

第 5 章 滚磨光整加工数据库的开发与应用

滚磨光整加工数据库的最终目的是为实际工程应用服务，其研究必须落到实际生产实践这个落脚点上，为产业链中各级生产加工企业提供可靠的决策支持与技术支撑。因此数据库的开发从总体设计上，既要考虑数据的收集，更要考虑数据的管理。框架与功能结构的设计要以保证数据可用性与一致性、提高数据库可读性和扩展性为前提，确保开发阶段程序编制的质量。

5.1 滚磨光整加工数据库的开发

5.1.1 数据库的总体框架

滚磨光整加工数据库构建由数据采集、实例获取、案例构建、工艺智能优选为主线，建立以服务为核心得系统应用模式与理念，通过知识系统向全产业链提供信息共享与定制化服务。其中：数据采集和实例数据获取通过企业、科研机构等多方共同积累结合实现；案例构建和工艺智能优选主要依赖于案例推理、专家系统等智能技术实现；信息共享与定制化服务则通过各类智能终端提供给产业链各级用户。这几个阶段相互配合，实现了滚磨光整加工工艺信息流的有效融合，图 5-1 所示为数据库平台总体框架，围绕着上述三个阶段，搭建 5 个层次的核心平台。

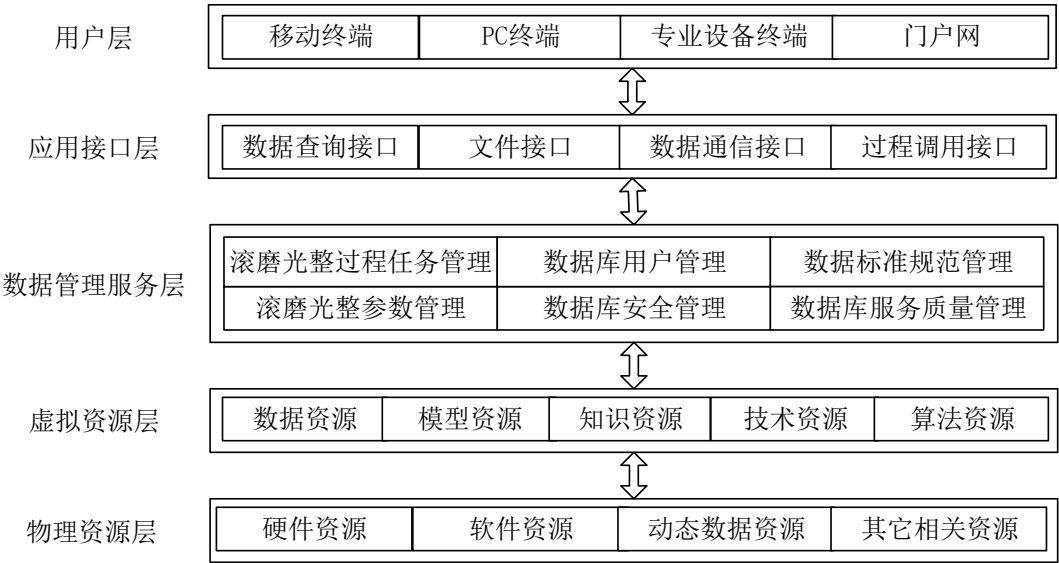


图 5-1 面向应用的滚磨光整加工数据库总体框架

Figure 5-1 The framework of application-oriented barrel finishing database

开放系统互连参考模型（Open System Interconnection Reference Model, OSI/RM）是国际标准化组织（ISO）提出的一个试图使各种计算机在世界范围内互连为网络的标准框架。本文采用的系统框架严格遵循 OSI 模型，同时在数据库构建时，面向行业实际应用需求，全面系统地考虑了滚磨光整加工产业链过程的各环节、各流程、各参数，以及参数之间的关联和相互作用。

（1）物理资源层：包括参与滚磨光整加工的各类资源，包括组织机构信息如企业信息、人员信息等，物料信息如滚磨设备信息、滚抛磨块信息、化学剂信息等。依据不同的应用模式与资源特点，采用不同的方式进行收集整理。各种物理资源如表 5.1 所示。

（2）虚拟资源层：将物理资源层采集到的各类信息根据系统模型数据化，按照系统设定的数据格式进行封装并存储在物理表。

（3）数据管理服务层：依据系统组织模型和信息模型对所有数据进行逻辑标准化处理，对数据分层分类规划，实现有效管理。

（4）应用接口层：建立标准化、开放型统一的规范数据接口，为后期与各类企业的管理系统与工艺系统实现便捷的调用和有效数据对接。

（5）用户层：通过各类网络终端，为产业链各级用户提供数据库平台的通用服务如数据采集和数据共享，以及基于滚磨光整加工工艺的定制化需求。

表 5.1 滚磨光整资源分类及采集方式

Tab. 5.1 Classification and collection method of barrel finishing resources

类别	资源内容	数据采集方式
静态数据资源	滚磨设备、滚抛磨块、化学剂及基本液体和加工工艺参数相关信息	规范采集、批量上传
动态数据资源	设备实时参数信息及加工过程中各类状态信息	设备信号接口、传感器采集
软件资源	办公系统、数据管理系统、工艺设计软件、工艺评价平台等	数据库统一规范接口进行数据传输
其他相关资源	产业链中生产设备、磨块、化学剂的生产厂、工艺研发机构及终端应用机构用户信息等	通过数据接口采集或规范录入数据库

面向全产业链应用的滚磨光整加工数据库平台借鉴其他工业数据库的应用经验，综合本行业的特殊性，将定制化服务的理念融入到滚磨光整加工过程的信息流通中，具有解决通用工业数据库数据僵化、企业间信息不对等、滚磨光整加工效率低和加工质量不一致的能力，主要有以下优势：

（1）滚磨光整加工工艺过程中各类基础数据的规范化采集、标准化管理、实时共享共用，并通过数据库管理系统的安全机制实现数据的安全保障。

(2) 实现了滚磨光整加工工艺的优选，提高了加工效率，并不断补充增加新的数据，保证了数据库平台数据的及时更新。

(3) 结合案例推理、专家系统等智能化方法，实现了对传统的滚磨光整加工实验、生产实例数据到加工知识的转变。

(4) 建立了数据标准化接口，为实现加工过程信息的动态监测，奠定了技术基础。

面向全产业链应用的滚磨光整加工数据库的关键是：结合数据库技术与智能化方法的优势，构建滚磨光整加工技术的智能化应用模式，综合实现海量滚磨光整加工数据的深度挖掘与利用。

