

基于粗糙集理论的除氧系统智能控制器设计

曲延滨, 张 扬

(哈尔滨工业大学(威海)信息科学与工程学院, 山东 威海 264209)

摘 要: 阐述了除氧系统智能控制器的控制策略以及知识库的建立, 以粗糙集理论为基础, 对冗余属性进行了约简, 从而获得最简知识库。给出了利用粗糙集理论建立知识库、设计智能控制器的方法。本文设计的智能控制器应用在某炼油厂动力站除氧系统改造中, 实际运行表明, 该控制器能够保证系统在启动过程、投切过程稳定运行, 并且保证了除氧系统运行指标。

关 键 词: 除氧系统; 智能控制; 专家系统; 粗糙集

中图分类号: TP182 文献标识码: A

1 前 言

热力除氧是一个较为复杂的过程, 除氧系统由 4 台除氧器组成, 每台除氧器都通过汽平衡和水平衡与其它除氧器相连。各除氧器之间的压力、水位相互影响, 因而除氧系统控制难度较大, 系统的鲁棒性差。系统运行中经常产生振荡, 出现各除氧器水位此高彼低反复变化, 同时压力也不稳定, 除氧指标得不到保证^[1]。

粗糙集理论的基本思想就是在保持原有决策表的分类与决策能力不变的前提下, 运用约简的方法把原来数据表中冗余的数据消去, 得到一个约简, 然后从这个约简中提取决策规则。根据粗糙集理论的方法, 决策分析就是给定知识表达系统的条件属性和决策属性, 求出最小决策算法^[2]。

根据锅炉用水量的不同, 除氧系统同时有 1~3 台除氧器投入工作, 除氧系统有 6 个输入量、6 个输出量, 如果采用模糊控制器, 其模糊控制规则将呈爆炸式增长, 且靠人工总结其控制规则, 几乎是不可能的。本文将智能控制应用于除氧系统控制中, 给出了基于专家系统的除氧系统智能控制器的设计方法, 根据现场实际调试过程及对除氧系统工作原理分析, 确定控制规则知识库, 设计了智能控制推理机, 保证了除氧系统的稳定运行, 并解决了除氧系统

启动、除氧器投切易产生振荡的问题。

2 基于粗糙集理论的专家控制系统

2.1 专家控制系统

专家控制系统应用人工智能技术和计算机技术, 根据某领域一个或多个专家提供的知识和经验, 进行推理和判断, 模拟人类专家的决策过程, 以便解决那些需要人类专家才能处理好的复杂问题。专家系统的基本功能取决于它所含有的知识, 因此, 有时也把专家系统看成为基于知识的系统。专家系统的主要组成部分包括: (1) 知识库; (2) 推理机; (3) 解释器。

2.2 基于粗糙集理论的知识处理方法

专家控制系统的基础是知识库, 知识库存放着控制过程的领域知识。建立知识库的主要是如何获取知识及如何表达已获取的知识, 而粗糙集理论能够有效地处理不完整、不确定知识的表达和推理^[3]。

基于粗糙集理论的知识过滤器, 利用粗糙集理论中依赖度的概念, 对知识进行评价和分类, 在新收集的知识输入到知识库之前对知识进行过滤, 以保证知识的一致性。在知识库构造阶段引入知识重构机制, 对原知识库进行精简和重构。知识重构过程主要由 3 个部分组成: 首先是初步的冗余条件属性项约简过程, 该过程利用粗糙集理论的约简算法, 剔除不重要的知识; 然后是属性值空间重构过程; 最后再进行一次冗余条件属性项约简, 根据得到的简化条件属性集重新确定属性项的划分, 从而得到最终的精炼知识库^[4]。

3 除氧系统智能控制器设计

当有多台除氧器同时工作时, 由于除氧器之间

收稿日期: 2006—02—22; 修订日期: 2006—05—31

作者简介: 曲延滨(1961—), 男, 山东牟平人, 哈尔滨工业大学(威海)教授, 博士。

©1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

通过汽平衡管、水平衡管相连,因而各除氧器之间的压力和水位相互影响。一台除氧器的压力和水位变化,要引起其它除氧器的压力和水位的变化,尤其当一台除氧器投入工作并入除氧系统时,会对已经稳定工作的除氧器产生很大的影响,有时会引起整个系统的振荡,使得系统不能正常工作。根据现场观察将人工控制经验总结,利用粗糙集理论,对人工控制规则进行约简,得到最简控制规则库,设计智能控制器,用于控制和协调各除氧器之间的工作,保证系统稳定运行。

