

# 基于粗糙集的刀具智能 选配研究

Research on Intelligent Tool Selection Based on Rough Set

西北工业大学现代设计与集成制造教育部重点实验室 张宝田 张 维



张宝田

硕士,研究方向为计算机集成制造、信息化工程、制造资源管理等。

刀具选配目前主要还是依靠技术人员的知识和经验,以及查阅相关手册和规范来选用,这不仅效率低下,而且受人员的制约,大量历史信息不可重用,各部门间信息也不能实现共享。随着新刀具、新材料、新工艺的不断涌现,如何快速选择经济合理的刀具成为工程技术人员亟待解决的难题<sup>[1]</sup>。

对此,国内外学者已进行了相关

本文提出一种以实例推理为主、规则推理为辅的刀具智能选配方法,采用粗糙集理论对刀具选配实例库进行优化,对刀具选配历史方案进行约简,剔除冗余数据信息,提高检索刀具选配历史方案的效率,使用规则推理作为实例推理的补充,增强刀具智能选配的实用性。

的理论研究,主要采用实例推理与规则推理进行刀具智能选配。但是从技术人员的经验、相关手册和规范中提取刀具选配规则是非常困难的,而且刀具选配规则数量十分庞大,匹配与检索效率过于低下,并且刀具选配规则的维护非常困难。相比而言,案例库更容易构造、维护,而且推理速度快,更容易学习。但随着案例库中刀具选配方案的不断添加,检索刀具选配历史方案的效率也将会下降<sup>[2-3]</sup>。

针对上述问题本文提出一种以实例推理为主、规则推理为辅的刀具智能选配方法,采用粗糙集理论对刀具选配实例库进行优化,对刀具选配历史方案进行约简,剔除冗余数据信息,提高检索刀具选配历史方案的效率,使用规则推理作为实例推理的补充,增强刀具智能选配的实用性。

## 刀具智能选配的知识表示

### 1 刀具智能选配基础信息的分类

刀具智能选配的基础信息包括加工工件与刀具信息,选配流程必须对这两类信息进行分类整理,以便于信息的归纳提取,为刀具智能选配提供基础数据支持。

刀具实际选配时需要提供加工工件的主要特征信息,用于与刀具选配历史方案和选配规则进行匹配。根据所表达特征的不同将加工工件的信息分为材料、尺寸、精度、加工工艺等类别。

刀具选配很大程度上取决于加工所采用的工艺,加工工件信息中也包含了加工工艺。为了更好地与加工工件信息进行匹配,可将刀具按切削工艺进行分类,包括铣削刀具、车削刀

具、镗削刀具、钻削刀具等；以铣削刀具为例，铣削刀具又可分为立铣刀、面铣刀、成型铣刀、键槽铣刀等。

### 2 刀具智能选配实例的知识表示

刀具智能选配实例是对刀具选配历史方案的记录，是实例推理部分的基础(应包含加工要求描述与具体选用刀具)。为了更为全面地表示刀具选配实例，便于后续选配实例库的优化，选配应采用粗糙集的决策表对刀具历史方案进行表示。由于不同原材料的形状和加工工艺存在的差异，导致刀具选配决策表中的属性的不一致，所以必须先按原材料的形状和加工工艺进行大类的划分。这一类的刀具选配案例作为知识表示系统的论域，工件的基础信息部分与刀具选配结果分别构成条件属性集和结果属性集。以棒料的槽加工车刀选用为例，如表 1 所示。

### 3 刀具智能选配规则的知识表示

在刀具智能选配中，刀具选配规则主要从工艺人员的经验、相关手册和规范中提取，并且需要做大量的调研、收集和分析工作。刀具规则匹配的过程模拟了专家的配刀过程，前后之间存在因果关系，适合采用产生式知识表示法来表示刀具匹配规则，其基本形式为 IF  $A$  THEN  $B$ ，其中  $A$  为刀具选配的前提条件， $B$  为刀具选配结果<sup>[4]</sup>。为了避免刀具选配过程中

出现二义性，刀具选配的前提条件与选配结果只能进行合取运算；为了更清楚地表达刀具选配规则，可采用关系数据库进行表示，以表 2、表 3 为例构成了刀具智能选配的规则库，其中一条规则为：IF 工件材料 = 铸铁  $\wedge$  加工特征 = 车外圆 THEN 刀具材料 = 硬质合金  $\wedge$  刀具类型 = 车刀。

表2 刀具智能选配规则前提表

| 规则编号  | 前提编号  | 前提   | 操作符 | 值   |
|-------|-------|------|-----|-----|
| R0001 | A0001 | 工件材料 | =   | 铸铁  |
| R0001 | A0002 | 加工特征 | =   | 车外圆 |
| R0002 | A0003 | 加工材料 | =   | 不锈钢 |
| R0002 | A0004 | 加工性质 | =   | 精加工 |

