

## 机械工程

## 汽轮机背压供热运行管理及故障诊断研究

魏光

华电国际电力股份有限公司天津开发区分公司

DOI:10.12238/jpm.v6i9.8439

[摘 要] 本文对汽轮机背压供热运行管理及故障诊断进行了系统研究。首先，深入剖析了汽轮机背压供热的基本原理和系统构成，揭示了其独特的运行特点。接着，详细阐述了运行管理中的关键环节，包括参数控制、系统协调和安全保障，强调了各项管理要点。随后，本文对汽轮机背压供热系统常见的故障类型进行了分类，并针对每种故障提出了相应的诊断方法、处理策略和预防措施。通过这些深入分析，本文旨在为提高汽轮机背压供热系统的运行效率、稳定性和可靠性提供全面的理论支撑和实践指导，以促进该领域的技术进步和行业健康发展。

[关键词] 汽轮机；背压供热；运行管理；故障诊断；系统稳定性

## Research on Operation Management and Fault Diagnosis of Steam Turbine Back Pressure Heating

Wei Guang

Huadian International Power Co., Ltd. Tianjin Development Branch

[Abstract] This article systematically studies the operation management and fault diagnosis of steam turbine back pressure heating. Firstly, the basic principles and system composition of steam turbine back pressure heating were thoroughly analyzed, revealing its unique operating characteristics. Then, the key links in operation management were elaborated in detail, including parameter control, system coordination, and security assurance, emphasizing various management points. Subsequently, this article classified the common types of faults in the back pressure heating system of steam turbines, and proposed corresponding diagnostic methods, processing strategies, and preventive measures for each fault. Through these in-depth analyses, this article aims to provide comprehensive theoretical support and practical guidance for improving the operational efficiency, stability, and reliability of steam turbine back pressure heating systems, in order to promote technological progress and healthy industry development in this field.

[Key words] steam turbine; Back pressure heating; Operation management; Fault diagnosis; system stability

## 引言

在能源结构调整与环保理念深入人心的时代背景下，汽轮机背压供热凭借其能源梯级利用的显著优势，成为工业生产与城市供暖领域的重要选择。该系统将汽轮机排汽直接用于供热，大幅减少能源浪费，符合节能降耗的发展趋势。但由于系统运行环境复杂，涉及设备众多且各环节关联性强，运行管理难度较大，故障也时有发生。一旦管理不当或故障未能及时处理，不仅会影响供热质量和能源利用效率，还可能引发安全事故。因此，深入开展汽轮机背压供热运行管理及故障诊断研究，对于推动该技术的优化应用具有重要的现实意义。

## 一、汽轮机背压供热基本原理与特点

## (一) 基本原理

汽轮机背压供热的核心在于对蒸汽能量的梯级高效利用。高压蒸汽进入汽轮机后，在各级叶片的作用下不断膨胀，推动汽轮机转子旋转，将部分热能转化为机械能，进而驱动发电机产生电能。与凝汽式汽轮机不同，背压式汽轮机的排汽不进入凝汽器冷却，而是以一定的压力（背压）排出汽轮机，这些具有一定温度和压力的排汽通过供热管道输送到用户端，满足工业用热或民用供暖等需求。这种能量利用方式避免了凝汽器的冷源损失，使蒸汽的能量得到最大限度的利用，显著提高了能源的综合利用率。

## (二) 系统构成

汽轮机背压供热系统是一个由多个设备协同工作的有机整体，主要包括核心设备和辅助设备两大部分。核心设备有汽

轮机、发电机和供热换热器，汽轮机负责能量转换与排汽供应，发电机将机械能转化为电能，换热器则根据用户需求将蒸汽热能转换为其他形式的热能；辅助设备涵盖供热管道、各类阀门、泵类、仪表控制系统等，供热管道用于蒸汽和凝结水的输送，阀门用于调节蒸汽的流量和压力，泵类负责水的循环与输送，仪表控制系统则实时监测和控制整个系统的运行参数，确保各设备协调运转。

