

文章编号: 1006-1576 (2007) 11-0050-03

# 装备一体化设计过程中维修性设计要求的权衡技术

张爱民, 侯彦彪, 杨天军, 刘立泽  
(65364 部队 装备处, 吉林 东丰 136300)

**摘要:** 装备一体化设计过程中的维修性冲突避免技术体系, 基于多种权衡算法, 选择层次分析法确定各维修性设计要求的重要度。首先构建维修性设计要求的层次结构模型, 其次分析维修性设计要求层次结构模型中每一层次的因素相对于上一层次某因素的单排序情况, 最后依次由上而下计算维修性设计要求层相对于维修性特性层的重要性系数或相对优劣次序的排序值。

**关键词:** 维修性冲突避免; 维修性设计要求; 维修性设计要求的权衡; 层次分析法  
**中图分类号:** TP207 **文献标识码:** A

## Tradeoff Technology of Maintainability Design Requirements in Equipment Integrated Design

ZHANG Ai-min, HOU Yan-biao, YANG Tian-jun, LIU Li-ze  
(Dept. of Equipment, No. 65364 Unit of PLA, Dongfeng 136300, China)

**Abstract:** The maintainability conflict mitigation system of equipment integrated design selects the AHP to ensure the importance degree based on multi-tradeoff methods. At first, establish the hierarchy structure model according to design requirement; then, acquire the single sorting between hierarchy factor and its upper hierarchy factor; at last, according to the sequence, compute the importance coefficients or comparative quality sequence value between maintainability design requirement hierarchy and maintainability feature hierarchy.

**Keywords:** Maintainability conflict mitigation; Maintainability design requirements; Tradeoff of maintainability design requirements; Analytic hierarchy process (AHP)

### 0 引言

装备一体化设计要求将装备的性能、可靠性、维修性、保障性等工作集成一体, 需不同领域专家组成的多功能小组的协作共同完成<sup>[1]</sup>。该过程中, 维修性冲突的产生是其客观现象之一。故从维修性约束的角度提出一体化设计过程中维修性冲突避免技术的体系框架及维修性设计要求的权衡技术。

### 1 维修性冲突避免技术概述

维修性冲突避免指在维修性冲突发生前, 针对其产生原因, 应用一定的技术手段与管理手段, 避免部分潜在冲突的发生。通过解除维修性冲突产生的根源而达到冲突避免的目的<sup>[2]</sup>。依维修性冲突产生原因及产生阶段, 提出如图 1<sup>[3]</sup>的体系框架。

维修性冲突避免技术分为: 论证阶段、方案阶段和工程研制阶段等, 具体可细化为 7 项子技术。进一步研究其权衡问题, 确定各维修性设计要求对装备维修性特性设计的重要程度, 并以量值表示。主要研究内容有: 维修性约束及维修性设计要求的相关基础理论、维修性设计要求的层次结构模型、权衡算法选择及实施等。

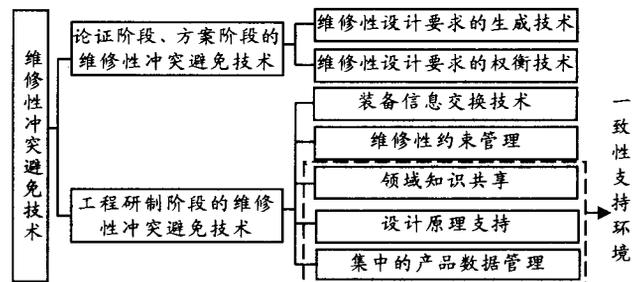


图 1 一体化设计过程中维修性冲突避免技术体系框架

### 2 维修性约束

维修性约束指在装备设计过程中为满足装备维修性要求而对设计方案、设计对象等施加的相互影响、相互依赖、相互制约、关系错综复杂的限制条件。其要求在实际装备设计活动中的具体表现和影响形式。当出现维修性约束没有得到满足或与其他约束相互矛盾时, 维修性冲突则随之产生。

