

生产作业计划问题的知识表示研究<sup>①</sup>

胡祥培<sup>②</sup> 修立军 杨德礼  
(哈尔滨工业大学管理学院) (大连理工大学系统工程研究所)

**【摘要】**根据生产作业计划问题的特点,引入人工智能与知识工程的知识表示理论,以提高生产作业计划编制方法及其软件系统的动态适应性为目标,以解决工艺流程、产品构成图等符号化知识在计算机中的表示以及问题的辨识处理和信息的扩充为突破口,提出一种基于知识的生产作业计划问题的树状表示法,设计建立相应的问题知识表示支持系统,为建立面向动态环境的生产作业计划编制系统奠定研究基础,有利于深化生产过程实时控制与生产调度研究。

**关键词:**生产作业计划,问题知识表示,知识工程,人工智能

**分类号:**F406.2

## 0 引言

生产作业计划在指导和指挥企业日常生产活动中起着十分重要的作用.生产作业计划制定的好坏直接关系到企业的人财物力资源能否得到合理的利用,从而影响到企业的生产、经营和管理效率.生产作业计划问题(scheduling)是指在满足企业现有的生产条件下,在产品生产期内,合理安排计划期内各个生产单位或加工单元的生产活动,合理安排产品的加工路径,以实现企业的生产经营目标.

近年来,生产作业计划问题越来越受到企业界和学术界的关注.在企业界,随着国内外市场产品竞争的日趋激烈,众多企业先后引进复杂的、资金密集型的制造系统,如柔性制造系统(FMS)和计算机集成制造系统(CMIS)等,这为生产作业计划注入了新的内容,使得生产作业计划的研究超出了传统的生产管理的研究范畴.在学术界,国内外学者和研究开发机构综合运用生产管理、运筹学、工业工程、控制理论、人工智能、系统仿真、计算机科学等学科理论,在编制生产作业计划的理论方法及其应用软件系统等方面已取得了大量的

研究成果,并在大量大批生产类型的企业得到了实际应用,取得了明显的成效.但是,对于单件小批量生产的企业,由于产品品种多、结构复杂,现有的生产作业计划编制方法及其计算机软件系统还很难适应复杂多变的客观生产条件和环境,国内外单件小批量生产企业的生产作业计划编制工作至今还只能由有经验的管理人员通过笔、纸、以及图表再加上他们的经验和知识来完成的.由于单件小批生产这种生产类型在生产企业中占有相当大的比重,而且随着市场竞争的加剧,产品生产呈现出逐步向小批量多批次方向发展的趋势.因此,如何使生产计划的编制方法及其计算机软件系统适应客观条件的动态变化,这是一个急待解决的难点问题,不仅受到学术界以及企业界普遍关注,而且正在投入大量的资金和研究力量进行深入研究.

纵观国内外生产作业计划领域的研究,其解决问题的主要思路可以概括为:由生产作业计划的实际问题抽象为相应的数学模型,将数学模型在计算机中进行表示和描述,并进行相应的扩充和系统开发,形成编制生产作业计划问题的计算机软件系统或生产过程的控制与调度系统.这是一种以数学模型为基础的软件系统,称之为基于

① 国家自然科学基金资助项目(79770022和79400006)、中国博士后基金资助项目(第20批)、辽宁省博士科研启动基金资助项目(960076)  
② 胡祥培,教授,大连理工大学系统工程研究所博士后,研究方向:智能运筹学与动态系统实时最优控制.通讯地址:大连理工大学系统工程研究所.邮政编码:116024. E-mail: drhxp@dlut.edu.cn.  
本文1998年12月9日收到.