表3 刀具智能选配规则结论表

| 规则编号  | 结论编号  | 结论   | 操作符 | 值    |
|-------|-------|------|-----|------|
| R0001 | B0001 | 刀具材料 | =   | 硬质合金 |
| R0001 | B0002 | 刀具类型 | =   | 车刀   |
| R0002 | B0003 | 刀具材料 | =   | 硬质合金 |

## 刀具智能选配的推理技术

### 1 刀具智能选配的实例库优化

刀具智能选配的实例库是对过去刀具选配结果以及专家经验进行描述的集合，是刀具选配实例推理的基础，但随着案例库中刀具选配历史案例的不断扩充，案例的数量将会变

得非常庞大，从中检索出合适刀具选配方案的效率将明显降低，需要对刀具选配实例库进行优化，剔除刀具选配方案中的冗余信息，提升刀具选配效率。

本课题采用粗糙集理论对刀具选配实例库进行优化，首先在刀具选配实例的数据采集时应保证数据的完备，选配实例中包含了工件材料、加工特征、工件尺寸、刀具编号等信息，涵盖了字符串型、浮点数值型、整数型等数据类型，这就要求必须先对刀具选配实例库进行离散化处理，然后才可以进行刀具选配实例库的属性约简和值约简。为了避免因离散化时刀具选配决策表中数

据损失，而影响刀具选配的正确性，选配采用基于属性重要性的离散化算法对刀具选配实例库进行离散化，以表 1 为例，进行离散化处理可得到表 4 的数据，刀具选配决策表的条件属性值的集合依次为 { 碳钢, 不锈钢, 铝合金 }、{18, 20}、{4, 5}、{4, 5.2}、{1.6, 6.3}，将集合中的元素按先后顺序分别对应编号 0、1 或 2。

刀具选配方案中工件材料的类型、尺寸、表面粗糙度等条件对刀具选配的影响程度是不一致的，这就需要对刀具选配的冗余条件属性进行约简，因此采用基于可辨识矩阵和逻辑运算的属性约简算法<sup>[5]</sup>，可保持刀具选配决策表的条件属性与结果属性之间依赖关系不发生变化。

算法的具体步骤如下：

(1) 计算刀具选配决策表的可辨识矩阵  $C_D$ ；

(2) 对于可辨识矩阵中的所有取值为非空集合的元素  $C_{ij}$  ( $C_{ij} \neq \emptyset$ ，

表1 棒料槽加工车刀选配决策表

| 案例 $U$ | 条件属性       |               |             |             |                   | 结果属性     |
|--------|------------|---------------|-------------|-------------|-------------------|----------|
|        | 工件材料 $a_1$ | 工件直径 $a_2/mm$ | 槽深 $a_3/mm$ | 槽宽 $a_4/mm$ | 表面粗糙度 $a_5/\mu m$ | 刀具编号 $d$ |
| 1      | 碳钢         | 20            | 5           | 4.2         | 1.6               | 1#       |
| 2      | 碳钢         | 18            | 4           | 4.8         | 3.2               | 2#       |
| 3      | 铝合金        | 18            | 4           | 4.8         | 6.3               | 2#       |
| 4      | 碳钢         | 18            | 4           | 4           | 3.2               | 1#       |
| 5      | 碳钢         | 18            | 4           | 4.2         | 3.2               | 2#       |
| 6      | 碳钢         | 20            | 5           | 4.2         | 3.2               | 2#       |
| 7      | 不锈钢        | 18            | 4           | 5.2         | 6.3               | 3#       |
| 8      | 碳钢         | 20            | 5           | 4           | 1.6               | 1#       |

表4 经离散化的棒料槽加工车刀选用决策表

| $U$ | $a_1$ | $a_2$ | $a_3$ | $a_4$ | $a_5$ | $d$ |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| 1   | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 1#  |
| 2,5 | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 2#  |
| 3   | 2     | 0     | 0     | 1     | 1     | 2#  |
| 4   | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1#  |
| 6   | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 2#  |
| 7   | 1     | 0     | 0     | 1     | 1     | 3#  |
| 8   | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 1#  |

$C_{ij} \neq \phi$ ), 建立相应的析取逻辑表达式  $L_{ij} = \bigvee_{a_i \in C_{ij}} a_i$ ;

(3) 将所有的析取逻辑表达式  $L_{ij}$  进行合取运算, 得一个合取范式

$$L = \bigwedge_{C_{ij} \neq \phi} L_{ij};$$

(4) 将合取范式  $L$  转换为析取范式的形式, 得  $L' = \bigvee_i L_i$ ;

