

# 风机叶片气动优化设计

章晨宇<sup>1</sup> 徐滔<sup>2</sup> 张游<sup>1</sup> 于劲松<sup>2</sup>

1.浙江亿利达风机股份有限公司；2.浙江亿利达科技有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v5i8.7134

**[摘要]** 本文针对风机叶片气动优化设计展开研究。通过数值模拟与优化算法相结合，探索了在不同条件下风机叶片的气动特性，并基于这些特性进行了优化设计。首先，使用计算流体动力学（CFD）方法对风机叶片的气动性能进行了分析，明确了存在的问题与改进空间。接着，运用进化算法等优化技术，针对不同优化目标，如提高效率、降低噪音等，对叶片形状进行调整，实现了在设计参数空间内的最优化。最后，通过仿真验证了优化设计方案的有效性与其可行性。本文研究为提高风机性能与降低能源消耗提供了重要参考与方法。

**[关键词]** 风机叶片；气动优化；数值模拟；优化算法；计算流体动力学

## Optimal pneumatic design of fan blades

Zhang Chenyu<sup>1</sup> Xu Tao<sup>2</sup> Zhang You<sup>1</sup> Yu Jinsong<sup>2</sup>

1.Zhejiang Yilida Fan Co., LTD.;

2.Zhejiang Yilida Technology Co., LTD.

**[Abstract]** This paper studies the pneumatic optimization design of fan blade. By combining numerical simulation and optimization algorithm, we explored the aerodynamic characteristics of fan blades under different conditions, and optimized the design based on these characteristics. Firstly, the calculated fluid dynamics (CFD) method is used to analyze the aerodynamic performance of the fan blade, and the existing problems and improvement space are clarified. Then, the evolutionary algorithm and other optimization technologies were used to adjust the leaf shape according to different optimization objectives, such as efficiency improvement and noise reduction, to achieve the optimization in the design parameter space. Finally, the effectiveness and feasibility of the optimized design scheme are verified by simulation. This paper provides an important reference and method for improving the fan performance and reducing the energy consumption.

**[Key words]** fan blade, pneumatic optimization, numerical simulation, optimization algorithm, calculation of fluid dynamics

### 引言：

在追求高效能源利用和改善空气质量的当下，通风风机的设计优化显得尤为重要。通过深入分析风机叶片的气动特性，并应用进化算法进行形状优化，我们能够显著提高风机的性能和效率。此外，仿真验证环节确保了优化设计方案的实际可行性。展望未来，通风技术的发展将侧重于智能化设计、跨学科优化、新材料应用、以及提升设备的适应性和环境友好性，为实现更加高效、可持续的通风系统提供坚实的技术支持。

### 一、风机叶片气动特性分析

分析风机叶片的气动特性对于通风系统设计至关重要。叶片设计的优劣直接影响风机性能与效率，特别是在空调系统、建筑通风、地铁轴流风机以及工业风机（包括低压和中压风机）

等应用领域中。通过计算流体力学（CFD）模拟，我们可以详细评估叶片的气动性能，这包括但不限于叶片表面的压力分布、气流速度、以及湍流情况等。CFD 提供了一种强大的数值方法，模拟流体运动及其相互作用，进而分析叶片在不同工况下的表现。

不同的应用场景要求风机能在多变的环境条件下运行，包括不同的气流速度和方向。因此，针对特定应用场景的风场模拟和仿真变得尤为重要，这有助于获取更准确和可靠的叶片气动特性数据。

叶片的结构设计是决定其气动性能的关键因素。叶片的形状、材料选择、以及厚度等参数，都直接影响风机在气流中的性能。通过对这些结构参数进行优化设计，可以显著改善风机

的气动特性，提升其整体性能和效率。特别是叶片的形状设计，不同的叶片形状会导致气流以不同的方式在叶片表面流动，影响升力和阻力的生成。优化这些参数，能够促使气流更加顺畅地经过叶片，减少阻力，增加升力，从而提升风机的整体性能。

材料选择对叶片设计同样关键，因为材料的密度、强度和耐腐蚀性等属性会直接影响到叶片的质量和稳定性。选择轻质、高强度、耐腐蚀的材料不仅能提高风机的性能，还能延长其使用寿命。

在分析风机叶片的气动特性时，还必须考虑叶片与周围空气流动的相互作用，这种相互作用会改变风场的分布情况，对风机的性能产生影响。因此，综合考虑这些相互作用效应对于确保分析结果的准确性和全面性至关重要。

综上所述，对于通风机叶片的气动特性分析是确保风机设计优化、提升性能和效率的关键步骤，无论是在空调系统、建筑通风、地铁轴流风机还是工业风机应用中，都具有重要意义。通过深入了解和分析叶片的气动表现，我们能为叶片结构设计提供强有力的数据支持，推动通风技术的发展。

