

Study on Assembling Ability Evaluating for Virtual Maintenance System of Complex Products

Siqun Ma¹, Linfeng Li², Wenzhong Zhao¹, Xiaozhen Mi¹, Shaoze Zhou¹, Yan Jin¹,
Yongwei Guo², Shujing Zhang³, Jian Li³, Ran Tao³

¹Traffic & Transportation School, Dalian Jiaotong University, DaLian 116028, China;

²Software Technology Institute, Dalian Jiaotong University, DaLian 116028, China

³Department of arts, Dalian Jiaotong University, DaLian 116028, China

Abstract: The assembling ability evaluating for virtual maintenance system of components can be viewed as a problem of the multi-level fuzzy comprehensive evaluation which should be divided into different layers based on its attributes and employ it to evaluation. Therefore, a new system is found to evaluate this kind of problems base on the knowledge of fuzzy mathematics to explore the fuzzy comprehensive evaluation of the theory and method, then establishes the mathematical model of collaborative design can be assembled on multilevel fuzzy evaluation. Finally, an example of collaborative design for fuzzy evaluation to understand the mathematical model.

Keywords: fuzzytheroy; assembling ability; complex structure products; evaluation

虚拟维修系统中复杂产品可装配性评价方法研究

马思群¹, 李林峰², 兆文忠¹, 米小珍¹, 周韶泽¹, 金燕¹, 郭永伟², 张书静², 李健²

¹大连交通大学 交通运输工程学院, 辽宁 大连 116028;

²大连交通大学 软件学院, 辽宁 大连 116028;

³大连交通大学 艺术学院, 辽宁 大连 116028

摘 要: 在虚拟维修系统中零件可装配性的评价,可以看成是一个多级模糊综合评价的问题,文章认为评价时应根据评价对象的不同属性划分成不同的评价层次,再采用多级模糊综合评价方法^[1]来进行评价。为此,以模糊数学相关的知识,建立了协同设计基于模糊数学的评价指标和评价体系,探索了模糊数学的综合评价理论和方法,建立了协同设计可装配性多级模糊评价的数学模型。最后用一个协同设计的模糊评价实例来说明了建立的数学模型。

关键词: 模糊理论;可装配性;复杂产品;评价

转向架是动车组运行安全的关键组成部件之一,结构与装配关系复杂。以时速 350 公里的 CRH3 型高速动车组转向架为例,包括一系、二系、制动、牵引电机、轮对组成、构架、辅助装置等子系统,含零部件 2000 多个。虽然转向架制造成本只占整个动车组的 15%,但在全生命周期的维修成本中则占到 40%以上。因此高速动车组的维修维护水平直接影响客运专线的运营可靠性及安全性,在高速动车组 5 级修程中,转向架的检修工作量最大,因此以动车组转向架为载体进行面向维修/维护的虚拟装配关键技术研究具有重大意义。

“动车组装配/检修用虚拟装配实用系统”是虚拟装

配技术在铁路机车车辆行业的工程应用。为了创建一个能使操作者感受到身临其境的逼真环境,就需要创建完善的产品装配模型。

转向架的设计是一项系统工程,需要不断验证,反复迭代才能达到最终的使用和装配要求。如果产品中的各装配对象之间的空间位置关系不合理,不但影响装配的可达性和操作性,还增加了装配难度和装配时间,而装配简单和装配周期尽可能短是复杂结构产品的基本要求。在进行可装配性评价时,首先要确定影响可装配性的因素。影响产品可装配性的因素很多,一般可以分为零件级、装配系统级和装配工艺级,其中零件级影响因素

包括零件形状、尺寸、重量、对称性、装配时所需的装配外力和装配对象的装配精度等。装配系统级影响因素包括有无基准件、配合间隙、插装方向、装配运动方式、装配特征可见性和装配位置可达性等。装配工艺级影响因素包括联接方式、有无插入导向、插装阻力、是否需辅助工具和基体装配运动的稳定性等。

