

# 基于层次分析法的工程兵维修部(分)队野战维修保障能力评估

常亮,王连来,崔人伟

北京工程装备系统工程研究所,北京 100092

**摘要** 野战条件下,工程兵维修部(分)队维修保障能力对恢复工程兵部队战斗力起到至关重要的作用。本文将影响维修保障能力诸多因素分为动态和静态两类,选取静态因素作为重点研究对象,采用层次分析法对影响维修保障能力的因素进行分析和特征量提取,通过分类比较建立起一套影响维修保障能力因素的指标体系。在此基础上,运用 Matlab 软件计算出层次内指标权重,并对结果进行一致性检验。最后通过加权相乘,对层次内所有影响因素进行排序,用量化形式表现各影响因素之间重要程度,为工程兵维修部(分)队有目的、有重点地完善和提高野战维修保障能力提供标准和依据,同时为同类部队之间的维修保障能力比较提供了一种简单有效的方法。

**关键词** 层次分析法;维修保障;能力评估

**中图分类号** E23

**文献标识码** A

**文章编号** 1000-7857(2010)22-0077-05

## Capability Evaluation of Maintenance and Supportability for Maintenance Units of Engineer Mend Troops in the Field Based of AHP

CHANG Liang, WANG Lianlai, CUI Renwei

*Beijing Systems Engineering Institute of Engineer Equipment, Beijing 100092, China*

**Abstract** In field operations, the capability of the engineer's maintenance team in maintenance and supportability plays an essential role in resuming fighting ability of engineer troops in case of emergency. This paper first considers various factors which influence the capability of maintenance and supportability, which may be divided into static factors and dynamic factors, with the static factors as the main research concern of this paper, by using the method of Analytic Hierarchy Process (AHP). Secondly, the AHP is discussed in detail, including its definition, principle and steps. An analysis is made on factors which influence the capability of maintenance and supportability, and a set of indices is established. The Matlab software is used to calculate the index weight in different levels, and the test of consistency is carried out. Finally, through the weight multiplication, the influencing factors are sorted out in levels in an order, and the important intensity is shown among all influencing factors in a quantitative form, which provides standards and a foundation for the engineer's maintenance team to enhance its capability of maintenance and supportability. At the same time, it provides a simple method for comparing the ability of maintenance and supportability between different troops.

**Keywords** analytic hierarchy process; maintenance and support; ability evaluation

### 0 引言

工程装备在军事行动中的主要任务是遂行工程保障。近年来,抗洪抢险、抗震救灾、反恐维稳、国际维和等非战争军

事行动任务逐渐增加,工程兵作为执行非战争军事行动的主力,装备的使用频率越来越高,使用范围越来越广泛,地位也越来越重要。为了充分发挥工程装备的作用,保持和及时恢

收稿日期:2010-08-23;修回日期:2010-11-09

作者简介:常亮,助理工程师,研究方向为装备保障,电子信箱:chang\_l@sina.cn

复工程装备的战斗力,工程兵维修部(分)队的野战维修保障能力亟待加强。

影响工程兵维修部(分)队野战维修保障能力的因素很多,可分为静态和动态两类。静态因素主要包括维修人员、维修装备、维修的技术资料、实施抢修的预案(人员编制情况、组织协调、维修方案等)、维修技术、维修工艺等;动态因素主要包括任务样式、上级器材供应、战场环境(包括地形、气候、战争强度、敌火威胁等)等。本文采用层次分析法,评价静态指标对工程兵维修部(分)队野战维修保障能力的影响。该方法已经广泛应用于航空航天、雷达、车辆、装甲等领域,用于对各种能力的评估。但对于工程机械维修保障能力,特别是野战条件下,尚无可参考借鉴的资料。和以往不同,本文针对非战争军事行动背景下工程装备保障,指标因素和战场环境都有明显不同,指标体系的建立,对部队完成非战争军事行动任务建设具有一定指导意义。

