

基于运行模式识别的球磨机 自适应解耦模糊控制与仿真

王 恒¹, 贾民平¹, 陈左亮², 谢 超²

(1. 东南大学 机械工程学院, 江苏 南京 211189; 2. 大唐南京下关发电厂, 江苏 南京 210011)

摘 要: 针对目前球磨机系统控制存在的不足, 提出了一种基于运行模式识别的球磨机系统自适应模糊解耦控制算法。首先, 分析了球磨机系统的动态特性, 并结合某电厂测试试验, 得到了球磨机系统的数学模型; 其次, 采用 LS-SVM 算法对球磨机系统的运行状态进行识别和分类; 对于正常工况, 针对耦合回路, 设计了自适应解耦模糊控制器对球磨机进行控制; 对于异常工况, 给出了相应的控制策略。最后对正常工况下的自适应解耦模糊控制算法进行了仿真研究。仿真结果表明, 该算法能够有效地实现球磨机系统运行工况模式识别和耦合回路的解耦控制, 控制系统具有良好的动态性和鲁棒性。

关 键 词: 球磨机系统; 模式识别; 最小二乘支持向量机; 自适应模糊控制; 解耦控制

中图分类号: TK323; TP273 文献标识码: A

引 言

钢球筒式磨煤机(简称球磨机)是电力、水泥等高能耗企业的常用设备。以火力发电厂为例, 球磨机是制粉系统中的常用设备, 约占厂用电的 15% 左右, 球磨机的用电量约占整个制粉系统用电量的 70%, 是电厂的耗电大户之一^[1-2], 因此如何有效地使球磨机安全、高效、优化运行是电厂追求的一个重要目标。目前国内大多数电厂的中储式球磨机制粉系统都无法实现自动控制, 处于人工操作。在人工操作情况下, 为了防止球磨机堵煤的发生, 运行人员常常将系统调整在远离最佳工作点的位置上运行, 导致制粉单耗很高, 浪费大量的电能。

由于球磨机系统具有非线性、强耦合和时变性等特点, 其数学模型难以准确建立, 而且通常所建立的模型一般都是针对特定工况点下的固定模型, 当被控对象的工况点发生漂移时, 原来所建的模型就会不精确, 以致于控制性能下降甚至产生不稳定现

象。因此, 建立在精确受控对象数学模型基础上的常规控制方法及现代控制方法难以奏效^[3], 控制效果差, 自动化投入率低。

此外, 球磨机系统是典型的多变量耦合系统, 其采取的常规的单回路 PID 控制不但得不到较好的控制效果, 而且还极易造成系统的不稳定, 直接影响控制质量。因此必须通过解耦设计才能实现良好的控制。常规的解耦方法如静态解耦^[4], 一般通过设计解耦补偿器使各个变量相互独立, 再对其分别进行控制, 但这种传统的解耦器设计要求被控对象的数学模型已知, 而且线性时不变, 但是由于电厂所使用的煤种多变, 煤质、水分经常发生变化, 钢球和护甲的磨损等这些原因都使得球磨机系统表现出时变性和不确定性, 难以满足上述条件。因此, 传统解耦方法难于实际应用。此外, 一些智能解耦控制算法, 如神经网络解耦专家系统解耦等方法已开始应用于球磨机系统^[5-7], 但这些算法都比较复杂, 计算量很大, 解耦效果也不是很理想。

针对目前球磨机系统控制存在的不足, 本研究结合现场人工操作经验, 模仿手动调节方式, 在系统工况划分的基础上, 提出了一种新的球磨机系统自适应模糊控制策略。仿真结果表明了该方法的有效性。

1 球磨机系统的动态特性和数学模型

从控制的角度分析, 球磨机制粉系统是一个三输入、三输出的多变量系统。3 个输入变量为给煤量、热风门开度和冷风门开度。被控变量为球磨机料位、出口温度和入口负压。由于球磨机料位难以直接测量, 通常用进出口压差来表征和控制。但是原煤的含水量、煤质及钢球装载量的变化, 均对压差有影响, 而且当制粉系统的通风量发生变化时, 压差

