

2023 年
第 23

先进制造 与新材料

ADVANCED MANUFACTURING
& NEW MATERIALS BRIEFING



上海科学技术情报研究所
上海市前沿技术发展研究中心
技术与创新支持中心(TISC)

中空纤维膜材料推动高端膜产品研发

编者按

中空纤维膜是功能纤维材料与分离膜技术交叉形成的新型膜技术产品，具有单位体积装填密度高、过滤面积大、占地面积小、成本相对低等优势，成为分离膜领域中发展最快、规模最大、产值最高的一类新型膜技术产品。中空纤维膜技术已成为环境保护、资源回收、新能源产业等领域共性关键技术和传统产业升级的重要共性支撑，被发达国家列入重点优先发展方向，也是我国战略新兴产业、科技创新发展规划的关键组成。

本期《先进制造与新材料》简报对中空纤维膜的相关技术、应用、产业动态进行介绍。

目 录

技术.....	1
国内外中空纤维膜技术发展分析.....	1
利用具有精准-截止超微孔的碳中空纤维膜实现出色的氢分离...3	
应用.....	4
国内外中空纤维膜应用分析.....	4
ECMO 用 PMP 中空纤维膜制造难度大 我国仍处于研发过程中. 6	
产业.....	8
国内多家高端膜材料企业获大笔融资.....	8
赢创计划进一步扩大中空纤维膜产能.....	9

技术

国内外中空纤维膜技术发展分析

一、中空纤维超/微滤膜

中空纤维超/微滤膜是我国产量最大、发展最为成熟、市场竞争力最强的膜品种。2018年全球中空纤维超/微滤膜市场规模约为935亿元，2020年到1232亿元；2018年我国中空纤维超/微滤膜市场规模约为196亿元，2020年达到267.9亿元。

国际中空纤维超/微滤膜行业生产技术已基本成熟，形成需求稳定、产业充分竞争的市场格局；美国、日本、欧洲等发达国家和地区在高性能中空纤维超/微滤膜产品和技术创新能力上处于领先地位。

国内中空纤维超/微滤膜优势企业有北京碧水源科技股份有限公司、天津膜天膜科技股份有限公司、海南立昇净水科技实业有限公司、盐城海普润科技股份有限公司、北京赛诺膜技术有限公司、山东招金膜天股份有限公司等；通过原始创新与技术集成，推出各具特色的新技术、新工艺、新产品，大量应用于国内外大型水处理工程。

未来，我国应继续强化在中空纤维超/微滤膜领域的产业和技术优势，重点加强中空纤维超/微滤膜绿色制备技术与特种分离膜新材料研究、高性能中空纤维超/微滤膜组件及其集成技术研究，推动中空纤维超/微滤膜产业的数字化转型。

二、中空纤维纳滤膜

由于中空纤维纳滤膜制备技术的复杂性，高性能中空纤维纳滤膜还未能实现工业化生产。国外长期从事中空纤维纳滤膜开发的膜企业有美国科氏工业集团、德国赢创工业集团、新加坡蓝海机械有限公司等。我国中空纤维纳滤膜的研发主体以高等院校、科研院所为主，如天津工业大学与天津膜天膜科技股份有限公司等合作开展了中空纤维纳滤膜产业化探索，建成年产能为 $4 \times 10^5 \text{m}^2$ 的实验生产线，实现了界面聚合法中空纤维纳滤膜的连续稳定制备。

未来，我国应继续加快中空纤维纳滤膜的产业化进程，重点开展中空纤维纳滤膜高精度一体化连续制备技术与装备的开发研究，力争在世界率先实现中空纤维纳滤膜的规模化生产。

三、中空纤维反渗透膜

我国中空纤维反渗透膜无论是在研究深度还是应用广度方面都落后于国外同类产品。反渗透膜分离技术已成为海水和苦咸水淡化、纯水和超纯水制备的主流技术，在全球海水与苦咸水淡化市场的比重超过 70%。2019 年，全球反渗透膜产值已超过 60 亿美元。我国是全球最大的反渗透膜消费国，占全球总消费量的 26%。日本东洋纺公司是当前国际上唯一的中空纤维反渗透膜（醋酸纤维素膜）供应商；天津膜天膜科技股份有限公司开发了年产能为 $4 \times 10^5 \text{m}^2$ 的中空纤维反渗透膜实验生产线，但产品分离性能仍待提升。

