

BIPTMBG 系列微气泡发生器及其测试评价系统

微气泡(microbubble)一般指直径为数十个 μm 的气泡, 与传统的大气泡(coarse bubble)和小气泡(fine bubble)相比, 微气泡具有一些特殊的表面性质(如表面电荷、吸附性等)和行为特性。微气泡的形成及微气泡的物理化学性质, 已经被人们不同程度地应用于油气钻井、矿物浮选、船舶减阻、医学超声造影、生活保健、水产养殖、污水处理、反应过程强化等领域。对于气液传质过程而言, 微气泡在液相中的上升速度很慢, 停留时间较长; 同时微气泡的比表面积较大, 增加了气液传质界面的面积, 能够大幅度提高气液传质速率和效率、降低运行成本, 因此微气泡的研究和应用已逐渐成为环境污染治理领域中的热点。

◆ 微气泡产生方式简述

为了能使微气泡的特殊性质能被充分利用并达到各行各业的目的和良好期望, 首先就必须产生数量足够、尺寸符合要的微气泡。根据产生机理的不同, 微气泡发生技术可以分为溶气(Dissolved Gas)析出气泡、引气(Induced Gas)制造气泡、微孔介质(Micro-porous Media)发泡、旋流接触(Swirl Shear)发泡和电解(Electrolysis)析出气泡等五类, 前两类在工业实际中应用较多, 典型的应用范例就是溶气气浮和引气气浮。溶气析出气泡是将气体在一定压力下溶入水中, 然后将溶气水减压, 溶解的气体以微气泡形式从水中释放出来; 引气制造气泡是通过文丘里射流或叶轮旋切所产生的负压效应吸入气体, 并进一步将其破碎成微气泡。客观而言, 常规溶气析出气泡存在系统组成较为复杂(压缩机、填料溶气罐、溶气释放器等)、运行维护成本较高等不足; 引气制造气泡虽然设备相对较为简单, 但存在所得到的气泡尺寸较大且均匀度不高等不足, 影响了其大范围推广应用; 基于气液混合泵的微气泡产生技术虽因具体结构不同而涉及到溶气析出气泡、剪切接触发泡等机理, 但对于含油污水处理等场合往往会使得剪切乳化现象更为严重, 反而不利于后续分离过程的进行, 况且国内尚未自主掌握高性能气液混合泵的设计和加工制造技术。

◆ 管式微孔介质微气泡发生器的结构与工作原理

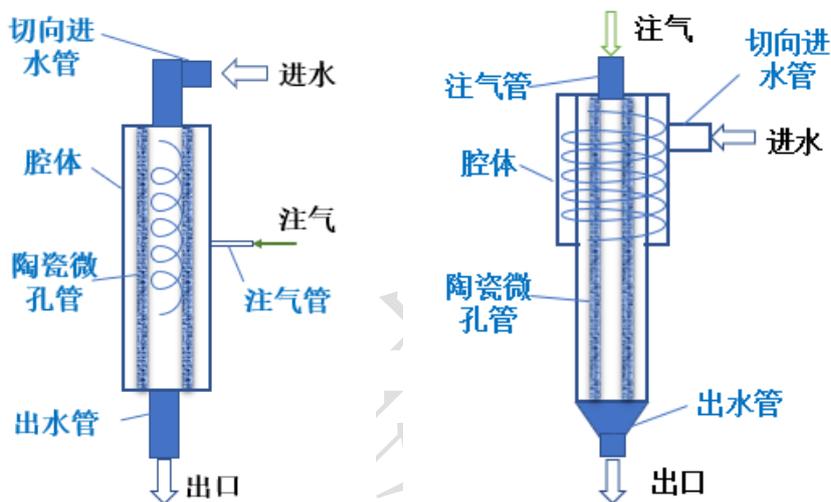
随着材料成型和加工制造技术的不断进步, 具有足够孔隙率、强度、刚度、耐腐蚀性、耐磨性的微孔介质材料不断涌现, 微孔介质发泡技术因系统组成简单等优点而日益受到关注。该技术的工作原理是, 当高压气体通过微孔介质层时, 被其上的微孔切割成细小的气流, 进而在液体的流动剪切或冲刷作用下形成微气泡。从微孔介质层的材料来看, 有刚玉、橡胶、高密度聚乙烯(PE)、金属粉末烧结、陶瓷等, 常用冶金粉末、陶瓷或塑料作材料, 再掺以适当的酚醛树脂一类的粘合剂, 在高温下烧结而成; 从微孔介质层的形状来看, 有圆管状、平板状、覆盘状、钟罩状、圆拱状、球头状等。例如, 污水好氧生化处理中所用的刚玉微孔曝气器、高密度聚乙烯覆盘形微孔曝气器、橡胶膜微孔曝气器等就属于典型的微孔介质发泡技术产品。

