

基于模糊理论的黑体炉系统故障诊断的设计及实现

赵 萍, 刘志强, 时章明, 王梅娟

(中南大学 能源与动力工程学院, 湖南 长沙 410083)

摘 要: 为了实现黑体炉系统已发故障或潜在故障的快速高效诊断, 根据黑体炉系统运行特性, 建立了多库多层次方式的知识库, 并采用黑体炉故障类型诊断的反向推理和故障, 原因分析及故障消除措施正向推理相结合的混合推理机制, 设计了总体目标推理和级目标推理相结合的推理机。应用效果表明, 黑体炉故障诊断专家系统的预报准确率较高, 具有较大的实用性。

关 键 词: 黑体炉; 故障诊断系统; 知识库; 模糊理论

中图分类号: TK421 文献标识码: A

1 前 言

黑体炉系统零部件多, 结构复杂, 在运行过程中经常会出现各种故障, 维修工序需消耗大量的人力、财力, 并且故障往往很难一次性排除。如果在维修之前, 能在黑体炉不解体的前提下对其利用现代测试技术和故障诊断技术进行测试与诊断, 准确确定黑体炉系统发生故障的位置与类型, 不仅可以减少人力和物力上的损失, 而且能使更多的维修人员具有分析判断能力。而近年来人工智能技术在设备故障诊断方面的快速发展与成功应用提供了很好的借鉴^[2~7], 因此, 利用人工智能技术研究开发能准确及时地发现并及早排除黑体炉系统的各类故障, 以保证黑体炉系统运行安全具有很大的现实意义与应用价值。

2 黑体炉系统故障诊断知识获取

2.1 黑体炉系统的组成及特征

某实验室使用的 WJL-11 卧式黑体炉是一种温度可达到 3 000 °C 的标准热源, 被用来提供一定温度的黑体辐射, 与精密光学高温计配套供辐射式温度计的标定用。

系统由水冷、抽气与充气、温控系统等组成。石

墨发热体借活动接头插入两端水冷电极中, 通过电极和接头导入电流使发热体产生高温。为补偿发热体由室温至 3 000 °C 范围内的伸缩而又能和电极保持可靠的电接触, 发热体与活动接头采用锥面配合, 并在发热体两端锥体部分开槽, 借槽口的弹性来补偿发热体的热胀冷缩变形。发热体外套护管, 并缠上碳纤维, 两端借耐火法兰支承在炉身上。外层和两端均填满保温纤维, 各层石墨套管均与发热体保持同心。带有石英玻璃窗的水冷电极, 用螺栓固定于法兰盘上, 部件之间采用真空橡皮垫圈密封。炉身采用双层不锈钢壁, 在内外壁夹层之间焊有螺旋形水导流环, 炉身的冷却水分左右两路导入。装在炉身两端的端盖法兰与炉壳的连接螺栓, 采用绝缘套管隔离, 以保证炉身两端电极相互绝缘, 如图 1 所示。

2.2 系统参数的选取

黑体炉系统在作开发、运行及性能试验时, 检测的参数有 10 余种(包括变压器原边电流电压和副边电流电压、水压、气压、排水温度, 硅光电池的电压值、标准光电高温计的温度值以及黑体炉系统各部件的绝缘电阻等), 还未找到一种可以反映黑体炉系统整个工作过程的通用模型, 以及一种能准确反映黑体炉系统工作状态的参数。本文运用模糊理论的有关知识并恰当选取了特征参数(下章节详述), 为正确诊断系统的开发奠定了基础。

2.2.1 变压器原边电流电压和副边电流电压

为确保安全使用, 采用低电压大电流输出的盐浴炉变压器作为黑体炉的工作电源。变压器在使用不同档时, 对应的原边电压电流和副边电流电压都有相应的标准值, 因此定时地用万用表测量各电压值、钳形电流表测量各电流值, 就可实现对变压器以及供电系统的故障诊断。

2.2.2 冷却水温度和进水压力

黑体炉系统工作时, 炉内发热体即靶在大电流作用下迅速升温, 产生的热除了使靶本身发光外还会使硅光电池、炉身、电极的温度升高, 降低其性能和准确度, 影响整套系统的运行。在系统运行时测量排水温度, 就可诊断冷却系统的故障。进水压力是保证冷却系统实现预期冷却效果的重要参数, 如果压力不能满足系统的工作要求, 控制柜的水压报警器会自动报警, 此故障诊断就很容易实现。

