

# 利用 FCMs 技术推算金属在土壤中的腐蚀率

王远志<sup>1</sup>, 冯佃臣<sup>2</sup>, 宋义全<sup>2</sup>, 李涛<sup>2,3</sup>, 李晓刚<sup>3</sup>

1. 内蒙古科技大学 理学院, 包头 014010; 2. 内蒙古科技大学 材料与冶金学院, 包头 014010;  
3. 北京科技大学 腐蚀与防护中心, 北京 100083

**摘要:**将模糊认知技术(FCMs)应用于金属土壤腐蚀研究,利用 FCMs 的学习特性和简洁性,在实验室的模拟溶液对金属腐蚀数据的基础上,根据国家自然环境埋片试验的数据,推算出金属的土壤腐蚀速率,结果近似程度比较高。

**关键词:**FCMs 技术模型;相关系数;相对误差;腐蚀率

**中图分类号:**TG172.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-6495(2009)04-0420-03

## DEDUCTION OF CORROSION RATE OF METAL IN SOILS BY MEANS OF FCMs

WANG Yuan-zhi<sup>1</sup>, FENG Dian-chen<sup>2</sup>, SONG Yi-quan<sup>2</sup>, LI Tao<sup>2,3</sup>, LI Xiao-gang<sup>3</sup>

1. College of Science, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010;  
2. School of Material and Metallurgy, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010;  
3. Corrosion and Protection Center of University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083

**Abstract:** FCMs, which have characteristics of learning and concision, were applied to investigate the corrosion behavior of metals in soils. The corrosion rate of metals was deduced by the FCMs based on experimental data obtained from tests in simulated soils in lab, as well as corrosion data of metals in different soils offered by the national corrosion network. The result showed that the data estimated from FCMs is in consistent with the corrosion data of metals exposed in real soils.

**Keywords:** FCMs model; correlation coefficient; relative error; corrosion rate

金属的土壤腐蚀率在腐蚀问题研究中意义重大,然而我国地域辽阔,土壤成分各异且复杂,对金属造成腐蚀的因素很多.为获得我国各地区的土壤腐蚀数据,建国以来,国家组织相关的科研院所,进行了长达几十年的埋片试验,获得了大量、可靠的土壤腐蚀数据.本文以国家自然环境腐蚀网站的沈阳、深圳、大港、鹰潭、玉门和敦煌六个地区的 Q235 钢的土壤腐蚀埋片试验数据为基准,在实验室模拟加速试验数据的基础上,首次尝试利用 FCMs 技术,推算金属在土壤中的腐蚀率,推算的结果与实测数据的平均相对误差只有 11.52685%,而且相对误差的均方差仅为 2.80548.

## 1 FCMs 技术简介

### 1.1 FCMs 的结构

FCMs (A Fuzzy Cognitive Maps) 即模糊认知映射技术是 1986 年由 Kosko 在认知映射 (Axelrod, 1972) 基础上提出来的<sup>[1,2]</sup>.它一般用于决策、评价、分析和推断方面.

FCMs 是由一个网络图,即决策网络;以及用于推断的态势向量;影响矩阵和临界函数四个要素构成<sup>[2,3]</sup>.

其中决策网络为表明各决策因素之间相互关联关系的,节点为决策因素,若决策中两个决策因素之间有关联,则在该决策网络中将代表两个决策因素的节点,根据决策因素的相关关系和次序,用有向弧连接.弧上的权可为两个节点的相关系数,也可为弧起点对该弧终点的影响度.

影响矩阵  $W$  即为决策网络的权矩阵,其元素为相应因素之间的相关系数或影响度.

态势向量  $S$  是决策各因素当前态势为分量的向量.

临界函数也称为学习函数,通过临界函数的迭代运算,可得到最佳决策方案.我们说临界函数的每一次迭代,就是完成一次学习.临界函数一般有下列形式:

$$F(x) = \max\{lb, \min(1, x)\} \quad (1)$$

$$F(x) = \tanh(x) \quad (2)$$

$$F(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (3)$$

其中  $x = S^k \cdot W$ ,  $k$  表示第  $k$  次迭代.

