

智能控制在铝电解槽中的应用^①

崔衡, 谢刚, 陈书荣, 张雄飞

(昆明理工大学材料与冶金工程学院, 云南昆明 650093)

摘要 智能控制是一个新兴的学科领域. 本文论述了神经网络专家系统, 模糊控制和模糊专家系统等技术的原理以及在铝电解槽中应用的策略. 总结了上述系统的优缺点并提出铝电解槽采用模糊神经网络是其最佳选择.

关键词: 智能控制; 神经网络; 专家系统; 模糊控制; 铝电解槽

中图分类号: TP273+.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2001)06-101-05

0 前言

铝电解槽是炼铝的主要设备^[1], 其是否能稳定地进行生产, 直接关系到电流效率、电耗率以及原铝的质量等技术经济指标的好坏, 故铝电解槽控制效果的好坏在铝电解生产中至关重要.

铝电解槽是一个非线性、多变量耦合、时变和大时滞的工业过程体系^[2~4], 其自身内部复杂的物理化学变化、各种外界条件以及作业的干扰决定了电解槽运行过程中众多参数和变量的模糊不确定性和不可连续测定性. 尤其是生产过程中, 槽内物料平衡与能量平衡状态的不断变化及其相互影响和相互制约, 形成了复杂多变的槽况特征, 如热槽、冷槽、阳极病变和不稳定性槽等. 这给实际生产操作、槽况管理和维护以及过程监控带来了许多技术难题: 第一, 槽况种类多且时变, 人工难以判断槽况的变化趋势; 第二, 槽况信息多, 影响因素复杂, 人工难以定量准确地加以调整; 第三, 槽况易受外界条件干扰, 人工不易即时进行检测和调控; 第四, 槽况常表现出时滞或突变的特性, 人工调控慢且效果较差. 因此, 对于这样一个复杂的工业过程体系, 靠建立简化的数学模型要实现生产过程的最佳控制是很难的, 尤其是传统控制理论不能合理地模拟生产操作和管理人员长期积累的知识和实践经验, 进行槽况分析、判断、决策和调控电解槽的思维过程以及解决知识获取等技术难题, 因而造成了所开发的过程控制系统应用效果不明显, 适应性和灵活性差等不足.

随着工业过程智能控制理论的发展, 模糊控制、神经网络和专家系统智能控制技术的开发应用已得到了广泛关注并体现出巨大的应用前景. 本文简要的介绍这几种新技术在铝电解槽中的应用.

1 铝电解槽神经网络专家系统

这种系统利用神经网络的自学习、自适应、分布存储、联想记忆、并行处理^[5~7], 以及鲁棒性和容错性强等一系列特点, 用神经网络来实现专家系统的功能模块, 其基本结构如图1所示.

它的建造过程是: 先根据问题的规模, 构造一个神经网络, 再用专家提供的典型样本规则, 对网络进行训练, 然后利用学成的网络, 对输入数据进行处理, 便得到所期望的输出. 这种系统把知识库融入网络之中, 解决了知识获取的“瓶颈”问题和知识量与系统效率的矛盾, 而推理过程就是沿着网络的计算过程, 这种推理, 实际是一种并行推理. 下面介绍中南工业大学张泰山等开发的铝电解槽神经网络专家系统^[8].

铝电解槽神经网络专家系统的知识库为多层前馈神经网络, 知识处理支撑环境利用误差反向传播训练(BP)学习算法, 从许多训练实例中获得电解专家的诊断经验知识, 将这些知识分布存储在神经网络中, 知识库神经网络根据其中存储知识的用途不同分为两个神经网络子网: 槽况诊断子网(其中的知识主要用来确定槽状态)及处理决策子网(其中的知识主要用来根据槽况判断的结果得到对电解槽进行维护与处理

① 收稿日期: 2000-12-29; 基金项目: 云南省自然科学基金资助项目(96E005G);
第一作者简介: 崔衡, 男, 1978年1月生, 硕士; 主要研究方向: 计算冶金.

