Mechanical Engineering and Design
March 2015, Volume 4, Issue 1, PP.6-16

Gear Hobbing Process Parameters Optimization Decision Based on AHP and CBR

Weidong Cao, Chunping Yan [#]

State Key Lab of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing 400044, China

[#]Email: ycp@cqu.edu.cn

Abstract

To retrieve previous process cases efficiently, and improve integrated processing effect, this paper proposes gear hobbing process parameters optimization decision based on analytic hierarchy process (AHP) and case-based reasoning (CBR). Gear hobbing process ontology library was conducted by Ontology. Considering the processing quality, processing time, processing costs, resource consumption and environmental impact, Gear hobbing process parameters decisions target space was established by using gear hobbing process ontology library and CBR. AHP was used to get the optimal decision program. The feasibility and effectiveness of the proposed method is validated by experiment.

Keywords: Gear Hobbing; Process Parameters; Optimization Decision; Analytic Hierarchy Process; Case-based Reasoning

基于层次分析法和实例推理的滚齿工艺参数优化决策 *

曹卫东，阎春平

重庆大学 机械传动国家重点实验室，重庆 400044

摘　要：为了高效检索历史工艺实例和提高综合加工效果，本文提出了一种基于层次分析法和实例推理的滚齿工艺参数优化决策方法，首先运用本体论的方法构建滚齿加工工艺本体库；接着综合考虑加工质量、加工时间、加工成本、资源消耗、环境影响等因素，通过检索本体库和实例推理的方法实现滚齿加工工艺参数决策目标空间的表达；最后运用层次分析法计算出最优的决策方案，实现综合优化决策。实验结果表明，该方法是可行和有效的。

关键词：滚齿；工艺参数；优化决策；层次分析法；实例推理

引言

滚齿加工工艺参数的合理选择以及优化决策对于提高滚齿加工生产质量和加工效率具有重要意义。目前广泛采用的工艺参数拟定方法是经验法或试验法：对于大批量生产，工艺人员常依据各种工艺手册以及自身积累的加工经验完成工艺参数的制定；对于小批量多品种生产，需根据工艺人员的工艺经验事先确定可行的工艺参数，并结合一定次数的试切获得可以满足加工要求的工艺参数。但现有的工艺参数决策方法存在如下不足：①缺乏统一的滚齿加工工艺知识的统一表达；②滚齿加工工艺周期长；③没有综合考虑加工质量、加工时间、加工成本、资源消耗、环境影响等因素。

现有对滚齿加工工艺参数优化决策问题的处理方法主要包括：(1) 基于专家系统的各种优化算法[1-5]；(2) 实例推理方法[6-8]。基于专家系统的各种优化算法处理滚齿加工工艺参数优化决策问题时，通过遗传算法、人工神经网路等算法自动完成工艺参数优化，但由于算法有着不可预测性，导致决策结果不稳定且不可重

*基金资助：受国家 863 计划资助项目支持资助(2012AA041306)，受重庆市科委自然科学基金资助项目支持资助(cstc2013jcyjA90008)。

用，缺乏统一的工艺知识表达。实例推理方法从历史加工实例角度出发，通过检索、重用、修改、保留等步骤解决新的问题，但以实例相似度作为唯一指标，缺乏考虑工艺实例的加工效果，使得最优匹配实例的工艺方案所采用工艺参数应用于待决策工艺问题时其加工效果可能不理想。

1　构建滚齿加工工艺本体库

滚齿加工工艺领域本体是对滚齿加工工艺领域中存在的概念的一种详尽的特征化描述，即滚齿加工工艺领域本体是对滚齿加工工艺领域内的概念、关系、属性、规则和实例五要素的一种描述，是实现领域知识共享和重用的基础；其中概念是指滚齿加工工艺领域中规范化的、公认的术语，是具有相同属性或行为对象的集合；它除了指一般意义上的概念，还包括滚齿加工工艺方面的任务、功能和行为；关系是指领域概念间的连接或关联；关系存在于多个概念之间；关系本身在概念化的过程中以概念的形式存在，关系之间能够构成新的关系；（概念间的关系主要有 Is-a 关系、A-kind-of 关系以及 A-part-of 关系）。

