

两种不对中在线补偿控制算法的比较

李慧敏¹, 何 勇¹, 曾 胜²

(1. 东华大学机械工程学院, 上海 200051; 2 浙江大学 化工机械研究所, 浙江 杭州 310027)

摘 要: 引入一种可在线调节转子轴位置的支承结构——电磁辅助支承, 它通过控制电磁执行器线圈中的电流可在线调整转子轴在空间的位置, 使转子系统轴系间的不对中消除。将不对中引起的附加振动视为一干扰量, 针对其采用自寻最优控制算法和具有自学习功能的前馈控制算法, 使得转子在不停车的情况下自动实现不对中的识别和控制。最后在单盘对称转子轴承系统上进行了试验验证和比较, 试验结果证明两种控制方法对轴系间的不对中都具有较好的校正能力。其中不对中自寻最优控制器不需要建立关于不对中系统精确的数学模型表达式, 对位移传感器的要求不高, 但搜索时间较长; 不对中前馈自学习控制器也无需建立精确的数学模型, 搜索时间较短, 但对位移传感器的要求相对较高。

关 键 词: 电磁轴承; 不对中; 前馈控制; 自寻最优控制

中图分类号: TH133.3; TP273 文献标识码: A

引 言

不对中是旋转机械最为常见的故障之一。转子系统出现不对中后, 将引起设备的振动、轴承的磨损和油膜失稳、联轴器的偏转、轴的绕曲变形等一系列不利于设备运行的动态效应。即使是机器的冷态对中达到很高的精度, 其运行状态下的对中仍有发生变化的可能性。为了降低不对中引起的不利影响, 人们设计了允许平行误差和偏角误差的联轴器。但在设备运行时若出现不对中过大, 超过联轴器所允许的偏差范围时, 仍会出现对系统平稳运行不利的动态效应。目前人们对旋转机械中不对中故障的在线监测和识别进行了很多有益的探索, 但由于很多支承结构不能在运行中调整转子的位置, 故对不对中的研究尚停留在诊断阶段上^[1~4]。

从原理上讲, 电磁轴承可以在转子运行期间利用电磁力来调整转子的位置, 从而实现不对中故障的在线识别和补偿。本文利用电磁执行器的特点, 将其直接安装在主支承上, 构成一种新型支承结构——电磁辅助支承^[5]。该支承利用电磁力可使转子

轴重新定位, 从而使不对中转子在不停止工作的状况下就能恢复对中的状态。

首先对该支承结构在线补偿不对中的原理进行介绍, 然后用两种不同的控制算法对其进行在线控制, 最后建立一四自由度电磁辅助支承转子试验系统, 给出用两种不对中在线识别和消除的试验结果, 并对两种控制算法的实验结果进行比较。

1 电磁辅助支承的结构和工作原理

电磁辅助支承由电磁执行器、铁芯、弹簧片、滚动轴承(或滑动轴承)和机座组成, 其结构如图 1 所示。

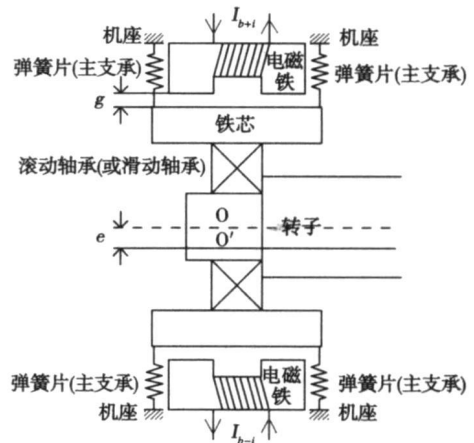


图 1 电磁辅助支承的示意图

旋转机械的转子通过滚动轴承或滑动轴承支承在铁芯上。该铁芯再通过弹簧支承在机座上。弹簧的支承刚度可按使用要求设计, 为支承系统的主刚度。同时在机座上环绕铁芯同心放置有 4 只电磁铁, 通过控制磁铁线圈中电流的大小可产生作用于铁芯上的径向的大小和方向可控的电磁力。而铁芯