3.1 除氧系统控制规则库的建立

3.1.1 除氧系统专家控制系统的控制策略

由于除氧器内热力除氧过程遵守能量守恒定律,所以当进水阀门开度增大时,由于进水量增加,导致除氧器内温度下降而引起压力下降;同理,当进水阀门开度减小时,由于进水量减小,导致除氧器内温度上升而引起压力增加。为防止压力波动,在人工调节时,在进水阀门开度增加的同时增加进汽阀门的开度,进汽阀门的开度增加量与进水阀门的增加量成正比,随着时间的增长,进水量增加对压力的影响逐渐消失,进汽阀门的开度应恢复至正常的开度。

智能控制系统利用存储在计算机内关于除氧系统控制的专家知识和模拟人类推理来监视和控制各除氧器的运行状态,使系统实现平稳运行。

3.1.2 知识获取

知识和推理是专家系统的核心,采用产生式规则表示法,其优点是表达方式简单,易理解,规则具有独立性,且包含的知识量少,容易修改扩充,其形式为:

if 条件 1 and 条件 2……and 条件 N
then 结论或动作。

3.1.3 知识库的构建

知识库是实现系统智能化运行的技术关键,它用以存放除氧过程控制的经验、调试过程的知识总结,知识库分为事实知识库和规则库。以水位控制为例给出知识库的建立过程。

水位控制事实知识库的事实实例:

影响除氧器水位变化的因素:(1) 进水阀门的开度变化;(2) 用水量的变化;(3) 除氧器压力的变化;(4) 相邻除氧器的水位变化。

规则库的控制规则实例:

除氧器水位控制:(1) 进汽阀门的开度变化造

成除氧器水位波动,应及时根据进汽阀门的开度大小,确定进水阀门的开度大小;(2) 相邻除氧器的水位变化引起本除氧器的水位变化,应根据各除氧器水位的差值,确定调整进水阀门开度大小。

规则库的构造模拟了专家和操作者们进行信息融合和状态估计的思路,可以快速地得出结论,产生控制动作。

3.1.4 推理机

推理机的主要任务是在问题求解过程中适时地决定知识的选择和运用,其推理是根据一定的规则从已知的事实推出新的事实的思维过程。本文采用了规则库引导下的正向推理机制,它模拟人类专家思维进行推理。

3.1.5 除氧系统智能控制知识库

除氧系统最多有 3 台除氧器同时工作,因此只须分别考虑 1、2、3 台除氧器工作即可。下面以 3 台除氧器同时工作,考虑受其它两台除氧器影响较为严重的中间的除氧器的水位控制为例,列写出在总结人工控制经验和实际控制过程的专家知识库,表 1 为水位控制决策表。

表 1 除氧器水位控制决策表

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>D</i>		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>D</i>
1	1	1	1	1	2	9	3	3	3	3	3
2	1	1	1	3	2	10	1	2	1	1	1
3	1	1	3	3	2	11	1	2	3	3	2
4	1	3	1	1	1	12	3	2	1	1	1
5	1	3	1	3	2	13	3	2	3	3	2
6	1	3	3	3	2	14	2	2	1	1	2
7	3	3	1	1	2	15	2	2	3	3	2
8	3	3	1	3	2						

表 1 中:*a*—相邻左除氧器水位与本除氧器水位的关系;*b*—相邻右除氧器水位与本除氧器水位的关系;*c*—相邻左除氧器压力与本除氧器压力的关系;*d*—相邻右除氧器压力与本除氧器压力的关系;*D*—除氧器进水阀门变化量。*a*、*b*、*c*、*d* 是条件属性,*D* 是决策属性。令:

$$a、b、c、d = \begin{cases} 1 & \text{表示大于} \\ 2 & \text{表示等于} \\ 3 & \text{表示小于} \end{cases}$$

$$D = \begin{cases} 1 & \text{表示加大} \\ 2 & \text{表示不变} \\ 3 & \text{表示减少} \end{cases}$$

