

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.02.004

## 数字化装备电子产品维修工作类型决策模型

张仕新, 梅勇飞, 张耀辉, 闫海港  
(装甲兵工程学院 技术保障工程系, 北京 100072)

**摘要:** 针对数字化装备系统中电子产品的故障特点, 建立了电子产品维修工作类型逻辑决断模型。通过分析电子产品的使用背景和功能, 应用以使用功能为中心的维理论 (Operating Function Centered Maintenance, OFCM), 制定科学有效的维修策略, 并对其适应性进行分析。结果表明, 该模型能保持和恢复装备使用功能, 符合了数字化战场作战环境的需要, 适应了数字化装备发展的需求, 可为形成数字化装备保障策略提供参考。

**关键词:** 数字化装备; 维修工作类型; 逻辑决断模型; 电子产品

**中图分类号:** C934; N945.12 **文献标志码:** A

## Digital Equipment Electronic Product Maintenance Type Decision Making Model

Zhang Shixin, Mei Yongfei, Zhang Yaohui, Yan Haigang  
(Dept. of Technical Support Engineering, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China)

**Abstract:** Aiming at fault characteristic of electronic products in digital equipment, modeling electronic product maintenance type logic decision making model. After analyzed its function and utilizing background, the scientific and effective maintenance strategies are formulated according to the operating function centered maintenance (OFCM) theory, and then analyzed its adaptability. The results indicated that the model accorded with digital battle field environment and digital equipment developing requirements which achieve the aim to keep and resume equipment utility function, and could offer reference to form the digital equipment support strategy.

**Keywords:** digital equipment; maintenance type; logic decision making model; electronic product

### 0 引言

维修策略是为了最优 (或满意) 地实现维修目标所采取的维修对策。维修对策是为了实现维修目标可供选择的对策方案。维修决策是为了最优 (或满意) 地达到维修目标, 对若干个备选的维修对策进行选择而形成维修策略的过程<sup>[1]</sup>。维修工作类型决策是维修策略形成的一个关键工作, 其常用的是逻辑决断图决策方法。

由于数字化装备融入了从早期的分立元件到现在的集成块、大规模集成块等大量电子产品, 使得装备的结构越来越复杂, 故障率相对较高, 表现的故障现象形式多样, 排故维修难度加大。如何在复杂的战场环境下保持和恢复装备电子产品的战术技术性能, 成为目前迫切需要研究解决的问题。文献[2]分析了军械装备电子器件的故障, 并总结了各种电子器件的维修方法; 文献[3]总结了二炮装备电子设备的几种常用的维修方法和注意事项; 文献[4]以维修性基本理论为依据, 归纳了军用电子产品维修性和测试性设计的一般准则, 提出了提高军用电子产品维修性设计的措施, 讨论了维修性设计的流程和方法。目前, 有关电子装备方面的研究主要体现在电子产品具体的维修方法上, 对应用决策理论,

以最少 (或可接受) 资源消耗, 达到确保装备使用功能目的的研究涉及较少。故针对数字化装备电子产品的特点, 应用以使用功能为中心的维修思想, 建立数字化装备电子产品维修工作类型决策模型。

### 1 以使用功能为中心的维理论

#### 1.1 以使用功能为中心的维理论

“以使用功能为中心的维修” (Operating Function Centered Maintenance, OFCM) 的定义为: 以最少 (或可接受) 的维修资源消耗为准则, 以保持和恢复装备的使用功能为目标, 应用决策理论和方法, 确定装备需进行维修的产品或项目、维修工作类型、维修间隔期和维修级别的过程<sup>[1]</sup>。

从定义可以看出, OFCM 的目标是保持和恢复装备的使用功能, 即装备在具体的使用过程中, 应用决策理论和方法, 以最少 (或可接受) 的维修资源消耗, 通过确定装备需维修的项目、维修工作类型、维修间隔期以及维修级别, 达到保持和恢复装备使用功能的目的。

