

# 基于改进型群层次分析法的装备维修过程模块质量评估方法研究

李爱民<sup>1</sup>, 张立君<sup>1</sup>, 曾治巍<sup>2</sup>

(1. 装甲兵工程学院 技术保障工程系, 北京 100072;

2. 中国人民解放军 73667 部队, 南京 212421)

**摘要:** 为更好地通过计算机进行装备维修质量控制, 文章深入研究了群层次分析法, 引进了欧氏距离理论, 运用距离标度对其进行改进, 并分析、界定了装备维修过程模块, 建立了质量评估指标体系, 得出了基于改进型群 AHP 的装备维修质量评估方法; 最后, 以某型装备为案例进行了该方法的具体应用研究, 对应用结果的分析表明了该方法较一般方法能够更为科学、准确地得到评估结果, 并且在计算机应用中更具有可操作性, 为装备维修质量评估和控制提供了一种可借鉴的方法。

**关键词:** 群层次分析法; 维修过程; 模块质量

## Research of Module Quality Evaluation Method for Equipment Maintenance Process Based on Improved Group AHP

Li Aimin<sup>1</sup>, ZhanG Lijun<sup>1</sup>, Zeng Zhiwei<sup>2</sup>

(1. Department of Technical Support Engineering, Academy of Armored Force Engineering,

Beijing 100072, China; 2. Troop No. 73667 of PLA, Nanjing 212421, China)

**Abstract:** In order to better control the equipment maintenance quality by computer, this paper studies the theory of group AHP, (Analytic Hierarchy Process), introduces the Euclidean distance theory, improves it by the distance scale, analyzes and defines the equipment maintenance process module, sets up the quality evaluation index system, obtains the equipment maintenance quality evaluation method based on the improving group AHP at last. Finally, it gives an example that the method carries on the concrete application through a certain type equipment. Analysis of application results shows that this method can get a more scientific, accurate evaluation results than general method, and more operable in computer application. It provides a useful method for equipment maintenance quality evaluation and control.

**Keywords:** group AHP; maintenance process; module quality

### 0 引言

当前, 装备维修质量评估工作注重从反映维修质量整体性的指标入手, 虽可以很好地掌握装备修后的总体质量, 但是, 不能够很好地掌握具体的维修工作质量, 难以更好地促进维修工作质量管理循环和改进, 同时也很难与信息技术相结合进行装备维修质量控制。

为了能够更好的反映装备维修工作质量和促进装备维修质量管理循环和改进, 本文在深入研究装备维修工作过程的基础上, 研究了基于装备维修过程模块的评估方法, 建立了科学的指标评估体系, 研究、运用距离改进型的群 AHP 法进行装备维修质量模块的评估。

### 1 距离改进型的群 AHP

群 AHP 理论 (AHP, Analytic Hierarchy Process, 层次分析法)<sup>[1]</sup> 在质量评估方面的研究和应用已经十分成熟。为了使评估结果更客观, 同时便于专家分配权重, 本文引进距离概念作为专家权重分配标度, 运用了欧氏距离剔除差异化较大的专家, 对判断矩阵转化得出一致矩阵, 从而计算出每位专家的权

重, 最后计算出专家的群决策权重。

#### 1.1 欧氏距离

设在装备维修过程中, 需要进行赋权的指标总共  $m$  个, 邀请 1 位专家进行权重分配, 分别为  $E_i = (e_{i1}, e_{i2}, \dots, e_{im}) (i = 1, 2, \dots, l)$ , 那么对于  $m$  个指标, 可以得到原始权重矩阵:

$$E = \begin{bmatrix} e_{11} & \dots & e_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{l1} & \dots & e_{lm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

矩阵  $E$  是原始数据矩阵。令  $d_{ij}$  表示  $E_i$  和  $E_j$  之间的距离函数  $d_{ij} = d(E_i, E_j) (1 \leq i, j \leq n)$ ,  $d_{ij}$  越小,  $E_i$  和  $E_j$  的相似度越高。

