

号阀是逆止阀;第 22、23 号阀分别表示密封油箱的进油和排油阀,它们在正常工况下是关闭的;第 15、19 号阀是再循环门,它们被用来调节滤网前油压 P_3 、 P_7 的大小;第 21 号阀用来接通由汽轮机主轴带动的高压动力油泵,它只在启机阶段用于给密封油箱补油。图 1 中的主油箱同时还与汽机的润滑油系统连接。

3 密封油氢侧油路油压模型的建立

氢侧油路等效网络如图 2。设第 i 个阀门开度为 k_i , $0 \leq k_i \leq 1$, 流阻为 R_i , 设

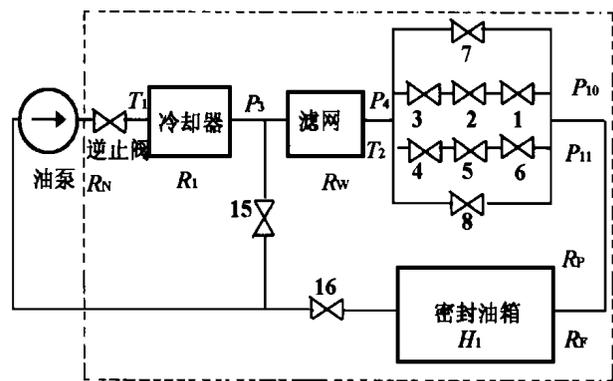


图 2 氢侧油路的等效网络示意图

$$R_i = \delta k_i^m, 0 < k_i \leq 1 \quad (1)$$

其中 δ 与 m 均为正常数,前者取决于管路的几何尺寸,在仿真时可通过计算设定,后者可近似取为 $m = 1$ 。由于集中参数管路压力 P 与流量 Q 之间是以流阻 R 为系数的近似线性关系

$$P = RQ \quad (2)$$

故, n 个阀门串联和并联的等效流阻可分别计算如下

$$R_s = \sum_{i=1}^n R_i \quad (3)$$

$$\frac{1}{R_p} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \quad (4)$$

图 2 中的冷却器、滤网和密封油箱的流阻可分别设为不同的定值 R_L 、 R_W 和 R_F 。

3.1 平衡阀只开旁路门 7、8 号的情形

按照串、并联流阻的计算法则式(3)、(4),可求出图 2 中虚线框内部分的等效流阻,设为 R , 它的压力—流量关系就是式(2)。图 2 中的油泵代表交流油泵或直流油泵,它的压力—流量关系可以近似为一种二次函数关系,即:

$$P = B - AQ^2 \quad (5)$$

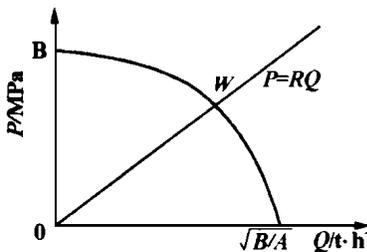


图 3 密封油泵出口压力的流量和压力 (P_1 或 P_2) 为:

$$Q = \frac{-R + \sqrt{R^2 + 4AB}}{2A} \quad (6)$$

$$P = \frac{-R^2 + R\sqrt{R^2 + 4AB}}{2A} \quad (7)$$

于是可求出其它各点的压力分别为:

$$P_3 = P - Q(R_N + R_L) \quad (8)$$

$$P_4 = P_3 - \frac{R_{15}}{R_{15} + R_W + R_p + R_F + R_{16}} R_W Q \quad (9)$$

$$P_{10} = P_{11} = P_4 - \frac{R_{15}}{R_{15} + R_W + R_p + R_F + R_{16}} R_p Q \quad (10)$$

$$R_p = \frac{R_7 R_8}{R_7 + R_8} \quad (11)$$

3.2 平衡阀旁路门 7、8 号关闭, 1 ~ 6 号开启的自动工作情形

在平衡阀投自动的情况下,氢侧油压自动比氢压高出约 0.5 MPa, 即:

$$P_{10} = P_{11} = P_H + 0.05 \quad (12)$$

其中 P_H 表示氢气的压力,它由氢气系统传给本系统,是一个时间的变量。在自动工作时,2 号、5 号两个电磁阀的开度随 P_{10} 、 P_{11} 的大小而变化,其关系一般是

$$k_2 = k_5 = P_{10}/0.5 \quad (13)$$

这种情况下,这两个电磁阀的流阻 R_2 、 R_5 也随之而变化,因而图 2 中虚线框部分的等效流阻也随之而变化,其值仍记为 R , 此时工作点,即密封油泵出口点的压力 P 及流量 Q 的表达形式仍然如式(7)、(6)所示。此时, P_3 、 P_4 的表达式仍然如式(8)、(9)所示,只不过 R_p 变为

$$R_p = \frac{(R_1 + R_2 + R_3)(R_4 + R_5 + R_6)}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6} \quad (14)$$