5.1.2 数据库的系统功能结构

面向全产业链应用的滚磨光整加工数据库平台从功能结构的设计上有如下优点：

(1) 模块化的功能实现，针对不同的用户提供不同的应用服务，实现滚磨光整加工过程中各类型参数便捷查询和科学管理。

(2) 为滚磨光整加工数据的分析提供高效平台支撑，可有效利用数据库平台的数据整合实现数据分析业务可视化，提供对光整加工企业生产过程的有效支撑。

(3) 滚磨光整加工过程各个方面的数据完备、采集便捷、服务方式多样、评价系统完善、接口开放，能满足产业链各类型企业的实际需求。

图 5-2 为滚磨光整加工数据库平台功能结构。

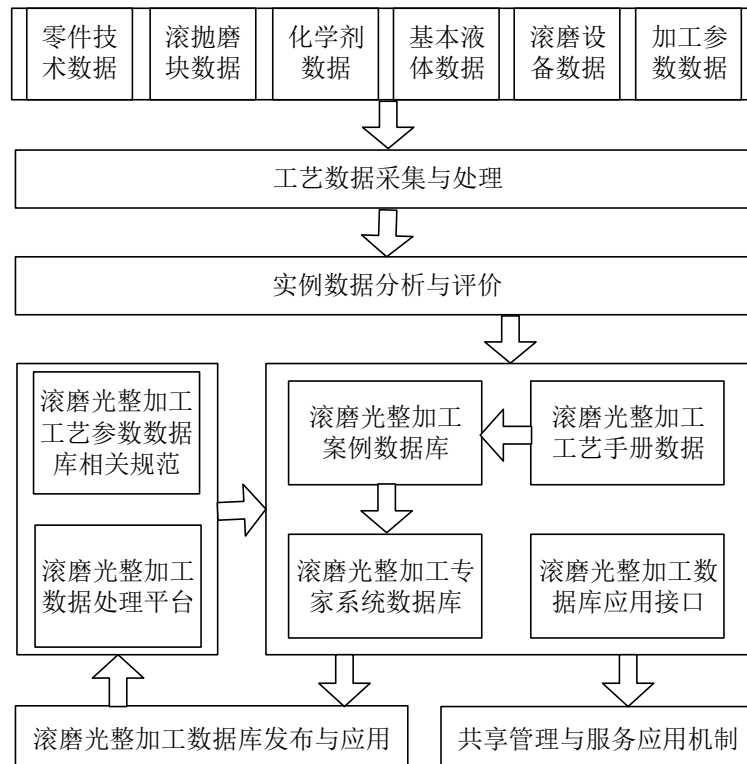


图 5-2 滚磨光整加工数据库平台功能结构

Figure 5-2 Function structure of barrel finishing database platform

5.1.3 数据库的开发环境

本文在分析机械制造领域主流工业数据库应用情况的基础上,结合滚磨光整加工行业对信息共建共享的需求特性,基于目前世界上流行的关系数据库管理系统 Oracle,采用 Microsoft 的 XML Web 服务平台 .net,使用“简单、现代、通用”的面向对象程序设计语言 C#,利用 Microsoft Visual Studio 2017 集成开发环境开发滚磨光整加工数据库平台。

(1) 数据库管理系统

数据库管理系统(Database Management System, DBMS)是对数据库进行管理、控制和维护的应用软件,保证数据库的安全性和完整性^[137]。本文采用的 ORACLE 数据库系统,是目前世界上应用最广泛、商业化程度最高的数据库管理系统。知名 DB-Engines 数据库流行度排行榜 2020 年 3 月最新排名中,Oracle 依赖于其高度集成和高性能优势,继续排名首位^[138]。

Oracle 提供基于角色级别的安全保密管理机制,数据库服务器资源占用率低、高并发能力强,数据库完整性好、安全性和一致性管理功能强大,支持多维数据结构,提供与各类高级编程语言的标准接口,且具有优异的可移植性和扩展性^[139]。综合上述优点,本文所选用的 Oracle 数据库管理系统技术成熟,企业应用广泛,完全能满足构建数据库需求。

(2) 面向对象语言

面向对象语言(Object-Oriented Language)把面向对象的思想应用于软件开发过程中,是一类以对象作为基本程序结构单位的程序设计语言。本文系统在程序端的开发采用面向对象语言 C#来完成,它有先进的语法体系,能够充分照顾常见的业务需求,支持事件、委托、属性、Linq 等一系列业务需求,面向对象编程和封装使得组织代码更加容易,为系统的开发提供了便捷性和灵活性,使得我们能够专注于解决数据库业务开发中的主要问题^[140]。

(3) 集成开发环境

集成开发环境(IDE, Integrated Development Environment)是用于提供程序开发环境的应用程序,包括代码编辑器、编译器、调试器和图形用户界面等工具,是软件平台开发的重要组成部分。

数据库平台采用微软公司推出的 Microsoft Visual Studio 2017 作为开发工具包,它能够提供完整的软件开发生命周期中的高级调试和性能分析工具。工具的企业框架和模板提供了关键的基础结构和内容,可以在组织内部定义和提供最好的惯例和程序开发策略^[141]。

(4) 网络结构模式

滚磨光整加工数据库基于浏览器/服务器(Browser/Server, B/S)模式,不同于传统的

仅提供基于 PC 的 Web 浏览器服务，系统设计考虑到当前各类智能终端的应用，界面框架能够兼容目前市场主流的移动端浏览器。在设计开发过程中，所有的信息处理都通过服务器进行，既简化了用户不同的使用方式需求，也使得数据库平台的开发和维护更方便。

因此，用 B/S 网络模式搭建滚磨光整加工数据库平台，业务扩展方便，可面向不同需求的企业进行业务定制，借助 Internet 强大的信息发布与信息传送能力可以有效地解决光整行业大量不规则的数据交流，为海量数据的高效共享奠定基础。图 5-3 所示为 B/S 结构示意图，该模式分为三层结构，表示层即用户与系统的交互界面，显示用户的请求输入和系统的响应输出；业务逻辑层通过互联网与应用服务器执行用户请求，通过与数据库的信息反馈信息给用户；数据存储层包含各类视图和存储过程，运行业务逻辑。

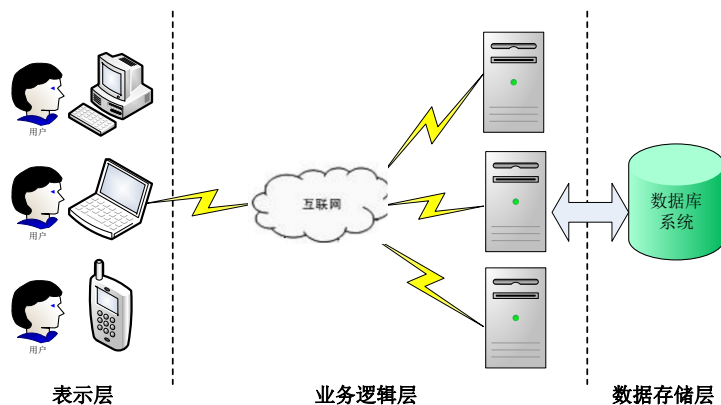


图 5-3 B/S 结构示意图

Figure 5-3 B/S structure diagram

5.1.4 面向全产业链应用的用户权限模型设计

滚磨光整加工数据库的目的是实现整个产业链信息的集成和服务，必然面对着不同类型企业用户需求，尤其是部分企业定制化服务的需求。这种情况下，面对庞大的用户群体，权限系统必须能够支持数据库平台用户权限体系的合理性和扩展性。

滚磨光整加工数据库参考基于角色的访问控制(Role-Based Access Control, RBAC)，充分考虑用户角色与权限的关联。针对行业的特殊性，面对不同的用户多样化的系统服务需求，对 RBAC 进行了扩展，设计开发了“用户-角色-权限-资源”的授权模型。

在模型中，细化组织、人员、物料、工艺相关各类型数据资源，将功能、页面、菜单、字段进行逐级建模授权管理，实现数据库字段的读写权限控制，充分考虑系统面对复杂的多级用户群体的便捷性和扩展性需求。图 5-4 为滚磨光整加工数据库系统权限模型。



图 5-4 滚磨光整加工数据库权限模型

Figure 5-4 Permission model of barrel finishing database

5.1.5 工艺优选融合推理模型的程序实现

本文所提出的融合推理模型采用当前最流行的数据科学语言 Python 进行算法设计。

Python 已经在科学计算中被大量使用，和科学计算领域流行的商业软件 Matlab 相比，应用范围更广泛，有更多如 Numpy、pandas、sci-kit-learn 等优秀的程序库支持，在构建机器学习模型方面，提供了丰富的特性集，更适用于海量数据分析、数据挖掘。

