

2K-H 型行星齿轮减速器优化设计及其 CAD 系统

李 伟 田竹友 王泽林

(中国农业大学机械工程学院) (北京机械工业学院)

摘 要 讨论了行星齿轮减速器设计中的模糊优化因素,建立了优化数学模型,研究了 CAD 系统中基于特征的产品设计方法及装配图消隐技术。

关键词 行星齿轮减速器; 优化设计; CAD 系统

分类号 TP 391.72

Research on Dynamic Characteristics and CAD System of 2K-H Planetary Gear Drive

Li Wei

Tian Zhuyou Wang Zelin

(College of Machinery Engineering, CAU)

(Beijing Institute of Machinery)

Abstract Optimization design of 2K-H planetary gear and the fuzzy factors in the design process were studied. The optimal model is set up. The CAD method oriented to the feature of product design and a new technology for removing hidden edges in the assembly drawings were presented also.

Key words 2K-H planetary gear drive; CAD; optimization design

行星齿轮减速器的研究和应用在工业发达国家受到了广泛的重视,目前这种减速器正在向小型化、高精度化和多系列化发展。我国在减速器优化设计及其CAD系统研制方面与国外同类技术相比存在较大差距,目前车辆运输系统、航空航天机器人机构等所需的多种机械产品对减速器性能的要求不断提高,所以减速器的优化设计方法及其CAD系统的研制成为当前减速器设计的重要课题。

2K-H型行星齿轮减速器CAD系统是针对北京行星齿轮减速器厂2K-H减速器产品而开发研制的计算机辅助设计系统。该系统以原样机(仿国外产品设计,原设计资料缺乏)为基础,参照我国国情进行了进一步的开发,实现了减速器结构及部分零部件的优化设计,并建立了参数化绘图系统。

1 2K-H型行星齿轮减速器CAD系统的功能框架

该系统以AutoCAD R14为平台,采用VC++ 5.0为编译器,以最通用的C++为编程语言。系统框图如图1,各模块功能为

1) 总体设计模块:确定减速器的类型、传动比分配等总体设计工作; 2) 优化设计模块:以最

收稿日期: 1999-10-22

原机械部教育司科技基金资助项目

李 伟,北京清华东路17号 中国农业大学(东校区)70信箱,100083

小体积为目标函数进行模糊优化设计; 3) 结构设计模块: 设计各零件的结构形状和尺寸; 4) 动态演示模块: 把优化设计出来的行星齿轮机构进行动态模拟, 检查是否干涉及齿轮啮合情况; 5) 参数绘图模块: 参数化绘制零件图和装配图; 6) 辅助设计模块: 该模块由标准件库组成, 供用户独立使用; 7) 文件管理模块: 此模块能根据图形属性完成对图形的建库、存档、查询、修改、删除、显示等工作。

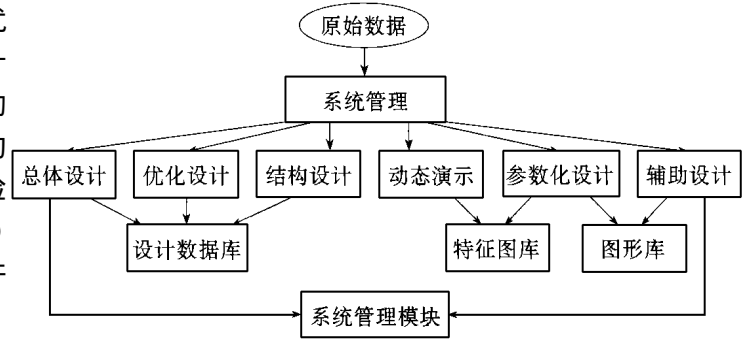


图 1 系统总体设计结构框图

2 2K-H 型行星齿轮减速器的模糊优化设计

2.1 目标函数的建立

图 2 所示为 2K-H 型行星齿轮减速器的机构示意图, 优化目标是在传动比 i 及承载能力一定的条件下, 使体积最小。取太阳轮和行星轮作为体积目标函数, 由于太阳轮和全部行星轮的体积之和能影响齿圈和整个机构的体积, 所以选此项指标作为最优优化设计的目标函数 $F(x)$ 。根据文献[1]得

