

轴承系列设计与分析智能专家系统

河北经贸大学计算机科学系 游福成

▲ 在机械领域, 轴承的种类很多, 轴承的设计与分析存在很多问题, 如高速轴承的设计寿命不准确, 原因就是影响轴承使用寿命的一些因素把握不准, 或被忽略了。我们利用计算机技术开发的具有领域专家水平的轴承系列自动快速设计与分析专家系统能够解决这些问题。

1. 引言

国内外的各轴承企业都是采用各自的“技术秘诀”, 或通过由多年积累的轴承数据库资料而发展的设计方法及相应的CAD软件来设计该类轴承的。这样就带来一个普遍的问题, 即轴承的工作寿命设计不准, 给生产安全带来威胁, 或因轴承过早地停止使用而造成经济损失。原因是影响轴承寿命的及工作可靠性的因素很多, 而且这些因素又不易把握。例如, 轴承内部零件的材料、加工工艺、使用条件直接影响轴承寿命; 轴承安装条件与其工作可靠性密切相关; 轴承工作时的润特性的预测等均须由领域专家给出与认可; 对 d_n 值在 $(0.4 \sim 1.5) \times 106 \text{mm} \cdot \text{rpm}$ 的轴承, 其内部滚动体等零件的惯性作用对润滑特性、载荷谱、寿命及工作可靠性的影响巨大, 不可忽视。为了解决上述问题, 我们与轴承研究所一道, 利用计算机技术开发了包括高速轴承在内的轴承系列设计与分析专家系统, 并在实际生产和设计中得到应用, 使原来水平较低的用户可以达到专家水平的设计与分析效果。

(上接 31 页)

完成上述步骤后, 客户端即可以通过应用服务器与数据库进行通信。继续加入数据感知控件和相应的 TDataSource 控件, 通过编码以最终实现用户界面的功能。

四、结束语

C++Builder 是目前众多程序开发工具中较早支持多层 C/S 模式的可视化开发工具, 是一种公认的优秀可视化开发工具。随着以 Internet 技术为代表的新一代技术的成熟并融入到社会的方方面面中, 也随着 C/S 模式本身的不断完善和发展, 不难预见, 将来的程序开发工具能使我们更加方便快捷地开发出构建在新一代 C/S 模式下的应用程序。

参考文献

- [1] 陈周造著. Borland C++Builder 3.0 规划与实作—进阶篇. 台北: 硕博文化有限公司, 1998.6
- [2] Borland C++Builder 3.0 联机帮助. Inprise Inc.

2. 专家系统的组成

本系统的组成结构如图 1 所示。它由主控模块、数据库与知识库管理模块、专家设计与分析模块及 CAD 系统组成, 其中主控模块是本系统的控制核心, 它直接控制着下面的三个模块。从图中可以看出, 本系统采用模块化设计, 在 主控模块的控制调度下, 用户可随时调用各个子模块来完成相应的工作。各模块之间既相互独立, 又相互联系, 互相之间可以共享数据资源。系统模块化结构体现了系统的易维护、可扩充、使用简单方便的特点。除此以外, 本系统还具有快速准确的设计与分析计算、数据资料快速存储与检索、智能化的严谨推理与决策、以及完善的图表绘制等功能。

