

# 装备保障能力薄弱环节确定方法

白向华, 陶凤和, 贾长治, 殷军辉

(军械工程学院火炮工程系, 石家庄 050003)

**摘 要:** 针对保障领域重保障能力评估而轻薄弱环节查找的现状, 提出一种通过求解保障能力各指标薄弱度确定薄弱环节的方法。薄弱度由指标裕度空间和权重共同决定, 采用主成分分析法求其权重, 应用集对分析优化指标裕度空间。实例表明, 利用该方法求出的薄弱环节改进方案与其他2种方法确定的方案相比是最优的, 能提高保障资源配置合理性。

**关键词:** 保障能力评估; 主成分分析; 薄弱度; 裕度空间; 集对分析

## Ascertaining Method of Equipment Support Capability Weakness Link

BAI Xiang-hua, TAO Feng-he, JIA Chang-zhi, YIN Jun-hui

(Department of Guns Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

**【Abstract】** Aiming at the current situation that pays much attention to support capability evaluation while pays little attention to seeking out the weakness link of support capability, this paper puts forward a kind of method to ensure the support capability weakness link through getting the weakness degree of each index. The weakness degree is determined by index margin space and weight, by making use of the Principal Component Analysis(PCA) to ensure the weight of each index and optimizing the index margin space by applying the set pair analysis. Example indicates that the method put forward can be used to obtain the optimum amelioration project for the weakness link and station the support resources reasonably.

**【Key words】** support capability evaluation; Principal Component Analysis(PCA); weakness degree; margin space; set pair analysis

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2011.16.090

### 1 概述

保障能力是装备战斗力形成的制约条件, 如何快速、经济、有效地提高部队保障能力成为部队亟需解决的问题<sup>[1]</sup>。目前, 有关装备保能力的文献大多停留在评估层面, 较少关注薄弱环节的查找。

即便进行薄弱环节的分析, 也仅是依据指标的权重或最终的评估得分进行薄弱环节的确定, 用于改进相关指标, 这种仅从单方面确定薄弱环节的方法存在一定片面性。本文提出一种综合指标权重和指标裕度空间的方法, 以求解薄弱度, 从而确定保障能力薄弱环节。

### 2 薄弱度建模与求解

在保障能力薄弱环节的查找中, 以往决策一般只依据指标权重或保障能力的最终得分进行决策。在这种情况下, 对于结果中权重较大或者得分较少的指标, 能够给予重视, 从而方便对其进行改进。

上述情况结果并不准确, 例如: 对于权重很大的某项指标, 如果仅依靠权重分析法, 则会被确定为是最亟需改进的, 然而, 此指标已达到相对“饱和”的程度已经不需要被改进, 这样必然造成资源浪费; 同理, 对于某项很不“饱和”的指标, 如果仅依靠指标最终得分进行决策, 则会被确定为最亟需改进的, 但其本身所占权重很小, 若将其作为首要对象而大力气整顿, 同样会造成保障资源的浪费。

针对以上不足, 本文提出指标薄弱度和指标裕度空间的概念, 着重从指标权重和指标裕度空间2个方面综合考察所有指标, 进行指标薄弱度全排序, 找出最需改进的保障指标, 把有限的保障经费和资源投放到最亟需改进的指标上, 从而

促进保障能力快速提升。

#### 2.1 概念提出

指标裕度空间( $S$ ): 指某一项指标值到其最充裕值的空间大小, 即离其最优值的距离:

$$S = A_0 - X_i \quad (1)$$

其中,  $A_0$  为该指标的最优值, 本文指标最优值为1分;  $X_i$  为该指标实际取值(或优化值)。

指标薄弱度( $Q$ ): 指某一指标在保障能力评估方面的薄弱程度, 反映指标需要提高和改善的程度, 即当某一指标薄弱度越大时, 其越需要提高和改善。引出指标薄弱度计算公式:

$$Q = S \times W_i \quad (2)$$

其中,  $W_i$  为指标绝对权重;  $S$  为指标裕度空间。

#### 2.2 模型构建

##### 2.2.1 指标裕度空间计算模型

指标裕度空间采用集对分析法确定。

文献[2-3]集对分析的核心是将系统内的确定性与不确定性予以辩证的分析 and 数学处理, 研究2个集合对其共同属性相同、相异、异反的程度, 即联系度( $\mu$ )。