收稿日期: 2008-05-20; 修订日期: 2009-03-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50775035); 江苏省高技术研究基金资助项目(BG2005033)

作者简介: 王 恒(1981-)男, 陕西汉中, 东南大学博士研究生

的变化十分明显, 因此这种方法存在很大的局限性。

球磨机运行时, 钢球、煤块与护甲之间, 钢球之间、钢球与煤块之间产生的撞击造成球磨机的振动, 而振动碰撞功率与料位之间的存在着一定的关系。一般来说, 若球磨机振动功率越小, 说明球磨机负荷越大, 对应料位越高; 反之则说明负荷越小, 对应料位越低。因此, 通过测量和分析这些振动信号就可以分析球磨机料位的变化。

使用球磨机筒体振动信号代替压差信号表征料位, 这样风量的变化对料位的影响很小, 而给煤量对入口负压的影响可忽略, 对出口温度的影响可看作可测扰动, 于是将原对象分解为一个耦合的两输入、两输出对象和一个单输入、单输出对象。对两输入、两输出耦合回路, 按照工艺要求进行变量配对, 采用热风量为主控制出口温度、冷风量为主控制入口负压。对于单回路对象, 采用给煤量控制球磨机料位。根据某电厂现场测试, 得到了球磨机系统耦合回路传递函数数学模型:

$$\begin{bmatrix} P \\ T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2}{19s+1} & \frac{1.6}{21s+1} \\ \frac{1.46}{(56s+1)^3} & \frac{-1.32}{(63s+1)^3} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: u_1 —热风门开度, %; u_2 —冷风门开度, %; P —入口负压, Pa; T —出口温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

2 基于工况识别的球磨机系统控制策略

2.1 基于 LS-SVM 的运行模式识别

球磨机所处的运行模式对于自动控制具有非常关键的作用。在球磨机运行过程中, 对于一定的钢球装载量和通风量, 存在一个最佳工况范围, 当球磨机在此范围运行时, 制粉电耗最低。因此要控制球磨机运行在最佳工况点附近, 则首先要了解球磨机

运行所处的工况, 然后采取相应的控制策略进行调节。控制系统首先根据球磨机系统的相关工艺参数, 对系统的运行工况进行识别和分类, 从而根据不同的运行状态采取相应的控制策略。当处于正常工况时, 采用自适应模糊控制策略; 当球磨机处于异常工况时, 则采用异常工况的调节策略。

支持向量机(SVM)是由Vapnik 最初在统计学习理论的基础上建立起来的一种用于分类与函数逼近问题计算方法。它建立在结构风险最小化原则的基础之上, 与神经网络的经验风险最小化相比具有更好的泛化能力。该技术巧妙地解决了算法复杂度与输入向量维数密切相关的问题。该方法最终转换为一个凸优化问题, 保证了算法的全局最优性。最小二乘支持向量机(LS-SVM)是标准支持向量机的一种扩展, 它与标准支持向量机的主要区别是采用了等式约束, 并将求解优化问题转成求解线性方程, 避免了求解耗时的受约束的二次型规划QP问题, 求解速度相对加快。另外, 其需要预先确定的参数也比标准支持向量机算法少, 关于最小二乘支持向量机的算法描述见文献[8~10], 这里不再详述。

通过对球磨机系统运行状况的分析和对手动操作经验的总结, 确定出LS-SVM的输入参数是: 球磨机运行电流、排粉机电流、进出口压差、入口负压、出口温度、给煤量和振动有效值; 模型的输出参数是球磨机系统当前所处的运行模式。

现场采集球磨机系统不同工况下的运行数据, 工况分为3种, 即正常工况(1)空磨工况(0)和堵煤工况(2)。在每个稳定工况下采集8组数据, 前5组数据作为LS-SVM的训练样本, 后3组数据作为测试样本, 这里只列出测试样本。测试数据样本和LS-SVM模型输出如表1所示。

