

# 石化“膜”法:引领膜材料产业全面升级

阅读提示

看似轻薄的高分子膜材料,却是解决能源、环境问题,以及保障民生、促进发展的战略性新兴产业。作为生产和消费大国,我国特种功能膜产品和高端原料严重依赖进口,产业链面临“卡脖子”风险。中国石化勇担国家战略科技力量,充分发挥平台优势,采用“大兵团作战”模式解决了相关科学、技术、工程和生产应用问题,自主开发了系列功能膜新产品,涵盖过滤膜、包装膜、新能源用膜、医用透气膜、光学膜等,成果打破高端膜及专用料的技术封锁,引领我国创新链、产业链全面升级。本版介绍中国石化研发的部分膜材料,敬请关注。

本版图文除署名外由北京化工研究院段晓芳 杨宇 李昕阳 潘亚明 提供

## 锂电池隔膜

### 产品

隔膜是锂电池四大主材中技术壁垒最高、国产化最晚的关键组件,其性能直接决定电池容量、循环寿命与安全性能,轻量化与高性能化是行业核心趋势。扬子石化依托北化院催化技术,成功开发系列锂电隔膜专用料,成为国内首家生产该产品的企业。产品兼具优异机械强度与化学稳定性,可适配高能量密度动力电池隔膜生产,为提升新能源汽车续航里程提供核心技术支撑。

### 攻关

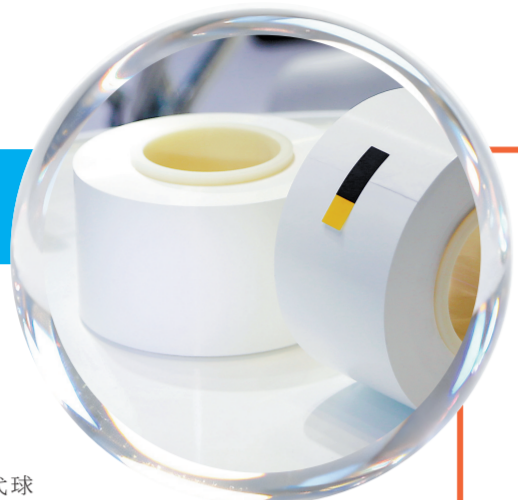
催化剂是制约隔膜专用聚乙烯树脂国产化的关键。北化院作为该领域研发先行者,在国内外技术严密封锁的逆境中,走出了一条独立自主的创新之路。团队基于新型溶解析出体系和给电子技术,为锂电池隔膜专用料“量身定制”BCE-C300催化剂,2017年助力扬子石化实现UHMWPE(超高分子量聚乙烯)隔膜产

用料 YEV-4600 工业化试生产,填补国内空白。

面对隔膜轻量化带来的更高要求,团队突破难题,采用新型溶解析出体系及独创技术开发新一代球形 BCC 催化剂,2023 年在扬子石化完成首次工业化应用,实现高端产品量产,精准匹配轻量化高性能、薄层化发展需求,持续巩固技术领先地位。

### 应用

系列产品已广泛应用于国内头部湿法隔膜企业并远销海外,扬子石化 6 个相关牌号生产均采用北化院催化技术。扬子石化科研生产专家评价,北化院研发的催化剂在聚合性能、颗粒尺寸、装置适用性等方面表现出色,为生产创造了良好条件。2025 年,扬子石化锂电隔膜材料系列产品销量首次突破 5 万吨,充分验证产品市场认可度与适配价值,有效降低下游企业原料成本。



锂电池隔膜。

## 膜材料产业发展需聚焦核心技术突破与价值提升

膜材料是一类以薄膜形态存在,具备选择性分离、防阻隔、能量转换与存储等核心功能的材料。其基材主要为聚合物、无机物及复合材料,包括分离膜(含反渗透、超滤、微滤、气体分离等)、功能膜(导电膜、光电膜、抗辐射、降解膜等)、包装/防护膜等。膜材料在环保治理、食品加工与保鲜等基础领域,以及生物医药、电子信息、航空航天、新能源等高端领域应用广泛。

当前,全球环保需求升级、“双碳”目标深入推进,高端制造竞争加剧,核心材料国产化替代需求日益迫切。膜材料不仅在资源利用效率提升、绿色低碳发展方面发挥着重要作用,而且作为战略性新兴产业的关键基础材料、新材料产业的核心支柱,其国产化进程对于打破国外技术垄断、保障高端制造业供应链安全具有重要战略意义。

