

第2章 滚磨光整加工数据库的建模方法和体系结构

现代集成制造系统（Contemporary Integrated Manufacturing System）是将信息技术、制造技术和现代管理技术相结合，并应用于企业全生命周期各个阶段，通过信息集成，过程优化及资源优化，实现物流、信息流、价值流的集成和优化运行，达到技术、人（组织及管理）和经营三要素的集成，以加强企业新产品开发的时间、质量、成本、服务和环境，从而提高企业的市场应变能力和竞争力^[76,77]。滚磨光整加工产业是典型的应用案例，体现了现代集成制造系统的几乎全部特征，其全局关联效应尤为明显。因此，构建滚磨光整加工数据库，将滚磨光整加工全产业链中各级企业生产应用中积累的大量实例进行数据规范并实现有效管理和应用，并进一步通过智能推理方法进行问题求解，将直接影响滚磨光整加工全产业链信息化、智能化的发展进程。构建数据库平台的过程中，建模方法和体系结构的研究是进行数据库平台的总体设计和详细设计、从而完成滚磨光整加工数据库的构建的基础。

2.1 滚磨光整加工工艺流程分析

随着滚磨光整加工行业市场的快速发展，产业链中各类数据信息井喷式增长，但行业应用中各级企业却表现出明显的信息匮乏。这种矛盾在制造业数字化、智能化的大潮流中显得格格不入，极大的制约了滚磨光整加工行业的发展。为明确滚磨光整加工全产业链各类信息特征，构建满足滚磨光整加工全产业链物料生产、设备研发、加工服务需求的数据库平台，需根据滚磨光整加工工艺流程特点，分析滚磨光整加工全产业链信息的特点、信息来源及信息流向，建立滚磨光整加工全产业链信息源模型，基于此模型构建滚磨光整加工数据库，建立信息标准、提取有效信息、建立信息规范，实现信息的行业共享与应用。

滚磨光整加工工艺过程复杂、流程长、环节多。以滚磨光整加工工艺应用为例，包括零件检查—零件加工前处理—滚磨光整加工—零件漂洗—零件加工后处理—加工后检查—零件存储，全过程各级加工工艺应用企业类型繁多，覆盖了从零件生产到零件应用，零件粗加工到零件精细加工等不同的应用企业，表现出定制化、批量化等复杂系统的时空多尺度特性。不同批次的零件加工需求存在加工前状态不一致、滚抛磨块和化学剂质量不一致，导致加工工艺的选择呈复杂化、非标准化，使得整个加工控制信息的管理过程也表现出多样化。滚磨光整加工工艺流程从市场人员获取零件需求开始，到零件加工方案的最终确定并投入批量生产，整个加工过程中存在多道工序，不仅有物理反应，同时也存在化学反应，加工工艺过程信息的管理极其繁琐和复杂。

综上所述，滚磨光整加工行业属于典型的混合型制造行业范畴^[78,79]。因此，在对滚磨光整加工工艺各类信息源进行建模之前，首先需要对滚磨光整加工的加工模式和工艺过程进行分析。

2.1.1 滚磨光整加工工艺过程信息资源

工艺过程信息源是指滚磨光整加工过程产生的各类信息资源，可以分为四类：即物料信息、滚磨设备信息、加工工艺信息和加工任务信息，如图 2-1 所示。

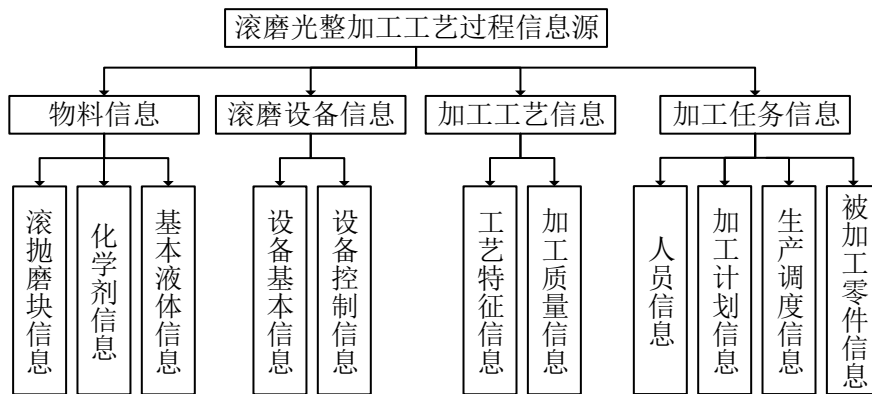


图 2-1 滚磨光整加工工艺过程信息源

Figure 2-1 Information source of barrel finishing process

物料信息主要指滚磨光整加工过程中所涉及的滚抛磨块信息、化学剂信息和基本液体信息。滚抛磨块信息指滚抛磨块的属性信息（如类型、材质等）；化学剂信息主要指在加工过程中促进或抑制磨削作用和精整作用，同时磨剂本身起化学反应，参与滚磨光整加工各工序的属性信息（如配剂类型、比例等）；基本液体信息主要指加工过程中发挥缓冲、冲洗作用（避免或减少零件与零件之间、零件与磨块之间、磨块与磨块之间的剧烈撞击、划痕、变形和破碎等）的属性信息（如液体硬度、pH 值等），以及相关信息的购置、存储和使用计划等。

滚磨设备信息主要指设备的基本属性信息和设备的控制信息。滚磨设备的基本信息是指根据其功能特点和适用范围所区分的属性信息（如设备类型、光整方式、适用范围等）；滚磨设备的控制信息是设备的控制参数，设备工作状态进行实时监测、分析和诊断，预防性维护等。

加工工艺信息主要指滚磨光整加工过程中的加工工艺特征信息和零件加工质量信息，主要涉及加工工艺的方案参数及实际加工参数，通过被加工零件的加工质量需求信息（如毛刺、表面粗糙度、光泽度等），实现加工质量的监控和管理，以保证被加工零件的表面质量要求。加工任务信息主要指生产执行系统发出的指令信息，例如加工任务涉及的技术人员信息、生产计划信息、生产调度信息和被加工零件信息。

2.1.2 滚磨光整加工工艺过程信息集成

滚磨光整加工工艺过程信息集成了产业链中不同类型的企业所汇集的各类数据信息，从物料信息到加工过程信息交互形成了一套工艺数据流，遍布加工过程的各个环节，关联不同的企业、企业中不同的部门。图 2-2 为滚磨光整加工数据库的信息集成的数据流，分为四个中心：基础信息中心、业务数据中心、数据采集中心和数据存储中心。

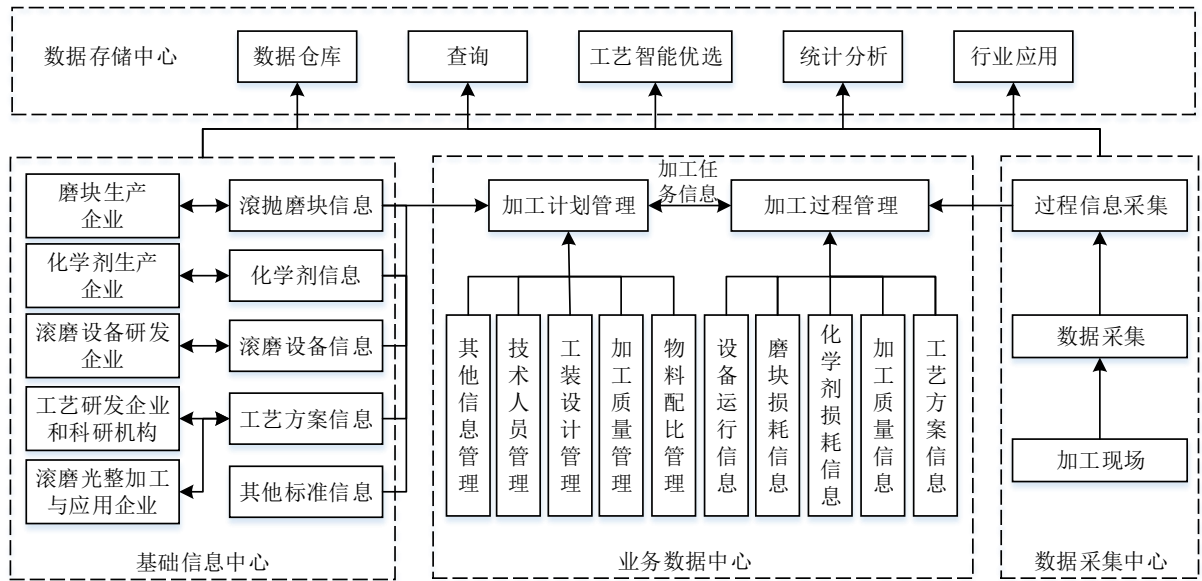


图 2-2 滚磨光整加工工艺过程信息集成的数据流

Figure 2-2 Data flow of information integration in barrel finishing process

以上四个中心通过系统集成接口实现滚磨光整加工过程从物料供应到光整技术应用等各个环节的高效集成，为滚磨光整加工全产业链信息共建共享提供平台支持。

2.2 面向数据库系统开发的建模表示方法

系统建模作为制造企业信息集成的决策支持工具和方法的集合，是信息系统开发的关键。使用最广泛的是面向结构的集成化计算机辅助制造的定义方法(ICAM Definition Method, IDEF)和面向对象的统一建模语言(Unified Modeling Language, UML)^[80-82]。