表1 LS-SVM 测试样本及其输出

压差 / kPa	球磨机 电流/A	入口负 压/ Pa	出口温 度/ $^{\circ}\text{C}$	排粉机 电流/ A	煤量 / $\text{t}\cdot\text{h}^{-1}$	振动值 / $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$	工况 类别	工况 输出
1.264 3	74.40	-420.66	70.55	54.94	0.220 3	437.79	0	0.408 3
1.178 9	74.04	-426.96	71.05	54.94	0.220 3	479.04	0	0.003 1
1.167 7	73.42	-428.39	71.58	54.94	0.220 3	442.25	0	0.401 0
1.819 7	77.24	-212.69	72.99	54.6	45.685	454.82	1	1.000 2
1.783 3	77.48	-228.71	72.99	54.6	45.685	379.22	1	1.000 1
1.796 4	77.78	-217.76	72.45	54.6	45.120	374.12	1	1.0001
1.803 9	79.40	-187.89	71.90	54.56	46.539	47.39	2	1.927 7
1.870 4	79.24	-179.12	71.90	54.56	46.539	55.08	2	2.027 8
1.849 0	79.24	-184.53	71.90	54.56	46.539	52.4	2	2.040 2

由表 1 可见, 工况输出与实际工况类别十分接近, LS-SVM 可以有效地对球磨机系统的运行模式进行识别和分类。

2.2 基于工况识别的球磨机系统控制

控制系统首先根据球磨机制粉系统的相关工艺参数, 基于最小二乘支持向量机算法, 判断出制粉系统的运行工况。若判断出系统运行工况正常, 则采用模糊控制策略; 若判断出球磨机空磨, 则切换到相应的空磨控制策略; 若判断出系统即将出现堵煤, 则切换到相应的堵磨控制策略。

2.2.1 正常控制策略

当判断出球磨机处于正常工况, 则对出口温度、入口负压耦合回路采用自适应模糊控制算法, 下一节将重点介绍; 对给煤量单回路控制可参考文献 [11], 本文不予讨论。

2.2.2 空磨控制策略

当判断出系统处于空磨工况时, 此时调节的目标有两个: (1) 尽快提升球磨机料位; (2) 保证系统不超温。采用如下的调节方法: 按照一定的速率增大给煤机转速, 直至球磨机料位进入正常范围。由于此时入口负压过高, 应开大热风门, 出口温度过高, 应关小热风门, 这将产生矛盾, 但考虑到入口负压短时间内处于较高水平不会对系统造成较大危害, 而超温对于制粉系统来说却是非常危险的, 出口温度一般需要小于 85 °C, 所以暂时不考虑对入口负压的调节。

2.2.3 堵磨控制策略

当判断出系统处于堵煤工况时, 采用如下调节方法: 从正常工况下的控制回路中跳出, 按一定的速率降低给煤机转速, 同时为了增大系统通风量, 应开大风门, 还应考虑到入口负压不可过低, 应保持入口负压小于 -100 Pa, 由于此时料位比较高, 出口温度比较低, 而出口温度短时间处于较低水平, 干燥出力会比较低, 但不会对系统造成较大的危害, 因此暂时不考虑对出口温度的控制。当球磨机工艺量进入正常范围内时, 则转到正常工况下的控制。

3 球磨机系统自适应模糊控制

3.1 球磨机系统解耦模糊控制

球磨机系统是多变量互相耦合的复杂系统, 无论改变冷风门开度、热风门开度的任何一个量, 都会影响其入口负压和出口温度。对于这样的多变量系统, 采用常规的 PID 单回路调节器强行割裂各变量之间的关系, 难以取得较好的控制效果。此外, 要准