### （三）运行特点

汽轮机背压供热系统的运行具有明显的“以热定电”特性，其发电负荷的调整主要依据供热负荷的变化。当供热负荷增加时，为保证足够的排汽量，汽轮机的进汽量需相应增加，发电负荷也随之上升；反之，供热负荷减少时，进汽量和发电负荷则相应降低。同时，系统运行参数之间相互影响、关联性强，进汽参数的变化会直接影响排汽参数，进而影响供热质量和机组效率；供热管网的阻力变化会导致背压波动，对汽轮机的运行状态产生影响。此外，系统的运行稳定性易受外界因素干扰，如气候条件变化导致的供热需求波动、上游蒸汽供应不稳定等，都可能使系统运行偏离正常工况。

## 二、汽轮机背压供热运行管理要点

### （一）参数控制管理

参数控制是确保汽轮机背压供热系统高效稳定运行的关键环节，需要对一系列关键参数进行精准调控。进汽压力和温度需控制在设计范围内，过高会增加设备的承受压力，过低则会降低汽轮机的做功能力；背压和排汽温度应根据供热需求进行调整，既要满足用户的用热参数要求，又要保证汽轮机具有较高的内效率；蒸汽流量则需根据供热负荷和发电负荷的变化进行实时调节，避免流量过大或过小对系统运行造成不利影响。通过安装高精度的测量仪表和自动调节装置，实现对这些参数的实时监测和自动调节，确保系统始终在最佳参数下运行。

### （二）系统协调管理

由于汽轮机背压供热系统涉及发电和供热两个重要环节，做好系统各部分的协调管理至关重要。在发电与供热的协调方面，要根据供热负荷的预测，合理安排汽轮机的运行方式，使发电负荷与供热负荷相匹配，避免出现“电多热少”或“热多电少”的不平衡情况；在与上游系统的协调上，要与锅炉系统保持密切沟通，确保蒸汽的供应品质和数量稳定，同时根据锅炉的运行状态调整汽轮机的进汽参数；在设备启停协调方面，制定科学的启停顺序，避免因设备启停不当造成的系统冲击和能源浪费，确保整个系统从启动到稳定运行以及停机过程的平稳有序。

### （三）安全保障管理

安全是汽轮机背压供热系统运行的首要前提，必须建立全方位的安全保障管理体系。定期对系统中的设备进行全面检查和维护，包括汽轮机的轴承温度、振动情况，阀门的开关灵活性和密封性能，管道的腐蚀和磨损程度等，及时发现并排除潜

在的安全隐患；加强对系统压力的监控，在关键部位安装安全阀和压力报警器，防止超压运行引发爆炸等安全事故；强化操作人员的安全意识和操作技能培训，使其熟悉系统的安全操作规程和应急处理预案，在发生突发情况时能够迅速、正确地采取应对措施，将事故损失降到最低。

## 三、汽轮机背压供热常见故障类型

### （一）蒸汽参数异常

蒸汽参数异常是汽轮机背压供热系统中最常见的故障之一，具体表现形式多样。进汽压力不稳定，时而高于设计值，时而低于设计值，这可能是由于锅炉燃烧不稳定、蒸汽母管压力波动或进汽阀门调节失灵等原因造成的；进汽温度偏离正常值，过高会加剧汽轮机叶片的高温腐蚀，过低则会使蒸汽的做功能力下降，其原因可能与锅炉过热器运行异常、减温装置故障等有关；背压出现无规律波动或持续偏高、偏低，这往往与供热负荷的突然变化、供热管道堵塞或泄漏、背压调节阀门故障等因素相关，参数异常会破坏系统的稳定运行，影响供热质量和机组效率。

