

火电厂汽轮机调速系统动态优化控制研究

李 瑞

鄂尔多斯市西金余热发电有限公司 内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘 要：火电厂汽轮机调速系统承担着机组转速稳定与负荷适配的关键职能，动态优化控制对提升机组运行品质具有重要意义。本文围绕调速系统动态特性展开分析，梳理了转速监测、指令调控、液压执行与反馈校正各环节的运行机理及固有缺陷。在此基础上，构建覆盖多工况的动态控制模型，完成参数适配与规整。进而设计融合传统控制改进与新型算法引入的优化策略，并搭建层级化控制体系，制定动态参数整定方案与多模块协同调控机制，为火电机组复杂运行工况下的精细化调速控制提供理论支撑。

关键词：汽轮机调速系统；动态优化控制；控制模型；参数整定；协同调控

引言：火电机组运行中，汽轮机调速系统直接关系到转速稳定与负荷匹配质量。机组面临蒸汽参数波动、液压响应滞后、机械磨损累积等多重扰动，传统固定参数控制模式已难以适应复杂工况需求，调控精度与响应速度均出现不同程度衰减。调速系统动态优化控制通过引入自适应算法与协同调控机制，能够有效弥补传统控制的性能短板。围绕调速系统动态特性分析、控制模型构建、优化策略设计及控制体系搭建展开研究，对推动火电机组调速控制向精细化方向发展具有现实价值。

1 汽轮机调速系统动态特性分析

1.1 汽轮机调速系统结构组成

汽轮机调速系统是保障火电机组负荷适配与转速稳定的核心设备体系，整套装置由多重功能单元衔接构成，各单元各司其职且相互配合，支撑机组常态化运行状态的调控。转速监测单元负责捕捉机组运行过程中的转速变化状态，持续采集机组轴系运行的实时状态信息，其采样周期通常设定为20~50ms，转速测量精度可达 $\pm 1\text{r/min}$ ，为调控工作提供基础数据支撑。指令调控单元依托机组运行预设标准，对采集的运行数据进行甄别与运算，生成适配当前运行状态的调控指令，常规运算响应时间约为80~120ms。液压执行单元承接调控指令完成机械动作转换，通过液压动力驱动阀门构件完成开度调节，阀门全行程调节时间约为0.8~1.5s。反馈校正单元实时追踪阀门动作与机组运行状态变化，持续输送状态信息至调控前端，实现设备运行状态的闭环调控^[1]。各类功能构件的有序组合，搭建起完整的转速与负荷调控体系，为机组动态工况下的稳定运行提供硬件支撑。

1.2 调速系统动态运行机理

机组处于运行状态时，外界用电负荷的波动会直接改变汽轮机轴系的受力状态，引发机组转速的浮动变

化。监测单元捕捉转速波动信号后，会将运行状态信息传输至系统调控模块。调控模块结合机组运行基准参数完成数据运算，输出对应的调控指令，驱动液压执行构件调整汽轮机进汽阀门的开启幅度。进汽量的持续改变会调整蒸汽做功能力，改变汽轮机转子的输出功率，逐步修正转速偏移状态。机组运行参数回归标准区间后，系统调控动作趋于平缓，设备运行状态维持在稳定区间。整套运行流程依托信号传输、指令运算、机械调节的递进模式，完成机组动态工况的自适应调控。

1.3 调速系统动态运行影响因素

火电机组复杂的运行环境会从多维度干扰调速系统的动态调控精度。蒸汽参数的波动会改变蒸汽做功效率，干扰机组转速调控的响应精度，弱化进汽量调节对转速的修正效果。液压油路的工况变化会影响执行构件的动作灵敏度，造成阀门调节行程出现偏差，延缓系统调控响应速度。设备长期运行产生的构件磨损会改变机械配合精度，使得调控动作无法精准匹配指令要求。电网负荷的频繁波动会让系统长期处于持续调节状态，加剧调控参数的偏移幅度，打乱系统动态调控的平衡状态。环境温度与机组辅机运行状态的改变，也会间接影响整套调速系统的运行稳定性。

1.4 调速系统动态运行固有缺陷

现有汽轮机调速系统的运行模式存在固定的性能短板，难以完全适配复杂多变的机组运行工况。系统调控参数多基于常规运行状态设定，工况出现大幅变动时，固定参数无法适配动态调控需求，造成转速调控偏差扩大。液压传动结构存在固有的响应滞后特性，信号传输与机械动作之间存在时间差，降低系统动态调控的实时性。机械构件的传动间隙会引发调控动作偏差，小幅偏移问题会在动态调节过程中持续累积。传统调控模式对复杂工况的适配

