

件。同时,生态用地统筹强化了生态空间在整体空间结构中的基础性地位,使生态空间不再处于被动让位状态,而是成为空间布局的重要组成部分。随着生态空间格局的逐步优化,生态修复由局部、零散推进转向整体、系统实施,生态服务功能得以持续恢复和提升,为乡村空间重构提供长期稳定的生态支撑。

5 基于功能协同的乡村空间重构路径模式分析

5.1 生产生活生态空间协同重构的逻辑框架

在全域土地综合整治背景下,生产空间、生活空间与生态空间的协同重构并非简单叠加,而是通过功能关系重塑形成相互支撑、相互制约的整体结构。从空间逻辑看,生产空间是乡村发展的物质基础,生活空间是人口集聚与社会活动的承载载体,生态空间则提供长期稳定的环境支撑,三类空间在面积占比、功能权重与空间位置上存在显著差异。部分地区生产空间占比长期超过 60,生活空间布局零散,生态空间连续性不足,导致整体空间运行效率偏低。通过协同重构,将生产空间集中布局在基础条件较好的区域,提高单位面积产出效率,同时压缩低效建设用地规模,使生活空间向交通便利、公共服务可达性较高的区域集聚,生活空间利用强度可提升 20 以上^[3]。在此基础上,通过对生态空间的整体统筹,构建连续稳定的生态格局,使生态空间在整体结构中的比例保持在 30 左右,形成生产高效、生活宜居、生态稳定的空间关系。该逻辑框架强调三类空间在功能上的互补与边界上的协调,推动乡村空间由分散割裂向系统协同转变。

5.2 土地整治单元划分与空间功能重塑机制

土地整治单元划分是实现乡村空间功能重塑的重要基础,其合理性直接影响全域土地综合整治的实施成效。在实践中,以行政村或自然片区为基本单元,结合地形条件、土地利用现状与产业结构特征进行整治单元划分,可有效避免整治尺度过大或过小带来的效率损失。通过对土地整治单元内部用地结构的系统分析,明确生产、生活与生态功能的主导方向,使单元内部空间功能更加清晰。相关实践表明,经过整治后,单元内耕地集中度可由原有的 45 提升至 70 以上,建设用地布局紧凑度提高 15 左右,生态用地连通长度增加 2 至 3 倍。土地整治单元在空间功能重塑过程中,不仅优化了土地利用结构,还强化了单元之间的功能分工与协作

关系,使不同单元在整体空间体系中各司其职。通过这种方式,乡村空间重构由单点调整转向单元联动,实现空间结构的整体优化与功能提升。

5.3 基础设施与公共服务配置对空间结构优化的支撑作用

基础设施与公共服务配置是推动乡村空间结构优化的重要支撑条件,其配置水平直接影响空间重构效果的稳定性与可持续性。在全域土地综合整治过程中,通过对道路、水利、供水供电等基础设施进行系统布局,可显著提升空间运行效率。道路密度由每平方公里 2 提升至 4 后,生产空间与生活空间之间的联系强度明显增强,农产品运输时间平均缩短 30。公共服务设施配置的优化同样对空间结构产生深远影响,当医疗、教育与养老设施服务半径控制在 1.5 以内时,生活空间的集聚效应显著增强,居住用地利用率提高 20 以上^[4]。基础设施与公共服务在空间中的合理嵌入,使原本功能分散的空间单元形成稳定联系网络,推动空间结构由松散型向网络化转变。这种支撑作用不仅改善了空间使用效率,也增强了乡村空间系统的整体韧性,为空间重构成果的长期保持提供了现实保障。

6 结语

全域土地综合整治通过统筹配置各类土地资源,为乡村空间重构提供了系统性解决路径。从生产、生活与生态空间协同重塑的内在机理来看,其核心在于以整体治理思维优化空间结构与功能布局,推动乡村空间由分散低效向集约有序转变。通过土地要素重组、功能单元重塑以及基础设施与公共服务的协同支撑,乡村空间运行效率与发展韧性得到有效提升。未来,应在实践中持续强化全域统筹与动态调适机制,使乡村空间重构更好服务于乡村高质量发展目标。

参考文献

- [1] 曹玉.全域土地综合整治中农民权益保障机制研究[J].安徽农业科学,2025,53(23):264-266+272.
- [2] 胡代平.全域土地综合整治中稻渔综合种养生态循环实践的现存问题与优化对策[J].南方农机,2025,56(23):68-71.
- [3] 黄晓磊.全域土地综合整治背景下国土空间布局优化策略[J].农村科学实验,2025,(24):46-48.
- [4] 王磊.城乡空间结构优化下的全域土地综合整治策略探究[J].现代农业科技,2025,(23):178-181.