### （二）设备性能下降

设备性能下降是导致系统运行效率降低的重要因素，涉及汽轮机、供热管道等多个设备。汽轮机性能下降主要表现为效率降低、振动值增大、轴向位移异常等，这可能是由于汽轮机内部叶片磨损、结垢，导致通流面积减小，蒸汽流动阻力增加；也可能是轴承磨损、润滑不良，使机械损失增大。供热管道性能下降则体现在传热效率降低，蒸汽在输送过程中温降过大，主要原因是管道内壁结垢增厚，增加了热阻；或者管道保温层损坏，散热损失增加。设备性能的持续下降会导致系统能耗上升，运行成本增加。

### （三）系统泄漏问题

系统泄漏不仅造成能源的浪费，还会影响系统的正常运行和安全，主要包括蒸汽泄漏和凝结水泄漏两种类型。蒸汽泄漏常见于汽轮机的汽封处、阀门的密封面、管道的法兰连接部位等，泄漏的蒸汽会带走大量热量，同时可能对周围设备和人员造成伤害；凝结水泄漏多发生在换热器的换热管、疏水阀门、凝结水管道的连接处等，凝结水的泄漏会破坏系统的水循环平衡，增加补水次数和补水量，同时可能导致供热系统压力下降，影响供热效果。

## 四、汽轮机背压供热故障诊断方法

### （一）参数监测分析法

参数监测分析法是通过对系统运行参数的实时监测和分析来诊断故障的一种常用方法。借助安装在系统各关键部位的传感器和仪表，持续采集进汽压力、温度、背压、蒸汽流量、汽轮机振动、轴承温度等参数，并将这些参数传输到控制系统的数据库中。通过将实时参数与系统正常运行时的参数范围进行对比，当发现参数超出正常范围或出现异常变化趋势时，结合各参数之间的内在联系进行综合分析，判断故障发生的大致部位和可能原因。例如，当背压突然升高而蒸汽流量减少时，

可能是供热管道堵塞或背压调节阀门故障所致。

### (二) 状态特征识别法

状态特征识别法是依据设备和系统在运行过程中表现出的各种状态特征来判断是否存在故障及故障类型的方法。不同的故障会呈现出不同的状态特征,如汽轮机发生叶片磨损时,可能会出现异常振动、异响且振动频率具有一定的规律性;管道发生泄漏时,会在泄漏点附近出现温度异常、压力下降,同时可能伴有蒸汽喷射声;阀门故障时,会出现调节失灵、阀门卡涩,导致相应的参数调节不及时或不到位。运行人员通过日常巡检,结合听觉、视觉、触觉等感官以及专业检测仪器,捕捉这些状态特征,从而对故障进行初步诊断。

### (三) 逻辑推理判断法

逻辑推理判断法是基于系统的工作原理和故障发生的因果关系,通过逻辑分析来诊断故障的方法。当系统出现故障现象时,首先对故障现象进行详细描述和记录,然后根据系统的组成结构和各部分的功能,列出可能导致该故障现象的所有原因。接着,结合已有的知识和经验,对这些可能的原因进行逐一分析和排除,通过对各种因素的逻辑推理和判断,缩小故障范围,最终确定故障的根本原因。例如,当系统出现供热温度不足的故障时,可能的原因有蒸汽流量不足、背压过低、换热器效率下降等,通过对这些原因的逐一排查和逻辑推理,可确定具体的故障点。

## 五、汽轮机背压供热故障处理与预防措施

### (一) 故障处理原则

在处理汽轮机背压供热系统故障时,必须严格遵循一系列科学合理的原则,以确保故障处理既有效又安全。首先,必须坚持及时性原则,一旦发现故障迹象,应立即启动应急响应机制,迅速采取有效措施,防止故障进一步扩大,避免小故障演变成可能造成重大损失的大事故。其次,准确性原则至关重要,故障诊断必须精准无误。在全面分析故障现象、收集相关数据的基础上,结合专业知识,准确判断故障原因,确保后续处理措施针对性强,避免因盲目操作而造成二次损坏或误判。同时,安全性原则是故障处理的核心要求。在整个处理过程中,必须严格遵守安全操作规程,采取必要的安全防护措施,确保操作人员的人身安全以及设备的安全运行。最后,兼顾经济性原则也是不可忽视的。在确保故障处理效果的前提下,应综合考虑成本效益,选择经济合理的处理方案,尽量减少故障处理带来的经济损失,实现经济效益和社会效益的双赢。

