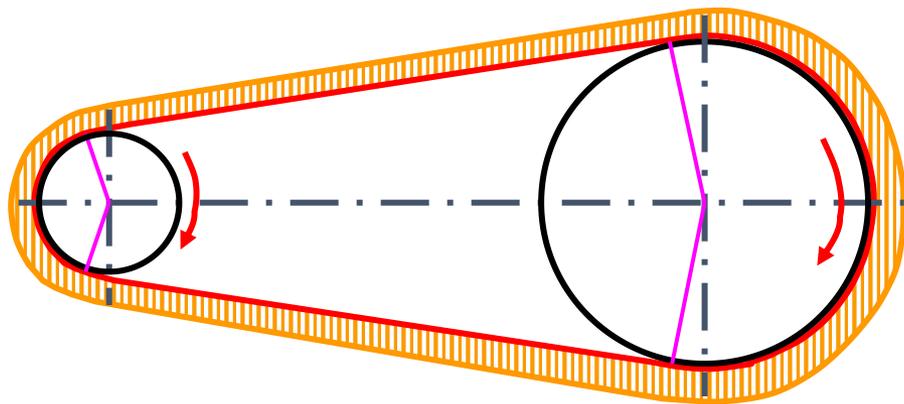
1. 由离心力产生的应力及其位置（离心拉应力）

传动带在工作时不仅有拉力产生的应力，还有离心力和弯曲分别产生的应力。

带绕带轮作圆周运动必然产生离心力，为了平衡离心力将在带内引起离心拉力及相应拉应力

$$F_c = m v^2$$

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A} = \frac{m v^2}{A}$$



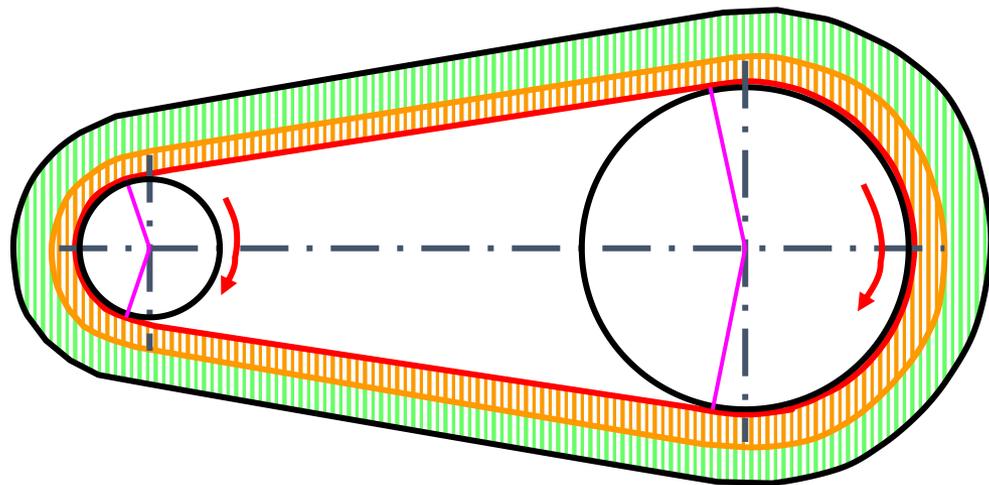
m —— 带每米长度的质量，kg/m

离心力引起的应力作用在带的全长上，且各处大小相等

2. 由紧边和松边拉力产生的应力及其位置（拉应力）

紧边拉应力 $\sigma_1 = \frac{F_1}{A}$

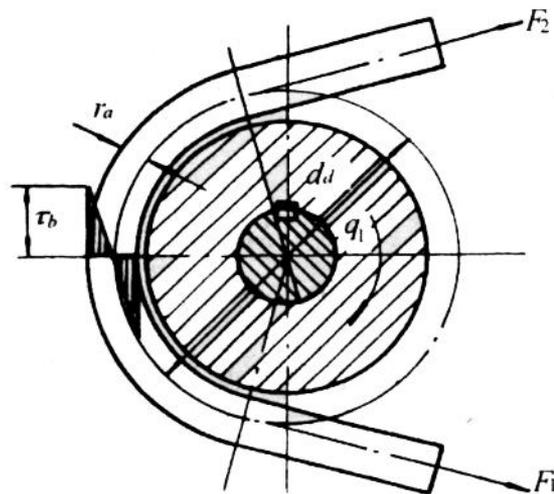
松边拉应力 $\sigma_2 = \frac{F_2}{A}$



从前面可知 F_1 大于 F_2 ，截面面积相同的条件下 σ_1 大于 σ_2 。
那么带绕过主动轮时拉力产生的应力由 σ_1 逐渐将为 σ_2 ，
绕过从动轮时又由 σ_2 逐渐增大到 σ_1 。