2.2.1 集成化计算机辅助制造的定义方法 IDEF

IDEF 方法是美国空军在集成计算机辅助制造 (Integrated Computer Aided Manufacturing, ICAM) 工程中以结构化分析方法为基础发展形成的一套系统分析和设计方法^[83]，是进行系统分析建模的最优图像表达方式。IDEF 共有 16 套方法，本文使用

的是最常用到的 IDEF0 和 IDEF1x。

IDEF0 对系统功能进行分解、分类实现功能描述和关系集成^[84]。图 2-3 为其表示方法，图中方框代表某活动，与方框连接的箭头表示由活动产生的或活动需要的信息或者对象，四个箭头分别是输入、控制、机制和输出，活动在控制和机制的作用下将输入转换为输出，控制说明其潜在影响因子，机制说明执行活动的人或设备，A0 表示流程 ID；IDEF1 用来描述企业运作过程中的重要信息；IDEF1x 可以辅助语义数据模型的设计，是 IDEF1 的扩展版本，改进了图形的表达并且增强语义，可用于概念模型设计，有一致性、可扩展性、简洁的特点。图 2-4 为 IDEF1x 基本模型的图形表示，元素组成包括实体（盒子表示）、实体之间的关系（连线表示）、实体的属性（盒子内的矩形文本表示）。

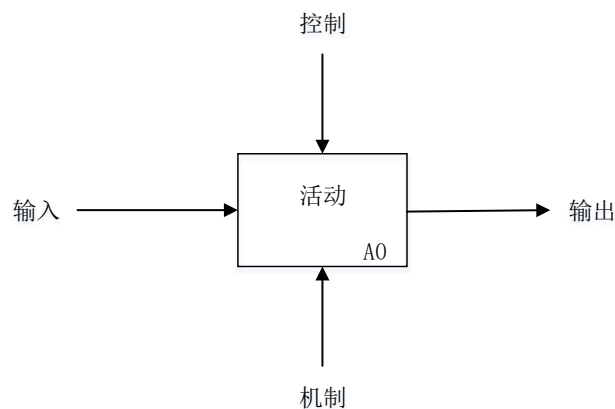


图 2-3 IDEF0 基本模型的图形表示

Figure 2-3 Graphical representation of the IDEF0 basic model

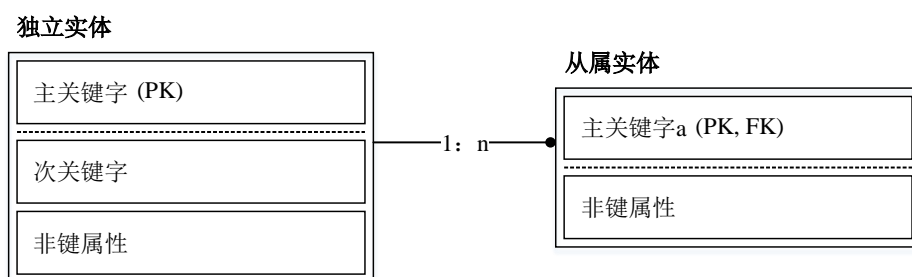


图 2-4 IDEF1x 基本模型的图形表示

Figure 2-4 Graphical representation of the IDEF1x basic model

IDEF0 方法用来描述系统或企业的功能和各功能之间的联系，并支持这些功能集成的数据。它采用自顶向下的结构方法来产生功能模型。可以灵活、清晰地对系统活动及活动之间的信息流进行建模。IDEF0 方法虽然很好地提供了活动分解的模型，但对信息

过程流建模存在不足,不支持过程描述。IDEF1x 是 IDEF1 模型的扩展,支持数据建模,用于描述系统信息及其联系,捕捉企业数据的逻辑关系,建立的模型可作为数据库设计的依据,是很好的数据库设计工具,但模型图中的符号有时无法清晰地映射其模型中的概念定义,建立的数据结构基本上是面向值或面向集合的,不能表达状态和操作信息。**这种局限性限制了它们在面向对象的系统设计中的应用。**

2.2.2 统一建模语言 UML

UML 是一种为面向对象系统的产品进行说明、可视化和编制文档的一种标准语言,由对象管理组织 (Object Management Group, OMG) 在 1997 年公布标准,是非专利的第三代建模和规约语言,具有强大且广泛的建模能力^[85]。UML 定义了 9 种模型图,为系统开发过程需求分析、系统设计等阶段提供建模支持,应用最广泛的是用例图和类图。

图 2-5 给出了 UML 用例图的表示,图中用例(椭圆表示)描述了角色在系统中承担的职责任务,用例从系统角色的角度对系统功能进行建模,表明了角色与系统如何交互来完成业务活动,包含完成这个业务活动的所有步骤。角色(人形图表示)和用例是关联关系,也就是角色参与到这个用例中,关联关系(直线表示,也使用带单向箭头的直线)用于连接角色和用例。用例和用例之间主要是包含关系(带“包含”标识和单向箭头的虚线)、扩展关系(带“扩展”标识和单向箭头的虚线)和泛化关系(带包含标识和单向空心箭头的直线),包含关系是指一个用例在执行过程中,会调用另外一个用例来完成相关任务,也就是在一个用例的内部包含了另外一个用例;扩展关系是一个用例对另一个用例功能的扩展;泛化关系是一个用例在活动执行过程中,要依赖另一个用例的执行,通常理解是继承的关系。

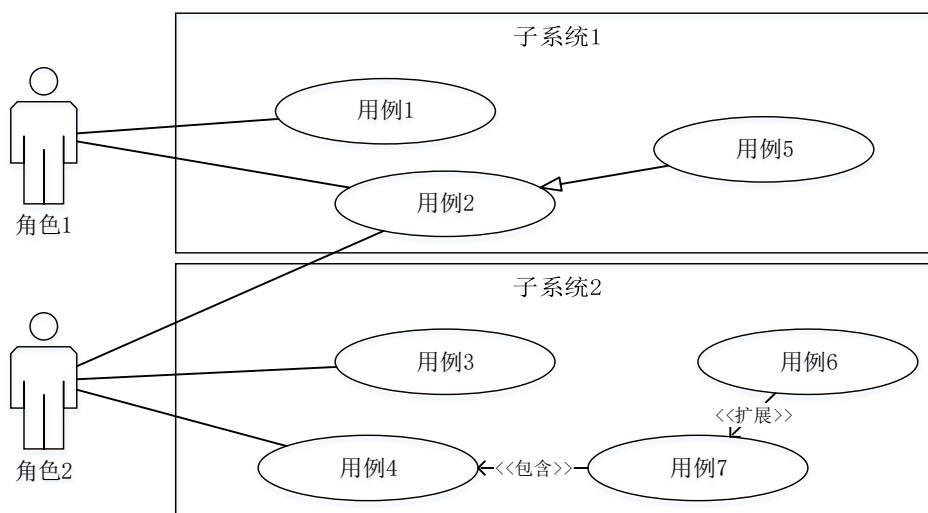


图 2-5 UML 用例图的表示

Figure 2-5 Representation of UML use case diagram

系统的建模工具主要根据类图进行代码开发，是数据库设计和开发阶段关注的焦点。类图显示了组类、接口、协作以及他们之间的关系，通过类来建模，通过编程语言构建类从而实现系统。图 2-6 为 UML 类图的表示，每个类包括类的名称、属性及操作方法，类之间的关系主要包括：依赖关系（带箭头的虚线表示）描述不同元素之间的应用依赖，泛化关系（带空心箭头的实线表示）描述了一般事物与该事物中的特殊种类之间的关系、关联关系（实线表示）表示两个类之间存在某种语义上的联系、实现关系（带空心箭头的虚线表示）用来规定接口和实现接口的类或组件之间的关系。

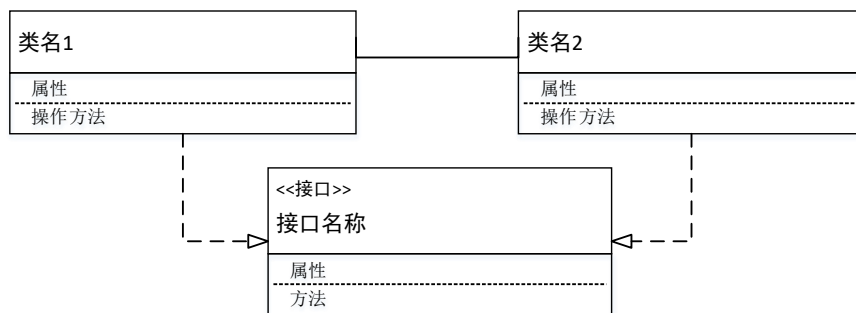


图 2-6 UML 类图的表示

Figure 2-6 Representation of UML class diagram

UML 建模语言全面体现了面向对象的设计思想，它贯穿于系统开发的需求分析、设计、构造以及测试等各个阶段，从而使得系统的开发标准化，同时具有很强的扩充性。但是 UML 是形式化的建模语言，缺乏精确的语义描述，并且要按照特定的设计模式（可以积累和重用设计知识）设计系统。