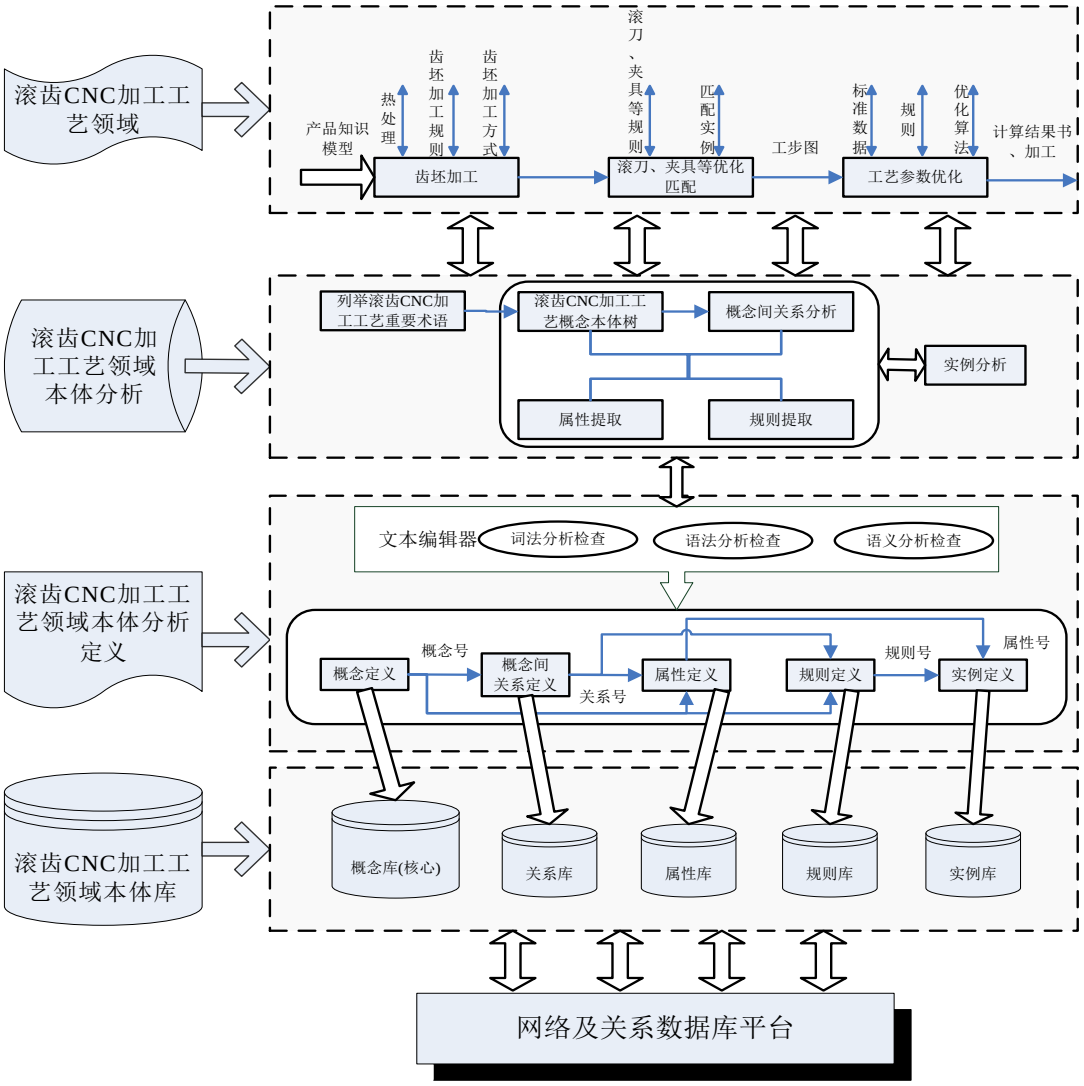

图 1 滚齿加工工艺领域本体示意图

将滚齿加工工艺知识抽象为滚齿加工工艺领域本体，依据相似性特征，对滚齿加工工艺领域中知识进行分组，分别为概念、关系、属性、规则和实例五组[9]；构建的滚齿加工工艺领域本体示意图如图1所示。依据滚齿加工工艺领域知识分组，将概念知识按自顶向下法整合成滚齿加工工艺领域概念本体树[9]，即从滚齿加工工艺领域中最大的概念开始，通过添加子类将这些概念细化，滚齿加工工艺领域本体树示意图如图2

所示；依据所形成的滚齿加工工艺领域概念本体树的抽象模型，利用本体理论，分析滚齿加工工艺概念知识间的联系，抽象为关系知识，对概念和关系知识进行属性提取和规则提取；以数据库的形式存储，完成滚齿加工工艺的知识表达，形成本体库，其包含概念库、关系库、属性库、规则库和实例库；即按照BNF范式（巴科斯范式），根据滚齿加工工艺领域概念本体树中的概念知识和之前提取的关系、属性、规则等知识，分别形成概念库、关系库、属性库、规则库；将整个滚齿加工工艺知识表达过程实例化，形成实例库。

