

Research on Optimization Control of Thermal Power Units Considering Increasing Variable Load Rate

Jian Wu Cheng Zhang

State Power Investment Corporation of China, Xiexin Binhai Power Generation Co., Ltd., Yancheng, Jiangsu, 226000, China

Abstract

The paper deeply explores the application of multi-objective genetic algorithm optimization of artificial intelligence PID control strategy in the field of thermal power unit control. In response to the increasing demand for flexibility and fast response capability in the current power system, an innovative control method is proposed. This method aims at improving the variable load rate of thermal power units by fine tuning PID control parameters and combining with the global optimization ability of multi-objective genetic algorithm, to ensure its rapid and stable response to load changes in complex power grid environment. The simulation experiment fully verifies the effectiveness of the method, which not only greatly improves the variable load capacity of the unit, but also ensures the stable operation of the unit in the optimization process, it provides strong support for improving the overall flexibility and reliability of power system.

Keywords

variable load rate; fossil-fuel power station; optimal control; Joint FM

考虑提升变负荷速率的火电机组优化控制研究

武剑 张成

国家电投集团协鑫滨海发电有限公司, 中国·江苏 盐城 226000

摘要

论文深入探讨了利用多目标遗传算法优化仿人工智能PID控制策略在火电机组控制领域的应用, 针对当前电力系统对灵活性和快速响应能力日益增长的需求, 提出了一种创新的控制方法。该方法旨在通过精细调整PID控制参数, 并结合多目标遗传算法的全局寻优能力, 显著提升火电机组的变负荷速率, 确保其在复杂电网环境下能够快速、稳定地响应负荷变动。仿真实验充分验证了该方法的有效性, 不仅大幅提高了机组的变负荷能力, 还保证了机组在优化过程中的稳定运行, 为提升电力系统整体灵活性和可靠性提供了有力支持。

关键词

变负荷速率; 火力发电机组; 优化控制; 联合调频

1 引言

火电机组作为电力系统的主要供电设备, 其运行效率和稳定性直接影响到整个电网的可靠性。论文充分考虑变负荷频率的问题, 提出了一种新的优化控制方法, 该方法对提升其变负荷速率, 对提高机组运行效率、优化电力系统运行具有重要意义。

2 控制系统与智能 PID 算法设计

2.1 协调控制模型搭建

火电机组作为一个复杂多变的系统, 具有强大的耦合性、参数时变以及迟延的特征。并且, 机组作为电网供电的核心, 其质量好坏对电网的安全稳定运行有着直接的影

响。因此, 在研究火电机组优化控制方法时, 论文选择采用 1000MW 燃煤机组控制系统模型为主, 该模型的输入和输出之间存在耦合关系, 能够更好地对火电机组的优化控制及变负荷调速研究提供帮助。

2.2 基于仿人智能的 PID 控制算法

2.2.1 控制模态集

针对火电机组控制系统运行的特征, 在选择优化控制方法方面需要依据特征模型。尤其是在仿人智能控制当中, 被调量的偏差以及偏差变化率和运算关系形成了特征模型的特征基元, 从而反映出系统运行状态的所有特征信息; 然后共同搭建出系统特征模型。

同时, 仿人智能控制系统的控制策略会随着对象的变化而发生变化, 简单来说控制对象和要求之间存在不同或者控制对象在不同的工况下进行工作, 那么其控制策略也不相同。因此, 仿人智能控制系统就是根据被控制对象的实时特

【作者简介】武剑 (1995-), 男, 中国江苏盐城人, 硕士, 工程师, 从事电厂热控维护研究。

征实现对控制策略的切换,从而达到改控制器输出的目的。而控制模态作为一种控制规律,主要表示控制器的输入信号与输出信号两者之间的映射关系,能够实现一个被控制目标的多级控制模态。

2.2.2 仿人智能 PID 设计

仿人智能 PID 技术设计需要考虑火电机组的特性。火电机组是一个复杂的系统,其运行状态受到多种因素的影响,如负荷变化、燃料质量、环境温度等。因此,仿人智能 PID 控制器需要能够实时感知这些变化,并做出相应的调整。同样,仿人智能 PID 控制器也能够根据火电机组的实际运行情况,自动调整 PID 参数,以达到最佳的控制效果。具体实现上,仿人智能 PID 技术设计可以采用模糊控制规则函数化的方法。通过定义一系列的模糊控制规则,将火电机组的运行状态划分为不同的区间,并根据每个区间的特点,设定相应的 PID 参数。这样,当火电机组的运行状态发生变化时,控制器就能够根据当前的运行区间,自动选择适合的 PID 参数进行控制^[1]。