2.2.3 滚磨光整加工数据库建模方法需求

系统建模方法的研究是构建滚磨光整加工数据库的技术前提，是数据库系统开发面向软件工程的需求，也是全产业链中各级企业间信息交流和不同专业技术和知识交流的需求。

（1）产业链中不同专业技术和知识交流的需要

滚磨光整加工数据库需要数据库技术、滚磨光整加工工艺技术以及业务管理技术的深度融合。因此需要进行全面的调研和分析，与各级企业管理与技术人员沟通，充分调研和熟悉数据库平台开发和实施过程中所要涉及的企业组织信息、业务流程信息、工艺过程信息等。必须通过建立各类的组织模型、业务模型和工艺过程模型来为数据库构建提供支撑，从而实现各类业务知识在数据库平台中的有效兼容和交流。

（2）产业链中各级企业间信息交流的需要

滚磨光整加工全产业链上下游各级企业之间的协同合作表现的越来越明显，物料生产企业、技术研发机构和技术应用企业间的相互依赖性越来越强，而不对等的信息交流极大的制约了产业链的发展。因此，实现企业间信息交流的畅通是数据库设计的目的之一，这也迫切需要建立一套能完整描述产业链企业信息交互的系统建模框架，确保产业链数据流的畅通。

（3）数据库开发面向软件工程的需要

软件开发工程过程已不是简单的编码劳动，而是一整套解决业务和应用结合的复杂系统过程，是建模方法、工具和开发语言配合完成的工作。对业务过程和数据间逻辑的建模是完成系统开发前提。

综上所述，滚磨光整加工数据库的需求不仅针对加工生产的信息系统建模，而且需要对面向对象设计和知识表示方法建立模型。IDEF 模型从加工系统的角度出发，客观地揭示了加工过程的活动、联系和对象及其关系，并且清楚地表示了各个功能模块之间的信息输入输出关系，建立的模型易于理解，易于与用户交互。同时 UML 提供了可视化建模技术和面向对象技术的结合，因此，本文采用两者结合的方式构建滚磨光整加工数据库的建模方法。

2.3 滚磨光整加工数据库的建模方法

基于滚磨光整加工数据库建模方法的需求，考虑滚磨光整加工产业链中各级企业的复杂性，本文采用多种视图从不同角度进行系统建模，包括功能模型、组织模型、信息（数据）模型、知识模型和过程（控制）模型五种图形化描述方法。

（1）功能模型

系统采用“树状结构”和 IDEF0 结合的形式构建功能模型，通过描述系统各组成部分的功能以及功能之间的数据流图，表示数据值在不同的功能对象间的流向，在此基础上进行其他模型的设计。

（2）组织模型

系统组织模型对产业链中各类型企业及其内部机构、人员进行规范化描述，建立企业组织机构、人员及特定的单位间的逻辑关系。

（3）信息模型

系统信息模型从程序设计的角度描述对象数据关系及数据流，核心是对象、对象的属性和对象之间的关系，是联系系统各个功能模块的纽带。

（4）知识模型

本文构建的知识模型是整理滚磨光整加工工艺过程涉及到的各类数据信息，规范数

据结构和形式从而形成通用的数据集合。通过知识获取、知识选择、知识生成、知识内化和知识外化的系统流程构建为知识模型，获取知识资源并融入系统，达到从知识重用的角度描述滚磨光整加工工艺知识信息。

(5) 过程模型

系统过程模型是数据库其他模型的集成应用体现，通过事件的触发描述功能间的逻辑关系，展示各类数据的信息流向，形成滚磨光整加工工艺全流程图形化描述。它基于功能和组织模型，与信息模型的构建互相关联互相结合，是系统知识库构建的实现方式和途径。

图 2-7 为以过程模型为核心的滚磨光整加工数据库模型的集成关系。

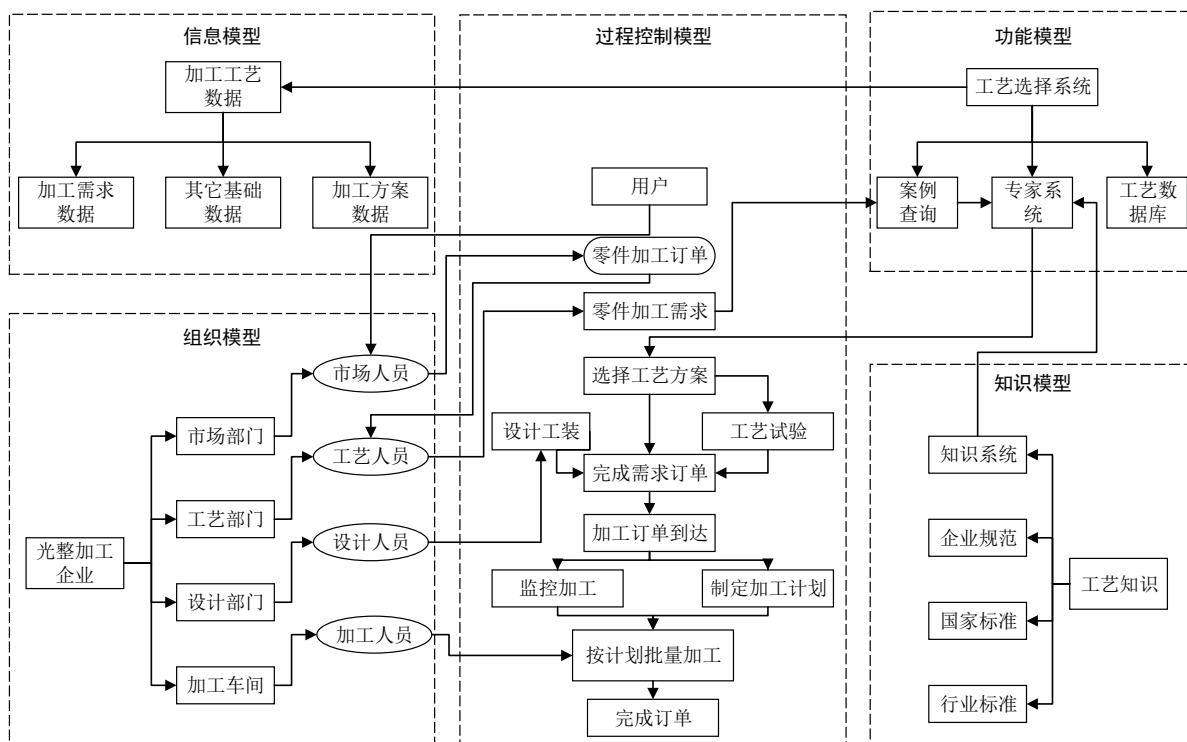


图 2-7 以过程模型为核心的滚磨光整加工数据库模型的集成关系

Figure 2-7 Integration relationship of database model of barrel finishing with process model as the core

2.3.1 滚磨光整加工数据库的功能模型

滚磨光整加工数据库采用功能树图与 IDEF0 图构建功能模型，可以清晰地反映滚磨光整数据库各个业务模块以及各个业务模块之间的逻辑关系。

(1) 功能树图简单直观，可完整清晰的表述和展示任意模块所要实现的系统功能，一张图中可以包含多个层次，是面向纯功能的。在实现滚磨光整加工数据库构建目标的过程中，以逐层分解的方法实现对功能的表示，图 2-8 为数据库平台功能模型。

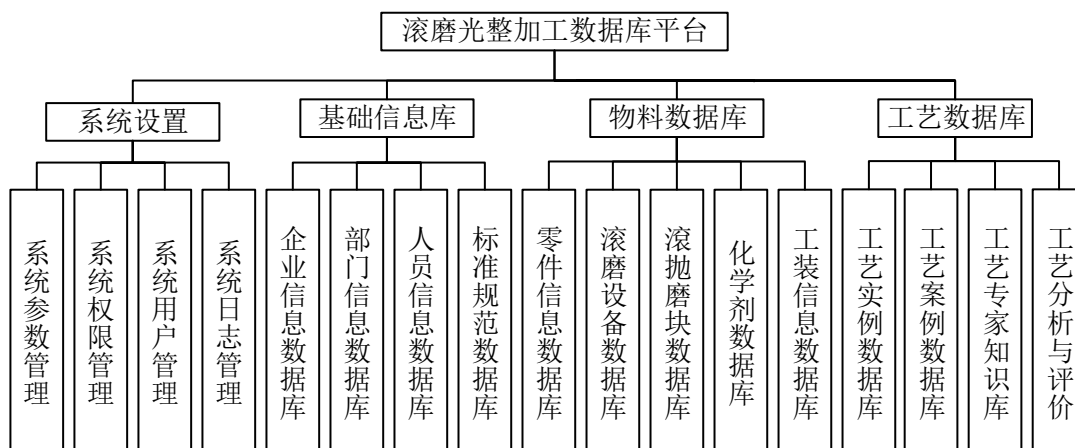


图 2-8 滚磨光整加工数据库功能模型

Figure 2-8 Function model of barrel finishing database

由图 2-8 可知，数据库平台由系统设置模块和基础信息库、物料数据库及工艺数据库三个子数据库组成。

1) 系统设置：该模块主要完成系统的管理。通过系统参数、系统权限、系统用户和系统日志四个管理模块组成，实现系统参数、权限、用户及日志的安全管理。

2) 基础信息库：该子库主要实现光整加工过程中各级组织信息和规范文档的基础数据信息的录入、维护与查询，同时作为其他数据子库的数据引用来源。子库中包括企业信息数据库、部门信息数据库、人员信息数据库、标准规范数据库。

