

优化型切削参数数据库系统开发与应用

Development and Application of Optimized Cutting Parameter Database System

中航工业昌飞公司技术管理中心 蒋启梅

[摘要] 针对国内现有切削参数库进行分析,提出了基于B/S结构的数据结构可定制、数据的录入与查询等采用模板机制的“活”的数据库,并引入对切削参数进行优化、评价的技术体系,本系统的开发对加快切削技术的推广应用具有非常重要的意义。

关键词: 优化型 切削参数 数据结构

[ABSTRACT] Through analyzing current national cutting parameter database, template mechanism "alive" database is forwarded, which is based on B/S structure, data structure can be tailored for the input and inquire of data. Technical system is brought in which can optimize and review the cutting parameter. The development of this system is very important to speed the application of cutting technique.

Keywords: Optimization Cutting parameter Database structure

随着高速数控机床和切削刀具技术的不断发展,高速切削技术发展迅速,已在航空、航天、模具等重要的制造业领域得到越来越广泛的应用。高速切削技术可大幅提高生产效率和加工质量,是具有共性的先进制造技术之一,已成为切削加工的发展方向。合理选择切削刀具和切削参数对于充分利用高速加工中心功能、降低生产成本具有重要意义。自20世纪60年代中期以来,各工业发达国家相继开始建立金属切削数据库,以积累和储存丰富的金属切削生产和试验数据。1964年,美国技术切削联合研究公司和美国空军材料实验所联合研制了世界上第一个金属切削数据库CUTDATA。此后,各工业发达国家相继开发了各自的金属切削数据库。有资料表明,美国金属切削联合研究公司和美国空军材料实验室联合开发的CUTDATA切削数据库,在建库初期就为美国的工业部门节约了1.6亿美元。德国开发的INFOS切削数据库可使单件生产时间下降10%。国际生产工程协会CIRP曾对切削数据库进行经济效益的调查,切削数据库的使用可使加工成本下降10%以上。

我国自“六五”末期开始金属切削数据库的研究工作,建立了多种金属切削数据库。目前,切削参数的选

择仍是困扰当前数控加工的一大问题。由于现阶段大多数加工工艺人员选择切削参数主要是依靠工作经验或者是通过查询有关资料,所以经常会出现选择不恰当的切削参数而影响零件的加工质量和加工效率,所以建立合理的、科学的优化型切削参数数据库系统是解决这些问题的关键途径。

当前切削参数数据库设计要解决现有数据库以下4点不足:

(1) 普通切削数据库很少或没有考虑工件的几何特征和力学特征。

(2) 普通切削数据库很少考虑到具体的加工条件和加工要求的限制。

(3) 普通切削数据库切削参数数据中很少包含对数据好坏的客观或主观评价指标。

(4) 现有的切削数据库没有建立切削参数的自进化机制。

为解决上面的问题,开发了一种基于工件特征的可进化式优化型切削参数数据库。

1 系统架构和功能

1.1 系统架构

系统平台将采用3层体系结构框架,一个多层体系结构将整个系统划分成清晰的单元——表示层、业务逻辑层和数据访问层,这保证了责任的清晰划分以及可维护性和可扩展性。

1.2 系统主要功能

优化型切削参数数据库系统满足系统管理员和一般用户的使用要求,具体功能如下:

切削参数管理功能: 提供参数的定义、添加、修改、删除和更新等功能;

切削加工资源管理功能: 提供切削加工资源(如工具、机床、材料、冷却液等)的定义、添加、修改、删除和更新等功能;

特征类型管理功能: 提供加工特征(腹板、侧筋等)的定义、添加、修改、删除和更新等功能;

业务管理员管理功能: 提供对象管理、属性管理、配置调用关系管理、公式管理和规则库管理等;