起初是出于与油田采出水除油处理用气旋浮装置配套的迫切需求, 本研究团队自 2011 年开始致力于基于微孔介质的管式微气泡发生器设计研发, 先后基于微孔介质发泡技术设计研制了具有自主知识产权

权的 BIPTMBG-M- I、BIPTMBG-M- II 和 BIPTMBG-M-III 型微孔管式微气泡发生器。

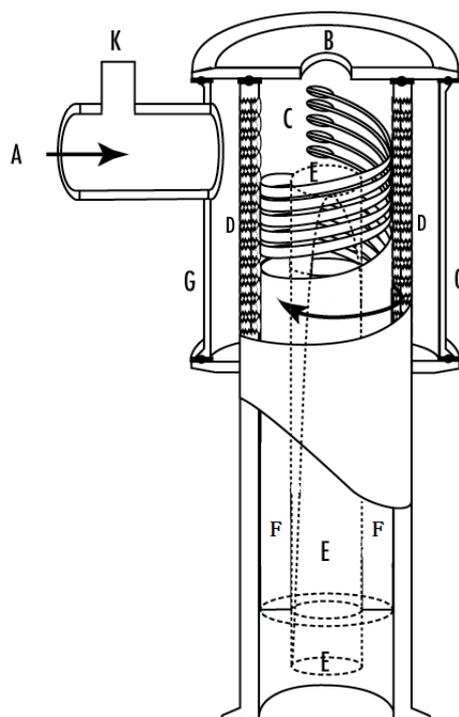
BIPTMBG-M-I 型微孔管式微气泡发生器按工作原理又可称为“内腔走水-外环注气”式微气泡发生器，主体结构由切向进水管、腔体、陶瓷微孔管等组成，水流切向进入微孔管内部，带压气体由环形气腔经微孔管外壁注入管内，随后旋转水流切割从微孔管内管壁处溢出的连续细小气流，进而形成大量的微气泡。

BIPTMBG-M-II 型微孔管式微气泡发生器又可称为“内腔注气-外环走水”式微气泡发生器，当高压气体通过微孔管时将被微孔切割成微小气流，微小气流在液体的旋流剪切作用下将会形成微气泡，并与液体混合形成气液混合物。为了减小微气泡在液体中聚并形成大气泡的机率，在微孔管外部加装了金属多孔整流管，通过整流管上的众多切向小孔后，液体的旋流剪切作用将会增强，产生的微气泡及时的被液体冲刷带走，使微气泡遍及旋流液体层。



BIPTMBG-M-III 型微孔管式微气泡发生器(Micro-Bubble Generator)是一种结构紧凑、高效节能的微气泡发生设备，采用立式多层管状结构布局，主要由进液口、加药口、进气口、气液混合物出口、外部环形压力腔室、中间环形旋流腔室、微孔介质芯管等组成。待处理的污水等液体经进液口 A 进入外部环形压力腔室 G 中(也可以根据需要自加药口 K 注入化学药剂)，然后经众多的切向小孔 C 进入中间环形旋流腔室 F 中，形成流态较规整的旋流液体场(也可以根据处理水量和预期旋流强度采用旋塞 D 将切向小孔 C 封堵一部分)；气体自进气口 B 进入微孔介质芯管 E 中，当压力略高于进水压力时将经微孔介质芯管自内向外流动，并被其上的微孔切割成细小的气流，在中间环形旋流腔室 F 中自上而下旋转流动液体的流动剪切或冲刷作用下形成微气泡，并使其遍及旋流液环层；最终所形成的液体-微气泡混相流体自中间环形旋流腔室 F 的下端排出。

