

文章编号:1005—0523(2003)05—0104—03

基于 Pro/E 二次开发的圆柱齿轮设计 CAD 系统

周慧兰¹, 肖 乾¹, 周国芳²

(1. 华东交通大学 机电工程学院, 江西 南昌 330013; 2. 宜春学院 工学分院, 江西 宜春 336000)

摘要:阐述了基于 Pro/E 的圆柱齿轮设计 CAD 系统的开发方法,该方法在 Visual C++6.0 环境下利用 C 语言编写程序接口,可实现齿轮的优化设计及参数化造型,实践证明,该系统设计结果正确,具有一定的工程价值.

关 键 词:Pro/E;圆柱齿轮设计;CAD

中图分类号:TH122

文献标识码:A

在传统圆柱齿轮设计中,对于齿轮的强度校核过程和设计过程主要是通过人工设计完成,计算繁琐,容易出现设计误差和错误,设计周期长且难以实现优化设计.本 CAD 系统即是针对圆柱齿轮的设计而进行的,可极大地提高设计的精度和效率并实现其优化设计,并可在 Pro/E 中完成齿轮的三维造型.此外,该系统具有一定的通用性和灵活性.

目前对于 CAD 系统的开发方法主要有三种:(1)完全自主版权的开发;(2)基于 CAD/CAM 软件平台的开发;(3)基于某个通用 CAD 软件的开发.其中第一种方法一切从底层做起,开发周期最长,适于大型 CAD 系统的开发;第二种方法开发周期较短,但开发平台价格昂贵,适合大中型 CAD 系统的开发;第三种方法开发周期最短,开发成本最低,且灵活多变,适合中小型 CAD 系统的开发.本文介绍的齿轮设计 CAD 系统即是用第三种方法进行开发的.

1 CAD 系统开发思想与方法

美国 PTC 公司开发的 Pro/Engineer(简称 Pro/E)软件之所以得到广泛应用,不仅是因为它成熟的参数化技术,更重要的是它具有开放的体系结构和优秀的二次开发工具. Pro/E 允许用户和开发者对其

进行扩充和修改.本系统以 Pro/E 为支撑平台,应用 Pro/Toolkit 工具包和 Visual C++6.0 来开发,将用户应用程序编译成可执行文件(.exe 文件)或动态链接库文件(.dll 文件),在 Pro/E 环境下加载运行.这样既利用了 Pro/E 强大的开发功能,又利用了 VC 编程效率高的优势.

2 系统总体结构和功能

2.1 总体结构

系统采用模块化设计,整个系统主要由以下几个模块组成:齿轮描述模块、齿轮的设计模块、齿轮数据管理模块及齿轮的三维造型模块.其总体结构和功能如图 1 所示.

齿轮描述模块描述齿轮名称、齿轮类型、设计作者等内容,此外,还可以定义齿轮的设计参数(如传递功率 P ,主动轮转速 n_1 ,齿数比 u 等);齿轮的设计模块利用各种设计参数和约束规则(如各种设计公式、经验公式等),对齿轮进行强度校核和优化设计;齿轮数据管理模块主要对产品进行有效的管理和协调,管理如设计参数信息、设计参数的约束规则及对相关信息文件读写等;齿轮的三维造型模块根据齿轮设计模块中的设计结果结合 Pro/E 的参数化造型技术实现齿轮的三维造型.

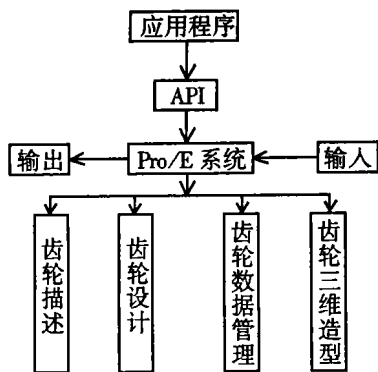


图1 系列总体结构

2.2 系统功能

齿轮的原始设计参数通过人机交互的方式输入并可实时修改,这一部分主要功能包括数据的输入及输入数据的合理性判断(如数据值是否有效、数据间的相互约束是否满足)等。输入的原始数据有:传递功率、主动齿轮转速、齿数比、齿轮的工作寿命及齿轮材料、齿轮精度等信息。在齿轮设计计算中用到的其他大量参数和公式需从机械设计手册中查阅并通过产品的数据管理模块进行管理。