3.2 规则约简

专家系统多采用基于规则、基于事例、基于数据库等的模式, 而根据现场控制过程的实例给出的知识库, 存在规则的冗余和规则的重复。粗糙集理论中, 决策表用来描述论域中的对象, 它是一张二维的表格, 表中每一行为一个对象, 每一列为对象的一个属性, 由于并非所有的属性都是必要的, 去除那些多余的属性同时保证分类正确, 可以得到最小条件属性集, 即约简。化简决策表的过程也就是提取规则的过程。

除氧系统水位控制决策表的论域 $U=\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15\}$, 条件属性 $C=\{a, b, c, d\}$, 决策属性 D 。对应的区分函数去掉同类项后化简为:

$$\begin{aligned} \Delta &= d(c \vee d)b(b \vee d)(b \vee c \vee d)(a \vee b) \\ &\quad (a \vee b \vee c \vee d)c(b \vee c)(a \vee b \vee c) \\ &\quad (a \vee c \vee d)a(a \vee d)(a \vee c) \\ &= a \wedge b \wedge c \wedge d \end{aligned}$$

因此原决策表的属性约简为: $\{a, b, c, d\}$, 即没有冗余属性。

将属性分类为:

$$\begin{aligned} U/a &= \{a_1, a_2, a_3\} = \{\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 11\}, \\ &\quad \{7, 8, 9, 12, 13\}, \{14, 15\}\}; \\ U/b &= \{b_1, b_2, b_3\} = \{\{1, 2, 3\}, \{4, 5, 6, 7, 8, 9\}, \\ &\quad \{10, 11, 12, 13, 14, 15\}\}; \\ U/c &= \{c_1, c_2\} = \{\{1, 2, 4, 5, 7, 8, 10, 12, 14\}, \\ &\quad \{3, 6, 9, 11, 13, 15\}\}; \\ U/d &= \{d_1, d_2\} = \{\{1, 4, 7, 10, 12, 14\}, \{2, 3, 5, \\ &\quad 6, 8, 9, 11, 13, 15\}\}; \\ U/D &= \{D_1, D_2, D_3\} = \{\{1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 11, \\ &\quad 13, 14, 15\}, \{4, 10, 12\}, \{9\}\} \end{aligned}$$

计算每条规则的核, 例如对第一条规则, 决策类为:

$$\begin{aligned} D_1 &= \{1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 11, 13, 14, 15\} \\ b_1 \cap c_1 \cap d_1 &= \{1\} \subset D_1 \\ a_1 \cap c_1 \cap d_1 &= \{1, 4, 10\} \not\subset D_1 \\ a_1 \cap b_1 \cap d_1 &= \{1\} \subset D_1 \\ a_1 \cap b_1 \cap c_1 &= \{1, 2\} \subset D_1 \end{aligned}$$

故第一条规则的核为 $b^{[9]}$ 。

同理可计算其余各条规则, 得决策规则的核值表如表 2 所示。

表 2 决策规则核值表

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>D</i>		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>D</i>
1	—	1	—	—	2	9	3	3	3	—	3
2	—	—	—	—	2	10	1	2	—	—	1
3	—	—	—	—	2	11	—	—	—	—	2
4	—	3	—	1	1	12	3	2	—	—	1
5	—	—	—	3	2	13	—	2	—	—	2
6	1	—	—	—	2	14	2	—	—	—	2
7	3	3	—	—	2	15	—	—	—	—	2
8	—	—	1	—	2						

计算各规则的约简, 构成原决策表的一个最小决策表, 对相同规则进行合并, 得到一个极小决策表如表 3 所示。

表 3 除氧器水位控制极小决策表

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>D</i>		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>D</i>
1	1	1	1	—	2	9	3	3	3	—	3
3	1	—	3	3	2	10	1	2	—	1	1
4	—	3	1	1	1	11	—	2	3	3	2
5	—	3	1	3	2	12	3	2	—	1	1
7	3	3	—	1	2	14	2	—	1	1	2

