

工程应用的通用型切削工艺数据库研究与开发^{*}

Research and Development of General-Cutting Process Database for Engineering Application

北京航空航天大学机械工程及自动化学院 张伟 刘强 李尧

[摘要] 针对目前国内制造行业对切削工艺数据库的需求及现有研究中的不足,在大量优化型切削数据的基础上,对切削数据库进行调研和需求分析,建立了面向工程应用的通用型切削工艺数据库数据结构模型,开发了基于B/S模式的网络化切削工艺数据库应用程序,介绍了系统各子功能模块;为实现行业标准化拟制定了3个标准规范,并将切削加工动力学仿真优化技术与数据库相结合,实现了切削过程实时在线仿真和优化。

关键词: 切削数据库 数据结构 通用型 仿真优化

[ABSTRACT] Aiming at the current need for cutting process database in domestic manufacturing industry and the shortage of existing research, on the basis of a large number of optimized cutting data, through surveying and analyzing the cutting process database, a general-cutting process database for engineering application is developed, which is based on B/S structure. The data structure is built and the function modules are also described. Three specifications are drafted to achieve industry standardization, and this database application combines with cutting dynamics simulation optimization techniques, cutting process simulation and optimization will be real-time online.

Keywords: Cutting database Database structure General type simulation and optimization

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.15.072

对于机械制造行业中的切削加工来说,选择优化的切削参数可以充分发挥数控机床和切削刀具的性能、降低加工成本、提高加工效率和经济效益。如何高效快速地选择和管理切削参数成为制造行业面临的一大难题。计算机技术的出现使得该难题变得简单,金属切削数据库就是计算机技术与机械加工技术相结合的高技术产物,与传统的切削数据手册相比,切削数据库在制造业的应用已经产生了巨大的经济效益和社会效益。

自1964年第一个金属切削数据库CUTDATA的诞

生到现在,已经过去了近50年的时间,各国相继研究金属切削数据库并取得了一定的成果,切削数据库在制造业已经产生了深远的影响和重大的意义。国内在切削数据库方面的研究是从20世纪80年代开始的,各大高校和企业相继开始对金属切削数据库进行研究与开发,如成都工具所的(x)TRN(xx)系列,南京航空航天大学的NAIMDS(1988)和KBMDBS(1991),北京理工大学的FMS切削数据库(1989),山东大学的基于事例推理的高速切削数据库系统和高速车削数据库系统(2003)等^[1-2],切削数据库技术在国内制造行业得到了快速的发展,切削数据库的功能也从最初的切削数据的存储和管理逐渐发展到切削参数的优化、优选,甚至到切削参数的动力学仿真,切削数据库越来越受到工程人员的重视。但是,回顾国内切削数据库几十年的发展历程,不难发现真正在制造行业内应用的通用型切削数据库几乎很少,通过分析,主要存在以下几点问题:

(1) 切削数据库需要大量切削数据支持,数据完善需要花费大量的时间和人力,增加了很多无形的成本;

(2) 专用型切削数据库针对性太强,难以在制造行业内通用,且数据库的数据量远远不够;

(3) 在制造行业内还没有形成切削数据库规范或标准,严重制约了切削数据的采集和入库;

(4) 数据共享机制不健全,各个行业所采集的切削数据难以在整个制造行业内流通共享。

为解决以上问题,本课题在已有大批量切削数据的基础上开发了一套数控切削加工工艺数据库系统,初步形成了3个数据库标准规范,研究了切削数据共享机制,初步解决了数控加工基础数据严重缺乏的问题,建成了一个工程化应用的通用型切削参数数据库。

1 切削数据的来源与评价

切削工艺数据的采集与评价是建立切削工艺数据库最基础性的一项工作。通用型切削工艺数据库要搜集不同制造行业的切削数据,采集数据工程量大,任务繁重,且切削数据离散型较大,数据质量参差不齐,有必要对搜集的数据进行评价处理,增加切削工艺数据的准确度和成熟度。