2.2.3 炉内压力

黑体炉在 2 500 °C 以下时在真空状态下工作, 而在 2 500 °C 以上时必须充入氩气作为保护气体, 以保证在高温状态下石墨及保温材料不被氧化。通过监测炉内气体压力, 就可诊断诸如进气管漏气、各气阀漏气及真空泵故障等有关的问题。

2.2.4 硅光电池的电压信号

硅光电池把接收到的光信号转变成毫伏电压信号在控制柜面板上显示出来, 电压值的大小反映了温度的变化趋势。通过观察电压信号的变化, 就可诊断如可控硅断开、短接、炉体内发热体故障等有关问题。

其中: S_i 一种故障类型; n 系统故障种类的总数为 7。

各种症状表示为:

$$X = \{f_1, f_2, \dots, f_m\}$$

式中: m 一系统症状种类的总数为 18。

在黑体炉系统运行过程中, 可能出现温控开关跳闸、可控硅未压紧、黑体炉工作温度漂移过大、不能实现连续控温、光电高温计读数偏差很大和气管漏气等典型故障。作为诊断黑体炉系统的前提, 黑体炉系统运行状态参数的取值是连续的, 这些参数对规则结论(故障状态)的影响程度没有一个明显的界限。这些知识的模糊性就其本质而言, 来源于参数变化的动态特性及其测量的不确定性, 为保证黑体炉系统参数监测与诊断的合理性和指导的可靠性, 必须对这种动态特性及其测量的不确定性进行合理地考察和描述。作者在听取多位黑体炉系统领域专家以及熟练维修人员经验和广泛地搜索查阅丰富资料的基础上, 结合黑体炉系统的理论知识与黑体炉运行环境的实际情况, 整理了用于黑体炉系统故障诊断所必须的知识, 其形式见表 1。

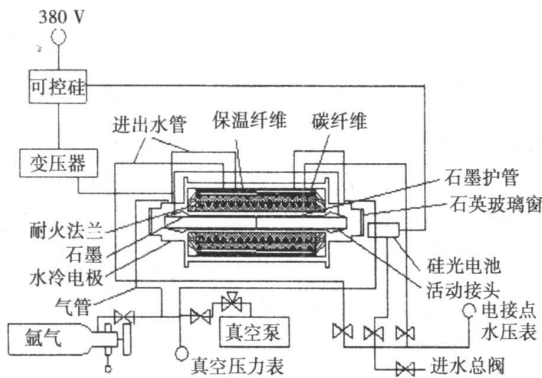


图 1 黑体炉系统结构

表 1 黑体炉系统故障诊断与维修决策知识

故障症状	故障原因	维修措施
部件短路	发热体接头未接好导致两电极短路	拆下重新安装
	耐火法兰炭化导致发热体与炉壳短路	更换耐火法兰
	碳毡炭化粉粒融入保温纤维棉引起发热体或护管与炉壳短路	更换保温纤维
抽气系统异常	真空泵不能启动	检修泵是否移位或泵内是否有杂质
	真空状态时气压表读数经常变化	气管或阀门漏气
	排气口气味异常	有氩气泄露
...

2.2.5 电阻

炉内的发热体及保温材料由于高温下长期使用, 不可避免地会存在炭化现象, 因而导致炉身两电极绝缘度降低, 甚至引起炉壳与大地的短路。此外, 变压器也存在对地漏电现象, 因此接通系统电源前测量各部件的绝缘电阻, 就能很快地找到炉体和变压器系统的漏电故障。

2.3 参数模糊化处理

将黑体炉诸多的故障用集合的形式表示为(简称故障集):

$$S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$$

3 黑体炉系统故障诊断系统结构

3.1 故障诊断知识库

黑体炉系统运行状态故障诊断知识的多样性和表示方法的差异决定了知识库采用多库结构的组织模式, 包括数据库、事实库和规则库。这样可以提高系统工作效率, 也便于知识的搜索。各库之间相互独立, 一个库的修改不会影响其它库。

