

摘要

冷作工艺的设计在锅炉产品制造中起着非常重要的作用，它是决定产品的成本、效率和质量的重要因素。作者在北京巴布科克·威尔科克斯公司（简称巴威公司）“智能化冷作工艺系统的设计（B&W-ICWPS）”的实际课题中，将 CAPP 技术、专家系统技术、数据库技术等应用于冷作工艺系统设计，本系统采用 Windows 2000 作为操作系统平台、Microsoft SQL Server 2000 作为数据库平台、Visual Basic 6.0 作为集成开发环境、ActiveX 数据对象（ADO）作为数据库应用程序接口。

根据巴威公司的实际情况，在 B&W-ICWPS 中使用了客户端/服务器（C/S）的两层结构。它采用树型结构（二叉树）和产生式规则表示法来表示冷作工艺中的规则，并且将这些工艺规则（规则库）存储于关系型数据库 MS SQL Server2000 中，同时利用“ADO”技术和 MS SQL Server2000 中的“事务”技术，实现了规则的动态添加、删除和更新。该系统同时实现了数据共享，工艺文档的查询、审核和批准功能；工艺文档的打印和预览功能；通过使用 COM 接口，实现了工艺文档的版本管理功能。通过与巴威公司的反复交流，多次修改源程序，使 B&W-ICWPS 达到了国内先进水平、实现了客户目标，获得了满意效果。

本文从智能化冷作工艺系统的框架设计、专家系统的应用、智能化冷作 CAPP 系统的数据库的结构设计、工艺文档的版本管理等四个方面，全面论述了 B&W-ICWPS 的结构原理、开发技术和实现方法。最后，通过一个典型工艺实例说明了 B&W-ICWPS 系统实现的过程。

关键词 计算机辅助工艺设计（CAPP）；冷作工艺；专家系统；智能化

Abstract

Cold work process planning plays an important role in boiler manufacturing. It is an important factor which can determine efficiency, cost, and quality of boiler manufacturing. In this paper, the author applied the theory and technique of expert system and database to cold work process planning for the practical project, Cold Work Process System of Beijing Babcock & Wilcox (B&W) Company. By using Windows 2000 as system platform, MS SQL Server2000 as database platform, MS Visual Basic 6.0 as integration development environment and ActiveX Data Object (ADO) as application programming interface for database, the author designed the "Intelligentized Cold Work Process System (B&W-ICWPS)".

Based on practical condition of B&W Company, B&W-ICWPS adopts Client/Server (C/S) structure. It denotes the regulation of process in cold work by the tree structure (Binary Tree) representation and the production rule representation, and it saves these regulations into relation database MS SQL Server2000. At the same time, it realized dynamic add, delete and update of regulation by ADO technique and transaction technique in MS SQL Server2000. This system realized data share, process file's querying, auditing, confirming, process file's printing and preview. With the application of COM interface, version management of process files was realized. B&W-ICWPS achieved custom's aim and acquired satisfactory result through repeating intercommunion with B&W Company and modifying source program.

In this paper, the structure principle, the development technique and the realization method of B&W-ICWPS were discussed from four aspects, the frame construction design of Intelligentized CAPP system, the application of expert system, the structure design of database in intelligentized CAPP system, and the version management of process files. At last a typical technical example was demonstrated to explain the manipulate process of B&W-ICWPS.

Key words CAPP; Colding process; Expert System; Intelligentized

独创性声明

本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得北京工业大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

签名：付文宇 日期：2006.05.21

关于论文使用授权的说明

本人完全了解北京工业大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留送交论文的复印件，允许论文被查阅和借阅；学校可以公布论文的全部或部分内容，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文。

（保密的论文在解密后应遵守此规定）

签名：付文宇 导师签名：王德俊 日期：2006.05.21

第1章 绪论

1.1 课题背景

1.1.1 课题来源

本课题来源于北京巴威公司和北京工业大学联合开发项目，全名为北京巴威公司智能化冷作工艺系统（Intelligentized Cold Work Process System of Beijing Babcock & Wilcox, B&W-ICWPS），北京巴威公司是以生产大型电站锅炉为主的中美合资企业，其产品畅销海内外。

1.1.2 冷作工艺

冷作工艺是指在大气温度或接近大气温度的状况下，利用滚压、冲压、拉压及压延等方法使金属板材、管材等发生塑性变形的加工工艺。冷作产品主要包括各种锅炉、船体和钢结构桥梁等。冷作产品同铸造、锻压产品相比具有强度高、结构简单、重量轻、外形平整和加工余量少等优点；冷作加工工艺操作方便，所用设备简单，所以可缩短生产周期，降低生产成本，提高经济效益。随着我国加工制造业水平的提高，越来越多的铸造、锻压产品将被冷作产品代替。冷作工艺在巴威公司的锅炉生产中占有很大比重，对提高巴威公司产品的质量、降低生产成本发挥了重要作用。

1.1.3 课题研究的目的和意义

巴威公司生产的大型电站锅炉是典型的小批量、多品种、按订单组织生产的产品，工艺复杂，技术要求高。目前在巴威公司锅炉产品的工艺设计中主要存在如下问题：

（1）锅炉产品工艺设计周期和质量不易保证

长期以来巴威公司的工艺设计是由工艺人员手工进行的，由于工艺设计要求工艺人员有丰富的生产经验，因此，造成工艺文件的合理性、可操作性以及编制时间的长短主要取决于工艺人员的经验和熟练程度，导致工艺文件的设计编制时间的长短主要取决于工艺人员的经验和熟练程度，导致工艺文件的设计

周期和质量不易保证。

(2) 工作量大，效率低

工艺设计需要生成大量的工艺文件，这些工艺文件多以表格、卡片的形式存在。手工进行工艺规程设计一般要经过以下步骤：由工艺人员按零件设计工艺过程填写工艺卡片、绘制工序草图，经校对、审核、修改、批准，最后归档并装订成册。此外，工艺人员还要进行大量的汇总工作，如：材料汇总、工装汇总、设备汇总、计量汇总等。不但工作量很大，而且需要花费很长时间。

(3) 无法利用 CAD 的图形、数据

巴威公司二维 CAD 技术在设计部门中的应用已很普及，然而由于工艺设计部门仍采用人工方式进行设计，这样就无法有效利用设计部门的 CAD 的图形及数据。

(4) 工艺设计的标准和规范难于保证

锅炉产品冷作工艺的设计涉及的知识面广，所需的信息量大，然而不同的工艺人员经验水平和分析信息的能力不同，因此，工艺决策的结果将会因人而异，工艺设计的标准和规范难于保证。

(5) 专家的经验、知识与产品信息难以利用与共享

经过多年的生产实践，巴威公司积累了大量的锅炉制造工艺设计经验、知识与产品信息。但目前工艺部门内部仍然靠手工查阅输入的方式，进行工艺知识与产品信息的传递，工艺部门和设计部门之间的信息也无法集成，不能将工艺专家的经验 and 知识集中起来加以充分地利用，造成企业设计资源和工艺资源的浪费^{[1][2]}。

因此，本课题目的就非常明确了，即解决以上所讲的问题，为巴威公司开发一套计算机辅助冷作工艺设计的软件，提高冷作工艺设计的效率，缩短工艺设计周期，总结、继承和共享公司专家的工艺设计知识，提高工艺设计水平和质量。

1.2 课题研究领域的历史、现状及发展方向

1.2.1 CAPP 发展的历史、现状及发展方向

上世纪六十年代末，人们就开始了 CAPP 的研究与开发，最早研究 CAPP 技术的国家有欧美及前苏联等国家。但在 CAPP 发展史上具有里程碑意义的是

设在美国的国际性组织 CAM-I 于 1976 年开发的 CAPP 系统。国内最早开发的 CAPP 系统是同济大学的修订式 TOJICAP 系统和西北工业大学的创成式 CAOS 系统，其完成的时间都在上世纪 80 年代初。国内最早开展 CAD/CAPP/CAM 智能集成化研究与原型系统开发的是清华大学（用于国家 CIMS 实验工程的箱体类零件，1987-1993 年）与西北工业大学（用于国家 CIMS 实验工程的回转体零件，1987-1993 年），而第一个有重要实用价值、并取得突出社会效益的智能集成化 FA-CAD/CAPP/CAM 系统则是由西北工业大学、航空部 625 所在成都飞机工业公司开发的（1991-1994 年），其中由西北工业大学开发的 FA-CAPP 分系统是全自动决策的创成式专家系统，该智能集成系统已从原来的工作站平台移植到微机 WINDOWS 平台（1998-2000 年），我校从 80 年代末，先后开发出汽车 CAD/CAPP 系统、智能机械运输包装 CAPP 系统、机械传动 CAD 系统等。

近年来 CAPP 已由基于成组理论的检索式 CAPP 发展成基于各类环境的综合式 CAPP，并且随着各种先进制造模式的不断提出，与之相适应的面向并行工程的、面向计算机集成制造系统的（CIMS）、面向车间生产作业计划的、面向网络化制造的、基于快速重组制造系统的、基于敏捷制造模式的 CAPP 等方法层出不穷，极大地丰富了 CAPP 的概念，扩大了 CAPP 的使用范围。同时一些基于模糊推理、神经网络、遗传算法、层次分析法等新技术不断应用到本领域，也使得 CAPP 的工艺决策日益成为可能，并成为研究热点之一。

1.2.2 CAPP 系统的分类

按照工作原理的不同，CAPP 系统主要分为以下几类：

(1) 派生式 (Variant) CAPP 系统

建立在成组技术 (GT) 的基础上，其原理是利用零件的相似性，即相似零件有相似工艺规程。一个新零件的工艺规程是对检索系统中已有的相似零件的工艺规程通过加以筛选或编辑而成的。

该系统具有结构简单，容易建立，便于维护和使用，成熟可靠等优点，适用于大批量生产模式、工件的种类少、零件变化不大且相似程度较高的场合。

派生式系统必须有样板文件，因此它的适用范围局限性很大。它只能针对某些具有相似性的零件产生工艺文件。在一个企业中这类零件可能只是一部分，那么其它零件的工艺文件派生式系统就无法解决。

(2) 创成式 (Generative) CAPP 系统

创成式系统的工艺规程是根据程序中所反映的决策逻辑和制造工程数据信息生成的, 这些信息主要是有关各种加工方法的加工能力和对象, 各种设备及刀具的适用范围等一系列的基本知识。工艺决策中的各种决策逻辑存入相对独立的工艺知识库, 供主程序调用。当向创成式系统输入待加工零件的信息后, 系统能自动生成各种工艺文件, 用户不需或略加修改即可。创成式系统不需要派生法中的样板工艺文件, 在创成系统中只有决策逻辑与规则, 系统必须读取零件的全面信息, 在此基础上按照程序所规定的逻辑规则自动生成工艺文件。

创成式系统是基于专家系统, 自动确定零件的加工路线、定位基准、装夹方式等, 自动生成工艺文件, 因此, 要求输入的零件信息大而全。但是从工艺设计的特殊性及其个性化分析, 这些知识的表达和推理很难实现。由于知识表达的“瓶颈”与理论推理的“匹配冲突”至今无法很好地解决, 自优化和自完善功能差, 创成式 CAPP 系统方法仍停留在理论研究和简单应用的阶段。

(3) 综合式 CAPP 系统

综合式 CAPP 系统是将派生式 CAPP 与创成式 CAPP 结合在一起, 综合而成的, 其目的是综合派生式 CAPP 和创成式 CAPP 两者的优势, 以避免派生式 CAPP 的局限性和创成式 CAPP 的高难度。

(4) 智能式 CAPP 系统

智能式 CAPP 系统是 AI (Artificial Intelligence) 和 CAPP 技术相结合的研究成果。它将 AI 理论和技术应用于 CAPP 中, 使 CAPP 系统在一定程度上具有工艺设计师的智慧和思维方法, 能处理多意性和不确定性问题^[04]。该类系统将工艺知识与经验以产生式规则、框架或其他方法表达的知识库和模拟工艺设计专家进行工艺决策的推理机, 按照用户选定的推理方式和控制策略并根据零件的输入信息生成具有专家级水平的零件工艺规程, 其特点是“知识+推理”。

为了充分利用巴威公司冷作部门工艺专家的知识和经验, B&W-ICWPS 以智能型 CAPP 系统为基础, 同时考虑到工艺编制的复杂性, 兼顾人机交互。

1.3 课题的研究内容及要实现的目标

针对冷作工艺的特点和巴威公司的要求, 本课题的主要研究内容如下:

- (1) 确定 CAPP 系统的类型;
- (2) 确定 B&W-ICWPS 系统的体系结构;

(3) 专家系统在 B&W-ICWPS 系统中的应用;

(4) 实现工艺数据资源的共享和利用;

本课题要实现的目标:

建立一套符合用户应用需求、方便用户使用、具有良好的可扩充性与开放性, 实现工艺知识与产品信息高度共享的智能化冷作工艺系统。

第 2 章 B&W-ICWPS 系统的总体设计

2.1 B&W-ICWPS 的方案设计

B&W-ICWPS 系统的总体设计在软件开发中占有非常重要的地位。系统结构设计的好坏, 不仅影响着系统的效率、安全性和可维护性, 更影响系统使用的方便性和可靠性。系统的体系结构主要分为三种: 即主机—终端结构结构 (Main Frame/Terminal)、客户端/服务器 (Client/Server, C/S) 结构和浏览器/服务器 (Browser/Server, B/S) 结构。主机—终端结构的特点是系统中几乎所有的计算都由主机完成, 终端只是单纯作为一种输出设备用于显示结果^[3]。C/S 结构模式随着网络技术、操作系统和软件技术的发展而不断完善, 具有较强的安全性和可靠性。它是通过客户端与服务器端之间相对独立和分工协作而实现的^[4]。B/S 结构伴随着 Internet 技术而兴起, 它是对 C/S 结构的一种变化或改进的结构, 利用了成熟的 www 浏览器技术, 采用通用浏览器实现原来需要复杂专用软件才能实现的强大功能, 故节约了开发成本。该结构的优点在于: ①无须开发客户端软件, 故维护和升级方便; ②可跨平台操作^[5]。随着 Internet 的发展, 以 Web 技术为基础的 B/S 结构已日益显现其先进性, 但其结构尚不够完善。

从以上论述可以看出, B/S 结构是目前最为先进和流行的体系结构, 在实际项目中采用哪种体系结构要从实际情况出发, 不能盲目追求所谓的先进性, 而是要以经济实用、安全可靠为原则, 进行全面的考虑。

B&W-ICWPS 的总体构架是根据巴威公司的锅炉冷作部件的加工制造流程和该公司现有的计算机硬件设备情况等因素决定的。由于该系统的使用人员主要是产品工艺人员, 用户数量不大; 使用地点相对固定; 冷作工艺部门需要处理的数据量大而复杂, 交互性、实时性、安全性要求较高, 因此, 在 B&W-ICWPS 的设计中采用了 C/S 体系结构, 而不是 B/S 结构。B&W-ICWPS 的物理结构如图 2-1 所示。