3 火电机组优化控制方法研究

3.1 火电机组负荷一次调频特征提取

火电机组负荷的一次调频特性是其在运行过程中展现出的重要动态属性,它紧密关联于机组负荷频率的波动。在实际操作中,当火电机组的负荷频率超出预设的合理范围时,需要进行及时调整,这通常涉及增加或减少机组的功率输出,以便实现新的负荷平衡状态。值得注意的是,火电机组的负荷频率往往处于不断变化的环境中,因此,需要重点关注如何减小频率偏差,以确保一次调频的频率能够得到有效的控制。从而确保机组能够稳定、高效地运行。

3.2 火电机组负荷频率优化控制模型设计

考虑提高变负荷速率对火电机组控制进行优化时,首先需要正确认识火电机组中存在的复杂负荷频率控制问题,因此论文在仿人智能 PID 控制中引入多目标遗传算法,实现机组优化控制模型设计,以达到对火电机组负荷频率的控制^[2]。在设计时选择将火电机组在发电过程中存在发电损失问题和经济投入问题作为约束条件,完成了对火电机组中汽轮机输出功率阶跃响应速度的优化,实现了对火电机组变负荷速率的控制。具体汽轮机蒸汽容积变化的情况见图 1。

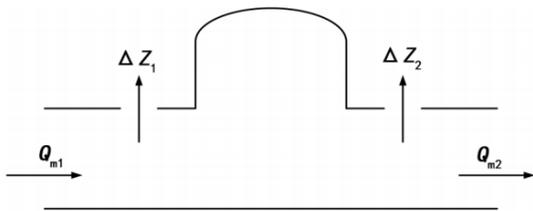


图 1 蒸汽容积具体变化情况示意图

结合图 1 蒸汽容积变化情况来看,火电机组的阀门开度分别由 ΔZ_1 和 ΔZ_2 ; 而蒸汽途径两个阀门的流量则分别

用来表示 Q_{m1} 和 Q_{m2} , 且两个流量的函数可以用公式 (1) 来表示:

$$\begin{cases} f(Q_{m1}) = Q_{m1}(Z_1, P) \\ f(Q_{m2}) = Q_{m2}(Z_2, P) \end{cases} \quad (1)$$

式中, 阀门、火电机组内容器压强等分别由 Z_1 、 Z_2 和 P 来表示。这样一来, 当火电机组的负荷不再受扰动条件影响时, 机组的负荷变化情况见表 1 所示。

表 1 火电机组负荷变化幅度限制情况表

火电机组容量	最低负荷限制	最高协调负荷限幅
300MW	180MW	额定负荷 $\pm 6\%$
330~350MW	200MW	额定负荷 $\pm 8\%$
$\geq 500MW$	额定负荷的 50%	额定负荷 $\pm 8\%$

根据表 1, 可以将火电机组负荷变化的最低、最高值当作约束条件, 将蒸汽途径两个阀门的流量则分别用来表示 Q_{m1} 和 Q_{m2} 当作负荷频率控制的目标, 利用多目标遗传算法通过多个目标角度对负荷频率进行优化, 并使得负荷频率控制达到最优。具体火电机组负荷频率的控制模型目标函数为:

$$Min: f_i = f_i(X), \dots, Max: f_n = f_n(x) \quad (2)$$

式中, 火电机组的负荷频率设计变量由 X 来表示; 第 1、第 N 个目标函数则由 f_1 和 f_n 来表示。因此, 当设负荷频率设计变量为 X 的初始种群规模数值为 100 时, 并将其最大迭代次数同样设置为 100, 那么独立个体的交叉概率则为 0.9, 并将其他参数设为默认值。这样一来, 当个体扬程和效率的数值, 均大于初始值时, 火电机组负荷频率的控制效果最优。

