

基于可拓学的设计方案进化推理方法

赵燕伟^{1,2}, 刘海生², 张国贤¹

(1. 上海大学机电工程与自动化学院, 上海 200072; 2. 浙江工业大学机电工程学院, 杭州 310014)

[摘要] 在分析现有概念设计求解策略的基础上, 提出了基于可拓学理论与遗传算法相结合的概念设计求解模型。利用遗传算法模拟物元变换过程, 建立了产品方案物元描述的内部模型和外部模型, 探讨了内、外模型的转换关系并通过关联函数将内、外部模型联系起来。根据内部模型给出了遗传算法的编码形式以及与之相适应的交叉、变异策略, 并通过可拓评价方法建立了遗传算法的适应值函数, 基本解决了产品概念设计中的知识组合爆炸和矛盾冲突问题。最后通过求解减速器方案验证了该方法的可行性。

[关键词] 概念设计; 物元变换; 遗传算法; 进化推理; 可拓评价

[中图分类号] TH122 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2003)05-0063-07

1 引言

概念设计过程是求解实现功能、满足各项技术和经济指标并最终确定综合最优方案的过程。现有的概念设计推理模型基本上是基于公理化设计理念的域与域间的映射机制。域的基本划分为顾客需求域、功能域、载体域和过程域^[1]。目前主要的域结构有 Umeda 提出的功能—行为—状态模型^[2]、Qian 等提出的功能—约束—结构法和功能—行为—结构—环境模型^[3]等。在映射的方法上大多数采用基于符号智能的规则推理技术, 如二元逻辑推理和模糊综合评价相结合的推理机制^[4~5], 基于实例的功能推理、结构推理机制^[6~7], 基于实例的再设计推理机制^[8], 基于原型的知识表示和推理方法等^[9]。

上述推理模型试图找到设计过程中隐含的逻辑关系, 属于自上而下的设计思路。这类模型和推理策略的不足之处在于: a. 模型的实现以功能、行为和结构等的完整存在集为基础, 但在概念设计阶段, 功能、行为、结构集定义不良, 因而使基于传统逻辑推理的求解方法遇到了困难; b. 推理过程

中节点的匹配, 只能以当前节点的情况进行判断, 仅仅是一种局部的评价模式。节点所选元素对全局(产品整体方案)的影响, 尤其是当前节点与其他节点结合起来对全局的影响则无从评价。

可拓学中的菱形思维方法和物元变换技术, 既符合概念设计中人们的思维模式又具有较大的创造性^[10~13]。遗传算法是一种高度并行的、随机的、自适应的搜索算法, 可以解决概念设计中知识的组合爆炸问题。笔者提出一种基于物元进化算法的概念设计推理模型。该模型利用物元建立产品和组成产品元素的知识模型, 将产品方案看作产品领域内元素的有机组合。求解过程是以市场需求驱动、以菱形思维和物元变换为基础、以遗传算法为工具的概念方案空间的寻优过程。

2 产品及其组成元素物元模型

可拓学以物元作为认识和分析事物的基本逻辑单元, 物元由描述事物的概念 N 、特征 c 和关于特征的量值 v 组成, 记为

$$R = (N, c, v)。 \quad (1)$$

2.1 元素的物元模型

[收稿日期] 2002-09-27; **修回日期** 2002-12-07

[基金项目] 国家自然科学基金项目(50175103); 国家“八六三”高技术计划资助项目(2002AA411110)

[作者简介] 赵燕伟(1959-), 女, 河南郑州市人, 浙江工业大学教授, 硕士生导师, 上海大学博士研究生

元素是组成产品方案的物质基础,有关它们的操作——对它们的变换和组合,构成了产品设计的过程。元素的物元模型除了包括描述自身的特征如材料、功能、参数大小等外,还应该包括与其他元素物元的关系特征如它的接口特征、实际连接情况等。假定根据设计对象的领域知识确定了设计中元素应由 c_1, c_2, \dots, c_w 等特征描述,则它们的物元形式为

$$R_p = \begin{bmatrix} N & c_1 & v_1 \\ & c_2 & v_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_w & v_w \end{bmatrix}, \quad (2)$$

式中 v_j ($j = 1, 2, \dots, w$) 是事物 R_p 关于特征 c_j 的量值。元素属性之间的关系用物元特征之间的相关性来描述。

2.2 产品方案的物元模型

产品设计方案可以看成是由元素组成的有机系统,具有外部和内部特征。内部特征描述方案的内部组成,外部特征描述方案的对外整体特性。一旦确定了组成方案的元素及其特征,就相应地确定了方案的外部 and 内部特征。