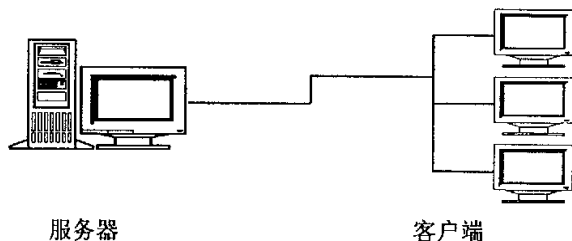


图 2-1 B&W-ICWPS 的物理结构

Fig 2-1 Physical Structure of B&W-ICWPS

2.2 B&W-ICWPS 的组成

B&W-ICWPS 由用户管理模块、工艺文件信息管理模块、知识管理模块和工艺文件管理模块等四部分组成。

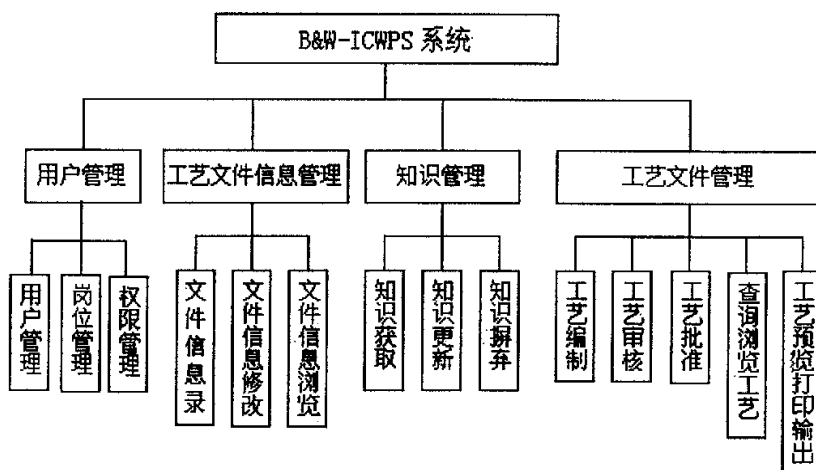


图 2-2 B&W-ICWPS 的功能结构图

Fig 2-2 Function Structure of B&W-ICWPS

2.2.1 用户管理模块

因为 B&W-ICWPS 是多用户系统，根据巴威公司的要求，不同的用户要拥有不同的权限，以保障该系统的可靠运行以及工艺文件的安全。因此，B&W-ICWPS 提供了用户管理模块，该模块由“用户管理”、“岗位管理”、“权限管理”三个子模块组成，它的使用者是冷作部门的系统管理员，其他人员无

权使用。系统管理员利用该模块，可以对冷作部门不同级别的用户授予不同的权限，例如，可对一般工艺人员提供编制、修改、打印和预览、查询工艺等功能；而对高级用户除提供一般用户具有的功能外，还可提供如工艺文件的审核和批准、母工艺的编辑等一些高级功能。

2.2.2 工艺文件信息管理模块

工艺文件信息管理模块主要由“文件信息录入”、“文件信息修改”、“文件信息浏览”三个子模块组成。该模块提供了对冷作工艺文件相关信息的完整管理功能，为后面的工艺文件管理模块打下了基础。

2.2.3 知识管理模块

知识管理模块由“知识获取”、“知识更新”、“知识摒弃”三个子模块组成。该模块提供的功能对本系统是非常重要的。之所以在本系统中提供了该模块，是基于如下所述的实际情况：制造企业的零部件的工艺路线的安排，并不是一成不变的，由于新材料、新设备、新的加工刀具等因素的存在，工艺路线是会发生变化的。但这并不等于工艺路线的安排没有规律可循，在一定时间段内，在工装、设备、量检具、刀具等因素不变的情况下，工艺路线的安排是有规律可循的。具体到巴威公司，其生产的电站锅炉中的冷作部件的工艺路线更有其特殊性，即冷作部件的工艺路线更具有稳定性，易于实现工艺编制的计算机化。但从发展的眼光看，根据巴威公司工艺专家总结出来的知识库也不应是一成不变的，必须能实现知识库的动态管理，这样才能适应巴威公司的实际需要，这套系统才具有更长的生命力。

当巴威公司冷作部件的工艺路线发生变化，并且这种变化经过一段时间的生产实践的检验，确认是切实可行的，即可以通过知识库管理模块提供的功能，对原来储存在数据库中的工艺知识进行修改，将新的工艺知识存入数据库中，这样就实现了知识库的更新。利用更新后的知识库就可以编制出符合当前工厂实际情况的工艺文件。

知识管理模块提供的功能属于高级功能，因此，只有经过系统管理员授权的用户才可以使用此功能。

2.2.4 工艺文件管理模块

工艺文件管理模块由“工艺编制”、“工艺审核”、“工艺批准”、“查询浏览工艺”、“工艺打印预览输出”等子模块组成。该模块主要负责工艺文档的管理,主要包括生成新的工艺文件、修改工艺、审核工艺、批准工艺、查询工艺和打印输出工艺等功能。

生成新的工艺文件按部件分为膜式壁工艺生成、管子加工工艺生成、锅筒加工工艺生成、燃烧器加工工艺生成、集箱加工工艺生成、小集箱加工工艺生成六个部分。审核工艺子模块实现的功能:是当工艺编制人员将工艺编制完成后,将工艺文件提交审核,具有审核权限的用户对工艺进行审核,确认工艺文件是否合格。批准工艺子模块实现的功能:是当审核员将工艺文件审核完成确认正确无误后,将工艺文件提交批准,具有批准权限的用户对工艺进行批准操作,确认工艺文件是否合格。查询浏览工艺模块实现的功能:是对经批准合格的工艺文件进行浏览,由于只能对工艺文件进行读的操作,而不能对工艺文件进行任何写的操作,因此,一般用户都具有进行工艺文件查询的权限。工艺打印预览输出功能:包括输出制造过程卡、输出制造卡和按车间编号输出制造过程卡三个模块。

2.3 B&W-ICWPS 的开发工具与软硬件环境选择

2.3.1 B&W-ICWPS 的开发工具

数据库管理系统的客户端开发工具很多,如 VB、VC++、Delphi、PowerBuilder 等。Visual Basic 良好的界面和强大的控制功能,使得数据库编程相对以前变得简单多了,而且它提供了对多种数据库的支持,既支持 Dbase、Microsoft Access 等小型数据库,也支持 Microsoft SQL Server 2000、Oracle、Sybase 等大型数据库^[7]。现在全球约有 100 多万 Visual Basic 程序员用 Visual Basic 来开发 Windows 前端桌面应用程序和客户/服务器应用程序。Visual C++ 一直是 Microsoft 公司综合性最高、最复杂的软件开发产品。它提供了很高的编程能力和方便性,它的多种多样的工具能适合各种编程风格。然而,学习和使用 Visual C++ 却不是一件简单的任务^[8]。Delphi 是基于 Object Pascal 语言的

面向对象的开发工具，使用其集成开发环境可以快速地建立应用程序，即可开发本地类型的软件，又可开发客户/服务器类型的程序，并提供了丰富的数据库管理工具，在开发数据库应用程序方面具有独特的优势。PowerBuilder 是美国著名的数据库应用开发工具生产厂商 PowerSoft 推出的成功产品，它是完全按照客户/服务器体系结构研制设计的，采用面向对象技术，图形化的应用开发环境，是数据库的前端开发工具。它支持应用系统同时访问多种数据库，其中既包括 Oracle, Sybase 之类的大型数据库，又包括 FOXPRO 之类支持 ODBC 接口的小型数据库。综合考虑系统的特性、人员间的配合、系统开发的规模、系统开发的效率和开发工具掌握的难易程度等因素，B&W-ICWPS 采用微软公司的 32 位可视化开发工具 Visual Basic 6.0 作为客户端开发工具。

由于巴威公司已经拥有采用双 CPU 的 IBM 系列的服务器，从经济的角度考虑，应该尽量利用现有的资源，以求得最大的投入产出比。而 IBM 公司的服务器性能稳定，完全能够满足开发本套系统的需要。服务器端操作系统采用 Windows2000 Server。Windows2000 Server 将网络管理和操作系统无缝结合，使系统易于使用和管理。它的内部是 32 位体系结构，可同时运行多个线程^[9]，以支持功能强大的应用程序。它通过向操作系统和应用程序提供分离的内存空间以防止数据冲突，确保了系统的稳定性。基于 Windows2000 Server 的数据库产品很多，例如，MSSQL Server 2000、Oracle、Foxbase、Visual FoxPro、Access 等。其中 MSSQL Server 2000、Oracle 是大型数据库管理系统，不仅可以实现个人数据库的管理，更适合于企业级的数据库应用；而 Foxbase、Visual FoxPro、Access 是小型数据库管理系统，适合个人数据库管理。由于本套系统是企业级的应用，要求存储大容量数据，在数据的安全性和完整性方面要求同样很高，这样像 FoxPro 等桌面型数据库管理系统是不能实现大容量数据存储和数据的安全性、完整性的要求^[10]。Microsoft SQL Server 2000 是一个完全运行于 Windows 2000 操作系统上的高性能数据库管理系统。它提供了一个数据库引擎 SQL Server for NT，适用于从小型到大型的系统开发，它具有利用率高、安全性好、容错性强和数据结构完整等特点^[11]。因此，本系统选择 SQL Server 2000 作为数据库支持软件。

操作系统和数据库对客户端性能的影响较小，B&W-ICWPS 系统的客户端软件环境经与巴威公司协商规定使用 Windows 2000 或 WindowsXP 操作系统，

而硬件环境只需要能稳定运行其操作系统就可以了。

2.3.2 数据库开发接口的选择

在客户端开发工具使用 VB6.0 的情况下, 可以使用的数据库开发接口有 DAO (Data Access Object)、RDO (Remote Data Object) 和 ADO (ActiveX Data Object) 等, 每个接口都代表了数据访问技术的不同发展阶段, 较新的接口是 ADO。DAO 显露了 Microsoft Jet 数据库引擎 (最早是给 Microsoft Access 所使用, 现在已经支持其它数据库), 并允许开发者通过 ODBC (Open Database Connectivity) 直接连接到其他数据库。DAO 最适用于单系统应用程序或在小范围本地分布使用。其内部已经对 Jet 数据库的访问进行了加速优化, 而且其使用起来也是很方便的。所以如果数据库是 Access 数据库且是本地使用的话, 最好使用这种访问方式。RDO 是一个到 ODBC 的、面向对象的数据访问接口, 它同易于使用的 DAO style 组合在一起, 提供了一个接口, 形式上展示出所有 ODBC 的底层功能和灵活性。尽管 RDO 在访问 Jet 或 ISAM 数据库方面受到限制, 而且它只能通过现存的 ODBC 驱动程序来访问关系数据库。但是, RDO 已被证明是许多 SQL Server、Oracle 以及其他大型关系数据库开发者经常选用的最佳接口。RDO 提供了用来访问存储过程和复杂结果集的更多和更复杂的对象、属性, 以及方法。ADO 是 Microsoft 的较新数据库访问接口, 是 DAO 和 RDO 的后继产物^{[12][13]}, 它是为 OLE DB 而设计的。OLE DB 是新的低层 COM 接口, 可以为任何数据源提供高性能的访问, 这些数据源包括关系和非关系数据库、电子邮件和文件系统等。ADO 封装并实现了 OLE DB 的所有功能^[14]。其主要优点是易于使用、速度快、占用内存少, 而且提供了对事件的支持, 可以节省很多判断和转移控制语句, 更符合 Windows 事件驱动编程的习惯, 简化了编程工作。此外, ADO 可以很好的支持 C/S 结构的应用程序开发。通过以上的对比分析, DAO 最适用于单系统应用程序, 而 ADO 简单实用, 支持开发 C/S 结构的应用程序。因此, B&W-ICWPS 采用 ADO 作为应用程序的数据库开发接口。

2.3.3 B&W-ICWPS 的层次结构

B&W-ICWPS 的层次结构中, 服务器、客户端 PC 和网络等位于物理设备

层；物理设备层之上的是操作系统，服务器端采用 Windows 2000 Server，客户端采用 Windows 2000 或 Windows XP Professional 版本；服务器端的支持软件 MS SQL Server 2000 位于 Windows 2000 Server 操作系统之上，为开发工具 Visual Basic 6.0 提供数据存取支持； B&W-ICWPS 位于层次结构的最顶层

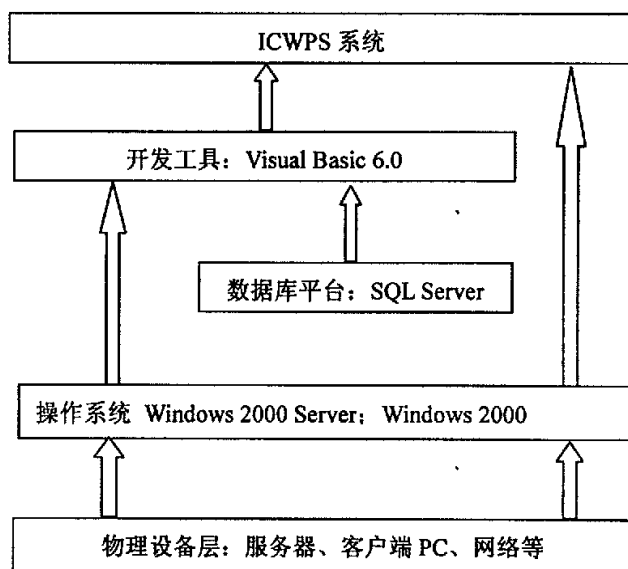


图 2-3 B&W-ICWPS 的层次结构
Fig.2-3 Hierarchy model of B&W-ICWPS

2.4 本章小结

本章详细阐述了 B&W-ICWPS 的总体构架、功能模块与开发技术和开发技术的软硬件环境，确定了 C/S 结构为本套系统的体系架构，在保证实现系统功能、安全的前提条件下，充分利用了巴威公司现有的计算机软硬件资源和网络资源。

第3章 专家系统在 B&W-ICWPS 中的应用

3.1 专家系统简介

专家系统 (Expert System, ES) 是一个含有大量的某个领域专家水平的知识与经验的智能计算机程序系统, 能够利用人类专家的知识 and 解决问题的方法来处理该领域问题。简而言之, 专家系统是一种模拟人类专家解决领域问题的计算机程序系统。专家系统通过运用知识进行推理, 在问题所在的领域内推导出满意的答案, 即 “专家系统=知识库+推理机”^[15]。因此, 专家系统也被称为基于知识的系统。一般而言, 不同领域的专家系统都应具有如下所示的特点。

(1) 启发性 专家系统能运用专家的知识与经验进行推理、判断和决策。

(2) 透明性 专家系统能够解释本身的推理过程和回答用户提出的问题, 以便让用户能够了解推理过程, 提高对专家系统的信赖感。

(3) 灵活性 专家系统能不断地增长知识, 修改原有知识, 不断更新。

人们通过在不同领域使用专家系统, 逐渐认识到它具有如下所示的优点:

(1) 专家系统能够高效率、准确、周到、迅速和不知疲倦地进行工作。

(2) 专家系统解决实际问题时不受周围环境的影响, 也不可能遗漏忘记。

(3) 可以使专家的专长不受时间和空间的限制, 以便推广珍贵和稀缺的专家知识与经验。

(4) 专家系统能促进各领域的发展。

(5) 专家系统能汇集多领域专家的知识 and 经验以及他们协作解决重大问题的能力。

专家系统特别适合于完成那些没有公认的理论和方法、数据不精确或信息不完整、人类专家短缺或专门知识十分昂贵的设计、监控、预测、规划等任务。众所周知, 在工艺设计过程中, 主要的工作不是计算, 工艺决策方法主要依靠工艺人员在长期的生产实际中积累起来的经验性知识, 这带有明显的专家个人的技巧和智能性质, 难以用数学模型表示, 求解的过程是逻辑、判断和决策过程。而专家系统正具有处理这些不确定性知识的特长。在专家系统中, 解决问题所需的知识 (知识库) 同使用知识的方法 (推理) 是独立分开的, 机器求解问题不是按预先确定的步骤进行, 而是根据环境条件, 在控制策略 (推理机) 问题不是按预先确定的步骤进行, 而是根据环境条件, 在控制策略 (推理机)

指导下，通过搜索来寻找问题的解答。解决问题所需的知识可以根据用户的需要进行增删和修改。也就是说，当系统的应用环境改变时，用户只要对原有知识库进行更新与扩充即可^[16]。因此，在 B&W-ICWPS 设计中应用了专家系统技术。由于巴威公司生产的电站锅炉冷作制造工艺过程复杂，涉及的知识范围广泛，用到的信息量庞大。如何总结提炼这些知识和信息并规范的表达出来，使之成为专家系统可以有效利用的资源，是一项困难的工作。专家系统用到的推理规则需要从公司技术人员的经验中抽象出来，但工艺人员在为专家系统提供知识时，往往很难精确表达出知识内容，即使是表达解决某种类型问题的实际知识也是比较困难的，而软件开发人员对专业的工艺知识又不熟悉，这就使专家系统知识获取的实现带来一定的困难。我们通过和巴威公司编制冷作部件工艺的工艺人员反复交流，共同总结出六种主要部件的工艺规则和工艺知识，存入专家系统的知识库，较好的解决了这个问题。在具体编制工艺时，工艺人员输入必要的信息，专家系统利用这些信息和知识库中的知识进行正确推理，就能编制出符合生产实际需要的加工工艺了。