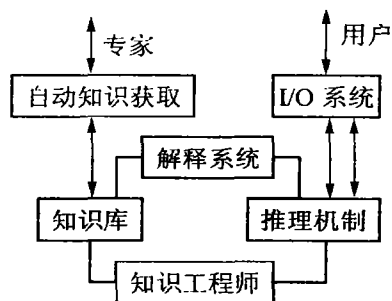


图1 神经网络专家系统的基本结构
的方案)。

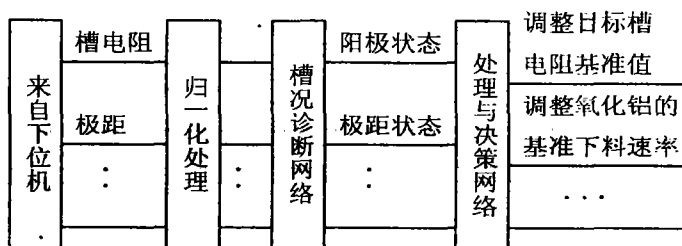


图2 网络结构

1.1 铝电解槽槽况诊断网络

网络结构框图如图2所示。它由四层前馈神经网络组成,即输入层、输出层、两个隐含层,各层次之间的神经元互连。输入层神经元输入有关的槽状态信息,如槽电阻,极距等。

当系统工作在离线技术咨询状态下,所有的信息均来自于键盘输入方式,当系统工作在实时查询状态时,有的信息来自于下位机实时采集的数据或由实时解析或仿真得到的数据,而有的要由键盘输入。输入层输入的信息不作任何处理,只是将其送入隐含层中与之相连的神经元;隐含层神经元是模仿人工神经网络计算过程而建立的,它用于把初始信息抽象到较高层次的概念上,使神经网络具有非线性分类的能力,它接收输入层送来的信息,经过处理后再传给下一隐含层(输出层);输出层神经元代表了有关槽状态。

1.2 处理决策网络

它的基本结构与槽况诊断网络相同,它的输入就是槽诊断子网的输出,分别代表了有关状态的调节方案,如调整目标槽电阻基准值,调整氧化铝的基准下料速率等。

1.3 控制效果

张泰山等开发的铝电解槽神经网络专家系统克服了常规专家系统知识获取的“瓶颈”,“窄台阶”以及“组合爆炸”等困难,提高了专家系统的智能水平,实时处理能力及鲁棒性,将它投入铝电解过程控制,可将电流效率提高5~7个百分点,大大地节约了能源,若将其用于10万吨规模的铝厂建设或老厂改造,预计年经济效益可达5000元以上,槽寿命也可出现在的1200d提高至1500~2000d,具有很强的推广应用价值^[8]。

2 氧化铝浓度模糊控制技术

对于自动下料而言^[9],氧化铝浓度的选择问题特别重要,因为它是在电解槽的若干固定部位上频繁地添加氧化铝。如果氧化铝浓度选择得当,电解便能够顺利进行,并获得优良的生产指标。电解槽电解质液中的氧化铝浓度受电解质的溶解性氧化铝的扩散速度和消耗速度等因素的影响,其变化机理复杂,过程具有非线性、多变量耦合、时变和大滞后等特点,故引入模糊控制技术。

贵阳铝镁设计研究院在贵州铝厂180kA大型预焙铝电解槽上所开发的氧化铝浓度模糊控制技术主要包括两个基本控制模型^[2]:一是氧化铝浓度的动态自寻优控制模型,可实现浓度模糊辨识,按需下料控制及下料器状态检测等功能;二是阳极效应自动预测与控制模型,可实现效应状态自动预测及其实时监控。

2.1 氧化铝浓度变化规律

他们通过研究找出了反映铝电解槽的电阻—浓度特征曲线随时间变化的动态变化规律性。图3为一组电阻—浓度特征曲线。

图3所示特征曲线组有如下主要特点:

(1)向低浓度区方向发展,曲线电阻斜率随浓度降低而增长很快,此时电流效率增高,但阳极效应趋势也增大,其中A为高效应区,B为效应危险区,C为效应可控区;

(2) 向高浓度区方向发展, 曲线电阻斜率随浓度高而增长较慢, 且有一饱和浓度范围; 曲线拐点处有一个非敏感区(D区), 此区斜率很小, E区为高浓度区, 此时电流效率也增高, 但容易产生槽内沉淀;

(3) 曲线随时(受槽况和工艺参数变化的影响等)会发生漂移, 造成电阻与浓度对应关系的不断变化, 尤其表现在效应了生前的浓度点及氧化铝的消耗速率的变化上, 即所谓特征曲线的动态变化规律.

