

普通三角胶带传动的优化设计

楼文高

(上海水产大学, 200090)

摘 要 本文叙述用 CAD 技术设计普通三角胶带传动的基础上,应用优化技术,对普通三角胶带传动按承载能力最大进行优化设计,以确定胶带型号、胶带标准长度、根数、带轮中心距等参数。实例设计表明,本方法具有较好的实用价值。

关键词 三角胶带,优化设计,承载能力,计算机辅助设计(CAD)

普通三角胶带(简称 V 带)具有吸震性好、传动平稳、结构紧凑等优点,广泛应用于食品加工、矿山、渔用机械传动中。另一方面,由于 V 带设计涉及较多的数表和线图,手工设计既繁琐又易出错,为此,作者利用 CAD 技术,对涉及的数表和线图实现程序化,使设计周期大大缩短,提高其设计效率。另外,为充分发挥胶带的传动能力,尽可能减少 V 带根数,降低成本,本文再利用优化技术,以 V 带传动能力最大为目标函数,优化 V 带传动主要设计参数——小带轮直径 D_1 , V 带标准长度 L_d 及小带轮包角 α_1 。

1 V 带传动的设计计算

1.1 设计准则

V 带传动的失效形式为打滑和疲劳破坏,因此,V 带传动的设计准则为在不打滑的前提下具有一定的疲劳强度,其条件为:

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma] \quad (1)$$

其中, σ_{\max} ——V 带上的最大应用(MPa);

$[\sigma]$ ——V 带最大许用应力(MPa)。

经推导,单根 V 带所能传递的功率(额定功率, RW)可表示为:

$$P_o = K_o(P_1 + \Delta P_1 + \Delta P_2) \quad (2)$$

其中, $K_o = 1.25(1 - 5^{-\alpha_1/\pi})$;

$$P_1 = D_1 \omega_1 [C_1 - C_2/D_1 - C_3(D_1 \omega_1)^2 - C_4 \lg(D_1 \omega_1)];$$

$$\Delta P_1 = C_4 D_1 \omega_1 \lg \{2/[1 + 10 C_5 D_1^{C_6} (\frac{1}{D_1})^{C_7}]\};$$

$$\Delta P_2 = C_4 D_1 \omega_1 \lg(L_d/L_o);$$

α_1 为小带轮包角(rad); D_1 为小带轮直径(mm);

ω_1 ——小带轮角速度(rad/s);

C_1, C_2, C_3, C_4 分别为 V 带特定质量水平和满足规定时间周期的参数, 由生产厂家提供;
 i 为传动比; L_d, L_o 分别为 V 带基准长度和特定长度(mm)。

1.2 设计计算过程

设计 V 带传动的给定条件一般为: ①需传递的功率 P ; ②主动轮转速 n_1 , 传动比 i 或被动轮转速 n_2 ; ③传动的用途, 工作情况及外廓尺寸限制等。需经设计确定的参数有: ①V 带截型、基准长度 L_d 、根数 Z ; ②中心距 a ; ③带的初拉力 F_o 。及作用在带轮轴上的压力 Q ; ④设计带轮结构及确定张紧方式等。

1.2.1 确定计算功率 P_{ca}

$$P_{ca} = K_A \cdot P \quad (\text{kW}) \quad (3)$$

其中, K_A ——工作情况系数参见文献[2]。

1.2.2 确定 V 带截型

根据计算功率 P_{ca} 和主动轮转速 n_1 由选型图选取截型。

1.2.3 确定带轮直径 D_1, D_2 , 并验算带速 v

(1)小带轮直径小时, 尺寸紧凑, 但同时使带内弯曲应力变大, 传递相同功率的 V 带根数增多, 故应不小于最小基准直径 D_{1min} 。

(2)大带轮直径 D_2

由传动比 i 得大带轮直径 D_2

$$D_2 = i \cdot D_1 \quad (4)$$

其中, D_2 一般也应圆整为标准值。

(3)V 带线速度 v

$$v = \frac{\pi D_1 n_1}{60 \times 1000} \quad (\text{m/s}) \quad (5)$$

带速太高, 单位时间内带的绕行次数多, 寿命短且离心力太大; 带速太低, 使 V 带根数增多, 故 v 应在 5—25m/s 范围内。

1.2.4 中心距 a 和带的基准长度 L_d

中心距过大或过小均不利于带传动, 故结构上对中心距无具体要求时, 宜粗定中心距为

$$0.7(d_1 + d_2) \leq a \leq 2(d_1 + d_2) \quad (6)$$

从而推得 V 带的计算长度 L_{ca} :