模型的系统,这一类系统难以适应动态的环境,对于客观存在的“客观条件的变化→数学模型的变化→求解程序以及软件系统的变化”这一连锁反应无能为力,因而只能解决静态问题.为了提高系统对动态环境的适应能力,必须改变软件系统的建造方式与建造基础,由基于模型的系统改变为基于问题的系统,把此类软件系统由原来的面向数学模型变为面向生产作业计划的实际问题,使解决生产作业计划问题的思路变为:根据生产作业计划的实际问题由计算机自动生成该问题的数学模型,然后调用相应的求解程序求解出最优的生产计划或控制策略,指挥和指导生产过程,并进行生产过程的控制与调度.当然,按此思路解决生产计划问题需要在计算机上实现由生产作业计划的实际问题→实际问题的知识化信息模型→知识化数学模型→知识化求解模型的转化与生成过程.其中,生产作业计划问题在计算机中的表示是建造面向问题的软件系统的基础和关键环节,为了使该系统具有基于知识的推理能力和动态的环境适应能力,生产作业计划问题在计算机中的表示方法必须基于知识,这就需要找出一种适合于生产作业计划问题的知识表示方法,即生产作业计划问题知识表示法.所谓知识表示是一组用于描述知识对象的语法和语义上的约定.问题的知识表示就是以实际问题为知识对象,将实际问题的有关知识(数据或符号化知识)在知识系统的全

局数据库 GDB 和规则库 RB 等结构上所进行的映射.通俗地说问题的知识表示就是用人工智能与知识工程的知识表示理论对实际问题知识所进行的描述.虽然在人工智能与知识工程领域有逻辑、语义网、过程以及框架等知识表示方法,国内外学者近年来也提出以实体(entity)—属性(attribute)—子属性(subattribute)所构成的层次化体系表示问题的方法<sup>[3]</sup>以及基于语义模型的问题描述语言 SM-IPDL<sup>[4]</sup>等,但是它们还难于表示生产计划问题所涉及的树状结构图、工艺流程等符号化知识.因此,还需要结合生产作业计划问题的特点来深入研究其知识表示问题.

## 1 生产作业计划问题的知识表示方法

### 1.1 问题知识表示的树状表示法

实际问题在计算机中的表示方法,与信息结构特征密切相关.它应该达到这样的要求:问题易于辨识、信息易于扩充和修改,并便于实现快速的信息搜索与基于知识的推理.对于某些具有层次化树状信息结构特征的实际问题,作者提出一种基于知识的树状表示法加以描述,其原理如下:

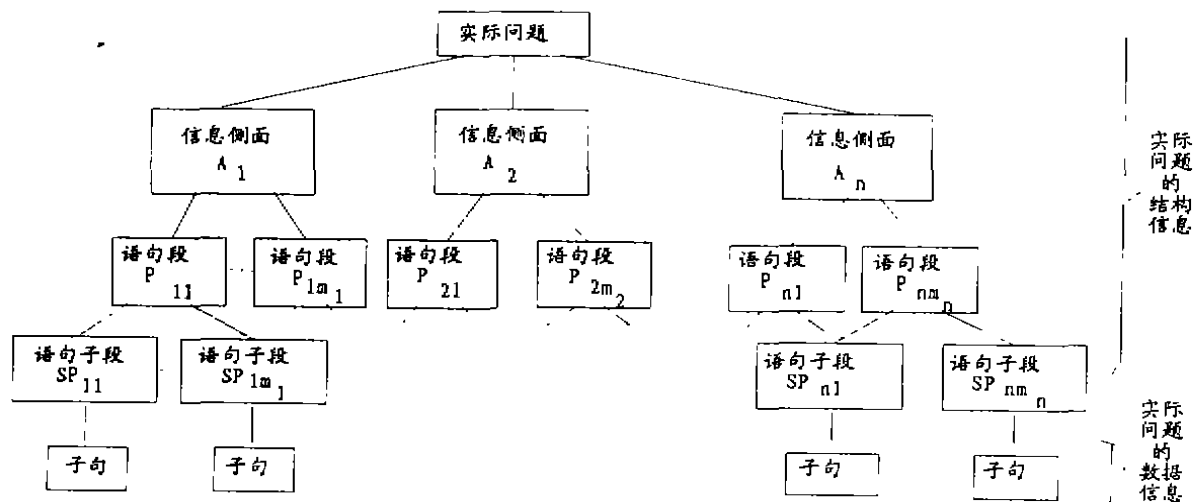


图1 问题描述树

根据实际问题的信息结构特征,将实际应用问题的信息划分为若干个信息侧面,每一信息侧

面又可划分为若干个信息单元,……,如此细分下去,可以把实际问题的信息归结成为一种层次化的树状结构图,如图 1 所示。

图 1 所示的问题描述树由节点和边两部分构成。节点是描述问题的信息单元,这种信息单元按层次关系依次为问题、信息侧面、语句段、语句子段、…子句,子句是描述实际问题的基本信息单元,若干条子句构成一个语句子段,若干个语句子段形成一个语句段,若干语句段组成一个信息侧面,所有信息侧面组合成一个完整的问题,这些信息单元之间呈现出层次化、结构化的特征。问题描述树的叶节点——子句描述的是实际问题的数据信息,叶节点以外的树干描述的是实际问题的结构信息,由于不同类型问题之问题描述树的树干及相应节点的名称是不同的,因此,这一树干描述的问题结构信息就为实际问题的识别创造了条件。此外,问题描述树的边表示父节点与子节点之间的隶属关系。这种隶属关系为知识化数学模型生成过程中的信息快速搜索与推理创造了条件。

当然,问题描述树反映的还只是问题有关信息的一种逻辑结构,以此结构描述的实际问题还需要用具体的计算机语言加以描述才便于在计算机内实现存储,形成一个可执行程序,该可执行程序的程序结构也呈现出与图 1 相同的层次化模块化的树状结构。由于 prolog 语言的结构化和模块化程度很高,比较适合把问题描述树所代表的实际应用问题表述成计算机程序语言编写的可执行程序,因此可以采用 Turbo Prolog 语言描述实际问题的原始信息,形成按一定组织结构组合的子句 (clauses) 集,此子句集构成的可执行程序由于是一种基于知识的描述相应问题原始信息的语言模型,故可称之为问题的知识化信息模型。

作者采用 Turbo Prolog 2.0,以运筹学规划问题为研究对象,通过设计建立相应的知识表示支持系统,在微机上实现了一种投资决策问题和网点布局问题的知识表示以及数学模型的生成过程。实践证明,问题知识表示的树状表示法在问题可辨识性、问题描述结构的可扩展性、信息搜索与处理效率、知识推理效率等方面具有较为明显的优势,并具有描述表格数据、决策树图形及数据、数学函数的能力。

## 1.2 生产作业计划问题的知识表示法

生产作业计划问题的类型和形式可能多种多样,但这些问题的实质可以归结为:在内部生产条件和外部营销环境限制下,企业依据自己的人财物力资源寻求生产经营目标达到最优或者达到目标的差距尽可能的小。生产作业计划问题的信息可以划分为生产经营目标、加工单元的生产能力和产品的工艺流程等信息,它们构成多个信息侧面,每一信息侧面又可划分为若干个信息单元,……,如此细分下去,也可以把生产作业计划问题的信息归结为一种层次化的树状结构,如图 2 所示。

根据图 2 所示的生产作业计划问题的问题描述树,可以采用 Turbo Prolog 语言把问题描述树所代表的生产作业计划问题的原始信息表述成计算机程序语言编写的可执行程序,形成按一定组织结构组合的子句 (clauses) 集,此子句集所构成的可执行程序就是生产作业计划问题的知识化信息模型。这种将生产作业计划问题的信息归结为层次化的树状逻辑结构,并按此结构把实际问题表示为计算机可执行程序的方法,称之为生产作业计划问题的树状表示法。下面用一个较简单的生产作业计划问题实例,阐述用树状表示法予以描述的过程及其内容。

## 1.3 生产作业计划问题树状表示法应用实例及其知识化信息模型

**例 1** 某公司与用户签订合同要在 1999 年底向用户提供产品甲 100 台,产品甲均由 2 个部件 A 和 1 个部件 B 组装而成,部件 A 又由 2 个零件 1 和 3 个零件 2 组装而成,部件 B 为外购件,已与供货方签定供货协议将于 1999 年 11 月 30 日供货。该产品的工艺流程、劳动定额如表 1 所示。

企业的生产经营目标是按照合同规定的日期和数量向用户提供产品甲。问在现有生产条件和外部环境限制下,如何安排零部件及产品的生产进度以实现按期足量交货的目标?