2.2 浓度模糊辨识

由于电阻—浓度特征曲线随时间的漂移性将很难用线性方程或数学公式加以准确描述, 即漂移变化规律有较大的模糊不确定性. 因此, 应用模糊辨识的方法来识别槽内氧化铝浓度的变化状态更具有适应性且合理可靠. 为此, 他们研究开发了浓度过欠分析模型, 其基本原理如图4所示.

2.3 控制策略确定

控制策略的基本思想体现在4个方面:

(1) 通过过欠分析规则辨识氧化铝浓度的变化趋势, 采用NB自寻优的控制方法, 实现电解槽的按需下料;

(2) 通过阻差斜率规则综合判断阳极效应走势, 采用NB自调整的方法, 实现阳极效应的实时监控;

(3) 在不断寻求最佳NB(实际氧化铝消耗速率)和控制浓度波动范围的基础上, 通过不断过欠逼近低浓度区运行, 以获得较高的产铝效率, 同时阻止槽内沉淀发生;

(4) 通过过欠分析自动检测电解槽下料系统的运行状况好坏.

应用上述控制策略, 他们开发了“氧化铝浓度动态自寻优”模糊控制模型, 模型通过采用“过渡—正常—欠料—过料”四阶段循环的控制策略以及NB自寻优、AE自诊断等方法, 使浓度控制更适应电解槽的变化过程.

2.4 控制效果

该模糊控制系统于1996年8月正式投入试验与考核, 经过7个月的调试运行和生产试验考核, 说明该项技术在电解槽的氧化铝浓度控制及阳极效应实时监控等方面具有明显的效果^[2]:

(1) 氧化铝浓度控制的波动范围较小, 标准偏差平均0.05%, 并且浓度控制在低浓度区运行. 由此说明, 氧化铝浓度控制获得了在低浓度区运行的稳定控制效果;

(2) 4台180kA预焙铝电解槽的阳极效应系数在3个月的试验期内呈明显下降趋势, 进入考核期后, 效应系数已降到0.3以下, 其平均值约为0.23(次/台·d). 在考核期, 当系列电流波动小、下料器和供风系统较为正常时, 实际效应间隔最大可控制在10d内不发生效应, 即效应系数可达到0.1.

另外, 郑州轻金属研究院和冶金部自动化研究院也建立了一种氧化铝浓度模糊控制模型^[10], 他们采用美国GE90系列的Micro PLC作为主控制器, 结合专家模糊控制模型, 开发出的二级分布式铝电解槽智能模糊系统取得了令人满意的效果.

3 铝电解槽模糊专家系统

模糊专家系统主要特点是通过模糊推理解决问题的专家系统^[5]. 这种系统善于解决那些含有模糊性数据、信息或知识的复杂问题, 但也可以是通过把精确数据或信息模糊化, 然后通过模糊推理进行处理的复杂问题. 这里所说的模糊推理包括基于模糊规则的串行演绎推理和基于模糊集并行计算(即模糊关系合

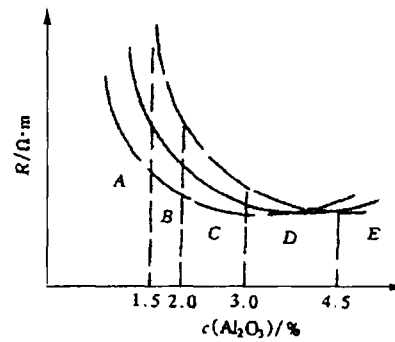


图3 表现电阻—浓度特征曲线

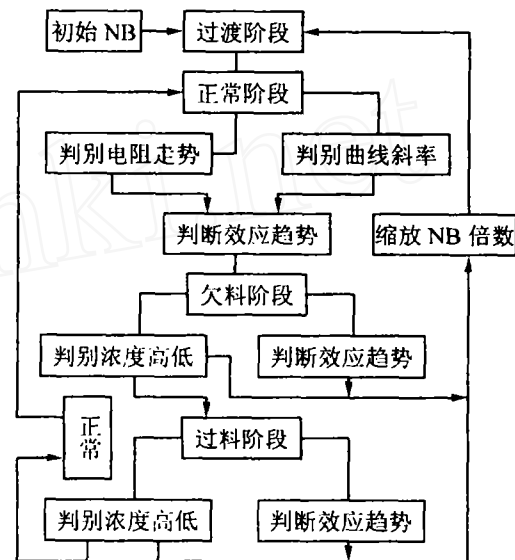


图4 浓度过欠分析模型基本原理

成)的推理.对于后一种模糊推理,其模糊关系矩阵也就相当于通常的知识库,模糊矩阵的运算方法也就相当于通常的推理机.模糊专家系统在控制领域非常有用,它现已发展成为智能控制的一个分支领域.其功能结构如图5所示.