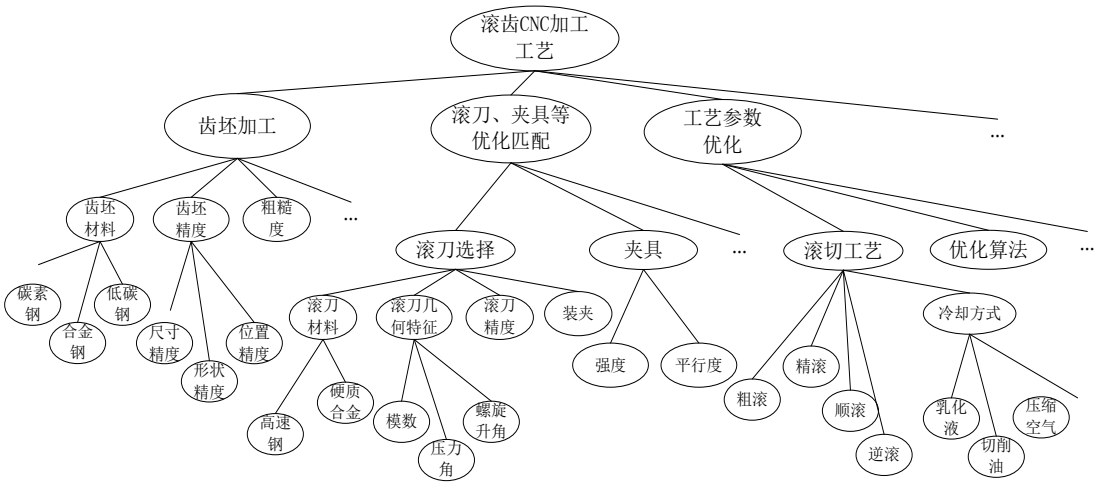

图 2 滚齿加工工艺领域本体树示意图

BNF 范式是对所述滚齿加工工艺领域本体定义的形式化描述，是领域本体的知识表示，也是本体构建的基础；其 BNF 范式如下：

(1) <滚齿加工工艺领域本体>::=（<领域名称>，<概念>，<关系>，<属性>，<规则>，<实例>）；

(2) <概念>::=（<概念号>，<概念名称>，[<同义词>]，[<缩略词>]，<概念描述>，[<该概念的父类号>]，[<所属领域名称>]）；

(3) <关系>::=（<关系号>，<关系名称>，<关系前件>，<关系后件>，<关系描述>）；

(4) <属性>::=（<属性号>， <所属概念号>，<关系号>，<属性名称>，[<同义词>]，[<缩略词>]，<值的类型>，<集的范围>）；

(5) <规则>::=（<规则号>，<所属概念号>，<关系号>，<规则描述>，<可信度>）；

(6) <实例>::=（<实例号>，<实例名称>，<问题描述>，<实例属性号>，<实例属性值>，<实例规则号>）；

(7) <领域名称>::=<标示符>。

2 构建滚齿加工工艺参数决策目标空间

运用层次分析法构建滚齿加工工艺参数决策模型，将滚齿加工工艺参数决策目标空间分为三个层次：目标层、评价层和方案层；目标层：滚齿加工工艺参数优化决策；评价层：加工质量、加工时间、加工成本、资源消耗、环境影响；方案层：滚刀精度，滚刀头数、滚刀螺旋角、滚刀转速、走刀次数、轴向进给速度、径向进给速度、工件转速、窜刀量。其中方案层的属性中属于滚刀基本参数的属性，通过人机交互的方式，决策者依据模数相等规则检索本体库的相关知识，得到方案层决策方案矩阵 A；方案层中的属性中不属于滚刀基本参数的属性，利用实例推理方法将决策目标空间与历史加工实例的相似度进行计算，以选择出与方案层数值属性匹配的实例，得到方案层决策方案矩阵 B；（决策矩阵 A、B 往往是许多行，假设 A 的行数为 g，B 的行数为 k，那么方案层决策的组合方案就有 $g \times k$ 个）。

通过检索本体库和实例推理的方法组合得到方案层决策方案的过程如图 3 所示，具体步骤如下：

Step1 决策者依据模数相等规则在本体库中检索，选出匹配的 g 把滚刀，抽出滚刀精度，滚刀头数、滚

刀螺旋角三个参数，得到方案层决策方案矩阵 $A(g,3)$；

Step2 利用实例推理的方法，构建物元模型 $ME=\begin{bmatrix} N^0 & p_1^{\,0} & <v_{1l}^{\,0},v_{1h}^{\,0}> \\ & p_2^{\,0} & <v_{2l}^{\,0},v_{2h}^{\,0}> \\ & \vdots & \vdots \\ & p_n^{\,0} & <v_{nl}^{\,0},v_{nh}^{\,0}> \end{bmatrix}$，其中，$N^0$ 表示决策目标空间的名称，$p_i^{\,0},(i=1,2,\cdots,n)$ 表示方案层中不属于滚刀基本参数的属性，是物元特征，$v_i^{\,0},(i=1,2,\cdots,n)$ 是 N^0 关于 $p_i^{\,0}(i=1,2,\cdots,n)$ 的量值二元组，表示为 $v_i^{\,0}=<v_{il}^{\,0},v_{ih}^{\,0}>$，$(i=1,2,\cdots,n)$，$v_{il}^{\,0}$、$v_{ih}^{\,0}$ 表示 $p_i^{\,0}(i=1,2,\cdots,n)$ 的优化区间[10]。