未来，我国应继续加强中空纤维反渗透膜专用聚合物材料合成与结构控制等基础研究，开展高性能中空纤维反渗透膜连续化制备关键技术、高效率组件填充工艺理论等研究。

四、中空纤维疏水膜

疏水膜技术已经成为资源、环境、新能源及传统产业物料分离纯化的重要手段，在生物医药领域展现出强劲的发展势头，相应应用市场规模达 100 亿美元。

国外在中空纤维疏水膜产业方面具有明显的技术优势，疏水膜生产企业主要有日本住友电气工业株式会社、三菱丽阳株式会社，美国明尼苏达矿业及机器制造公司（3M）、默克密理博公司、戈尔公司等。国外膜科技与产业界逐步形成了以疏水膜微结构调控与超疏水膜制备、新型膜接触器设计与过程强化方法、面向新应用领域的疏水膜过程工艺开发等为主的研发布局。

我国中空纤维疏水膜产业起步虽晚，但已初具规模，逐步建立了从疏水膜研发、产业化到工程应用的技术与产业链，并在超疏水膜技术方向初步形成领先优势。

未来，我国应继续加强高性能中空纤维疏水膜材料制备关键技术、中空纤维疏水膜组件、膜过程与强化方法、装备-集成系统和应用关键技术等研究，特别是开展中空纤维疏水膜在人工肺等生物医药领域的专项研发。

五、无机中空纤维膜

国外无机中空纤维微滤、超滤、纳滤膜已经实现规模化生产。2016 年全球中空纤维陶瓷膜市场规模为 9900 万美元，预计 2025 年达到 2 亿美元。国外已产业化的无机中空纤维膜主要是 Al_2O_3 陶瓷和不锈钢中空纤维膜，生产和研发企业集中在美国、日本、欧洲。

目前，我国无机膜以管式膜为主，无机中空纤维膜的核心制备技术及生产设备仍未能自主掌握。国内无机中空纤维膜还未见商业化产品，高性能无机中空纤维膜产业缺口巨大。

未来，我国应重点加强无机中空纤维膜制备技术与装备、高性能无机中空纤维膜新产品及高端应用研究以及无机中空纤维膜工程应用技术、装备系统开发等。

资料来源：肖长发,何本桥,武春瑞,等.我国中空纤维膜技术与产业发展战略研究[J].中国工程科学, 2021(002):023.

利用具有精准-截止超微孔的碳中空纤维膜实现出色的氢分离

天津大学 Michael D. Guiver 和挪威科技大学 Xuezhong He 合作合成了一种简单、可扩展的方法来制备纤维素基非对称中空纤维膜（CHFMs），该膜具有 3-4Å 的超微孔，可实现优异的 H₂ 分离。

具有刚性和均匀孔结构的碳分子筛分（CMS）膜是高温高压分离的理想选择，例如在蒸汽甲烷重整过程中的提纯氢气。研究人员通过干-湿纺丝工艺制备出 CHFMs。研究发现，在纤维素前驱体碳化之前，CHFMs 的制备过程不需要复杂的预处理来避免孔坍塌。实验结果显示，130°C 时，CHFMs 对 H₂/CO₂ 的选择性达到 83.9（H₂/N₂ 的选择性 >800，H₂/CH₄ 的选择性 >5700），表明 CHFMs 具有区分小气体分子（H₂）和大气体分子（H₂）的精确截止值。此外，CHFMs 还具有出色的混合气体分离性能以及耐水蒸气和高压的稳定性。

从纤维素前驱体制备高性能 CMS 膜的方法为氢相关分离研究开辟了一条新的途径。

资料来源：Lei, L., Pan, F., Lindbråthen, A. et al. Carbon hollow fiber membranes for a molecular sieve with precise-cutoff ultramicropores for superior hydrogen separation. Nat Commun 12, 268 (2021)

