



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104089270 A

(43) 申请公布日 2014. 10. 08

(21) 申请号 201410328980. 8

(22) 申请日 2014. 07. 11

(71) 申请人 国家电网公司

地址 100031 北京市西城区西长安街 86 号

申请人 国网天津市电力公司

(72) 发明人 王建军 周连升 赵毅 张应田

秦俊海

(74) 专利代理机构 天津盛理知识产权代理有限公司

公司 12209

代理人 王来佳

(51) Int. Cl.

F22B 35/18 (2006. 01)

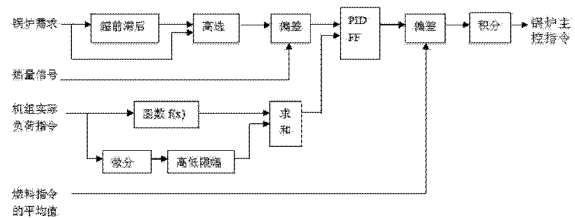
权利要求书2页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

一种发电机组锅炉负荷控制优化调整试验方法

(57) 摘要

本发明涉及一种发电机组锅炉负荷控制优化调整试验方法,包括步骤:(1) 锅炉需求指令经过超前/滞后功能模块处理;(2) 高选模块选择输出;(3) 偏差计算模块计算偏差;(4) 偏差计算模块输出给主PID控制模块;(5) 机组实际负荷指令进行函数  $f(x)$  线性处理变换;(6) 机组实际负荷指令进行微分控制模块运算及高低限幅处理;(7) 叠加求和;(8) 输出至主PID控制模块的前馈输入通道进行前馈运算;(9) 偏差计算模块求偏差;(10) 积分运算模块计算;(11) 将上述积分运算的结果作为锅炉主控指令输出。本发明有效补偿发电机组变负荷过程中锅炉的非线性特性,抑制其大延迟、大惯性特性,改善锅炉的控制特性,减小了锅炉主蒸汽压力的波动幅度,提高了锅炉快速响应汽轮机负荷变化的能力。



1. 一种发电机组锅炉负荷控制优化调整试验方法,其特征在于包括步骤如下:

(1) 锅炉需求指令经过超前/滞后功能模块处理后,再同时输入到高选模块处理;其中,在锅炉负荷闭环控制主回路中引入动态超前/滞后校正环节,产生动态超调达到缩短迟延时间、减少参数动态波动和提高负荷变化响应速度的效果,所述校正环节的数学描述

是:
$$Y(s) = \left( \frac{2LD + 2GN * T * S - T * S}{2LG + T * S} \right) E(s)$$
,其中LD为超前常数,LG为滞后常数,单位均为秒,GN为运算增益,无量纲;

(2) 通过高选模块选择二输入值中的大值作为输出;

(3) 高选模块输出值与热量信号同时输送给偏差计算模块,计算二者的偏差;

(4) 偏差计算模块输出的偏差值输入主PID控制模块进行PID运算;

(5) 机组实际负荷指令经过函数 $f(x)$ 线性处理变换,所述函数 $f(x)$ 由4个坐标点(0, 0);(0.4Pe, 24);(0.6Pe, 36);(Pe, 60)拟合产生,其中Pe为发电机组的额定功率,单位为兆瓦(MW), $f(x)$ 的输出强度即斜率,可以根据锅炉的不同类型及煤质差异做适当调整,强度应能对发电机组实际负荷指令下锅炉所需的燃料量进行快速估算,以保证锅炉输入、输出能量的快速平衡;

(6) 机组实际负荷指令再经过微分控制模块运算,并经过高低限幅处理,其中,所述微分控制模块的传递函数为:
$$Y(S) = (Kd * S / (1 + Td * S)) * X(S)$$
,式中Kd为微分增益,Td为微分时间,单位为秒;

(7) 将上述(5)步中的函数 $f(x)$ 输出与(6)步中的微分控制运算输出一起叠加求和作为主PID控制器的前馈输入;

(8) 主PID控制器对上述步骤(4)偏差计算模块的偏差值输入及上述步骤(7)的前馈输入分别进行比例-积分-微分运算及前馈处理,其中PID控制模块的数学描述式是:
$$Y(s) = \left( Kp + \frac{1}{Ti * S} + \frac{Kd * Td * S}{Td * S + 1} \right) E(s) + FF(s)$$
,式中Kp为比例放大系数,Ti为积分时间,单位为秒,Kd为微分放大系数,Td为微分作用时间,单位为秒,FF为前馈变量;