通过滚动轴承或滑动轴承将电磁力传递到转子上, 可改变转子的位置达到对中的目的。另外在电磁辅助支承上有两只并排放置的弹簧, 以保证对称性, 利于系统建模。

下面对电磁辅助支承在线消除不对中的工作原理进行论述, 在推导中假设: (1) 磁路远没有达到饱和因而励磁电流的磁压降都作用在气隙上; (2) 且转子与电磁铁的几何中心是重合的。在图 1 中, 令 $I_1 = I_b + i$, $I_2 = I_b - i$, 其中: I_b —静态偏置电流; i —控制电流; O —几何中心。在电流 I_1 、 I_2 和主刚度 K_m 共同作用下, 当转子有如图 1 所示的位移 e 时, 转子受到的回复力为 (不计重力):

$$F = K_m e + \frac{\alpha \mu_0 A N^2}{4} \left[\frac{(I_b + i)^2}{(g + e)^2} - \frac{(I_b - i)^2}{(g - e)^2} \right] \quad (1)$$

式中: K_m —主刚度; α —与结构有关的系数; μ_0 —空气磁导率; A —磁极有效面积; N —线圈匝数; g —静态时的工作气隙。

回复力在 $e=0$, $i=0$ 处作泰勒展开, 略去高阶小量, 得到力的线性表达式:

$$F = K_m e + \frac{\alpha \mu_0 A N^2 I_b^2}{g^3} e + \frac{\alpha \mu_0 A N^2 I_b i}{g^2} \quad (2)$$

式中: K_s —位移刚度, 为负数; K_i —电流刚度, 为正数。

采用 PID 控制规律调节控制电流 i 时, i 的表达式为:

$$\begin{cases} i = Pe + I \int edt + De' \\ e = y_b - y_m \end{cases} \quad (3)$$

式中: P —比例系数; I —积分系数; D —微分系数; y_b —转子的平衡位置; y_m —测量值。

由式(3)可以看出: 通过 PID 调节后能产生控制电流 i 使转子达到新的平衡位置 y_s 。其中比例(P)的作用是使转子较快地趋于新的平衡位置; 积分(I)的作用是消除转子在新平衡位置上的静差, 比例(P)和积分(I)共同作用使得转子轴心精确定位; 微分(D)则提供阻尼, 抑制转子移动瞬间产生的瞬态响应。综上所述, 在转子运行期间, 若改变转子的位置, 只需重新设定 y_b 即可。

如果转子的两端都支承在电磁辅助支承上, 则可通过控制 y_b 就可改变转子轴的空间位置, 实现不对中故障的在线补偿。

2 不对中在线补偿控制

转子轴与中间轴之间采用柔性联轴节进行连

接。按文献[4]的方法, 当两轴之间存在不对中时, 转子在径向方向将产生一倍频和二倍频振动分量。为了与不平衡量引起的振动分量区别, 在此将二倍频分量作为识别不对中的特征频率, 并以降低或消除它为控制目标, 设计了两种控制器: 不对中自寻最优控制器和不对中前馈自学习控制器。

2.1 不对中自寻最优控制

本文设计的不对中自寻最优控制器是根据不对中控制系统的实际情况, 将极值记忆法和改进的步进搜索法相结合设计出的控制器。

为了反映转子整体受不对中的影响程度, 将各测点的二倍频分量幅值的总和作为不对中控制的目标 (即不对中引起的输出量), 记为 V_{total} 。则不对中的输出量与输入量之间的关系可以表示为:

$$V_{total} = f(x_{s1}, x_{s2}, y_{s1}, y_{s2}) \quad (4)$$

式中: x_{s1} 、 x_{s2} 、 y_{s1} 和 y_{s2} —转子两端轴心偏离几何中心的位移量, 它在某个特定区域内仅有一个最优区:

$$V_{total}^* = f(x_{s1}^*, x_{s2}^*, y_{s1}^*, y_{s2}^*)$$

当 V_{total} 超过所要求的最小允许值时, 按照先后顺序调整式(4)中的 4 个输入变量, 同时令每个变量的增量相同 (即令 $\Delta x_s = \Delta y_s = \Delta v_s$), 然后分别测出每个变量改变后引起的各个测点二倍频分量幅值的总和 V_{ij} ($i = x, y; j = 1, 2$), 并计算出其对应的增量 $\Delta V_{ij} = V_{total} - V_{ij}$ ($i = x, y; j = 1, 2$), 再按以下的控制规律调整输出。