为了缩小搜索范围, 提高推理速度, 将诊断规则

库中的规则分成 3 组:故障诊断规则组、故障原因分析规则组和故障消除措施规则组,表达形式为:

(1)故障诊断规则组:[数据,事实]→故障类型;

(2)故障原因分析规则组:[事实,故障类型]→故障原因;

(3)故障消除措施规则组:[事实,故障类型,故障原因]→故障消除指导。

同一组的规则为一层,故障诊断规则组层次最高,故障原因分析规则组层次次之,故障消除措施规则组层次最低。在推理过程中,只需从与待求解问题相应的规则组中选择知识,大大加快知识搜索效率。对同一组中的规则按优先级排序编号,排列的原则是:规则前提条件部分包含元素多的优先排列;元素数量相同,规则强度大的优先排列;规则强度相同,但问题出现概率大的优先排列。

3.2 故障诊断推理

3.2.1 故障类型的模糊诊断模型

考虑到计算机处理数值运算要比处理以符号表示的知识效率高得多,本故障诊断专家系统采用模糊诊断和反向推理相结合来进行故障类型的判断,以模糊诊断的结果作为反向推理的目标,从目标出发,使用相应规则证明事实命题成立。其优点是搜索目的性强,推理效率高。

用模糊关系矩阵 R 表示故障原因和各种症状之间的因果关系,矩阵中每个元素值的大小表明了它们之间相互关系的密切程度。其中行表示各种症状,列表示故障的种类,如下式所示:

$$R = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & \cdots & R_{1n} \\ R_{21} & R_{22} & \cdots & R_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ R_{m1} & R_{m2} & \cdots & R_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

且 $0 \leq R_{ij} \leq 1 (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$, 表示第 i 种症状 x_i 对第 j 种原因 y_j 的隶属度。

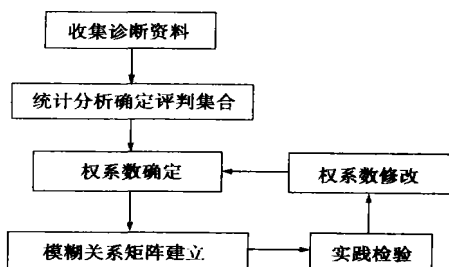


图 2 模糊关系矩阵的建立过程

模糊关系矩阵的确定是模糊诊断中十分重要的一个环节,需参考大量故障诊断经验和实验测试结果。由于隶属函数公式本身的限制,有时不能反映出各参数对故障类型影响的重要程度,因此模糊关系矩阵的建立包含两个阶段:即由专家经验设定初始值和和在诊断过程中根据经验积累对权矩阵进行修改。模糊关系矩阵的建立过程如图 2 所示。

现采用权值矩阵 W 的方法来表达参数对各种故障类型影响的重要程度:

$$W = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & \cdots & W_{1n} \\ W_{21} & W_{22} & \cdots & W_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ W_{m1} & W_{m2} & \cdots & W_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

为了更精确地反映参数的可信度,避免因某个局部数据的不准确而导致可信度的不准确,采用最近一组数据进行相关分析,从而得到参数的可信度矩阵 R_{cf} 。根据相关分析和黑体炉专家的经验,建立如下可信度矩阵:

$$R_{cf} = \begin{bmatrix} r_{cf11} & r_{cf12} & \cdots & r_{cf1n} \\ r_{cf21} & r_{cf22} & \cdots & r_{cf2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{cfm1} & r_{cfm2} & \cdots & r_{cfmn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中: R_{cf} —可信度矩阵; r_{cfij} —黑体炉系统故障诊断的第 i 个症状数对应第 j 个故障类型的可信度。

由于各种类型故障对黑体炉造成的后果不同,黑体炉系统操作人员首先应针对造成后果最严重的黑体炉系统进行处理,因此应对每种黑体炉系统附一个优先级,由此构成优先级权矩阵:

$$M = [M_1, M_2 \cdots M_n]^T \quad (4)$$

由黑体炉系统专家知识可知:

炉体短路造成的后果最严重,其优先权值最大,废气排放有异味造成的后果最小,其优先权值也最小。

在黑体炉系统故障诊断专家系统的模糊推理中,利用模糊关系合成及模糊变换,采用模糊假言推理的方法来进行。

建立如下黑体炉系统故障诊断专家系统的模糊关系式:

$$\mu_Y = \{ \mu_X \circ [(R \circ W) \circ R_{cf}] \circ M \quad (5)$$

式中: μ_Y —黑体炉系统故障向量; \circ —逻辑运算符(具体逻辑运算过程见式(7))。

求解式(5),即可得到黑体炉系统故障诊断推理模式:

$$\mu_x \rightarrow R_r \rightarrow \mu_y \quad (6)$$

式中, 模糊关系式 R_r 为模糊变换器, 输入参数向量 μ_x , 便可得到黑体炉系统故障诊断结果 μ_y , 由此构成了黑体炉系统故障诊断模糊专家系统的推理机, 具体的推理过程如下:

(1) R 与 W 合成为 R_w , 算法为:

$$r_{w_j} = f(r_{ij} \times w_j) \quad (7)$$

式中: $f(x) = \begin{cases} 1 & x > 1 \\ x & 0 \leq x \leq 1 \end{cases}$

(2) R_w 与 R_{cf} 合成为 R_r

根据黑体炉系统故障诊断模糊专家系统宁肯误报也不漏报的原则, 采用以下方法合成矩阵 R_r :

$$r_{ij} = R_{w_j} \vee R_{cf} \quad (8)$$

其方法是取 R_w 的第 i 行、第 j 列元素与 R_{cf} 的第 i 行、第 j 列对应元素相比较, 取最大值, 以此作为 R_r 的第 i 行、第 j 列元素。

(3) μ_x 与 R_r 合成为 Q

当输入参数向量有 m 个, 黑体炉系统故障类型有 n 种, 则可定义:

$$Q = \mu_x \circ R_r = [q_{ij}]_{1 \times n} \quad (9)$$

式中逻辑运算过程为: $q_{ij} = \bigvee_{k=1}^i (\mu_{1k} \wedge R_{rkj})$, 其中符号 \wedge 、 \vee 的含义分别为: $a \wedge b = \min\{a, b\}$, $a \vee b = \max\{a, b\}$ 。

(4) Q 与 M 合成为 μ_y

$$\mu_{yij} = f(q_{ij} \times M_{ij}) \quad (10)$$

3.2.2 故障原因分析和故障消除措施的正向推理

故障原因分析和故障消除措施的推理过程是从故障类型和事实出发, 求得结论的过程, 所以采用事实驱动的正向推理, 用 Visual Basic 6.0 实现正向推理的程序流程见图 3。

3.2.3 故障诊断系统的实现

从以上分析可以看出: 故障原因分析和故障消除措施这两个级目标推理所需的前提条件是已知且充分的, 所以采用正向推理, 有效地解决了“一果多因”问题。而对于“一因多果”问题可以调用模糊诊断模型计算出可能出现的故障假定集 S , 再以假定集的元素为目标, 进行反向推理来解决实现, 本文不再详细阐述。

黑体炉故障诊断的过程主要包括对黑体炉运行状态参数数据预处理, 参数模糊化以及根据状态参数判断故障类型, 分析引起故障的原因, 最后根据故障类型和原因, 给出故障消除措施。黑体炉故障诊

断的推理模式为: 总目标的推理采用过程化推理, 即故障类型诊断、故障原因分析和故障消除措施, 这 3 个级目标之间采用过程化推理。

黑体炉故障诊断的过程化推理按照元知识控制级目标的执行顺序, 级目标推理对规则库进行搜索模糊匹配以及过程化推理与级目标推理的结合通过黑板实现。各个级目标根据需要从黑板中调用信息。系统以黑板作为信息传输的介质, 以此实现各部分之间的信息交换。在规则的搜索中, 采用同一层的规则节点引入竞争机制的有限宽度优先搜索策略, 只要有一个节点匹配成功, 其它的同层节点就默认失败, 然后沿成功节点的分支节点搜索下一层节点, 依此类推。这种搜索策略缩小了搜索范围, 加快了搜索速度, 十分适合于实时推理过程。

