

研究简报

锌湿法冶炼电解过程的神经网络 专家控制¹⁾

吴 敏 唐朝晖

(中南工业大学自动控制工程系 长沙 410083)

关键词 锌电解过程, 专家控制, 神经网络, 规则模型, 单回路控制.

EXPERT CONTROL USING NEURAL NETWORKS FOR AN ELECTROLYTIC ZINC PROCESS

WU Min TANG Zhao-Hui

(Department of Automatic Control Engineering, Central South University of Technology, Changsha 410083)

Key words Electrolytic zinc process, expert control, neural networks, rule models, single-loop control.

1 引言

电解过程锌湿法冶炼工艺的最后一步, 涉及到在电极间通过电流, 使硫酸锌电解液发生分解, 在阴极上析出金属锌^[1]. 控制的目标是尽可能多地从电极上析出高纯度的锌, 这就需要保持最优的电解条件, 并减少所消耗的电解电力. 控制的关键是决定和跟踪电解液中锌和硫酸的最优浓度, 同时提高电流效率. 由于电解过程的复杂性, 采用传统的控制方法很难达到理想的性能. 本文提出一种神经网络专家控制策略, 使用基于 BP 网络和规则模型的专家控制器及单回控制器, 实现了高质量和低成本的控制目标.

2 过程描述和专家控制思想

电解过程的主要设备是电解槽. 连续流入电解槽的电解液由新液和废液混合而成, 新液的流量通过调节 3 个水泵的速度来控制, 废液的流量几乎是固定的. 当电流通过电极时, 发生化学反应, 结果在阴极析出金属锌, 同时也产生硫酸, 电解后的一部分废液冷却后被循环送回电解过程^[1].

根据工艺和控制的要求, 电解液中锌和硫酸的浓度、氢离子与锌离子的浓度之比、电解液温度、电流密度和新液成份等影响电解条件的主要因素必须控制在给定范围内. 温度的控

1) 湖南省中青年科技基金(99JZY2079)资助项目.