这一生产作业计划问题可以采用基于知识的树状表示法加以描述,并按照图 2 所示的树状逻辑结构在计算机中形成描述该问题原始信息的知识化信息模型。此信息模型是由一阶谓词子句 (clauses) 构成的可执行程序,其程序结构(即知识化信息模型结构)如图 3 所示。

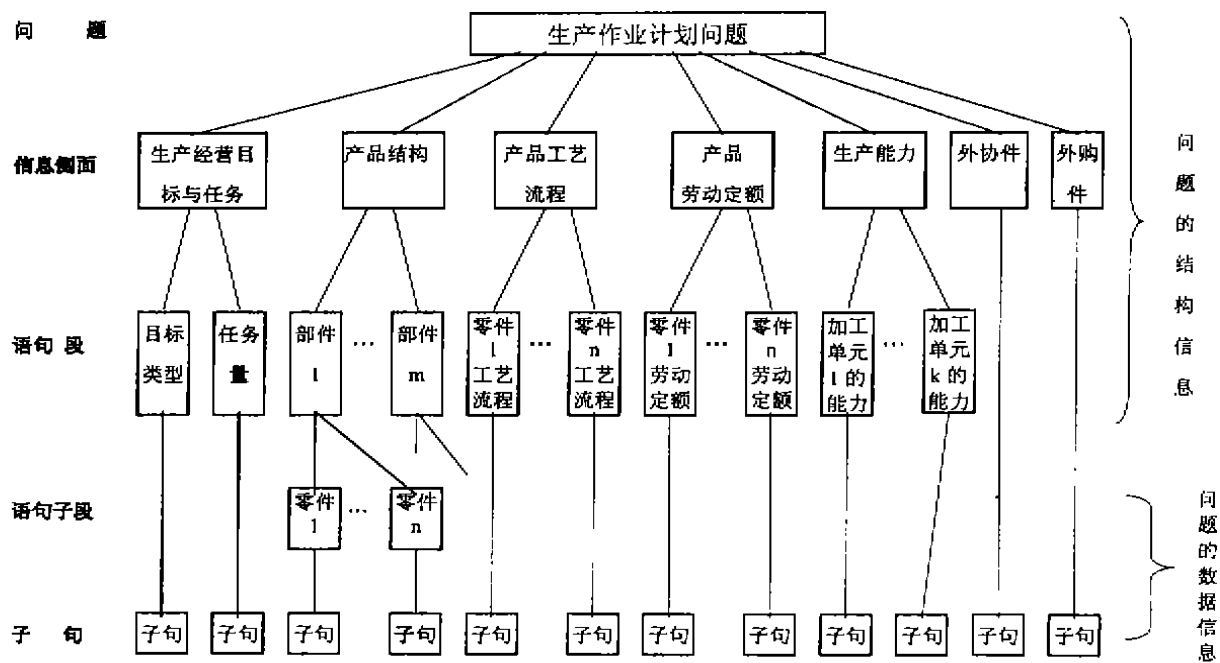


图2 生产作业计划问题的问题描述树

表1 产品甲的工艺流程和劳动定额表

产品结构及零部件名称	工艺顺序及内容	加工单位	加工时间(小时/个)	备注	
产品甲	部件A (2个)	1. 铸造	铸造车间	200	
		2. 车削	车工车间	32	
		3. 磨削	磨工车间	6	
		4. 热处理	热处理车间	40	
		5. 喷漆	喷漆车间	60	
	零件2 (3个)	1. 铸造	铸造车间	160	
		2. 车削	车工车间	48	
		3. 刨削	刨工车间	7	
		4. 磨削	磨工车间	4	
		5. 电镀	电镀车间	72	
部件B(1个)				外购件	
总装配	装配车间	15			

企业各个生产单位的月度生产能力如表2所示。

表2 企业各生产单位的月度生产能力(小时)

加工单位	生产能力	加工单位	生产能力	加工单位	生产能力
铸造车间	6 000	刨工车间	3 600	电镀车间	1 200
车工车间	4 000	热处理车间	4 800	装配车间	2 400
磨工车间	3 000	喷漆车间	4 600		