^{*} 基金项目:国防基础科研项目(A2120110002)资助。

1.1 数据来源

(1) 已有数据。

笔者所在的课题组作为“国防科技工业千台数控机床增效工程”总体技术支持单位,在增效工程一期、二期实施过程中采集了40余家国防制造企业的优化型切削数据,数据涵盖了航空、航天、电子、船舶、兵器等多个行业,数据量达80000多组,其中机床包括各种中低速、准高速、高速机床;刀具包括各种整体刀具和可转位刀具;工件材料包括铝合金、高温合金、钛合金和合金钢等;典型零件工艺达30多种。

(2) 搜集数据。

切削数据的丰富程度对切削数据库实用性具有决定性的影响。为进一步增加切削工艺数据库的数据量,还从以下5个方面搜集数据:a. 制造商的数据样本、产品手册、在线样本等数据,如机床、刀具相关参数等;b. 制造企业生产车间使用的切削数据,该数据最具实用性,如切削加工参数、典型零件工艺参数;c. 实验室切削加工数据,如工件材料动力学特性参数数据;d. 文献中的切削数据、数据手册等;e. 切削加工仿真软件的仿真优化数据。数据采集是一项耗费人力的工作,为使数据的采集高效快速,制定了相关的数据采集规范,工作人员需按照采集规范采集切削工艺数据。

1.2 数据评价

切削数据评价是验证切削数据的有效性和优化程度,即筛选出可用的切削参数和好用的切削参数^[3]。切削工艺数据库采集了大量的切削数据,这些数据来源广泛,不能直接运用于实际生产,因此对切削数据进行评价处理,验证数据的成熟度和数据等级。

对于采集的数控机床、刀具、工件材料等数据,可直接通过产品生产厂家提供的数据来验证。对于切削用量数据,即切削参数数据,首先判断数据完整性和是否超出机床、刀具、材料等因素的许用范围;其次选择完整的切削数据进行切削动力学时域和频域仿真^[4],得到各向切削力、切削功率、切削扭矩等,进一步判断是否满足机床、刀具的许用范围,通过频域仿真判断切削是否发生颤振;最后将满足要求的切削数据进行分级入库,等级越高说明该数据可直接应

用于生产等级低说明数据有待于优化。

2 数据库系统的建立与开发

2.1 系统架构设计

常用的数据库管理系统架构主要分为客户端/服务器(C/S)架构和浏览器/服务器(B/S)架构两种。通过分析,该数据库系统为通用型数据库系统,用户来自不同的制造企业,分布不集中,需要通过互联网来与数据库交换数据,实现切削数据的共享,因此采用B/S架构开发系统具有一定的优势,系统的3层体系结构——表示层、业务逻辑层和数据访问层,保证了系统的可维护性和扩展性。

2.2 数据库设计

2.2.1 数据库需求分析

需求分析的目标是明确数据库系统所要实现的功能及数据库中的数据项的设定,数据库系统的主要功能就是对用户输入的数据(即查询条件)进行处理,然后输出数据(即查询结果)给用户。

建立通用型切削加工工艺数据库的目的是为制造企业在切削加工过程中提供切削数据支持。切削加工是一个复杂的过程,通用型切削数据库系统必须考虑到切削过程中的每一个因素,还要考虑系统的可扩展性,通过对系统功能进行分析,得到了如图1所示的系统功

