

doi: 10.7690/bgzdh.2015.10.025

## 基于 AHP 和模糊理论的通信装备技术保障能力评估

康云<sup>1</sup>, 李淳<sup>1</sup>, 戴振华<sup>2</sup>

(1. 南京电讯技术研究所第五研究室, 南京 210007; 2. 中国人民解放军 78086 部队, 成都 610000)

**摘要:** 为了评估现代高技术战争条件下的通信装备技术保障能力, 提出一种基于 AHP 和模糊理论的评估方法。在分析通信装备技术保障能力影响因素的基础上, 建立通信装备技术保障能力评估指标体系, 利用层次分析法计算了各指标因素的权重, 并采用模糊数学理论建立了各指标因素的模糊隶属度函数, 对通信装备技术保障能力进行了综合评估。分析结果表明: 该方法用精确的数学描述通信装备技术保障指标中的模糊性, 为评估通信装备技术保障能力提供了一种新的方法。实例分析结果表明该评估方法具有实用性。

**关键词:** 通信装备技术保障; 指标体系; 能力评估; 层次分析法; 模糊综合评价

**中图分类号:** TJ03 **文献标志码:** A

## Communication Equipment Technical Support Capacity Evaluation Based on AHP and Fuzzy Theory

Kang Yun<sup>1</sup>, Li Chun<sup>1</sup>, Dai Zhenhua<sup>2</sup>

(1. No. 5 Studio, Nanjing Telecommunication Technology Research Institute, Nanjing 210007, China;  
2. No. 78086 Unit of PLA, Chengdu 610000, China)

**Abstract:** In order to evaluate the technical support capacity of communication equipment under the condition of high technology warfare, the evaluation measure based on AHP and fuzzy theory is advanced. On the basis of analyzing influence factors of the communication equipment technical support capacity, the capacity evaluation criterion system of communication equipment support is established. Analytic Hierarchy Process (AHP) is used for calculating the weight of each index, fuzzy mathematic theory is used for establishing the function of fuzzy membership grade of each index, and the communication equipment technical support capacity is evaluated. The result shows that this method uses accurate mathematics to analysis fuzzy criterions of communication equipment technical support capacity, supplies a new way for evaluating the communication equipment technical support capacity. The practical example indicates the effectiveness of the evaluate method.

**Keywords:** communication equipment technical support; capacity evaluation; index system; analytic hierarchy process; fuzzy integrated estimation

### 0 引言

装备技术保障的概念最早源于前苏联, 在 1976—1980 年版的《苏联军事百科全书》中, 装备技术保障指“为使军事技术装备保持随时可启用的技术完好状态, 而组织和实施的对技术装备的正确使用、保养和修理”。我军的通信装备技术保障指为保持和恢复通信装备的规定功能而采取的各项技术与手段的总称, 是通信装备保障的重要部分<sup>[1]</sup>。在现代高技术战争条件下, 通信装备技术保障的地位作用更加突出。对通信装备技术保障能力进行的价值判断, 其评估结果能为通信兵作战和各级装备保障指挥机构提供重要而有效的决策支持, 为作战、保障方案的制定和优化提供重要的参考依据<sup>[2]</sup>。基于此, 笔者对基于 AHP 和模糊理论的通信装备技术保障能力评估进行研究。

### 1 建立指标体系

影响通信装备技术保障能力的因素有很多, 在

所设计的指标体系中, 舍弃那些用途或影响不是很大的因素, 只考虑作用明显、对通信装备技术保障能力影响较大因素。根据阅读相关文献和实际情况调研, 影响装备技术保障能力的各项主要因素有: 一是人员数量与技能。人是开展装备技术保障活动的主体, 如果人员的数量和技能不能得到保证, 则再优越的资金投入都无法保证有效的装备技术保障。二是备件供应。备件是开展装备技术保障的物质基础, 是确保保障任务完成的必要准备。在装备技术保障中, 必须考虑装备使用和维修所需的消耗品和零配件, 并研究它们的筹措、分配和供应及储运等问题。三是保障设备。保障设备是装备技术保障的硬件基础, 包含保障装备使用和维修所需的全部设备。四是技术资料。技术资料是装备技术保障的主要工具之一。完善和易用的技术资料可以指导相关人员高效的使用和维修装备。五是保障设施。保障设施提供了保障装备使用、维修和储存所需的