## 1 层次分析法

层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 是 T. L. Saaty 于 20 世纪 70 年代初期提出的一种简便、灵活而又实用的多准则决策方法<sup>[1]</sup>。AHP 是一种综合定性与定量分析的决策方法,能够模拟人的决定思维过程,解决多因素复杂,特别是难以定量分析的社会系统问题,是分析多目标、多准则复杂系统的有力工具。其基本原理是将复杂系统分解成目标、准则、方案等层次,在此基础上进行定性和定量分析。

运用层次分析法建模,大体可按以下 4 个步骤进行:建立递阶层次结构模型;构造出各层次的所有判断矩阵,并计算权重;层次单排序一致性检验;层次总排序<sup>[2]</sup>。

### 1.1 递阶层次结构的建立与特点

应用 AHP 分析决策问题时,首先要将问题条理化、层次化,构造一个有层次的结构模型。这些层次可以分为 3 类:最高层,层中只有一个元素,一般为分析问题的预定目标或理想结果,也称为目标层;中间层,层中包含为实现目标所涉及的中间环节,可由若干个层次组成,包括所需考虑的准则、子准则,也称为准则层;最底层,层中包括为实现目标可供选择的各种措施、决策方案等,也称为措施层或方案层。

### 1.2 权重确定

1) 构造判断矩阵。运用 1~9 比率标度方法,对每个层次中各相关元素进行两两比较评分,矩阵采用数字 1~9 及其倒数作为重要性标度。表 1 列出了 1~9 标度的含义<sup>[3]</sup>。

2) 计算权重。在同一层次中,运用两两比较的方法得到矩阵  $G$ ,通过对矩阵  $G$  行列归一化处理,得到该层所有元素对上一层对应元素的重要性权值,同时解得矩阵特征根  $\lambda_{\max}$ 。计算权重向量和特征根  $\lambda_{\max}$  的方法有和积法、方根法和方和根法。本文选用计算较为简便的和积法。

### 1.3 层次单排序和一致性检验

解出  $\lambda_{\max}$  后,需进行一致性检验,这也是保证评价结论可

表 1 重要性标度含义

Table 1 Importance of the grades

标度	含义
1	两个因素相比,具有相同重要性
3	两个因素相比,前者比后者稍重要
5	两个因素相比,前者比后者明显重要
7	两个因素相比,前者比后者强烈重要
9	两个因素相比,前者比后者极端重要
2,4,6,8	上述相邻判断的中间值
倒数	若因素 $i$ 与因素 $j$ 的重要性之比为 $a_{ij}$ ,那么因素 $j$ 与因素 $i$ 重要性之比为 $a_{ji}=1/a_{ij}$

靠的必要条件。由  $\lambda_{\max}$  可以估计比较判断的一致性。

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

当判断一致时,应该有  $\lambda_{\max} = n$ ,即  $CI = 0$ ;不一致时,一般  $\lambda_{\max} > n$ ,即  $CI > 0$ 。根据此式和表 2 随机一致性指标  $CR$  可以进行一致性检验,即满足

$$\frac{CI}{CR} < 0.1$$

其中,当判断矩阵的阶数  $n < 3$  时,判断矩阵永远具有完全一致性<sup>[4]</sup>。

表 2 Saaty 关于平均随机一致性指标  $CR$

Table 2 Saaty's index about average stochastic consistency  $CR$

$n$	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$CR$	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

采用随机方法构造 500 个样本矩阵,从 1~9 及其倒数中随机抽取数字构造正互反矩阵,求得最大特征根的平均值  $\lambda'_{\max}$ ,并定义  $CR$  为<sup>[5]</sup>

$$CR = \frac{\lambda'_{\max} - n}{n - 1}$$

### 1.4 层次总排序

得到一组元素对其上一层中某元素的权重向量后,还需得到各元素,特别是最低层中各方案对于目标的排序权重,从而进行方案选择。总排序权重要自上而下地将单准则下的权重进行合成。

