

运行参数对汽轮机热耗影响的定量性分析方法研究

王燕龙 钱培东 关志成

北方联合电力有限责任公司达拉特发电厂 内蒙古 鄂尔多斯 014300

摘要: 本文旨在探讨运行参数对汽轮机热耗影响的定量性分析方法。通过对汽轮机运行参数的深入分析,构建了基于热力学原理和数学模型的定量评估体系。采用敏感性分析、优化算法和机器学习模型等多种方法,评估了主蒸汽压力、温度、再热参数及排汽参数等关键运行参数对热耗的影响。研究结果表明,合理调整运行参数能够显著降低汽轮机的热耗,提高能源利用效率。本研究为汽轮机节能降耗提供了科学依据和技术支持。

关键词: 汽轮机; 运行参数; 热耗; 定量性分析; 性能优化

引言: 汽轮机作为重要的能量转换设备,在运行过程中受到多种运行参数的影响,这些参数的变化直接关系到汽轮机的热耗和能源利用效率。随着能源需求的不断增长和环保要求的日益严格,如何降低汽轮机的热耗、提高能源利用效率已成为亟待解决的问题。因此开展运行参数对汽轮机热耗影响的定量性分析方法研究,对于指导汽轮机节能降耗工作具有重要意义。

1 汽轮机热耗理论基础

1.1 汽轮机工作原理

汽轮机是一种利用蒸汽带动的原动机,其主要工作原理是利用蒸汽的膨胀使其一部分热能转变为具有高速的气流,推动叶轮旋转而转变为动能。蒸汽首先通过喷嘴室,喷嘴室的主要作用是使通过喷嘴的蒸汽流降压、升速、转向,将热能转换成动能,使高速气流按一定方向喷向动叶片。在汽轮机的静叶栅内,其流道截面是渐缩形的,即流道的进口截面大,出口截面小。当汽流通过这样的渐缩流道后,汽流就被加速、膨胀,即气体压力下降,温度下降,而汽流速度则增加。这样,汽流在静叶流道内自进口到出口完成了热能向动能的转换。当汽流从静叶栅进入动叶栅后,因动叶流道截面也是做成逐渐收缩的,所以气流在动叶栅中进一步降压、膨胀和加速。具有一定动能的气流对叶片产生一个冲击力(又称冲动力),气流速度下降,但另一方面气流在动叶流道内的继续膨胀、加速对动叶片产生一个反作用力(又称反动力),气流压力下降。这样在冲击力和反动力的作用下,动叶片推动汽轮机主轴转动,产生机械功^[1]。多级汽轮机就是由若干个级串联组成,蒸汽的热能在各个级内连续地转变成机械功。而汽轮机通常又分为冲动式和反动式,蒸汽在其中的作用过程略有不同。对冲动式汽轮机,蒸汽只在汽轮机的静叶栅中降压膨胀加速,在动叶栅内不降压不膨胀,动叶只是把蒸汽动能转换成机

械功,同时改变气流方向。对反动式汽轮机,蒸汽在汽轮机的静叶栅中被降压、膨胀和加速,在动叶栅中也被进一步降压、膨胀、加速。动叶不但将蒸汽的动能,同时也将蒸汽的部分内能转换成机械功。

1.2 热耗与效率的概念

热耗是指消耗的热量与输出的机械功的比值,通常使用单位为kJ/kWh。热耗是衡量汽轮机热能利用效率的一个指标,其数值越小代表汽轮机的热能利用效率越高。汽轮机热效率是指汽轮机输出功率与输入热量的比值,通常使用百分数表示。热效率是衡量汽轮机能量转换效率的一个重要指标,其数值越大代表汽轮机能量转换效率越高。

1.3 热耗分析的数学模型

热耗分析的数学模型涉及多个参数和因素,包括蒸汽流量、蒸汽温度、蒸汽压力、汽轮机的机械损失和热损失等。以下是一个简化的数学模型来描述汽轮机的热耗:热耗率 q 可以用以下公式表示: $q = Q/N$,其中 Q 是机组的热耗量, N 是机组发出的电功率。更具体的计算公式可能涉及蒸汽的蒸发量、减温水量、蒸汽的过热焓、给水焓等参数,以及机组的发电效率等因素。例如,对于某一特定的汽轮机,其热耗率可以通过以下公式计算:热耗率 = { (蒸发量-减温水量) × 1000 × [(i_过-i_给) + 0.83 × (i_再-i_{高排})] + 减温水流量 × 1000 × (i_过-i_除) } ÷ 发电量其中,i_过、i_给、i_再、i_{高排}分别表示过热蒸汽焓、给水焓、再热蒸汽焓和高排蒸汽焓。这些参数都受到汽轮机运行工况和蒸汽循环特性的影响。汽轮机的热耗率还受到多种因素的影响,如汽轮机进汽温度和排汽压力、汽轮机的绝热效率、机械损失和热损失等。因此在进行热耗分析时,需要综合考虑这些因素对热耗率的影响。