性较弱,面对频繁的负荷变动,调控精度会出现持续性衰减,无法始终维持机组最优运行状态。

2 汽轮机调速系统动态控制模型构建

2.1 动态建模基本原则与思路

汽轮机调速系统动态模型搭建需要依托机组运行物理规律,结合系统动态运行特征确立科学的建模准则。建模工作优先保留调速系统核心动态响应特征,弱化对系统调控特性无明显影响的细微物理变化,提升模型主体结构的简洁性与实用性。建模过程贴合机组实际运行状态变化规律,依托能量转换与机械传动的基础原理搭建模型主体架构,保证模型可以真实还原系统动态运行状态^[2]。整体建模思路围绕调速系统全运行流程展开,梳理信号传输、指令运算、机械调节等不同环节的动态变化规律,依托各类运行参数的关联特性搭建完整数学体系,为后续控制策略优化提供可靠模型载体。

2.2 调速系统各环节动态数学建模

调速系统整体运行架构可拆解为多个独立运行环节,各环节依照自身运行规律完成动态数学模型搭建。转速监测环节依托转速信号采集与传输的变化规律,构建能够反映转速实时变动特征的数学关系式,刻画转速波动与信号输出的对应关系。调控运算环节依托运行参数偏差量的变化规律,搭建参数运算与调控指令生成的动态模型,还原系统内部数据处理的完整过程。液压执行环节结合油路压力变化、机械传动行程的动态变化特征,构建适配阀门调节动作的动力学模型,精准呈现机械调节过程的状态变化。蒸汽做功环节结合进汽量与机组输出功率的关联规律,搭建蒸汽能量转换的动态数学模型,覆盖调速系统完整调控流程。

2.3 动态模型参数适配与规整

模型初始构建完成后,各类运行参数存在数值离散度高、适配性不足的问题,需要开展系统性的参数规整处理。结合火电机组调速系统额定运行状态标准,筛选贴合机组实际运行工况的参数数值,剔除偏离正常运行区间的异常参数。依据各环节模型的耦合关联特征,统一不同模块参数的量纲与运算标准,消除参数体系不统一带来的模型运算偏差。结合系统动态运行的变化规律修正参数取值范围,让各类参数可以适配机组动态调控的状态变化,提升模型整体运算的精准度与适配性。

2.4 多工况下动态模型适配调整

火电机组运行工况存在多样变化特征,单一模型结构难以适配全部运行场景,需要针对不同工况完成模型适配优化。结合机组稳态运行、负荷小幅波动、负荷大幅变动等不同运行场景,调整模型内部参数的运算权

重,适配不同工况下系统的动态响应特征。结合蒸汽参数、负荷状态的差异化变化特征,优化模型内部运算逻辑,让模型可以跟随工况状态改变完成自主适配。针对性调整模型对动态工况的捕捉能力,弱化固定模型结构带来的适配局限,提升动态模型对复杂机组运行场景的兼容能力。

3 汽轮机调速系统动态优化控制策略设计

3.1 动态优化控制设计目标

汽轮机调速系统动态优化控制的整体设计围绕机组动态运行品质提升展开,聚焦调速调控过程的综合性能升级。调控体系设计侧重提升机组转速波动的抑制能力,弱化工况变动带来的参数偏移问题,维持机组运行参数的稳定区间。优化设计工作聚焦调控响应速度的提升,缩短调速系统应对工况波动的调节时长,强化机组对负荷变动的适应能力^[3]。调控逻辑的优化升级着重改善系统运行平稳性,减少调节过程中参数震荡与偏移幅度,提升调速系统全程调控质量。整体设计工作兼顾调控精度与运行稳定性,适配机组复杂多变的运行状态,推动调速控制体系向精细化调控方向升级。

3.2 传统调速控制方式优化改进

常规调速控制体系依托固定调控逻辑完成机组工况调节,调控模式适配场景较为单一,难以应对复杂动态工况的运行需求。原有调控逻辑参数固化程度较高,工况出现大范围变动时,调控精度会出现明显下滑,无法满足高精度运行需求。针对传统控制模式存在的运行短板,可对调控逻辑框架进行精细化调整,更新传统参数整定模式,适配动态工况下的参数变化规律。优化原有信号处理流程,精简冗余运算环节,提升调控指令的生成效率。改良基础调节逻辑的运算规则,弱化固定调控模式带来的适配局限,提升传统控制体系对波动工况的兼容性能。

3.3 新型动态优化控制算法引入与适配

常规调控算法的运算逻辑较为固化,动态工况下的自适应调控能力存在明显不足,需要引入先进控制算法完善调控体系。选取适配汽轮机调速运行特性的优化算法,依托算法自主寻优与动态调节的优势,弥补传统调控模式的性能短板。结合调速系统信号传输、机械调节、能量转换的运行特点,调整算法内部运算逻辑,适配机组动态调控的运行规律。完成算法与调速系统各运行环节的深度衔接,让算法运算逻辑贴合机组参数变化特征,实现调控过程的自主优化与动态适配。

