

热浸镀锌层在中性盐雾试验中的寿命预测研究

胡大伟¹, 李国新², 荆红莉¹, 刘光秀¹, 李玉根¹

(1. 榆林学院建筑工程学院, 陕西 榆林 719000; 2. 西安建筑科技大学材料与矿资学院, 陕西 西安 710055)

摘 要: 通过对热浸镀锌层的中性盐雾试验过程和镀层厚度损耗量随时间变化的分析, 遴选出厚度损耗值作为主要影响指标, 采用有效的数据修约方式对累积数据进行分类整理, 在此基础上采用建立 BP 神经模拟网络的方式, 合理拟合出镀层厚度损耗值随盐雾时间变化的状态曲线, 从而预测出热浸镀锌镀层的理论使用寿命, 为热浸镀锌层的二次修复工作提供所需的时间点。通过模拟曲线可知, 热浸镀锌镀层厚度损耗值的变化经历了一个加速-平稳-再加速三个阶段。

关 键 词: 中性盐雾试验; 热浸镀锌层; BP 神经网络; 寿命预测

中图分类号: TG178

文献标识码: A

文章编号: 1671-0460 (2017) 08-1550-03

Research on the Life Prediction of the Hot-dip Galvanized Coating by the Neutral Salt Spray Test

HU Da-wei¹, LI Guo-xin², JING Hong-li¹, LIU Guang-xiu¹, LI Yu-gen¹

(1. Department of Architectural Engineering, Yulin University, Shaanxi Yulin 719000, China;

2. School of Materials and Minerals, Xi'an University of Architecture & Technology, Shaanxi Xi'an 710055, China)

Abstract: The neutral salt spray test process of hot dip galvanized layer was analyzed as well as the change of coating thickness loss quantity with time, thickness loss value was selected as the main influencing index, rounding off of effective data was used to accumulate data for sorting. With the method of establishing BP neural simulation network, state curve of coating thickness loss with salt spray time was fitted out, so theoretical service life of hot dip galvanized coating was predicted, which could provide the required time point for the secondary repair work of hot-dip galvanized layer. In addition, the simulation curve showed that the galvanized layer thickness loss value change experienced three stages of acceleration - smooth - reacceleration.

Keywords: The salt spray test; Hot-dip galvanized coating; BP neural network; Life prediction

在高压输变电的电力铁塔设计建造中, 通常采用热浸镀锌技术对电力铁塔构件的金属表面进行腐蚀防护处理。所谓的热镀锌技术是指将经过一系列前期处理后的金属制件浸入熔融的锌液中, 通过铁和锌之间的复杂反应, 在钢铁制件表面覆盖锌铁合金镀层, 从而保护钢铁基体的一种常用的金属腐蚀防护技术^[1-3]。镀锌层的使用寿命对钢铁金属基体的防腐性能具有重要的意义, 而镀锌层的使用寿命与镀层的厚度损耗量、环境条件等密切相关。本文作者对热浸镀锌层在中性盐雾试验中的性能做了大量的试验, 遴选出热浸镀锌厚度损耗值作为衡量热浸镀锌层寿命的决定性因素。

对中性盐雾试验中试验数据处理方式, 学术界提出了很多有效的方法。根据冯健等学者的研究成

果^[4], 认为厚度测试过程中数据的误差主要来源于以下三个方面, 第一是源于测量的重复性因素引入的不确定度, 第二是源于仪器的示值误差因素引入的不确定度, 第三是源于测量值的数据修约因素引入的不确定度, 而这三个方面的修约也决定了试验数据的准确程度。

此外, 目前业界对热浸镀锌镀层寿命采取的预测方式也不尽相同。但在材料寿命预测方面达成的共识是, 通常采用建立数值模拟模型的方式, 主要包括 BP 神经网络模型、概率分布模型、幂函数模型等^[5,6]。BP 神经网络是目前业内应用最广泛的一种人工神经网络, 它属于收敛型的数学模型, 对各种动态变化规律性较强的数据序列具有自适应性强, 较好的容错性、分布并行处理特点以及比较强的外

基金项目: 榆林学院博士、硕士科研启动基金项目 (14GK32); 陕西省教育厅专项科研计划项目。

收稿日期: 2017-06-06

作者简介: 胡大伟 (1980-), 男, 河南省方城县人, 讲师, 硕士, 2013 年毕业于西安建筑科技大学材料专业, 研究方向: 建筑材料性能研究。
E-mail: 149069309@qq.com。

