

MATLAB 在脱硫增压风机入口负压调节中的应用

刘培生

(华能南京电厂, 江苏 南京 210035)

摘要: 以华能南京电厂#2 机组增压风机入口压力调节系统为研究对象, 通过建模、仿真求得调节参数; 然后将调节参数应用于实际调节系统, 通过负荷的扰动, 观察调节系统的调节品质, 并观察不同负荷工况下调节系统的品质, 验证了调节参数的合理性。

关键词: 增压风机入口压力; 建模; 仿真

0 背景

调节流量的方法一般有 2 种, 一是改变管路特性曲线, 二是改变泵或风机的流量特性曲线。华能南京电厂#2 机组脱硫增压风机入口负压的调节方法是改变动叶安装角度, 来改变风机流量特性曲线, 进而改变烟气流量, 从而实现调节增压风机入口负压的目的。

负压受到各种因素的影响: 执行机构开度的变化、负荷波动、烟气流量的波动、吸风机出口压力波动, 另外烟气压力本身是个比较敏感的热工参数, 压力调节系统即使稳定, 被调量压力也很难稳定在一个数值, 表现出来也有很多毛刺, 即高频分量, 再加上调节系统滞后大, 达到 90 多秒, 这也增加了调节参数设置的难度。

正是基于这些因素, 设想在求得对象特性曲线的基础上, 通过仿真在理论上求得调节器参数。然后在此基础上, 通过对参数的不断优化, 达到优化入口负压调节的目的。

1 方法及过程 (调节作用的选择)

1.1 拟合对象 (包含执行机构) 的阶跃相应曲线

1.1.1 对象包含范围的确定

系统框图如图 1 所示, 包含的环节有执行机构、对象、变送器、调节器。

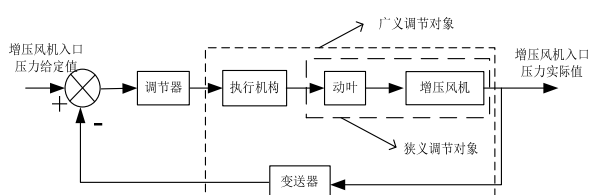


图 1 系统框图

如果将系统中各个环节的传递函数求出, 然后再确定系统框图, 需要分别求得执行机构、狭义对象、变送器 3 个对象的传递函数, 工作量大每个环节都存在一定的误差; 实际应用中为了方便, 一般将执行机构、狭义调节对象、反馈测量环节都包含在广义的调节对象中^[1]。针对整个广义调节对象求取数学模型。这样就避免了三个环节分别求取模型, 减少了工作量。得到的系统框图如图 2 所示。

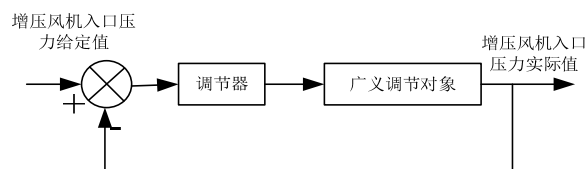


图 2 修改后得到的系统框图

1.1.2 拟合阶跃响应曲线

1.1.2.1 确定数学模型的方法

确定模型有多种方法, 用试验法确定模型是一种工程上常用的方法。根据试验时加到对象上的扰动信号的形式, 分为时域法、频域法、相关统计法。其中时域法是用得最多的一种方法, 当系统处于稳定状态时, 在对象的输入端加一个阶跃扰动, 记录对象的响应曲线, 通过对响应曲线进行处理, 求得响应曲线的函数, 进而求得对象的数学模型。

1.1.2.2 数据的选择

为了减少对系统的影响, 充分利用异常工况下的增压风机入口压力波动数据。在历史数据中, 获得系统基本稳定的情况下, 当执行机构存在一个近似阶跃扰动时, 增压风机入口负压的响应曲线。阶跃响应曲线如图 3 所示。