3.2 B&W-ICWPS 中专家系统的结构

B&W-ICWPS 专家系统的组成结构如图 3-1 所示。

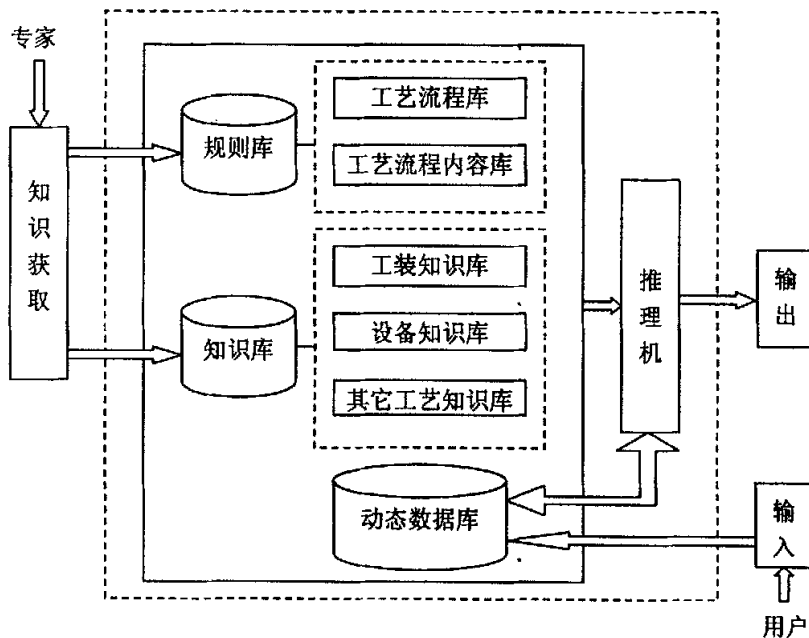


图 3-1 B&W-ICWPS 中专家系统结构

Fig.3-1 Structure of expert system in B&W-ICWPS

3.3 专家系统的开发工具

专家系统的开发工具主要有三种：一种是采用高级程序设计语言，如 C++、JAVA 等；一种是专家系统外壳；再一种是采用专用专家系统开发工具，如 OPS、CLIPS 等。这三种方式各有优缺点。

高级程序语言言的专家系统开发工具：C++和 JAVA 本身是面向对象语言，面向对象方法以抽象数据类型为基础，能方便地描述复杂对象的静态特性、动态行为及相互作用。在专家系统的知识表示的实现层次上使用面向对象方法最合适，使得知识库具有结构清晰、软件的设计和与维护方便等特点。可是由于 C++和 JAVA 都不是 AI 语言，所以实现推理过程比较复杂，设计的专家系统也相对繁琐。

专家系统外壳：它是由一些已经成熟的具体专家系统通过抽去其中的具体知识，而保留它的体系结构和功能演变过来的。利用它可以快速产生一个专家系统。主要缺点在于灵活性和通用性较差，只局限于一些特定的领域^[17]。

专家系统开发工具：它介于两者之间，为知识的表示提供了固定的模式，使专家系统的构造变得很方便。专家系统开发工具不局限于特定的具体领域，与专家系统外壳相比有更大的通用性和灵活性，其代表有 OPS、CLIPS 等。

专家系统是为专门解决某一领域问题而建立的，需要领域专家与开发者紧密结合，而这是比较难做到的，因此，成为专家系统开发的瓶颈。最好的方法是让专家知识与系统设计尽量分开，最后再组合起来，这就需要借助开发软件来实现。上面介绍的软件虽然可以分别实现知识或推理机的设计，但是由于设计公司不能提供统一的接口，也没有统一的标准，独立设计再结合还是有很大的困难。将来的发展方向是综合上述各个软件工具的优点，在一个软件平台内能同时方便地进行知识库建立和推理机设计。

通过以上的分析对比，我们决定在 B&W-ICWPS 系统中采用 OPS (Official Production System) 这一专家系统开发工具来设计构造推理机与专家系统知识库。OPS 是美国卡内基-梅隆大学开发的基于综合推理的产生式系统，OPS 是集成的专家系统开发工具，它把基于规则的知识表示语言与过程语言结合起来，引入过程程序设计的主要控制手段，如分支、循环等，克服了纯规则知识表示的局限性；而且系统的编译功能强，可以高速、高效地进行编译^[18]。

3.4 B&W-ICWPS 的知识库

3.4.1 知识表示

知识的表示和组织是专家系统的基础，B&W-ICWPS 中的知识表示就是将冷作工艺专家的自然语言转化为计算机能识别的程序语言，它是当前专家系统研究中备受关注的课题之一。知识必须用适当的形式表示才便于在计算机中储存、检索、使用和修改^{[19][20]}。

知识表示是知识工程师对领域知识的事实和关系的一种模型化^[21]。在专家系统中采用的知识表示方法有一阶谓词逻辑表示法、产生式规则表示法、语义网络表示法和框架表示法、案例或事例知识表示法、模型知识表示法和面向对象知识表示法等。

一阶谓词表示法具有自然性、精确性、严密性、易于实现等优点；但不能表示不确定性的知识，存在知识的组合爆炸，推理过程冗长，效率低等局限性；产生式规则表示法具有自然性、模块化、有效性、清晰性等优点，但存在知识的组合爆炸、推理效率低下等问题。语义网络表示法善于表示结构化的知识，但系统的管理和维护以及推理比较复杂；框架表示法具有继承性，善于表达具有结构性知识的优点；但不善于表示过程性知识；面向对象的表示方法具有：①封装性；②模块性；③继承性；④易维护性等特点^[22]。

从理论上讲，每一种知识都可用上述的知识表示方法表示出来，但是不同的表示方法用来表示不同领域知识，在方法本身、问题领域以及推理策略方面的难易程度不同。因此，对不同领域知识需要选用适当的知识表示方法，同一领域知识也可以用不同的知识表示方法，要具体问题具体分析。

3.4.2 B&W-ICWPS 的知识表示方法

选择系统所用的知识表示方法，不仅要考虑对知识表示的性能要求，还要考虑在工艺编制时涉及到的专业知识特点，以提高知识处理的效率。由于本系统主要是针对电站锅炉的冷作部件进行设计，而冷作部件的工艺规则比较成熟，采用产生式规则可以充分利用工艺专家总结的经验，既减少了工作量，提高了工作效率，又易于决策逻辑的实现。根据产品制造工艺知识的特点以及系统编程与扩充的要求，选择产生式表示法来进行知识的描述。下面对产生式表示法

进行介绍。

产生式规则是前因后果式表达模型，有条件和结果两部分：

IF [clause (s)] THEN [action (s)] ELSE [action (s)]

通过产生式规则，可能出现下面的情况：

- (1) 相同条件可以得出不同的结论；
- (2) 不同条件可以得出相同结论；
- (3) 可以有多个条件，但只有一个结论；
- (4) 规则中的条件可以作为另一规则的结论^[23]。

产生式知识表示法利用“IF THEN”的规则形式表示人类求解问题的行为特征，其表现形式单一、直观，符合人的认知过程，计算机程序容易实现，是使用最多的知识表示法。领域专家的知识 and 经验以规则的形式存放在知识库中，各规则之间相对独立。对某条规则的修改或增删，虽然对整个专家系统会产生影响，但对其它规则却没有影响，因而对规则的增加、删除或修改可相对独立地进行^[24]。

一般的规则表达式形式为：

```
(Rule rule_name
    (clause_1
      clause_2
      .....
    )
    (action_1
    )
)
```

其中的 Rule 为规则表达的关键字，rule_name 为规则名，clause_1 为规则的条件，它们以“与”方式组成了规则的前提；action_1 是规则的结论。

在 B&W-ICWPS 系统中，使用产生式规则表示法表示工艺流程与工艺规则等工艺专家的知识。以下是系统中使用产生式规则表示法描述集箱部件加工工艺中部分工艺流程的例子：

```
rule 管接头加工路线
if
  (零件: 管接头
```

```

加工余量: 留余量
管头类型: 弯管
)
then
Insert (弯管及弯管校正工序)
}

```

此条规则的具体含义如下：如果集箱有管接头，管接头需留加工余量，且管接头中有弯管头，则在集箱加工工艺中有“弯管及弯管校正工序”

3.4.3 知识库结构

知识库是合理组织的关于某一特定领域的知识的集合。但一个知识库系统不仅仅局限于存贮知识，它还涉及到知识的推理，问题的求解等方面的技术^[25]。图 3-2 是一个基本的知识库的体系结构图。

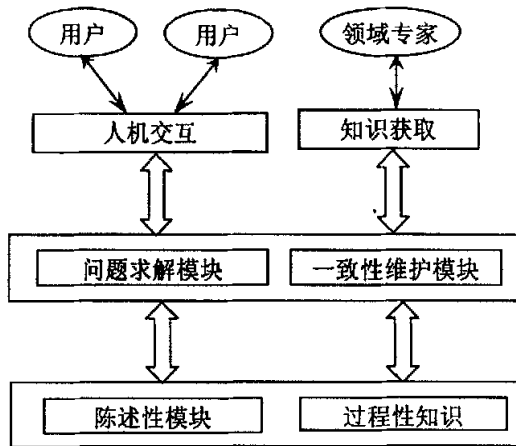


图 3-2 知识库的体系结构

Fig.3-2 structure of knowledge database

B&W-ICWPS 系统中的知识库是比较完备的，它实现了知识库中知识的添加、删除、更新等操作，适应了工艺规则是不断变化的这一要求。

根据 B&W-ICWPS 专家系统中知识的形态，可以将其分为两大部分，一种是巴威公司的工艺资源知识库，主要包括设备知识、工装知识、量检具知识等；另一种是工艺专家们总结的工艺规则。B&W-ICWPS 知识库结构如图 3-3 所示。

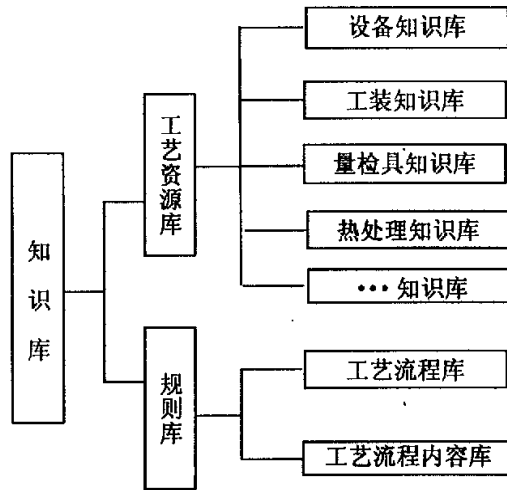


图 3-3 B&W-ICWPS 知识库的分类结构图

Fig.3-3 Category structure of B&W-ICWPS knowledge database

工艺资源库主要包括设备知识库、工装知识库、量检具知识库、热处理知识库等，这些知识库中的知识相对较为稳定，在编制具体的工艺文件时，调用相应的数据即可。在为巴威公司开发的这套 CAPP 系统中，有相应的模块管理这些工艺资源数据，不仅可以查询，还可以进行动态的管理，即可以添加、删除、更新这些知识库。

规则库主要存储产品加工工艺流程图上工艺节点（即工序）顺序的逻辑关系。这些规则是和巴威公司冷作部门的工艺专家经过反复讨论获得的，是巴威公司几十年电站锅炉冷作部件工艺编制经验的总结。在编制具体的工艺文件时，可以利用这些规则生成符合生产实际的工艺文件。同时，还可以对此规则库进行添加、删除、更新、移动等操作，以满足加工工艺规则不断发展的需要。

3.4.4 知识获取

知识获取是专家系统的重要组成部分，它可为知识库中的原有知识和扩充新知识提供相应手段，其基本任务是把知识加入到知识库中，负责维护知识的一致性及完整性，建立起性能良好的知识库，以满足求解问题需要。知识获取一般要经过如下几个过程。

(1) 知识的抽取 是指把蕴含于知识源（领域专家、书本、相关的论文与规范及系统的运行实践等）中的知识经识别、理解、筛选、归纳等抽取出来，用于建立知识库。

(2) 知识的转换 是指把知识由一种形式变化为另一种形式,一般分为两步进行:

① 把从专家及文献那里抽取的知识转换为某种表示形式,如产生式规则、框架等;

② 把该模式表示的知识转换为系统可以直接利用的内部形式。前者通常由知识工程师完成,后者一般通过输入及编译实现。

(3) 知识的输入。是指把用适当模式表示的知识经编辑、编译送入知识库的过程。一般通过两种途径来实现:

① 利用计算机系统提供的编辑软件;

② 用专门编制的知识编辑系统,称为知识编辑器。

前者的优点是简单、方便,可直接拿来利用,减少了编制专门程序的工作;后者的优点是可根据实际需要实现相应的功能,使其具有更强的针对性和实用性,更加符合知识输入的需要,B&W-ICWPS 采用的是第二种方式,设计了一个专门的模块来实现知识的输入,该模块方便了工艺人员的使用。

(4) 知识的检测 知识库的建立是通过对知识进行抽取、转换、输入等环节实现的,任何环节失误都会造成知识的错误,从而影响专家系统性能。在知识输入时及时进行检测,可以发现知识中可能存在的_{不一致、不完整}等问题,以便采取相应的措施。

① 一致性 新输入的或被修改的知识会与知识库中其他内容发生重复、包含、矛盾等不一致现象,通常的处理方式有知识同化(assimilation,或称消化)和知识调整(accommodation)两种形式。知识同化视知识库中未改变的知识为正确,对新输入的或被修改的知识进行检查、处理,然后消化到知识库中;知识调整视新输入的或被修改的知识为正确,对知识库中已有的内容进行检测,发生不一致时进行调整、更新。本文采用知识同化的方法。

② 完整性 系统进行问题求解可能需要的知识应全部纳入知识库,以保证领域中的所有问题均能得到求解。但由于领域知识难以全面收集,以及专家系统所面临问题的不良结构特征,这一点常常难以保证,本系统未做这方面的工作;另一方面,与数据库中数据的语义完整性相似,是关于领域问题内各个实体(如构成规则的各种规则元素)的一些语义限制,这方面通常可以通过数据库的完整性约束方法来实现。本文通过定义数据库各表的主键、外键进行约束来实现。

新知识获取过程可用图 3-4 所示的流程表示。

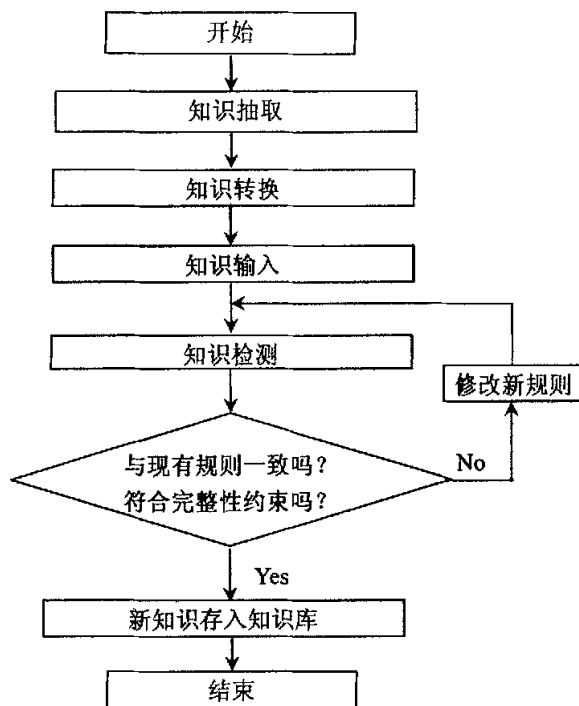


图 3-4 知识获取流程图

Fig.3-4 The flow chart of knowledge acquiring

通过人机界面的引导，用户不需要了解产生式规则所要求的语法，就可以方便地添加、浏览、修改和删除知识库中的知识和规则。例如，当需要浏览集箱部件的规则时，在部件种类组合框中选择“集箱”部件，则程序自动将集箱部件的相应的规则读入规则名称组合框中（一般情况下会有很多条规则），在规则名称组合框中选择想要浏览的规则，例如“管接头加工路线”，那么有关这条规则的“规则描述”、“规则条件”、“规则结论”等有关的数据就会自动显示在如图 3-5 所示的相应部分。欲删除某一条规则时，用户需要进行的操作则非常简单，只需将想要删除的规则像浏览时一样显示出来，然后点击图 3-5 界面上的“删除规则”按钮，程序就会自动将有关这条规则的数据从数据库中删除，并自动调整剩余规则中需要调整的数据。添加和修改规则的具体实现过程在这里就不再详细说明了。