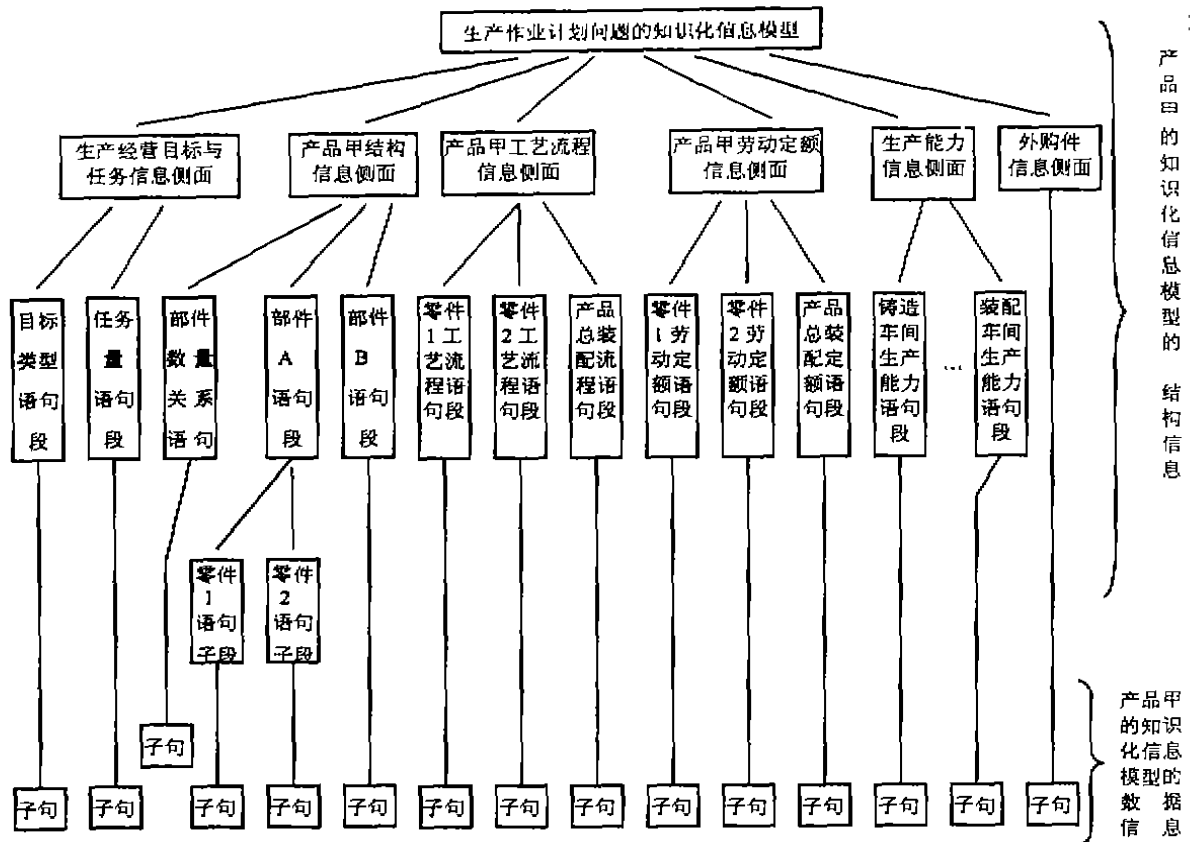


图 3 例 1 所示的生产作业计划问题的知识化信息模型的程序结构图

根据图 3 所示的程序结构,可以用 Turbo Prolog 语言编写出如下形成该生产作业计划问题信息模型的语句程序(clauses 部分):clauses

```

/* 生产作业计划问题知识化信息模型的结构信息 */
information_of_scheduling_contain(["生产经营目标与任务信息侧面", "产品甲结构信息侧面",
    "产品甲工艺流程信息侧面", "产品甲劳动定额信息侧面", "生产能力信息侧面", "外购件信息侧面"]);
/* 生产经营目标与任务信息侧面包含的语句段 */
aspect_of_goal_and_output_contain(["目标类型语句段", "任务量语句段"]);
/* 产品甲结构信息侧面包含的语句段 */
aspect_of_structure_contain(["部件数量关系语句段", "部件 A 语句段", "部件 B 语句段"]);
/* 产品甲工艺流程信息侧面包含的语句段 */
aspect_of_procedure_contain(["零件 1 工艺流程语句段", "零件 2 工艺流程语句段", "产品总装配流程语句段"]);
/* 产品甲劳动定额信息侧面包含的语句段 */
aspect_of_time_cost_contain(["零件 1 劳动定额语句段", "零件 2 劳动定额语句段", "产品总装配定额语句段"]);
/* 生产能力信息侧面包含的语句段 */
aspect_of_capacity_contain(["铸造车间生产能力语句段", "车工车间生产能力语句段", "磨工车间生产能力语句段", "刨工车间生产
能力语句段", "热处理车间生产能力语句段", "喷漆车间生产能力语句段", "电镀车间生产能力语句段", "装配车间生产能力语句段"
]);
/* 部件 A 语句段包含的语句子段 */
paragraph_of_part_A_contain(["零件 1 语句子段", "零件 2 语句子段"]);
/* 信息模型的结构信息结束 */

/* 生产作业计划问题知识化信息模型的数据信息语句 */