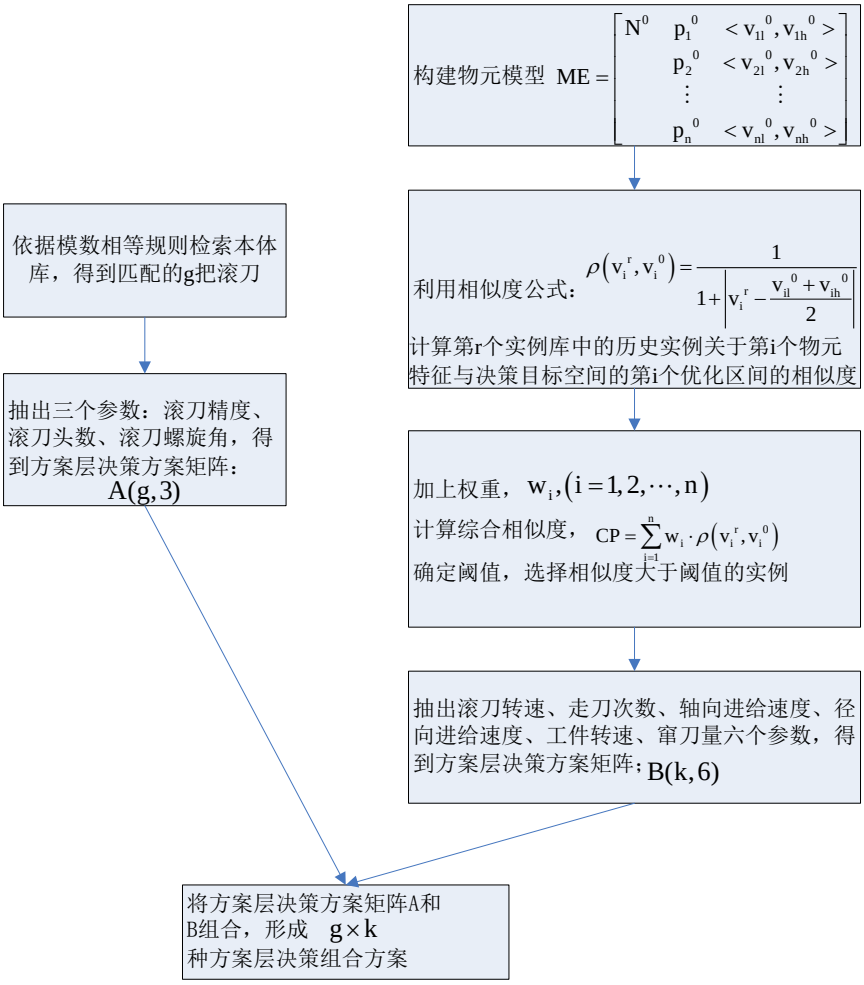

图 3 滚齿加工工艺参数决策模型方案层决策方案的组合过程示意图

Step3 利用相似度公式: $\rho(v_i^r,v_i^0)=\dfrac{1}{1+\left|v_i^r-\dfrac{v_{il}^{\,0}+v_{ih}^{\,0}}{2}\right|}$ 计算第 r 个实例库中的历史加工实例关于第 i 个物元特征与决策目标空间的第 i 个优化区间的相似度。相似度值的区间为[0,1]，值越大表示相似度越高；

Step4 给每个物元特征加上权重 $w_i,(i=1,2,\cdots,n)$，计算综合相似度 $CP=\sum_{i=1}^{n}w_i\cdot\rho(v_i^r,v_i^0)$，确定阈值 κ，选择相似度较高的 k 个历史加工实例，抽出滚刀转速、走刀次数、轴向进给速度、径向进给速度、工件转速、窜刀量六个参数，得到方案层决策方案矩阵 $B(k,6)$；

Step5 将方案层决策方案矩阵 $A(g,3)$ 和 $B(k,6)$ 组合，形成 $g\times k$ 种方案层决策组合方案。

3 滚齿加工工艺参数的综合优化决策

对滚齿加工工艺参数决策模型建立判断矩阵，即对上一层的某要素而言将本层次诸要素之间进行两两比较；接着，进行层次单排序，根据判断矩阵，通过计算相对重要度对本层次的各要素相对于上一层的某要素进行重要度排序；然后，进行一致性检验，判断各个方案相对重要度的可信度；最后，进行层次总排序，可从目标层开始，自顶向下地求出当前层上各要素对于上一层整体而言的综合重要度；重要度最高的即是滚齿加工工艺参数优化决策方案。