3) 物料数据库：该子库包括零件信息数据库、滚磨设备数据库、滚抛磨块数据库、化学剂数据库和工装信息数据库。可实现滚磨光整加工工艺所涉及物料信息的数据规范化，完成产业链各级企业相关信息的收集入库和查询分析功能，同时也为工艺数据库提供标准格式数据。

4) 工艺数据库：包括工艺实例数据库、工艺案例数据库、工艺专家知识库和工艺分析与评价四部分。该子库用于存储科研机构的实验实例数据和企业的生产实例数据并实现数据的即时入库，并大量实例数据进行分析、进行数据规范以形成案例数据库，确保数据的统一性和准确性。同时平台还构建了专家知识库，实现专家经验的不断知识化并形成数据库供工艺优选。

(2) 功能树图简单直观地描述滚磨光整加工数据库平台的功能，但各个功能模块之间的信息关联无法展示出来。本文采用 IDEF₀ 图对功能树图进行补充，解决功能树模块间信息联系无法描述的问题，实现系统业务流程中的组织、资源、数据等信息的有效联系。通过建立各个功能模块间的关系模型实现功能模块的业务分解，清晰描述功能内部及与其他功能模块的数据逻辑关系。

滚磨光整加工工艺是基于生产实例构建的工艺数据结构，根据实例是加工要求和加工方案的结合，提出了实例参数模型，即将工艺过程中涉及的特征参数划分为输入参

数，控制参数，过程参数和输出参数，含义如下：

1) 输入参数是活动需要处理的数据，如被加工零件的**表面状态：毛刺、粗糙度和光亮度**。

2) 控制参数是指动态特征参数，可以改变这类型参数的值，如滚磨设备及其加工参数、滚抛磨块及其类型参数等。

3) **过程参数**是指加工过程中体现出来的特征参数，如滚抛磨块的磨耗、加工时间。

4) 输出参数指加工过程前三种参数互相作用后的结果，如粗糙度、毛刺、光亮度。

图 2-9 为滚磨光整加工工艺实例参数模型，将数据库具体功能模块和参数模型结合更直观的体现实例的**形成过程**，为数据库功能逻辑构建提供理论基础。

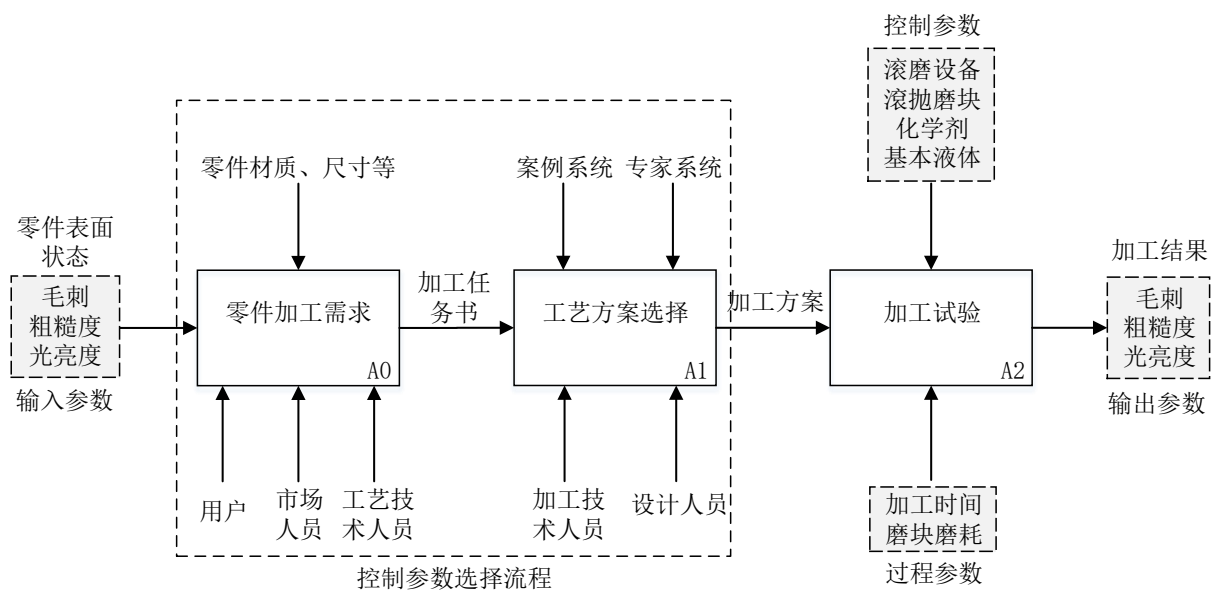


图 2-9 滚磨光整加工工艺实例参数模型

Figure 2-9 Parameter model of barrel finishing process

图中，流程 A0 为**零件加工需求功能模块**，用户提供的零件原始表面状态作为输入参数，如零件的毛刺、粗糙度和光亮度，市场人员根据用户加工需求分析并提交加工需求单，工艺技术人员经过分析后形成加工任务书；**流程 A1 为工艺方案选择功能模块**，根据任务书需求，通过融合递进的智能优选方法在工艺案例库和专家系统知识库中优选加工工艺案例，形成本次加工需求的加工方案；流程 **A2 为加工试验过程模块**，直接体现为针对输入参数，通过控制参数、过程参数形成输出参数的模型结构。

2.3.2 滚磨光整加工数据库的组织模型

滚磨光整加工产业链是由磨块生产、设备生产、光整加工等各类型不同企业组成，而各个企业又是由市场部门、设计部门、工艺部门和生产车间等多个部门组成，功能由不同部门实现。系统通过组织模型实现部门、功能之间的关系，进行企业组织模型的图

形化。此类型组织模型是滚磨光整加工数据库维表和实体表的设计的基础。因此。系统组织模型参考 **ARIS-Toolset 组织模型**，图 2-10 和图 2-11 为滚磨光整加工数据库组织模型，由单元、职位、员工和项目组四个对象。

(1) 单元是企业中某个具体工作环节的实体单元，如图 2-10 (a)，加工车间、工艺部门和市场部门分别为企业的其中一个组织单元，是企业组织机构组成的具体体现。

(2) 职位是对企业中其项具体工作描述的标识。如图 2-10 (b)，工艺主管和工艺人员在工艺部门中分别负责管理和技术研发，他们的职位代表了他们的工作性质，他们一起组成了工艺部门的组织结构。

(3) 员工是具体到的每个人员的信息，每个员工都有一个工号作为其在企业中的唯一标识。员工既可能属于某个单元，也可能担任某个职位。如图 2-11 (a) 所示，高某某、王某某均是员工，分别属于市场部门和技术部门，同时高某还担任市场主管职位。

(4) 项目组是因特定任务而临时组织起来的人员集合，在某一时间段内为一个单元，但往往是正式的组织单元。各个光整企业中均会有这样时效性强的临时单元进行具体项目的实施。如图 2-11 (b) 中的齿轮加工项目组，其成员可能来自于不同的部门，有不同职位的员工构成。

