

汽轮机阀门流量特性对电力系统的影响及其控制策略

李 涛

华电潍坊发电有限公司 山东 潍坊 261201

【摘要】汽轮机阀门流量的特性是影响电气系统稳定性的重要因素。通过建立电网涡轮机和调速系统、发电机和励磁系统的数学模型，研究了蒸汽轮机控制蒸汽轮机以及控制电网安全性和稳定性的有效机制。根据数学测试和模拟的结果表明，汽轮机的流动特性较差，会导致主动换挡器的强度发生周期性变化。针对这种现象，本文提出了一种用于汽轮机速度控制系统的自适应方法，可以防止在性能控制条件之间下的比例—积分—微分控制器的过度调节，从而有效地增加了系统的阻尼，抑制了原动机的功率的波动。

【关键词】汽轮机；阀门调节；流量特性；控制策略

最近，在中国和世界各地发生了许多基于电力系统的事故。这些事故不仅是由于人为疏忽造成的，有些是因为低频波动造成的。如上所述，电气系统中的低频波动关系到国家的生产计划和人民的生活，也关系到整个电源系统的稳定性。因此，保护电网的稳定性是每个人的责任。当电网的稳定性下降时，将严重损害人民的生

活和国民经济。不仅在我国有这些经验教训，在许多发达国家都有过类似的惨重教训。

1 汽轮机调速系统模型的构建

如果未考虑最重要的蒸汽压力变化，记及涡轮机阀的特性 and 调速系统模型(负荷控制方式)，如图1中显示。

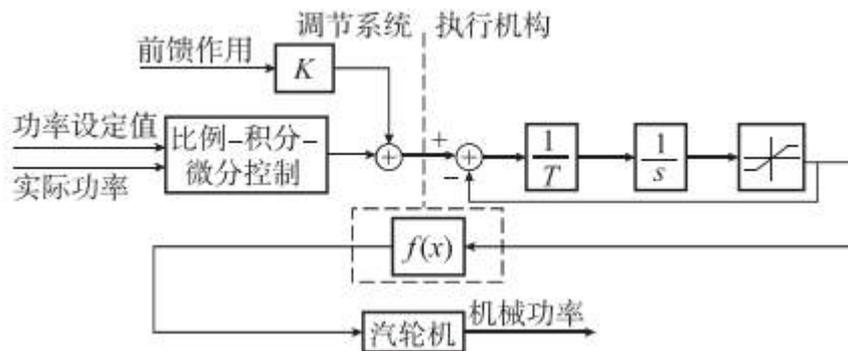


图1 汽轮机及其调速系统模型

在图1中，控制系统输入性能的前馈作用的结果通常是涡轮机输出设定值与调整值之和。K为前馈作用的增益系数；T执行机构的时间常数；汽轮机的调节阀门流量特性 $f(x)$ 为调节阀阀位的函数，并且对应于在阀固定孔处进入汽轮机的蒸汽流量。控制系统的传递函数如下：

$G_K(s)$ 为：

$$G_K(s) = K_p + K_i \frac{1}{s} + K_d s \quad (1)$$

式中： K_p 、 K_i 、 K_d 分别比例积分微分组合的比例系数、积分系数和变异系数。如果蒸汽轮机阀尚未到达最高位置（完全关闭或打开），则执行机构的饱和和可以忽略不计。此时，执行器传递函数 $G_z(s)$ 为：

$$G_z(s) = \frac{1}{T_s + 1} \quad (2)$$

大参数汽轮机高参数通常由三部分组成：高压、中压、低压缸，中压缸和低压缸可以通过连接管连接。在

蒸汽轮机和控制系统参数的实际测试中，发现连接到蒸汽轮机的蒸汽容积通常很小，并且可以处理合缸处理中压和低压气缸。此时汽轮机模型的传递函数 $G_T(s)$ 为：

$$G_T(s) = \frac{1 + F_{HP}(1 + \lambda)T_{RH} s}{(1 + T_{CH} s)(1 + T_{RH} s)} \quad (3)$$

式中： T_{CH} 为高压汽室蒸汽容积时间； T_{RH} 为再热蒸汽容积时间； F_{HP} 为高压缸功率系数； λ 为高压缸功率过调系数。

蒸汽轮机阀的实际阀门开度相对于进入蒸汽轮机的蒸汽流量是非线性的。实际的汽轮机控制系统通过设置阀流量功能，将流量指令转换为相应的阀位置指令。在汽轮机控制模型中，流量控制通常对应于阀位置控制。因此，模型中的阀门流量属性实际上与相应的气门位置（对应于气门位置流量指令）蒸汽流量一致。汽轮机阀的流动特性通常由汽轮机行业生产的技术参数确定，在理论上与阀的实际特性也是一致的，因此，如果流量阀的运行特性反映了阀的流量的实际特性，则蒸汽涡轮机中同一阀的 $f(x)=x(x$ 为汽轮机等效阀位)。在这一点上，

阀流量特性对系统的影响可以忽略不计。根据阀门的制造、组装、维护或更换, 实际阀门的特性可能会偏离预设的阀门流量功能。此时必须在汽轮机及其调速系统建模过程中考虑汽轮机调节阀门流量特性的影响。

2 阀门流量特性对电力系统的影响

基于阀的流量特性, 集成的 PSASP 系统可用于模拟和分析单个系统并连接单个系统。在将从发电机收集的有功功率、机组功率设定值与调速系统进行比较之后, 可以使用速度控制系统来进行阀门位置的控制, 可以调节涡轮机蒸汽控制阀的位置, 以改变设备的蒸汽流量。在功率单位内扩展运行, 并通过发电机将其转变为电磁功率, 为电网运行提供运行动力。