表达式如下:

$$\mu = a + bi + cj \text{ 且 } a + b + c = 1 \quad (3)$$

其中,  $a$  为同一度;  $b$  为差异度;  $c$  为对立度。

**基金项目:** 国家部委基金资助项目

**作者简介:** 白向华(1985—), 男, 硕士研究生, 主研方向: 装备保障系统建模; 陶凤和, 教授、博士; 贾长治, 副教授、博士后; 殷军辉, 博士研究生

**收稿日期:** 2011-02-28 **E-mail:** baixianghua@163.com

本文把指标值与最优、最劣方案比较，得出指标优化值为  $M$ 。

指标优化值：  
$$M = a + \alpha b \quad \alpha \in [0,1] \tag{4}$$

$\alpha$  取 0.5，即：  
$$M = a + 0.5b \tag{5}$$

由式(1)、式(5)，得如下裕度空间表达式：  
$$S = (1 - \alpha)b + c \quad \alpha \in [0,1] \tag{6}$$

即：  
$$S = 0.5b + c \tag{7}$$

2.2.2 指标权重计算模型

指标权重采用主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)法<sup>[3-5]</sup>确定。

(1)主成分分析法基本思想

主成分分析法将维数较高的  $n$  个相关指标变量通过线性变换转化为维数较低的  $p$  个互不相关的指标变量，即主成分变量。

(2)指标权重的确定

本文采用主成分分析法，对指标客观赋权，首先，以各原始数据为基础，消除各指标之间的相互关联，然后，求出各指标共同度，最后，利用归一化方法，确定权重。相关公式定义如下：

1)计算公式  
前面  $p$  个主成分的方差占总体方差的比例为：  
$$\rho = \sum_{i=1}^p \lambda_i / \sum_{i=1}^n \lambda_i \tag{8}$$

当  $\rho \geq 0.85$  以上时，可选用前  $p$  个主分量成为公共因子<sup>[6]</sup>。  
 $n$  个变量在第  $i$  个公共因子上的载荷向量为：

$$\alpha_i = \sqrt{\lambda_i} v^{(i)} = \sqrt{\lambda_i} \begin{bmatrix} v_1^{(i)} \\ v_2^{(i)} \\ \vdots \\ M \\ v_n^{(i)} \end{bmatrix} \quad (i=1,2,L,p) \tag{9}$$

第  $i$  个变量在全部  $p$  个公共因子上载荷的平方和为变量的公共度，其数学表达式为：

$$H_i = h_i^2 = \sum_{j=1}^p \alpha_{ij}^2 \quad (j=1,2,L,n) \tag{10}$$

其大小反映各原始指标对选出的主成分所起的作用，即反映各原始指标的重要程度，将每个变量的共同度分别归一后，作为该指标的权重。

2)指标权重评估模型

将指标的公共度作为指标的权重，则：

$$W_{C_i} = \frac{H_i}{\sum_{i=1}^{17} H_i} \quad (i=1,2,L,17) \tag{11}$$

2.3 指标薄弱度计算

将按上述步骤求出的指标裕度空间和指标权重代入式(2)，求出各指标薄弱度顺序，优先改进薄弱度大的指标。

3 保障能力评估

3.1 保障能力评估指标

本文选取保障设备、保障人员、保障设施、备件、技术资料、管理制度和延误时间等 7 项二级指标，及 17 项三级指标建立保障能力评估指标体系。

可量化的三级指标数据计算公式如下：

$$\text{数量满足率} = \frac{\text{现有数量}}{\text{标准规定数量}} \times 100\%$$

$$\text{种类齐全率} = \frac{\text{现有种类数量}}{\text{标准规定种类数量}} \times 100\%$$

$$\text{人员满足率} = \frac{\text{现有人员数量}}{\text{标准规定人员数量}} \times 100\%$$

$$\text{专业对口率} = \frac{\text{现有人员专业分布}}{\text{标准规定专业分布要求}} \times 100\%$$

$$\text{人员培训率} = \frac{\text{参加培训人员数量}}{\text{总人员数量}} \times 100\%$$

$$\text{出勤率} = \frac{\text{出勤人员数量}}{\text{总人员数量}} \times 100\%$$

对于其他三级指标，可运用德菲尔法，通过专家考察评估、打分，确定各定性指标的具体分值，打分范围为[0,1]。

因为装备保障能力由其保障系统提供，所以，通过分析保障系统组成及其影响因素，可为保障能力的评估和提高提供思路。通过调研、查找资料和咨询专家，建立保障能力指标体系如图 1 所示。

