

# 一种高效智能的参数化设计方法

胡宗政

(兰州职业技术学院, 兰州 730070)

**摘要:** 在传统机械传动零部件设计中, 一般计算过程复杂, 计算量较大。利用 Pro/E软件的行为特征建模技术, 结合 MathCAD软件强大的计算功能, 以某齿轮传动系统的参数化优化设计为实例, 提出了一种灵活高效解决实际问题方法, 为自动化、智能化设计提供了一种思路。

**关键词:** Pro/E行为特征建模; 参数设计; 优化设计; MathCAD

**中图分类号:** TH122 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-6341(2011)04-0036-03

随着 CAD/CAM/CAE技术的不断发展, 参数化设计的建模技术在各行各业已经得到了广泛应用。所谓参数化设计就是指采用一组相关参数来映射产品的几何特征, 建立模型几何尺寸与参数的对应关系, 通过参数的设置和编辑, 快速修改和控制几何形状, 自动实现模型的精确造型, 快捷高效地完成一系列相似形状的模型的重新设计。Pro/E软件作为一款参数化设计的典型应用软件, 整合了包括 CAD/CAM/CAE技术在内的很多应用模块, 其行为特征建模技术将 CAE技术与 CAD建模融于一体, 通过定义分析特征, 驱动参数模型, 自动修改模型特征参数, 实现设计过程的目标驱动。

本文综合利用 Pro/E软件的行为特征建模技术, 借助 MathCAD软件强大的计算功能和简洁的数据优化功能, 通过 MathCAD和 Pro/E之间的数据传输, 完成了渐开线直齿圆柱齿轮的参数化优化设计, 阐述了 Pro/E行为特征建模的基本过程与步骤。

## 1 齿轮参数化建模

### 1.1 建模思路

齿轮设计中涉及到的几何参数比较多, 而一个标准齿轮, 当基本参数 ( $z, m, a$ ) 和参数  $h_a^*, c$  确定后, 其主要尺寸及齿廓形状就完全确定了。在 Pro/E中引入齿形参数来控制轮齿形状, 用关系工具建立原始参数、非独立参数之间的联系, 利用曲线方程生成渐开线, 通过“拉伸”、“阵列”等命令精确构建圆柱直齿轮实体模型, 详细步骤请参阅相关文献。

### 1.2 优化设计思路

软齿面齿轮传动具有制造方便、成本低等优点。在对精度、强度和速度要求不高、传动功率较低、对齿轮尺寸无严格限制环境下得到了广泛的应用。

本文在综合考虑软齿面齿轮性能要求以及工作条件的基础上, 确定齿轮中心距最小为优化目标, 利用 MathCAD中 Miniqz函数获得符合优化目标的各齿轮模数、齿数等基本参数的初始值, 从而确定齿轮系统所有几何参数。

## 2 齿轮参数优化数学模型的创建

### 2.1 目标函数与设计变量

假设以齿轮传动系统中心距最小为优化目标, 则目标函数可写为:

$$f(x) = \frac{m_1 z_1}{2} (1 + i) + \frac{m_2 z_2}{2} (1 + \frac{i}{i_1}) \quad (1)$$

式中:  $m_1, m_2$  为高、低速齿轮模数;  $z_1, z_2$  为高、低速小齿轮的齿数;  $i$  为高速级传动比;  $i_1$  为总传动比。

由式 (1) 可知, 齿轮传动的总中心距  $a$  与模数  $m_1, m_2$ , 小齿轮齿数  $z_1, z_2$ , 第一级传动比  $i$ , 齿宽系数  $\phi_d, \phi_{d1}$  的取值有关, 所以选择这几个参数作为独立的设计变量, 即:

$$x = (m_1, m_2, z_1, z_2, \phi_d, \phi_{d1}, i) \\ = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7) \quad (1)$$

### 2.2 约束条件分析

#### (1) 齿面接触强度约束条件。

接触应力为脉动循环交变应力, 齿面接触强度的约束为:

$$f(x)_1 = [\sigma_H]_1 - Z_H Z_E \sqrt{\frac{2K_1 T_1}{\phi_d d_1^3} \cdot \frac{i+1}{i}} \geq 0 \quad (2)$$

式中:  $K_1 = K_A K_{V1} K_{H\beta1}$ ,  $d_1 = m_1 z_1$  [ $\sigma_H$ ] 为许用接触应力;  $Z_H$  为节点区域系数;  $Z_E$  为材料弹性模量;  $K_A$  为使用系数;  $K_V$  为动载系数;  $K_H$  为齿间载荷分配系数;  $K_{H\beta}$  为齿向载荷分配系数;  $T_1$  为高速级传递的转矩。

$$f(x)_2 = [\sigma_H]_2 - Z_H Z_E \sqrt{\frac{2K_2 T_2}{\phi_d d_2^3} \cdot (1 + \frac{1}{i})} \geq 0 \quad (3)$$

