

doi: 10.7690/bgzd.2013.05.005

## 装备维修备件存储对策

邵延君<sup>1</sup>, 马春茂<sup>2</sup>, 潘宏侠<sup>1</sup>, 刘永姜<sup>1</sup>

(1. 中北大学机械工程与自动化学院, 太原 030051; 2. 西北机电工程研究所, 陕西 咸阳 712099)

**摘要:** 针对现有武器维修备件分类方法的不足, 提出一种采用层次分析法和重要度原理对备件分类存储进行建模的方法。利用备件重要度对维修备件进行分类和确定维修的最佳服务水平, 同时利用维修备件的损耗规律来建立数学模型, 确定维修条件的服务水平, 通过维修条件的服务水平和最佳服务水平的关系来最终确定最佳储备定额, 做到合理储备备件。实例分析证明: 该方法能提高备件储备定额的有效性和精确度, 对维修工作有一定的指导意义。

**关键词:** 备件; 层次分析法; 重要度; 储备定额

**中图分类号:** TJ307 **文献标志码:** A

## Storing Strategy of Equipment Maintenance Spares

Shao Yanjun<sup>1</sup>, Ma Chunmao<sup>2</sup>, Pan Hongxia<sup>1</sup>, Liu Yongjiang<sup>1</sup>

(1. College of Mechanical Engineering &amp; Automation, North University of China, Taiyuan 030051, China;

2. North West Institute of Mechanics &amp; Electrics Engineering, Xi'an 712099, China)

**Abstract:** Aimed at the shortage of classification methods used in classifying weapons maintenance spare parts, a modeling method using analytic hierarchy process (AHP) and the importance principle was put forwards to classify and store the spare parts. Use importance degree to classify spares and determine the best service level. At the same time, a mathematical model using the loss law of maintenance spares was established and the service level of the maintenance condition was determined. Finally, the best reserve quota was determined depend on relationship between the maintenance condition and the best service level, so that reserving a reasonable amount of the spare parts. By means of analyzing an actual case, it was shown that this method can improve the effectiveness and accuracy rate of the spare reserve quota, and it provides maintenance work with reference.

**Key words:** spare parts; AHP; importance degree; reserve quota

## 0 引言

随着科技的发展, 武器装备的复杂程度日益提高, 维修备件供应的作用和地位与日俱增; 同时, 备件的需求也表现出间断性和随机性, 对备件进行科学的分类储备是保证装备正常运行的前提<sup>[1-2]</sup>。目前, 对维修备件进行分类储备最常用的方法是 ABC 分类法, 又称为帕累托分类法, 其基本思想是通过定性和定量的分析, 将备件按照分类指标分为 ABC 3 类, 然后采取相应的存储策略。ABC 分类法有助于分清重点、照顾一般, 因而应用广泛, 然而其仅仅根据品种、金额的多少来进行备件分类, 缺陷也很明显。对维修备件进行分类的另一种常用方法是把紧急程度作为主要的分类准则来区分重要配件和一般配件<sup>[3-4]</sup>, 这种方法主要靠主观的判断, 但在很多情况下, 要判断某一个配件的紧急程度是非常困难的<sup>[5]</sup>。笔者采用层次分析法(AHP)进行建模, 利用备件重要度这一指标对维修备件进行分类, 同时利用重要度来确定备件的服务水平, 指导装备维

修备件储备定额的编制计划, 尽量找到最佳服务水平, 在保证最佳服务的同时使备件的库存费用达到最低<sup>[6-9]</sup>。

## 1 模型的建立

笔者主要从以下几个方面进行建模。

## 1) 备件消耗概率的确定。

因质量、工艺、材质、操作、环境、保养等多种因素的影响, 备件的寿命具有不确定性。假设机器故障的时间服从指数分布, 需要修复的机器进入到维修系统的过程是一个泊松过程, 则维修备件的消耗也是泊松过程。则在一个订货周期内消耗  $x$  个备件的概率<sup>[10-11]</sup>可以表示为

$$p(x) = \frac{m^x}{x!} e^{-m} \quad (x=0,1,2,\dots,n) \quad (1)$$

式中:  $m$  为订货周期内某维修备件的平均消耗量;  $p(x)$  为备件平均消耗量为  $m$  时消耗  $x$  件的概率。

2) 维修服务水平  $E(D)$  的确定。

维修备件的库存量能满足消耗的概率称为服务

收稿日期: 2012-11-01; 修回日期: 2012-11-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51175480); 山西省自然科学基金资助项目(2012011046-12)