一级指标	二级指标	三级指标
保障能力(A)	保障设备(B <sub>1</sub> )	数量满足率(C <sub>1</sub> ) 种类齐全率(C <sub>2</sub> )
	保障人员(B <sub>2</sub> )	人员满编率(C <sub>3</sub> ) 专业对口率(C <sub>4</sub> ) 人员培训率(C <sub>5</sub> ) 出勤率(C <sub>6</sub> )
	保障设施(B <sub>3</sub> )	硬件建设(C <sub>7</sub> ) 软件建设(C <sub>8</sub> )
	备件(B <sub>4</sub> )	数量满足率(C <sub>9</sub> ) 种类齐全率(C <sub>10</sub> ) 延误时间(C <sub>11</sub> )
	技术资料(B <sub>5</sub> )	数量满足率(C <sub>12</sub> ) 种类齐全率(C <sub>13</sub> )
	管理制度(B <sub>6</sub> )	保障制度(C <sub>14</sub> ) 人员制度(C <sub>15</sub> )
	延误时间(B <sub>7</sub> )	行政延误时间(C <sub>16</sub> ) 保障延误时间(C <sub>17</sub> )

图 1 保障能力指标体系

3.2 保障能力评估模型

装备保障能力评估模型为：

$$M_A = \sum_{i=1}^{15} W_{C_i} R_{C_i} \tag{12}$$

其中， $R_{C_i}$  为各指标值。

4 实例分析

通过收集、计算上述指标体系 3 个单位装备保障能力的指标数据，并结合专家打分的结果，可用于保障能力评估。

4.1 各指标公共度和权重

由式(9)和式(10)得出载荷公共度( $H_i$ )，然后将  $H_i$  代入式(11)，经过归一化处理得出结果如表 1 所示。

表 1 各指标载荷公共度和权重

指标	载荷公共度	权重
C <sub>1</sub>	0.213 4	0.077 0
C <sub>2</sub>	0.123 5	0.044 6
C <sub>3</sub>	0.058 3	0.021 0
C <sub>4</sub>	0.045 5	0.016 4
C <sub>5</sub>	0.245 7	0.088 7
C <sub>6</sub>	0.214 6	0.077 5
C <sub>7</sub>	0.058 9	0.021 3
C <sub>8</sub>	0.216 9	0.078 3
C <sub>9</sub>	0.064 2	0.023 2
C <sub>10</sub>	0.272 5	0.098 4
C <sub>11</sub>	0.219 0	0.079 0
C <sub>12</sub>	0.043 2	0.015 6
C <sub>13</sub>	0.317 7	0.114 7
C <sub>14</sub>	0.073 2	0.026 4
C <sub>15</sub>	0.204 1	0.073 7
C <sub>16</sub>	0.230 2	0.083 1
C <sub>17</sub>	0.169 8	0.061 3

4.2 评估结果

将各指标权重及各指标值代入式(12), 得到各单位保障能力评估结果:

$$M_{A_1} = \sum_{i=1}^{17} W_{C_i} R_{C_i} = 0.8624$$
$$M_{A_2} = \sum_{i=1}^{17} W_{C_i} R_{C_i} = 0.5417$$
$$M_{A_3} = \sum_{i=1}^{17} W_{C_i} R_{C_i} = 0.6842$$

4.3 评估结果分析

$M_A$  的大小表明装备保障能力的高低。为便于评估, 将其划分 4 个等级: 优(0.85~1.00); 良(0.75~0.85); 一般(0.60~0.75); 不合格(<0.60)。从评估结果可以看出, 第 1 个单位保障水平最高, 为优; 其次为第 3 个单位, 为一般; 第 2 个单位水平最差, 为不及格。故为提高装备保障能力, 亟需改进是第 2 个单位。

4.4 实例薄弱度分析

现以上面实例中亟需改进保障能力的第 2 个单位进行保障能力薄弱度分析。将各指标相关数据分别代入式(2)、式(5)、式(6)和式(7)得出的结果, 如表 2 所示。

