

doi: 10.7690/bgzdh.2014.01.010

# 基于 BP 神经网络的装甲车辆发动机使用状态评价

张会奇<sup>1</sup>, 陈春良<sup>2</sup>, 刘峻岩<sup>1</sup>, 张咏清<sup>1</sup>

(1. 装甲兵工程学院装备试用与培训大队, 北京 100072; 2. 装甲兵工程学院技术保障工程系, 北京 100072)

**摘要:** 为综合预测装甲车辆发动机使用寿命, 应用相关性分析优化发动机使用影响因素指标体系, 定义发动机使用条件修正系数, 对发动机使用状态样本数据进行分析与处理, 构建 BP 神经网络评价模型, 并利用获得的样本数据对网络进行训练和检验。结果表明: 该方法能定量评价装甲车辆发动机使用状态, 为预测装甲车辆发动机使用寿命提供一种新方法。

**关键词:** BP 神经网络; 装甲车辆发动机; 使用状态; 评价

**中图分类号:** TJ811 **文献标志码:** A

## Armored Vehicle Engine Service Condition Evaluation Based on BP Neural Network

Zhang Huiqi<sup>1</sup>, Chen Chunliang<sup>2</sup>, Liu Junyan<sup>1</sup>, Zhang Yongqing<sup>1</sup>

(1. Brigade of Equipment Trial & Training, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China;

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

**Abstract:** In order to forecast the service life of the armored vehicle engine synthetically, the index system of the armored vehicle engine using influence factors was established and optimized by means of the relativity analysis method, define engine service condition correction coefficient, analyzed and processed engine service state sample data, established BP neural network evaluation model, and use acquired sample data to train and test network. The results show that the method can carry out quantization evaluation armored vehicle engine service state and provide a new method for forecasting the armored vehicle engine service life.

**Keywords:** BP neural network; armored vehicle engine; using condition; evaluating

### 0 引言

装甲车辆发动机是装甲车辆的动力源, 使用状态复杂多变。发动机的性能、可靠性、寿命, 以及维护保养规范, 受不同使用条件的影响也不同。笔者应用相关性分析对构建的发动机使用影响因素指标体系进行优化, 定义发动机使用条件修正系数, 确定标准使用状态下发动机使用影响因素指标值, 并进行装甲车辆发动机使用状态等级划分, 在此基础上, 构建三层 BP 神经网络模型, 利用获得的样本数据对网络进行训练和检验, 实现对装甲车辆发动机使用状态的定量评价, 为发动机技术状态的评估和使用寿命的综合预测奠定基础。

### 1 装甲车辆发动机使用影响因素指标体系

装甲车辆发动机使用影响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 3 部分。通过相关性

分析<sup>[1]</sup>, 装甲车辆发动机使用影响因素的相关关系如图 1 所示。

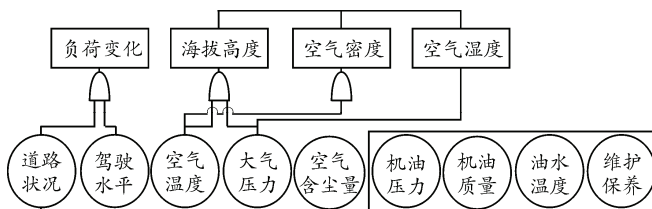


图 1 装甲车辆发动机使用影响因素相关关系

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

收稿日期: 2013-08-22; 修回日期: 2013-09-09

作者简介: 张会奇(1981—), 男, 山东人, 在读博士, 讲师, 从事装备保障与运用研究。

压力”，以及“空气湿度”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<sup>3</sup>下降至0.9 kg/m<sup>3</sup>[2]。