### (二) 针对性处理方法

在处理汽轮机背压供热系统中的各类故障时,必须根据不同故障的具体情况采取针对性的处理方法。对于蒸汽参数异常的故障,如果问题源于锅炉,比如进汽参数过高或过低,需要立即与锅炉运行人员取得联系,共同调整锅炉的运行状态,确保蒸汽参数恢复到正常范围。如果是阀门故障导致的参数波动,应立即对阀门进行检查,必要时进行检修或更换,以恢复阀门的正常功能。面对设备性能下降的故障,比如汽轮机内部

部件磨损或结垢,应首先进行设备的解体检查,对磨损或结垢严重的部件进行清洗、修复或更换。对于供热管道的结垢问题,可以通过化学清洗或机械清洗的方法来清除垢层,从而恢复管道的传热效率。当系统出现泄漏故障时,若检测到蒸汽泄漏,应迅速定位泄漏点,采取紧固密封件、更换密封垫或修复管道等措施来封堵泄漏。如果是凝结水泄漏,应立即对泄漏的换热器、管道或阀门进行修复或更换,以防止凝结水泄漏对系统运行造成进一步的影响。在整个故障处理过程中,确保操作的安全性和效率是至关重要的。

### (三) 预防措施制定

制定完善的预防措施是减少汽轮机背压供热系统故障发生的有效手段。建立健全设备定期维护保养制度,按照设备说明书和运行经验,制定详细的维护保养计划,定期对汽轮机、阀门、管道、换热器等设备进行检查、清洁、润滑和调试,及时发现和处理潜在的故障隐患;加强运行过程中的监控与调整,通过先进的自动化控制系统,实时监测系统运行参数,根据参数变化趋势及时进行调整,避免参数偏离正常范围;开展操作人员的专业培训,提高操作人员的业务水平和应急处理能力,使其能够正确操作设备、及时发现故障并采取初步处理措施,同时培养操作人员的责任心,确保各项规章制度严格执行。

## 结束语

汽轮机背压供热系统的高效稳定运行,依赖于科学规范的运行管理和精准有效的故障诊断。通过全面掌握系统的基本原理与特点,严格落实运行管理中的参数控制、系统协调和安全保障要点,能够为系统的高效运行奠定坚实基础;运用合理的故障诊断方法及时发现并处理故障,同时采取有效的预防措施,可显著提高系统的可靠性和稳定性。随着技术的不断进步,未来应进一步加强智能化技术在运行管理和故障诊断中的应用,不断优化管理模式和诊断手段,推动汽轮机背压供热技术持续发展,为实现能源的高效利用和绿色低碳发展贡献更大力量。

## [参考文献]

- [1]陈东波,方真,金军洁.多措施保障背压机低负荷下安全稳定供热[J].上海节能,2025,(02):233-238.
- [2]董昊炯,何新有.背压式热电联产汽轮机启动运行特点分析[J].热力透平,2020,49(04):252-256.
- [3]潘杭萍,杨建明,王昌朔,刘志勇.抽汽供热底置式背压汽轮机的运行分析[J].汽轮机技术,2019,61(05):361-364.
- [4]李强,蓝继聪.背压式供热机组非满负荷工况经济运行分析[J].应用能源技术,2019,(09):24-28.
- [5]邝永胜,杨建波,陈冬林.提高背压式供热机组负荷适应性方法与运行经济性的方法[J].广东化工,2024,41(14):199-200.