

应用灰色聚类分析法评价纳米材料的抗冲蚀性能*

陈宝平

(内蒙古财经大学 计算机信息管理学院, 内蒙古 呼和浩特 010070)

摘要: 评估纳米涂层的抗冲蚀性能问题具有重要的学术意义和工程应用价值。传统的方法是采用直接比较法,此种方法工作量大且繁琐。将各种纳米涂层作为聚类对象,以涂层在冲蚀实验中所取得数据为聚类指标,用灰色聚类方法定义了指标的白化权函数,给出纳米涂层抗冲蚀性能评估的灰色聚类数学模型。实践表明,应用该模型能够科学地评价涂层的抗冲蚀性能,评价过程更加合理客观,评价结果准确,避免了凭经验判断的主观性和片面性。

关键词: 灰色理论;灰色聚类;纳米涂层;冲蚀性能

中图分类号: TP391.72

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2013)24-0085-02

Grey clustering model of coating erosion resistance evaluation

Chen Baoping

(Department of Computer Information and Management, NeiMongol Finance and Economics College, Hohhot 010070, China)

Abstract: The erosion resistance evaluation of coating has important academic significance as well as project application value. Being the traditional way, the direct comparison method requires large amount of trivial work. By taking different coatings as clustering objects and data obtained from coating in erosion experiments as clustering index, this paper defines the whitenization weight function of the index with grey clustering method, and built the grey clustering mathematical model of coating erosion resistance evaluation. As proved in practice, the model makes it possible to evaluate the erosion resistance of coating scientifically, making the evaluation more reasonable and objective. At the same time, due to the accurate evaluation results, it avoids the subjectivity and one-sidedness otherwise being unavoidable for judging by experience.

Key words: gray theory; gray cluster; coating; erosion

随着我国经济的不断发展,各工业部门越来越多地要求机械设备、装置或构件能在高参数(如高温)和苛刻的工况条件(如严重的磨损和腐蚀)下长期稳定地运行,这就对材料的性能提出了更高的要求。而采用高性能的高级材料制造整体设备及零件显然是不经济的,有时甚至是不可能的。这一矛盾通过采用表面处理技术对零部件表面进行改性处理或者在其表面形成一层具有特定功能的防护层可以有效地得到解决。传统的喷涂材料已很难适应新形势下易损部件治理的需要,热喷涂材料开始向纳米喷涂材料方向发展,纳米涂层的成功制备将为火电站易损部件治理提供新的途径。研究纳米涂层的抗冲蚀磨损性能问题,具有重要的学术意义和工程应用价值^[1]。

为使评估更具科学性,本文将灰色系统理论应用于纳米涂层抗冲蚀性能评价中,用灰色聚类方法定义了指标的白化权函数,并给出纳米涂层抗冲蚀性能评估的灰色聚类数学模型,然后利用实例验证其正确性。

1 灰色聚类评估理论

灰色聚类法是建立在以灰数的白化函数生成为基础的一种多维灰色评估方法^[2]。它将聚类对象对不同聚类指标所拥有的白化数,按若干灰类进行归纳,从而判断出聚类对象属于哪一个灰类。利用灰色聚类分析方法进行评价的主要步骤为^[3]:

(1)设有 n 个聚类对象, m 个聚类指标, s 个不同灰类,根据第 i 个对象的关于第 j 个指标的观测值 x_{ij} , 将第 i 个对象归入第 k 个灰类。当聚类指标意义、量纲不同且在数量上悬殊不大时,采用灰色变权聚类。根据给定聚类白化数据 x_{ij} 构造样本矩阵 X ;

* 基金项目: 内蒙古高等学校科学研究项目(NJZY11106); 内蒙古自然科学基金项目(2010MS1007)

应用奇葩

Example of Application

(2) j 指标 k 子类的白化权函数记为 $f_j^k(x_{ij})$ 。在灰色系统理论中,灰类白化函数 $f_j^k(x_{ij})$ 的确定主要采取下面的方法:

大于 λ_{jk} 型:

$$f_j^k(x_{ij}) = \begin{cases} 1, & x_{ij} \geq \lambda_{jk} \\ x_{ij}/\lambda_{jk}, & 0 \leq x_{ij} < \lambda_{jk} \end{cases} \quad (1)$$

λ_{jk} 左右型:

$$f_j^k(x_{ij}) = \begin{cases} x_{ij}/\lambda_{jk}, & 0 < x_{ij} < \lambda_{jk} \\ 2 - x_{ij}/\lambda_{jk}, & \lambda_{jk} \leq x_{ij} < 2\lambda_{jk} \\ 0, & x_{ij} \geq 2\lambda_{jk} \end{cases} \quad (2)$$

