

机床主传动系统优化设计

刘凤利¹ 李 辉²

(河北理工学院 机械系 河北 唐山 063009) (石家庄铁道学院 机械系 河北石家庄 050043)

关键词 机床 ;主传动 ;CAD

摘 要 :系统地分析了机床主传动系统方案决策的优化设计 ,从图论理论出发 ,运用分级模块式设计方法 ,提出了一种优化机床主传动设计方案的新方法 ,可提高设计精度、缩短设计周期。

中图分类号 :TH 132 文献标识码 :A

0 引言

机床主传动系统设计是一个比较复杂的问题 ,设计机床主传动系统时 ,要在给定的工作条件及设计要求下 ,确定传动功率、主轴速度范围、公比、级数等相关参数。在确定以上参数后 ,可以有許多不同的传动方案 ,有多种转速图 ,他们之中自然有优略之分 ,按常规方法设计时 ,因需要进行大量反复、繁琐的计算 ,只能对几种方案进行计算和比较 ,要找到最佳结果是比较困难的。以往对机床主传动系统的优化设计 ,大多是在给定了设计方案的前提下对参数进行优化 ,而未进行传动方案的优化决策 ,传动方案的优化是进一步设计的前提 ,直接影响着设计结果。笔者应用分级模块化设计思想 ,并用图论理论对主传动系统进行分析 ,阐述了机床变速箱主传动系统方案决策的优化设计。

1 传动方案的优化决策

1.1 传动方案的矩阵表达式

主传动系统通常是由顺序串联(或并联)的几个变速组构成的 ,我们可以用图论中的有关方法来描述主传动系统的特性。

主传动系统可用其“邻接矩阵”来描述。根据图论中有向树的定义 ,机床主传动系统可以看作是以电机轴为起点的有向树 ,设主传动系统有 M 根传动轴(含主轴) ,定义如下矩阵为主传动系统的邻接矩阵 :

$$S = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1m} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ S_{m1} & S_{m2} & \cdots & S_{mm} \end{pmatrix} \quad (1)$$

式中元素 S_{pq} 表示由 P 轴到 q 轴的传动副数目,且 $p, q \leq m$ 。由于只能由前级轴向后级轴传动,所以当 $p \geq q$ 时, $S_{pq} = 0$ 。当 $p < q$ 时,若出现 $S_{pq} = 0$,则表示从 p 轴到 q 轴没有传递关系。所以 S 矩阵是一个上三角矩阵,其对角线以下元素均为零。

1.2 方案优化的目标函数

设计主传动系统时,应在满足设计要求的前提下,使传动装置中的元件数目最少,或使传动副数目最少。所以优化的目标函数是:

$$f(m, s) = \sum_{p=1}^m \sum_{q=1}^m S_{pq} \quad (2)$$

对于有分支的主传动系统,还应使高速分支传动链尽可能短,即图论中的最短路径问题。

1.3 约束条件

对传动方案的主要约束条件有:

①设计方案的主轴转速级数应与要求的转速级数相等,即约束式中: $g_1(m, s)$ 是由邻接矩阵算出的主轴转速级数, IZ 是设计要求的转速级数。

$$g_1(m, s) = IZ \quad (3)$$

对传动轴数目的限制式中: m 为方案中采用的传动轴数目,

$$M_{\min} \leq m \leq M_{\min} + \Delta M \quad (4)$$

ΔM 为考虑结构需要可增加的轴数,一般可取 $\Delta M = 1 \sim 2$

M_{\min} 为允许的最少轴数,可由下式确定:

$$\frac{n_{\min}}{n_0} \geq \prod_{j=1}^{M_{\min}-1} j_{ij}^{\min} \quad (5)$$

式中: n_{\min} 为主轴最低转速;

n_0 为输入轴转速;

j_{ij}^{\min} 为传动组的最小允许传动比。取 $j_{ij}^{\min} = 0.25$ 。

③对每个传动组中传动副数目的限制

$$1 \leq S_{pq} \leq 4, \text{ 且 } S_{pq} \text{ 为整数} \quad (6)$$

此外,约束条件还有:只允许有一条并联分支,低速分支的结构式应大体满足“前多后少”的原则等。

2 机床变速系统的分级模块化

2.1 传动模块的建立

机床分级模块化设计,是为满足当前生产批量小、品种变化多、设计周期短的需要,进行机床设计 CAD 时的一种设计方法。所谓分级模块式设计,就是将整台机器分成若干模块,各模块又由若干标准化的子模块组成。设计时选用各类合适的标准子模块,就可迅速构成新的产品设计方案。