#### 1.2 以使用功能为中心的维修决策思想

装备的使用过程就是装备功能发挥的过程。在装备研制过程中, 确定其预定功能时考虑了装备所

收稿日期: 2010-08-19; 修回日期: 2010-10-19

作者简介: 张仕新 (1971—), 男, 河北人, 满族, 硕士, 副教授, 从事装备维修保障研究。

有可能的使用背景, 所以装备的规定功能可能有多项, 包括主要功能和次要功能。但在各种具体的使用过程中, 有些预定功能可能不需要, 有些预定的主要功能可能变成了次要功能, 而有些预定的次要功能可能变成了主要功能。因此, 对于同一种装备, 使用背景不同, 其使用时需要发挥的功能不同, 维修时需要保持或及时恢复的功能也不同, 即维修需求不同。

基于以上考虑, 明确 OFCM 的决策思想是装备在具体的使用过程中, 根据部队的训练、战备和作战任务的需要, 应用决策理论和方法, 确定装备需进行维修的项目、维修工作类型、维修时机(间隔期)和维修级别, 及时、有效、经济地保持和恢复

装备的使用功能。

在 OFCM 的概念中, 维修是为使装备保持和恢复规定的技术状态所进行的全部活动。维修是从装备技术状态的角度定义的, 但这里的技术状态是“能执行规定功能的状态”。因此, 维修的根本目标应该是保持或恢复装备的功能。通过 OFCM 分析方法, 确定对哪些装备采取事后维修策略, 对哪些装备采取定期维修策略, 对哪些装备采取状态维修策略, 或者是几种维修策略的综合。而通过这些必须的维修活动, 确保装备系统保持实现其规定的功能。

## 2 基于 OFCM 的维修策略的形成过程

按照 OFCM 的思想, 制定装备维修策略的过程如图 1。

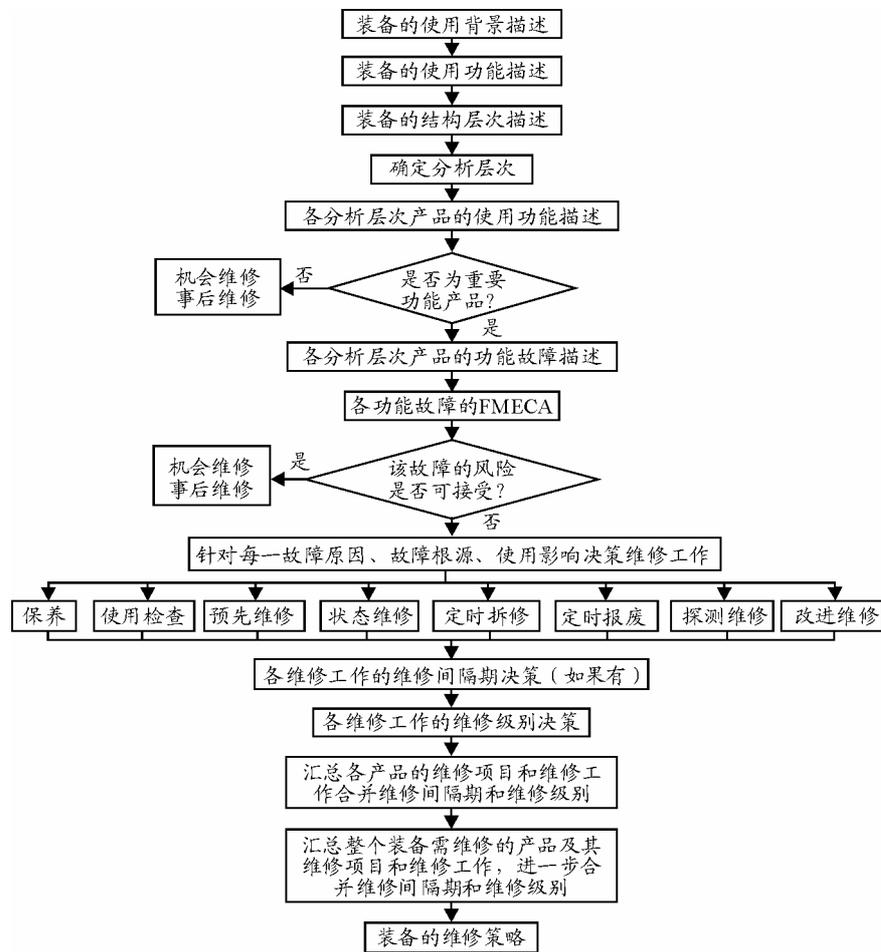


图 1 装备维修策略的形成过程

在基于 OFCM 的思想中, 在描述装备的使用背景、使用功能及结构层次的基础上, 确定分析层次, 然后对各分析层次产品的使用功能进行描述, 区别出是否为重要功能产品, 如果不是重要功能产品只用进行机会维修或事后维修, 否则对各分析层次产品的功能故障进行故障模式影响及危害性分析

