

计算机辅助优选三角胶带传动参数

顾 连 森

(机械系)

摘 要

本文在研究三角胶带传动设计的理论与方法的基础上提出了一种优化三角胶带传动参数的数学模型。由于充分利用现有的设计资料和专家经验,只需采用最基本、最简单的一维优化方法就可直接求得最优解。

主题词: 三角胶带; 优化计算; 带数

前 言

在机械传动中,三角胶带传动是应用较广的一种,由于这种传动结构简单,成本低廉,适用于两轴中心距离较大的场合,而且因为胶带是挠性件,具有良好的弹性,可以缓和冲击和吸收振动,所以常作为中、小型电动机和工作机械之间的传动装置应用于各种机械中。

利用计算机对三角胶带传动进行常规的设计计算已日见增多,如文献[1]、[2]、[3]。但利用计算机对三角胶带传动进行优化设计,作者至今只见到文献[4]中有所介绍。本文在研究三角胶带传动设计的理论与方法的基础上也提出了一种优化三角胶带传动参数的数学模型,较之前者,设计变量由4个减为1个,目标函数更简单,采用最基本、最简单的一维优化方法就可求得最优解,同时,在优化计算中考虑了设计参数的离散性质,如胶带长度要符合国标中规定的系列化值,胶带根数则应取整数等。因此,较之前者把设计参数皆当作连续变量处理,本法更符合实际情况,所得结果可以直接供应用。

优化程序是在IBM-PC/XT机上采用高级BASIC语言编制而成。它是一个通用程序,使用灵活,操作方便,应用该程序可以帮助设计人员迅速正确地优选出三角胶带传动的各种参数。包括确定:三角胶带的型号、长度和根数;带传动的中心距;大、小带轮的节圆直径和有关的结构尺寸;单根胶带的预紧力和对轴的作用力等。其设计计算的速度比用计算器的设计计算方法可以提高30至50倍以上。此外,还可用来检查现有设备中三角胶带传动设计的合理性和帮助改造旧设备。

优化程序只要稍加修改就可以移植到其它型式的微机上使用。

1 优选参数的数学模型

三角胶带传动设计中, 希望在给定的原始数据条件下获得最小的外廓尺寸, 同时使每根三角胶带的承载能力在保证胶带在带轮上不打滑, 且具有一定的疲劳寿命的条件下得到最充分的利用。

运用设计资料和专家经验不难确定传动所需的三角胶带型号和小带轮的节圆直径 d_1 。为了获得最小的外廓尺寸和使带不致于有过大的弯曲应力, 小带轮的节圆直径通常总是按每种三角胶带型号推荐的最小带轮直径选取, 除非带速太小, 为提高单根三角胶带所能传递的功率和获取最有利的胶带根数才取较大的带轮直径, 带传动的中心距 a 是一个可变参数, 在没有限制的条件下, 它通常在 $0.55(d_1 + d_2)$ 至 $2(d_1 + d_2)$ 的范围内变化(d_2 为大带轮的节圆直径)。三角胶带长度则是随 a 变化的一个可变参数。

三角胶带传动设计中, 胶带根数由下式计算确定:

$$Z_o = P_c / (P_o + \Delta P_o) K_a K_\alpha K_L \quad (1)$$

式中 P_c ——计算功率(kw)

P_o ——单根胶带在特定条件下所能传递的功率(kw)

ΔP_o ——功率增量(kw)

K_a ——材质系数

K_α ——包角系数

K_L ——长度系数

Z_o ——胶带的计算根数。若胶带的实际根数是整数, 则用 Z 表示

根据原始数据, 在已给出大、小带轮转速(或小带轮转速和传动比)和已确定三角胶带型号和小带轮节圆直径的情况下, 式(1)中的 P_c 、 P_o 和 ΔP_o 皆可认为是常数, K_a 根据胶带材质决定。现代设计中多选用化学纤维强力层胶带, $K_a = 1$ 。 K_α 则取决于小带轮的包角 α_1 的大小, K_L 则随胶带节线长度 L_p 变化, 然而无论是 α_1 , 或是 L_p , 它们又都直接受中心距的影响, 所以 K_α 和 K_L 都是随中心距变化的系数。由此可见, 胶带根数 Z_o 是以中心距为自变量的函数。因为自变量只是一个中心距, 而且中心距变化范围的上、下界限清楚, 所以优选设计参数问题实际上成为一个简单的一维优化问题, 设计变量和目标函数用数学方式可以确定如下:

$$\text{设计变量} \quad X = a \quad (2)$$

$$\text{寻优区间:} \quad [0.55(d_1 + d_2), 2(d_1 + d_2)]$$

$$\text{目标函数} \quad \min F(X) = |Z - Z_o| \quad (3)$$

关于收敛准则, 离散变量优化计算的收敛准则不同于连续变量, 对于连续变量的优化计算, 其收敛准则往往是前后二次迭代计算中或者是设计变量的差值, 或者是目标函数值的差值小于某一预先规定的计算精度, 对于离散变量的优化计算, 不能采用这种方法。根据三角胶带传动设计的特点, 确定其收敛准则如下:

$$F(X^k) = |Z^k - Z_o| \leq \varepsilon \quad (4)$$

式中, k 为迭代次数, 其值等于1, 2, 3, ..., Z_o^k 为 k 次迭代计算中的胶带计算根数, Z^k 为 k

次迭代计算中胶带的实际需要根数。 X^k 为 k 次迭代计算中的自变量值, $F(X^k)$ 则为 k 次迭代计算中的目标函数值, ε 为目标函数值的收敛精度。经多次反复试验一般可取 $\varepsilon = 0.06$ 。当式(4)满足时就认为此时的目标函数值即为最优化值,与此同时确定的 a 、 L_p 、 α_1 和 Z 就认为是一组最优解。

2 主程序流程图

三角胶带传动的设计参数和程序中标识符的对应关系见表1,主程序流程图见图1。

表1 主要设计参数和程序中的标识符

设计参数		程序中的标识符	设计参数		程序中的标识符
名称	代号		名称	代号	
额定功率(kw)	P	P	计算功率(kw)	P_c	P_c 或 PC
小带轮转速 (r/min)	n_1	n_1 或 N_1	大带轮转速 (r/min)	n_2	n_2 或 N_2 (初定转速为 n_{20})
传动比	i	i 或 I (初定传动比为 i_0 或 I_0)	工作情况系数	K_A	K_A
小带轮节圆直径 (mm)	d_1	d_1 或 D_1	大带轮节圆直径 (mm)	d_2	d_2 或 D_2
胶带速度(m/s)	v	v 或 V	大带轮转速的相对误差	Δn_2	Dn_2 或 DN_2
传动比系数	K_i	k_i 或 K_I	弯曲系数	K_b	K_b 或 KB
单根胶带能传递的功率(kw)	P_0	PO	功率增量(kw)	ΔP_0	DPO
胶带每米长的质量 (kg/m)	q	q 或 M	胶带材质系数	K_q	K_q 或 KQ
中心距(mm)	a	a 或 A (初定中心距为 AO)	胶带内周长度 (mm)	L_i	L_i 或 LI
胶带节线长度 (mm)	L_p	L_p 或 LP (初定节线长度为 LO)	长度系数	K_L	KL
小带轮包角(度)	α_1	α_1 或 ALP_1	包角系数	K_α	K_α 或 $KALP$
胶带根数	Z	Z (计算根数为 Z_0)	单根胶带的预紧力(N)	F_0	FO
作用在轴上的力 (N)	Q	Q	带轮轮缘宽度 (mm)	B	B