欧氏距离 (Euclidean Distance)<sup>[2]</sup>,  $E_i$  和  $E_j$  的欧氏距离计算表达式为:

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^m (e_{ik} - e_{jk})^2} \quad (2)$$

运用欧氏距离对所有专家对指标分配的权重进行运算后, 令  $B_i = \sum_{j=1}^l d_{ij} (i = 1, 2, \dots, l)$ , 若  $B_t = \max(B_1, B_2, \dots, B_l)$  或  $B_s = \min(B_1, B_2, \dots, B_l)$ , 则剔除第  $t$  位和第  $s$  位专家分配的权重。

#### 1.2 基于距离改进群 AHP 的评估理论

##### 1.2.1 基本理论

收稿日期: 2014-06-17; 修回日期: 2014-07-14。

作者简介: 李爱民 (1970-), 男, 北京人, 硕士, 副教授, 主要从事装备维修质量管理信息化方向的研究。

定义 1: 指标  $e_i$  和指标  $e_j$  权重值之间的大小  $|\xi_i - \xi_j|$  称为权重距离;

$$\text{公式 1: } \xi_{ij} = \xi_i - \xi_j \quad (3)$$

构建权重距离参照表 1, 如下。

表 1 权重距离参照表

距离	距离说明
0d	两个指标权重相同或权重基准
1d	相对权重稍强或距离权重基准为 1 个单位
2d	相对权重强或距离权重基准为 2 个单位
3d	相对权重明显强或距离权重基准为 3 个单位
4d	相对权重非常强或距离权重基准为 4 个单位
5d	相对权重极端强或距离权重基准为 5 个单位

构建权重距离参照表主要目的是规范判断矩阵产生的过程, 便于构建一致矩阵。

### 1.2.2 构建判断矩阵

1) 构建反对称矩阵:

在得到专家的权重距离之后, 按照 1.1 中的欧氏距离理论进行比较运算, 剔除 2 位差异化较大的专家, 那么令  $n=l-2$ , 则可以得到, 经过欧氏修正后的专家分配权重的修正矩阵, 再根据 (3) 式, 可得第  $k$  位专家的权重判断矩阵  $A$  为:

$$A_k = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

因为矩阵  $A$  中,  $a_{ij} = a_{ik} - a_{jk}$ , 且  $a_{ij} = -a_{ji}$ , 故矩阵  $A$  是反对称矩阵且是传递的。

2) 计算第  $k$  位专家给指标所赋的权重

根据文献 [4], 设  $n \times n$  矩阵  $A = (a_{ij}), B = (b_{ij}), C = (c_{ij})$ , 其中  $C = (c_{ij})$  是  $A = (a_{ij})$  的最优传递矩阵, 那么, 当

$c_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (a_{ik} + a_{kj})$  时, 令  $b_{ij} = e^{c_{ij}}$ , 则矩阵  $B$  为:

$$B_k = \begin{bmatrix} b_{11} & \cdots & b_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & \cdots & b_{nn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

根据一致矩阵的性质和指数运算定律可知, 矩阵  $B$  是一致矩阵。通过计算一致矩阵  $B$  的特征向量  $\omega_k$ , 就是第  $k$  位专家给指标所赋的权重。根据文献 [5] 可知, 权重向量  $\omega_k$  的计算公式如下:

$$\omega_k = \frac{(\prod_{j=1}^n b_{kj})^{\frac{1}{n}}}{\sum_{k=1}^n (\prod_{j=1}^n b_{kj})^{\frac{1}{n}}} \quad (6)$$

### 1.2.3 形成群决策权重

设  $n$  位专家对  $m$  个评估指标得出权重向量  $W_k = (\omega_{1k}, \omega_{2k}, \dots, \omega_{mk}), (k = 1, 2, \dots, n)$ , 且每位专家各自的权重分别为  $\lambda_1,$

$\lambda_2, \dots, \lambda_n, (\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1)$ , 采用加权算术平均群排序向量法:

$$\omega_i = \lambda_1 \omega_{1i} + \lambda_2 \omega_{2i} + \dots + \lambda_n \omega_{ni}, (i = 1, 2, \dots, m) \quad (7)$$