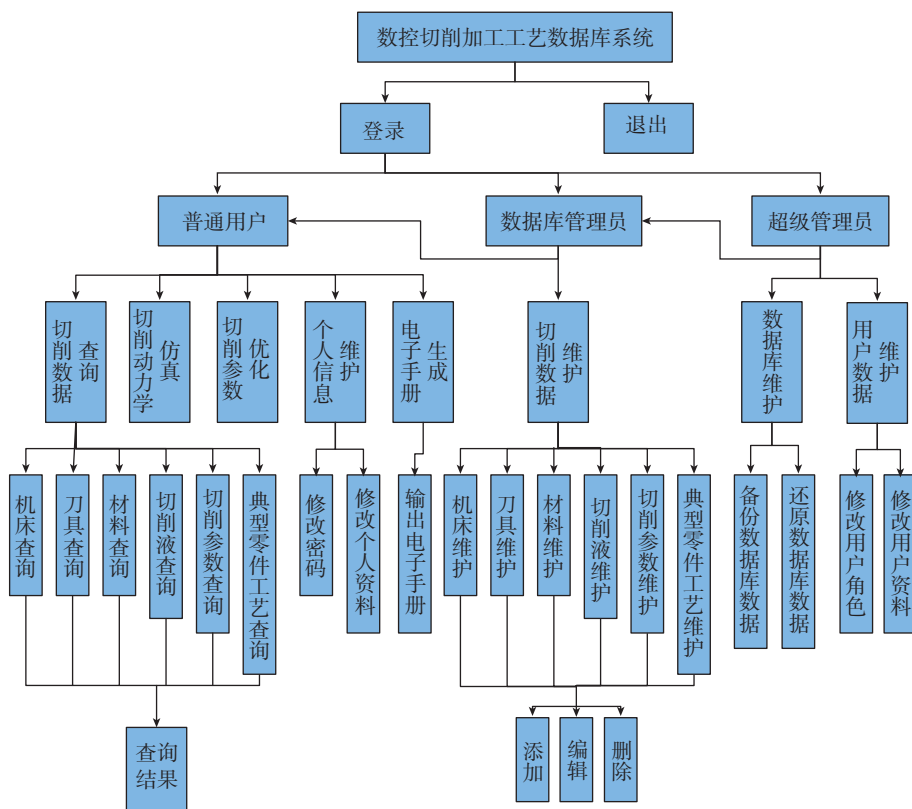


图1 数据库系统功能流程图

Fig.1 Database system function flowchart

能流程图。

数据库系统必须充分考虑切削数据项的设定,如果将每一个与切削有关的因素都考虑进去则显然没有必要,数据库的设计既要大量零散的数据进行整合分类,又要保证不丢失有效数据,同时还要考虑到数据处理简单方便快捷。通过调研分析,本切削工艺数据库共设定了 384 个数据项,其中机床按部件描述,分为基本信息、主轴、副主轴、进给轴、车铣主轴、刀库、扩展行程信息属性,共 84 个数据项,涵盖了数控车床、数控铣床、数控镗床、数控钻床、加工中心和车铣复合机床等;刀具数据项 190 个,按加工工艺分为车刀、铣刀、镗刀、钻削刀具等,涵盖了整体刀具和可转位刀具;材料数据项 17 个,包含了材料动力学特性参数;切削液数据项 8 个;制造商数据项 11 个;切削参数数据项 40 个,包含动力学仿真参数、系统频响曲线图和颤振稳定域图等参数项;典型零件工艺数据项 34 个,包含零件特征、工序和加工参数等。

2.2.2 数据结构的实现

数据库设计基本步骤包括需求分析、概念设计、逻辑设计和物理实现 4 个阶段^[5]。在对通用型切削工艺数据库需求分析的基础上,首先在 PowerDesigner 中利用 E-R (Entity-Relationship) 模型建立了数据库的概念模型^[6],由于数据库中各实体之间的关系比较复杂,首先设计了局部 E-R 图,如机床 E-R 图、刀具 E-R 图等,然后将各个局部 E-R 图进行合并,得到数据库全局 E-R 图。

其次,将 E-R 模型转化为物理数据模型(PDM),具体内容就是定义数据表、定义各字段的数据类型及长度、定义数据表的主键和外键。

最后,在 PowerDesigner 中将 PDM 模型转换为物理数据库的 SQL 脚本,本系统采用 SQL Server 2008 作为数据库管理软件,在 SQL Server 2008 中执行 SQL 脚本生成了物理数据库,创建数据库关系图,得到了如图 2 所示的切削工艺数据库数据结构。

2.3 数据库应用程序开发

应用程序是用户与切削数据库交互的接口,用户只有通过应用程序才能使用和操作数据库中的数据。本系统采用了 Visual Studio 2008 作为系统开发工具,在 ASP.NET 平台下采用 C# 语言和 ADO.NET 开发数据库应用程序,为了使应用程序更加美观,使用户在操作数据库时更加方便快捷,在 Dreamweaver 软件下采用 DIV+CSS 进行页面布局设计,分别设计了普通用户页面和管理员页面,页面使用了三级驱动菜单,数据查询使用了 Ajax 智能输入提示和异步刷新技术。该应用程序为用户设计了用户管理、数据查询、数据管理、数据手册