首先令:

$$\begin{aligned} a_{x1} &= \frac{V_{total}}{\Delta V_{x1}}, a_{x2} = \frac{V_{total}}{\Delta V_{x2}} \\ a_{y1} &= \frac{V_{total}}{\Delta V_{y1}}, a_{y2} = \frac{V_{total}}{\Delta V_{y2}} \end{aligned} \quad (5)$$

然后令下一步控制输出的增量为:

$$\begin{bmatrix} \Delta x'_{s1} \\ \Delta x'_{s2} \\ \Delta y'_{s1} \\ \Delta y'_{s2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{x1} \\ a_{x2} \\ a_{y1} \\ a_{y2} \end{bmatrix} \Delta v_s \quad (6)$$

这样做的优点在于: 当转子不对中引起的二倍频分量很大时, 发出试探控制增量后, 若其对不对中的改变很小, 则说明该试探控制增量小, 控制后的运转点离最优运转点仍然很远。经过式(5)和式(6)的计算后, 下一步发出的控制增量将增大, 增大倍数为试探控制增量对输出影响的倒数, 这样可以以较快的搜索速度达到最优工作点; 反之, 若试探控制增量对输出影响较大, 则说明控制后系统靠近最优运转点, 则下一步控制输出相应地减少。

2.2 不对中前馈自学习控制

将由于不对中引起的附加力矩视为干扰源, 由其作用在转子系统而产生的二倍频分量为干扰量, 采用前馈控制对其进行消除。前馈控制需要事先对干扰对象建立精确的模型, 但如能实时在线地识别出该干扰量, 就可以在转子运行期间用前馈控制将其消除, 这就是不对中前馈自学习控制^[5]。对不对中的识别可以采用影响系数法, 以下对其工作原理进行详细论述。

在未加试探控制力矩之前, 测点 j 处转子的振动信号的二倍频分量为 x_{j0} 和 y_{j0} ($j = 1, 2, \dots, N$)。依次控制 4 个执行器 (一个电磁辅助支承中的电磁执行器分为 X 方向和 Y 方向两个执行器, 两个电磁辅助支承共 4 个执行器), 施加相同的试探偏移位移 v_s 后, 测得第 n ($n = 1, 2, 3, 4$) 个执行器的控制信号作用时第 j 个测点产生的振动信号的二倍频分量为 x_{jn} 和 y_{jn} 。根据这些信号的矢量值, 确定其影响系数 (类似于传统动平衡方法中的影响系数): $n = 1, \dots, 4; j = 1, \dots, N$

$$a_{j,n} = \frac{x_{j,n} - x_{j0}}{v_s}; b_{j,n} = \frac{y_{j,n} - y_{j0}}{v_s} \quad (7)$$

其中, 每个学习系数脚标的前一项表示响应的位置, 后一项表示激励位置。由这些学习系数构成的学习矩阵为:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{N1} & a_{N2} & a_{N3} & a_{N4} \\ b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & b_{24} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{M1} & b_{M2} & b_{M3} & b_{M4} \end{bmatrix}_{2N \times 4}$$

对于不对中来说, 需要 4 个执行器即可 (X 方向和 Y 方向), 故 A 矩阵的维数为 $2N \times 4$ 。 A 矩阵第 n 列是根据第 n 个执行器的试探控制信号对 N 个测点 X 方向和 Y 方向控制前后的二倍频响应求得, 其中, X 方向的系数为 $a_{j,n}$, Y 方向的系数为 $b_{j,n}$ 。