Analysis of the Cause of Loss of Control of Steam Turbine Speed Regulating System and Countermeasures

Junda Zhang

Liaoning Datang International Huludao Thermal Power Co., Ltd., Huludao, Liaoning, 125000, China

Abstract

The steam turbine speed control system is an important component of the steam turbine generator set in thermal power plants. Its function is to adjust the unit's speed in real time and control the steam flow, ensuring stable operation of the unit under grid frequency and load variations. The speed control system involves the coordinated work of multiple links, and its operational stability is closely related to the safety of the unit and the stability of the grid frequency. Especially for large thermal power units, when facing complex load conditions or variable disturbance conditions, speed fluctuations, oscillations, or even unit protection tripping due to speed control system failures often occur. Based on this, this paper starts with analyzing the causes of speed control system loss of control, grounded in the actual operating conditions of China's thermal power plants, and explores more practical and effective countermeasures to improve the reliability and disturbance resistance of the power plant's speed control system.

Keywords

steam turbine speed regulation; loss of control analysis; countermeasures; training and emergency drills

汽轮机调速系统失控的原因分析及应对措施分析

张峻达

辽宁大唐国际葫芦岛热电有限责任公司，中国 · 辽宁 葫芦岛 125000

摘要

汽轮机调速系统是火电厂汽轮发电机组的一个重要组成部分，其功能是对机组的转速进行实时调节、对蒸汽流量进行控制，确保在电网频率、负荷变动情况下机组保持稳定运行。调速系统涉及多个环节协同工作，其运行稳定度与机组安全、电网频率稳定息息相关，特别是大型火电机组在面对一些复杂的负荷工况或者是多变的扰动工况时，经常出现因调速系统故障而引发的速度摆动、振荡甚至机组保护跳闸等情况。基于此，本文以剖析调速系统失控原因为出发点，立足于中国火电厂实际运行情形，探讨更多实用有效的应对措施，以提升电厂调速系统的可靠度和抗扰动能力。

关键词

汽轮机调速；失控分析；应对措施；培训与应急演练

1 引言

汽轮机的调速系统是汽轮机整体运转过程中不可或缺的一项，并且也起到了一个非常重要的作用。但是在整个汽轮机的调速系统运转的过程中，不可能毫无故障发生，常常会因为一些极微小的因素而影响着整个汽轮机运转工作的失效性，最终导致了汽轮机在工作过程中出现许多故障，众多系统故障加之在一起就会严重制约着整个汽轮机的发展与进步。因此就需要对汽轮机调速系统的故障原因进行深入了解，并且及时研究出相对应的处理方案。

2 汽轮机调速系统失控的原因分析

2.1 液压伺服系统工况退化引发执行失真

汽轮机调速系统的液压伺服系统直接驱动调节阀动作，可见液压伺服系统的运行状态直接影响调速的稳定性。基于液压油长期处于高温、高压下循环流动，当油质得不到良好管理时，就会出现油液变黑、黏稠甚至乳化的现象，以及油中的杂质和微小颗粒也会越来越多，使得调节阀开度反应缓慢、负荷调整滞后严重、阀位与指令不符的问题。与此同时，随着运行时间不断累积，液压油泵出现控制油压波动，导致伺服执行能力降低，这些问题多在启停机及负荷急剧变化时发生，如果未能及时发现和解决，将制约调速系统的线性调节能力，进而引发转速、负荷摆动以及调速系统无法对机组进行有效控制等问题^[1]。

2.2 调速器参数配置与机组动态特性不匹配

有的火电机组在投运初期或者进行系统改造之后，依

【作者简介】张峻达（1997-），男，中国辽宁朝阳人，本科，助理工程师，从事汽轮机调速系统研究。

然使用原有的调速器参数值来运行，并没有针对锅炉蒸汽压力、主再热温度以及转子惯量的变化对调速器的参数进行合理修正，从而可能造成机组控制特性和机组动态特性不相适应。具体表现为：在深度调峰、快速减载工况下，以及电网频率发生剧烈波动时，如果比例系数过大，易造成调门开度大幅波动，执行机构动作频繁，转速来回波动；如果比例系数过小或积分时间选择不合理，也会导致调速响应迟缓，转速偏离无法有效消除。实际运行中常见于负荷指令变化后转速不能及时恢复，或者出现短时超速、欠速现象。

2.3 测量元件及信号通道可靠性下降

调速系统的转速、阀位等测量信号，都是建立在现场测量元件与信号通道的状态基础上，其可靠性将直接影响调速系统对机组状态的正确判断。在机组运行过程中，机组转速传感器易受到机组振动、环境温度变化以及元件老化等因素的影响，导致其输出信号变化较大或出现零点偏移、瞬间失电等现象，运行中表现为机组转速反馈信号不稳定或不相符。另一方面，信号电缆由于长期处于高温、高湿、油污等恶劣环境下，加上接线端子松弛、接地不正确或屏蔽层损坏等，极易引入干扰信号，进而造成机组反馈值发生跳变或者漂移。这些都使得调速系统获得的反馈信号失真，导致调速系统给出的控制指令与机组当前的实际工况相脱离，最终可能导致机组调速响应滞后、调节幅度过大，甚至整个调速系统失稳。

