·综述·

耐化学性的管式超滤膜专利技术分析

季小菊[1*] 王志坤[1] 郭彤彤[1] 刘群[1] 张双梅[1] 袁永浩[2]

（1.国家知识产权局专利局专利审查协作河南中心，郑州 450000；
2.河南功能高分子膜材料创新中心有限公司，新乡 453000）

【摘要】 管式超滤膜技术凭借其在药物纯化、生物分子分离及废水处理等领域的卓越性能，应用日益广泛。当前管式超滤膜的技术研发与专利布局主要聚焦于材料选择、结构优化、工艺改进等方面。其中，管式超滤膜的化学稳定性是研究的热点，也是实现其广泛应用的前提，并推动管式超滤膜的专利申请量呈现连年增长的趋势。本文基于专利数据库重点研究了耐化学性的管式超滤膜在全球和中国的专利申请态势，分析了耐化学性的管式超滤膜的技术功效，对技术热点区、技术空白区、技术薄弱区进行挖掘与分析；深入分析耐化学性的管式超滤膜在分离层材质、支撑体材质、制备方法等方面的重点专利，探究耐化学性的管式超滤膜专利技术的改进规律和演进路线，从技术改进的层面提供研发建议。

【关键词】 耐化学性；管式；超滤膜；专利分析

【中图分类号】 G306 【文献标识码】 A 【DOI】 10.11876/mimt202505016

Analysis of patent technologies for chemically resistant tubular ultrafiltration membranes

Ji Xiaoju[1*], *Wang Zhikun*[1], *Guo Tongtong*[1], *Liu Qun*[1], *Zhang Shuangmei*[1], *Yuan Yonghao*[2]

[*1. Patent Examination Cooperation* (*Henan*) *Center of the Patent Office*, *CNIPA*, *Zhengzhou 450000*, *China*;
2. Henan Innovation Center of Functional Polymer Membrane Materials Co., *Ltd.*, *Xinxiang 453000*, *China*]

【Abstract】 Tubular ultrafiltration membrane technology is increasingly being adopted across various fields, including pharmaceutical purification, biomolecule separation, and wastewater treatment, owing to its outstanding performance. The current technology research and patent activities are primarily focused on material selection, structural optimization, and process improvement. Among these aspects, the chemical stability of tubular ultrafiltration membranes has become a central research focus and a prerequisite for broader application, which also drives the consistent annual growth in related patent filings. This paper focuses on the application trend of chemical-resistant tubular ultrafiltration membrane in the world and China, and the technology efficiency analysis of tubular ultrafiltration membrane. The hot spot, blank spot and weak spot of tubular ultrafiltration membrane technology are analyzed. The technical context of chemical-resistant tubular ultrafiltration membrane in separation layer material, support material and preparation method is thoroughly combed, the improvement law and evolution route of chemical-resistant tubular ultrafiltration membrane patent technology are sought, and the research and development advice from technical improvement level is provide.

【Key words】 Chemical resistance; Tubular; Ultrafiltration membrane; Patent analysis

超滤膜技术是一种透过膜孔径来分离溶质和溶剂的物理分离技术，其分离机理主要是依靠物理筛分作用，使原料液中的溶剂和小的溶质粒子从高压料液侧透过膜到低压侧，形成滤液，而大分子及微粒组分被膜截留[1]。超滤膜技术凭借其高效分离、绿色节能的核心优势，已在食品医药、生物技术、

第一作者：季小菊，女，硕士研究生，专利审查员，研究方向：主要从事化工分离等领域的专利审查；王志坤，男，硕士研究生，专利审查员，研究方向：主要从事化工分离等领域的专利审查

水处理等多个工业领域广泛应用，在生物、医药方面主要用于大分子物质的分级分离和脱盐浓缩、小分子物质的纯化、医药生物制剂的去热原处理等[2]。超滤膜的孔径范围通常在0.005～0.100 μm[3]。超滤膜元件的主要形式有平板膜、中空纤维膜和管式膜3种[4]，管式膜组件是重要的形式，相比其他膜组件，管式膜组件的优势更加明显，具有机械强度高、流道宽、流速快等优点[5]。超滤膜材料可分为有机高分子膜材料和无机膜材料两大类，不同的膜材料具有不同的成膜性、化学稳定性、耐酸、耐碱、耐氧化剂和耐微生物侵蚀等性能。超滤膜在实际操作过程中与一些极性的气体或液体组分相接触，会发生降解或损坏，在污水处理、物料分离与回收、生物医药的浓缩等过程中，迫切需要探索耐化学性的管式超滤膜。

已有学者对过滤膜的相关专利技术进行分析研究，为国家产业政策制定、行业发展方向确定提供数据支持。黄晨[6]以无机陶瓷膜产业的发展现状为研究起点，通过对无机陶瓷膜技术进行专利分析，全面详细地展现了无机陶瓷膜技术现状及其应用领域的实际情况，为企业在本领域的技术发展提供了方向。王文娟[7]通过对分离膜亲水性改性技术领域的专利申请进行检索和分析，对该领域的发展提出建议。孟浩文等[8]研究了聚偏氟乙烯膜的专利技术发展态势，有助于企业全面了解该领域的技术发展。但是，目前还未有针对耐化学性的管式超滤膜相关专利技术的分析研究。鉴于此，本文以耐化学性管式超滤膜的专利申请作为研究对象，梳理了耐化学性的管式超滤膜的专利申请态势，从专利视角对该领域技术的功效和重点专利进行深入分析，以期为耐化学性管式超滤膜从业者提供一定参考。

