

计算V带额定传动功率的新方法

刘雍德

(湖北汽车工业学院,十堰市 442002)

摘 要

以基本公式为基础,通过定义修正系数(长度系数 K_L 、速度系数 K_v 、预期工作小时系数 K_h 、传动比系数 K_i 、包角系数 K_α)和设计常数 C_a 、 C_b 、 C_c ,得出V带传动额定功率新的计算公式,克服了通用计算方法的缺点。并介绍了确定 C_a 、 C_b 、 C_c 和计算 K_i 的方法。同时提供了设计常数和修正系数的计算用表及计算实例。

关键词:V带,带传动,额定功率,传动比,预期寿命

1 前言

合理地确定V带传动工作能力,即V带具有一定疲劳寿命时的额定功率(许用功率),是V带传动设计计算的主要工作之一。国家标准GB11355-89(等同于ISO5292-1980)《V带传动额定功率的计算》是现今国际通用的计算方法。作者认为这个计算方法尚有不足之处^[1],主要有:①采用近似计算公式使计算精度受到影响;②当改变V带的预期寿命时,不能确定出相应的额定功率。本文提出一种确定单根V带在一般工况下的额定功率 $[P]$ 的新方法,基本上可克服上述的不足之处。

2 确定单根V带 $[P]$ 的基本公式

根据带传动的计算准则,即保证传动带在工作中既不打滑又具有一定的疲劳寿命,单根V带的 $[P]$ 为^[2,3]:

$$[P] = 10^{-3}([\sigma] - \sigma_{b1} - \sigma_c)(1 - 1/e^{f_1\alpha_1})Av \\ = 10^{-3}([\sigma] - (2E_b Y_0/d_1) - (qv^2/A)) \\ [1 - (1/e^{f_1\alpha_1})]Av \quad (1)$$

式中 $[P]$ ——单根V带的额定功率,kW;
 $[\sigma]$ ——V带的额定拉应力,即V带绕入小带轮时允许的应力波峰值,MPa;
 σ_{b1} ——V带在小带轮上时,最外层

的弯曲拉应力,MPa;

σ_c ——V带的离心拉应力,MPa;

e ——自然对数底值;

f_v ——V带传动的当量摩擦系数,通常取0.5123;

α_1 ——V带在小带轮上的包角,°;

A ——V带的剖面面积,mm²;

v ——带速,m/s;

E_b ——V带的当量弯曲弹性模量,MPa;

Y_0 ——V带的最外层到中性层的距离,mm;

d_1 ——小带轮节圆直径,mm;

q ——V带单位长度的质量,kg/m。

3 V带 $[\sigma]$ 的计算公式

在下文中均约定,当V带传动比 $i=1$ 时, $[\sigma]$ 记为 $[\sigma]_{i=1}$; $i \neq 1$ 时, $[\sigma]$ 记为 $[\sigma]_{i \neq 1}$ 。对于一定规格、材质的V带,在特定条件下通过实验得出V带的疲劳曲线方程后,额定拉应力 $[\sigma]_{i=1}$ 可由下式确定:

$$[\sigma]_{i=1} = \sqrt[3]{C/N} = \sqrt[3]{CL/(7.2 \times 10^6 t_k v)} \quad (2)$$

式中 C ——实验常数;

N ——应力循环次数;

m ——指数,当 $N=10^8 \sim 10^9$ 时,普通 V 带 $m \approx 11.1$,窄 V 带 $m \approx 12.6^{[4]}$;
 L ——V 带的节线长度,mm;
 t_h ——V 带的设计寿命,h;
 v ——带速,m/s。

式(2)可改写为以下形式:

$$[\sigma]_{i=1} = \sqrt[m]{L/L_0} \sqrt[m]{10/v} \sqrt[m]{t_{h0}/t_h} \sqrt[m]{CL_0/(7.2 \times 10^6 t_{h0} \times 10)} = K_L K_v K_h [\sigma]_0 \quad (3)$$