收稿日期 1999-06-07 收修改稿日期 1999-10-08

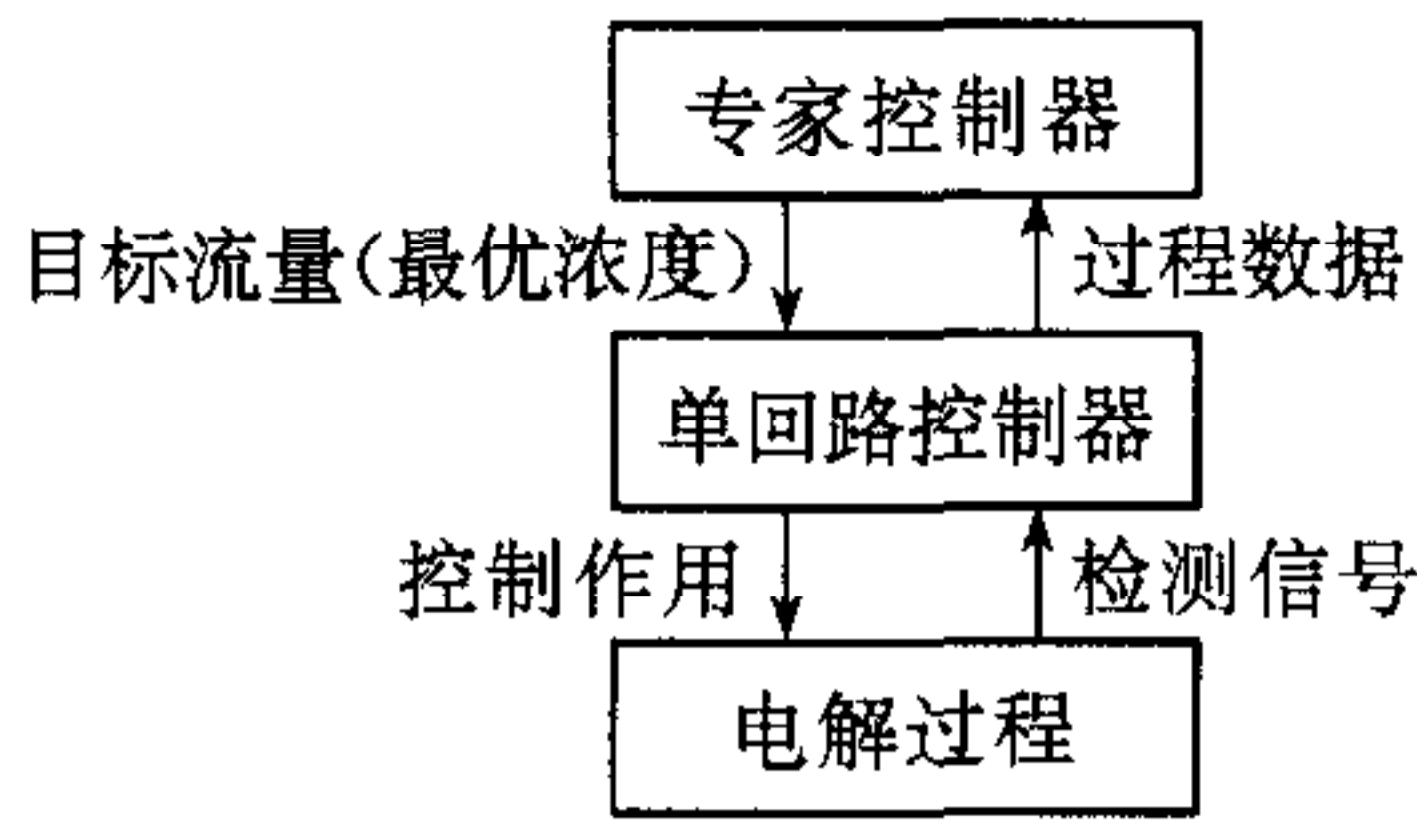


图 1 专家控制结构图

制通过冷却加入的废液来实现,电流密度和新液成份通过两个控制系统^[2,3]来控制,因此控制的主要参数是电解液中锌和硫酸的浓度.针对这一特点,本文提出的神经网络专家控制策略使用 1 个专家控制器和 3 个单回路控制器,采用如图 1 所示的结构.

由于电解液中锌和硫酸的浓度可以通过调节与废液混合的新液流量来改变,因此专家控制器除了用来决定锌和酸的最优浓度外,还计算新液的目标流量,它是基于 BP 网络和规则模型的前向推理策略来进行的,由工业控制计算机实现,目标是获得高纯度的锌和达到最大的电流效率.

单回路控制器利用 PI 控制算法跟踪新液的目标流量,由 761 系列单回路控制器实现,以确保锌和硫酸的实际浓度与最优值相匹配.761 控制器按组态好的算法对过程进行控制,通过 RS-485 接口与计算机通信,接受其控制,它与变频器、水泵和流量计组成控制回路,控制变频器调节泵的转速,实现对新液流量的控制.

3 神经网络和规则模型

电流效率主要受锌和硫酸的浓度、电解液温度和电流密度的影响,它们之间的复杂关系难以用机理数学模型来描述.本文把给定的电解液温度范围分为 4 段,分别建立 4 个 BP 网络来表达这种复杂关系.每个 BP 网络有输入层、隐层和输出层,分别有 3,9 和 1 个神经元.

在输入层,3 个神经元的输入是电流密度,锌和硫酸的浓度,用 x_I, x_Z 和 x_S 表示.在输出层,神经元的输出是电流效率,用 η_I 表示.每个 BP 网络的输入和输出关系描述为

$$\eta_I = \sum_{i=1}^9 w_{i,o} \text{tansig}(w_{i,I}x_I + w_{i,Z}x_Z + w_{i,S}x_S + b_i) + b_o, \quad (1)$$

其中 $w_{i,I}, w_{i,Z}$ 和 $w_{i,S}$ 是由输入层 3 个神经元到隐层第 i 个神经元的信号权值, b_i 是隐层第 i 个神经元的阈值, $w_{i,o}$ 是由隐层第 i 个神经元到输出层神经元的信号权值, b_o 是输出层神经元的阈值, $\text{tansig}(\cdot)$ 为 tan-sigmoid 传递函数^[4].