设控制前二倍频振动矢量为:

$$V_0 = \{x_{10} x_{20} \dots x_{N0} y_{10} y_{20} \dots y_{N0}\}_{2N}^T$$

前馈控制信号矢量为:

$$P = \{x_{s1} \ x_{s2} \ y_{s1} \ y_{s2}\}_4^T$$

则施加前馈补偿控制力之后的残余振动为:

$$E = V_0 + AP$$

式中, E — 控制后的残余振动矩阵。

令优化控制目标为所有测点残余振动的平方和最小, 即:

$$\min J = \min \frac{E^2}{2} \quad (8)$$

则:

$$P = -(A^* T A)^{-1} A^* T V_0 \quad (9)$$

式中: A^T — A 的转置矩阵; * — 共轭复数。

控制系统经过式 (7) ~ 式 (9) 的学习和优化计算, 将产生新的控制信号。这时, 不对中按照式 (8) 的优化目标得到了补偿, 不对中引起的响应得到抑制。

3 试验装置

图 2 为电磁辅助支承系统的试验装置实物图。图中, 一根细长轴的两端支承在结构参数相同的电磁辅助支承上, 转子一端通过柔性联轴节与直流电机相连。轴的振动和转速分别由涡流传感器和光电传感器检测。振动信号和转速信号由计算机通过 AD 板采集。物理理论计算和试验测试均表明该转子的第一阶临界转速约为 4 008 r/min。

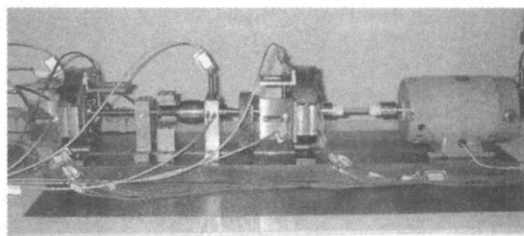


图 2 试验装置

4 试验分析

将驱动电机一端垫高 0.25 mm (在 YZ 平面内), 模拟轴系间的不对中。图 3 为不对中在线补偿控制实验中的不对中示意图。

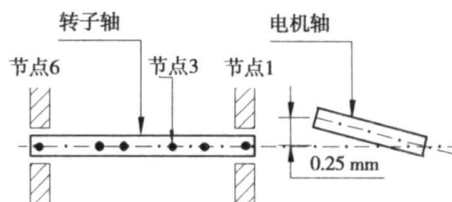


图 3 不对中的实验示意图

为取得较好的校正效果, 选在二倍频幅值最高的转速下进行控制, 在本实验中为 1 850 r/min 左右。

4.1 不对中自寻最优控制

按照前面论述的不对中自寻最优控制的方法来调整转子位置。由文献[4]可知: 当 YZ 平面存在不对中时, 在 Y 方向的振动中二倍频分量较大, 而 X 方向较小, 因此图 4 仅给出控制前后节点 3 的 Y 方向振动测试信号频谱图(该节点振动最大)。

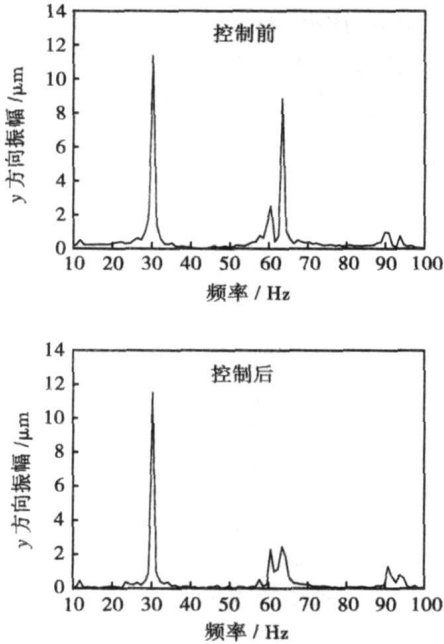


图 4 节点 3 控制前后的频谱图 (不对中自寻最优控制)