式中 L_0 ——V 带的特定节线长度,mm;
 t_{h0} ——V 带的特定寿命,普通 V 带取 5000h,窄 V 带取 15000h^[5];
 K_L ——长度系数;
 K_v ——速度系数;
 K_h ——预期工作小时系数;
 $[\sigma]_0$ ——基本额定应力,即 V 带在 $i=1$ 、 $L=L_0$ 、 $v=10$ m/s、 $t_h=t_{h0}$ 工况平稳时的额定应力。

$i \neq 1$ 时,V 带绕过大带轮时的弯曲应力较绕过小带轮时小,若考虑与 $i=1$ 的工况时 V 带具有相同寿命,则从疲劳等效观点来看,可以适当提高 V 带绕入小带轮时的应力波峰额定值 $[\sigma]_{i \neq 1}$ 。令

$$[\sigma]_{i \neq 1} = K_i [\sigma]_{i=1} \quad (4)$$

式中 K_i ——传动比系数。

将式(3)代入式(4)得:

$$[\sigma]_{i \neq 1} = K_i K_L K_v K_h [\sigma]_0 \quad (5)$$

4 单根 V 带 $[P]$ 的计算公式

将式(5)及 $f_v = 0.5123$ 代入式(1)得:

$$[P] = 10^{-3} [K_i K_L K_v K_h [\sigma]_0 - (2E_b Y_0 / d_1) - (qv^2 / A) [1 - (1/e^{0.5123\alpha_1})] A v$$

上式可改写为:

$$[P] = 10^{-3} \{ K_i K_L K_v K_h [\sigma]_0 A [1 - (1/e^{0.5123\pi})] - (2E_b Y_0 A / d_1) [1 - (1/e^{0.5123\pi})] - qv^2 [1 - (1/e^{0.5123\pi})] \} [1 - (1/e^{0.5123\alpha_1})]$$

$$/[1 - (1/e^{0.5123\pi})] \} v \quad (6)$$

为简化式(6),定义设计常数 C_a 、 C_b 、 C_c 和包角系数 K_a 分别为:

$$C_a = [1 - (1/e^{0.5123\pi})] A [\sigma]_0 \approx 0.8A \sqrt[m]{CL_0 / (7.2 \times 10^6 t_{h0} \times 10)} \quad (7)$$

$$C_b = 2[1 - (1/e^{0.5123\pi})] E_b Y_0 A \approx 1.6E_b Y_0 A \quad (8)$$

$$C_c = [1 - (1/e^{0.5123\pi})] q \approx 0.8q \quad (9)$$

$$K_a = [1 - (1/e^{0.5123\alpha_1})] / [1 - (1/e^{0.5123\pi})] \approx 1.25[1 - (1/e^{0.5123\alpha_1})] \quad (10)$$

将式(7)~(10)代入式(6)可得单根 V 带在一般工况下的额定功率计算公式:

$$[P] = 10^{-3} [K_i K_L K_v K_h C_a - (C_b / d_1) - C_c v^2] K_a v \quad (11)$$

若考虑 V 带寿命的可靠度要求,则可在式(11)中增加可靠度修正系数 K_R ,即可改为:

$$[P] = 10^{-3} [K_R K_i K_L K_v K_h C_a - (C_b / d_1) - C_c v^2] K_a v \quad (12)$$

式中 K_R 的确定则有赖于 V 带的 P - S - N 曲线(可靠度-极限应力-寿命曲线)。

5 设计常数 C_a 、 C_b 、 C_c 的确定

设计常数 C_a 、 C_b 和 C_c 的数值应根据 V 带制造、研究部门提供的有关常数 C 、 m 、 E_b 、 Y_0 、 q 等的试验测定数据按式(7)~(9)计算确定。但目前尚缺乏国产 V 带上述常数的数据。下面介绍用文献^[5~7]中单根 V 带的特定额定功率来确定 C_a 、 C_b 、 C_c 的方法。