铣削典型零件加工参数管理功能：提供铣削典型零件加工参数的定义、添加、修改、删除和更新等功能；

应用服务功能：提供查询、检索和浏览优化参数及相关加工资源信息以及切削参数数据导出、手册输出等功能；

与其他应用系统的接口功能：提供与 CATIA 的接口及基础资源数据库接口功能；

系统管理和维护功能：提供人员、角色定义和权限设置等功能对系统进行维护。

2 切削数据库系统结构

由于切削技术的不断发展及数据来源的不同（如刀具厂商提供的数据、试验、仿真来的数据），其描述方式可能不同，为了便于切削参数的逐步扩充，在数据库结构的设计上，应考虑到数据库的开放性、灵活性和扩展性。用于存储工件特征、工件材料和切削参数等所有与之相关的对象都可以由切削参数业务管理员来定义，各对象的属性也可自行定义，如刀具数据对象用来存储刀具材料、型号、尺寸、重量、加工用途、刀具的技术参数（切削速度范围、切深、进给和齿数等）和生产商等数据。

为了将数据库设计成一个灵活的结构，需要借用一种模板机制，比如：系统会预先定义一个模板，该模板定义了切削库的基本属性，系统在创建切削数据库时，会根据这个模板自动生成数据库结构。

传统的切削参数数据库主要考察刀具的结构和材料、工件的材料的不同，没有考察工件结构和力学特性的差别，这在很多场合是不合理的。工件的几何特征和力学特征对切削过程具有重要影响，因此，如果不在切削参数数据记录中保留这些信息，那么在具体的应用中我们就难以判断某切削参数数据是否适合当前的切削过程并取得良好效果，因此在描述工艺系统时除了要描述工件的材料信息之外还需要描述工件的结构信息和力学信息^[1-3]。

根据上述设计原则，整个切削参数数据库将由如下 7 个基本表构成：

(1) 切削数据主表。主要存放切削参数记录的基本信息，如记录时间、记录人、是否有效等。

(2) 切削参数代码表。该表定义了切削参数，由于该表可以按照需求扩充，所以用户可以根据需要随意修改参数个数。

(3) 切削参数数据表。该表存放实际的切削参数数据，并关联切削参数代码表。

(4) 切削参数历史数据表。该表存放所有切削参数的历史数据（包括刀具和设备历史数据）。

(5) 工件信息表。主要包括工件的结构类型、工件

结构的几何参数和工件的力学特性参数等。

(6) 公式表。主要存放常用的工程用公式。

(7) 系统表。包括用户表、权限表、功能表、角色表和日志表等。

当业务管理员定义好了对象及其属性之后，如图 1 所示，可以针对不同的数据类型和不同的用户需求对各类对象定义模板，如图 2 所示。数据的录入和查询等可按定义的模板来进行操作。



