

# 反动式工业汽轮机超高转速大流量低压级组优化

张鑫鑫

浙江大唐乌沙山发电有限责任公司 浙江 宁波 315700

**摘要:** 在当今工业领域,工业汽轮机作为核心设备之一,其性能的优劣直接影响到能源转换效率与工业生产的稳定性。因此,针对反动式工业汽轮机的超高转速大流量低压级组进行优化,成为当前工业汽轮机研究领域的热点与难点。优化低压级组不仅有助于提升汽轮机整体效率,降低能耗,还能增强其在复杂工况下的稳定运行能力。基于此,论文探讨了反动式工业汽轮机在超高转速、大流量条件下的低压级组优化问题,并提出了一系列优化策略,旨在提高汽轮机的效率、稳定性和可靠性。

**关键词:** 反动式工业汽轮机; 超高转速大流量; 低压级组优化

引言: 反动式工业汽轮机作为一种重要的动力设备,在工业生产中发挥着举足轻重的作用。而随着现代工业的发展,对汽轮机的性能要求越来越高,特别是在超高转速和大流量工况下,传统的反动式工业汽轮机低压级组暴露出了一系列问题。因此,对反动式工业汽轮机超高转速大流量低压级组进行优化,已经成为当前亟待解决的问题。

## 1 优化的必要性

### 1.1 提高能源利用效率

超高转速大流量低压级组的优化,对于反动式工业汽轮机而言,是提升运行效率的关键所在。该优化过程涉及对叶片形状的精细调整、叶根结构的创新性改进以及材料等级的全面提升。科学的设计和精细的制造,能够有效减少蒸汽在流动过程中的能量损失,提升蒸汽的做功效率。这不仅意味着汽轮机的输出功率将显著增加,更代表着能源利用效率将得到显著提升,有助于实现节能减排的目标,进而为可持续发展贡献力量。

### 1.2 增强设备稳定性与可靠性

在超高转速、大流量的恶劣工况下,反动式工业汽轮机的运行稳定性与可靠性成为了制约其发展的关键因素。针对这一问题,通过优化低压级组的设计,完全可以显著改善蒸汽的流动状态,减少流场中的涡流、激波等有害因素,从而降低叶片的振动和磨损<sup>[1]</sup>。该优化措施将极大地提升设备的稳定性和可靠性,延长其使用寿命,降低维护成本,最终为用户带来更加持久、稳定的能源供应。

### 1.3 满足多样化市场需求

随着市场需求的日益多样化,反动式工业汽轮机需要不断适应新的应用场景和工况要求。超高转速大流量低压级组的优化,正是为了满足这一需求而进行的。在

对超高转速大流量低压级组实施优化设计后,能够使汽轮机在更宽的工况范围内保持高效运行,无论是电力、化工还是冶金等行业,都能找到适合其应用的汽轮机型号。此举将极大地提升汽轮机的市场竞争力,满足用户多样化的能源需求,推动工业领域的持续健康发展。

## 1.4 推动技术创新与发展

优化反动式工业汽轮机超高转速大流量低压级组的过程,不仅是对现有技术的挑战和突破,更是推动技术创新与发展的重要契机。该过程需综合运用先进的设计理念、计算方法、制造工艺等,不断探索新的技术路径和解决方案。更重要的是,也将为汽轮机技术的创新与发展提供强大的动力,同时带动相关产业链的技术进步和产业升级。

## 2 反动式工业汽轮机超高转速大流量低压级组存在的常见问题

### 2.1 热力性能与转速不匹配

反动式工业汽轮机在超高转速运行时,其热力性能往往难以满足实际需求。具体体现在以下几个方面:一方面,由于转速的增加,汽轮机的内部流动变得更为复杂,流动损失也随之增大,导致热力效率下降。另一方面,高转速下的摩擦损失和机械损失也会显著增加,进一步降低了汽轮机的整体效率。所以,如何在保证转速的同时,提高汽轮机的热力性能,成为了行业内一个亟待解决的问题。

### 2.2 低压级组设计与材料挑战

在超高转速大流量条件下,反动式工业汽轮机的低压级组设计面临着巨大的挑战。由于转速的提升,低压级组的叶片和转子需要承受更大的离心力,这就要求叶片和转子的材料必须具有更高的强度和韧性。但问题是现有材料的性能往往难以满足这种极端条件下的需求,

导致叶片和转子容易发生变形、断裂等故障。除此之外，低压级组的流动通道也需要进行优化设计，以减少流动损失和提高通流能力。

### 2.3 振动与噪声问题

超高转速下，反动式工业汽轮机的振动和噪声问题尤为突出。究其原因如下：一是由于转速的增加，汽轮机的机械振动和流体振动都会显著增强，不仅会影响设备的稳定性，还可能对周围环境和人员造成危害。二是振动和噪声的增加也会降低汽轮机的运行效率和使用寿命。故此，如何有效控制振动和噪声，成为提高反动式工业汽轮机性能的关键之一。