2 定量性分析方法在汽轮机热耗分析中的重要性

定量性分析方法在汽轮机热耗分析中的重要性不仅

体现在其精确性和科学性上,更在于其对汽轮机能效提升和节能减排的深远影响。第一、定量分析方法通过构建精确的数学模型和计算公式,能够准确地评估汽轮机的热耗率。这些模型综合考虑了蒸汽流量、蒸汽温度、蒸汽压力等多个关键参数,以及汽轮机的机械损失和热损失等因素,从而能够全面、客观地反映汽轮机的热耗状况。这种精确性使得工程师能够更准确地了解汽轮机的运行状况,及时发现和解决潜在的问题^[2]。第二、定量分析方法能够揭示不同运行参数和条件对热耗的影响,通过调整蒸汽温度、压力等参数,或者优化汽轮机的运行方式,工程师可以观察这些变化对热耗率的具体影响,从而找到降低热耗的有效途径。这种分析能力为优化汽轮机的运行提供了有力的支持,有助于实现更高的能效和更低的能耗。第三、定量分析方法在评估节能改造措施的效果方面也具有重要作用,通过对改造前后的热耗率进行对比分析,工程师可以客观地评估改造措施的实际效果,为后续的节能工作提供科学的依据。这种评估方法不仅有助于确保节能改造的有效性,还能够推动汽轮机技术的不断创新和进步。

3 运行参数对汽轮机热耗影响的理论分析

3.1 主蒸汽参数的影响

主蒸汽参数,主要包括主蒸汽压力和温度,是影响汽轮机热耗的关键因素之一。理论上,提高主蒸汽的压力和温度能够显著提升蒸汽的焓值,从而增加蒸汽在汽轮机中的做功能力,降低热耗。主蒸汽压力的提高意味着蒸汽携带的能量增加。在理想情况下,随着主蒸汽压力的提升,蒸汽在汽轮机中的膨胀过程更加充分,能够更有效地将热能转换为机械能。过高的蒸汽压力也可能导致汽轮机部件承受过大的应力,增加设备磨损和故障的风险。主蒸汽温度的提升能够增加蒸汽的过热度,提高蒸汽在汽轮机中的做功效率。过热蒸汽在膨胀过程中能够更好地保持其干度,减少湿蒸汽对汽轮机叶片的侵蚀,延长设备寿命。高温蒸汽还能减少汽轮机内部的热损失,提高整体热效率。过高的蒸汽温度同样会带来材料耐热性、热应力等方面的问题,需要在设计和运行中进行综合考虑。

3.2 再热参数的影响

再热循环是现代大型汽轮机普遍采用的一种提高热效率的技术。通过在中间级后引入再热器,对部分已经做功的蒸汽进行再次加热,可以使其恢复较高的焓值,继续在汽轮机中做功,从而显著降低热耗。再热温度的提高能够进一步增加蒸汽的做功能力,提高汽轮机的热效率。与主蒸汽温度类似,再热温度的提升也需要考虑

材料耐热性和热应力等限制因素。再热压力的选择对汽轮机的热耗也有重要影响,过低的再热压力会导致蒸汽在再热器中的加热不充分,降低其做功能力;而过高的再热压力则可能增加汽轮机后几级的负担,影响设备的安全性和稳定性。

3.3 排汽参数的影响

排汽参数,特别是排汽压力和温度,对汽轮机热耗有着直接的影响。排汽压力越低,意味着蒸汽在汽轮机中的膨胀过程越充分,能够更有效地将热能转换为机械能。然而,过低的排汽压力也会增加凝汽器的热负荷和真空系统的负担,可能导致设备能耗的增加。排汽温度的升高会增加汽轮机的热损失,降低热效率^[3]。

3.4 其他重要参数的影响

除了上述主要参数外,还有一些其他参数也对汽轮机热耗有着重要影响。汽轮机转速的变化会直接影响蒸汽在汽轮机中的膨胀过程和做功效率。在一定范围内,提高汽轮机转速可以增加蒸汽的做功能力,但过高的转速也可能导致设备振动、磨损等问题。汽轮机内部的流动损失,如摩擦损失、涡流损失等,都会降低蒸汽的做功效率。汽轮机冷却系统的性能直接影响设备的热效率 and 安全性。

