

文章编号: 1007-2829 (2005) 02-0025-04

## 泵用材料的腐蚀预测

张洪帅

(河北理工大学 机械工程学院, 河北 唐山 063009)

关键词: 泵用材料; 腐蚀预测; 灰色方程; 数学模型

摘要: 对 45# 钢、Cr26、Cr15Mo3、Ni60 等几种常见泵用材料在浓度为 10% 的 HCl 水浴恒温加热环境下进行耐腐蚀试验。用灰色 GM (1, 1) 模型、对腐蚀实验数据进行拟合和预测, 结果表明: 灰色 GM (1, 1) 模型对腐蚀数据有较好的拟合和预测精度, 且对数据有较好的适应性; 其中 45# 钢腐蚀速度最快, Cr26、Cr15Mo3 耐腐蚀性比较好, 而 Ni60 的耐腐蚀性最好。

中图分类号: TG 174. 2<sup>+</sup> 1 文献标识码: A

### 0 引言

在我国矿山、冶金、煤炭、建材、水利、电力等部门中, 广泛使用着各种渣浆泵, 它主要输送含有坚硬固体颗粒的液体介质; 工作条件极其恶劣, 这些介质有时又具有腐蚀性, 使得渣浆泵的过流部件的寿命大大降低。因此在选用材料时不得不考虑其耐腐蚀性。从而对渣浆泵主要结构材料的腐蚀寿命预测变得至关重要。腐蚀寿命预测的建模可有两种数学类型<sup>[1]</sup>: 一种是不考虑腐蚀机理, 只根据腐蚀数据, 用纯数学方法来建立腐蚀随时间变化的数学模型, 称为试验研究法建模<sup>[2]</sup>; 另一种是根据腐蚀机理, 结合数据处理建立腐蚀特征参数和腐蚀时间之间的数学模型, 称为分析法建模。目前在腐蚀预测的数学模型的研究中, 仍仅限于以概率和数理统计为主的一些常规的预测方法, 其中用得最多的是静态回归分析法。而一些较新的观测方法如模糊数学预测、灰色理论预测、动态数据建模等方法在该领域仅有较初步的应用甚至没有应用。这些较新的数据处理方法, 在其它一些学科都收到了良好的效果, 使得有理由预期它们在材料腐蚀预测中应用的良好前景<sup>[3]</sup>。本文基于试验研究法建模, 用灰色 GM (1, 1) 模型对腐蚀试验数据进行了拟合和预测。

### 1 建模原理

灰色理论是以灰色模块 (所谓模块是时间数列  $x(m)$  在时间数据平面上的连续曲线或逼近曲线与时间轴所围成的区域) 为基础, 以微分拟和法而建成的模型<sup>[4]</sup>。灰色预测主要包括: 灰色数列预测, 突变预测, 季节灾变预测, 拓扑预测, 残差辨识预测, 系统综合预测等<sup>[5]</sup>。灰色预测所用模型有 GM (1, 1), GM (0, h), GM (1, h), SCGM (1, 1), SCGM (1h)。本文使用 GM (1, 1) 模型。该模型是基于关联度收敛原理、生成数、灰导数、灰微分方程的基础上建立的模型。灰色 GM (1, 1) 模型建模机理严格说来是相对于一定的认识层次, 部分信息未知、部分信息已知的灰色系统是绝对的, 而白色与黑色系统是相对的<sup>[6]</sup>。材料在腐蚀的过程中受到多种环境因素的影响, 其中有许多因素的影响是不了解或不甚了解的, 是理所当然的灰色系统。根据 GM (1, 1) 可生成下面流程图<sup>[7]</sup>:

在 GM (1, 1) 模型建筑中, 对原始数列进行累加生成, 称第一次累加处理为 1—AGO。设原始数列为:

$$\{x^{(0)}\} = \{x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}\} \quad (1)$$

对原始数列进行一次累加得:

$$\begin{aligned} \{x^{(1)}\} &= \{x_1^{(1)}, x_2^{(1)}, \dots, x_n^{(1)}\} \\ &= \{x_1^{(0)}, x_1^{(1)} + x_2^{(0)}, \dots, x_{n-1}^{(1)} + x_n^{(0)}\} \end{aligned} \quad (2)$$

收稿日期: 2004-10-26

作者简介: 张洪帅 (1980-), 男, 河北衡水人, 河北理工大学机械工程学院硕士生。

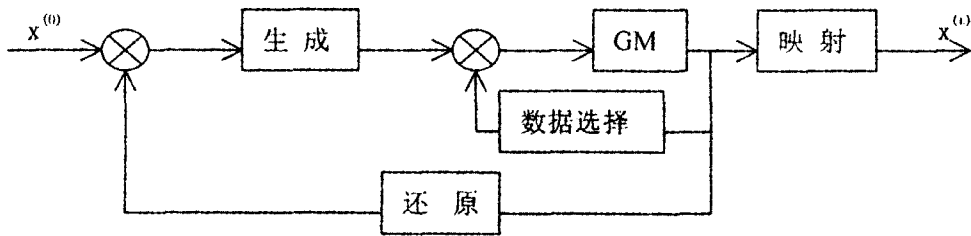


图 1 流程图

对  $\{x^{(1)}\}$  可建立以下微分方程:

$$\frac{d\{x^{(1)}\}}{dt} + a\{x^{(1)}\} = u\{1\} \quad (3)$$

利用微分方程表达其动态特性,构造矩阵、估计参数得到时间响应方程:

$$\hat{x}_{k+1}^{(1)} = \begin{bmatrix} x_1^{(0)} & -\frac{u}{a} \end{bmatrix} e^{-ak} + \frac{u}{a} \quad (4)$$