### 2.4 密封与润滑难题

在超高转速大流量条件下，反动式工业汽轮机的密封和润滑系统也面临着严峻的挑战。首先，由于转速的提升，密封间隙的微小变化都可能导致严重的泄漏问题，不单单会影响汽轮机的热力性能，还可能对设备的安全性构成威胁。其次，高转速下的润滑系统需更加稳定和可靠，以确保轴承和转子的正常运行。但现有润滑系统的性能往往难以满足这种极端条件下的需求，导致轴承磨损、过热等故障频发。

### 2.5 维护与检修难度增加

反动式工业汽轮机在超高转速大流量低压级组条件下运行时，其维护和检修难度也会显著增加。要么由于设备结构的复杂性，维护和检修工作往往需要耗费大量的时间和人力<sup>[2]</sup>。要么高转速下的设备故障往往更加难以预测和诊断，给设备的运行和维护带来了更大的挑战。基于此，如何降低维护和检修难度，提高设备的可靠性和可用性，成为了一个亟待解决的问题。

## 3 反动式工业汽轮机超高转速大流量低压级组优化策略

### 3.1 热力性能与转速优化策略

面对如何提升反动式工业汽轮机超高转速大流量低压级组优化这一问题时，热力设计与转速匹配的优化无疑是最基本的措施与保障。为此，相关企业需从以下几个方面入手：

3.1.1 热力设计团队需运用先进的热力学原理和计算流体动力学（CFD）技术，对汽轮机的热力循环进行精确计算和分析。其内容包括但不限于确定合理的转速范围，使汽轮机的热力性能与转速达到最佳匹配状态。此过程中，还需考虑转速变化对蒸汽膨胀过程、热交换效率以及能量转换效率的影响，从而确保在超高转速下仍能维持较高的热力性能。

3.1.2 采用先进的流动控制技术对于减少流动损失、

提高通流能力同样具有关键作用。如，采用三维流动模拟和优化设计，可以精确模拟蒸汽在汽轮机内部的流动状态，识别并优化潜在的流动瓶颈和损失区域。这种做法带来的好处是有助于降低流动阻力，还能提高蒸汽的利用效率，从而进一步提升汽轮机的热力性能。

### 3.2 低压级组设计与材料创新

3.2.1 设计团队需利用高精度计算工具，对叶片和转子的结构进行精确计算和分析。包括考虑转速提升对叶片和转子应力分布的影响，以及如何通过优化结构来提高其强度和韧性。在此基础上，需综合考虑材料的物理特性、制造工艺的可行性以及成本效益，以确保设计方案的合理性和实用性。

3.2.2 为了满足低压级组对材料性能的高要求，需积极研发新型高强度、高韧性材料。这些材料要求既具有更高的强度和韧性，还能在极端条件下保持稳定的性能。比如，钛合金和高温合金等先进材料，因其优异的力学性能和热稳定性，在低压级组的设计中得到了广泛应用。采用这些材料，可显著提高叶片和转子的承载能力，延长使用寿命，并降低因材料失效导致的故障风险。

3.2.3 在制造工艺方面，采用先进的精密铸造和激光焊接等技术同样具有重要意义。这些技术可以提高低压级组的制造精度和可靠性，还能有效降低制造成本，提高生产效率。通过不断优化制造工艺和流程，可以确保低压级组在超高转速大流量条件下仍能保持稳定运行，为汽轮机的整体性能提供有力保障。

### 3.3 振动与噪声控制策略

在反动式工业汽轮机超高转速大流量低压级组的优化策略离不开振动与噪声控制。那么，要想有效管理这些问题，可利用以下几种先进的技术和方法：

一是采用先进的振动监测和诊断技术对于及时发现和处理振动问题。安装高灵敏度的振动传感器，使工作人员能够实时监测汽轮机的振动状态。传感器能够捕捉到微小的振动变化，并应用先进的信号处理和分析技术，对振动数据进行精确解读。一旦发现异常振动，可以立即采取合理措施进行处理，如调整运行参数、更换磨损部件等，以防止振动问题进一步恶化。实时监控和快速响应机制可以显著提高设备的可靠性和安全性，减少停机时间和维护成本。

二是采取隔振和降噪措施也可降低振动和噪声。如，在汽轮机的关键部位安装隔振器，可以有效减少振动对设备本身及其周围环境的影响。隔振器能够尽量吸收和分散振动能量，从而减少振动传递到基础结构和其他相邻设备的可能性。另外，使用降噪材料，如阻尼材料和吸