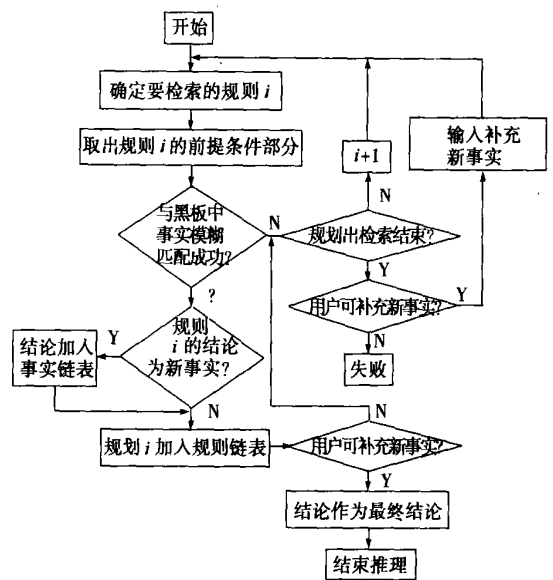


图 3 故障原因分析和故障消除措施的正向推理流程

3.3 软件结构

黑体炉运行状态监测子系统将各检测点的数据以 5 s 为一周期向组态软件数据库传送一次, 黑体炉系统故障诊断系统基于 OPC 技术与组态软件数据库接受这些动态数据, 然后实现对黑体炉系统进行故障诊断。

整套诊断系统由模糊诊断模块、知识库维护以及系统帮助 3 个模块组成。在给定阈值的情况下, 对黑体炉系统典型故障进行诊断分析, 并给出操作策略。诊断界面由对话框组成, 并通过人机对话实现诊断。

3.4 诊断系统的解释功能

解释与操作决策功能是故障诊断系统推断结论对使用者的说明,包括故障报警、故障处理办法。用各种符号及逻辑语对使用者解释说明则过于公式化。因此,解释是将由符号及逻辑语组成的结论翻译成简练的专业术语的语言形式的文字描述。解释后的语句通过操作决策的形式发布给使用者。若系统发生故障,软件自动切换到故障诊断界面将故障诊断报告显示给系统的使用者。

3.5 黑体炉系统故障诊断系统应用

表 2 人为制造典型故障与实验结果

人为制造典型故障			诊断结论
故障类型	系统级故障	部件故障	
排水温度偏高	炉体系统	保温材料保温性能下降	一致
温控开关跳闸	电路系统	石墨体短路	一致
硅光电池电压信号漂移偏大	电路系统	功率调节器自整定紊乱	一致
石英玻璃窗口有火花	炉体系统	石墨体坏	不一致
系统运行有异常声音	抽气系统	真空泵坏	一致
...

为了验证黑体炉系统故障诊断系统的有效性,在尽量不破坏黑体炉系统的前提下,在 14 个部件上人为地制造排水温度偏高、温控开关跳闸、硅光电池电压信号漂移偏大、石英玻璃窗口有火花和系统运行有异常声音等典型故障,系统实验的部分诊断结论如表 2 所示。

运行该诊断系统,实验结果表明,黑体炉系统故障诊断模糊专家诊断结果与实际情况相一致,故障诊断的准确率很高,但在某些故障原因诊断时却出现了一定的误诊,其原因来自以下两个方面:

- (1)该两种典型故障与特征参数之间的模糊关系矩阵确定时,专家经验的误差;
- (2)修正该模糊关系矩阵的权系数矩阵确定时

存在不合理的因素;

因此,建议采纳和吸收更多的黑体炉系统领域专家以及经验丰富的维修人员的知识与经验,进一步丰富知识库,在对模糊关系矩阵以及权系数矩阵确定时,尽量做到真实反映它们之间的关系。

4 结 论

本实验室所开发的黑体炉故障诊断系统已经应用将近半年的时间,结果表明:

- (1)该故障诊断系统的知识库是基本合理的,推理机制是快速高效的,黑体炉故障诊断系统已具备了较高的诊断能力;
- (2)使更多的维修人员和非专业人员具有该领域专家的分析判断黑体炉系统故障的水平,实现了非专业人员无事故的现场操作;
- (3)黑体炉故障诊断的准确率还未达到最理想的期望值,可以通过对知识库的进一步完善修改和模糊关系矩阵的优化来提高。