2.4 人员操作与应急处置能力不足

调速系统较为复杂，涉及液压、机械、电气以及控制逻辑等多方面，对运维人员的专业性与规范性操作提出更高要求。然而就实践情况来看，仍有部分运维人员以经验为依据进行判断，对于调速系统内控逻辑、保护联锁关系、失控发展演变，以及一些早期异常等均存在认识上的不足。比如：面向调节阀动作缓慢、转速波动紧凑、油压短时间内异常等情况，经常被当作一般工况忽略，并未深入挖掘该异常状态是否会影响调速系统的稳定性，并且在负荷调整和工况切换过程中随意性较强，导致意外情况出现后未能及时做出正确处理，使扰动进一步扩大。其次，调速系统应急演习没有充分考虑该机组调速系统特点，缺乏针对性的专项演习，使得人员在真正发生应急事故时不能果断处理，增加了调速系统失控的可能性^[2]。

3 汽轮机调速系统的应对措施分析

3.1 强化液压伺服系统的精细检测与维护

依托中国火电机组长期运行的实践经验，液压伺服系统的可靠提升可从“运行可控、状态可判、处置可行”上同步推进。以下对具体操作步骤进行详细说明：一是在日常运行维护工作中，将液压油状态作为控制的重点，即在常规定期换油基础上增加简单易行的检测手段，例如定期取样查看油色、油质沉降情况，同时结合日常的水分检测、黏度检测，

把油质的变化、阀位出现的动作迟滞、油压波动等情况一一记录下来，不再单凭“目测经验”就判断是更换滤网或是油路清洗等。二是在设备检修消缺过程中，要把伺服阀、油泵等关键部位纳入重点检查项目之中，通过检测阀芯滑动是否灵活、密封件是否完好，以及对比油泵出口的压力和流量等状态的方法，来判断该设备的工作状态是否出现异常，同时利用机组以往的运行参数形成标准对照，针对其中性能下降趋势的部件提前安排好维修或者更换计划，避免出现带缺陷运行的情况发生。三是在运行管理方面，要提高一线运行人员对液压系统异常现象的识别能力，把油压异常、执行机构不同步动作、阀位反馈不稳定等现象作为重点关注的信号，并加强班组内技术学习、现场操作技能训练，确保在异常初期运维人员能够按规程采取相应措施。通过上述途径的逐步实现和完善，可在预算范围内最大程度提高液压伺服系统的运行可靠性，维持调速系统始终处于既稳定又受控的状态，这与火电厂长期安全运行的要求高度契合^[3]。

3.2 优化调速器参数标定与动态自适应调整

为防止参数设置不当引起的振荡或迟滞问题，建议引入标准的参数标定流程，并在此基础上融合动态自适应调整，以此来促进工作效率的提升。具体来说，采用适合机组自身实际工况参数的初始标定方法，即投运或是检修结束之后，不要直接使用出厂或是之前机组实际使用的参数，应当以目前的蒸汽压力、温度及转子惯量，再结合调节阀自身的实际动作速度来做实验。例如，可以在机组并网之后把负荷由原值升高或者降低，然后让机组的负荷做短时间的阶跃试验，逐步将系统参数调试到一个合适的阈值。注意每次标定只调整一个参数，打个比方，如果调节阀跟随转速变化响应不及时，那么则调整调节阀的时间常数；如果有显著的滞后现象或振荡，可以增大比例系数或将积分改为纯微分；当转速调节变化大，则减小比例系数或增大积分时间等。这样有助于保证在正常范围内负荷变动期间，阀位变化平缓、转速回跳时间可控，避免了大范围负荷变化造成的低负荷摆动剧烈、高负荷调节缓慢等问题。其次，基于运行记录开展参数定期复核。机组经过长时间运行后，液压油的状态变化、执行机构间隙和环境温度均会在一定程度上影响调速性能。基于此，运维人员应定期调阅 DCS 历史曲线，通过对机组调负荷过程中的转速偏移、回稳时间和是否过调等问题进行对比分析，并在保障机组安全与稳定的前提下微调参数，每次仅作一个参数的修改，并做好记录工作，切勿大范围变动，避免使新形成的参数发生较大的波动，保障参数优化工作顺利开展。另外，也可结合现场条件采取自动修整方法。满足条件的调速系统可以设置根据转速偏差大小进行自动微调的功能，当负荷突变或者电网频率波动时，适当修正增益，但是要严格规定调整的上下限，并详细记录修正轨迹，方便运行人员随时查看和人工干预，从根本上提高调节系统对工况变化的适应性，为现场的长期稳定运行奠定基础。