那么就可以得到群决策权重  $W = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)$ 。

### 1.2.4 得出质量模块评估算法

在得到装备维修质量评估指标的专家群决策权重之后, 权

重为  $W = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)$ , 将权重和对应的指标  $D = (d_1, d_2, \dots, d_m)$  进行归一化后做乘法运算, 可以得出指标在赋权后的结果。对一个质量模块下的各个因素做加法运算即可得出该质量模块  $Y = (y_1, y_2, y_3)$  的评估结果, 计算公式如下:

$$y_i = d_{i1} \omega_{i1} + d_{i2} \omega_{i2} + \dots + d_{im} \omega_{im}, (i = 1, 2, 3) \quad (8)$$

## 2 装备维修质量评估指标体系

修前准备过程重点是拟定台次修理计划并准备维修基础资料的活动, 主要包括 6 个因素: 修理计划、维修人员准备、维修设备工具、维修备件配料、维修资料文件、维修环境场地 [6]。

维修管理的重点是对修理生产过程的管理, 主要包括人力资源、维修生产调度、维修现场管理和维修质量管理 [6]。

为了使评估工作更方便开展, 精简装备中修工作过程, 可得关键子过程: 拆卸分解、零件清洗、零件鉴定、组合装配、系统联调、行驶试车、回修保养 [7]。

装备维修质量评估指标体系是在确定装备维修过程的基础上, 立足于修前准备、维修管理和修理生产 3 个过程, 按照质量影响因素间的逻辑关系和维修活动实施实际过程建立起来, 如图 1 所示。

## 3 装备维修过程模块质量评估方法研究

### 3.1 基于改进群 AHP 的评估步骤

#### 3.1.1 确定专家及指标权重距离

选择  $l$  位专家, 则可以得到专家权重为  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_l,$  ( $\sum_{i=1}^l \lambda_i = 1$ ), 而后, 请专家确定维修备件配料因素层下的备件配料质量良好率 ( $B_{ZL}$ ) 和备件配料短缺率 ( $B_{DCL}$ ) 两个指标的权重距离, 为  $A_l = (a_{1l}, a_{2l})$ 。

#### 3.1.2 求出各个专家的指标权重

运用欧式距离剔除差异化最大的两位专家分值, 那么令  $n = l - 2$ , 得到指标权重距离为  $A_n = (a_{1n}, a_{2n})$ , 则可以得到各个专家的权重, 分别为  $W_i = (\omega_{1i}, \omega_{2i}) (i = 1, 2, \dots, n)$ 。

#### 3.1.3 求出专家群决策权重

由于专家权重为  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_l, (\sum_{i=1}^l \lambda_i = 1)$ , 根据式 (7), 可以得到群决策权重为  $W = (\omega_1, \omega_2)$ , 又由于维修备件配料 ( $Y_4$ ) 是因素层的第 4 个因素, 则令其群决策权重为  $W^4 = (\omega_1^4, \omega_2^4)$ 。

#### 3.1.4 求出评估值

备件配料质量良好率 ( $B_{ZL}$ ) 和备件配料短缺率 ( $B_{DCL}$ ) 的指标数据均可在维修实践中获得, 维修备件配料 ( $Y_4$ ) 的评估计算公式为:

$$Y_4 = \omega_1^4 B_{ZL} + \omega_2^4 B_{DCL}$$

#### 3.1.5 质量模块评估

例, 请专家对修前准备质量模块下的修理计划、维修人员准备、维修设备工具、维修备件配料、维修资料文件、维修环境场地 6 个指标确定权重距离  $A_l = (a_{1l}, a_{2l}, a_{3l}, a_{4l}, a_{5l}, a_{6l})$ , 根据式 (4)、(5)、(6), 则可以得到各个专家的权重, 分别为:

$$W_i = (\omega_{1i}, \omega_{2i}, \omega_{3i}, \omega_{4i}, \omega_{5i}, \omega_{6i}) (i = 1, 2, \dots, n)$$