参考文献:

- [1] 检测装置组. 卧式黑体炉使用说明书[M] . 昆明: 云南仪表厂出版社, 2004.
- [2] 刘有才, 刘增良. 模糊专家系统原理与设计[M] . 北京: 航空航天大学出版社, 1995.
- [3] 蔡自兴. 智能控制[M] . 北京: 电子工业出版社, 1990.
- [4] 侯立华, 朱小燕, 王信义. 模糊推理算法在 FMS 故障诊断与维修系统中的应用[J] . 北京理工大学学报, 2000, 20(3): 281—285.
- [5] 罗智中, 司徒忠, 彭细正. 车辆发动机故障诊断专家系统的模糊化研究[J] . 农业机械学报, 1999, 30(6): 97—101.
- [6] CHEN SHYI MING, HSIAO WEN HOAR. Bidirectional approximate reasoning for rule-based systems using interval-valued fuzzy sets[J] . *Fuzzy Sets and Systems*, 2000 113: 185—203.
- [7] SETNES M, VAN NAUTA LEMKE H R, KAYMAK U. Fuzzy arithmetic-based interpolative reasoning for nonlinear dynamic fuzzy systems [J] . *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 1998, 11: 781—789.

(辉 编辑)

A study has been conducted for a 60 kW PEMFC (proton exchange membrane fuel cell) distributed power generation system, which provides electricity and heat energy for architectural buildings. A power generation system model was established based on the dynamic flow of masses and an electrochemical reaction process. To meet the requirements of the system for power generation efficiency and stable operation and to take into account the specific features of multi-parameter nonlinear and firm dynamic coupling, during the control design of the system, one will no longer focus on a specific parameter, but pay close attention to the coordinated operation of the system as a whole. Through the simulation of the typical power demand of fifteen families in a day a dynamic simulation test was performed of the system. The results of the test indicate that the proposed control scheme for the system is feasible and an optimal search of the working points enables the system to response adequately to a real-time loading. Moreover, single neuron-element PI decoupling controllers can at all times ensure a stable operation of the system under ideal pressures and humidity conditions. All the above can serve as a guide for the further design optimization of the system as well as for its development and applications. **Key words:** proton exchange membrane fuel cell (PEMFC), distributed power generation, dynamic simulation, coordinated control, single neuron PI decoupling control, optimal search

基于遗传算法的机炉协调系统 PID 控制器优化 = **Optimization of PID Controllers of a Boiler-turbine Coordinated Control System Based on a Genetic Algorithm** [刊, 汉] /XUE Ya-li, LI Dong-hai, LU Chong-de (Key Laboratory on Electric System and Power Generation Equipment Control and Simulation Affiliated to the Thermal Energy Engineering Department under the Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21(1). — 80 ~ 83, 87

The design of an effective boiler-turbine coordinated control system is of major significance for enhancing the thermotechnical automation level of power plants. With respect to the boiler-turbine control system of a thermal power plant the authors have proposed a parameter optimization method for a genetic algorithm-based multivariable PID controller. By utilizing the general-use framework provided by a genetic algorithm a global optimization of the control parameters was conducted under a specified control system structure and controller format. The proposed method features a global-parallel optimization and is target-function oriented. A simulation study carried out by comparing with a generalized ZN setting method has shown that the dynamic performance of the coordinated control system after optimization has been markedly improved. Moreover, it can be easily extended to parameter optimization under other control schemes, displaying the feasibility and usability of the method under discussion. **Key words:** genetic algorithm, PID controller, boiler-turbine coordinated control

一种协调控制系统参数的鲁棒整定方法 = **A Robust Tuning Method for the Parameters of a Coordinated Control System** [刊, 汉] /TIAN Liang, LIU Xin-ping, YU Xi-rong, et al (Automation Department, North China University of Electric Power, Baoding, China, Post Code: 071003) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21(1). — 84 ~ 87