齿轮的设计模块根据输入的设计参数和齿轮设计的约束规则对齿轮进行强度校核和优化设计。

齿轮的设计结果可在用户窗口中得到或通过数据文件来管理,输出的数据有:主动齿轮齿数,齿轮模数,大、小齿轮轴径,轴承间的支承距离,齿轮宽度,螺旋角(对斜齿圆柱齿轮而言)。

3 系统开发中的关键技术

3.1 应用程序接口 API 的设计

Pro/Toolkit 工具包中的库文件中的函数是用 C 语言编写的,这些函数提供了 Pro/E 系统的外部接口,可对 Pro/E 的数据库直接存取。用户可在 VC 中编写自己的程序,通过对库文件中的函数的调用完成应用程序的设计。应用程序经编译、链接后生成可执行文件,该可执行文件经注册文件 protk.dat 注册后供 Pro/E 加载并运行。应用程序在 Pro/E 中的运行方式有两种:同步方式和异步方式。在同步方式下,以 Pro/E 系统为主,应用程序则作为它的子模块运行,因这种方式消息映射机制简单,常作为缺省方式使用;而在异步方式下,以应用程序为主,由应用程序根据要求调用 Pro/E 系统,该方式的消息映射机制更为复杂。

3.2 用 Visual C++6.0 编译、链接生成可执行的.

exe 文件或.dll 文件^[2]

在编译、链接可执行文件时,应注意以下几点:

3.2.1 备齐所需文件

make 文件:该文件是用于链接用户的应用程序的,在命令提示符下相应的命令为 `nmake -f make_file_name`,其中 `make_file_name` 为用户应用程序对应的 make 文件。make 文件的样板文件为... \proe2001\protoolkit\i486_nt\obj\make_install。

注册文件 `protk.dat`:一般将该文件放在 Pro/E 的启动目录下,Pro/E 将在该目录中自动寻找该注册文件,获取用户应用程序文件的相关信息。

3.2.2 Pro/Toolkit 应用程序中的头文件及主程序头文件

`ProToolkit.h`:这是唯一在任何应用程序源文件中都必须包含的文件,且必须是第一个包含文件。该文件中还包含了下列头文件: `Stdio.h`、`String.h`、`Stddef.h` 及 `Stdlib.h` 头文件。

含有函数原型的头文件:当使用与 Pro/Toolkit 的对象相关的函数时,应当将含有函数原型的头文件也包含进去,否则用户将无法在编译时对函数参数类型校核。

另外,若用户使用了 Pro/Develop 风格的函数,则必须在 `ProToolkit.h` 之前包含 `Prodevelop.h`。

主程序

Pro/Toolkit 应用程序的主程序无须包含 `main()` 函数,但必须包含 `user_initialize()` 和 `user_terminate()` 两个函数。其中函数 `user_initialize()` 是在应用程序被初始化、图形窗口被创建后,用户与 Pro/E 交互之前被调用的,它包含应用程序所须的初始化信息(包括对 Pro/E 菜单的修改等)。函数 `user_terminate()` 在 Pro/E 结束时被调用,其返回空类型值。

此外,还有用户自定义函数,这是用户自己编写的程序部分,绑定在操作界面所添加的菜单或按钮上。

3.3 齿轮设计模块中的优化设计

3.3.1 设计变量

选圆柱齿轮传动的基本几何参数或性能参数为设计变量。对直齿圆柱齿轮而言,选小齿轮齿数 z_1 , 齿轮模数 m , 大、小齿轮轴径 d_2 、 d_1 , 轴承间的支承距离 l , 齿轮宽度 b 为设计变量。用矩阵表示为:

$$X = [z_1, m, d_1, d_2, l, b]^T$$

如果为斜齿圆柱齿轮,设计变量中除了上述六个参数外,还有螺旋角 β ,设计变量用矩阵表示为:

$$X=[z_1, m, d_1, d_2, l, b, \beta]^T$$

3.3.2 目标函数

以传动齿轮和轴的体积之和为最小为目标函数. (参考图二) 当齿数比给定时, 所建立的目标函数为:

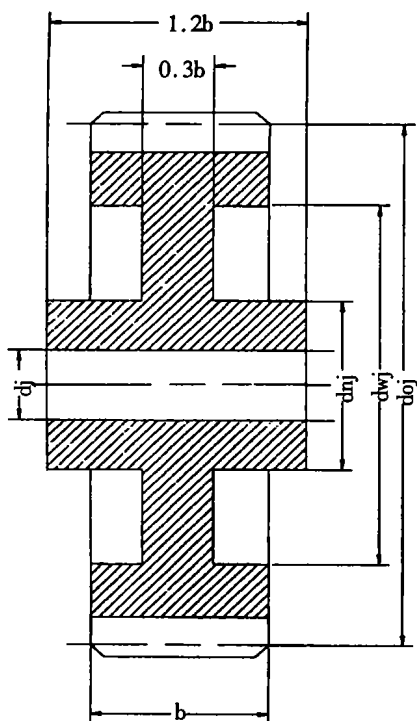


图2 齿轮和轴的结构简图

$$\min V = \sum_{j=1}^2 [(d_{oj}^2 - d_{vj}^2) \frac{\pi b}{4} + (d_{vj}^2 - d_{nj}^2) \frac{\pi}{4} \times 0.$$

$$3b + (d_{nj}^2 - d_j^2) \frac{\pi}{4} \times 1.2b] + \pi \sum_{j=1}^2 \frac{d_j^2}{4} \times l$$

式中: d_{oj} : 两齿轮分度圆直径; $d_{o1} = m z_1$, $d_{o2} = m z_2$, u 为齿数比; d_{vj} : 两齿轮轮缘最小直径, $d_{vj} = d_{oj} - 8m$; d_{nj} : 两齿轮轮毂最大直径, $d_{nj} = 1.6 d_j$; d_1 : 小齿轮轴径; d_2 : 大齿轮轴径; l : 两轴轴承间的支承距离.

3.3.3 约束条件

1) 小齿轮齿数应大于不发生根切的最小齿数 17, 即

$$g_1(X) = 17 - z_1 \leq 0$$

2) 齿轮模数 m 应大于许用值, 即

$$g_2(X) = 2 - m \leq 0$$

3) 为了限制大齿轮的直径不致过大, 小齿轮的直径不能大于 d_{z1max} , 即

$$g_3(X) = z_1 m - d_{z1max} \leq 0$$

4) 大、小齿轮轴径 d_1, d_2 的取值范围:

$$d_{min} \leq d \leq d_{max}, \text{ 即}$$

$$g_4(X) = d_{1min} - d_1 \leq 0$$

$$g_5(X) = d_1 - d_{1max} \leq 0$$

$$g_6(X) = d_{2min} - d_2 \leq 0$$

$$g_7(X) = d_2 - d_{2max} \leq 0$$

5) 轴的支承距离 l 按结构关系, 满足:

$$l \geq b + 2 \Delta_{min} + 0.5 d_2 (\text{可取 } \Delta_{min} = 15), \text{ 即}$$

$$g_8(X) = b + 0.5 d_2 + 30 - l \leq 0$$

6) 齿轮的齿宽应满足 $\varphi_{min} \leq \frac{b}{d_{o1}} \leq \varphi_{max}$,

φ_{min} 和 φ_{max} 为齿宽系数 φ 的最小值和最大值, 一般取 $\varphi_{min} = 0.9$, $\varphi_{max} = 1.4$, 即

$$g_9(X) = \varphi_{min} - b/z_1 m \leq 0$$

$$g_{10}(X) = b/z_1 m - \varphi_{max} \leq 0$$

齿轮的齿面接触应力 σ_H 和轮齿弯曲应力 σ_F 小于许用值, 即

$$g_{11}(X) = \sigma_H - [\sigma]_H \leq 0$$

$$g_{12}(X) = \sigma_{F1} - [\sigma]_F \leq 0$$

$$g_{13}(X) = \sigma_{F2} - [\sigma]_F \leq 0$$

σ_H, σ_F 的计算公式查阅文献[1], $[\sigma]_H$ 和 $[\sigma]_F$ 为许用应力, 可根据文献[1]计算.

7) 齿轮轴的最大挠度 δ_{max} 应小于许用值, 即

$$g_{14}(X) = \delta_{max} - [\delta] \leq 0$$

δ_{max} 的计算公式查阅文献[1]; $[\delta]$: 齿轮轴的挠度许用值, $[\delta] = 0.2 m$.

8) 齿轮轴的弯曲应力应小于许用值, 即

$$g_{15}(X) = \sigma_1 - [\sigma]_1 \leq 0$$

$$g_{16}(X) = \sigma_2 - [\sigma]_2 \leq 0$$

σ_1, σ_2 为齿轮轴的计算应力, 其计算公式查阅文献[1]; $[\sigma]_1, [\sigma]_2$ 为齿轮轴的弯曲许用应力, 其值查阅文献[1].

