

修理级别分析方法探讨

申莹 单志伟 刘福胜

摘要: 修理级别分析 (LORA) 是装备保障性分析的一个重要内容, 它是一种系统的分析方法, 但是, 目前对于它的研究及应用还不够成熟。为了能够使这项分析技术得到更为广泛的应用, 使其真正发挥效力, 文章在相关概念的基础上, 对其分析流程和方法等相关问题进行了初步的探讨。

关键词: 修理级别分析 (LORA); 分析流程; 非经济性因素分析; 经济性分析; 相似产品法; 层次分析法; 德尔菲法; 专家评估法

修理级别分析 (Level Of Repair Analysis, 简称 LORA) 是装备保障性分析的重要组成部分, 是装备维修规划的重要工具之一, 其目的是为装备的修理确定可行的、效费比最佳的修理级别或做出报废决策, 并使之影响设计。目前, 对于 LORA 的方法还仅限于非经济性因素分析和经济性分析。由于经济性分析需要大量的数据, 在实施中具有一定的局限性, 这势必要求寻求其它合理可行的分析方法, 为此, 本文将要对 LORA 的流程和方法做一些探讨。

1 LORA 的基本概念

目前认为, LORA 是一种系统性的分析方法, 它以经济性或非经济性因素为依据, 确定装备中待分析产品需要进行维修活动的最佳级别。

而修理级别是指装备使用部门进行维修工作的各级组织机构。通常多采用三级维修机构, 即:

(1) 基层级 (O)

由装备的使用操作人员和所属分队的保障人员进行维修的机构, 只限定较短时间能完成的简单维修工作, 配备有限的保障设备和人员。

(2) 中继级 (I)

比基层级 (O) 有较高的维修能力 (有数量较多和能力较强的人员及保障设备), 承担基层级 (O) 所不能完成的维修工作。

(3) 基地级 (D)

具有更高修理能力的维修机构, 承担装备大修和大部件的修理、备件制造和中继级 (I) 所不能完成的维修工作。

军兵种修理级别有所不同, 但划分的基本原则是相似的。通常需要考虑维修的任务、部队的编制体制及维修原则等因素。

虽然预防性维修与修复性维修都有 LORA 的要求, 不过有些预防性维修工作比较简单, 不需要复杂的分析, 可以直接确定其修理级别, 如保养就是在基层级进行的。对于复杂的维修工作, 需要拆卸、分解等, 必须通过 LORA 才能得到合理的修理或报废的选择。

2 LORA 的总体流程

为了 LORA 的适用性, 现将 LORA 的总体流程拟成图 1 所示, 并做几点说明:

(1) 确定待分析产品

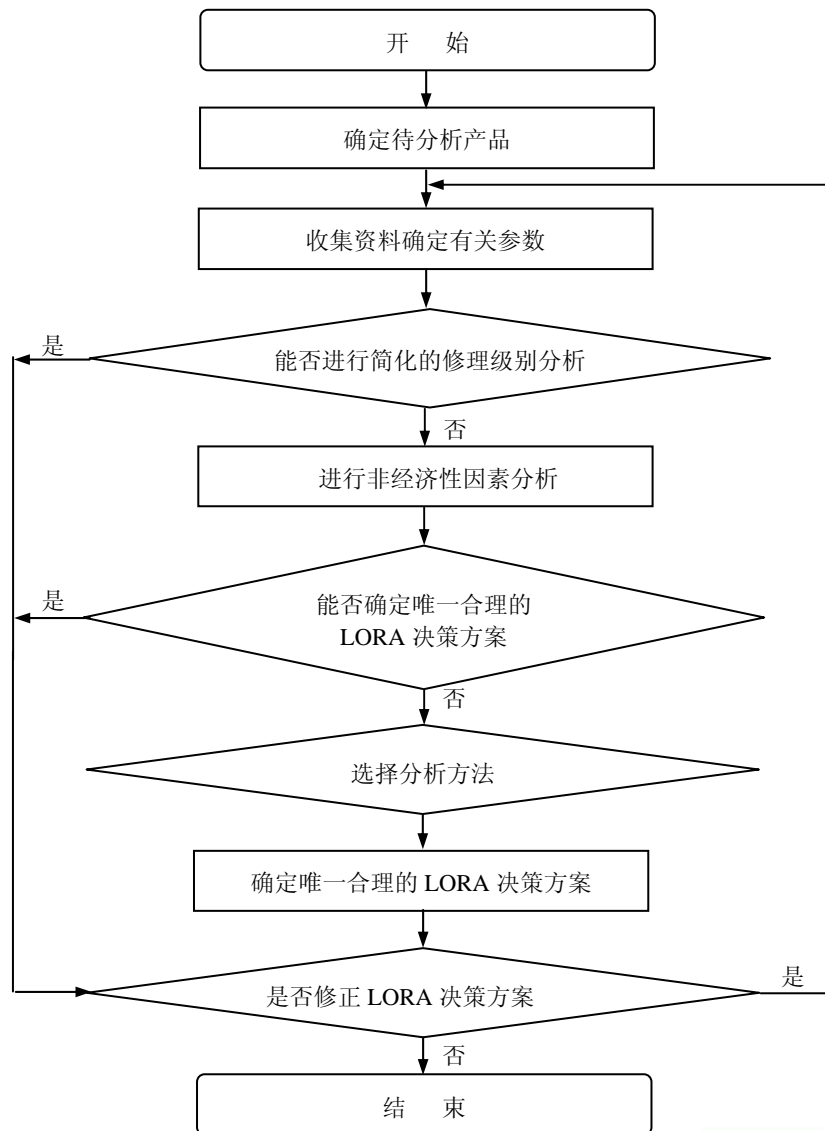


图 1 修理级别分析的流程图



装备是一个复杂的系统,有不同功能层次的零部件。如果对所有的零部件都进行 LORA,既不经济,也没必要。因此, LORA 中所指的待分析产品是一个广义的概念,不仅仅包含产品的名称,还必须要对装备进行功能层次的划分,并结合 FMEA\FMECA 的分析结果——所确定的故障模式、影响及原因等。

例如:对于典型装备,可以分成以下七个层次:系统、分系统、子系统、单元、部件、组件和零件,其中系统、分系统、子系统由于其结构复杂,大都可以进一步拆分,故当其发生故障后,不对其直接进行 LORA;而对于零件,通常不需要进行修理。即:对于典型装备,在进行 LORA 时所指的产品层次是单元、部件、组件。

此外,不能把子产品分配到比它所在产品的修理级别还低的修理机构去维修;一个产品弃件,其子产品也必须随之弃件。

(2) 能否进行简化的 LORA

通常,非经济性因素分析是 LORA 的基本方法,但在实际应用中却比较麻烦。为了简化起见,若能对待分析产品进行明显的判断,则可以采用简化的 LORA 方法寻求合理方案。

(3) 选择分析方法

下面将介绍几种理论上都可行的方法，但理论与实际的差异，使得在工程实际中，有些方法无法付诸实施（如经济性分析），这就需要根据实际情况选择适用的方法，同时，也可以运用相关方法进行分析评价，使决策更为合理。