(9) 主PID控制器的综合输出信号与燃料指令的平均值输入到偏差计算模块求偏差;

(10) 将上述所求的偏差输入到积分运算模块,利用其纯积分控制功能的快速随动特性,保证锅炉输出的主控指令随时跟踪主调的输出,同时能实现锅炉各给煤机指令的瞬时平衡功能,其中,积分控制模块的数学描述式是:
$$Y(s) = (1 / Ti * S) * X(s)$$
,式中Ti为积分时间,单位为秒,取值为2~3秒;

(11) 将上述积分运算的结果作为锅炉主控指令输出。

2. 根据权利要求1所述的发电机组锅炉负荷控制优化调整试验方法,其特征在于:所述步骤(5)中的斜率可以根据锅炉的不同类型及煤质差异做适当调整,强度应能对发电机组实际负荷指令下锅炉所需的燃料量进行快速估算,以保证锅炉输入、输出能量的快速平衡。

3. 根据权利要求1所述的发电机组锅炉负荷控制优化调整试验方法,其特征在于:所述步骤(6)中微分控制模块的参数可根据实际情况适当调整,微分增益设定为2~3倍,微分时间为5~6秒。

4. 根据权利要求1所述的发电机组锅炉负荷控制优化调整试验方法,其特征在于:所

述步骤(6)中微分控制模块运算结果进行高低限幅处理,将其运算结果限制在 $\pm 4$ 范围内。

5. 根据权利要求1所述的发电机组锅炉负荷控制优化调整试验方法,其特征在于:所述步骤(9)中的燃料指令的平均值为投入运行的锅炉各台给煤机的控制指令的平均值。

## 一种发电机组锅炉负荷控制优化调整试验方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于自动发电控制技术领域,尤其是一种发电机组锅炉负荷控制优化调整试验方法。

### 背景技术

[0002] 电力系统的主要特点是发电和用电同步完成,因此为了向用户连续提供质量合格的电能,必须保证发电机组出力随时与外界用电负荷保持平衡。锅炉是发电机组的主要设备,其固有的非线性和大迟延、大惯性特性,决定了锅炉负荷控制策略是否先进完善是影响汽轮发电机组能否具备快速响应外界负荷变化能力的主要因素。

[0003] 目前发电机组锅炉负荷控制的方法如图 1 所示,锅炉需求指令经过超前 / 滞后功能模块处理后,再同时输入到高选模块,选择其中的大值与热量信号同时输送给偏差模块进行偏差计算,偏差模块计算输出的偏差值输入主比例 - 积分 - 微分 (PID) 控制模块进行 PID 运算,其输出作为副回路的给定值与锅炉实际总燃料量的反馈进行偏差计算,其结果输入比例 - 积分 (PI) 控制模块,进行比例 - 积分运算处理,控制锅炉的总燃料。该控制方案兼顾考虑了锅炉的能量控制与燃料控制特性,但由于采取的是串级反馈控制策略,没有加入适量的前馈控制成分,不能补偿锅炉的非线性特性及抑制其大迟延和大惯性特性,影响了锅炉响应汽轮发电机组负荷变化的速度,所以不能适应汽轮发电机组快速响应外界负荷变化的要求,对锅炉负荷控制效果不十分理想。另外内回路以锅炉实际总燃料为反馈信号,对其进行比例 - 积分运算,不利于锅炉各给煤机指令的瞬时平衡,运行人员也不能根据锅炉的综合运行情况,在自动方式下随意调整各给煤机的出力。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的是针对现有技术的不足,而提出一种发电机组锅炉负荷控制优化调整试验方法。

[0005] 本发明解决其技术问题是采取以下技术方案实现的:

[0006] 一种发电机组锅炉负荷控制优化调整试验方法,包括步骤如下:

[0007] (1) 锅炉需求指令经过超前 / 滞后功能模块处理后,再同时输入到高选模块处理;其中,在所述超前 / 滞后功能模块中引入动态超前 / 滞后校正环节,产生动态超调,所述校正环节的数学描述是:

$$Y(s) = \left( \frac{2LD + 2GN * T * S - T * S}{2LG + T * S} \right) E(s)$$
, 其中 LD 为超前常数, LG