确求出各变量间相互关系的数学表达式几乎不可能, 即用数学方法解耦难以做到。针对球磨机系统自身的特点, 结合现场人工操作经验, 模仿运行手动调节方式, 这里设计一双输入、双输出的模糊解耦控制器。其主要思想是在控制时不再像常规方法那样, 简单地将球磨机出口温度与热风门开度对应, 入口负压与冷风门开度对应, 而是把各个参数之间的相互影响作为一个整体来考虑, 模仿人工操作来实现自动控制。例如, 球磨机入口负压偏高且出口温度偏低时, 若按单回路考虑, 则分别减小冷风门开度以降低负压, 增大热风门开度以升高温度。但是, 由于回路之间的耦合作用, 在负压已经较高时, 再增大热风门开度势必造成负压继续增大。这时只要适当减小冷风门开度, 就既降低了入口负压, 又升高了出口温度。

图 1 为球磨机模糊解耦控制的结构图。在图 1 中, R_1 为球磨机出口温度设定值, R_2 为球磨机入口负压设定值; Y_1 为出口温度实际测量值, Y_2 为入口负压实际测量值。模糊控制器输出分别控制球磨机热风门开度 U_1 和冷风门开度 U_2 。控制规则如表 2 和表 3 所示, e_1 和 e_2 分别代表球磨机出口温度偏差和入口负压偏差。在实际运行中, 采用离线计算获得模糊输出查询表, 根据采集的温度偏差和入口负压偏差, 查表获得控制输出值。

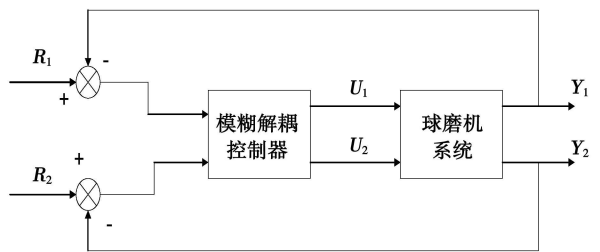


图 1 球磨机模糊解耦控制结构图

表 2 热风门开度模糊控制输出 U_1

		e_2						
		-3	-2	-1	0	1	2	3
e_1	-3	-3	-2	-2	-2	-1	-1	0
	-2	-2	-2	-2	-2	-1	-1	1
	-1	-2	-2	-1	-1	-1	1	1
	0	-2	-2	-1	0	1	2	2
	1	-1	-1	1	1	1	2	2
	2	-1	1	1	2	2	2	2
	3	0	1	1	2	2	2	3

表 3 冷风门开度模糊控制输出 U_2

		e_2						
		-3	-2	-1	0	1	2	3
e_1	-3	0	1	1	2	2	2	3
	-2	-1	1	1	2	2	2	3
	-1	-1	-1	1	1	1	2	2
	0	-2	-2	-1	0	1	2	2
	1	-2	-2	-1	-1	-1	1	1
	2	-2	-2	-2	-2	-1	-1	1
	3	-3	-2	-2	-2	-1	-1	0

3.2 自适应模糊控制器的设计

在模糊控制过程中, 量化因子的确定是很关键的, 它不仅影响系统的动态品质, 也影响到系统的稳定性。量化因子越大, 系统的超调量越大, 过度过程时间就越长, 其稳态精度较高。相反, 量化因子越小, 则系统的变化越慢, 稳态精度越低, 而且比例因子的选择和量化因子一样对模糊控制器的动态性能有很大影响。若比例因子取的过大, 则会造成被控过程阻尼特性下降, 导致系统震荡; 反之, 若取的过小, 会使系统动态响应过程变长。

表 4 出口温度误差的量化因子与比例因子

误差区间	量化因子	比例因子
[6, 10]	0.03	2.94
[3, 6]	0.3	2.45
[1, 3]	0.42	5.39
[-1, 1]	0.3	10.78
[-3, -1]	0.36	1.96
[-5, -3]	0.45	2.45
[-7, -5]	0.15	2.94
[-10, -7]	0.03	3.43