4 运行参数对汽轮机热耗影响的定量分析方法

4.1 数学模型的建立

在运行参数对汽轮机热耗影响的定量分析中,数学模型的建立是第一步,也是最为关键的一步。这一步骤旨在通过数学公式或方程组,准确地描述汽轮机运行参数与热耗之间的关系。首先,需要基于热力学原理和汽轮机的工作原理,明确影响热耗的主要运行参数,如主蒸汽压力、主蒸汽温度、再热温度、排汽压力、汽轮机转速等。根据这些参数之间的物理关系,构建相应的数学模型。这些模型可能包括能量守恒方程、质量守恒方程、热力学第一定律和第二定律的应用等。在构建数学模型时,还需要考虑汽轮机的实际运行条件,如冷却水的温度、流量,以及凝汽器的性能等。这些因素虽然不直接作为运行参数,但它们的变化会对汽轮机的热耗产生间接影响。因此在模型中应尽可能地将这些因素纳入考虑范围。另外,由于汽轮机运行参数的多样性和复杂性,建立的数学模型往往是非线性的、多维的。这就要求我们在建模过程中,采用合适的数学工具和方法,如非线性方程组的求解、多元回归分析、神经网络模型等,以确保模型的准确性和可靠性。

4.2 数据采集与预处理

数据采集与预处理在定量分析汽轮机热耗的过程中

占据着举足轻重的地位。这一环节不仅直接关系到后续数学模型验证的准确性和可靠性,也是整个分析流程的基础。为了确保分析结果的精确无误,需要从源头抓起,即从汽轮机的实际运行数据中获取尽可能多的有用信息^[4]。在实际操作中,数据采集主要依赖于安装在汽轮机上的各种传感器和监测设备。这些高科技设备能够实时监控汽轮机的各项关键运行参数,包括但不限于蒸汽的压力、温度、流量以及转速等。这些参数的变化直接反映了汽轮机的运行状态,是分析热耗不可或缺的数据来源。与此同时,还需要收集与热耗直接相关的数据,如汽轮机的输出功率和热耗率等。这些数据是评估汽轮机性能的重要指标,也是验证数学模型是否准确的重要依据。数据的准确性和完整性是数据分析的生命线。由于传感器和监测设备在长时间运行中可能会出现误差或故障,因此在数据采集过程中,必须时刻保持警惕,对收集到的数据进行严格的预处理。这包括数据的清洗,即去除无效和冗余的数据;数据的去噪,即减少数据中的随机波动和干扰;以及数据的插值,即填补因设备故障等原因导致的数据缺失。为了消除不同时间段、不同工况下数据之间的差异性,我们还需要对数据进行归一化处理。归一化是一种将数据按照一定的比例进行缩放的方法,它能够使数据落在一定的范围内,从而便于后续的分析 and 处理。通过这一步骤,能够进一步提高数据的可比性和准确性,为后续的定量分析奠定坚实的基础。

4.3 定量分析方法

在建立了数学模型并收集了足够的数据后,我们可以采用多种定量分析方法来评估运行参数对汽轮机热耗的影响。敏感性分析是一种常用的定量分析方法,用于评估某个参数的变化对系统性能的影响程度。在汽轮机热耗分析中,可以对每个运行参数进行敏感性分析,计算其变化对热耗率的敏感度。这有助于我们识别出对热耗影响最大的参数,从而优先对其进行优化。基于数学模型和敏感性分析的结果,可以采用优化算法来寻找最

优的运行参数组合。这些算法可能包括遗传算法、粒子群优化算法、模拟退火算法等。通过不断迭代和优化,可以找到一组能够最小化热耗率的运行参数组合^[5]。随着机器学习技术的发展,可以利用神经网络、支持向量机等机器学习模型来预测和评估汽轮机的热耗。这些模型能够自动学习数据中的复杂关系,并给出准确的预测结果。通过训练机器学习模型,可以实现对汽轮机热耗的实时监测和预警,为优化运行和维护提供有力支持。还可以采用统计方法,如多元回归分析、方差分析等,来评估不同运行参数对热耗的影响程度和显著性。这些方法能够为我们提供丰富的统计信息,帮助我们更好地理解运行参数与热耗之间的关系。

结束语

本研究通过对运行参数与汽轮机热耗之间关系的深入探索,建立一套完整的定量性分析方法体系。通过敏感性分析、优化算法及机器学习等技术的应用,不仅揭示各运行参数对热耗的具体影响,还提出有效的优化策略。未来,随着技术的不断进步和数据的持续积累,将进一步完善这一方法体系,为汽轮机的高效运行和节能减排提供更加精准、智能的支持,推动能源行业的可持续发展。

参考文献

- [1]王宏.电厂汽轮机运行中节能降耗的对策研究[J].电力设备管理,2020,5(8):124-125,127.
- [2]朱良诚.电厂汽轮机运行的节能降耗策略探析[J].现代工业经济和信息化,2020,10(9):44-45.
- [3]张贤明.锅炉汽轮机节能及运行管理探讨[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2021(12):140-143.
- [4]杨宇,王家璽.汽轮机缸效率变化对热耗率影响的计算方法研究[J].汽轮机技术,2021,63(01):5-7.
- [5]尚士新.基于回溯搜索算法的汽轮机热耗率建模与初压优化研究[D].燕山大学,2020.DOI:10.27440/d.cnki.gysdu.2020.000701.