设计方案的外部特征由用户需求特征描述。若用户需求特征包含 r_1, r_2, \dots, r_m , 则方案的物元表示为,

$$X_{\text{out}} = \begin{bmatrix} N & r_1 & u_1 \\ & r_2 & u_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & r_m & u_m \end{bmatrix}, \quad (3)$$

式中 u_1, u_2, \dots, u_m 分别是 r_1, r_2, \dots, r_m 的量值。用户的需求可以看成是标准方案物元

$$X'_{\text{out}} = \begin{bmatrix} N' & r_1 & u'_1 \\ & r_2 & u'_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & r_m & u'_m \end{bmatrix}, \quad (4)$$

其中 u'_1, u'_2, \dots, u'_m 分别是用户对产品外部特征 r_1, r_2, \dots, r_m 的需求值。

方案的内部特征用组成它的元素特征矩阵来描述。如果组成产品的元素为 p_1, p_2, \dots, p_w , 则方案的内部特征模型为

$$X_{\text{in}} = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{21} & \dots & v_{w1} \\ v_{12} & v_{22} & \dots & v_{w2} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ v_{1n} & v_{2n} & \dots & v_{wn} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

式中, v_{ij} 是第 i ($1, 2, \dots, w$) 个元素的第 j ($1, 2, \dots, n$) 个特征值。

方案外部模型中的特征值,由内部模型中元素的某些特征的值来确定,即存在一个转换因子集合 $\{\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_z\}$, 将它们依次作用于产品的内部模型,就可以得到方案的外部模型

$$X_{\text{out}} = \{\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_z\} X_{\text{in}}. \quad (6)$$

方案的内部模型一旦确定,其外部模型将相应地确定。如果将方案的内部模型物元的特征看成是系统的输入,方案的外部模型特征是其内部模型元素相互作用而对外的输出,物元之间的相互作用就是系统的有机构成。即系统由一系列规则知识或称方法组成,它们将输入转换成输出。转换算法是利用领域知识直接将内部特征转换成外部特征。

应该指出,在上面产品的内部物元模型中,通过它们的连接特征联系起来,每个产品方案对应一个由其组成元素物元连接起来的连接图,用邻接矩阵表示为

$$L = \begin{bmatrix} l_{11} & l_{12} & \dots & l_{1w} \\ l_{21} & l_{22} & \dots & l_{2w} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ l_{w1} & l_{w2} & \dots & l_{ww} \end{bmatrix}. \quad (7)$$

若 p_i 与 p_h 相连接,则 $l_{ih} = 1$, 否则 $l_{ih} = 0$ ($i, h = 1, 2, \dots, w$)。

3 物元变换与进化推理

3.1 方案编码

在概念设计推理过程中,编码代表了产品的一个方案,遗传算法的编码方案采用前面讨论过的方案模型如式(5)和式(7)所示。一个编码包含两部分:式(5)是物元集合的特征矩阵,特征被赋予具体的量值;式(7)代表了物元集合中物元之间连接图的邻接矩阵。例如,第 k 个染色体的编码为

$$L^k = \begin{bmatrix} l_{11}^k & l_{12}^k & \dots & l_{1w}^k \\ l_{21}^k & l_{22}^k & \dots & l_{2w}^k \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ l_{w1}^k & l_{w2}^k & \dots & l_{ww}^k \end{bmatrix}, \quad (8)$$

$$X_{\text{in}}^k = \begin{bmatrix} v_{11}^k & v_{21}^k & \dots & v_{w1}^k \\ v_{12}^k & v_{22}^k & \dots & v_{w2}^k \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ v_{1n}^k & v_{2n}^k & \dots & v_{wn}^k \end{bmatrix}. \quad (9)$$

式中 $k = 1, 2, \dots, M$ 是遗传算法的群体规模, w_k 是第 k 个个体所含元素数目。

应该指出, 算法采用的编码方案的广义长度即矩阵的规模并不固定, 因为在概念设计阶段, 方案的组成结构还没有确定。如果采用固定长度的编码将会降低算法的创新性。在后面的论述中, 产品方案和个体具有相同的含义。

