

8/7 大 600 容量火电汽轮机低压缸末级长叶片研究

张珏伟

(江苏常熟发电有限公司 215500 江苏省常熟市)

摘要: 本文重点分析了叶片形状对气动特性的影响, 同时对于高温高压环境下材料选择与性能要求也进行了一一讨论。具体描述了整个叶片制造工艺流程, 包括关键技术节点和工艺参数优化, 以及在制造过程中如何进行严格质量控制的方法。最后我们提出了一种基于多学科综合优化方法来改进叶片设计, 并通过数值模拟验证优化方案的有效性。

关键词: 大容量火电汽轮机; 设计理论; 制造工艺

Study on Long Blade of Last Stage of Low Pressure Cylinder of Large Capacity Thermal Power Turbine

Jiangsu Changshu Power Generation Co., Ltd. 215500 Changshu City, Jiangsu Province

Abstract In this paper, the influence of blade shape on aerodynamic characteristics is analyzed emphatically, and the material selection and performance requirements under high temperature and high pressure environment are also discussed one by one. The whole blade manufacturing process is described in detail, including key technical nodes and optimization of process parameters, and how to carry out strict quality control in the manufacturing process. Finally, we propose a multidisciplinary comprehensive optimization method to improve the blade design, and verify the effectiveness of the optimization scheme through numerical simulation.

Keyword: Large capacity thermal power steam turbine; LDesign theory; manufacturing process

引言

这篇文章通过深入分析叶片的气动设计原理、材料特性及制造工艺, 旨在探索提高其性能的新方法。采用先进的测试技术和多学科优化策略, 对叶片进行系统全面的性能评估与优化设计, 以期达到提升火电汽轮机整体效率并满足当前高效、环保的发展需求。

1. 研究综述

1.1 国内外研究现状

设计理论方面, 已经发展出了多种不同的叶片形状优化方法, 这些方法旨在减少流动损失并显著地提高效率。材料科学领域内所取得的一些突破, 也为选择合适的叶片材料提供了更多丰富多样的可能性, 新型高温合金和复合材料的应用, 有效地提升了叶片在高温环境中的耐受性能和抗腐蚀能力。而在制造工艺方面, 精密铸造、数控加工等先进且复杂技术的大量应用, 使得叶片制造过程中的精度和一致性水平得到了显著而明显的提升。面对日益复杂的工况条件和不断提高的性能要求, 现有研究仍存在一定的局限性, 如叶片设计理论的进一步深化、制造工艺的持续改进以及性能评估方法的完善等方面, 都需要进一步的研究和探索。

1.2 研究目标与内容

研究专注于开发先进且高效的性能测试技术, 旨在对叶片进行全面的性能评估, 并通过综合性的、多学科交叉优化方法, 对叶片设计进行系统性和全方位的优化, 以期达到提升火电汽轮机整体运行性能重要目标。通过对低压缸末级长叶片深入而详细的研究, 本研究期望能

够为火电汽轮机性能提升提供强有力且可靠扎实的理论依据支持。

2. 低压缸末级长叶片设计理论

2.1 叶片设计基本原理

叶片设计, 是关乎大容量火电汽轮机性能优劣的一个极为关键环节, 其基本原理涉及流体力学领域、热力学领域和结构力学等多个复杂领域。这个设计过程的核心目标是实现高效的气动转换, 也就是在保证机械强度和长久耐用性的前提下, 优化具体叶片形状以减少不必要流动损失, 从而显著提高能量转换效率。叶片的重要几何参数, 包括具体细致的叶高、详细精确的叶宽、复杂多样的叶型线以及特定角度下独特扭转角等, 对其气动性能有着直接且重要影响。在设计过程中, 需要综合考虑各种不同因素, 比如说载荷分布状态、应力作用情况以及复杂但关键的重要热负荷, 以确保在不同工况条件下均能保持稳定并且高效运行。整个过程还需严格遵循动力学基本原理, 确保当高速旋转时候, 这些精密加工出来的重要叶片具有良好的振动特性, 从而有效避免共振现象和疲劳失效问题。