设上一层次 ( $A$  层) 包含  $A_1, A_2, \dots, A_m$  共  $m$  个因素,它们的层次总排序权重分别为  $a_1, a_2, \dots, a_m$ ,其下一层次 ( $B$  层) 包含  $n$  个因素  $B_1, B_2, \dots, B_n$ ,它们关于  $A_j$  的层次单排序权重分别为  $b_{1j}, b_{2j}, \dots, b_{nj}$  (当  $B_i$  与  $A_j$  无关联时,  $b_{ij} = 0$ )。现求  $B$  层中各因素关于总目标的权重,即求  $B$  层各因素的层次总排序权重

$$b_1, b_2, \dots, b_n, b_i = \sum_{j=1}^m b_{ij} a_j (i=1, 2, \dots, n)^{[6]}$$



## 2 层次分析法在野战维修保障能力评价中的应用

### 2.1 评价指标确定和层次关系建立

在精确分析、力求简练、避免重复、便于量化的原则下,对维修保障能力体系进行系统分析,从保障资源、训练水平、指挥技能 3 个方面确定评价的指标。

1) 保障资源指标包括人力资源、保障装备、战备器材、新技术新工艺和技术资料。其中,① 人力资源指标包括士兵技术等级结构合格率、技术军官平均技术等级、受训率;② 保障装备指标包括主要保障装备底盘完好率、主要保障装备随车设备完好率、主要保障装备随车工具完好率、主要保障装备出动率、辅助保障装备完好率、辅助保障装备出动率;③ 战备

器材指标包括器材储备充足率、器材完好率;④ 新技术新工艺指标包括应用率;⑤ 技术资料指标包括齐全率。

2) 训练水平指标包括共同科目、专业训练科目和分队训练科目。其中,① 共同科目指标包括达标率、到课率;② 专业训练科目包括合格率、科目施训率;③ 分队训练科目包括野战修理考核成绩、野战抢修考核成绩、分队动作考核成绩。

3) 指挥技能指标包括预案齐全率、预案熟悉度、通信设备完好率和信息化水平。

在上述系统分析的基础上,建立影响维修保障能力的因素间递阶层次结构。本体系分为 4 个层次,最高层为目标层,下设 3 层指标,指标间的相互关系如表 3 所示。

表 3 工程兵维修部(分)队野战维修保障能力指标结构

Table 3 Index structure about capability of maintenance and supportability for engineer maintenance troops in the field

目标层	一级指标	二级指标	三级指标
野战维修保障能力(A)	保障资源(B <sub>1</sub> )	人力资源(C <sub>1</sub> )	士兵技术等级结构合格率(D <sub>1</sub> )
			技术军官平均技术等级(D <sub>2</sub> )
			受训率(D <sub>3</sub> )
	保障装备(C <sub>2</sub> )	保障装备(C <sub>2</sub> )	主要保障装备底盘完好率(D <sub>4</sub> )
			主要保障装备随车设备完好率(D <sub>5</sub> )
			主要保障装备随车工具齐全率(D <sub>6</sub> )
			主要保障装备出动率(D <sub>7</sub> )
			辅助保障装备完好率(D <sub>8</sub> )
			辅助保障装备出动率(D <sub>9</sub> )
	战备器材(C <sub>3</sub> )	战备器材(C <sub>3</sub> )	器材储备充足度(D <sub>10</sub> )
			器材完好率(D <sub>11</sub> )
新技术新工艺(C <sub>4</sub> )	新技术新工艺(C <sub>4</sub> )	应用率(D <sub>12</sub> )	
		齐全率(D <sub>13</sub> )	
训练水平(B <sub>2</sub> )	共同科目(C <sub>6</sub> )	达标率(D <sub>14</sub> )	
		到课率(D <sub>15</sub> )	
	专业训练科目(C <sub>7</sub> )	合格率(D <sub>16</sub> )	
		科目施训率(D <sub>17</sub> )	
	分队训练科目(C <sub>8</sub> )	分队训练科目(C <sub>8</sub> )	野战修理考核成绩(D <sub>18</sub> )
野战抢救考核成绩(D <sub>19</sub> )			
分队动作考核成绩(D <sub>20</sub> )			
指挥技能(B <sub>3</sub> )	指挥技能(B <sub>3</sub> )	预案齐全率(D <sub>21</sub> )	
		预案熟悉度(D <sub>22</sub> )	
		通信设备完好率(D <sub>23</sub> )	
		信息化水平(D <sub>24</sub> )	

