

# 某600MW等级汽轮机通流改造优化设计方案

朱 博

东方电气集团东方汽轮机有限公司 四川 德阳 618000

**摘 要：**本文重点介绍了某600MW等级汽轮机的通流改造优化设计方案。该方案从设备参数分析、叶片结构改造与设计优化、热力学特性优化以及流道设计与整体结构调整等多个方面进行综合考量。通过精准调整设备参数、优化叶片型线、改善热力学循环和提升流场稳定性，旨在提高汽轮机的运行效率和稳定性。此外，方案还详细分析改造成本、投资回报率和经济性评价指标，以确保改造的经济合理性。

**关键词：**汽轮机；通流改造；优化设计；效率提升

## 1 600MW 等级汽轮机的概述

600MW等级汽轮机，作为现代电力系统的核心，承载着将热能转化为机械能并最终驱动发电机发电的重任。这种汽轮机以其高参数、大容量和高效率等特点，为电力系统提供了稳定可靠的电力供应。

汽轮机结构设计充分考虑工作环境的高温高压特性，采用高中压合缸、低压双分流的布局，优化内部结构和流场，确保在各种工况下都能高效稳定运行。通流部分是600MW等级汽轮机的核心，包括进汽部分、汽轮机缸体、转子和动静叶片以及排汽部分。在这一部分，精确的叶片设计和间隙控制显得尤为重要。叶片的形状、材料和角度都经过严格计算和测试，确保蒸汽在流经叶片时能够顺畅、高效地完成热能到机械能的转换。而间隙控制则保证叶片与缸体之间的安全距离，防止因热膨胀等原因引发的摩擦和损坏。除了硬件设计，600MW等级汽轮机还配备了先进的控制系统和保护装置。控制系统能够实时监控机组的运行状态和各项参数，根据电网负荷的变化自动调整机组的出力，以维持电力系统的稳定。保护装置的存在为机组的安全运行提供了坚实保障。当机组出现异常时，保护装置能迅速切断电源，防止故障扩大和设备损坏，确保整个电力系统的安全<sup>[1]</sup>。总的来说，600MW等级汽轮机以其高效、稳定、可靠的性能，为电力行业的可持续发展提供了重要支撑。它不仅为现代社会的正常运转提供了源源不断的电力支持，也为环境保护和节能减排做出了积极贡献。在未来，随着技术的不断进步和创新，600MW等级汽轮机的性能将进一步提升，为电力行业的繁荣和发展继续贡献力量。

## 2 通流改造对汽轮机性能的影响

为了响应国家节能减排政策的要求，火电机组的节

能降耗受到了越来越多的关注，而汽轮机通流改造则成为众多在役老机组降低本身能耗水平的有效方式。600MW等级汽轮机作为大型热力发电设备的代表，其性能优化对于提升整个电力系统的效率和可靠性至关重要。通流改造作为针对汽轮机内部通流部分的优化措施，对600MW等级汽轮机的性能产生显著而深远的影响。第一，在效率方面，通流改造通过精心设计的叶片型线、调整通流面积等手段，显著提高了蒸汽在汽轮机内部的流动效率和能量转换效率。这不仅使得汽轮机在满负荷运行时具有更高的输出功率，而且在部分负荷运行时也能维持较高的效率水平，从而整体上提升了600MW等级汽轮机的热经济性。第二，从稳定性的角度来看，通流改造有助于减小汽轮机在运行过程中的振动和轴瓦温度，使得机组在各种工况下都能保持稳定的运行状态。这对于保障电力系统的供电质量和减少设备故障具有重要意义。第三，通流改造还能够提升600MW等级汽轮机的调速和调载能力。通过优化控制系统和调节机构，改造后的汽轮机可以更快地响应电网负荷的变化，实现更加灵活和高效的能量调度。第四，从经济性的角度考虑，通流改造降低600MW等级汽轮机的燃料消耗和维护成本。由于效率的提升和振动、轴瓦温度的减小，机组的运行成本和维护成本均得到有效降低，从而提高整个电力系统的经济效益。

## 3 汽轮机通流改造的技术原理

600MW等级汽轮机通流改造的技术原理主要涉及对汽轮机内部通流部分的优化设计和调整，以提高整体性能。这一改造过程的技术原理主要基于流体动力学和热力学原理。在流体动力学方面，通流改造关注于蒸汽在汽轮机内部通流部分（如进汽室、汽缸、叶片等）的流动状态。通过对叶片型线进行优化设计，可以改善蒸汽