4 密封油空侧油路油压模型的建立

空侧油路等效网络如图 4, 其中 R_N, R_L, R_W, R_C 和 R_Y 分别表示逆止阀、冷却器、滤网、压差阀和主油箱的流阻。

4.1 压差阀只开 12 号旁路门的情形

图 4 中虚线框内部分的等效流阻为

$$R = R_N + R_L + \frac{R_{19}(R_W + R_C + R_Y + R_{20})}{R_{19} + R_W + R_C + R_Y + R_{20}} \quad (15)$$

$$R_C = R_{12} \quad (16)$$

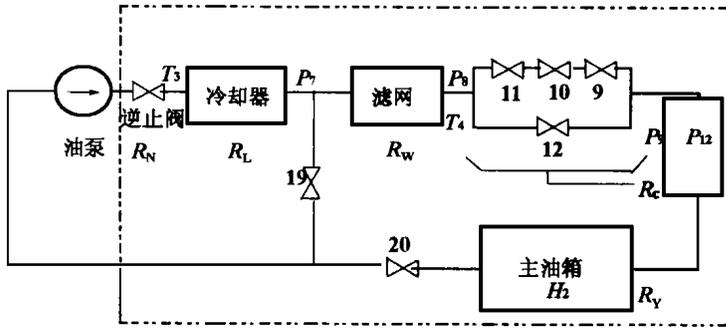


图 4 空侧油路的等效网络示意图

密封油泵出口油的流量 Q 和压力 P (指 P_5 或 P_6) 仍如式 (6)、(7) 所示。

$$P_7 = P - Q(R_L + R_N) \quad (17)$$

$$P_8 = P_7 - \frac{R_{19}R_W}{P_W + R_C + R_Y + R_{20} + R_{19}} Q \quad (18)$$

$$P_9 = P_{12} = P_8 - \frac{R_{19}R_C}{R_W + R_C + R_Y + R_{20} + R_{19}} Q \quad (19)$$

4.2 压差阀旁路门 12 号关闭, 9 ~ 11 号门打开的情形

压差阀处于自动工作状态。空侧密封油压 P_9, P_{12} 自动跟踪氢侧密封油压 P_{10}, P_{11} 。即

$$P_9 = P_{12} = P_{10} = P_{11} \quad (20)$$

此时图 4 的虚线框内部分的等效流阻 R 表达式仍如式 (15) 所示, 只是其中的

$$R_C = R_9 + R_{10} + R_{11} \quad (21)$$

第 10 号阀门的开度为

$$k_{10} = \frac{P_9}{0.5} \quad (22)$$

而 P_5, P_6, P_7, P_8 计算式仍如式 (6)、(7)、(17)、(18) 所示, 只是其中 R_C 按式 (21) 计算。

5 密封油箱油位模型的建立

(1) 当 $k_{22} = 0$ 且 $k_{23} = 0$ 时, 密封油箱的油位 H_1 满足

$$\frac{dH_1}{dt} = 0 \quad (23)$$

(2) 当 $k_{22} > 0$ 且 $k_{23} = 0$ 时, 密封油箱的油位 H_1 满足

若第 21 号阀打开 (此时密封油泵不启动)

$$\frac{dH_1}{dt} = \frac{2.0}{R_{21} + R_S + R_{22}} \Psi_1 \quad (24)$$

其中 2.0 MPa 为高压油泵压力, P_S 为射油器流阻, Ψ_1 为与油密度及油箱底面积有关的常数。

若第 21 号阀关闭 (此时密封油泵启动)

$$\frac{dH_1}{dt} = \frac{P_5}{R_N + R_{22}} \Psi_1 \quad (25)$$

(3) 当 $k_{22} = 0$ 且 $k_{23} > 0$ 时, 密封油箱的油位 H_1 满足

$$dH_1/dt = -k_{23} \Psi_1 \quad (26)$$

(4) 当 $k_{22} > 0$ 且 $k_{23} > 0$ 时, 密封油箱的油位 H_1 及主油箱的油位 H_2 满足

$$dH_1/dt = \Psi_1(k_{22} - k_{23}) \quad (27)$$

$$dH_2/dt = \lambda - \frac{dH_1}{dt} \Psi_2 \quad (28)$$

其中 λ 表示润滑油系统单位时间内对主油箱油位的增减量 (当 $\lambda > 0$ 时, 表示油位上升, 当 $\lambda < 0$ 时, 表示油位下降), 该量由润滑油系统计算, 然后传给本系统, 因而不属于本系统的研究范围。 Ψ_2 表示与油的密度及密封油箱、主油箱底面积有关的常数。

