

再热汽轮机液调系统高蒸汽参数下 空载不稳定的原因及解决措施

于达仁 李艳文 徐基豫 (哈尔滨工业大学)

〔摘要〕 蒸汽压力对再热机组空负荷稳定性有很大影响,在额定主蒸汽压力下,若再热压力高于其额定值的60%,机组将不能维持空转,本文从运行和设计角度提出了两种解决办法。

关键词 再热汽轮机 液调系统 空负荷 不稳定

1 前言

国产的20万再热汽轮机大都配备有液调系统,很多电厂在运行中发现,当汽轮机进汽参数较高时经常发生不能维持空转的问题,影响机组的并网,尤其在刚甩掉满负荷时现象十分明显。文献〔1〕对这一问题进行了分析,指出影响稳定性的一个重要因素是中压调压阀在低负荷时有比较高的放大倍数(是高压调节阀的3倍)。本文在文献〔1〕的基础上进一步考虑了蒸汽压力变化对稳定性的影响,指出当蒸汽参数提高时系统稳定性会降低甚至不稳定,这同实践经验是相符合

的。针对存在的问题,本文分别从运行和设计角度提出了解决措施。

2 原因及解决措施

2.1 空载工况下调节系统的数学模型

如文献〔1〕所述,再热机组的工况是比较复杂的,对采用三级旁路的再热机组,在设计时要求高中压调节阀开度和旁路系统具有如下的配合关系(见图1)。在低于1/3负荷时,中压调门参与控制,且3倍于高压调门而启闭。按设计,这时再热压力应由旁路系统控制而保持为额定值的1/3,但实际运行时,再热压力常偏离设计值。

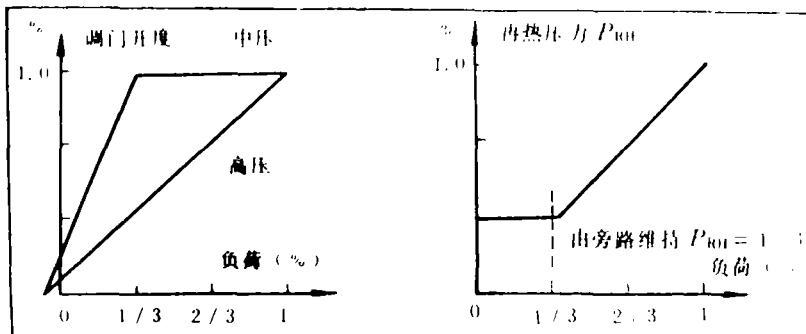


图1 高中压调门和旁路系统配合关系

收稿日期 1991-07-30 收修改稿 1991-09-20

本文联系人 于达仁 男 26 150006 哈尔滨工业大学动力系

事实上，当调门前的蒸汽压力变化时，会影响调门的流量增益（图2），近似计算时可认为在调门线性工作区内流量正比于调门开度和阀前压力，当所有的量都表示成相对量时：

$$G_{H1} = \mu_{H1} \cdot p_0, \quad G_{I1} = \mu_{I1} \cdot p_{RH} \quad (1)$$

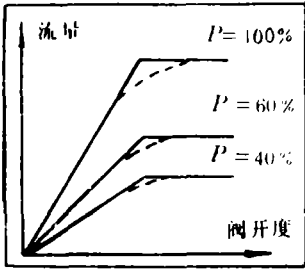


图2 阀前压力P对阀流量特性的影响

其中 G_{H1} : 高压调门流量 (%)
 μ_{H1} : 高压调门开度 (%)
 p_0 : 主汽压力 (%)
 G_{I1} : 中压调门流量 (%)
 μ_{I1} : 中压调门开度 (%)
 p_{RH} : 再热压力 (%)