3 LORA 的几种方法

3.1 简化的 LORA——决策树法

在进行 LORA 时，为了简化起见，有时可采用图 2 所示的决策树进行分析，初步确定待分析产品的 LORA 决策。

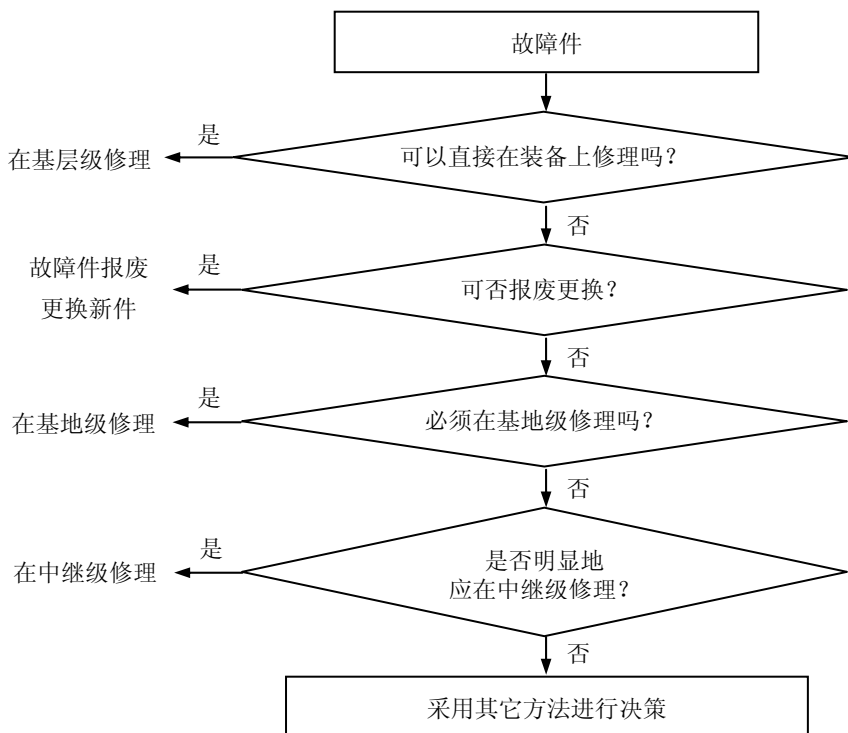


图 2 简化的 LORA 决策树

在图 2 中，有四个决策点：

(1) 在装备上直接进行修理，是指所需时间短，技术水平要求不高，多属于保养维护和较小的故障排除工作。

(2) 报废更换，是指故障发生地点将故障件报废更换新件。它取决于报废更新与修理的费用权衡，一般是在基层级进行。

(3) 必须在基地级修理，是指故障件复杂程度较高，需要较高的修理技术水平或较复杂的机具设备。

(4) 明显地应在中继级进行修理，是指机件修理所需人员和保障设备都是通用的，即使是专用的也不十分复杂。

应该指出，同类产品，由于故障部位和性质不同，可能有不同的修理级别决策。如果在四个决策点上，很难进行清楚地判断，则不能应用该方法。

3.2 非经济性因素分析

该方法源于目前在国军标中广泛使用的相关理论。在进行 LORA 的过程中，有些非经济性因素将影响或限制待分析产品进行维修的修理级别(如表 1 所示)。通过对这些因素的分析，可以确定装备中待分析产品在哪一级别修理或报废。因此，非经济性因素分析是目前进行 LORA 时通常采用的基本方法，也是 LORA 的特有方法。

表1 非经济性因素表

非经济性因素	因素的具体描述
安全性	高电压、辐射、极限温度、有毒物质、过大的噪音、爆炸物、超重等对安全性的影响
保密要求	功能结构、性能指标、工作参数等对保密性的要求
法规或现有维修方案	法规、条令、条例、类似装备的维修方案、现有修理力量的建设情况等要求
产品修理限制	明显不值得修理的事件、明显不允许修理的事件、在修理的过程中，会伴随着其它更大损失(如破坏环境等)的事件出现、某修理级别对产品的承诺、承制方的承诺等
战备完好性或任务成功性	战备完好性的要求、任务成功性的要求、因故障件送后方修理的周转时间很长、因后方技术人员到前方修理所需要的时间很长、因前方修理人员工作负荷太重等因素而影响战备完好性或任务成功性
装卸、运输和运输性	产品重量、外廓尺寸、易破损性、特殊装卸要求等对装卸或运输的影响
修理用的保障设备	特殊工具、特殊测试设备、所需设备的性能要求、精度要求、配备要求、安装要求、工作环境要求、适用性要求、有效性要求、机动性要求、尺寸要求、重量要求、对使用保障设备的人员的技术要求等
包装与贮存	产品的尺寸、重量、体积、挥发特性、腐蚀特性、计算机硬件、计算机软件、易碎材料、易损材料、气候限制等对包装与贮存的影响
人力与人员	对修理人员的技术等级水平的要求、拥有满足要求的各种技术等级人员的数量、产品允许的最长修理时间的要求、人员所能承担的最多修理工时的要求等限制
修理设施	对高标准的工作间的要求、对高整洁度的工作间的要求、产品体积、所需保障设备的体积、气候因素、腐蚀物的处理、锻造工艺、铸造工艺、特殊的校准设备、气密装置、修理次数限制、磁微粒检查工艺、X射线检查要求、振动与冲击试验、风洞试验等特殊的测试方法等对修理设施的特殊要求

