

三角胶带传动设计 计算应用软件研究

叶 元 烈

(机 械 系)

提 要

本文就三角胶带传动的设计计算介绍了一种电算方法,对传统手工设计常用线图表格进行了公式化处理,特别是对胶带的选型用转速功率图提出了选型数学模型,对长度系数提出了逼近的拟合指数函数曲线计算式。本文还给出了设计计算的源程序框图和源程序。

在机械传动装置的设计中,带传动是最为常用的传动装置之一。但在目前传统的手工设计计算中,首先需要根据转速功率选型图选择带型,同时要选取标准带长、标准带轮节圆直径,在确定带的根数时还要查找单根带功率、包角系数、带长系数、弯曲影响系数、传动比系数等。在使用这些系数表格时往往还要采用线性插值法取值。另外,在设计计算过程中还需给出一定的限制条件,如带速的允许范围、包角的最小允许值,带根数的最大允许值等,只要其中之一不能满足,只好重新取值或改选带型重复运算,这就增加了设计计算的烦琐程度。本文介绍了一种在微型计算机上运算求解的实用程序,可以在不到一分钟的时间内得到比较准确满意的设计结果。

一、常用线图、表格的公式化

1. 三角胶带选型

由下页图1可知,选型时受两条直线的限制,即一条斜直线和一条水平线,且每条斜直线的斜率是相同的,也就是各斜直线互相平行。经分析其斜率 $K=1.5$ 。斜直线方程为:

$$P_{ca1} = P_{ca} / 1.5 \sqrt{0.01 n_1} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中: P_{ca1} —斜直线与横坐标轴交点处的功率值, KW;

P_{ca} —计算功率, KW;

$$P_{ca} = k_A \cdot P$$

k_A —工作情况系数; (表6)

P —三角胶带传递的名义功率

n_1 —主动带轮转速; r/min。

选型时,已知条件为 K_A , P , n_1 。由上式可求得 P_{ca1} ,即根据已知条件在选型图中找到一对对应点,然后按斜率 K 作一条斜直线与横坐标轴相交,其交点值就是 P_{ca1} 。