随着滚磨光整加工数据库的应用范围逐步扩大，积累的数据资源不断增多，用户需求也会不断反馈。系统的设计必须保证平台的正常运行和算法更新的有效兼容。因此在数据库平台开发过程中要解决的一个关键问题是 Python 开发的智能算法的有效嵌入应用。

基于上述需求，本文提出以数据库表为衔接点，C#开发的前端界面进行数据的收集和展示，Python 算法在平台后端对数据进行处理，实现程序和智能化算法并行开发与嵌套应用模式。通过与 Microsoft Visual Studio 2017 的 IronPython 工具结合应用，实现了数据库的开发与智能化方法的应用。

图 5-5 为算法调用流程，步骤为：1) 用户在数据库平台界面中通过对应菜单的按钮向应用程序提出请求，程序将用户录入需处理的数据传输到特定数据库表；2) 程序端根据对应请求传递“执行脚本”参数；3) Python 脚本从数据库对应的数据表中调取数据

运行；4) 脚本执行结束后，将结果返回数据库；5) 传递“执行完毕”参数给前端程序；6) 前端程序接收到执行完毕参数后，从数据库中读取运行结果并在用户界面显示。

如上所述，通过这种模式，智能算法的优化和调整不影响数据库平台的正常使用，独立于数据库平台的开发过程，更便于智能方法的随时更新。

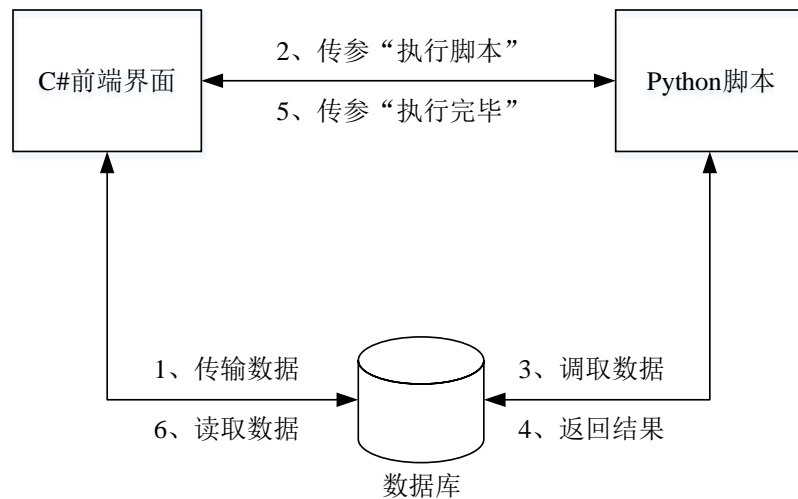


图 5-5 数据库智能算法调用流程

Figure 5-5 Intelligent algorithm call flow of database

5.2 面向全产业链应用的数据库平台界面

滚磨光整加工数据库平台依托平台数据集成与工艺决策的优势，可以为产业链中各类企业提供其所关注产品信息的维护、查询及工艺智能决策服务。

5.2.1 物料信息维护界面示例

物料信息包括滚磨设备、滚抛磨块、化学剂和工装信息及相关基础维表信息的维护，界面均采用相同的构建与布局模式。

以滚抛磨块信息维护界面为例，图 5-6 所示界面中，如磨块类型、磨块厂家、磨块材质、磨块颜色等为下拉框选择，实现数据的规范。其选项均可在基础信息维表中根据实际需求即时维护，如磨块厂家信息从磨块生产企业注册信息库、加工与应用企业零件加工需求库和物料供应商库中调用，通过平台中企业唯一标识纳税人识别号进行统一数据管理，确保了数据的唯一性与准确性。同时，该界面中提供图片、压缩包等各类型文档的附件上传，实现磨块信息更直观的展现。

本界面可由磨块生产企业、工艺研发和应用企业等独立维护，并选择共享模式，数据库平台提供根据企业、形状、材质和规格等特征信息检索服务。

磨块信息维护

磨块编号 *

2019DKE059

磨块名称 *

6号中磨块磨块

磨块类型

白刚玉磨料

磨块牌号

AF09球形JB/T10153Q-5A200V

磨块厂家

磨块形状

圆球形

磨块规格

磨块材质

WA

磨块颜色

绿色

重量

磨耗率

磨削率

批次

20190909a

备注

特征信息1

特征信息2

6号中磨单个图样.jpg

等待上传...

删除

上传图片

选择文件

开始上传

确认

关闭

图 5-6 滚抛磨块信息维护界面

Figure 5-6 Barrel media information maintenance interface

5.2.2 工艺实例维护界面示例

工艺实例的维护是数据库平台的核心，也是数据库案例和智能化工艺决策服务的基础数据来源。通过调研不同类型滚磨光整加工技术应用企业的实际运行模式，本文构建了工艺实例流程化收集模式。既可以适应大部分企业的管理模式，也能进一步促进企业数据规范化入库。系统获取到用户需求信息后，传输到企业工艺人员角色，由工艺人员进行分析并通过平台进行工艺方案智能优选，选定加工方案后进行试验，试验成功后录入实验方案及结果，形成工艺实例。整个流程实现模块化管理，可以随时在流程中添加角色以匹配企业的管理模式。

零件的加工需求可以由终端用户和各类型加工企业市场人员录入系统。图 5-7 为系统加工需求录入界面，工件材质、热处理方式、结构类型、尺寸、常规加工需求选项等进行下拉框选择，确保数据的录入一致性，其他相关特殊要求信息可文本输入供工艺师参考，当数据积累到一定量后进行分类分析，作为新的特征参数加入工艺参数信息库中，后续可实现规范的下拉框选择模式。

图 5-8 为加工工艺维护界面，工艺师进行实验后录入具体使用的设备、磨块添加剂和其他工艺参数，并可上传加工后工件的图像、视频等附件资料。

滚磨光整加工数据库

系统设置 基础信息库 物料数据库 工艺数据库 工艺实例数据库 工艺实例管理 光整需求录入 光整需求管理 光整需求分析 统计报表 光整工艺录入(工艺师) 光整工艺录入(管理员) 光整工艺审核 历史审核记录 工艺案例数据库 工艺专家知识库 工艺分析与评价

添加

工件名称: 转子叶片 所属部件: 所属部件

设备名称: 设备名称 材料: 钛合金 若无选项请填写与材质

代号: sylm201908 若无选项请填写与代号 热处理: 热处理 若无选项请填写与热处理

硬度: 硬度 若无选项请填写与硬度 结构类型: 方形结构 若无选项请填写与结构

尺寸: 长(mm) 110 宽(mm) 36 厚度(mm) 27

重要尺寸: 重要尺寸 若无选项请填写与重要 精度等级: 精度等级 若无选项请填写与精度

生成批量: s001 数量: 3

加工需求: 表面粗糙度(Ra) 现有值 0.4

特殊保护要求: 特殊保护要求 工件特殊要求: 工件特殊要求

其他: 1.去除叶片表面刀纹, 不崩边; 2.弦长去除量小于4

附件: 叶片结构图.jpg 等待上传...