3.3 除氧系统推理机和控制策略设计

推理机实质上是一个知识控制软件模块。它根据系统当前的运行状态, 选择一条事实, 在知识库中从上到下搜索可用规则, 若这条事实和知识库中某条规则左部匹配成功, 则执行该规则的右部, 即“行动”, 对系统施加控制, 控制策略就被唯一确定, 否则选取相似规则, 输出控制量。推理机控制算法示意图如图 1 所示。

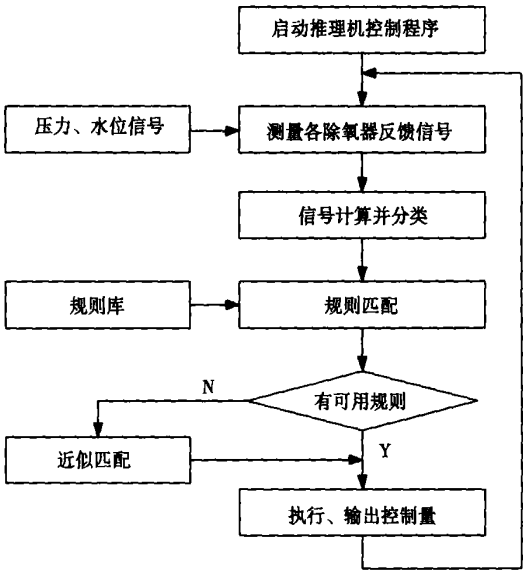


图 1 推理机控制算法示意图

4 结 论

本文提出利用粗糙集约简理论建立知识库、设计智能控制器的方法。根据人工调试经验获取原始资料,以粗糙集的约简理论为基础,对冗余属性进行约简,获取最简知识库,以建立的知识库构成除氧系统智能控制器。基于智能控制器的计算机控制系统应用在某炼油厂动力站除氧系统改造中,动力站共有两台 B12—35/10—1 机组,4 台除氧器为其提供锅炉用水,4 台除氧器型号为 Py—150,额定负荷:150 t/h;实际运行验证了控制器能够保证系统在启动过程、投切过程均能稳定运行,并且满足除氧系统的运行指标:(1) 除氧器压力:0.015~0.02 MPa;(2)除氧

水箱温度: $\geq 102\text{ }^{\circ}\text{C}$;(3) 除氧水箱水位: $2\ 400\pm 100\text{ mm}$ (自罐最低点标);(4) 除氧水含氧量: $\leq 15\text{ }\mu\text{g/L}$ 。

参考文献:

- [1] 曲延滨,陈仁波,赵 丽,等.热力除氧系统的计算机控制[J].热能动力工程,2000 15(5):519—521.
- [2] 郭 萌.数据挖掘与数据库知识发现[J].模式识别与人工智能,1998,11(3):292—299.
- [3] 叶 青,杨家本,柴跃廷.基于粗集理论的知识处理方法在专家系统中的应用[J].信息与控制,2001,30(3):193—198.
- [4] 项新建.基于粗糙集理论的变压器故障诊断专家系统研究[J].仪器仪表学报,2005 26(1):93—96.
- [5] 陈晓红,陈 岚.基于粗糙集理论的知识约简及应用实例[J].大学数学,2003,19(3):68—73.

新技术 新产品

三菱重工的燃气轮机技术

据《ASME Journal of Engineering for Gas Turbines and Power》2005 年 4 月号报道,日本三菱重工公司正在把“H 燃气轮机技术”移植到三菱重工的 G 系列燃气轮机,以便提高 后者的输出功率和热效率。

三菱重工于 2001 年在日本高砂的联合循环电站完成了蒸汽冷却的 M501H 型燃气轮机的设计研制和验证的负荷试验。

除了包括燃烧室、涡轮动叶和静叶、转子等蒸汽冷却的部件外,特别开发了几个先进的技术。其它的一些关键技术包括压比为 25:1 的先进的压气机、主动的间隙控制和先进的密封技术。