(FMECA), 对于故障的风险可接受的分析层次产品进行机会维修或事后维修, 而对于故障风险不能接受的重要功能产品, 则应针对每一个故障原因进行决策分析, 寻找适用和有效的维修工作。如果该故障具有安全性或任务性影响, 则应通过适用和有效的维修工作, 将故障或多重故障发生的概率降低

到规定的可接受水平;如果该故障具有经济性影响,则应通过决策分析,找到经济、有效的维修工作;对存在故障根源的,应进行预先维修分析,确立相应的技术措施和维修工作;对存在使用影响的使用条件或背景,应进行使用影响分析,确立保养、特殊维护等维修工作。然后确定维修工作间隔期(如果有)及维修级别,最后汇总整个装备需维修的产品及维修项目和维修工作,合并维修间隔期和维修级别,形成装备的维修策略。可见,确定装备维修方式是制定维修策略的一个重要环节,为科学制定维修方案提供依据。

### 3 数字化装备电子产品维修工作类型逻辑决断模型

#### 3.1 数字化装备电子产品的使用背景

随着科学技术特别是电子技术的发展,各种不同类型的电子产品正快速地装配到现役的或正在建造的各类数字化装备中。电子产品广泛应用于数字化通讯、GPS 导航定位、计算机信息分发处理及各种探测诊断设备中,在数字化战场作战环境下发挥着不可替代的作用。

数字化装备中电子产品的使用特点、使用环境比较特殊,有些电子器件的某些功能只有在遇到突发情况时才得以体现,属隐蔽功能产品,但平时必须保持其可靠性,保证遇有情况能及时工作;有的电子器件要求长时间工作,一直保持工作状态,并且不允许有故障,或者有故障能在很短的时间内排除;而有的电子器件长期工作在高温或者高压恶劣的环境下,对电子产品的使用带来严重考验。再加上在使用过程中,由于人为因素、环境的影响、运行条件的突变以及产品电性能的老化等原因产生故障。造成电子产品的失效模式错综复杂,故障形式不同于其它装备,需要制定适合电子产品的维修策略,保证数字化装备性能的正常发挥。

#### 3.2 数字化装备电子产品的使用功能描述

维修的根本目的是保持和恢复装备的使用功能。因此,为了进行维修决策,应详细、全面、精确地定义并描述装备的使用功能。

装备的使用功能通常分为 2 类:主要功能和次要功能。主要功能用装备的战术、技术性能描述。装备在其战术、技术性能之外,还需完成一些辅助功能,这些功能称为次要功能。次要功能可以分为以下 7 类<sup>[5]</sup>:

- 1) 环境完整性 (Environmental Integrity);
- 2) 安全 / 结构完整性 (Safety/Structural Integrity);
- 3) 控制 / 容纳 / 舒适 (Control/Containment/Comfort);
- 4) 外观 (Appearance);
- 5) 保护 (Protection);
- 6) 经济 / 效率 (Economy/Efficiency);
- 7) 多余功能 (Superfluous Functions)。

虽然次要功能比不上主要功能需要的维修工作多,但次要功能仍然需要很多维修工作,必须清楚地识别它们。具体到电子产品其主要功能包括:控制装备的启停、接受处理无线电信号、实时处理装备各主要部件的信息、存储装备运行过程中的各种信息、定位跟踪目标、控制武器弹药的击发等;其次要功能包括:辅助控制装备的运行状态、提供人机交互界面、为数字化装备提供照明、为装备提供备用电源等。