图1 对象及属性的定义

Fig.1 Definition of object and property

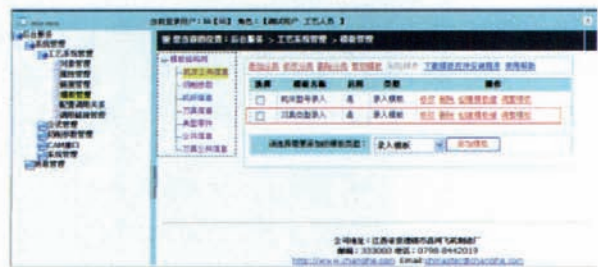


图2 模板的定义与配置

Fig.2 Definition and scheme of template

3 系统开发创新点

3.1 数据库中引入了等效性规则

为了尽可能少地在切削数据库中存放冗余数据，

应用了数据等效性规则,如图3所示,如在录入刀具供应商时,同一厂商只能存在一条记录。

名称	对象	类型	公式	操作
国际产况等效性规则	国际产况	等效性规则	国际产况,输入国际产况的公式:4+30	管理 应用 修改 删除
材料状态等效性规则	材料状态	等效性规则	材料状态,输入材料状态的公式:4+30	管理 应用 修改 删除
刀具品牌等效性规则	刀具品牌	等效性规则	刀具品牌,输入刀具品牌的公式:4+30	管理 应用 修改 删除
使用单位等效性规则	使用单位	等效性规则	使用单位,输入使用单位的公式:4+30	管理 应用 修改 删除
材料品牌等效性规则	材料品牌	等效性规则	材料品牌,输入材料品牌的公式:4+30	管理 应用 修改 删除
材料规格等效性规则	材料规格	等效性规则	材料规格,输入材料规格的公式:4+30	管理 应用 修改 删除
刀具品牌方式等效性规则	刀具品牌方式	等效性规则	刀具品牌方式,输入刀具品牌方式的公式:4+30	管理 应用 修改 删除
刀具代序等效性规则	刀具代序	等效性规则	刀具代序,输入刀具代序的公式:4+30	管理 应用 修改 删除
刀具品牌等效性规则	刀具品牌	等效性规则	刀具品牌,输入刀具品牌的公式:4+30	管理 应用 修改 删除
设备厂家等效性规则	设备厂家	等效性规则	设备厂家,输入设备厂家的公式:4+30	管理 应用 修改 删除
设备品牌等效性规则	设备品牌	等效性规则	设备品牌,输入设备品牌的公式:4+30	管理 应用 修改 删除
设备型号等效性规则	设备型号	等效性规则	设备型号,输入设备型号的公式:4+30	管理 应用 修改 删除
设备规格等效性规则	设备规格	等效性规则	设备规格,输入设备规格的公式:4+30	管理 应用 修改 删除
设备品牌等效性规则	设备品牌	等效性规则	设备品牌,输入设备品牌的公式:4+30	管理 应用 修改 删除
设备型号等效性规则	设备型号	等效性规则	设备型号,输入设备型号的公式:4+30	管理 应用 修改 删除
设备规格等效性规则	设备规格	等效性规则	设备规格,输入设备规格的公式:4+30	管理 应用 修改 删除
材料品牌等效性规则	材料品牌	等效性规则	材料品牌,输入材料品牌的公式:4+30	管理 应用 修改 删除
材料规格等效性规则	材料规格	等效性规则	材料规格,输入材料规格的公式:4+30	管理 应用 修改 删除

图3 对象的等效性规则配置

Fig.3 Equivalent formula scheme of object

等效性验证通过以下4种方式来实现:

(1) 用户可通过相关的界面,对各类对象的等效性进行配置。

(2) 配置定义中的单位目前有“百分比”和“数值”2项供用户选择。

(3) 若在录入数据的时候,发现有等效性数据的存在,则提示用户,且当前记录不被保存。

(4) 切削参数的等效性的验证必须在机床,刀具,材料和特征等情况相同的前提下进行。

3.2 切削参数的评价

在切削参数数据结构中需要增加评价指标,与所设定的目标函数和约束条件一起描述切削参数数据及其好坏。切削参数的评价包括主观评估和量化评估2种功能。

量化评估主要是调用系统提供的自定义计算公式模块,根据不同的需求(比如:最大材料去除率和最低生产成本等)选用不同的公式进行评估计算,将评估后的结果记入切削参数评价表。量化评估分为2种情况:一种是由用户录入切削参数数据后系统根据预定的评估公式进行评估;另一种是切削参数录入时已经存在量化评估数据,则允许用户直接将该评估数据直接存入系统,不需要再次进行评估。

由于切削过程还存在很多不能精确量化的限制条件和目标函数,这些暂时只能以技术人员和技术资料提供的经验和规则的形式出现,为了解决评价体系难以精确量化的困难,我们在数据结构中设立了主观评价指标,通过应用验证和专家意见实现对数据的辅助评价,这对于改进工艺过程和实现切削参数的不断优化是有用的。

由于增加了切削参数数据的评价指标项,在相同条

件下,评价指标高的切削参数可以作为更好的切削参数保留下来,而原来的参数将失去其最优特性,这就建立了切削参数不断进化的机制。传统的数据库中没有评价指标,因此它们不具备自进化机制。