3.2 物元变换与进化算子

利用物元的分解变换生成设计对象的初始组成。如在减速器的方案生成中, 就是较大变速比物元被分成几个较小的变速比物元。而每个较小变速比物元又被聚分成能够实现该变速比的元素物元。

置换、扩缩、增加以及删减变换是解决设计对象初始组成和用户需求矛盾的有力工具。当初始组成中某一个元素物元的某特征不能满足要求时, 可以采用扩缩变换来改变该特征的值; 如果该特征的值已经达到极限而不能扩大或收缩时, 可以采用置换的方法将该物元取代; 如果置换变换和扩缩变换都不能解决矛盾, 就应该考虑采用增加变换来增加物元以协同解决该矛盾。

在推理过程中, 所有变换是逆向应用的。首先对初始组成进行一组物元变换, 再将变换后的结果同变换前的结果相比较, 如果有所改进就接受这一组变换; 相反, 则抛弃该组变换而重新选取另一组变换, 直到结果满意为止。整个求解过程如图 1 所示。

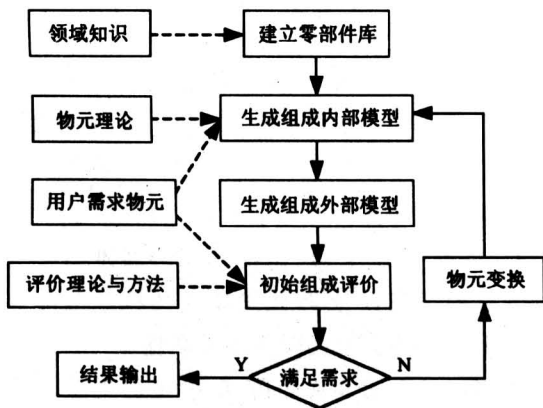


图 1 求解过程示意图

Fig.1 Flowchart of researching model

3.2.1 分解变换与交叉算子 分解变换包括聚分变换与组分变换。分解的目的是为了重新组合, 根据以上分解变换给出如下的交叉算子, 设 w_1, w_2 为个体 1 和个体 2 所含物元数目, X_{in}^1, L^1 是个体

1 的编码, X_{in}^2, L^2 是个体 2 的编码。则交叉操作首先随机生成 $s < (w_1 \wedge w_2)$ (\wedge 为取小运算) 作为两个个体所要交换的物元数目, 计算 $c = (w_1 \wedge w_2) - s$ 作为个体编码中交换的初始位置, 然后对两个个体进行交叉变换。例如, 两个个体的编码分别为

$$L^1 = \begin{bmatrix} l_{11}^1 & l_{12}^1 & \dots & l_{1w_1}^1 \\ l_{21}^1 & l_{22}^1 & \dots & l_{2w_1}^1 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ l_{w_1 1}^1 & l_{w_1 2}^1 & \dots & l_{w_1 w_1}^1 \end{bmatrix}, \quad (10)$$

$$L^2 = \begin{bmatrix} l_{11}^2 & l_{12}^2 & \dots & l_{1w_2}^2 \\ l_{21}^2 & l_{22}^2 & \dots & l_{2w_2}^2 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ l_{w_2 1}^2 & l_{w_2 2}^2 & \dots & l_{w_2 w_2}^2 \end{bmatrix}, \quad (11)$$

$$X_{in}^1 = \begin{bmatrix} v_{11}^1 & v_{21}^1 & \dots & v_{w_1 1}^1 \\ v_{12}^1 & v_{22}^1 & \dots & v_{w_1 2}^1 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ v_{1n}^1 & v_{2n}^1 & \dots & v_{w_1 n}^1 \end{bmatrix}, \quad (12)$$

$$X_{in}^2 = \begin{bmatrix} v_{11}^2 & v_{21}^2 & \dots & v_{w_2 1}^2 \\ v_{12}^2 & v_{22}^2 & \dots & v_{w_2 2}^2 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ v_{1n}^2 & v_{2n}^2 & \dots & v_{w_2 n}^2 \end{bmatrix}, \quad (13)$$