$$F(x) = 0.19635m^2z_1^2b[4 + (i - 2)^2c]$$

式中: m 为齿轮模数; b 为齿轮名义宽度, mm; z_1 为太阳轮齿数; c 为行星齿轮个数。

在给定传动比 i 及行星齿轮个数 $c = 3$ 的条件下, 机构体积主要取决于齿轮模数 m , 齿宽 b 及太阳轮齿数 z_1 。

设 $X = [z_1, b, m]^T = [x_1, x_2, x_3]^T$, 这样, 目标函数就可写成

$$F(x) = 0.19635x_1^2x_2^2x_3^2[4 + (i - 2)^2c]$$

在设计的同时, 各齿轮的齿数还应满足传动比条件, 装配条件和同轴条件等。

2.2 约束条件

2.2.1 齿轮接触疲劳强度条件

这里主要考虑外啮合齿轮副, 根据对钢制标准直齿圆柱齿轮接触强度的要求, 由文献[1]得

$$g_1(x) = \frac{750937.3}{x_1x_2(x_3)^{1/2}} - [\sigma]_H \geq 0$$

式中: 约束条件用 $g_\mu (\mu = 1, 2, \dots, \theta)$ 表示; $[\sigma]_H$ 为齿轮材料接触强度许用应力, $N \cdot mm^{-2}$ 。

2.2.2 齿轮弯曲强度条件

取轮 1 计算, 根据文献[2]得

$$g_2(x) = \frac{1482000y_{FYS}}{x_1x_2x_3^2} - [\sigma]_F \geq 0$$

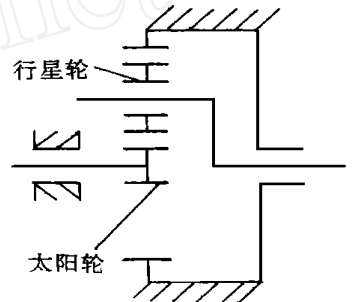


图 2 行星齿轮减速器机构示意图

式中: $[\sigma]_F$ 为弯曲强度许用应力, $N \cdot mm^{-2}$; y_F 为齿轮的齿形因数; y_s 为应力校正因数。

2.2.3 设计变量的边界约束

齿数不根切: $g_3(x) = 17 - x_1 \geq 0$

模数限制: $g_4(x) = 2 - x_3 \geq 0$ $2 - m \geq 5$

齿宽限制: 行星轮, $g_5(x) = 5x_3 - x_2 \geq 0$ $5m - b \geq 17m$; 太阳轮, $g_6(x) = x_2 - 17x_3 \geq 0$ $5m - b \geq 17m$ 。

由以上各条件构成了行星齿轮减速器体积最小模糊优化模型, 其中目标函数和设计变量是确定的条件, 约束条件中的许用应力值为模糊量, 通过模糊约束的处理, 优化模型的转化, 最后采用穷举法寻优完成设计过程。根据文献[3]求: $X = [x_1, x_2, x_3]^T$, 使得目标函数 $F(x)$ 为最小, $g_u(x) \geq 0 (u = 1, 2, 3, 4, 5, 6)$ 。

以北京齿轮减速器厂二级行星齿轮减速器为例, 一级单排行星齿轮机构传动比 $i = 7.5$, 齿轮材料为 20CrMnMo, 相应的许用应力范围 $[\sigma]_H = 1300 \sim 1650 \text{ MPa}$, $[\sigma]_F = 430 \sim 880 \text{ MPa}$, 传动功率为 5.5 kW, 输入转速为 $970 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$, 其他模糊条件为设计水平、工艺水平、重要程度、使用条件、材料质量因素。经编程计算, 得到优化结果为: $X = [z, b, m]^T = [20, 24, 2.00]^T$, $F = 985.83 \text{ cm}^3$; 并得到行星机构全部设计尺寸, 体积比原来减小了 28.625%, 承载能力符合要求; 另外行星机构的中心距缩短且重量减轻, 减速器的机构更加紧凑。

3 行星齿轮减速器的 CAD 系统设计

根据行星齿轮减速器的生产特点, 以 AutoCAD R14 为平台, 利用其 C 语言编程开发系统 (ADS) 开发了参数化绘图系统。

3.1 基于特征的齿轮轴参数化设计

传统的建模方式使 CAD, CAPP, CAM 处于分离局面, 它们依据不同的数学模型彼此不相符合。如 CAD 系统只产生低层次的几何信息, 如点、线、面等, 而 CAPP 系统则需要较高层次的信息, 主要包括几何形状、形状特征、工艺特征、材料特征, 例如: 尺寸、公差、表面粗糙度、技术要求等。这些信息是 CAPP 和 CAM 的基础。本系统建立了一个基于 CAD, CAPP 信息共享的齿轮轴零件参数化设计数据模型, 包括特征的定义及特征参数的内容。

特征图元是从设计和制造经验中抽象出来的具有几何、属性、制造 3 方面信息的参数化形状单元, 特征图元的确定必须根据具体的环境而定。本系统定义了 8 种特征图元: 外圆柱特征图元、渐开线齿轮特征图元、外螺纹特征图元、外成形面特征图元、轴截面键槽特征图元、轴截面键槽螺纹特征图元、长轴上齿面特征图元、外圆锥特征图元; 5 种辅助特征图元: 倒角、台阶、键槽、顶尖孔、内孔。