2.2 叶片形状与气动特性

带来高效能量转换的理想叶片形状, 应巧妙引导气流, 使其最小化损失地顺利通过汽轮机。叶片的非凡气动特性主要决定因素包含复杂型线、厚度分布及弯扭形状等多方面。为了优化气流附着性和分离特性, 并尽可能减少涡流及二次流动现象出现, 型线设计需基于详细的流动分析进行。厚度分布对叶片结构强度和刚度的重

要性不容忽视,这需要在保证机械强度足够的同时,努力减轻总体重量以降低转动惯量,并提高响应速度。而针对弯扭形状的设计,则涉及到载荷在不同半径处的合适分配问题,妥善调整弯扭形状有助于有效平衡各种工况下叶片所承受的关键应力状态,进一步优化运行稳定性。

2.3 材料选择与性能要求

叶片材料的选择,对性能和寿命的影响不容忽视。高温、高压等极端条件下,耐高温强度以及热稳定性良好再加上充分可靠的抗腐蚀能力,成为所使用的材料必备特质。镍基合金、钴基合金和铁基合金则是目前遍布在许多叶片中的常见材料。尽管处于高温环境下,这些独特的材料依然展现相当程度的耐高温强度与对抗蠕变性能。随着现代科技的日新月异,令新型高温合金和复合材料繁衍弥漫,为叶片材料赋予了更加多元化的选择空间。在处理挑选过程中,各种材料的不同的加工性能、成本效益以及环境适应性均值得考虑。微观结构与热处理工艺对此类重要材质产生着深远影响。经过精细打造、优化梳理,热处理工艺将大幅度提升该类型材料微观结构,在力学性能和抗疲劳能力上亦会有显著增长,从而给关键部件寿命带来有效延伸。

3. 低压缸末级长叶片制造工艺

3.1 制造流程概述

整个制造过程通常包括以下几个关键步骤:第一步是至关重要的材料准备阶段,这时候需要对选定材料进行详细的化学分析和全面的物理性能测试,确保其完全符合后续每个加工环节的一切要求。接下来就进入毛坯制造阶段了,这一步通过铸造或锻造工艺,把最初的大致形状给弄出来。紧随其后的机械加工,包括粗加工和精加工,确保叶片的几何尺寸与公差符合设计规格是必须的。再到热处理工艺,这一步骤无疑极大优化了材料内部结构,让力学性能全面提升。而表面处理工艺则像给叶片穿上坚固耐用的“护甲”,大幅增强抗磨损和抗腐蚀能力。接着采用无损检测技术,整个复杂制造过程的内部缺陷得以消除,产品质量从根本上得到保证。装配与调试阶段,则需要确认该叶片与汽轮机其他部件之间具有良好的兼容性。

3.2 关键技术与工艺参数

精准的铸造技术是形成复杂多变叶片形状的基础,其具体工艺参数如浇注温度、冷却速率和模具材料等都会直接并显著影响到叶片微观结构乃至尺寸精度。数控加工技术则在高精密加工阶段起着核心作用,通过精准地控制切削参数如切削速度、进给速率以及切削深度,实现表面光洁度极高且尺寸严格受控的高质量叶片。热处理技术,包括固溶处理与时效处理,通过调整相关诸

如温度、时间以及冷却速率等工艺参数,能有效优化提升叶片材料力学性能,从而提高其在严苛高温、高压环境下稳定性与耐久性。同时,表面涂层技术,如通过物理气相沉积(PVD)或化学气相沉积(CVD)方法,在其表面形成坚韧保护层,大幅提升其耐磨损及抗腐蚀能力。

3.3 质量控制办法

从原材料进入工厂的入厂检验开始,到最终产品出厂前必须通过的多项出厂测试。每一个环节都严格遵守质量标准是必要之举。广泛运用各种超声波检测、X射线检测以及磁粉检测等先进无损检测效果的技术,确定叶片内部和表面是否存在微小缺陷。依赖于如三坐标测量机、激光跟踪仪等具备极高精度水平的重要测量设备,能解决尺寸精度方面的难题。材料性能的全面测试需实施拉伸试验、冲击试验及硬度测试等方法。主张力学性能上的合乎材料需要保证叶片材质达标。在生产过程中,统计过程控制(SPC)与六西格玛管理策略用于工艺参数监控和临时调整,以有效降低过程变异,并提升产品一致性与可靠性。最后,经过全面深入的功能测试来综合鉴定真实运行条件下叶片表现,确保其完全满足火电汽轮机高效稳定运行所需求的苛刻标准。