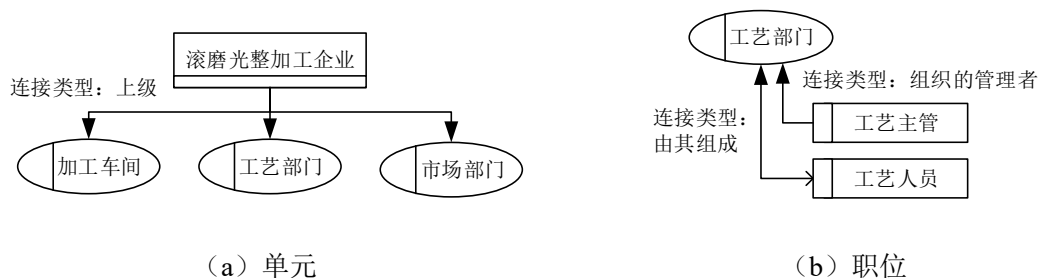


图 2-10 组织模型中的单元和职位

Figure 2-10 Organization unit and position in organization model

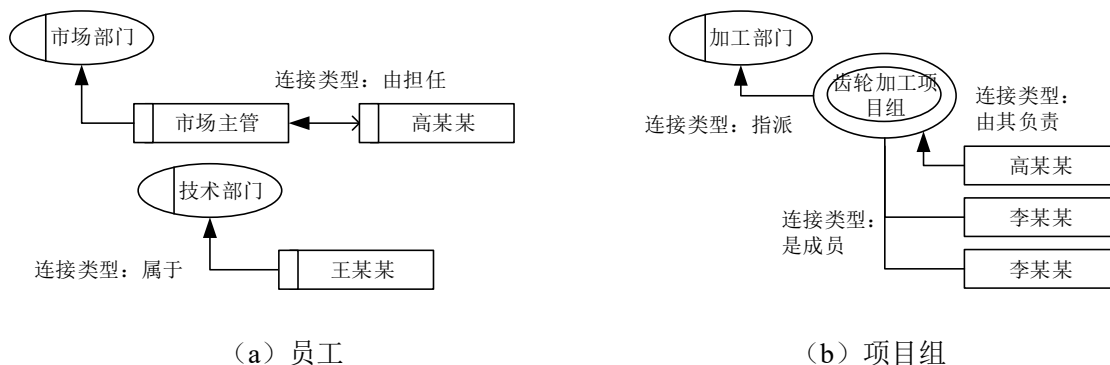


图 2-11 组织模型中的员工和项目组

Figure 2-11 Employee and project team in organization model

2.3.3 滚磨光整加工数据库的信息模型

根据实际加工过程中工艺方案的选择流程，确定滚磨光整加工数据库的信息模型。首先获取被加工零件的表面技术状态，包括加工前毛刺、粗糙度、硬度、光亮度、应力等。依据被加工零件总体尺寸和类型选定不同类别和结构参数的滚磨光整加工设备，依据零件材质、加工要求和零件表面技术状态确定滚抛磨块和化学剂，最后匹配加工过程中的基本液体和相关加工控制参数，其中包括滚抛磨块的类型、材质、大小和形状，化学剂的类型及用量，基本液体的合理选定，实际加工时设备运动参数及加工时间和过程循环控制也十分重要。通过这些复杂的工艺参数关系形成工艺方案，建立有效的信息模型。图 2-12 为滚磨光整加工数据库的信息模型。

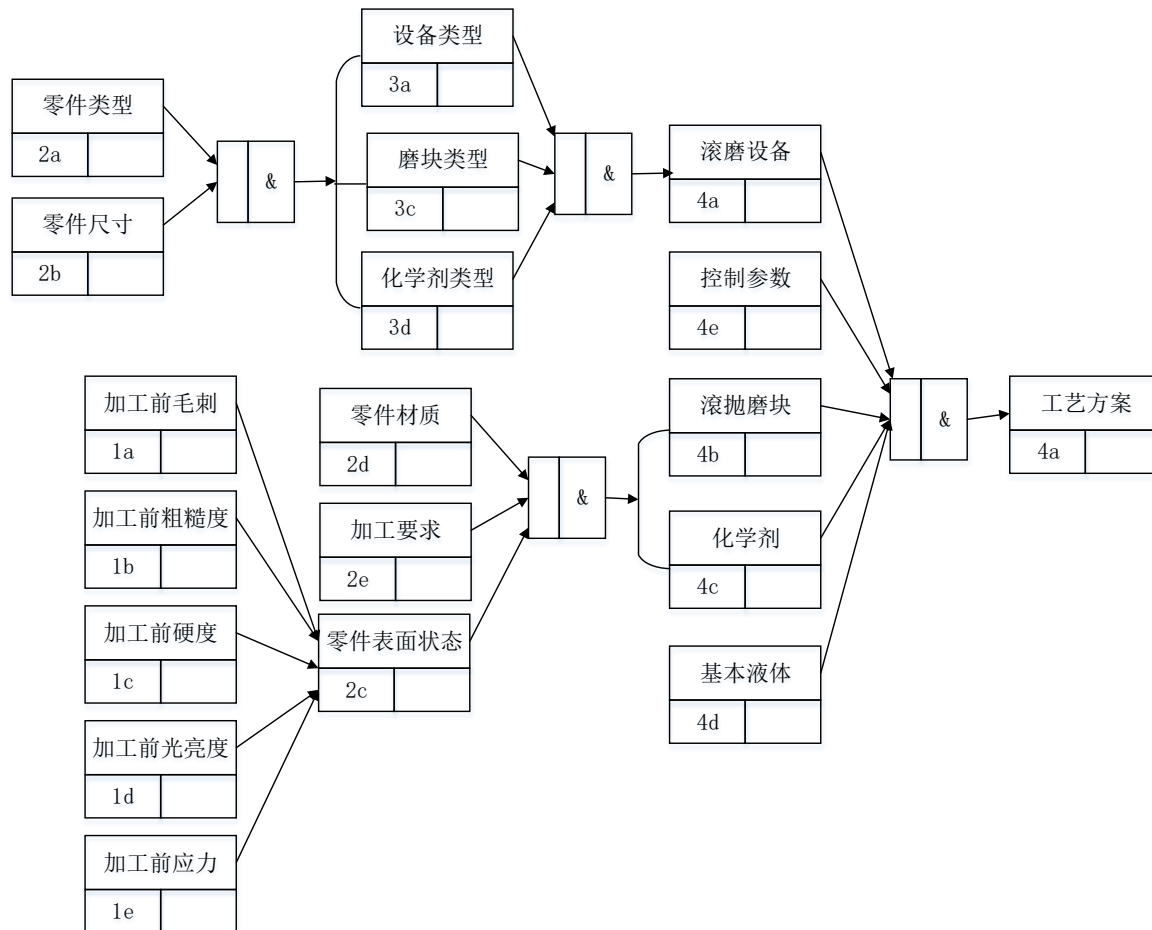


图 2-12 滚磨光整加工数据库的信息模型

Figure 2-12 Information model of barrel finishing database

结合滚磨光整加工工艺逻辑，并以规范化理论为指导，用模式分解方法对信息模型的关系模式进行规范化，形成逻辑结构，以基于主键 PK(Primary Key)和外键 FK(Foreign Key)约束来建立初始关联^[86]，定义所有表的主键和外键，维护关系数据库的完整性。

以基于工艺家族模式的被加工零件逻辑设计为例，图 2-13 为其物理结构模型。主键能确定一条记录的唯一标识，工艺家族表的一条记录包括工艺家族代码、名称、零件类型代码、使用部位、结构特征、材料和毛坯制备方法。工艺家族代码是唯一能确定被加工零件的工艺家族，其他都可能有重复，所以，工艺家族代码是主键。外键用于与另一张表的关联。是能够确定另一张表的记录的字段，用于保持数据的一致性。比如，加工技术要求表中的加工部位代码是加工部位表的主键，同时也是加工技术要求表的外键，用于与加工部位表的关联和保持数据的一致性。

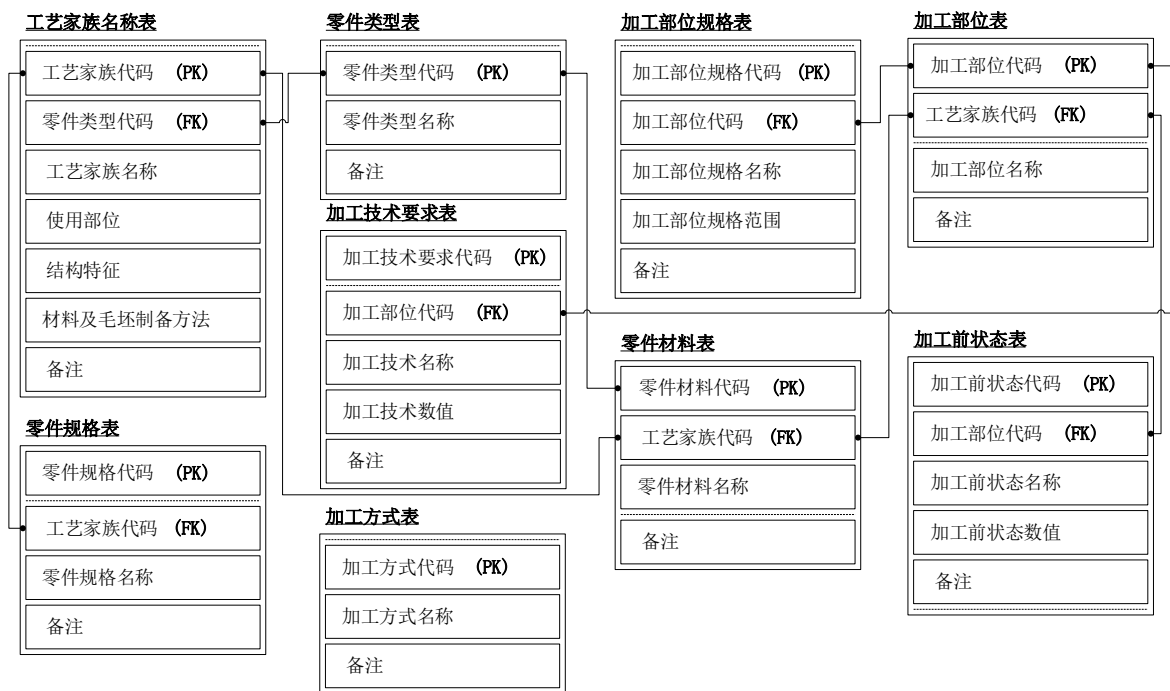


图 2-13 基于工艺家族模式的被加工零件物理结构模型

Figure 2-13 Physical structure model of machined parts based on process family pattern