作者简介: 邵延君(1972—), 男, 内蒙古人, 蒙古族, 硕士, 讲师, 从事装备保障与维修研究。

水平, 建立服务水平与库存量之间的函数关系:

$$E(D) = \sum_{x=0}^D \frac{m^x}{x!} e^{-m} \quad (x=0,1,2,\dots,D) \quad (2)$$

式中:  $E(D)$ 为维修备件的服务水平;  $m$ 为维修备件在单位时间内的平均消耗量;  $D$ 为维修备件的库存量;  $x$ 为某一单位时间内备件的消耗件数。

3) 最佳服务水平  $E_Z(D)$ 的确定。

根据各种备件重要度不同, 来确定最佳服务水平, 具体步骤方法如下:

① 利用 AHP 法来计算备件重要度 BZD, BZD 的取值范围在 1~5 之间。

② 备件的最佳服务水平  $E_Z(D)$ 与 BZD 有如下关系。

$$E_Z(D) = \alpha \times \text{BZD} \quad (3)$$

③ 求  $E_Z(D)$ 的值, 令备件 BZD=5,  $E_Z(D)$ =1.0, 可求得  $\alpha=0.2$ , 则:

$$E_Z(D) = 0.2 \times \text{BZD} \quad (4)$$

4) 确定最佳储备定额步骤。

① 收集和整理近几年的维修备件单位时间的实际消耗量, 计算平均消耗量  $m$ , 利用泊松分布表分析数据是否符合正常规律, 对异常的数据要进行修正。修正的方法是: 利用单位时间内其他备件消耗量的平均值来代替并计算调整后的平均消耗量,

直到每个单位时间内备件的消耗量都符合泊松分布规律为止。

② 在已知  $m$  的情况下, 确定最佳储备定额, 假设  $E(D) \approx E_Z(D)$ , 然后利用式 (2) 求出备件此时的库存量  $D$  和  $E(D)$ 的值, 由于  $E_Z(D)$ 为定性评价价值, 故在确定最佳储备时, 允许  $E(D)$ 与  $E_Z(D)$ 之间存在一定的偏差  $\mu$ 。一般来说, 该偏差值应在 -0.01 以上, 即  $\mu = E(D) - E_Z(D) \geq -0.01$ , 通过试算和检验以后得到满足最佳服务水平时的最佳储备定额  $D$ 。

2 实例研究

履带式自行火炮负重轮的轴承在使用过程中受力复杂、工作环境恶劣, 磨损十分厉害, 长期以来轴承的使用可靠性较低, 是自行火炮维修的主要备件, 如果备件供应不及时, 将严重影响自行火炮的正常使用和装甲部队的机动能力<sup>[12]</sup>。以装备维修车间的某履带式自行火炮负重轮的轴承为例, 来验证此种方法的有效性, 其每月的消耗量如表 1 所示。根据 1~10 月份的统计, 将火炮负重轮轴承按照可靠性、维修性、维护性、供应性和自身特性等 5 个方面进行打分, 打分采用使用、维修、管理三级主要责任人群组评定的办法进行, 按照 1~5 分来确定, 确定维修备件指标的打分方法见表 2 所示, 通过专家打分确定轴承的指标评价价值如表 3 所示。