为滞后常数,单位均为秒,GN 为运算增益,无量纲;

[0008] (2) 通过高选模块选择二输入值中的大值作为输出;

[0009] (3) 高选模块输出值与热量信号同时输送给偏差计算模块,计算二者的偏差;

[0010] (4) 偏差计算模块输出的偏差值输入主 (PID) 控制模块进行 PID 运算;

[0011] (5) 机组实际负荷指令经过函数  $f(x)$  线性处理变换,所述函数  $f(x)$  由 4 个坐标点  $(0, 0)$ ;  $(0.4P_e, 24)$ ;  $(0.6P_e, 36)$ ;  $(P_e, 60)$  拟合产生,其中  $P_e$  为发电机组的额定功率,单位

为兆瓦 (MW),  $f(x)$  的输出强度即斜率, 可以根据锅炉的不同类型及煤质差异做适当调整, 强度应能对发电机组实际负荷指令下锅炉所需的燃料量进行快速估算, 以保证锅炉输入、输出能量的快速平衡;

[0012] (6) 机组实际负荷指令再经过微分控制模块运算, 并经过高低限幅处理, 其中, 所述微分控制模块的传递函数为:  $Y(S) = (K_d * S / (1 + T_d * S)) * X(S)$ , 式中  $K_d$  为微分增益,  $T_d$  为微分时间, 单位为秒;

[0013] (7) 将上述 (5) 步中的函数  $f(x)$  输出与 (6) 步中的微分控制运算输出一起叠加求和作为主 PID 控制器的前馈输入;

[0014] (8) 主 PID 控制器对上述步骤 (4) 偏差计算模块的偏差值输入及上述步骤 (7) 的前馈输入分别进行比例 - 积分 - 微分运算及前馈运算处理, 其中 PID 控制模块的数学描述式是:

[0015]  $Y(s) = (K_p + \frac{1}{T_i * S} + \frac{K_d * T_d * S}{T_d * S + 1}) E(s) + FF(s)$  式中  $K_p$  为比例放大系数,  $T_i$  为积分

时间, 单位为秒,  $K_d$  为微分放大系数,  $T_d$  为微分作用时间, 单位为秒,  $FF$  为前馈变量;

[0016] (9) 主 PID 控制器的综合输出信号与燃料指令的平均值输入到偏差计算模块求偏差;

[0017] (10) 将上述所求的偏差输入到积分运算模块, 利用其纯积分控制功能的快速随动特性, 保证锅炉输出的主控指令随时跟踪主调的输出, 其中, 积分控制模块的数学描述式是:  $Y(s) = (1/T_i * S) * X(s)$ , 式中  $T_i$  为积分时间, 单位为秒, 取值为 2 ~ 3 秒;

[0018] (11) 将上述积分运算的结果作为锅炉主控指令输出。

[0019] 而且, 所述步骤 (5) 中的斜率可以根据锅炉的不同类型及煤质差异做适当调整, 强度应能对发电机组实际负荷指令下锅炉所需的燃料量进行快速估算, 以保证锅炉输入、输出能量的快速平衡。

[0020] 而且, 所述步骤 (6) 中传递函数的参数可根据实际情况适当调整, 微分增益设定为 2 ~ 3 倍, 微分时间为 5 ~ 6 秒。

[0021] 而且, 所述步骤 (6) 中微分控制模块运算结果的高低限幅处理为将运算结果限制在  $\pm 4$  范围内。

[0022] 而且, 所述步骤 (9) 中的燃料指令的平均值为投入运行的锅炉各台给煤机的控制指令的平均值。

[0023] 本发明的优点和积极效果是:

[0024] 1、现役 300MW 等级燃煤发电机组的锅炉负荷控制回路采取本方法优化调整后, 经过长期运行考核验证, 锅炉响应汽轮发电机负荷变化的能力有效提高, 可以适应多种负荷控制方式, 适应不同煤种变化, 负荷反应的延迟时间小于 1 分钟, 锅炉具备每分钟能跟踪汽轮发电机组 2% - 3% 额定负荷变化率的能力。当发电机组处于 AGC 控制模式时, 发电机组负荷在 50% - 100% 额定负荷范围内, 锅炉能平稳跟踪汽轮发电机组的负荷指令, 并且控制稳定, 锅炉出口主蒸汽压力、温度、流量及燃烧系统的风量、氧量、炉膛压力等主要技术指标均高于《火力发电厂模拟量控制系统验收测试规程》(DL/T657-2008) 的要求, 发电机组的负荷控制满足电监会“两个细则”考核要求, 机组均可获得电网公司负荷控制补偿奖励。

