

# 基于灰色关联分析的备件保障能力评估方法

郑瑶<sup>1,2</sup>, 席泽敏<sup>1</sup>, 许杰<sup>1</sup>

(1. 海军工程大学, 武汉 430033; 2. 空军 95835 部队, 武汉 430034)

**摘要:** 备件保障是装备保障中的重要组成部分, 对于装备保障系统的效能具有较大的影响。综合考虑影响备件保障能力的要素, 建立了评估指标体系, 给出了相应指标的含义与计算处理方法, 给出了采用灰色关联分析方法的能力评估模型, 并结合实例进行了仿真计算, 验证了方法的可用性。

**关键词:** 灰色关联; 备件保障; 评价指标

**本文引用格式:** 郑瑶, 席泽敏, 许杰. 于灰色关联分析的备件保障能力评估方法[J]. 四川兵工学报, 2014(3): 62-64.

**中图分类号:** E252

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006-0707(2014)03-0062-04

## Spares Support Capability Evaluation Based on the Grey Correlation Analysis

ZHENG Yao<sup>1,2</sup>, XI Ze-min<sup>1</sup>, XU Jie<sup>1</sup>

(1. Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China;

2. Air Force, 95835 Units, Wuhan 430034, China)

**Abstract:** Spares support is an important part of equipment support, which will have an influence on the efficiency of equipment support system. An evaluation index system is founded considering the factors that affect the capability of spares support. The meaning and calculating method of the indexes are given. A capability evaluation model applied grey correlation analysis is presented, and the simulating calculating validates the availability of this method.

**Key words:** grey correlation; spares support; evaluation index

**Citation format:** ZHENG Yao, XI Ze-min, XU Jie. Spares Support Capability Evaluation Based on the Grey Correlation Analysis[J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2014(3): 62-64.

现代高技术战争条件下, 随着武器装备的迅猛发展, 武器装备的技术含量越来越高, 一方面装备保障系统的作用越来越重要, 另一方面也给装备保障系统提出了更高的要求<sup>[1,2]</sup>。备件保障作为装备保障的重要组成部分, 在装备保障系统中占有重要地位。

为了更好地使装备保障系统能够协调发展, 从而实现装备保障系统大幅提高综合保障能力, 构建完备的装备保障系统<sup>[3,4]</sup>, 综合考虑影响备件保障方案能力的因素, 构建备件保障方案能力评估指标体系, 采用灰色关联分析方法对备件保障方案能力进行评估, 对于提高装备保障系统的性能, 改善装备保障系统建设, 具有十分重要的应用价值。

## 1 备件保障能力评估指标体系

备件保障是防范意外, 确保保障任务完成的必要准备。在装备保障中, 必须考虑设备故障确定装备使用和维修所需人员的消耗品和零配件, 并研究它们的筹措、分配和供应、储运及停产后备件保障等问题。

### 1.1 指标体系的构成

指标体系的构建是在一定的原则与要求的指导下进行的。文献[5]和文献[6]对装备保障评估指标建立的原则进行了较为完备与详细的论述, 结合这些的原则, 构建备件保障方案指标体系如图1所示。

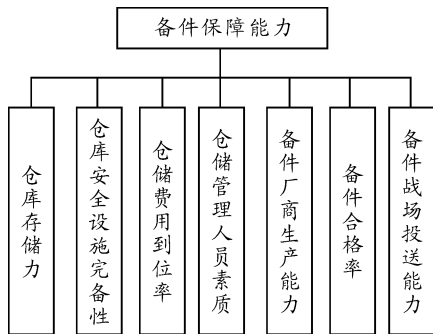


图1 备件保障能力评估指标组成

1.2 各指标的含义及计算

备件保障方案能力评估指标组成包括2类:定量指标和定性指标。定量指标包括:仓库存储能力,仓库费用到位率,备件厂商生产能力,备件合格率和备件战场投送能力。定性指标包括:仓库安全设施完备性和仓库管理人员素质。

