

六、预计招收博士生的课题研究方向和研究工作简介

1. 博士论文研究方向： 基于压力驱动的微液滴传输现象及机理研究

选题类别： ☐基础性研究 ☒应用性研究 ☐工程技术攻关研究
☐新开辟的研究方向 ☒已有研究方向的继续 ☐其他

2. 博士论文的选题背景及意义和主要研究内容简介

微流控系统目前在生物化学分析和医学检测等领域有着越来越广泛的应用，从化学反应、药物开发、疾病现场检测、有机物合成到体外细胞试验，微流控系统已成为化学、生物和医学研究不可缺少的试验平台。与单相微流控系统相比，微液滴系统具有如消耗样品和试剂量更少，混合速度更快，不易造成交叉污染，易于操控等优势，因此在污染物快速高通量检测，生物样本分离、培育，观察化学反应进度等领域中有着重要的应用。

目前，液滴微流控系统多采用注射泵作为驱动元件，但是，由于注射泵本身具有响应速度慢、稳态时泵流量长时间存在振荡以及很难同时调节多组反应物的流量等缺点，使得注射泵在实际应用中具有很大的局限性。相反，采用压力驱动的微液滴微流控系统，只需要一个压力源，通过调节压力调节器的设定值，可以控制多组反应物的流量，同时具有较快的动态调节速度。因此，采用压力驱动的微液滴微流控系统得到越来越广泛的深入研究，尤其是压力驱动微流控系统中液滴和整个流场的耦合的流体动力学特性问题。为了开发能够实现液滴传输并实际应用的工具和方法，本研究采用压力驱动代替注射泵驱动。

实际的液滴微流控系统主要涉及液滴形成、液滴检测、液滴加热与冷却、液滴融合与分离、液滴传输等多种功能，由于每种功能都相对复杂，研究人员通常对某一特定的功能开展研究。但是研究表明，在一个集成的微流体系统中同时开展多种功能的研究，具有十分重要的意义。本研究方向提出对液滴形成和微流体系统的稳定性同时进行研究，主要研究微流道的几何形状、边界条件等对液滴传输现象的影响，同时，围绕液滴传输现象对其他功能开展研究。

首先根据应用对象确定液滴形成状态。液滴形成的状态通常有三种：挤压、滴落和喷射，影响液滴形成状态的因素主要有毛细管数(Ca)和两种不相融液体的流量比。其中，毛细管数能够描述两种液体之间粘性剪切力和表面张力的相互作用，液体的流量比可以通过改变气压驱动压力进行调节。本研究方向主要研究通过挤压作用，在微流道中形成体积较大、状态稳定的液滴及其实际应用。在液滴形成属于挤压状态前提下，着重研究微流道的几何尺寸、毛细管数、两种不相融液体的流量比及粘度比等参数，对于液滴在复杂微流道网络中传输的影响。选取不同的连续相和离散相液体，或者改变液体的化学成分，可以得到大范围变化的界面强度和液体粘度比。

为了观察液滴传输现象，研究不同的参数变化对于液滴传输的影响，需要综合试验测试、数值仿真及理论分析等多种方法。在试验测试中，进行图像采集及在线处理，能够得到液滴体积以及相邻液滴之间的区域体积大小。图像采集实现的方式有两种，一种是采用显微镜和高速摄像机得到液滴图像，测量液滴体积；一种是采用电容传感器或微波传感器，通过测量电信号得到液滴体积。此外，可以采用改进的荧光可视化技术测量液滴体积。选取不同的试验条件，可以得到液滴形成、液滴融合与分离及液滴传输等现象，同时，根据试验结果选取相应模型描述有关液滴的行为。此外，通过数值仿真及理论分析，建立液滴的数学模型。采用数值仿真，可以对液滴行为从本质上进行物理分析，但数值仿真模型，仿真计算量较大，很难对局部和个别现象单独仿真分析。因此，对于比较复杂的微流道网络，提出采用简化的一维模型，对液滴行为进行物理分析。提出把一维模型等效为物理中的电路模型的方法，把微流道的流量等价于电流，微流道的压力等价于电压，微流道的流动阻力等价于电阻。

此外，在DNA测序和PCR扩增等应用中需要在循环变化的温度环境下进行转移和停留，转移和停留的位置及时间精确控制是微液滴控制系统的重要指标，因此研究微液滴气压控制系统的调节及控制方法是微液滴系统设计和应用的关键。