### 2.2 计算权重和一致性检验

一级指标包括保障资源、训练水平和指挥技能 3 个因素,由专家打分结果,构造判断矩阵如表 4 所示。

用和积法计算权重,利用 Matlab 软件计算得到权重特征值和最大特征根,保留小数点后 4 位,各项权重分别为:ω<sub>1</sub>=

0.6370,ω<sub>2</sub>=0.2583,ω<sub>3</sub>=0.1047。由  $\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(Gw)_i}{nw_i}$  计算得到最

大特征根  $\lambda_{\max}=3.0385$ ,一致性检验  $CI = \frac{\lambda_{\max}-n}{n-1} = 0.01925$ ;由表

2 可知,当  $n=3$  时, $CR=0.58, \frac{CI}{CR} = 0.0332 < 0.1$ ,判断矩阵的结果可以接受,求得的权重结果可以使用。

同理,可计算出其他层次指标权重,计算结果如表 5~表

11 所示。



表 4 一级指标层判断矩阵

Table 4 Judgment matrix about first layer's index

A	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>
B <sub>1</sub>	1	3	5
B <sub>2</sub>	1/3	1	3
B <sub>3</sub>	1/5	1/3	1

表 5 一级指标层权重计算过程和结果

Table 5 Calculation process and results of weight for first layer's index

A	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	$\omega_i$	$\lambda_{\max}$	$\frac{CI}{CR}$
B <sub>1</sub>	1	3	5	0.6370		
B <sub>2</sub>	1/3	1	3	0.2583	3.0385	0.0332
B <sub>3</sub>	1/5	1/3	1	0.1047		

表 6 保障资源指标层权重计算过程和结果

Table 6 Calculation process and results of weight of support resources layer's indices

B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	$\omega_i$	$\lambda_{\max}$	$\frac{CI}{CR}$
C <sub>1</sub>	1	1/3	1/3	5	5	0.1606		
C <sub>2</sub>	3	1	3	7	7	0.4616		
C <sub>3</sub>	3	1/3	1	7	7	0.2917	5.2453	0.0548
C <sub>4</sub>	1/5	1/7	1/7	1	1	0.0430		
C <sub>5</sub>	1/5	1/7	1/7	1	1	0.0430		

表 7 训练水平指标层权重计算过程和结果

Table 7 Calculation process and results of weight of training level layer's indices

B <sub>2</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	$\omega_i$	$\lambda_{\max}$	$\frac{CI}{CR}$
C <sub>6</sub>	1	1/5	1/3	0.1047		
C <sub>7</sub>	5	1	3	0.6370	3.0385	0.0332
C <sub>8</sub>	3	1/3	1	0.2583		

表 8 人力资源指标层权重计算过程和结果

Table 8 Calculation process and results of weight of manpower resources layer's indices

C <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	$\omega_i$	$\lambda_{\max}$	$\frac{CI}{CR}$
D <sub>1</sub>	1	1	1/3	0.2		
D <sub>2</sub>	1	1	1/3	0.2	3	0
D <sub>3</sub>	3	3	1	0.6		

表 9 保障装备指标层权重计算过程和结果

Table 9 Calculation process and results of weight of support equipment layer's indices