对球磨机系统这种时变系统, 如果只选择一组固定的量化因子和比例因子, 则很难适合于整个控制过程。为此, 引入了自适应模糊控制的思想, 即将根据出口温度误差与入口负压误差的不同, 分别选择不同的量化因子与比例因子来控制系统。选择的准则是: 当误差较大时, 这时应进行粗调, 即减小量化因子, 同时增大比例因子, 增强控制作用使系统快速向误差减小的方向运动; 当误差较小时, 表明被控量在平衡点附近缓慢的波动, 即系统接近稳态时, 参数调整思想与上述相反。在控制过程中, 可以在一定的误差变化范围内选择不变的量化因子和比例因

子进行系统控制, 这样就可以根据不同的误差范围确定不同的控制因子。最后确定的出口温度和入口负压误差的量化因子与比例因子如表 4 和 5 所示。

表 5 入口负压误差的量化因子与比例因子

误差区间	量化因子	比例因子
[50, 150]	0.006	6
[30, 50]	0.01	22.5
[-30, 30]	0.116	34.5
[-50, -30]	0.01	22.5
[-100, -50]	0.02	9
[-150, -100]	0.002	3

综上所述, 在实际控制过程中, 每一个控制周期根据采样的出口温度和入口负压的实际值, 得到相应的误差, 然后根据误差的范围, 分别乘以表 4 和表 5 中对应的量化因子, 经过量化处理就得到了 e_1 和 e_2 , 然后通过查询表 2 和表 3, 得到 U_1 和 U_2 的输出量, 就可以得到输出变量论域上的值, 得到的这个输出值再分别各自对应的比例因子, 就可以得到该时刻的实际控制增量, 即热风门和冷风门的开度指令。

4 仿真研究

针对所建立的对象模型, 所提出的自适应模糊解耦控制算法设计了控制器, 并进行仿真研究。出口温度设定值不变, 入口负压施加幅度为 100 的阶跃扰动, 控制系统的输出如图 2 所示。入口负压设定值不变, 出口温度设定值施加幅度为 10 的阶跃扰动, 控制系统的输出如图 3 所示。

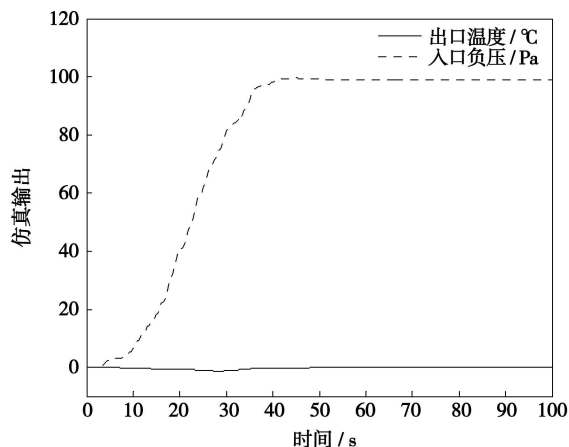


图 2 入口负压阶跃扰动下的仿真结果

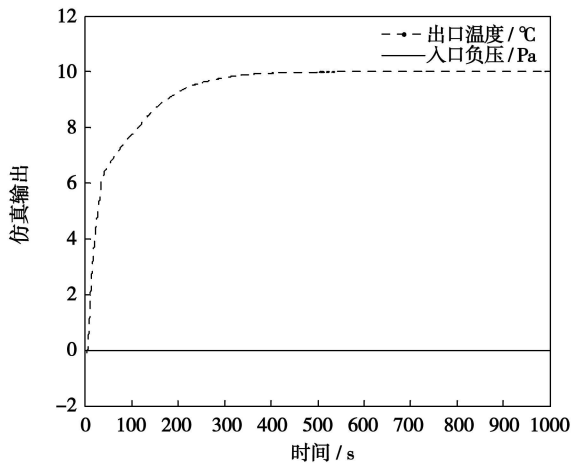


图 3 出口温度阶跃扰动下的仿真结果

由图 2 可见, 在入口负压设定值阶跃扰动后, 经过模糊控制器的控制, 入口负压经过 40 s 左右达到设定值; 同时, 在入口负压变化的过程中, 出口温度几乎保持不变, 说明算法对两耦合回路的解耦效果很好。