通过统计分析知道,现有各类机床变速系统大都是由两块或数块定比齿轮传动副、双联或三联齿轮变速机构组成的,在结构上有明显的分级特性。可以说,通用机床的主传动系统,无论有多复杂,总可以将其分成若干个按一定次序组合的“基本传动机构”,称之为

“传动模块”。模块并非传动系统的最小单元,他们是那种能自成体系的最简单的传动机构,以轴为联系,相互串联在主传动系统中。

根据对各类机床的统计分析,筛选了一批有代表性的常用传动模块。筛选时的基本原则是图形应尽可能典型,且不能太复杂,便于计算机处理,性能参数要精炼,便于计算机判断识别;同时,还要有扩展和修改的机动性,以适应新的要求。

图 1 列出了几个传动模块的例子。表中列出了每一种变速模块的结构图、特性代码(用以表示其功能、变速级数和顺序的一个四位数码)、轴向尺寸、约束条件等。

序号	1	2	3	4	5
图 形					
代码	2210	4220	6230	8322	7322
轴向尺寸	$L > b$	$L > 4b$	$L > 7b$	$L > 6b$	$L > 5b$
约束 条件			$Z_1 - Z_2 \geq 4$	$Z_1 - Z_3 \geq 4$ $Z_4 - Z_2 \geq 4$	$Z_1 - Z_1 \geq 4$ $Z_2 = Z_4$ $m_1 = m_2$

注 : b —齿轮宽度 ; L —齿轮变速组所占有的轴向长度 ; Z —齿轮齿数 ; m —齿轮模数

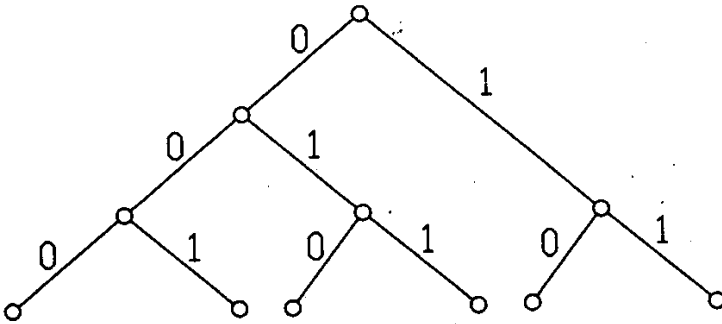
图 1 变速模块结构表

2.2 变速模块的识别和轴向布置

传动模块中的各种信息都以文件形式存贮,设计传动方案时,由计算机根据设计要求对存贮的传动模块进行自动识别,选择相应的传动模块,然后自动构成传动系统方案。该系统必须满足两个条件:变速传动模块副数应等于结构式中相应的传动副数;变速级数应等于要求的级数。这两个条件也就是识别过程的约束条件。

识别传动模块的逻辑过程可以用图论中的决策表示,如图 2 所示。将传动模块分为基本模块(指仅有一个传动变速组的模块)和功能模块(指交错排列变速组、单公用齿轮、双公用齿轮变速组、背轮机构和分支传动机构等)。用节点下的两条边表示。树根是开始进行决策的起点,树叶是判断的结构。对每一个节点都进行是否满足约束条件的判断。

如满足约束条件,就构成一种传动系统图,然后再从树根开始另一个方案的决策。



注 0—基本模块条件 1—功能模块条件

图 2 决策树

对于某些既定的设计要求,可以从传动模块中选择不同的模块构成传动系统,即有许多种满足设计要求的传动系统图,但它们各自所用的元件数量、轴向尺寸是不同的,应从中选择一种方案。

一般说来,设计变速箱时应尽量缩短轴向尺寸,当然必须大于合理跨距。虽然在未完成参数优化和结构设计之前,齿宽的具体数值尚未确定,但对于由传动模块构成的传动系统,其最小轴向尺寸 L 可由下式确定:

$$L \geq \sum_{i=1}^N X_i b \quad (7)$$

式中: X_i —为传动模块对应的宽度系数;

b —为齿宽;