应用

国内外中空纤维膜应用分析

一、水处理应用

我国具有世界最大的中空纤维膜水处理应用市场。世界水处理市场规模已超过 1 万亿美元，我国“十三五”时期的污水处理市场规模达到 1.39 万亿元。膜法水处理市场份额快速增长，以中空纤维膜为代表的膜分离技术在世界膜法水处理市场占据绝对主导地位且呈快速增长态势。

随着膜材料成本的持续下降、工艺稳定性的不断提高，加拿大、新加坡、英国、澳大利亚、以色列等国家先后建成了不同规模的超滤水厂；以内衬超滤膜为核心的膜生物反应器（MBR）技术凭借出水水质好、占地面积小、运行控制方便等优势，已在市政污水和工业废水深度处理与回用方向得到广泛应用。

未来，为适应环境和资源高质量发展要求，我国应加强基于界面过程的膜污染理论与控制策略研究，开发面向污水资源化与能源化的水处理新技术以及面向健康饮水的关键技术，研制高效模块化的膜装备，构建“智慧水务”系统。

二、石油化工应用

国际上，中空纤维膜在石油化工领域已经得到广泛应用，在石油炼化、油田采出水和石化废水处理、石化制品及衍生品生产、渗透汽化分离、高纯气体制备等方向拥有广阔的市场。在我国石化行业，中空纤维膜应用集中在油田采出水和石化废水处理、有机溶剂纯化回收处理、气体分离中挥发性有机物（VOCs）回收处理等方向。

国内涉及石化领域应用的中空纤维气体分离膜企业主要有大连天邦膜技术国家工程研究中心有限责任公司、大连欧科膜技术工程有限公司等，但年产值规模较小。

未来，我国应加强在石化废水深度处理、气体分离方向的中空纤维特种膜材料、膜工艺及过程强化研究，开展分离膜组件、装备和产品开发，实现石化废水资源化利用、气体分离、有机气液物质的分离纯化等。

三、生物医药应用

中空纤维膜在人工肾（血液透析）、人工肺（氧合膜）、血液成分分离、中西药药剂分离纯化等生物医药领域得到广泛应用。2019年全球血液透析市场

规模达到 800 亿美元，预计 2025 年达到 1015 亿美元。2018 年中国血液透析市场规模为 335 亿元，预计到 2025 年达 1125 亿元。国际知名的中空纤维血液透析膜供应商有德国费森尤斯集团、美国百特国际有限公司、美国达维塔保健合作公司、日本旭化成株式会社、德国 MEMBRANA 公司等。

我国从事中空纤维血液透析膜生产的企业有山东威高集团、广州贝恩医疗设备有限公司、广东宝莱特医用科技股份有限公司等；国产产品约占我国血液透析膜市场份额的 40%，但核心技术及原材料仍源于国外。新型冠状病毒肺炎疫情期间广为人知的心肺系统重症治疗设备——体外膜肺氧合（ECMO，即人工肺），全球仅有德国迈维柯公司、美国美敦力公司、英国索林公司等 10 余家厂商具有研发生产能力，而我国在相关领域仍存在技术空白，亟待突破。

未来，我国应加强血液相容性中空纤维血液透析膜制膜原料及膜表面处理技术研究，支持中空纤维氧合膜技术和产业的科技创新、药物分离纯化和精密分离用中空纤维膜技术创新。

四、食品饮料应用

在数十年间，中空纤维膜在食品饮料领域的应用迅速发展，涉及果汁饮料、

乳品、豆制品、酒类等产品品质与生产效率提升以及食品饮料行业废水减排与资源回收等。我国中空纤维膜技术在食品饮料领域的应用与国外基本同步，蒙牛乳业（集团）股份有限公司、伊利股份有限公司、光明乳业股份有限公司、北京汇源食品饮料有限公司等规模较大的饮品企业皆已使用膜技术提升产品品质。

我国自主研发的中空纤维超/微滤膜与国外同类产品相比，膜孔径分布较宽，分离精度较差，抗污染性能不强；附加值较高的食品饮料等高端中空纤维超/微滤膜市场多被国外品牌占据。未来，我国应加强食品级专用中空纤维膜材料及绿色制备技术、高精度抗污染中空纤维膜产品、膜耦合集成与分级分离技术的研究。

资料来源：肖长发,何本桥,武春瑞,等.我国中空纤维膜技术与产业发展战略研究[J].中国工程科学, 2021(002):023.