3. 由带弯曲产生的应力（弯曲应力）

$$\sigma_b \approx \frac{Eh}{d_d}$$



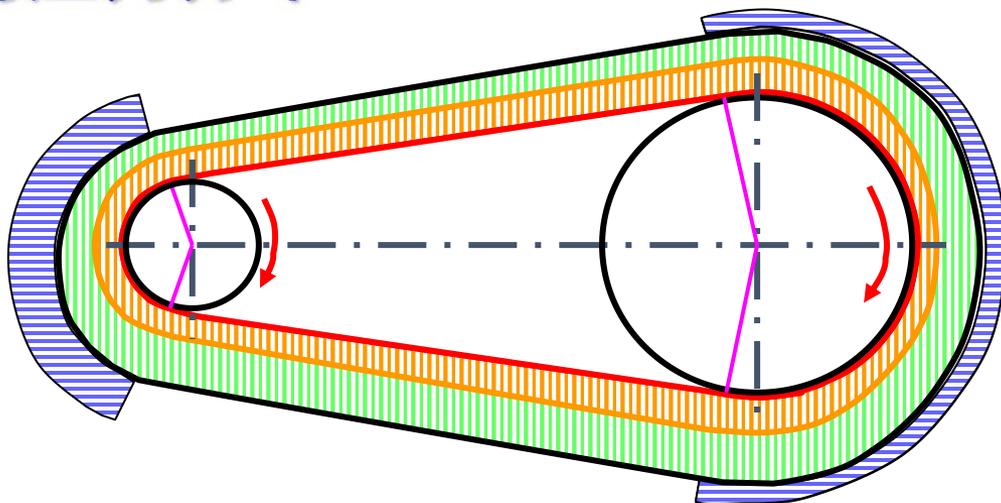
式中： d_d ——带轮基准直径， mm

E ——带的弯曲弹性模量， MPa

h ——带的厚度， mm

由公式可见，带轮直径越小，带越厚，弯曲应力越大。

4 带中的应力分布



带受变应力作用，会产生“疲劳破坏”——带传动的失效形式之一
最大应力出现在由紧边进入小带轮处的位置

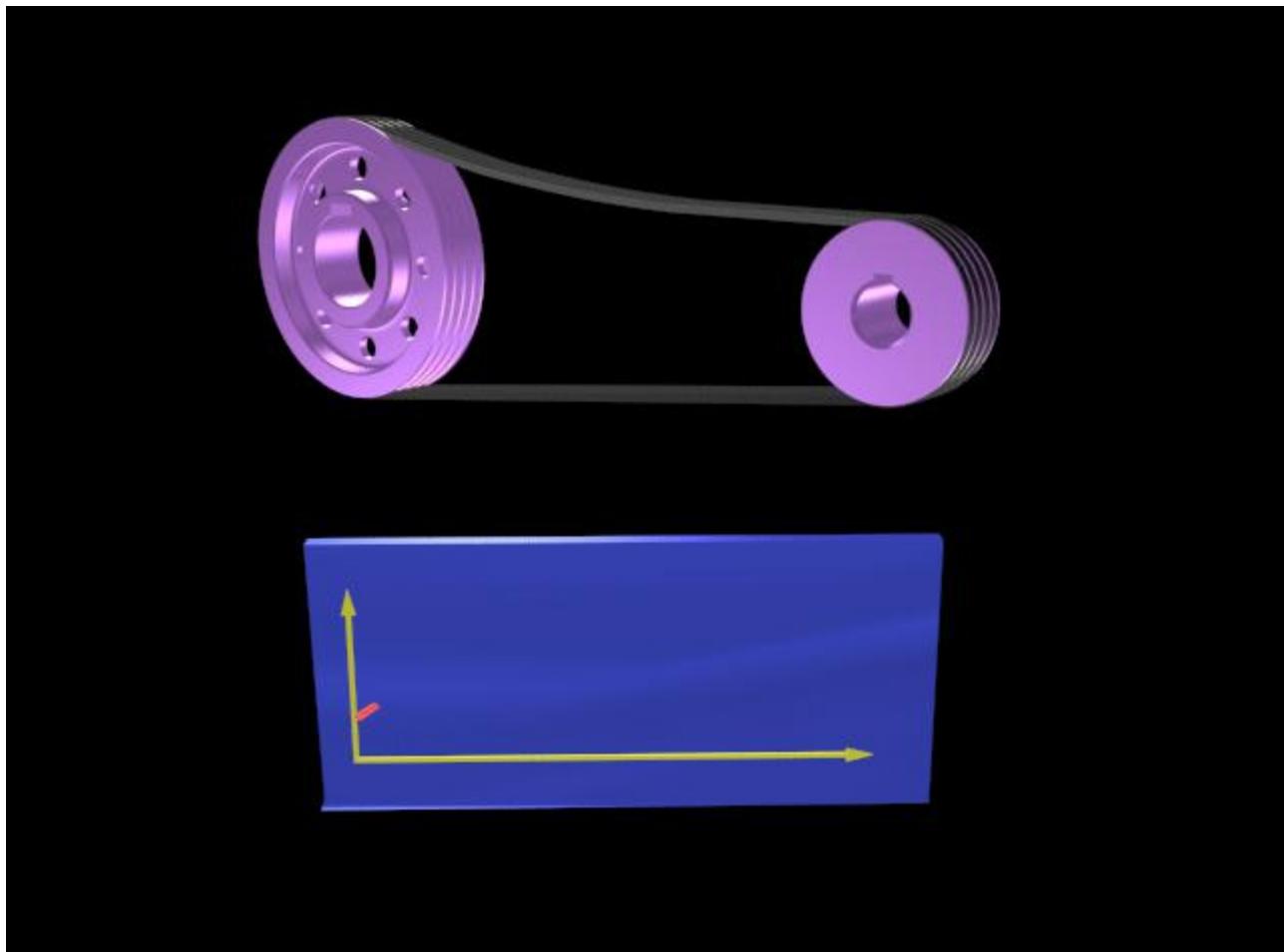
带的疲劳强度条件：

$$\sigma_{\max} = \sigma_1 + \sigma_c + \sigma_{b1} \leq [\sigma]$$

小轮上的弯曲应力
许用应力

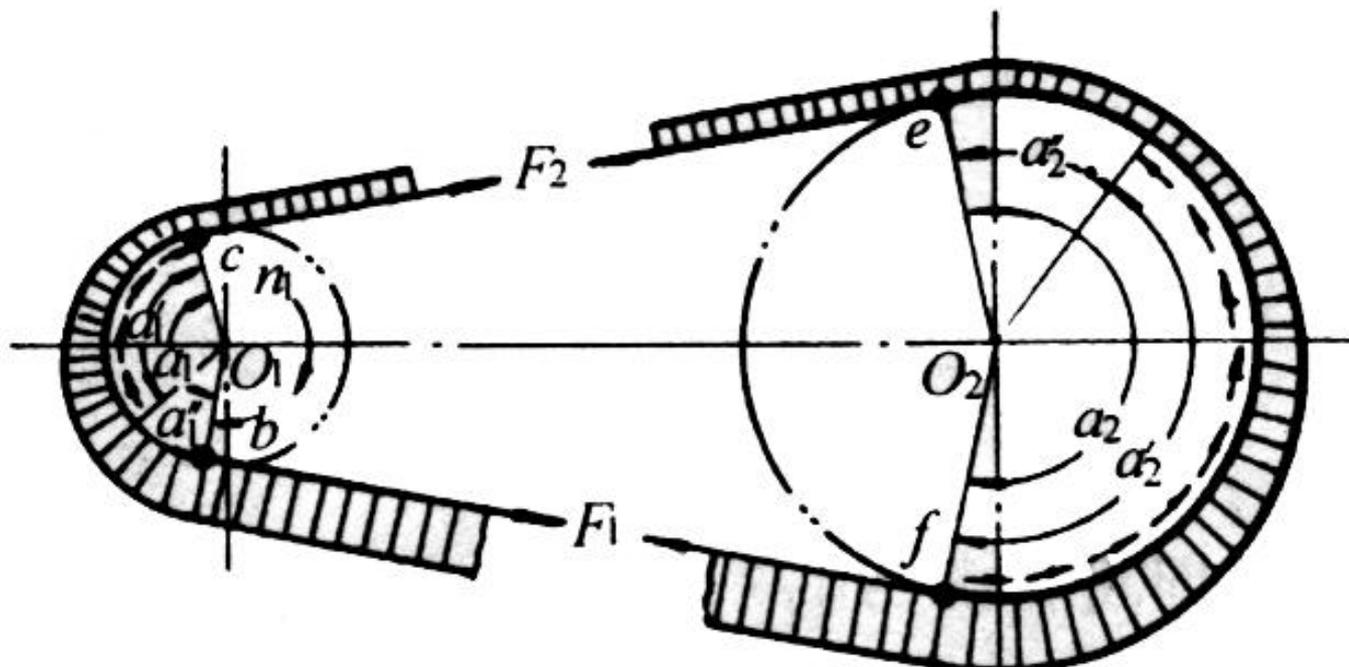
一般情况下，弯曲应力最大，离心应力较小。但离心力随带速的增加而增加。

动画演示



传动带承受**交变应力**，主要失效形式之一是**疲劳断裂**

8.4.4 带传动的弹性滑动和打滑现象



带为弹性，受力伸长

带的紧边伸长量大于松边伸长量

当带的紧边在b点进入主动轮时，带和轮线速度相等，均为 V_1 ，当由b到c过程中， F_1 减为 F_2 ，带的伸长量减少，带相对带轮向后缩了一点，使带速逐渐落后带轮速度，而主动带轮各点速度不变，到c点后带速降为 V_2 ，带和带轮的速度差导致一种相对滑动。

