

doi: 10.7690/bgzdh.2024.02.017

# 基于 ISM 的武器装备维修质量影响因素分析

黄平奇<sup>1</sup>, 杨清文<sup>2</sup>, 卢慧<sup>1</sup>

(1. 陆军炮兵防空兵学院研究生大队, 合肥 230031; 2. 陆军炮兵防空兵学院兵器工程系, 合肥 230031)

**摘要:** 为提高装备维修质量精细化管理水平, 对武器装备维修质量影响因素分析。通过文献综合分析和问卷调查, 从维修活动构成和维修活动过程总结出影响武器装备维修质量的 8 个因素; 基于解释结构模型 (interpretative structural modeling, ISM) 进行建模与计算分析, 得到影响武器装备维修质量各因素之间的层次逻辑关系, 并对其进行分析。结果表明, 该分析可为武器装备维修质量管理提供参考。

**关键词:** 装备维修; 质量管理; 解释结构模型

**中图分类号:** TP207 **文献标志码:** A

## Analysis of Factors Affecting Maintenance Quality of Weapon Equipment Based on ISM

Huang Pingqi<sup>1</sup>, Yang Qingwen<sup>2</sup>, Lu Hui<sup>1</sup>

(1. Brigade of Graduate Student, PLA Army Academy of Artillery and Air Defense, Hefei 230031, China;

2. Department of Weapon Engineering, PLA Army Academy of Artillery and Air Defense, Hefei 230031, China)

**Abstract:** In order to improve the fine management level of equipment maintenance quality, the influencing factors of equipment maintenance quality are analyzed. Through literature analysis and questionnaire investigation, eight factors affecting the maintenance quality of weapon equipment are summarized from the composition and process of maintenance activities; Based on interpretative structural modeling (ISM), the hierarchical logical relationship among the factors affecting the maintenance quality of weapon equipment is obtained and analyzed. The results show that the analysis can provide a reference for the maintenance quality management of weapon equipment.

**Keywords:** equipment maintenance; quality management; interpretative structural modeling

### 0 引言

随着科学技术的发展, 武器装备技术含量越来越高, 功能越来越综合, 结构也越来越复杂, 给装备维修质量管理提出了更高的要求。在影响装备维修质量因素上, 许多学者都进行了研究。苑明<sup>[1]</sup>从维修活动的构成将影响装备维修质量的因素归纳为“4M1E”: 人员 (man)、机器 (machine)、原材料 (material)、方法 (method) 和维修环境 (environment), 但忽略了质量检验等维修活动过程等因素对装备维修质量的影响; 王毅等<sup>[2]</sup>考虑维修过程影响因素, 加入了测量 (measurement) 因素, 构建了“5M1E”的影响飞机装备维修质量因素; 刘颖等<sup>[3]</sup>又考虑了装配工艺和备品备件的质量, 将影响装备维修质量的因素扩展到 7 个。总体看, 这些影响维修质量因素的分析方法均有不足, 或存在因素不全或存在因素关系不明晰。装备维修质量管理是一个复杂的系统工程, 既涉及维修活动构成质量, 也关联维修活动过程的质量; 既涉及维修过程的设

施等硬件质量, 又与维修活动的体制机制等软环境有关。科学分析影响武器装备维修质量的因素及其之间的层次结构关系, 有助于有重点地对武器装备维修质量进行管理, 进而提高武器装备维修的质量具有重要的意义<sup>[4]</sup>。

为此, 在文献综合分析的基础上, 运用调查研究和模型分析等方法, 构建层次清晰、要素齐全的影响维修质量诸因素, 确定各影响因素间的层次逻辑关系, 为武器装备维修质量精细化管理提供参考。

### 1 影响武器装备维修质量因素的构建

装备维修质量既受维修活动构成影响, 也受维修活动过程影响, 维修活动构成主要包括维修装备、操作员 (人为因素)、机器 (设备因素)、材料 (材料因素)、技术 (方法因素) 和环境 (环境因素) 等, 装备维修过程主要包括质量检测、维修组织、维修法规与制度和维修工艺等, 通过设计问卷进行重要度调查, 根据数据分析选取影响武器装备维修质量的 8 个基

收稿日期: 2023-10-21; 修回日期: 2023-11-25

第一作者: 黄平奇 (1988—), 男, 山东人。

本因素：人为、武器装备、维修设备与设施、维修组织、维修法规与制度、维修技术、质量检测、维修环境。

## 2 武器装备维修质量影响因素的分析

### 2.1 解释结构模型

解释结构模型 (ISM) 是美国 J.Warfield 教授于 1973 年提出的<sup>[5]</sup>, 该方法广泛应用于现代系统工程分析, 通过将复杂系统分解为多个子系统 (元素), 并利用人们掌握的知识和实践经验, 借助计算机进行运算, 最终将系统构建成一个层次结构模型。

