

濒海环境下工程装备保养周期的确定方法

张宣和, 鲁冬林, 韩文俊, 王录雁, 王明翀

(解放军理工大学 工程兵工程学院, 南京 210007)

摘要: 采用模糊综合评价法, 量化了环境因素对工程装备在濒海环境下保养周期的影响, 由此提出保养周期的调整方案, 有利于提高工程装备维护保养的科学化水平。基于对大量数据的分析, 深入研究了濒海环境下各环境因素对工程装备的影响规律, 在此基础上分别建立了主要影响因素的模糊隶属度函数, 更为科学地建立了定性指标与定量指标的联系, 有效抑制了人为因素在评价过程中的干扰; 采用比较标度法建立了权重集, 最终得出环境因素的综合影响系数。

关键词: 工程装备; 濒海; 模糊综合评价; 保养周期

中图分类号: TG174 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2012)05-0102-04

Maintenance Period Determination Method of Engineering Equipment in Littoral Environment

ZHANG Xuan-he, LU Dong-lin, HAN Wen-jun, WANG Lu-yan, WANG Ming-chong

(Engineering Institute of Engineering Corps, LA University of Science and Technology, Nanjing 210007, China)

Abstract: The fuzzy comprehensive evaluation method was used to quantify the influence of environmental factors on maintenance period of engineering equipment in littoral environment, and an adjustment plan was put forward, which promoted the maintenance of engineering equipment more scientifically. The influencing law of littoral environmental factors on engineering equipment was studied by analyzing collections of data. The fuzzy membership function of the main influencing factors was established on these bases, which established the connection between qualitative and quantitative indexes more scientifically, and reduced the influence of human factors in the process of evaluation. Weighting set was established by using the methods of scale, so the comprehensive influence coefficient of the environment factors was finally figured out.

Key words: engineering equipment; littoral; fuzzy comprehensive evaluation; maintenance period

我国有着广阔的海岸线, 随着社会经济蓬勃发展, 沿海地区工程装备的投入使用量十分庞大。大多数工程装备在设计之初并未考虑濒海地区特殊、复杂的环境因素, 导致工程装备在这些地区的使用过程中零部件腐蚀、磨损和油料变质等问题十分严重, 致使机械故障率高、寿命短。因此, 有必要针对

收稿日期: 2012-04-06

作者简介: 张宣和(1986—), 男, 安徽合肥人, 硕士研究生, 研究方向为工程装备保障。

滨海作业环境研究相应的保养措施,制定科学的保养制度。

滨海环境影响因素相对于工程装备零部件故障失效影响因素而言,量化起来比较困难。模糊综合评价法,通过建立合适的模糊函数,可以科学地将定性指标与定量指标联系起来,并最大限度地抑制人为因素在评价过程中的干扰。文中采用模糊综合评价法,深入分析环境因素对工程装备性能的影响规律,在大量数据的支持下分别建立各因素的模糊隶属度函数,结合各影响因素对机械性能的影响度,确定综合影响系数,根据正常条件下的保养周期即可估算出滨海环境下工程装备的保养周期。

1 滨海环境特点分析

以东南沿海福建地区滨海环境为例,分析该地区滨海环境因素对工程装备各零部件作业性能的影响。

福建属亚热带海洋气候,温度高、湿度大、盐雾浓度高、日照时间长、太阳辐射量大。工程装备在这样的环境下作业,各系统及零部件受到的主要影响有:金属件的腐蚀、橡胶件的老化、电子元器件的腐蚀以及油料的变质等^[1]。滨海地区高温、高湿、高盐的作业环境对工程装备动力系统、行驶系统、电气系统、操纵装置及作业装置等各部作业性能的发挥都带来了较大的影响,使各零部件的损耗加剧。因此,应适当缩短其保养周期,确保工程装备具有良好的技术状态和较长的使用期限。

通过大量的资料收集和调查研究发现,滨海环境对工程装备的影响因素有温度、相对湿度、盐雾、日照强度、雨水pH值、泥沙、尘土、空气质量、海风、微生物和腐蚀产物等。就工程装备作业特点而言,其主要影响因素有温度、相对湿度、盐雾、日照强度和雨水pH值。福建地区各主要影响因素的统计数据见表1^[2-3]。

2 模糊综合评价数学模型的建立

模糊综合评价是指在评价指标和模糊环境下,考虑具有相互关系的多种因素的影响,建立模糊子集并对指标定量化以反映其等级水平,对评价对象作出综合评价。建立模糊综合评价数学模型的方法