表 1 轴承的月消耗量

月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月
消耗量	3	8	1	4	2	3	0	3	1	5

表 2 维修备件指标的打分方法

指标	第 1 档	第 2 档	第 3 档	第 4 档	第 5 档
	5 分	4 分	3 分	2 分	1 分
重要程度 $C_1$	关键设备	重要设备	次要设备	主要设备	一般设备
专用程度 $C_2$	专用性很强	专用性较强	专用性一般	有备台	备台较多
同型数量 $C_3$	很多	较多	较少	很少	无
安环影响 $C_4$	非常大	很大	较大	较小	无
自修难易 $C_5$	非常容易	比较容易	有难度	难度较大	难度非常大
维修等级 $C_6$	非停机维修	停机小修	停机中修	停机大修	超常规停机大修
停修损失 $C_7$	非常大	较大	较小	几乎无损失	无
操作影响 $C_8$	非常大	较大	一般	较小	无
维修影响 $C_9$	非常大	很大	较	一般	较小
管理影响 $C_{10}$	非常大	很大	较	一般	较小
订购难度 $C_{11}$	非常大	很大	较	一般	较小
供应周期 $C_{12}$	很长	很长	较短	很短	非常短
仓储费用 $C_{13}$	很小	较小	较大	很大	非常大
自裁能力 $C_{14}$	无	较弱	较强	很强	非常强
使用寿命 $C_{15}$	非常短	很短	较短	较长	很长
备件材质 $C_{16}$	非常复杂	很复杂	较复杂	较普通	非常普通

表 3 轴承的指标评价价值

指标	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$	$C_9$	$C_{10}$	$C_{11}$	$C_{12}$	$C_{13}$	$C_{14}$	$C_{15}$	$C_{16}$
评价价值	4	4.5	2.5	1	2.5	4	4	5	5	3	3.5	3	2	5	5	3

2.1 轴承备件的重要度评价

1) 按照可靠性、维修性、维护性、供应性和自身特性 5 个方面来建立层次结构模型,如图 1 所示。

2) 构造判断矩阵,同时进行层次单排序和一致性检验。

在层次分析法中,为使判断矩阵中的各要素的重要性能进行定量显示,引进了矩阵判断标度(1~9 标度法),同时利用 Matlab 软件进行计算层次单排序和一致性检验,判断矩阵如表 4 所示。

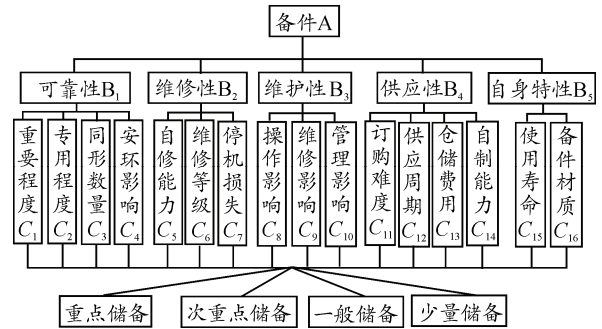


图 1 AHP 层次结构模型

表 4 判断矩阵

A	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>	$W^{(2)}$	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	$W_1^{(3)}$	
B <sub>1</sub>	1					0.348 8	C <sub>1</sub>	1				0.484 7	
B <sub>2</sub>	1/2	1				0.222 4	C <sub>2</sub>	1/3	1			0.132 4	
B <sub>3</sub>	1/8	1/5	1			0.042 7	C <sub>3</sub>	1/2	3	1		0.317 3	
B <sub>4</sub>	1	1	6	1		0.264 9	C <sub>4</sub>	1/7	1/2	1/5	1	0.065 6	
B <sub>5</sub>	1/3	1/2	3	1/2	1	0.121 2							
一致性检验	$\lambda=5.037 9$ $CI=0.009 5$ $RI=1.12$ $CR=0.008 5 < 0.1$					OK	一致性检验	$\lambda=4.041 9$ $CI=0.014 0$ $RI=0.9$ $CR=0.015 5 < 0.1$					OK
B <sub>2</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>			$W_2^{(3)}$	B <sub>3</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>10</sub>		$W_3^{(3)}$	
C <sub>5</sub>	1					0.122 2	C <sub>8</sub>	1				0.106 2	
C <sub>6</sub>	2	1				0.229 9	C <sub>9</sub>	5	1			0.633 3	
C <sub>7</sub>	5	3	1			0.647 9	C <sub>10</sub>	3	1/3	1		0.260 5	
一致性检验	$\lambda=3.003 7$ $CI=0.001 8$ $RI=0.58$ $CR=0.003 2 < 0.1$					OK	一致性检验	$\lambda=3.038 7$ $CI=0.019 4$ $RI=0.58$ $CR=0.033 4 < 0.1$					OK
B <sub>4</sub>	C <sub>11</sub>	C <sub>12</sub>	C <sub>13</sub>	C <sub>14</sub>		$W_4^{(3)}$	B <sub>5</sub>	C <sub>15</sub>	C <sub>16</sub>			$W_5^{(3)}$	
C <sub>11</sub>	1					0.408 2	C <sub>15</sub>	1				0.750 0	
C <sub>12</sub>	1	1				0.408 2	C <sub>16</sub>	1/3	1			0.250 0	
C <sub>13</sub>	1/5	1/5	1			0.086 6							
C <sub>14</sub>	1/4	1/4	1	1		0.096 9							
一致性检验	$\lambda=4.006 2$ $CI=0.002 1$ $RI=0.9$ $CR=0.002 3 < 0.1$					OK	一致性检验	$\lambda=2.000 0$ $CI=0.000 0$ $RI=0.000 0$ $CR=0.000 0 < 0.1$					OK