流动的顺畅性,减少涡流和冲击损失,从而提高能量转换效率。同时,调整通流面积,优化蒸汽流道路径,能够减小流动阻力,使得蒸汽在通流部分中能够更高效地传递能量<sup>[2]</sup>。在热力学方面,通流改造注重提高汽轮机的热效率。通过对汽轮机内部通流部分的热力学分析,优化蒸汽参数(如压力、温度等),可以进一步提高蒸汽做功的能力,从而提升机组的热经济性。在结构方面,优化密封结构,可以减少蒸汽泄漏,提高能量利用率。在通流改造过程中,还会采用先进的数值模拟技术进行性能预测和优化设计。通过建立数学模型,对汽轮机的通流部分进行模拟分析,可以预测改造后机组的性能表现,为改造方案的制定和调整提供依据。

#### 4 600MW 等级汽轮机通流改造优化设计方案

##### 4.1 设备参数分析及优化

在进行600MW等级汽轮机的通流改造之前,由电科院对原始设备进行性能试验,然后对试验参数的深入分析是不可或缺的一环。这一步骤的重要性在于,它能够帮助工程师们全面了解机组的实际运行状态和性能水平,为后续的优化设计工作提供坚实的数据基础。要收集并整理机组的高、中、低压缸效率、额定功率、蒸汽参数、抽口参数(如压力、温度)、背压、振动、轴瓦温度等关键数据。这些数据是评估汽轮机性能的基础,通过对比设计参数与实际运行参数,可以初步判断机组是否存在性能瓶颈或运行不稳定的问题,可以找出影响机组性能的关键因素,为后续的优化改造提供明确的方向。对通流部分的几何尺寸进行详细的测量和分析,这包括叶片的型线、尺寸、表面损伤情况等,以及缸体和转子的结构参数。通过对这些参数的测量,可以了解蒸汽在通流部分的实际流动情况,进而分析是否存在流动损失、涡流等不利因素。基于参数分析的结果,工程师们可以识别出影响汽轮机性能的关键因素,并制定相应的优化策略,同时,为后续改造新旧部件的接口提供设计依据。例如,如果发现蒸汽参数的设置不合理,可以通过调整蒸汽参数至最佳工况范围来改善机组的热效率;如果发现叶片型线存在不佳、水蚀的情况,可以通过优化叶片型线来减少流动损失,提高能量转换效率,可以通过叶片表面喷涂等工艺方案,减轻叶片水蚀的程度。

##### 4.2 叶片结构改造与设计优化

叶片是汽轮机通流部分的核心组件,其结构设计和性能直接影响汽轮机的效率。因此,在通流改造中,叶片结构的改造与设计优化是至关重要的一环。叶片的结构设计需要综合考虑通流效率、强度、刚度、振动特性

以及流动性能等因素。通过采用先进的CAD/CAM技术和数值模拟方法,可以对叶片的型线、厚度、弦长等参数进行优化设计。优化后的叶片型线能够改善蒸汽流动的顺畅性,减少涡流和冲击损失;同时,合理的叶片厚度和弦长设计可以提高叶片的强度和刚度,降低振动风险。还可以采用新型材料和提高制造工艺水平来进一步提升叶片的性能。例如,使用高温合金材料和先进的加工技术,可以提高叶片的耐高温性能和机械强度,延长叶片的使用寿命<sup>[3]</sup>。

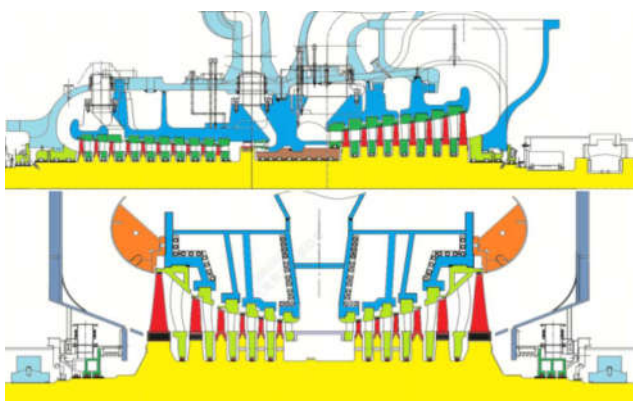
##### 4.3 热力学特性优化

在通流改造中,热力学特性的优化是实现汽轮机性能提升的重要环节。蒸汽参数的优化直接关系到汽轮机的做功能力和热效率。通过提高蒸汽的初压和初温,能显著增强蒸汽的动力性能,进而推动汽轮机更高效地转换热能。为了确保机组的长期稳定运行,必须在保障设备安全性和经济性的基础上,科学确定蒸汽参数的最佳值。热力系统的优化也不容忽视。优化热力循环、改进回热系统、采用高效凝汽器等措施,能够显著降低热损失,提高整体热效率。同时,结合先进的热工测量和控制技术,可以实时监控并调整热力系统的运行状态,使机组始终保持最佳的热力学性能。这些努力将为电力行业的绿色发展和可持续发展注入新的活力。