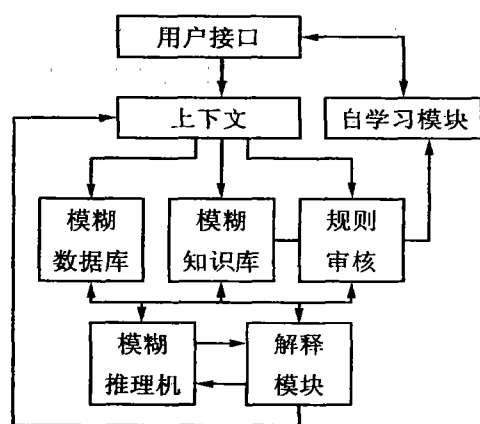


图5 模糊专家系统功能结构

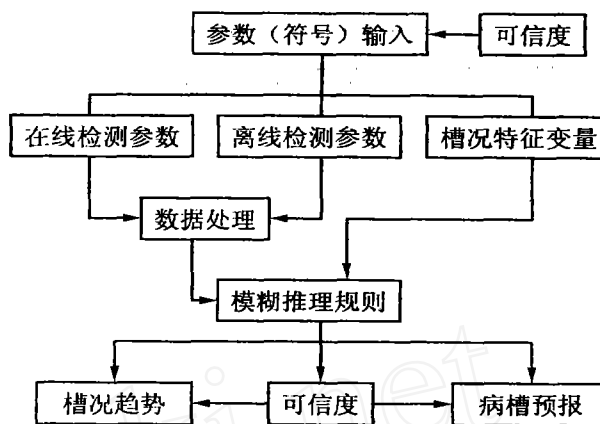


图6 槽况诊断与预报基本原理

3.1 槽况趋势辨识模型

槽况趋势直接反映了电解槽内物料因素与热因素及各种外界因素相互作用于电解槽运行过程的结果,是生产人员进行生产作业和维护槽况首先要解决的问题,也是成功开发专家决策与控制模型的关键.贵阳铝镁设计研究院开发出的铝电解槽槽况自诊断模型^[2],其基本原理如图6所示.

3.2 专家决策与控制模型

他们开发的铝电解槽模糊专家系统(ALEFSS)具有6大功能模块:槽况自诊断模块、设定电压自修正模块、氟化铝量寻优调整模块、时变参数自寻优模块、电流效率在线仿真模块和出铝量分析预测模块.各个功能模块的推理规则编制的具体步骤如下:

(1)模糊化处理:对于非符号的前件、中件及后件,需定义模糊集的取值范围和模糊子集(语言值)及各模糊子集的隶属函数.

(2)模糊规则表示:模糊推理规则的确定反映了建立专家决策与控制模型所采用的控制策略和思想,是模糊专家系统知识库的核心内容.规则表示采用规则带有可信度的表达形式.推理形式采用正向推理形式,每条推理规则可实现多维输入输出推理.

(3)模糊决策:模糊输出结果(模糊量)的精确化处理,采用面积重心(COG法).

3.3 控制效果

采用模糊专家系统,电解槽的病槽诊断成功率达到96.7%,产铝电流效率仿真误差小于0.8%,电解槽主要工艺参数走势分析说明其受控效果较好,槽况运行平稳,满足生产要求.

通过模糊控制技术和模糊专家系统等新技术在180kA预焙铝电解槽上的开发应用,该槽型的电流效率指标提高了两个百分点,直流电耗指标从原来的13594kWh/t(Al)降至13049kWh/t(Al),吨铝节电达545kWh.由于效应控制效果好,效应系数从原来的0.70以上明显地降低到0.23,其结果使电解槽平均电压的效应损耗部分降低了约70%,从而获得了节能的很大效果;另外,由于氟化铝添加采用了智能控制,使电解槽的分子比和电解温度也相应有明显降低,为实现低温低分子比的电解工艺制度创造了良好的条件^[2].