如已知工作情况系数 $K_A=1$,传递名义功率 $P=2.1$ KW,主动带轮转速 $n_1=1440$ r/min。

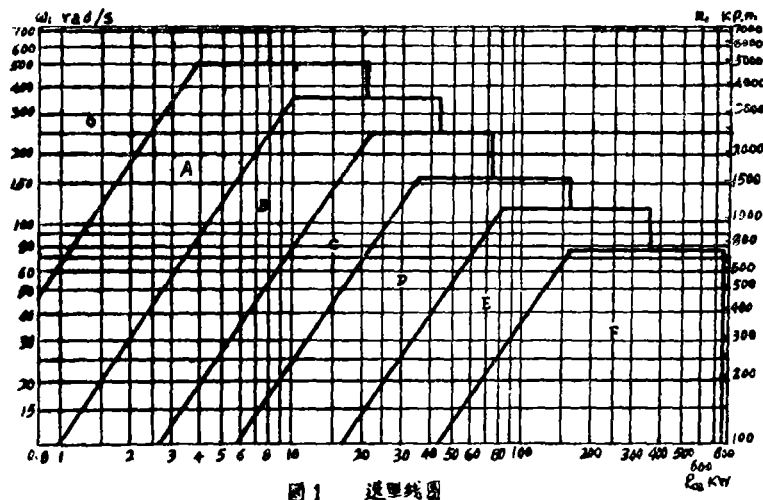


图1 选图线图

由上式求得 $P_{ca1} = 0.355 > 0.285$, 且 $n_1 = 1440 < 4800$ 故选用 A 型胶带。

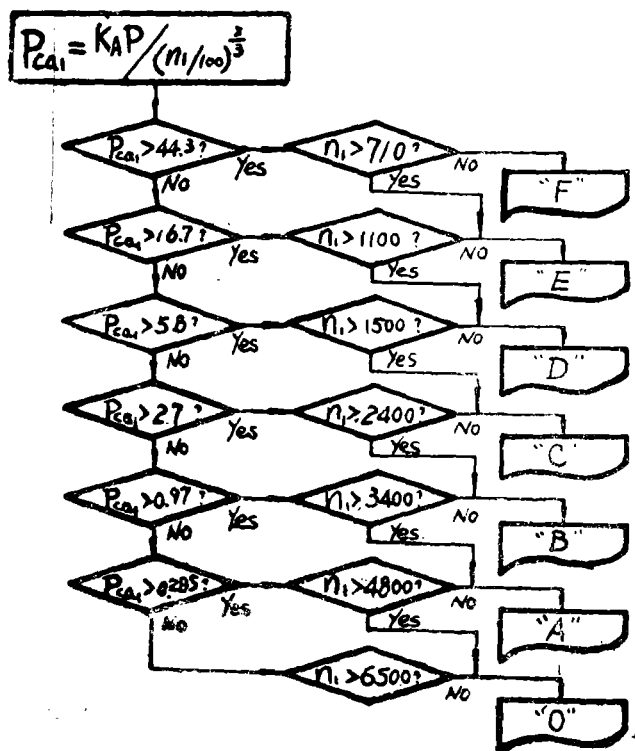


图2 三角胶带选型框图

2. 确定三角胶带的根数:

基本公式:

$$Z = \frac{K_A P}{(P_0 K_a K_L + \Delta P_0) K} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

P_0 —单根三角胶带可能传递的功率, KW;

$$P_0 = (K_1 V^{0.02} - \frac{K_2}{D_1} - K_3 V^2) \cdot V \dots\dots (3)$$

式中: K_1, K_2, K_3 —与带型有关的计算系数(见表5)

V —胶带的速度, m/s;

D_1 —小带轮直径, mm

K_a —小带轮包角系数(表1)

$$K_a = \frac{2.5(e^{f_v \alpha} - 1)}{ze^{f_v \alpha}} \dots\dots (4)$$

f_v —当量摩擦系数, $f_v = 0.5123$;

α —小带轮包角, 弧度。

K_L —长度系数(表2)

$$K_L = C_1 L_i^{K_4} \dots\dots (5)$$

C_1 —系数(表5)

K_4 —指数(表5)

L_i —标准三角胶带内周长度, mm

表1 小带轮包角系数 K_a

包 角 α°	K_a
220	1.20
210	1.15
200	1.10
190	1.05
180	1.00
170	0.98
160	0.95
150	0.92
140	0.89
130	0.86
120	0.82
110	0.78
100	0.73
90	0.68
80	0.62
70	0.56

表2 长度系数 K_L

内周长度 L_i mm	K_L							内周长度 L_i mm	K_L						
	O	A	B	C	D	E	F		O	A	B	C	D	E	F
450	0.89							2800	1.11	1.05	0.95				
500	0.91							3150	1.13	1.07	0.97	0.86			
560	0.94	0.80						3550	1.17	1.10	0.98	0.89			
630	0.96	0.81	0.78					4000	1.19	1.13	1.02	0.91			
710	0.99	0.82	0.79					4500		1.15	1.04	0.93	0.90		
800	1.00	0.85	0.80					5000		1.18	1.07	0.96	0.92		
900	1.03	0.87	0.81					5600		1.20	1.09	0.98	0.95		
1000	1.06	0.89	0.84					6300			1.12	1.00	0.97	0.91	
1120	1.08	0.91	0.86					7100			1.15	1.03	1.00	0.94	
1250	1.11	0.93	0.88	0.80				8000			1.18	1.06	1.02	0.97	
1400	1.14	0.96	0.90	0.81				9000			1.22	1.08	1.05	1.00	
1600	1.16	0.99	0.93	0.84				10000				1.11	1.07	1.03	
1800	1.18	1.01	0.95	0.85				11200				1.14	1.10	1.06	
2000	1.20	1.03	0.98	0.83				12500					1.12	1.07	
2240		1.06	1.00	0.91				14000					1.15	1.13	
2500		1.09	1.03	0.93				16000					1.18	1.16	

ΔP_0 —单根胶带传递功率的增量, KW,

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

K_b —弯曲影响系数(表3)

$$K_b = \frac{\pi K_2}{60 \times 1000} \dots\dots\dots (6)$$

K_i —传动比系数(表4)

$$K_i = \frac{1.14i}{5.3 \sqrt{1+i^{5.3}}} \dots\dots\dots (7)$$

K —带的材质系数, 棉帘布和棉线绳结构胶带 $K = 0.75$, 化纤绳结构胶带 $K = 1$.