#### 3.3 数字化装备电子产品的故障模式

数字化装备系统属于电子密集型装备系统,系统中包括大量的集成块、计算机芯片等产品。这些产品具有规模大、复杂度高和高可靠性等特点。由于电子产品的特殊属性,使电子产品故障模式呈现出新的特点。分析电子产品的故障模式,可以归纳为以下几种:断路、虚焊、接触不良或调整不当、插针掉落、击穿、焊接脱落、短路、老化等,这些故障与机械类装备因磨损而引起的故障截然不同,它不存在耗损规律,故障的发生有突发性的特点,有些适用于机械装备的维修方式可能不适用于电子产品,而有些电子产品由于其特殊的属性,其故障却可以通过维护加以避免,在进行维修工作类型决策中需要增加维护等维修方式。比如在通电前检查电路板铜箔有无断裂、短路、霉烂、断路、虚焊、打火痕迹等,通过实施适当的维护措施,避免通电后故障的发生。因此,对电子装备的维修需要改变维修观念,将适应于机械类装备的维修工作类型进行相应调整,制定适应电子产品维修方式决策模型。

#### 3.4 维修工作类型逻辑决断模型

在建立数字化装备电子产品维修工作类型决策模型时,需要考虑电子产品不同于其它产品的特点,对图 1 中适合机械类装备的十种维修工作类型进行调整。对于电子产品定时拆修、定时报废基本可以

排除; 另外由于电子产品在数字化装备中的特殊作用和重要地位, 它们一旦出现问题, 将对作战及保障行动产生重大影响, 对这类产品不能采取机会维修的方式; 电子产品可靠性高, 有些故障可以通过维护加以避免; 有些电子产品具有一定的使用寿命期限, 可以通过定期更换的方式避免故障。因此, 应用 OFCM 思想, 可建立电子产品维修工作类型逻辑决断模型如图 2。

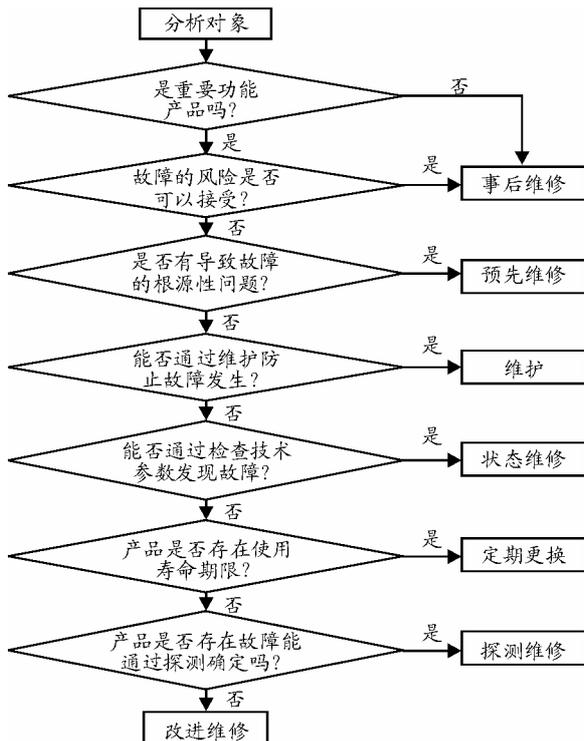


图2 数字化装备电子产品维修工作类型逻辑决断模型

1) 事后维修: 对于非重要功能产品或者故障风险可以接受的电子产品, 进行事后维修, 当其发生故障后再进行维修, 避免因频繁维修, 造成资源的浪费及可能导致的故障发生。

2) 预先维修: 对于能判定“故障根源”的电子设备, 首先进行预先维修, 目的在于预先纠正装备产生故障的“故障根源”, 消除故障产生的条件, 根本上预防功能故障的发生。

3) 维护: 电子产品可靠性要求高, 但很多故障可通过维护加以避免, 如使用前通过检查仪表数据, 及时发现电子产品缺陷, 提前加以维护避免引起功能故障。

4) 状态维修: 状态维修可使装备获得几乎所有的使用寿命, 而且状态维修能够识别具体的潜在故障状态, 在维修工作开始之前可清楚地确定排除故障的措施, 这将减少维修工作量。