2.3.4 滚磨光整加工数据库的知识模型

知识库是合理组织的关于某一特定领域的陈述型知识和过程型知识的集合，不仅仅是简单的数据堆积，而是由事实与经验结合产生的规则化描述^[87]。滚磨光整加工数据库提供的数据库主要是一个基于工序的工艺知识，其中包含了案例推理提供的案例和专家系统提供的规则。

滚磨光整加工数据库知识模型可以有效地实现增加工艺知识的储备，将企业生产经验和专家经验规则化为系统的知识库，使得工艺知识能够通过数据库平台被充分重用，

达到可识别性、统一性、开放性、易使用性、时变性和可实现性的效果。

滚磨光整加工数据库的构建过程中，采用知识语义网络作为知识模型的表示方法，实现各类数据如零件数据库、滚磨设备数据库、滚抛磨块数据库、化学剂数据库、工艺数据库等数据和知识的提供。图 2-14 为被加工零件的**知识语义网络**，IS-A 链表示不同结点间的具体和抽象关系，齿轮类和轴类是被加工零件的具体对象，同时轴类又是光轴的抽象；PART-OF 链表示部分和全体关系，被加工零件包含有内孔的零件，锥面轴类零件属于轴类零件的范围；IS 链表示一个结点是另一结点的属性。

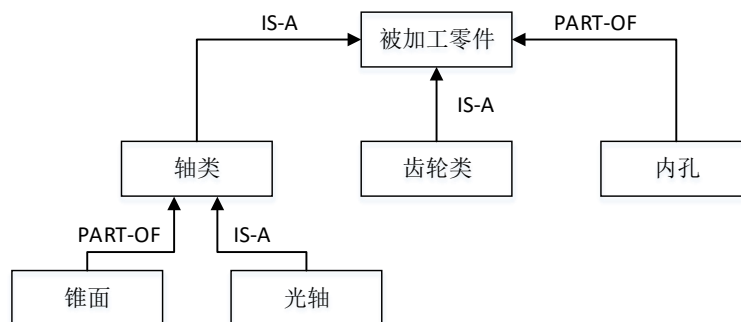


图 2-14 被加工零件的知识语义网络

Figure 2-14 Knowledge semantic network of machined parts

2.3.5 滚磨光整加工数据库的过程模型

滚磨光整加工数据库过程模型的核心是反映各个功能模块间的业务逻辑关系，其中包含了所有涉及的静态信息如组织、人员、物料数据，以及生产加工过程中产生的动态数据如各类加工及控制参数。建立逻辑清晰，业务明确的过程模型是数据库平台框架构建的基础，最终在数据库的逻辑层实现这些业务单元的关系集成。

过程模型的建模过程包含了其他所有模型中的元素，是整个数据库建模方法的衔接点，也是所有模型的展示点。滚磨光整加工数据库的过程模型由用户引发事件生成问题，通过各个组织机构中各级员工的操作，实现整体业务环节即各个功能模块间的有效逻辑关联，集合整个事件过程中的所有信息元素和知识元素，最终给出解决方案。

图 2-15 为滚磨光整加工数据库的过程模型，模型各个功能实体中存在着如企业及人员数据、物料数据和工艺知识数据等对象间的信息流通，也存在着这些对象之间的相互执行与被执行、控制与被控制的操作。

过程模型以数据库资源和零件加工要求为依据，通过输入被加工零件特征信息和加

工要求：即根据零件特征分类，按零件的家族类型、结构、规格、加工部位、光整前状态、光整后状态进行用户选择性的信息录入，之后在数据库中进行案例匹配，得到加工设备、加工介质和控制参数来实现工序模板的输出。模型中，根据零件信息及加工要求参数的特征进行工艺方案选择。在工艺选择过程中，利用检索信息从工艺数据库中检索并选择潜在的可用工艺方案并输出工序模板，形成成熟批产工艺，工艺人员参考工序模板进行工艺试验，将试验数据录入数据库平台。所设计的工序模板可一次提供多项设备、多种滚抛磨块和多类化学剂，实现多工步工艺，同时可对关键参数提出控制要求，满足不同用户的现场工艺能力情况。

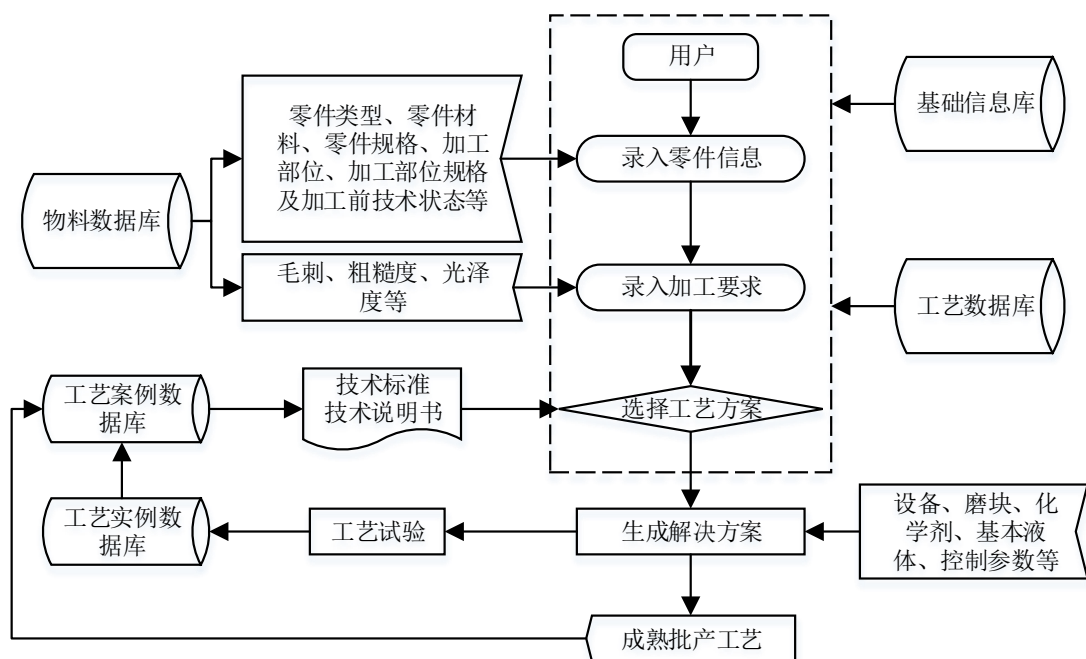


图 2-15 滚磨光整加工数据库的过程模型

Figure 2-15 Process model of barrel finishing database

2.4 滚磨光整加工数据库的体系结构

制造业信息化方面最著名的两个体系结构是计算机集成制造开放系统体系结构（Open System Architecture for Computer Integrated Manufacturing, CIM-OSA）和集成信息系统体系结构（Architecture of Integrated Information Systems, ARIS）。

（1）CIM-OSA 是欧共体的 21 家公司和大学组成的 ESPRIT-AMICE 组织经过六年多的努力开发出的一个开放体系结构。图 2-16 为 CIM-OSA 体系结构示意图，从三个不同的维度对集成制造体系进行了描述。“推导过程”和“具体化过程”互相结合，构建

了需求定义层（包括通用需求、部分通用需求和专用需求模块的概念逐步细化过程），设计说明层（包括通用设计、部分通用设计和专用设计模块的概念逐步细化过程）和实施描述层（包括通用实施、部分通用实施和专用实施模块的概念逐步细化过程）。“生成过程”从企业的角度构建了组织、资源、信息、功能四个不同视图。