收稿日期: 2015-05-11; 修回日期: 2015-06-15

作者简介: 康云(1980—), 女, 湖北人, 硕士, 工程师, 从事通信测量研究。

永久性和半永久性构筑物及其设施<sup>[3]</sup>。

根据通信装备技术保障能力的实际情况，在全  
面分析通信装备技术保障工作各项要素的基础上，

选取了装备维修保障能力、装备检测保障能力、技  
术保障人员素质能力和备件保障能力共 4 个方面作  
为通信装备技术保障能力评估的主要指标，如图 1。

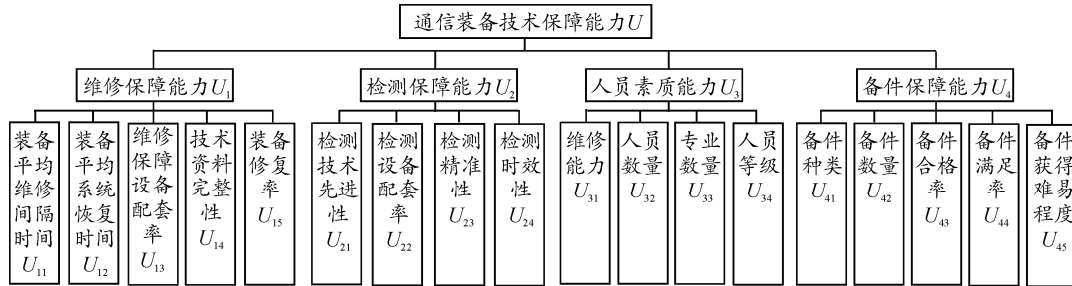


图 1 通信装备技术保障能力评估指标体系

## 2 建立评估模型

通信装备技术保障能力的评估问题具有较大的不确定性和复杂性。首先，影响通信装备技术保障能力的因素繁多；其次，各种因素在技术保障过程中所起的作用，以及技术保障能力本身均具有不确定性和模糊性，难以进行严格的界限划分。笔者引入层次分析法(The analytic hierarchy process, AHP)和模糊数学方法，建立了综合评估模型，对通信装备技术保障能力进行了评估。通信装备技术保障能力评估过程<sup>[4]</sup>如图 2。

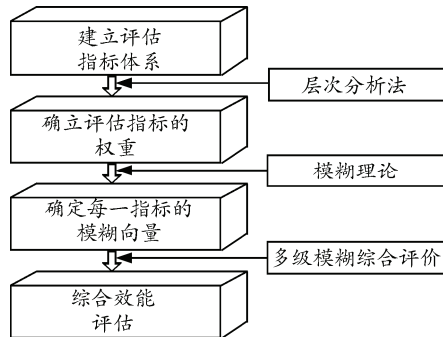


图 2 通信装备技术保障能力评估总体框架

- 1) 在详细调查和了解的基础上，确定最主要的评价指标；
- 2) 确立评估指标的层次结构，建立评估指标体系，用层次分析法计算各指标的权重；
- 3) 用模糊数学理论测度每一指标的隶属度和模糊向量；
- 4) 用多级模糊综合评价对通信装备技术保障的综合效能进行评估。

### 2.1 二级模糊综合评估模型

#### 2.1.1 建立因素集 U

根据通信装备技术保障效能的实际情况，根据各级指标的相互关系，相互影响的特点，依照图 1

的结构建立了两级因素集，将因素集 U 分为 4 个子集，设第 i 个子集的因素为  $U_i$ ，应满足条件  $U_i = \{U_{i1}, U_{i2}, \dots, U_{in_i}\}, i=1,2,3,4$ ，其中  $n_i$  表示  $U_i$  的因素个数。

#### 2.1.2 对每个因素集 $U_i$ ，分别作出单因素综合评判

设  $R_i$  为  $U_i$  到 V 的模糊判断矩阵， $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$  为评价集： $R_i = (r_{ij,k})_{n_i \times m}, i=1,2,3,4; j=1,2, \dots, n_i; k=1,2, \dots, m; r_{ij,k}$  表示因素  $U_{ij}$  被评为  $v_k$  隶属度。笔者采用隶属度函数来确定因素  $U_{ij}$  的隶属度，对于所有底层评估因素，按数据类型可分为 2 类：定量指标(如人员数量、备件种类等)，能用具体数值表示；定性指标(如检测技术先进性、备件获得难易程度等)，仅有状态描述或简单的等级划分，而没有数值结果。