After the linearization of a simplified nonlinear dynamic model for a 330 MW unit a robust controller was designed by utilizing a loop-shaping H_∞ method. Through a search optimization by using a genetic algorithm it has been found that robust controllers with better performance indexes are distributed within a specific space. The robust controller was decomposed into a control matrix and decoupling matrix. The principle of its decoupling was found to be as follows: in case of disturbances occurring at the governing valve of a steam turbine it is necessary to supply additional fuel to the boiler as rapidly as possible and avoid overshoot of the throttle pressure ahead of the turbine. In compliance with this principle a simple single-direction decoupling is designed and the PID controller is tuned using a relevant engineering method. The transfer function of the PID controller is very similar to that of the low-order item of a robust controller. Simulation experiments have demonstrated that the coordinated control system designed by using the above method possesses relatively good dynamic characteristics and robustness. **Key words:** coordinated control system, robustness, PID control, parameter tuning

基于模糊理论的黑体炉系统故障诊断的设计及实现 = **Design and Realization of Fault Diagnosis for a Black-**

body Furnace System Based on a Fuzzy Theory [刊, 汉] / ZHAO Ping, LIU Zhi-qiang, SHI Zhang-ming, et al (Institute of Energy and Power Engineering under the Central South China University, Changsha, China, Post Code: 410083) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21(1). — 88 ~ 92

To realize a rapid and high-efficiency diagnosis of existing faults or potential ones in a black-body furnace system a knowledge base assuming the form of multiple bases and levels has been set up on the basis of the operating characteristics of the said system. By employing a hybrid reasoning mechanism an inference machine was designed, based on the combination of an overall target reasoning and a grade or level target reasoning. The hybrid reasoning combines the inverse reasoning of black-body fault type diagnosis on the one hand and the positive-direction inference featuring fault-cause analysis and measures for fault elimination on the other. The effectiveness of the hybrid reasoning mechanism being put to use indicates that the expert system of black-body furnace fault diagnosis can ensure a relatively high prediction accuracy and has a rather high practical value in relevant applications. **Key words:** black-body furnace, fault diagnosis system, knowledge base, fuzzy theory

复合添加剂在两种烟气脱硫工艺中的应用 = **The application of Compound Additives in two Kinds of Flue-gas Desulfurization Process** [刊, 汉] / WANG Jin-gang, HU Jin-bang, DUAN Zhen-ya, et al (Institute of Chemical Engineering under the Tianjin University, Tianjin, China, Post Code: 300072) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21(1). — 93 ~ 95

Three kinds of compound additive have been used in two kinds of typical flue-gas desulfurization process. Test results have shown that the compound additives are more effective than simplex additives and the compound additive composed of adipic acid and NaCl has the highest effectiveness. The compound additives feature low cost, ease of use and are available anywhere on the market. Their rational use can further enhance the operating efficiency of flue-gas desulfurization units and has potential for widespread applications. **Key words:** flue gas desulfurization, compound additive, adipic acid, metallic chloride

风机振动故障诊断及处理 = **Diagnosis of Fan Vibration-caused Failures and Measures taken to Cope with Them** [刊, 汉] / CHEN Lian-fang, XU Xi-ren (Institute of Energy and Power Engineering under the Shandong University, Jinan, China, Post Code: 250061) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21(1). — 96 ~ 98

A model CS12120 dual-channel vibration frequency acquisition device was used to collect the vibration frequency spectrums and phase data of blower fans and electromotors at a power plant in Linyi City of Shandong Province. On this basis a diagnosis and analysis was performed of the vibration-caused failures. The cause of fan vibrations can be attributed to tooth breakage, cracks and tooth face cave-in in a toothed coupling located between an electromotor and a blower fan. Moreover, the fractures in the coupling have been a root cause leading to a significant variation in vibration amplitudes concurrent with load changes. Corrective measures were taken based on the above diagnostic conclusion and remarkably good results have been achieved. The vibration characteristics and the method adopted to cope with them are quite representative. The analysis, diagnostic approach and method used to deal with failures can serve as a helpful reference for diagnosing and resolving similar fan vibration problems. **Key words:** fan vibration, vibration frequency spectrum, failure diagnosis, methods adopted to cope with failures

俄罗斯全自动化船用辅锅炉装置 = **Fully Automatic Marine Auxiliary Boiler Units Manufactured in Russia** [刊, 汉] / XU Yan, ZHANG Hai-yan, LIANG Hai-dong, et al (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21(1). — 99 ~ 101