

热工自动控制中积分作用对余差消除的效果研究

郑逢然

华电库车发电有限公司 新疆 阿克苏地区 库车 842000

【摘要】：本文围绕热工自动控制中积分作用对余差消除的效果展开研究，重点分析了积分时间参数偏差、机组负荷波动以及PI参数配比失衡对余差消除效果的影响。通过提出合理整定积分时间参数、采用柔性积分调节适配负荷动态变化、优化PI参数协同匹配等优化方法。应用结果表明，优化后系统静态偏差明显弱化，工况变动时偏差收敛速度显著加快，热工控制系统整体控制水平有效提升。研究可为热工PID调节优化、余差抑制及机组安全稳定运行提供参考，具有工程应用价值。

【关键词】：热工自动控制；积分作用；余差消除

DOI:10.12417/2811-0528.26.14.004

引言

热工自动控制系统内，过热汽温这类被控对象普遍存在大惯性长时滞与非线性特质，火电机组日常大范围负荷调整及工况切换运行状态，大幅增加系统调控实施难度。积分机制能够抹平系统静态偏差，维持现场实际调控水准，运行成效会受参数设定、工况变动和参数搭配状态干扰。现场运作阶段易出现偏差平复速度慢、调控过程起伏明显、实际调控水准不达标等各类状况。依托积分消差内在原理梳理各类影响条件，拟定适配调整手段，能够助力热工控制系统平稳运转，稳步改善现场实际调控水准。

1 积分作用消除热工控制余差的影响因素分析

1.1 积分时间参数取值偏差带来的作用影响

积分时间参数把控积分作用强弱与响应快慢，左右各类工况下余差消除实际成效^[1]。过热汽温所属热工系统存在明显惯性与时滞特征，参数取值偏小会放大积分作用力度，可快速抹平静态留存偏差，却极易造成系统运行状态偏离稳态，波动态势持续加重，拉长数值回归平稳状态的时长。参数取值偏大则弱化调节效能，难以充分积累偏差修正量，偏差清理进程随之放缓。参数和设备运行动态状态无法适配时，积分输出节奏失衡，难以平稳完成偏差修正工作，还会打乱执行部件运转节奏，让调控数值出现无序起伏，弱化积分模块实际调控效用。

1.2 热工运行负荷波动产生的调节层面影响

火电机组宽负荷、频繁变工况运行，会使被控对象呈现明显非线性与时变性，直接干扰积分作用消除余差的效果。在60%-100%负荷范围内，过热汽温系统的对象增益、惯性时间常数随负荷发生明显偏移，固定积分参数难以适配全工况调节。负荷快速变动时，对象特性突变会导致积分调节滞后，输出与当前响应不匹配，易出现余差复现或偏差放大；低负荷下非线性增强，积分对微小余差的修正灵敏度下降，收敛速度变慢且稳定性变差。负荷波动带来的模型摄动，会使积分调节偏离最优区间，余差消除过程波动增大，控制效果难以保持稳定。

1.3 比例积分参数搭配失衡形成的消差影响

比例与积分参数相互适配的状态，直接影响PI控制器肃清系统余差的实际表现，两类参数搭配失衡会拉低整体控制水准。比例环节能够快速平复动态出现的偏差，为积分环节平复差值筑牢运行根基，参数数值偏大容易引发系统震荡，让偏差不断堆积；数值偏小会拖慢系统响应速度，拉长偏差存续时长，提升积分饱和出现概率^[2]。积分环节用来平复固定状态下的残留差值，参数数值偏高易和比例运行状态相悖，引发调控幅度超标与系统震荡，数值偏低难以填补比例运行留存的差值漏洞，系统内部易留存多余差值。串级控制体系内部参数搭配紊乱，打乱整体调控节奏，动态偏差会抵消差值肃清作用，造成差值清理不全，系统运行状态失去稳定。