### 1.2 FCMs 技术的基本原理

对于一个系统,首先构造一个决策网络:确定系统的所有关键因素,确立各因素之间的关系,构造网络图;计算各关键因素之间的相关系数或影响度,建立网络的影响矩阵  $W$ ;根据历史资料或当前情况分析,建立态势向量  $S$ ;根据问题的需要,选

收稿日期:2008-01-12 初稿;2008-03-20 修改稿

基金项目:国家自然科学基金项目(50461004);国家教育部“春晖计划”基础研究项目(Z2004-2-15022)

作者简介:王远志(1957-),男,硕士,副教授,从事数学和材料的腐蚀与防护方面的研究.

Tel:0472-5300395 E-mail: yuanyzhi\_8149@163.com

择合适的临界函数,这样就建立了一个 FCMs 模型。

在建立了 FCMs 模型后,就可以进行决策计算了,其算法为:

设  $F(x)$  为临界函数,作下列迭代运算

$$S^k = F[S^{k-1} \cdot W] \quad (4)$$

其中  $k$  为迭代次数,当态势向量中网络终点的计算值与期望值之差的绝对值满足误差要求时,或态势向量达到稳定时,则停止迭代,此时所得的态势向量即为最优方案。

计算也可以用简单迭代式进行

$$S^k = S^{k-1} \cdot W \quad (5)$$

## 2 推算金属在土壤中的腐蚀率的 FCMs 模型

对金属在土壤中的腐蚀率的 FCMs 模型,我们构造了一个很简单的网络(图 1)。

造成金属的土壤腐蚀因素很多,我们选择了土壤中对金属可能造成严重腐蚀的离子<sup>[4]</sup>  $Cl^-$ 、 $SO_4^{2-}$  以及  $HCO_3^-$ , 分别做 Q235 钢在这三种离子溶液中实验室模拟加速腐蚀试验,得出 Q235 钢分别在这三种离子溶液中的腐蚀率。以这三个数据为基础,同时考虑各地区土壤的理化性质中这三种离子与含水量之间的相关系数,用 FCMs 模型作 Q235 钢在各种土壤环境中的腐蚀率的推算。

推算腐蚀率的 FCMs 模型的其它要素:

初始态势向量

$$S^0 = (1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, V_k)$$

其中  $\lambda_2, \lambda_3$  和  $\lambda_4$  分别为  $Cl^-$ 、 $SO_4^{2-}$  和  $HCO_3^-$  在各地区土壤中的含量;

$V_k$  则表示当地的腐蚀率,初始值为 0。影响矩阵  $W$

$$W = \begin{pmatrix} 1 & r_{12} & r_{13} & r_{14} & r_{15} \\ 0 & 1 & 0 & 0 & v_{25} \\ 0 & 0 & 1 & 0 & v_{35} \\ 0 & 0 & 0 & 1 & v_{45} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

其中  $r_{1,j} (j=2,3,4,5)$  分别为沈阳等六地区的土壤含水量与土壤中  $Cl^-$ 、 $SO_4^{2-}$  和  $HCO_3^-$  三种离子含量(国家自然环境腐蚀网站数据,见表 1)的相关系数<sup>[5]</sup> 以及与 Q235 钢在土壤中的腐蚀率(历史资料)的相关系数,  $v_{i,5} (i=2,3,4)$  分别为  $Cl^-$ 、 $SO_4^{2-}$  和  $HCO_3^-$  三种离子对 Q235 钢腐蚀率,是实验室的模拟溶液腐蚀数据。

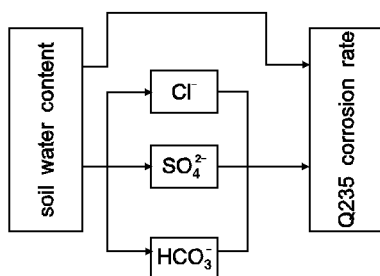


Fig. 1 Deduction of corrosion rate of metals in soils by FCMs

Table 1 Water content and concentration of  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $HCO_3^-$  in six kinds of soils

location	H <sub>2</sub> O, %	Cl <sup>-</sup> , %	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , %	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , %
SHY	29.8	0.0028	0.022	0.0013
SHZH	38.6	0.0007	0.012	0.0013
DG	31.6	1.41	0.14	0.026
YT	30.1	0.0007	0.0074	0.0008
YM	24.5	0.15	0.74	0.029
DH	32.9	0.24	0.92	0.036