推内插能力,此外该模型结构简单,工作状态稳定,易于通过计算机硬件实现^[7-10]。此模型属多层型人工神经网络,由输出层、输入层和数个隐层组成。在确定了数据网络的结构类型后,利用输出、输入样本集对模型进行训练,同时对网络闭值与权值进行学习,使数据网络实现既定的输入、输出映射关系。寿命预测实际就是用过去和现在的数据作为学习样本集,通过某种非线性或线性方式处理来建立模型,对目标变量的未来状态作出科学性的定量估计。采用 BP 神经网络来预测镀层腐蚀情况与镀层使用寿命,是在考虑各种腐蚀因素测定结果构成的原始样本集的基础上,通过 BP 神经网络的自主学习和调整,再对未来腐蚀情况进行预测,便可获得镀层的使用寿命。本文尝试在依据热浸镀锌镀层在中性盐雾试验中的各批次厚度损耗值的分析基础上,建立 BP 神经网络模型,用于预测热浸镀锌层的使用寿命,以期形成一套完整的用于预测热浸镀锌镀层寿命的分析方式。

本文旨在通过对热浸镀锌层在中性盐雾试验中的试验过程和试验数据的有效处理,在此基础之上,采用 BP 神经模拟网络技术合理拟合出热浸镀锌层的厚度损耗值随盐雾时间的变化曲线,从而预测出热浸镀锌层的理论使用寿命,为热浸镀锌试件的二次修复工作提供有效的修复时间。

1 试验部分

1.1 测试试验材料

热浸镀锌试件:为了使性能测试结果更具有代表性,试件由国内知名钢结构构件生产公司定制,生产过程采用标准的工艺流程,经厚度检测,本批次试件热浸镀锌镀层厚度在 $80\mu\text{m}$ 以上^[11];

氯化钠:化学分析纯,纯度 99.9%,国药集团化学试剂有限公司;

水:纯水,电导率低于 $20\mu\text{S}/\text{cm}$ 。

1.2 测试研究方法

依据国家标准《金属覆盖层 钢铁制件热浸镀锌层》(GB/T13912-2002),在符合环境条件的状况下,热浸镀锌镀层厚度采用磁性法进行测定^[12]。磁性法是一种非破坏性试验方法,通过专业的磁性测厚仪来测量永久磁铁和基体金属之间的磁引力,该磁引力受到覆盖层存在的影响,或者通过测量穿过覆盖层与基体金属的磁通路的磁阻来实现。测量时,为获得具有代表性的热浸镀锌镀层厚度,设置每块试件均匀设置 18 个测点,并用铅笔在试件表面给出相应位置,以便后期的厚度测量过程中测点位置准

确,测量区域的数量、测定位置根据构件形状和大小确定^[13]。

1.3 试验数据的获取

本试验共制作 80 个试件供盐雾试验试验,其尺寸 $150\text{mm}\times 50\text{mm}\times 5\text{mm}$,每块试件设置测点 18 个测点位置,测点位置如图 1。采用磁性测厚仪测试各测点的镀层厚度,例如编号 46 的测厚数据如表 1。

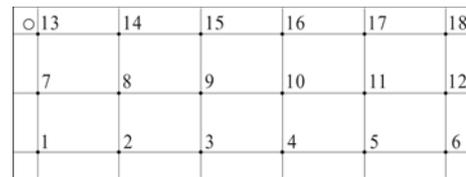


图 1 测点位置图

Fig.1 The measuring point location map

表 1 编号 46 试件各测点厚度数据 单位: μm
Table 1 Measuring point data of No. 46 specimens thickness μm

编号 厚度	编号 厚度	编号 厚度	编号 厚度
1	2	3	4
105.0	103.0	104.0	122.0
5	6	7	8
133.0	97.5	118.0	88.6
9	10	11	12
92.9	148.0	92.1	97.5
13	14	15	16
111.0	79.8	114.0	99.0
17	18		
97.8	118.0		

1.4 试验数据的修正

对实验数据的精准处理是一项繁杂又至关重要的工作,选择合理的厚度数据作为试件在经规定盐雾试验周期后的厚度代表值显得尤为重要。将经 500、1 000、1 500、2 000、2 500、3 000、3 500、4 000、4 500、5 000 和 5 500 h 盐雾时间后的试件经干燥处理后去除表面锈迹,采用磁性测厚仪测得相应测点的厚度值,与原始状态下的厚度值求差,确定出相应盐雾周期的镀层厚度损失量。根据学者的研究成果^[4],试验厚度测试过程中数据从以下三个方面进行修约:

(1)本试验厚度数据的采集通过确定固定位置的办法,避免了因重复性测量引入的误差,且测点位置均匀分布,能够代表试件表层镀锌层的厚度,因此主要考虑仪器示值误差和数据测量数据修约引入的不确定度。

(2)磁性测厚仪测定测点镀层厚度的误差主要源于仪器本身的精度,查询所使用的测厚仪检定证书可知,仪器示值最大允许误差 $\pm(1 + 0.01H)\mu\text{m}$,区间半宽度为 $a_s = (1 + 0.01H)\mu\text{m}$,包含因子

$K_s = \sqrt{3}$, 故引入标准不确定度为: $U_s(H) = (0.577 + \frac{0.01}{\sqrt{3}}H)\mu\text{m}$ 。对于所选数据, 测量厚度值的最大值 $H = 148.0\mu\text{m}$, 因此 $U_s(H) = (0.577 + \frac{0.01}{\sqrt{3}} \times 148.0)\mu\text{m} = 1.432\mu\text{m}$ 。

(3) 数据测量数据修约引入的不确定度则根据镀锌层数据修约规则, 其修约间隔为 0.1, 因此因数据修约引入的标准不确定度 $U_d(H) = \frac{0.1\mu\text{m}}{2\sqrt{3}} = 0.029\mu\text{m}$

依据前述因素导致的镀锌层测厚数据不确定度彼此独立, 则相对合成标准不确定度为:

$U_C = \sqrt{U_s(H)^2 + U_d(H)^2}$, 对于本例, 则 $U_C = \sqrt{1.432^2 + 0.029^2} = 1.43\mu\text{m}$, 由合成不确定度可确定其扩展不确定度: $U = kU_C = 2 \times 1.43 = 2.86\mu\text{m}$, 最终可确定该试件镀锌层厚度为 $H = (106.73 \pm 2.86)\mu\text{m}$ 。

采用上述方式, 对初始试件和经一定盐雾周期后的试件厚度数据进行相同的处理。

2 试验数据的分析和处理

盐雾试验数据的分析和处理通常采用 BP (Back Propagation) 模拟神经网络方法来进行。

依据对现有镀锌层试验数据的整理、分析和汇总, 采用 Matlab 软件对 0~5 500 h 间的镀锌层厚度损失值进行曲线拟合, 如图 2, 同时给出该拟合曲线的方程。

根据曲线走向及相关理论依据, 可获得相关曲线方程如下:

Linear model Poly3:

$$f(x) = p1*x^3 + p2*x^2 + p3*x + p4$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$p1 = 8.312e-10 \quad (-1.355e-10, 1.798e-09)$$

$$p2 = -1.064e-05 \quad (-1.874e-05, -2.541e-06)$$

$$p3 = 0.046 \quad (0.028 \ 27, 0.065 \ 59)$$

$$p4 = -6.82 \quad (-18.14, 4.505)$$

Goodness of fit:

SSE: 254.5

R-square: 0.960 5

Adjusted R-square: 0.945 7

RMSE: 5.64

根据此前获得的初始试件厚度数据, 当镀锌层的平均厚度 $H = (106.73 \pm 2.86)\mu\text{m}$ 被完全损耗, 可确定出所需的中性盐雾时间, 将平均厚度数值带入方程, 可获得该批热浸镀锌试件的在中性盐雾试验中

的预测寿命约为 7 811.78 h。

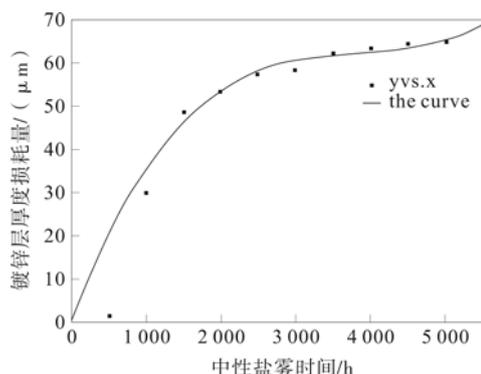


图2 镀锌层随中性盐雾试验厚度损失曲线
Fig.2 The hot-galvanized coating thickness loss curve during salt spray test

