

基于 AHP 和幂指数法的装甲装备功能状态评估

潘洪平, 陈素文, 邢彪

(装甲兵工程学院 技术保障工程系, 北京 100072)

摘要:从装甲装备抢修保障需求出发,分析了装甲装备各产品之间串联、并联以及串并联复合这三种功能关系,对产品功能状态评估模型的建立方法进行了研究,综合运用 AHP、幂指数法和专家打分法,实现了定性与定量结合评估装甲装备功能状态的目的,并通过评估示例对所述方法进行了验证。

关键词:装甲装备;功能状态评估;AHP;幂指数法

中图分类号:TP301

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2013)08-0069-04

Functional State Assessment of Armored Equipment Based on AHP and Power Index Method

PAN Hong-ping, CHEN Su-wen, XING Biao

(Department of Technical Support Engineering, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China)

Abstract: Starting from the point of armored equipment repair support requirements, by analyzing the functional relationships such as the series, parallel and compound series-parallel between the products, this paper established a functional state assessment model of armored equipment based on AHP, Power Index Method and Experts Scoring Method. In addition, it verified the method of functional state assessment by the way of example.

Key words: armored equipment; functional state assessment; AHP; Power Index Method

为了最大限度的发挥装备保障效能,迅速有效的展开装备抢修,必须实施快速、准确的损伤评估,确保装备保障指挥员及时掌握装备的损伤等级以及抢修资源需求。根据已有研究成果^[1],装备在损伤评估过程中具有初始状态、损伤状态、功能状态、任务状态四种基本状态。功能状态是指装备战损后的功能残余状况,功能状态评估对于判断装备是否满足任务需求以及评定装备战损等级具有重要作用。但是,受战场条件限制,同时为了避免造成二次损伤,一般不能直接通过功能测试评估装备功能状态。根据系统可靠性理论对功能关系的分类^[2],装甲装备各产品之间存在串联、并联和串并联复合这三种的功能关系,例如,车体及炮塔、三防装置、灭火装置和烟幕装置以合作、互补的并联关系构成装甲装备防护功能;动力装置、传动及其操纵装置和行动装置以相互依赖、缺一不可的串联关系构成装甲装备机动功能。鉴于此,本文根据装甲装备的系统构成^[3],自顶向下逐层分析装甲装备各产品之间的功能关系,借鉴文献[4-5]中体系作

战能力的聚合思想,综合运用 AHP 和幂指数法建立各级产品的功能状态聚合模型,最终达到根据底层系统装置的功能状态评估整装功能状态的目的。

1 装甲装备功能状态评估模型的构建步骤

1.1 建立评估指标体系

根据装甲装备的结构和功能,建立装甲装备功能状态评估指标体系,如图1所示。考虑到战时环境恶劣,时间紧迫,状态数据获取困难,同时为了方便评估人员进行评估,选取的评估指标主要为定性指标。

1.2 确定指标权重

本文应用 AHP 进行指标权重分配^[6]。请 m 位熟悉装甲装备结构和功能的专家分别结合实际作战任务采用 1-9 标度法对评估指标体系中同一准则下各指标的重要度作两两

比较。根据专家给出的比较结果建立判断矩阵,应用方根法进行权重计算,得出相对权重向量并进行一致性检验。将得到的各相对权重向量中的对应元素求算数平均值,作为指标的综合权重向量。现以一级指标层的权重分配为例对具体步骤进行说明(图1)。

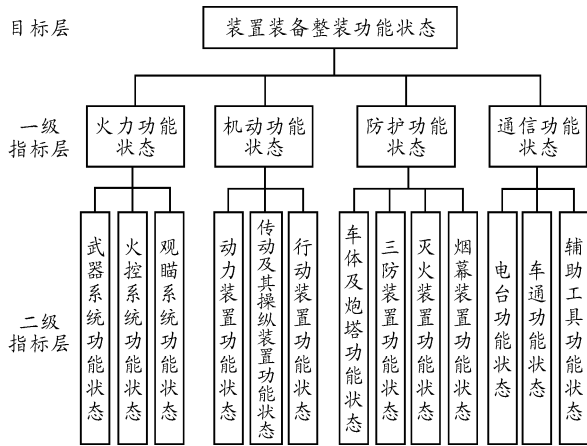


图1 装甲装备功能状态评估指标体系

假设一共邀请了5位专家,式(1)是第1位专家对一级指标层各指标重要度进行两两比较后得到的判断矩阵 P_1 。

$$P_1 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1/2 & 1 & 2 & 3 \\ 1/3 & 1/2 & 1 & 2 \\ 1/4 & 1/3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} \begin{matrix} \prod & \prod^{1/4} \\ 24 & 2.21 \\ 3 & 1.32 \\ 0.33 & 0.76 \\ 0.04 & 0.45 \end{matrix} \quad (1)$$