由图 4 可知, 当 YZ 平面存在不对中时, 节点 3 控制前二倍频分量的幅值高达 8.918 μm, 控制后降为 2.548 μm, 二倍频基本消失, 降幅达到 71.4%。

图 5 是转子两端的轴心轨迹控制前和控制后的变化图。图中各节点振动位置并未从原点开始, 这与传感器放置位置有关。由图可以看出, 转子两端移动的位移 Δe 分别为 44 μm(靠近电机端, 节点 1)和 114.5 μm(节点 6), 已知转子轴两端的跨距为 400 000 μm, 由此计算出转子轴偏离原来水平方向的偏角为 0.01°。

控制后转子的不对中状况有很大的改善, 但是不对中仍然存在。此时轴系间的不对中偏差实际为联轴器所容许的平行偏差和角度偏差。

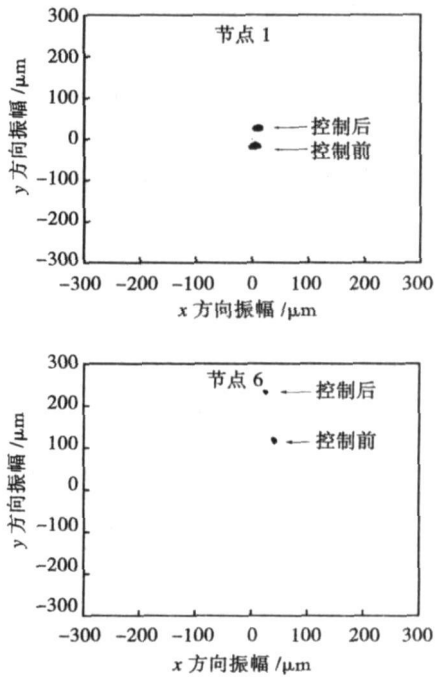


图 5 转子两端(节点 1 和节点 6)的轴心轨迹 (不对中自寻最优控制)

4.2 前馈自学习控制

考虑到电磁执行器的调节范围(±200 μm)和所用传感器的精度(±1 μm), 将优化控制目标(即 3 个测点的二倍频幅值的平方和)设为 20 μm², 然后按前面论述的前馈自学习控制规律进行控制。

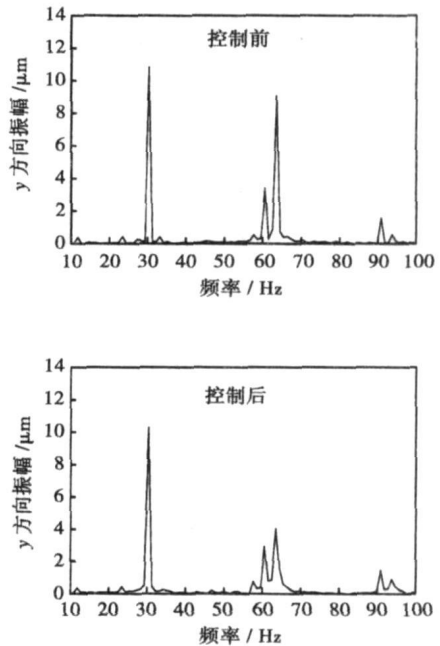


图 6 节点 3 控制前后的频谱图 (前馈自学习控制)

图 6 给出中间圆盘(该节点的振动最大)控制前后的实验结果。从图中可以看出:一倍频幅值基本没有变化,而二倍频幅值从控制前的 $9.1 \mu\text{m}$ 下降到控制后的 $4.0 \mu\text{m}$,二倍频与一倍频的比值由 83.3% 降至 39.3% 。为了更好地了解转子在空间的移动情况,图 7 给出了转子两端的轴心轨迹变化。