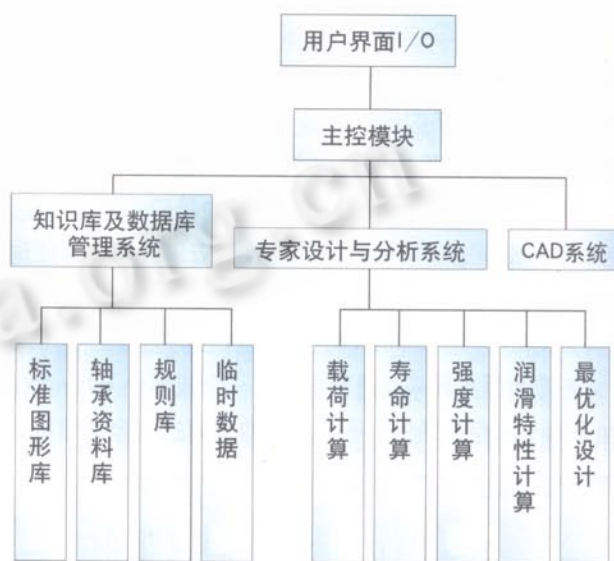


图 1 系统组成结构

本系统使用 Borland C++, Foxpro 及 AutoCAD 三种计算机语言来设计的, 其中 Borland C++ 语言用来编写主控模块和各种参数的分析计算。由于 C++ 语言的计算能力较强, 本系统没有专门采用 FORTRAN 语言来计算参数, 以简化系统间的接口设计。Foxpro 用来设计和管理数据库及知识库, 可实现数据库及知识库的更新、调整、补充等功能, AutoCAD 则专门用来绘制轴承的设计图及相应表格。Borland C++ 利用专门的接口程序实现与 Foxpro 及 AutoCAD 系

统之间的数据交换,使三者之间配合默契,工作协调有序。

3. 知识库及推理机

数据库和知识库是本专家系统的基础部分,其中数据库中包含了标准图型库和轴承资料库。用户通过控制模块启动数据管理程序,调用数据库和知识库中的资料,并把分析与计算过程中产生的临时数据放在临时数据文件中。知识库是由专家提供的事实和规则构成的,它包含了推理机进行工作所需要的事实和推理规则的结构。因此,知识库中的知识是否丰富,对于系统能否成为领域专家水平的涉及与分析是至关重要的。本系统包含了国内外公开的各类轴承的设计制造与使用的信息和资料及近几年的最新研究成果。数据库和知识库不是一成不变的,通过设计,它们已具有动态和静态特性。静态特性是指库中那些基本数据、事实和规则不需要修改,而动态特性则指数据库和知识库要及时更新、增添,把最新的研究成果加进来。

在现有制造水平及一般应用条件下,轴承产品的质量及使用寿命长短分布可以用正态分布来描述。但轴承的用途条件、安装条件及工作条件、零件的材料及加工工艺等的不同,对轴承工作寿命的影响具有不确定性,难以通常的统计分布规律来描述,其不确定性须由领域专家知识来描述。本系统在处理知识的获取与应用时采用以下推理:一般情况下,对于使用条件方面的判别准则,采用基于可信度理论的推理;而关于制造条件与用途条件的设计判别准则,则采用基于模糊集理论的模糊推理。例如,判别轴承的使用寿命要考虑用途条件因素的影响,这种影响只能用模糊语言来描述:对通用轴承“影响较小”,对动力传输轴承“影响中等”,对航空轴承“影响很大”,这就要计算用途条件的隶属度,然后用效率较高的“IF A and B and C then D”的推理模式来完成推理功能,从而得到具有专家水平的判别准则。

4. 专家设计与分析

专家设计与分析模块是本系统的关键模块,需要进行大量的数据计算与分析、判别、推理与决策。它由五个子模块组成,各主要子模块实现的功能如下:

(1) 轴承承载能力计算。根据轴承滚动体在工作时对滚道产生的局部塑性变形量 $\delta \leq 10^{-4}d_w$ (d_w 为滚动体的直径)的设计准则,其允许的极限负荷 C_0 大小为:

$$\textcircled{1} \text{ 球轴承 } C_0 = f_0 i z d_w^2 \cos \alpha \quad (\text{N}) \quad (1)$$

$$\textcircled{2} \text{ 滚子轴承 } C_0 = f_0 i z L d_w \cos \alpha \quad (\text{N}) \quad (2)$$

式中参数 f_0 取决于轴承类型, i 为滚动体列数, z 为单列轴承中滚动体数量, α 为轴承公称接触角, L 为滚子有效长度。

对于航空轴承等特殊用途的轴承,上述表达式应乘以

修正系数 $1/f_s$, f_s 值须调用知识库中的规则,经推理机推理而得出。

(2) 轴承的载荷谱计算。当 $dn \geq 0.4 \times 106 \text{ mm} \cdot \text{rpm}$ 时,滚动体惯性项的影响是不能忽略的,滚动体与滚道的接触载荷 Q_j (第 j 个滚动体)为:

$$Q_j = Q_p + Q_{rj} \pm F_c \quad (\text{N}) \quad (3)$$

式中 Q_p 为装配预载荷 Q_{rj} 为轴承载荷所引起的第 j 个滚动体的载荷, F_c 为滚动体离心力。对于外滚动, F_c 前取“+”号,对于内滚动, F_c 前取“-”号。接下来可以计算载荷谱:

① 对于球轴承,其 Hertz 应力为

$$p(x, y) = 1.5Q [1 - (x/b)^2 - (y/a)^2]^{1/2} / (\pi ab), ((x/b)^2 + (y/a)^2 \leq 1) \quad (4)$$

② 对于滚子轴承,其 Hertz 应力为

$$p(x) = [QE / (2 \pi LR)]^{1/2} [1 - x^2 \pi EL / (8QR)]^{1/2}, -[8QR / (\pi EL)]^{1/2} \leq x \leq [8QR / (\pi EL)]^{1/2} \quad (5)$$

(3) 润滑特性计算。轴承转动时,滚动体与感到滚道之间存在一薄层润滑油膜,其分布服从一组弹流润滑方程组。若采用迭代法求方程组的数值解时,计算工作量相当大。所以,为计算方便,可按如下的拟合公式来计算润滑油膜的最小厚度:

① 对于球轴承,可按 Hamrock 公式计算

$$H_{\min} = 3.63 U^{0.68} G^{0.49} W^{-0.078} (1 - e^{-0.68k}) \quad (6)$$

② 对于滚子轴承,可按 Dowson 公式计算

$$H_{\min} = 2.56 U^{0.7} G^{0.54} W^{-0.18} \quad (7)$$

对于 $dn \geq 0.4 \times 106 \text{ mm} \cdot \text{rpm}$ 的高速轴承, $H_{\min}$ 值应考虑热效应的影响,故(6)、(7)两式须乘以热效应修正系数 C_h 。 C_h 取自知识库,由专家知识来确定。

(4) 轴承使用寿命计算。轴承使用寿命的统计资料表明,其额定寿命 L 可由下式确定

$$L = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 (1666.7/n) (C/P)^\epsilon ((h)) \quad (8)$$

式中 n 为轴承转速, P 为当量动负荷,指数 ϵ 、系数 α_1 、 α_2 、 α_3 分别与轴承的类型、可靠度等级、材料品质及运行条件等因素有关。当 Hertz 应力、最小油膜厚度、最大油膜压力等参数经计算确定后,可调用数据库与知识库的信息,采用“IF A and B and C then D”等推理模式进行推理,从而得到指数 ϵ 、系数 α_1 、 α_2 、 α_3 的值。

(5) 最优化设计。本系统在满足使用寿命的前提条件下,随着零件材料、加工工艺、润滑条件等的不同,同一种轴承具有不同的设计方案。最优化就是要在各种方案中寻找价格最低的方案,它属于多约束条件下寻找满足预定

(下转 34 页)

(上接 33 页)

目标的最优化设计决策问题,即:

$$x=[x_1, x_2, \dots, x_n]^T$$

$$\min \phi(x) = \omega_1 \phi_1(x) + \omega_2 \phi_2(x) + \dots + \omega_m \phi_m(x)$$

式中 ω_1 、 ω_2 、 ω_m 为罚函数因子,取值于知识库。

(6)CAD 系统。本 CAD 系统与一般的 CAD 系统不一样。

首先,它不完全独立,与其他模块有各种联系;其次,它绘图种类多,可将标准工程图样、三维应力图、以及轴承载荷图谱等绘制出来。除此以外,它提供的信息多,除了绘出各种图件,它还可以把零件的材料、加工工艺、润滑特性、轴承的精度等级、安装技术要求等数据也一起给出。

本系统是采用现代化设计方法,充分利用计算机技术,通过合理的程序设计而成的,具有推理、理解、决策和学习等智能,可在微机上快速进行专家水平的轴承设计和故

障分析,使低水平用户的设计与分析效果可达到领域专家的水平。经试用表明,本专家系统用户界面友好,操作方便,自动化程度高,成图质量好,工作效率大为提高,可以有效满足不同用户的需要。

参考文献

- [1] 甘慧庆等,高速轴承数据库的开发与应用,《中国航空学会第八届机械动力传输专业学会论文集》,1995
- [2] 陈凌珊等,高速轴承的设计方法,《中国航空学会第八届机械动力传输专业学会论文集》,1995
- [3] 金小孝维等,高速轴承的载荷与接触应力,《中国航空学会第八届机械动力传输专业学会论文集》,1995