

## Study on Comprehensive Influencing Factors of LRU Division of Electronic Information Equipment Maintenance\*

WEI Nana\*, WANG Pingan, WANG Zhen, XI Xiaojian, YAN Lu  
(Xijing University, School of Science, Xi'an Shaanxi 710123, China)

**Abstract:** In order to study the division of field exchangeable units in the maintenance system of electronic information equipment, an LRU division process, model and evaluation method based on comprehensive influencing factors will be constructed. Through the establishment of alternative schemes of different LRU, the evaluation system of influencing factors and weight distribution method will be studied, and a certain electronic information equipment was taken as an example for verification. The results show that the whole data link equipment as an LRU has the least impact, lower cost, better testability and maintainability, which is consistent with the actual engineering and use requirements.

**Key words:** electronic information; line replaceable units; partition model; influence factor; weight allocation  
EEACC: 7210A      doi: 10.3969/j.issn.1005-9490.2020.04.040

## 电子信息装备维修 LRU 划分综合影响因素的研究\*

韦娜娜\*, 王平安, 王震, 惠小健, 闫璐  
(西京学院理学院, 陕西西安 710123)

**摘要:** 为了研究电子信息装备维修体制的外场可更换单元的划分问题, 构建一种基于综合影响因素的 LRU 划分流程、模型和评价方法。通过建立不同 LRU 划分备选方案的模型, 研究其影响因素评价体系和权重分配方法, 并以某型电子信息装备为例进行验证。结果表明, 以整个数据链设备作为一个 LRU 进行研制的影响程度最小, 成本偏低, 测试性和维修性较好, 这与实际工程和使用需求相符。

**关键词:** 电子信息; 现场可更换单元(LRU); 划分模型; 影响因素; 权重因子

中图分类号: TP302.1; TB114.3      文献标识码: A      文章编号: 1005-9490(2020)04-0918-04

当前电子信息装备的维修保障均建立在三级或二级维修体制的基础上, 不论三级维修体制还是两级维修体制, 基层级维修均是以更换装备的现场可更换单元 LRU (Line Replaceable Units) 为维修方式。不同于结构模式相对固化的机械或机电装备, 电子信息装备的 LRU 划分往往有更多的方案。LRU 的划分方案可能受多种因素共同影响, 由于影响因素的复杂性, 合理划分 LRU 是装备论证的重难点工作。当前电子信息装备 LRU 划分方法有一些研究成果<sup>[1-7]</sup>, 但这些文献是在单一影响因素的基础上进行考虑的, 未将多方面因素进行权衡。

当前, 基于综合因素影响的 LRU 的研究相对缺

乏, 理论基础的缺乏直接制约了电子信息装备的维修性设计, 进而引发了诸多维修保障问题。本文构建一种基于综合影响因素的 LRU 划分, 为实现 LRU 的合理划分提供科学合理的策略。

### 1 基于综合影响的 LRU 划分决策

#### 1.1 LRU 划分总体思路

构建综合影响模型, 针对不同 LRU 划分备选方案, 基于其对电子信息装备的多方面综合影响为基础, 通过专家评价数据, 综合考虑各自影响的权重, 进行模型计算, 以决策最优的 LRU 划分方案。LRU 划分决策过程见图 1。

**项目来源:** 国家自然科学基金项目(11726624, 11726623, 61473237); 陕西省重点研发计划项目(2019GY-025, 2018GY-091); 陕西省创新能力支持计划项目(2018GHJD-21); 西京学院校科研基金项目(XJ200103)

收稿日期: 2019-12-23      修改日期: 2020-02-29

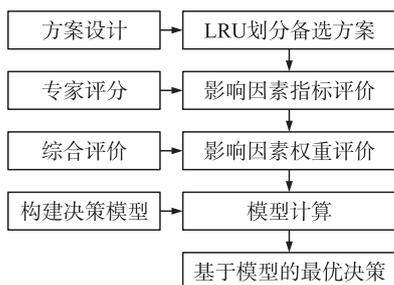


图 1 LRU 划分决策流程

1.2 构建决策模型

在构建决策模型时,首先给出以下约定:

(1)一共有  $S$  个备选 LRU 划分备选方案,根据 LRU 划分的影响程度,定义每个 LRU 划分方案的综合影响因素为  $L_i(i=1,2,\dots,S)$ ,  $L_i$  受多方面的因素影响,每个影响因子对  $L_i$  的影响程度不一样,因此需要对影响因素及权重进一步定义。

(2)影响因素向量  $l_i=(l_{i,1},l_{i,2},\dots,l_{i,m})(i=1,2,\dots,S)$  表示 LRU 划分方案  $i$  中  $1\sim m$  个影响因素构成线性空间中的一个向量。

(3)权值向量  $W=(w_1,w_2,\dots,w_m)$  表示  $m$  个影响因子的权值。

由上述约定可以得到综合影响因素的计算表达式:

$$L_i = |l_i W^T| \quad (1)$$

找到最小值  $\min(L_i)$  对应的方案即为最优决策。实现上述决策模型的关键在于确定各影响因子及权值向量。

2 影响因素向量的确定

影响因素向量中各元素表征的是其对 LRU 划分不同维度的影响,一般应对各个影响因素统一量纲,即进行无量纲化处理。鉴于专家评分法的可操作性,将影响程度划分为 5 个等级如表 1 所示。

表 1 影响程度评价表

评分值 $p$	5	4	3	2	1
评价标准	严重影响	重要影响	中等影响	轻度影响	无影响

针对每个 LRU 划分方案,若一共有  $U$  个专家进行评价,第  $k$  个专家针对第  $j$  个影响因素按表 1 评价产生的评分值  $(p_{1,j,k}, p_{2,j,k}, \dots, p_{S,j,k})^T (k=1,2,\dots,U)$ 。进一步分析人员对上述评分值需进行归一化处理,归一化后第  $i$  个划分方案第  $j$  个影响因子值为

$$l_{i,j} = \frac{\sum_{k=1}^U p_{i,j,k}}{\sum_{j=1}^S \sum_{k=1}^U p_{i,j,k}} \quad (2)$$

以下是几种常见影响因素及评价方法。在实际工程中也可根据实际研制情况调整影响因素及评分标准。

2.1 备件成本影响

现场维修备件一般为 LRU,因此 LRU 划分必将影响备件的采购策略,进而制约装备的战备完好性。一般来讲,LRU 划分越细,备件经费越少,但同时还要考虑备件使用频率的影响,针对具有恒定失效率的电子部件,每一种 LRU 划分方案在使用周期的采购成本为

$$Z = \sum \lambda * z * T。$$

式中: $\lambda$  为每个 LRU 的失效率; $z$  为每个 LRU 采购单价; $T$  为使用周期。根据采购成本,结合装备的备件预算,按表 2 进行评价。

表 2 备件成本影响评价表

评价标准	超过预算,顾客难以接受	超过预算,顾客可让步接受	与预算基本持平	小于备件采购预算
评分	5	4	3	1

2.2 功能性能影响

LRU 是电子信息装备功能性能实现的物理载体,其划分合理与否,会影响功能实现和性能的优劣。一般来讲,不同的 LRU 划分应都能现实设计输入要求的功能和性能,但按照其设计输出,各专家应对各划分方案对功能性能的影响按表 3 进行评价。

表 3 功能性能影响评价表

评价标准	仅能实现要求功能和性能	能扩展功能和性能要求
评分	3	1

2.3 测试性影响

一般来讲,LRU 划分越细,越难以实现所有 LRU 可测,即降低 FIR 和 FDR。在此可按表 4 的评价要素和标准进行影响因素评价。

表 4 测试性影响评价表

评价标准	评分
预计不达标,顾客难以让步	5
预计不达标,顾客可让步	4
预计达标但趋近临界	3
预计达标,但会对诊断时间、诊断资源等产生较高要求	2
预计远超规定的指标,对诊断资源等要求低	1

2.4 保障资源影响

不同的 LRU 划分方案影响人力人员、保障设备设施等多方面保障资源的需求、研制和部署。参照表 5 对保障资源影响进行评价。

表 5 保障资源影响评价表

评价标准	评分
对保障人员要求很严、或保障设备设施要求很高,顾客难以接受	5
对保障人员要求严、或保障设备设施要求高,顾客尚可接受	4
对保障人员和设备设施要求在顾客想定范围内	3
保障资源简化,达到顾客设计输入要求内	2
大大简化保障资源要求,远超设计输入要求	1