考虑主汽压力和再热压力变化对调门流量增益的影响后，可得到再热机组在空负荷工况下的数学模型（适用于哈汽及东汽20万机组）[1]，见图3所示。

2.2 蒸汽压力变化对稳定性的影响

从图3可见，主汽压力及再热压力直接影响控制回路的增益，压力越高，增益越大，但稳定性会变差。下面针对几种典型工

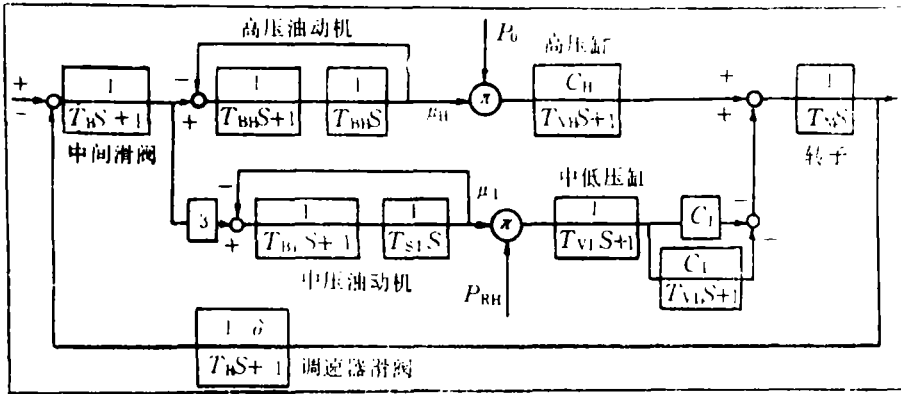


图3 空载工况下线性化模型（在额定转速附近线性化）

况作量化的分析。

取一组20万千瓦机组的典型参数： $T_B = 0.02$ 秒， $T_{BH} = T_{BI} = 0.01$ 秒， $T_{SH} = T_{SI} = 0.21$ 秒， $T_{VH} = 0.27$ 秒， $T_{VI} = 0.16$ 秒， T_{VL}

$= 0.09$ 秒， $T_M = 6.2$ 秒， $T_R = 0.02$ 秒， $C_{H1} = 0.4$ ， $C_{I1} = 0.30$ ， $C_L = 0.3$ ， $\delta = 0.04$ ，空载时高压缸的功率比重比额定功率时高。取不同的 P_0 和 P_{RH} 用频率特性法分析稳定性，有

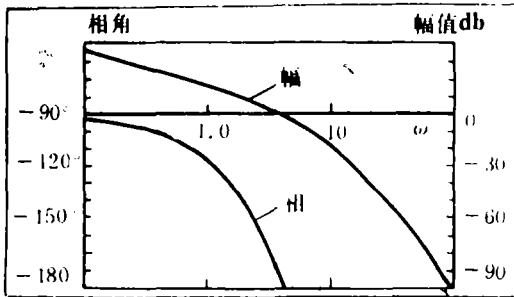


图4-a $P_0 = 1, P_{RH} = 0.6$,
临界不稳定 ($\gamma_c = 0$)

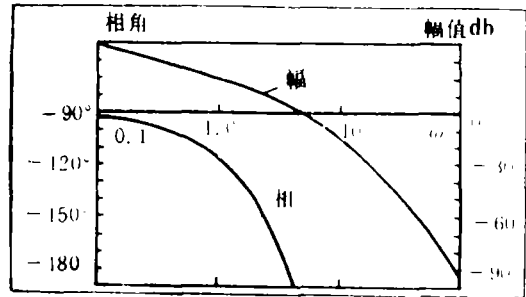


图4-b $p_0 = 1, P_{RH} = 1$
不稳定 ($\gamma_c = -19.3^\circ$)

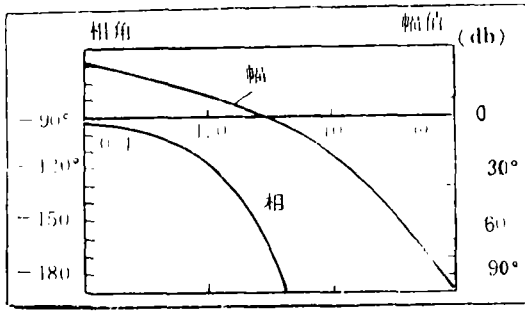


图 4-c $P_0 = 1, P_{RH} = 0.33$
稳定 ($\gamma_c = 14^\circ$)

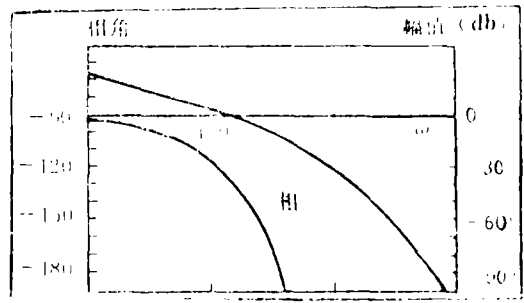


图 4-d $P_0 = 0.16, P_{RH} = 0.16$
稳定 $\gamma_c = 53^\circ$

以下几种结果 (见图4 a、b、c、d)。

从图4看出,当主汽压力 P_0 为额定值时,若再热压力 P_{RH} 大于60%额定值则系统不稳定;若再热压力 P_{RH} 保持33%(设计值)则系统稳定,但稳定性不是很高,相角裕量 γ_c 只有 14° ;若 P_0 、 P_{RH} 均较低的情况时(相当于冷态启动工况),稳定性是很高的。上述结果和一些电厂的运行经验是相符合的。