式中:  $K_2 = K_A K_{V2} K_{H\beta2}$ ,  $d_2 = m_2 z_2$ ,  $T_2$  为低速级传递的转矩, 其余参数同上。

#### (2) 齿根弯曲强度约束条件。

$$f(x)_3 = [\sigma_F]_1 - \frac{2K_1 T_1}{\phi_d m_1^3 z_1^2} Y_{Fa1} Y_{Sa1} \geq 0 \quad (4)$$

$$f(x)_4 = [\sigma_F]_2 - \frac{2K_2 T_2}{\phi_d m_2^3 z_2^2} Y_{Fa2} Y_{Sa2} \geq 0 \quad (5)$$

式中,  $[\sigma_F]$  为许用齿根弯曲强度;  $Y_{Fa}$  为齿形系数;  $Y_{Sa}$  为应力校正系数。

#### (3) 模数的约束。

对于动力传动齿轮, 一般要求模数大于 2mm, 约束条件可以表述为:

$$f(x)_5 = m_1 - 2 \geq 0 \quad (6)$$

$$f(x)_6 = m_2 - 2 \geq 0 \quad (7)$$

收稿日期: 2011-05-06

**作者简介:** 胡宗政 (1967-) 男, 甘肃会宁人, 讲师。研究方向: CAD/CAM相关技术的教学及科研。

(4)小齿轮齿数约束。

对于压力角为  $20^\circ$  的标准直齿圆柱齿轮, 为了避免根切, 齿数应该大于 17

$$f(x_7) = z_1 - 17 \geq 0 \quad (8)$$

$$f(x_8) = z_3 - 17 \geq 0 \quad (9)$$

(5)齿宽系数的选择。

对于标准圆柱齿轮传动, 通常要求:  $0.8 \leq \phi_d \leq 1.4$  因而有:

$$f(x_9) = \phi_d - 0.8 \geq 0 \quad (10)$$

$$f(x_{10}) = 1.4 - \phi_d \geq 0 \quad (11)$$

$$f(x_{11}) = \phi_d - 0.8 \geq 0 \quad (12)$$

$$f(x_{12}) = 1.4 - \phi_d \geq 0 \quad (13)$$

## 2.3 利用 MathCAD 分析进行优化设计

通过调用 MathCAD 中 maximize minimize 二个函数可以求得目标函数的最大值和最小值。工作步骤如图 1 所示。

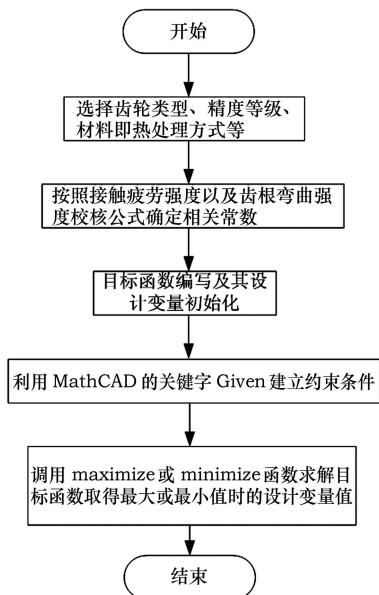


图 1 优化设计流程图

## 3 MathCAD 优化分析

MathCAD 是美国 PTC 公司所属的一款集数理计算、图形和文字处理等功能于一体的工程计算软件, 能够进行强大的计算和分析, 很好地弥补了 Pro/E 软件在计算方面的不足。

(1) Pro/E 中 MathCAD 分析的工作流程, 见图 2

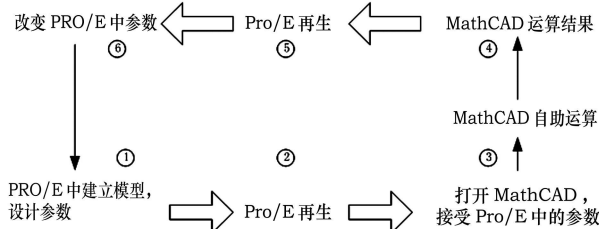


图 2 MathCAD 分析的工作流程

现要求设计一个二级展开式减速器。已知高速轴输入功率  $P_1 = 6.2 \text{ kW}$ , 高速轴转速  $n_1 = 960 \text{ r/min}$ , 总传动比  $i = 15$  由电动机驱动, 工作寿命 15 年 (设每年工作 300 天), 二班制, 大齿轮 45 钢正火 HB187~207 小齿轮 45 钢调质 HB228~255 带式输送机工作平稳, 转向不变。要求按总中心距最小来确定总体方案中各齿轮的主要参数。