选择文件 开始上传

提交 保存 关闭

Copyright © 2017-2021 太原理工大学, All Rights Reserved

图 5-7 加工需求录入界面

Figure 5-7 Processing demand entry interface

滚磨光整加工数据库

系统设置 基础信息库 物料数据库 工艺数据库 工艺实例数据库 工艺实例管理 光整需求录入 光整需求管理 光整需求分析 统计报表 光整工艺录入(工艺师) 光整工艺录入(管理员) 光整工艺审核 历史审核记录 工艺案例数据库 工艺专家知识库 工艺分析与评价

维护

生成批量: s001 数量: 3

工件需求: 表面粗糙度(Ra) 现有值 0.4

特殊保护要求: 特殊保护要求 工件特殊要求: 工件特殊要求

其他: 1.去除叶片表面刀纹, 不崩边

附件: 选择文件 开始上传

工步: 1

设备: BJG-X400E自由磨具光整设备 加工时间

磨料: 3号粗磨磨块

添加剂: 钨磨液

2

设备: BJG-L105自由磨具光整设备 加工时间

磨料: 3号中磨磨块

添加剂: HYF

试验结果: 表面粗糙度(Ra) 叶盘 0.152 叶背 0.166

提交 保存 关闭

Copyright © 2017-2021 太原理工大学, All Rights Reserved

图 5-8 加工工艺维护界面

Figure 5-8 Process maintenance interface

5.2.2 案例智能优选界面示例

滚磨光整加工数据库平台的智能化应用集中体现在加工工艺的优选过程。终端用户、市场人员录入加工需求后，工艺人员可通过系统进行工艺智能决策。采用滚抛磨块作为主要关注特征进行加工工艺的案例推理优选为例，流程主要分为四部分，包括：输入新案例（加工需求）界面、比较判断矩阵维护界面、计算特征权重界面和工艺方案优选界面。

（1）输入新案例（加工需求）界面

在案例推理模块获取加工需求的方式有两种，一种是通过企业流程化管理传输到本模块，另一种是直接在本模块界面录入加工需求优选工艺方案。图 5-9 为新案例录入界面。

用户或工艺人员输入待加工零件的各项案例特征，具体特征包括：零件类型、零件材质、零件尺寸（根据选择的零件类型自动获取对应的尺寸特征，如界面中选择齿轮类零件后需要输入高、外直径和内直径）、加工前粗糙度、加工前毛刺、加工前光亮度、加工前硬度、加工后粗糙度、加工后毛刺、加工后光亮度、加工后硬度、残余应力）。其中待加工零件类型和待加工零件材质可在下拉列表框中选择。依次输入案例信息后，点击“确定”按钮可完成待加工零件特征的录入。

系统将自动把新输入的案例信息保存在对应案例特征表中，以供基于案例推理的工艺优选 Python 算法调用。同时，会在界面中展示对应输入的新案例记录，用户可通过该条记录进一步检查信息是否输入正确。

The screenshot displays the 'Enter New Case' interface. At the top, there are tabs for 'Case Matching', 'Part Material', and 'Case Reasoning'. The 'Case Reasoning' tab is active, showing a sub-tab 'Enter New Case'. Below this, there are dropdown menus for 'Select Processing Part Type and Material' and 'Part Material'. A table lists various processing parameters: 'Part Type', 'Part Material', 'Processing Before Roughness', 'Processing Before Spikes', 'Processing Before Brightness', 'Processing Before Hardness', 'Processing After Roughness', 'Processing After Spikes', 'Processing After Brightness', 'Processing After Hardness', and 'Residual Stress'. A modal window titled 'Add New Case' is open, showing a form for entering specific case data. The form includes fields for 'Part Type' (set to 'Gear'), 'Part Material' (set to 'Steel'), 'Processing Before Roughness' (set to '1'), 'Processing Before Spikes' (set to '89'), 'Processing Before Brightness' (set to '100'), 'Processing Before Hardness' (set to '1.8'), 'Processing After Roughness' (set to '0.3'), 'Processing After Spikes' (set to '60'), 'Processing After Brightness' (set to '4'), 'Processing After Hardness' (set to '200'), 'Residual Stress' (set to '0.654'), and 'Processing After Spikes' (set to '60'). The 'Add' button is highlighted in blue. At the bottom of the interface, there is a copyright notice: '© 2017-2021 太原理工大学, All Rights Reserved'.

图 5-9 输入新案例界面

Figure 5-9 Entering new case interface

界面中，案例特征输入时，默认“尺寸”案例特征的单位为 mm；“加工前后粗糙度”案例特征的单位为 μm ；“加工前光亮度”案例特征的单位为 mm；“加工前后硬度”案例特征的单位为 HRC；“残余应力”案例特征的单位为 MP。

(2) 比较判断矩阵维护界面

录入加工需求后，点“下一步”进入比较判断矩阵的设置界面，如图 5-10 所示。

滚磨光整加工工艺优选过程中，每一个案例特征具有不同的重要程度，需要赋以各个案例特征不同的权重，并验证权重设置的合理性。前文提到，在优选时采用 AHP 对不同案例特征设置不同的权重值。首先根据优选出的案例特征，构建层次结构模型，将案例特征层次化。其次，通过采纳专家意见、分析现有案例，对每一层指标下的特征逐项对比，构造了部分典型零件类型初始比较判断矩阵。随着平台案例积累的增多，需要不断完善不同类型零件和所对应加工需求的比较判断矩阵。

工艺人员在该界面上输入“准则层判断矩阵”、“尺寸层判断矩阵”、“加工前特征判断矩阵”、“加工要求判断矩阵”的具体数值。其中准则层判断矩阵为 3×3 矩阵；加工前特征判断矩阵为 4×4 矩阵，加工要求判断矩阵为 5×5 矩阵；而尺寸层判断矩阵则针对不同零件类型有不同的维数（齿轮类为 3×3 矩阵、轴类为 2×2 矩阵），该维数可通过“输入新案例”界面中选取零件类型并输入的尺寸案例特征个数确定。

设置矩阵值时，遵循如下规律：其中， $a_{ij}=1/a_{ji}$ ，即案例特征 i 相对案例特征 j 的重要性之比与案例特征 j 相对案例特征 i 的重要性之比互为倒数； $a_{ii}=1$ ，即案例特征 i 相对于本身的重要性之比为 1。点击“上一步”可重新返回新案例输入界面，随时可检查信息输入问题，即时修改。点击“下一步”按钮可进入案例特征权重计算界面。

案例匹配案例特征零件材料案例编辑

输入新案例设置矩阵值计算特征权重案例优选

准则层判断矩阵:

A	A ₁	A ₂	A ₃
A ₁	1	1/3	1/2
A ₂	3	1	2
A ₃	2	1/2	1

尺寸层判断矩阵:

A ₁	A ₁₁	A ₁₂	A ₁₃
A ₁₁	1	1/2	1/2
A ₁₂	2	1	1/2
A ₁₃	3	2	1

加工前特征判断矩阵:

A ₂	A ₂₁	A ₂₂	A ₂₃	A ₂₄
A ₂₁	1	2	3	4
A ₂₂	1/2	1	3	3
A ₂₃	1/3	1/3	1	2
A ₂₄	1/4	1/3	1/2	1

加工要求判断矩阵:

A ₃	A ₃₁	A ₃₂	A ₃₃	A ₃₄	A ₃₅
A ₃₁	1	2	3	4	5
A ₃₂	1/2	1	3	3	4
A ₃₃	1/3	1/3	1	2	3
A ₃₄	1/4	1/3	1/2	1	2
A ₃₅	1/5	1/4	1/3	1/2	1