由图 3 可见, 在出口温度设定值阶跃扰动后, 经过模糊控制器的控制, 出口温度经过 400 s 左右达到设定值。在此过程中, 入口负压保持不变, 维持在设定值。可见模糊控制器很好地实现了解耦。

5 结 论

基于 LS-SVM 算法对球磨机系统运行工况进行有效地识别, 并提出了不同工况下的控制策略; 对于正常工况, 通过总结和归纳操作人员的实际操作经验, 制定了模糊控制器的控制规则, 设计了相应的模糊解耦控制器对出口温度和入口负压这两个耦合

回路进行解耦, 同时针对系统的特点, 采用了参数自适应调整的自适应模糊控制策略。最后进行了算法仿真, 分别研究了入口负压和出口温度的设定值阶跃响应, 验证了所提出的自适应模糊控制器对球磨机出口温度、入口负压耦合回路解耦控制的有效性。

参考文献:

- [1] PELTIER R. Coal plants work to stay competitive, compliant [J]. Power, 2003, 147(1): 35-45.
- [2] BEHERA B, MISHRA B K, MURTY C V R. Experimental analysis of charge dynamics in tumbling mills by vibration signature technique [J]. Minerals Eng, 2007, 20 (1): 84-91.
- [3] RAMASAMY M, NARA YANAN S S. Control of ball mill grinding circuit using model predictive control scheme [J]. Journal of Process Control, 2005, 15(3): 273-283.
- [4] 廖柏林, 王立刚. 球磨机制粉系统的多变量解耦 PID 控制 [J]. 湖南工业大学学报, 2007, 21(5): 77-79.
- [5] 程启明, 郑 勇. 球磨机多模型 PID 型神经网络控制系统 [J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(2): 130-109.
- [6] 刘 蓉, 吕震中. 基于 DRNN 神经网络的球磨机智能控制的研究 [J]. 工业仪表与自动化装置, 2005(2): 22-25.
- [7] CHEN XISONG, LI QI, FEI SHUMIN. Supervisory expert control for ball mill grinding circuits [J]. Expert systems with Application, 2008, 34(3): 1877-1885.
- [8] SUYKENS J A K, VANDEWALLE J. Least squares support vector machine classifiers [J]. Neural Network Letters, 1999, 9(3): 293-300.
- [9] SUYKENS J A K, LUKAS L, VANDEWALLE J. Sparse approximation using least squares support vector machine // IEEE Int. Symposium on Circuit and Systems (ISCAS 2000) [C]. Geneva, Switzerland, 2000: 757-760.
- [10] SUYKENS J A K, VANDEWALLE J. Recurrent least squares support vector machines [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems-I, 2004, 47(7): 1109-1114.
- [11] 王 恒, 贾民平, 许飞云, 等. 球磨机负荷加权模糊控制算法设计与仿真 [J]. 电力自动化设备, 2009, 29(2): 117-120.

(编辑 滨)

新技术、新设计

新型号燃气轮机

据《Gas Turbine World》2009 年年度手册报道, OEM (原设备制造商) 在过去 5 年 (2005~2009) 推出了用于简单循环、联合循环、联合生产和机械驱动应用的 29 型新生产的燃气轮机。

在这些新型号的燃气轮机中, 值得我们注意的是俄罗斯贝尔姆航空发动机公司 (AVIadvigatel) 2005 年推出的 GTU-12PG-2 燃气轮机 (12 300 kW 功率, 32.6% 效率)、2007 年推出的 GTU-16PA 燃气轮机 (16 300 kW, 34.8% 效率) 和 2008 年推出的 GTU-25P (23 000 kW, 36.6% 效率)。这些燃气轮机都是从航空发动机派生得到的。