5) 定期更换: 对于具有一定使用寿命, 或使用

期限较短的电子产品, 在达到其使用寿命时, 定期进行更换, 确保装备的可靠性。

6) 探测维修: 有些电子器件属于隐蔽功能产品, 其隐蔽功能故障可能不能通过以上几种预防性维修工作预防, 则可以考虑进行探测维修来预防多重故障的发生。

7) 改进维修: 因为这里是针对重要产品且其故障风险不可接受的情况进行分析的, 所以, 如果不能通过上述维修工作预防故障或多重故障的后果, 则必须进行改进维修。

#### 4 模型的适应性分析

在决策模型建立过程中, 根据故障特征和故障后果权衡各种维修工作的适用性(技术可行性)和有效性(是否值得做), 用一个分支进行维修工作逻辑决策分析。在决策分析时, 首先考虑故障的风险是否可以接受, 以决定是否需要进行预防性维修工作或改进性维修工作。同时, 由于与传统机械类装备相比, 数字化装备电子产品无论从构造材料、耗损规律都有很大的差异, 在对数字化装备电子产品维修决策时, 更新维修理念, 实施广义的维修。该逻辑决策模型体现以下3个方面:

1) 非重要功能产品或者重要功能产品的故障风险在可接受范围内时的维修决策。对于非重要功能产品, 或者重要功能产品的故障风险在可接受的范围内, 出于经济性或者维修条件的考虑, 不用对其故障进行预防, 没必要开展预防性维修工作或改进性维修工作, 只需进行事后维修即可。

2) 重要功能产品且其故障风险不可接受时的预防性维修决策。对于重要功能产品, 如果其故障的风险不可接受, 则应对故障进行预防。可以先根据故障特征和故障后果, 按照预先维修、维护、状态维修、定期更换的顺序, 选择不同的预防性维修工作。如果不能通过上述维修工作预防故障, 则采用事后维修恢复装备的使用功能。

3) 重要功能产品的改进维修决策。对于其故障风险不可接受的重要功能产品, 如果不能通过上述预防性维修工作预防故障或多重故障的后果, 且频繁故障, 则必须进行改进维修。

#### 5 结束语

该决策模型突出了电子产品故障的特点, 符合数字化战场作战环境的需要, 适应了数字化装备发展的需求, 可为我军数字化装备维修工作提供参考。

(下转第30页)

根据式 (8) 和式 (9) 得各评价指标权重  $W'$ :

$$W' = (0.16, 0.18, 0.15, 0.15, 0.21, 0.15);$$

(注: 当  $p_{ij} = 0$  时, 不参加运算)

根据式 (10) 得各评价指标综合权重  $W^0$ :

$$W^0 = (0.23, 0.14, 0.33, 0.11, 0.12, 0.07)$$

### 3.4 计算关联系数

根据式 (11) 得目标方案  $S_i$  与理想最优目标方案  $S^+$  的区间数关联系数矩阵:

$$\delta = \begin{bmatrix} 0.56 & 0.75 & 0.75 & 1 & 0.40 & 0.81 \\ 1 & 1 & 0.60 & 0.72 & 0.44 & 0.42 \\ 0.42 & 0.55 & 0.55 & 0.52 & 0.35 & 0.55 \\ 0.70 & 0.87 & 1 & 0.64 & 0.62 & 0.47 \\ 0.33 & 0.55 & 0.87 & 0.86 & 0.56 & 1 \\ 0.44 & 0.60 & 0.68 & 0.57 & 1 & 0.63 \end{bmatrix}$$

### 3.5 计算关联度并对目标方案排序

根据式 (12) 得目标方案  $S_i$  与理想最优目标方案  $S^+$  的区间数关联度:

$$\varepsilon = (0.70, 0.73, 0.49, 0.79, 0.67, 0.63)$$

即  $\varepsilon_4 > \varepsilon_2 > \varepsilon_1 > \varepsilon_5 > \varepsilon_6 > \varepsilon_3$ , 得到电力目标的打击顺序为: 电力目标  $D >$  电力目标  $B >$  电力目标  $A >$  电力目标  $E >$  电力目标  $F >$  电力目标  $C$ 。

## 4 结束语

该方法能够有效解决战场决策信息不确定的问题, 在权重确定上, 采用能够同时体现主观信息和客观信息的组合赋权法, 使目标选择结果更加真实准确, 为指挥员下定作战决心、制定作战计划奠定了有利基础。

### 参考文献:

[1] 张勇涛, 张松良. 基于主成分分析的战场目标选择模型[J]. 指挥控制与仿真, 2009, 31(4): 43-45.

