

汽轮机中压联合汽阀优化设计

黄世豪 郭海龙 田震 王志林 李世甲
内蒙古和林发电有限责任公司 内蒙古 呼和浩特 011500

摘要: 本文聚焦于汽轮机中压联合汽阀的优化设计研究,旨在通过先进的数值模拟技术、新型材料应用及制造工艺创新,解决现有汽阀存在的压力损失大、流动特性不佳等问题。研究提出一系列优化设计策略,包括阀瓣形状优化、流道尺寸调整、高性能材料选用及制造工艺改进等,以期显著提升汽阀的性能,降低能耗,提高汽轮机系统的整体效率和稳定性。研究成果对于推动汽轮机技术的发展和能源利用效率的提升具有重要意义。

关键词: 汽轮机; 中压联合汽阀; 优化设计

引言: 汽轮机作为电力工业中的核心设备,其性能的优化对于提高能源利用效率、降低运行成本至关重要。中压联合汽阀作为汽轮机系统中的重要组成部分,其性能直接影响蒸汽的流动效率和机组的稳定性。现有汽阀在设计上仍存在诸多不足,如压力损失大、流动特性不稳定等,这些问题严重制约了汽轮机性能的提升。因此开展汽轮机中压联合汽阀的优化设计研究,对于推动汽轮机技术的创新和发展具有重要意义。

1 汽轮机中压联合汽阀基础理论

1.1 汽轮机工作原理与结构组成

1.1.1 汽轮机工作原理

汽轮机是一种利用燃烧燃料产生高温高压气体,然后利用高速旋转的涡轮叶片来提供功率的装置。其基本工作原理可以概括为以下几个步骤: 空气压缩: 空气经过进气口进入轴流式或离心式压气机,压气机的叶片将空气压缩,使其压力和温度升高。燃烧: 在压气机出口处喷入燃料,燃料与压缩空气混合并在燃烧室中进行燃烧,释放出高温高压气体。膨胀和加速: 高温高压气体进入轴流式或径流式涡轮叶片,通过与叶片的相互作用,气体膨胀并加速旋转涡轮。功率输出: 旋转涡轮将气体动能转化为机械能,驱动轴上的设备工作,如发电机或者推进系统。排气: 气体在旋转涡轮后的剩余能量将被利用来提供加力,然后排入大气中。汽轮机的基本工作原理是通过将燃料燃烧产生的高温高压气体转化为旋转动能,最终输出有用的功率。这种技术在发电厂、船舶和飞机等领域广泛应用。

1.1.2 汽轮机结构组成

汽轮机的主要结构包括高、中、低压内外汽缸、排汽、进汽、抽汽管、盘车装置、轴承箱、扩压器及各级叶轮、叶片、隔板、汽封等部件。汽轮机的主要部件之一,分为高压缸、中压缸和低压缸。每个汽缸内都装有

若干级的喷嘴和叶栅,用于蒸汽的膨胀和加速。喷嘴是将蒸汽的压力能转化为动能的部件。蒸汽通过喷嘴时,由于喷嘴的节流作用,流速增加,压力降低。叶栅由许多叶片组成,叶片固定在转子上。当蒸汽流过叶栅时,对叶片产生推力,使转子旋转。轴承箱用于支撑汽轮机转子,并使其能平稳地旋转^[1]。轴承箱内装有推力轴承和径向轴承,分别承受转子的轴向和径向载荷。盘车装置用于在汽轮机启动和停机时,使转子低速转动,防止因受热不均而产生变形。汽封用于减少汽轮机内部的漏气损失,提高热效率。常见的汽封形式有迷宫式汽封、蜂窝式汽封等。汽轮机还包括主汽门、调速汽门、操纵座、油动机等控制部件,用于调节蒸汽的流量和压力,确保汽轮机的安全稳定运行。