音材料,可以进一步降低噪声的传播和反射。这些材料能够尽可能吸收声波能量,减少声波在空气中的传播,从而为工作人员创造一个更加安静舒适的工作环境。

### 3.4 密封与润滑系统改进

在解决超高转速大流量条件下反动式工业汽轮机的密封和润滑问题时,必须对密封和润滑系统进行全面且深入的改进。此举不仅关乎设备的稳定运行,更直接影响到整体的生产效率和安全性。具体需运用的手段如下:

3.4.1 采用先进的密封技术是确保密封效果的关键所在。迷宫密封、金属密封等先进密封技术具有优异的密封性能和较长的使用寿命,能够显著减少泄漏量,提高设备的可靠性和稳定性。

3.4.2 优化密封间隙和密封材料的选择。精确计算和分析使工作人员可以确定合理的密封间隙,以确保在极端条件下仍能保持稳定的密封效果。另外值得肯定的是,选择高性能的密封材料,如耐磨损、耐腐蚀的材料,同样可以大幅度提高密封的可靠性和耐久性。

3.4.3 在润滑系统方面,需改进润滑油的稳定性和可靠性。高性能润滑油和添加剂的应用可以显著提高润滑效果,减少摩擦和磨损。同时优化润滑系统的结构和布局也是关键环节。合理设计润滑油的流动路径和冷却方式,可以确保润滑油在系统中的均匀分布和有效冷却,从而提高设备的运行效率和稳定性。

### 3.5 维护与检修策略优化

#### 3.5.1 制定科学的维护和检修计划

在精确的监测和诊断基础上,制定科学合理的维护和检修计划是保障汽轮机长期稳定运行的关键步骤。深入分析设备的运行情况,囊括不同工况下的运行参数变化、负荷波动对设备的影响等,同时全面梳理维护历史记录,详细了解以往维护检修的时间、内容、更换的零部件以及设备后续的运行表现等信息<sup>[3]</sup>。在对这些数据的综合分析的基础上,掌握设备的磨损规律,如哪些部件在高转速、大流量工况下磨损较快,以及常见的故障模式,像是叶片的疲劳断裂、轴封的磨损泄漏等。根据这些分析结果,制定出具有针对性的维护和检修计划。明确规定各项维护检修工作的优先级,例如对于影响汽轮机安全稳定运行的关键部件,如转子、汽缸等的维护工作赋予最高优先级;而对于一些辅助系统或对整体运行影响较小的部件,可适当降低优先级。此环节中,需提醒的是,应同时确定各项工作的时间节点,如根据设备

的运行时长、磨损周期等设定定期检查的时间间隔,在设备运行达到一定累计时间后,安排全面的检修工作,确保设备在关键生产时期能够稳定可靠地运行,避免因设备故障导致的生产中断或安全事故。

#### 3.5.2 加强维护和检修人员培训与技术支持

加强维护和检修人员的培训和技术支持是提升设备维护检修水平的重要保障。首先,应为这些专业人员提供系统全面的培训课程,培训内容涵盖反动式工业汽轮机的基础理论知识,包括其工作原理、结构特点、热力循环过程等,使他们深入理解设备的运行机制。但是仅仅有培训远远不够的,同时还得格外注重实践操作技能的培训,在模拟的工作场景或实际设备上进行维护检修操作演练,让他们熟练掌握最新的维护技术和检修方法,如先进的无损检测技术用于检测叶片内部缺陷、高精度的轴系对中调整技术等。

其次,建立完善的技术支持体系,与设备制造商、专业科研机构以及行业专家保持紧密的合作与联系。当维护检修人员在工作过程中遇到复杂疑难问题时,能够及时获得专业的技术指导和支 持。另外,还可定期组织技术交流研讨会,让维护检修人员与同行进行经验分享与技术交流,了解行业内最新的技术动态和发展趋势,不断提升他们的专业素养和解决实际问题的能力,进而保障汽轮机的安全高效运行。

### 结语

反动式工业汽轮机在超高转速大流量低压级组方面存在着热力性能与转速不匹配、低压级组设计与材料挑战、振动与噪声问题、密封与润滑难题以及维护与检修难度增加等一系列问题。这些问题不仅影响了汽轮机的运行效率和使用寿命,还可能对设备的安全性和稳定性构成威胁。因此,需要加大研发力度,不断优化设计和技术创新,以推动反动式工业汽轮机技术的持续发展。

### 参考文献

- [1]张军辉,邹朋津,刘象拯,等.反动式工业汽轮机超高转速大流量低压级组优化[J].汽轮机技术,2024,66(3):171-174,178.
- [2]朱珊云,戴源德,曹杰,等.小管径开缝翅片管式换热器空气侧传热综合性能研究[J].流体机械,2022,50(5):68-75.
- [3]李雪,陈永东,刘孝根,等.螺旋板式热交换器传热与流动特性试验研究[J].流体机械,2020,48(6):1-5.