C <sub>2</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>6</sub>	D <sub>7</sub>	D <sub>8</sub>	D <sub>9</sub>	$\omega_i$	$\lambda_{\max}$	$\frac{CI}{CR}$
D <sub>4</sub>	1	3	3	5	5	6	0.4247		
D <sub>5</sub>	1/3	1	1	3	3	4	0.1896		
D <sub>6</sub>	1/3	1	1	3	3	4	0.1896	6.0989	0.0160
D <sub>7</sub>	1/5	1/3	1/3	1	1	2	0.0745		
D <sub>8</sub>	1/5	1/3	1/3	1	1	2	0.0745		
D <sub>9</sub>	1/6	1/4	1/4	1/2	1/2	1	0.0471		

表 10 分队训练科目指标层权重计算过程和结果

Table 10 Calculation process and results of weight of unit training subjects layer's indices

C <sub>8</sub>	D <sub>18</sub>	D <sub>19</sub>	D <sub>20</sub>	$\omega_i$	$\lambda_{\max}$	$\frac{CI}{CR}$
D <sub>18</sub>	1	1	2	0.4		
D <sub>19</sub>	1	1	2	0.4	3	0
D <sub>20</sub>	1/2	1/2	1	0.2		

表 11 指挥技能指标层权重计算过程和结果

Table 11 Calculation process and results of weight of commanding skills layer's indices

B <sub>3</sub>	D <sub>21</sub>	D <sub>22</sub>	D <sub>23</sub>	D <sub>24</sub>	$\omega_i$	$\lambda_{\max}$	$\frac{CI}{CR}$
D <sub>21</sub>	1	3	1/5	1/3	0.1237		
D <sub>22</sub>	1/3	1	1/7	1/3	0.0647	4.1397	0.0517
D <sub>23</sub>	5	7	1	3	0.5710		
D <sub>24</sub>	3	3	1/3	1	0.2406		

当指标不到 3 个时,不需构造判断矩阵,可直接进行比较,结果如下:

C<sub>2</sub> 层指标有器材储备充足度、器材完好率,其权重分别为 1/2、1/2。

C<sub>3</sub> 层指标有应用率,其权重为 1。

C<sub>4</sub> 层指标有齐全率,其权重为 1。

C<sub>5</sub> 层指标有达标率、到课率,其权重分别为 2/3、1/3。

C<sub>6</sub> 层指标有合格率、科目实施率,其权重分别为 1/3、2/3。

### 2.3 指标总排序

上面完成了相对于层次内因素的权重计算结果,由公式

$$b_i = \sum_{j=1}^m b_j a_{ij} \text{ 计算, 得出 24 个基本指标相对于最高层的权重值,}$$

保留到小数点后 4 位,如表 12 所示。

表 12 基本指标权重  
Table 12 Weights of basic indices

指标	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$D_4$	$D_5$	$D_6$	$D_7$	$D_8$
权重	0.0205	0.0205	0.0615	0.1249	0.0557	0.0557	0.0219	0.0219
指标	$D_9$	$D_{10}$	$D_{11}$	$D_{12}$	$D_{13}$	$D_{14}$	$D_{15}$	$D_{16}$
权重	0.0138	0.0929	0.0929	0.0274	0.0274	0.0180	0.0090	0.0548
指标	$D_{17}$	$D_{18}$	$D_{19}$	$D_{20}$	$D_{21}$	$D_{22}$	$D_{23}$	$D_{24}$
权重	0.1097	0.0266	0.0266	0.0133	0.0130	0.0068	0.0598	0.0252

## 2.4 结果分析

通过分析得出,影响工程兵维修部(分)队野战维修保障能力的首要因素是主要保障装备底盘完好率( $D_4$ ),然后依次是专业科目施训率( $D_{17}$ )、战备器材储备充足率( $D_{10}$ )、战备器材完好率( $D_{11}$ )、人员受训率( $D_3$ )、通信设备完好率( $D_{23}$ )、主要保障装备随车设备完好率( $D_5$ )、主要保障装备随车工具齐全率( $D_6$ )、专业科目合格率( $D_{16}$ )、新技术新工艺应用情况得分( $D_{12}$ )、技术资料齐全率( $D_{13}$ )、分队科目野战修理考核成绩( $D_{18}$ )、分队科目野战抢修考核成绩( $D_{19}$ )、信息化水平( $D_{24}$ )、主要保障装备出动率( $D_7$ )、辅助保障装备完好率( $D_8$ )、士兵技术等级结构合格率( $D_1$ )、技术军官平均技术等级( $D_2$ )、共同科目达标率( $D_{14}$ )、辅助保障装备出动率( $D_9$ )、分队动作考核成绩( $D_{20}$ )、预案齐全率( $D_{21}$ )、共同科目到课率( $D_{15}$ )和预案熟悉度( $D_{22}$ )。