$$L_{ca} = 2a + \pi(d_1 + d_2)/2 + (d_2 - d_1)^2/4a \quad (7)$$

同理 L_{ca} 必须圆整为基准长度 L_d , 则实际中心距 a_o 为:

$$a_o = A + \sqrt{A^2 - B} \quad (8)$$

其中 $A = 0.25L_d - \pi(D_1 + D_2)/8$;

$$B = 0.125(D_2 - D_1)^2.$$

1.2.5 验算小带轮包角 α_1

$$\alpha_1 = \pi - (d_2 - d_1)/a_o \quad (9)$$

为保证 V 带在带轮上不打滑, 一般要求 $\alpha_1 \geq 2\pi/3$ 。

1.2.6 确定 V 带根数 Z

$$Z_1 = P_{ca}/P_o.$$

Z 为不小于 Z_1 的正整数, 并不超过最多许用根数 Z_{max} 。

1.2.7 确定 V 带的初拉力 F_0 和轴上压力 Q

考虑到离心力的影响, V 带的初拉力 F_0 为

$$F_0 = 500(P_{ca}/v^2)(2.5/K\alpha - 1) + qv^2 \quad (11)$$

其中, q 为传动带单位长度的质量(kg/m)。

为简便计, 不考虑带轮两边带的拉力差, 则作用在带轮轴上的压力 Q 为:

$$Q = 2ZF_0 \sin(\alpha_1/2) \quad (12)$$

带轮结构和张紧装置设计不涉及计算问题, 本文不另作讨论。

2 普通 V 带 CAD

由上述分析知, V 带设计涉及多幅线图、多张数表的处理, 一般需反复试算, 传统的手工设计方法非常繁琐且易出错。CAD 就是将计算机技术应用到各种工程设计领域, 它充分利用了计算机的高速计算能力和人的综合逻辑判断能力, 已成功地应用于电子、机械、建筑和航天航空等领域。CAD 技术主要包括几何建模、工程分析、模拟与仿真及工程绘图等。据统计, 机电产品 CAD 可缩短设计周期 1/2 以上, 提高效率 5 倍以上。CAD 技术也是我国八五、九五重点扶持和开发的技术领域, 被认为是“人类从发现电以来最有潜力的一项技术”(严洪范等, 1997)。

对于本例普通 V 带 CAD, 其核心是数表、线图的程序化及工程分析计算。现分析如下。

2.1 工作情况系数 K_A 数表的程序化

V 带传动工作情况系数 K_A 如表 1 所示。

现设定原动机一天工作时间 ≤ 10 , $10 \sim 16$, > 16 的代码 H_1 分别为 0, 1, 2; 载荷性质平稳、变动小、变动较大和变动很大的代码 T_1 分别为 0, 1, 2 和 3。因此, 对于 I 类原动机有:

$$K_A = 1.0 + (T_1 + H_1)/10 \quad (13)$$

同理, 对于 II 类原动机有:

$$T_1 \leq 1 \text{ 时, } K_A = 1.1 + (T_1 + H_1)/10 \quad (13a)$$

$$T_1 > 1 \text{ 时, } K_A = 1.2 + [1.2(T_1 + H_1)]/10 \quad (13b)$$

反复起动, 正反转频繁, 工作条件恶劣时, 上述 K_A 再乘以 1.1。

本段程序为:

```

140 INPUT“每天工作小时数 HD”, HD
150 IF HD <= 10 THEN H1 = 0: GOTO 170
160 IF HD <= 16 THEN H1 = 1 ELSE H1 = 2
170 PRINT“载荷性质标识符 T1”
180 PRINT“0——载荷平稳(液体搅拌机离心式水泵, 鼓风机和通风机(≤7.5kW), 离心式压缩机, 轻型输送机)”
190 PRINT“1——载荷变动较小(带式输送机, 通风机(>7.5kW), 发电机, 旋转式水泵, 金属切削机床, 剪床, 压力机, 印刷机, 振动筛)”
200 PRINT“2——载荷变动较大(螺旋式输送机, 斗式提升机, 往复式水泵和压缩机, 锻锤,
```

```

磨粉机,锯木机和木工机械)”
210 PRINT“3——载荷变动很大(破碎机,球磨机,棒磨机,起重机,挖掘机,橡胶辊压机)”
220 PRINT“请选一数(0或1或2或3)键入:”,T1
230 PRINT“原动机类型 TYPE”
240 PRINT“1——普通鼠笼式交流电机,同步电机,直流电机,N≥600 r/min 内燃机”
250 PRINT“2——交流电机(双鼠笼式,滑环式,单相,大转差率),直流电机(复激,串激),单
缸发电机,N<600 r/min 的内燃机”
260 INPUT“请选一数(1或2)键入:”,TYPE
270 ON TYPE GOTO 280,300
280 KA=1+(T1+H1)/10
290 GOTO 320
300 IF T1≤1 THEN KA=1.1+(T1+H1)/10
      ELSE KA=1.2+INT(1.2*(T1+H1))/10
320 PRINT“属于反复起动,正反转频繁,工作条件恶劣等场合?”
330 INPUT“是/否?”,YN$:IF YN$="Y" OR YN$="y" THEN KA=1.1*KA

```

表1 工作情况系数 K_A Tab. 1 Coefficients K_A under various working conditions

载 荷 性 质	工 作 机	原 动 机					
		I 类			I 类		
		≤10	10~16	>16	≤10	10~16	>16
载 荷 平 稳	液体搅拌机,离心式水泵,鼓风机和通风机(≤7.5kW),离心式压缩机,轻型输送机	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
载 荷 变 动 小	带式输送机(运送砂石、谷物),通风机(>7.5kW),发电机,旋转式水泵,金属切削机床,剪床,压力机,印刷机,振动筛	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
载 荷 变 动 较 大	螺旋式输送机,斗式提升机,往复式水泵和压缩机,锻锤、磨粉机,锯木机和木工机械	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
载 荷 变 动 很 大	破碎机(旋转式、颚式),球磨机,棒磨机,起重机,挖掘机,橡胶辊压机	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8

