

铝电解过程控制智能算法的研究

吴 军 中国铝业河南分公司电解厂(450041)

Abstract

Based on the full study of aluminum reduction process character, this paper described two ways of aluminum reduction process control including anode distance control and Al_2O_3 concentration control. And it introduced mainly the application and the effect of fuzzy control technology in Al_2O_3 concentration control.

Keywords: aluminum reduction, anode distance control, Al_2O_3 concentration control

摘 要

本文在充分研究铝电解过程特性的基础上描述了铝电解过程控制的两种方法:极距控制和氧化铝浓度控制,重点介绍了模糊控制技术在氧化铝浓度控制中的应用以及所取得的效果。

关键词: 铝电解, 极距控制, 氧化铝浓度控制

1 铝电解过程(被控对象)特性的研究

冰晶石-氧化铝熔融盐电解法炼铝是在称之为铝电解槽的反应容器内进行的,在强大的直流电流作用下,铝电解槽内发生着复杂的高温物理化学和电化学反应。由于铝电解槽内高温熔体的强腐蚀性,电解质中的氧化铝浓度、极距等重要的被控参数目前尚不能在线检测,能在线检测的信号只有槽电压和系列电流,所以能及时地反映电解槽状态变化的主要参数便只有由这两个信号采集值计算得到的表观槽电阻(简称槽电阻),即:

$$R(n) = \frac{V(n) - E}{I(n)}$$

其中: $R(n)$ —在 t_n 时刻的(表观)槽电阻; $V(n)$ —在 t_n 时刻的槽电压采样值; $I(n)$ —在 t_n 时刻的系列电流采样值; E —表观反电动势(设定常数)。

引起槽电阻变化的因素较多,但在正常槽况下氧化铝浓度和极距是两个主要的影响因素。大量的研究表明,氧化铝浓度(C)与槽电阻(R)有图 1 所示的定性关系。

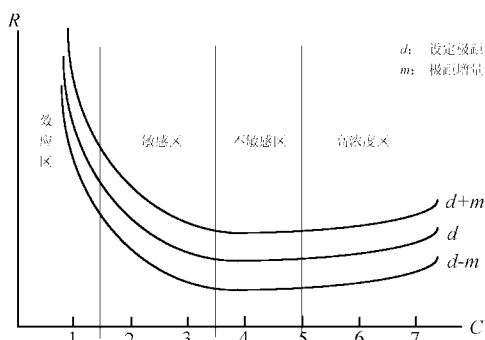


图 1 槽电阻(R)与氧化铝浓度(C)的定性关系

从 R - C 曲线上可以将氧化铝浓度的工作区划分为四个特征区域:

- 1) 高浓度区。电阻随浓度增高而缓慢上升,浓度容易饱和,并造成沉淀产生;
- 2) 不敏感区。电阻对浓度变化不敏感,不利于氧化铝浓度浓度的跟踪辨识;
- 3) 敏感区。浓度较低,电阻随浓度降低增长较快且相关性较强,此区浓度保持合理,且易于实施有效监控。
- 4) 效应区。电阻随浓度降低上升很快,易引发阳极效应。

对于过程控制而言, R - C 虽然有图 1 所示的特征关系,但是曲线的形状与位置会随极距、电流强度、电解质成份、槽膛形

状与大小、电解质高度和铝液高度等多种因素的变化而改变并受到出铝、换阳极等人工操作工序及其他人为因素的干扰,难以用确定的数学模型描述。

2 控制算法的研究

对于一些复杂被控对象(如氧化铝浓度),虽然无法建立定量的、完整的数学模型,但被控对象可测变量与不可测的控制变量之间所存在的可以“分辨”的对应关系却依然是过程控制的重要依据。另外,对于这类受控对象,依赖于严格的数学模型的传统控制理论不能取得良好的控制效果,而智能控制不需要被控对象的数学模型,能利用人的经验、知识采用人工智能控制决策实现复杂和不确定系统的高性能控制从而表现出它的最大的优越性。根据前面的铝电解过程特性的介绍我们知道:氧化铝浓度与槽电阻之间存在图 1 所示的对应关系(特征曲线),但是,该特征曲线的形状和位置具有时变特性。如何既能利用被控对象可测变量与不可测控制变量之间所存在的不精确、时变的对应关系来获得控制信息,又能利用领域专家的知识 and 经验进行控制决策是构造控制算法的基本思想。本研究针对铝电解过程控制的需要设计了一种基于系统在线智能辨识的变论域多模模糊专家控制器,其基本结构如图 2 所示。