上一步

下一步

© 2017-2021 太原理工大学 All Rights Reserved

图 5-10 设置比较判断矩阵界面

Figure 5-10 Setting comparison judgment matrix interface

（3）计算特征权重界面

图 5-11 为计算特征权重界面，根据前序输入自动进行显示出新案例的对应特征名称，同时系统对上一步输入的各个比较判断矩阵进行单层权重向量计算及其一致性检验、综合权重向量计算及其一致性检验。通过一致性检验后，得到各案例特征的权重。

案例特征	对应权重
高度	0.0267
内直径	0.0485
外直径	0.0882
加工前粗糙度	0.2474
加工前毛刺	0.1645
加工前光洁度	0.0773
加工前硬度	0.0504
加工后粗糙度	0.1223
加工后毛刺	0.0847
加工后光洁度	0.0436
加工后硬度	0.0283
加工后残余应力	0.018

图 5-11 计算特征权重界面

Figure 5-11 Calculating feature weight interface

（3）案例优选界面

在确定了案例特征权重后，点击“下一步”，界面将跳转到优选结果显示界面，如图 5-12 所示。

界面中，用户能够对案例推理方法中的可调参数进行设置，具体参数包括：数值型案例特征相似度计算公式中的参数 σ 、案例修正中的案例特征权重的阈值 w_{th} 、相似度阈值 S_{th} 。在设置好参数后，点击“案例检索”按钮，进行案例的匹配。界面可同时显示出输入的新案例信息和通过相似度检索出的优选相似度大于相似度阈值 S_{th} 的案例，包括案例的零件本身特征信息、加工后相关特征信息，以及对应磨块信息和详细加工参数。案例按相似度值从高到底排序。

在参数设置时，依据大量的案例验证，系统给出参数设置建议。参数 σ 为 0.4、阈值 w_{th} 为 0.1、相似度阈值 S_{th} 为 0.7。针对不同加工需求的新案例，工艺人员可根据具体情况进行调整。

界面中案例优选结果简洁清楚，可为光整加工企业工艺人员提供多种方案得选择，同时提出了工艺决策建议。

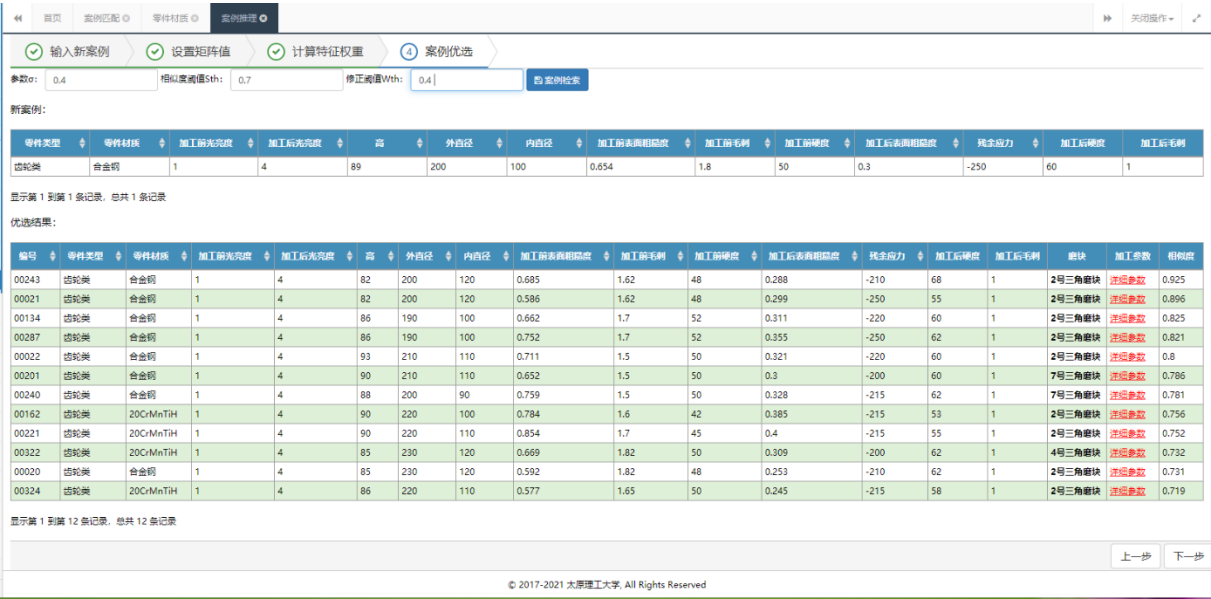


图 5-12 案例优选结果显示界面

Figure 5-12 Case optimization result display interface

5.3 滚磨光整加工数据库在典型企业的定制化应用

依据某大型航空发动机制造企业规模性使用滚磨光整加工技术的生产实际, 基于企业产品标准数据管理体系和光整工艺逻辑关系的服务需求, 滚磨光整加工数据库平台扩展了功能模块, 部署应用于企业。

5.3.1 企业定制化服务需求分析

目标企业面向国内外市场需求制造的零件种类(机匣类、盘类、叶片类、轴类及结构件)与数量日渐增多, 因零件表面质量、表面完整性欠缺的问题越来越突出, 不同程度的影响交付进度、经济效益乃至企业国内外声誉。近几年已有针对性的使用滚磨光整加工技术, 解决了特定产品的加工质量问题。截止目前, 在多个分厂拥有不同国家、不同生产厂家、不同类型、不同规格型号的滚磨光整加工设备 50 余台套, 加工介质种类有百余种之多。在企业制造零件材质、结构、形状、大小及加工要求不断变化的情况下, 如何用好分散布置的滚磨光整加工设备并保证现场操作人员高质量实施滚磨光整加工工艺是企业提质增效的实际需求具体如下:

- (1) 前期企业积累的大量滚磨光整加工工艺案例规范入库;
- (2) 工艺案例包括: 加工对象、加工要求、所用设备及参数、选用磨块及用量、选用化学剂类型及添加量、中水条件及用量、工装夹具、加工时间、加工效果等内容;
- (3) 工艺案例描述的数据类型包括: 数字、文字、图片和视频等;
- (4) 新产生的工艺案例实时规范入库;

- (5) 多目标实现工艺案例查询与统计；
- (6) 以数据库为基础，可以有针对性的生成可供实际操作使用的工序模板；
- (7) 三级用户权限设置，即科研人员、企业工艺技术人员和生产现场操作人员；
- (8) 建立与企业 OA 系统和 PDM 系统的数据接口，数据在企业内部共享。
- (9) 平台运维环境基于现有企业内部局域网运行，需向下兼容 windows xp 等低版本操作系统，确保数据安全。

5.3.2 基于定制化服务的数据库功能设计

依据企业目标需求和企业生产实例特点，对滚磨光整加工数据库平台的基础信息库进行扩展，增加企业内部特定标准的“基于工艺家族的维表”、试验子数据库和“工序模板”功能模块，实现滚磨光整加工数据库在此航空发动机生产企业的定制化应用。整体数据库功能设计引用图 2-8，增加定制功能，图 5-13 为平台功能框图。