1.2.1 定量指标的含义及计算

仓库存储能力  $p_1$ :表示保障单位仓库容量  $n_{11}$ 与备件需求数量  $n_{12}$ 的比值

$$p_1 = n_{11}/n_{12} \tag{1}$$

仓库费用到位率  $p_2$ :实际到账经费  $n_{21}$ 与预算需求经费  $n_{22}$ 的比值

$$p_2 = n_{21}/n_{22} \tag{2}$$

备件厂商生产能力  $p_3$ :供应厂商实际能生产的备件数量  $n_{31}$ 与所需备件数量  $n_{32}$ 的比值

$$p_3 = n_{31}/n_{32} \tag{3}$$

备件合格率  $p_4$ :厂商生产的备件的可用备件数量  $n_{41}$ 与厂商生产的备件总量  $n_{42}$ 的比值

$$p_4 = n_{41}/n_{42} \tag{4}$$

备件战场投送能力  $p_5$ :战时投送到战场的备件数量  $n_{51}$ 与实际需要的备件数量  $n_{52}$ 的比值

$$p_5 = n_{51}/n_{52} \tag{5}$$

1.2.2 定性指标的定量化处理

对于定性指标的定量化处理,采用专家打分法实现。根据备件保障方案各定性指标的表现,分别评定为优秀,良好,一般,合格,差,分别对应5分,4分,3分,2分,1分。如表1所示。

表1 定性指标评语集与分值对应表

评语集	优秀	良好	中等	一般	较差
得分	5	4	3	2	1

2 评估方法

灰色关联是指事物之间的不确定关联,简称灰关联<sup>[7]</sup>。灰色关联分析实质上是一种多因素统计分析方法,以各因素的样本数据为依据,用灰色关联度来描述因素间关系的强

弱、大小和次序,主要是分析各个组成因素与整体的关联度大小,其操作的对象是各因素的时间序列,参考序列是一个理想的比较标准<sup>[8-10]</sup>。

设共有  $m(m > 1)$ 个实际参评的保障方案,  $i$  为所有参评方案的序号,其中  $i \in \theta_1 = \{1, 2, \dots, m\}$ ; 设影响方案能力的指标共有  $n(n > 1)$ 个,  $k$  为保障方案评价指标的序号,其中  $k \in \theta_2 = \{1, 2, \dots, n\}$ 。

对于一个有  $m$  个参评保障方案,  $n$  个评估指标的系统:

$$\begin{aligned} X_1 &= (x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n}) \\ X_2 &= (x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2n}) \\ &\vdots \\ X_m &= (x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{mn}) \end{aligned} \tag{6}$$

建立如下的原始评价矩阵  $U$ :

$$U = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix} \tag{7}$$

1) 原始数据预处理,得到处理后的规格化矩阵  $U'$ 。主要的处理方法有:初值化处理、均值化处理、区间值化处理、归一化处理

$$U' = \begin{pmatrix} x'_{11} & x'_{12} & \dots & x'_{1n} \\ x'_{21} & x'_{22} & \dots & x'_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x'_{m1} & x'_{m2} & \dots & x'_{mn} \end{pmatrix} \tag{8}$$

2) 确定质量最优的保障方案序列  $X_0$ 。取每个保障方案评估指标的最优值

$$X_0 = \text{Optimum}(x_{ik}), i \in \theta_1, k \in \theta_2 \tag{9}$$

即由正向指标的最大值,负向指标的最小值组成参考序列

$$X_0 = (x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0n})$$

3) 求关联系数  $\gamma_{0i}(k)$ 。计算表达式<sup>[8,9]</sup>

$$\gamma_{0i}(k) = \frac{\Delta_{\min} + \xi \Delta_{\max}}{\Delta_{0i}(k) + \xi \Delta_{\max}} \tag{10}$$