[0025] 2、本发明在发电机组的锅炉控制回路中加入一种简单易行的控制算法, 协调控制

锅炉煤量、风量及给水量变化,有效补偿发电机组变负荷过程中锅炉非线性特性,抑制其大延迟、大惯性特性,改善了锅炉的控制特性,减小了锅炉主蒸汽压力的变化幅度,提高了锅炉快速适应汽轮发电机负荷变化的能力。

### 附图说明

[0026] 图 1 是现有发电机组锅炉负荷控制方法的逻辑结构图;

[0027] 图 2 是本发明方法的逻辑结构图。

### 具体实施方式

[0028] 以下结合附图对本发明实施做进一步详述,以下实施例只是描述性的,不是限定性的,不能以此限定本发明的保护范围。

[0029] 一种发电机组锅炉负荷控制优化调整试验方法,如图 2 所示,包括步骤如下:

[0030] (1) 锅炉需求指令经过超前/滞后功能模块处理后,再同时输入到高选模块处理;其中,在所述超前/滞后功能模块中引入动态超前/滞后校正环节,产生动态超调,达到缩短延迟时间、减少参数动态波动和提高负荷变化响应速度的效果,动态超前滞后校正作用不宜过强,

[0031] 并应做限幅处理,否则锅炉负荷控制在稳态时煤量波动较大,不利于锅炉主汽压力、主汽温度及汽包水位等主要参数的稳定运行;所述校正环节的数学描述是:  $Y(s)$

$$= \left( \frac{2LD + 2GN * T * S - T * S}{2LG + T * S} \right) E(s) \quad , \text{其中 LD 为超前常数, LG 为滞后常数,单位均为}$$

秒, GN 为运算增益,无量纲;

[0032] (2) 通过高选模块选择二输入值中的大值作为输出,

[0033] (3) 高选模块输出值与热量信号同时输送给偏差计算模块,计算二者的偏差;

[0034] (4) 偏差计算模块输出的偏差值输入主比例-积分-微分 (PID) 控制模块进行 PID 运算,其中 PID 控制模块的数学描述式是:

$$[0035] \quad Y(s) = \left( Kp + \frac{1}{Ti * S} + \frac{Kd * Td * S}{Td * S + 1} \right) E(s) + FF(s) \quad \text{式中 Kp 为比例放大系数, Ti 为积分}$$

时间,单位为秒, Kd 为微分放大系数, Td 为微分作用时间,单位为秒, FF 为前馈变量;

[0036] (5) 机组实际负荷指令经过函数  $f(x)$  线性处理变换,所述函数  $f(x)$  由 4 个坐标点  $(0, 0)$ ;  $(0.4Pe, 24)$ ;  $(0.6Pe, 36)$ ;  $(Pe, 60)$  拟合产生,其中  $Pe$  为发电机组的额定功率,单位为兆瓦 (MW),  $f(x)$  的输出强度即斜率,可以根据锅炉的不同类型及煤质差异做适当调整,强度应能对发电机组实际负荷指令下锅炉所需的燃料量进行快速估算,以保证锅炉输入、输出能量的快速平衡;

[0037] (6) 机组实际负荷指令再经过微分控制运算,并经过高低限幅处理,其中,所述微分控制模块的传递函数为:  $Y(S) = (Kd * S / (1 + Td * S)) * X(S)$ , 式中 Kd 为微分增益, Td 为微分时间,单位为秒,以上参数根据实际情况可以适当调整,本方案中微分增益一般设定为 2 ~ 3 倍,微分时间一般在 5 ~ 6 秒为宜。在锅炉变负荷过程中,随着其压力的改变,锅炉大型金属部件及其内部的饱和水,需要大量蓄热或释放能量,再加上锅炉制粉及燃烧系统的延迟和惯性,锅炉表现为强烈的非线性特性,导致锅炉吸收的能量与输出的能量不对应,采用微