2.3 改善空负荷稳定性的措施

在运行中如果出现不能维持空转的现象,则机组将难于并网,影响生产,这时可以采用降低蒸汽压力的方法来解决。一般降低再热压力较为方便,可以用旁路阀分流,

或关小中压电动主汽门节流。有的电厂已在使用这样的方法,很有实效。

尽管在运行中可以用降低汽压的办法使机组稳定,但从设计角度而言,说明现在的系统有缺点待于改进。针对哈汽和东汽20万机组的结构特点,本文提出一个改进方案,介绍如下。

在图5中,中压油动机的反馈滑阀不仅向中压油动机滑阀提供反馈信号,而且向中间滑阀(一次脉动油路)提供附加反馈信号。由于中压油动机在低负荷时动作幅度较大,送往中间滑阀的反馈信号能降低系统的放大倍数,从而改善稳定性。在中压油动机

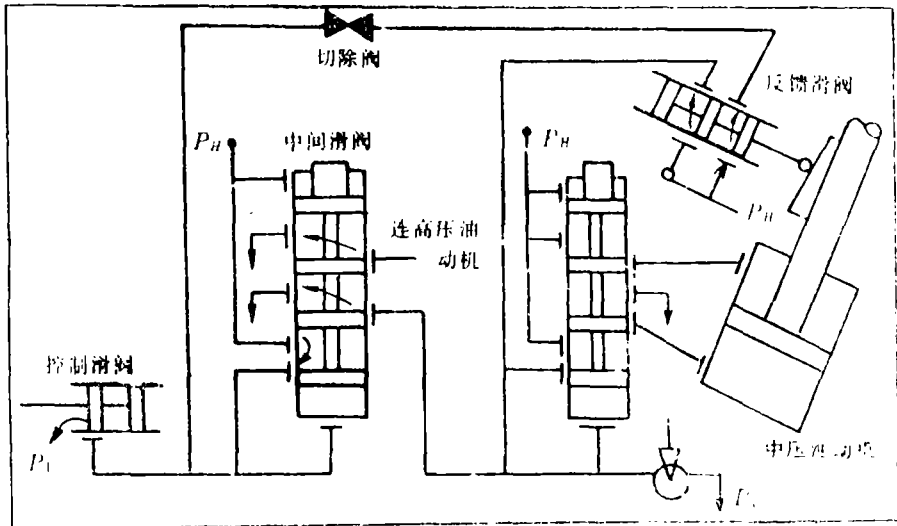


图 5 用中压油动机反馈改善稳定性

对中间滑阀的反馈油路上设置一个切除阀，可根据运行的需要切除或投入附加反馈，增加了灵活性和可靠性。根据我们的计算，附加反馈油口的宽度取控制滑阀油口宽度的1/4~1/5就可提供很强的反馈作用使系统稳定。附加反馈油口只在空负荷时才需要，因而其工作范围不必是中压油动机的全行程，只要在中压油动机全关至20%行程内起作用即可，附加反馈油口的长度可依此来选取。

我们用仿真计算验证了这一方法的有效性，对应于图5机构的数学模型见图6，用于

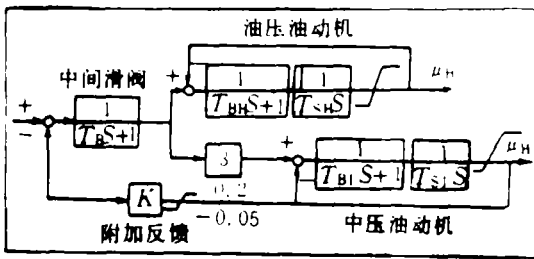
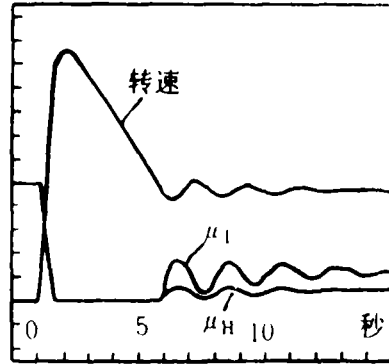
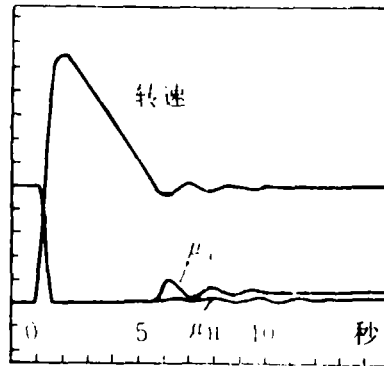