列举了这 29 型燃气轮机的主要参数, 包括原设备制造商和燃气轮机型号、推出年份、额定输出功率、热耗率、效率和燃气初温。

(吉桂明 摘译)

that through a modulation and demodulation process combined with the action of a filter, the derivative featuring the change in relative settings of performance indexes is estimated and then a local optimum solution can be obtained by using a gradient method. Subsequently, the authors have proposed a method for the basic structure and parameter setting of a combustion optimization control system based on the extremum-search control. The simulation results of an air-feeding control system show that the combustion optimization tactics not only can successfully make the system attain its optimum oxygen-content target and realize an optimization of combustion but also as a closed loop and on-line optimization method can enable it to better adapt to such disturbances as load variation and air leakage, etc. **Key words:** utility boiler, combustion optimization, extremum-search control, air/coal ratio control

回转式空气预热器接触式柔性密封可靠性设计 = **Reliability Design of a Contact Type Flexible Seal for Rotary Air Preheaters** [刊, 汉] / WANG Qing-feng, HE Li-dong (Research Center of Diagnosis and Self-healing Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing, China, Post Code: 100029) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2009, 24(4). — 470 ~ 475

Contact type flexible seal is a new technology for solving the air leakage problem of rotary air preheaters. Reliability is an important index for contact type flexible sealing performance. The authors have described the reliability design method based on ANSYS. By utilizing the PDS module of ANSYS and combining the finite element method with the reliability design theory, a model for the contact type flexible seal was established with three-dimensional parameters and an APDL instruction stream, formulated. A reliability analytic document was prepared to conduct a reliability design of the contact type flexible seal. Under the condition of a confidence level being assessed at 95%, the reliability of the contact type flexible seal attains 96.91%. It has been found that the structure of the contact type flexible seal is reliable. The design range of various structural parameters were obtained. The wave thickness and total length constitute the main factors affecting the contact type flexible seal. The foregoing can well provide a definite reference for the design and study of contact type flexible seals. **Key words:** rotary air preheater, contact type flexible seal, reliability design, ANSYS/PDS

基于模糊规则和支持向量机的凝汽器故障诊断 = **Diagnos of Condenser Faults Based on Fuzzy Rules and a Supportive Vector Machine** [刊, 汉] / WANG Lei, ZHANG Rui-qing, SHENG Wei (Department of Power Engineering, Shenyang Institute of Engineering, Shenyang, China, Post Code: 110136), XU Zhi-hao (College of Energy Source and Environment, Southeast University, Nanjing, China, Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2009, 24(4). — 476 ~ 480

The algorithm of decision-directed acyclic graph supportive vector-machine (DDAGSVM) represents a multiple classification method established by introducing the directed acyclic graph ideology of graph theory on the basis of the supportive vector machine 1-v-1 algorithm. It combined two kinds of multiple supportive machine 1-v-1 classifiers into a multiple layer directed acyclic decision-making chart with root nodes to realize a classification. It is built on the minimum structure risk theory and can attain an excellent classification effectiveness under the condition of relatively less training specimens. On the basis of summarizing commonly seen faults of steam turbine condensers, a typical fault set was established and a fault omen repository, acquired through fuzzy rules. A study was conducted of the use of DDAGSVM algorithm for diagnosing typical faults of condenser equipment items under the condition of small specimens. The example calculation results show that the DDAGSVM algorithm enjoys a relatively high diagnosis accuracy. **Key words:** steam turbine, condenser, fuzzy rule, supportive vector machine, fault diagnosis

基于运行模式识别的球磨机自适应解耦模糊控制与仿真 = **Self-adaptive Decoupling Fuzzy Control and Simulation of Ball Mills Based on Operating Pattern Identification** [刊, 汉] / WANG Heng, JIA Min-ping (College of Mechanical Engineering, Southeast University, Nanjing, China, Post Code: 211189), CHEN Zuo-liang, XIE Chao (Datang