表3 弯曲影响系数 K_b

型 号	K_b
O	0.39×10^{-3}
A	1.03×10^{-3}
B	2.65×10^{-3}
C	7.50×10^{-3}
D	26.6×10^{-3}
E	49.8×10^{-3}
F	127.8×10^{-3}

表4 传动比系数 K_i

传 动 比 i	K_i
1.00~1.04	1.00
1.05~1.19	1.03
1.20~1.49	1.08
1.50~2.95	1.12
> 2.95	1.14

表5 与带型有关的参数及计算系数

带型	K_1	K_2	K_3	K_4	C_1	C	q
O	0.246	7.44	441×10^{-7}	0.2033	0.2587	25	0.6
A	0.449	19.62	765×10^{-7}	0.2110	0.2076	33	1.0
B	0.794	50.6	131×10^{-6}	0.2084	0.1998	40	1.7
C	1.48	143.5	234×10^{-6}	0.2125	0.1748	59	3.0
D	3.15	507.3	477×10^{-6}	0.2174	0.1499	76	6.2
E	4.57	951.5	706×10^{-6}	0.2131	0.1505	96	9.0
F	7.85	2440	121×10^{-5}	0.2638	0.0906	119	15.2

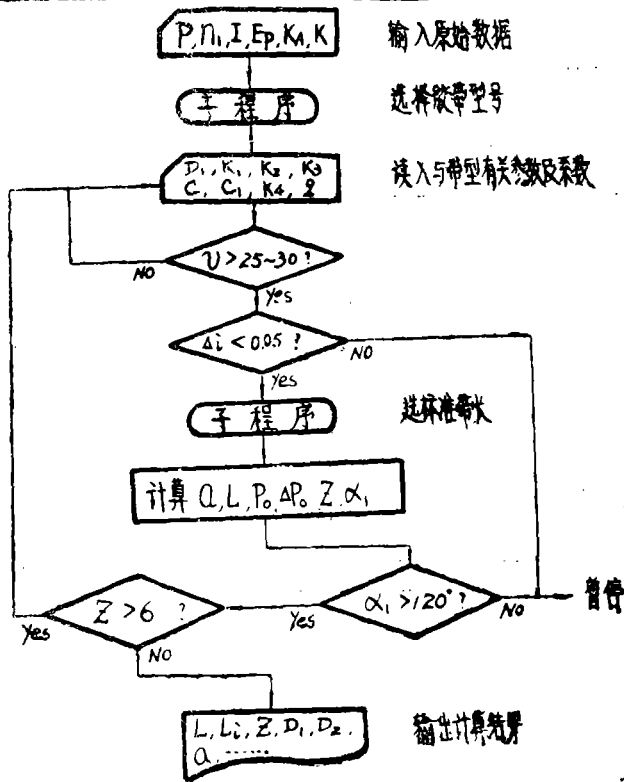
注: C—标准三角胶带节线周长与内周带长之差, mm,

q—每米长胶带的重量, N/m

表 6

工 作 情 况 系 数 K_A

工 作 机	原 动 机①	一天工作 时间 h					
		I 类			III 类		
		≤ 10	10~16	> 16	≤ 10	10~16	> 16
载荷平稳	液体搅拌机; 离心式水泵; 通风机和鼓风机 ($> 7.5\text{kW}$); 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 ($> 7.5\text{kW}$); 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; 纺织机械	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
载荷变动很大	破碎机 (旋转式、颞 式等); 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



① I类—普通鼠笼式交流电动机, 同步电动机, 直流电动机 (并激), $n \geq 600 \text{ r/min}$ 内燃机。

II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, $n \leq 600 \text{ r/min}$ 内燃机。

反复启动、正反转频繁、工作条件恶劣等场合, K_A 值应乘以 1.1。

二、设计计算源程序

框图:

图3 带传动设计源程序框图

三、源程序 (BASIC语言) 及计算实例:

1 输入输出变量对照表:

变 量	程 序 变 量 名	单 位	名 称	备 注
输入变量:				
P	P	K _v	传递的名义功率	
n ₁	N ₁	r/min	主动带轮转速	
i ₁	I ₁		理论传动比	
e	EP		带传动滑动率	
K _A	KA		工作情况系数	
K	K		带的材质系数	棉帘布和棉线绳结 构胶带: K = 0.75 化纤绳结构胶带: K = 1
输出变量:				
C	C	mm	节线带长与内周 带长之差	用来说明所选带型
L	L	mm	胶带节线长度	
L _i	LI	mm	胶带内周长度	
Z	Z		胶带根数	
L _{ca}	LCA	mm	胶带计算长度	
d ₁	D ₁	mm	主动带轮计算直径	
d ₂	D ₂	mm	从动带轮计算直径	
n ₂	N ₂	r/min	从动带轮转速	
i	I		实际传动比	$\Delta i = \frac{i_1 - i}{i_1}$
Δi	DI		传动比误差	
a	A	mm	传动中心距	
α	AL1	度	主动带轮包角	
V	V	m/s	带速	
F ₀	F ₀	N	单根胶带的初拉力	
Q ₀	Q ₀	N	传动作用在轴上的压力	

```

2.源程序:
10 REM v; bel ts-drive-2
20 DIM L(32)
30 FOR Y=1 TO 32
40 READ L(Y)
50 NEXT Y
60 PRINT "P ", "n1 ", "i1 "
   "ep ", "ka ", "k "
70 INPUT P, N1, I1, EP, KA, K
80 LPRINT "p= ";P, "n1= "
   N1, "i1= "; I1, "ep= "; EP
90 LPRINT "Kc= "; KA, "K
   = ", K
100 LPRINT
110 GOSUB 1170
120 FOR x=1 TO 8*G
130 READ W
140 NEXT X
142 GOTO 150
145 G=G+1
150 READ D1, K1, K2, K3,
   C, C1, K4, Q
160 IF D1=0 GOTO 870
170 T=0
180 T=T+I
190 IF T=5 GOTO 145
220 D=INT(D1*1.122↑T+.55)
230 V=5.236001E-04*D*N1
240 IF G>3 GOTO 290
250 IF V<5 GOTO 180
260 IF V>25 GOTO 145
290 IF V>30 GOTO 145
320 IF C=25 GOTO 500
330 IF C=33 GOTO 480
430 IF C=40 GOTO 460
350 IF C=59 GOTO 440

360 IF C=76 GOTO 420
370 IF C=96 GOTO 400
380 LPRINT "F "
390 GOTO 510
400 LPRINT "E "
410 GOTO 510
420 LPRINT "D "
430 GOTO 510
440 LPRINT "C "
450 GOTO 510
460 LPRINT "B "
470 GOTO 510
480 LPRINT "A "
490 GOTO 510
500 LPRINT "O "
510 DI=10*D
520 D2=INT((1-EP)*D1*I1+.5)
530 N2=(1-EP)*N1*D1/D2
540 I=N1/N2
550 DI=(I1-I)/I1
560 IF DI>.05 GOTO 880
565 PRINT "D1= ", D1, "D2= ",
   D2, "AOMIN= ", .7*(D1+D2),
   "AOMAX= ", (D1+D2)*2,
   "AO="
570 INPUT AO
580 LCA=2*AO+3.14159*(D1+D2)
   /2+(D2-D1)↑2/(4*AO)
590 GOSUB 910
600 A=INT(AO+(L-LCA)/2+.5)
610 ALFA=3.1456-(D2-D1)/(A*.
   955)
620 AL1==ALFA*180/3.1416
630 IF AL1<120 GOTO 860
640 U1=K1/V↑9.000001E-02
650 U2=K2/D1