2.1 小偏差的影响

进行调整频率实验, 并人工模拟汽轮机转速阶跃变化情况, 以快速改变涡轮输出条件, 并验证分析设备的相应特征。在实验波形中, 可以看到随着速度的变化, 阶跃随流速会逐渐增加。在 40 秒后, 机组会逐渐指向稳定, 进而处于正常状态。与初始指令相比, 该设备稳态指令比较小。如果阀的流量特性反映在流量函数中, 前馈增益系数为 1。在转速阶跃过程, 初始命令对应于稳态指令, 字符流和功能函数之间存在明显的偏差。如果将主蒸汽压力数值加入其中, 则二者之间的偏差度将进一步增加。由于主蒸汽压很少变化, 因此不必考虑这一因素。在模型中可以看到阀流量 k 的特性可以通过以下公式计算: k 代表的阀门流量特征; $P1$ 与 $P2$ 均为有功功率; $F1$ 与 $F2$ 均为流量指令; 由于机组前馈增益系数为 1, k 值从初始流量指令转变为稳态指令的数值由比值来决定, 实际数值在 1.2 左右。可以在标准模拟中看到, 流量特性与模拟之间存在很大的相关性, 具有流动特性的模型的仿真结果增加了与实际情况的兼容性, 可见流量特性对系统的工作效率具有较大影响。显然, 流动特性极大地影响了系统的运行效率。在小偏差的基础上, 将 k 的数值进行改变, 当 k 的数值分别为 2、3、5 时, 阀门流量中的局部特征较弱, 振荡态势将增加, 当 k 的数值为 5 时, 机组的功率会存在持续的动荡情况。

2.2 对系统稳定性的影响

通过确保阀门流量特性的稳定性, 可以促进动力系统的健康和可持续发展。发电机模型的不兼容程度相对较高, 若将 PSS、励磁系统和其他因素也考虑进来, 会使模型更加复杂。在 Prony 思想的指导下, 考虑到破坏性行为期间的产出与投入之比, 可以从全阶模型中得出线性廉价模型, 以获得相应的传递函数。根据实测参数, 发电机模型可以表示为:

$$GEN(s) = \frac{1}{0.0177s^2 + 0.0333s + 1}$$

当 k 的数值为 0 到正无穷时, 从上述公式中便可得知, 当 k 的数值越大时, 有 2 个共轭极点延伸到实轴的右侧, 不利影响会增加阀门的流量特性, 并使设备稳定性降低。根据实验数据, 当流量指令为 90% 到 95% 时,

k 值显著增加。结合阀门的流量特性可以看到, 当流量控制在 90% 到 95% 之间时, 功率会发生波动变化。

3 阀门流量特性对电力系统的控制策略

通过许许多多仿真实验我们可以得知, 当涡轮机的动力在流动时, 杆操作的控制状态从自动更改为手动, 以快速平息这种波动。但是由于手动操作存在许多不确定性, 因此容易受到安全事故引起的主观因素的影响。例如, 2018 年中国南方的事故是由低频安全事件引起的, 2 号机组功率持续波动 6min。在此期间, 负责人无法及时发现, 没有采取有效措施, 造成了安全事故的发生。显然, 在设计设备控制策略时, 有必要考虑人为因素。由于大多数事故由于控制器的过度配置而导致功率波动, 因此有必要在控制系统中增加比例积分微分控制以限制速度, 以减少过度调整的可能。维修后, 可防止更换动力装置, 如果通风特性不稳定, 则可减少调节器的过度维修。为了确保阀流量特性的稳定性, 促进电气系统的健康和可持续发展, 有必要积极实施控制策略, 以有效地减少负载与负载曲线之间的连续性, 提高机组生产效率和自动化程度。如 300 MW 机组, 是一种控制阀流量特性的系统方法, 并进行了实验研究。根据收集的数据, 合理安排顺序阀的模式。DEH 流量需求为指令与实际等效流量之间, 其中 x 轴为 ref 参数, y 轴为指令。阀门流量特性中两段均呈现一定偏离, 在 74.89-87.54% 之间, 实际流量与负荷指令相比较小, 偏离较大之处在于负荷指令 83.11% 处与实际指令 76.17% 的位置。在实际流量完全超过负荷指令的阶段, 最大偏离位置在于 97.2% 处。当实际流量超过满负荷时, 最大偏差为 97.2%。取消阀功能的主要原因是连续阀的流量分配, 在计算阀孔时无法获得准确的指令。根据实际数据对阀门特性曲线进行对比分析, 由左至右将曲线分为三组, 即 CV1、CV2 与 CV3, 其中前两条为流量特性曲线, 最后一条为阀门流量特征结构。由曲线形态可知, 在修改前后都存在较大的差异。

4 结束语

换句话说, 考虑到新时代电气系统的功能状态对国家、社会和人们的生活具有很大的影响。为了提高操作系统的电气稳定性, 有必要根据汽轮机阀门流量的特性进行仿真研究, 并有效地解决机组的运行问题, 以确保设备的流量特征的稳定性。为电力系统的合理和可持续发展提供了保证。

【参考文献】

- [1] 李前敏, 柏毅辉. 汽轮机阀门流量特性优化分析 [J]. 电力科学与工程, 2012, (09).
- [2] 田松峰, 史志杰, 闫丽涛. 汽轮机控制系统中阀门重叠度的研究 [J]. 汽轮机技术, 2016, (06).
- [3] 史志杰, 闫丽涛. 汽轮机控制系统中阀门重叠度的研究 [J]. 汽轮机技术, 2015, (12).
- [4] 刘贤东, 刘建东, 乔增熙等. 超临界机组顺序阀优化改造研究 [J]. 节能技术, 2011, (02).