3.3 火电机组协调负荷频率控制分配设计

由于火电机组每次的负荷频率控制幅度保持在 10~20MW 范围之内, 且机组的前馈负荷速率变化幅度在调频区域当中, 所以无法充分确保机组负荷频率控制的效果。因此, 在无法影响火电机组负荷变化率的情况下, 可以对机组前馈变负荷速率进行有效调节, 以达到对负荷频率偏差优化、修正的目的。具体负荷振荡区间中控制变量的分配因子为:

$$c_j^i(t) = \begin{cases} \lambda_j^i & t \leq t_0 \\ \mu_j^i(t) & t_0 < t < t_x \\ \gamma_j^i & t \geq t_x \end{cases} \quad (3)$$

式中, 第 t 时刻时, 第 i 个分配因子在第 j 个火电机组的变化量、振荡区间对分配因子的约束、分配因子所受到的阶跃变化影响在, 在第 j 个火电机组当中所显示出阿里的频率振荡值分别有 $c_j^i(t)$ 和 λ_j^i 、 γ_j^i 来表示; 而 $[t_0, t_x]$ 区间中第 j 个火电机组的变化量则由 $\mu_j^i(t)$ 来表示。同时, 结合第 t 时刻时, 第 i 个分配因子在第 j 个火电机组当中变化情况, 实现了对机组负荷频率的协调控制。因此, 需要针对不同类型

的火电机组容量来选择不同的负荷限制条件，再结合多机互补协调机制，实现对火电机组功率因子的有效分配和协调控制，这样一来就能够充分满足火电机组的负荷频率均衡。

4 仿真测试

为了验证所提优化控制策略的有效性，论文在某实际火电机组上进行了实验验证。本次实验选择 1000MW 火电机组和 II 型布置，这样不仅可以确保火电机组通风环境，还

能够保障火电机组的固态废渣排放。当火电机组正常工作时，结合不同发电环境对机组中低压缸、高压缸的启动情况进行调整，从而为火电厂的机组控制提供一体化调节系统。同时，火电机组的蒸汽压力上升时，其机组功率也会增加，转速也会发生变化。根据上述测试条件，选择 -10%+10% 和 -20%+20% 两组时间为，时间常数；选择和其他火电机组负荷频率控制方法两者之间进行对比分析，以此来判断本文提出优化方法的可行性^[9]，具体实验结果如表 2 所示。

表 2 实验结果

方法	时间常数的相对基准值变化范围	火电机组负荷频率控制指标 /Hz		
		负荷频率实际值	负荷频率标准值	控制频率偏差
传统火电机组负荷频率控制方法	-20%	158.59	150.52	8.07
	0%	248.40	243.25	5.15
	+20%	150.37	145.30	5.07
本文控制方法	-10%	120.43	120.12	0.31
	0%	132.25	132.03	0.22
	+10%	120.34	120.15	0.19

实验结果表明，通过实施优化控制策略，火电机组的变负荷速率得到了显著提升，同时机组的稳定性和能效也得到了改善。实验验证进一步证实了仿真结果的正确性，证明了所提优化控制策略的可行性和实用性。

5 结语

综上所述，论文研究了如何提升火电机组的变负荷速率，通过将仿人智能控制方法与传统 PID 算法相结合，提出并设计了一种能够应用在火电机组协调控制系统当中的智能 PID 控制设备，以此实现对主气压的控制。并且，为了能够更好地提高火电机组的变负荷速率，引入多目标遗传算法用于对智能 PID 控制设备的参数进行调整，确保机组的高效、稳定运行。仿真分析和实验验证结果表明，所提优

化控制策略能够显著提高机组的变负荷速率和调节精度，对于提高机组运行效率、优化电力系统运行具有重要意义。同时，火电机组优化控制仍面临诸多挑战，如多目标优化问题、复杂运行环境下的控制策略调整等。未来研究可进一步探索更加先进的控制算法和智能优化方法，以推动火电机组控制技术的持续发展。

参考文献

- [1] 丁乙崑,邵程安,顾海英,等.基于AGC指令状态判断的火电机组变速率负荷控制策略研究[J].能源工程,2023,43(1):1-5.
- [2] 朱波,王峥,朱溯寒,等.新型电网结构下火电机组深度调峰控制策略的研究与应用[J].电工技术,2023(11):50-55.
- [3] 杜鸣.火电机组灵活运行下的负荷频率控制优化研究[D].北京:华北电力大学(北京),2021.