(2)新建 Pro/E 装配文件, 按照任意中心距装配二级齿轮, 装配约束类型为销钉连接方式, 如图 3(a)所示。在 Pro/E 中新建一个参数  $ZD=1$  用于 Pro/E 传送给 MathCAD 进行计算。

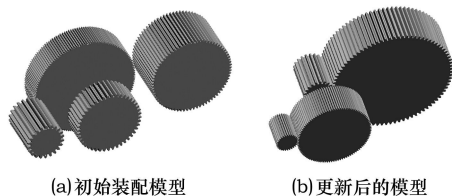


图 3 传动齿轮装配图

(3)单击主菜单“分析”→“外部分析”→“MathCAD 分析”。在弹出的对话框中单击“新文件”按钮, 打开 MathCAD 软件, 单击“文件”→“新建”, 新建 MathCAD 文档, 并建立优化数学模型, 进行计算, 最后求得各齿轮的模数、齿数、分度圆直径、齿宽等几何参数。(计算步骤有省略)。

$$f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7)$$

$$:= \frac{x_1 \cdot x_3}{2} \cdot (1 + x_7) + \frac{x_2 \cdot x_4}{2} \cdot (1 + \frac{15}{x_7})$$

$$x_1 := 2 \quad x_2 := 3 \quad x_3 := 19 \quad x_4 := 19 \quad x_5 := 1 \quad x_6 := 1 \quad x_7 :=$$

6.7

已知

$$475 - 2.5^\circ \cdot 189.8^\circ \cdot \sqrt{\frac{2^\circ \cdot 1.908^\circ \cdot 0.617^\circ \cdot 10^5}{x_5 \cdot x_1^5 \cdot x_3^3}} \cdot \sqrt{\frac{x_7 + 1}{x_7}} \geq 0$$

$$485 - 2.5^\circ \cdot 189.8^\circ \cdot \sqrt{\frac{2^\circ \cdot 1.922^\circ \cdot 0.617^\circ \cdot 10^5 \cdot 0.98^\circ \cdot x_7}{x_6 \cdot x_2^3 \cdot x_4^3}} \geq 0$$

$$\sqrt{1 + \frac{x_7}{15}} \geq 0$$

$$264 - \frac{2^\circ \cdot 1.716^\circ \cdot 0.617^\circ \cdot 10^5}{x_5 \cdot x_2^2 \cdot x_1^3} \cdot 2.16^\circ \cdot 1.81 \geq 0$$

$$267 - \frac{2^\circ \cdot 1.716^\circ \cdot 0.617^\circ \cdot 10^5 \cdot 0.98^\circ \cdot x_7}{x_6 \cdot x_4^2 \cdot x_2^3} \cdot 2.2^\circ \cdot 1.78 \geq 0$$

0

$$x_1 - 2 \geq 0$$

$$x_2 - 2 \geq 0$$

.....

$$1.4 - x_6 \geq 0$$

$$\text{Minimize}(f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7))$$

$$\begin{pmatrix} 2 \\ 4.291 \\ 29.97 \\ 20.626 \\ 1.4 \\ 1.4 \\ 3.531 \end{pmatrix}$$

圆整后得到结果:  $mm_1 = 2, m_1 = 30, f_1 = 1.4, mm_2 = 4, m_2 = 20, f_2 = 1.4, m_3 = 3.5$

(4)声明变量。

在 MathCAD 分析过程中, 用到的变量有的是从 Pro/E 输入到 MathCAD 的, 有的是从 MathCAD 输出到 Pro/E 的。为了完成数据传送, 需要为变量定义一个标签。选中一个变量的定义式, 点击右键→“属性”, 然后在“显示”选项卡中找到“标签”并输入“ProE2m”或“m2 ProE”。在此例中,  $Z_1$  需要添加第一种标签,  $mm_1, mm_2, m_1, m_3$  等需 (下转第 109 页)

员评价组成。以过程评价为主,期末评价为辅。每一任务的评价不唯结果,关注学生合作、创新、参与程度等综合表现,以培养学生的关键能力——方法能力和社会能力。

3 结论及思考

(1)纤维板车间技术人员实际工作为车间和办公室交替作业,本次课改中学生学习情境的设立为车间和教室交替作业,仿真度高,既避免了长时间深入企业带来的诸多不便,又契合了教学目标的要求,较好解决了教学情境设立的难题,符合当前校企合作的现状,可操作性强。

(2)每一任务中包含学习任务,与工作任务互为补充,避免了教学只满足企业一时急需而忽视学生未来发展的功利性倾向,保证了应用知识的系统性,体现了教育的人本主义精神。同时,任务引领式的学习任务提高了学生自主学习能力,强化了知识教学的应用性。