式中: $\Delta_{\max}$ 为  $|X_i - X_0|$  的最大值; $\Delta_{\min}$ 为  $|X_i - X_0|$  的最小值; $\Delta_{0i}(k)$ 为  $|X'_{ik} - X'_{0k}|$  的值; $\xi$ 称为分辨系数,一般  $\xi$ 取0.5。

4) 求关联度。关联度在这里表示各参评保障方案与最优保障方案的接近程度,其数值即为各参评航迹的综合得分<sup>[8]</sup>

$$\gamma_{0i} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \gamma_{0i}(k), i = 1, 2, \dots, m \tag{11}$$

$\gamma_{0i}$ 越大,表示参评保障方案  $X_i$  与最优保障方案  $X_0$  的关联性越好,该保障方案能力就越好。于是,可以根据关联度的大小对各参评保障方案进行质量排名。

3 仿真计算

现在有保障方案  $A, B, C, D, E, F$ , 各相关指标数值如表2所示。

表2 保障方案指标参数

航迹	A	B	C	D	E	F
仓库存储能力	0.82	0.85	0.88	0.74	0.90	0.78
费用到位率	0.84	0.90	0.95	0.80	0.93	0.86
生产能力	0.98	0.95	0.93	0.94	0.97	0.92
合格率	0.95	0.96	0.83	0.89	0.92	0.88
投送能力	0.91	0.88	0.83	0.92	0.88	0.85
安全设施完备性	4	4.5	5.0	3.5	4.5	4
人员素质能力	4	3.5	4.5	3.0	5.0	4

## 1) 构造指标矩阵

$$U = \begin{pmatrix} 0.82 & 0.84 & 0.98 & 0.95 & 0.91 & 4 & 4 \\ 0.85 & 0.90 & 0.95 & 0.96 & 0.88 & 4.5 & 3.5 \\ 0.88 & 0.95 & 0.93 & 0.83 & 0.83 & 5 & 4.5 \\ 0.74 & 0.80 & 0.94 & 0.89 & 0.92 & 3.5 & 3 \\ 0.90 & 0.93 & 0.97 & 0.92 & 0.88 & 4.5 & 5 \\ 0.78 & 0.86 & 0.92 & 0.88 & 0.85 & 4 & 4 \end{pmatrix}$$

## 2) 均值化处理

$$x'_i(k) = \frac{x_i(k)}{X_i}, \bar{X}_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_i(k), k = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

构造基于均值的规范化矩阵为

$$U' = \begin{pmatrix} 0.99 & 1.33 & 0.39 & 0.85 & 0.73 & 0.87 & 1.11 \\ 1.03 & 0.83 & 0.97 & 0.77 & 0.94 & 0.73 & 0.88 \\ 1.06 & 0.42 & 1.35 & 1.27 & 1.37 & 0.58 & 1.44 \\ 0.89 & 1.67 & 1.16 & 1.07 & 0.71 & 1.65 & 0.46 \\ 1.09 & 0.58 & 0.58 & 0.94 & 0.98 & 0.97 & 1.21 \\ 0.94 & 1.17 & 1.55 & 1.11 & 1.28 & 1.21 & 0.89 \end{pmatrix}$$

## 3) 确定质量最优的保障方案序列(对“效益型”指标取其最大值,而“成本型”指标取其最小值)

$$X_0 = (1.09, 0.42, 0.39, 0.77, 0.71, 0.58, 1.21)$$

$$\Delta_{0i}(k) = |x'_{0k} - x'_{ik}| \quad (13)$$

$$\Delta_i = (\Delta_{i1}, \Delta_{i2}, \dots, \Delta_{im}), i = 1, 2, \dots, m$$