设  $A_i = \{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in_i}\}$  为各因素相对  $U_i$  的权重分配，应满足  $a_{i1} + a_{i2} + \dots + a_{in_i} = 1$ 。

则第 1 级综合评判向量为

$$B_i = A_i \otimes R_i = \bigvee_{j=1}^{n_i} (a_{ij} \wedge r_{ij,k}) = (b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{im}) \quad (1)$$

其中： $i=1,2,3,4; k=1,2, \dots, m; \wedge$  表示比较取最小值； $\bigvee$  表示比较取最大值。

#### 2.1.3 对因素 U，作二级综合评判

将每个  $U_i$  视为 U 的一个因素，把  $B_i$  看作  $U$  的单因素综合评判向量，可构成 U 到 V 的模糊判断矩阵

$$R = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1m} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2m} \\ b_{31} & b_{32} & \dots & b_{3m} \\ b_{41} & b_{42} & \dots & b_{4m} \end{bmatrix}$$

设  $A = \{a_1, a_2, a_3, a_4\}$  为各因素相对 U 的权重分

配，应满足  $a_1 + a_2 + a_3 + a_4 = 1$ 。

则第 2 级综合评判向量为

$$B = A \otimes R = \bigvee_{j=1}^m (a_i \wedge b_{ij}) = (b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{im}) \quad (2)$$

其中： $i=1,2,3,4$ ； $\wedge$ 表示比较取最小值； $\bigvee$ 表示比较取最大值。

式 (1)、式 (2) 中的“ $\otimes$ ”表示某种合成方法，文中采用了极大极小的模糊算子。 $B$ 表示通信装备技术保障能力相对于评价集  $V$  的隶属度。按照最大隶属度原则，取  $B$  中最大隶属度相应的评判集指标作为最终评判结果，这样就确定了技术保障能力的大小程度。

### 2.2 利用 AHP 法确定权重

在综合评判过程中，权重的确定非常重要，将影响到综合评判的结果。笔者采用层次分析法<sup>[5]</sup>，AHP 用 1~9 标度方法构造判断矩阵(其中  $a_{ij}$  如表 1)，在求各个因素的权重时，按以下步骤计算：

专家给出在每层次上各元素之间重要性程度的 1~9 标度比较矩阵  $\{a_{ij}\}$ 。

表 1 重要性比较值  $a_{ij}$

比较值	意义
1	$i, j$ 2 个元素相比，具有同样的重要性
3	$i, j$ 2 个元素相比，前者比后者稍重要
5	$i, j$ 2 个元素相比，前者比后者明显重要
7	$i, j$ 2 个元素相比，前者比后者强烈重要
9	$i, j$ 2 个元素相比，前者比后者极端重要
2,4,6,8	表示上述相邻判断的中间值

通过前面得出的判断矩阵，接下来的工作就是利用判断矩阵来计算各层指标对系统效能的相对权重  $A_i$ ，相对权重的表达式为

$$A_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}} \quad (3)$$

计算上层指标下的各指标的相对权重的时候，同时要对判断矩阵进行一致性检验。一致性比例因子的计算公式为：

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \quad (4)$$

其中 C.I. 的表达式为

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} \omega_j}{n \omega_i}) \quad (5)$$

其中： $n$ 为判断矩阵的阶数； $R.I.$ 为平均随机一致性指标，可以查表获得。一般认为当一致性比例因子小于 0.1 时，矩阵的一致性可以接受，否则，应当对矩阵进行适当的修改。在得到各指标相对其上

层权重的基础上，最终得到各指标对于总目标的相对权重。这是一个自上而下的过程，并且要逐层进行一致性检验。

### 2.3 隶属度函数的确定

1) 定量指标的隶属度函数。

对定量指标采用 S 形隶属度函数来对其进行模糊化。S 形隶属度函数为

$$\varphi_{v_i}(x | (\alpha_i, \beta_i)) = \begin{cases} \frac{(x - \alpha_i)^2}{2(\theta_i - \alpha_i)^2}, & \alpha_i < x \leq \theta_i \\ 1 - \frac{(x - \beta_i)^2}{2(\beta_i - \theta_i)^2}, & \theta_i < x \leq \beta_i \end{cases} \quad (6)$$