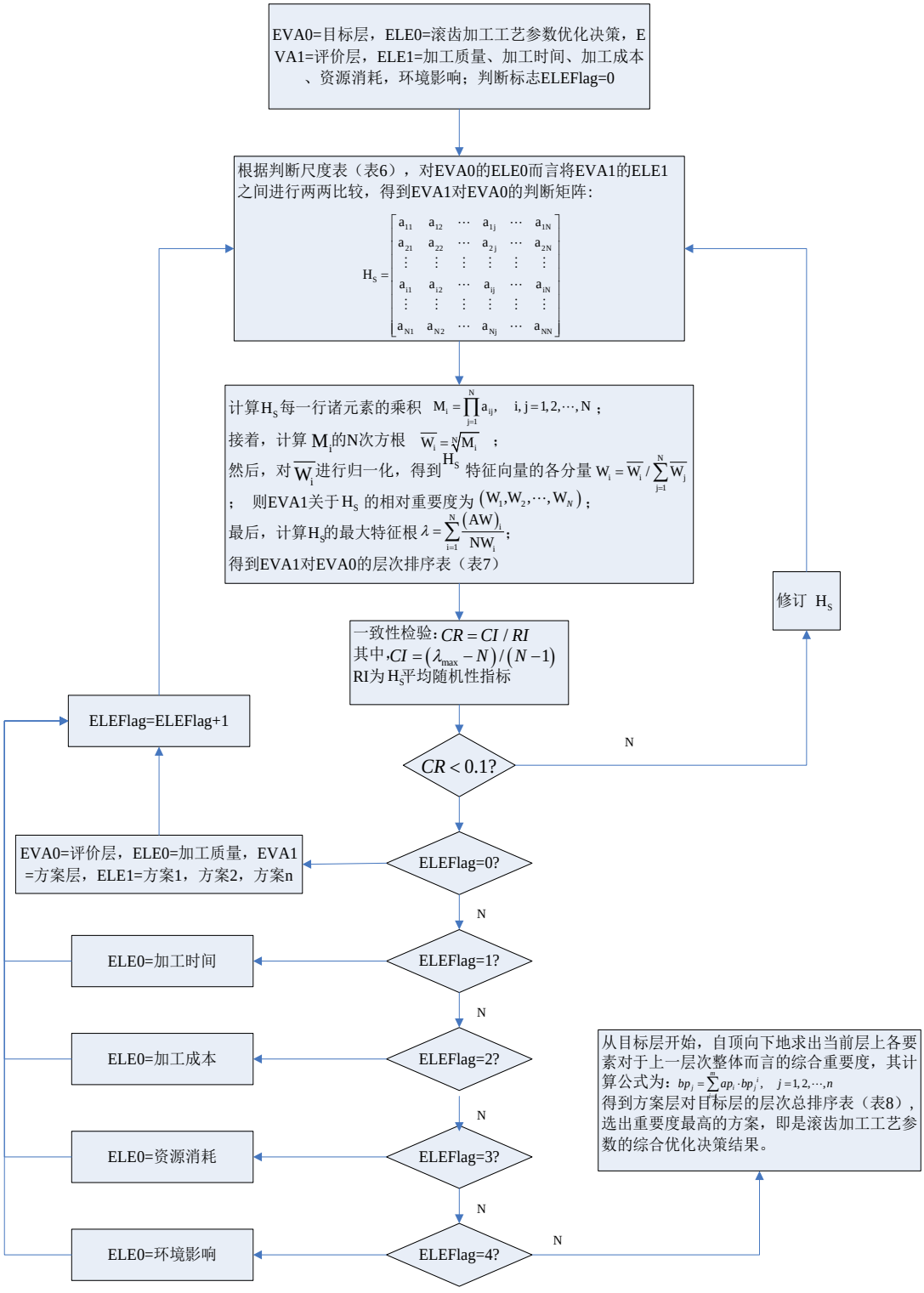

图 4 滚齿加工工艺参数的综合优化决策示意图

滚齿加工工艺参数的综合优化决策如图 4 所示，具体步骤如下：

Step1 设定被比较层名为 EVA0，被比较层要素为 ELE0，比较层名为 EVA1，比较层要素为 ELE1，EVA0=目标层，ELE0=滚齿加工工艺参数优化决策，EVA1=评价层，ELE1=加工质量、加工时间、加工成本、资源消耗、环境影响；判断标志 ELEFlag=0；

Step2 根据判断尺度表（表 1），对 EVA0 的 ELE0 某属性而言将 EVA1 的 ELE1 之间进行两两比较，得到 EVA1 对 EVA0 的判断矩阵 $\mathrm{H_S}=\begin{bmatrix} \mathrm{a_{11}} & \mathrm{a_{12}} & \cdots & \mathrm{a_{1j}} & \cdots & \mathrm{a_{1N}} \\ \mathrm{a_{21}} & \mathrm{a_{22}} & \cdots & \mathrm{a_{2j}} & \cdots & \mathrm{a_{2N}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \mathrm{a_{i1}} & \mathrm{a_{i2}} & \cdots & \mathrm{a_{ij}} & \cdots & \mathrm{a_{iN}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \mathrm{a_{N1}} & \mathrm{a_{N2}} & \cdots & \mathrm{a_{Nj}} & \cdots & \mathrm{a_{NN}} \end{bmatrix}$

$(i,j=1,2,\cdots,N)$；其中，a_{ij} 为 EVA1 中针对 EVA0 中某要素而言的第 i 个要素对第 j 个要素的比较值，$a_{ji}=1/a_{ij}$，$(i\neq j)$，N 为 EVA1 中要素的个数，即是 ELE1 中属性的个数；

Step3 根据判断矩阵 $\mathrm{H_S}$，计算 $\mathrm{H_S}$ 每一行诸元素的乘积 $\mathrm{M_i}=\prod_{j=1}^{N}\mathrm{a_{ij}}$，$\mathrm{i,j=1,2,\cdots,N}$，接着，计算 $\mathrm{M_i}$ 的 N 次方根 $\overline{\mathrm{W_i}}=\sqrt[N]{\mathrm{M_i}}$，然后，对 $\overline{\mathrm{W_i}}$ 进行归一化，得到 $\mathrm{H_S}$ 的特征向量的各分量 $\mathrm{W_i}=\overline{\mathrm{W_i}}/\sum_{j=1}^{N}\overline{\mathrm{W_j}}$，则 EVA1 关于 $\mathrm{H_S}$ 的相对重要度为 $(\mathrm{W_1},\mathrm{W_2},\cdots,\mathrm{W_N})$，最后，计算 $\mathrm{H_S}$ 的最大特征根 $\lambda=\sum_{i=1}^{N}\frac{(\mathrm{AW})_i}{\mathrm{NW_i}}$，$\mathrm{W}=(\mathrm{W_1},\mathrm{W_2},\cdots,\mathrm{W_N})^{\mathrm{T}}$，$(\mathrm{AW})_i=\mathrm{H_S}$ 的第 i 行数据与 W 对应项的乘积和；得到 EVA1 对 EVA0 中某要素的层次排序表（表 2）；

Step4 根据 $CR=CI/RI$ 进行一致性检验，其中 $CI=(\lambda_{\max}-N)/(N-1)$，当 $\mathrm{H_S}$ 具有完全一致性时，$CI=0$。RI 为 $\mathrm{H_S}$ 平均随机性指标，当 $CR<0.1$，则认为判断矩阵有满意一致性，计算的相对重要度也是可以接受的，否则，修订 $\mathrm{H_S}$，转入 Step2；

Step5 如果 ELEFlag=0，那么 EVA0=评价层，ELE0=加工质量，EVA1=方案层，ELE1=方案 1，方案 2，・・・，方案 num，ELEFlag=ELEFlag+1，转入 Step2；