由于专家权重为  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_l, (\sum_{i=1}^l \lambda_i = 1)$ , 根据式 (7),

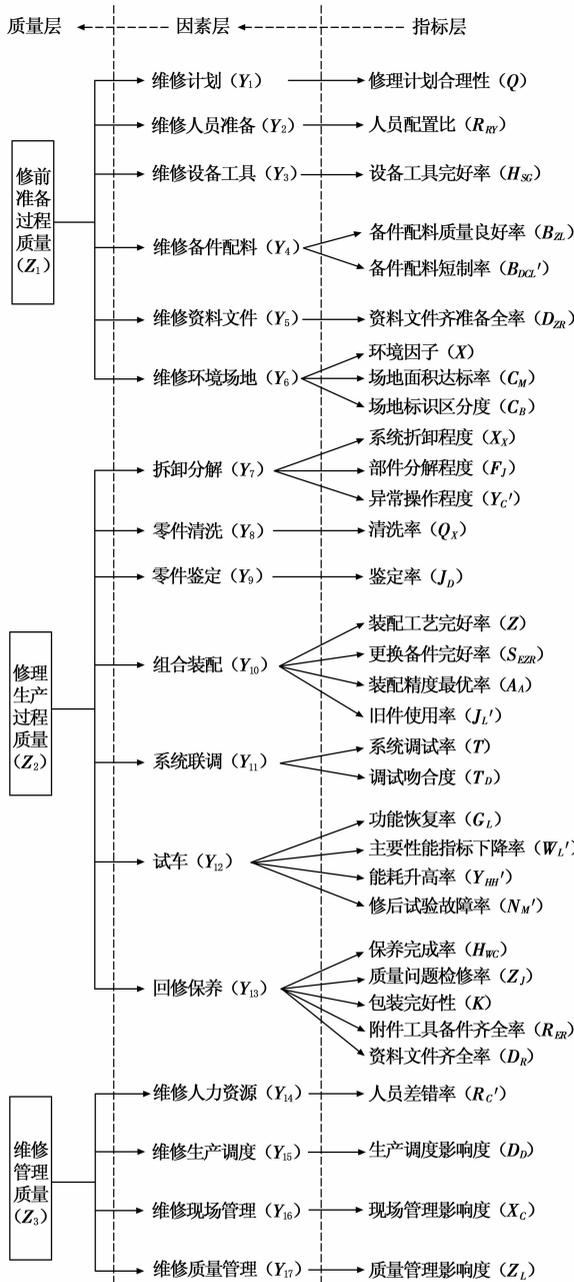


图 1 装备维修质量评估指标体系

可以得到群决策权重为  $(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6)$ 。那么可以得到修前准备过程质量基本评估模型为:

$$Z_1 = \theta_1 Y_1 + \theta_2 Y_2 + \theta_3 Y_3 + \theta_4 Y_4 + \theta_5 Y_5 + \theta_6 Y_6 \quad (9)$$

$$Z_1 = \theta_1 (\omega_1^4 B_{ZL} + \omega_1^1 B_{DCL})_1 + \theta_2 (\omega_1^5 X + \omega_2^5 C_M + \omega_3^5 C_B) + \theta_3 Q + \theta_4 R_{RY} + \theta_5 H_{SG} + \theta_6 D_{ZR} \quad (10)$$

设修理生产过程质量  $(Z_2)$  的各个因素求得的权重为  $(\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4, \delta_5, \delta_6, \delta_7)$ ，那么可以得到修理生产过程质量基本评估模型为:

$$Z_2 = \delta_1 Y_7 + \delta_2 Y_8 + \delta_3 Y_9 + \delta_4 Y_{10} + \delta_5 Y_{11} + \delta_6 Y_{12} + \delta_7 Y_{13} \quad (11)$$

$$Z_1 = \delta_1 (\omega_1^7 X_X + \omega_2^7 F_J + \omega_3^7 Y_C)_1 + \delta_2 Q_X + \delta_3 J_D +$$

$$\delta_4 (\omega_1^{10} Z + \omega_2^{10} S_{EZR} + \omega_3^{10} A_A + \omega_4^{10} J_L) + \delta_5 (\omega_1^{11} T + \omega_2^{11} T_D) + \delta_6 (\omega_1^{12} G_L + \omega_2^{12} W_L + \omega_3^{12} Y_{HH} + \omega_4^{12} N_M)$$