3) 层次总排序。

以  $W_k^{(3)}$  为列向量构成矩阵:

$$W^{(3)} = (W_1^{(3)}, W_2^{(3)}, W_3^{(3)}, W_4^{(3)}, W_5^{(3)}) \quad (5)$$

得到 C 层元素对评价目标的总权重如表 5。

表 5 C 层元素对评价目标的总权重

指标	C 层次总权重	指标	C 层次总权重	指标	C 层次总权重	指标	C 层次总权重
C <sub>1</sub>	16.906 3	C <sub>5</sub>	2.717 7	C <sub>9</sub>	2.704 2	C <sub>13</sub>	2.294 0
C <sub>2</sub>	4.618 1	C <sub>6</sub>	5.113 0	C <sub>10</sub>	1.112 3	C <sub>14</sub>	2.566 9
C <sub>3</sub>	11.067 4	C <sub>7</sub>	14.411 5	C <sub>11</sub>	10.813 2	C <sub>15</sub>	0.090 9
C <sub>4</sub>	2.288 1	C <sub>8</sub>	0.453 5	C <sub>12</sub>	10.813 2	C <sub>16</sub>	0.030 3

$$W = W^{(3)}W^{(2)}$$

$$CI = \sum_{j=1}^m b_j CI_j = 0.006 7$$

$$RI = \sum_{j=1}^m b_j RI_j = 0.706 1 \quad (6)$$

$$CR = 0.009 4 < 0.1$$

4) 轴承备件重要度计算。

通过 AHP 分析法得到各个指标的总权重后,利

用各个指标的总权重和各个指标的评价值的乘积得到重要度这个综合指标,用这个指标来说明轴承的总体重要度,轴承的重要度指标 BZD 的值为

$$BZD = \sum X_{ij} \times Y_{ij} = 3.1 \quad (7)$$

式中:  $X_{ij}$  为维修备件品种评价第  $i$  项要素第  $j$  项指标评价值;  $Y_{ij}$  为维修备件品种评价第  $i$  项要素第  $j$  项指标的权重。

5) 轴承备件分类。

BZD 指标对备件性质的评价如表 6 所示。

表 6 备件性质的评价

BZD 等级 备件性质	$3.75 \leq BZD \leq 5$ 重点储备	$3.25 \leq BZD \leq 3.75$ 次重点储备	$2.75 \leq BZD \leq 3.25$ 一般储备	$2.25 \leq BZD \leq 2.75$ 少量储备
----------------	--------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------

因为  $2.25 \leq 2.47 \leq 2.75$ , 所以轴承备件属于一般储备的备件, 达到了对维修备件进行分类的目的。

### 2.2 维修备件最佳储备定额的计算

轴承的月平均消耗量  $m = (3+8+1+4+2+3+1+5)/10 = 3$ , 根据式 (1) 可求出当  $m=3$  时消耗  $x$  件的概率:

$$p(0) = \frac{3^0}{0!} \times e^{-3} = 4.99\%;$$

$$p(1) = \frac{3^1}{1!} \times e^{-3} = 14.99\%;$$

$$p(2) = \frac{3^2}{2!} \times e^{-3} = 22.40\%;$$

$$p(3) = \frac{3^3}{3!} \times e^{-3} = 22.40\%;$$

$$p(4) = \frac{3^4}{4!} \times e^{-3} = 16.80\%;$$

$$p(5) = \frac{3^5}{5!} \times e^{-3} = 10.08\%;$$

$$p(6) = \frac{3^6}{6!} \times e^{-3} = 5.04\%;$$

$$p(7) = \frac{3^7}{7!} \times e^{-3} = 2.16\%;$$

$$p(8) = \frac{3^8}{8!} \times e^{-3} = 0.81\%$$

将上述计算结果绘成坐标图, 则当  $m=3$  时的泊松分布如图 2 所示。

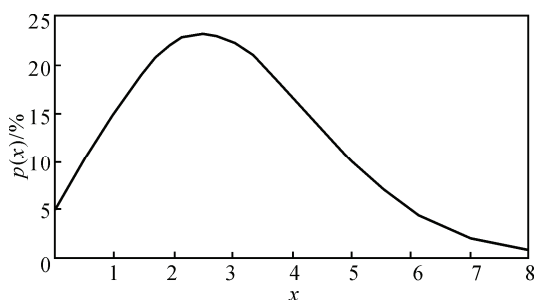


图 2 当  $m=3$  时的泊松分布

根据式 (4) 计算轴承的最佳服务水平  $E_z(D)$  为 62%, 利用式 (2) 计算得出  $E(D)$ :

当  $m=3$  时, 库存 2 件能满足消耗的概率是:

$$E(D) = P(0 \leq x \leq 2) = 42.38\%;$$

当  $m=3$  时, 库存 4 件能满足消耗的概率是:

$$E(D) = P(0 \leq x \leq 4) = 81.58\%;$$

当  $m=3$  时, 库存 3 件能满足消耗的概率是:

$$E(D) = P(0 \leq x \leq 3) = 64.78\% > 62\%, \mu = E(D) - E_z(D) \geq -0.01.$$

所以轴承的库存量取 3 件是最佳储备量即最佳储备定额。

### 3 结束语

笔者结合维修备件管理的实际, 采用定性分析和定量分析相结合的层次分析法对自行火炮负重轮轴承的重要度进行了评价, 得到了自行火炮负重轮轴承的分类储备对策, 通过自行火炮负重轮轴承的损耗规律来得到维修的服务水平, 利用维修服务水平 and 最佳服务水平的关系来最终确定负重轮轴承最佳储备定额。实例分析结果证明: 该方法可以提高备件储备定额的有效性和精确度, 对维修工作有一定的指导意义。

### 参考文献:

- [1] 程海龙, 康锐, 肖波平, 等. 备件满足率约束下的备件模型[J]. 系统工程与电子技术, 2007, 29(8): 1314-1316.
- [2] 陈晓慧, 盛天文, 易树平, 等. 周期预防维修下多部件系统的备件订货策略[J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2009, 37(4): 95-99.
- [3] Dekker R, Kleijn M J. A Spare Parts Stocking Policy Based on Equipment Criticality. International Journal of Production Economics, 1998, 56(3): 69-77.
- [4] Fortuin L, Martin H. Control of Service Parts. International Journal of Operations & Production Management, 1999, 19(9): 950-971.
- [5] 赵学锋, 张金隆, 蔡淑琴. 定量分析模型在维修配件库存控制中的应用[J]. 中国机械工程, 2004, 15(9): 824-827.
- [6] 吴祈宗. 运筹学与最优化方法[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003: 215-227.
- [7] 马根峰, 王平. 库存数量控制中储备定额方法的改进与实现[J]. 计算机工程, 2003, 29(5): 166-167.
- [8] 叶伟龙, 李青. ABC 库存分类的多准则优化方法[J]. 辽宁工程技术大学学报: 自然科学版, 2008, 27(5): 758-761.
- [9] 李树广, 赵彦峻, 徐诚. 装备维修备件需求预测与决策方法研究[J]. 兵工学报, 2011, 32(7): 901-905.
- [10] 陆大金. 随机过程及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1986: 120-132.
- [11] 胡运权, 郭耀煌. 运筹学教程[M]. 2 版. 北京: 清华大学出版社, 2004: 326-327.
- [12] 唐佑辉, 徐华亮. 某型自行火炮负重轮轴承的模糊可靠性分析[J]. 装备指挥技术学院学报, 2010, 21(4): 105-107.