N —为传动系统中所用模块个数。

据此可以从满足基本设计要求的诸多方案中优选出轴向尺寸 L 最小的方案。

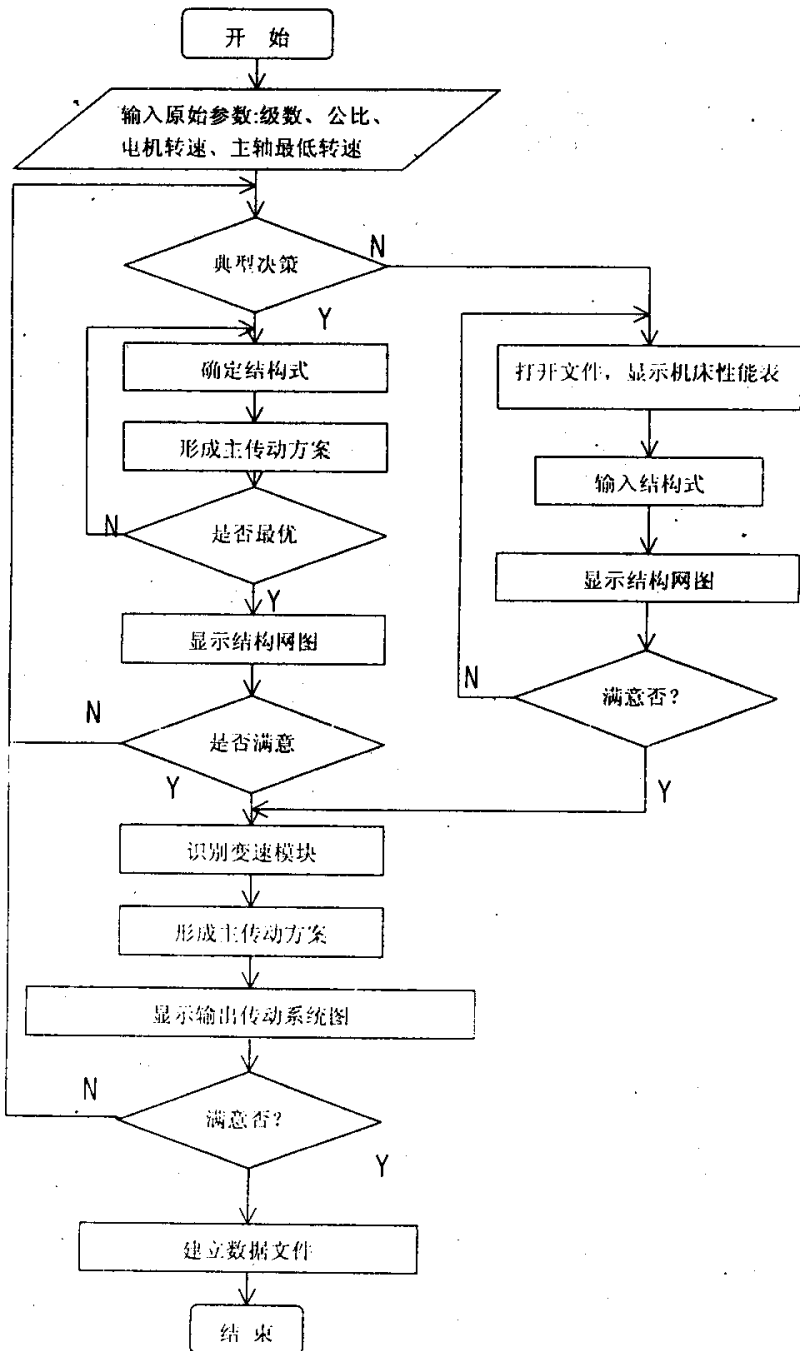
2.3 传动方案的决策

传动方案决策程序的设计思想是根据约束条件,通过人机对话方式决定最佳结构式和结构网。计算机自动识别满足要求的传动模块,并且进行轴向排列优选,然后叠加形成主传动系统图。程序框图如图 3 所示。

本程序设计采用 Turbo-Pascal 语言编写,由若干子程序和数据库组成,系统有较强的智能化功能。采用交互式人机会话方式,设计人员根据屏幕显示的提示,可以方便地用键盘回答计算机要求的问题。软件具有直观、准确的图形功能,设计者可以对方案进行实时判断和修改。

3 结论

本文系统地分析了机床主传动系统方案决策的优化设计,从图论理论和矩阵理论着手,建立了数学模型和优化方法。本文论述的方法和程序设计可用于各类(下转第 52 页)



(上接第 36 页) 机床变速箱传动方案的优化决策,也可用于一般减速器的设计。

参考文献:

- [1] 戴曙. 金属切削机床设计[M]. 北京:机械工业出版社,1980.
- [2] 洪炳容. 计算机辅助设计与制造[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1986.
- [3] 陈立周,等. 机械优化设计[M]. 上海:上海科学技术出版社,1982.

An optimum design for machine tool main drive system

LIU Feng-li¹, LI Hui²

(1. Department of Mechanical Engineering, Hebei Institute of Technology, Hebei Tangshan 063009, China 2. Department of Mechanical Engineering, Shijiazhuang Railway Institute, Hebei Shijiazhuang 050043, China)

Key words: machine tool; main drive; CAD

Abstract: This article analyzes a numbers of optimum designs of the machine tool main drive system. The graphic theory and the design method of classification model were introduced and a new method of optimum design for the machine tool main drive system was proposed. This had a very important meaning in improving design exactitude and shortening design cycle.