### 2.5 可靠性影响

不同的 LRU 划分方案可能影响设备的可靠性水平。各专家应对各可靠性因素进行评价,可参照表 6 进行评价。

表 6 可靠性影响评价表

评价标准	评分
可靠性预计不达标,顾客难以让步	5
可靠性预计不达标,顾客可让步	4
可靠性预计达标但趋近临界	3
可靠性预计达标	1

### 2.6 维修性影响

LRU 划分不合理可能导致在设计时不能实现良好的可达性设计、简化设计、维修安全,或维修性指标不达标等。维修性影响因素评价见表 7。

表 7 维修性影响评价表

评价标准	评分
维修预计不达标,顾客难以让步,或产生安全性影响	5
维修性预计不达标,顾客可让步	4
维修性预计达标,但可达性、维修简化设计水平相对其余方案较劣	3
维修性预计达标,可达性好、设计简化性好、无安全性影响	1

### 2.7 研制计划影响

由于设计模式、器材供应、工艺处理和生产方式等因素影响,不同的 LRU 划分方案对应的研制生产周期必然有所差异,进而影响计划的实现。研制计划影响因素评价见表 8。

表 8 研制计划影响评价表

评价标准	评分
不能实现规定的计划节点,顾客不能接受	5
计划节点推后,顾客可让步接受	4
能在规定的计划节点完成研制任务	2
提前完成计划节点研制任务	1

### 2.8 研制成本

一般来讲,不同的 LRU 划分方式会对应不同的研制成本,一般研制成本越高,影响程度越严重。

表 9 给出评价方法。

表 9 研制成本影响评价表

评价标准	评分
研制成本超出预算,难以接受	5
研制成本超出预算,后期有控制措施,可接受	4
研制成本未超出预算,但经济效益不明显	3
研制成本可控,经济效益较好	1

由于研制背景不同,不同的装备可能影响因素不一样,因此可进一步增加影响因素。

## 3 权重向量的确定

为避免权重向量划分的主观性,权重向量应由订购方、承制方和第三方共同决策确定。如表 10 所示,通常各方的关注点不同。

表 10 影响因素关注点

影响因子	订购方	承制方	第三方
备件成本	■		
功能性能	■	■	■
测试性	■	■	■
可靠性	■	■	■
保障资源	■		■
维修性	■	■	■
研制计划	■	■	
研制成本	■	■	

针对不同的装备,权重向量往往不一样。一般来讲,更受关注的影响因素应分配更高的权重,其权重分配可由不同专家的关注度来综合考虑;因此,需根据专家的关注情况,给出定性关注情况到定量关注度指标的转化关系如表 11 所示。

表 11 关注度评分标准

关注情况	强烈关注	重点关注	一般关注	轻度关注	不关注
评分	5	4	3	2	1

所有专家关注度的均值即为所分配的权值,即

$$w_i = \text{mean}(w_{i,j}) (i=1, \dots, S, j=1, \dots, n_i) \quad (3)$$

式中: $w_i$  为第  $i$  个影响因素的权重; $w_{i,j}$  为第  $j$  个专家对第  $i$  个影响因素的权重定量转换指标; $n_i$  为第  $i$  项影响因素的评价专家数量。

## 4 工程案例

某型电子信息装备是实现作战武器平台互联互通、战场态势感知与处理的重要载体。项目论证时给出了 3 种 LRU 划分方案,具体见表 12。

以一名专家评分为例,对各个方案的影响因素按上文方法评价,影响因素评价结果按式(2)进行

归一化的处理结果见表13。

表12 LRU划分方案示例

方案	LRU划分
1	整机设计为一个LRU
2	整机分为链路管理单元和收发处理单元2个LRU
3	整机分为链路管理单元、射频前端及通信信息处理3个LRU

表13 影响因素评价结果

影响因素	方案1	方案2	方案3			
备件成本	5	0.46	4	0.36	2	0.18
功能性能	1	0.33	1	0.33	1	0.33
测试性	1	0.11	4	0.44	4	0.44
可靠性	1	0.33	1	0.33	1	0.33
保障资源	1	0.33	1	0.33	1	0.33
维修性	1	0.14	3	0.43	3	0.43
研制计划	1	0.33	1	0.33	1	0.33
研制成本	1	0.14	2	0.29	4	0.57