6 密封油温度模型的建立

汽轮发电机在工作过程中, 定子线圈及转子都要发热, 其中定子线圈由内冷水 (化学除盐水) 系统来冷却, 而转子由氢气系统来冷却。内冷水及氢气都会将热量传给密封油, 从而使密封油升温, 为此必须用循环水冷却密封油。这一冷却子系统的结构如图 5 所示。图中 t_0, t_2 表示循环水的进出口温度, q_1 表示循环水的流量, t_0, t_3 表示内冷水的进出口温度, q_2 表示内冷水的流量, t_1, t_4 表示氢气的进出口温度, q_3 表示氢气的流量, Q 表示密封油的流量, T_1, T_2 分别表示密封油冷却前和冷却后的温度, 在任何时刻总有 $T_1 > T_2$ 。为了建立密封油温度 T_1, T_2 的数学模型, 用实际测量数据进行超曲面拟合的近似建模方法。

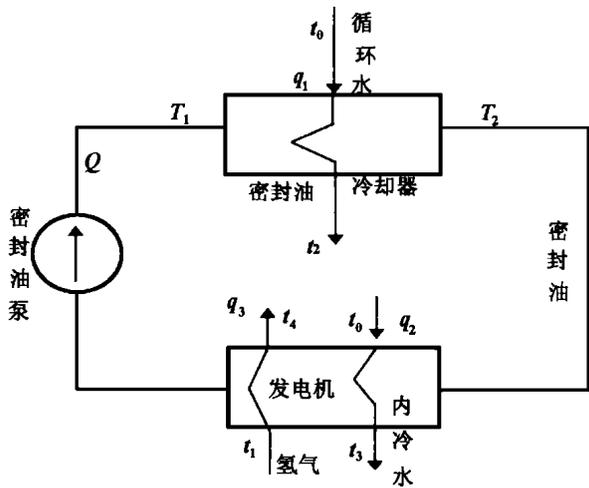


图 5 密封油冷却子系统结构示意图

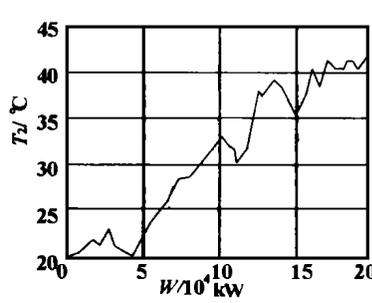


图 7 密封油温随负荷变化曲线

的变化规律为例, 给出仿真结果如图 6、7。图 6 中上方的曲线为氢侧密封油压 P_{10} , 下方的曲线为氢压 P_H , 可见当 $W \geq 10^5$ kW 时, P_{10} 开始跟踪 P_H , 即投入自动状态。仿真结果符合实际现场的运行情况。

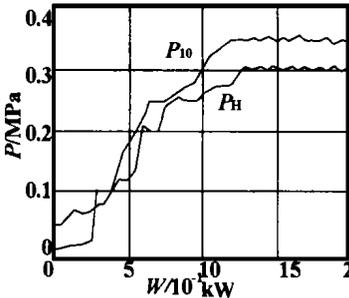
8 结论

本文所建立的密封油系统数学模型具有下列特点: (1) 逼真度高; (2) 形式简单; (3) 避开了机理建模时求解复杂偏微分方程组的难点。仿真结果表明了所建模型的正确性。

参考文献:

- [1] 朱晓燕, 延迟焦化装置的仿真模型[J]. 系统仿真学报, 1996, 8 (2): 17—24.
- [2] 汤淑春, 文传源. 仿真结果与试验数据的一致性研究[J]. 系统仿真学报, 1999, 10(4): 37—41.
- [3] 王行仁. 建模与仿真的回顾及展望[J]. 系统仿真学报, 1999, 11 (5): 309—311.
- [4] 徐利治, 王仁宏, 周蕴时. 函数逼近的理论与方法[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1983.

$$T_i = f_i(Q, q_1, q_2, q_3, t_0, t_1, t_2, t_3, t_4), i = 1, 2 \quad (29)$$



其中除了 Q 可从式 (6) 求得外, 其余的自变量均从别的系统获得或从现场测量得到。在此对超曲面拟合的具体方法不作介绍, 这方面内容已趋成熟, 例如可从文献[4] 得以了解。

图 6 密封油压随负荷变化曲线

7 仿真结果及分析

以氢侧密封油压 P_{10} 及油温 T_2 随机组负荷 W

(复 编辑)