在特定工况($i=1$ 、 $\alpha_1=180^\circ$ 、 $L=L_0$ 、 $t_h=t_{h0}$)时,式(11)中的修正系数 K_i 、 K_L 、 K_h 和 K_a 均为 1,则单根 V 带的特定许用功率为 $P_0 = 10^{-3} [K_i C_a - (C_b / d_1) - C_c v^2] v$ (13)

根据表 1、2 中的 q 值可由式(9)求出 C_c ,再利用文献^[5~7]中的 P_0 、 d_1 和 v 的数据集合,由式(13)可得到关于 C_a 和 C_b 的很多二元一次方程组,然后用电子计算机求解,即可确定出 C_a 和 C_b 的平均数值。表 1、2 分别列出了

按照上述方法确定出来的普通 V 带和窄型 V 带的 C_a, C_b, C_c 数值。采用表 1、2 中的 C_a, C_b, C_c 值由式 (13) 求出的 P_0 计算值与文献^[5~7]中的 P_0 查表值,两者相差通常不超过 2%。

表 1 普通 V 带的 $C_a, C_b, C_c, q^{[3]}$ 和 $L_0^{[8]}$ 值

| | | 截 型 | | | | | |
|------------------|----|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| | | Z | A | B | C | D | E |
| C_a | I | 199 | 366 | 648 | 1202 | 2572 | 3722 |
| | II | 146 | 270 | 475 | 883 | 1885 | 2754 |
| C_b | I | 7350 | 19600 | 50700 | 143000 | 508000 | 951000 |
| | II | 5320 | 14200 | 36700 | 101000 | 350000 | 661000 |
| C_c | | 0.048 | 0.080 | 0.136 | 0.240 | 0.496 | 0.720 |
| $q, \text{kg/m}$ | | 0.06 | 0.10 | 0.17 | 0.30 | 0.62 | 0.90 |
| L_0, mm | | 800 | 1700 | 2240 | 3750 | 6300 | 7100 |

注: I 为化纤绳芯 V 带; II 为棉、人造丝帘布芯或绳芯 V 带; Z 型 V 带的 C_a, C_b 数据是用 II 系参考 A 型、B 型 V 带的数值 II 与数据 I 的对应比值乘以 Z 型 V 带的数值 I 而得出的。

表 2 窄 V 带的 $C_a, C_b, C_c, q^{[9]}$ 和 $L_0^{[5]}$ 值

| | | 截 型 | | | | | | |
|------------------|--|--------|---------|---------|-------|-------|--------|--------|
| | | 9N(3V) | 15N(5V) | 25N(8V) | SPZ | SPA | SPB | SPC |
| C_a | | 627 | 1835 | 5036 | 586 | 1027 | 1608 | 3179 |
| C_b | | 289000 | 163000 | 831000 | 27300 | 70000 | 146000 | 445000 |
| C_c | | 0.064 | 0.160 | 0.400 | 0.064 | 0.096 | 0.160 | 0.304 |
| $q, \text{kg/m}$ | | 0.08 | 0.20 | 0.50 | 0.08 | 0.12 | 0.20 | 0.38 |
| L_0, mm | | 1596 | 3167 | 6334 | 1600 | 2240 | 3150 | 5000 |

注:表中代号可参见 GB11544-89。

6 传动比系数 K_i 的计算方法

由文献^[1]可知,式(4)中的传动比系数 K_i 应按下列式计算:

$$K_i = \sqrt[m]{\frac{2}{1 + \left[1 - \frac{\sigma_{b1}}{K_i[\sigma]_{i=1}} \left(1 - \frac{d_1}{d_2}\right)\right]^m}}$$

$$= \sqrt[m]{\frac{2}{1 + \left[1 - \frac{r_b}{K_i} \left(1 - \frac{d_1}{d_2}\right)\right]^m}} \quad (14)$$