进一步针对影响因素进行权重评价。经各方专家评价,按式(3)方法得到的权重因子均值见表14。

表14 权重评价结果

影响因素	权重	权重说明
备件成本	4.5	备件采购预算有限
功能性能	1	3个方案均能实现既定要求,各方均不将其作为关注点
测试性	4	基于维修保障考虑,将测试性作为重点关注点
可靠性	1	以往产品可靠性均达标
保障资源	1	保障资源是一样的
维修性	3	由于不同的方案对现场维修会产生影响
研制计划	1	由于3个方案均有成熟产品可借鉴,均能达到计划要求
研制成本	4.5	承制方重点关注项

进一步,按式(1)进行计算得3个方案的综合影响因素: $L_1=4.88$ , $L_2=7.295$ , $L_3=7.745$ 。

由上述综合影响分析可见,方案1的影响程度最小,其主要原因为该方案的研制成本偏低,且该设计方案的测试性和维修性较好,虽然可能带来备件成本上升,但通过后续返修流程优化可进一步降低备件总成

本,这与实际工程和使用需求相符。最终选取方案1,即将整个数据链设备作为一个LRU进行研制。

## 5 结论

本文构建基于综合影响因素的LRU划分流程、模型和评价方法,此综合因素的LRU划分方法具有很强的工程背景,可操作性强,在电子信息装备方案设计时具有较高的参考价值,为实现LRU合理划分提供科学合理的策略。

本文建立不同LRU划分备选方案的模型,研究其影响因素评价体系和权重分配方法,通过模型的数据对比,验证实例结果表明:将整个数据链设备作为一个LRU进行研究,即方案1,该方案的研制成本偏低,且该设计方案的测试性和维修性较好,虽然可能带来备件成本上升,但通过后续返修流程优化可进一步降低备件总成本,这与实际工程和使用需求相符。

## 参考文献:

- [1] 郭志明,王丹,刘英,等. 现场可更换单元划分权衡研究综述[J]. 重庆:兵器装备工程学报,2018,39(8):11-14.
- [2] 吕川. 维修性设计分析与验证[M]. 北京:国防工业出版社,2012:134-140.
- [3] 张策. 面向RMS的LRU规划设计[D]. 北京:北京航空航天大学,2006.
- [4] 李婷婷,龚京忠,李国喜,等. 可维修性驱动下的模块划分[J]. 机械设计与制造,2007(2):166-168.
- [5] 李小全. 基于ISM的战时军用机械维修设备模块化研究[J]. 武器装备自动化,2007,26(12):26-27.
- [6] 李名. 面向拆卸的产品模块化设计方法研究[D]. 武汉:武汉科技大学,2015.
- [7] 胡浩平,刘电霆. 基于绿色模块划分的多目标蚁群算法[J]. 制造技术与机床,2016(1):64-69.
- [8] 孙子文,申栋. 无线传感器网络节点多目标安全优化部署[J]. 传感技术学报,2018,12(31):1882-1887.
- [9] 王平安. 军航空域与民航航路侧向间隔碰撞风险预测[J]. 火力与指挥控制,2019,44(1):87-92.
- [10] 惠小健,赵博宁,辛健. Mg-3Sn合金棒材的挤压数值模拟与试验验证[J]. 铸造技术,2016,37(6):1245-1248.
- [11] 惠小健,王震,张善文,等. 基于ARMA的风电功率预测[J]. 现代电子技术,2016,39(7):145-148,153.
- [12] 王震,惠小健,孙卫,等. 周期参数扰动的T混沌系统周期轨道分析[J]. 数学杂志,2015,35(3):672-682.



韦娜娜(1985—),女,汉族,陕西渭南人,西京学院,硕士,讲师,主要研究方向为量子计算与算子理论,gao0063262929@163.com。