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[3]。

保留相对独立的因素，约简冗余因素，优化后发动机使用影响因素指标体系如图2所示。

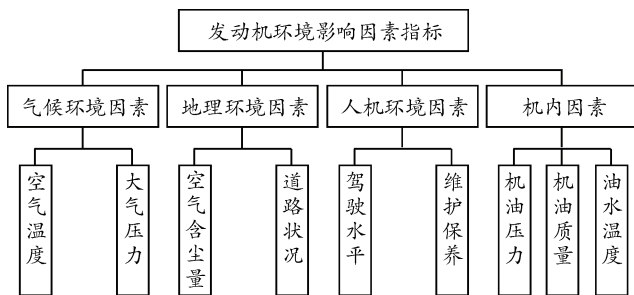


图 2 约简后发动机环境影响因素指标体系

## 2 发动机使用状态样本数据分析与处理

装甲车辆发动机在不同使用条件下的使用状态不同，定义发动机使用条件修正系数为  $a(a \geq 1)$ ，发动机消耗摩托小时当量为  $T$ ，发动机运转时间为  $T_r$ ，则  $T = aT_r$ 。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，其使用条件修正系数  $a_s = 1$ ，即发动机在标准使用状态下运转 1 h，相对于消耗 1 摩托小时当量。装甲车辆发动机标准使用状态参数指标如表 1 所示。

表 1 装甲车辆发动机标准使用状态参数指标值

序号	指标	指标值范围
1	空气温度/℃	10~25
2	大气压力/Pa	1 标准大气压
3	空气含尘量/(g/m <sup>3</sup> )	≤0.5
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	0.6~1.0
8	机油质量	良好
9	油水温度/℃	70~90

为使不同量纲数据更好地适应神经网络训练运算，根据装甲车辆发动机标准使用状态参数指标(如表 1)，通过专家打分法，将发动机各种使用条件划分为不同等级，如表 2 所示。经过对装甲车辆发动机使用状态统计数据的分析与评估，得到某型装甲车辆发动机不同使用条件的等级值及对应的修正系数，如表 3 所示。

表 2 装甲车辆发动机使用状态等级划分

序号	指标	指标值范围	等级值
1	空气温度/℃	> 10~25	1
		> 5~10, > 25	2
		> -15~5	3
		≤ -15	4
2	大气压力/Pa	1 标准大气压	1
		> 0.8~1.0	2
		> 0.6~0.8	3
		≤ 0.6	4
3	空气含尘量/(g/m <sup>3</sup> )	≤ 0.5	1
		> 0.5~1.0	2
		> 1.0~3.0	3
		> 3.0~5.0	4
		> 5.0~10.0	5
4	道路状况	良好	1
5	驾驶水平	一般	2
6	维护保养	较差	3
7	机油压力/MPa	> 0.6~1.0	1
		> 0.2~0.6	2
		≤ 0.2	3
8	机油质量	良好	1
		一般	2
		较差	3
9	油水温度/℃	> 70~90	1
		≤ 70	2
		> 90	3

表 3 装甲车辆发动机使用状态等级数据统计

样本序号	空气温度	大气压力	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	修正系数
1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1.258
2	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2.258
3	3	3	4	2	2	2	2	2	2	2.368
4	4	4	5	3	3	3	3	3	3	3.368
5	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1.258
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
21	2	2	3	2	2	1	2	2	2	1.140
22	3	3	4	3	2	3	3	2	3	2.000
23	1	1	1	3	2	1	1	1	1	1.140
24	1	1	4	2	1	1	1	1	1	1.330
25	2	4	3	2	2	2	3	2	2	1.820
26	2	1	4	3	3	1	1	1	1	1.330

### 3 BP 神经网络建模与网络训练

#### 3.1 BP 神经网络建模

BP 神经网络是指基于误差反向传播算法的多层前馈神经网络<sup>[4]</sup>，研究表明：三层 BP 神经网络在其隐含层使用 S 型传输函数，输出层使用线性传输函数，就能够以任意精度逼近任意函数<sup>[5]</sup>。