Table 2 Corrosion rates measured by experiments and deducted by FCMs model

location	$V_{cal}$	$V_{corr}$	relative error
SHY	3.2541	3.4960	12.3970%
SHZH	2.0195	1.7325	16.5657%
DG	2.1742	2.4950	12.8577%
YT	1.9149	2.1150	9.4610%
YM	5.6338	5.2150	8.0307%
DH	6.6261	7.3500	9.8490%
mean relative error			11.52685%
standard deviation			2.80548

## 3 用 FCMs 模型推算金属在土壤中的腐蚀率

经过验算,直接使用向量与矩阵乘积的迭代计算效果比较好,一是计算简单,二是收敛速度快,三是精度也比较高。因此我们使用简单迭代式(5)进行推算:

$$S^k = S^{k-1} \cdot W \quad (6)$$

$k=1,2,\dots$  为迭代次数。

本文采用的收敛方式,用计算值与期望值的绝对误差最小为标准,即当态势向量中的腐蚀率计算值与当地 Q235 钢实测腐蚀率(国家自然环境腐蚀网站埋片试验结果)的绝对误差最小时,则停止计算,此时态势向量中的腐蚀率计算值即为当地金属在土壤中腐蚀率的推算值。

表 2 是分别对 Q235 钢在沈阳、深圳、大港、鹰潭、玉门和敦煌六个地区的腐蚀率的推算、六地区的实测腐蚀率及其相对误差。

## 4 推算结果分析

### 4.1 误差分析

由表 2 可见,对于实验室在模拟溶液中所得出的 Q235 的腐蚀数据,利用 FCMs 的推算腐蚀率的精度是比较高的。与沈阳、深圳、大港、鹰潭、玉门和敦煌六地区的平均腐蚀率比较,最大相对误差为 16.5657%,最小相对误差为 8.0307%,平均相对误差为 11.9893%。而且误差较为集中,均方误差仅为 2.8336。

分析认为:理论推算与实测之间有误差是正常的,由于土壤是一个成分极为复杂的混合物,不同地区土壤中所含元素的种类各有不同,甚至同一地区不同地点土壤中所含成分也有差别。土壤中所含的同种成分的浓度差异就更大,甚

至在同一地区不同点的埋片坑中,同种成分的浓度亦有差别.而且在实验室做模拟溶液腐蚀试验,只选择了有限的几种成分.对于用理论推算所产生的误差是不可避免的.

#### 4.2 FCMs 的要素选择

FCMs 结构简单,是一个二维网络.其要素关键是选择土壤腐蚀因素,本文只选择了土壤含水量与土壤中  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{HCO}_3^-$  四种对金属腐蚀性关键的因素.网络上的权值,根据历史资料使用各因素之间的相关系数.

FCMs 的计算也十分简单,本文只使用了最简单的态势向量与网络权矩阵的乘积迭代,计算的结果与实测的腐蚀率的误差远小于允许的误差.

### 5 结论

1. 模糊认知映射 FCMs 是最近才传入我国的一种较新的网络系统,特别是将 Agent 技术引入 FCMs 后,使得 FCMs 的应用范围更加广泛.

2. 本文是首次利用 FCMs 技术,通过土壤环境中极少的

几种关键因素所做的模拟溶液腐蚀数据,进行金属土壤腐蚀率推算的尝试,推算所得的腐蚀率极为接近实测的腐蚀率.其结果表明:使用 FCMs 技术,利用当地金属土壤腐蚀的关键因素,通过实验室模拟加速试验的数据,可以推算出金属在当地土壤中的腐蚀率近似值,其近似程度比较高.

#### 参考文献:

- [1] Kosko B. Fuzzy cognitive maps[J]. *Internat. J. Man-Mach. Studies*, 1986, 24:65.
- [2] Wojciech S, Lukasz K, Wilold P. Genetic learning of fuzzy cognitive maps[J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 2005, 153(3):371.
- [3] 于江涛, 钱积新. 基于模糊认知图的 Agent 推理模型[J]. *浙江大学学报(工学版)*, 2004, 38(6):687.
- [4] 李长荣, 屈祖玉, 汪轩义, 等. 土壤腐蚀性关键因素的评价与选取[J]. *北京科技大学学报*, 1996, 18(2):174.
- [5] 李长荣, 屈祖玉, 杨德均, 等. 土壤腐蚀性因素的聚类分析[J]. *中国腐蚀与防护学报*, 1994, 14(2):138.