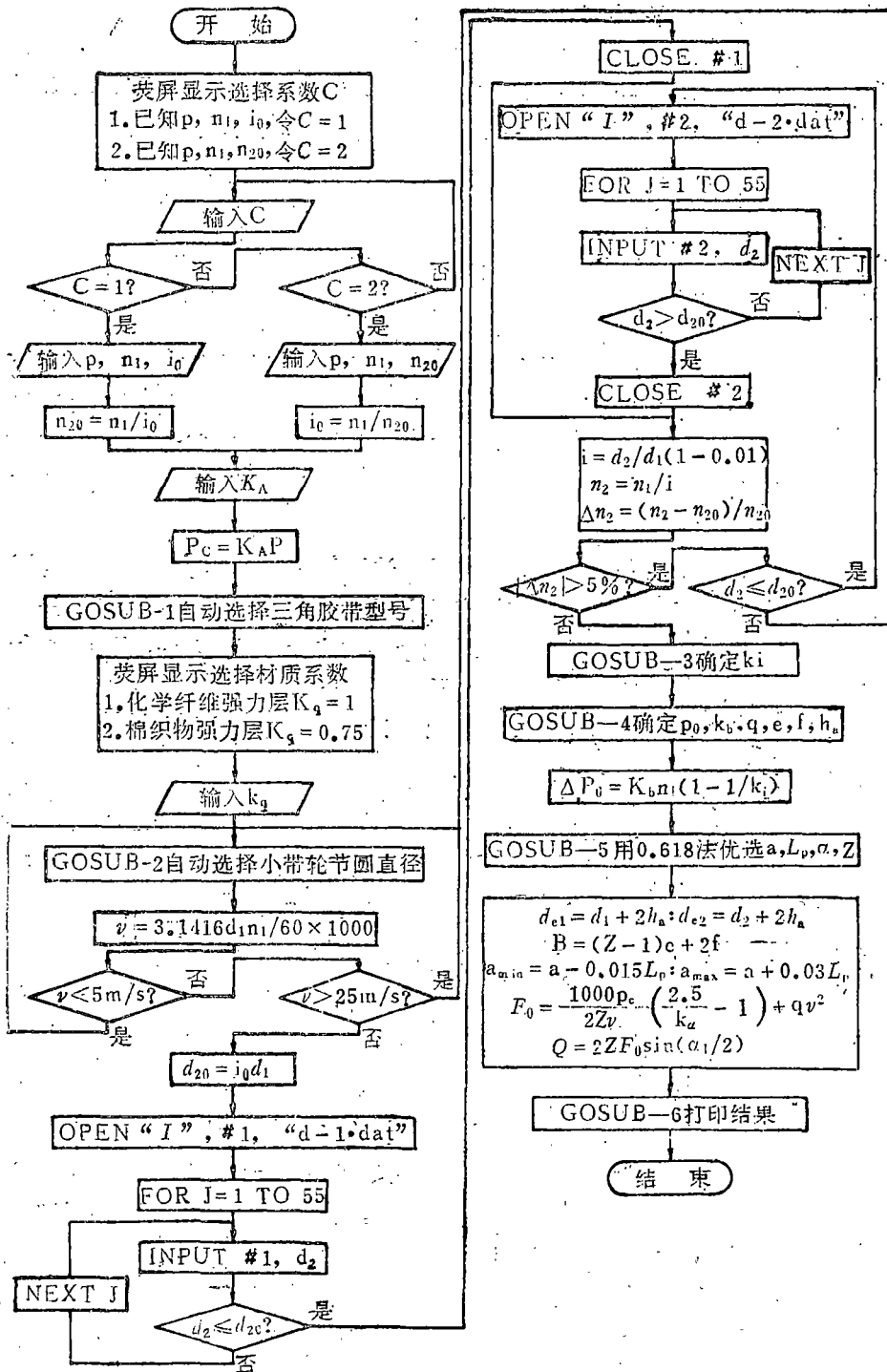


图1 主程序流程图

3 方法概要与应用举例

由图1的主程序流程图可见,运行该优化程序需要输入6个参数。这6个参数是:

原始数据的选择系数 C ;

三角胶带传递的功率 P ;

小带轮的转速 n_1 ;

传动比 i 或大带轮的转速 n_{20} ;

工作情况系数 K_A ;

胶带材质系数 K_q 。

上述6个参数采用人机对话方式输入后程序能自动选择三角胶带的型号和大、小带轮的节圆直径;自动确定单根胶带在特定条件下所能传递的功率和在题给条件下的功率增量;自动优选三角胶带的长度和所需的胶带根数;自动计算单根胶带的预紧力和作用在轴上的力;自动选取与计算其它有关的结构参数和尺寸等,最后打印出优化设计的结果。从输入原始数据起至打印结束的运行时间一般在半分钟左右。

例题1 设计某液体搅拌机的三角胶带传动。选用Y系列三相异步电动机,其额定功率为2.2kw,转速为1420r/min。小带轮装在输出轴上,从动带轮转速为340r/min,三班制工作。

