

# 基于计算流体力学的新型节能阀门设计与性能研究

## Design and Performance Study of New Energy-saving Valves Based on Computational Fluid Dynamics

鲁武桂

Wugui Lu

兰州铝业股份有限公司 中国·甘肃 兰州 730060

Lanzhou Aluminum Industry Co., Ltd., Lanzhou, Gansu, 730060, China

**摘要:** 针对传统阀门在流体控制中存在的能耗较高、流体阻力大等问题, 论文提出了一种基于计算流体力学 (CFD) 的新型节能阀门设计与性能研究。首先, 运用计算流体力学方法分析了阀门内部流场的特性, 为阀门结构的优化提供了理论依据; 其次, 对新型节能阀门的阀芯形状、阀座结构、流道截面等进行了优化设计, 降低流体阻力, 减小泄漏; 然后, 采用 CFD 模拟方法对初始阀门设计和优化后的阀门进行了性能分析, 并与传统阀门进行了性能对比; 最后, 通过实验验证与分析, 证实了新型节能阀门在降低流体阻力和减小泄漏方面的优越性能。本研究为阀门行业的节能技术提供了新的设计思路和实践依据。

**Abstract:** In response to the issues of high energy consumption and large fluid resistance in traditional valve fluid control, this paper presents a novel energy-saving valve design and performance study based on Computational Fluid Dynamics (CFD). Firstly, the characteristics of the internal flow field of the valve are analyzed using Computational Fluid Dynamics, providing a theoretical basis for the optimization of the valve structure. Secondly, the spool shape, valve seat structure, and flow passage cross-section of the novel energy-saving valve are optimized to reduce fluid resistance and minimize leakage. Then, CFD simulation is used to analyze the performance of the initial valve design and the optimized valve, comparing it with the performance of traditional valves. Finally, experimental verification and analysis confirm the superior performance of the novel energy-saving valve in reducing fluid resistance and minimizing leakage. This research provides new design ideas and practical basis for energy-saving technology in the valve industry.

**关键词:** 节能阀门; 计算流体力学; 结构优化; 性能分析; 实验验证

**Keywords:** energy-saving valve; Computational Fluid Dynamics; structural optimization; performance analysis; experimental verification

**DOI:** 10.12346/csai.v1i4.8159

## 1 概述

### 1.1 节能阀门的背景与意义

随着工业化和城市化的快速发展, 能源需求不断攀升。节能环保已成为国际社会共同关注的焦点。阀门是工业流程控制系统中的关键部件, 广泛应用于石油、化工、电力、冶金等领域。传统的阀门设计存在能耗高、流体阻力大、泄漏严重等问题。为降低能耗, 提高能源利用效率, 开发新型节能阀门迫在眉睫。论文将针对这一需求, 研究一种基于计算流体力学 (CFD) 的新型节能阀门设计方法。

### 1.2 计算流体力学在阀门设计中的应用

计算流体力学 (CFD) 是一种基于数值模拟和计算机技术的流体力学分析方法。它可以模拟和分析复杂的流体流动问题, 为阀门设计提供了有力的理论支持。近年来, 随着计算机技术的发展, CFD 模拟的准确性和效率不断提高, 已在阀门设计领域取得了显著的应用成果。通过 CFD 模拟, 设计者可以快速预测阀门的流体性能, 优化结构参数, 从而实现节能降耗的目标。

### 1.3 论文的主要贡献与创新点

论文以计算流体力学为基础, 研究新型节能阀门的设计

【作者简介】鲁武桂 (1988-), 男, 中国甘肃兰州人, 本科, 助理工程师, 从事机械设备管理研究。

与性能。主要贡献与创新点如下：

①采用参数化设计方法，通过改进阀门结构，降低阀门的流体阻力，减少泄漏，从而实现节能目标。

②建立了一种基于 CFD 的阀门性能评估方法，可以快速、准确地预测阀门的流体性能，为优化设计提供依据。

③对比分析了新型节能阀门与传统阀门的性能差异，验证了新型节能阀门的节能效果。

④通过实验验证了 CFD 模拟结果的准确性，为工程实际应用提供了有力支持<sup>[1]</sup>。

## 2 计算流体力学方法与技术

### 2.1 CFD 基本原理

计算流体力学 (CFD) 是一种通过数值方法解决流体流动和传热问题的技术。它基于流体动力学和传热学的基本方程，如质量守恒、动量守恒和能量守恒方程，通过数值逼近和迭代求解来模拟流体流动和传热过程。在阀门设计中，CFD 可以用于分析流体在阀门内的流动特性、流动阻力以及泄漏现象，为优化阀门结构提供理论依据。