4. 性能测试与分析要求

4.1 测试方法与设备

通常,叶片测试主要分为静态和动态两种。静态测试时,我们更关心叶片的几何精度和材料特性;而在进行动态测试的时候,要多考虑它在实际运行条件下的气动性能和机械响应。具体到操作环节,在做静态测试时,会用像三坐标测量机、光学投影仪这样的高精设备来精准检验叶片尺寸和形状上的误差。先进设备如硬度计、金相显微镜和电子扫描显微镜的使用,使对叶片材料的微观结构及力学性能评估成为可能。到更复杂的动态测试时,会利用模拟叶片在实际工况下运行得出数据,激光多普勒测振仪、高速摄影机和数据采集系统等高端设备齐上阵,确定叶片振动特性、应力分布和疲劳寿命等重要参数。

4.2 测试分析与讨论

从静态测试结果洞察叶片制造精度对设计需求的满足程度,同时以材料均匀性及微观结构完整性作为判断依据,保障叶片可靠性。动态测试过程中摄取振动测试数据,在变化中查看叶片进行不同转速条件下复杂多样的动态响应,提供了宝贵的动态设计参考资料。运行中可能遭遇的最大应力水平和具体需要优化改进的特定结构区域,均由应力测试揭示。从材料角度出发的疲劳寿命测试,其耐久性评估过程为长期稳定运行提供了切实可信的数据依据。综合细致分析丰富多样类型的测试数

(下转第51页)

(上接第 44 页)

据后,不止能全方位、广泛地评估当前设计性能,潜在问题也得以识别,并能把进一步优化和改进方向提出来。

5. 优化设计

5.1 优化设计理论基础

通过对叶片通道内高度动态化的流动特性上进行细致分析,从而能精确确定与之相应的叶片型线和几何参数,并使得气动能量转换既高效且稳定。至于热力学,则更专注于能量在转换过程中如何高效地并尽可能小地损失,在指导怎样设计出最大限度降低能量耗损方面发挥着重要作用。这些精密制造、复杂工艺打造的叶片,依靠结构力学保证了其在各种载荷作用下都优良可靠,难以断裂或变形。新型高性能材料的选择,需要满足涵盖耐高温能力、疲劳特性及抗腐蚀能力等多方面条件。关键理论基础互相交错紧扣,一套严谨全面的叶片优化设计科学框架因此成形。

5.2 优化设计方法

理论基础的讲述为叶片设计提供了优化设计方法,其重要性显而易见。关键几何参数如叶高、叶宽和型线扭曲通过参数化设计方法进行调整,可有效提升及优化气动性能。多学科优化方法实现全局整体性优化,需要综合考虑气动、结构以及热力学等因素。计算流体动力学(CFD)和有限元分析(FEA)等数值模拟技术则为精确的叶片优化设计提供强大工具支持。先进技术的应用

成为设计师精准模拟实际工况下复杂流动和应力状态的科研利器,无需增加物理试验成本即可评估各种设计方案。人工智能推出的高级创新优化算法如遗传算法、粒子群优化算法等广泛用于寻找最优方案,使得整个过程效率更高,创新性更强。

6. 结论

在流体力学和结构力学分析后,对其形状与结构布局做了优化,从而使叶片在气动效率和机械强度上的表现表现都有提升。此外,选用适于高温环境下工作的合金材料方面,在对候选材料进行严格评估之后实现了在极端工作条件下的稳定可靠运行。另外,工艺参数对最终产品质量的重要影响也值得深入讨论;性能测试为设计与制造方案有效性也提供强有力验证,支撑后续进一步优化。

参考文献:

- [1]史进渊,李军,刘霞,等.我国大型汽轮机技术研究进展与展望[J].动力工程学报,2022,42(06):498-506.
- [2]柳磊,杨建刚,王东,等.火电汽轮机组热电解耦技术研究[J].宁夏电力,2017,(06):62-66.
- [3]吴迪,李娜.火力发电厂汽轮机组节能降耗探讨[J].科技展望,2016,26(23):106.

作者简介:张珏伟 19920511 男 江苏常熟 汉 助理工程师 硕士 火电