利用式(13)可计算出参评保障方案序列与最优保障方案序列的绝对差。

表3 参考序列与各子序列的绝对差

差值	$\Delta_{0i}(1)$	$\Delta_{0i}(2)$	$\Delta_{0i}(3)$	$\Delta_{0i}(4)$	$\Delta_{0i}(5)$	$\Delta_{0i}(6)$	$\Delta_{0i}(7)$
方案 A	0.06	0.41	0.58	0.00	0.23	0.15	0.33
B	0.03	0.00	0.96	0.50	0.66	0.00	0.23
C	0.03	0.00	0.96	0.50	0.66	0.00	0.23
D	0.20	1.25	0.77	0.30	0.00	1.07	0.75
E	0.00	0.16	0.19	0.17	0.27	0.39	0.00
F	0.15	0.75	1.16	0.34	0.57	0.63	0.32

从表3可以得出:

$$\Delta_{\min} = 0, \Delta_{\max} = 1.25$$

按照式(10)计算关联系数,如表4所示。

表4 关联系数计算

航迹	$\gamma_{01}(1)$	$\gamma_{02}(2)$	$\gamma_{03}(3)$	$\gamma_{04}(4)$	$\gamma_{05}(5)$	$\gamma_{06}(6)$	$\gamma_{07}(7)$
A	0.93	0.58	1.00	0.94	0.98	0.81	0.93
B	0.95	0.75	0.68	1.00	0.84	0.89	0.79
C	0.98	1.00	0.57	0.71	0.65	1.00	0.84
D	0.86	0.50	0.62	0.81	1.00	0.54	0.63
E	1.00	0.89	0.87	0.88	0.82	0.76	1.00
F	0.89	0.63	0.52	0.79	0.69	0.66	0.80

按照式(11),计算出各方案的关联度,即为表示各方案的综合评价。

从表5可以看出:方案E的关联度最大,即它与参考序列 $X_0$ (最优方案)最接近,故方案E的质量最优,最差的是方案D。

表5 方案质量综合评价

属性	关联度	排名	属性	关联度	排名
方案 A	0.88	2	D	0.70	6
B	0.84	3	E	0.89	1
C	0.82	4	F	0.71	5

## 4 结束语

备件保障作为装备保障中的重要组成部分,对于装备保障系统的效能具有较大的影响。本文遵照一定的原则,建立了评估指标体系,对给出了相应指标的含义与计算处理方法,给出了采用灰色关联分析方法的能力评估模型,并结合实例进行了仿真计算,验证了方法的可用性,对于协调装备保障的科学发展,具有指导意义。

## 参考文献:

- [1] 梁晓峰. 基于 Matlab 的模糊 AHP 法在装备保障能力评估中的应用[J]. 四川兵工学报, 2011, 32(11): 53-56.
- [2] 王聪, 黎放, 徐一帆. 舰船装备保障系统综合评价的多属性决策模型[J]. 科技进步与对策, 2005(4): 55-58.
- [3] 陈庆华. 装备保障能力评估建模研究现状与发展[J]. 装备学院学报, 2012, 28(2): 1-4.

(下转第 79 页)

表3 R的特征值及贡献率

特征值	贡献率	累计贡献率	
$\lambda_1$	7.633 2	0.763 3	0.763 3
$\lambda_2$	0.869 0	0.086 9	0.850 2
$\lambda_3$	0.455 1	0.045 5	0.895 7
$\lambda_4$	0.376 7	0.037 7	0.933 4
$\lambda_5$	0.266 2	0.026 6	0.960 0
$\lambda_6$	0.205 1	0.020 5	0.980 5
$\lambda_7$	0.118 5	0.011 9	0.992 4
$\lambda_8$	0.052 8	0.005 3	0.997 7
$\lambda_9$	0.017 5	0.001 8	0.999 5
$\lambda_{10}$	0.005 7	0.000 6	1.000 0

影响较大。指挥员可根据评估结果采取相应对策,重点加强油料保障人员和保障装备建设,从而不断提高油料保障能力。

表4 各单位综合评估得分排名

单位	得分	排名	单位	得分	排名
单位1	0.929 7	4	单位9	-0.203 2	10
单位2	0.689 5	5	单位10	2.113 7	1
单位3	0.627 5	6	单位11	-2.370 7	14
单位4	1.547 3	3	单位12	1.852 0	2
单位5	0.451 4	7	单位13	-0.054 2	9
单位6	-0.686 5	12	单位14	-2.671 6	15
单位7	0.002 6	8	单位15	-0.468 5	11
单位8	-1.757 3	13			