#### 2.1.1 建立邻接矩阵

邻接矩阵所描述的是系统中所有元素间的直接关系, 假设系统是  $n$  个因子的集, 则邻接矩阵  $A$  为

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} S_1 & S_2 & \cdots & S_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ \vdots \\ S_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

式中:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{当 } S_i \text{ 对 } S_j \text{ 有影响关系时} \\ 0, & \text{当 } S_i \text{ 对 } S_j \text{ 无影响关系时} \end{cases} \quad (1 \leq i, j \leq n)$$

#### 2.1.2 建立可达矩阵

基于邻接矩阵  $A$  和单位矩阵  $I$  相加得到自乘矩阵, 然后自乘矩阵与自乘矩阵一直进行布尔积运算, 直到得到的矩阵不再变化时便求得可达矩阵。首先令  $A_1$  为自乘矩阵, 则:  $A_1 = (A+I)$ , 那么:  $A_2 = A_1^2$ 。以此类推, 得到:  $A_1 \neq A_2 \cdots A_{r-1} = A_r (r \leq n-1)$ , 其中  $n$  表示矩阵的阶次, 可达矩阵  $R$  为:

$$R = A_{r-1} = (A+I)^{r-1} \quad (2)$$

#### 2.1.3 确立各因素的结构层级

得到可达矩阵后, 为明确系统中所有因子的层次结构, 以解决不同因子之间逻辑复杂、层次模糊的问题, 引入可达集  $R(S_i)$  与先行集  $A(S_i)$  2 个集合, 可达集  $R(S_i)$  表示可达矩阵中第  $S_i$  行内因子为 1 的列所对应的因子集称为可达集。先行集  $A(S_i)$  表示可达矩阵中第  $S_i$  列内因子为 1 的行所对应的因子集称为先行集。根据求得的  $R(S_i)$  和  $A(S_i)$ , 按照  $R(S_i) = R(S_i) \cap A(S_i)$  的求解原则, 求解出层级最高的因子集  $L_1$ 。而后删除对应可达矩阵内此因子对应的行和列, 再利用以上求解原则确定新的最高层级的因子集  $L_2$ ,

如此循环以获取不同层级所包含的所有因子集  $L_z (z$  为因子集数), 从而为系统找到了对应的层级结构的因子集  $L_z$ 。

#### 2.1.4 建立层次图

找到每个元素对应的层次结构后, 将第 1 层级的因子放在最高的层次结构中, 将第 2 层级的因子放在次高的层次结构中, 直到所有因子都被放置在相应的层次结构中。然后, 用层级结构图的形式表示整个系统所有因素之间的层次关系, 构建起一个完整和清晰的系统层级结构模型。

### 2.2 武器装备维修质量影响因素的解释结构模型构建

影响武器装备维修质量因素为  $S = \{S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8\}$ , 其中:  $S_1$  为人为因素;  $S_2$  为武器装备因素;  $S_3$  为维修设备与设施因素;  $S_4$  为维修组织因素;  $S_5$  为维修法规与制度因素;  $S_6$  为维修技术因素;  $S_7$  为质量检测因素;  $S_8$  为维修环境因素。根据相互关系建立邻接矩阵  $A$ 。

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 & S_7 & S_8 \end{matrix} \\ \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_7 \\ S_8 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (3)$$

对邻接矩阵  $A$  进行布尔积运算, 得到可达性矩阵  $R$ :

$$R = \begin{matrix} & \begin{matrix} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 & S_7 & S_8 \end{matrix} \\ \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_7 \\ S_8 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (4)$$

根据求得的可达矩阵  $R$  和因子集求解法则进行第 1 层级影响因素集求解, 得到第 1 层级影响因素集  $L_1 = \{S_1, S_7\}$ , 如表 1 所示。

表 1 系统层级影响因素集

$i$	可达集 $R(S_i)$	先行集 $A(S_i)$	$R(S_i) \cap A(S_i)$
1	1	1,2,3,4,5,6,8	1
2	1,2,3	2	2
3	1,3	2,3,8	3
4	1,4	4	4
5	1,5,6	5	5
6	1,6	4,6	6
7	7	5,7	7
8	1,3,8	8	8

按照上述过程，依次求得第 2 层级影响因素集  $L_2 = \{S_3, S_4, S_6\}$ ，第 3 层级影响因素集  $L_3 = \{S_2, S_5, S_8\}$ 。得到影响武器装备维修质量因素的三级层次结构，其层级结构如图 1 所示。