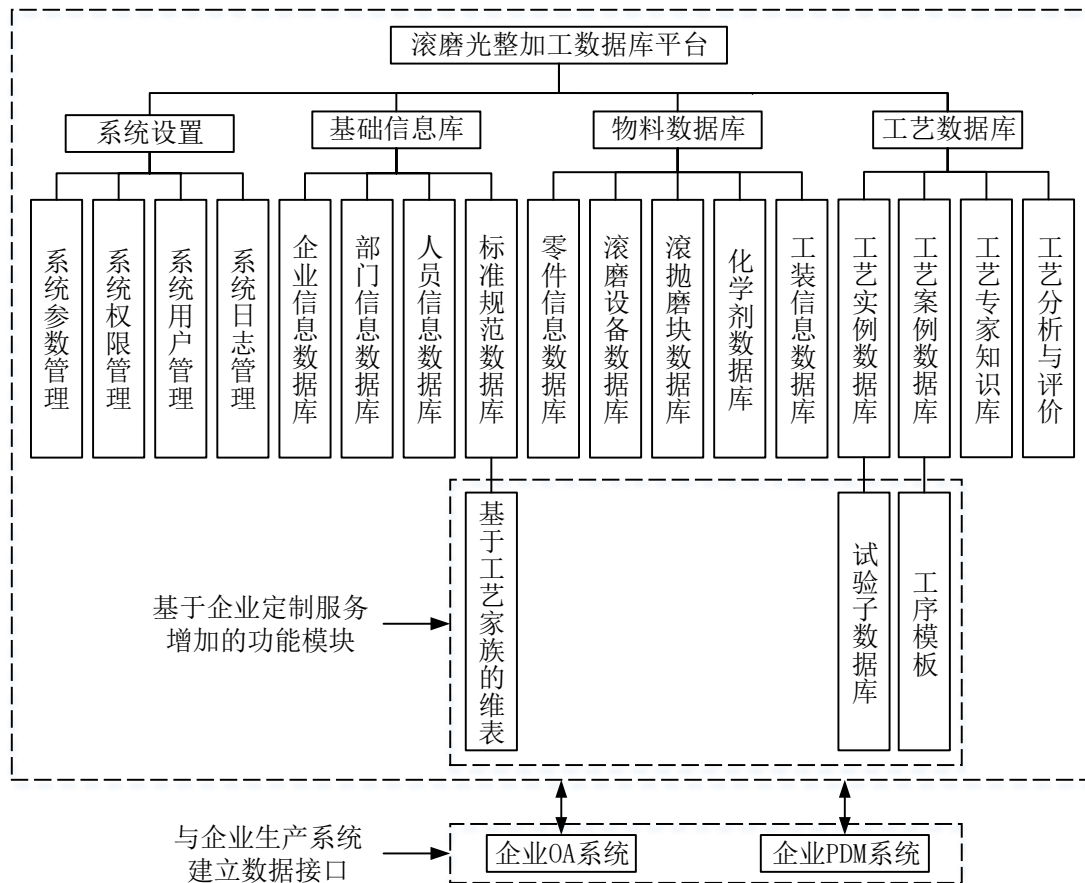


图 5-13 基于企业定制的滚磨光整加工数据库功能框图

Figure 5-13 Functional block diagram of barrel finishing database based on enterprise customization

由图 5-13 可知，滚磨光整加工数据库在此企业的应用开发过程中，数据库平台总体框架及建模方法完全适应该企业的功能、组织、过程和信息模型，仅仅是被加工零件的

知识模型需要依据企业的特殊标准增加维表设置，维护企业特定的知识语义网络。

(1) 系统设置：该模块直接采用滚磨光加工数据库平台“系统设置”功能模块，增加企业级管理员，授权该企业的超级管理员权限，可建立企业组织机构下的科研人员、工艺技术人员及生产人员等角色，并进行授权。

(2) 基础信息库：该模块也是直接引用滚磨光整加工数据库平台“基础信息库”模块功能，企业、部门和人员的组织视图适用于该企业运行。在标准规范数据库中增加基于企业工艺家族的零件信息维表，以满足企业特定称谓的规范；在工艺实例数据库中增加试验子数据库，依据企业需求根据试验子数据库的字段，增量更新实例数据库中的字段，确保该企业下的用户角色进入系统后所录入的实例数据符合该企业规范文档；根据企业生产厂指导文档规范，在工艺案例数据库中增加工序模板功能模块。

(3) 物料数据库：全部应用滚磨光整加工数据库平台模块功能。在零件信息数据库中维护被加工零件时，工艺人员可直接在对应的选项框中选择“基于工艺家族的维表”中的基础信息，形成适合本企业生产规范的标准化零件信息。

(4) 工艺数据库：该数据库模块增加“工序模板”功能。在定制的“试验子数据库中”实现试验数据录入的规范化，确保试验数据的统一性和准确性，并实时更新到实例数据库，实现各级用户的查询与统计。在输入新的零件加工需求时，通过数据库平台的案例库和专家知识库的智能化分析，自动生成对应的工序模板，指导实际生产。

5.3.3 实际生产应用

图 5-14 为企业平台登录界面，管理人员、工艺技术人员、生产厂用户和普通用户根据授权统一通过工号登录。

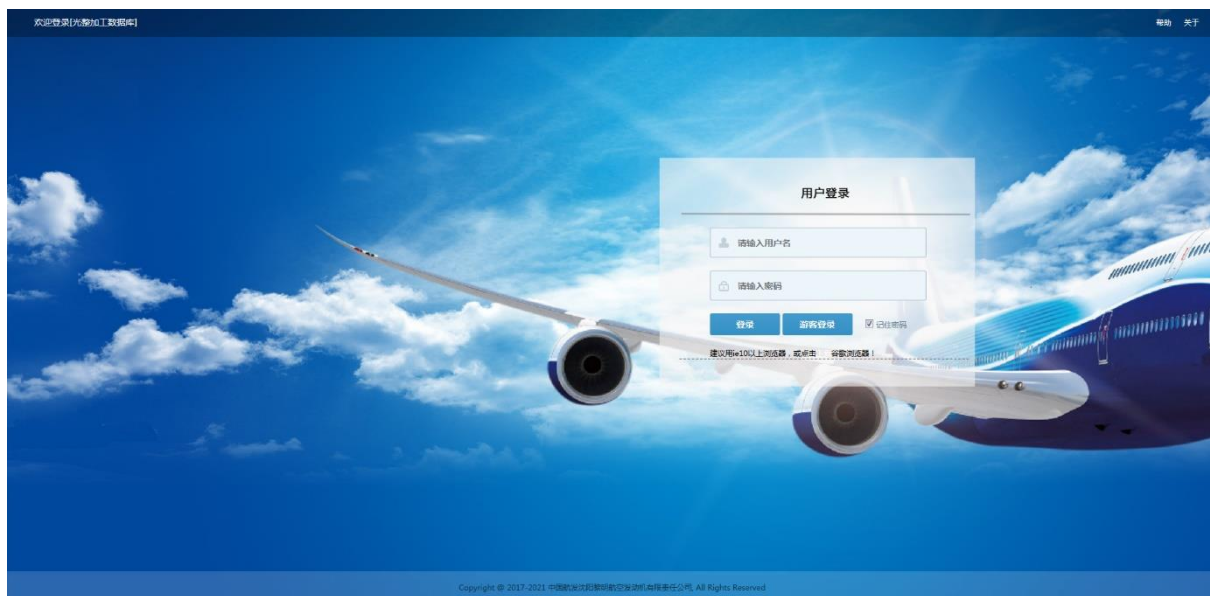


图 5-14 滚磨光整加工数据库登录界面

Figure 5-14 Login interface of barrel finishing database

企业各生产厂能根据新的零件加工要求，按照平台操作规范，从系统中匹配最佳案例，自动生成对应的光整加工数据链。生产厂选择产生的光整加工数据链，完全实现自动嵌入对应的工序模板。

图 5-15 为系统的滚磨光整加工数据链框架，按照零件类型、工艺家族、零件材料、零件规格、加工部位、加工部位规格、加工前技术状态和加工技术要求的规范步骤输入数据，输出的加工工艺信息包括加工过程、加工设备、磨块、化学剂和加工参数。