注:(1)原动机为一天工作时间(h)。

(2) I 类——普通鼠笼式交流电动机、同步电动机、直流电动机(并激), $n \geq 600$ r/min 的内燃机。

I 类——交流电动机(双鼠笼式、滑环式、单相、大转差率),直流电动机(复激、串激),单缸发动机, $n < 600$ r/min 的内燃机。

(3)反复起动、正反转频繁,工作条件恶劣等场合, K_A 值应乘以1.1。

2.2 V 带选型的程序化

V 带选型图如图1[郭学陶,1992]所示,各截型交界线方程如表2所示。

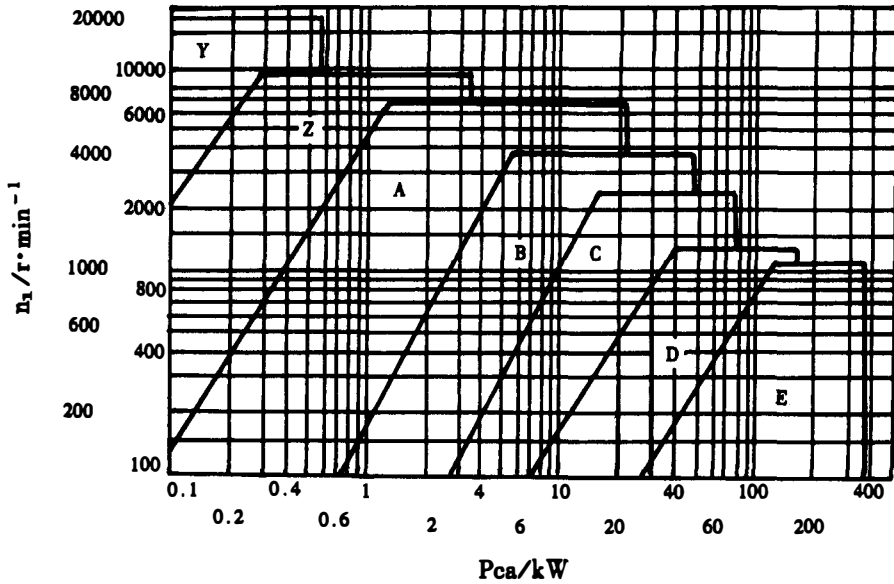


图1 普通 V 带选型图

Fig. 1 Domain diagram for choosing V-belt

表2 V 带各截型交界线方程

Tab. 2 Interconnection equations of two adjacent V-belts

交界线	方程式	交界线	方程式
Y-Z	$n_1 = 63096P_{ca}^{1.5}$	B-C	$n_1 = 17.0P_{ca}^{1.8}$
Z-A	$n_1 = 3467P_{ca}^{3.5}$	C-D	$n_1 = 5.4P_{ca}^{1.5}$
A-B	$n_1 = 178P_{ca}^{1.6}$	D-E	$n_1 = 0.44P_{ca}^{0.65}$

由区域图判别方法知,共有下列情况满足 C 截型(其它截型类推)V 带的条件:

- (1) $1350 < n_1 < 2400$, 且 $P_{ca} < 75$ 以及 $n_1 < 17.0P_{ca}^{1.8}$,
- (2) $n_1 < 1350$ 且 $5.4P_{ca}^{1.5} < n_1 < 17.0P_{ca}^{1.8}$ 。

本段程序限于篇幅此处从略。其它线图、数表均可参照上述方法进行程序化,实现 V 带的 CAD。

3 主要设计参数的优化计算

由上述分析知,经选型、计算、标准化等工作,可得到满足设计要求的小带轮直径、胶带标准长度、大带轮直径、中心距、小带轮包角和 V 带线速度等参量,另一方面,上述设计结果有时并没有充分发挥胶带的承载能力,使胶带根数增多,经济性下降。为此,作者在上述基础上再用优化技术设计胶带传动。

3.1 优化计算的数学模型

3.1.1 确定设计变量

由上分析知,影响单根胶带传递功率的主要变量有小带轮直径、胶带标准长度、小带轮包角,而其它如中心距、大带轮直径、带速等为从属变量。故今设计变量为:

$$X=[x_1 \quad x_2 \quad x_3]^T=[D_1 \quad L_d \quad \alpha_1]^T$$

3.1.2 优化目标函数

$$\min F(X)=\min[1/P_o(X)] \quad (14)$$

4.1.3 约束条件

由前述设计计算过程可得下列约束条件式

(1)中心距约束

$$C_1(X)=a-0.7(i+1)x_1-h \geq 0; \quad C_2(X)=2(i+1)x_1-a \geq 0$$

其中, $a=A+\sqrt{A^2-B}$;

$$A=0.25x_2-\pi(i+1)X_1/8;$$

$$B=0.125(i-1)^2x_1^2;$$

$h-V$ 带厚度(mm)。

(2)胶带线速度限制

$$C_3(X)=\pi x_1 n_1 - 30000 \geq 0; \quad C_4(X)=1500000 - \pi x_1 n_1 \geq 0$$

(3)绕转次数限制

$$\text{一般要求 } 1000v/L_d \leq 20, \text{ 即 } C_5(X)=1200L_d - \pi x_1 n_1 \geq 0$$