设维修管理质量  $(Z_3)$  的各个因素的权重为  $(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4)$ ，那么基本评估模型为:

$$Z_3 = \varphi_1 Y_{14} + \varphi_2 Y_{15} + \varphi_3 Y_{16} + \varphi_4 Y_{17}$$

### 3.1.6 评估结果界定

在所有指标值计算出来以后，将其换算成百分制，为了更精确的描述质量等级，明确最终评估结果的质量等级，如表 2。

表 2 质量评估结果界定表

很高	高	较高	中
95 以上	90~94	85~89	80~84
较低	低	很低	不合格
75~79	70~74	60~69	60 以下

## 3.2 某型装备维修实例分析

### 3.2.1 各个影响因素质量

为了更好的验证该方法的实用性。本文在某部进行维修记录和质量记录查阅，获取并整理维修质量相关数据，并对评估方法进行验证。因素层数据如表 3 所示。

表 3 因素层质量值

模块	影响因素	质量值
修前准备过程模块	维修计划	0.94
	维修人员准备	0.90
	维修设备工具	0.93
	维修备件配料	0.91
	维修资料文件	0.92
	维修环境场地	0.90
修理生产过程模块	拆卸分解	0.95
	零件清洗	0.92
	零件鉴定	0.94
	组合装配	0.96
	系统联调	0.96
	试车	0.94
维修管理过程模块	回修保养	0.92
	维修人力资源	0.94
	维修生产调度	0.93
	维修现场管理	0.94
	维修质量管理	0.95

### 3.2.2 专家权重

根据评估工作需求，为了科学地开展装备维修质量评估，邀请了 6 位专家参与某型装备维修质量评估工作，专家的权重分别如表 4 所示。

表 4 专家权重

专家	1	2	3	4	5	6
权重	0.16	0.15	0.17	0.18	0.16	0.18

3.2.3 专家对各个因素打的分值

邀请专家们对指标进行打分赋值，具体如表 5 所示。

经过欧式距离运算，剔除第一位和第三位专家的打分，对剩余四位专家进行权重计算。

表 5 专家打分结果

因素	1	2	3	4	5	6
Y <sub>1</sub>	4	3	4	5	4	5
Y <sub>2</sub>	3	3	3	3	2	3
Y <sub>3</sub>	3	4	2	4	3	2
Y <sub>4</sub>	5	5	4	5	4	4
Y <sub>5</sub>	2	3	4	4	3	2
Y <sub>6</sub>	3	4	4	2	2	3
Y <sub>7</sub>	4	4	3	3	3	5
Y <sub>8</sub>	3	2	4	4	4	3
Y <sub>9</sub>	3	3	4	4	3	4
Y <sub>10</sub>	5	5	3	5	2	5
Y <sub>11</sub>	2	3	4	4	4	3
Y <sub>12</sub>	3	2	2	2	5	4
Y <sub>13</sub>	4	4	4	5	4	4
Y <sub>14</sub>	4	3	4	4	2	4
Y <sub>15</sub>	3	4	2	3	2	3
Y <sub>16</sub>	4	2	3	4	3	5
Y <sub>17</sub>	5	3	4	5	4	4