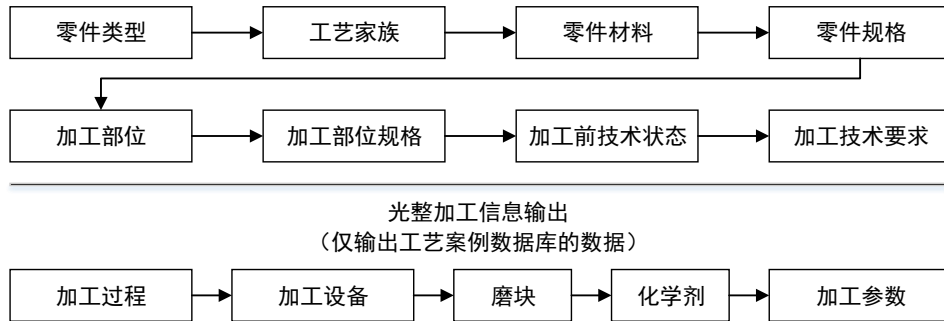


图 5-15 滚磨光整加工数据链框架

Figure 5-15 Data link framework of barrel finishing process

系统生成的工序模板，为嵌入加工工艺参数的工序图表，包括工艺流程中的重要技术参数、主要加工步骤和工作内容等，实现了生产厂现场规范应用。因企业特殊性质，图中和后续模板生成的数据均为经过处理后的生产数据。以整体叶盘类 FSKS01 家族为例，图 5-16 为工艺查询界面，本界面中用户可根据零件类型、工艺家族、零件材料等信息进行检索分析，并导出工序模板。

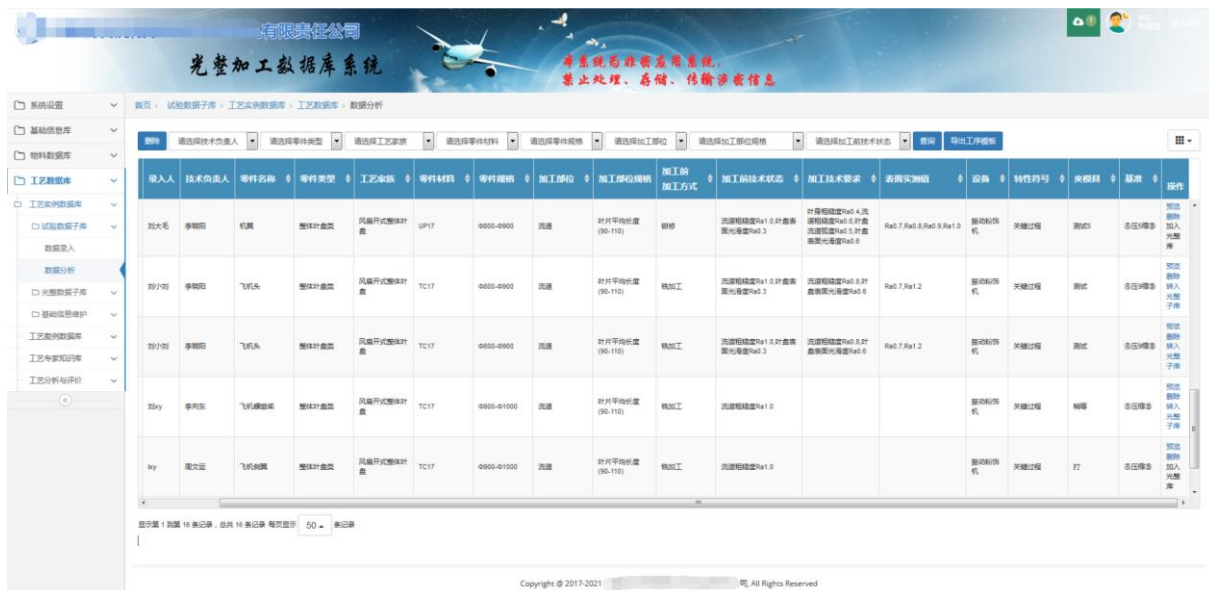


图 5-16 工艺查询界面

Figure 5-16 Process query interface

生成的工序模板为 pdf 格式，图 5-17 为工序模板示例，截取了模板中加工过程和加工参数页面，模板严格控制了生产厂操作人员的加工步骤和工步要求，不仅满足了加工要求，更实现了操作规范与工作流标准化，提高了零件加工质量与生产效率。

	单位	光整加工工序图表	零件号	05. 36. 21. 55	材料	硬度	工序名称	特性符号	工序号	共3页	
	04005		零件名称	叶片	UP17	3. 3	光整滚磨加工	关键过程	005	第2页	
	设备名称	振动粉饰机	设备编号	0215	序号	工作内容					
	夹模具	测试5	基准	Ⓐ压5缩Ⓞ	加工过程						
	示例图片				1	开机：启动设备，参数详见加工参数信息表1。					
					2	取件：振动完成，关闭设备，设备完全静止后将叶片取出后，用清水清洗干净，用压缩空气吹干叶片表面。					
					3	装件：向设备内逐个加入叶片，叶片最多不允许超过XX片，叶片要间隔放入振动光饰机中，不允许同时放入多个叶片5。					
					4	准备：主要表面的光整加工（如研磨、珩磨、精磨滚压加工等），应放在工艺路线最后阶段进行，加工后的表面光洁度在Ra0.8um以上，轻微的碰撞都会损坏表面，在日本、德国等国家，在光整加工后，都要用绒布进行保护，绝对不准用手或其它物件直接接触工件，以免光整加工的表面，由于工序间的转运和安装而受到损伤5。					
					加工参数信息表						
					参数内容	工步2	工步6	工步9	工步15	工步	工步
					处理时间/min	2	0	0	0		
					处理振动频率/Hz	20	22	0	1		
	清洗时间/min	3	0	0	0						
	清洗振动频率/Hz	25	0	0	0						
	打磨时间/min	0	2	4	0						
	磨液喷洒间隔/min	0	1	1	0						
	打磨震动频率/HZ	0	0	30	0						
	磨液喷洒频率/HZ	0	25	35	0						
会签	示例图片				编制		校对		审核		批准
会签											

图 5-17 工序模板页面示例

Figure 5-17 Process query interface

综上所述，系统实现了该企业内部工艺统一管理并生成工序模板的解决方案。从成功案例的收集整理与生产数据的实时入库，到加工过程规范化操作要素形成包含设备确定、介质优选及工艺操作流程等内容的工序模板。

系统数据结构完善、扩展方便，数据安全可靠，在企业应用一年以来有效梳理了该企业历史积累的大量工艺数据、工艺方案，实现了设备、磨块、化学剂对不同零件加工性能的对比分析，整合了航空发动机各类零件结构与不同光整加工机理的作用关系，形成了案例丰富的资源库。

在实际生产应用中，面对持续产生的新加工问题，平台给出了有高度参考价值的加工方案，基于此生成的工序模板，统一规范了光整加工各环节的控制要求，为企业内各类零件光整加工质量的稳定性和一致性提供了强力保障。

5.4 本章小结

本章详细介绍了滚磨光整加工数据库的开发与生产应用实景，主要结论如下：

（1）构建了滚磨光整加工数据库开发的总体框架，包括物理资源层、虚拟资源层、数据管理服务层、应用接口层和用户层的五个层次的核心平台，搭建了数据库的功能结构。

（2）阐述了数据库的开发环境：Oracle 数据库管理系统，C#和 Python 开发语言，Microsoft Visual Studio 2017 集成开发环境，B/S 网络结构模式。