3.3 切削参数的优化

目前人们已经建立了很多不同的优化模型,因为不同工艺条件下约束条件是不相同的。不同的设计人员或工厂的设计策略也可以是不同的,即使同一工厂针对不同的加工问题的策略还可以是不同的。所以,在建立数据库时必须容许不同的优化模型的并存。一方面由于优化模型不同,所得到的最优解也将不同,因此,数据库需要将数学模型作为基本内容保存起来。另一方面,由于优化模型的可进化性的存在,因此,必须容许经验数据能够被包容在优化模型之中并发挥一定作用。

切削参数的优化,相当于对量化评估的一个反推过程,可对公式进行上传、管理和维护。主轴转速 n (r/min)、每齿进给量 f_z (mm/z)、铣削深度 a_p (mm)、铣削宽度 a_e (mm)、刀具齿数 z 。

例如金属材料去除率目标函数为: $V_p = a_p \times a_e \times n \times z \times f_z$ (mm³)。将 V_p 设定为某一值,除 a_p 可变外,公式右边参数均为固定值,则 a_p 可根据 V_p 设定值的不同而改变,从而实现一个反推过程。

可通过系统提供的公式定义,对切削参数进行优化,公式以某一种脚本(vbscript、python等)形式存储,切削系统提供参数选择界面。用户选择某个优化公式后,通过参数选择界面为公式指定参数数值来源。在优化过程中,可由用户根据经验选择不同的优化公式。在进行切削参数优化时,通过公式每次只能对一个参数进行优化。优化后,用户可自由选择是否保存优化结果,如图4所示。

3.4 与CATIA的接口

工艺员在用CATIA进行编程时,须手工录入如车床、刀具、主轴转速等参数,要达到的效果是人工一次输入后,在下次录入时会记录上次录入的参数,也可以通过CATIA程序在提供的一组切削参数中自动选取一条最优化的记录作为录入参数,免去手工录入。目前,用户可以登录切削参数系统通过查询得到信息,利用配置工具,将查询结果与CATIA的字段做对应的配置,如图5所示。将数据保存为csv格式,通过CATIA宏将其转换成CATIA能识别的.catalog文件。

目前,与CATIA的接口是通过宏程序来将所需数据根据切削参数数据库的情况进行不定期的更新,今后,我们将直接对CATIA进行二次开发,在CATIA中直接调用切削参数数据,保证数据的一致性,减少操作的中间过程,更好、更直接地为编程人员服务。