在 M501H 前,三菱重工于 1997 年把蒸汽冷却引入“G 系列”燃气轮机,来冷却燃烧室火焰筒。

目前,一些来自 M501H 燃气轮机的先进的设计技术被应用到 G 系列燃气轮机,导致输出功率和热效率明显的改进。技术移植的一个值得注意的方面是,在继续依赖涡轮机动叶和静叶常规的空气冷却以及来自工业燃气轮机经验、经过时间证明的材料的同时,升级改进的 G 系列 M701G2 燃气轮机具有与 H 级燃气轮机几乎相同的输出功率和热效率。

M701G2 关键的设计特点,具有 21:1 压比的先进的 14 级压气机、先进的预混 DLN(干式低 NO_x)燃烧室等成为可能;并于 2002 年在三菱重工完成其带负荷试验。

(吉桂明 供稿)

power plant. **Key words:** load of coal-fired power plant, genetic algorithm, chaos, variable step-length gradient drop method, optimized dispatching

超临界水葡萄糖制氢中的多元气液相平衡 = **Multiple Vapor-liquid Phase Equilibrium in Hydrogen Preparation from Glucose in Supercritical Water**[刊, 汉] /LIU Yong (Energy Source and Power College under the Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing, China, Post Code: 210016), ZHANG Jun, XU Yi-qian (Power Engineering Department, the Southeast University, Nanjing, China, Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21(5). — 521 ~ 524

By using a PC-SAFT (perturbed chain statistical associating fluid theory) model, a study was conducted of the specific features of vapor-liquid equilibrium located at the gas-liquid separator of a hydrogen preparation system involving glucose gasification in supercritical water. A comparison with the experimental data shows that the theoretical calculation results are rational. Under a same material-feeding condition, CO, H₂ and CH₄ gas phase share in the vapor-liquid equilibrium system will gradually decrease with a rise in pressure. However, CO₂ and H₂O gas phase share will gradually increase. Therefore, a low-pressure separation will contribute to a purer combustible gas-phase product. The experimental results show that the operating pressure has little influence on the glucose-gasified product. However, in summing up the effect of pressure on solubility, one can conclude that a high pressure can virtually be favorable to the gasification of glucose. **Key words:** multiple phase equilibrium, PC-SAFT (perturbed chain statistical associating fluid theory), equation of state, glucose, hydrogen preparation under a supercritical condition

基于粗糙集理论的除氧系统智能控制器设计 = **Design of an Intelligent Controller in a Deaerating System Based on a Rough Sets Theory**[刊, 汉] /QU Yan-bin, ZHANG Yang (Weihai Information Science and Engineering College under the Harbin Institute of Technology, Weihai, China, Post Code: 264209) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21(5). — 525 ~ 528

Expounded is the control tactic and establishment of a knowledge database for an intelligent controller in a deaerating system. With a rough sets theory serving as a basis, redundant attributes have been simplified, resulting in a most simplified knowledge database. A method is presented for designing an intelligent controller and establishing a knowledge database by making use of the rough sets theory. The intelligent controller thus designed was once used in the modification of a deaerating system for a power-supply station affiliated to an oil refinery. The practical operation shows that the controller under discussion can guarantee the stable operation of the system during a start-up and switching-over process with operating indexes of the deaerating system being fulfilled. **Key words:** deaerating system, intelligent control, expert system, rough sets

污泥的热解动力学及机理研究 = **An Investigation of Sludge Pyrolytic Dynamics and Its Mechanism**[刊, 汉] /LIU Wen-tie, WANG Shu-yan, LU Hui-lin, et al (Energy Source Science and Engineering College under Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21(5). — 529 ~ 531

By using an integrated thermal analyzer, a thermal analytic experiment was conducted of the initial sludge in a waste water treatment factory with TG (thermogravimetric) and DTG (derivative thermogravimetric) curves at different rates of temperature rise being obtained. The experimental results indicate that the use of a single-stage reaction model to predict the pyrolytic properties of the sludge has its definite limitations. By making use of thermal analytic dynamics and through the adoption of a selection method featuring the most probable mechanism function, the mechanism function of sludge pyrolysis may be proposed to be $f(\alpha) = (1-\alpha)(-\ln(1-\alpha)-3)^{1/4}$. Through an analysis, the activation energy E and pre-exponential factor A of the sludge were obtained and the pyrolytic dynamics calculation model of the sludge was also given.