含 铼 的 超 耐 热 合 金

据“ASME Journal of Engineering for Gas Turbines and Power”1998 年 7 月号报道, 最近几十年为了追求燃气轮机及联合循环装置的最高效率, 燃气轮机涡轮的进口温度正在持续稳定的提高。在 ATS(先进燃气轮机系统)计划中, 西屋公司改型设计的 501G 型重型燃气轮机涡轮进口温度将超过 1427 °C。

过去几十年, 铼已成功用作为单晶和定向结晶涡轮叶片使用的镍基超耐热合金中的增强元素。燃气轮机试验和使用经验已经普遍证明含铼超耐热合金具有优异的性能, 适合用作为高温涡轮叶片材料。

文章详述了两种镍基单晶合金(含 3% 铼(Re)的 CMSX-4 和含 6% 铼的 CMSX-10)和一种定向结晶柱状晶粒镍基合金(含 3% 铼的 CM186LC)的研制过程以及它们的特性(稳定性、抗蠕变性、相稳定性、热疲劳性、低循环疲劳性、可铸造性等)。

介绍了这些材料在 Allison 公司、EGT 公司和 Solar 公司发动机(Mars100、AE2100、Typhoon 等)上试验的结果, 并叙说了在罗尔斯-罗伊斯公司发动机(Trent800、RB211 等)上的使用经验。

(思娟供稿)

locity excursions in the horizontal flue. The swirl intensity profile of the in-furnace gas along the furnace height has also been analyzed, leading to the determination of a suitable furnace height. The conclusions reached in the present paper can serve as a major guide for achieving a decrease in gas velocity excursions in a horizontal flue and an optimization of the furnace configuration. **Key words:** tangentially fired boiler, swirl intensity, furnace height, flue gas velocity excursion

风扇磨煤机润滑系统的传热机理分析及改进设计 = **An Analysis of the Heat Transfer Mechanism of a Fan Mill Lubrication System and Its Improved Design** [刊, 汉] / Liu Xiao-zhou, Hui Shi-en, Xu Tong-mo (Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, Post Code: 710049), Li Zhan-guo (Changchun Electric Power Generation Equipment General Works, Changchun, China, Post Code: 130022), Li Ping (Changchun Electric Power Engineering Technical School, Changchun, China, Post Code: 130021), Jin Yu-feng (Northeast Electric Power Design Institute, Changchun, China, Post Code: 130021) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(1). — 49 ~ 50, 82

Described in this paper is an improved design scheme for the lubrication system of a fan mill and its relevant calculation method. A comparison of the lubrication system prior to and after the technical modification shows that the modified lubrication system has gained a significant improvement in its performance. **Key words:** lubrication system modification, finned tube cooler, contrast of effectiveness, economic benefit

汽轮发电机密封油系统的仿真数学模型 = **Simulation-based Mathematical Model for the Sealing Oil System of a Turbogenerator** [刊, 汉] / Shi Xiao-ping, Xu Tian-shu (Simulation Center under the Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(1). — 51 ~ 54
This paper expounds the structural design and operating mode of the sealing oil system of a turbogenerator with a detailed description of its simulation-based mathematical model set up for the system. In comparison with traditional mechanism models the simulation-based model recommended in the present paper features simplicity in form, low computation load, enhanced real time function and high fidelity, etc. **Key words:** turbogenerator, sealing oil system, mathematical model, simulation

基于神经网络模型的锅炉广义预测控制 = **A Neural Net Model-based General Predictive Control Strategy for Use on Boilers** [刊, 汉] / Lu Yong, Xu Xiang-dong (Department of Thermal Energy Engineering, Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(1). — 55 ~ 58, 69

In an effort to rectify deficiencies commonly encountered during the operation of current utility boilers, such as poor control performance, low thermal efficiency, etc., the authors have come up with a neural net model-based general predictive control strategy to improve the relevant control device performance. Through numerous computer simulations the proposed control strategy has been adequately verified. Moreover, an improved Elman network model was utilized to replace the original multi-layer feedforward model in order to simplify model configuration and facilitate on-line real-time calculations. A contrast test of the above two models shows that a satisfactory result in terms of effectiveness has been attained through the use of the improved Elman network model. Finally, on the basis of the simulation results, expounded were the selection of the parameters of the neural net model-based general predictive control and some specific issues in engineering applications. **Key words:** general predictive control (GPC), multi-layer perceptrons, Elman neural network, multi-variable control

汽轮机控制系统对锅炉汽压对象动态特性的影响 = **The Influence of a Steam Turbine Control System on the Dynamic Characteristics of Boiler Steam Pressure as a Controlled Object** [刊, 汉] / Weng Yi-wu, Xu Zhi-qiang, Yu Da-ren, *et al* (Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for