则交叉后产生的新个体的编码为

$$L^1 = \begin{bmatrix} l_{11}^1 & \dots & l_{1c}^1 & \dots & l_{1(c+s)}^1 & \dots & l_{1w_1}^1 \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ l_{c1}^1 & \dots & l_{c\alpha}^1 & \dots & l_{c(c+s)}^1 & \dots & l_{cw_1}^1 \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ l_{(c+s)1}^1 & \dots & l_{(c+s)c}^1 & \dots & l_{(c+s)(c+s)}^1 & \dots & l_{(c+s)w_1}^1 \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ l_{w_1 1}^1 & \dots & l_{w_1 2}^1 & \dots & l_{w_1(c+s)}^1 & \dots & l_{w_1 w_1}^1 \end{bmatrix}, \quad (14)$$

$$L^2 = \begin{bmatrix} l_{11}^2 & \dots & l_{1c}^2 & \dots & l_{1(c+s)}^2 & \dots & l_{1w_2}^2 \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ l_{c1}^2 & \dots & l_{c\alpha}^2 & \dots & l_{c(c+s)}^2 & \dots & l_{cw_2}^2 \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ l_{(c+s)1}^2 & \dots & l_{(c+s)c}^2 & \dots & l_{(c+s)(c+s)}^2 & \dots & l_{(c+s)w_2}^2 \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ l_{w_2 1}^2 & \dots & l_{w_2 2}^2 & \dots & l_{w_2(c+s)}^2 & \dots & l_{w_2 w_2}^2 \end{bmatrix}, \quad (15)$$

$$X_{in}^1 = \begin{bmatrix} v_{11}^1 & \cdots & v_{c1}^2 & \cdots & v_{(c+s)1}^2 & \cdots & v_{w_1}^1 \\ v_{12}^1 & \cdots & v_{c2}^2 & \cdots & v_{(c+s)2}^2 & \cdots & v_{w_1}^1 \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ v_{1n}^1 & \cdots & v_{cn}^2 & \cdots & v_{(c+s)n}^2 & \cdots & v_{w_1}^1 \end{bmatrix}, \quad (16)$$

$$X_{in}^2 = \begin{bmatrix} v_{11}^2 & \cdots & v_{c1}^1 & \cdots & v_{(c+s)1}^1 & \cdots & v_{w_2}^2 \\ v_{12}^2 & \cdots & v_{c2}^1 & \cdots & v_{(c+s)2}^1 & \cdots & v_{w_2}^2 \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ v_{1n}^2 & \cdots & v_{cn}^1 & \cdots & v_{(c+s)n}^1 & \cdots & v_{w_2}^2 \end{bmatrix}. \quad (17)$$

3.2.2 其他变换与变异算子 变异操作的目的是在染色体中引入新的基因，从而增加群体中基因物质的新颖性。依据物元的置换变换、增加变换、删减变换、数乘变换等，设计置换变异、增加变异、删减变异以及扩缩变异。

1) 置换变换与置换变异 以置换变换为依据，置换变异是指自元素库中随机选取一个元素的物元表示，并让它替代所选个体中的一个物元，新物元与其他物元的连接以及该物元的所有特征随机生成或根据领域知识确定。个体内部模型编码如式 (10) 和式 (12) 所示，如用随机选定的元素物元 p' 替代个体内部模型中第 i 个物元 p_i ，则式 (10) 变为

$$L^1 = \begin{bmatrix} l_{11}^1 & \cdots & l_{i1}^1 & \cdots & l_{1w_1}^1 \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ l_{i1}^1 & \cdots & l_{ii}^1 & \cdots & l_{iw_1}^1 \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ l_{w_1 1}^1 & \cdots & l_{w_1 i}^1 & \cdots & l_{w_1 w_1}^1 \end{bmatrix}. \quad (18)$$

式中 l_{ij}^1 和 l_{ji}^1 ($j = 1, 2, \dots, w_1$) 是随机生成的新物元 p' 与个体 1 中其他物元的连接特征，描述了 p' 与其他物元的连接情况。对于式 (10)，变换后的特征编码只是将其中第 i 列的元素依次换成 p' 的特征值。

2) 增加、删减变换 增加或删减变异指向所选个体中增加或删减一个物元，该物元与个体中的其他物元的连接以及物元的特征值随机选取。以增加为例，假设个体编码如式 (10)、式 (12) 所示，并设增加物元为 p' ，则式 (10) 相应变为

$$L^1 = \begin{bmatrix} l_{11}^1 & \cdots & l_{1w_1}^1 & l_{1(w_1+1)}^1 \\ \vdots & & \vdots & \vdots \\ l_{w_1 1}^1 & \cdots & l_{w_1 w_1}^1 & l_{w_1(w_1+1)}^1 \\ l_{(w_1+1)1}^1 & \cdots & l_{(w_1+1)w_1}^1 & l_{(w_1+1)((w_1+1))}^1 \end{bmatrix}. \quad (19)$$