为了确定 BP 网络的权值和阈值,把过程的统计数据按电解液的温度分成 4 个集合,分别用于 4 个 BP 网络的学习,由一个基本的反向传播学习算法^[4,5]来实现.

由于电解液中锌和硫酸的浓度是通过调节新液的流量来控制的,因而它们之间存在着一种相互关系,这就使得难以仅仅用 4 个 BP 网络来决定锌和硫酸的最优浓度.为此,基于过程的经验知识,建立了过程的规则模型.

规则模型采用 If-Then 的形式,用于选择 BP 网络,决定锌和硫酸浓度的最优范围,在最优范围内选择锌浓度的初始值,在锌浓度的最优范围内调整的浓度等.

4 专家推理策略和实际运行结果

专家控制器把所建立的 BP 网络和规则模型有机地结合起来,采用专家系统的前向推理策略来决定电解液中锌和硫酸的最优浓度,以及相应新液的目标流量.这种专家推理策略是基于一个有效的经验方法来建立的,具体步骤如下:

- 1) 根据电解液温度, 启用规则模型选择相应的 BP 网络;
- 2) 基于电流密度, 利用 BP 网络计算电流效率, 决定锌和硫酸浓度的最优范围, 使电流效率达到最大;
- 3) 选择锌的浓度为其最优范围的中点, 计算这时对应的新液流量, 估计在按这个目标流量加入新液后电解液中硫酸的浓度;
- 4) 如果硫酸浓度的估计值在其最优范围内, 则把选择的锌浓度和估计的硫酸浓度作为最优浓度, 计算的新液流量作为目标流量;
- 5) 否则, 启用规则模型, 反复进行选择、计算和估计, 直到获得最优浓度和目标流量为止。

决定的最优浓度通过跟踪新液的目标流量来达到。运行结果如图 2 所示, 其中点线指出了给定的范围条件。当电解液温度、电流密度和新液成份达到允许范围时, 由专家控制器决定最优浓度, 由 761 控制器实现跟踪。这时, 可获得并保持最优的电解条件。很显然, 锌和硫酸的浓度以及氢离子与锌离子的浓度之比满足了给出的范围条件。

统计数据表明, 提出的专家控制策略不仅获得了高纯度的金属锌, 而且锌电解的电力消耗也明显降低。与过去的控制方法相比, 本文的运行结果使金属锌的纯度稳定在 99.9999%, 电流效率提高约 3.2%, 每吨金属锌的电力消耗降低为 2936kwh, 可节省约 200kwh, 被控制在 3000kwh 以内。