### 3 维修性设计要求

#### 3.1 维修性设计要求的分类

维修性设计要求依据其表达形式可分为定性要求和定量要求 2 类<sup>[8]</sup>。定性要求是装备维修简便、

收稿日期: 2007-07-07; 修回日期: 2007-09-19

基金项目: 军队科研计划项目

作者简介: 张爱民 (1972-), 男, 辽宁人, 2002 年沈阳炮兵学院本科毕业, 从事装备管理、维修性设计研究。

迅速、经济的具体化,如简化装备设计与维修、具有良好的维修可达性、提高标准化和互换性程度等;而定量要求则是对维修性参数要求的量值,即维修性指标,如平均故障修复时间(MTTR)、平均预防性维修时间(Mpt)等。

### 3.2 维修性设计要求的特点

处于一体化设计环境中的维修性设计要求,除具有自身领域特性之外,更多地被赋予了集成设计的特点。主要有:

(1) 广泛性。装备的维修性设计贯穿于整个设计过程的多个设计阶段,如方案设计阶段、初步设计阶段和详细设计阶段等。在这些阶段中都存在着维修性设计要求,必须予以满足。

(2) 层次性。由于装备的各设计层次都要考虑到维修性因素,因而维修性设计要求相应地分为系统层、分系统层及重要单体层的维修性设计要求。这种层次性反映了装备维修性设计由粗至精、逐步细化的过程。

(3) 关联性。装备的维修性设计过程是一种各设计因素综合协调、权衡优化的过程。要求内部及维修性设计要求和与其他领域设计要求间存在着复杂的相互联系、相互制约的关系。

## 4 维修性设计要求的权衡

### 4.1 层次分析法

基于维修性设计要求所具有的层次性、关联性等特性,在多种权衡算法研究分析的基础上,选择层次分析法(AHP: The Analytic Hierarchy Process)来确定各维修性设计要求的重要度。该方法是定量分析与定性分析相结合的多目标决策分析方法,能有效地分析目标准则体系层次间的非序列关系,可综合评价决策者的判断和比较,具有系统、简洁、实用等特点。

### 4.2 具体过程及工程实例

采用层次分析法确定各维修性设计要求权值的具体过程如下:

(1) 构建维修性设计要求的层次结构模型。将模型由高到低共设计为3层:维修性特性层、维修性工程特性层和维修性设计要求层。第1层取决于装备及其零部件的维修性需求。维修性需求不同,则其对应的维修性特性所要求的内容也就会有差异。例如,有些装备对于故障检测虚警率、故障检测率及故障检测时间会提出较高要求,而有些装备

则重点关注于人机工程、维修费用。

以某部件维修性特性在维修性工程特性的要求表现为安全性、可达性、人机工程、维修费用、故障检测时间及调校时间为例,且假设此部件的维修性设计要求生成工作也已经完成,则构建其对应的维修性设计要求的层次结构模型如图2。

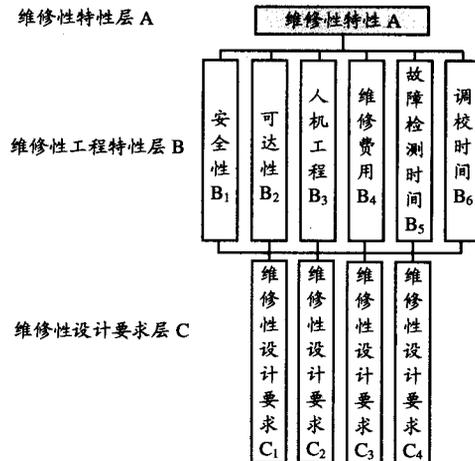


图2 某部件维修性设计要求层次结构模型

(2) 分析维修性设计要求层次结构模型中每一层次因素相对于上一层某因素的单排序情况。对一系列成对因素的量化判断和比较并写成矩阵形式,构成判断矩阵。再通过计算判断矩阵的最大特征根及对应的特征向量,得到每一层的各因素相对于上一层某因素的相对重要性系数。本实例中该模型评价因素单层比较判断矩阵(部分)见表1。