```

```

660 U3=K3*V*V
670 PO=(U1-U2-U3)*V
680 KB=.5236*K2/10↑4
690 KI=1.14*I/EXP(LOG(1+
    I↑5.3)/5.3)
700 DPO=KB*N1*(KI-1)/KI
710 LPRINT "PO="; PO, "DPO
    =" ; DPO
720 KAL=2.5*(E×P(ALFA*.5123)
    -1)/(2*EXP(ALFA*.5123))
730 KL=C1*LI↑K4
740 Z=INT(KA*P/((PO*KAL*KL
    +DPO)*K)+.85)
750 IF Z>6 GOTO 145
780 RESTORE
790 FO=500*(2.5/KAL-1)*KA*P/
    (Z*V)+Q*V↑2/10
800 QO=2*Z*FO*SIN(ALFA/2)
810 LPRINT
820 LPRINT "C=";C,"L=";L,
    "LI=";LI,"Z=";Z,"LCA=";LCA
825 PRINT "C=";C,"L=";L,"
    LI=";LI,"Z=";Z,"LCA=";LCA
830 LPRINT "D1=";D1,"D2=";
    D2,"N2=";N2,"I=";I,"DI=";DI
835 PRINT "D1=";D1,"D2=";
    D2,"N2=";N2,"I=";I,"DI=";DI
840 LPRINT "A=";A,"AL1="
    ;AL1,"V=";V,"FO=";FO,
    "QO=";QO
845 PRINT "A=";A,"AL1=";A
    L1,"V=";V,"FO=";FO,
    "QO=";QO
850 GOTO 904
860 LPRINT "AL1=";AL1
870 LPRINT "CAN NOT DESGN"

```

GOTO 890

```

880 LPRINT "DI=";DI;">.05"
890 STOP
904 END

```

3. 计算实例:

设计带式运输机上的三角胶带传动。

已知条件: 传递名义功率 $P=2.1\text{KW}$,

主动带轮转速 $n_1=1440\text{r/min}$, 传动比 $i_1=3.34$, 载荷平稳, 单班制工作。

按题意取工作情况系数 $K_A=1.0$ 采用化纤绳结构胶带, 取材质系数 $K=1.0$ 考虑弹性滑动的影响, 取滑动率 $\varepsilon=0.02$

输入原始参数:

$p=2.1$ $n_1=1440$ $i_1=3.34$
 $\varepsilon p=.02$
 $k_a=1$ $k=1$

输出运算结果:

$PCA=2.1$ $PCA1=.3547952$
A
A
 $PO=1.31047$ $DPO=.1812585$
 $C=33$ $L=1283$ $LI=1250$
 $Z=2$ $LCA=1354.737$
 $D1=100$ $D2=327$ $N2=431.5597$
 $I=3.336735$ $DI=9.775876E-04$
 $A=286$ $AL1=132.379$
 $V=7.539841$ $FO=136.7644$
 $QO=500.4956$

四、几个计算用系数公式的推证

1. 传动比系数 K_i :

由于带传动失效属于疲劳性质, 弯曲应力 σ_b 与循环次数 N 满足疲劳曲线方程:

$$\sigma_b^m \cdot N = \text{常数}$$

而 $\sigma_b = \frac{Eh}{D}$, 对一定型号的胶带, 带的拉压弹性量模 E , 带的厚度 h 是一常量, σ_b 可简

化写成 $\sigma_b = K \cdot \frac{1}{D}$.

由于单根胶带可能传递的功率 P_0 是在 $i = 1$ (即包角 $\alpha = 180^\circ$) 的条件下获得的, 当 $i \neq 1$ 时, 则有大、小两轮不同, 弯曲应力应分别为:

$$\sigma_{b1} = K \frac{1}{D_1}, \quad \sigma_{b2} = K \frac{1}{D_2}$$

用当量直径 D_d 的轮子取代, 在相同的循环次数下, 遵循 Miner 疲劳损伤积累假说, 可写如下等式:

$$\left(\frac{K}{D_1} \right)^m \cdot \frac{N}{2} + \left(\frac{K}{D_2} \right)^m \cdot \frac{N}{2} = \left(\frac{K}{D_d} \right)^m \cdot N$$

$$D_d = \sqrt{\frac{2D_1^m}{1 + \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^m}} = D_1 \frac{\sqrt[2]{2} i}{\sqrt[2]{1 + i^m}} = D_1 K$$

式中: $K_i = \frac{\sqrt[2]{2} i}{\sqrt[2]{1 + i^m}}$ —— 传动比系数

由实验获得 $m = 5.3$, 则有本程序采用的传动比系数计算式:

$$K_i = \frac{1.14i}{\sqrt[5.3]{1 + i^{5.3}}}$$

2. 弯曲影响系数 K_b :