产品可装配性分析与评估技术在产品的设计阶段较早地考虑了产品的可装配性、装配成本、装配序列和路径等各种因素,一方面为产品设计提出合理的修改意见,另一方面为制定产品的装配工艺规程提供指导性意见。但是产品的可装配性评价技术还远远没有成熟,仍然有很多技术问题有待于解决,其技术水平相对滞后。当前很少有利用评价结果进行装配方式的优化。也几乎没有从整体上研究可装配性问题,即没有对装配过程中的每一个步骤都进行分析与评估。本文研究的目的是针对上述问题,提出一个完整有效的针对动车组转向架这类复杂产品的可装配性评价指标体系。

1. 复杂产品可装配性评价指标体系

对于复杂产品来说,影响可装配性的因素有多种,国内学者已针对该问题进行了比较深入的研究。对于象高速动车组转向架这类复杂的机械产品,我们认为影响可装配性的主要因素有:①零件级装配,②系统级装配,③工艺级装配,共有三级因素^[2]。因此我们根据三级子因素以及影响子因素的各指标我们建立了可装配性评价指标体系如图1所示:

2. 复杂产品可装配性模糊综合评价模型的建立

由于复杂产品可装配性评估指标是对复杂产品可装配性中某种特定属性的定量度量,因此建立可装配性评估指标体系对全面、综合、深入地了解复杂系统的功能及性能,提高装配的质量和效率有着重要的意义。复杂产品可装配性是由多方面的因素决定的,因此必须对每一种元素进行评价,然后根据此基础综合考虑所有的因素做出一个综合评价。由于涉及复杂产品可装配性因素具有不确定性和模糊性,因此本文引入了三角模糊数来表示专家判别信息,提出采用多级模糊综合评价和FAHP结合的方法对复杂系统的可装配性进行综合评估的方法,既充分体现了可装配性过程的模糊性,又有效综合了各种评估意见,减少了单一的判断带来的风险。

2.1 多级模糊评判的评判步骤

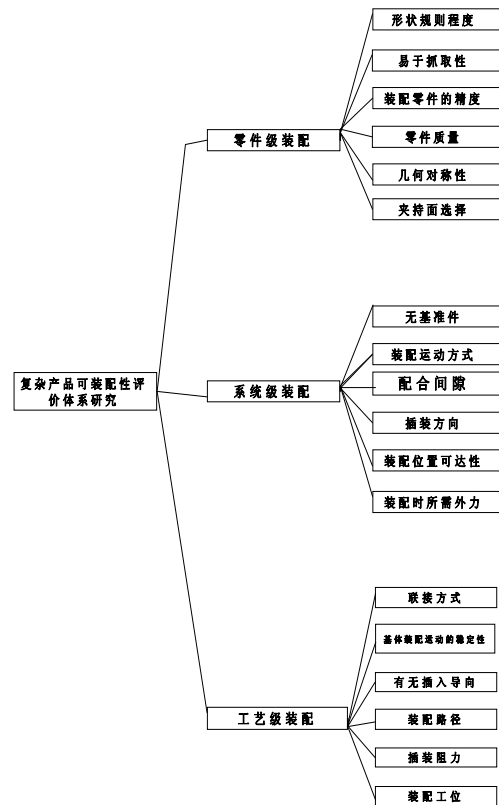


Figure 1. The system of assembling ability evaluating

图 1. 可装配性评价指标体系

设评判对象因素集为 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ 和评判集 $V = \{V_1, V_2, \dots, V_m\}$

(1) 运用模糊 FAHP 确定指标权重

文献^[6]已经给出了三角模糊数的定义及有关运算法则。基于三角模糊数 FAHP 确定各因素权重主要步骤如下:

① 由专家对评价指标及对象进行比较,并用三角模糊数来构造模糊判断矩阵。

$$A = (a_{ij})_{n \times n} \quad (2)$$

② 对于各模糊判断矩阵,计算其中各个元素的模糊综合程度 s_i 。设定第 i 个对象满足第 j 个目标的程度值分别为 M_{Ei}^j , 由此可定义第 i 个对象关于 m 个目标的综合程度值

$$s_i = \sum_{j=1}^m M_{Ei}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{Ei}^j \right]^{-1} \quad (3)$$