ECMO 用 PMP 中空纤维膜制造难度大 我国仍处于研发过程中

体外膜肺氧合（ECMO）在心肺危重患者抢救方面意义重大，其生产技术壁垒高，一直以来我国市场对外依赖度大，由于价格高昂，人均保有量极低。

ECMO用PMP中空纤维膜，是一种高值医用耗材，是以聚4-甲基-1-戊烯（PMP）为原料加工制成的分离膜，外形纤维状，具备有效面积大、分离效率高的优点，是体外膜肺氧合（ECMO）设备的核心组成部分，功能是实现血液中氧气与二氧化碳的交换。

体外膜肺氧合（ECMO），是为重症心肺功能衰竭患者提供持续体外呼吸的医疗设备，在重症加强护理病房（ICU）中地位重要，产品主要由动力泵、氧合器、各类管路、监测系统等组成，其中，氧合器最为关键，而中空纤维膜是氧合器的核心材料。

ECMO用中空纤维膜经过多年发展，至今有三代产品。第一代ECMO用中空纤维膜采用固体硅胶膜，存在排气困难的缺点；第二代ECMO用中空纤维膜采用微孔中空纤维膜，存在血浆渗漏的缺点；第三代ECMO用中空纤维膜采用固体中空纤维膜，避免了前两代产品的缺点，综合性能优异，PMP中空纤维膜是其中最具代表性的产品。

新思界产业研究中心发布的《2023-2028年中国ECMO用PMP中空纤维膜行业市场深度调研及发展前景预测报告》显示，ECMO用PMP中空纤维膜所使用的原材料是PMP（聚-4-甲基-1-戊烯），全球仅有日本三井化学等少数企业可以生产，产量有限，价格较高；PMP中空纤维膜制造难度大，全球仅有美国3M旗下Membrana公司可以量产，供应量有限，价格高昂。我国不具备PMP量产能力，ECMO用PMP中空纤维膜还在研发过程中，市场需求依靠进口。

体外膜肺氧合（ECMO）在心肺危重患者抢救方面意义重大，其生产技术壁垒高，一直以来我国市场对外依赖度大，由于价格高昂，人均保有量极低。

2020年新冠疫情爆发，为抢救重症患者，我国 ECMO 需求爆发，政府对 ECMO 国产化重视度不断提升。2023 年 1 月初，我国首台国产体外膜肺氧合（ECMO）获批上市，未来 ECMO 市场国产化率有望逐步提升，国产 ECMO 用 PMP 中空纤维膜需求更加迫切。

现阶段，我国已有南京工业大学、南京大学、复旦大学、东华大学、西北大学、暨南大学、广东工业大学、东莞科威医疗器械有限公司、西安西京医疗用品有限公司、深圳汉诺医疗科技有限公司等高校、企业正在研究开发 ECMO 用 PMP 中空纤维膜。若未来有国产 ECMO 用 PMP 中空纤维膜获批上市，将大幅降低 ECMO 生产及使用成本，率先推出 ECMO 用 PMP 中空纤维膜产品的企业将具备先发优势。

资料来源：新思界产业研究中心.《2023-2028 年中国 ECMO 用 PMP 中空纤维膜行业市场深度调研及发展前景预测报告》. <http://newsijie.com/baogao/2023/0525/11330802.html>

产业

国内多家高端膜材料企业获大笔融资

膜材料行业在生物制药中必不可少，卡住产业链关键位置。在血液透析器、ECMO 等产品中直接决定了产品性能。膜材料技术壁垒也难以突破，尤其是达到大规模量产水平。国内高端滤膜依靠进口供应，膜过滤滤芯价格曾高达 300 美元一只，由于缺乏国产供应商，很多产品每年都有 3%-5% 的价格涨幅。