式中最后一行和最后一列为新增元素，其值随机选取 0 或 1，描述了新增加物元 p' 与原方案中 w_1 个物元的连接情况。

对于式 (12)，变换后的特征编码为

$$X_{in}^1 = \begin{bmatrix} v_{11}^1 & v_{21}^1 & \cdots & v_{w_1 1}^1 & v_{(w_1+1)1}^1 \\ v_{12}^1 & v_{22}^1 & \cdots & v_{w_1 2}^1 & v_{(w_1+1)2}^1 \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ v_{1n}^1 & v_{2n}^1 & \cdots & v_{w_1 n}^1 & v_{(w_1+1)n}^1 \end{bmatrix}, \quad (20)$$

最后增加的一列即第 $(w_1 + 1)$ 列，该列的元素依次取 p' 的特征值。

3) 数乘变换与扩缩变异 扩缩变异指扩大或缩小个体中某一个物元的特征值。该变异操作将个体的特征矩阵中按变异概率随机选中的物元特征数乘预定范围的系数 ψ ， $\psi \leq 1$ ，为缩小变异， $\psi > 1$ 为扩大变异。

3.3 确定适应度函数

根据个体编码的结构，适应值函数由两部分组成——方案内部关联性和方案外部关联性，适应度即为

$$f = \omega_{in} D_{in} + \omega_{out} D_{out}, \quad (21)$$

其中 D_{in} 为方案内部关联性， D_{out} 为方案外部关联性， ω_{in} 、 ω_{out} 为 D_{in} 、 D_{out} 的权重。

适应值的计算过程如下：

1) 内部关联性 D_{in} 包括方案内部模型中元素之间连接的正确性 γ 和元素物元的特征值与当前技术水平下该特征的极限值的关联性 d_{in} 。

连接正确性用邻接矩阵 L 中正确连接的元素数与实际连接元素数的比值定义。

在方案的内部模型中，元素特征的取值 v_{ij} 受到在当前技术水平下该特征能达到的极限值 v_{ij}' 的约束，该约束用 v_{ij} 与 v_{ij}' 的关联值 $d_{in ij}$ 表示。

$$d_{in ij} = \begin{cases} 1 & v_{ij} \leq v_{ij}' \\ v_{ij}' / v_{ij} & v_{ij} > v_{ij}' \end{cases}, \quad (22)$$

$$d_{in i} = \wedge (d_{in i1}, d_{in i2}, \dots, d_{in iw}), \quad (23)$$

$$D_{in} = \omega_1 \gamma + \omega_2 \sum_{i=1}^n \omega_{in i} d_{in i}, \quad (24)$$

其中 $\omega_{in i}$, ω_1 , ω_2 为其后一项的权重。

2) 外部关联性 D_{out} 定义为外部模型与用户需求的关联性, 表征个体满足用户需求的程度, 利用关联函数来建立。

为进行定量计算, 首先将推理中涉及的定性指标利用模糊物元技术量值化^[14], 然后采用一定的策略将内部模型转换成外部模型, 并利用式 (25) 计算外部模型所有指标对用户需求的关联度 $d_{out \lambda}$ 。

$$d_{out \lambda} = \begin{cases} 0 & u_{\lambda} \leq (1 - \xi_{\lambda}) u'_{\lambda}, \\ 1 - \frac{|u_{\lambda} - u'_{\lambda}|}{\xi_{\lambda} u'_{\lambda}} & (1 - \xi_{\lambda}) u'_{\lambda} \leq u_{\lambda} \leq (1 + \xi_{\lambda}) u'_{\lambda}, \\ 0 & u_{\lambda} > (1 + \xi_{\lambda}) u'_{\lambda}, \end{cases} \quad (25)$$

式中, ξ_{λ} 为第 λ ($\lambda = 1, \dots, m$) 个用户需求指标的允许误差率。确定各指标对方案影响的权重系数 $\omega_{out \lambda}$ 。最后计算总的外部关联性

$$D_{out} = \sum_{\lambda=1}^m \omega_{out \lambda} d_{out \lambda} \quad (26)$$

这一节所涉及的权重均采用层次分析法确定, 总共分三层。

综合式 (21)、式 (24) 和式 (26) 可得

$$f = \omega_{in} \left(\omega_1 \gamma + \omega_2 \sum_{i=1}^n \omega_{in i} d_{in i} \right) + \omega_{out} \sum_{\lambda=1}^m \omega_{out \lambda} d_{out \lambda} \quad (27)$$