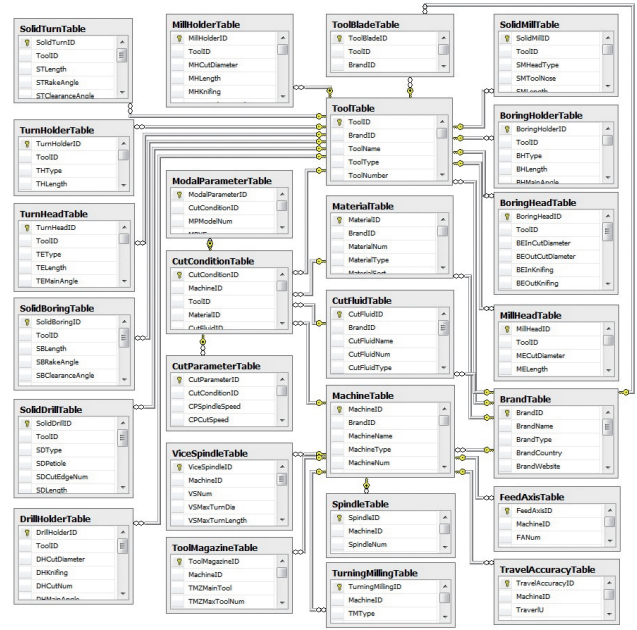


图2 切削工艺数据库数据结构

Fig.2 Data structure of database system

生成等功能模块。

2.3.1 用户管理模块

该模块主要用于验证用户是否为系统合法用户,并可以编辑更新用户信息,以及对不同用户的角色和权限进行管理。根据用户角色的不同,分为普通用户、管理员和超级管理员 3 种。普通用户可以在注册页面注册并登录到数据库系统,主要权限是使用数据库的查询功能;管理员既可以查询数据,还可以对数据进行添加、编辑、更新和删除等操作;超级管理员除了拥有前两种角色的权限外,还可以分配用户的角色。权限的设计有利于数据库数据的安全性。

2.3.2 数据查询模块

在该数据库系统中,通过该模块可查询数控机床、数控刀具、工件材料、切削液、切削参数(包括颤振稳定域图,时域仿真图等)和典型零件工艺(包括零件特征、工序、切削用量等)信息等,用户根据需要选择查询,步骤如下:

- (1) 选择查询内容。在驱动菜单中点击要查询的内容,应用程序跳转到对应的查询界面;
- (2) 选择查询方式。分单字段查询、快速查询和多字段查询,图 3 所示为数控机床查询界面;
- (3) 查询结果列表。应用程序将与查询条件相关的结果显示在列表中,列表只显示简要信息,用户进行进一步筛选;
- (4) 得到详细的查询结果。在列表中点击符合条件的项,应用程序跳转到详细结果显示页面。

2.3.3 数据管理模块



图3 数控机床查询界面
Fig.3 Machine query interface

数据库管理员登录系统后可以与切削加工过程相关的信息管理维护,如图1中所示,可对这些信息进行添加、更新、删除等操作,不断丰富和完善数据库中的内容,保证切削数据的有效性和完整性,图4所示为切削参数修改界面。由于在相同的切削条件下对应多条切削参数,应用程序还提供了批量导入数据功能,用户下载应用程序提供的 Excel 文件,填写数据后上传到服务器中,应用程序可将满足要求的数据保存到数据库中。



图4 切削参数管理界面
Fig.4 Cutting parameter management interface

2.3.4 数据手册模块

数据库的用户不仅包括工艺人员,还包括一线的生产操作人员,为方便一线生产操作人员使用数据库中的数据,数据库系统开发了数据手册生成功能模块,利用水晶报表工具将切削数据输出打印,并生成数据手册,数据手册涵盖机床、刀具、切削参数和典型零件工艺信息,为生产人员提供了可靠的数据参考。