3.4 多约束条件下控制策略优化迭代

机组实际运行过程中存在多重运行约束条件,各类

运行参数的限值标准会直接影响调速控制策略的落地效果。结合机组蒸汽参数、机械行程、负荷区间等运行约束,对成型的控制策略进行迭代完善。调整控制策略的参数运算边界,规避超限运行状态的出现,保障调控过程贴合机组安全运行标准。依托各类约束条件的相互制约关系,持续打磨调控逻辑与运算规则,逐步提升控制策略的合理性与科学性。持续迭代调控方案的核心逻辑,让优化后的控制策略可以兼顾安全运行标准与动态调控精度,适配机组全工况运行需求。

4 汽轮机调速系统动态优化控制体系构建

4.1 优化控制方案整体架构设计

汽轮机调速系统动态优化控制的完整架构依托机组动态运行调控需求搭建,整合调控运算、参数调节、状态反馈多项核心模块。整体架构围绕机组全工况动态调控需求搭建层级化结构,划分底层数据感知、中层逻辑运算、顶层调控执行的完整层级。各层级模块依照调速运行物理规律建立联动关系,打通机组运行数据传输与调控指令落地的完整通道^[4]。架构设计兼顾调控体系的独立性与关联性,细化各模块的运行职能,明确不同层级的调控任务与运行边界。科学的整体架构能够支撑优化控制策略稳定落地,为精细化动态调控提供完整的框架支撑。

4.2 调速系统动态控制参数整定方案

动态控制参数的合理设定是保障调速系统稳定运行的核心基础,传统固定参数设定方式无法适配工况动态变化。结合机组负荷变动、蒸汽参数波动的运行特征,制定适配动态工况的参数整定逻辑。依托系统动态响应特性与参数变化规律,划分不同运行区间的参数取值范围,摆脱固定参数运行的局限。结合调控过程的响应速度与稳定状态,微调各类控制参数的匹配程度,让参数数值适配不同工况下的调控需求。系统化的整定方式能够提升参数与调控逻辑的匹配度,强化调速系统动态调控的精准程度。

4.3 动态控制过程协同调控机制

调速系统动态调控涉及多项设备单元与运算模块,单一模块独立调控难以保障整体运行品质。搭建多模块协同运行的调控机制,打通监测、运算、执行各单元的运行关联。统筹机组转速调节、负荷适配、压力稳定的

多元调控需求,平衡不同调控维度的运行优先级。理顺各调控单元的运行衔接逻辑,保证调控流程有序推进,规避调控动作脱节引发的运行波动。协同调控模式可以整合系统各类调控资源,提升复杂工况下调速系统的整体调控效能。

4.4 优化控制长效运行保障机制

优化后的动态控制体系需依托完善的运行保障机制,维持长期稳定的调控性能,规避机组长期运行引发的调控性能衰减。结合调速设备长期运行的性能演变规律,搭建常态化状态监测与逻辑自检运行模式,及时捕捉调控过程中出现的性能偏移与逻辑偏差问题。更新控制体系的自适应修正模式,依托机组实时运行状态变化微调内部调控规则,适配机械构件磨损、油路状态变动带来的运行特性改变^[5]。构建规范化的运行管控与维护体系,统一调控体系运行流程与管控标准,持续维系动态优化控制体系的运行水准,让调速系统始终保持优质的动态调控性能,适配火电机组长期常态化运行需求。

结束语

汽轮机调速系统动态优化控制涉及特性分析、模型构建、策略设计与体系搭建等多个技术维度,各环节相互支撑、缺一不可。动态建模为控制策略提供了可靠载体,优化算法的引入弥补了传统调控模式的性能短板,协同调控机制与参数整定方案则保障了控制体系在全工况下的稳定运行。长效运行保障机制的构建,使调速系统在设备磨损与工况演变中仍能维持较高的调控水准,为火电机组长期安全高效运行奠定了坚实基础。

参考文献

- [1]孙智慧,马凤明,赵建华.火电厂汽轮机调速系统动态优化控制研究[J].电力设备管理,2025(5):103-105.
- [2]梁海龙,张威.火电厂汽轮机调速系统动态响应特性与稳定性改进[J].百科论坛电子杂志,2025(22):25-27.
- [3]张宇.火电厂汽轮机调速系统液压执行机构优化技术[J].电力科学与工程,2024,40(02):71-76.
- [4]王旭蕊.汽轮机调速系统故障原因及处理措施探讨[J].百科论坛电子杂志,2023,(5):289.
- [5]章志龙.火电厂汽轮机运行故障处理技术探究[J].中国设备工程,2025,(02):205-207.