由公式(3)考虑到 $i \neq 1$, 实际单根胶带传递的功率应写成:

$$P = (K_1 V^{0.009} - \frac{K_2}{D_d} - K_3 V^2) V$$

式中: $\frac{K_2}{D_d} \cdot V$ 引入传动比系数 K_i , 可写成:

$$\frac{K_2 V}{D_d} = \frac{K_2 V}{D_1 K_i} = \frac{K_2 V}{D_1} - \frac{K_2 V}{D_1} \left(1 - \frac{1}{K_i}\right)$$

$$\text{令 } \Delta p_0 = \frac{K_2 V}{D_1} \left(1 - \frac{1}{K_i}\right) = \frac{K_2}{D_1} \cdot \frac{\pi D_1 n_1}{60 \times 1000} \left(1 - \frac{1}{K_i}\right) = K_b n_1 \left(1 - \frac{1}{K_i}\right)$$

此式为*i* ≠ 1时的单根胶带所能传递功率的增量, 式中*K_b*称为弯曲影响系数, 即

$$K_b = \frac{K_2 \pi}{60 \times 1000}$$

3. 包角系数*K_α*:

由Euler公式有: $\frac{F_1}{F_2} = e^{f\alpha}$, 式中*F₁*, *F₂*分别是胶带紧边和松边的拉力, 带传动的周

周力*F*应为:

$$F = F_1 - F_2 = F_1 \left(1 - \frac{1}{e^{f\alpha}}\right)$$

带传动的初拉力*F₀*应为: (考虑离心力*F_c*影响)

$$\begin{aligned} F_0 &= \frac{F_1 + F_2}{2} + F_c \\ &= \frac{1}{2} \left(F_1 + F_1 \frac{1}{e^{f\alpha}} \right) + \frac{qv^2}{g} \\ &= \frac{F}{2} \left(\frac{2e^{f\alpha}}{e^{f\alpha} - 1} - 1 \right) + \frac{qv^2}{g} \quad \dots\dots(8) \end{aligned}$$

对于*i* = 1即α = 180°时, 取*f_v* = 0.5123, *e^{fα}* = 5, 则初拉力*F₀*可写成:

$$F_0 = \frac{F}{2} (2.5 - 1) + \frac{qv^2}{g}$$

考虑到*i* ≠ 1, 即α₁ ≠ α₂ ≠ 180°, 引入包角系数*K_α*, 则上式变为:

$$F_0 = \frac{F}{2} \left(\frac{2.5}{K_\alpha} - 1 \right) + \frac{qv^2}{g} \quad \dots\dots(9)$$

由(8), (9)可得*K_α*的计算式:

$$K_\alpha = \frac{2.5(e^{f\alpha} - 1)}{2e^{f\alpha}}$$

4. 长度系数*K_L*:

表二所列长度系数*K_L*, 采用指数函数的拟合曲线逼近, 即*K_L* = *C_L* *L_i*^{*K_L*}, 按照最小二乘法取偏差平方和最小来求得每种带型时的系数*C_L*和指数*K_L*. 即

$$F(C_L, K_L) = \sum_{i=1}^n [(\ln C_L + K_L \ln L_i) - \ln K_L]^2 \rightarrow \min$$

令 $\frac{\partial F}{\partial C_1} = 0$ 和 $\frac{\partial F}{\partial K_L} = 0$, 得

$$K_L = \frac{\sum_{j=1}^n [(\ln L_{ij})(\ln K_{Lj})] - [\sum_{j=1}^n (\ln L_{ij}) \sum_{j=1}^n (\ln K_{Lj}) / n]}{\sum (\ln L_{ij})^2 - [(\sum \ln L_{ij})^2 / n]} \dots\dots (10)$$

$$C_1 = \exp \left[\frac{\sum_{j=1}^n \ln K_{Lj} - K_L \sum_{j=1}^n \ln L_{ij}}{n} \right] \dots\dots (11)$$

将表2所列每种带型的 L_i , K_L 值代入式(10)和式(11), 得 K_L , C_1 值。(表5)。

参 考 文 献

- (1) 东北工学院编 机械零件设计手册 第二版 冶金工业出版社
- (2) 机械工程手册 第三十三篇 (试用本) 机械工业出版社
- (3) 濮良贵主编 机械零件 1982年修订本 人民教育出版社
- (4) 许镇宇、邱宣怀主编 机械零件 1981年修订本 人民教育出版社