

基于相似系统理论的装甲车辆发动机使用 状态评价研究

张会奇, 陈春良, 曹玉坤, 师文涛

(装甲兵工程学院, 北京 100072)

摘要: **目的** 综合预测装甲车辆发动机使用寿命。**方法** 通过相关性分析构建发动机使用环境因素指标体系,应用层次分析法进行指标权重确定。将发动机不同使用环境作为相似系统,应用相似系统理论及度量方法,定量评价装甲车辆发动机使用环境系统,通过定义发动机使用条件修正系数,计算发动机在不同使用环境下的实际摩托小时消耗。**结果** 得到发动机使用环境因素指标权重集为[0.074, 0.074, 0.11, 0.074, 0.074, 0.044, 0.22, 0.11, 0.22]。**结论** 相似系统理论及度量方法能够应用于装甲车辆发动机使用环境系统的定量评估。

关键词: 相似系统; 装甲车辆发动机; 使用状态; 评价

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2013.06.009

中图分类号: E911 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2013)06-0037-04

Evaluation Study on the Service Status of Armored Vehicle Engine Based on the Similarity System Theory

ZHANG Hui-qi, CHEN Chun-liang, CAO Yu-kun, SHI Wen-tao

(Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China)

ABSTRACT: **Objective** To forecast the service life of the armored vehicle engine comprehensively. **Methods** The influence factor index system of the armored vehicle engine servicing was established by means of the relativity analysis method, while the weights of the indexes were calculated by AHP. Taken as similar systems, different engine using environments were quantitatively evaluated by the application of the similarity system theory and its measurement methods, and the actual consumption of motor hours for the engine under different using conditions were figured out by defining the engine service status correctional coefficient. **Results** the weight matrix of the engine using influence factor indexes was found to be [0.074, 0.074, 0.11, 0.074, 0.074, 0.044, 0.22, 0.11, 0.22]. **Conclusion** The similarity

收稿日期: 2013-06-25; 修订日期: 2013-07-30

Received: 2013-06-25; Revised: 2013-07-30

作者简介: 张会奇(1981—),男,博士,讲师,主要研究方向为装备保障与运用。

Biography: ZHANG Hui-qi(1981—), Male, Ph. D., Lecturer, Research focus: armored force engineering.

system theory and its measurement methods could be applied in the evaluation of the service status of armored vehicle engine.

KEY WORDS: similarity system; armored vehicle engine; service status; evaluation

近年来,国内外针对装备的环境适应性展开了广泛研究。武月琴等^[1]系统分析了航空装备环境适应的特点及要求,采用模糊综合评估的方法提出了装备综合环境适应性评估方法;许翔等^[2]对保障装备在高原环境下的适应性进行了研究;董翔英等^[3]设计了军用车辆柴油发动机寿命实时预测系统,通过采集发动机气缸压力、机油压力和喷油压力数据,实时预测发动机寿命。

文中将不同的发动机使用环境作为相似系统,利用相关性分析构建发动机使用环境因素指标体系,并应用AHP方法计算指标权重,描述相似系统特征。应用相似系统理论及度量方法,对不同装甲车辆发动机使用环境进行定量评估。通过定义并计算发动机使用环境修正系数,为发动机技术状态的评估和使用寿命的综合预测提供一种新方法。

1 相似系统理论及度量方法

1.1 相似系统分析方法

事物客观存在一定的特性,当事物间存在共有特性,而刻画其特征值可能有差别时,称事物间共有的特性为相似特性。当系统间存在相似特性时,称系统间存在相似性,其实质是系统间客观存在的属性和特征的相似。相似系统理论能够基于系统特征值对系统相似性进行定量分析,其一般分析方法如下^[4]。

- 1) 识别系统的组成元素及相互关系等特性。
- 2) 识别相似特性,具有相似特性的元素为相似元素,相似元素构成相似元 u_i 。
- 3) 提取元素特征数目及特征值,反映元素相似程度。
- 4) 计算系统A与系统B间相似度 $Q(0 \leq Q \leq 1)$, $Q=1$ 表示系统A与B特性相同; $Q=0$,表示一切特性不同。相似度 Q 是系统A,B中组成元素数量 K,L ,系统间相似元素数量 n ,以及相似元相似度 $q(u_i)$ 的多元函数,即:

$$Q=f(K,L,n,q(u_i)) \quad (1)$$

1.2 相似系统度量方法

相似系统度量即系统相似度 Q 的求解过程,系统相似度 Q 可用系统间相似元数量函数 Q_n 与相似元相似度函数 Q_c 来表示,即:

$$Q=Q_n Q_c \quad (2)$$

其中,

$$Q_n=n/(K+L-n) \quad (3)$$

$$Q_c=\sum_{i=1}^n \omega_i q(u_i) \quad (4)$$

式(4)中, ω_i 为相似元相似度 $q(u_i)$ 的权重值。设系统A与系统B的相似元素 a_i 与 b_i 构成相似元 u_i , a_i 与 b_i 的特征值分别为 $u(a_i)$ 与 $u(b_i)$,则:

$$q(u_i)=\min(u(a_i), u(b_i))/\max(u(a_i), u(b_i)) \quad (5)$$

2 装甲车辆发动机使用环境因素指标及权重

2.1 指标体系构建

装甲车辆发动机在使用过程中,其性能、可靠性、寿命以及维护保养规范,受不同使用条件的影响不同^[5]。装甲车辆发动机使用环境因素是指影响装甲车辆发动机工况及使用寿命的因素,包括机内因素与环境因素,其中环境因素主要包括气候环境因素、地理环境因素和人机环境因素等3部分。装甲车辆发动机使用环境因素及相关性分析如下^[6-7]。

1) 负荷变化因素可由道路状况和驾驶水平2个因素决定,如在道路状况(主要指地形状况)复杂、驾驶水平较低的情况下,发动机负荷变化剧烈,磨损加重。

2) 海拔高度因素对发动机的影响可由空气温度和大气压力2个因素表示,空气温度和大气压力随海拔高度的升高而下降,导致发动机功率和燃油经济性下降。

3) 空气密度因素可由空气温度、大气压力以及

空气湿度等3个因素决定,空气密度随温度升高而减小,随空气湿度的增大而减小。在相对湿度为50%时,空气温度从20℃上升到80℃,空气密度将由 1.2 kg/m^3 下降至 0.9 kg/m^3 。^[8]

4) 空气湿度因素对发动机的影响主要体现在空气密度和大气压力2个方面。

5) 空气含尘量因素与道路状况的路面质量、土壤成分有关,在道路状况因素只考虑地形状况的情况下,可作为独立影响因素。

6) 机油压力、机油质量、油水温度、维护保养等因素为独立影响因素。

保留相对独立的因素,约简冗余因素,发动机使用环境因素指标体系如图1所示。

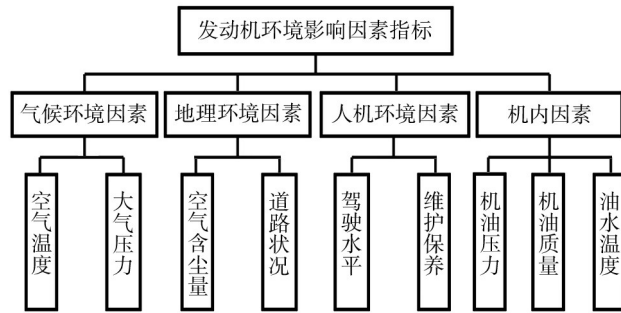


图1 发动机使用环境因素指标体系

Fig.1 Influence factor index system for the Engine operating environment

2.2 指标权重计算

采用AHP确定指标权重,对比各影响因素重要程度,建立比较判断矩阵,得:

$$D = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 2/3 & 1 & 1 & 5/3 & 1/3 & 2/3 & 1/3 \\ 1 & 1 & 2/3 & 1 & 1 & 5/3 & 1/3 & 2/3 & 1/3 \\ 3/2 & 3/2 & 1 & 3/2 & 3/2 & 5/2 & 1/2 & 1 & 1/2 \\ 1 & 1 & 2/3 & 1 & 1 & 5/3 & 1/3 & 2/3 & 1/3 \\ 1 & 1 & 2/3 & 1 & 1 & 5/3 & 1/3 & 2/3 & 1/3 \\ 3/5 & 3/5 & 2/5 & 3/5 & 3/5 & 1 & 1/5 & 2/5 & 1/5 \\ 3 & 3 & 2 & 3 & 3 & 5 & 1 & 2 & 1 \\ 3/2 & 3/2 & 1 & 3/2 & 3/2 & 5/2 & 1/2 & 1 & 1/2 \\ 3 & 3 & 2 & 3 & 3 & 5 & 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

应用和积法求出判断矩阵 D 的排序权向量,得 $W_D = [0.074 \ 0.074 \ 0.11 \ 0.74 \ 0.074 \ 0.044 \ 0.22 \ 0.11 \ 0.22]^T$ 。对判断矩阵 D 进行一致性检验,得一致性比例 $C.R. < 0.1$,判断矩阵的一致性可以接受。装甲

车辆发动机使用环境因素指标权重见表1。

表1 装甲车辆发动机使用环境因素指标权重

Table 1 Weights of the operating environment factor indexes for the armored vehicle engine