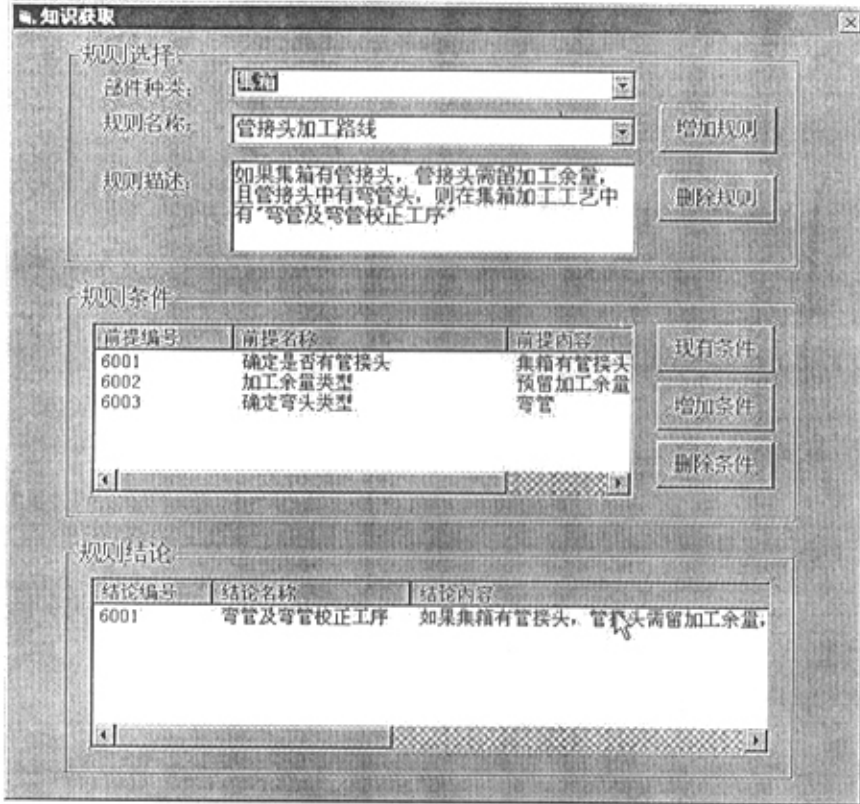


图 3-5 规则类知识的知识获取

Fig.3-5 Knowledge acquiring for the process rule

3.5 B&W-ICWPS 专家系统推理机

3.5.1 推理方法

推理机是专家系统的核心, 是专家系统通过知识推理而实现问题求解的执行机构, 它是模拟人类专家求解问题的思维活动, 按照一定的推理策略, 有效选择知识库中的知识, 根据用户提供的问题进行推理, 从而得到用户满意的结论。推理机工作效率的高低直接影响到专家系统的性能。因此, 必须构建一个能真正反映人类专家水平的推理机^[26]。在专家系统中, 根据知识表达方法的不同, 可将推理方法划分为: 归结演绎推理、演绎推理、基于语义网络的推理和基于框架的推理等。由于推理过程的复杂性, 推理结果有可能产生不完全确定的情况。根据推理产生的结论不同, 推理又可分为精确推理(演绎推理)和不精确推理等^[27,28]

3.5.2 B&W-ICWPS 的推理方法

推理机制的选择在很大程度上取决于知识表示的方法。由于 B&W-ICWPS 主要采用产生式规则来表示知识，所以推理机制采用演绎推理。产生式专家系统这种方法比较成熟，具有模块性强、清晰性好、易于理解、易于表达专家的启发性知识等优点^[29]。

演绎推理有两个前提，即大前提（概括性的一般原理）和小前提（对个别事物的判断）、根据两个前提之间的关系做出新判断（推理），得出结论。

演绎推理有三种形式：

（1）肯定式 由肯定前件而肯定后件；

（2）否定式 由否定后件而否定前件；

（3）选言推理 以一个选言判断和一个直言判断作为前提的一种演绎推理，主要有相容和不相容两种选言形式。

3.5.3 专家系统的控制策略

专家系统的推理策略有正向推理、反向推理。正向推理用于断言那些与规则的前提相匹配的事实，并用于进一步推断事实。正向推理的基本思想是从已知的信息出发，选用合适的知识，逐步求解待解决的问题。

反向推理和正向推理恰好相反。它是先从欲达到的目标入手，在知识库中寻找哪些能产生该目标的规则以及相应事实库中的事实，这些条件就成为要达到的新目标，即子目标。推理通过反向的、连续的子目标不断进行，直到找到问题给定的条件为止^[30]。

3.5.4 B&W-ICWPS 中的控制策略

根据冷作工艺编制的特点，B&W-ICWPS 专家系统采用的控制策略是正向推理。正向推理是以已知事实作为出发点的推理，其基本思想是：从用户提供的初始已知事实出发，在知识库中找出当前可用的知识，构成可适用知识集，然后按某种冲突消解策略从知识集中选出一条知识进行推理，并将推出的新事实加入到数据库中作为下一步推理的已知事实，再从知识库中选取可用的知识进行推理。重复这一过程，直至求得了所要求的解或者知识库中再无可适用的

知识为止^[31]。

在 B&W-ICWPS 中, 可以通过执行“识别-动作环”(Recognize Act Cycle) 来实现正向推理的控制策略, 如图 3-6 所示。

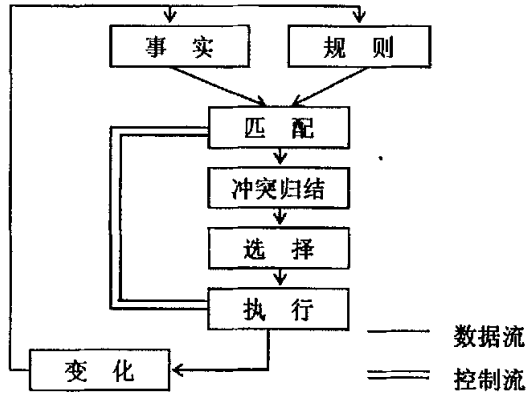


图 3-6 专家系统的识别动作环

Fig.3-6 Recognition action cycle of expert system

步骤如下:

- (1) 匹配 确定在当前给定条件条件下哪些规则能和用户输入的初始条件相符;
- (2) 冲突归结 从被满足的规则中选出一条规则。如果没有规则被满足, 则执行停止;
- (3) 执行动作 执行选出的规则所指定的操作;
- (4) 返回到步骤 (1)。

3.5.5 B&W-ICWPS 推理过程的具体实现

B&W-ICWPS 专家系统的推理机制是由对象定义模块、规则模块、人机交互界面以及与设计语言 OPS 的接口实现的。

对象定义模块用来定义规则模块所用到的对象, 例如,

Type 工序对象=Element

(

- 工序编号: String
- 工序名称: String
- 工序内容: String
- 工序对象类型: Boolean
- 上层工序对象编号: String

);

规则模块用来定义和存储推理过程中使用的一系列规则。推理机结构及推理过程的实现过程如图 3-7 所示。

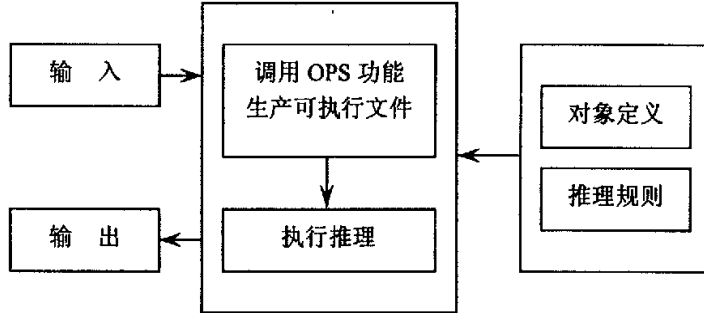


图 3-7 推理机的实现过程

Fig.3-7 Process of the reasoning mechanism

(1) 人机接口接受用户输入的初始信息，并提取推理机需要使用的初始条件，然后将这些初始条件存入到初始化文件 IcoldingInit 中进行编译；

(2) 调用 OPS 功能模块，编译主文件 IcoldingMain.ops、初始化文件 IcoldingInit 以及知识库中的对象定义文件 IcoldingDef.ops 和供分层推理的各规则表示文件（如 MethodRule.ops、SerialRule.ops、RemainRule.ops 等），将它们链接编译为推理用的可执行文件 Icolding.exe；

(3) 执行 Icolding.exe 进行推理，并将推理结果存入结果输出文件 Icolding.out 中；

(4) 利用 VB 将结果输出文件 Icolding.out 中存放的推理结果回显到相应人机交互界面中，供用户查看。

3.6 本章小结

本章详细阐述了专家系统在冷作部件工艺编制过程中的应用，主要包括知识库的结构、知识表示、知识获取、专家系统的推理方法、控制策略等。同时对 B&W-ICWPS 具体采用的知识库结构、知识表示方法、知识获取方法、专家系统的推理方法、控制策略做了较为详细的介绍。

第 4 章 B&W-ICWPS 数据库设计

数据库是存储、管理、操作数据的核心，数据库设计的主要任务是按照应用的要求，为信息建立一个结构合理、使用方便、效率较高的数据库^[32]。数据库中的数据按照一定的数据模型组织、描述和存储，因而具有较小的冗余度，较高的数据独立性和易于扩展性，并可为各种用户共享^[33]。数据库设计得好，可以使整个应用系统效率高、维护简单、使用容易。

数据库的设计一般分阶段进行，前一阶段设计的结果作为后一阶段设计的依据，后一阶段也可以向前面的设计反馈其要求。数据库设计一般要经过需求分析、概念设计、逻辑设计和物理设计四个阶段。

需求分析是数据库设计的基础，其错误将影响到整个设计。它主要解决数据库设计的任务与目标这两个问题。

(1) 任务 调查应用领域，对各种应用的信息要求和操作要求，进行详细分析，形成需求分析说明书。

(2) 目标 给出应用领域中数据项与数据项之间的关系；数据操作任务的详细定义，为后续设计作准备。

概念设计是在数据需求分析的基础上，将各种需求抽象为信息结构的过程，是建立整个系统的数据库概念模型，即从用户的角度进行视图设计，然后进行视图集成与分析。此阶段一般用 E-R 图进行模型的建立与分析。概念设计与逻辑设计分离具有以下好处：各阶段的任务相对单一化，降低设计复杂性；概念模式独立于 DBMS，故比逻辑数据库模式稳定；概念设计不含特定 DBMS 的技术细节，设计人员可以专心于研究如何反映客观世界，故容易为用户所理解，能够准确反映用户的需求。

逻辑设计是根据数据库管理系统的特征，将概念设计阶段完成的概念模型转换成相应的逻辑结构模型。逻辑结构的设计分为两步：第一步是将概念模型转换为逻辑结构数据模型；第二步是根据规范化理论对结构数据模型进行优化。

物理设计是根据实际应用中使用的数据库管理系统，确定数据库的存储结构和存取方法，以获得数据库的最佳存取效率。

4.1 B&W-ICWPS 数据库构建

根据数据库设计分阶段进行的方法,下面分别对 B&W-ICWPS 数据库的需求分析、概念设计、逻辑设计进行较为详细的介绍。

4.1.1 B&W-ICWPS 数据库的需求分析

巴威公司工艺部门的需求具体体现在各种工艺信息的提供、保存、更新、和查询,这就要求数据库结构能充分满足各种工艺信息的输出和输入。收集基本数据,数据结构以及数据处理的流程,组成一份详尽的数据字典,为后面的具体设计打下基础。

通过和巴威公司冷作部门的工艺设计人员的反复交流,以及对冷作工艺编制的内容和数据流程分析,设计了以下所示的数据项和数据结构:

用户基本信息 包括的数据项有:用户编号、用户姓名、所属设计组等。

产品类别信息 包括的数据项有:产品编号、产品名称等。

部件类别信息 包括的数据项有:部件编号、部件名称、部件分类问题等。

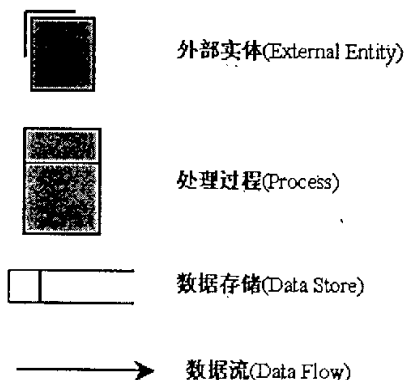
工艺文件信息 包括的数据项有:文件编号、文件名称、产品名称、产品图号、部件名称、部件图号、工程号、创建人员、创建日期、备注等。

工艺文件工序信息 包括的数据项有:工序编号、工序名称、制造序号、车间名称、车间编号、说明、技术标准、主要设备、工装编号、工序备注等。

工艺文件工步信息 包括的数据项有:工序编号、工步编号、工步、是否有参数、参数编号、工步内容等。

工艺参数信息 包括的数据项有:参数名称、参数编号、工序编号等。

图 4-1 为 B&W-ICWPS 数据流程图,其中所用的各个符号的具体含义如下:



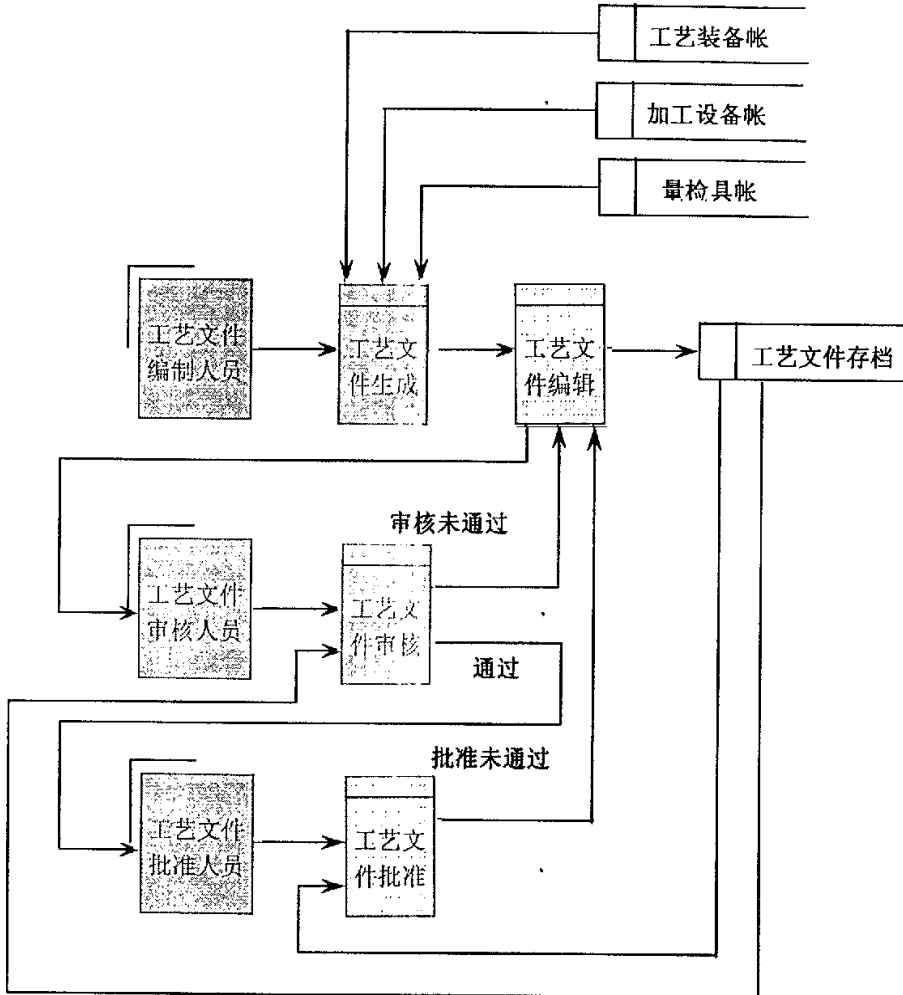


图 4-1 B&W-ICWPS 数据流程图

Fig.4-1 Data Flow Diagram of B&W-ICWPS

在确定了数据结构、数据项和数据流程图之后，就可以进行数据库的概念设计了。

4.1.2 B&W-ICWPS 数据库的概念设计

根据需求分析阶段的设计规划得到的实体有：产品实体、部件实体、工艺文件实体、工序实体、工步实体等。各个实体具体描述的 E-R 图如下所示。

图 4-2 为产品实体 E-R 图。

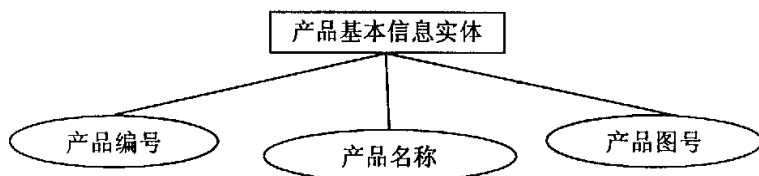


图 4-2 产品基本信息实体 E-R 图

Fig.4-2 E-R Diagram of Product Fundamental Information

图 4-3 为部件实体 E-R 图。

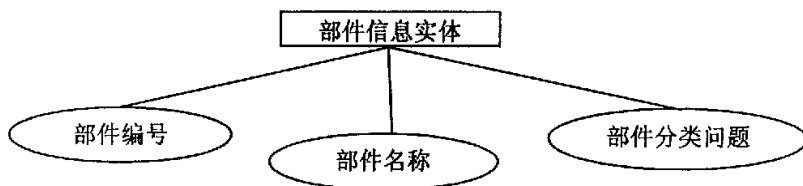


图 4-3 部件信息实体 E-R 图

Fig.4-3 E-R Diagram of Component Information

图 4-4 为工艺文件信息实体 E-R 图。

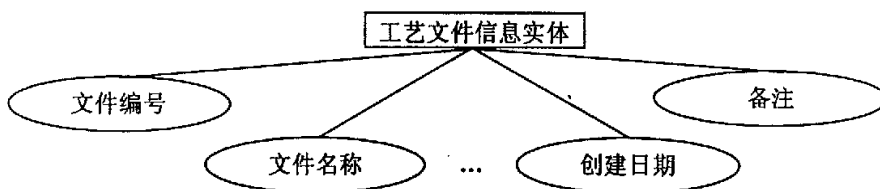


图 4-4 工艺文件信息实体 E-R 图

Fig.4-4 E-R Diagram of Technics File Information

图 4-5 为工序信息实体 E-R 图。

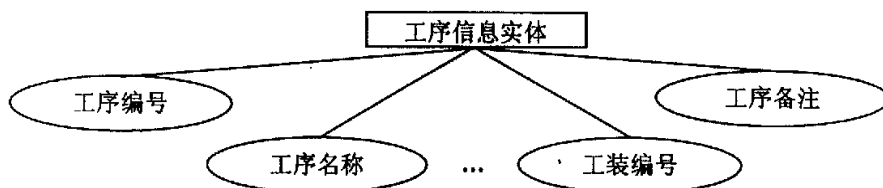


图 4-5 工序信息实体 E-R 图

Fig.4-5 E-R Diagram of Working Procedure Information

图 4-6 为工步信息实体 E-R 图。

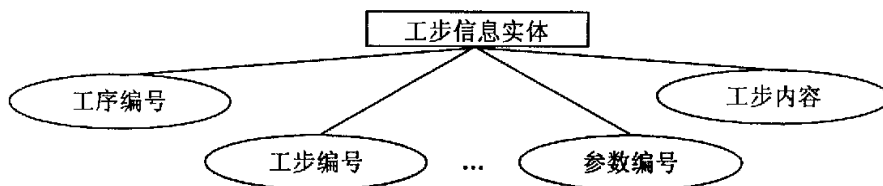


图 4-6 工步信息实体 E-R 图

Fig.4-6 E-R Diagram of Working Step Information

图 4-7 为工艺参数实体 E-R 图。

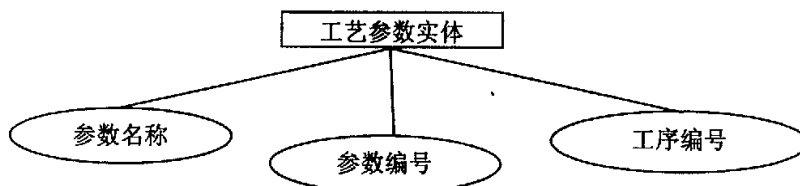


图 4-7 工艺参数实体 E-R 图

Fig.4-7 E-R Diagram of Technics Parameters

4.1.3 B&W-ICWPS 数据库的逻辑设计

逻辑设计的任务就是将数据库概念结构转化为 SQL Server 2000 数据库系统所支持的实际数据模型，也就是数据库的逻辑结构。

B&W-ICWPS 系统主要包括以下几个表：产品信息表（图 4-8）、部件信息表（图 4-9）、工艺文件表（图 4-10）、工序信息表（图 4-11）、工步信息表（图 4-12）、工艺参数表（图 4-13）。

产品信息表

列名	数据类型	长度	允许空
产品名称	char	10	
产品编号	nvarchar	36	
产品图号	nvarchar	36	

图 4-8 产品信息表

Fig.4-8 The Database Table of Product Information

部件信息表

列名	数据类型	长度	允许空
部件编号	char	4	
部件名称	nvarchar	20	
部件分类问题	nvarchar	30	✓

图 4-9 部件信息表

Fig.4-9 The database table of Component Information

工艺文件信息表

列名	数据类型	长度	允许空
索引编号	char	8	
文件编号	int	4	
文件名称	varchar	50	
过程卡编号	varchar	50	✓
产品名称	nvarchar	50	✓
部件名称	nvarchar	50	✓
工程号	varchar	50	✓
产品图号	varchar	50	✓
部件图号	varchar	50	✓
MITP编号	varchar	70	✓
说明	nvarchar	54	✓
生成情况	varchar	15	
创建人员	nvarchar	10	✓
创建日期	smalldatetime	4	✓
编制人员	nvarchar	10	✓
编制日期	smalldatetime	4	✓
编制情况	varchar	15	
审核人员	nvarchar	10	✓
审核日期	smalldatetime	4	✓
审核结果	varchar	15	
审核意见	nvarchar	200	✓
批准人员	nvarchar	10	✓
批准日期	smalldatetime	4	✓
批准结果	varchar	15	
批准意见	nvarchar	200	✓
当前状态	varchar	20	
总页数	smallint	2	✓
备注	nvarchar	200	✓
批准后更新信息	nvarchar	200	✓
修改版次	tinyint	1	

图 4-10 部件信息表

Fig.4-10 The database table of Component Information

工序信息表

列名	数据类型	长度	允许空
ProcessID	int	4	
文件编号	int	4	
工序编号	int	4	
制造序号	smallint	2	✓
车间名称	nvarchar	20	✓
车间编号	char	3	✓
说明	nvarchar	50	✓
技术标准	nvarchar	45	✓
主要设备	nvarchar	50	✓
工装编号	varchar	50	✓
工序备注	nvarchar	50	✓

图 4-11 工序信息表

Fig.4-11 The database table of Process Information

工步信息表

列名	数据类型	长度	允许空
StepID	int	4	
ProcessID	int	4	
工步编号	tinyint	1	
工步	tinyint	1	✓
是否有参数	bit	1	✓
参数编号	varchar	50	✓
工步内容	nvarchar	100	✓

图 4-12 工步信息表

Fig.4-12 The database table of Steps Information

工艺参数表

列名	数据类型	长度	允许空
参数编号	char	5	
参数名称	varchar	50	✓
工序编号	int	4	

图 4-13 工艺参数表

Fig.4-13 The database table of Technics Parameters

4.2 B&W-ICWPS 系统中使用的数据库对象

4.2.1 索引

索引 (Index) 的意思是将表中的数据按照某个列内的值并根据某种顺序进行排列, 以增加数据搜索的速度^[34]。索引的目的是提供一个指向数据的实际位

置的逻辑指针,如同图书上面的索引一般,可以帮助我们快速找到所需要的数据。数据库中的索引具有相同的功能,也是为了加快查询或检索数据的速度。如果没有索引,当我们需要一组特定的数据时,SQL Server 必须读取整个表,再逐一过滤,直至找到我们需要的那一组数据为止。这种方法称为表扫描(Table Scan)。如果表中数据较少,使用表扫描的方法所需时间不会很多,若表中数据非常多,则表扫描的方法可能需要耗费不少的时间。B&W-ICWPS 的数据库中有几个表中的数据是非常大的,如 Processes 表和 Steps 表,而这两个表是 B&W-ICWPS 在运行时经常使用到的,因此,为了提高系统的响应时间,在这两个表上建立了索引,具体可见下面的图 4-14 和图 4-15。索引分为聚集索引与非聚集索引两种,聚集索引可以保证表中的数据的物理存储顺序和排列顺序相同,它使用表中的某一列或多列来排列记录;非聚集索引仅对数据进行逻辑排序,其顺序与表的物理顺序不同,通常在重复性较少的列上进行定义。Processes 表中的文件编号和工序编号是经常需要查询的字段,因此,将其定为聚集索引。而 ProcessID 字段是经常用于表与表连接的,因此将其定义为非聚集索引。

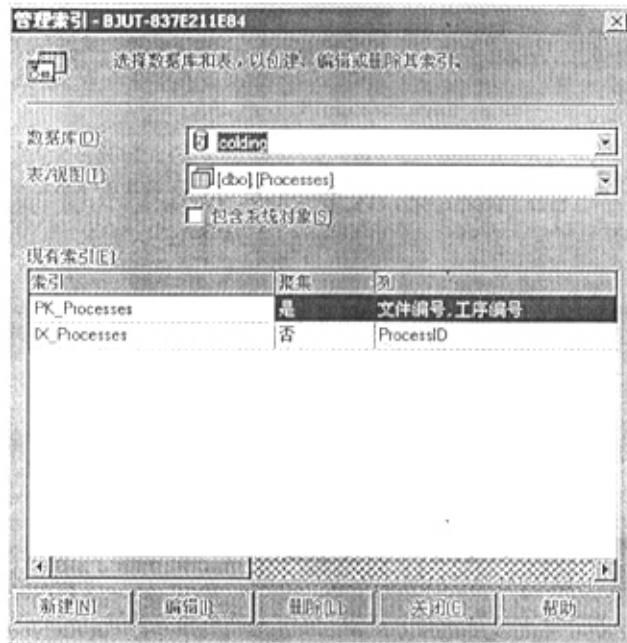


图 4-14 Processes 表索引
Fig.4-14 Index of Processes



图 4-15 Steps 表索引定义
Fig.4-15 Index Definition of Steps

4.2.2 视图

视图 (VIEW) 是保存在 SQL Server 数据库中的 SELECT 查询^[35]。视图对象是从一个或多个实际存储的表格中所衍生出来的。视图对象本身并没有存放真正的数据，实际的数据仍然是存储在参考使用的基准表格中，数据库中所存放的只是视图的定义。因此，可以将视图理解为虚拟表格。可以通过这个虚拟表格查看数据库中的数据，也可以对视图做数据的添加、更新或是删除，不过这些操作将影响到真正的基准表格。视图和表的操作和功能非常相似，使用视图是基于以下几点考虑：

(1) 避免数据复杂性 视图可以隐蔽实际基准表格的结构，用户可以完全不了解真正的数据存储结构以及列的含义，甚至当数据库结构有所改变时都不会影响用户，故增加了逻辑数据的独立性，也在一定程度上方便了系统的维护。

(2) 简化用户界面 用 Transact-SQL 语法创建视图之后，用户就可以简单地来查看这个视图，不必每次都重新编写和执行 SQL 语句。

(3) 加强安全性 在实际应用中，客户往往要求不同的客户端用户具有不

同的权限（出于保护本单位机密信息的需要），对于权限受到限制的用户，只能访问数据库表中的某几个列，而不是全部。例如，对于设备表，巴威公司要求只有设备管理部门的用户可以管理和查看全部的设备信息，而对于工艺设计部门的用户，则不允许他们具有查看有关设备价值的列，因此，我们可以以设备表为基准，创建一个视图，当工艺部门的用户查看设备信息时，将他们的查询操作作用于此视图上，而不是作用于设备信息表上，这样就实现了设备相关信息的保密性。具体语句如下：

```
CREATE VIEW cad_equipment AS SELECT 序号,出厂编号,设备编号,设备名称,...,出售日期 FROM equipment
GRANT select ON cad_equipment TO cad
```

通过这两条命令，CAD 用户（工艺设计部门的用户）只能在视图中看到设备表中除去有关设备价值列的信息，实现了数据的保密。

在 B&W-ICWPS 中使用了视图的技术，主要是出于“避免数据复杂性”和“简化用户界面”这两方面的考虑。例如，在编制工艺文件制造卡过程中，制造卡中的数据来源于产品工序表和产品工步表，如果用 SQL 语句实现对这两个表中的相关数据的查询，则实现起来的代码会比较复杂，如果将这两个表中的相关数据定义为一个视图，在每次需要查询时只访问这个视图就可以了。该视图定义如下：

```
SELECT TOP 100 PERCENT dbo.Steps.*, dbo.Processes.文件编号 AS 文件编号,
dbo.Processes.工序编号 AS 工序编号, dbo.Processes.制造序号 AS 制造序号 FROM
dbo.Steps INNER JOIN dbo.Processes ON dbo.Steps.ProcessID= dbo.Processes.ProcessID
ORDER BY dbo.Processes.文件编号, dbo.Processes.工序编号, dbo.Steps.工步编号
```

4.2.3 存储过程

存储过程（Stored Procedures）是存储在数据库中能够从外部源被调用和执行，能够接受 0 个或多个参数的 T-SQL 代码块，这些参数可以是 INPUT（输入）或 OUTPUT（输出）参数，存储过程也能够返回用于说明过程状态的单个整数值^[36]。在数据库管理系统中使用存储过程，主要有下述的四个优点：

（1）减少网络通信流量 使用存储过程，数据处理在数据库服务器上完成，

网络上仅传输最终结果；而采用传统编程方法，客户端需要实现所有数据库编程，通过网络向服务器发出查询或更新请求，并根据服务器发回的结果再发送新的请求，客户端和服务器间交互占用了大量网络资源。

(2) 执行效率高 存储过程是预编译的，在首次运行一个存储过程时，查询优化器对其进行分析、优化，并给出最终存储在系统表中的执行方案；以后每次调用不再需要进行分析，从而避免了后续的执行优化和编译这两个阶段，这为过程的执行节省了大量的时间。特别对复杂的查询或事务处理，能为有利。另外当执行存储过程时，不必去执行语法分析。而对于动态 SQL，即使重复执行同样的 SQL 语句，它们也必须经过语法分析，所有引用的对象也要为每次执行经受检查^[37]。

(3) 标准组件式编程 把完成某一数据库处理的功能设计为存储过程，可以在应用程序中重复调用，一方面可以减轻程序编写的工作量；另一方面可以提高程序的可移植性，提高了代码的可重用性。把查询封装到存储过程中，当存储过程所描述的功能发生变化时，仅对服务器上的存储过程进行修改和维护，不用修改到客户端应用程序；但是，如果把查询嵌入到应用程序中，当需求发生改变时，就需要修改程序中那部分代码，并发布新的版本。

(4) 提供安全管理机制，即通过授权后使用 系统管理员通过对执行某一存储过程的权限管理，实现对相应的数据访问权限的限制，避免非授权用户对数据的访问。此外，还可以利用存储过程间接实现一些安全控制功能。例如，不允许某些用户直接接触某些数据对象，这时可以授权他们通过执行某个存储过程来完成信息查询，从而达到隔离用户的目的。