其中： $i=1, \dots, m$ ； $x$ 表示指标值； $(\alpha_i, \beta_i)$ 表示  $x$  属于评价集  $V$  中  $v_i$  级评价的区间范围； $\theta_i$ 表示对于评价  $v_i$  隶属度为一时的指标值。

2) 定性指标的隶属函数。

将专家评分代入该隶属函数，得到评分隶属度，再计算各专家评分隶属度的平均值，得到最终的隶属度。用模糊分布法建立的隶属函数为：

$$\varphi_{v_1}(x | \alpha_1) = \begin{cases} 1, & x \geq \theta_1 \\ (x - \alpha_1)/10, & \alpha_1 \leq x < \theta_1 \\ 0, & x < \alpha_1 \end{cases} \quad (7)$$

$$\varphi_{v_i}(x | (\alpha_i, \beta_i)) = \begin{cases} (x - \alpha_i)/10, & \alpha_i \leq x < \theta_i \\ (\beta_i - x)/10, & \theta_i \leq x < \beta_i \\ 0, & x < \alpha_i \text{ 或 } x \geq \beta_i \end{cases} \quad (8)$$

$$\varphi_{v_m}(x | \beta_m) = \begin{cases} 0, & x \geq \beta_m \\ (\beta_m - x)/10, & \theta_m \leq x < \beta_m \\ 1, & x < \theta_m \end{cases} \quad (9)$$

其中： $i=2, \dots, m-1$ ； $x$ 表示指标值； $\alpha_i, \beta_i$ 分别表示  $x$  属于评价集  $V$  中  $v_i$  级评价区间的最小值和最大值； $\theta_i$ 表示对于评价  $v_i$  隶属度为一时的指标值。

## 3 实例分析

采用上文提出的基于 AHP 和模糊理论的评估模型对某通信装备修理大队进行了技术保障能力评估，其具体流程如下。

第 1 步：

1) 询问专家统计出各因素比较值，得到对比矩阵(以检测保障能力为例，如表 2)，然后根据 AHP 计算公式，利用 Matlab 语言编写的计算机程序可以很容易地得到各因素的权重值。

$$A_2 = (0.449 5, 0.259 6, 0.170 7, 0.120 2)。$$

2) 代入公式 (4) 检验判断矩阵的一致性。

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{4.0716 - 4}{4 - 1} = 0.0239。$$

由于  $n = 4$ ，查表可得  $R.I. = 0.89$ ，

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} = \frac{0.0239}{0.89} = 0.0269 < 0.1。$$

判断矩阵满足一致性要求。

3) 同上可以求出下列权重。

$$A_1 = (0.1423, 0.0880, 0.2562, 0.0519, 0.4616)，$$

$$A_3 = (0.4824, 0.2718, 0.1575, 0.0883)，$$

$$A_4 = (0.4436, 0.2618, 0.1528, 0.0892, 0.0526)。$$

表 2 第 3 层指标相对于第 2 层检测保障能力的判断矩阵

$U_2$	$U_{21}$	$U_{22}$	$U_{23}$	$U_{24}$
$U_{21}$	1	2	3	3
$U_{22}$	1/2	1	2	2
$U_{23}$	1/3	1/2	1	2
$U_{24}$	1/3	1/2	1/2	1

第 2 步：

设评判集为  $V$ ，确定各因素的隶属度。

$$V = \{V_1, V_2, V_3, V_4, V_5\} = \{\text{优秀, 良好, 中等, 较差, 差}\}。$$

1) 定量指标。

以备件合格率  $U_{43}$  为例，利用公式 (6) 确定隶属函数图，如图 3 所示。备件合格率为 85% 时，可得到  $r_{43} = [0.8, 0.2, 0.0, 0.0, 0.0]$ 。