## 3 结论

影响工程兵维修部(分)队野战维修保障能力的因素很多,本文针对静态因素进行了系统的分析和特征量的提取,并利用层次分析法进行建模,确定各因素间的重要程度,为工程兵维修部(分)队维修保障能力建设提供可参考借鉴的体系标准,为工程兵维修部(分)队有目的、有重点提高维修保障能力提供依据。同时,在此体系标准的基础上,对各个因素进行打分,加权相乘得到总体分数,为同类部队之间的维

修保障能力比较提供了一种简单有效的方法。但作为一个非线性动态系统,部(分)队维修保障能力的影响因素千差万别,要真正达到全面、客观、准确的定量评价,还需要更为深入的研究与实践。

## 参考文献 (References)

- [1] 张吉军. 模糊层次分析法[J]. 模糊系统与数学, 2000, 14(2): 80-88.  
Zhang Jijun. *Fuzzy System and Mathematics*, 2000, 14(2): 80-88.
- [2] 李梅霞. AHP 中判断矩阵一致性改进的一种新方法[J]. 系统工程理论与实践, 2000, 20(2): 122-125.  
Li Meixia. *System Engineering Theory and Practice*, 2000, 20(2): 122-125.
- [3] 张荧锋, 陈视桥, 谭猛泉. 中继级修理能力评估指标体系研究[J]. 中国修船, 2006, 19(Z1): 49-51.  
Zhang Yingfeng, Chen Yanqiao, Tan Mengquan. *China Shiprepair*, 2006, 19(Z1): 49-51.
- [4] 郑孝勇, 姚景顺. 基于模糊层次分析法的雷达效能评估方法 [J]. 现代雷达, 2002, 24(2): 7-9.  
Zheng Xiaoyong, Yao Jingshun. *Modern Radar*, 2002, 24(2): 7-9.
- [5] 方先明, 唐德善. 一类方案评价模型[J]. 重庆工学院学报: 自然科学版, 2003, 17(3): 74-76.  
Fang Xianming, Tang Deshan. *Journal of Chongqing Institute of Technology: Natural Science*, 2003, 17(3): 74-76.
- [6] 甘旭升, 端木京顺, 王美义. 航空维修保障能力模糊综合评定模型[J]. 周口师范学院学报, 2003, 20(5): 12-15.  
Gan Xusheng, Duanmu Jingshun, Wang Meiyi. *Journal of Zhoukou Normal University*, 2003, 20(5): 12-15.

(责任编辑 代丽)

## ·学术动态·

# “第十二届国际岩石力学大会”征文



国际岩石力学学会主办,中国岩石力学与工程学会承办的“第十二届国际岩石力学大会”将于 2011 年 10 月 18—21 日在北京召开。

会议主题:岩石力学与环境的和谐发展。

征文内容:现场勘察与野外观测;岩石材料与岩体性能测试(实验室与现场测试);分析技术与设计方法(模拟与数值分析方法);信息系统(人工智能及其他先进技术);灾害性地质环境下的岩石工程;岩石破碎与开挖技术;石油、天然气、二氧化碳的地下储藏及核废料处理。

征文截止时间:2011 年 2 月 15 日。

联系方式:北京市朝阳区北土城西路 19 号,中国岩石力学与工程学会(100029),冯婷,胡威;电话/传真:010-82998164/82998163。

会议网址:www.isrm2011.com。