1 数据来源与分析方法

1.1 研究对象

本文的研究对象是耐化学性的管式超滤膜专利技术，“耐化学性”是指具有“耐酸”“耐碱”“耐有机溶剂”中的一种或多种性能。

1.2 研究方法

本研究检索的数据库是商用软件HimmPat全球专利智能检索分析平台，结合中国专利全文数据库和德温特世界专利索引数据库（Derwent World Patents Index, DWPI）。检索截止日期为2023年10月13日。

以HimmPat数据库为例，检索的主题为耐化学性的管式过滤膜，然后人工筛选出管式超滤膜。为确保检索数据的准确性与全面性，充分扩展耐酸、耐碱、耐有机溶剂的管式过滤膜各技术分支涉及的分类号和关键词开展检索，采用的分类号：B01D61、B01D63、B01D67、B01D69、B01D71；检索关键词：管 式、管 状、tubular、tube+、膜、membran+、film+、耐、抗、resistan+、anti+、+proof、酸、acid、alkali、碱、溶剂、+solvent+、溶胀、+swell+、降解、化学性、化学稳定性、侵蚀、腐蚀、pH、degrad+、break+、chemical+、stabilit+、NaOH、硫 酸、氢 氧 化 钠、醇、胺、amin+、H_2SO_4、sulfuric+、KOH、$NaHCO_3$、Na_2CO_3、吡啶、甲醇、pyridine、sodium methoxide、sodium carbonate、sodium bicarbonate。

数据包括中国、美国等88个国家、地区或组织的专利申请、公开文献，针对耐化学性的管式过滤膜进行全面检索，在专利检索完成后，对专利文献进行清洗，删除在跨库检索时出现的重复专利或同族专利，保证数据中的同族专利仅收录1项专利文献，共得到2 755项检索结果。对专利数据进行提取，并通过人工筛选降噪，清洗掉与耐化学性的管式过滤膜无关的专利文献，筛选完成后得到1 312项文献。而耐化学性的管式过滤膜包括微滤膜、超滤膜和纳滤膜，人工筛选仅与超滤膜有关的文献，得到387项文献，即本综述所使用的原始数据。对最终得到的专利数据进行专利技术分析，主要从专利申请态势、技术功效、重点专利等几个方面展开分析，从不同角度探究耐化学性管式超滤膜专利技术全貌。

1.3 专利技术构成分析

在专利分析中，明确的技术分类和清晰的技术边界是开展研究的重要基础。为此，我们通过查阅资料，结合对耐化学性管式过滤膜的分类与工作原理分析，制定了技术分支表。在此基础上，综合考虑企业关注的技术标准、当前产业分类习惯以及专利分析对分类体系的要求，最终形成适用于耐化学性管式过滤膜的技术分类体系。如图1所示[9-15]。