## 二、基于进化算法的叶片形状优化设计

优化风机叶片形状的设计基于进化算法是一种高效方法，专注于改善通风机、如空调风机、建筑通风系统、地铁轴流风机以及工业风机（包括低压和中压风机）的气动性能。进化算法，如遗传算法和粒子群优化算法，模仿自然界生物进化的过程，包括自然选择、变异和适应等机制，寻找复杂问题的最优解。这些算法通过编码和变异风机叶片形状参数，如翼型、扭曲角度和弯曲度，生成一系列初始设计方案。每个方案通过气动特性分析模型进行性能评估，以确定其在气流中的表现。

通过选择、交叉和变异等操作，进化算法对解进行迭代优化，逐步产生新的设计集合。在这一过程中，表现良好的设计方案更有可能被选中参与后续的进化，从而持续改善叶片形状。设计一个恰当的适应度函数至关重要，它需综合气动性能指标（如升力系数、阻力系数、扭矩系数）和设计要求（包括材料限制和结构稳定性）。

通过整合多目标优化技术，进化算法在设计风机叶片时能够精确地平衡不同的设计目标，比如同时增加升力和减少阻力，这一策略能够显著提升气动效率和性能。此外，这种方法在优化过程中不仅关注气动特性，也充分考虑了材料的成本效益和结构的稳定性，确保设计的实用性和经济性。例如，通过精细调整叶片的形状和材料，可以在保持优秀气动性能的同时，确保叶片具有足够的强度以承受长时间的运行压力，并且在材料选择上实现成本效益最大化。

在多目标优化过程中，设计团队通过定义一个综合考量各方面因素的适应度函数来评估叶片设计的优劣。这个适应度函数通常包括升力系数、阻力系数、材料成本和结构稳定性等多

个指标，通过不断的迭代计算，进化算法能够在这些多样化的指标之间找到一个最佳的平衡点。随着迭代次数的增加，算法逐步淘汰表现不佳的设计，保留和优化那些能够在综合性能上达到最佳平衡的设计方案。因此，结合多目标优化的进化算法不仅加快了寻找最优解的过程，还确保了最终设计方案在性能、成本和耐久性方面的全面优化，为风机叶片设计提供了一种高效、系统化的解决方案。

优化结果往往不是唯一的，而是一系列有效的设计方案，这允许基于综合考量如气动特性、结构稳定性和材料成本选择最适合的方案。采用基于进化算法的风机叶片形状优化设计不仅能提升风机的性能和效率，还能指导实践中的叶片设计，支持风机技术的发展，为清洁能源的可持续发展做出贡献。

## 三、优化设计方案的仿真实验

仿真实验是确保通风机叶片优化设计方案的有效性和可行性的核心环节。在完成通风机叶片的气动优化设计后，通过仿真实验来测试设计方案的性能和实际效果是必要的步骤。这一过程涉及到建立精确的数值模型，包括叶片结构、风场和仿真计算模型等。

首先，建立一个精确的叶片结构模型是仿真实验的基础，它需要准确反映叶片的几何形状、材料属性和结构连接等因素。这些因素的准确性对于后续仿真实验的成功至关重要，因为叶片的结构特性会直接影响其在风场中的气动表现。其次，创建一个适当的风场模型也非常关键。需要考虑到空调系统、建筑通风、地铁轴流风机或工业风机（包括低压和中压风机）在实际工作条件下的风速、风向和风场分布，通过实地风场数据测量或气象模型模拟来建立一个真实可靠的风场模型。

接下来，仿真计算模型的建立是确保仿真实验精确性的关键所在。这个步骤需要考虑叶片与风场的相互作用以及复杂的气动流场情况。通过计算流体力学 (CFD) 方法，能够模拟叶片在各种工作条件下的气动性能，如升力、阻力和扭矩等指标。

此外，仿真实验还包括在不同工况下的气动性能评估。通过数值模拟，可以评估叶片在各种工作条件下的气动性能，以及优化设计方案相对于传统设计方案在气动性能上的改进，从而评估设计方案的有效性和优越性。除了静态气动性能评估之外，还需要考虑叶片在实际工作条件下的动态响应和稳定性，包括在不同风速下的振动响应、叶片与风场的相互作用效果以及叶片的疲劳寿命等。通过数值模拟和动态分析方法，可以评估叶片在实际工作条件下的性能表现，为设计方案的改进提供依据。

最终，仿真实验可以与实验测试结合进行，以获得叶片在实际工作条件下的实测数据，与数值模拟结果进行比较，进一步确认设计方案的有效性和可行性。这种综合的验证方法能够提高仿真实验的可靠性和准确性，确保优化设计方案在实际应

用中能够达到预期的性能和效果，为通风系统技术的进步和应用提供坚实的技术支持。

#### 四、优化设计在风机中的应用

在通风系统中，优化设计的应用是推动技术进步和提高效率的关键。无论是空调风机、建筑通风、地铁轴流风机，还是工业领域的低压和中压风机，优化设计都能显著提升系统的性能和经济效益。通过改进风机叶片的气动特性和结构设计，不仅可以提高风机的工作效率，还能减少能耗和运行成本，为系统的可持续发展提供支持。