1.2 中压联合汽阀工作原理

1.2.1 中压联合汽阀概述

中压联合汽阀简称中联阀,由中压主汽阀和中压调节汽阀组成。中联阀为立式结构,上部为中压调节汽阀,下部为中压主汽阀,二阀合用同一壳体 and 同一腔室、同一阀座,且两者的阀瓣呈上下串联布置。这种布置方式具有结构紧凑、布置方便和减少蒸汽流动损失的优点。

1.2.2 中压主汽阀工作原理

中压主汽阀是单座阀,其阀瓣为倒置式,位于中压调节汽阀的阀芯内部。阀瓣上下移动不受调节阀钟罩式结构的限制,阀内侧斜面与阀杆套筒外侧斜面相接触,以防止主汽阀在运行中振动。中压主汽阀的关闭速度主要由其控制系统的性能所决定,对于600MW等级的汽轮机组,要求主汽阀完成关闭动作的时间小于0.2秒。中压主汽阀的开启和关闭由位于中联阀下部的油动机和弹簧操纵座控制。当油动机活塞上下移动时,通过传动杠杆带动阀瓣动作,从而实现阀门的开启和关闭。中压主汽

阀在正常运行时处于全开状态，不能调节，只有在启停机或事故时才能迅速关闭，保证机组的安全。

1.2.3 中压调节汽阀工作原理

中压调节汽阀由阀杆、阀杆套筒、阀蝶、阀座（与主汽阀共用）、阀壳（与主汽阀共用）、执行机构等组成。阀芯采用钟罩式结构，主要承受四周径向力。设计有预启阀，可以减小阀门开启时所需的提升力，同时保证中压调节汽阀的开启或关闭不受中压主汽阀开关状态的影响。中压调节汽阀的开启和关闭由位于中联阀侧面的油动机和弹簧操纵座通过杠杆控制。当单侧进油油动机活塞上下移动时，通过传动杠杆带动阀碟动作，从而调节蒸汽的流量和压力。中压调节汽阀在中压缸启动时调节进汽量，中压缸启动结束切缸后处于全开位置，在汽轮机甩负荷时可以迅速关闭，防止汽机超速。

1.2.4 中压联合汽阀工作流程

蒸汽从锅炉出来，流向中压联合汽阀。阀门感应到蒸汽的到来，开始做出反应。阀杆接收到信号，慢慢调整位置，阀座随之开启，蒸汽便畅通无阻地流向下一个环节。整个过程就像开关灯一样简单，但要是哪个环节出问题，就会对汽轮机的运行产生严重影响，中压联合汽阀的可靠性和稳定性显得尤为重要。

1.3 中压联合汽阀设计参数与性能要求

1.3.1 设计参数

中压联合汽阀的设计参数主要包括工作压力、温度、材质等。工作压力和温度与调节阀的基本相同，通常根据汽轮机的额定参数来确定。材质方面，中压联合汽阀壳的材料牌号为改良型ZG15Cr1Mo1V，具有良好的抗拉强度、屈服强度和持久强度。

1.3.2 性能要求

中压联合汽阀的性能要求主要包括几个方面；**安全可靠**：中压联合汽阀必须能够安全地承受工作压力，非汽流通道处应具有良好的密封性，以防止蒸汽泄漏。**灵活性**：导汽管与喷嘴室连接处应能够自由地相对膨胀，喷嘴室与汽缸的配合既要良好对中，又能自由地相对膨胀。**通流性能**：喷嘴室的设计应具有良好的通流性能，以减少蒸汽流动损失。**快速响应**：中压主汽阀和中压调节汽阀的关闭速度应迅速，以满足汽轮机的保护要求。**稳定性**：中压联合汽阀在运行过程中应保持恒定，不应产生振动和噪声。**维护性**：中压联合汽阀的结构设计应便于维护和检修，以减少停机时间和维修成本。