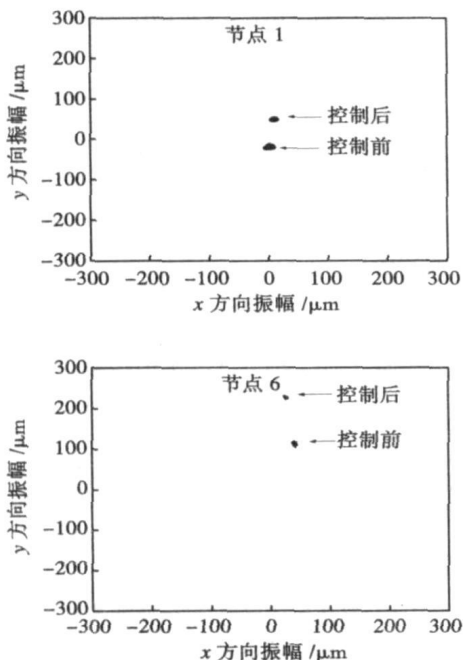


图 7 转子两端(节点 1 和节点 6)的轴心轨迹
(前馈自学习控制)

由图 7 可以看出,转子两端移动的位移 Δ_e 分别为 $80 \mu\text{m}$ (靠近电机端,节点 1)和 $110 \mu\text{m}$ (节点 6),转子轴偏离原来水平方向的偏角为 0.0043° 。这与实际的不对中有一定的偏差,主要原因在于系统采用的柔性联轴节本身容许一定的平行偏差和角度偏差。此外,控制系统的精度(根据传感器精度和其它因素将优化控制目标设为 $20 \mu\text{m}^2$),对控制后的结果也有影响。

5 结 论

通过理论分析和试验结果,可以得出如下结论:

(1) 不对中自寻最优控制器不需要建立关于不对中系统精确的数学模型表达式,且对位移传感器的要求不高。但搜索时间较长,且每一步步长的设定也较困难。

(2) 不对中前馈自学习控制器和不对中自寻最优控制器一样,无需建立精确的数学模型。不同的是,它的移动量是根据识别出的不对中量确定的,其

搜索时间比不对中自寻最优控制器短。当不对中量较小时,它对位移传感器的要求相对较高。

(3) 两种不对中控制器通过实验都达到了预期的目的,验证了它们的可行性。但识别出的不对中量与实际不对中量有一定的误差,其补偿能力与传感器、A/D 采集卡精度和电磁执行器特性等因素有关。

需要提出的是:本文仅是对电磁辅助支承系统用于不对中在线识别和消除进行了初步性的实验研究。由于电磁执行器和支承结构的限制,不对中的调节是有限的,因此只能在一定的范围进行控制(本文在线性范围内进行调节,系统支承刚度是不变的,移动铁芯位置后不影响振动中的其它分频幅值)。

参考文献:

- [1] XU M, MARANGONI R D. Vibration analysis of a motor-flexible coupling-rotor system subject to misalignment and unbalance[J]. Journal of Sound and Vibration, 1994, 176(5): 663-691
- [2] 夏松波, 张新江. 旋转机械不对中故障研究综述[J]. 振动测试与控制, 1998, 18: 157-161
- [3] GUHA S K. Analysis of steady-state characteristics of misaligned hydrodynamic journal bearings with isotropic roughness effect[J]. Tribology International, 2000, 33(1): 1-12
- [4] 黄典贵, 蒋滋康. 交角不对中轴系的扭振特性分析[J]. 气轮机技术, 1995, 37(3): 150-153
- [5] 李慧敏, 曾 胜, 汪希童. 基于电磁辅助支承的不对中在线补偿系统的研究[J]. 机械工程学报, 2005, 41(9): 150-154

(编辑 柴舒)

° 书 讯 °

循环流化床锅炉机组控制系统 调式及运行技术

本书介绍了循环流化床机组的发展历程,阐述了大中型循环流化床机组控制系统设备选型和构成,深入研究了 MCS、SCS、FSSS、DAS、DEH 等功能子系统的设计结构和工作原理,对大中型循环流化床机组控制系统的验收、调试、系统投入等问题进行了全方位讲解,给出了大中型循环流化床机组控制系统运行维护与检修的原则、内容、方法和质量标准。读者对象:大中型循环流化床机组现场工程技术人员和管理人员等。