4 讨论

智能控制技术在铝电解中开发应用是一项质的技术突破,对电解槽实现了最优控制和智能诊断,对提高电效、增产节能的效果都很显著.但就各系统本身的控制原理来看,都存在着一些不足:在采用模糊控制

技术时, 最常用的是从专家或有经验的操作工人中获取口头和语言信息, 而且还要调整其隶属函数, 因此比较费时费事; 而采用神经网络技术时, 最常用的是从被训练或受控的系统中抽取信息, 系统需要大量的样本来训练, 也较费事. 前人研究发现^[5, 11], 模糊技术与神经网络存在某种等价和互补关系, 二者结合起来将拥有模糊系统和神经网络两方面的优点. 这样就可以构造神经模糊系统、模糊神经网络及模糊-神经混合系统, 应用到铝电解槽的过程控制中, 应起到更令人满意的效果.

随着科技的进步, 过程控制模型不断开发和优化, 加之采样的频率和精度不断提高, 铝电解槽智能控制系统将向实时和精确方向发展, 在铝电解生产中, 提高电效、降低能耗的作用将愈来愈显著.

参考文献:

- [1] 邱竹贤. 铝电解原理与应用[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1998. 8~16.
- [2] 席灿明. 模糊技术在铝电解过程控制中的开发应用[C]. 中国有色金属学会第三届学术会议论文集, 127~133.
- [3] T. Moen 等. 采用点式加料器的铝电解槽的自适应控制[J]. Light Metals 1985, 459~469.
- [4] 周铁托, 张建. 大中型预焙铝电解槽自适应控制过程的研究[J]. 轻金属, 1994, (2): 22~25.
- [5] 廉师友. 人工智能技术导论[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2000. 214~216.
- [6] 周济, 查建中, 肖人彬. 智能设计[M]. 北京: 高等教育出版社, 1998. 106~114.
- [7] 吴铁刚, 高阳, 单汨源. 人工神经网络专家系统的研究与展望[J]. 中国有色金属学报, 1996, 第6卷增刊1, 18~21.
- [8] 张泰山, 袁艳, 唐国华. 铝电解槽神经网络专家系统[J]. 中国有色金属学报, 1996, 第6卷增刊1, 87~90.
- [9] 邱竹贤. 铝电解[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1995. 251~255.
- [10] 张金平等. 新型铝电解槽控制系统[J]. 冶金自动化, 2000, 24(1): 12~14.
- [11] 孙增圻, 张再兴, 邓志东. 智能控制理论与技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 1997. 169~181, 209~216.

Application of Intelligent Control in Aluminium Cell

CUI Heng, XIE Gang, CHEN Shu-rong, ZHANG Xiong-fei

(The Faculty of Materials and Metallurgical Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract The intelligence control is a new study field. The principle of neural network expert system, fuzzy control and fuzzy expert system, and the application of them in aluminium cell are stated. The advantages and disadvantage of the three systems are summarized. That the fuzzy neural networks is the best choice of aluminium cell is proposed.

Key words: intelligent control; neural networks; expert system; fuzzy control; aluminium cell

(上接第 100 页)

参考文献:

- [1] 阎宗岭. 碾压堆石体物理力学特性及其稳定性研究[D]. [硕士学位论文]. 重庆: 重庆大学, 2000.
- [2] 杨大地等. 数值分析[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1998. 25~30.
- [3] 李小泉. 瀑布沟水电站黑马土料的最大干密度与最优含水量的关系[J]. 水电站设计, 1994, (12).

The Testing and Analysis of the Compactness of Rockfill

Yan Zong-ling¹, Xu Jian², Qiu Xian-de¹

(1. Resource and Environment Science College of Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. Chongqing Architecture Scientific Research Institute, Chongqing 400015, China)

Abstract As the main material in constructing compacted rockfill dam, the engineering properties of rockfill have a vital effect on dam's security. In this thesis, the factors affecting compactness of rockfill are analyzed comprehensively on the basis of field tests, which provides theoretical basis for design and construction.

Key words: rockfill; dry density; particle gradation; water content