3.4 遗传算法参数的选择

群体规模 30, 算法运行到 150 代终止。新群体的生成策略是: 若新生成的个体优于当前代群体中的最差个体, 则取而代之, 否则放弃新生成的个体。

采用遗传算法模拟物元变换, 适当放大了变异概率。同时考虑到算法的收敛性, 变异概率随着算法的运行逐渐减少。交叉概率 $p_c = 0.6$ 保持不变。变异概率 $p_m = 0.4 (1 - g_{en}/200)$, 其中 g_{en} 为当前运行代数。

4 实例求解

现以求解机械定比传动的减速器方案设计为例。三种用户需求见表 1。

以下简要介绍需求 1 的模型建立和适应值函数计算, 算法的其他部分请参考论文第 3 节, 为了简

化描述, 将方案的组成定义为传动组级。

表 1 需求表

Table 1 Requirements

需求	输入转速 /r·min ⁻¹	输出转速 /r·min ⁻¹	传动功率 /kW	中心距 /mm	效率
1	960	78	4.3	500	0.85
2	1 500	78	4.3	500	0.85
3	960	78	4.3	1 000	0.85

注: 假定以上数据的允许误差为 10 %。

用户要求的物元描述为

$$X'_{out} = \begin{bmatrix} N' & \text{传动比} & 12.31 \pm 1.23 \\ & \text{传动功率} & 4.3 \pm 0.43 \\ & \text{中心距} & 500 \pm 50 \\ & \text{传动效率} & 0.85 \pm 0.085 \end{bmatrix} \circ$$

根据领域知识建立元素库, 包括减速器常用的元素。以直齿圆柱齿轮传动为例, 物元形式为

$$R = \begin{bmatrix} N & \text{名称} & \text{圆柱直齿} \\ & \text{接口} & \{\text{所有传动形式}\} \\ & \text{材料} & 40 \text{ Cr} \\ & \text{功能参数} & \text{参数 1, 参数 2, \dots} \\ & \text{传动功率} & \text{根据功能参数计算} \\ & \text{传动效率} & 0.96 \end{bmatrix} \circ$$

上式中功能参数可以根据概念设计的要求精度选用, 如只选齿轮齿数和模数。

设有某个体的内部模型为

$$\begin{bmatrix} \text{链传动} & \text{圆柱斜齿轮传动} \\ \{\text{所有传动形式}\} & \{\text{所有传动形式}\} \\ 45 & 40 \text{ Cr} \\ 22,66,15.87 & 20,81,2.75 \\ 4.2 & 10.6 \\ 0.93 & 0.96 \end{bmatrix} \circ$$

应用领域知识可以确定该方案。传动比 12.15, 最低传动功率 4.2 kW, 中心距 495 mm, 而传动效率 0.89。外部模型为

$$X_{out} = \begin{bmatrix} N & \text{传动比} & 12.15 \\ & \text{传动功率 /kW} & 4.2 \\ & \text{中心距 /mm} & 495 \\ & \text{效率} & 0.89 \end{bmatrix} \circ$$

依据用户要求对各指标的允许范围, 利用式 (25) 计算得传动比、传动功率、中心距和效率的外部关联度分别为 0.870, 0.767, 0.900, 0.530。

如果已经确定外部模型中的各元素的权重系数

为 0.30, 0.25, 0.30, 0.15, 则个体的需求满足度为

$$D_{out} = 0.870 \times 0.30 + 0.767 \times 0.25 + 0.900 \times 0.30 + 0.737 \times 0.15 = 0.8025。$$

通过计算个体内部关联性为 0.8664。内部关联性和外部关联性的权重取 0.417 和 0.583, 个体的适应值为

$$f = 0.417 \times 0.8664 + 0.583 \times 0.8025 = 0.8291。$$

三个可行方案列于表 2。

表 2 参考方案

Table 2 Reference schemes

需求	传动形式	元素参数	元素参数	性能参数
1	链	22	66	15.87
	圆柱齿轮	20	81	2.75
	功率/kW	4.2	传动比 = 12.15	
	中心距/mm	495		
2	链	22	66	3.175
	圆柱齿轮	19	120	3.5
	功率/kW	6.15	传动比 = 18.95	
	中心距/mm	454		
3	V带	110	280	3根
	链	18	94	15.87
	功率/kW	4.38	传动比 = 13.29	
	中心距/mm	1001		