3 结论

本文通过对镀锌层在中性盐雾试验中的厚度损耗数据进行有效分析, 采用 BP 神经网络模型, 预测镀锌层的使用寿命, 从而得出以下结论:

(1) 热浸镀锌镀层的的使用寿命受到镀层厚度、环境因素等诸多因素, 剥离其余因素, 选择镀层厚度损耗值作为预测镀锌层使用寿命的主要因素;

(2) 对实验数据的精准处理是一项繁杂又至关重要的工作, 过程中产生的大量厚度数据采用三方面数据修约的方式有效而又具有针对性;

(3) 利用 BP 神经网络模型, 合理拟合出镀锌层厚度损耗值随时间变化的状态曲线, 并利用所确定的曲线方程进行镀锌层寿命预测;

(4) 从拟合的曲线可以得出, 镀锌层厚度损耗值的变化经历了一个加速-平稳-再加速三个阶段。

参考文献:

- [1] 邵大伟, 贺志荣, 张永宏, 等. 热浸镀锌技术的研究进展[J]. 材料热处理技术, 2012, 41(6): 100-103.
- [2] 谢秀英, 金鑫焱, 王利. 热浸镀锌铝镁镀层开发及应用进展[J]. 钢铁研究学报, 2017, 29(3): 167-174.
- [3] 贾利, 崔, 郑子云, 等. 镁合金表面; 冷喷涂纳米铝锌涂层及其腐蚀性能研究[J]. 热加工工艺, 2017, 46(2): 137-138.
- [4] 冯健, 孙丽娟. 热浸镀锌钢件镀锌层厚度测定的不确定度评定[J]. 农业开发与装备, 2015 (4): 52, 58.
- [5] 陈大华. 桥梁拉索钢丝模拟酸雨溶液中腐蚀行为研究及拉索寿命预测[D]. 重庆: 重庆大学, 2013: 11-13.
- [6] 郭晓军, 李光辉, 薛青. 系统建模原理和方法[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2003.
- [7] 潘庆先, 董红斌, 韩启龙, 等. 一种基于 BP 神经网络的属性重要性计算方法[J]. 中科学技术大学学报, 2017, 47 (1): 25-30.
- [8] 顾敏, 朱越平, 郑鑫, 张新超, 等. BP 神经网络在炼油污水回用于循环水系统中腐蚀率的预测[J]. 当代化工, 2014, 43 (11): 2358-2361.

(下转第 1555 页)

之间的关系曲线。从表 2 及图 2 中可以看出, 注入 2.12 PV 水时含水率达到 99.17%, 水驱采收率为 16.60%; 注入 0.31 PV 二元体系溶液后, 含水率下降至最低值 86.78%, 注入 0.6 PV 二元复合体系溶液后续水驱; 后续水驱含水率达到 99.86% 时, 总采收率为 26.88%, 二元驱阶段提高采收率为 10.22%。

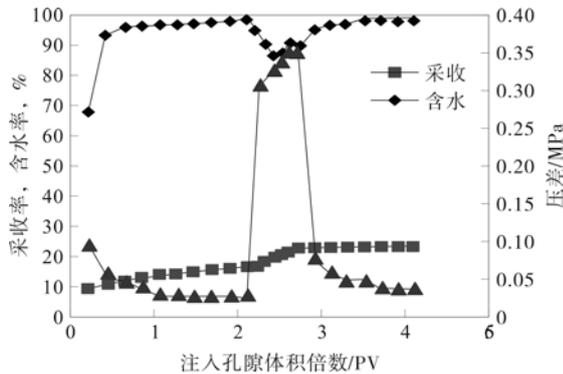


图 2 二元驱驱油曲线
Fig.2 Binary composite flooding curves

2.2 聚驱与二元驱对提高稠油采收率的影响

图 3 为聚合物驱、二元驱驱替压力、含水率、采收率与注入孔隙体积倍数之间的关系曲线。

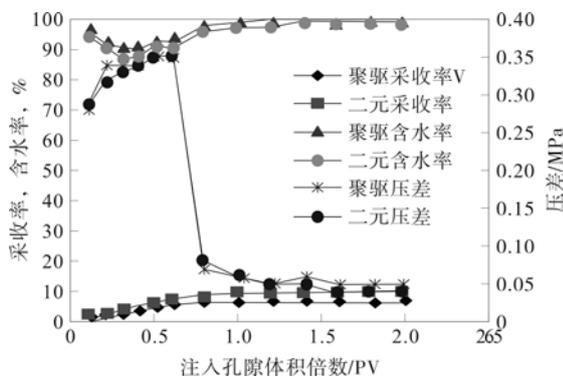


图 3 聚驱和二元驱驱油动态曲线
Fig.3 Polymer flooding and binary flooding dynamic curves

实验结果表明, 在聚合物用量相同, 注入孔隙

体积倍数相同情况下, 二元化学驱采出程度高于聚合物化学驱采出程度, 且在二元驱的驱油过程中含水率下降的最低值更低, 二元驱低于聚合物驱在驱油过程中的平均注入压力。