```

```

/* 目标类型语句段的事实(数据)语句 */
object ("按期按量供货").
/* 任务量语句段的事实(数据)语句 */
number_and_supply_time("产品甲",100,19991231)
/* 部件数量关系语句段的事实(数据)语句 */
has ("产品甲","部件 A",2).
has ("产品甲","部件 B",1).
/* 零件1 语句段的事实(数据)语句 */
has ("部件 A","零件 1",2).
/* 零件2 语句段的事实(数据)语句 */
has ("部件 A","零件 2",3).
:
/* 装配车间生产能力语句段的事实(数据)语句 */
capacity ("装配车间",2400).
/* 外购件信息侧面的事实(数据)语句 */
buy_and_supply_time ("部件 B",100,19991130).
/* 信息模型的数据信息结束 */

```

上述程序中,前半部分描述的是生产作业计划问题知识化信息模型的结构,它是用 Prolog 语言的表谓词进行描述的.此模型结构信息为知识化数学模型生成过程中的信息模型之识别奠定基础.计算机可依据不同问题在信息模型结构及每一侧面、语句段名称的不同来识别问题的类型,并

采用相应的方法生成知识化数学模型;程序的后半部分是生产作业计划问题的基础数据,它可以在人机交互的问题输入过程中,由知识化信息模型的生成模块自动生成.这一工作可以通过设计一个“生产作业计划问题知识表示支持系统”实现.

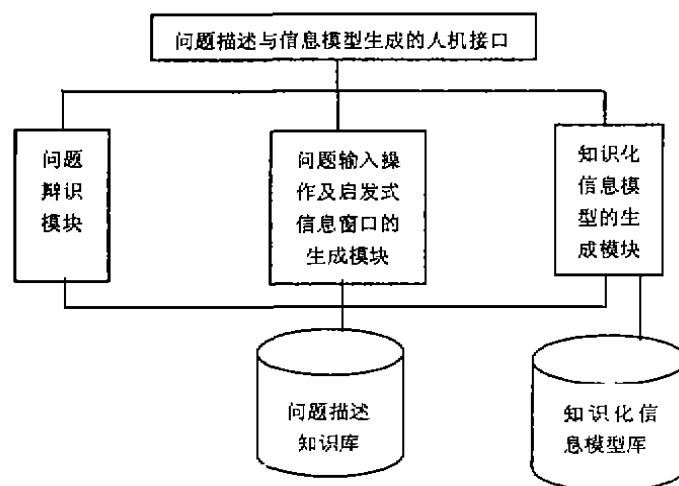


图4 生产作业计划问题知识表示支持系统的系统结构图

## 2 生产作业计划问题知识表示支持系统

生产作业计划问题知识表示支持系统负责为从生产作业计划问题类型的确定、问题辨识、生成

启发式的问题输入操作窗口直到生成知识化信息模型的问题处理过程提供智能化的问题描述支持.该系统的系统结构如图4所示.