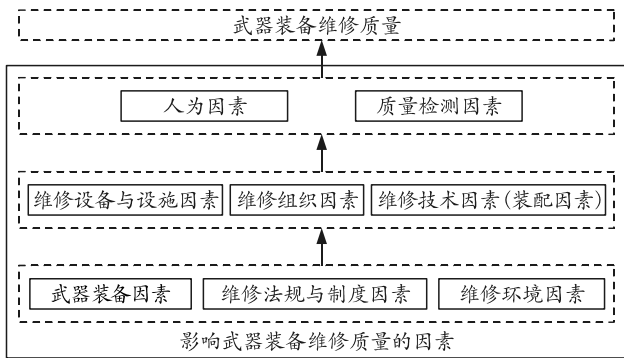


图 1 武器装备维修质量影响因素的层级结构

通过上述的层次级别划分，可求得按级排列的可达矩阵  $R'$ ：

$$R' = \begin{matrix} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 & S_7 & S_8 \\ \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_7 \\ S_8 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & \end{matrix}。$$

利用表示的数据关系，进一步得到武器装备维修质量影响因素的层级结构关系图，如图 2 所示。

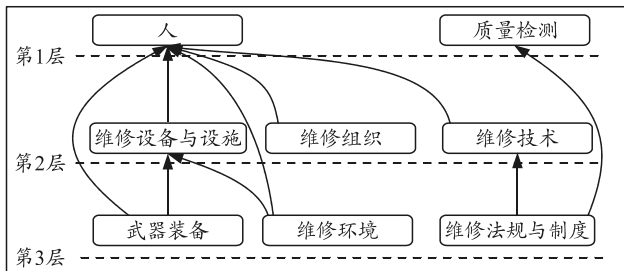


图 2 武器装备维修质量影响因素的层级结构关系

根据可达矩阵的传递性和级别划分原则，可得出武器装备维修质量影响因素的三级层次结构：人

的因素和质量检测因素处于第 1 层级，维修设备与设施因素、维修组织因素与维修技术因素处于第 2 层级，武器装备因素、维修法规与制度因素、维修环境因素处于第 3 层级。从经验角度分析，武器装备因素、维修环境因素对人的因素的影响关系，以及维修法规与制度因素对质量检测因素的影响关系都是直接且对上的影响关系；武器装备因素、维修环境因素对维修设备与设施的影响关系，以及维修法规与制度因素对维修技术因素的影响关系是同级影响关系。在构建武器装备维修质量影响因素的解释结构模型时，应将武器装备因素、维修法规与制度因素以及维修环境因素的层级进行调整，改为第 2 层级。于是，在对武器装备维修质量影响因素的结构模型进一步调整优化后，最终得到武器装备维修质量影响因素的解释结构模型，如图 3 所示。

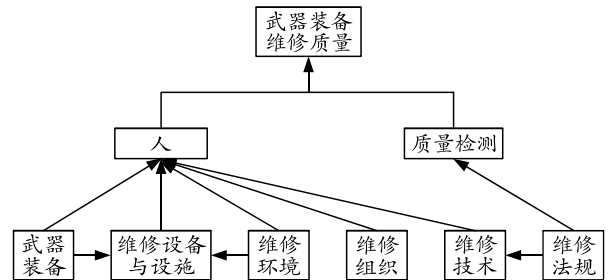


图 3 武器装备维修质量影响因素的解释结构模型

### 2.3 影响因素分析及对策

由以上分析可知：

1) 人为因素和质量检测因素处于影响因素的第 1 层级。人是进行维修操作和管理的具体实施者，其影响因素始终处于核心地位，而影响人的综合素质主要体现在思想政治素质、技术素质、身体素质和心理素质等方面<sup>[6]</sup>，这些素质可以通过教育和培训来提高；因此，在日常工作中，要通过教育和培训大力提高人员的综合素质，进而提高武器装备的维修质量<sup>[7]</sup>。维修过程中质量检测也十分重要，因此在维修过程中必须按照维修规程和维修工艺进行质量检测，以保证武器装备的维修质量。

2) 维修设备与设施因素、维修组织因素和维修技术因素处于影响因素的第 2 层级，而武器装备因素、维修法规与制度因素和维修环境因素处于影响因素的第 3 层级。这些因素都直接对人或质量检测产生了直接的影响，不同的是，处于第 3 层级的武器装备因素、维修法规与制度因素和维修环境因素还通过直接影响第 2 层级的因素从而对人或质量检测进行间接的影响。在武器装备维修质量的管理中，