[2] 王鹏华, 李源. 基于主成分分析的自行火炮作战效能评价[J]. 兵工自动化, 2009, 28(5): 24-25.

[3] 周磊, 赖庆平. 层次分析法在电子对抗目标选择中的运用[J]. 舰船电子对抗, 2008, 31(6): 18-21.

[4] 夏勇其, 吴祈宗. 基于效用函数的打击目标选择方法[J]. 火力指挥与控制, 2005, 30(6): 39-42.

[5] 何文平, 龚玮. 基于逼近理想解方法在目标选择中的应用[J]. 南通大学学报, 2009, 8(1): 69-71.

[6] 王洁, 姜寿春. 基于模糊神经网络防空重点保卫目标的选择[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(1): 158-161.

[7] 吕政光, 赵文杰. 基于模糊聚类方法的机场目标选择模

型[J]. 指挥控制与仿真, 2009, 31(3): 13-16.

[8] 党耀国, 刘思峰, 王正新. 灰色预测与决策模型研究[M]. 北京: 科学出版社, 2009.

[9] 杨保安, 张科静. 多目标决策分析理论、方法与应用研究[M]. 上海: 东华大学出版社, 2008.

[10] 朱方霞, 陈华友. 确定区间数决策矩阵属性权重的方法—熵值法[J]. 安徽大学学报, 2006, 30(5): 4-6.

\*\*\*\*\*

(上接第 13 页)

### 参考文献:

[1] 张耀辉, 郭金茂, 张仕新, 等. 以使用功能为中心的维修[C]. 中国兵工学会装备保障专业委员会装备保障支撑理论与关键技术学术研讨会论文集, 2006: 450-455.

[2] 吕立波. 军械装备电子器件故障及维修[J]. 维修技术, 2008, 4(1): 35-37.

[3] 李根庄. 装备电子设备的维修方法与注意事项[J]. 导弹管理与维修工程, 2005, 71(4): 36-40.

[4] 李锦冬, 何敬东, 陶灵娟. 军用电子产品的维修性和测试性设计方法研究[J]. 装备技术, 2007, 5(2): 29-32.

[5] J.Moubray, Reliability-centered Maintenance, Second Edition[M]. New York: Industrial press, 1997.

[6] 蔡霖, 贾红丽. 维修性实验样本关系及选择[J]. 四川兵工学报, 2009(1): 86-87.

\*\*\*\*\*

(上接第 17 页)

## 3 结束语

本文结合装备维修保障实例, 通过建立装备维修保障损失函数概念, 提出装备维修保障决策原则, 并以实例验证了该方法的可行性和有效性。该研究结论对创新装备维修保障需求预测与决策方法, 推进装备维修保障精确化发展具有一定的现实意义。

### 参考文献:

[1] 齐欢, 王小平. 系统建模与仿真[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.

[2] Wayne L. Winston. 概率模型应用范例与解法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.

[3] 钱颂迪, 甘应爱, 等. 运筹学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.

[4] 王博, 刘军, 等. 战时装甲装备维修保障力量需求分析[J]. 装备指挥技术学院学报, 2007(3): 15-18.

[5] 张忠斌, 王精业. 基于排队论的装甲装备维修力量预测建模研究[J]. 系统仿真学报, 2008(8): 1017-1019.

[6] 李伯虎, 柴旭东, 等. 现代建模与仿真技术发展中的几个焦点. 系统仿真学报, 2004(9): 1871-1878.

[7] 柏立君, 罗建华, 杜家兴, 等. 基于机械可靠性的装甲装备使用维修决策支持[J]. 四川兵工学报, 2009(1): 20-22.