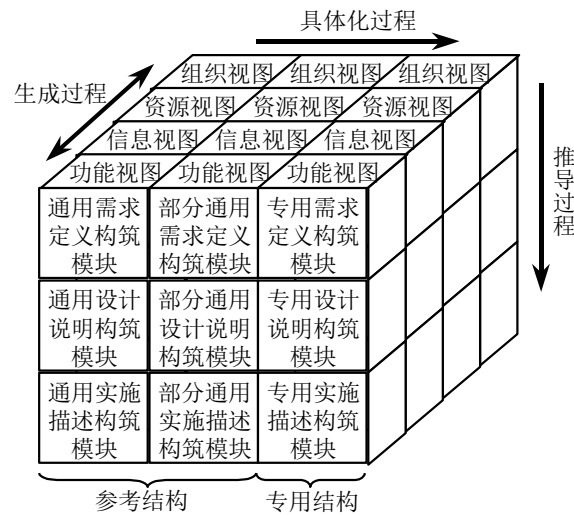


图 2-16 CIM-OSA 体系结构

Figure 2-16 CIM-OSA architecture

（2）ARIS 是由德国 Saarland 大学 A.W.Scheer 教授于 1992 年提出的国际上最具影响力的企业建模体系结构，称为 ARIS 房式模型。图 2-17 为模型示意图，从系统的功能构成、组织单元关系、环境信息及功能模块的动态联系方面，描述了其基于企业的建模体系。

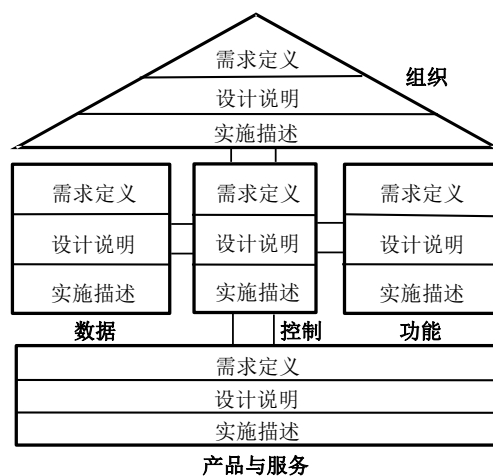


图 2-17 ARIS 房式模型

Figure 2-17 Aris house model

滚磨光整加工产业链的发展面临经济全球化和制造智能化的冲击，行业迫切需要建立适合本产业链的建模参考体系结构，以提高各级企业信息化的效率和质量；实现滚磨光整加工数据库平台应用从单个企业内的集成扩展到整个产业链间的集成，从面向功能的集成扩展到面向过程的集成，从面向信息的集成扩展到面向知识的集成。

基于滚磨光整加工产业链的现状、产业需求和对数据库平台智能化应用研发的要求，参考 CIM-OSA 体系结构和 ARIS 房式模型^[88-90]，本文对滚磨光整加工数据库构建的建模方法进行了集成和完善，参考应用 L³ 型体系结构框架建立了数据库三层体系结构，每一层分为空间维和时间维，如图 2-18 所示。

第一层是滚磨光整加工数据库的视图层。空间维由系统功能模型和组织模型两种静态建模方法的图形化描述实现，时间维由系统过程模型和信息模型两种动态建模方法实现。通过这两个维度的结合构建了滚磨光整加工数据库的数据逻辑关系层。

第二层是滚磨光整加工数据库的建模方法层。空间维定位于参考和完善滚磨光整加工的行业模型，基于企业模型-行业模型-制造业模型-工业模型的逐步扩展学习与推广思路，实现本层的构建。时间维从软件开发的角度的需求为出发点，描述了数据库平台建模分阶段实施的具体实现流程，最终体现为系统应用的评价。

第三层是滚磨光整加工数据库的模型应用层，这是数据库应用的终端，直面产业链中的各级企业，企业间的集成体现为通过系统实现企业生产信息的共建共享，过程集成描述了围绕滚磨光整加工技术应用产生的业务流程信息化和工艺过程的智能化应用。

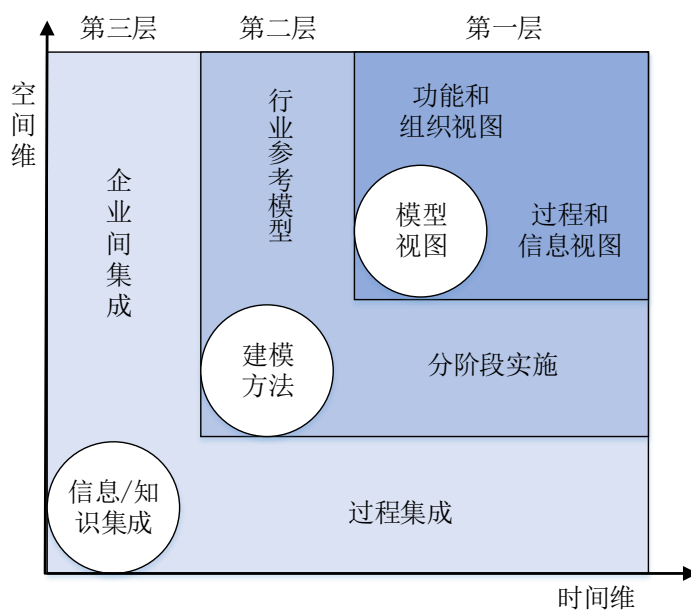


图 2-18 滚磨光整加工数据库三层体系结构^[90]

Figure 2-18 Three layer architecture of barrel finishing database^[90]

2.4.1 滚磨光整加工数据库的视图层

滚磨光整加工数据库体系结构的第一个层次，即视图层（图形化表示方法）。视图层中包括空间维和时间维。在系统的建模设计中，在建立空间维的视图的基础上，基于时间维逐步细化的方式构建模型。如图 2-19 所示，面向空间维的视图属于静态视图，包括功能模型视图和组织模型视图，展示功能对象、组织结构的各个组成元素与业务流程之间的逻辑关系。面向时间维的视图属于动态视图，包括过程模型视图和信息模型视图，描述滚磨光整加工工艺过程中用到的数据对象在时间流中的业务逻辑关系。

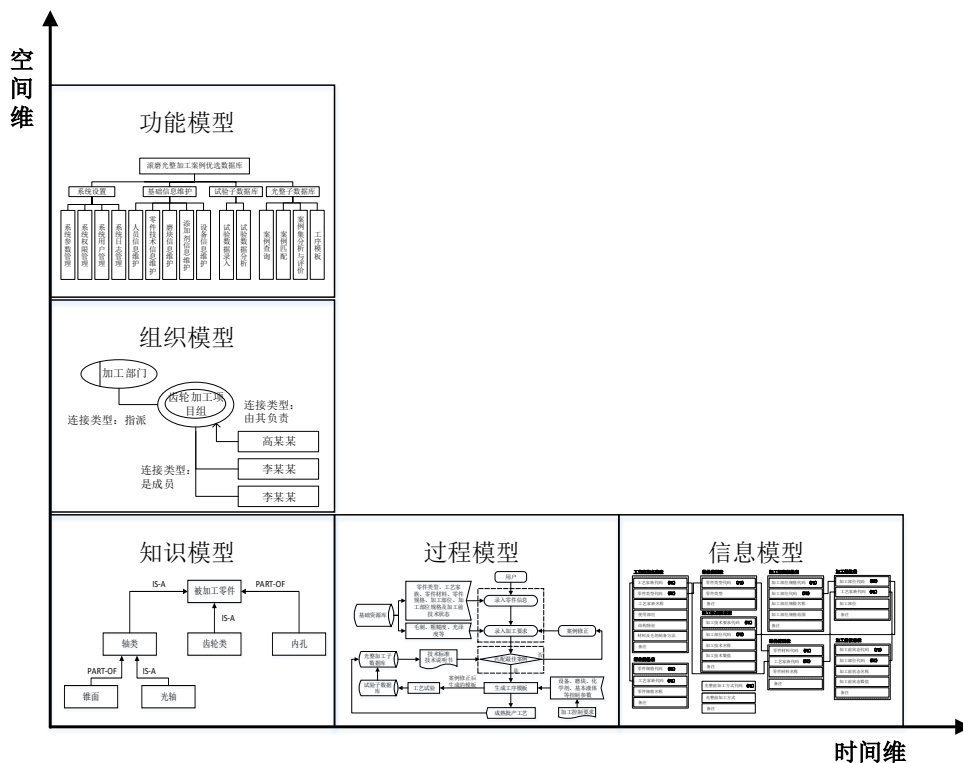


图 2-19 滚磨光整加工数据库体系结构的视图层

Figure 2-19 View layer of barrel finishing database architecture

2.4.2 滚磨光整加工数据库的方法层

滚磨光整加工数据库的构建基于产业链各级企业信息的交叉融合，面对着不同类型的企业的特定需求，数据库平台需要将复杂的关系逻辑化。基于系统的建模方法，从空间维和时间维分别构建，图 2-20 为滚磨光整加工数据库体系结构的方法层。

(1) 空间维的建模过程

滚磨光整加工数据库在构建时，充分参考流行的体系结构(如 CIM-OSA、ARIS 等)，在建立数据库知识模型时，采用逐级分析不同企业需求的方式，分析构建企业专用模型，