分控制算法后,适当调整微分作用强度和微分作用时间,即可快速补偿锅炉变负荷过程中蓄热量的变化,显著改善锅炉的非线性特性,提高其快速响应汽轮发电机负荷变化的能力,另外,由于微分计算的结果容易剧烈变化,所以微分模块的输出要经高/低限模块限幅处理,一般将其限制在  $\pm 4$  范围内即可;

[0038] (7) 将上述 (5) 步中的函数  $f(x)$  输出与 (6) 步中的微分控制运算输出一起叠加求和作为主 PID 控制器的前馈输入;

[0039] (8) 主前馈 - 反馈 PID 控制器对上述步骤 (4) 偏差计算模块的偏差值输入及上述步骤 (7) 的前馈输入分别进行比例 - 积分 - 微分 (PID) 运算和前馈处理。

[0040] (9) 主 PID 控制器的综合输出信号与燃料指令的平均值输入到偏差计算模块求偏差,其中,所述燃料指令的平均值为投入运行的锅炉各台给煤机的控制指令的平均值;

[0041] (10) 将上述所求的偏差输入到积分运算模块,利用其纯积分控制功能的快速随动特性,保证锅炉输出的主控指令随时跟踪主调的输出,同时还能平衡已运行的锅炉各给煤机之间的负荷出力,实现锅炉燃烧调节的串级控制功能,其中,积分控制模块的数学描述式是:  $Y(s) = (1/T_i * S) * X(s)$ , 式中  $T_i$  为积分时间,单位为秒,一般取 2 ~ 3 秒为宜;

[0042] (11) 将上述积分运算的结果作为锅炉主控指令输出。

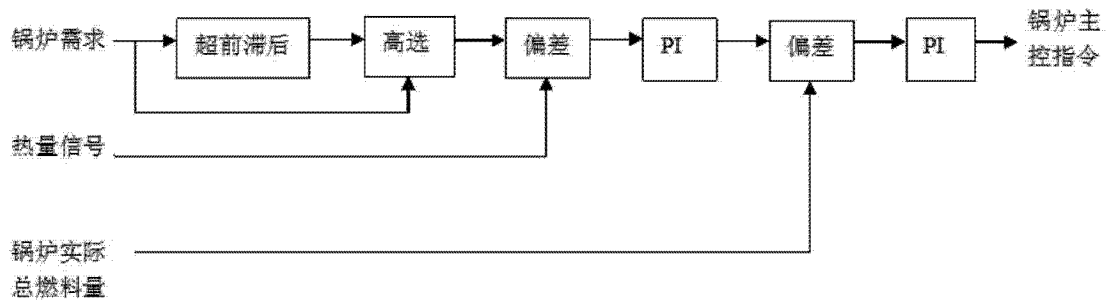


图 1

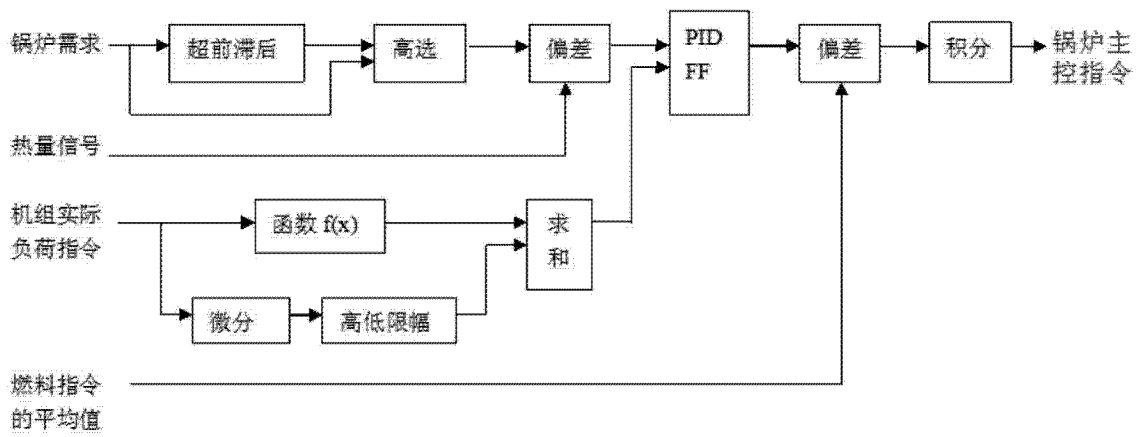


图 2