小于 λ_{jk} 型:

$$f_j^k(x_{ij}) = \begin{cases} 1, & 0 < x_{ij} < \lambda_{jk} \\ 2 - x_{ij}/\lambda_{jk}, & \lambda_{jk} \leq x_{ij} < 2\lambda_{jk} \\ 0, & x_{ij} \geq 2\lambda_{jk} \end{cases} \quad (3)$$

式中: λ_{jk} 为第 j 个聚类指标对第 k 个灰类的阈值。

(3) 计算 n 个指标的聚类权 $\eta_j (j=1, 2, 3, \dots, m; k=1, 2, \dots, s)$:

$$\eta_j = \frac{\lambda_j^k}{\sum_{j=1}^m \lambda_j^k} \quad (4)$$

(4) 计算出灰色定权类系数 $\sigma_i^k (i=1, \dots, m; k=1, \dots, s)$:

$$\sigma_i^k = \sum_{j=1}^m f_j^k(x_{ij}) \times \eta_j \quad (5)$$

(5) 确定研究对象的等级。若 $\max\{\sigma_i^k\} = \sigma_i^{k^*}$, 则断定对象 i 属于灰类 k^* 。

根据以上的灰色定权聚类法,可以划分出所研究对象的等级。

2 纳米涂层抗冲蚀性能的评价模型

2.1 灰色聚类法评价涂层抗冲蚀性能

冲蚀又称“冲刷腐蚀磨损”,它是固体表面与含有固体颗粒的流体接触相对运动时,其表面材料发生损耗的一种形式,它包括了流体的腐蚀和粒子的冲击磨损,主要发生在材料的表面层^[4]。为验证纳米涂层的抗冲蚀性能,本文选取 5 种自行研制的不同配方纳米制备了涂层试样,分别编为 1#、2#、3#、4#、5#,又选取市场成熟丝材制备了对比涂层试样,编号为 6#。冲蚀试验前先对每个试样称重,记下试样的原始重量。表 1 给出 6 种涂层在冲蚀实验测试的结果。

将 6 种纳米材料所做的 6 种涂层作为聚类的对象 $i (i=1, 2, 3, 4, 5, 6)$, 涂层在攻角 45° 与 90° , 加热温度分别为 300°C 、 450°C 和 650°C 的冲蚀实验的数据作为聚类指标 $j (j=1, 2, 3, 4, 5, 6)$ 。将涂层根据其冲蚀性能分为 3 个灰类,即 $k (k=1, 2, 3)$ 。根据提出的涂层冲蚀性能评价的灰色聚类方法,计算步骤如下:

(1) 根据 6 种涂层的 6 个聚类指标,可以构造样本矩阵 X 。

表 1 纳米涂层的性能参数

涂层	攻角 45° 冲蚀失重			攻角 90° 冲蚀失重		
	300°C	450°C	650°C	300°C	450°C	650°C
1#	4.8	2.5	1.2	26.8	23	12.5
2#	18.8	9.1	2.6	25.4	19.1	6.9
3#	18.6	7.2	2.2	33.2	27.3	6.3
4#	16.5	12.3	5.8	31.3	14.9	7
5#	16.6	14.1	6	39.6	13.2	6.3
6#	8.7	6.3	3.9	28.6	22.9	13.7

(2) 计算白化函数 $f_j^k(x_{ij})$ 的值。抗冲蚀磨损是涂层非常重要的性能指标,关系到整个涂层治理的成败,涂层的结合强度越高,说明其性能越稳定。结合 6 种涂层的 6 个聚类指标的聚类白化数,给出灰类阈值 λ_j^k 。如表 2 所示。

表 2 聚类指标对应的灰类阈值

聚类指标 j	优 ($k=1$)	中 ($k=2$)	差 ($k=3$)
攻角 45° 温度 300°C	<5	14	>18.7
攻角 45° 温度 450°C	<3	8.58	>14.0
攻角 45° 温度 650°C	<1.5	3.62	>5.9
攻角 90° 温度 300°C	<25.6	30.82	>39.5
攻角 90° 温度 450°C	<13.5	20.07	>27.2
攻角 90° 温度 650°C	<6.5	8.78	>13.6