进行非经济性因素分析时，可以按照以下步骤进行：

- (1) 要针对每一待分析产品确定进行 LORA 决策的影响或限制因素（参见表 1）；
- (2) 针对步骤（1）所确定的因素，设置成如表 2 所示的问题，并进行回答；

表 2 非经济性因素分析表

非经济性因素	因素的具体描述	影响或限制的修理级别				限制修理级别的原因
		O	I	D	X	
	功能结构对保密性要求的影响使产品能在该级别修理或需要报废吗？					
	性能指标对保密性要求的影响使产品能在该级别修理或需要报废吗？					
	工作参数对保密性要求的影响使产品能在该级别修理或需要报废吗？					

其他有关保密性要求的影响使产品能在该级别修理或需要报废吗?						
-------------------------------	--	--	--	--	--	--

(3) 分别针对 O、I、D 和 X 列统计分析结果。

若某一行中所有的答案均为“是”，则该待分析产品可以在该修理级别进行修理（或报废），否则，该待分析产品不可以在该修理级别进行修理（或报废）。

值得指出的是，在统计非经济性因素分析结果时，将出现以下几种情况：

- 结论唯一，直接确定决策方案——O、I、D、X 四者之一；
- 结论不唯一，可能产生两个或三个修理方案；
- 结论矛盾，不能确定在哪一级别修理或报废，或者同时出现修理和报废的情况。

当不能产生唯一方案时，则必须采用其它方法进行最终决策。同时，为了使决策更为合理，即使能够产生唯一方案，也需要采用其它方法进行分析评价。

3.3 经济性分析

完成任何一项维修工作，都涉及到费用问题，因此可以把修理的经济性作为决策因素。

经济性分析的目的在于定量计算待分析产品在所有可行的修理级别上进行修理所需的费用，并通过比较，以选择费用最低和可行的待分析产品的最佳修理级别。

在进行经济性分析时，要分析各种与修理有关的费用，建立各级修理费用的分解结构，并制定评价准则，即通常仅计算那些直接影响修理级别决策的费用，包括：备件费用，修理人力费用，材料费用，保障设备费用，包装、装卸、储存和运输费用，训练费用，设施费用，资料费用等。

针对不同的修理级别决策，发生的费用也不尽相同。如进行（O）与（I）决策，可能不需要计算包装、装卸、储存和运输费用。这便要求根据实际情况适时增减、调整费用因素。

3.4 相似产品法

相似产品法是依据待分析产品与基准比较系统（已有确定的 LORA 决策方案的产品）之间存在的相似性（包括使用环境、维修环境及条件等因素），通过对比分析，进而得出待分析产品的 LORA 决策方案。

若对于简单产品的基准比较系统可以是单一产品，而复杂产品的基准比较系统往往是取自多个装备中的相似产品的组合体。

相似产品法在实际应用时比较简单，但是，它必须以存在基准比较系统，以及待分析产品与基准比较系统在结构、功能和故障原因等方面具有相似性和可比性为前提。因而，该方法可能由于找不到合适的基准比较系统或成熟的相关资料，而无法实施。