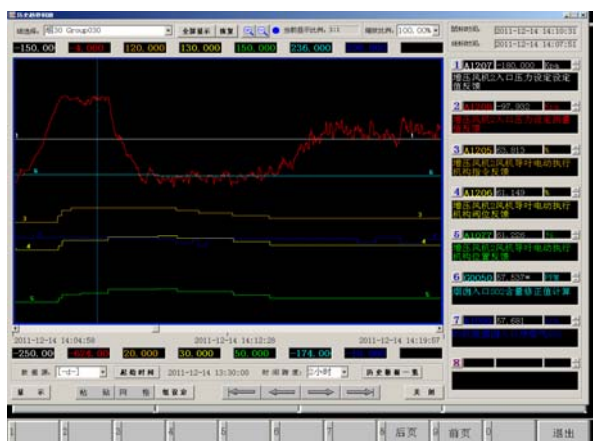


图 3 增压风机入口负压的阶跃响应曲线

图 3 并结合导出的历史数据，可以发现：

(1) 增压风机导叶开度从 14:06:26 的 58.313% 增加到 14:06:56 时刻的 63.813%；

(2) 增压风机入口负压从 14:08:18 的 -113 Pa 开始下降，到 14:14:13，压力趋于稳定在 -280 Pa。将压力开始下降直到压力趋于稳定的时间区间（14:08:18--14:14:13）中的数据导入 MATLAB 中，得出曲线在坐标中的分布如图 4 中的蓝色离散点所示。

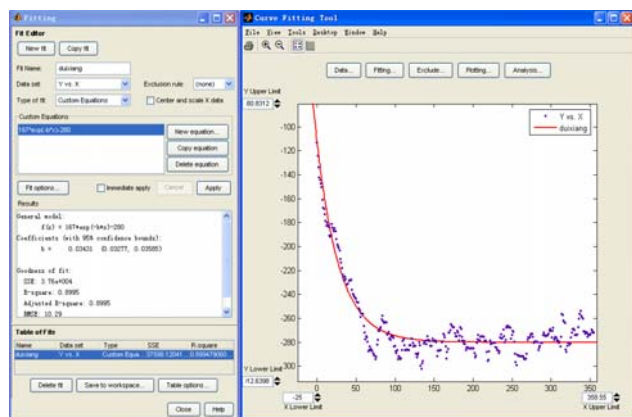


图 4 增压风机入口负压下降直到趋于稳定的区间数据

1.1.2.3 进行曲线拟合

由图 4 可以发现，阶跃响应曲线可以近似认为是以 $1/e$ 为底的指数函数。

函数方程： $y = a * \exp(-b * t) - c$ 。

由阶跃过程的响应曲线可以求知，压力调节系统由阶跃前的 -113Pa 降低到 -280Pa 稳定下来。

因此，上述方程中系数 $a = -113 - (-280) = 167$ ，常数 $c = 280$ 。

将所求得的 a 、 c 代入函数中，用 MATLAB 软件进行曲线拟合，可求得 $b = 0.03431$ 。

进而最终得出所需拟合曲线的函数为：

$$y = 167 * \exp(-0.03431 * t) - 280。$$

拟合所得的函数对应的曲线如图 4 红线所示 [2]。

1.2 求取对象（包含执行机构）的传递函数

由于广义对象是一阶惯性环节，设系统的传递函数为： $-k / (T * s + 1)$ ，在执行结构的阶跃 u / s 作用下 (u 是执行机构的开度变化量)，系统的输出函数为： $-[k / (T * s + 1)] * u / s$ ，其反拉普拉斯变

换为： $y(t) = k * u(e^{-t/T} - 1)$ [3]，该反拉普拉斯变换即为前面的所求得的函数，只是相差 -113。（因为在反变换时假设初始条件为 0，而实际上初始条件是 -113。）

$$\text{即： } y(t) = k * u(e^{-t/T} - 1) - 113$$

$$= 167 * \exp(-0.03431 * t) - 280$$

(1) 增益（放大系数）的确定

增益 $-k$ （对象阶跃响应的变化量/阶跃响应）
 $= (-280 + 113) / (63.813 - 58.313) = -167 / 5.5 = -30.364$
 得出： $k = 30.364$ 。

(2) 时间常数 $T = 1 / 0.03431 = 29.146 \text{ s}$

(3) 纯滞后时间的计算

增压风机导叶开度从 14:06:26 的 58.313% 增加到 14:06:56 时刻的 63.813%，可以近似认为，执行机构在这两个时刻的中间点 14:06:41 从 58.313% 增加到 63.813%，也就是一个阶跃变化量。而增压风机入口负压从 14:08:18 的 -113 Pa 开始下降，由此可以得出滞后时间是 $(14:06:56 - 14:06:26) = 97 \text{ s}$ 。