式中 d_2 ——大带轮节圆直径,mm;

r_b ——应力比, $r_b = \sigma_{b1}/[\sigma]_{i=1}$ 。

由式(1)、(3)、(7)、(8)可得应力比的计算公式:

$$r_b = (2E_b Y_0 / d_1) / [K_L K_r K_k (\sigma)_0]$$

$$= C_b / K_L K_r K_k C_a d_1 \quad (15)$$

当忽略不计带传动的滑动率时,对于减速传动, $d_1/d_2 = 1/i$; 对于增速传动, $d_1/d_2 = i$ 。若已知 i 和 r_b 的数值,则由式(14)得到一个左右两边均含有未知量 K_i 的非线性方程,可用迭代法求解,结果列于表 3。通常可由下式计算 K_i (相对误差不超过 0.2%):

$$K_i = \sqrt[m]{2 / \{1 + [1 - r_b(1 - 1/i)]^m\}} \quad (16)$$

式(16)作减速传动计算用。对于增速传动,式(16)中的 i 应代以 $1/i$ 的值。

7 计算用表

表 1~7 列出了按式(11)计算 V 带额定功率所需的常数、系数的数据,其中表 3~7 供人工计算时查用。

表3 用电子计算机算得的 K_i 值

| r_b | | i 或 $1/i$ | | | | | | | | |
|-------|----|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| | | 1 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.5 | 1.7 | 2 | 3 | ≥ 5 |
| 0.2 | I | 1.000 | 1.009 | 1.015 | 1.020 | 1.028 | 1.033 | 1.038 | 1.046 | 1.050 |
| 0.2 | II | 1.000 | 1.009 | 1.015 | 1.020 | 1.027 | 1.032 | 1.036 | 1.043 | 1.047 |
| 0.3 | I | 1.000 | 1.013 | 1.022 | 1.029 | 1.038 | 1.043 | 1.049 | 1.056 | 1.059 |
| 0.3 | II | 1.000 | 1.013 | 1.021 | 1.028 | 1.036 | 1.041 | 1.045 | 1.051 | 1.053 |
| 0.4 | I | 1.000 | 1.017 | 1.028 | 1.036 | 1.046 | 1.051 | 1.056 | 1.061 | 1.063 |
| 0.4 | II | 1.000 | 1.016 | 1.027 | 1.034 | 1.043 | 1.047 | 1.051 | 1.054 | 1.056 |
| 0.6 | I | 1.000 | 1.024 | 1.038 | 1.047 | 1.056 | 1.060 | 1.062 | 1.064 | 1.064 |
| 0.6 | II | 1.000 | 1.023 | 1.036 | 1.044 | 1.051 | 1.054 | 1.055 | 1.056 | 1.057 |
| 0.8 | I | 1.000 | 1.030 | 1.046 | 1.054 | 1.061 | 1.063 | 1.064 | 1.064 | 1.064 |
| 0.8 | II | 1.000 | 1.029 | 1.043 | 1.050 | 1.054 | 1.056 | 1.056 | 1.057 | 1.057 |

注: I 为普通 V 带; II 为窄 V 带。以下表同。

表4 长度系数 K_L

| | L/L_0 | | | | | | | | | | | |
|----------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.8 | 1.0 | 1.2 | 1.4 | 1.6 | 2.0 | 2.5 | 3.0 |
| K_L I | 0.897 | 0.921 | 0.939 | 0.955 | 0.980 | 1.000 | 1.017 | 1.031 | 1.043 | 1.064 | 1.086 | 1.104 |
| K_L II | 0.909 | 0.930 | 0.946 | 0.960 | 0.982 | 1.000 | 1.015 | 1.027 | 1.038 | 1.057 | 1.075 | 1.091 |

表5 包角系数 K_a

| α_1 | 180° | 170° | 160° | 150° | 140° | 130° | 120° | 110° | 100° | 90° |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| K_a | 1.000 | 0.977 | 0.951 | 0.923 | 0.893 | 0.859 | 0.823 | 0.783 | 0.739 | 0.691 |