2 汽轮机在电力工业中的重要地位

汽轮机在电力工业中占据着举足轻重的地位，它是现代大型发电厂中实现热能向电能高效转换的核心设

备。作为热力发电系统的关键一环，汽轮机通过精密设计的热力循环，将锅炉中燃烧化石燃料或利用核能所产生的高温高压蒸汽引入其内部，利用蒸汽推动涡轮叶片旋转，进而驱动发电机转动，将机械能转化为电能。这一过程不仅实现了能量的高效利用，还为全球范围内的电网提供了稳定可靠的电力供应^[2]。在电力工业的长期发展中，汽轮机技术的不断进步和创新，极大地推动了电力生产效率的提升和成本的降低。从早期的单级汽轮机到现代多级、高效、超临界、超超临界汽轮机的发展，每一次技术革新都带来了发电效率和环保性能的显著提升。汽轮机还广泛应用于联合循环发电系统，与燃气轮机等其他发电设备协同工作，进一步提高了能源的综合利用效率。汽轮机在电力工业中的重要地位，还体现在其对于电网稳定性和灵活性的贡献上。汽轮机能够快速响应电网负荷的变化，通过调节蒸汽流量和转速，实现对电力输出的精确控制，确保电网的频率和电压稳定，汽轮机作为大型旋转机械，其惯性和储能能力也有助于在电网故障时提供紧急备用电力，保障电力系统的安全运行。

3 汽轮机中压联合汽阀存在问题分析

3.1 压力损失问题

汽轮机中压联合汽阀在蒸汽流动过程中，往往会出现压力损失的问题。这种压力损失主要源于蒸汽在阀门内部的摩擦和撞击，以及阀门结构本身的设计缺陷。具体而言，蒸汽在通过中压联合汽阀时，会与阀门的内壁、阀瓣和阀座等部件发生接触，这些接触面会产生一定的阻力，导致蒸汽的压力能转化为热能或其他形式的能量损失。阀门内部的流体动力学特性也会影响蒸汽的流动状态，如流速分布不均、涡流和湍流等现象，都会进一步增加压力损失。压力损失不仅会降低汽轮机的热效率，还会增加机组的能耗和运行成本。

3.2 流动特性与优化需求

中压联合汽阀的流动特性是影响其性能的重要因素之一。蒸汽在阀门内部的流动状态直接决定了阀门的压力损失、流量特性和稳定性等关键指标，优化中压联合汽阀的流动特性是提高其性能的关键所在。在流动特性方面，中压联合汽阀主要存在以下问题：一是蒸汽流速分布不均，导致阀门内部的压力损失增大；二是阀门内部的涡流和湍流现象严重，增加了蒸汽的流动阻力和能量损失；三是阀门的流量特性不稳定，难以满足汽轮机在不同工况下的调节需求。

4 汽轮机中压联合汽阀优化设计方法

4.1 优化设计思路与原则

4.1.1 以性能提升为核心

汽轮机中压联合汽阀的优化设计是一个复杂而精细的过程,旨在提升汽阀的性能,减少能量损失,增强系统的稳定性和可靠性。优化设计应以显著提升汽阀的性能为核心目标,包括降低压力损失、提高流量特性、增强稳定性和耐久性。这需要从汽阀的结构设计、材料选择、制造工艺等多个方面进行综合考量。

4.1.2 综合考虑系统需求

汽阀的优化设计不能孤立进行,而应充分考虑其在整个汽轮机系统中的位置和作用,以及与其他部件的协同工作关系。设计时需确保汽阀能够满足系统的整体性能要求,避免产生瓶颈效应^[1]。