生产作业计划问题知识表示支持系统的处理流程图如图5所示:

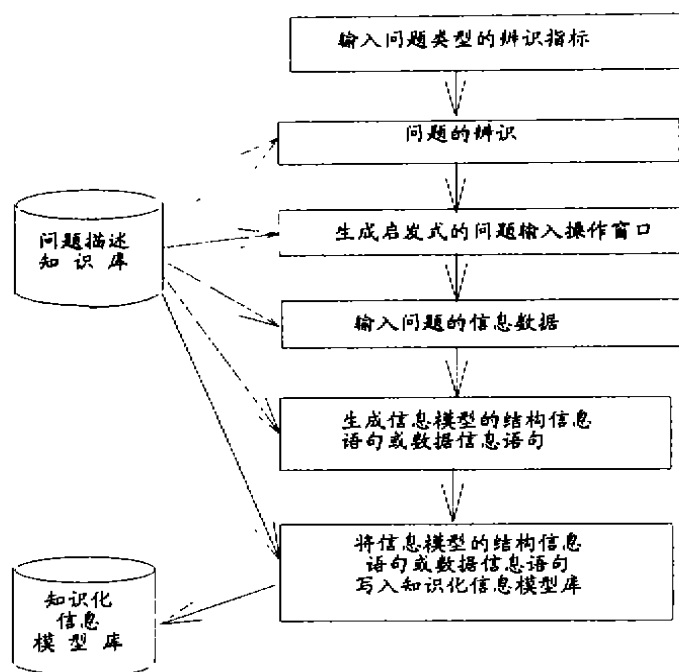


图5 生产作业计划问题知识表示支持系统的处理流程图

在生产作业计划问题知识表示支持系统中,问题描述知识库是用产生式规则按照层次化、模块化结构组织起来的一种规则库,它在问题辨识、操作窗口及启发引导信息的生成、知识化信息模型的生成过程中起着十分关键的作用,是本文提出的树状表示法在问题输入及信息模型生成过程中产生智能的源泉。该知识库以及整个生产作业计划问题知识表示支持系统在本文中采用 Turbo Prolog 语言设计和实现。

### 3 结 论

(1) 本文根据生产作业计划问题的特点,引入

人工智能与知识工程的知识表示理论,提出了一种基于知识的描述生产作业计划问题的树状表示法,这一表示法具有良好的问题可辨识性和问题描述结构的可扩性,具有较高的信息搜索与处理效率、辨识与推理效率,并具有描述表格数据、工艺流程图、产品结构及其数量关系和数学函数的能力。

(2) 生产作业计划问题知识表示支持系统为树状表示法在计算机中的实现提供了手段,可以帮助非专业人员较方便地输入和描述问题。问题描述知识库是问题描述过程中使用知识和具有智能的源泉。

### 参 考 文 献

- 1 梁 波,李怀祖,孙林岩. 生产作业计划理论及应用的评述. 系统工程理论方法应用,1996; 5(2):9~17
- 2 童 俯,沈一栋. 知识工程. 北京:科学出版社,1992. 74
- 3 Liang T P. Analogical reasoning and case-based learning in model management system. Decision Support System, 1993; 9(10):137~160
- 4 汪时萍,张国庆,李心丹. 基于语义模型的智能型问题描述语言. 决策与决策支持系统,1993; 3(3):214~221
- 5 胡祥培,钱国明,胡运权. 运筹学规划问题一种基于知识的树状表示法. 哈尔滨工业大学学报,1997; 29(3):8~11
- 6 Hu Xiangpei, Xiu Lijun, Qian Guoming. A knowledge representation support system for programming problems in operations research. The Proceedings of 3rd International Conference on Management, Shanghai, July, 1998

## A Problem-oriented Knowledge Representation for Production Scheduling

*Hu Xiangpei, Xiu Lijun*

School of Management, Harbin Institute of Technology

*Yang Deli*

Institute of Systems Engineering, Dalian University of Technology

**Abstract** According to the properties of production scheduling problems and applying the theories of knowledge representation in artificial intelligence as well as knowledge engineering, this paper focuses on problem-oriented representation for symbolic knowledge (such as flow-chart of technology, structural chart of the production, etc.) in computer, identification for actual problems, information processing together with expanding, and presents a knowledge-based tree-like representation for actual problems of production scheduling, in order to improve the adaptability of dynamic environment for production scheduling and its software systems. A knowledge representation support system for production scheduling problems has been set up. It is very beneficial for this research to set up a manufacturing planning and scheduling system faced with dynamic environment, deepen researches in real-time control and scheduling of manufacturing process.

**Keywords:** production scheduling, problem-oriented knowledge representation, knowledge engineering, artificial intelligence