在 B&W-ICWPS 中使用存储过程，主要是使用了上述的前三个优点。例如为了实现将一份现有工艺文件改名另存为一份工艺文件而编写的存储过程，如下所示：

```
CREATE PROCEDURE [up_SaveAsProject]
    (@oldFileName varchar (50), @newFileName varchar (50), @creatorName nvarchar
    (10))
AS
    set nocount on
    BEGIN TRANSACTION tran001
        declare @IndexNo char (8) --索引编号
        declare @iNewFileNo int --新文件编号
```

```

declare @iOldFileNo int --旧文件编号
--定义过程卡信息的变量
declare @cardNo varchar (50) --过程卡编号
declare @productName nvarchar (50) --产品名称
declare @partName nvarchar (50) --部件名称
declare @projectNo varchar (50) --工程号
declare @productDrawNo varchar (50) --产品图号
declare @partDrawNo varchar (50) --部件图号
declare @MITP varchar (50) --MITP 编号
declare @Memo nvarchar (100) --说明
declare @ProcessMemo nvarchar (200) --工艺备注
--先创建一个新的工艺文件
select @iOldFileNo=[文件编号] from 工艺文件视图 where [文件名称]=@oldFileName
select @IndexNo=[索引编号] from 文件名称_工艺类别视图 where [文件编号]=@iOldFileNo
exec up_New 工艺文件 @文件名称_2=@newFileName,@创建人员_3=@creatorName,@索引编号_5=@IndexNo
if @@error<>0 Begin
    ROLLBACK TRANSACTION tran001
    goto upEnd
End
--导入过程卡信息
select @cardNo=过程卡编号,@productName=产品名称,@partName=部件名称,@projectNo=工程号,@productDrawNo=产品图号,@partDrawNo=部件图号,@MITP=MITP编号,@Memo=说明,@ProcessMemo=备注 from 工艺文件视图 where [文件名称]=@oldFileName
update 工艺文件表
Set 过程卡编号=@cardNo,产品名称=@productName,部件名称=@partName,工程号=@projectNo,产品图号=@productDrawNo,部件图号=@partDrawNo,MITP编号=@MITP,说明=@Memo,备注=@ProcessMemo where [文件名称]=@newFileName
if @@error<>0 Begin
    ROLLBACK TRANSACTION tran001
    goto upEnd

```



```

End
    select @iNewFileNo=[文件编号] from 工艺文件视图 where [文件名称]=@newFileName
    --导入新的数据
    Insert into processes ([文件编号],[工序编号],[制造序号],[车间名称],[车间编号],[说明],[技术标准],[主要设备],[工装编号],[工序备注]) select
    @iNewFileNo,[工序编号],[制造序号],[车间名称],[车间编号],[说明],[技术标准],[主要设备],[工装编号],[工序备注] from vwProcesses where 文件编号=@iOldFileNo
    if @@error<>0 Begin
        ROLLBACK TRANSACTION tran001
        goto upEnd
    End
    Insert into Steps (ProcessID,工步编号,工步,是否有参数,参数编号,工步内容)
    select ( select ProcessID from vwProcesses where ( 文件编号=@iNewFileNo and 工序编号=vStep.工序编号) ),工步编号,工步,是否有参数,参数编号,工步内容 from vwSteps vStep where 文件编号=@iOldFileNo
    if @@error<>0 Begin
        ROLLBACK TRANSACTION tran001
        goto upEnd
    End
    End
    --设定工艺文件状态
    exec up_update 编辑信息 @文件名称_1=@newFileName,@编制情况_4='已生成编辑中',@当前状态_5='已生成编辑中',@生成情况_7='已完成'
    if @@error=0 COMMIT TRANSACTION tran001
    upEnd:
GO

```

这是一个比较复杂的存储过程，其中既有输入参数，又有局部变量，并且在此存储过程中又调用了用户自定义的其它存储过程（up_New 工艺文件、up_update 编辑信息），同时它还使用了 MS SQLSERVER 2000 中非常有用的“事务”这一技术（将在下面进行介绍）。综合这些技术，实现了在现有工艺文件的基础上改名另存为其它工艺文件的功能。如不使用存储过程，而改用 SQL 语句实现这一功能，那么必将产生网络数据传输量大，系统响应时间长等弊端。

4.2.4 关系

关系表示表之间的链接，使一个表中的外键引用另一个表中的主键。如果强制表之间的引用完整性，则关系线在数据库关系图中以一根实线表示；如果 INSERT 和 UPDATE 事务不强制引用完整性，则以虚线表示。关系线的终结点显示一个主键符号以表示主键到外键关系，或者显示一个无穷符号以表示一对多关系的外键端。在关系数据库中，关系能防止冗余的数据。关系是通过匹配键列中的数据而工作的，而键列通常是两个表中具有相同名称的列。在大多数情况下，关系将一个表中为每个行提供唯一标识符的主键与另一个表中外键内的项相匹配。

表与表之间存在三种类型的关系。一对多关系；多对多关系；一对一关系 [37]。

一对多关系是最常见的关系类型。在这种关系类型中，表 A 中的行可以在表 B 中有许多匹配行，但是表 B 中的行只能在表 A 中有一个匹配行。在多对多关系中，表 A 中的一行可与表 B 中的多行相匹配，反之亦然。在一对一关系中，表 A 中的一行最多只能与表 B 中的一行相匹配，反之亦然。如果两个相关列都是主键或具有唯一约束，则创建的是一对一关系。

在 B&W-ICWPS 系统中，所创建的表之间的关系大多数是一对多的关系。例如，表 Processes 和 Steps 之间的关系就是典型的一对多的关系，Processes 中的一个工序记录行可以在 Steps 中有多个工步记录行相匹配。通过在 Processes 和 Steps 之间创建关系，确保了 Steps 和 Processes 之间的引用完整性。同时，在创建的此关系的属性中，选中了级联更新和级联删除复选框，在服务器端就确保了当更新或删除 Processes 表中的记录时，数据库会自动在 Steps 表中将相关的列或记录更新或删除，简化了客户端编程，同时也方便了系统的维护。Processes 和 Steps 之间的关系如图 4-16 所示：



图 4-16 Processes 和 Steps 关系图

Fig.4-16 Relationship Diagram of Processes and Steps

4.3 事务的应用

4.3.1 事务

在上文叙述存储过程的应用时，提到了事务在存储过程中的应用。事务是“一种机制，是一个操作序列。它包含了一组数据库操作命令，所有的命令作为一个整体一起向系统提交或撤消操作请求，即要么都执行，要么都不执行。因此，事务是一个不可分割的工作逻辑单元，类似于操作系统中的原语。在数据库系统上执行并发操作时，事务是作为最小的控制单元来使用的^[39]。

4.3.2 事务控制语句

SQL Server 通过事务控制语句，把 SQL Server 语句集合分组后，形成独立的逻辑工作单元。

事务处理控制语句主要有如下三条

- (1) BEGIN TRANSACTION
- (2) COMMIT TRANSACTION
- (3) ROLLBACK TRANSACTION

BEGIN TRANSACTION 表示开始一个事务；COMMIT TRANSACTION 表示提交事务中的一切操作，使得对数据库的改变生效；ROLLBACK TRANSACTION 表示要撤消该事务已做的一切操作，回滚到事务开始的状态。例如在上面提到的存储过程“up_SaveAsProject”中，语句“BEGIN TRANSACTION tran001”表示开始一个事务，在其后面有一系列的查询、插入等的操作，同时我们可以看到在后面的语句中共有四处如下所示的语句：

```
if @@error <> 0 Begin
    ROLLBACK TRANSACTION tran001
    goto upEnd
End
```

其中的@@error 在 MS SQL Server 2000 是一个全局变量，表示数据库系统捕捉到的错误，当其值为零时表示语句执行正常，没有错误；而当其值不为零时，表示出现了异常情况，语句没有执行成功。因此，“if @@error <> 0 Begin ROLLBACK TRANSACTION tran001”表示当出现异常情况时（如突然断电

等), 撤消该事务已做的一切操作, 将数据库回滚到事务开始的状态, 即表示没有对数据库进行任何改变。在该存储过程接近结束的位置有如下语句 “if @@error=0 COMMIT TRANSACTION tran001”, 表示如果执行过程中没有出现任何错误, 则提交事务中的一切操作, 使得对数据库的改变生效。

因此, 通过事务的应用, 我们实现了如下所述的功能, 即要么将一个工艺文件中的数据全部存入另一个工艺文件, 要么一个数据也不能存入另一个工艺文件。不会出现将一个工艺文件的一部分数据存入另一个工艺文件的情况。确保了工艺文件数据的完整性。

4.4 查询语句优化

书写 SQL 语句的质量对软件性能的提高有很大关系^[40], 不同的查询策略和查询步骤, 服务器的反映速度是不一样的。例如, 我们要对一个表中的数据进行查询操作, 不同的人会写出不同的 SQL 语句。有人可能不加任何限制条件, 将表中所有的数据都查询出来, 然后将查询结果返回客户端, 在客户端再进行进一步的加工处理; 有人可能一步到位, 需要什么数据就查询什么数据 (通过 WHERE 子句限制查询条件)。这两种不同的查询方案, 当表中的列数不多, 表中的记录数也不多时, 系统的反应时间可能相差不多, 但当表中列数较多, 记录数也较多时, 系统的反应速度就可能相差很多, 甚至达到用户不能容忍的程度。通过我们的实际测试, 在硬件条件相同的情况下, 当一个表中有二十列, 几百行记录时, 采用第一种方案进行查询时, 系统的反应时间可以达到十秒左右; 而采用第二种方案, 系统的反应时间不足一秒。因此, 采用适当的查询策略可使系统性能大大提高。由于使用 WHERE 子句可以限制查询所处理的行数, 故应避免进行库表中全部记录的无条件查询。这仅是查询优化的一个小例子, 这方面的技巧还很多, 这里就不一一介绍了。

4.5 本章小结

本章以数据库设计的流程为顺序, 对 B&W-ICWPS 的数据库设计进行了较为详细的介绍。然后又对 B&W-ICWPS 中使用到的数据库对象和数据库技术进行了详细的介绍。

第 5 章 B&W-ICWPS 中的版本管理

5.1 需求分析

在进行工艺设计时,很多时候需要保存部件工艺过程的技术状态(版本),更多的时候,还需要在新产品中直接使用老产品中零部件的工艺过程,或基于原有的部件工艺过程进行更改。因此需要在 CAPP 软件中提供部件工艺过程的版本管理功能。

5.2 逻辑分析

部件工艺过程版本管理功能的本质是对产品中部件的工艺过程数据的技术状态进行备份、恢复和删除等操作。这些功能需要在 B&W-ICWPS 中实现,并被 SuperSky-Master(北京天舟公司 PDM 产品,它为巴威公司提供了 PDM 系统, B&W-ICWPS 被其集成到该系统之中)的 Checker(版本管理器)模块调用,以便在用户用 Checker 对产品/部件的设计数据进行版本保存、恢复和删除时,能同步的对 B&W-ICWPS 中所保存的对应产品/部件的工艺过程数据进行版本保存、恢复和删除。

在实现部件工艺过程数据的版本保存、恢复和删除后, ICWPS 中的部件工艺过程数据实际上会被分为当前编辑版本(激活版本)和正式保存的版本两种。因此,为了区分当前版本和正式保存版本中的内容,需要在相关工艺过程数据结构中有一列数据表示版本号(列名为“VERID”),当列“VERID”的值为 NULL 时,表示表中数据属于当前编辑版本;当列“VERID”的值不为 NULL 时,表示表中数据属于正式保存的版本。

此外,由于 B&W-ICWPS 被集成到 SuperSky-Master 系统中,为了在 SuperSky-Master 中进行版本的保存、恢复和删除操作时能够激活 B&W-ICWPS 同步完成工艺版本的保存、恢复和删除操作(版本管理的操作界面在 SuperSky-Master 上),需要在 B&W-ICWPS 中提供 COM(组件对象模型)接口,以便当 SuperSky-Master 进行版本保存、版本恢复和版本删除时,可以通过 COM 接口对 B&W-ICWPS 的数据进行同样的操作。

5.3 数据结构

5.3.1 B&W-ICWPS 与 SuperSky-Master 系统的关联数据结构

为了在 B&W-ICWPS 和 SuperSky-Master 系统之间交互数据，在 B&W-ICWPS 中维护了如下两个维系 B&W-ICWPS 与 SuperSky-Master 系统关联关系的映射表：

表 5-1 工艺信息映射表

Table 5-1 Mapping table of process information

字段名	类型	备注	Key
PRJID	Char (3)	项目 ID	条件唯一
COMPID	Char (8)	零部件 ID	条件唯一
VERID	Char (4)	版本 ID	条件唯一
PROCID	Char(36)	工艺过程节点 ID	全局唯一
文件编号	Int	文件编号	条件唯一
部件类型	Char(10)	部件类型，它是以下值：膜式壁、管子、集箱、小集箱、锅筒、煤粉燃烧器	条件唯一

这个映射表中 PRJID、COMPID、VERID、PROCID 是工艺信息的查询索引，文件编号、VERID 和部件类型是 B&W-ICWPS 工艺信息的查询索引。

这个映射表也是完成部件工艺过程版本管理的基础数据结构。

5.4 接口方法

由于需要在 SuperSky-Master 中进行版本管理时，B&W-ICWPS 也需要同步进行版本管理，所以需要一种技术实现在两者之间进行通信，而 COM 技术正是一种较好的选择。COM 是这样一种协议，它负责将一个软件模块同另一个软件模块连接起来，而不再参与其余的事务。连接建立以后，两个模块就可以通过接口结构进行通信^[4]。

在 B&W-ICWPS 中定义一个 COM 组件对象 IColding，在此组件对象上添加 COM 组件方法，用于保存版本、删除版本和恢复版本，并提供版本工艺信息打开的功能（即显示并修改版本中的工艺信息）。应当注意的是，要把这些接口方法声明为 Public，这样在 SuperSky-Master 中进行保存版本、删除版本和恢复版本的操作时，就可以通过 IColding 的接口方法在 B&W-ICWPS 中同步进行版本的保存、删除、和恢复操作。下面分别对保存版本、删除版本和恢复版

本的接口方法进行介绍。

5.4.1 保存版本

```
Public Function SaveProcessInfoVer ( ByVal strPrjID As String, ByVal
strCompID As String, ByVal strVersionID As String ) As Boolean
```

```
    Dim cmdSaveVersion As ADODB.Command
```

```
    Dim strTemp As String
```

```
    Dim blTemp As Boolean
```

```
    Dim fileinfo1 ( ) As fileinfo
```

```
    Dim j As Integer
```

```
    g_strPrjID = strPrjID
```

```
    g_strCompID = strCompID
```

```
    g_strVerID = strVersionID
```

```
    blTemp = QueryAndSaveFileInfo ( fileinfo1 ( ), g_strPrjID, g_strCompID,
g_strVerID )
```

```
    If blTemp = False Then
```

```
        MsgBox "没有查到要进行版本保存的工艺文件，请重新确定查找
条件"
```

```
        SaveProcessInfoVer = False
```

```
        Exit Function
```

```
    End If
```

```
    Set cmdSaveVersion = New ADODB.Command
```

```
    cmdSaveVersion.CommandType = adCmdStoredProc
```

```
    Set cmdSaveVersion.ActiveConnection = g_cnColding
```

```
    cmdSaveVersion.CommandText = "up_SaveAsProject"
```

```
    For j = 0 To UBound ( fileinfo1 ( ) ) - 1
```

```
        cmdSaveVersion.Parameters.Refresh
```

```
        strTemp=FindFileName ( fileinfo1 ( j ) .strFileNum,fileinfo1
```

```
        ( j ) .strComType, strVersionID )
```

```
        cmdSaveVersion.Parameters ( "@oldFileName" ) = strTemp
```

```
        cmdSaveVersion.Parameters ( "@newFileName" ) = strTemp
```

```

cmdSaveVersion.Parameters("@creatorName") = g_LoginedName
cmdSaveVersion.Parameters("@VERID") = strVersionID
cmdSaveVersion.Execute

```

```
Next j
```

```
Set cmdSaveVersion = Nothing
```

```
SaveProcessInfoVer = True
```

```
End Function
```

方法说明：此方法传入三个参数，作为 supersky master 和 B&W-ICWPS 的映射信息，同时提供版本号作为 B&W-ICWPS 的版本号，在 B&W-ICWPS 进行保存时，在各个工艺过程数据表中进行保存，用于区分当前版本和定版版本