$$\sum \quad 4.64$$

分别计算 P_1 各行中所有元素的几何平均值 m_1, m_2, m_3, m_4 ,得到向量 $M_1 = [m_1 \ m_2 \ m_3 \ m_4]^T = [2.21 \ 1.32 \ 0.76 \ 0.45]^T$;对 M_1 作归一化处理,得到相对权重向量 $W_1 = [0.47 \ 0.28 \ 0.16 \ 0.09]^T$;对 P_1 进行一致性检验,得 $C.R. = 0.013 < 0.1$,故该判断矩阵具有满意的一致性。

采用上述方法计算其他4位专家的一级指标层判断矩阵,得到相对权重向量 $W_2 - W_5$,设 $W_2 = [0.5 \ 0.25 \ 0.15 \ 0.1]^T$, $W_3 = [0.45 \ 0.3 \ 0.15 \ 0.1]^T$, $W_4 = [0.4 \ 0.3 \ 0.15 \ 0.15]^T$, $W_5 = [0.4 \ 0.3 \ 0.2 \ 0.1]^T$ 。

计算 $W_1 - W_5$ 中对应元素的算数平均值,则结果 $\omega_1 = 0.44, \omega_2 = 0.29, \omega_3 = 0.16, \omega_4 = 0.11$ 分别为一级指标层火力功能状态、机动功能状态、防护功能状态、通信功能状态的综合权重。

同理得到二级指标层指标综合权重,设各指标综合权重如表1所示。

表1 指标综合权重

一级指标权重	ω_1	ω_2	ω_3	ω_4									
	0.44	0.29	0.16	0.11									
二级指标权重	ω_{11}	ω_{12}	ω_{13}	ω_{21}	ω_{22}	ω_{23}	ω_{31}	ω_{32}	ω_{33}	ω_{34}	ω_{41}	ω_{42}	ω_{43}
	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.5	0.2	0.2	0.1	0.5	0.4	0.1

1.3 确定功能指数范围

一般性描述中,将产品功能状态分为功能正常、功能下降、功能严重下降和功能丧失四种,各功能状态的含义如表2所示。为了方便进行量化分析,用功能指数描述产品的功能状态。功能指数是以产品完好时功能状态为基准量度产品损伤后功能状态的无量纲相对量。功能指数的大小与产品功能完好程度正相关,功能完全正常则取1,功能彻底丧失则取0。参考杜派指数法中任务完成因子取值范围的划分方法^[7],本文划定一般情况下功能指数取值范围,如表2所示。

表2 功能指数

功能状态	含义	指数范围
功能正常	可全面完成预定功能	0.7~1.0
功能下降	可相对满意地完成大部分预定功能	0.5~0.7
功能严重下降	可不太满意地完成部分预定功能	0.3~0.5
功能丧失	无法完成预定功能	0~0.3

1.4 建立各级功能状态评估模型

在分析装甲装备各产品功能关系的基础上,建立装甲装备各级功能状态评估模型。对于并联关系,运用AHP建立“加权和”的功能状态评估模型;对于串联关系,运用幂指数法建立“加权积”的功能状态评估模型;对于串并联复合关系,则按层次综合运用2种方法建立相应的功能状态评估模型。

1) 装甲装备整装功能指数 F_s :

$$F_s = \omega_1 F_1 + \omega_2 F_2 + \omega_3 F_3 + \omega_4 F_4 \quad (2)$$

式中: F_s 为装甲装备整装功能指数; $F_1 - F_4$ 分别为火力功能指数、机动功能指数、防护功能指数、通信功能指数; $\omega_1 - \omega_4$ 是与 $F_1 - F_4$ 分别对应的权重。

2) 火力功能指数 F_1 :

$$F_1 = F_{11}^{\omega_{11}} \times F_{12}^{\omega_{12}} \times F_{13}^{\omega_{13}} \quad (3)$$

式中: F_{11}, F_{12}, F_{13} 分别为武器系统功能指数、火控系统功能指数和观瞄系统功能指数; $\omega_{11}, \omega_{12}, \omega_{13}$ 是与 F_{11}, F_{12}, F_{13} 分别对应的权重。