对于该压力调节系统，滞后时间应该不是很大，之所以会出现这么大的滞后，我的理解是从执行机构到动叶调节液压机构整个传动部分存在一定的机械间隙。

(4) 综上所述，增压风机对象的传递函数是：

$$G(s) = \frac{-k}{T * s + 1} e^{-\tau s}$$

其中：

$$k = 30.364;$$

$$T = 29.146;$$

$$\tau = 97。$$

1.3 仿真

在上述工作的基础上, 在 MATLAB 中建立系统框图进行仿真, 如图 5 所示。

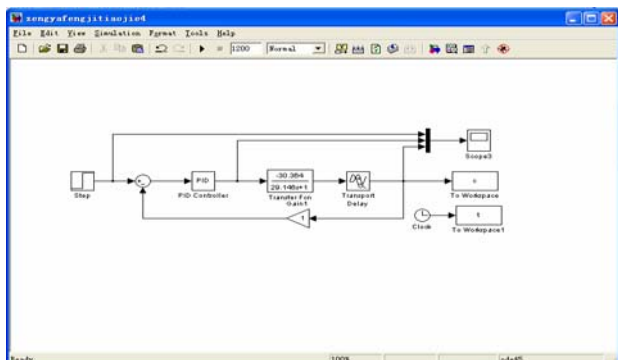


图 5 仿真

1.3.1 对于调节作用的选择

(1) 比例作为最基本的调节作用, 作用于调节过程的始终, 因此需要选择;

(2) 为了消除比例调节作用的稳态偏差, 积分作用同样需要;

(3) 而对于微分作用, 由于增压风机入口压力即使稳定时也是不断的波动变化的, 对于被调量压力需要用惯性环节滤波, 如果加入了微分环节就会使系统的毛刺更多, 再加上微分调节的快速性, 会使调节器输出不断波动, 就会造成调节干扰, 不利于系统的稳定;

因此, 在该增压风机入口压力调节系统中, 只选用比例、积分调节作用, 不选用微分调节作用。

1.3.2 调节器参数的整定

设定值扰动为 -200Pa , 该值是增压风机入口压力调节系统正常运行时的定植。

经过整定, $P=-0.01$, $I=-0.0002$ 。

所得系统响应曲线见图 6。

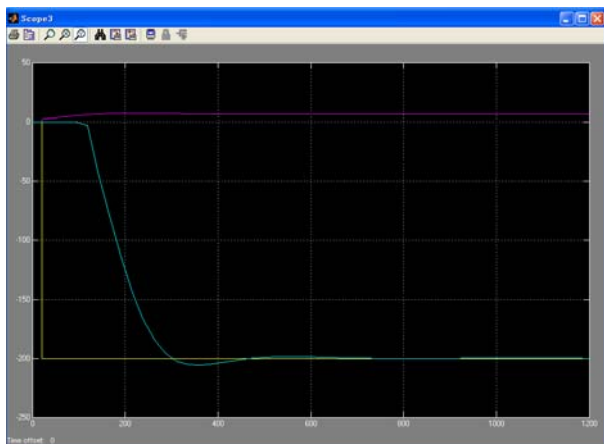


图 6 压力调节系统经过整定所得系统响应曲线

图 6 中, 纵坐标是被调量压力设定值、被调量

实际压力值、以及增压风机动叶开度。

由图 6 可知:

(1) 压力设定值由稳定时的 0 Pa 在瞬间改变为 -200Pa ;

(2) 被调量在延迟 97s 后, 开始下降, 经过一定时间后稳定下来;

(3) 在调节过程中, 增压风机动叶的动作过程波动很小。

在实际仿真时, 曲线的各点坐标可以读出, 由关键点的坐标可求得增压风机入口压力调节系统的调节质量指标:

(1) 动态过调量: -6Pa

(2) 超调量: $-6/(-200)=3\%$

(3) 调节时间为: 400s (在允许稳态偏差为定值的 2% 的情况下)。

2 实际应用 (选择几个工况、定值扰动、负荷扰动)

将调节参数修改为上述参数, 并根据实际调节效果修改完善。

选取 7 月 30 号 0 点至 8 月 1 号 16 点的数据, 该时间段中, 最低负荷为 207MW , 最高负荷为 287MW , 观察各个负荷段的调节效果。