弹性滑动

- 1) **弹性滑动定义**：由于带的弹性变形而引起的带与带轮之间的相对滑动现象称为**弹性滑动**。
- 2) **弹性滑动特点**：弹性滑动是带传动中不可避免的现象，是正常工作时固有的特性。
- 3) **弹性滑动会引起下列后果**：
 - (1) 从动轮的圆周速度总是**落后**于主动轮的圆周速度，并随载荷变化而变化，导致此传动的传动比不准确；
 - (2) 损失一部分能量，**降低了传动效率**，会使带的温度升高；并引起传动带磨损。

弹性滑动

4) **滑动率定义**：由于弹性滑动引起从动轮圆周速度低于主动轮圆周速度，其相对降低率通常称为带传动滑动系数或滑动率

$$\varepsilon = \frac{v_1 - v_2}{v_1} = \frac{\pi d_{d1} n_1 - \pi d_{d2} n_2}{\pi d_{d1} n_1} = \frac{n_1 - i n_2}{n_1}$$

通常 $\varepsilon = (1 \sim 2)\%$

计入弹性滑动时从动轮转速与主动轮转速的关系为：

$$n_2 = (1 - \varepsilon) \frac{d_{d1}}{d_{d2}} n_1$$



打滑

1) 打滑定义:

若传递的基本载荷超过最大有效圆周力, 带在带轮上发生显著的相对滑动即打滑。

2) 打滑位置:

带在大轮上的包角大于小轮上的包角, 所以打滑总是在小轮上先开始的。

3) 打滑后果:

造成带的严重磨损并使带的运动处于不稳定状态。