表6 速度系数 K_v

| | $v, \text{m/s}$ | | | | | | | | | | | |
|----------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 12 | |
| K_v I | 1.231 | 1.156 | 1.115 | 1.086 | 1.064 | 1.047 | 1.033 | 1.020 | 1.010 | 1.000 | 0.984 | |
| K_v II | 1.201 | 1.136 | 1.100 | 1.075 | 1.057 | 1.041 | 1.029 | 1.018 | 1.008 | 1.000 | 0.986 | |
| | $v, \text{m/s}$ | | | | | | | | | | | |
| | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 | 35 | 40 | |
| K_v I | 0.970 | 0.959 | 0.948 | 0.939 | 0.931 | 0.924 | 0.918 | 0.911 | 0.906 | — | — | |
| K_v II | 0.974 | 0.963 | 0.954 | 0.946 | 0.939 | 0.933 | 0.927 | 0.922 | 0.917 | 0.905 | 0.896 | |

表7 预期工作小时系数 K_h

| | t_h, h | | | | | | | |
|----------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| | 2000 | 2500 | 3000 | 4000 | 5000 | 6000 | 7000 | |
| K_h I | 1.086 | 1.064 | 1.047 | 1.020 | 1.000 | 0.984 | 0.970 | |
| K_h II | — | — | — | — | 1.091 | 1.075 | 1.062 | |
| | t_h, h | | | | | | | |
| | 8000 | 9000 | 10000 | 15000 | 20000 | 25000 | 30000 | |
| K_h I | 0.959 | 0.948 | 0.939 | — | — | — | — | |
| K_h II | 1.051 | 1.041 | 1.033 | 1.000 | 0.977 | 0.960 | 0.946 | |

8 讨论

与国际通用计算方法相比,新方法主要有以下几点改进。

(1)新方法没有采用近似计算公式,因此具有较高的计算精度;

(2)新方法可根据V带的不同预期寿命计算出相应的额定功率;

(3)新方法计算公式简单、计算用表简明,既便于编排电子计算机程序进行运算,又便于人工计算。

9 计算实例

已知V带传动采用棉帘布芯B型普通V带,带轮直径 $d_1 = 250\text{mm}$, $d_2 = 375\text{mm}$,带长 $L = 2540\text{mm}$,带速 $v = 12.57\text{m/s}$,带轮包角 $\alpha_1 = 170.78^\circ$,求①预期寿命 $t_h = 5000\text{h}$ 的单根V带的额定功率;②预期寿命 $t_h = 3000\text{h}$ 时的单根V带的额定功率。计算根据和计算结果列于表8中。

表8 计算实例结果

| 计算项目 | C_a | C_b | C_c | L/L_0 | K_L | K_a |
|----------------------|-------|-------|-----------|-----------|-------|-----------------|
| 计算根据 | 表1 | 表1 | 表1 | L_0 查表1 | 表4 | 表5 |
| 计算结果 | 475 | 36700 | 0.136 | 1.134 | 1.011 | 0.979 |
| 计算项目 | K_v | K_A | i | r_b | K_i | $[P],\text{kW}$ |
| 计算根据 | 表6 | 表7 | d_2/d_1 | 式(15) | 表3 | 式(11) |
| 计算结果 | | | | | | |
| $t_h = 3000\text{h}$ | 0.980 | 1.047 | 1.5 | 0.298 | 1.038 | 4.22 |
| $t_h = 5000\text{h}$ | 0.980 | 1 | 1.5 | 0.312 | 1.039 | 3.95 |

10 结论

(1)以基本公式为基础,用定义修正系数 K_L, K_v, K_A, K_i, K_a 全面合理地计入带长、带速、V带寿命、传动比和小带轮包角等因素对V带工作能力的影响,并定义设计常数 C_a, C_b, C_c ,从而得到计算单根V带额定功率的新公式。