并逐层参考行业、制造业和工业和通用模型，从建模之初就充分考虑系统的普适性和扩展性，避免后续开发过程中因考虑不周导致的各种问题。

（2）时间维的建模过程

滚磨光整加工数据库建模进行分阶段实施方式，包括需求分析、总体设计、详细设计、系统实施、系统应用和系统评价六个具体步骤，涵盖了系统实施的全部过程。首先进行滚磨光整加工产业需求调研，然后进行系统总体设计，接着按照详细设计的企业模型选择商品化、成熟度高的数据库管理系统和开发环境和编程语言进行系统实施，经过测试部署以满足企业的应用需求。在系统评价阶段，通过系统的行业应用和部分企业的典型实施，根据应用反馈对数据库平台进行使用 and 性能方面的评价，逐步改进和完善系统。

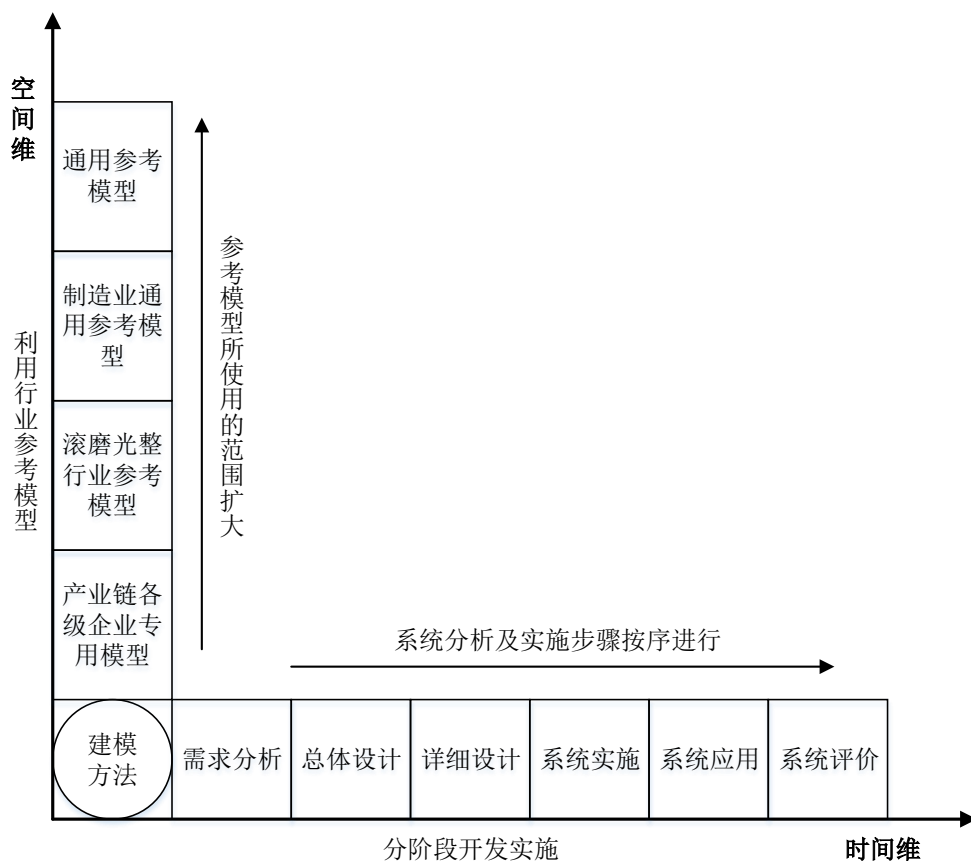


图 2-20 滚磨光整加工数据库体系结构的方法层

Figure 2-20 Method layer of barrel finishing database architecture

2.4.3 滚磨光整加工数据库的应用层

基于滚磨光整加工产业链中各类产品的信息流交互，应用层在空间维建立数据关系，

在时间维通过滚磨光整加工各个具体工艺过程的规范实施和信息收集，将模型的应用和服务范围进行逐级扩展，最终实现知识系统的集成。图 2-21 为应用层结构示意图。

应用层中，空间维的企业间工艺产品链的关系集成向整个产业供应链的集成拓展，各类信息系统的集成最终实现知识系统的集成，集成范围不断拓宽。时间维上，基于信息/知识的集成思路，将各个业务流程信息化、工艺数据信息化，逐步实现工艺设计过程管理和加工过程管理的信息化，在此基础上构建加工质量管理体系并最终实现对产业链的服务。

空间维包含所有涉及的企业、产品及工艺，时间维是业务过程信息化的逻辑步骤，实现人和制造系统的连接，并体现为软件系统的互联网服务。这两个维度通过信息和知识的集成联系在一起，实现了人、资源和程序的有效结合。

时间维是业务流程数据、工艺数据、设计过程管理数据、加工过程管理数据、加工质量管理数据的集成，需要各类生产信息系统的逐步对接，最终体现为数据库平台的信息集成，向产业链中的企业提供相应的数据服务和知识共享，逐步实现产业链工艺体系的标准化。

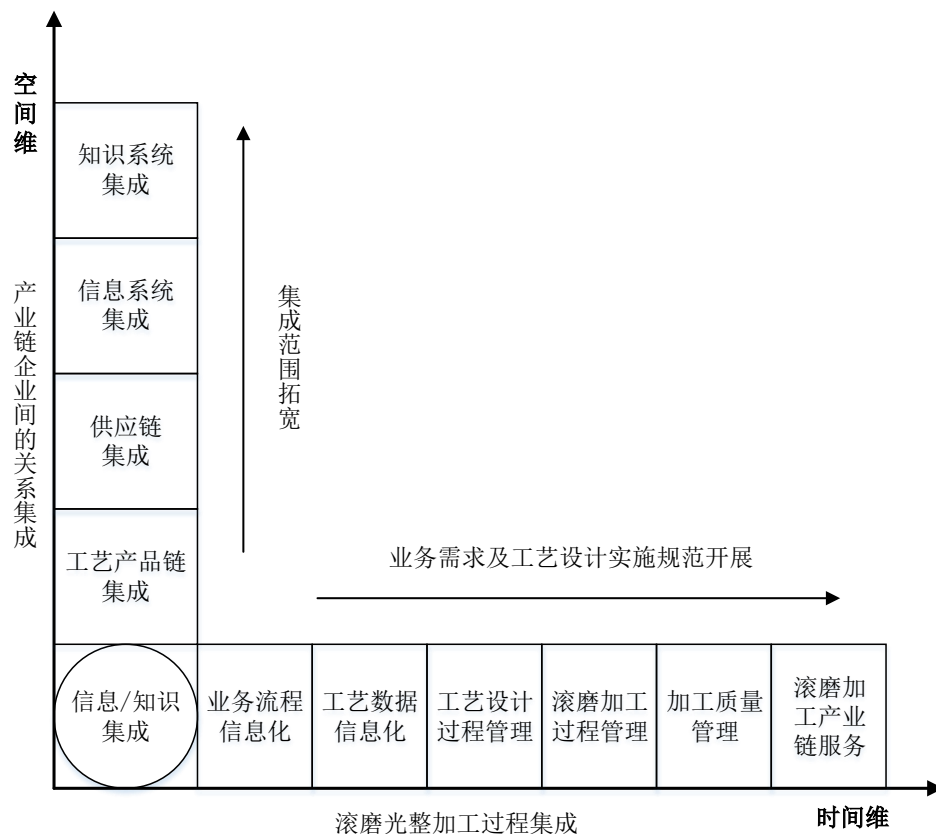


图 2-21 滚磨光整加工数据库体系结构的应用层

Figure 2-21 Application layer of barrel finishing database architecture

2.5 本章小结

本章通过对滚磨光整加工工艺流程信息资源和现有建模方法进行分析,提出了滚磨光整数据库的设计模型,实现了全产业链中各级企业市场人员、技术人员和工艺应用客户的信息沟通和知识转移关系。同时在分析制造业信息化系统开发过程的基础上,结合滚磨光整加工数据库平台的系统建模方法,建立了滚磨光整加工数据库平台的体系结构。

主要结论如下:

(1) 构建滚磨光整加工工艺过程信息集成模型。分析滚磨光整加工全产业链信息的特点、信息来源及信息流向,确定了滚磨光整加工全产业链信息源模型,简化了系统建模的复杂性,建立了基于滚磨光整加工工艺过程的信息集成模型,实现基础信息中心、业务数据中心、数据采集中心和数据存储中心四个中心高效集成。

(2) 确定滚磨光整加工数据库建模方法的需求。基于滚磨光整加工业务过程、信息系统建模、数据库平台开发、面向对象设计和知识表示的需求,采用 IDEF 方法和 UML 语言构建系统模型以实现产业链中不同专业技术和知识交流、数据库开发面向软件工程和各级企业间信息交流的不同需求。

(3) 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。以工艺的过程模型为核心,建立了数据库模型的集成关系。

(4) 工艺实例的参数模型。采用 IDEF₀ 图克服功能树图所描述的信息量太少的问題,对复杂的功能进一步分解为简单的功能,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四类。

(5) 建立了滚磨光整加工数据库平台的体系结构。在分析 CIM-OSA 和 ARIS 两种体系结构和滚磨光整加工系统的基础上,参考 L³ 型体系结构框架建立了滚磨光整加工数据库的三层体系结构,分为视图层、方法层和应用层,并将每一层分为空间维和时间维。