显然，在结构设计参数一定的情况下，气体流量、液体流

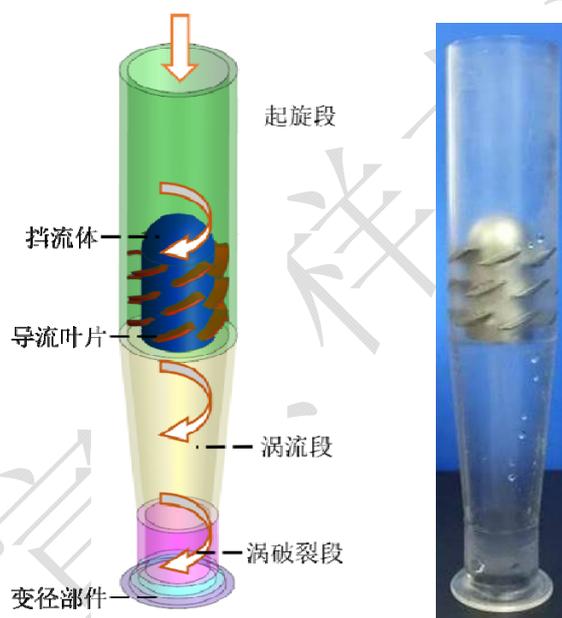


量、液体与气体之间的压力差、微孔介质芯管的孔隙度等因素将直接影响 BIPTMBG-M-III 型微气泡发生器所产生微气泡的质量和液体-微气泡混相流体的特性。

◆ 旋流剪切式微气泡发生器

为进一步提高大处理量下微气泡发生器的结构紧凑性，降低微孔介质材料被污水堵塞的风险，同时提高成泡质量。本研究团队基于前期工作，成功研发了基于旋流剪切作用的 BIPTMBG-S-I 和 BIPTMBG-S-II 型轴向旋流式微气泡发生器。

BIPTMBG-S-I 型轴向旋流式微气泡发生器由起旋段、涡流段和涡破裂段组成，涡破裂段后设置有变径部件。在起旋段内，柱状部分为挡流体，导流叶片安装在挡流体，与起旋段内径之间形成环空间隙。气液混合物由起旋段前的入口进入气泡发生器，遇到挡流体后由挡流体与起旋段内壁形成的环形空隙通过，流体的速度增加，压力降低。在此过程中，流体不断撞击导流叶片，并从导流叶片之间的缝隙中呈螺旋状流动，致使流体的湍动程度和湍动能耗散率急剧增加，分散相气体形成大量的微米级气泡。



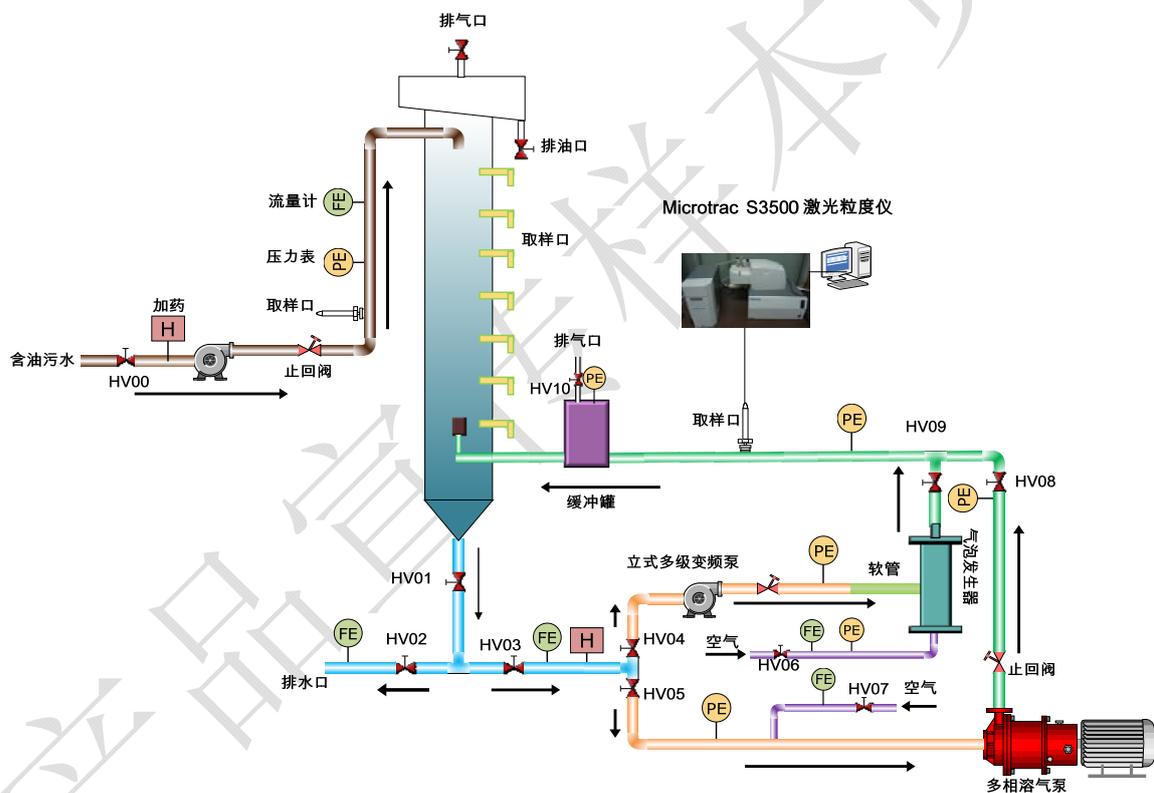
BIPTMBG-S-II型轴向旋流式微气泡发生器的主体结构由环形注气部件和气泡破碎部件组成，环形注气部件由内环和外环组成，气泡破碎部件由文丘里结构和轴向起旋元件组成。工作过程中，压缩空气由注气管进入注气部件，并在水流作用下生成初始气泡；混合有离散气泡的气液两相流随后进入气泡破碎段，并在水力剪切破碎作用下生成微米级气泡。