(2)设计常数 C_a, C_b, C_c 应由V带生产、科研部门提供式(7)~(9)中有关常量的试验数据才能确定,表1、2给出的数值供参考。采用表1、2的 C_a, C_b, C_c 数值按新方法求出的单根V带特定额定功率 P_0 。计算值与文献^[5~7]中的 P_0 查表值相差不超过2%。

(3)新方法比国际通用计算方法有三大主要改进。

[2]北京钢铁学院主编,机械零件(下册),7,人民教育出版社,北京,1980。

[3]邱宣怀主编,机械设计,第三版,148,高等教育出版社,北京,1989。

[4]Spotts, M. F., Design of Machine Elements, 6th ed., 297, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J., 1985。

[5]张锡山,徐铁华,带传动技术,17,纺织工业出版社,北京,1988。

[6]杨黎明等,机械零件设计手册,342,国防工业出版社,北京,1986。

[7]J. E. 希格利著(美),南京工学院、浙江大学机械原理及机械零件教研组译,机械设计,378,人民教育出版社,北京,1981。

[8]机械工程手册编委会,机械工程手册补充本(二),181,机械工业出版社,北京,1988。

[9]第二汽车制造厂机动处,维修资料(三角胶带资料选译专辑之一),[2],44,(1979.7)。

(收修改稿日期:1993-11-07)

参考文献

[1]刘雍德,橡胶工业,40[9],557(1993)。

New Method for Calculating Rated Transmission Power of V-belt

Liu Yongde

(Hubei Institute of Automotive Industry, Shiyan, Hubei)

Abstract

A new formula is developed for calculating the rated transmission power of V-belt by defining the correction factors (i. e. length factor K_L , velocity factor K_v , expected service life factor K_h , speed ratio factor K_i and contact angle factor K_a) and the design constants C_a , C_b , C_c based on the basic formula to overcome the drawback with the conventional calculating method. The method is introduced for determining C_a , C_b , and C_c and for calculating K_i . The table for calculating the design constants and correction factors, as well as the calculation example are also provided.

Keywords: V-belt, V-belt transmission, rated power, speed ratio, expected service life.

橡胶轴承

橡胶轴承不象金属轴承是利用它的转动,而是利用它的弹性和同心度,在道路有坡度变动的情况下,容易调整外圆与圆心的差距,在山区行驶的拖挂车辆上安装橡胶轴承更有必要。车辆挂车在行驶时,一是靠钢板弹簧向上作用力;二是靠橡胶轴承牵动行走轴(橡胶轴承每个最大承载 1t);三是橡胶轴承承担扭力和拉力;四是工作时保持车辆两轴平衡。因此,橡胶轴承是挂车上一个很小又很重要的零件之一。

根据 HG-543-67 汽车一般橡胶配件标准而选用的橡胶轴承配方为:天然橡胶 85;再生胶 15;氧化锌 15;硬脂酸 3;促进剂 DM 1;促进剂 M 0.8;高耐磨炭黑 60;

氧化铁红 5;防老剂 A 1.6;陶土 7;硫黄 1.5;软化剂适量。硫化胶性能为:拉伸强度 16MPa;扯断伸长率 380%;永久变形 25%;邵尔 A 型硬度 78 度。

生产过程中应注意,因橡胶轴承骨架内外表面尺寸公差要求较严,体积又小,不易喷砂,因此在与橡胶接触的部分加工几个小槽和小孔,以增大表面积,增加粘合性。骨架使用时内涂列克钠,硫化后的产品涂石蜡,以防止骨架生锈和橡胶老化。

因为橡胶轴承是由内外骨架、中间填胶料的制品,故填胶量很重要。不然,容易引起内外骨架不同心,或两头凹陷,与骨架不平整等质量问题。

(河北轮胎厂 马喜银 韩秀玲供稿)