### 2.2 流体动力学方程与求解方法

CFD 模拟的基础是流体动力学方程。论文主要采用以下方程：

①连续方程：表示质量守恒，即流体的质量在一段时间内的变化等于流入和流出的质量差。

②动量方程：表示动量守恒，即流体在作用力下的加速度与流体内部的惯性和粘性力之和成正比。

③能量方程：表示能量守恒，即流体的热能在一段时间内的变化等于流入和流出的热能差与内部产生的热量之和。

论文采用有限体积法 (FVM) 进行数值求解。FVM 将计算区域划分为离散的有限体积，通过求解每个体积上的守恒方程，得到流体在整个区域内的流动特性。为提高计算效率和准确性，论文采用了 SIMPLE 算法进行压力 - 速度耦合处理<sup>[2]</sup>。

### 2.3 边界条件设定

边界条件是 CFD 模拟的关键环节，对计算结果具有重要影响。在阀门流体分析中，主要包括以下边界条件：

①入口边界：设置流体的流速、压力或流量，以描述阀门的工作状态。

②出口边界：设置流体的压力或流量，以描述阀门与下游系统的相互作用。

③阀门壁面边界：设置无滑移壁面条件，以描述阀门内部结构对流体的约束。

④对称边界：设置对称平面，以减少计算量和提高计算效率。

### 2.4 网格剖分及收敛标准

网格剖分是 CFD 模拟中将连续区域离散化的过程。论文采用非结构化网格，通过局部加密和网格优化技术，在关

键区域（如阀门内部、流通口附近等）提高网格密度，以获得更精确的流场特性。网格独立性检验是确保计算结果不受网格密度影响的关键步骤。论文通过对比不同网格密度下的计算结果，确定合适的网格密度。

收敛标准是评估计算过程中解的稳定性的指标。论文采用残差收敛法，设定各守恒方程的残差小于预定阈值，以确保计算结果的准确性。同时，监测关键参数（如阀门压降、流量等）的变化，确保计算结果在物理意义上的合理性。

综上所述，论文通过采用计算流体力学方法与技术，对新型节能阀门的流体特性进行了详细分析。下一部分将介绍新型节能阀门的设计过程，包括阀门结构、参数化设计与优化方法，以及结构改进与创新点。

## 3 新型节能阀门设计

### 3.1 阀门结构与工作原理

新型节能阀门主要由阀体、阀芯、阀座、密封件、驱动装置等部分组成。阀体为流体流通通道的主要承载结构，具有良好的强度和刚度。阀芯在驱动装置的作用下沿轴向移动，调节阀门的开度，实现流量控制。阀座与阀芯配合密封，有效降低泄漏。论文针对阀门的内部结构进行了创新设计，以降低流体阻力和减小泄漏。

### 3.2 参数化设计与优化方法

为实现阀门结构的优化设计，论文采用参数化设计方法，将阀门的关键尺寸和形状参数化，通过调整参数值，实现阀门性能的改善。主要参数包括阀芯形状、阀座结构、流道截面等。基于 CFD 模拟结果，采用多目标优化算法（如遗传算法、粒子群算法等），在满足阀门强度和刚度要求的前提下，优化流体阻力和泄漏性能。