（3）展示了数据库平台提供给产业链中各级企业的初步应用方式，包括物料信息的维护模式，工艺案例的智能优选方式。

（4）介绍了某大型航空发动机生产企业应用滚磨光整加工数据库的实际案例，基于企业特殊的“工序模板”定制化需求，进行了数据库平台的功能扩展，建立了与企业 PDM 系统的数据接口，并应用于企业的实际生产。在该企业实施一年多的应用效果表明，工序模板使企业实施滚磨光整加工的工艺规范有序，实现了滚磨光整加工工艺资源信息化和数据共享，成为滚磨光整加工数据库工艺体系智能化发展的典型应用。

第 6 章 结论

6.1 结论

本文从理论模型和系统开发两方面对滚磨光整加工数据库平台构建进行了研究。在广泛调研分析滚磨光整加工全产业链中企业及研发机构的需求基础上,研究了滚磨光整加工工艺过程及原始工艺数据,应用数据库技术、数据分析和评价技术,建立了数据库系统模型,提出了基于融合推理的工艺优选方法,构建并开发了基于 B/S 模式的滚磨光整加工数据库平台。主要结论如下:

(1)提出滚磨光整加工数据库建模方法。集成 IDEF 和 UML 建模方法各自的优点,采用图形化描述方法建立滚磨光整加工数据库五个视图模型,包括功能模型、组织模型、过程模型、信息模型和知识模型,并以过程模型为核心,建立了数据库模型的集成关系。基于数据库功能实现需求,建立滚磨光整加工工艺实例的参数模型。根据加工实例的特点,结合加工要求和加工方案,将实例的特征参数分为非控制参数、控制参数、过程参数和输出参数等四类,采用 IDEF0 图对复杂功能进行了有效的功能分解,克服了功能树图所描述的信息量太少的问题。

(2)构建了包括视图层、方法层和应用层的滚磨光整数据库平台体系结构。将每一层分为空间维和时间维,实现了全产业链中各级企业市场人员、技术人员和工艺操作人员的信息沟通和知识转移关系。

(3)提出了基于数据库的滚磨光整加工工艺案例表征方法。深入剖析挖掘生产实例数据信息,筛选待加工零件和加工要求等主要特征及其对应的滚磨光整加工工艺参数,构建案例库。提出采用减法聚类算法的模糊 C 均值聚类方法(S-FCM)为基础的滚磨光整加工工艺案例库的优化方法。

(4)提出了基于加权案例推理和模糊专家推理相结合的融合递进推理新方法。在滚磨光整加工数据库中,采用加权案例推理技术,检索匹配案例,如果没有匹配案例,则采用模糊专家推理技术进行工艺参数优选的分级递进优选方法,着重研究了基于层次分析法的案例特征权重确定和基于案例的区间值模糊规则的构建及区间值模糊推理,从而快速、准确地获取合理可行的加工工艺方案。

(5)开发了基于 B/S 模式的滚磨光整加工数据库平台。构建了包括物理资源层、虚拟资源层、数据管理服务层、应用接口层和用户层的五个层次的平台总体框架,提出了系统开发的功能结构模型,实现了数据库智能算法的嵌入,基于这种多层的应用程序体系结构使得程序代码和算法可以实现独立维护和不断扩展。

(6)基于滚磨光整加工数据库为某大型航空发动机生产企业实现了基于“工序模

板”的定制化拓展。基于企业特殊的“工序模板”定制化需求，进行了数据库平台的功能扩展，建立了与企业 PDM 系统的数据接口，应用于企业的实际生产，使企业实施滚磨光整加工的工艺规范有序，实现了滚磨光整加工工艺资源信息化和数据共享，也是滚磨光整加工数据库智能化应用的一次具体实践。

本论文研究的主要创新点有：

(1) 根据目前滚磨光整加工企业提质增效的实际需求，为了最大限度地发挥已有工艺数据、工艺方案和持续产生的新数据、新方案在实际加工中的灵活高效应用，提出并构建了面向全产业链用户共建共治共享的滚磨光整加工数据库平台。通过构建滚磨光整加工数据库平台并自动生成工序模板等，可以实现滚磨光整加工工艺的统一管理，实现滚磨光整加工工艺资源信息化和数据共享，为滚磨光整加工工艺体系智能化发展奠定了基础。

(2) 立足于更好的发挥滚磨光整加工数据库平台在实际应用中的作用，提出了基于数据库的滚磨光整加工案例表征方法，提出了采用减法聚类算法的模糊 C 均值聚类方法 (S-FCM) 为基础的滚磨光整加工工艺案例库的优化方法，可以为数据库平台智能化应用提供合理有效的知识库。

(3) 探索滚磨光整加工数据库平台的智能化应用水平提升，研究加权案例推理和模糊专家推理与加工工艺参数优选的逻辑关系，提出融合加权案例推理和模糊专家推理的分级递进推理新方法。在滚磨光整加工数据库中，采用加权案例推理技术，检索匹配案例，如果没有匹配案例，则采用模糊专家推理技术进行工艺参数优选。从而实现快速、准确、合理的滚磨光整加工工艺优选与决策。

6.2 展望

本文构建并自主设计开发国内首个面向滚磨光整加工产业链的数据库平台，并针对某航空发动机生产企业实现了定制化典型应用。企业实际应用表明，研发的数据库平台可以实现滚磨光整加工过程中加工参数数据长期、便捷、及时、完备的收集，为实现数据共享以及工艺参数的智能选取、进而全面提升滚磨光整加工技术信息化、智能化程度奠定了扎实的基础。基于实践—认识—再实践—再认识的规律性思维，目前所构建的滚磨光整加工数据库平台还有很多细节上的问题，需要后续不断改进完善。研发过程中有一些新的设想，因时间和精力不能在论文中全部实现。以推进数据库平台广泛应用为出发点，特提出不断完善发展的一些思考。

持续探索数据库平台的共建共治共享的新机制，更广泛的收集实际有效的新的加工实例进入数据库平台，不断丰富数据库数据规模；

继续扩展滚磨光整加工数据库平台的功能，不断纳入滚磨光整加工全产业链用户的

实时的持续不断的与生产相关的数据,改进和完善数据库的检索和分析功能,加强数据库的自学习能力,以满足不同用户的不同需求;

由于滚磨光整加工过程的复杂性,影响加工工艺优选的因素众多,因此,需要采用先进的理论探讨不同因素对滚磨光整加工工艺选取的影响,深入研究案例特征的选择以及案例库的优化问题,并且不断补充和完善案例库中的知识;

需要深入研究专家推理技术中的知识获取问题,采用神经网络等人工智能的方法,提高系统自动获取知识的能力,使之可以直接与领域专家对话,从专家提供的原始信息中自学习到专家系统所需要的知识,同时还能从系统自身的运行实践中总结、归纳出新的知识,从而实现自动知识获取;

引入新的智能算法,以提高系统对特殊新问题的加工工艺方案优选的快速、合理。例如采用迁移学习(TL)将原案例的信息迁移到新问题的求解中,从而缩小原案例与新问题的分布差异,提高工艺参数优选的正确率;

引入系统的评价机制,研究有效的工艺方案对新问题适用程度的评价模型,为高品质滚磨光整加工工艺的决策及使用提供规范和指导;

需要深入研究案例推理技术和专家推理技术等人工智能理论的深度融合,探索新的融合理论和方法,如果选出的参数仍不能满足要求时,需要将多种方法的优选结果重新组合,制定新的满足加工要求的加工工艺方案,提高系统的智慧性。