◆ 微气泡性能测试评价实验平台

当前微纳米气泡粒径的主流测试方法包括基于高速摄影和图像处理软件的图像测量技术、基于电子显微镜的显微测量技术、基于激光衍射的激光粒度仪、基于激光多普勒效应的 PDA 和电子探针等方法。本研究团队经过多年的积累，拥有高速摄影、电子显微镜、激光粒度仪、PDA、FBRM、PVM 等多款先进仪器可用于微纳米气泡的粒径测量，并具备微气泡取样测量、在线异位测量和在线原位测量的实验条件。

为了对各种微气泡发生技术及其所对应产品的工作性能进行测试评价，研制搭建了微气泡性能测试

评价实验平台。该测试评价实验平台具有如下功能：一是对各种微气泡发生器或各种气液混合泵的运行可靠性和工作特性进行直接评估，在清水介质循环流动条件下，借助美国麦奇克(Microtrac)有限公司S3500 激光粒度仪等对所产生的微气泡直接进行在线实时测试，得到微气泡粒径大小的量化分布数据；二是通过在盛装清水的有机玻璃材质气浮柱中，目测追踪单个微气泡从下部浮升至顶部特定高度段所占用的时间，借助 Stokes 公式推算微气泡的平均粒径下大小，从而对相关仪器的粒径测试值进行验证；三是通过在盛装清水的有机玻璃气浮柱中，借助溶解氧(DO)测量仪，对特定时间段下不同气浮柱高度取样口水样的溶解氧含量进行测试，以间接评价所产生微气泡的质量；四是借助所研制的释气量测试系统，对比分析不同微气泡发生技术转化生成微气泡所对应的气体有效利用率，间接评价所产生微气泡的质量；五是自有机玻璃气浮柱的上部注入污水，在关闭底部排水阀的情况下，按照一定的回流比进行循环处理，并借助各种微气泡发生技术在回流液体中同步产生微气泡，通过对比特定回流循环时间前后入口污水、不同气浮柱高度取样口水样中污染物含量和特性(如含油量、油滴粒径分布等)的变化情况，间接评价所产生微气泡的质量。



◆ 主要技术特点与指标

- ✓ 实验平台设计压力： $\leq 1.0\text{MPa}$ ；
- ✓ 实验平台使用温度： $\leq 90^{\circ}\text{C}$ ；
- ✓ 液体循环流量： $2.5\text{ m}^3/\text{h}$ ；
- ✓ 气浮柱液体处理量： $2.0\text{ m}^3/\text{h}$ ；
- ✓ 供电电源： 220VAC 或 24 VDC

- ✓ 配套专用测试仪器:美国麦奇克(Microtrac)有限公司 S3500 激光粒度仪、英国马尔文(Malvern)仪器有限公司 Mastersizer 2000 型激光粒度仪;
- ✓ 气源气体: 空气、氮气、氧气、天然气、烟气等;
- ✓ 具有与 4、10、25、50、100、150、200、250、300 m³/h 流量匹配的设计加工能力。

◆ 主要用途

- ✓ 在市政污水或工业废水生化处理中用于曝气充氧、在物化处理用于臭氧氧化等;
- ✓ 在陆地或海上油田采出水达标处理环节,代替常规加压溶气气浮设备、水力喷射诱导气浮设备或叶轮旋切诱导气浮设备中微气泡的产生方式,大幅度减少占地面积或建设投资;
- ✓ 用于炼化污水处理场“老三套”工艺流程(隔油+浮选+生化处理),通过直接在隔油池入口处注入大量微气泡,以在重力沉降的基础上进一步提高除油效率;通过代替浮选段中微气泡的传统产生模式,大幅度减少占地面积或建设投资;
- ✓ 对陆地油田污水沉降罐、海上油田 FPSO 水工艺舱、海上油田外排水缓冲罐进行改装,增加微气泡浮选功能,以在重力沉降的基础上进一步提高除油效率;
- ✓ 在脱油型水力旋流器的入口含油污水中简易高效地注入微气泡,提高除油效率;
- ✓ 用于“气浮+生物过滤”工艺处理城镇污水二级出水,大幅度减少占地面积或建设投资;
- ✓ 用于化工、环保、电力、医药、食品、船舶等其他行业中的高效液-固、液-液分离过程或反应过程强化(如油品加氢精制等)。

项目联系人: 陈家庆 博士 教授 13911586175 010-81292722

Jiaqing@bipt.edu.cn

联系地址: 北京市大兴区黄村镇清源北路 19 号北京石油化工学院;

邮政编码: 102617



<https://separation-cn.bipt.edu.cn/>