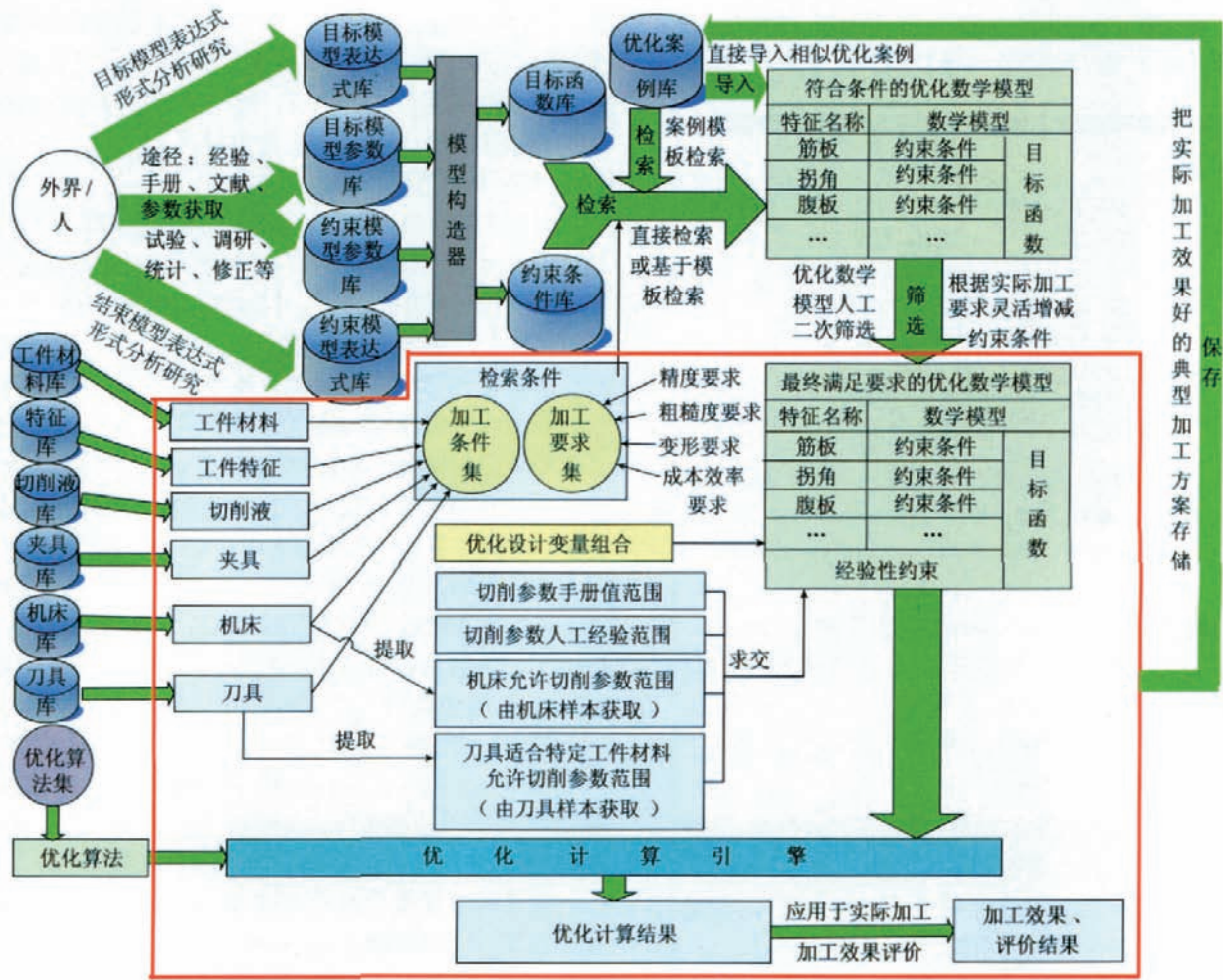


图4 可重组优化系统体系结构

Fig.4 Reconfigurable optimized system structure



图5 CATIA字段配置对应关系

Fig.5 Corresponding connection for CATIA field scheme

4 典型案例

典型案例为工厂中在平时加工和试验性研究过程中的切削参数比较好的具有典型性的工件,这些典型工件具有一定的代表性。就是和典型构件差不多相同的

工件可以采用相似性理论来选择参数。典型构件既包括刚性工件也包括弱刚性工件。包括切削参数特征类型和典型零件加工案例的分类管理,管理的数据类型涵盖图片、三维数模、动画和影片等格式。

利用典型案例可以将以前加工实例积累的切削数据和经验应用于新工件的切削加工,图6中为典型案例优化前后方案对比,对加快切削技术的推广应用具有重要的意义。

5 结论

优化型切削参数数据库提出了可优化的、自进化式切削参数数据库的建设思想,实现了对工件结构的几何特征和力学特性的描述,对与切削参数密切相关的各类基础数据进行了科学的描述,对于典型案例的工艺流程、工艺系统和加工质量等进行了记录,便于为一个新的应用提供更加准确的指导。为确保数据的准确性,在

(下转第 117 页)

$\eta_0=0.9$ 计算,当 $n_0=3$ 时, $\eta=0.85$; $\eta_0>3$ 时(即 $P_0 < \frac{1}{3}P_t$),