表 2 薄弱度分析结果

指标	指标优化值	裕度值	权重	薄弱度	权重排序	裕度值排序	薄弱度排序
$C_1$	0.61	0.39	0.077 0	0.030 0	8	10	6
$C_2$	0.59	0.41	0.044 6	0.018 3	11	8	9
$C_3$	0.83	0.17	0.021 0	0.003 6	15	15	17
$C_4$	0.60	0.40	0.016 4	0.006 6	16	9	16
$C_5$	0.86	0.14	0.088 7	0.012 4	3	17	14
$C_6$	0.74	0.26	0.077 5	0.020 2	7	13	7
$C_7$	0.28	0.72	0.021 3	0.015 3	14	2	10
$C_8$	0.51	0.49	0.078 3	0.038 4	6	6	2
$C_9$	0.44	0.56	0.023 2	0.013 0	13	5	13
$C_{10}$	0.67	0.33	0.098 4	0.032 5	2	11	5
$C_{11}$	0.54	0.46	0.079 0	0.036 3	5	7	3
$C_{12}$	0.29	0.71	0.015 6	0.011 1	17	3	15
$C_{13}$	0.70	0.30	0.114 7	0.034 4	1	12	4
$C_{14}$	0.25	0.75	0.026 4	0.019 8	12	1	8
$C_{15}$	0.42	0.58	0.073 7	0.042 7	9	4	1
$C_{16}$	0.84	0.16	0.083 1	0.013 3	4	16	12
$C_{17}$	0.77	0.23	0.061 3	0.014 1	10	14	11

根据表 2 中的数据, 对 3 种薄弱环节分析方法所得的指标改进方案进行优先顺序排列, 结果如图 2 所示。

由图 2 可知:

(1)3 种方法所确定的方案明显不同。

(2)本文方法即薄弱度法得到的方案具有综合性、稳定性的特点。如图 2 实心箭头所示, 薄弱度法确定的最需改进的指标在权重法和裕度值法确定方案中均是靠前的指标。

(3)权重法和裕度值法得到的方案存在片面性。如图 2 虚线箭头和双点画线箭头所示, 在裕度值法确定的方案中, 排名第一的是  $C_{14}$ , 而在薄弱度法确定方案中, 此方案只排在第 8 位, 这是因为该项指标所占权重相对较小(在权重法确定排序中处于第 12 位)。类似的例子不再列举。

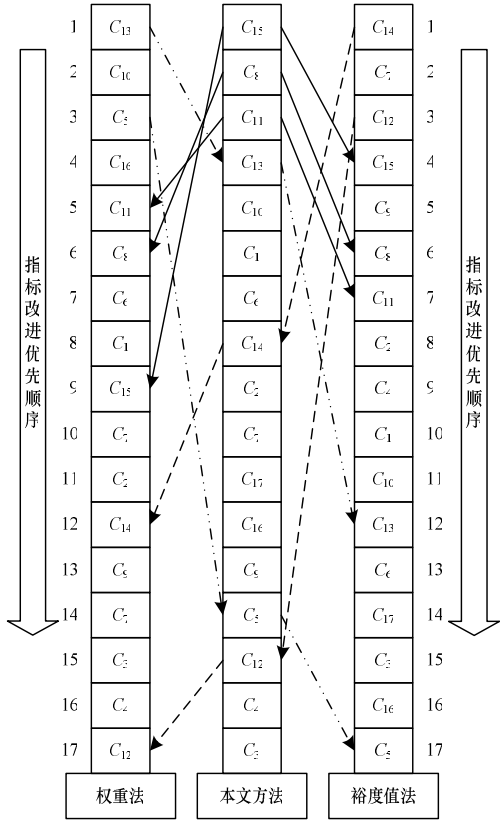


图 2 不同薄弱环节分析方法的排序结果比较

5 结束语

本文提出一种综合考虑指标权重和裕度值的保障能力薄弱环节确定方法。应用集对分析优化指标裕度值, 采用主成分分析法求取指标权重, 并最终得出指标改进方案。实例结果表明, 通过与目前存在的 2 种薄弱环节确定方法的比较, 证实本文方法确定结果全面、精确。将本文方法确定的指标改进方案运用于某单位, 其装备保障能力实现快速提升, 这一应用结果进一步证实本文方法的有效性。今后将在指标裕度值算法优化和保障能力再评估方面开展研究。

参考文献

[1] 宋太亮. 装备保障性工程[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.

[2] 杨 懿, 武 昌, 刘 涵, 等. 基于集对分析的目标威胁评估与排序研究[J]. 现代防御技术, 2007, 35(3): 1-5.

[3] 张 鹏. 战时武装直升机机务保障能力评估[D]. 石家庄: 军械工程学院, 2008.

[4] 韩成茂. 基于类内加权平均值的模块 PCA 算法[J]. 计算机工程, 2009, 35(22): 194-196, 199.

[5] 韩成茂, 徐雅静, 汪远征. 主成分分析应用方法的改进[J]. 数学的实践与认识, 2006, 36(6): 68-75.

[6] 杨青青, 潘杰义, 宫晓华. 运用主成分分析的城市区域创新保障能力研究[J]. 现代制造工程, 2008, (8): 115-120.

编辑 刘 冰