实现的逻辑：

(1) 该方法先根据条件“项目 ID= strPrjID、部件 ID= strCompID 和版本 ID 为空”在工艺信息映射表中进行查询，获得所有符合条件的映射记录，然后把些记录在映射表中复制一份，但在复制出的记录的 VERID 字段填写 strVersionID 的值。

(2) 同时从这些记录中取得关联的工艺数据信息（文件编号和部件类型）

(3) 接下来依据文件编号在对应的工艺过程数据表中查找版本为空的记录，并复制一份，但在复制出的记录的 VERID 字段填写 strVersionID 的值

参数说明：

strPrjID—项目 ID

strCompID—部件 ID

strVersionID—版本 ID

5.4.2 删除版本

```

Public Function DeleteProcessVer (ByVal strPrjID As String, ByVal strCompID
As String, ByVal strVersionID As String) As Boolean

```

```
Dim cmdDelFile As ADODB.Command
```

```
Dim blTemp As Boolean
```

```
Dim fileinfo As fileinfo
```

```
g_strPrjID = strPrjID
```

```
g_strCompID = strCompID
```



```

g_strVerID = strVersionID
blTemp = QueryAndDelFileInfo ( fileinfo, g_strPrjID, g_strCompID,
g_strVerID)
If blTemp = False Then
    MsgBox "没有查到要进行删除操作的工艺文件, 请重新确定查找
条件"

    DeleteProcessVer = False
    Exit Function
End If
Set cmdDelFile = New ADODB.Command
cmdDelFile.CommandType = adCmdStoredProc
Set cmdDelFile.ActiveConnection = g_cnColding
cmdDelFile.CommandText = "up_delFile"
cmdDelFile.Parameters.Refresh
cmdDelFile.Parameters ( "@fileName" ) = FindFileName
(fileinfo.strFileNum, fileinfo.strComType, strVersionID)
cmdDelFile.Parameters ("@VERID") = strVersionID
cmdDelFile.Execute
Set cmdDelFile = Nothing
DeleteProcessVer = True
End Function

```

方法说明：此方法根据三个参数从 supersky-master 和 B&W-ICWPS 集成的数据映射表中找到映射的 B&W-ICWPS 信息，根据映射信息和版本号删除相关联的工艺信息。

实现的逻辑：

(1) 先根据条件“项目 ID= strPrjID、部件 ID= strCompID 和版本 ID= strVersionID”从映射表中查询，获得 B&W-ICWPS 映射信息索引（文件编号和部件类型）

(2) 根据条件“项目 ID= strPrjID、部件 ID= strCompID 和版本 ID= strVersionID”从映射表中删除映射信息，

(3) 根据获得的工艺映射索引信息删除 B&W-ICWPS 相应工艺信息表中

的记录。

参数说明：

strPrjID—项目 ID

strCompID—部件 ID

strVersionID—版本 ID

5.4.3 恢复工艺过程版本

```
Public Function RestoreProcess (ByVal strPrjID As String, ByVal strCompID
As String, ByVal strVersionID As String) As Boolean
```

```
    Dim cmdRestoreVersion As ADODB.Command
```

```
    Dim strTemp As String
```

```
    Dim blTemp As Boolean
```

```
    Dim fileinfo As fileinfo
```

```
    g_strPrjID = strPrjID
```

```
    g_strCompID = strCompID
```

```
    g_strVerID = strVersionID
```

```
    blTemp = QueryAndRestoreFileInfo (fileinfo, g_strPrjID, g_strCompID,
g_strVerID)
```

```
    If blTemp = False Then
```

```
        MsgBox "没有查到要进行恢复版本的工艺文件，请重新确定查找
条件"
```

```
        RestoreProcess = False
```

```
        Exit Function
```

```
    End If
```

```
    Set cmdRestoreVersion = New ADODB.Command
```

```
    cmdRestoreVersion.CommandType = adCmdStoredProc
```

```
    Set cmdRestoreVersion.ActiveConnection = g_cnColding
```

```
    cmdRestoreVersion.CommandText="up_SaveAsProject"
```

```
    cmdRestoreVersion.Parameters.Refresh
```

```
    strTemp = FindFileName ( fileinfo.strFileNum, fileinfo.strComType,
strVersionID)
```

```
cmdRestoreVersion.Parameters ("@oldFileName") = strTemp
cmdRestoreVersion.Parameters ("@newFileName") = strTemp
cmdRestoreVersion.Parameters ("@creatorName") = g_LoginedName
cmdRestoreVersion.Parameters ("@VERID") = Null
cmdRestoreVersion.Execute
Set cmdRestoreVersion = Nothing
RestoreProcess = True
```

End Function

方法说明：该方法通过三个参数恢复版本中的数据到当前版本。

实现的逻辑：

(1) 该方法先根据条件“项目 ID= strPrjID、部件 ID= strCompID 和版本 ID= strVersionID”在工艺信息映射表中进行查询，获得所有符合条件的映射记录，然后把这些记录在映射表中复制一份，但在复制出的记录中 VERID=""。

(2) 同时从这些记录中取得关联的工艺数据信息（文件编号和部件类型）

(3) 接下来依据文件编号在对应的工艺过程数据表中查找版本为 strVersionID 的记录，并复制一份，但在复制出的记录的 VERID 字段填写“”。

参数说明：

strPrjID—项目 ID

strCompID—部件 ID

strVersionID—版本 ID

5.5 本章小结

本章详细阐述了 B&W-ICWPS 系统中的版本管理及其实现方法，并对 COM 组件对象进行了简单介绍，同时给出了具体实现版本管理的 COM 接口方法。

第 6 章 B&W-ICWPS 系统运行实例

6.1 系统运行实例

B&W-ICWPS 系统是针对北京巴威公司冷作工艺编制而开发的一套实用的智能化计算机辅助设计系统。大型管道是锅炉部件中比较重要的一个部件，下面以大型管道部件的工艺编制为例，说明 B&W-ICWPS 系统的系统运行情况。

6.1.1 用户登录

B&W-ICWPS 是具有权限管理的系统，根据不同的部件，将用户分成六组，每组中的用户只能运行管理员给他定义的角色赋予他的权限（B&W-ICWPS 中有一个系统管理员用户 sa，B&W-ICWPS 通过 sa 用户对系统的用户、岗位、权限等进行管理），大型管道工艺编制人员只能从事管道工艺的编制，类似地，管道工艺审核、批准都应该由不同的工艺人员进行。

用户登录的界面如图 6-1 所示。



图 6-1 用户登录

Fig.6-1 The form of user login

工艺编制人员输入正确的用户名与密码，系统检验无误后，登录成功。

6.1.2 工艺生成

工艺生成是 B&W-ICWPS 系统的重要功能模块，首先新建一个工艺文件，如图 6-2 所示：



图 6-2 编制新工艺文件
Fig.6-2 Edit a new process file

在编制新工艺界面点击确定后，进入如图 6-3 所示的工艺文件管理界面，在“过程卡表头信息”部分输入工艺文件表头信息后，点击“生成新的工艺...”按钮，系统将弹出如图 6-4 所示的大型管道零件选择界面

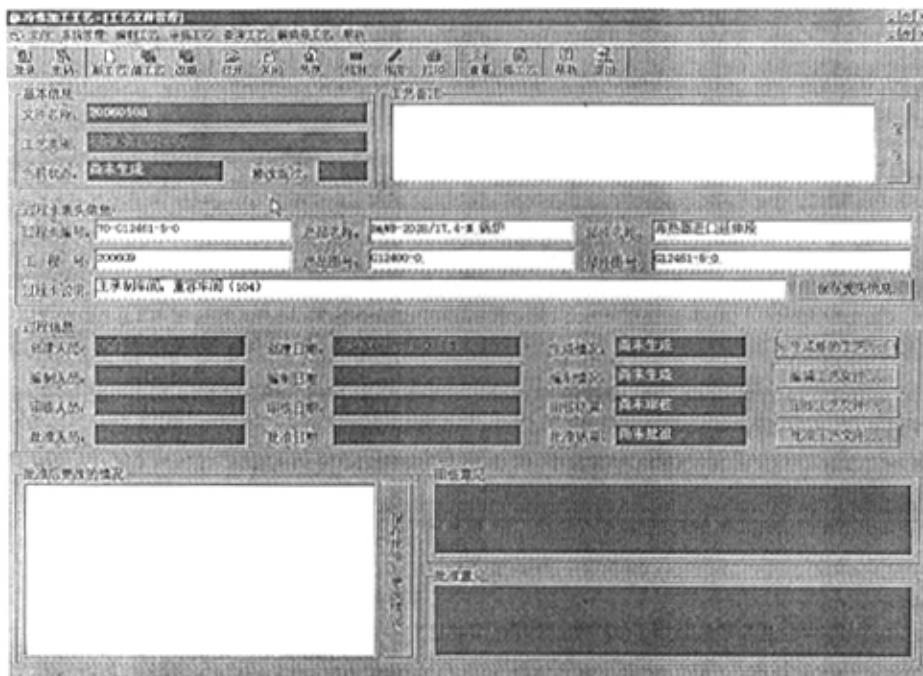


图 6-3 工艺文件管理
Fig.6-3 The management of technics file

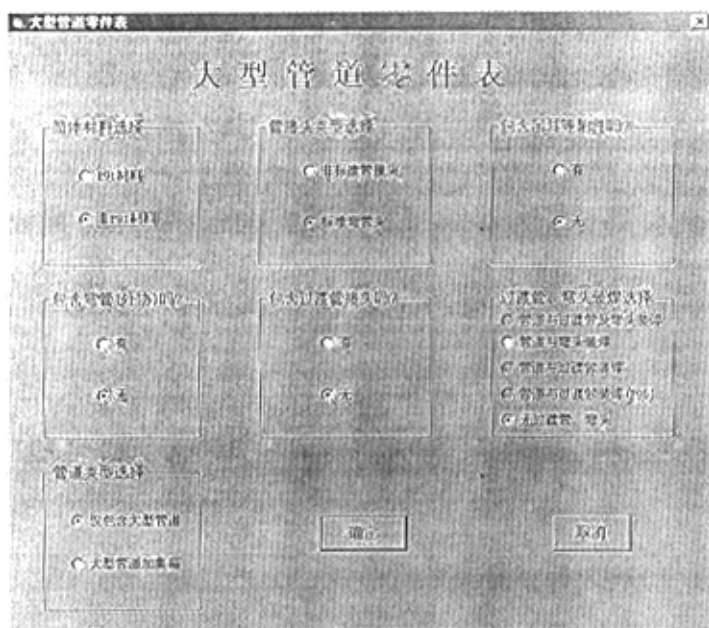


图 6-4 大型管道零件表

Fig.6-4 Parts table of good-sized pipeline

先确定大型管道的筒体材料为非 P91 材料（系统默认的筒体材料）；接下来确定管接头类型为非标准管接头，系统将弹出如图 6-5 所示界面。选择管接头类型为“≤159，留余量，有弯管头”，点击确定按钮后返回选择大型管道零件表界面。

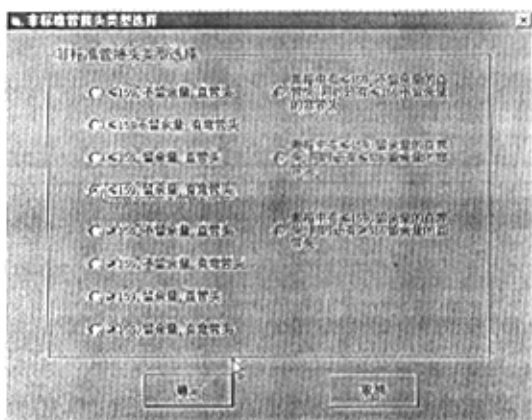


图 6-5 非标准管接头类型选择

Fig.6-5 Choose non-standard tube type

确定包含吊耳等附件，系统将弹出选择吊耳等附件是否包含钻孔工序的界面，如图 6-6 所示，选择有钻孔工序，点击确定按钮后，返回选择大型管道零件表界面。

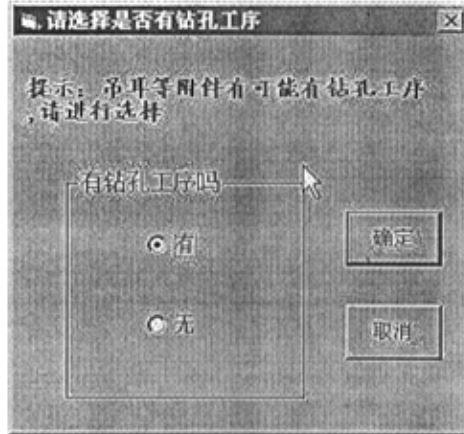


图 6-6 选择是否有钻孔工序
Fig.6-6 Choose drilling procedure

确定管道包含弯管（外协），接下来选择包含过渡管接头，系统弹出如图 6-7 所示界面，选择“卷制成形（非标准，非 P91 材料）”的过渡管接头，返回选择集箱零件界面。

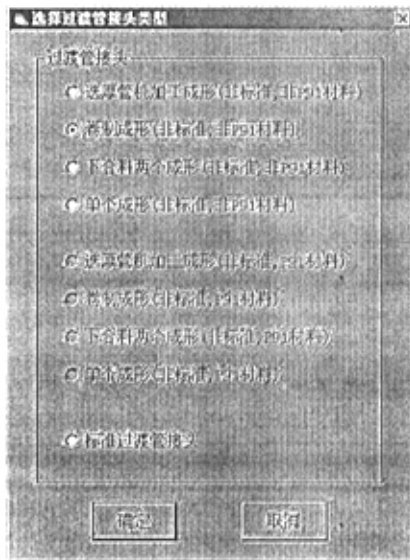


图 6-7 选择过渡管接头类型
Fig.6-7 Choose the type of transition tube

在“过渡管、弯头装焊选择”部分选择“管道与过渡管及弯头装焊”，在“管道类型选择”部分选择“仅包含大型管道”，则大型管道的零件类型就选择完毕。点击确定按钮，系统就根据前面确定的零件类型自动生成此大型管道的工艺文件。

6.1.3 工艺编辑

众所周知，零部件的工艺编制是非常复杂的，它会涉及到方方面面的情况。因此，在 B&W-ICWPS 中提供了在工艺文件生成后进行一定调整与修改的机会，以适应工艺编制的实际情况。在工艺文件管理界面上，点击“编辑工艺文件...”按钮进行工艺文件编辑（如图 6-8 所示）。可以对工序和工步进行增加、删除、移动工序等操作。

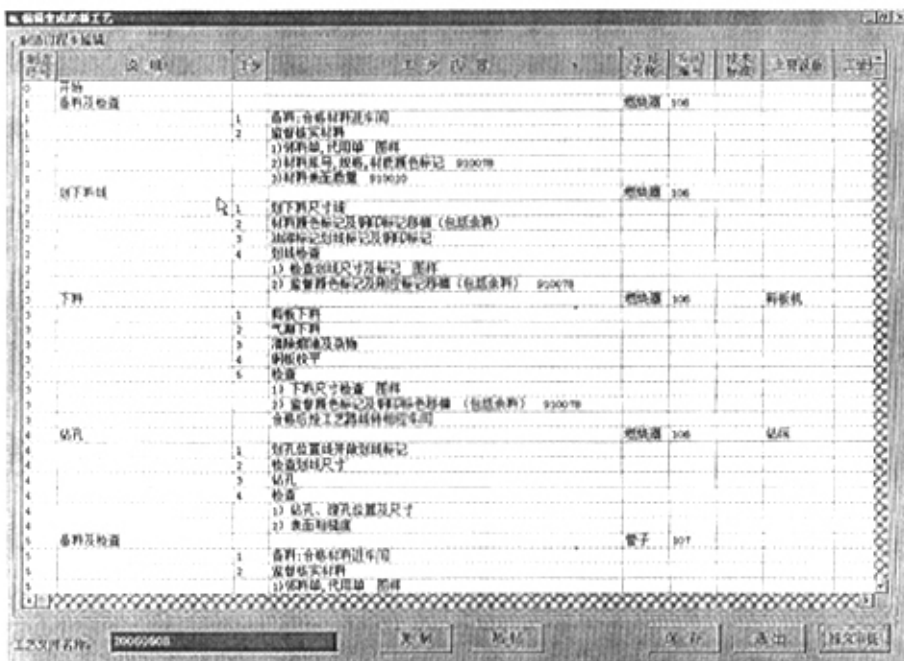


图 6-8 工艺文件编辑

Fig.6-8 Edit the technics file

6.1.4 工艺审核

工艺审核包括审核与批准两个步骤，其操作界面相同（工艺编制人员不具

有审核和批准工艺文件的权限，需要退出 B&W-ICWPS，然后用具有审核和批准权限的用户重新登录 B&W-ICWPS，才能对工艺文件进行审核和批准的操作)，如图 6-9 所示：