Nanjing Xiaguan Power Plant, Nanjing, China, Post Code: 210011)// Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2009, 24(4). — 481 ~ 485

In the light of the deficiencies in the control of current ball mill systems, proposed was a self-adaptive fuzzy decoupling control algorithm for ball mill systems based on operating mode identification. Firstly, the authors have analyzed the dynamic characteristics of a ball mill system and in combination with a test performed in a power plant, obtained a mathematical model for the ball mill systems. Secondly, the authors have used the least square supportive vector machine (LS-SVM) algorithm to identify and classify the operating state of the ball mill system. For normal operating conditions, a self-adaptive decoupling fuzzy controller was designed for the coupling loop to control the ball mill. For abnormal operating conditions, corresponding control tactics were given. Finally, a simulation study was performed of the algorithm in question at normal operating conditions. The simulation results show that the algorithm can effectively realize the identification of the ball mill system operating mode and the decoupling control of the coupling loops. The control system exhibit relatively good dynamic properties and robustness. **Key words:** ball mill system, mode identification, least square supportive vector machine, adaptive fuzzy control, decoupling control

无磨损磁密封泄灰阀的试验研究 = **Experimental Study of an Abrasion-free Magnetic Sealed Ash Unloading Valve** [刊, 汉] / YUAN Yong-tao, QI Li-qiang, YANG Qian (North China Electric Power University, Baoding, China, Post Code: 071003), JI Yuan-xun (Hebei Provincial Electric Power Survey and Design Institute, Shijiazhuang, China, Post Code: 050031)// Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2009, 24(4). — 486 ~ 489

The end platen and sealing strip currently used on the seal of an electrically-operated clapper valve under the ash hopper of a static precipitator are easily worn out, have a short service life and a relatively inferior sealing performance. A novel magnetic sealed ash-unloading valve has made use of the presence of Fe_3O_4 and other magnetic media in pulverized-coal-fired ash to additionally install a permanent magnet on the top of the clapper blade to adsorb the magnetic media in the ash to realize a seal. The authors have employed a self designed test rig and chosen three kinds of permanent magnetic iron with different magnetic flux and four kinds of powder with a variety of content of magnetic substances to conduct respectively seal performance tests. The test results show that the magnetic sealed ash-unloading valve has a good seal performance, no abrasion and no need to frequently replace the parts. **Key words:** magnetic seal, ash unloading valve, powder

干法/半干法脱硫中脱硫剂利用率及脱硫灰利用研究 = **Study of the Utilization Rate of Desulfurization Agents and Utilization of Desulfurized Ash During Desulfurization by Dry-method/Semi-dry-method** [刊, 汉] / WANG Wen-long, DONG Yong, REN Li, et al (Research Center of Engineering for Environment Thermodynamic Process under the Ministry of Education, College of Energy Source and Power Engineering, Shandong University, Jinan, China, Post Code: 250061)// Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2009, 24(4). — 490 ~ 493

From an innovative view point, i. e. the chemical and mineral constituents of desulfurized ash, an analytical study was made. It has been further verified that the dry-method and semi-dry-method flue gas desulfurization process represented by the circulating fluidized bed technologies features an excessively low utilization rate of desulfurization agents. The technology by using desulfurized ash as a raw material to produce sulfoaluminate cement can realize a highly effective utilization of dry-method-semi-dry method desulfurization products. On the one hand, to intensify the desulfurization reaction can enhance the utilization rate of desulfurization agents. On the other hand, the realization of an effective comprehensive utilization of desulfurization products can also remedy the defect of a low utilization rate of the desulfurization agents. The method under discussion can promote the resource development of desulfurization technologies, representing an approach full of latent potentialities. **Key words:** desulfurization, calcium utilization rate, desulfurized ash, sulfoaluminate cement

烟气主要成分对基于高活性吸收剂的烟气脱硫脱硝过程影响 = **Influence of the Main Constituents of Flue Gas**