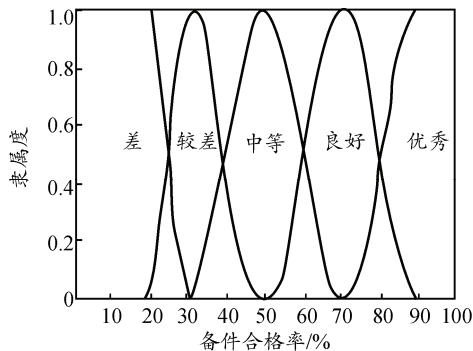


图 3 备件合格率 S 型隶属函数

2) 定性指标。

设定评分满分为 100，根据评价集划分了 5 个评价区间，利用公式 (7)~(9) 得到隶属函数，如图 4。

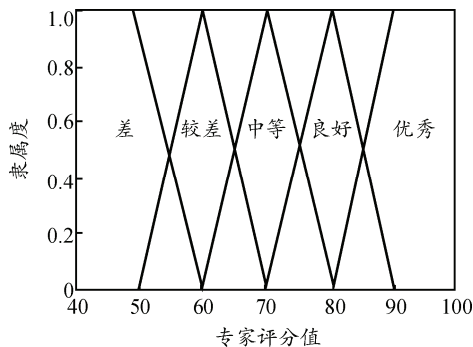


图 4 定性指标隶属函数

同上可得到各因素隶属度统计结果

$R_i (i = 1, 2, 3, 4)$ ，如表 3 所示。

表 3 各因素隶属度计算结果

因素	因素子集	隶属度				
		优秀	良好	中等	较差	差
$U_1$	$U_{11}$	0	0.7	0.3	0	0
	$U_{12}$	0.2	0.8	0	0	0
	$U_{13}$	0	0	0.6	0.4	0
	$U_{14}$	0	0	0	0.8	0.2
	$U_{15}$	0	0.6	0.4	0	0
$U_2$	$U_{21}$	0.8	0.2	0	0	0
	$U_{22}$	0	0.6	0.4	0	0
	$U_{23}$	0	0	0.3	0.7	0
	$U_{24}$	0	0.4	0.6	0	0
$U_3$	$U_{31}$	0.1	0.9	0	0	0
	$U_{32}$	0	0	0.6	0.4	0
	$U_{33}$	0	0.7	0.3	0	0
	$U_{34}$	0	0	0	0.9	0.1
$U_4$	$U_{41}$	0	0.6	0.4	0	0
	$U_{42}$	0	0.7	0.3	0	0
	$U_{43}$	0.8	0.2	0	0	0
	$U_{44}$	0.1	0.9	0	0	0
	$U_{45}$	0	0	0.8	0.2	0

将  $A_i$  和  $R_i$  代入公式 (1)，利用 Matlab 语言编写的计算程序可得第 2 层各因素的权重值矩阵：

$$R = \begin{bmatrix} 0.0700 & 0.3670 & 0.3180 & 0.2037 & 0.0413 \\ 0.3945 & 0.2278 & 0.2278 & 0.1498 & 0 \\ 0.0824 & 0.3973 & 0.2238 & 0.2238 & 0.0727 \\ 0.1457 & 0.4229 & 0.3813 & 0.0501 & 0 \end{bmatrix}；$$

$$A = (0.4495, 0.2596, 0.1707, 0.1202)。$$

第 3 步：

代入综合模糊评判公式 (2) 可得  $B = A \otimes R = (0.2126, 0.3006, 0.2604, 0.1668, 0.0595)$ ，根据最大隶属度的原则可得出，该通信装备修理大队的技术保障能力为良好。

### 4 结论

笔者综合考虑了各种指标对通信装备技术保障能力的影响，集 AHP 法和模糊综合评判法 2 种评估方法之所长，使评估更具综合性。从评估结果来看：指标体系合理，符合客观实际，具有可信性。

### 参考文献：

[1] 张景臣. 战时装备技术保障[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012: 6.  
 [2] 赵经成, 祝华远, 王文秀. 航空装备技术保障运筹分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 2010: 6.  
 [3] 徐宗昌. 保障性工程[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2002: 139-143.  
 [4] 杨军. 基于模糊理论的卫星导航系统综合效能评估研究[J]. 宇航学报, 2004, 25(2): 147-151.  
 [5] 许树柏. 层次分析原理[M]. 天津: 天津大学出版社, 1988: 98-105.