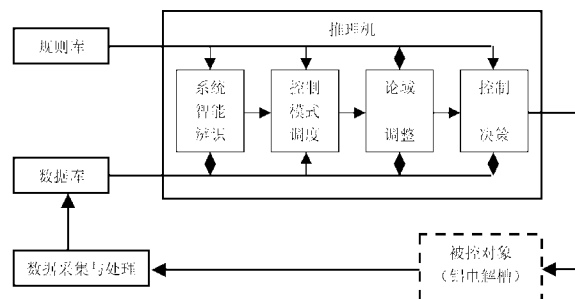


图 2 基于系统在线智能辨识的变论域多模模糊专家控制器结构图

该控制器虽然从形式上与常规模糊专家控制器类似,但显著的特点是它具有系统智能辨识、控制模式调度、论域自调整和控制决策四大功能。对于铝电解槽控制而言,控制器的主要控制变量是氧化铝浓度和极距;主要的输入变量是氧化铝下料速率和极距调整量。

2.1 极距控制

极距控制方法相对比较简单。其基本思想是,对全系列电解槽,根据实时采集的系列电流和槽电压计算得到各槽的槽电阻,并与设定的标准槽电阻进行比较,再根据比较的结果进行极距

的升降调整,通过将槽电阻控制在一定的非调节区域内达到维持基本正常的热平衡和极距的目的。这方面的工作开展较早,已有较准确的数学模型。

2.2 氧化铝浓度控制

氧化铝浓度控制是铝电解过程控制的核心部分,功能完备、强大。其基本思想是:

1)为了加强模糊专家控制器的特征辨识与信息处理能力,引入系统在线智能辨识的思想,即通过设计若干组可由模糊专家控制器智能调度的输入变量序列,使控制器在实施控制的同时,对被控对象施加“激励”,并通过模糊推理一方面分析可测变量与不可测的被控变量对应关系(特征曲线)的基本特征参数、工作点在特征曲线上的位置,另一方面进行控制参数(输入变量)的调整决策。

2)为了获得最佳控制效果,引入多模式控制的思想,即设计若干种控制模式,由模糊专家控制器依据在线智能辨识和工况分析结果自动选择最适宜的控制模式进行优化与控制决策。

3)为了使模糊专家控制器获得学习与适应能力,引入模糊变量论域自调整(即变论域)策略,即控制器依据在线智能辨识和工况分析结果自动调整模糊变量的论域,从而间接地实现对规则的修改,达到在线自动调整控制器的静态品质的目的。

氧化铝浓度控制策略涉及的内容很多,限于篇幅,以系统在线智能辨识和变论域策略为例介绍模糊控制技术在氧化铝浓度控制中的应用情况。

3 系统在线智能辨识原理的应用

3.1 描述可测变量与不可测控制变量之间关系的模糊语言变量

对于氧化铝浓度的控制,最重要的是“辨识”氧化铝浓度与槽电阻的对应关系曲线(图1所示的“凹形”特征曲线)的形状特征和位置以及当前工作点(氧化铝浓度)在特征曲线上所处的位置。为此,定义两个模糊语言变量来分别描绘曲线的形状特征和位置,并定义一个模糊语言变量(氧化铝浓度)来表示工作点的位置:

曲线的“平坦度”,用“负大”至“正大”之间的语言值描述。“负大”代表曲线很平坦,“正大”代表曲线很陡峭。

曲线的极小值点大小,用“负大”至“正大”之间的语言值描述,“负大”代表极值点处于很低的氧化铝浓度位置,“正大”代表极值点处于很高的氧化铝浓度位置。

工作点(氧化铝浓度)的高低:用“负大”至“正大”之间的语言值描述。“负大”代表工作点位于极值点很左侧的位置(浓度很低),“正大”代表工作点位于极值点很右侧的位置(浓度很高)。