### 3.3 结构改进与创新点

论文针对新型节能阀门的结构进行了一系列改进与创新，主要包括以下几点：

①优化阀芯形状：通过改变阀芯的几何形状，降低流体在阀门内的阻力损失，提高流体动力性能。

②改进阀座结构：对阀座的结构进行优化设计，以提高密封性能，降低泄漏率。

③调整流道截面：优化流道截面的形状和尺寸，使流体在阀门内的流动更加顺畅，降低阻力损失。

④引入新型密封材料：采用高性能密封材料，提高阀门的密封性能和耐磨性，降低泄漏。

通过以上结构改进与创新，新型节能阀门在保证阀门强度和刚度的前提下，显著降低了流体阻力和泄漏，实现了节能效果。下一部分将介绍基于 CFD 的阀门性能模拟与评估过程，包括 CFD 模型建立、初始阀门设计性能分析、结构优化后的阀门性能分析以及与传统阀门的性能对比。

### 3.4 驱动装置优化

为提高阀门的控制精度和响应速度，论文对驱动装置进

行了优化设计。针对不同的应用场景和工况要求，选用适当类型的驱动装置，如电动执行器、气动执行器或液压执行器。在选型时，充分考虑驱动装置的功率、扭矩和行程等参数，以满足阀门的开启、关闭和调节功能。

### 3.5 阀门材料选择

为确保阀门的耐用性和抗腐蚀性能，论文对阀门的材料进行了细致的选择。根据工况要求，选用不同材质的金属或非金属材料。在材料选择过程中，充分考虑材料的强度、韧性、耐磨性和耐腐蚀性等性能指标，以满足阀门在各种应用环境下的稳定运行。

### 3.6 智能化控制系统集成

为实现阀门的智能化控制，论文将阀门与现代工业自动化系统相结合。引入传感器、控制器等设备，实现阀门状态的实时监测和远程控制。通过采集阀门的开度、压力、温度等参数，结合先进的控制算法，实现对阀门的精确调节。此外，智能化控制系统还可以实现故障诊断和预警，提高阀门的可靠性和安全性。

### 3.7 可拆卸式结构设计

针对阀门的维护和维修需求，论文采用可拆卸式结构设计。阀门的主要部件采用螺栓、卡箍等连接方式，便于拆卸和更换。在阀门设计中，充分考虑拆卸工具的操作空间，以便在维修过程中方便快捷地拆卸阀门。此外，可拆卸式结构有利于阀门的清洗和检查，从而延长阀门的使用寿命。

## 4 基于 CFD 的阀门性能模拟与评估

### 4.1 CFD 模型建立

为分析新型节能阀门的性能，论文建立了基于 CFD 的阀门流体模型。首先，根据阀门的几何参数生成三维实体模型；然后，对模型进行网格划分，采用非结构化网格以适应复杂的阀门内部结构；接着，设定边界条件，如流体的入口流速、压力、出口压力等；最后，选择合适的数值求解方法，进行流场模拟。

### 4.2 初始阀门设计性能分析

基于 CFD 模型，论文对初始阀门设计进行了性能分析。通过模拟结果，评估了阀门在不同工况下的流体阻力、泄漏率以及其他关键性能指标。这些结果为后续的结构优化提供了重要依据。

### 4.3 结构优化后的阀门性能分析

在对新型节能阀门结构进行优化后，论文再次进行了基于 CFD 的性能分析。通过对比优化前后的模拟结果，验证了结构优化的有效性。优化后的阀门在降低流体阻力、减少泄漏方面表现出显著的改善，实现了节能目标。

### 4.4 与传统阀门的性能对比

为评估新型节能阀门的节能效果，论文将其与传统阀门进行了性能对比。通过对比分析，新型节能阀门在流体阻力、泄漏率等关键性能指标方面均优于传统阀门，表明新型节能

阀门在实际应用中具有较大的节能潜力。

综合以上模拟与评估结果，新型节能阀门在结构优化和性能改善方面取得了显著成果。下一部分将介绍实验验证环节，通过对比实验测量数据与 CFD 模拟结果，验证模拟结果的准确性和可靠性<sup>[3]</sup>。