4.1.3 遵循先进设计理念

采用先进的设计理念和技术手段,如模块化设计、集成化设计等,以提高设计的灵活性和可维护性。借鉴国内外先进经验和科技成果,不断提升设计水平。

4.1.4 强调经济性和可持续性

优化设计需在保证性能的前提下,注重经济性和可持续性。通过合理选材、优化工艺流程等手段,降低制造成本和运行成本。考虑环保要求,推动绿色设计和制造。

4.1.5 强化仿真与实验验证

利用先进的数值模拟技术进行仿真分析,预测汽阀的性能表现,为优化设计提供有力支持。同时加强实验验证,确保设计方案的可行性和有效性。

4.2 数值模拟与优化策略

4.2.1 流体动力学仿真

数值模拟在汽轮机中压联合汽阀的优化设计中发挥着重要作用,它可以帮助设计师更准确地理解汽阀内部的流动特性,预测性能表现,从而指导优化设计。采用流体动力学仿真软件,对汽阀内部的蒸汽流动进行三维数值模拟。通过调整模型参数,如阀瓣形状、流道尺寸等,观察蒸汽流速、压力分布、涡流和湍流等现象的变化,进而优化汽阀的设计结构。

4.2.2 敏感性分析

对汽阀的关键设计参数进行敏感性分析,确定哪些参数对汽阀性能的影响最为显著。这有助于设计师在优化过程中抓住主要矛盾,集中精力进行针对性的改进。

4.2.3 多目标优化

将汽阀的性能指标(如压力损失、流量特性、稳定性等)作为优化目标,采用多目标优化算法进行求解。通过权衡各目标之间的优劣关系,找到最优的设计方案。

4.2.4 仿真结果验证

将数值模拟结果与实验结果进行对比验证,确保仿真模型的准确性和可靠性。对于存在的偏差,及时调整仿真

参数或优化策略,以提高优化设计的精度和可信度。

4.3 新型材料与制造工艺应用

4.3.1 高性能合金材料

新型材料和制造工艺的应用对于提升汽轮机中压联合汽阀的性能至关重要。它们不仅能够提高汽阀的耐久性、降低能耗,还能推动汽阀设计的创新和发展。采用高性能合金材料(如镍基合金、钴基合金等)作为汽阀的主要结构材料,以提高其耐高温、耐高压、耐腐蚀等性能。这些材料不仅具有优异的力学性能,还能在极端工况下保持稳定的化学性质。

4.3.2 先进制造工艺

应用先进的制造工艺(如精密铸造、数控加工、激光焊接等)来提高汽阀的加工精度和表面质量。这些工艺能够确保汽阀的尺寸精度和形状精度满足设计要求,同时减少加工过程中的残余应力和变形^[4]。

4.3.3 涂层技术

在汽阀的关键部位应用涂层技术(如陶瓷涂层、金属陶瓷涂层等),以提高其耐磨性、耐腐蚀性和抗热疲劳性能。这些涂层能够有效地延长汽阀的使用寿命,降低维护成本。

4.3.4 制造工艺优化

对汽阀的制造工艺进行优化,包括工艺流程的简化、加工参数的调整等,以提高生产效率、降低成本,加强质量控制和检验环节,确保汽阀的制造质量符合设计要求。

结束语

本文通过对汽轮机中压联合汽阀的优化设计进行深入探讨,提出了一系列切实可行的优化策略,旨在降低汽阀的压力损失,改善流动特性,提高汽轮机系统的整体性能和稳定性。随着科技的进步和制造工艺的不断创新,我们有理由相信,未来的汽轮机中压联合汽阀将更加高效、可靠,为电力工业的发展贡献更大的力量。本研究的成果不仅为汽轮机汽阀的优化设计提供了新思路,也为相关领域的研究和实践提供了有益的参考。

参考文献

- [1]张睿.振动监测与诊断技术在离心压缩机故障处理的应用[J].化学管理,2022,37(32):136-139
- [2]刘桂.大型工业拖动汽轮机故障分析和处理氮[J].氮肥与合[3]成气,2023,51(2):24-27
- [3]孙书洋.浅谈燃煤电厂汽轮机汽封改造技术[J].科技与企业,2014(23):153-154.
- [4]唐峰.韩庆华,宁玉开.电加热器防轴封抱轴的应用[J].国网技术学院学报,2018,021(001):49-51