③ 对各模糊判断矩阵,计算其第 A_i 个元素相比其他各元素的综合重要程度

$$d'(A_i) = \min_{j=1,2,\dots,n} v(S_i \geq S_j), \quad (4)$$

$$j=1,2,\dots,n.$$

$$\text{由此得出指标权重 } w=(d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T, \quad (5)$$

其中 $d(A_i)$ 是 $d'(A_i)$ 归一化后的数值。

(2) 单因素评判

因素子集 $u_i (i=1,2,\dots,m)$ 为第一层次(即最高层次)中的第 i 个因素, 它被称为影响因子。根据复杂系统可评价体系, 这里 $U = \{i=1,\dots,3\}$ 分别代表 u_1 零件级装配, u_2 系统级装配, u_3 工艺级装配, 由此构造模糊评价矩阵 $R = (r_{ij})_{m \times n}$, 其中 r_{ij} 为 U 中因素 u_i 对应 V 中等级 v_j 的隶属关系。

(3) 模糊综合评判

综合评判结果

$$B = W \circ R = \{b_1, b_2, \dots, b_m\} \quad (6)$$

其中“ $\circ$ ”代表合成算子,参考文献^[7]的算子选定原则, 本文选用 Zadeh 算子 $M(\wedge, \vee)$ 进行计算, 若 $\sum_{j=1}^m b_{j \neq 1}$,

应将 B 归一化。

(4) 多级模糊评判

由于每一因素都是由低一层次的若干因素决定的, 所以每一因素的单因素评判, 应是低一层次的多因素综合评判。本文以二个层次为例进行讨论。

下面以时速 350 公里的 CRH3 型高速动车组转向架为例, 包括一系、二系、制动、牵引电机、轮对组成、构架、辅助装置等子系统, 含零部件 2000 多个。对转向架的可装配性进行多级模糊评价。根据图(1)建立的可装配性指标, 运用基于三角模糊数的 FAHP 确定各指标权重分配。由专家组给出的各指标的可信性, 最后运用模糊综合评估方法得到整个转向架的可装配性。

首先运用 FAHP 确定各因素权重, 请主体领域专家用三角模糊数对复杂产品可装配性下属的各个子指标两两比较构造模糊判断矩阵。

由式(3)计算每个子指标同所有其他子指标相比较的模糊综合程度值:

$$S_1 = (0.0382, 0.0672, 0.1420).$$

$$S_2 = (0.0426, 0.0916, 0.2263),$$

$$S_3 = (0.0613, 0.1288, 0.3086),$$

由式(2)得

Table 1. The judge of matrix which the level of parts evaluating
表一 零件级装配的判断矩阵

	U_1	U_2	U_3
U_1	(1,1,1)	(1/2,1,2)	(1/3,1/2,2/3)
U_2	(1/2,1,2)	(1,1,1)	(2/3,1,2)
U_3	(3/3,2,3)	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)

$$d'(A_i) = \min_{j=1,2,\dots,n} v(S_i \geq S_j) = 0.1327,$$

即得权重向量

$$w' = (d'(A_1), d'(A_2), d'(A_3))^T$$

$$= (0.1328, 0.4268, 0.6336)$$

归一化得 $w = (0.0304, 0.0976, 0.1450)$.

类似的, 构造其余各指标的判断矩阵, 进而确定各指标的权重分配。

将评价集分为 5 个等级, 数量化为: $V = \{0.95, 0.85, 0.6, 0.55, 0.3\}$ 。以子指标零件的可装配性为例, 采用专家打分法来构造模糊评判矩阵, 并归一化处理得:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.35 & 0.25 & 0.1 & 0 \\ 0.4 & 0.3 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.35 & 0.3 & 0.2 & 0.1 & 0.05 \\ 0.35 & 0.3 & 0.1 & 0.2 & 0.05 \\ 0.35 & 0.25 & 0.25 & 0.1 & 0.05 \\ 0.4 & 0.4 & 0.1 & 0.1 & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