## 5 实验验证与分析

为验证 CFD 模拟结果的准确性和新型节能阀门的性能优越性，论文进行了实验验证与分析。实验过程包括制造新型节能阀门样品、搭建实验平台、进行性能测试等。

### 5.1 新型节能阀门样品制造

根据优化后的阀门结构设计，采用精密加工技术制造了新型节能阀门样品。在制造过程中，严格控制加工精度和表面质量，以确保样品的质量满足实验要求。

### 5.2 实验平台搭建

论文搭建了一个专门用于测试阀门性能的实验平台，包括流量计、压力传感器、数据采集系统等设备。实验平台可模拟不同的工况，如流体类型、流速、压力等，以全面评估阀门的性能。

### 5.3 性能测试与数据分析

在实验平台上，论文对新型节能阀门进行了性能测试，包括流体阻力、泄漏率等关键指标。测试结果表明，新型节能阀门在降低流体阻力、减小泄漏方面表现出显著的优势。

通过对比实验数据与 CFD 模拟结果，论文对模拟结果的准确性进行了评估。分析表明，实验数据与模拟结果在趋势和数值上均具有较高的一致性，说明 CFD 模拟具有较好的可靠性。

### 5.4 与传统阀门的性能对比实验

为进一步评估新型节能阀门的节能效果，论文将其与传统阀门进行了性能对比实验。实验结果显示，新型节能阀门在流体阻力、泄漏率等关键性能指标上均优于传统阀门，进一步证实了新型节能阀门的优越性能。

通过实验验证与分析，论文证实了新型节能阀门在降低流体阻力和减小泄漏方面的优越性能。实验结果与 CFD 模拟结果具有较高的一致性，说明 CFD 模拟在阀门性能分析方面具有较好的可靠性。本研究为阀门行业的节能技术提供了新的设计思路和实践依据。

## 6 结论与展望

### 6.1 结论

论文针对新型节能阀门的设计与性能研究，采用计算流体力学方法和技术进行了深入分析。通过对阀门结构的优化设计、CFD 模拟与实验验证，本研究取得了以下主要结论：

①通过采用计算流体力学方法，论文对新型节能阀门的流体特性进行了详细分析，为阀门结构的优化设计提供了理论依据。

②论文对新型节能阀门进行了结构优化设计,包括阀芯形状、阀座结构、流道截面等,实现了阀门性能的显著改善。

③基于 CFD 模拟结果,论文对初始阀门设计和优化后的阀门进行了性能分析,并与传统阀门进行了性能对比,验证了新型节能阀门在降低流体阻力和减小泄漏方面的优越性能。

④通过实验验证与分析,论文证实了 CFD 模拟结果的准确性和新型节能阀门的优越性能。实验结果与 CFD 模拟结果具有较高的一致性,说明 CFD 模拟在阀门性能分析方面具有较好的可靠性。

## 6.2 展望

尽管本研究在新型节能阀门的设计与性能方面取得了显著成果,但仍存在一些不足和需要进一步研究的问题:

①在阀门结构优化过程中,可以进一步引入更多的优化算法和技术,以提高优化效果。

②论文主要关注了阀门的流体性能,未对阀门的强度、耐久性等方面进行深入研究。今后的研究可对阀门的整体性

能进行更全面的考虑。

③本研究主要针对单一流体进行了分析,未考虑多相流、非牛顿流体等复杂情况。后续研究可拓展到更多流体类型,以提高阀门的适用范围。

总之,论文通过计算流体力学方法和技术,对新型节能阀门的设计与性能进行了深入研究。研究结果为阀门行业的节能技术提供了新的设计思路和实践依据。未来,将进一步完善节能阀门的设计,推动节能技术在阀门行业的广泛应用。

## 参考文献

- [1] 张宇,李勇,杨青,等.基于计算流体力学的节能阀门设计与分析[J].流体机械,2016,44(9):26-31.
- [2] 高翔,袁钢,刘晓龙.基于CFD的球阀内部流场特性分析[J].石油化工设备与自动化,2019,36(6):60-62.
- [3] 陈金松,刘磊,张长江.基于CFD的蝶阀优化设计与性能研究[J].计算机仿真,2015,32(8):278-281.