2006 年 12 月出版

of Shell-and-tube Heat Exchangers[刊, 汉] / GU Xin, DONG Qi-wu, LIU Min-shan (Thermal Energy Engineering Research Center, Zhengzhou University, Zhengzhou, Post Code: 450002) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(1). — 64 ~ 68

In the light of the structural characteristics of shell and tube heat exchangers, a periodic whole-section calculation model was presented for use in the numerical simulation of the exchanger flow and temperature fields. A comparison of the calculation results obtained by using the model under discussion with those of an integral model for a shell side shows that the error is less than 10%, indicating that the model in question is rational and its simulation results are correct. As a result, it provides a new approach for performing the numerical simulation of shell-and-tube heat exchangers with a sophisticated shell-side structure. On the basis of the calculation results obtained by using the periodic whole-section model, the modified algorithm of a periodic unit flow-passage model was presented for baffle-rod type heat exchangers, thus improving and perfecting the practicability and applicability of the above periodic model. **Key words:** shell and tube heat exchanger, periodicity, calculation model, numerical simulation, modified algorithm

自抗扰控制器串级三冲量汽包水位控制系统 = Three-element Drum Water-level Cascade Control System Featuring a Self-disturbance-resistant Controller[刊, 汉] / CHENG Qi-ming, DU Xu-feng, GUO Run-qing (College of Electric Power and Automation, Shanghai University of Electric Power, Shanghai, Post Code: 200090), ZHENG Yong (Automation College, Shanghai University, Shanghai, Post Code: 200072) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(1). — 69 ~ 72

In the light of the specific features of boiler-drum water level control, a self-disturbance-resistant controller-based drum water-level control system was presented, which adopts a three-element cascade control plus a feedforward control. The inner ring of the cascade control employs a PID (proportional-integral-differential) control while the outer ring uses a self-disturbance-resistant controller with a feedforward compensation. The self-disturbance-resistant controller comprises three elements, i. e. a tracking differentiator, an extension-state observer and a non-linear status error feedback control gear. The simulation results show that the control scheme proposed by the authors enjoys a better control quality and stronger robustness compared with those of a conventional PID control scheme. **Key words:** boiler drum water level, self-disturbance-resistant control, tracking differentiator, extension state observer, PID (proportional, integral and differential) control

液幕式湿法脱硫中喷嘴竖直射流液体回落特性实验 = Experiments on Falling-back Characteristics of an Upright-jet-flow Liquid from Nozzles in Liquid-curtain Type Wet-method Desulfurization[刊, 汉] / ZHANG Wei (Thermal Energy Engineering Department, China University of Petroleum, Dongying, Post Code: 257061), ZHOU Qu-lan, HUI Shi-en (Thermal Energy Engineering Department, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, Post Code: 710049) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(1). — 73 ~ 77

During the liquid curtain type wet-method desulfurization the distribution of the falling-back liquid quantity of an upright-jet-flow directly determines the desulfurization efficiency. The distribution law of the upright jet-flow falling-back liquid from three kinds of nozzle profile and the relationship between the jet flow height and jet pressure have been studied. On the basis of the experimental data, derived was the “non-dimensional volume-flow rate formula of a falling-back liquid curtain”. It has been found during the experiment that the distribution law of the falling-back liquid in different nozzle profiles differ relatively little, because at a same jet flow height, the parameters A , n and R_0 derived from the formula very approximate to one another. Formulae showing the correlation of jet flow height and jet pressure as well as non-dimensional averaged radius and jet flow height have undergone a fitting. Through experiments of the nozzle groups it has been proven that the falling-back liquid quantity of the nozzle groups can be regarded as a simple superimposition of jet flow falling-back liquid quantity obtained simultaneously from many a single nozzle, and the distribution uniformity is a function of the nozzle spacing and jet flow height. **Key words:** nozzle, upright jet flow, falling-back liquid curtain