Step6 如果 ELEFlag=1，那么 ELE0=加工时间，ELEFlag=ELEFlag+1，转入 Step2；

Step7 如果 ELEFlag=2，那么 ELE0=加工成本，ELEFlag=ELEFlag+1，转入 Step2；

Step8 如果 ELEFlag=3，那么 ELE0=资源消耗，ELEFlag=ELEFlag+1，转入 Step2；

Step9 如果 ELEFlag=4，那么 ELE0=环境影响，ELEFlag=ELEFlag+1，转入 Step2；

Step10 从目标层开始，自顶向下地求出当前层上各要素对于上一层次整体而言的综合重要度，其计算公式为：$bp_j=\sum_{i=1}^{m}ap_i\cdot bp_j^{\,i}$，$\mathrm{j=1,2,\cdots,num}$，$ap_i$ 是评价层各要素关于目标层要素的相对重要度，$bp_j^{\,i}$ 是方案层各要素关于评价层某要素的相对重要度，都已求得。得到方案层对目标层的层次总排序表（表 3），选出重要度最高的方案，即是滚齿加工工艺参数的综合优化决策结果。

表 1 要素比较的判断尺度

判断结果	$\mathrm{a_{ij}}$
对 $\mathrm{H_S}$ 而言，同样重要	1
对 $\mathrm{H_S}$ 而言，重要一些	3
对 $\mathrm{H_S}$ 而言，明显重要	5
对 $\mathrm{H_S}$ 而言，重要很多	7
对 $\mathrm{H_S}$ 而言，极端重要	9
介于上述两个相邻判断尺度的中间	2,4,6,8

表 2 层次排序表

EVA0某要素	M_i	$\overline{W_i}$	W_i	$(AW)_i$
EVA1要素1	M_1	$\overline{W_1}$	W_1	$(AW)_1$
EVA1要素2	M_2	$\overline{W_2}$	W_2	$(AW)_2$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
EVA1要素n	M_n	$\overline{W_n}$	W_n	$(AW)_n$

注：n 为自然数，由 EVA1 的要素个数确定

表 3 方案层对目标层的层次总排序表

滚齿加工工艺参数优化决策	加工质量 ap_1	加工时间 ap_2	加工成本 ap_3	资源消耗 ap_4	环境影响 ap_5	层次总排序
方案1	bp_1^1	bp_1^2	bp_1^3	bp_1^4	bp_1^5	$bp_1=\sum_{i=1}^{5} ap_i bp_1^i$
方案2	bp_2^1	bp_2^2	bp_2^3	bp_2^4	bp_2^5	$bp_2=\sum_{i=1}^{5} ap_i bp_2^i$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
方案num	bp_{num}^1	bp_{num}^2	bp_{num}^3	bp_{num}^4	bp_{num}^5	$bp_{num}=\sum_{i=1}^{5} ap_i bp_{num}^i$

3.1 构建滚齿加工工艺本体库

首先分析这一实例领域，列举概念并分层：(1) 准备工作。查看编号和实际尺寸是否与工艺过程要求相符合；查看齿坯基面标记，不得将定位基面装错。(2) 齿坯加工。本例中，定位孔的尺寸和形状精度等级为 IT7，粗糙度 Ra1.25μm，分度圆直径为$2.5\times38/\cos11.482=93.099mm$，小于 125$mm$ 的齿坯外圆径向跳动和基准端面跳动公差不超过 0.018mm；齿坯装夹时，应将有标记的基准面向下，使其支承面贴合，不得垫纸或铜皮等物；压紧前用千分表检查齿坯外圆径向圆跳动和基准端面跳动，压紧后需要再次检查，以防压紧时产生变形。(3) 滚刀、夹具等优化匹配。本例中，进行粗加工时，选择 B 或 C 等级的滚刀精度，进行精加工时，选择 AA 等级的滚刀精度；在滚齿时，如发现齿面有光斑、拉毛、粗糙度变坏等现象时，必须检查滚刀磨损量，本例中，粗滚刀磨损量不得大于 0.4mm，精滚刀磨损量不得大于 0.2mm；精滚刀每次刃磨后均需检查容屑槽齿距累积误差、容屑槽相邻周节误差、刀齿前面的非径向性、齿面粗糙度和刀齿前面与内孔轴线的平行度等，并要有检查合格证方可使用；夹具安装时，不同位置要满足不同的误差要求，本例中，如图 5 所示，A 处的圆跳动误差上限为 0.015mm，B 处为 0.010mm，C 处为 0.005mm，D 处为 0.015mm。(4) 工艺参数优化。根据被加工齿轮的技术参数、精度要求、材质和齿面硬度等情况决定切削用量。用单头滚刀时推荐采用以下加工规范：a.滚切次数：1（精滚）；b.切削深度：全齿深；c.切削速度：32~45m/mm；d.进给量：精滚进给量：0.6~0.8mm/r。