图 3 示出系统结构框图。绘图时, 选择构成零件的特征图元输入参数, 将各参数图元组合起来完成整体零件图, 同时将各特征类型及特征参数存入零件信息库中, 由 CAPP 系统直接使用, 无需另行输入。本系统的后续 CAPP 系统已完成了齿轮轴类零件的工艺设计, 实现了 CAD/CAPP 的信息共享。

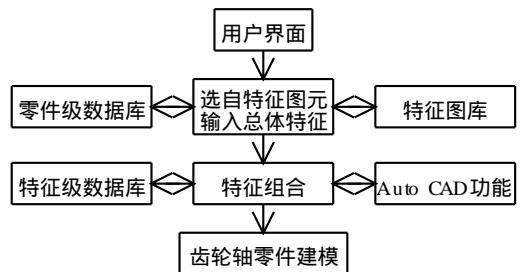


图3 系统结构框图

3.2 装配图的生成与消隐处理

装配图是由许多基本图形拼合而成, 同时也可以看作是由零件图拼装而成。拼装装配图, 必须处理好一个重要问题: 遮挡与消隐。行星齿轮减速器装配图是由采用参数化绘图方法生成的块拼装而成, 这就不可避免地涉及到遮挡与消隐的问题。目前的 CAD 软件大多不具有装配图的自动消隐功能, 二维消隐算法也不很成熟。本系统的消隐处理过程参考了文献[4]: 首先利用 boundary 命令自动识别覆盖图形内外轮廓; 其次从被覆盖图形中找出 z 坐标最大值 z_{\max} , 将 z_{\max} 加 1 后赋值给覆盖图形中的所有实体(包括边界环多义线); 然后分别将内外轮廓多义线定义成域, 调用布尔“差”从外轮廓线生成的域中减去所有轮廓边界线产生的域; 最后直接调用 AutoCAD 的 Hide 命令实现消隐。结果表明这种程序简单的算法消隐效果良好、性能稳定、效率高, 除此之外更重要的是利用 Hide 命令消隐后的图形没有破坏被覆盖图形的完整性, 被覆盖图形的实体信息没有改变, 这就为实现装配图和零件图的关联提供了极大的方便, 如事先设计好零件的装配关系, 其装配图的生成及其消隐处理可一次实现。

3.3 文件管理及标准件模块

在 2K-H 行星齿轮减速器 CAD 系统中用 C++ 语言编写了一个文件管理模块, 由它在 AutoCAD 内部实现一些数据库的功能, 实现对各种信息的管理, 总体结构如图 4。除此之外还根据国际标准, 建立了标准件库, 实现了常用标准件轴承、螺栓、螺钉、键等的设计及绘制。

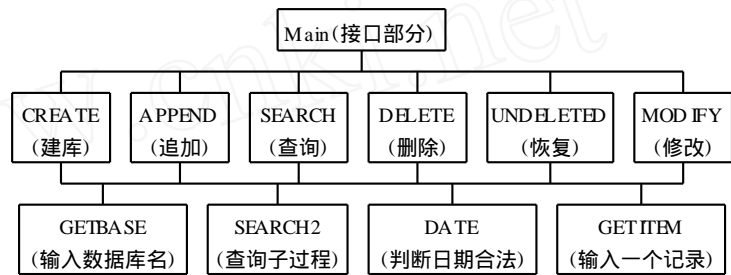


图 4 文件管理模块结构图

4 结 论

1) 本文中讨论了行星齿轮减速器优化设计中约束条件的模糊性问题, 并以体积最小为优化目标, 优化设计结果符合目标要求。2) 基于特征的齿轮轴参数设计实现了单一零件 CAD/CA PP 的信息共享, 给出的轴类零件的特征图元具有较大的覆盖性及实用性, 为后续 CA PP 奠定了基础。3) 装配图生成过程中较好地解决了二维图形的消隐问题, 实现了装配图的自动消隐, 为实现装配图和零件图的关联提供了极大的方便。4) 行星齿轮减速器设计过程中的一系列运动学、动力学问题将在接下来的课题中进一步研究, 将以 ADAMS 软件为核心工具开发三维行星齿轮减速器的计算机仿真系统及虚拟样机。

参 考 文 献

- 1 孙靖民 机械优化设计. 北京: 机械工业出版社, 1998 121~ 207
- 2 华南工学院等九院合编 机械设计. 北京: 人民教育出版社, 1980 60~ 120
- 3 王彩华, 宋连天 模糊论方法学. 北京: 中国建筑工业出版社, 1988 80~ 120
- 4 梅树立, 王泽林, 田竹友, 等. 基于深度测试的二维图形消隐技术. 北京机械工业学院学报, 1999, 14(2): 38~ 41