3) 机动功能指数 F_2 :

$$F_2 = F_{21}^{\omega_{21}} \times F_{22}^{\omega_{22}} \times F_{23}^{\omega_{23}} \quad (4)$$

式中: F_{21} 、 F_{22} 、 F_{23} 分别为动力装置功能指数、传动及其操纵装置功能指数、行动装置功能指数, ω_{21} 、 ω_{22} 、 ω_{23} 是与 F_{21} 、 F_{22} 、 F_{23} 分别对应的幂指数。

4) 防护功能指数 F_3 :

$$F_3 = \omega_{31}F_{31} + \omega_{32}F_{32} + \omega_{33}F_{33} + \omega_{34}F_{34} \quad (5)$$

式中: $F_{31} \sim F_{34}$ 分别为车体及炮塔功能指数、三防装置功能指数、灭火装置功能指数、烟幕装置功能指数; $\omega_{31} \sim \omega_{34}$ 是与 $F_{31} \sim F_{34}$ 分别对应的权重。

5) 通信功能指数 F_4 :

$$F_4 = \omega_{41}F_{41} + \omega_{42}F_{42} + \omega_{43}F_{43} \quad (6)$$

式中: F_{41} 、 F_{42} 、 F_{43} 分别为电台功能指数、车内通话器功能指数和辅助工具功能指数; ω_{41} 、 ω_{42} 、 ω_{43} 是与 F_{41} 、 F_{42} 、 F_{43} 分别对应的权重。

2 评估示例

假设,主战坦克在一次进攻战斗中战损,伴随保障分队前出,检查后发现装备共有8处损伤:火炮复进不足;炮塔有一处弹伤;方向机被击碎;机油散热器散热片部分损坏;四挡拨叉轴折断;右侧主动轮损坏;一处烟幕装置损坏;车通损坏。现对该坦克功能状态进行评估。

2.1 确定二级指标功能指数

确定二级指标功能指数是计算装甲装备整装功能指数的基础,由于无法通过定量方法直接获得二级指标功能指数,故采用定性方法来确定。评估员先参照某二级指标的评估准则评估其功能状态,再对照表2功能状态与功能指数的对应关系给出适当的功能指数,最后对所有评估员给出的该二级指标功能指数求算数平均值,作为其综合功能指数。

以确定行动装置功能指数为例,根据已有研究成果^[8],建立行动装置功能状态评估准则,如表3所示。

表3 行动装置功能状态评估准则

功能状态	评估准则
功能正常	所有零部件正常。
功能下降	履带、主动轮、诱导轮和部分负重轮正常。
功能严重下降	履带短缺或诱导轮损坏以及一侧主动轮损坏。
功能丧失	两侧诱导轮或主动轮都损坏。

假设一共有5名评估员,根据评估准则评估行动装置功能状态并分别给出功能指数 $D_{231} = 0.35$, $D_{232} = 0.4$, $D_{233} = 0.3$, $D_{234} = 0.4$, $D_{235} = 0.3$,对 $D_{231} \sim D_{235}$ 求算数平均值,得行动装置综合功能指数为: $D_{23} = (0.35 + 0.4 + 0.3 + 0.4 + 0.3) \div 5 = 0.35$ 。

同理确定其他二级指标综合功能指数,假设评估结果如表4所示。

表4 二级指标功能状态评估结果

二级指标	功能状态	功能指数
武器系统	功能下降	0.6
火控系统	功能严重下降	0.5
观瞄系统	功能正常	0.9
动力装置	功能正常	0.95
传动及其操纵装置	功能下降	0.65
行动装置	功能严重下降	0.35
车体及炮塔	功能下降	0.6
三防装置	功能正常	0.8
灭火装置	功能正常	1.0
烟幕装置	功能下降	0.65
电台	功能正常	1.0
车通	功能丧失	0
辅助工具	功能正常	1.0

2.2 功能状态评估

将表1中确定的指标权重及表4中确定的二级指标功能指数代入1.4节式(3)、(4)、(5)、(6)各功能状态评估模型中可分别求出:

火力功能指数:

$$D_1 = D_{11}^{\omega_{11}} \times D_{12}^{\omega_{12}} \times D_{13}^{\omega_{13}} = 0.6^{0.4} \times 0.5^{0.3} \times 0.9^{0.3} = 0.64$$