(上接第 37 页)要返回到 Pro/E 的参数需要添加第二种标签。完成后保存文件为“gear.mcd”。

(5)单击“加载文件”按钮,在打开的文件浏览窗口选择刚刚新建的“gear.mcd”文件。单击“添加参数”在弹出的“参数选取”对话框中选择 Pro/E 中设定的参数,单击“确定”后在“输入选取”对话框中选择 MathCAD 中对应参数。

(6)输出 MathCAD 变量到 Pro/E 中。单击“输出”,在弹出的“输出选取”对话框中则需输出到的 Pro/E 中的参数,比如大小齿轮的模数、齿数、齿宽等,以便于后续计算,如图 4 所示。



图 4 输出选取

(7)依次单击“计算”→“添加特征”,并为分析命名。单击“关闭”,完成分析特征的创建,在这个特征中自动建立了结果参数。

(8)在 Pro/E 中添加关系。

为了将 MathCAD 中输出的模数、齿数、齿宽等数值再次赋值给 Pro/E 中的对应值,实现模型同步更新,需要在 Pro/E 中添加相应的关系式,比如:

$$\begin{aligned} M_2 &= MC\_MM1\_FID\_ANALYSIS1 \\ Z_2 &= MC\_MZ1\_FID\_ANALYSIS1 \\ B_2 &= MC\_MB1\_FID\_ANALYSIS1 \\ Z_4 &= MC\_MZ2\_FID\_ANALYSIS1 \\ M_4 &= MC\_MM1\_FID\_ANALYSIS1 \\ B_4 &= B_2 + 5 \end{aligned}$$

(3)课程改革的实践证明,要实现校企深层次合作,必须建立有效的合作机制,而机制的有效性必定以校企双方利益的紧密依存关系为前提——必竟企业是以追求利润为终极目标。发挥高校的智力优势,广泛开展技术服务,使教师工作渗透到企业的经营活动中,校企融为一体,是促进校企合作有效机制形成的途径之一。

(4)以学生为主体的教学,加大了学生的学习强度,并占用大量课外时间,在专业教学中要统筹合理安排各门课程的学习,才能保证改革不流于形式。

参考文献:

[1] 戴士弘. 职业教育课程教学改革 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2007 1~64

责任编辑: 富春凯

$$\begin{aligned} d_0 &= (M_2 * Z_2 + M_4 * Z_4) / 2 \\ Z_6 &= MC\_MZ3\_FID\_ANALYSIS1 \\ M_6 &= MC\_MM2\_FID\_ANALYSIS1 \\ B_6 &= MC\_MB3\_FID\_ANALYSIS1 \\ Z_8 &= MC\_MZ4\_FID\_ANALYSIS1 \\ M_8 &= MC\_MM2\_FID\_ANALYSIS1 \end{aligned}$$

(9)修改 Pro/E 中相关参数的数值,再生模型, MathCAD 自动计算出来的结果也会动态变化,在 MathCAD 中数据的更新,传输到 Pro/E 中后再生模型,特征几何参数同步变化,这样就实现了 MathCAD 和 Pro/E 之间数据的传输、计算和同步更新,即如果如图 3(b)所示。

4 结语

传统设计中,对于多级展开式齿轮传动系统的设计,一方面计算复杂,容易出错,另一方面无法对传动系外轮廓尺寸、体积、重量以及制造成本等进行优化。本文借助于 Pro/E 与 MathCAD 软件集成解决方案,在 Pro/E 环境中实现了以轮廓尺寸最小为目的的齿轮传动系统的参数最优化设计,实现了优化结果与实体模型的同步更新,不仅充分发挥了 Pro/E 在机械设计中的参数化造型优势,而且结合了 MathCAD 的强大工程计算能力,提高了工程技术及优化设计的能力。设计方法高效、智能、简单易行,具有一定的实用价值和推广价值。

参考文献:

[1] 刘洁,王德俊,姚志英. 齿轮传动的优化设计 [J]. 煤矿机械, 2006 27(7): 27~28  
[2] 贾吉林. 基于 Pro/E 斜齿圆柱齿轮参数化设计及运动仿真 [J]. 煤矿机械, 2010 31(7): 230~232  
[3] 庞爱民,生鸿飞,王震国. 基于参数化建模的 Pro/E 齿轮设计 [J]. 湖北民族学院学报: 自然科学版, 2007 25(3): 298~300  
[4] 马本学,彭春雷,刘银,葛建兵,过健. MathCAD 在齿轮参数优化设计中的应用 [J]. 石河子大学学报: 自然科学版, 2006 24(6): 759~760  
[5] 朱学文,朱国文,何小新. 斜齿轮的参数化建模与动力学分析 [J]. 机械传动, 2006 30(2): 32~33  
[6] 濮良贵,纪名刚. 机械设计 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1996

责任编辑: 程 岩