4) 避免打滑:

打滑是由于过载引起的, 避免过载就可避免打滑。



五、带传动的失效形式和设计准则

- 1 带传动的失效形式：打滑和疲劳破坏
- 2 带传动的设计准则：在保证带工作时不打滑的下具有一定的疲劳强度和寿命

$$\sigma_{\max} = \sigma_1 + \sigma_{b1} + \sigma_c \leq [\sigma]$$

$[\sigma]$ --在一定条件下，由带的疲劳强度决定的许用拉应力



当 $\sigma_{\max} = [\sigma]$ 带传动将发挥最大效能

$$\sigma_1 = [\sigma] - \sigma_{b1} - \sigma_c$$

在即将打滑的临界状态下，带传动的最大有效圆周力

$$F_{\max} = F_1 \left(1 - \frac{1}{e^{f\alpha_1}}\right) = \sigma_1 A \left(1 - \frac{1}{e^{f\alpha_1}}\right) \quad \text{N}$$

$$P = \frac{F_{\max} \cdot v}{1000} \quad \text{kW}$$

带既不打滑又有一定疲劳强度时所能传递的功率

$$P_0 = ([\sigma] - \sigma_{b1} - \sigma_c) \left(1 - \frac{1}{e^{f\alpha_1}}\right) \frac{Av}{1000} \quad \text{kW}$$