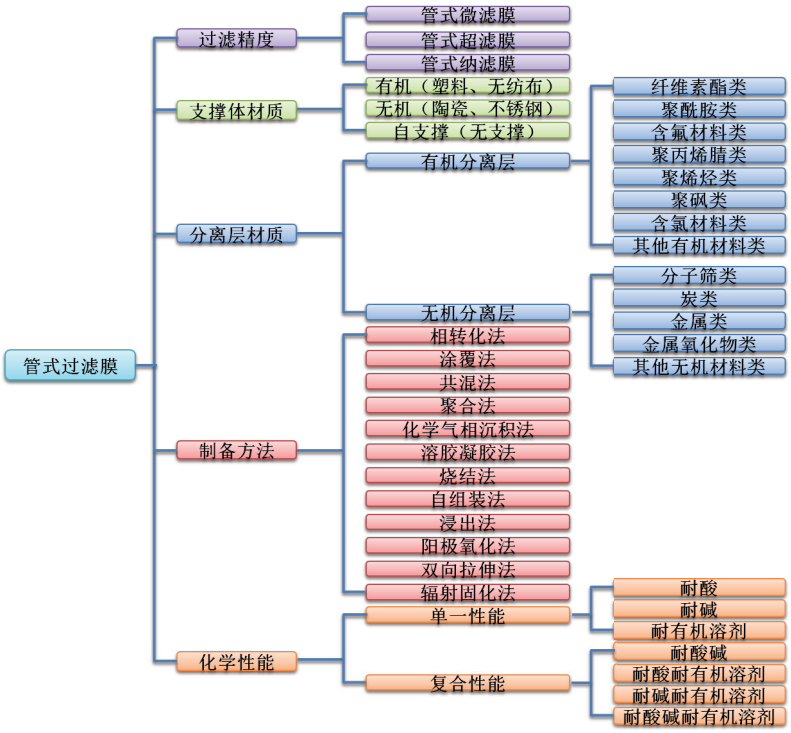


图 1 耐化学性管式过滤膜技术分类体系

2 耐化学性的管式超滤膜专利申请态势

全球及我国的耐化学性管式超滤膜技术专利申请数量逐年变化情况如图 2 所示。耐化学性的管式超滤膜全球专利申请量总体呈现增长态势，1973 年—2010 年期间，该领域专利申请量较低，发展速度比较缓慢；2010 年以后申请量逐年攀升，在 2019 年专利申请达到了 34 项，其中 29 项来自中国，这是由于中国从 20 世纪 70 年代开始逐渐关注超滤膜技术，经过几十年的发展，在超滤膜的制备、性能优化和应用等方面取得了一系列重要的研究成果。中国对耐化学性管式超滤膜的研究虽然起步较晚，但是从 2005 年开始，随着国内净水机市场的不断扩大和消费者健康饮水意识的增强，中国在该领域的申请量大幅增加，申请量在全球名列前茅。

耐化学性的管式超滤膜专利申请按功效类型分布情况如图 3 所示。耐酸碱和耐有机溶剂的管式超滤膜申请量占比较大，分别为 32.0% 和 29.5%，耐碱耐有机溶剂和耐酸耐有机溶剂的管式超滤膜申请量占比较小，可能是因为耐化学性的管式超滤膜早期的研究主要关注膜的耐酸或者耐碱性能，随着超滤膜的发展，对过滤膜的性能要求越来越高，多数待过滤的物质都含有酸、碱性物质和各种有机成分，成分也越来越复杂，在各种各样苛刻的环境中，酸碱腐蚀是高分子膜材最为常见的挑战之一，因此，在管式超滤膜的技术研发过程中，越来越多的研究侧重于研发同时具备耐酸、耐碱等多种技术功效的管式超滤膜。

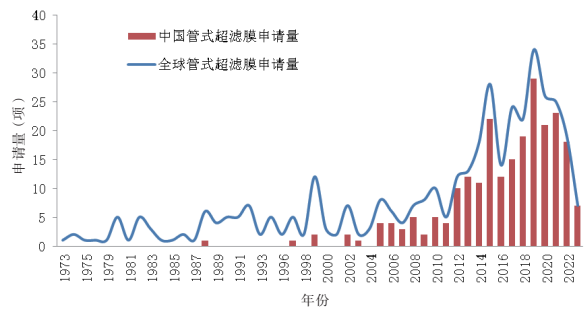


图 2 耐化学性的管式超滤膜专利申请态势

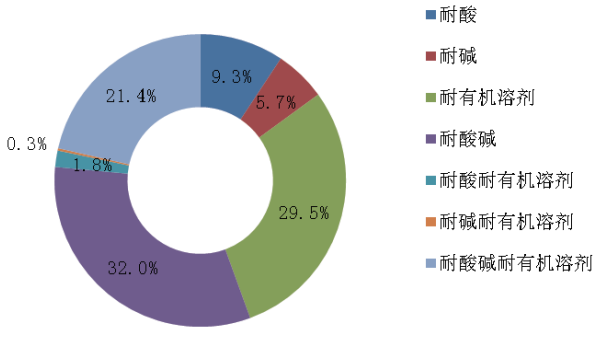


图 3 耐化学性的管式超滤膜专利申请按功效类型分布情况

3 耐化学性的管式超滤膜技术功效分析

通过多维度标引深化技术功效分析，能够聚焦技术空白点、助力优化专利申请布局。在耐酸、耐碱、耐有机溶剂以及分离层为纤维素酯类、聚酰胺类、聚砜类等技术分支下，通过技术功效对比分析的方式，分析各技术分支中研究方向上的热点差异，可为国内相关技术的研发提供参考性建议。

耐化学性的管式超滤膜的技术功效按分离层材质类型分布情况如图4所示，从整体来看，聚酰胺类的管式超滤膜在耐有机溶剂方面申请量为19项；含氟材料类的管式超滤膜在耐酸碱方面申请量为24项；金属氧化物类的管式超滤膜在耐酸碱耐有机溶剂方面，申请量为38项，在耐酸碱方面申请量为26项，上述分离层材质的专利申请量均达到了较高的水平，属于耐化学性的管式超滤膜的技术热点区[16]。