由式(6)可得前两个主成分分量的表达式为

$$F_1 = -0.405 1Z_1 + 0.302 3Z_2 + 0.028 1Z_3 + 0.056 9Z_4 - 0.004 7Z_5 - 0.236 5Z_6 + 0.041 4Z_7 + 0.049 5Z_8 - 0.035 4Z_9 + 0.018 9Z_{10}$$

$$F_2 = -1.433 6Z_1 - 0.061 1Z_2 + 0.044Z_3 - 0.782 8Z_4 - 0.111 Z_5 + 0.162 5Z_6 - 0.660 9Z_7 - 0.052 3Z_8 - 0.203 8Z_9 + 0.071 9Z_{10}$$

由式(7)可得综合评估值  $F$  为

$$F = -0.510 2Z_1 + 0.265 9Z_2 + 0.029 7Z_3 - 0.028 9Z_4 - 0.015 6Z_5 - 0.195 7Z_6 - 0.030 4Z_7 + 0.039 1Z_8 - 0.052 6Z_9 + 0.024 4Z_{10}$$

由此可得到各单位的综合评估排名,根据排名高低可以看出各个油料保障单位的综合保障能力大小,如表4所示。

从综合排名情况看,单位10的油料保障能力最好,而单位14的油料保障能力最差。由综合评估模型  $F$  进一步分析得出, $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_6$ 所占权重较高,说明油料保障人员的满编率、称职率及油料保障装备的完好率对单位的油料保障能力

## 参考文献:

- [1] 马亚龙,邵秋峰. 评估理论和方法及其军事运用[M]. 北京:国防工业出版社,2013.
- [2] 王海涛,阳平华. 基于主成分分析法的装备维修资源保障能力评估[J]. 四川兵工学报,2008(4):30-32.
- [3] 秦寿康. 综合评价原理与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2003.
- [4] 侯进军,肖艳清. 数学建模方法与应用[M]. 南京:东南大学出版社,2012.
- [5] 周庆忠. 军队油料勤务[M]. 北京:国防工业出版社,2008.
- [6] 李柏年,吴礼斌. MATLAB 数据分析方法[M]. 北京:机械工业出版社,2012.
- [7] 董尤心. 效能评估方法研究[M]. 北京:国防工业出版社,2009:92-101.
- [8] 马勇,宋裕农. 基于灰色关联分析的潜艇兵力运用方案评估优选[J]. 舰船电子工程,2010,31(1):38-40.
- [9] 胡方,黄建国,张群飞. 基于灰色关联分析的水下航行器效能评估[J]. 火力与指挥控制,2008(8):52-54.
- [10] Chan J W K, Tong T K L. Multi-criteria material selections and end-of-life product strategy: Grey relational analysis approach[J]. Materials and Design, 2007, 28(5): 1539-1546.
- [11] 李亚,赵建民,许长安. 基于多目标优化的装备群备件保障决策研究[J]. 准备环境工程,2012(4):92-95.

(责任编辑 周江川)

(责任编辑 杨继森)

(上接第64页)

- [4] 肖丁,陈进军,苏兴,等. 装备保障能力评估指标体系研究[J]. 装备指挥技术学院学报,2011,22(3):42-45.
- [5] 陈军生,周文明. 装备调配保障能力评估混合算法[J]. 系统工程与电子技术,2011,33(11):2454-2458.
- [6] 王伟. 装备保障系统效能综合评估方法研究[D]. 长沙:国防科学技术大学,2009.
- [7] 董尤心. 效能评估方法研究[M]. 北京:国防工业出版社,2009:92-101.
- [8] 马勇,宋裕农. 基于灰色关联分析的潜艇兵力运用方案评估优选[J]. 舰船电子工程,2010,31(1):38-40.