按照第 1 节中滚齿加工工艺本体库的构建方法，建立概念库，如表 4 所示。

分析表 4 中概念知识间的联系，抽象为关系知识，按照第 1 节中滚齿加工工艺本体库的构建方法，建立关系库，如表 5 所示。

可以从上面的概念和关系知识中进行属性和规则提取，按照第 1 节中滚齿加工工艺本体库的构建方法，建立属性库和规则库，如表 6-7 所示：

按照第 1 节中滚齿加工工艺本体库的构建方法，将此例作为实例添加进实例库中，如表 8 所示。

针对本例的概念库、关系库、属性库、规则库及实例库构成了针对本例的滚齿加工工艺本体库。

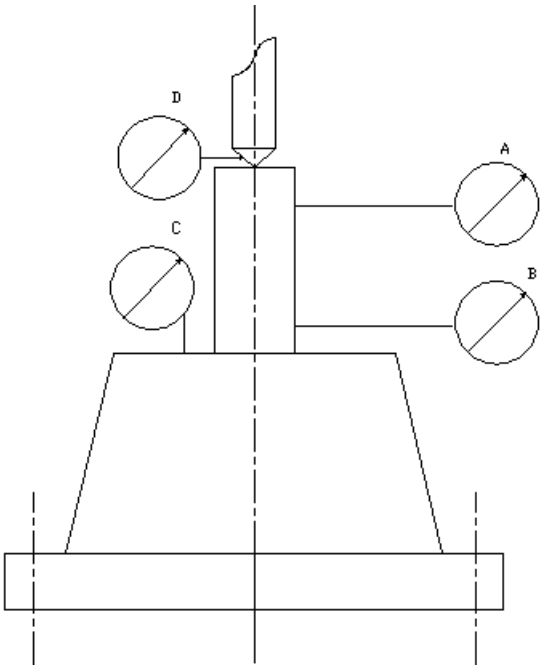

图 5 滚齿夹具安装检查的示意图

表 4 针对本例的概念库

概念号	概念名称	同义词	缩略词	概念描述	父类号	所属领域名称
1	齿坯加工	齿坯生产、处理		对齿坯的精度, 粗糙度, 热处理及装夹等提出要求		滚齿加工工艺
2	滚刀, 夹具等优化匹配	加工流程优化		对滚刀选择, 夹具, 机床调整等提出要求		滚齿加工工艺
3	工艺参数优化	工艺参数改进	参数优化	对滚切工艺, 优化算法等进行调整优化		滚齿加工工艺
4	滚刀选择			综合考量滚刀材料, 几何特征, 精度及装夹等	2	滚齿加工工艺
5	滚切工艺	加工方式、辅助设定等	滚切	对粗滚, 精滚, 顺滚, 逆滚及冷却方式等实现参数化, 实现优化加工	3	滚齿加工工艺
…	…	…	…	…	…	…

表 5 针对本例的关系库

关系号	关系名称	关系前件	关系后件	关系描述
1	A-part-of	2	4	整体/部分 滚刀、夹具等优化匹配与滚刀选择
2	A-coequality-of	4	5	同级: 滚刀选择与滚切工艺
…	…	…	…	…

表 6 针对本例的属性库

属性号	所属概念号	关系号	属性名称	值的类型	值的范围	默认值
1	1		定位孔粗糙度	Double	1.25 μm	
2	1		齿坯分度圆直径	Double	93.099 mm	
3	1		齿坯外圆径向跳动公差	Double		
4	1		齿坯基准端面跳动公差	Double		
5	5		粗滚	String		
…	…	…	…	…	…	…

表 7 针对本例的规则库

规则号	所属概念号	关系号	规则描述	可信度
1	6		小于125 mm 的齿坯外圆径向跳动和基准端面跳动公差不超过0.018 mm	1
2	7		齿坯装夹时, 应将有标记的基准面向下, 使其支承面贴合, 不得垫纸或铜皮等物	1
3	7		压紧前用千分表检查齿坯外圆径向圆跳动和基准端面跳动, 压紧后需要再次检查, 以防压紧时产生变形	1
4		3	进行粗加工时, 选择B或C等级的滚刀精度	1
5		3	进行精加工时, 选择AA等级的滚刀精度	1
6		4	粗滚刀磨损量不得大于0.4 mm	1
7		4	精滚刀磨损量不得大于0.2 mm	1
…	…	…	…	…

表 8 针对本例的实例库

实例号	实例名称	问题描述	实例属性号	实例属性值	实例规则号
1	齿坯外圆径向跳动	齿坯外圆径向跳动公差要满足加工要求	3	0.022 mm	1
2	齿坯基准端面	齿坯基准端面跳动公差要满足加工要求	4	0.022 mm	1
3	齿坯装夹	齿坯装夹时有要求	7	有标记的基准面向下, 使其支承面贴合, 不得垫纸或铜皮等物	2
4	滚刀精度选择	粗加工时, 如何选择滚刀精度	9	B或C等级	4
5	滚刀精度选择	精加工时, 如何选择滚刀精度	9	AA等级	5
…	…	…	…	…	…

3.2 构建滚齿加工工艺参数决策目标空间

通过第 2 节中滚齿加工工艺参数决策目标空间的构建方法，选择了 2 把滚刀，从历史加工实例中选择了 2 个综合相似度高的实例，从而组成如图 6 所示的滚齿加工工艺参数决策目标空间。这里加工质量考虑表面粗糙度，加工时间考虑切削时间，加工成本考虑刀具费用，资源消耗考虑电能消耗，环境影响考虑废液量[11]。