3 数据库研究关键技术

3.1 数据库规范拟制定

要建立通用型切削工艺数据库,并实现在不同制造行业内共享,规范制定成为重要的手段,即形成相应的行业标准。一旦实现切削数据库的标准化,制造行业对切削数据库的需求问题便将得以解决。在该切削工艺数据库系统研究过程中,共研究拟制定了3个标准规范,即数据库建库规范、数据采集规范和数据验证规范。

数据库建库规范的制定是实现数据库数据结构和数据项的标准化,不同的制造企业根据该规范建立数据库,可初步实现切削数据的共享机制,建库规范共包括数据项380多项;数据采集规范的制定是实现不同的制造企业根据该规范采集切削数据,保证切削数据的规范化,最终形成数据库总库;数据验证规范则是将来自不同企业的切削数据进行理论和试验验证,包括试验验证平台和验证方法,该规范作为一种数据评价方法,保证了切削数据的有效性和准确性。

3.2 切削过程实时仿真

在当前的切削数据库研究中,切削动力学仿真软件与切削数据库的结合大多采用了接口方式实现,用户在数据库系统中下载文件后再导入相关软件中进行仿真,是一种离线方式仿真,为解决以上问题,在该切削数据库系统中开发了切削动力学仿真模块,通过算法可实现切削动力学实时在线仿真。

切削过程动力学在线实时仿真运用了数控切削加工动力学模型和仿真技术^[6],以瞬时刚性力模型和再生颤振理论为基础。用户点击驱动菜单进入切削力仿真界面中,选择相关的刀具、材料信息,输入切削条件后可计算铣削过程中的瞬时切削力、切削功率、切削扭矩、各向最大切削力,并以图片方式反馈给用户,如图5所示为某一工况下XYZ向切削力仿真结果。

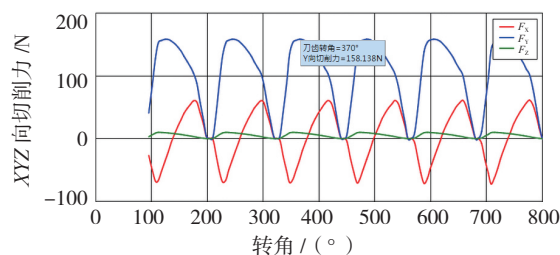


图5 切削力仿真
Fig.5 Cutting force simulation

颤振是金属切削加工过程中刀具和工件之间产生的一种较为强烈的自激振动现象,颤振是切削加工过程中考虑的重要因素。用户在切削颤振仿真界面中可计算铣削过程颤振稳定域,选择并填写相关参数后,上传“机床—刀具—工件”系统的频率响应函数(FRF)文件,可计算得加工系统的“转速—切深”图和“转速—频率”图,图形中下方区域为稳定区域,上方为颤振区域,如图

6 所示为某一工况下的颤振稳定域图。

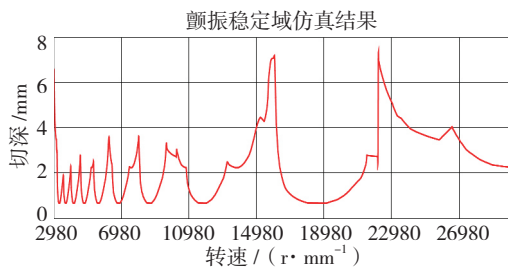


图6 颤振稳定域仿真
Fig.6 Stability lobes simulation

3.3 切削参数实时优化

在切削数据库中录入了大量切削数据,这些数据是在不同的工况下采集的,在某一确定的工况下,数据库中的数据提供了指导意义,并不一定能达到最佳的加工效果。为提高加工质量和效率、降低生产成本,该数据库系统中开发了切削参数实在线优化模块,优化方法是以切削动力仿真技术为基础,以最大生产效率为优化目标,即生产单个零件时间最短,以机床许用范围、刀具许用范围、切削力、颤振等为约束条件^[7]。

用户进入切削参数优化界面,从数据库中选择相关机床、刀具和材料数据,并填写约束条件和优化范围,通过优化算法将结果显示页面中,系统以数据和图形两种方式反馈给用户,达到参数优化前后对比效果,如图7所示为某一工况下的参数优化结果。