2 适配各类影响因素的余差消除优化方法

2.1 合理调试积分时间参数

针对积分时间参数取值不当造成余差消除不畅、调节稳定性下降的问题，需结合热工对象大惯性、长时滞的动态特性开展精准整定。以超超临界机组过热汽温控制为应用对象，先通过阶跃响应测试获取不同工况下对象的惯性与滞后特征，以绝对误差积分（IAE）为量化评价指标，在保证系统无持续振荡的前提下逐步优化积分时间。主回路以消除静态余差为核心目标，采用适中积分时间保障稳态精度；副回路以快速抑制扰动为重点，适当增大积分时间避免执行机构频繁动作。调试过程遵循先稳后快、先稳态后动态的原则，通过现场分步整定与仿真迭代，使积分时间与对象时间常数相匹配，让积分输出平稳跟踪偏差变化，既保证余差快速消除，又避免调节过量引发超调与振荡，从参数源头提升积分作用消除余差的可靠性与稳定性。

2.2 采用柔性积分调节适配负荷动态变动

针对机组宽负荷运行带来的对象非线性、时变性干扰积分消差效果的问题，采用柔性积分调节策略以适配负荷动态变动。根据60%-100%典型负荷区间内过热汽温对象特性差异，

建立负荷与积分作用强度的对应关系,在负荷变动时自动调整积分累积速度,避免固定参数造成的调节滞后或过量。负荷出现快速波动放缓积分运作力度,缓解积分饱和现象,负荷趋于平稳后恢复原有积分力度,维持系统残留偏差清除能力。设定偏差数值界限管控范围,偏差数值偏大时缩减积分累积幅度,偏差数值偏小后恢复原有积分运作状态,完成平稳状态切换。这套调节方式能够增强工况变动环境下积分调节运行稳定性,让偏差清除流程趋于平稳且加快收敛速度,契合火电机组深度调峰及灵活运转的实际控制诉求。

2.3 统筹调配 PI 参数配比理顺调节关系

针对比例积分参数搭配失调引发消差水平走低、调控状态变差的情况,梳理 PI 参数内在关联,搭建互相适配的调控运行模式。整定工作敲定合适比例系数,压制动态偏移波动并规避大幅震荡,给积分消除残留偏差营造平稳环境。慢慢调整积分相关数值,填补静态层面出现的偏差,和比例调控行为保持适配状态。串级控制体系里主回路侧重积分效能稳固运行状态水准,副回路依托比例效能加快反应速率,搭配两类回路参数取值规避积分作用出现偏差。依托现场工况波动测试与实际运行效果调整,PI 参数能够达成快速响应、小幅波动、有效消差的运行状态,提升热工控制系统各类工况里的控制水准、运行平稳程度与实际运行稳定程度^[3]。

参考文献:

- [1] 庞大卫,秦天牧,杜鸣,等.超超临界机组灵活运行下基于观测器的 PID 过热汽温控制[J].动力工程学报,2025,45(08):1290-1298.
- [2] 李健.基于 PID 参数自整定的火电厂热控系统自动控制研究[J].自动化应用,2025,66(17):22-24+27.
- [3] 高杰,马战南,刘强,等.火力发电厂远程 PID 控制及实时监测技术研究[J].电气技术与经济,2025,(11):26-28.

3 积分作用优化后余差消除呈现的实际成效

通过对积分时间参数、柔性积分调节及 PI 参数配比的协同优化,热工自动控制系统在余差消除与运行品质上取得明显改善。控制系统静态偏差得到有效弱化与缩减,积分作用能够稳定、持续地修正稳态误差,使被控参数更贴近设定值,静态控制精度显著提高,长期运行下的余差残留问题得到明显改善。在机组负荷频繁变动的工况下,偏差收敛速度明显加快,面对扰动与工况切换时,系统能够快速回归稳态,调节时间缩短、波动幅度降低,积分环节的响应特性与对象动态匹配度大幅提升。整体来看,优化后的积分作用有效提升了热工自动控制系统的控制水准,系统稳定性、抗干扰能力与鲁棒性显著增强,调节过程更平稳、执行机构动作更缓和,在宽负荷运行条件下仍能保持良好的控制品质,为热工设备安全、高效、稳定运行提供了可靠支撑。

4 结语

本文系统分析积分作用消除余差的主要影响因素,并给出针对性优化策略。通过合理整定积分参数、柔性适配负荷变动、协调 PI 配比,可有效改善余差消除效果,提高系统稳态精度与动态响应速度。优化后的积分调节更适应热工现场复杂工况,能显著提升控制稳定性与鲁棒性。研究成果对热工自动控制优化、机组安全经济运行具有一定的理论意义与实用价值。未来可结合智能算法与自适应技术,进一步提升积分调节在极端工况下的适应性与控制精度。