序号	指标名称	指标性质	权重
1	空气温度	气候环境	0.074
2	大气压力	气候环境	0.074
3	空气含尘量	地理环境	0.11
4	道路状况	地理环境	0.074
5	驾驶水平	人机环境	0.074
6	维护保养	人机环境	0.044
7	机油压力	机内因素	0.22
8	机油质量	机内因素	0.11
9	油水温度	机内因素	0.22

3 装甲车辆发动机使用状态评价

3.1 标准使用状态

装甲车辆发动机在不同使用环境下的使用状态不同,定义发动机使用环境修正系数为 $a(a \geq 1)$,发动机消耗摩托小时当量为 T ,发动机运转时间为 T_1 ,则 $T = aT_1$ 。装甲车辆发动机标准使用状态是指发动机在使用过程中,各种使用影响因素(包括气候因素、地理因素、人机因素、机内因素)均处于相对理想的状态,有利于发动机使用性能的充分发挥。定义发动机在标准使用状态下运转时,其使用环境修正系数 $a_s = 1$,即发动机在标准使用状态下运转1h,相当于消耗1摩托小时当量。装甲车辆发动机标准使用状态参数指标见表2。

3.2 装甲车辆发动机使用状态评价应用

将装甲车辆发动机的不同使用环境作为相似系统,使用环境因素作为系统相似元素,应用相似系统理论对其使用状态进行评价计算。某装甲车辆发动机使用状态参数指标值见表3。

1) 指标值无量化处理。采用专家打分法对表2与表3中的参数指标值进行无量化处理,见表4。

2) 构建相似系统相似元素特征值序列:

$A_0 = \{4, 4, 5, 3, 3, 3, 5, 3, 3\}$, $A_1 = \{3, 3, 4, 1, 3, 3, 5, 3, 3\}$

表2 装甲车辆发动机标准使用状态参数指标值

Table 2 Values of standard operating environment indexes for the armored vehicle engine

序号	指标	指标值/范围
1	空气温度/℃	10~25
2	大气压力/Pa	101 325
3	空气含尘量/(g·m ⁻³)	≤0.001
4	道路状况	良好
5	驾驶水平	良好
6	维护保养	良好
7	机油压力/MPa	0.6~1
8	机油质量	良好
9	油水温度/℃	70~90

表3 装甲车辆发动机使用状态指标值实例

Table 3 Examples of the operating environment index values for the armored vehicle engine

序号	指标	指标值/范围
1	空气温度/℃	5
2	大气压力/Pa	81 060
3	空气含尘量/(g·m ⁻³)	0.6
4	道路状况	较差
5	驾驶水平	良好
6	维护保养	良好
7	机油压力/MPa	0.6
8	机油质量	良好
9	油水温度/℃	80

表4 标准使用状态与实际使用状态指标评价

Table 4 Index values of the standard operating and actual operating environments

序号	指标	标准使用状态	实际使用状态
1	空气温度	4	3
2	大气压力	4	3
3	空气含尘量	5	4
4	道路状况	3	1
5	驾驶水平	3	3
6	维护保养	3	3
7	机油压力	5	5
8	机油质量	3	3
9	油水温度	3	3

3) 系统相似度计算。由式(2)—(5)及表1算得 A_0 与 A_1 的相似度 $Q=0.8917$ 。

4) 发动机使用状态定量计算。发动机使用条件修正系数 $a=1/Q=1.12$,即装甲车辆在该使用条件下运转1 h,消耗的摩托小时数当量为1.12。

4 结论

1) 装甲车辆发动机在使用过程中,受气候环境、地理环境、人机环境、机内因素等的影响,主要包括空气温度、大气压力、空气含尘量、道路状况、驾驶水平、维护保养、机油压力、机油质量、油水温度等9个相对独立因素,其权重值分别为[0.074, 0.074, 0.11, 0.074, 0.074, 0.044, 0.22, 0.11, 0.22]。

2) 装甲车辆发动机在不同使用条件下,工作相同时间所消耗的摩托小时当量也不同,可用发动机使用条件修正系数衡量发动机实际消耗摩托小时数。

3) 相似系统理论及度量方法能够应用于装甲车辆发动机使用环境系统的定量评估,为有效预测装甲车辆发动机使用寿命提供了一种新方法。

参考文献:

- [1] 武月琴,傅耘,敖亮. 典型环境条件下装备环境适应性的评估方法[J]. 装备环境工程,2010,7(6):109—112.
WU Yue-qin, FU Yun, AO Liang. Equipment Environmental Worthiness Evaluation Method in Representative Environmental Condition[J]. Equipment Environmental Engineering, 2010, 7(6): 109—112.
- [2] 许翔,周广猛,郑智,等. 高原环境对保障装备的影响及适应性研究[J]. 装备环境工程,2010,7(5):100—103.
XU Xiang, ZHOU Guang-meng, ZHENG Zhi, et al. Research on Influence of Plateau Environment on Support Equipment and Its Environmental Worthiness[J]. Equipment Environmental Engineering, 2010, 7(5): 100—103.
- [3] 董翔英,谢鑫鹏,于战果,等. 柴油发动机寿命实时预测系统的设计与实现[J]. 中国工程机械学报,2008,6(4):479—483.
DONG Xiang-ying, XIE Xin-peng, YU Zhan-guo, et al. Design and Implementation on Real-time Life-cycle Prediction System for Diesel Engines[J]. Chinese Journal of Construction Machinery, 2008, 6(4): 479—483.

(下转第49页)

4 结语

在测定某子弹电子部件的工作极限温度、破坏极限温度的基础上,采用有限元软件模拟分析在热载荷作用下焊点的应力应变行为,研究了焊点在热应力下影响应力应变分布的因素。结果表明:在高温下,长期作用载荷将影响材料的力学性能;材料的热膨胀不均衡,导致部件内产生内应力;焊点的蠕变效应,是焊点成为芯片封装失效最高的部位。

通过有限元仿真来模拟热载荷作用下焊点的应力应变行为,研究焊点在热应力下的等效蠕变性和等效塑性应变,模拟结果与实际试验基本相近,对控制焊点焊接形态与改进焊接方法提高了参考依据。

参考文献:

- [1] LOGSDON W A, LIAW P K, BURKE M A. Fracture Behavior of 63Sn-Pb Solder[J]. Engineering Fracture Mechanics, 1990:183—218.
 - [2] 付桂翠. 电子元器件使用可靠性保证[M]. 北京:国防工业出版社, 2010.
 - [3] FU Gui-cui. Operation Reliability Assurance of Electronic Components[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2010.
 - [4] BECK F, WILSON S S. Integrated Circuit Failure Analysis [J]. Wiley Series in Quality and Reliability Engineering, 1997:5—6.
 - [5] 安利全, 叶紫薇, 郑建明. 无铅焊点可靠性及验证试验 [J]. 装备环境工程, 2010, 7(6):91—93.
 - [6] AN Li-quan, YE Zi-wei, ZHENG Jian-ming. Reliability and Validation Test of Lead-free Solder Joint[J]. Equipment Environment Engineering, 2010, 7(6):91—93.
 - [7] 盛重, 薛松柏, 张亮, 等. 基于蠕变模型倒装芯片焊点疲劳寿命预测[J]. 焊接学报, 2008, 29(10):53—55.
 - [8] SHENG Zhong, XUE Song-bai, ZHANG Liang. Fatigue Life Prediction for Flip Chip Soldered Joints Based on Creep Strain Model[J]. Transactions of the China Welding, 2008, 29(10):53—55.
-
- (上接第40页)
- [4] 周美立. 仿真系统建模的相似性与复杂性[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(12):2664—2666.
 - [5] ZHOU Mei-li. Similarity and Complexity of Modeling for Simulation Systems[J]. Journal of System Simulation, 2004, 16(12):2664—2666.
 - [6] 康蓉莉, 姬广振. 装甲车辆环境剖面分析及环境量值确定[J]. 装备环境工程, 2008, 5(6):68—71.
 - [7] KANG Rong-li, JI Guang-zhen. Environmental Profiles Analysis and Environment Value Determination of Armored Vehicle[J]. Equipment Environmental Engineering, 2008, 5(6):68—71.
 - [8] 黄晓英, 张剑芳. 物流模数与集装单元化参数相关性分析[J]. 包装工程, 2009, 30(2):111—112.
 - [9] HUANG Xiao-ying, ZHANG Jian-fang. Analysis of the Relativity between Logistics Module and Parameter of Container Unitization[J]. Package Engineering, 2009, 30(2):111—112.
 - [10] 张纬华, 韩志强, 窦守健. 军用车辆自然环境区划研究[J]. 装备环境工程, 2005, 2(5):26—32.
 - [11] ZHANG Wei-hua, HAN Zhi-qiang, DOU Shou-jian. Research on Zoning of Natural Environment for Military Vehicle[J]. Equipment Environmental Engineering, 2005, 2(5):26—32.
 - [12] 张均享. 高机动性运载车辆动力系统[M]. 北京:中国科学技术出版社, 2000:516—519.
 - [13] ZHANG Jun-xiang. High Mobility Launch Vehicle Dynamic System[M]. Beijing: China Science and Technology publishing house, 2000:516—519.