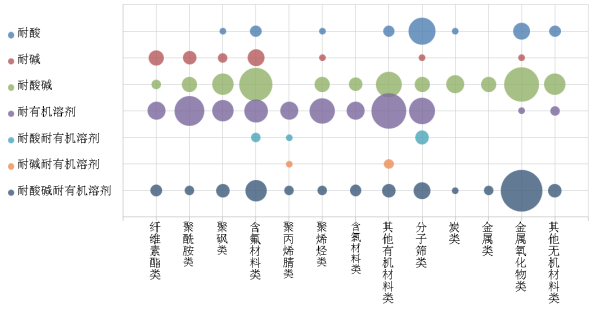


图4 耐化学性的管式超滤膜的技术功效按分离层材质类型分布情况

3.1 单一技术功效分析

从各类分离层材质的管式超滤膜的耐酸功效来看，技术热点集中在分子筛类分离层的管式超滤膜。分子筛由于其具有与分子大小相当而且均匀一致的孔径、离子交换性能、高温热稳定性、良好的选择性能等特点，是理想的气体分离膜、渗透汽化膜和无机催化膜材料，在化工领域得到了广泛应用，因此成为技术密集区，属于研究的热点[17]。而聚砜类、含氟材料类、聚烯烃类分离层的管式超滤膜技术专利也有相当一部分的申请量，这主要是由于聚砜具有良好的耐氯、耐酸碱的化学性能以及化学稳定性、机械强度、耐热性，且最高使用温度为130 ℃，pH为1~13[18]；含氟材料的突出特点是具有很好的耐高温、耐腐蚀、耐有机溶剂、耐化学清洗及高浓度余氯溶液的性能；聚烯烃类如聚丙烯膜材的价格低廉，制膜过程环保、耐酸碱性很好，且具有耐有机溶剂的性能；其他有机材料类如聚乙烯醇膜材是一种水溶性聚合物，含有大量的羟基，具有良好的亲水性、耐酸性，成膜后表现出卓越的耐油脂、抗蛋白质污染性能，上述膜材均为良好的耐酸碱分离膜材。而纤维素酯类、聚酰胺类、聚丙烯腈类、含氯材料类和金属类分离层的管式超滤膜是技术空白点，这主要是由于纤维素酯类不适于强酸、强碱溶液，但是当过滤稀酸、稀碱的液体时可以使用；聚酰胺膜材耐碱而不耐酸；聚丙烯腈膜材的耐酸耐碱性能比较差，限制了其在耐酸分离膜中的使用；金属类分离层的管式超滤膜成本较高。对于该技术领域的技术薄弱区，本领域的研究人员可以对上述膜材进行改进，比如采用共混、共聚、表面接枝等方法对其进行改性，提高分离膜的耐酸性能。

从各类分离层材质的管式超滤膜的耐有机溶剂功效来看，总体的申请量较多，占比为29.5%，聚酰胺类、聚烯烃类膜材料为技术热点，聚酰胺类膜具有耐高温、耐有机溶剂等特性，除耐乙醇、丙酮、醋酸乙酯、醋酸丁酯外，还耐苯、醚及烷烃等多种溶剂，可用于水和非水溶剂体系。聚烯烃类软化温度较高，耐酸、碱和各种有机溶剂的化学稳定性好且力学性能优良，而炭类、金属类和金属氧化物类为技术空白点。从各类分离层材质的管式超滤膜的耐碱功效来看，总体的申请量较少，技术热点集中在纤维素酯类和含氟材料类分离层的管式超滤膜的研究上。

3.2 复合技术功效分析

对于耐碱耐有机溶剂、耐酸耐有机溶剂的管式超滤膜，专利申请量最少，主要原因是多数待过滤的物质成分复杂，多含有酸碱性物质和各种有机成分，在管式超滤膜的技术研发过程中，越来越多的研究侧重于研发具备耐酸碱、耐酸碱耐有机溶剂等技术功效的管式超滤膜。对耐酸碱和耐酸碱耐有机溶剂的管式超滤膜专利申请情况分析发现，技术密集区主要在金属氧化物类分离层膜材上，该类金属氧化物膜材多为陶瓷膜，以氧化铝、氧化钛、氧化锆等材料经特殊工艺制造而成的多孔非对称膜为主。陶瓷膜耐高温、耐化学腐蚀、机械强度高，

在全球范围内应用越来越广泛，具有良好的发展前景[19-20]。

金属膜具有良好的塑性、韧性、强度以及对环境和物料的适应性，是继有机膜、陶瓷膜之后性能最好的膜材料之一，但是以金属类膜材为分离层的管式超滤膜的总体申请量较少，专利申请大部分集中在耐酸碱的技术功效上。金属膜具有较好的机械性能，能够适应不同环境和物料的变化，具有耐酸碱和有机溶剂、耐高温性能，但是其成本较高，在工程应用方面受到一定限制，本领域技术人员可以在已有专利的基础上，寻找进一步改进和优化的空间，探索新的方向。以炭膜为分离层的管式超滤膜的总体申请量也较少，大部分集中在耐酸碱的功效研究方面，由炭材料制成的膜统称为炭膜，主要应用于气体或液体的分离。炭膜由于具有耐高温、耐酸碱和耐有机溶剂的优点，正在逐渐受到广泛关注。含氟材料类分离层的管式超滤膜专利申请主要集中在耐酸碱的技术功效上，含氟聚合物主要包括聚偏氟乙烯（polyvinylidene fluoride, PVDF）和聚四氟乙烯（polytetrafluoro-ethylene, PTFE），聚偏氟乙烯膜材为含氟材料中最适合超滤膜制备的材料，有极优良的机械强度和耐高温、耐化学腐蚀性，可以在强酸、强碱和有机溶剂条件下使用。聚丙烯腈类分离层的管式超滤膜在耐酸碱技术功效方面的研究为技术空白点，这主要是由于聚丙烯腈虽然具有很好的耐水解性能和抗氧化性能，但是聚丙烯腈超滤膜的耐酸耐碱性能比较差，聚丙烯腈类分离层的管式超滤膜研究多通过共混、表面处理、等离子接枝等改善其耐酸碱性能。