在供应链安全意义上，中空纤维膜曾带来供应链危机。2022 年 2 月，药明生物被美国商务部纳入未经核实名单（UFL），其中被限制出口的产品就是中空纤维过滤器和一次性生物反应器。实际上，国内生物医药行业和医疗器械行业行至当下，留给行业突破的问题越来越棘手，溯洄从之，道阻且长，滤膜材料正是这一产业挑战下的缩影。

在高端滤膜产品供应链焦虑背景下，国产企业开始斥巨资投入。国内市场也从空白到成长出多家膜材料企业，包括杭州科百特、关怀医疗、上海翊科、艾里奥斯、赛普过滤等。

其中科百特致力于各种微孔过滤膜，纳米纤维和超滤膜的研究和开发，为全球客户提供创新的过滤纯化解决方案，其产品和技术广泛应用于生物制药，化学制药，医疗器械，半导体集成电路等多个行业。

关怀医疗致力于打造膜全场景解决方案，其膜产品覆盖基因治疗、疫苗生产、抗体药等生物制药高端医疗领域，覆盖成熟的血液净化市场和潜力的ECMO市场，同时覆盖水处理市场和食品医疗的过滤耗材市场。

上海翊科拥有导管和中空纤维膜两大技术平台，在生物医用膜材料领域，上海翊科已通过了高通、低通血液透析膜的下游客户测试。

艾里奥斯成立于2021年，获得经纬创投和君联资本投资，艾里奥斯专注于制药过程工艺配套技术产品的开发和应用，并致力于为制药企业提供符合国内外法规要求的高质量的分离、纯化解决方案。

山外山血液透析于2023年7月发布公告，拟以不超过2.7亿元自有资金设立全资子公司重庆圆中圆生物材料有限公司。山外山表示，设立该子公司主要为公司耗材产品提供膜材料，并负责耗材产品塑料橡胶产品的加工，方便公司相关耗材进行注册和申报，同时，降低耗材产品成本，有利于进入集采竞争。

资料来源：杨雪. 卡住千亿市场命脉的黄金薄膜，君联、经纬都在投.20230719.
<https://news.pedaily.cn/202307/517909.shtml>

赢创计划进一步扩大中空纤维膜产能

赢创公司计划进一步扩大奥地利舒尔夫林和兰精的 SEPURAN® 中空纤维膜产能，建设一条全新生产线。2023 年年初，赢创已在舒尔夫林投运一座全新的中空纤维纺丝厂。

舒尔夫林和兰精的建设项目预计于 2024 年初开工，2025 年上半年竣工。赢创的气体分离膜可应用于沼气处理和氢气提纯，在去化石能源的过程中发挥着重要的作用。随着可再生能源的兴起，气体分离膜业务需求稳步增长。

赢创 SEPURAN® 气体分离膜技术的核心是基于高性能聚合物的中空纤维丝，这种材料可承受极端的压力和温度负荷。本次产能扩张计划包括新建一座中空纤维纺丝厂，以及扩建舒尔夫林基地的基础设施，以满足生产气体分离膜组件的需求。邻近的兰精基地将扩大高性能聚合物原材料的产量。

SEPURAN® 中空纤维膜可以高效地从气体混合物中分离甲烷、氮气、氢气等气体。赢创膜技术的优势在于更精准的气体分离和更高的产气量。用于高效制氮的 SEPURAN® 氮气膜可用于飞机油箱惰化系统等场景；SEPURAN® Noble 膜可以从输送甲烷-氢气混合气体的天然气管道中选择性地提取氢气；SEPURAN® NG 膜能够对高二氧化碳含量的天然气进行高效处理；SEPURAN® Green 膜能够对有机和循环基质进行高效的沼气提纯。

资料来源：赢创. 赢创进一步扩大气体分离膜产能.20231016. <https://corporate.evonik.cn/hans/media/recent-press-releases/-222615.html>



地址：上海市永福路 265 号
邮编：200031
编辑：温一村
责编：崔晓文
编审：林鹤
电话：021-64455555
邮件：istis@libnet.sh.cn
网址：www.istis.sh.cn