两种不对中在线补偿控制算法的比较 = A Comparison of Two Kinds of Out-of-alignment On-line Compensation

tion-control Algorithm[刊, 汉] / LI Hui-min, HE Yong (College of Mechanical Engineering, Donghua University, Shanghai, Post Code: 200051), ZENG Sheng (Chemical Machinery Research Institute, Zhejiang University, Hangzhou, Post Code: 310027) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(1). — 78 ~ 82

A kind of supporting structure for the on-line regulation of rotor shaft position, namely, an electromagnetic auxiliary support, was introduced by the authors. An on-line regulation of the rotor shaft position in space can be conducted by controlling the current in an electromagnetic actuator coil, and the out-of-alignment between rotor system shaftings, eliminated. The additional vibration caused by the out-of-alignment is considered as a kind of interference. An identification and control of the out-of-alignment can be automatically realized under the condition of a running rotor by adopting a self-searching optimal control algorithm and feedforward control algorithm with self-learning functions. Finally, an experimental verification and comparison was performed in a single-disk symmetrical rotor-bearing system. The experimental results show that both control methods have a relatively good correction ability for the out-of-alignment between shaftings. Moreover, for the out-of-alignment self-searching optimal controller, there is no need to establish an accurate mathematical model expression for an out-of-alignment system and the demands to displacement sensors are not high but a relatively long searching time is required. The out-of-alignment feedforward self-learning controller is also exempt from the need to establish an accurate mathematical model. It takes a relatively short search time, but puts forward comparatively high demands to displacement sensors. **Key words:** electromagnetic bearing, out-of-alignment, feedforward control, self-searching optimal control

轴颈偏斜对径向滑动轴承静态性能的影响 = Effect of Journal Deflection on the Static Performance of Radial Sliding Bearings[刊, 汉] / WANG Xiao-hong, ZHOU Da-yuan, SHI Yu-quan, et al (No. 703 Research Institute of China Shipbuilding Industry Corporation, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(1). — 83 ~ 87

The effect of journal deflection on the static performance of radial sliding bearings was studied, and an oil film thickness expression derived in the case of journal deflection. During the calculation the temperature variation has been taken into account. Reynolds Equation, energy equation and temperature-viscosity equation have been simultaneously solved. The authors have calculated the pressure and temperature distribution on the bearing at different deflection angles and oblique orientations as well as the static performance of the bearing at different eccentricities and deflection angles. It has been shown that when the journal is being deflected, the distribution of oil film thickness, pressure and temperature changes significantly and the minimum oil film thickness appears at the ends. In the meantime, the maximum oil film pressure and temperature all tend to move to the bearing ends and exercise a relatively conspicuous influence on the static performance of the bearing. With an increase of the deflection angle the oil film reaction force will increase, but the drag coefficient, decrease. The law governing the influence of oil leakage at bearing ends reveals itself as different at different bearing eccentricities. **Key words:** journal deflection, radial sliding bearing, temperature variation, energy equation, static performance

新型低热损失微燃烧器原型的实验研究 = Experimental Study of a Novel Miniature-burner Prototype with a Low Heat Loss[刊, 汉] / JIANG Li-qiao (Department of Thermal Science and Energy Source, China State University of Science and Technology, Hefei, Post Code: 230026), ZHAO Dai-qing, WANG Xiao-han, YANG Wei-bin (Chinese Academy of Sciences Guangzhou Institute of Energy Conversion, Guangzhou, Post Code: 510640) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(1). — 88 ~ 91

An experimental study has been conducted of a new method for reducing the heat loss of a miniature burner, the working principle of which lies in its preheating of unburned gas mixture by admitting gas uniformly through porous wall surfaces and in the meanwhile by reducing the temperature of the wall surfaces, thus effectively lowering the heat loss of the burner. The experimental results show that the adoption of a combined gas admission mode of supplying the burner with fuel-rich gas mixture in a circumferential direction and air from the central portion of end wall surfaces can contribute to the formation of a stable tubular premixed flame inside the miniature burner, the flame assuming a blue color and burning steadily. When the flame temperature reaches a level higher than 1100 °C, the burner inner wall temperature will be lower