2.1 原来的调节效果

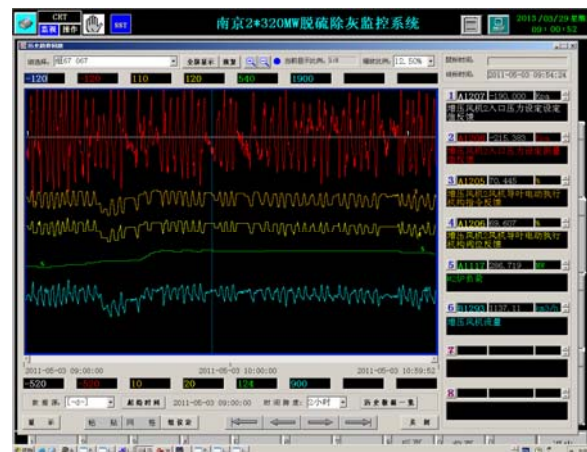


图 7 原来的压力波动效果

从图 7 可以看出, 调节系统处于振荡状态, 被调量压力、PID 的输出指令、执行机构的实际开度反馈不断振荡。开度的波峰、波谷相差 10% 。

2.2 287MW 的应用



图 8 调整参数后 287MW 时的压力波动

图 8 中，在 1 个小时的时间段内，负荷基本稳定，压力波动较小，执行机构的开度变化量不大。

2.3 224MW 时的应用

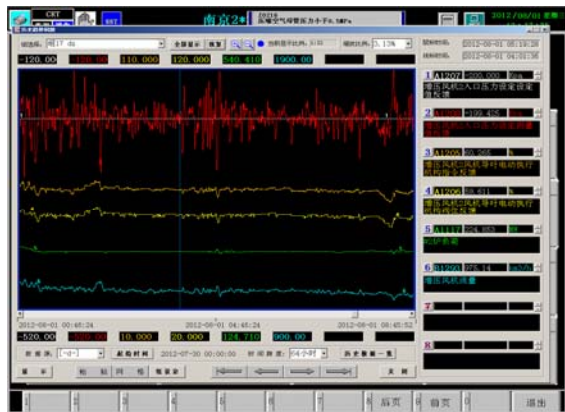


图 9 调整参数后 224MW 时的压力波动

图 9 中，在 8 个小时的时间段内，负荷基本稳定，压力波动较小，执行机构的开度变化量不大。

2.4 207MW 时的应用



图 10 调整参数后 207MW 时的压力波动

图 10 中，在 2 个小时的时间段内，负荷基本稳定，压力波动较小，执行机构的开度变化量不大。

图 8~图 10 是历史曲线，从中，调节效果有些指

标看不出来，比如：执行机构每分钟的动作次数。下面是负荷在 250MW 时的实时趋势。

2.5 250MW 时的执行机构动作次数

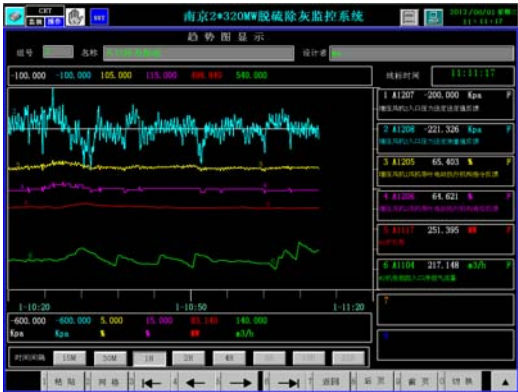


图 11 250MW 时的执行机构动作次数

从图 11 可以看出，在负荷基本稳定时，虽然被调量一直波动，调节器的输出也在做小幅度的调整，但执行机构本身设置了一定的调节死区（死区为 1.2），执行机构动作次数很少，在 40min 内只有 10 多次。

2.6 负荷扰动

下面利用负荷实时变化时的曲线观察调节效果如何。负荷在 8min 时间内的变化量近似等于 18MW。

负荷变化过程中各点变化过程曲线见图 12。



图 12 负荷变化过程中各点变化过程曲线

压力调节过程曲线如图 13 所示。



图 13 压力调节过程曲线

从图 12、图 13 可以看出,负荷变化时刻是 17:22 时,压力调节系统稳定下来的时刻是 17:32 时,即调节系统经过 10min 稳定下来。在此过程中,执行机构的动作次数约 16 次,调节过程的超调量为 -207Pa,第二个波谷时间是 17:35 时对应的压力是

-257Pa。衰减率达到 72.5%。

3 结论

经过上述一系列的工作,增压风机入口压力调节系统的调节效果在稳定性上较之前有一定的提升,增压风机入口压力的稳定在一定程度上也有利于锅炉负压的调节。

此外大幅度的减少了执行机构、动叶的动作次数,以及执行机构、动叶的动作幅度,提升了设备的寿命。

当然在求取对象的传递函数时,该对象是在某一负荷下进行的,然后以该对象求取调节器参数。为了使各个负荷段的调节效果都比较理想,可以在不同的负荷下各求取一个对象,然后针对不同的负荷段的传递函数求取调节器参数,从而更好地改善调节效果。

参考文献:

- [1] 李遵基.热工自动控制系统[M].北京:中国电力出版社,2000.
- [2] 王正林,刘明.精通 MATLAB7[M].北京:电子工业出版社,2006.
- [3] 胡寿松.自动控制原理[M].北京:科学出版社,2000.