3.5 层次分析法

层次分析法是目前比较通用的一种解决多目标的复杂问题的定性与定量相结合的决策分析方法。下面将拟定一个小例子来说明层次分析法在 LORA 中的应用。

(1) 层次结构图

假定在（O）、（I）、（D）三个方案中求得最佳方案，它们是由安全性因素、保密要求因素、人力与人员因素和修理设施因素四个标准综合衡量的，即拟定如图 3 所示的 LORA 层次结构图。

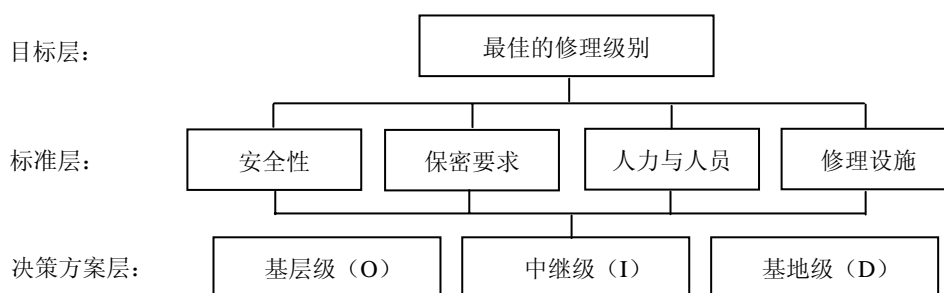


图 3 LORA 层次结构图

(2) 标度及两两比较矩阵

为了使各个标准,或在某一标准下各方案两两比较以求得其相对权重,现引入相对重要性的标度:

标度 (a_{ij})	定义
1	i 因素与 j 因素相同重要
3	i 因素比 j 因素略重要
5	i 因素与 j 因素较重要
7	i 因素与 j 因素非常重要
9	i 因素与 j 因素绝对重要
2,4,6,8	为以上两判断之间的中间状态对应的标度值
倒数	若 j 因素与 i 因素比较, 得到判断值为 $a_{ji} = 1/a_{ij}$, $a_{ii} = 1$

下面先用单一标准“安全性因素”来评估三个方案,得出的两两比较矩阵如下表:

	安全性		
	基层级 (O)	中继级 (I)	基地级 (D)
基层级 (O)	1	2	8
中继级 (I)	1/2	1	6
基地级 (D)	1/8	1/6	1

(3) 求各因素的权重

这里采用规范列平均法。

① 求出两两比较矩阵每一列的总和:

	安全性		
	基层级 (O)	中继级 (I)	基地级 (D)
基层级 (O)	1	2	8
中继级 (I)	1/2	1	6
基地级 (D)	1/8	1/6	1
列总和	13/8	19/6	15

② 把两两比较矩阵的每一元素除以其相应列的总和, 所组成的新的矩阵 (标准两两比较矩阵):

	安全性		
	基层级 (O)	中继级 (I)	基地级 (D)
基层级 (O)	8/13	12/19	8/15
中继级 (I)	4/13	6/19	6/15
基地级 (D)	1/13	1/19	1/15

③ 计算标准两两比较矩阵的每一行的平均值, 这些平均值就是各方案在安全性方面的权重:

	安全性			
	基层级 (O)	中继级 (I)	基地级 (D)	行平均值
基层级 (O)	0.615	0.631	0.533	0.593
中继级 (I)	0.308	0.316	0.400	0.341
基地级 (D)	0.077	0.053	0.067	0.066

因此，三方案在安全性方面的权重分别为 0.593、0.341 和 0.066，并称为方案在安全性方面的特征向量。

同样，可以求得其它各因素的两两比较矩阵：

	保密要求			人力与人员			修理设施		
	(O)	(I)	(D)	(O)	(I)	(D)	(O)	(I)	(D)
(O)	1	1/3	1/4	1	1/4	1/6	1	1/3	4
(I)	3	1	1/2	4	1	1/3	1/3	1	7
(D)	4	2	1	6	3	1	1/4	1/7	1