表1 主要影响因素的统计数据

Table 1 Statistical data of the main influencing factors

温度/℃	月平均最低值	5 ~ 10
	月平均最高值	25 ~ 30
	年平均值	17 ~ 21
相对湿度/%	月平均最低值	70
	月平均最高值	83
	年平均值	76
盐雾	月平均盐雾质量浓度/(mg·m ⁻³)	0.1069 ~ 0.7425
	年平均盐雾质量浓度/(mg·m ⁻³)	0.148 ~ 0.480
	日平均盐雾沉降量/(mg·m ⁻²)	8.2 ~ 33.1
日照强度	年辐射量/(MJ·m ⁻²)	4190 ~ 5825
	年日照时数/h	1400 ~ 3000
	年平均值/h	2000
雨水pH值	月平均最低值	4.15
	月平均最高值	7.19
	年平均值	4.83

步骤如下^[4]。

1) 建立评价对象的因素集: $U=\{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n\}$, $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$ 为评价对象的各种评价指标。

2) 建立评语集: $V=\{v_1, v_2, \dots, v_m\}$, $v_1, v_2, \dots, v_m$ 为评价中的评价等级。

3) 建立模糊评价矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{n1} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

模糊评价矩阵 R 是一个因素集 U 到评语集 V 的模糊映射。其中,元素 r_{ij} 表示从第 i 个因素着眼对评价对象作出第 j 种评价的可能程度(也称为隶属度)。

4) 建立权重集: $W=\{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ 。权重集的建立一般要根据各评价指标的重要程度来确定。 w_i 表示因素集 U 中元素 μ_i 被分配的权重,各权重之和应该为1,即 $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ 。

5) 进行模糊综合评价。通过前述步骤得到模糊评价矩阵 R 和权重集 W ,则综合评价集为 $B=W \cdot R$ 。 B 经规范化后即为企业综合评价向量,可按最大隶属度原则取 B 中最大的分量所对应的评价等级作为最终的综合评价等级。

3 濒海环境下工程装备保养周期的确定

假定工程装备的作业环境是：年平均温度 19℃，年平均相对湿度 75%，年平均盐雾质量浓度 0.3 mg/m³，年日照时数 2000 h，年平均雨水 pH 值 4.8。

3.1 确定因素集

根据濒海环境对工程装备的主要影响因素确定因素集： $U=\{\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4, \mu_5\}=\{\text{温度, 相对湿度, 盐雾, 日照强度, 雨水 pH 值}\}$ 。

3.2 建立评语集

根据评价标准建立评语集，参照其它装备的评价标准，将对工程装备产生影响的濒海环境因素的评语分为“很好”、“较好”、“一般”、“较差”和“恶劣”5个评价等级： $V=\{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\}=\{\text{很好, 较好, 一般, 较差, 恶劣}\}$ 。

3.3 建立模糊评价矩阵^[5]

计算各因素对评语集的隶属度，建立模糊评价矩阵。应用模糊数学方法的关键在于建立符合实际的

隶属函数。但如何建立隶属函数，至今仍无统一方法可循，主要根据实际经验进行对应法则的探索。因此，应根据因素集中的各因素对工程装备零部件的作用机理和影响规律建立相应类型的隶属函数，确定单因素的评价向量，进而建立模糊评价矩阵。

以温度的隶属度计算为例，温度的变化会影响金属表面水气的凝聚、水膜中各种腐蚀气体和盐类的溶解度、水膜的电阻以及腐蚀电化学反应的速率。工程装备良好的作业环境温度应在 10~15℃，30℃以上或-5℃以下都会对机械的作业性能产生恶劣的影响。根据温度对机械性能的影响规律，应建立梯形类模糊分布的隶属函数。

例如，温度对“很好”评语的隶属度函数为：

$$A_1(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ \frac{x}{10}, & 0 \leq x < 10 \\ 1, & 10 \leq x < 15 \\ \frac{25-x}{10}, & 15 \leq x < 25 \\ 0, & x \geq 25 \end{cases}$$