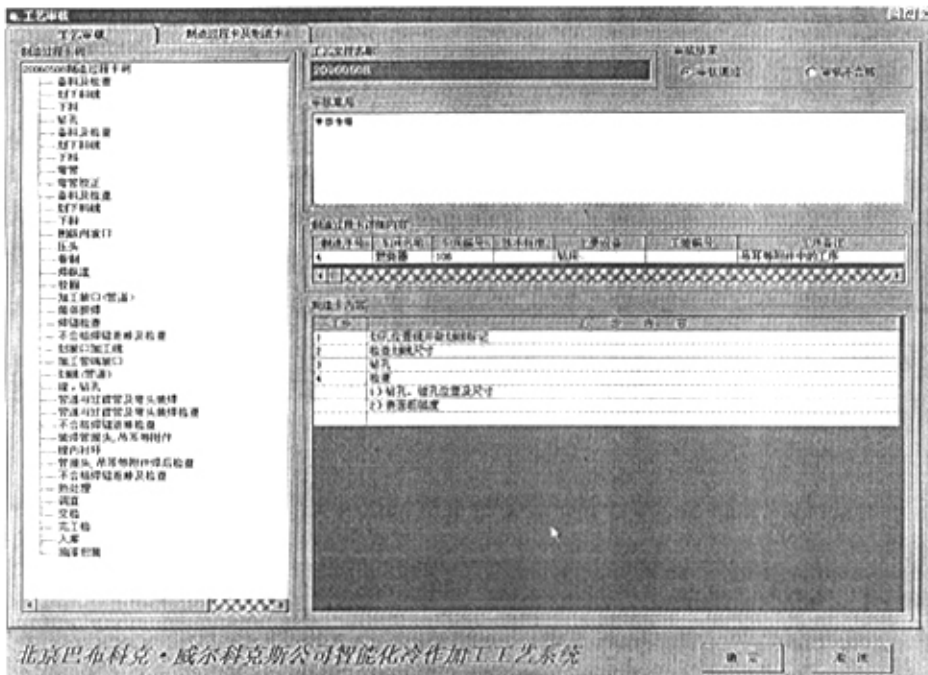


图 6-9 工艺文件审核

Fig.6-9 Check and authorize the technics file

6.1.5 打印和预览工艺卡

B&W-ICWPS 具有完善的打印和预览功能，能方便的预览和打印编制的工艺文件。图 6-10 所示为打印的一份制造过程卡（即制造工序卡，图示仅表示了工序卡的一部分），图 6-11 所示为一份打印的制造卡（即制造工步卡，图示仅表示了制造卡的一部分）。同时，还可以根据车间编号输出各个车间的制造过程卡，极大地方便了用户的操作。

编制日期:2006.5.8
Date.

制造过程卡
Manu. Card

共39页 第1页
Page of

过程卡编号 Proc. No.	70-G12461-5-0	产品名称 Prod. Name	B&WB-2028/17.4-M 锅炉	部件名称 Ser. No	再热器进口延伸段
工程号 Comp. Dwg	2006G9	产品图号 Comp. Name	G12400-0	部件图号 Prod. Dwg	G12461-5-0
说明 Note	主承制车间: 重容车间 (104)				

工序序号 Process. No	车间名称 Shop. Name	车间编号 Shop. No	工序名称 Desc
1	燃烧器	106	备料及检查
2	燃烧器	106	划下料线
3	燃烧器	106	下料
4	燃烧器	106	钻孔
5	管子	107	备料及检查
6	管子	107	划下料线
7	管子	107	下料
8	管子	107	弯管
9	管子	107	弯管校正
10	集箱	103	备料及检查

图 6-10 制造过程卡

Fig.6-10 The manufacture process card

编制日期:2006.5.8
Date.

制 造 卡
Manu. Card

共39页 第2页
Page of

过程卡编号 Proc. No	70-G12461-5-0	产品名称 Prod. Name	B&WB-2028/17.4-M 锅炉	部件名称 Ser. No	再热器进口延伸段
工程号 Comp. Dwg	2006G9	产品图号 Comp. Name	G12400-0	部件图号 Prod. Dwg	G12461-5-0
说明 Note	吊耳等附件备料				

工序序号 Process. No.	1	车间名称 Shop. Name	燃烧器	车间编号 Shop. No.	106	工序名称 Process. Name	备料及检查
技术标准 Tech. Stan	主要设备 Main. Equip.		工装编号 Tool. No		技术条件 Tech. Stan		
工步 No	1	内容 Step	工装名称 Tool. Name		工步说明 Step. Note		
	2	备料:合格材料进车间 监督核实材料 1) 邻料单,代用单 图样 2) 材料库号,规格,材质颜色标记 910078 3) 材料表面质量 910010					

图 6-11 制造过程卡

Fig.6-11 The manufacture card

6.2 本章小结

本章以大型管道这一部件的制造加工工艺设计为例,从用户登录、工艺生成、工艺编辑、工艺审核、打印预览工艺卡等几个方面,说明了 B&W-ICWPS 系统的使用过程,证明了由系统生成的工艺文件与实际情况相符,达到了设计要求。

结论

本文详细论述了 B&W-ICWPS 的构造方法及实现技术。在 B&W-ICWPS 的开发过程中,作者综合运用了软件工程、网络技术、数据库技术、专家系统等理论知识和开发技术,完成了从需求分析到详细设计的全部内容,并实现了 B&W-ICWPS 的主要功能。

本课题主要在以下几个方面进行了研究和实践。

(1) 采用专家系统进行冷作部件工艺编制,实现了基于工艺知识的工艺编制智能化;同时,利用知识管理人机交互界面,使知识库可以在实际应用中得到充实和完善,提高了专家系统的灵活性和实用性。

(2) 利用网络数据库技术设计 B&W-ICWPS 数据库,使 B&W-ICWPS 具有支持本地用户、远程用户同时共享数据的能力,并在此基础上设计了工艺文档的网络化查询、生成、审核、批准和打印功能。

(3) 在网络环境下,采用基于角色的访问控制机制,实现了多用户系统通用的权限管理,建立了基于自主型安全模式的用户级安全机制,使 B&W-ICWPS 既能最大限度地满足用户对共享数据的需求,又能确保系统安全。

(4) B&W-ICWPS 的开发以满足用户实际需求放在首要的位置,以实现巴威公司冷作部件制造工艺编制智能化、实用化为主要目标,使 B&W-ICWPS 具有良好的实用性和可维护性和可扩充性基本。

目前, B&W-ICWPS 已基本完成软件编制工作,经多次征求用户的意见,达到了设计目标,获得了巴威公司锅炉制造工艺编制人员的认同。

工艺过程的设计是个非常复杂的过程,所涉及的知识范围十分广泛,用到的信息量多,如何总结提炼这些知识和信息并规范的表达出来,使之成为专家系统可以有效利用的资源,是一项困难的工作。专家系统用到的推理规则需要从公司技术人员的经验中抽象出来,由于公司技术人员的经验水平所限和对这些经验的抽象总结可能不够合理,使专家系统推理机制的实现有一定的困难。因此,为了保证系统运行的性能,简化了一些复杂的规则。综上所述, B&W-ICWPS 的性能需要在实践应用中不断的改进和提高。

另外, B&W-ICWPS 为两层的 C/S 结构,虽然从实现系统的功能上来讲,两层结构有其简便之处,但从系统的维护、提高上来讲,这种两层结构有其局

限之处。因此, 本人对利用扩展性标识语言 (eXtensible Markup Language, XML) 建立三层的 C/S 结构进行了一些尝试性的研究。本人认为, 将 XML 技术应用于 CAPP 系统开发中, 建立三层的 C/S 结构, 将极大地方便系统的维护和改进, B&W-ICWPS 在这方面还有进一步提高的必要。

总之, 本课题建立了符合用户实际需求、用户使用方便、具有良好可扩充性与开放的数据接口、实现了工艺知识与工艺信息共享的智能化工艺 CAPP 系统。B&W-ICWPS 为工艺信息集成奠定了良好的基础, 必将促进巴威公司冷作工艺的标准化、规范化, 从而提高产品的质量, 降低产品成本。B&W-ICWPS 的研制, 对于实现锅炉冷作部件制造工艺编制的智能化和智能型 CAPP 系统的开发具有一定的理论意义和实际应用价值。

参考文献

- 1 苏艳红, 祝继辉. CAPP在企业的应用
- 2 李颖 温秋生. 企业工艺设计对CAPP系统的要求. 科技日报
- 3 陈旭, 刘加伶. Client/Server与Brower/Server结构的分析与比较. 重庆工学院学报. 2000, 14 (2): 100~103
- 4 程伍端. 客户端 / 服务器体系结构的应用与发展. 电脑知识与技术. 2005, 35: 79~80
- 5 赵金伟. 基于B/S模式体系结构的分析与开发. 宁夏科技. 2003, 5: 48
- 6 PAUL R.REED, JR. Developing Applications with Visual Basic and UML. Pearson Education. 2002:123~125
- 7 徐立, 吴明旺. Visual Basic 应用与开发案例教程. 清华大学出版社. 2005: 36~37
- 8 Michael J.Young. Visual C++ 从入门到精通. 电子工业出版社. 1999:1
- 9 微软公司 实现Microsoft Windows2000 Professional和Server 北京希望电子出版社2002: 230~237
- 10 刘遵仁, 于忠清. SQL Server 中文版基础教程培训教程. 人民邮电出版社. 2002:1~2
- 11 曹山河, 罗玉平, 夏巨谔. CAPP系统关系数据库的设计. 锻压技术. 2001, (5): 61~64
- 12 KongBo,Tao.Ruoping. ODBC in Client/Server Database Application Program Designing. Computer Developent, 2002 (5) :64~66
- 13 洪锡军, 邱浩波等. ADO数据存储技术. 计算机应用与软件: 2003 (1) :18~20
- 14 高峰霞, 廖彬山. Visual Basic 6.0 中文版提高与应用. 电子工业出版社. 2000:210
- 15 马玉祥, 武波. 专家系统. 电子科技大学出版社. 1994, 1~3.
- 16 戴同. CAD/CAPP/CAM基本教程. 机械工业出版社. 1997:103~104
- 17 谢晓芳, 姜震. 一种结合CLIPS和VC++开发专家系统的方法. 计算机系统应用. 2004 (12) :61
- 18 王大康, 刘永峰, 石亚宁. 智能化CAPP系统的工艺决策. 北京工业大学学报. 2003, 29 (2) :130
- 19 Wang Q., Zhu J.Y., Shu Y. Q. and Rao M.. An Intelligent Design Environment for Conceptual Process Design. Engineering Application of Artificial Intelligence. 2001 (2) :115~127

- 20 李桂青, 罗持久. 工程设计专家系统的原理与程序设计方法. 北京气象出版社, 1991: 86~95
- 21 马保国, 侯存军, 龙世宗, 钱方正, 王文丰. 新型干法窑结皮堵塞预警专家系统的设计. 武汉理工大学学报. 2006, 28 (1) : 42
- 22 郭栋. 基于知识的流程工业预警系统知识库浅探. 中国科技信息. 2006, (1) : 28
- 23 温艳东. 基于产生式规则的科技项目评估专家系统研究与实现. 东北大学硕士学位论文. 2004: 18~19
- 24 李文杰. 高炉冶炼专家系统知识库的建立. 武钢技术. 2005, 43 (2) : 45~46
- 25 焦海涛. 机械设计领域自然语言理解知识库构建研究. 西安电子科技大学硕士学位论文. 2004: 4~5
- 26 魏传锋, 李运泽, 王浚, 于涛. 航天器热故障诊断专家系统推理机的设计. 北京航空航天大学学报. 2005, 31 (1): 60~61
- 27 H.P.Wang, J.K.Li. Computer Aided Process Planning [M]. Welsevier Science Publishers, 2001 (8) : 60~65
- 28 Richard C. Leinecker. 专家系统概念和实例. 上海科学技术文献出版社, 1987
- 29 李金, 吕汉兴. 医疗诊断专家系统推理机的设计与实现. 微机发展. 2004, 14 (9): 43
- 30 罗明, 钟子发. 多源数据融合系统中基于知识处理的推理策略. 电讯技术. 2000 (3): 42~45
- 31 楚丽平, 杨麦顺, 刘晓东, 张丽霞, 张小娣. 小麦节水专家系统的推理机制. 计算机工程与应用. 2004, 40 (12): 216~219
- 32 赖经华. 南钢销售管理信息系统的设计与实现. 东北大学硕士学位论文. 2004: 27~28
- 33 刘晓晶. 汽车覆盖件冲压CAPP系统的研究. 哈尔滨理工大学硕士学位论文. 2003: 15~16
- 34 李劲, 谢兆阳. Microsoft SQL Server 2000 数据库设计与系统管理. 清华大学出版社. 2003: 117
- 35 操小春. SQL Server 2000 学习教程. 北京大学出版社. 2001: 140
- 36 Jeffrey Bane, Anil Desai, Craig Robinson. SQL Server 2000 Database Design. POST & TELECOMMUNICATIONS PRESS. 2002: 130
- 37 刘行亮, 邵平凡, 李勇华. 基于J2EE与存储过程的联合应用. 科技创业月刊. 2005, 10: 153~154
- 38 Michael Reilly, Michelle Poollet. SQL Server 2000 Design & T-SQL Programming.

Tsinghua University Press. 2002: 19

- 39 徐进, 姜世锋. SQL Server 2000 程序员指南. 北京希望电子出版社. 2000:256
- 40 王珊, 陈红. 数据库系统原理. 清华大学出版社,1998:20-30,110~124
- 41 David J.Kruglinski, Scot Wingo, George Shepherd. Programming Visual C++ 6.0 技术内幕 (第五版). 北京希望电脑出版社. 2002:550

攻读工学硕士学位期间所发表的学术论文

王大康，付文字，王顺起，杨申生. 专家系统技术在开发锅炉制造 CAPP 系统中的应用. 机械设计, 已录用

王大康，洪永，曹久梅，付文字. CAPP 工艺图形的自动生成. 机械设计

致谢

在此论文完成之际，本人谨对王大康教授与乔爱科副教授两位导师表示衷心的感谢和诚挚的敬意。王老师在学术上精益求精、一丝不苟的精神和工作中认真细致、求真务实的作风，让我倍受触动和激励。乔老师悉心的指导、诚恳的教诲和鼓励，使我受益匪浅。在攻读硕士三年的时间里，两位导师在学业生活的各个方面都给予了我很大的帮助，让我不仅在科研能力上有了较大的进步，而且学到了许多做人的道理。借此机会，再次对两位恩师表示深深的谢意！

在课题的研发过程中，得到了合作单位北京巴威公司孙宾生经理、劳军经理、姚诗梅工程师、朱宝龙工程师以及其他同志的大力帮助，在此深表谢意。

杨建峰、陈雷、王顺起、杨申生、李磊等同学在系统研发和论文撰写期间给予我大力的帮助和支持，在此表示衷心的感谢。

在研究生阶段的生活和学习中，张凯亮、张龙君、周玉、侯勃良等同学给予了我极大的支持、鼓励和帮助，在此对他们表示诚挚的谢意。

在此，更要感谢我的爱人王志敏，没有她三年来的大力支持，我是不可能完成三年的硕士阶段的学习，更不可能完成本文的写作。

最后，特别向我的父母表示深深的谢意，感谢父母的养育教诲，感谢父母的无私奉献。父母多年来无微不至的关怀和始终如一的支持，给予我无穷的力量和信心，是我今生不断前进的动力！