##### 4.4 流道设计与整体结构调整

流道作为蒸汽在汽轮机中的通道,其设计优劣直接影响到蒸汽流动的顺畅性、能量损失以及流场的稳定性。在通流改造中,对流道进行精细化设计至关重要。通过引入先进的流场数值模拟技术,工程师们可以更加精确地模拟蒸汽在流道中的实际流动情况,从而找出潜在的流动阻力和能量损失点。基于这些模拟结果,采用优化设计方法对流道的形状、尺寸和布局进行调整,旨在减小流动阻力、降低能量损失,并提升蒸汽流动的稳定性。这样的流道设计优化不仅能够提升机组的整体性能,还有助于减少机组运行时的噪音和振动,进一步增强机组的可靠性和运行寿命。而整体结构调整则是在通流改造中对汽轮机整体结构进行的全面审视和调整。包括优化汽缸进、排汽流道型线,减少进、排汽损失;优化定位肩胛密封结构、进汽插管密封结构、汽封圈结构和间隙,减少蒸汽泄漏;优化轴承结构,提升轴承稳定性。通过整体结构调整,可以确保汽轮机在高速旋转和高温高压环境下都能够保持稳定运行,提高机组的整体可靠性和安全性。

优化后的汽轮机结构示意图如下所示:



高中低压改造结构示意图

## 5 600MW 等级汽轮机通流改造方案的技术经济性分析

### 5.1 成本分析

对于600MW等级汽轮机的通流改造方案，进行详细的成本分析是至关重要的。这一分析不仅有助于企业了解改造所需的总成本，还能为企业决策提供依据，确保投资的合理性和效益性。第一，直接成本方面，包括新设备和材料的采购、运输和安装费用。新型高性能设备和材料可能增加一定的成本，但长远来看，这些能提升汽轮机的效率和耐用性，从而降低维护成本。改造过程中可能需要对部分设备进行更换或升级，这也是成本的重要组成部分。人工成本也是不可忽视的一部分，包括了设计师、工程师、技术人员和工人的工资和福利。第二，间接成本则主要涵盖了项目管理、培训、质保等方面的费用。这些成本虽然不直接影响改造的硬件部分，但对于确保改造的顺利进行和改造后的稳定运行至关重要。第三，还需要考虑停机时间成本。通流改造通常需要在机组停机状态下进行，这将导致一定时间的发电中断，从而产生经济损失。这部分损失需要根据市场电价和停机时间进行计算。

### 5.2 投资回报率评估

在进行通流改造方案的技术经济性分析时，投资回报率评估是一个关键的环节。这一评估旨在量化改造项目所带来的经济效益，以及企业在投资后能够获得的回

报。(1) 确定通流改造后的机组能够带来的收益增量。这包括由于铭牌提升而增加的发电量、由于运行稳定性增强而减少的故障停机时间等。这些收益增量的计算需要基于实际的市场电价、机组的年运行小时数以及改造前后的性能对比数据。(2) 要考虑改造后机组的成本节约。这包括燃料成本的降低(由于汽轮机缸效率提升、热耗率降低)、维护成本的减少(由于设备性能的提升和减少的故障)以及可能的运营成本的降低(由于更加智能化的控制系统)。这些成本节约的计算需要基于改造前后的实际运行数据和成本数据。(3) 将收益增量和成本节约与改造所需的投资成本进行对比，计算出投资回报率。投资回报率的计算公式为： $(\text{收益增量}-\text{成本节约})/\text{投资成本}\times 100\%$ 。通过这个公式，可以直观地了解通流改造项目的经济效益，以及企业在投资后能够获得的回报水平。

### 结束语

综上所述，600MW等级汽轮机的通流改造优化设计方案是一项系统而复杂的工程。该方案通过全面的分析和精确的优化措施，旨在提高汽轮机的高、中、低压缸效率和稳定性，降低汽轮机的热耗率，为企业带来可观水平的经济效益。在实际应用中，企业可根据自身的技术经济条件，选择合适的改造方案，并进行科学管理和精细化操作，以确保改造的成功实施和稳定运行。通过这一改造工程，不仅可以提升企业的核心竞争力，还可为国家“碳达峰、碳中和”目标以及电力行业的可持续发展做出贡献。

### 参考文献

- [1]李浩.关于火电厂凝汽式汽轮机冷端系统的运行优化策略探讨[J].山东工业技术.2019(06):179.
- [2]张艾萍.张卫红.曹丽华.汽轮机冷端系统运行优化及故障诊断系统[J].汽轮机技术.2016.49(5):383-385
- [3]张继红.杜文斌.赵杰.等.600MW等级超临界汽轮机通流改造综述[J].热力发电.2019.48(2):1-8.DOI: 10.19666/j.rlfid.201808192.