表1 评价因素单层比较判断矩阵表(部分)

	A	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>	B <sub>6</sub>	W <sub>A</sub>
A~B	B <sub>1</sub>	1	3	2	2	4	3	0.3134
	B <sub>2</sub>	1/3	1	1/2	3	3	3	0.1842
	B <sub>3</sub>	1/2	2	1	2	3	3	0.2160
	B <sub>4</sub>	1/2	1/3	1/2	1	4	3	0.1483
	B <sub>5</sub>	1/4	1/3	1/3	1/4	1	1/3	0.0524
	B <sub>6</sub>	1/3	1/3	1/3	1/3	3	1	0.0856
B1~C	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>			W <sub>B1</sub>
	C <sub>1</sub>	1	1/2	1/3	1/4			0.0960
	C <sub>2</sub>	2	1	1/2	1/3			0.1811
	C <sub>3</sub>	3	2	1	1/2			0.2771
	C <sub>4</sub>	4	3	2	1			0.4658

(3) 依次由上而下计算维修性设计要求层相对于维修性特性层的重要性系数或相对优劣次序的排序值。用下一层各因素的相对重要性系数与上一层次因素本身的重要性系数进行加权综合。实际计算中可用表格形式分步计算,即先计算维修性工程特性层相对于维修性特性层的相对重要性系数(权重系数),然后计算维修性设计要求层相对于维修性工程特性层的相对重要性系数,最后综合计算维修性设计要求层相对于维修性特性层的重要性系数

(相对优劣次序的排序值)。本例中,相应的维修性设计要求相对重要性系数计算过程见表2。

表2 层次总排序计算表

层次 B \ 层次 C	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>	B <sub>6</sub>	C 层次总排序权值
C <sub>1</sub>	0.0960	0.4658	0.3507	0.3750	0.2151	0.1250	0.2692
C <sub>2</sub>	0.1811	0.2771	0.1892	0.3750	0.5131	0.3750	0.2633
C <sub>3</sub>	0.2771	0.0960	0.3507	0.1250	0.2151	0.3750	0.2309
C <sub>4</sub>	0.4658	0.1611	0.1093	0.1250	0.1250	0.1250	0.2351

### 5 结束语

维修性设计要求的权衡技术是维修性冲突避免技术体系内的一项重要支持技术。该技术提高了装备维修性设计工作的效果和效率。

### 参考文献:

[1] 刘继民, 郝建平, 刘立泽. 一体化设计理论及其进展[J]. 机械设计, 2006, 23 (3): 4-7.  
 [2] 徐文胜, 熊光楞, 张新访, 等. 并行工程冲突管理的研究(上接第47页) 进行能力标准化预处理; ③ 计算模式误差, 确定 GA 的适应度函数; ④ 用 GA 对 BP 的权值分布进行优化; ⑤ 用 BP 算法进行学习训练, 直到满足条件为止。其算法如图4。

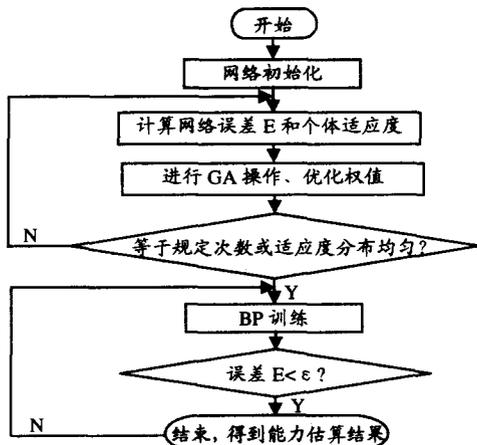


图4 BP和GA组合算法流程图

### 3 仿真算例及结果分析

对某次仿真训练过程中防空兵群的作战指挥能力进行评估, 通过采集影响上述11个指标主要因素的仿真数据, 并采取相应方法量化处理, 得:

$$[X_1 X_2 X_3 X_4 X_5 X_6 X_7 X_8 X_9 X_{10} X_{11}] = [0.85 \ 0.88 \ 0.71 \ 0.58 \ 0.51 \ 0.59 \ 0.56 \ 0.61 \ 0.62 \ 0.55 \ 0.67] \quad (9)$$