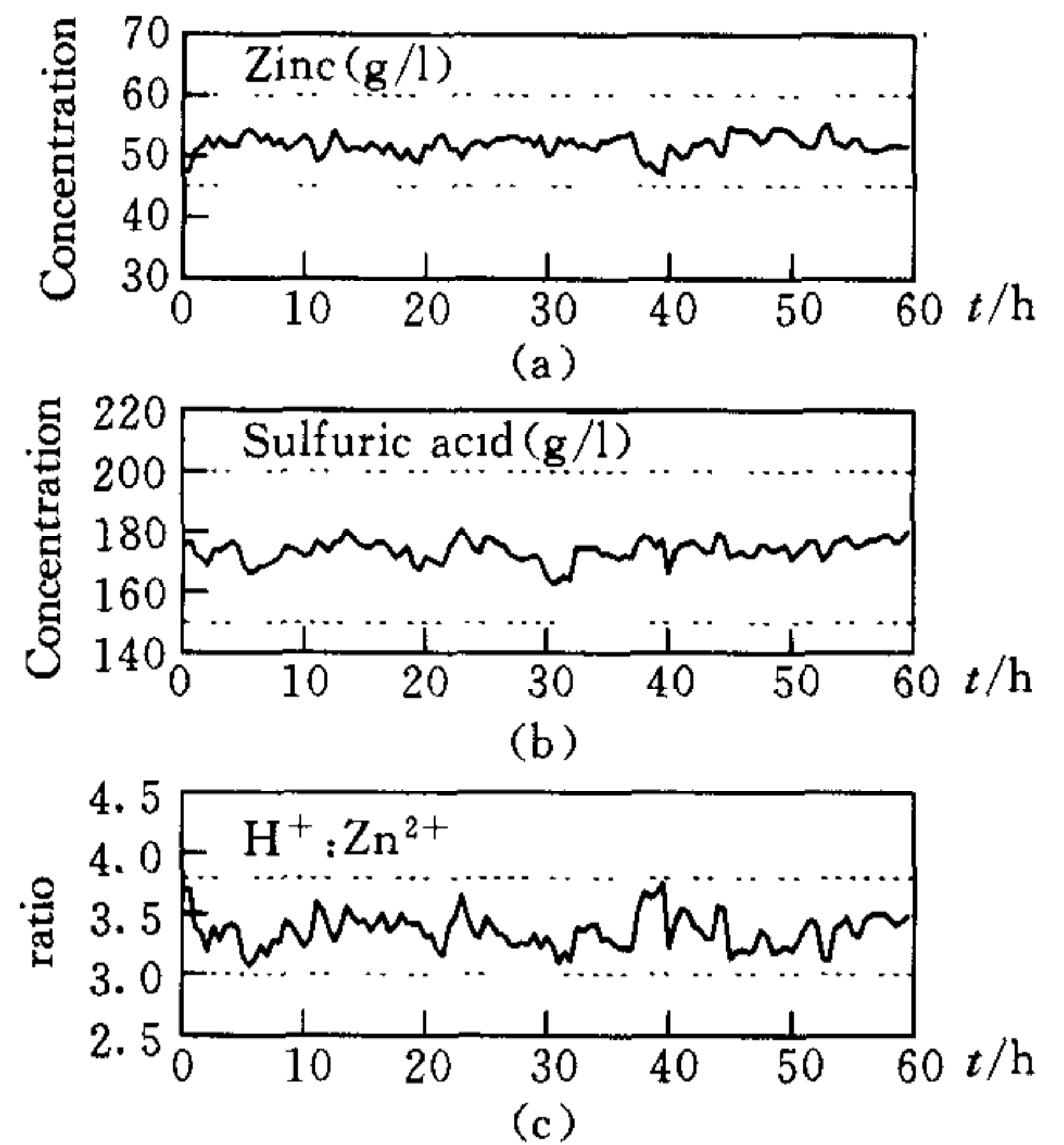


图 2 运行结果

5 结论

本文提出基于 BP 网络和规则模型的神经网络专家控制策略, 由专家控制器决定电解液中锌和硫酸的最优浓度以及相应新液的目标流量, 由单回路控制器跟踪目标流量, 可获得最优的电解条件, 不仅能提供高纯度的金属锌, 而且产生显著的经济效益。

参 考 文 献

- 1 株洲冶炼厂. 锌的湿法冶炼. 长沙: 湖南人民出版社, 1976
- 2 Wu M, Gui W H, Xie Y F *et al.* An expert control system for the purification process. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 1996, 6(2):125~131
- 3 Wu M, Shen D Y, Gui W H *et al.* A distributed computer energy management and control system. *Control Engineering Practice*, 1993, 1(3):469~478
- 4 Hagan M T, Demuth H B, Beale M H. *Neural Network Design*. Boston: PWS Publishing, 1996
- 5 Rumelhart D E, Hinton G E, Williams R J. Learning internal representations by error propagation. In: Rumelhart D E, McClelland J L, Eds. *Parallel Data Processing*. Cambridge: The MIT Press, 1986. 318~362

吴 敏 男, 1963 年生, 博士、教授、博士生导师。主要研究方向为工业过程集成控制技术、鲁棒控制的理论及应用、非线性控制和数字控制系统设计。

唐朝晖 男, 1965 年生, 讲师。主要研究方向为过程控制和鲁棒控制的理论及应用。