切削参数优化结果			
对比内容	优化前	优化后	优化对比(后/前)
切削参数			
主轴转速(r/min)	5000	4000.000	0.800
进给速度(mm/min)	600	800.000	1.333
轴向切深(mm)	4	4.800	1.200
径向切深(mm)	8	8.000	1.000
材料去除率(cm ³ /min)	19.200	30.720	1.600
切削线速度(m/min)	251.327	201.062	0.800
每齿进给量(mm/齿)	0.040	0.067	1.675

图7 切削参数优化
Fig.7 Cutting parameter optimization

4 结束语

本研究开发了工程化应用的通用型切削工艺数据库系统,实现了切削数据的有效管理,为确保数据的有效性对切削数据进行了评价,搜集并录入了大量优化型切削参数数据,初步解决了我国对通用型切削数据库的需求和数控加工基础数据严重缺乏的问题;为实现切削数据在制造行业内共享机制,拟制定了3个数据库标准规范,实现切削工艺数据库的标准化;本文将切削加工动力学仿真优化技术与切削工艺数据库相结合,实现了工程中切削加工的实时在线仿真优化。

通用型切削工艺数据库的研究与开发,解决了制造

企业对切削数据库和切削数据的需求问题,有利于提高企业的生产效率、降低生产成本,增强我国制造行业的核心竞争力。

参考文献

- [1] 刘战强,黄传真,万熠,等.切削数据库的研究现状与发展.计算机集成制造系统,2003,9(11):937-941.
- [2] 陈志同,陈五一,林东.优化型切削参数数据库的数据结构.计算机集成制造系统,2007,13(11):2184-2188.
- [3] 赵明,刘强,彭翀.面向制造企业应用的切削数据库研究与开发.制造技术与机床,2011,6:35-40.
- [4] 刘强,李忠群.数控铣削加工过程仿真与优化——建模、算法与工程应用.北京:航空工业出版社,2011.
- [5] 史嘉权.数据库系统概论.北京:清华大学出版社,2007.
- [6] 姜江编.PowerDesigner数据库系统分析设计与应用.北京:电子工业出版社,2004.
- [7] 李铮,刘强.中低速数控铣削参数优化技术研究及应用.航空制造技术,2011,5:64-68.

(责编 春早)

(上接第71页)

物陶瓷颗粒,也有少量有机夹杂,夹杂在现有技术条件下不能完全消除,允许以一定的大小和聚集程度存在。这些夹杂的存在会引起拉刀的异常磨损,甚至拉刀崩齿。如果对拉削过程进行有效控制,即使在拉削FGH95粉末高温合金涡轮盘过程中出现异常现象也不会对零件和拉刀造成毁灭性的破坏。

参考文献

- [1] 张义文,上官永恒.粉末高温合金的研究与发展.粉末冶金工业,2004,14(6):30-42.
- [2] 章守华,胡本英,李慧莹,等.镍基粉末高温合金FGH95的组织 and 性能.北京科技大学学报,1993,15(1):1-8.
- [3] 邹金文,汪武祥.粉末高温合金中夹杂物特性及其质量控制.粉末冶金技术,2001,19(1):7-11.
- [4] 张莹,张义文,宋璞生,等.镍基高温合金中的夹杂物.钢铁研究学报,2003,15(6):71-76.
- [5] 国为民,吴剑涛,张凤戈,等.不同成型工艺条件下FGH95粉末高温合金中夹杂物对材料力学性能的影响.中国材料科学与工程,2006(2):45-47.
- [6] 张丽娜,张麦仓,李晓,等.粉末高温合金中非金属夹杂物问题的研究进展.兵器材料科学与工程,2001,24(3):64-67.
- [7] 楼志文.损伤力学基础.西安:西安交通大学出版社,1991.
- [8] 王占学.塑性加工金属学.北京:冶金工业出版社,1991.
- [9] 张丽娜,张麦仓,李晓,等.粉末高温合金中非金属夹杂物导致裂纹萌生和扩展的扫描电镜原位观察.稀有金属材料与工程,2001,30(2):123-125.
- [10] 杜劲,刘建强.夹杂物对FGH95粉末高温合金切削加工力学特性的影响.组合技术与自动化加工技术,2011,12(4):19-23.

(责编 玲犀)