

基于粒子群优化算法的磁悬浮离心式血泵参数优化设计

March 2025

摘要

为了解决磁悬浮离心式血泵叶轮的优化问题，提出了一种优化方法。分析了叶轮参数的敏感性，然后建立了参数与流量和溶血率之间的近似模型，并通过粒子群优化算法找到了最佳参数。通过仿真验证了优化方法的有效性。与原始血泵相比，流量增加了 27.9%，溶血率降低了 78.6%。

1 引言

中风是一种发病率和死亡率都很高的脑血管疾病。对于中风，低温输血是一种有效的治疗方法，磁悬浮心脏血泵起着至关重要的作用。在本研究中，以自主研发的小体积离心血泵为研究对象。在确保足够流量的同时，降低溶血水平是离心血泵优化的主要关注点。在不增加叶轮半径的情况下，提出了一种优化方法，以提高流量并降低溶血率。

2 血泵参数的敏感性分析

血泵的参数如图 1 所示，包括叶轮形式、叶片形状以及叶片尖端间隙、回流孔和回流通道间隙的尺寸。这些参数与流量和溶血率之间的敏感性分析如图 2 所示。

3 构建近似模型并搜索优化

根据图 2，叶片形状对流量和溶血率的影响最大，而叶片形状由螺旋角控制。因此，螺旋角、流量和溶血率之间的关系被拟合为一个函数，如图 3 所示。然后，使用 PSO 算法找到在满足溶血率的情况下最大化流量的螺旋角，得到的最佳螺旋角为 72.9° 。

4 仿真验证

上述最优解的设计螺旋角进行了重新建模，然后进行了 CFD 仿真验证，如图 4 所示。拟合模型的预测值和 CFD 计算结果如表 1所示。流量差异为 1.6%，溶血率差异为 2.6%。

表 1: Comparison Between Fitting Model and CFD Calculation

Item	Flow rate (ml/min)	Hemolysis rate
Predicted value	271.0	1.19×10^{-4}
CFD value	275.6	1.16×10^{-4}
Previous value	215.5	5.42×10^{-4}

5 结论

仿真结果验证了优化方法的准确性和优势。与原始泵相比，流量增加了 27.9%，溶血率降低了 78.6%。