解:按题给条件运用该优化程序应输入的六个参数值分别为 $C=1$, $P=2.2(\text{kw})$, $n_1=1420(\text{r/min})$, $n_{20}=340(\text{r/min})$, $K_A=1.2$, $K_q=1$ 。

中心距的寻优区间: $[0.55(d_1+d_2), 2(d_1+d_2)]$, 其中大、小带轮的节圆直径 d_1 和 d_2 在程序运行中自动选择和确定。

目标函数值的收敛精度取 $\varepsilon=0.06$

在 IBM—PC/XT 机上运行结果如下:

Filename: V—BELT

Original and inputted data:

$P=2.2\text{kw}$ $n_1=1420\text{r/min}$, $n_{20}=340\text{r/min}$

$K_A=1.2$ $K_q=1$

Optimum proceeding:

Eps = 0.06

K	a(mm)	Lp(mm)	$\alpha_1(\text{Deg})$	ZO	Z	DZ
1	603	2033	151.4925	1.910676	2	8.932412E—02
2	728	2273	156.3874	1.827571	2	0.1724291
3	499	1833	145.5511	1.986818	2	0.0131824

The optimal design of results:

V—belt A—1800×2 GB 1171—74

$d_1=100\text{mm}$ $d_2=400\text{mm}$

$d_{e1}=107\text{mm}$ $d_{e2}=407\text{mm}$ $H_a=3.5\text{mm}$

$b_{o1}=13.1\text{mm}$ $\phi_1=34\text{Deg}$ $H_{m\text{in}}=12\text{mm}$

$b_{o2}=13.4\text{mm}$ $\phi_2=38\text{Deg}$ $\delta_{m\text{in}}=6\text{mm}$

$B = 35\text{mm}$ $e = 15\text{mm}$ $f = 10\text{mm}$

$a = 499\text{mm}$ $A_{\min} = 472\text{mm}$ $A_{\max} = 554\text{mm}$

$n_2 = 351.45\text{r/min}$ $i = 4.040404$ $D_{n_2} = 3.367651\%$

$V = 7.435119\text{m/s}$ $FO = 161.5283\text{N}$ $Q = 617.1368\text{N}$

Reference values:

$PC = 2.64\text{kw}$ $PO = 1.271436\text{kw}$ $DPO = .1796176\text{kw}$

$AO = 448.046\text{mm}$ $LO = 1731.71\text{mm}$ $Li = 1800\text{mm}$

$KL = 1.01$ $Kb = .00103$ $Ki = 1.14$

$Kalp = .9066533$ $q = .1\text{kg/m}$

Date: 04—12—1988

Time: 09:41:57~09:42:20

从上述打印结果可以知道: 经过3次迭代计算就取得了本题的最优解, 运行时间为23秒。

例题2 设计某机械中用的三角胶带传动。原动机为滑环式异步电动机, 功率10kw, 转速1450r/min, 带传动的传动比为2.3, 每天工作16h, 载荷平稳。

解: 按题给条件运用该优化程序应输入的6个参数分别为 $C = 2$, $P = 10(\text{kw})$, $n_1 = 1450$ (r/min), $i_0 = 2.3$, $K_A = 1.2$, $K_q = 1$

中心距的寻优区间与例题1相同。

目标函数值的收敛精度也取 $\varepsilon = 0.06$

在同一微型计算机上运行结果如下:

Original and inputted data:

$P = 10\text{kw}$ $n_1 = 1450\text{r/min}$ $i_0 = 2.3$

$K_A = 1.2$ $k_g = 1$

Optimum proceeding:

Eps = 06

K	a(mm)	Lp(mm)	$\alpha_1(\text{Deg})$	ZO	Z	DZ
1	555	1840	161.9324	4.106088	4	0.1060882
2	777	2280	167.0946	3.838589	4	0.1614115
3	454	1640	157.913	4.247984	4	0.2479839
4	657	2040	164.7374	3.945653	4	0.0543468

The optimal design of results:

V—delt B—2000×4 GB 1171—74

$d_1 = 140\text{mm}$ $d_2 = 315\text{mm}$

$d_{e1} = 150\text{mm}$ $d_{e2} = 325\text{mm}$ $H_a = 5\text{mm}$

$d_{o1} = 17\text{mm}$ $\varphi_1 = 34\text{Deg.}$ $H_{mja} = 15\text{mm}$

$b_{o2} = 17.4\text{mm}$ $\varnothing_2 = 38\text{Deg.}$ $\delta_{mja} = 7.5\text{mm}$