同时，这三方面的特征向量分别是： $\begin{bmatrix} 0.123 \\ 0.320 \\ 0.557 \end{bmatrix}$ 、 $\begin{bmatrix} 0.087 \\ 0.274 \\ 0.639 \end{bmatrix}$ 、 $\begin{bmatrix} 0.265 \\ 0.655 \\ 0.080 \end{bmatrix}$ 。

另外，还必须取得每个标准在总目标里相对重要的程度（每个标准相对的权重——标准的特征向量）。

把这四个标准两两比较，得到如下的两两比较矩阵：

	标准			
	安全性	保密要求	人力与人员	修理设施
安全性	1	2	3	2
保密要求	1/2	1	4	1/2
人力与人员	1/3	1/4	1	1/4
修理设施	1/2	2	4	1

于是，可求出特征向量 $\begin{bmatrix} 0.398 \\ 0.218 \\ 0.085 \\ 0.299 \end{bmatrix}$ ，即：安全性、保密要求、人力与人员和修理设施的相

对权重分别为 0.398、0.218、0.085 和 0.299。

有关两两比较一致性检验过程略。

此时，就可以利用这些权数或向量来计算出每个方案的总权数：

基层级 (O)	$0.398 \times 0.593 + 0.218 \times 0.123 + 0.085 \times 0.087 + 0.299 \times 0.265 = 0.349$
中继级 (I)	$0.398 \times 0.341 + 0.218 \times 0.320 + 0.085 \times 0.274 + 0.299 \times 0.655 = 0.425$
基地级 (D)	$0.398 \times 0.066 + 0.218 \times 0.557 + 0.085 \times 0.639 + 0.299 \times 0.080 = 0.226$

通过比较可知：(I) 的权重最高，(O) 的权重次之，而 (D) 的权重最少。故 (I) 是最优方案。

可见，该方法通过计算各因素的权重值，从而能够较准确地确定出决策方案。但是，这要求能够准确地建立各影响因素的判断矩阵，且计算量非常大。

3.6 德尔菲法

德尔菲法 (Delphi) 又称专家判断法、专家估计法或专家打分法，依据系统的程序，采用匿名发表意见的方式，通过多轮次调查专家的看法，经过反复征询、归纳、修改，最后汇总成专家基本一致的看法，作为预测的结果。

德尔菲法通常按照筹划工作、专家预测、统计反馈和描述结果四个步骤进行，虽然简单易行，具有广泛的代表性，避免权威影响等好处，但也有其局限性，如：经过几轮的操作，比较耗时；依然属于专家的主观判断等。

3.7 专家评估法

通过如上所述，若单独使用层次分析法则比较繁琐，而单独使用德尔菲法则相对耗时，故可以综合运用层次分析法与德尔菲法(称融合后的方法为专家评估法——专家利用层次分析法中的确定、计算标度值的方法对每两方案进行比较，进而确定出各方案的权重)，确定待分析产品的 LORA 决策方案。

鉴于专家评估法比层次分析法简单、比德尔菲法客观，所以专家评估法也是一种切实可行的方法。

4 结束语

在装备寿命周期过程中，应充分利用其它工程分析的结果和数据来满足 LORA 工作对输入数据的要求，LORA 也为其它工作提供输入，如作为制定维修计划的重要依据、为维修及使用器材的供应工作提供依据等。所以，LORA 不仅需要综合运用各种方法产生唯一方案，而且分析工作应在装备研制早期开始，并对 LORA 的输出结果加以评审、反复权衡，以能够产生唯一适宜的决策。

参考文献

- [1] Level Of Repair Analysis. Logistics Engineering.
- [2] 徐宗昌, 黄益嘉, 杨宏伟. 装备保障性工程与管理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.
- [3] Dopot-Level Maintenance and Repair Workload office of the Secretary of Defense Report to Congress. Department of Defense, 1996.
- [4] 马绍民. 综合保障工程[M]. 北京: 国防工业出版社, 1995.
- [5] 宋太亮. 装备保障性工程[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002.