带传动的功率

带传动的承载能力取决于传动带的材质、结构、长度、以及转速、包角和载荷特性等因素。其实验条件为：

载荷平稳

包角 ($i=1$) $\alpha_1 = \pi$

带长 L_d 为特定长度

强力层为化学纤维

查表基本额定功率 P_0

当条件变化时: $i \neq 1$

功率增量:

$$\Delta P_0 = K_b n_1 \left(1 - \frac{1}{K_i}\right)$$

K_b - 弯曲影响系数, 与带型有关

K_i - 传动比系数

在上述条件下单根V带所能传递的功率为 $P_0 + \Delta P_0$ 。

普通 V 带基本额定功率 P_0 KW

带型	d_{d1}	n_1 (r/min)																	寿命: $10^7 \sim 10^8$ 次	
		100	200	400	700	800	950	1 200	1 450	1 600	2 000	2 400	2 800	3 200	3 600	4 000	4 500	5 000	5 500	6 000
Y	20						0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10
	28					0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15
	35.5				0.04	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.11	0.12	0.13	0.14	0.16	0.18	0.19	0.20
	40				0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.11	0.12	0.14	0.15	0.16	0.18	0.19	0.20	0.22	0.24
Z	50		0.04	0.06	0.09	0.10	0.12	0.14	0.16	0.17	0.20	0.22	0.26	0.28	0.30	0.32	0.33	0.34	0.33	0.31
	63		0.05	0.08	0.13	0.15	0.18	0.22	0.25	0.27	0.32	0.37	0.41	0.45	0.47	0.49	0.50	0.50	0.49	0.48
	71		0.06	0.09	0.17	0.20	0.23	0.27	0.30	0.33	0.39	0.46	0.50	0.54	0.58	0.61	0.62	0.62	0.61	0.56
	80		0.10	0.14	0.20	0.22	0.26	0.30	0.35	0.39	0.44	0.50	0.56	0.61	0.64	0.67	0.67	0.66	0.64	0.61
A	75		0.15	0.26	0.40	0.45	0.51	0.60	0.68	0.73	0.84	0.92	1.00	1.04	1.08	1.09	1.07	1.02	0.96	0.80
	90		0.22	0.39	0.61	0.68	0.77	0.93	1.07	1.15	1.34	1.50	1.64	1.73	1.83	1.87	1.88	1.82	1.70	1.50
	100		0.26	0.47	0.74	0.83	0.95	1.14	1.32	1.42	1.68	1.87	2.05	2.19	2.28	2.34	2.33	2.25	2.07	1.80
	125		0.37	0.67	1.07	1.19	1.37	1.66	1.92	2.07	2.44	2.74	2098	3.16	3.26	3.28	3.17	2.91	2.48	1.37
B	125		0.48	0.84	1.30	1.44	1.64	1.93	2.19	2.33	2.64	2.85	2.96	2.94	2.80	2.51	1.93	1.09		
	140		0.59	1.05	1.64	1.82	2.8	2.47	2.82	3.00	3.42	3.70	3.85	3.83	3.63	3.24	2.45	1.29		
	160		0.74	1.32	2.09	2.32	2.66	3.17	3.62	3.86	4.40	4.75	4.89	4.48	4.46	3.82	2.59	0.81		
	180		0.88	1.59	2.53	2.81	3.22	3.85	4.39	4.68	5.30	5.67	5.76	5.52	4.92	3.92	2.04			
C	200		1.39	2.41	3.69	4.07	4.58	5.29	5.84	6.07	6.34	6.02	5.01							
	250		2.03	3.62	5.64	6.23	7.04	8.21	9.04	9.38	9.62	8.75	6.56							
	315		2.84	5.14	8.09	8.92	10.05	11.53	12.46	12.72	12.14	9.43	4.16							
	400		3.91	7.06	11.02	12.10	13.48	15.04	15.53	15.24	11.95	4.34								
D	355	3.01	5.31	9.24	13.70	14.83	16.15	17.25	16.77	15.63										
	400	3.66	6.52	11.45	17.07	18.46	20.06	21.20	20.15	18.31										
	450	4.37	7.90	13.85	20.63	22.25	24.01	24.84	22.02	19.59										
	500	5.08	9.21	16.20	23.99	25.76	27.50	26.71	26.54	18.83										
E	500	6.21	10.86	18.55	26.21	27.57	28.32	25.53	16.82											
	560	7.32	13.09	22.49	31.59	33.03	33.40	28.49	5.35											
	630	8.75	15.65	26.95	37.26	38.52	37.92	29.17	8.85											
	710	10.31	18.52	31.83	42.87	43.52	41.02	25.91												