将其作为BP网络的输入。采用上述组合算法, 群体大小设定为40, 染色体采用浮点数编码。适应度函数采用网络能量函数的倒数, 即当优化  $v_{ij}$  时, 适应度函数为:

$$S(x) = 2 / \sum_{j=1}^4 [MO_j - \hat{MO}_j]^2 \quad (10)$$

究[J]. 机械科学与技术, 1999, 18 (1): 133-137.

[3] 刘立泽. 一体化设计中维修性冲突管理技术及应用研究[D]. 2007.  
 [4] 刘安清. 并行环境下的维修性信息模型框架[J]. 机械设计, 2003, 20 (1): 18-21.  
 [5] McGuire J G, Kuokka D R, Weber J C, et al. SHADE: Technology for Knowledge-based Collaborative Engineering [J]. Concurrent Engineering: Research and Application, 1993, 1 (3): 137-146.  
 [6] Pena-Mora F, Sriram R D, Logcher R. Conflict Mitigation System for Collaborative Engineering [J]. Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, 1995, 9 (1): 101-124.  
 [7] 刘继民, 郝建平, 黄金波, 等. 装备维修性设计要求的一般生成过程研究[J]. 机械设计与研究, 2006, 22 (5): 98-100.  
 [8] 甘茂治, 康建设, 高崎. 军用装备维修工程学(第2版) [M]. 北京: 国防工业出版社, 2005. 134-147.  
 [9] 叶义成, 柯丽华, 黄德育. 系统综合评价技术及其应用 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2006. 76-96.

式中,  $MO_j$ 、 $\hat{MO}_j$  分别为第  $j$  个隐层神经元的实际输出和期望输出。优化  $w_j$  时, 适应度函数为:

$$S(x) = 2 / [y(t) - \hat{y}(t)]^2 \quad (11)$$

式中  $y(t)$ 、 $\hat{y}(t)$  同式(7)。

遗传操作采用比例选择, 体内自交叉, 增减变异。增减幅度取0.005, 交叉概率取0.5。对作战指挥能力估算的GA算法, 由于采用增减变异运算且步长较小, 因此变异概率取0.12, 以利于进一步优化优良个体。 $\eta=0.52$ ,  $\alpha=0.15$ 。通过反复学习训练, 得到该群的作战指挥能力估算结果为0.78。由仿真可知: ① 由于作战指挥的主体是指挥员, 因此群指挥员素质的高低对防空兵群的作战指挥能力评估具有重要的影响, 故该群作战指挥能力估算结果较大; ② 除  $x_{11}$  为趋小优型外, 其余指标均为趋大优型; ③ 式(9)的数值是在相对理想的情况下获取, 考虑对抗和电子干扰等情况,  $x_6$ 、 $x_8$  和  $x_{10}$  将会大幅度减小, 得到的能力估算结果将会较小。

### 4 结论

仿真结果证明, 该算法可有效评估防空兵群的作战指挥能力。

### 参考文献:

[1] 丁邦宇. 作战指挥学[M]. 北京: 军事科学出版社, 2004.  
 [2] 张玉恒. 防空兵作战指挥效能分析[D]. 郑州: 郑州防空兵学院, 2002.  
 [3] 刘铭, 赵保军, 杨建军, 等. 基于GA和BP融合算法的装备费用估算方法[J]. 系统工程与电子技术, 2002, (2): 63-65.