3 结论与建议

(1) 在聚合物用量相同、注入孔隙体积倍数相同情况下, 聚合物驱采收率提高了 7.04%, 二元驱阶段采收率提高了 10.22%, 二元驱驱油效果好于聚合物驱油效果。

(2) 二元驱的驱油过程中含水率下降的最低值更低, 二元驱低于聚合物驱在驱油过程中的平均注入压力。

参考文献:

- [1] 王友启, 周梅, 聂俊. 提高采收率技术应用状况及发展趋势[J]. 断块油气田, 2010, 17(5):628-631.
- [2] 崔正, 朱永东. 稠油油田化学驱提高采收率技术的研究进展[J]. 内蒙古石油化工, 2013(04):153-156.
- [3] 任芳祥, 孙洪军, 户昶昊. 辽河油田稠油开发技术与实践[J]. 特种油气藏, 2012, 19(1):1-8.
- [4] 王敬, 刘慧卿, 张颖. 常规稠油油藏聚合物驱适应性研究[J]. 特种油气藏, 2010, 17(6):75-77.
- [5] 周国华, 曹绪龙, 李秀兰等. 表面活性剂在胜利油田复合驱中的应用[J]. 精细石油化工进展, 2002, 3(2):5-9.
- [6] 李倩. 提高稠油采收率技术研究现状及发展趋势[J]. 广东化工, 2013(15):115-116+144.
- [7] Thomas S, FarouqAli SM, Scoular RJ, et al. Chemical methods for heavy oil recovery[J]. J Can Petrol technology, 2001, 40(3):99-103.
- [8] 裴海华, 张贵才, 葛际江等. 化学驱提高普通稠油采收率的研究进展[J]. 油田化学, 2010, 27(3):350-356.
- [9] 张娜. 断块稠油油藏热化学驱可行性分析[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2013(14):154.
- [10] 宫厚健. 有机碱复合驱提高稠油采收率研究[C]. 中国化学会. 中国化学会第十四届胶体与界面化学会议论文摘要集-第6分会: 胶体与界面化学技术、应用与产品, 中国化学会, 2013-02.
- [11] 胡江平, 孙德军. 稠油聚驱中聚合物溶液的最优浓度与最优段塞尺寸[J]. 水动力学研究与进展 A 辑, 2013(02):218-224.
- [12] 朱友益, 沈平平. 三次采油复合驱用表面活性剂合成、性能及应用[M]. 北京:石油工业出版社, 2002:165-203.
- [13] 崔丹丹. 聚/表二元驱注入方式对提高采收率影响研究[J]. 精细石油化工进展, 2016(02):46-47.

(上接第 1552 页)

- [9] 康军, 陈永强, 陈尚, 等. 基于加速试验方法的复合材料长期寿命预测[J]. 玻璃钢/复合材料, 2017, (3): 25-30.
- [10] 黎佳, 宁朝阳, 谢筱丽. 压力管道腐蚀速率与使用寿命预测方法[J]. 化工机械, 2017(1): 30-32.
- [11] 胡大伟. 输变电钢塔

- 究[D]. 陕西:西安建筑科技大学, 2013.
- [12] 聂仁志. 国内外中性盐雾试验标准方法差异分析[J]. 企业科技与发展, 2014(8): 38-40.
- [13] 江珍雅. 热浸镀锌镀层厚度的磁性法测量及结构判定[J]. 电镀与



医课汇 公众号 专业医疗器械资讯平台 WECHAT OF HLONGMED
hlongmed.com 医疗器械咨询服务 MEDICAL DEVICE CONSULTING SERVICES
医课培训平台 医疗器械任职培训 WEB TRAINING CENTER
医械宝 医疗器械知识平台 KNOWLEDG ECENTEROF MEDICAL DEVICE
MDCPP.COM 医械云专业平台 KNOWLEDG ECENTEROF MEDICAL DEVICE