机动功能指数:

$$D_2 = D_{21}^{\omega_{21}} \times D_{22}^{\omega_{22}} \times D_{23}^{\omega_{23}} = 0.95^{0.4} \times 0.65^{0.3} \times 0.35^{0.3} = 0.63$$

防护功能指数:

$$D_3 = \omega_{31}D_{31} + \omega_{32}D_{32} + \omega_{33}D_{33} + \omega_{34}D_{34} = 0.5 \times 0.6 + 0.2 \times 0.8 + 0.2 \times 1 + 0.1 \times 0.65 = 0.73$$

通信功能指数:

$$D_4 = \omega_{41}D_{41} + \omega_{42}D_{42} + \omega_{43}D_{43} = 0.5 \times 1 + 0.4 \times 0 + 0.1 \times 1 = 0.6$$

再将 $D_1 \sim D_4$ 代入式(1)中进一步求得装甲装备整装功能指数:

$$D_s = \omega_1D_1 + \omega_2D_2 + \omega_3D_3 + \omega_4D_4 = 0.44 \times 0.64 + 0.29 \times 0.63 + 0.16 \times 0.73 + 0.11 \times 0.6 = 0.65$$

对照表2可知该装甲装备火力功能、机动功能和通信功能下降,防护功能正常,整装功能下降。经验证,此评估结果与实际案例基本相符。

2.3 输出评估结果

将计算数据填入表5,形成装甲装备功能状态评估报告(表5)。

表5 装甲装备功能状态评估报告

装备编号	火力功能状态 及功能指数	机动功能状态 及功能指数	防护功能状态 及功能指数	通信功能状态 及功能指数	整装功能状态 及功能指数
× ×	功能下降 0.64	功能下降 0.63	功能正常 0.73	功能下降 0.6	功能下降 0.65

3 结束语

本文在分析装甲装备产品功能关系的基础上,建立了基于AHP和幂指数法的装甲装备功能状态评估模型,并通过示例验证了此模型的实用性和有效性,为以后的研究工作提供了新的思路,具有一定的参考价值。下一步的主要工作是对模型及功能指数的划分进行完善。

参考文献:

- [1] 刘祥凯. 车辆装备战斗损伤级别评估问题研究[R]. 天津:军事交通学院,2006.
- [2] 孙东川,林福永. 系统工程引论[M]. 第2版. 北京:清华大学出版社,2009.
- [3] 邢俊文. 装甲装备概论底盘分册[M]. 北京:装甲兵工程学院,2007.

- [4] 罗鹏程,傅攀峰. 武器装备体系作战能力综合分析框架[J]. 系统工程与电子技术,2005,27(1):72-75.
- [5] 赵相安,姜志平. 武器装备体系作战能力综合分析框架[J]. 火力与指挥控制,2011,36(7):7-10.
- [6] 梁军,赵勇. 系统工程导论[M]. 北京:化学工业出版社,2010.
- [7] 周赤非. 新编军事运筹学[M]. 北京:军事科学出版社,2010.
- [8] ZTZ88A式坦克战场抢修手册[M]. 北京:总装备部通用装备保障部,2008.
- [9] 李爱民,罗九林,方世源. 简析装甲装备维修质量管理中的若干问题[J]. 四川兵工学报,2012(3):65-66.
- [10] 明波,张会奇,许前进. 战场环境下装甲装备抢救技术综述[J]. 装备环境工程,2010(3):59-61.

(责任编辑 周江川)

(上接第57页)

4 结束语

通过上述对某型远程火箭炮训练弹出定向管管口附近同一位置的速度、弹道倾角、地面风修正量等方面深入探讨,由于定向管长度的不同会对其弹道特性产生很大的影响,使用122mm火箭炮射表对某型远程火箭炮训练弹的射击进行指导的设想是完全不可行的,若要使用现有的122mm火箭炮射表对其射击进行指导,必须要进行修正。

- [2] 刘怡昕,刘玉文. 决定射击诸元理论[M]. 北京:海军出版社,2001.
- [3] 李奉昌. 火箭弹道风修正问题的探讨[J]. 弹箭与制导学报,1994(2):75-77.
- [4] 张成礼,刘金伟,李秀亮,等. 某型火箭炮模拟通信控制机的设计与实现[J]. 兵工自动化,2010(7):9-11.
- [5] 邢立新,温必腾. 某型火箭炮发控时序智能检测系统的设计[J]. 四川兵工学报,2011(3):1-3.

(责任编辑 杨继森)

参考文献:

- [1] 闫章更. 射表技术[M]. 北京:国防工业出版社,2000.