(4)小带轮直径限制

$$C_6(X)=x_1 - D_{1\min} \geq 0 \quad C_7(X)=1.2D_{1\min} - x_1 \geq 0$$

(5)带的基准长度限制

$$\text{一般要求 } L_{d\max} \geq L_d \geq L_{d\min}, \text{ 即 } C_8(X)=X_2 - L_{d\min} \geq 0 \quad C_9(X)=L_{d\max} - x_2 \geq 0$$

(6)小带轮包角限制

$$C_{10}(X)=X_3 - 2\pi/3 \geq 0 \quad C_{11}(X)=2\pi - x_3 \geq 0$$

3.2 选择优化算法

本问题为三变量的不等式约束最优化问题,采用复合形法是有效的[张文贵等,1987]。

4 设计实例分析

试设计一螺旋式输送传动系统的V带传动。已知普通鼠笼式交流电动机功率 $P=22\text{kW}$, 转速 $n_1=970\text{r/min}$, 传动比粗定为 $i=3$, 两班制工作。

输入上述已知条件得工作情况系数 $K_A=1.3$, 采用本文方法和一般CAD方法的结果如表3所示。由表3知,本文方法使单根胶带传递功率增大,减少根数,但也使中心距 a 和胶带标准长度增大。

表3 不同设计方法的设计结果比较

Tab. 3 Comparison of design results for various design methods

	本文方法	一般 CAD 法		本文方法	一般 CAD 法
截型	C	C	小带轮包角 $\alpha(^{\circ})$	170.3	145.6
小带轮直径(mm)	212	200	带速 $v(\text{m/s})$	10.8	10.2
大带轮直径(mm)	630	630	胶带根数	5	6
实际传动比 i	2.97	3.15	初拉力 $F_0(\text{N})$	448.5	441.3
中心距 $a(\text{mm})$	2497.4	715.5	轴上压力 $Q(\text{N})$	4469.4	5058
标准带长, $L_d(\text{mm})$	6300	2800	单根胶带传递功率(kW)	6.52	4.46

5 结语

(1)普通 V 带传动采用 CAD 方法设计,充分利用了计算机的高速运算能力,自动检索能力、逻辑判别能力和人的思维能力,可大大缩短设计周期,降低设计人员的劳动强度,以便于能集中精力进行合理的结构设计等工作。按胶带承载能力最大为目标函数的优化设计,能充分发挥 V 带的承载能力,可减少 V 带根数,具有较好的经济效益。

(2)本程序在 UC DOS 系统下用 GW BASIC 语言编制,在 386、486 或 586 微机上运行通过,取名 V-CAD。

(3)程序中主要参数的输入均采用人一机对话方式,并有中文提示,使用非常方便。此外,程序的兼容性和坚固性也较好。

(4)本程序也可用作机械设计、机械设计基础、CAD 和最优化设计等课程 CAI(computer aided instruction)的课件。

本校机电工程专业 1996 届学生李亚峰参加了部分研究工作,特此致谢。

参 考 文 献

- [1] 张文贵等,1987.机械现代设计方法,189—196.华中工学院出版社(武汉).
 [2] 郭学陶,1992.机械设计,96—108.航空工业出版社(京).

OPTIMUM DESIGN FOR GENERAL V-BELT TRANSMISSION

Lou Wen-gao

(Shanghai Fisheries University, 200090)

ABSTRACT In this paper, computer aided design(CAD) technology is applied to general V-belt transmission. A number of tables and diagrams for V-belt transmission design are programmed. Furthermore, according to the maximum load-bearing capacity of V-belt, opti-

mum technique is introduced to determine the V-belt type, standerd length, numbers and center distance of belt pulley, etc. The design parameters are inputted in man-machine *conv*ersational mode, and the operational instructions are shown on screen in Chinese. The program can be carried on an IBM-PC or 486 or 586 micro-computer. Case study shows that the technique is applicable to engineering design and computer aided instruction(CAI) for courses of machine design, Fundamentals of Machine Design and CAD in Mechanical and Optimum Design, etc.

KEYWORDS V-belt, optimum design, load-bearing capacity, computer aided design