计算得出温度为 19℃时对评语“很好”的隶属度为 0.6。分别建立各评价指标对评语集的隶属函数，见表 2。

表 2 各评价指标的隶属函数

Table 2 Membership functions of the evaluation indexes

	温度/℃	相对湿度/%	盐雾质量浓度/mg·m ⁻³	日照强度/h	雨水 pH 值
对评价集的区间划分	<-5, -5~5, 5~15, 15~30, >30	<50, 50~60, 60~70, 70~80, >80	<0.05, 0.05~0.15, 0.15~0.25, 0.25~0.4, >0.4	<1000, 1000~1400, 1400~2200, 2200~3000, >3000	>5.6, 5.3~5.6, 5.0~5.3, 4.5~5.0, <4.5
模糊分布	梯形分布	k次抛物线形分布(取k=2)	梯形分布	梯形分布	k次抛物线形分布(取k=2)
类型	很好: 偏小型; 较好: 中间型; 恶劣: 偏小型、偏大型。	很好: 偏小型; 较好: 一般、较差: 中间型; 恶劣: 偏大型。	很好: 偏小型; 较好: 一般、较差: 中间型; 恶劣: 偏大型。	很好: 偏小型; 较好: 一般、较差: 中间型; 恶劣: 偏大型。	很好: 偏大型; 较好: 一般、较差: 中间型; 恶劣: 偏小型。
隶属函数	对“很好”的隶属函数:	对“很好”的隶属函数:	对“恶劣”的隶属函数:	对“很好”的隶属函数:	对“很好”的隶属函数:
图像示例					

通过对隶属函数的计算,得出模糊评价矩阵为:

$$R = \begin{bmatrix} 0.6 & 1 & 0.8 & 0.4 & 0 \\ 0 & 0 & 0.3 & 1 & 0.6 \\ 0 & 0 & 0.7 & 1 & 0.3 \\ 0.2 & 0.3 & 1 & 0.8 & 0 \\ 0 & 0 & 0.4 & 1 & 0.2 \end{bmatrix}$$

3.4 建立权重集

采用比例标度法确定判断矩阵,建立权重集。该方法是一种定性和定量相结合的决策分析方法,通过两两比较构造判断矩阵,然后计算矩阵最大特征值和对应的特征向量,以确定各指标的权重。基本步骤如下。

1) 确定判断矩阵^[6]。通过比较各影响因素对评价对象的影响,确定其相对重要性的比例标度。每次取两个因素对评价对象的影响之比为 a_{ij} ,全部比较结果构成判断矩阵 A 。判断矩阵 $A=(a_{ij})_{n \times n}$ 中的元素应满足: $a_{ij} > 0, a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}, a_{ii} = 1 (i, j = 1, 2, \dots, n)$,一般采用1~9比例标度,见表3。

表3 相对重要性的比例标度
Table 3 Scale of relative importance

标度	意义
1	i 因素与 j 因素同样重要
3	i 因素比 j 因素略重要
5	i 因素比 j 因素明显重要
7	i 因素比 j 因素强烈重要
9	i 因素比 j 因素极端重要
2,4,6,8	表示上述相邻判断的中间值
倒数	反比较,即 j 因素与 i 因素比较

通过比较得出判断矩阵:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1/6 & 1/4 & 1 & 1/3 \\ 6 & 1 & 4 & 5 & 4 \\ 4 & 1/4 & 1 & 3 & 3 \\ 1 & 1/5 & 1/3 & 1 & 1/2 \\ 3 & 1/4 & 1/3 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

2) 计算最大特征值及其特征向量。根据判断矩阵 A ,采用Matlab编程求解其最大特征值 $\lambda_{\max}$ 和所对应的特征向量 P 。特征向量 P 反映了各评价指标的重要性排序,即各指标的权重。通过计算得出: $\lambda_{\max} = 5.21, P = (0.061, 0.511, 0.230, 0.072, 0.126)^T$ 。

3) 一致性检验。由判断矩阵求得的权数是否合理,需要进行一致性检验。当判断矩阵阶数大于2时,判断矩阵一致性指标 CI 与相同阶平均随机一致性指标 RI 之比称为随机一致性比率,记为 CR (其中, $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$)。对于3~7阶判断矩阵, RI 值见表4。

表4 3~7阶判断矩阵的 RI 值
Table 4 RI values of 3th~7th order judgment matrix

n	3	4	5	6	7
RI	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36

计算得: $CR = \frac{CI}{RI} = 4.6\%$ 。当 CR 在10%以内时,一般认为判断矩阵具有满意的一致性,上述计算结果说明判断矩阵具有满意的一致性。因此,可以确定权重集为: $W = \{0.061, 0.511, 0.230, 0.072, 0.126\}$ 。