3.2 “激励”信号序列的设计

为了对描述可测变量与控制变量之间关系的模糊语言变量值进行“辨识”,特设计若干组可由控制器智能调度的输入变量序列。输入变量是下料间隔时间(即下料速率),用“欠量(-a),正常(0),过量(+a)三种基本的下料速率来组合。组合方式的关键是:既能满足对系统充分激励的要求,又能满足对电解槽浓度控制的平稳性和精度的要求,因此需提供若干组激励信号序列和激励强度(即欠量、过量的程度),由控制器根据智能辨识结果及“事件记录”选择一组最适宜的激励信号序列和最佳激励强度。

3.3 在线智能辨识

控制器通过模糊推理分析被控对象对特定输入序列的“响应”,确定当前的特征曲线的平坦度和极值点位置(语言值),以及当前工作点在特征曲线上所处的位置(语言值)。须指出的是,由于在正常控制的情况下,不需要也不能大范围搜寻极值点,因此控制器只是依据“推测”或者“抓住一切可能的机会”(例如更换阳极等人工作业可能造成了高氧化铝浓度)来分析极值

点的位置。

为了便于其后的决策过程应用,控制器根据特征曲线的平坦度和极值点位置的辨识结果将曲线分为若干种类型,如类型1,类型2,...类型n。

4 模糊变量论域自调整(变论域)策略

由于电解槽,尤其是设计较差的电解槽具有非线性、时变的特性,要求控制器具有自调整和自我学习能力。在这一方面,没有采用常规专家控制器的直接修改规则的做法,而是采用了“论域自调整算法”。与控制模式选择的自决策方式相类似,控制器依据下列几个方面的因素来决策是否对某一(或某些)模糊变量的论域进行调整:

特征曲线类型、工作点在特征曲线上的位置的辨识结果;

当前的控制模式;

其他反映槽况明显变化的信息;

下面以下料控制中有关变论域策略的实例来说明。

1)以推理机根据下料控制模式的转变调整论域为例,当下料控制模式从浓度校验模式转入常态下料模式时,可认为氧化铝浓度已经进入了设定的低浓度工作区,为了精细地控制氧化铝浓度稳定在最佳工作点附近,可适当缩小氧化铝浓度工作区,为此推理机调整一些模糊变量所对应的精确值的论域——例如,增大槽电阻斜率的精确值的论域的下限,减小其上限,实际上通过增大量化因子 k 缩小了槽电阻精确值的论域,使精确值对应的量化值增大,此过程如图3所示。用同样方法可缩小下料速率的精确值论域,以达到根据槽电阻斜率等变量的较小变化而细微地调整下料速率的目的。

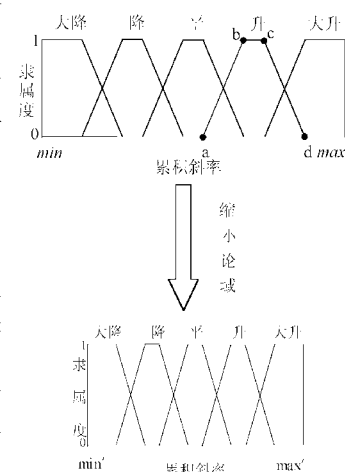


图3 槽电阻累积斜率论域调整示意图

2)以控制器根据工作点辨识结果调整论域为例,如果确认氧化铝浓度工作点进入了理想工作区间,但近期波动范围较大,为了提高控制的精度和稳定性,可缩小槽电阻累积斜率的论域,使槽电阻累积斜率精确值对应的量化值增大,以同样的方式可以缩小下料速率的论域,以达到根据槽电阻累积斜率等变量的较小变化而细微地调整下料速率的目的。例如,如果原论域为 $[-20, 20]$,当“欠量下料”阶段的实测电阻累积斜率为10,模糊化后认为该阶段是“中升”(模糊子集,下同),而当论域调整为 $[-15, 15]$ 时,实测电阻累积斜率为10会被认为是“大升”。这样,同样的输入,不同的论域,会触发不同的规则。

5 结束语

本文首次提出了一种综合应用系统在线智能辨识、多控制模式与自决策机制以及变论域技术的新型模糊控制方法,解决了其他控制方法对电解槽设计、装备、原材料质量及运行环境要求高,控制过程容易发散等难题,实现了对铝电解槽氧化铝浓度等重要工艺参数的稳定与可靠控制。

参考文献

- 冯冬青,等编著.模糊智能控制.北京:化工工业出版社,1998
- 张乃尧,阎平凡编著.神经网络与模糊控制.北京:清华大学出版社,1998

[收稿日期:2003.12.17]