4 耐化学性的管式超滤膜的重点专利分析

4.1 耐酸的管式超滤膜的重点专利分析

耐酸的管式超滤膜的重点专利分析如图5所示。在2005年之前，耐酸的管式超滤膜重点专利技术主要集中在欧洲、美国和日本。1989年，专利EP0274387A采用原位聚合法合成乙酸乙烯酯的聚合物或共聚物作为分离层以提高膜的耐pH稳定性。1997年，专利JP2694341B采用磺化聚芳基醚作为分离层制备得到耐酸性能良好的管式超滤膜。2001年，专利EP1080777A通过相转化法获得聚砜基化合物的分离层，聚砜基化合物的结构决定了管式超滤膜良好的耐酸性能。2002年，专利US20040079706A通过相转化法制备聚醚嵌段聚酰胺分离层，从而获得了耐酸性能良好的管式超滤膜。2013年，专利US2015/0283517A1采用聚偏二氟乙烯树脂作为分离层材质，通过涂敷法制备了耐酸性的管式超滤膜。

由于国家对净化水循环利用的需求，中国越来越重视耐化学性管式超滤膜技术的发展与知识产权保护。2005年，专利CN1724128A利用SiO_2易羟基化的性质，在其表面反复交替沉积聚阳离子层和聚阴离子层，通过层层自组装的方式获得耐酸性的管式超滤膜。2010年，专利CN101837250A采用相转化方法，制备含氯材料的管式超滤膜分离层。2013年，专利CN103272491B通过改变金属离子和有机配体的种类负荷多种不同的金属有机骨架（metal-organic framework, MOF）材料，使膜应用于不同的分离体系，具有良好的耐酸碱、耐有机溶剂的性能。

2019年，国内的耐酸性管式超滤膜专利技术发展迅速，重点专利集中涌现。其中，中国科学院长春应用化学研究所申请的专利CN110052178B，以含有席夫碱结构的聚合物聚醚醚酮（polyether ether ketone, PEEKt）作为制膜原材料，通过酸化处理将膜中的席夫碱结构水解成为羰基，进而得到高耐受分离膜。白银图微新材料科技有限公司申请的专利CN110917909B，利用聚硫酸（氨）酯类聚合物及其改性聚合物制备分离膜。聚硫酸（氨）酯类聚合物是一类含有硫酸酯键（$-SO_4-$）的高分子聚合物，相比于其他传统工程塑料，硫酸酯键赋予聚合物更好的化学稳定性，利用硫酸酯键作为功能性和化学连接键，使得聚合物不仅能呈现良好的耐溶剂性能及力学性能，也能在分离物质中充当功能性基团。该专利也发生了转让，说明了其在技术改进上的贡献以及具有一定的市场价值。

耐酸的管式超滤膜专利主要集中在对于管式超滤膜分离层有机聚合物结构的改进上，主要表现在对不饱和键的接枝、磺化等，使其具备更具化学稳定性的化学结构。此外，采用具备特定分子结构的聚合物制备耐酸性管式超滤膜属于近些年的研究热点，主要有PEEKt、聚硫酸酯类聚合物等。

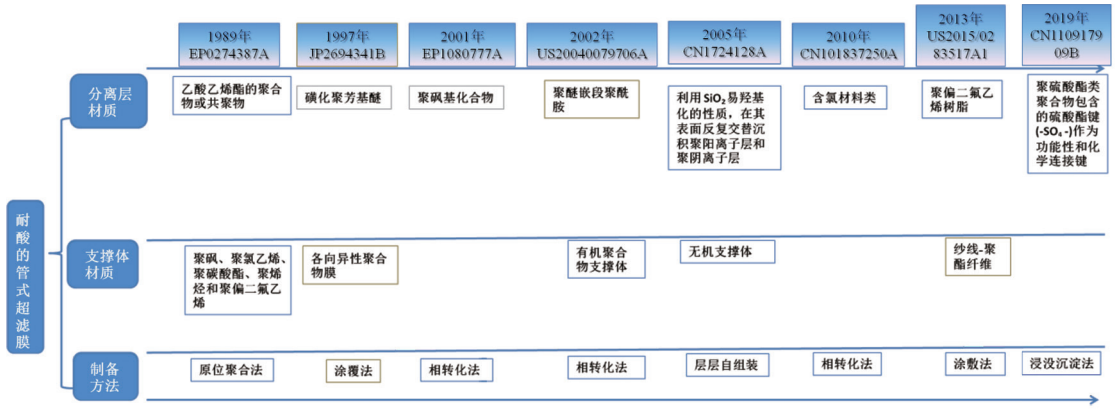


图 5 耐酸的管式超滤膜的重点专利分析

4.2 耐碱的管式超滤膜的重点专利分析

耐碱的管式超滤膜的重点专利分析如图 6 所示。1983 年，专利 EP0082355A 通过引入反应性基团对聚苯乙烯进行改性，使得管式超滤膜具备良好的耐碱性能。1989 年，专利 US4895661A 采用聚砜、聚氯乙烯、聚碳酸酯、聚烯烃和聚偏二氟乙烯作为分离层，通过涂敷法获得耐碱性的管式超滤膜。1998 年，专利 DE19846608A 通过辐射固化法获得基于硅酸杂缩聚合物的膜，表现出优异的耐碱性。2000 年，专利 EP1080777A1 采用聚砜基化合物作为膜材料，通过相转化法获得聚砜类分离层的耐碱性管式超滤膜。