式中:  $x_1^{(0)}$  是原始数列中的第 1 个值  $\hat{x}_{k+1}^{(1)}$  是累加生成数列的第  $k+1$  个估计值;  $a$  称为发展系数,反映  $\hat{x}$  的发展态势;  $u$  称为灰作用量,它的大小反映数据的变化关系,在系统中相当于作用量。

$$\text{还原数列即可和是预测值: } \hat{x}_k^{(0)} = \hat{x}_{k+1}^{(1)} - \hat{x}_{k+1}^{(1)} \quad (5)$$

## 2 试验部分

### 2.1 试验材料

选用四种试验材料作分别是 45<sup>#</sup>、Cr26、Cr15Mo3、Ni60。它们都是常用的泵用材料。试样长为 45 mm,宽 30 mm,厚 5 mm 的长方体。

### 2.2 试验设备

试验采用电子恒温水浴槽、烘干箱各一台、精度为 1/1000 g 精密天平一台。

### 2.3 试验方法

(1)将试样用蒸馏水清洗,除去表面附着的粉尘后,再用 95% 的乙醇洗净,然后放在 105 ~ 110 的干燥箱内干燥 1 小时,取出后准确称量,精确到 1/10 000 g。

(2)向量杯加入浓度为 10% 的盐酸,然后将试样浸泡到盐酸溶液当中,腐蚀浸泡的试验温度为 50 ,用电子恒温水浴槽控温,控温精度在  $\pm 2$  。试样浸泡时间为 5 h。

(3)试验完成后,将试样取出放入蒸馏水中,用倾斜法反复洗涤,直到中性,再用 95% 乙醇洗净,放在 105 ~ 110 干燥箱内烘干。

材料的耐腐蚀性能用平均腐蚀失重和平均腐蚀率衡量。

$$G = \frac{G_1 - G_2}{S} \quad V = \frac{G_1 - G_2}{ST}$$

其中:

$G$  ——平均腐蚀失重;  $V$  ——平均腐蚀率;  $G_1$  ——腐蚀以前的质量;

$G_2$  ——腐蚀后的质量;  $S$  ——试块的表面积;  $T$  ——腐蚀时间。

### 2.4 试验结果

四种试样通过周期轮浸腐蚀试验,分别得到平均腐蚀失重和平均腐蚀率,见表 1 和表 2。

表 1 周期轮浸腐蚀试验所得平均腐蚀失重  $g/m^2$

时 间 试 样	5h	10h	15h	20h	35h	30h
45#钢	65.406 7	148.91 1	236.034 4	302.883 7	401.302 5	533.007 0
Cr26	22.336 3	6147 85	105.094 4	151.555 2	201.326 5	268.586 9
Cr15Mo3	17.077 8	56.325 2	95.066 2	148.379 3	202.689 2	236.598 6
Ni60	6.279 3	15.979 6	24.188 9	32.055 9	43.586 1	56.156 4

表 2 周期轮浸腐蚀试验所得平均腐蚀率  $g/m^2 h$

时 间 试 样	5h	10h	15h	20h	35h	30h
45#钢	13.081 3	14.849 1	15.068 9	15.144 2	16.052 1	17.766 9
Cr26	4.467. 3	6.149 9	7.006 3	7.577 8	8.053 1	8.952 9
Cr15Mo3	3.415 6	5.632 5	6.337 7	7.419 0	8.107 6	8.766 6
Ni60	1.255 9	1.598 0	1.6126	1.652 8	1.743 4	1.875 2

通过表 1、表 2 可以看出:在强酸的环境下,45#钢的平均失重及平均腐蚀率最严重, Cr26、Cr15Mo3 的耐腐蚀性能相当, Ni60 的耐腐蚀性能最好。

本试验针对每种试样共做了 6 次试验,在这里利用前 5 组数据建立数学模型,最后 1 组数据留作检验模型的精度。

(1)平均腐蚀失重的数学模型

根据前述的建模原理,分别对四种试样建立了平均腐蚀失重的 GM(1,1)模型。

45#钢:

$$\hat{x}_{(k+1)} = 491.470618e^{0.2908k} - 426.063918$$

Cr26:

$$\hat{x}_{(k+1)} = 196.513864e^{0.3227k} - 174.177564$$

Cr15M03:

$$\hat{x}_{(k+1)} = 164.018149e^{0.3487k} - 146.940349$$

Ni60:

$$\hat{x}_{(k+1)} = 51.604416e^{0.2925k} - 45.325116$$

GM(1,1)模型对平均腐蚀失重数据的拟合和预测见表 3。

表 3 GM(1,1)模型对平均腐蚀率数据的拟合和预测

45#		Cr26		Cr15M03		Ni60	
预测值	相对误差	预测值	相对误差	预测值	相对误差	预测值	相对误差
65.406 7	0%	22.336 3	0%	17.077 8	0%	6.279 3	0%
165.8495	- 11.689 8%	70.842 5	- 15.231 3%	64.432 4	- 14.393 3%	17.535 4	- 9.376 1%
221.816 1	6.023 8%	103.346 4	1.663 2%	96.983 8	- 2.017 1%	23.492 5	2.879 0%
296.669 9	- 2.051 5%	142.709 5	5.838 9%	137.447 9	7.367 2%	31.475 0	1.812 1%
396.782 2	1.139 2%	197.055 6	2.212 3%	194.794 5	3.894 9%	42.168 9	3.249%
530.678 7	0.438 7%	272.104 5	1.309 6%	276.067 3	- 4.730 1%	56.498 6	- 0.428 6%

(2)平均腐蚀率的数学模型

同理分别对四种金属试样建立平均腐蚀率数据的 GM(1,1)模型。

45#钢:

$$\hat{x}_{(k+1)} = 318.359784e^{0.0443k} - 305.278484$$

Cr26:

$$\hat{x}_{(k+1)} = 68.237755e^{0.0880k} - 63.770455$$

Cr15Mo3:

$$\hat{x}_{(k+1)} = 49.361059e^{0.1101k} - 45.945459$$

Ni60:

$$\hat{x}_{(k+1)} = 37.217244e^{0.0411k} - 35.961344$$

GM (1, 1)模型对平均腐蚀失重数据的拟合和预测见表 4。

表 3 GM (1, 1)模型对平均腐蚀失重数据的拟合和预测

45 <sup>#</sup>		cr26		Cr15Mo3		Ni60	
预测值	相对误差	预测值	相对误差	预测值	相对误差	预测值	相对误差
13.0813	0%	4.4673	0%	3.4156	0%	1.2559	0%
14.4074	2.9745%	6.2770	-2.099%	5.7472	-2.0364%	1.5597	2.3967%
15.0594	0.9291%	6.8545	2.1666%	6.4163	-1.2401%	1.6250	-0.7689%
15.7409	-3.940%	7.4850	1.2398%	7.1634	3.4452%	1.6931	-2.4382%
16.4532	-2.4987%	8.1735	-1.4951%	7.9975	1.3579%	1.7641	-1.1873%
17.1978	3.3091%	8.9254	0.3071%	8.9286	-1.6161%	1.8381	1.9784%

由表 3、表 4 可以看出 GM (1, 1)模型拟合的相对误差的绝对值基本上都在 10%以内,而模型预测的精度则在 5%的范围内,具有很高的预测精度,属于高精度的预测。

### 3 结论

(1)在强酸的环境下,Ni60的耐腐蚀性能最好,Cr26、Cr15Mo3的耐腐蚀性能相当,45<sup>#</sup>钢耐腐蚀性能最差。

(2)灰色(GM(1,1))模型对腐蚀数据有较好的拟合和预测精度,且对数据有较好的适应性,可以成功地预测泵用材料腐蚀情况。

#### 参考文献:

[1] McCuen R H, A irecht P. Composite modeling of atmosphere icorrosion penetration[A]. In: Cragnolino G, Sridha Ned. Application accelerated corrosion test to service life prediction of materials[C]. 1994. 65-101.

[2] 魏凤英,曹鸿兴.长期预测的数学模型及其应用[M].北京:气象出版社,1990.91-107.

[3] 程基伟,张琦.材料腐蚀预测数学模型的研究[J].航空学报,2000.Vol 21 No2.

[4] 邓聚龙,郭洪.灰预测原理与应用[M].台北:全华图书公司,1996.3-90-98.

[5] 邓聚龙.灰预测与灰决策[M].武汉:华中科技大学出版社,2000.71-130.

[6] Deng Juling Modelng for satisfactory non-equigan GM(1,1). The Journal of Grey System [J]. 1994(2): 75-86.

[7] Deng Julong A novel GM(1,1)model for non-equigap series The Journal of Grey System[J]. 1997(2): 111-116.

## The Corrosion Prediction of Materials of Pump

ZHANG Hong-shuai

(College of Mechanical Engineering, Hebei Polytechnic University, Tangshan Hebei 063009, China)

**Key words:** material of pump; corrosion prediction the gray equation; mathematica model

**Abstract:** The corrosion test to the materials(45<sup>#</sup>, Cr26, Cr15Mo3, Ni60) of pump is carried on under the constant temperature and waterbathing and 10% Hcl condition. In this paper, the gray theory GM (1, 1) model is established with the corrosion data obtained from the Hcl immersion test respectively. The result shows that the GM (1, 1) model has relative good prediction accuracy and flexibility. The corrosion speed of 45<sup>#</sup> is most fast. The corrosion capability of Cr26, Cr15Mo3 is better. The corrosion capability of Ni60 is the best.