3. 该选题所依托的科研项目或研究经费来源情况

本研究方向来自于与企业开展的横向科研项目

六、预计招收博士生的课题研究方向和研究工作简介

1. 博士论文研究方向： 基于深度学习的伺服阀前置级流场小尺度涡旋仿真方法研究

选题类别：

☒基础性研究

☐应用性研究

☐工程技术攻关研究

☐新开辟的研究方向

☒已有研究方向的继续

☐其他

2. 博士论文的选题背景及意义和主要研究内容简介

伺服阀作为电液伺服系统的关键元件，广泛应用于航空航天飞行器、武器装备、自动化生产线等领域的电液伺服系统中，其性能对电液伺服系统的可靠运行起到至关重要的影响。在工作过程中，有时伺服阀力矩马达衔铁组件会产生一种偶发的高频振动，称为自激振荡，同时伴随出现一种几千赫兹单一频率的噪声（又称啸叫）。自激振荡出现时，伺服阀工作不稳定，严重时弹簧管破裂失效，从而导致整个电液伺服系统无法正常工作，甚至引起灾难事故的发生。因此，研究伺服阀自激振荡机理，建立伺服阀自激振荡预测数学模型，在伺服阀设计和生产阶段预测自激振荡，在工作过程中实现自激振荡的抑制，不仅是提高伺服阀工作稳定性、降低伺服阀制造成本、从而提高电液伺服系统的整体性能的关键，而且对于伺服阀中电磁场、机械应力场以及流场之间相互耦合科学问题的进一步探索和研究也是至关重要的。

伺服阀前置级流场由于结构尺寸小，存在高速射流，流速变化范围大，因此存在着严重的流动不稳定、涡流和气穴现象。研究表明，流场中小尺度涡旋的出现是流场中流动不稳定、剪切层振荡和自激噪声产生的根源。但涡旋作为涡动声源，具有强烈的非线性、随机性和不确定性，涉及非定常大雷诺数N-S方程求解，目前尚不能获得全面解析，试验验证仍十分困难。尤其伺服阀前置级流场结构尺寸小于常规压力传感器尺寸，因此无法利用压力测量来验证前置级流场的仿真分析结果。因此，开展基于深度学习的伺服阀前置级流场小尺度涡旋的仿真方法研究，对于提高伺服阀前置级流场的仿真精度，揭示伺服阀前置级流固耦合自激振荡的产生机理是十分关键和必要的。

由于近年来芯片处理性能的巨大提升、用于训练的数据爆炸性增长以及机器学习和信号/信息处理研究的进展，使得深度学习方法可以有效利用复杂的非线性函数和非线性复合函数来学习分布和分层的特征表示，因此在计算机视觉、语音识别自然语言理解以及音视频处理和机器人学等领域得到越来越广泛的应用。而用于流场流动的预测研究还处于起步阶段，基于大量流场流动分布数据进行学习的流场流动仿真方法对于提高流场流动仿真的精度、简化实验验证具有重要意义。

主要研究内容：

1基于深度学习的伺服阀前置级流场仿真方法研究

主要包括伺服阀前置级流场的流固耦合仿真分析，不同条件下伺服阀前置级流场流固耦合仿真结果的分析整理，伺服阀前置级流场仿真的深度学习方法比较及程序编写，基于伺服阀前置级流场流固耦合仿真结果的深度学习，流场仿真深度学习方法的流动实例验证以及实验验证。

2基于小尺度涡旋的伺服阀前置级流场流动稳定性机理研究

主要研究剪切层中小尺度涡旋的产生机理，从而揭示伺服阀前置级流场的流动稳定性规律，为伺服阀自激振荡和噪声的研究提供理论依据。对伺服阀前置级流场开展基于小尺度涡旋的流动特性仿真研究，分析流场中小尺度涡旋和流场压力脉动以及流动稳定性的关系，研究伺服阀前置级流场中剪切层振荡的产生条件以及流动规律。开展伺服阀前置级流场流动稳定性观测试验研究，记录和测量不同结构参数和不同工作条件下伺服阀前置级流场的流动特性和压力脉动特性。

3. 该选题所依托的科研项目或研究经费来源情况

本研究方向来自于国家自然科学基金项目