随着国家对新兴战略材料的需求逐渐增加，中国在耐碱的管式超滤膜领域重点专利技术相继涌现。2010 年—2011 年出现的专利 CN101954248A、CN101837249A、CN102861519B 采用共混法或相转化法在聚偏氟乙烯中掺杂高性能纳米粒子，或者采用聚氯乙烯等耐酸碱性材料作为滤膜主体分离材质，使得管式超滤膜具备良好的耐化学性。2015 年，专利 CN105032215A 在配制铸膜液前对芳香族聚酰胺进行离子化改性，通过相转化法在无纺布支撑体上获得聚酰胺类分离层材质的耐酸碱性能良好的管式超滤膜。

2019 年，专利 CN110917909B、CN110052178B、CN109745875A 等分别采用聚碳酸酯和聚酯类、PEEK、聚硅硫酸铝、聚酰胺类、聚砜膜和聚酯膜，利用硫酸酯键作为功能性和化学连接键或通过酸化处理将膜中的席夫碱结构水解成为羰基，使得管式超滤膜具有良好的耐碱性能。2021 年，专利 CN113426308A 以聚芳硫醚砜（polyarylene sulfide sulfone, PASS）作为分离层，以改性聚丙烯（polypropylene, PP）为多孔支撑层制备出具有较好耐酸碱、耐高温性能的高通量 PASS/PP 管式超滤膜。

耐碱性的管式超滤膜重点专利技术分布与耐酸性的管式超滤膜基本相同，两者的核心技术均是通过选用具备化学稳定性结构的聚合物，或对聚合物进行改性，从而制备出耐化学性的分离膜。

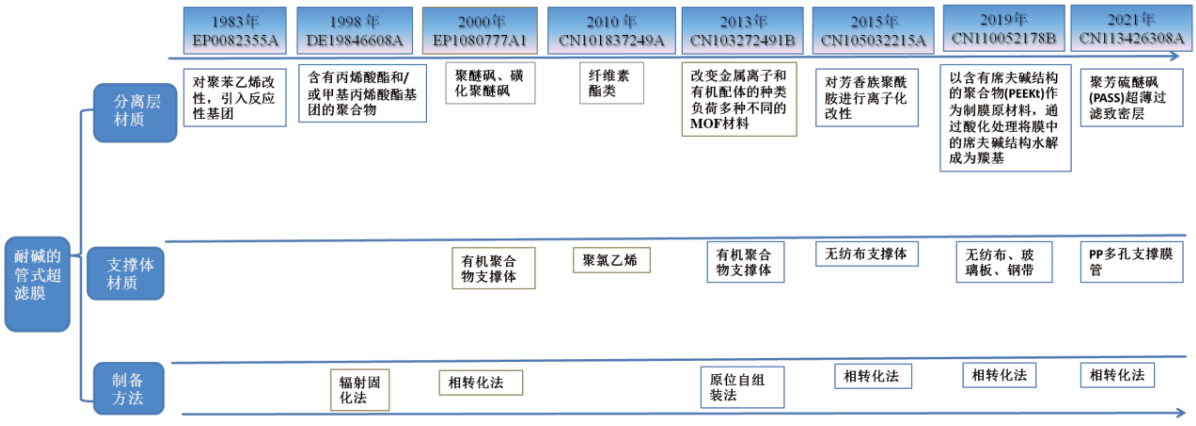


图 6 耐碱的管式超滤膜的重点专利分析

4.3 耐有机溶剂的管式超滤膜的重点专利分析

耐有机溶剂的管式超滤膜的重点专利分析如图7所示。1980年，专利EP0026399A采用纤维素酯类作为分离层材质，通过含有醋酸纤维素的膜与氰尿酰氯发生溶液反应，即氰尿酰氯与膜的羟基反应，使得膜变得交联，从而改善膜的耐有机溶剂性。1982年，专利EP0061610B1采用相转化法，通过改性聚丙烯腈或丙烯腈共聚物的分离层获得了耐有机溶剂的管式超滤膜。1986年，专利US4775474A通过对聚烯烃类的表面进行交联处理获得耐有机溶剂的管式超滤膜。2010年，专利US20110147308A1采用浸出法使带电聚合物与包埋在膜中的“锚”聚合物结合，获得具有化学稳定性的管式超滤膜。

2010年后，国内相继出现对管式超滤膜进行改进的重点专利技术，如专利CN103272491B和CN110052178B，通过对超滤膜制备方法的探索，获得了同时具备耐酸、耐碱、耐有机溶剂等耐化学性的管式超滤膜。

耐有机溶剂的管式超滤膜专利技术主要通过选择具有耐化学性质的材料或者通过接枝、交联改性等方式提高滤膜的耐有机溶剂性质。在耐化学性的管式超滤膜技术中，相转化法是重要的制膜方法，在技术发展过程中也出现了辐射固化法、涂覆法、原位聚合法、浸出法、原位自组装法等制备耐化学性的管式超滤膜的方法，但作为重点专利的申请量较少。