(5) 输出刀具选配决策表属性约简结果。

在实际选配棒料槽加工的使用刀具时, 工件直径与槽深对刀具选取影响较小, 表4采用上述约简算法可以得到表5, 推出工件直径与槽深为冗余属性, 与刀具实际选配情况一

表5 经属性约简的棒料槽加工车刀选用决策表

| $U$   | $a_1$ | $a_3$ | $a_5$ | $d$ |
|-------|-------|-------|-------|-----|
| 1     | 0     | 1     | 0     | 1#  |
| 2,5,6 | 0     | 1     | 1     | 2#  |
| 3     | 2     | 1     | 1     | 2#  |
| 4     | 0     | 0     | 1     | 1#  |
| 7     | 1     | 1     | 1     | 3#  |
| 8     | 0     | 0     | 0     | 1#  |

表6 经值约简的棒料槽加工车刀选用决策表

| $U$     | $a_1$ | $a_3$ | $a_5$ | $d$ |
|---------|-------|-------|-------|-----|
| 1       | *     | 1     | 0     | 1#  |
| 2,3,5,6 | *     | 1     | 1     | 2#  |
| 4       | *     | 0     | 1     | 1#  |
| 7       | 1     | 1     | 1     | 3#  |
| 8       | *     | 0     | 0     | 1#  |

致。

从表5中可以看出, 案例2与案例3的工件材料分别为碳钢和铝合金, 仅加工的工件材料不同, 但都选用的是编号为#2的刀具, 说明两种材料在刀具选用上没有很大差异, 实际情况也是如此。所以刀具选配决策表经属性约简后只是在一定程度上去掉了冗余属性, 并没有充分去掉刀具选配决策表中的冗余信息, 需要对刀具选配决策表的属性值进行进一步约简。首先对刀具选配决策表进行二值化处理, 再按上述属性约简算法进行约简, 即可得到最终的约简结果。由表5经值约简可得到表6, 从表6可以看出刀具材料仅分为不锈钢与非不锈钢, 对碳钢与铝合金不进行区分, 与原始决策表(表1)相比数据信息得到了很大程度的约简, 达到了刀具选配实例库优化的预期目标。

## 2 刀具智能选配的实例检索策略

刀具智能选配以实例推理为主, 当录入工件加工信息进行历史方案检索时, 首先根据加工材料的形状和加工工艺进行分类, 查找出刀具选配实例库中对应的索引, 再通过索引查找到相应的刀具选配决策表, 与经过约简的刀具选配决策表进行比对, 检索出符合条件的刀具选配案例; 若没有匹配的历史解决方案, 则交由刀具选配的规则推理部分完成。

刀具选配实例库的案例数量决定了其提供解决问题的能力, 需要在使用过程中不断地扩充刀具选配历史方案库。当前工件信息与刀具选配结果作为新的案例可直接或适当修改, 然后可添加至刀具选配实例库。但是新的刀具选配方案的添加必须经过确认, 通过设置权限进行控制。因为新刀具选配方案可能与历

史选配方案发生冲突, 由经验丰富的工艺人员进行方案取舍, 去除冲突选配方案; 或者放弃添加新的选配方案, 也可以重新修改选配方案后再进行选配案例添加。在刀具新的选配方案添加到刀具选配实例库后, 系统将自动进行刀具选配实例库优化, 更新生成新的刀具选配约简决策表, 保证系统数据的实时更新。

## 3 刀具智能选配的推理及设计

在刀具智能选配过程中规则推理作为实例推理的补充, 采用正向推理策略, 为某加工情形选配刀具时, 没有匹配的历史解决方案, 则进行刀具选配规则匹配, 根据加工工件信息与刀具选配规则库中的规则逐条匹配, 选出符合要求的刀具。为了避免刀具选配规则解释的二义性, 选配规则的前提和结论只能是合取运算。

在加工信息与刀具选配规则匹配过程中, 若某一加工条件与两条以上刀具选配规则匹配成功, 则按冲突消解策略选择一条刀具选配规则作为启用规则进行匹配, 直至匹配完所有刀具选配规则, 给出刀具选配结果, 并按刀具选配方案添加办法将新的选配方案添加至历史方案库。如果没有与加工信息匹配的刀具选配规则, 则提示完善刀具选配规则库, 扩充刀具选配规则, 增强刀具智能选配规则推理的能力。

## 结束语

基于粗糙集的刀具智能选配实现了刀具的快速、准确选配, 避免了查阅大量资料和刀具选用错误, 不再受制于工艺人员的经验, 提升了工作效率, 同时使得历史解决方案得以重用, 各部门间可以共享刀具选配方案, 因此具有重要的实用价值。

本文共有参考文献5篇, 因篇幅所限, 未能一一列出, 读者如有需要, 请向本刊编辑部索取。

(责编 岭雾)