图 6 带附加反馈的油动机机构模型

仿真计算时考虑了油动机的限幅特性。K取0.25，表示附加反馈油口的宽度取控制滑阀油口宽度的1/4，附加反馈有效范围在中压油动机20%行程内。图7是三种情况下甩全负荷的过程。当蒸汽压力高时(a)，系统不稳定，由于阀门行程有限幅，振荡不会无限发散，最后形成极限环振荡；当再热压力较低时(b)，系统稳定，但稳定性不高；当投入附加反馈后(c)，尽管汽压高，但系统很稳定。从计算结果看，投入附加反馈后



b) $P_0 = 1, P_{RH} = 1/3, K = 0$

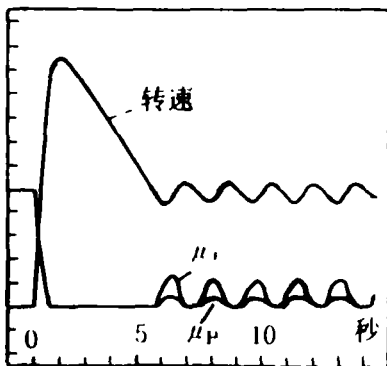


c) $P_0 = 1, P_{RH} = 1, K = 0.25$

图 7 甩负荷过程的仿真结果

对甩负荷的转速飞升影响不大(比不投入附加反馈的转速升高3转/分左右)，但对提高稳定性作用显著。

投入附加反馈能增加稳定性的原因是在于降低了油动机机构的放大倍数。对图6略加变换即可知，在附加反馈起作用时油动机机构的静态放大倍数为原来的 $1/(1+3k)$ ，亦即，这时调速系统的局部不等率增大了 $(1+3k)$ 倍。与其它的增加局部不等率的方法相比(如用变宽度油口，或改变阀门在低负荷区的流量特性)，这个方案具有更大的灵活性，实现也简单，只在原系统上加设一个附加反馈即可。正常带负荷运行时，不会出现不稳定，附加反馈可以用切除阀切除(事实上，当中压油动机开度大到20%以上时，附加反馈油口已全关，自行切除)；当出现空载不稳定后，打开切除阀，系统稳



a) $P_0 = 1, P_{RH} = 1, K = 0$

定后并网, 并网后仍可附加反馈切除; 在中压阀开度大于20%后, 切除是无扰动的。

3 结 论

分析了再热机组在高蒸汽参数下不能维持空转稳定的原因, 认为再热压力高于设计值(1/3额定值)是一个重要因素, 当 $P_0 = 100\%$, P_{RH} 大于60%时就会发生不稳定。运行中发生此类情况可用电动中压主汽门节流的

方法, 以暂时降低 P_{RH} 来稳定转速以便并网。本文还提出一个改进方案, 用中压油动机对中间滑阀反馈来增大空负荷区的局部不等率, 仿真计算表明效果很好, 但有实待于实际验证, 此反馈可以随时切除, 所以灵活性较好。

参 考 文 献

- 1 张镇一, 程俊明. 汽轮机中间再热机组空负荷运行稳定性分析. 汽轮机技术, 1988(1)

Zero-Load Instability of Reheat Steam Turbine Hydraulic Governing System Under High Steam Pressures And Measures Taken for its Elimination

Yu Daren, Li Yanwen, Xu Jiyu

(Harbin Institute of Technology)

Abstract

Steam pressure exerts a significant effect on the stability of reheat steam turbine governing system under zero-load conditions. Under a rated main steam pressure, if the reheat steam pressure is higher than the rated value by 60%, the turbine governing system will be unable to sustain a stable operation. This paper proposes two methods for dealing with this problem from the design and operation viewpoints.

Key words: reheat steam turbine, hydraulic governing system, zero-load instability

欢 迎 来 稿

欢 迎 订 阅