要不断完善维修组织，强化责任意识和质量意识。另外还要考虑到维修对象即武器装备自身的特点，注重与维修设备和设施的匹配以及配套使用，确保维修设备与设施等维修保障资源的完备率和配套率。维修环境对维修质量的影响也不可忽视，不仅直接影响到武器装备本身和维修设备与设施的技术状况，而且还影响到维修人员的生理和心理；因此，要尽可能地为维修人员营造良好的维修工作环境。同时，还应加强维修操作程序和维修技术的研究，通过制定并不断完善相应的规章制度和技术规定，以此达到明确维修内容、规范维修程序、统一维修方法的目的，从而提高武器装备的维修质量。

### 3 结束语

武器装备维修质量管理是一个复杂的系统工程<sup>[8]</sup>，从维修活动构成和维修活动过程分解，将影响武器装备维修质量的因素归纳为人、武器装备、维修设备与设施、维修组织、维修法规与制度、维修技术、质量检测和维修环境等 8 个因素，并构建其逻辑层次结构，分析了影响因素的主次关系，为实施武器装备维修质量精细化管理提供了一定的参考。

\*\*\*\*\*  
(上接第 51 页)

### 4 结论

武器装备操作使用过程中的人为差错严重影响装备安全和装备作战效能。为加强人为差错管理，减少人为差错的发生概率及其产生的后果，进行人为差错辨识是一项必要工作。笔者对人为差错辨识方法展开分析，提出基于操作规程和人机界面的人为差错辨识方法。该方法有效利用了操作规程和人机界面的特点，可在保证辨识结果完备性的基础上，有效提高辨识结果的有效性。另外，该方法在使用过程中不需要专家知识支持，可在一定程度上弥补之前人为差错辨识方法存在的不足，为武器装备人为差错管理提供有益的指导。

### 参考文献：

- [1] 郭云东, 孙有朝. 基于 FBCREAM 方法的飞机驾驶人因可靠性评估模型[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(27): 11843-11849.

### 参考文献：

- [1] 苑明. 浅析装备维修质量影响因素[J]. 中国军转民, 2013(2): 63-64.
- [2] 王毅, 宗玉华, 邹卫国. 影响飞机维修质量的基本要素分析[C]//第四届长三角科技论坛航空航天与长三角经济发展分论坛暨第三届全国航空维修技术学术年会. 宁波: 浙江省航空学会, 2007: 119-122.
- [3] 刘颖, 曹玉坤, 郭金茂, 等. 影响武器装备维修质量的基本要素分析[J]. 装甲兵工程学院学报, 2001, 15(3): 28-31.
- [4] 孔祥祯, 王永攀, 杨江平. 装备维修质量评价研究综述[J]. 装备制造技术, 2016(9): 66-69.
- [5] 汪应洛. 系统工程——理论、方法与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011: 35.
- [6] YIN F. Analysis of influencing factors to the maintenance quality of the aviation equipment based on interpretative structural modeling[C]//Proceedings of 2011 International Conference on Grey Systems and Intelligent Services. Nanjing: IEEE/Place of publication, 2011.
- [7] 张玉明, 葛剑徽, 马云升, 等. 部队卫生装备维修保障质量影响因素及控制方法研究[J]. 医疗卫生装备, 2010, 31(6): 20-23.
- [8] 王海燕. 装备维修保障管理系列丛书[M]. 北京: 国防工业出版社, 2017: 98.
- [2] 谭鑫, 郭豫桐, 张凡, 等. 基于卡方检验的航空维修不安全事件致因分析[J]. 航空计算技术, 2021, 51(6): 51-54.
- [3] 蒋英杰. 认知模型支持下的人因可靠性分析方法研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2012.
- [4] 李星, 谭麟, 高凌云, 等. 系统安全领域人因错误理论研究进展[J]. 中国电子研究院学报, 2020, 15(7): 612-620.
- [5] SWAIN A D, GUTTMANN H E. Handbook of human reliability analysis with emphasis on nuclear power plant applications (NUREG/CR-1278)[R]. Washington DC: U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1983.
- [6] HOLLNAGEL E. Cognitive reliability and error analysis method (CREAM)[M]. London: Elsevier Science Ltd., 1998.
- [7] BABER C, STANTON N A. Task analysis for error identification: theory, method and validation[J]. Theoretical Issues in Ergonomics Science, 2002, 3(2): 212-227.
- [8] 孙志强, 李欣欣, 谢红卫, 等. 基于操作流程图的人为差错辨识方法[J]. 计算机工程, 2008, 34(5): 42-44, 65.