3.5 模糊综合评价

综合评价向量为:

$$B = W \cdot R =$$

$$\begin{bmatrix} 0.061 \\ 0.511 \\ 0.230 \\ 0.072 \\ 0.126 \end{bmatrix}^T \cdot \begin{bmatrix} 0.6 & 1 & 0.8 & 0.4 & 0 \\ 0 & 0 & 0.3 & 1 & 0.6 \\ 0 & 0 & 0.7 & 1 & 0.3 \\ 0.2 & 0.3 & 1 & 0.8 & 0 \\ 0 & 0 & 0.4 & 1 & 0.2 \end{bmatrix} =$$

(0.051, 0.083, 0.486, 0.949, 0.401)

由于 B 中第4个分量所对应的值最大,若按最大隶属度原则,该濒海环境的综合评判为“较差”。或者采用评分法^[7],令评语“很好”、“较好”、“一般”、“较差”及“恶劣”的得分分别为90, 80, 70, 60, 50,将综合评价向量做归一化处理,得出 $B = (0.026, 0.043, 0.247, 0.481, 0.203)$ 。计算总得分为: $F = 0.026 \times 90 + 0.043 \times 80 + 0.247 \times 70 + 0.481 \times 60 + 0.203 \times 50 = 62.08$ 。可见两种方法得出的综合评价结果均为“较差”。

若规定评语“很好”、“较好”、“一般”、“较差”及“恶劣”的环境影响系数分别为0.9, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5,则工程装备在东南沿海福建地区濒海作业环境下的

(下转第121页)

表3 预测模型精度对比

Table 3 Precision comparison of forecast models

年份	故障次数 真实值	自适应指数平滑模型预测值	可公度法模型 型预测值	自适应指数平滑 模型绝对误差	可公度法模型 绝对误差	自适应指数平滑 模型均方根误差	可公度法模型 均方根误差
2007	19	19.6188	20	0.6188	1		
2008	18	19.5595	17	1.5595	1		
2009	21	19.3612	20	1.6388	1	0.7791	0.5657
2010	17	19.6961	19	2.6961	2		
2011	21	19.4491	20	1.5509	1		

用于航材故障次数预测的实践之中,为航材保障提供依据。

参考文献:

[1] 翁文波. 预测学[M]. 北京:石油工业出版社,1996.

[2] 龙小霞,延军平,孙虎. 基于可公度方法的川滇地区地震趋势研究[J]. 灾害学,2006(3):81—84.

[3] 文守逊,黄文明. 基于RBF模型和可公度法的股指时间窗口期研究[J]. 统计与决策,2011(22):149—151.

(上接第105页)

保养周期应调整为预定周期的0.6倍。例如,某型推土机在正常作业环境下的一、二、三级保养周期分别为发动机运转200,600,1800 h,则该型推土机在该作业环境下的一、二、三级保养周期应分别调整为发动机运转120,360,1080 h。

4 结论

通过综合考虑濒海环境下影响工程装备作业性能的各种主要因素及其影响规律,在大量数据的支持下分别建立了模糊隶属度函数,在此基础上建立了模糊综合评价数学模型,利用该模型确定了影响因素对机械保养周期的综合影响系数,并据此适当调整了工程装备在濒海环境下的保养周期,有利于工程装备保持良好的技术状态和较长的使用期限。实例验证表明,计算结果符合实际情况,评价过程有效抑制了人为因素的干扰。值得注意的是,若考虑更多、属于不同层次的影响因素,应分更多层次进行

模糊综合评价,需要建立更为详细精确的隶属度函数,并采用更科学合理的计算方法,将主观因素的影响降到最小。

参考文献:

[1] 张则敏. 导弹装备在沿海地区防腐蚀措施[J]. 装备环境工程,2004,1(2):81—84.

[2] 徐国葆. 我国沿海大气中盐雾含量与分布[J]. 环境技术,1994(3):3—7.

[3] 赵卫红. 福建省城市酸性降水特征及变化趋势[J]. 环境科学与技术,2006,29(9):41—43.

[4] 郝海,踪家峰. 系统分析与评价方法[M]. 北京:经济科学出版社,2007:152—184.

[5] 谢季坚,刘承平. 模糊数学方法及应用[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2006:28—35.

[6] 鲁冬林,谭东东. 基于模糊综合评价的高原工程机械保养周期确定方法[J]. 建筑机械,2009(12):99—100.

[7] 舒服华. 工程机械维修质量模糊综合评价方法及其改进[J]. 工程机械,2007,38(3):57.