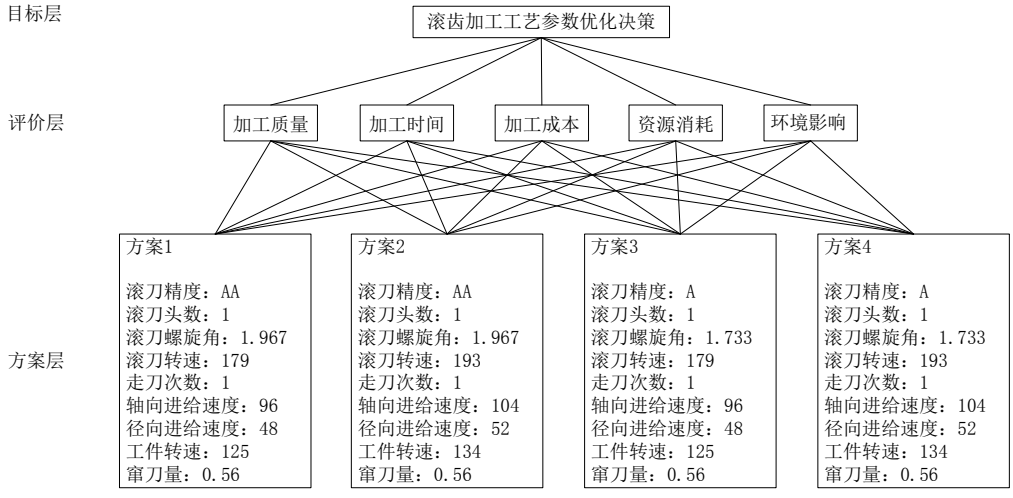

图 6 针对本例的滚齿加工工艺参数决策目标空间

注：图中属性的单位分别为：滚刀螺旋角(°)，滚刀转速(r/min)，轴向进给速度(mm/min)，径向进给速度(mm/min)，工件转速(r/min)，窜刀量(mm)

3.3 滚齿加工工艺参数的综合优化决策

运用第 3 节中滚齿加工工艺参数的综合优化决策方法，以表 3 的结构来说明本例的优化决策结果，如表 9 所示。

表 9 针对本例的方案层对目标层的层次总排序表

滚齿加工工艺参数优化决策	加工质量	加工时间	加工成本	资源消耗	环境影响	层次总排序
	0.347	0.347	0.120	0.120	0.066	
方案1	0.292	0.292	0.095	0.167	0.167	0.245
方案2	0.413	0.413	0.160	0.333	0.333	0.368
方案3	0.108	0.108	0.467	0.167	0.167	0.162
方案4	0.187	0.187	0.278	0.333	0.333	0.225

根据层次总排序值的大小确定方案 2 为本例的优化决策结果。在滚齿机 YS3120CNC6 上加工的结果为：表面粗糙度为 1.6μm，加工时间为 3.99min，滚刀费用为 7.2 元，电能消耗为 1.463 度，综合效果优。

4 结论

为了高效检索历史工艺实例和提高综合加工效果，本文首先运用本体论的方法将滚齿加工工艺知识抽象，构建滚齿加工工艺本体库；接着综合考虑加工质量、加工时间、加工成本、资源消耗、环境影响等因素，通过检索本体库和实例推理的方法实现滚齿加工工艺参数决策目标空间的表达；最后运用层次分析法计算出最优的方案，完成综合优化决策。实验验证了方法的可行性和有效性。该方法用数据库存储的滚齿加工工艺本体库可以实现该领域知识的共享和重用，将实例推理和层次分析法结合运用，不仅能够高效地从历史工艺实例中检索相似度高的实例，而且综合加工效果优。

REFERENCES

[1] Zhijun Han, Kun Zhang, Guojun Yu. Research on Intelligent Generation System of Technological Parameters for Machining Center[J]. Journal Of Tsinghua University(Science And Technology), 1999, 39(2): 30-33

[2] Jin Cheng, Jianrong Tan, Lili Jin. Multi-objective Intelligent Optimization of Injection Molding Parameters Based on BP-NSGA[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2009, 15(10): 1900-1906

[3] S H Yang, U Natarajan. Multi-objective Optimization of Cutting Parameters in Turning Process Using Differential Evolution and Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II Approaches[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2010, 49(5-8): 773-784

[4] Rayegani Farzad, Onwubolu G C. Fused Deposition Modelling (FDM) Process Parameter Prediction and Optimization Using Group Method for Data Handling (GMDH) and Differential Evolution (DE)[J]. International Journal Of Advanced Manufacturing Technology, 2014, 73(1-4): 509-519

[5] Saini Lalit, Mohan. Peak Load Forecasting Using Bayesian Regularization, Resilient and Adaptive Backpropagation Learning Based Artificial Neural Networks[J]. Electric Power Systems Research, 2008, 78(7): 1302-1310

[6] Kejun Xiang, Zhanqiang Liu, Xing Ai. Development of High-speed Cutting Database System Based on Hybrid Reasoning[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2006, 12(3): 102-109

[7] Zuntong Wang, Zhanqiang Liu, Xing AI. Case similarity and its application in high-speed machining[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2005, 11(5): 122-127

[8] Hualin Yang, Shuiguang Tong, Rongren Wu. Automation Technology of Injeetion Mold Design Based on Case-based Reasoning[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2008, 44(10): 294-299

[9] Wenbo Zhu, Aiping Li, Xuemei Liu. Research on Knowledge Representation for Stamping Process Based on Ontology[J]. China Mechanical Engineering, 2006, 17(6): 616-620

[10] Tichun Wang, Shisheng Zhong. Extensible Scheme Design of Large-Scale Hydraulic Turbine Based on Knowledge Reuse[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2008, 20(2): 239-245

[11] Mingshu Zhang, Chunping Qin YAN Bin. High-speed cutting parameters optimization decision based on graph theory and fuzzy TOPSIS[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2013, 19(11): 2802-2809

【作者简介】



[1]曹卫东（1989-），男，汉，重庆大学博士在读，研究方向：CAD/CAE、制造系统工程。
Email: caoweidong19890710@126.com

[2] 阎春平（1973- ），男，汉，博士，教授，研究方向：CAD/CAE、制造业信息化、绿色制造等。
Email: ycp@cqu.edu.cn