优化设计的一个重点是提高风机叶片的气动效率。通过采用更先进的翼型设计、减少流体阻力、优化叶片的扭矩分布等措施，可以显著提升风机在不同工作条件下的性能，降低启动阻力，并在更宽的工作范围内保持高效运转。这样，风机可以在更低的能耗下实现最大的风量输出，提高整个系统的能量利用率和经济效益。

同时，优化设计还能有效减少风机的运行维护成本。通过选择更耐用的材料、优化叶片和结构的设计，可以降低风机在长期运行中的磨损和疲劳损伤，增强其结构稳定性，从而减少维护和更换的频率和成本。这不仅延长了风机的使用寿命，也为维持低成本运行提供了保障。

此外，随着环境和使用条件的多样性增加，风机的适应性和稳定性变得越来越重要。通过优化风机叶片和整体结构的设计，可以提高其在复杂环境下的性能，如增强抗风能力和操作稳定性，减少因极端气候或复杂应用环境引起的损害和故障。这样的设计改进保证了风机系统在多变条件下的可靠性和持续运行能力。

最后，优化设计也是推动技术创新和行业发展的驱动力。不断地探索和实施新的设计理念和方案，可以提升风机及其系统的整体性能和效率，引领通风技术向更高效、更环保的方向发展。

综上所述，优化设计在通风系统中的应用，无论是提升风机性能、降低运行成本、增强系统适应性和稳定性，还是促进技术创新和行业发展，都具有至关重要的作用。通过实施有效的优化设计策略，可以显著提高通风系统的效率和经济性，支持其在各种应用领域中的可持续发展。

#### 五、未来发展方向与展望

关于通风机领域的未来发展方向与展望，随着技术的不断进步和对环境友好型设备的需求增加，通风设备作为维持室内外空气品质的重要工具，其优化设计和技术创新将持续得到发展和推广。未来的发展趋势主要围绕以下几个方面：

**智能化和自动化设计：**通过融合人工智能、机器学习和大数据分析等先进技术，通风设备的设计将变得更加智能化和自动化。这些技术能够实现通风设备性能的实时监控、数据分析

和故障预测，以及根据室内外环境变化自动调整通风策略，从而提高能效和用户舒适度。

**跨学科的综合优化：**未来的通风设备设计将更加重视流体力学、材料科学、电子工程等多学科的综合应用。通过跨学科团队合作，可以实现通风设备在不同应用环境下的全面性能优化，包括提升能效、降低噪音、减少能耗和提高耐用性。

**新材料和制造技术的应用：**采用新型轻质材料和先进制造技术，如3D打印和自动化装配线，不仅能够提高通风设备的生产效率和质量，还可以实现更为复杂和高效的设计方案，如更优的气流路径设计和结构强度。

**适应性和灵活性的提升：**针对不同的应用场景，如住宅、商业建筑、工业环境和公共设施等，未来的通风设备将更加注重适应性和灵活性的提升，能够满足各种环境和使用需求的定制化设计。

**环境友好和可持续性：**未来的通风设备设计将进一步强调环境友好和可持续性原则，包括采用可再生材料、优化能耗、降低噪音污染和减少对生态系统的影响等，旨在实现更绿色、更可持续的通风解决方案。

综上所述，未来通风设备的发展将是一个多元化、智能化和绿色环保的方向，不断探索和应用新技术、新材料，满足更广泛应用场景的需求，为提升室内外空气品质和人们的生活质量做出重要贡献。

#### 结语：

通风系统的设计和优化是实现高效能源使用和改善环境空气质量的关键。随着技术的进步，特别是在风机叶片设计、仿真验证中的应用方面，我们已经取得了显著成就。通过跨学科合作、应用新材料和制造技术，未来的通风系统将更加智能化、高效和环境友好。展望未来，这些创新不仅将提高通风设备的性能，还将推动能源和环境技术向更加可持续的方向发展，为全球面临的环境挑战提供实际解决方案。

#### [参考文献]

- [1]王明.风机叶片气动特性分析[J].可再生能源, 2020, 28(3): 89-95.
- [2]金月.风机叶片气动外形优化设计和风电场实测研究[J].中国新技术新产品, 2022, (20): 89-91.
- [3]林健辉, 曹雷, 张宏闯等.多翼离心风机叶片参数优化设计对壁挂式空调新风部件的气动性能研究[J].家电科技, 2024, (01): 16-20+26.
- [4]董立国, 王秋芳.非光滑表面风机叶片气动与噪声性能分析[J].企业技术开发, 2018, 37(02): 18-21+25.
- [5]李成良.风机叶片结构分析与优化设计[D].武汉理工大学, 2008.