修前准备过程模块质量影响因素权重：

$\omega_{1-1} = (0.065, 0.066, 0.176, 0.478, 0.065, 0.150)$

$\omega_{1-2} = (0.343, 0.047, 0.126, 0.343, 0.126, 0.015)$

$\omega_{1-3} = (0.272, 0.037, 0.100, 0.272, 0.100, 0.219)$

$\omega_{1-4} = (0.589, 0.080, 0.031, 0.129, 0.046, 0.125)$

结合专家权重按照式 (7) 合成后为：

$\theta = (0.349, 0.069, 0.113, 0.239, 0.096, 0.134)$

修理生产过程模块质量影响因素权重：

$\omega_{2-1} = (0.094, 0.023, 0.054, 0.455, 0.105, 0.023, 0.246)$

$\omega_{2-2} = (0.082, 0.222, 0.223, 0.082, 0.222, 0.030, 0.139)$

$\omega_{2-3} = (0.057, 0.155, 0.057, 0.021, 0.155, 0.420, 0.135)$

$\omega_{2-4} = (0.300, 0.041, 0.111, 0.300, 0.042, 0.111, 0.095)$

结合专家权重按照式 (7) 合成后权重为：

$\delta = (0.137, 0.114, 0.115, 0.210, 0.131, 0.143, 0.150)$

维修管理过程模块质量影响因素权重：

$\omega_{3-1} = (0.224, 0.531, 0.083, 0.162)$

$\omega_{3-2} = (0.229, 0.086, 0.229, 0.456)$

$\omega_{3-3} = (0.099, 0.099, 0.269, 0.533)$

$\omega_{3-4} = (0.203, 0.078, 0.566, 0.153)$

结合专家权重按照式 (7) 合成后权重为：

$\varphi = (0.190, 0.187, 0.296, 0.327)$

3.2.4 评估结果

根据表 5 及式 (2) ~ (8)，可以得到评估结果，如表 6 所示。

表 6 某型装备维修质量评估结果

过程模块	修前准备过程模块	修理生产过程模块	维修管理过程模块
评估结果	94.6	94.2	94.1

3.2.5 结果分析

从该评估方法的应用过程来看，可以发现该方法使专家权重的计算过程更为简化，较于其他的群 AHP 评估方法避免了一致性判断，同时专家打分的距离标度改进后较原本的“九标度打分法”更为简化，较“三标度打分法”更为科学、合理，为通过信息系统控制装备维修质量提供了更好地方法。且底层指标易于获得，评估方法易于转化成程序，能够有效促进装备维修质量管理信息化。

从评估结果来看，该方法可以具体得出各个维修过程或其子过程的质量，能够更为清晰的掌握每个具体维修工作过程的质量。通常的装备维修质量评估方法只得到一个最终评估结果，无法得到具体维修工作质量的评估结果，因此相比较而言该方法的评估精度更高，得到的结果更具体，能够更准确反映出维修工作质量。

4 结束语

装备维修质量评估作为维修质量管理的重要组成部分，其最终目标是为维修质量管理服务，提升装备维修质量，并能够准确预知装备维修的质量。立足于维修过程，着眼于修后质量，通过评估过程质量，掌握装备维修质量，为更科学、合理地开展装备维修质量评估，并为通过计算机实现装甲装备维修质量控制提供了可以借鉴的思路。

参考文献：

[1] 陈庆华, 李晓松. 系统工程理论与实践 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2009

[2] 王军武, 王旭东, 王全新. 一种基于 AHP 以及欧氏距离的权重分配新途径 [J]. 华中科技大学学报 (城市科学版), 2007 (24): 26 - 27.

[3] 张震, 胡学钢. 基于初级权重序列的改进 AHP 研究 [J]. 计算机应用研究, 2011 (28): 2113 - 2119.

[4] 牛丽, 陈珂, 程媛. 改进的层次分析法在就业综合评价中的应用 [J]. 计算机仿真, 2011 (28): 376 - 379.

[5] 张海兵, 徐诚. 基于改进 AHP 的目标价值评估模型分析 [J]. 弹箭与制导学, 2007 (1): 228 - 230.

[6] 李爱民, 罗九林. 装甲装备维修质量管理流程与控制方法研究 [R]. 北京: 装甲兵工程学院, 2011.

[7] 叶红兵. 基于 WSR 和 LSS 的装甲装备维修质量管理研究 [D]. 北京: 装甲兵工程学院, 2013.