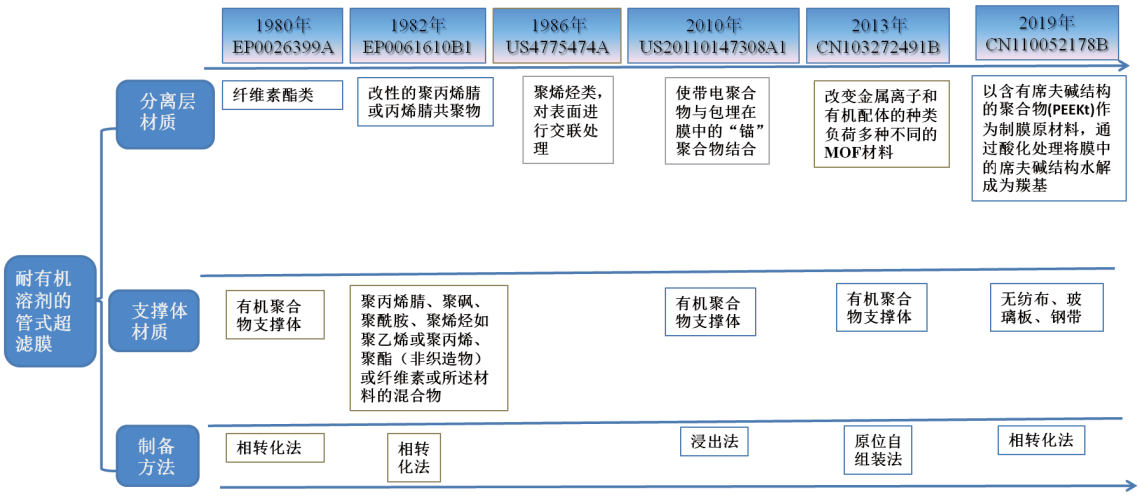


图 7 耐有机溶剂的管式超滤膜的重点专利分析

5 讨论和建议

通过对耐化学性管式超滤膜的专利申请进行梳理，本文总结了耐化学性的管式超滤膜技术在全球和中国的发展态势，并对该领域的技术功效和重点专利进行了深入分析。总体来看，有以下几个特点和趋势。

（1）耐酸碱和耐有机溶剂是管式超滤膜的技术焦点。耐酸碱和耐有机溶剂的管式超滤膜专利申请占比最高，分别为32.0%和29.5%。工业应用中对过滤膜在苛刻化学环境中的稳定性与分离性能的要求不断提高，推动技术向多功能、高耐受方向发展。

（2）材料创新是管式超滤膜技术关键发展路径。有机材料的膜分离层中，含氟高分子如PVDF、PTFE因其优异的耐腐蚀性和稳定性成为耐酸碱膜材的研究热点，聚酰胺类则是耐有机溶剂膜的重要选择。无机材料中，金属氧化物如陶瓷膜表现出良好的综合耐化学性，是耐酸碱耐有机溶剂技术密集区。纤维素酯、聚丙烯腈等材料因易降解、pH适应性差等局限性，需通过共混、接枝等改性提升性能。

（3）重点专利分析显示出管式超滤膜技术演进的多元化。耐酸膜从早期聚合物改性发展到新型高分子如MOF、PEEK衍生物及层层自组装等新方法；耐碱膜由改性聚苯乙烯演进到离子化聚酰胺、席夫碱水解聚合物等；耐有机溶剂膜从交联纤维素酯发展到改性聚丙烯腈、MOF材料及PASS超薄层。制备方法仍以相转化法为主，同时涂覆法、辐射固化法、原位聚合法等也有应用。

（4）未来应重视布局高价值方向，强化专利策略。在含氟材料、陶瓷膜等技术密集区注重规避设计；在金属类、炭类等技术稀疏或薄弱区探索改性和新材料的开发；在空白区抢先布局，例如，聚丙

烯腈在耐酸、耐碱方面，纤维素酯类、聚酰胺类、聚砜类在耐酸耐有机溶剂、耐碱耐有机溶剂方面的开发，但需综合评估技术可行性与市场前景；需持续关注高性能聚合物、复合材料和绿色制膜工艺的研究与保护。总体而言，建议行业聚焦于新型膜材料开发和制备工艺创新，同时强化专利布局与规避设计，以提升膜产品的综合耐化学性与适用性。

[参 考 文 献]