如图 3 所示，根据装甲车辆发动机使用影响因素指标，确定网络输入层节点数为  $n=9$ ；输出结果为装甲车辆发动机使用状态评价系数，输出层节点数为  $q=1$ ；隐含层节点数根据经验公式  $p = \sqrt{n+q+a}$  ( $a$  为 1~10 的常数)，取  $p=10$ ；隐含层传递函数  $f$  为 S 型函数，输出层传递函数  $g$  为线性函数。

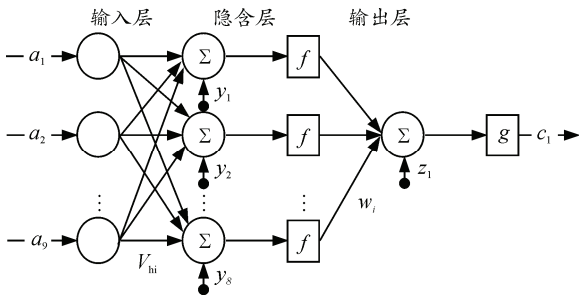


图 3 装甲车辆发动机使用状态评价神经网络结构

#### 3.2 网络训练运算

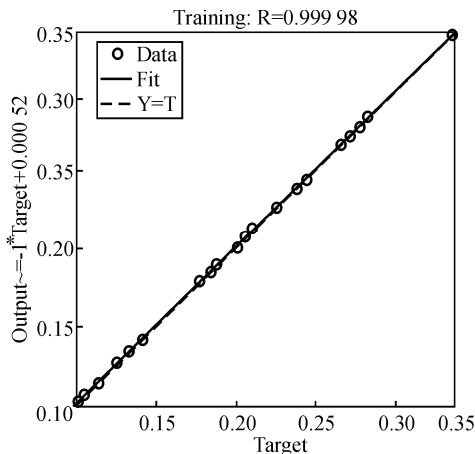


图 4 BP 神经网络输出值与目标值的拟合度计算

应用 Matlab 神经网络工具箱中 newff 函数对装甲车辆发动机使用状态 BP 神经网络评价模型进行训练运算。选取隐含层传递函数 tan-sigmoid，输出层传递函数 linear，训练函数为 trainlm，设置学习

速率为 0.1，训练目标误差参数为 0.000 1，将表 3 中 1~24 号样本数据作为训练样本，25~26 号样本数据作为检验样本，进行网络训练运算，如图 4。

通过神经网络训练运算，计算得到表 3 中 25 号样本数据网络输出值为 1.827，目标值为 1.82，误差率为 0.38%；26 号样本数据网络输出值为 1.397，目标值为 1.33，误差率为 5%；平均误差率为 2.69%；因此，构建的 BP 神经网络模型经过训练运算后，能够较准确地对装甲车辆发动机使用状态进行定量评价<sup>[6]</sup>。

### 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、机油质量和油水温度等 9 个相对独立因素。

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预测发动机使用寿命。

3) BP 神经网络是一种基于误差反向传播的人工智能方法，通过计算机辅助计算，具有强大的函数逼近能力和学习能力。笔者将三层 BP 神经网络模型应用于装甲车辆发动机使用状态评价，通过实例计算，验证了模型的有效性和可行性，为装甲车辆发动机使用寿命预测提供了一种新方法。

### 参考文献：

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 邢志娜, 瞿军, 王菊香. 重载车辆发动机油液的多技术监测方法[J]. 兵工自动化, 2012, 31(5): 83-86.
- [4] 郑小平, 高金吉, 刘梦婷. 事故预测理论与方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009: 218-229.
- [5] Martin T. Hagan, Howard B. Demuth, Mark H. Beale. Neural Network Design[M]. Beijing: China Machine Press, 2002: 200-210.
- [6] 张少华, 张之敬, 金鑫, 等. 装甲车辆战损零件维修参数化数控编程方法[J]. 兵工自动化, 2012, 31(11): 18-22.