η 增长缓慢。所以,一般取 $P_0 \approx \frac{1}{3}P_t$,这时滚珠丝杠与螺母的接触变形量比无预紧力时减少一半。

丝杠生产厂家根据实际使用经验,一般将螺母预紧力设定为丝杠额定动载的 $1/10$,保证丝杠消除的同时丝杠螺母具有足够的刚性。

2.4 A 坐标进给系统

G4 1230 AJ 采用传统的机械驱动 A 摆角进给系统如图 5 所示:伺服电机 15 通过同步带 13 进行减速(传动比 $2:1$),轴 9 用联轴节 8 连接蜗杆 4,蜗杆带动蜗轮 20(传动比 $20:1$),驱动与蜗轮同轴的齿轮轴 18,使双输出齿轮同扇形齿条 19 啮合(传动比 $9:1$),扇形齿条再带动整个主轴头进行摆动。

其中蜗杆 4 的顶端配置一套碟簧预紧机构,碟簧 1 对其施加一定轴向推力,使蜗杆 4 沿右端的花键套产生相应的轴向滑移,这样蜗杆 4 驱动的蜗轮与蜗杆 6 驱动的蜗轮就产生了大小相等、方向相反的预紧载荷,使得与蜗轮同轴的 2 个齿轮具有了同样的预载,最终双输出齿轮同扇形齿条进行消除啮合,提高了摆角进给传动的定位精度和重复定位精度,降低了系统的反向误差。

消除传动机构是高精度进给系统的基础,最终的全行程高精度进给是靠闭环控制系统来保证的。A 坐标进给传动采用 HEIDENHAIN 角度编码器 ERA180 作为闭环控制系统的反馈元件。由于是第一次使用,不了解它的特性,所以在进行角度误差补偿之初总是不能达到要求的精度。

通过采取以下措施对角度误差进行调试补偿:

(1) 调整转轴轴承和蜗轮蜗杆机构的预紧,降低了装配误差,提高了传动精度。

(2) 将安装于转轴后端的角编码器重新安装找正,减少了编码器安装误差带来的精度影响(ERA180 对安装有很高的同轴度要求, $1\mu\text{m}$ 的同轴度误差最大产生 $13''$ 角度误差)。

(3) 采用编码器系统精度的整数倍(ERA180 系统精度: $\pm 7.5''$) 作为精度补偿时的测量步距,避免了测量步距非整数部分带来的角度误差积累引起的局部误差突变。

(4) 坐标回零后以角度编码器的零点作为精度补偿的起点,直接按回零方向进行误差补偿,有效地减少了反向误差的影响。

采用以上方法对角度误差进行多次调试补偿后,最终得到了理想的精度(定位精度: $6''$, 重复定位精度: $2''$, 反向误差: $2''$)。

3 结束语

经过用户近 2 年的使用验证,基于以上设计的四坐标数控龙门加工中心,因其设计合理,性能稳定可靠等特点在航空领域的应用越来越广泛。如今,运用该机床已加工各类型飞机零件十多种、数百件,取得了良好的经济效益,有力地保障了航空工业的发展。

(责编 飞翔)

(上接第 104 页)



图6 典型案例优化前后方案对比

Fig.6 Comparison of typical case before and after optimization

数据的录入中还提供了数据审批流程,只有经过专业人员审核通过后的数据,才能正式提供给用户使用。

通过对优化型切削参数数据库的研究与开发,解决了缺乏合理适用的切削数据的困难,对加快切削技术的推广应用具有非常重要的意义。

参考文献

- [1] 吴斌,夏伟,汤勇,等.基于模糊理论和数据库技术的材料切削加工性评价.机械设计与制造工程.2003,29(2):12-15.
- [2] 金问林.切削过程数据采集与处理以及优化研究.南京航空航天大学[D].1988.
- [3] 陈志刚.基于特征结构的优化型数控铣削加工数据库研制,北京航空航天大学[D].2006.

(责编 小城)