［1］ 王筠. 化工新材料及其应用［M］. 北京: 科学技术文献出版社, 2023: 91–103.
［2］ 李江, 负延滨. 膜技术在医药领域中的应用［J］. 宁夏医学院学报, 2008, 30(1): 116–120.
［3］ 杨越辉, 夏志新, 熊宪明. 污水处理厂设备运行管理［M］. 北京: 中国环境出版社, 2022: 101.
［4］ 陈忠林, 赵晟锌. 水环境综合实验指导［M］. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2021: 148.
［5］ 王鹤铭, 刘恩华, 魏飞. 聚偏氟乙烯–聚酰胺管式复合膜的分离性能研究［J］. 水处理技术, 2021, 47(3): 47–51.
［6］ 黄晨. 无机陶瓷膜专利信息分析研究［D］ 景德镇: 景德镇陶瓷大学, 2021.
［7］ 王文娟. 分离膜亲水改性技术专利申请状况与发展［J］. 广东化工, 2014, 41(4): 55–56.
［8］ 孟浩文, 陈佳佳. 聚偏氟乙烯膜的专利分析［J］. 有机氟工业, 2022(2): 35–38.
［9］ 蔺爱国, 林立刚, 张贵才. 新型功能膜技术及其应用［M］. 东营: 中国石油大学出版社, 2013: 23–31.
［10］ 杨座国. 膜科学技术过程与原理［M］. 上海: 华东理工大学出版社, 2009: 70–71.
［11］ 时钧, 袁权, 高从堦. 膜技术手册［M］. 北京: 化学工业出版社, 2001: 341.
［12］ 何领好, 王明花. 功能高分子材料［M］. 武汉: 华中科技大学出版社. 2017: 239–243.
［13］ 邵刚. 膜法水处理技术［M］. 2版. 北京: 冶金工业出版社, 2000: 250–256.
［14］ 藏雨, 程伟东, 兰天宇, 等. 气体分离膜材料科学［M］. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2017: 243–244.
［15］ 徐怀德, 罗安伟. 天然产物提取工艺学［M］. 2版. 北京: 中国轻工业出版社, 2020: 86–92.
［16］ 李仕琦. 新型耐有机溶剂分离膜制备及性能研究［D］. 锦州: 渤海大学, 2021.
［17］ 王丽, 郝延蔚, 周亮. 化工新材料概论［M］. 成都: 电子科技大学出版社, 2020: 199.
［18］ 张春晖, 何绪文, 李开和. 过滤技术在环境工程中的应用［M］. 北京: 中国环境出版社, 2011: 55–56.
［19］ 丁启圣, 王维一. 新型实用过滤技术［M］. 3版. 北京: 冶金工业出版社, 2011: 515–516.
［20］ 李礼. 浸渍法制备氧化铝陶瓷膜的工程技术研究［D］. 广州: 华南理工大学, 2021.

（上接第89页）

本研究的管理意义在于，在不显著增配设备与配套人力资源的前提下，通过流程重塑与策略配置即可实现效率提升与体验提升，推动高峰错峰与低谷回填，形成“看得见—调得动—评得出”的精益闭环。医院应继续深化物联网技术在医疗设备管理中的应用，同时考虑将优化策略推广至其他大型医疗设备，以进一步提高整体医疗服务水平。

本研究在研究范围及广度上也存在一定的局限性：研究主要是基于单一医院单一种类设备的数据进行分析，样本量相对有限；同时，在优化策略的制定和实施过程中，对医院其他资源的协调和优化考虑不足。下一步，计划联合多家医院开展研究，收集更广泛的数据；在制定和优化策略时，综合考虑医院的各种资源，以实现资源的整体协调和优化。

[参 考 文 献]

［1］ 国务院办公厅. 关于推动公立医院高质量发展的意见［EB/OL］. (2021–05–14)［2025–11–11］. https://www.gov.cn/gongbao/content/2021/content_5618942.htm.
［2］ 国家卫生健康委办公厅. 关于进一步完善预约诊疗制度加强智慧医院建设的通知［EB/OL］. (2020–05–21)［2025–11–11］. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020–05/22/content_5513897.htm.
［3］ Cayirli T, Veral E. Outpatient scheduling in health care: a review of literature［J］. Production and Operations Management, 2003, 12(4): 519–549.
［4］ Silva–Aravena F, Morales J, Jayabalan M, et al. Optimizing MRI scheduling in high–complexity hospitals: a digital twin and reinforcement learning approach［J］. Bioengineering, 2025, 12(6): 626.
［5］ 李桦. 数据要素价值链视域下医院医疗服务资源配置模式研究［D］. 长春: 吉林大学, 2023.
［6］ 邹瑜, 孔德香, 汪璠, 等. 精益管理对改善CT和MRI检查服务流程的应用效果［J］. 医疗装备, 2023, 36(11): 38–41, 45.
［7］ Belmonte E M, Tortosa S O, Frick R J R. Proposal for a standard architecture for the integration of clinical information systems in a complex hospital environment［J］. Informatics, 2021, 8(4): 87.
［8］ Haleem A, Javaid M, Singh R P, et al. Blockchain technology applications in healthcare: an overview［J］. International Journal of Intelligent Networks, 2021, 2: 130–139.
［9］ 冯尘尘, 张欣莉, 刘嘉怡, 等. 国内外门诊预约挂号调度系统研究进展［J］. 西南国防医药, 2021, 31(3): 265–268.
［10］ 潘兴薇, 耿娜. 面向核磁共振检查的预约调度仿真优化研究［J］. 工业工程与管理, 2016, 21(6): 17–23.
［11］ 朱黎敏, 耿娜, 谢晓岚. 基于MDP的门诊病人图像检查最优预约调度［J］. 工业工程与管理, 2014, 19(3): 101–108, 115.