类似的, 进行其余各指标的单因素评判, 得到模糊评判矩阵 R_2, R_7 。根据式(6)一级模糊矩阵综合

$$\text{评价结果 } B = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.2 & 0.2 & 0.1 & 0.05 \\ 0.2 & 0.2 & 0.2 & 0.15 & 0 \\ 0.2 & 0.2 & 0.2 & 0.1 & 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

一级模糊综合评估反映单因素不同等级对评估的影响, 由于涉及的因素很多, 为了寻求更多的因素对评估结果的总体影响, 二级模糊综合评估结果为:

$$B^* = W \circ B = \{0.2 \ 0.2 \ 0.2 \ 0.15 \ 0.2\} \quad (9)$$

根据最大隶属度法^[5], 认为本次评价的结果较好。

用百分制表示可装配性的话, 则本次可装配性的评价得分为: $S = B^*V \times 100 = 62.25$ 。数量化评价结果本次得分为 62.25。可装配性也是介于好于一般之间, 符合要求的多级模糊评价方法, 采用基于模糊数学模型建立的多级模糊综合评价方法, 评价过程不仅考虑了所有因素的影响, 而且保留了各级评价的全部

信息。计算中队各因素配以不同的权重数，所以能区分评价项目的重要程度，其评价结果能够较好的反映实际情况，且方便地转化成具体的分数，便于评价结果的直观比较和设计决策。实践表明，该方法具有较好的可操作性和实用性。

3. 结论

在深入分析的基础上，研究了复杂产品可装配性的多级模糊评价方法，采用基于模糊数学模型建立的多级模糊综合评价方法，评价过程不仅考虑了所有因素的影响，而且保留了各级评价的全部信息。计算中队各因素配以不同的权重数，所以能区分评价项目的重要程度，其评价结果能够较好的反映实际情况，且方便地转化成具体的分数，便于评价结果的直观比较和设计决策。实践表明，该方法具有较好的可操作性和实用性。

致 谢

本研究是在中华人民共和国铁道部 2008 年科技计划项目“动车组装配/检修用虚拟技术研究”（项目号：No.2008J012-C）支持下开展的，同时得到了辽宁省教育厅 2009 年创新团队项目“CRH3 动车组装配/检修用虚拟装配技术研究”（项目号：No.2009T011）及 2010 年辽宁省科技厅计划项目“大功率机车转向架多

学科优化技术研究”、大连交通大学 2009 年教改项目”融合最新科研成果为教学案例,建设适合动车组专业的《列车总线控制》”、大连交通大学引进层次人才资金等科研项目的资金资助。

References (参考文献)

- [1] Liou S M,Lo S L,Hu C Y Application of two-stage fuzzy set theory to river quality evaluation in Taiwan 2003(37)
- [2] ZHANG Gang ,WEN Hai, Study on assembling ability evaluating for complex structure products[J] MACHINERY DESIGN & MANUFACTURE, 2008(04)
张刚,周海. 复杂结构产品可装配性评价方法研究[J]. 机械设计与制造, 2008 (04)
- [3] Abdullah, M.M., and Omar, S.A,Impact assessment of an improper effluent control system : a Delphi study, Ecological Impact Assessment, 1997
- [4] Carnhan J V,Thurston D L,Liu T.Fuzzing ratings for multi-attribute desig decision-making[J].Journal of Mechanical Design, 1994,11 (6): 511-521
- [5] Yu Jianfeng, Li Yuan ,Yang Haicheng AERONAUTICAL MANUFACTURING TECHNOLOGY 2005 ""(6)
余剑峰, 李原, 杨海成 西北工业大学 CAD/CAM 国家重点实验室. 面向飞机装配结构的层级网络模型[J]. 航空制造技术, 2005(06)
- [6] YANG Hui-zhen; KANG Feng-ju; LI Jun (College of Marine Engineering of Northwest Polytechnic University; Xi'an Shanxi 710072; China)
- [7] ZHANG Wei; WANG Xing-ren (Advanced Simulation Technology Key Laboratory of Aviation Science and Technology; BUAA 100083; China)