$B = 82\text{mm}$ $e = 19\text{mm}$ $f = 12.5\text{mm}$

$a = 657\text{mm}$ $A_{mja} = 626\text{mm}$ $A_{max} = 718\text{mm}$

$$n_2 = 638 \text{ r/min} \quad i = 2.272727 \quad D_{n2} = 1.199995\%$$

$$V = 10.62908 \text{ m/s} \quad FO = 243.9843 \text{ N} \quad Q = 1934.588 \text{ N}$$

Reference values:

$$P_c = 12 \text{ kW} \quad PO = 2.806878 \text{ kW} \quad DPO = 4116965 \text{ kW}$$

$$AO = 653.614 \text{ mm} \quad LO = 2033.656 \text{ mm} \quad Li = 2000 \text{ mm}$$

$$KL = 0.98 \quad Kb = 0.00265 \quad Ki = 1.12$$

$$K_{alp} = .9642123 \quad q = 0.17 \text{ kg/m}$$

Date: 04—12—1988

Time: 15 : 35 : 04 ~ 15 : 35 : 27

从上述打印结果中可以清楚地知道本题经过4次迭代计算取得了最优解,运行时间为23秒。

文献[4]采用复合形法对本题参数进行优化计算所得的结果如下:

$$X(8,1) = 135308816 \quad (X(8,1) \text{ 即 } d_1)$$

$$X(8,2) = 1873.49745 \quad (X(8,2) \text{ 即 } L_p)$$

$$X(8,3) = 3.06425999^* \quad (X(8,3) \text{ 即 } \alpha_1)$$

$$X(8,4) = 4.04181578 \quad (X(8,4) \text{ 即 } Z)$$

由于该程序迭代次数从“0”次开始,所以共迭代9次取得最优值。因为这是按连续变量求优的,因此所得结果还需要进一步离散化或圆整成整数和标准系列化值。对比这两种优化方法可以认为结果基本上是一致的,然而,本文所得结果更符合实际要求,收敛速度也快。

例题2的寻优区间若改为 $[0.55(d_1 + d_2), 850]$,即设计变量的上界若为850mm,也就是说希望带传动的中心距不超过850mm,则收敛速度更快,只需2次迭代计算就可获得上述最优解。

4 结束语

三角胶带传动的优化设计属混合离散变量的优化设计问题。熟悉优化的人们都知道,离散变量的优化比连续变量的优化难度要大得多。它的常用方法是先把离散变量当作连续变量处理,取得最优解后,再把求得的设计变量舍入到与它相近的允许离散值,形成多种设计方案,再从中优选出最佳方案。本文没有这样做,而是在充分研究三角胶带传动设计的理论与方法的基础上,利用现有的设计资料和专家经验,提出合理的数学模型,使复杂的多维优化设计问题变成简单的一维优化设计问题,然后运用磁盘数据文件的优点,对离散变量直接求优,从而获得了比文献[4]把所有设计变量皆当作连续变量处理更好的效果。

* 原文以弧度为单位,若以度表示则为175.569195。

参 考 文 献

- [1] 顾连森. 三角胶带传动的计算机辅助设计法. 机械技术, 1988; 4
- [2] 余俊, 陈定方, 周济, 倪笃明. 机械CAD基本教程. 华中工学院出版社, 1987
- [3] 黄瑞清. 微型计算机在机械设计中的应用. 四川科学技术出版社, 1987,
- [4] 杨凤巢, 孙立. 机械设计CAD教程. 哈尔滨工业大学出版社, 1987
- [5] Rayc Johnson. Optimum Design of mechanical elements. A Wiley-Interscience Pullication 1980 Second Edition

Optimum Seeking Parameters for V Belt Drive with An Aid of the Computer

Gu Liansen

Abstract

In this paper, a mathematical model of optimum design is developed for V belt drive on the basis of studying the theory and method of V belt drive design. Owing to making good use of present design information and experience of experts, an optimal solution is directly obtained which needs only to use one dimensional optimization method.

Subjectwords: V belt, Optimum calculation, Number of V belt