9) 对于斜齿圆柱齿轮而言, 还应加上对螺旋角 β 的不等式约束, 由于 β 常在 8° 至 20° 之间选择, 即

$$g_{17}(X) = 8 - \beta \leq 0$$

$$g_{18}(X) = \beta - 20 \leq 0$$

3.3.4 优化设计求解

这是一个具有不等式约束的非线性优化问题, 采用惩罚函数内点法[3]进行优化求解.

4 应用实例

设计技术要求:

齿轮类型: 斜齿圆柱齿轮

传递功率: $P = 40 \text{ kW}$

主动齿轮转速: $n_1 = 960 \text{ r/min}$ (下转第 110 页)

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \Lambda & d_{16} \\ d_{21} & d_{22} & \Lambda & d_{26} \\ \Lambda & \Lambda & O & M \\ d_{91} & d_{92} & \Lambda & d_{96} \end{bmatrix}$$

第三、求解 J_{opt} ，运用 Matlab 优化工具，计算得到优化前后的偏差敏感度指数 J_{init} 和 J_{opt} 。

$$J_{init} = 1.523$$

$$J_{opt} = 1.857$$

对应于 J_{opt} 的检测点位置如图 2(B) 所示，检测点优化后的坐标见表 1。

5 小 结

主要研究车身制造过程中检测点的布置及优化方法，通过采集检测点的信息尽可能完整地监测

整个车身制造过程及尽可能敏锐地分辨制造过程的偏差。在分析比较了白车身检测点布置之后，总结了白车身制造过程中各类检测点的布置规律，同时提出了面向制造偏差控制的检测点布置位置的优化方法，并成功应用于实例。

参考文献：

- [1] Ceglarek D, Shi J, Z. S. M. Wu. A Knowledge-Based Diagnosis Approach for the Launch of the auto-Body Assembly process. Trans. of ASME. Journal of Engineering for Industry, 1994, 116(4).
- [2] Cai W, Hu SJ, Yuan J X. Deformable Sheet Metal Fixturing: Principles, Algorithms and Simulations. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 1996, 118(8).
- [3] 来新民, 林忠钦, 等. 轿车车体装配尺寸偏差控制技术[J]. 中国机械工程, 2000, (11).

Placement and Optimization of 3D Measuring Point on White Body

LI Jia-han, LIU Wen-hui

(Jiangling-ISUZU Motors CO., Ltd. Nanchang Jiangxi 330001, China)

Abstract: In this paper, the definition and placement rules of three kinds of points are presented and a method for achieving optimal deviation diagnosis through an optimized placement of measuring points is proposed.

Key words: white body; measuring points placement; position optimization

(上接第 106 页)

齿数比: $u=3.2$

齿轮的工作寿命: $L_h=72\ 000\ h$

齿轮材料: 大小齿轮材料为 40Cr 调质后表面淬火

齿轮精度: 7

设计结果:

$$X = [25, 2.25, 45, 60, 120, 60, 10]^T$$

5 结束语

本文介绍了如何应用 Pro/E 及其 Pro/Toolkit 工具

包开发的圆柱齿轮设计 CAD 系统。该系统集齿轮强度校核计算和齿轮优化设计于一体，且将计算结果用于齿轮的三维设计。此系统可扩展性强，预留接口，进一步开发和完善后，可供其它的 CAD 系统使用。

参考文献：

- [1] 濮良贵, 纪名刚. 机械设计[M]. 北京: 高等教育出版社, 1996.
- [2] Parametric Technology Corporation. Pro/TOOLKIT User's Guide[Z]. USA: PTC 公司出版, 1998.
- [3] 曾昭华, 傅祥志. 优化设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.

Development of CAD System of Cylindrical Gear Design Based on Pro/E

ZHOU Hui-lan, XIAO Qian, ZHOU Guo-fang

(1. School of Mechanical Engineering, East China Jiaotong Univ., Nanchang, Jiangxi, 330013; 2. Science Academe Yichun College, Yichun Jiangxi 336000, China)

Abstract: In this paper, an approach of developing CAD system of cylindrical gear design based on Pro/E is introduced. It applies C language to draw up the interface programs and realizes cylindrical gear's optimal and parametric design. The result of design from this CAD system is proved reasonable in application and valuable in engineering.

Key words: Pro/E; the design of cylinder gear; CAD