5 结论

将物元变换技术用于概念设计推理, 建立了求解概念设计的内部物元和外部模型。利用遗传算法模拟物元变换技术, 用关联函数建立适应值函数, 将物元理论和遗传算法有机地结合起来。算法应用于减速器的方案设计, 实验证明算法具有可行性。

无论对于概念设计还是物元理论的应用都是一种新的尝试。其中还有待进一步研究的问题, 如概念设计中的布局问题、知识复用问题以及利用遗传算法模拟物元变换时遗传算法运行的各种参数的确

定策略的研究等。

参考文献

- [1] Rao M, Wang Q, Cha J, et al. Integrated distributed intelligent systems in manufacturing [M]. London: Chapman & Hall, 1992
- [2] Umed A Y, Ishii M, Yoshioka M, et al. Supporting conceptual design based on the uncton-behavior-state modeler [J]. Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, 1996, 10(4): 275~288
- [3] Qian L, Gero J S. Function-behavior-structure paths and their role in analogy-based design [J]. Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, 1996, 10(4): 289~312
- [4] 邹慧君, 汪利, 王石刚, 等. 机械产品概念设计及其方法综述[J]. 机械设计与研究, 1998, (2): 9~12
- [5] 蔡逆水, 邹慧君, 王石刚, 等. 基于多层推理机制的机械产品概念设计[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 1997, 17(6): 549~553
- [6] 孔凡国, 邹慧君. 基于实例的机构创新设计理论与方法的研究[J]. 机械与电子, 1996, (2): 17~19
- [7] 孔凡国, 邓祥明. 智能化概念设计系统集成求解策略的研究[J]. 工程图学学报, 1998, (2): 66~71
- [8] 毛权, 肖人彬, 周济. CRB中基于实例特性的相似实例检索模型研究[J]. 计算机研究与发展, 1997, 34(4): 257~263
- [9] 潘云鹤. 智能CAD方法与模型[M]. 北京: 科学出版社, 1997
- [10] 蔡文. 物元模型及其应用[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1994
- [11] 蔡文, 杨春燕, 林伟初. 可拓工程方法[M]. 北京: 科学出版社, 1997, 86~128
- [12] 赵燕伟, 张国贤. 机械产品可拓概念设计研究[J]. 中国工程科学, 2001, 3(5): 67~71
- [13] 赵燕伟. 基于多级菱形思维模型的方案设计新方法[J]. 中国机械工程, 2000, 11(6): 650~653
- [14] Zhao Y W. A new integrated design method based on fuzzy matter-element optimization [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2002, 129(1~3): 612~618

A New Evolution-reasoning Method in Conceptual Design Based on Extension Theory

Zhao yanwei^{1,2}, Liu haisheng², Zhang Guoxian¹

(1. College of Mechanical & Electronic Engineering, Shanghai University,
Shanghai 210072, China; 2. College of Mechanical & Electronic Engineering,
Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310032, China)

[Abstract] After existing study methods are analyzed, a new researching model for conceptual design based on extension and genetic algorithms was presented. The inner-model and outer-model of product project were set up with matter elements. In genetic algorithms the coding for individual, the means for cross-over and mutation were all founded based on the inner-model. The fitness function was set up combined with relationship function. The technique solves the innovative and incompatible problems in conceptual design. The feasibility of the new researching model is testified by three conceptual design examples for retarder.

[Key words] conceptual design; matter elements transform; genetic algorithms; evolution reasoning; extension appraisal

(cont. from p. 62)

The Mechanism of Fiber Bending and Elongation in the Integrated Piercing Process of Orthogonal Laminated Woven Fabrics

Zhu Jianxun, He Jianmin, Wang Haiyan

(College of Economics and Management, Southeast University, Nanjing 210096, China)

[Abstract] The paper analyzes the interaction between woven fabric and needle in the integrated piercing process of orthogonal laminated woven fabrics, proposes and establishes fiber bending elongation and elongation breakage model, and talks over the structure parameters influencing fiber bending elongation. Through theory analysis and testing result analysis, the paper indicates that breakage caused by bending and elongation around needles is a function of the ratio X between diameter of needle in Z direction and needles distance in Z direction, and suggests that smaller X value be chosen in order to reduce fiber elongation breakage of the integrated piercing.

[Key words] integrated piercing; fiber; bending elongation; structure parameter; elongation breakage