根据表 2,结合式(1)~式(3)以及样本矩阵,可以计算出各种涂层,每个聚类指标所对应的各个灰类的白化函数 $f_j^k(x_{ij})$ 值。表 3 所示为 1# 涂层各聚类指标下各应类的白化函数值。

表 3 1# 纳米涂层 6 个聚类指标对 3 个灰类的白化函数

聚类指标 j	优 ($k=1$)	中 ($k=2$)	差 ($k=3$)
攻角 45° 温度 $300^\circ\text{C} (j=1)$	0.96	0.342 857	1
攻角 45° 温度 $450^\circ\text{C} (j=2)$	0.833 333	0.291 375	1
攻角 45° 温度 $650^\circ\text{C} (j=3)$	0.8	0.331 492	1
攻角 90° 温度 $300^\circ\text{C} (j=1)$	1	0.869 565	1
攻角 90° 温度 $450^\circ\text{C} (j=2)$	1	0.854 011	1
攻角 90° 温度 $650^\circ\text{C} (j=3)$	1	0.576 31	1

(3) 根据式(4)计算各指标的聚类权系数 $\eta_j (j=1, 2, 3, 4, 5, 6; k=1, 2, 3)$ 。表 4 给出了 6 个聚类指标对 3 个灰类的聚类权系数。

表 4 6 个聚类指标对 3 个灰类的聚类权系数

聚类指标 j	优 ($k=1$)	中 ($k=2$)	差 ($k=3$)
攻角 45° 温度 300°C	0.090 744	0.163 037	0.157 275
攻角 45° 温度 450°C	0.544 465	0.999 185	0.117 746
攻角 45° 温度 650°C	0.027 223	0.421 567	0.049 622
攻角 90° 温度 300°C	0.464 611	0.358 915	0.332 212
攻角 90° 温度 450°C	0.245 009	0.233 725	0.228 764
攻角 90° 温度 650°C	0.117 067	0.102 248	0.114 382

(4) 计算灰色变权类系数 σ_i^k 。其中 $\sigma_1 = \{0.964 16, 0.654 846, 1\}$, $\sigma_2 = \{0.997 405, 0.830 988, 0.999 159\}$, $\sigma_3 =$

欢迎网上投稿 www.pcachina.com 91

$\{0.896\ 481, 0.769\ 549, 0.899\ 159\}$, $\sigma_4 = \{0.812\ 34, 0.803\ 69, 0.891\ 24\}$, $\sigma_5 = \{0.891\ 397, 0.657\ 16, 0.897\ 477\}$, $\sigma_6 = \{1, 0.785\ 051, 0.999\ 159\}$ 。

(5) 确定纳米涂层的性能等级。最后得出 1# 属于优, 2# 与成熟产品 6# 属于中等, 样品 3#、4#、5# 属于差。

2.2 结果分析与讨论

以上的实验数据是取多次实验后的平均值, 如果随机选取其中的一组, 代入本文算法中, 发现评价结果不变, 说明使用灰色变权聚类法评价的结果是稳定的。将上述实例的评价结果应用到实际生产中, 事实证明 1# 涂层抗冲蚀是最优的, 2# 涂层与 6# 涂层性能相当, 3#、4#、5# 涂层性能最差, 很少使用。

本文基于灰色系统理论的基础, 建立了涂层抗冲蚀性能评估的灰色聚类数学模型。与传统的方法相比, 该模型实验的数据量可以很小, 一方面可以减少抗冲蚀实验的次数, 另一方面避免了因实验少、缺乏足够的数据而造成结论的片面性。从评估实践看, 评价过程更加合

理客观, 评价结果准确, 能有效克服人为因素的主观片面, 具有较强的说服力, 为生产提供了科学的依据, 具有重要的学术意义和工程应用价值。

参考文献

- [1] 王东生, 田宗军, 张少伍, 等. 因常规和纳米陶瓷等离子喷涂层抗冲蚀性能的对比[J]. 材料保护, 2011, 44(1): 67-70.
- [2] 刘思峰, 党耀国, 方志耕, 等. 灰色理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [3] 陈宝平, 唐建平, 高云鹏. 灰色聚类分析法在评价材料合理代用的应用[J]. 数学的实践与认识, 2012, 42(23): 117-122.
- [4] 魏琪, 崔明亮, 冯艳玲, 等. 新型高温冲蚀磨损试验方法研究[J]. 中国表面工程, 2010, 23(5): 17-22.

(收稿日期: 2013-09-21)

作者简介:

陈宝平, 女, 1970 年生, 硕士研究生, 副教授, 主要研究方向: 最优化理论与算法。