膜材料在高性能陶瓷膜、精准分离膜、智能响应仿生膜、生物制药用膜和新能源膜等领域取得了突破性进展,核心技术突破集中于材料结构、制备工艺及功能特性。材料结构上,实现超薄化与高选择性突破,通过精准分子设计、“沙漏形”纳米通道及石墨烯原子级分离等技术,破解渗透性与选择性失衡难题;复合增强技术推动 MOFs/COFs(金属有机骨架化合物/共价有机骨架材料)等纳米材料与聚合物高效融合,提升膜的机械强度与抗污染性。制备工艺迎来革新,纳米涂膜、低温烧蚀等精准制造技术提升通量并降低成本,液滴打印、3D 打印实现智能化与个性化成型,功能特性显著提升,开发出蛋白质自发修复膜、长效抗污膜及电控吸附智能响应膜等,大幅延长使用寿命并拓展应用

场景。膜材料创新方向呈现理论研究—材料开发—前沿技术—产业应用协同发展态势。理论层面,依托材料基因组工程与 AI 辅助设计,建立性能预测数据库,缩短研发周期。材料开发层面,追求耐极端环境、高传导性等核心指标。前沿技术方向包括多重刺激响应智能膜系统、模拟生物离子通道的仿生膜技术,以及生物基材料、低能耗工艺的仿生制造。产业应用趋向技术融合,推动“膜+AI”智能系统与分离—催化协同技术落地,同时加速从材料供应向系统解决方案转型,强化高端膜国产化替代,提升全球行业话语权。

全球膜材料市场正处于稳步增长的结构升级阶段,绿色转型需求与高端制造发展共同驱动市场持续扩容。从区域格局来看,亚太地区已成为全球市场的核心增长引擎,凭借完整的产业链配套与规模化产能优势占据主导地位;北美市场聚焦高端工业分离膜等技术密集型领域,依托核心技术壁垒构筑竞争优势;欧洲则重点布局绿色可降解膜材料,政策导向下环保型产品研发与应用进程加快。各区域形成差异化发展路径,围绕高端材料与核心技术的竞争日趋激烈。

我国作为全球膜材料最大的生产与消费国,市场增长势头显著快于全球平均水平,专利申请量及产品应

用规模均位居全球首位;膜产品实现全产业链覆盖,产业规模持续扩大,年产能突破 5000 亿元,已形成多区域产业集群发展格局,长三角、珠三角及环渤海地区膜产业发展迅速。在需求层面,水处理与新能源领域成为核心增长动力,带动相关膜材料类快速发展;电子信息、生物医药等新兴领域的需求崛起,推动市场向高端化转型。

全球膜材料企业呈现分层竞争态势,国际巨头凭借上游核心材料掌控力、专利技术积累与全产业链整合能力,主导高端膜材料市场;我国企业则在中高端细分市场加速突破,本土龙头企业依托成本优势形成较强竞争力,专精特新企业聚焦细分市场构筑技术壁垒,中小企业则以中低端产品为主参与市场竞争。

我国膜材料产业高质量发展仍面临多重挑战:一是结构性矛盾突出,中低端产品供过于求,高端膜材料及关键制膜工艺、装备存在短板,部分核心材料依赖进口;二是传统水处理膜市场进入平台期,存量竞争加剧,新兴领域拓展难度较大;三是研发投入不足与高端人才短缺,

制约技术创新速度。立足产业发展短板与市场需求升级,未来膜材料产业发展应聚焦核心技术突破与价值提升:一是高性能膜材料成为攻关重点,聚焦新能源、生物医药、电子信息等领域,如燃料电池质子膜、锂离子电池复合隔膜等;二是技术融合加速,AI 辅助研发、智能响应膜、“膜+催化/能源”协同系统成为创新热点,三维垂直纳米通道等颠覆性技术推动产业升级;三是绿色低碳转型深化,生物基膜材料、低能耗制膜工艺受青睐,国产化替代进程持续加快。

突破产业发展瓶颈、推动膜材料产业高质量发展,建议从技术、产业、政策等多个维度进行布局。一是强化科技创新体系建设,聚焦原创性技术攻关,加大高性能膜材料的研发力度,重点突破高性能锂离子电池纳米涂层复合隔膜、

透明聚酰胺亚胺膜、高性能聚酰胺亚胺纳米纤维多孔膜、双极膜、燃料电池质子膜等方向。二是完善产业链布局,推动上游膜材料国产化、高端产品研发与中低端产品升级,构建产业发展新格局,推动企业从产品供应商向解决方案服务商转型,提升系统解决方案服务能力。三是加大政策支持与人才引育力度,完善标准体系与认证机制,拓展高端应用场景,助力产业从“跟跑”“并跑”向“领跑”转变。

“十五五”期间,大力发展化工新材料和精细化工是推动石化行业高质量发展的关键引擎,膜材料迎来重要发展机遇。未来,需坚持以科技创新为引领,推动 AI 等前沿技术融合,攻坚高性能膜材料国产化替代,布局绿色低碳与智能化转型,优化产业结构,实现从膜材料大国向膜材料强国的跨越。



部分图片由 AI 辅助生成

## 耐候地膜

### 产品

新疆 70% 棉地依赖地膜保障棉花高产,但强烈紫外线、暴晒蒸发与风沙天气,使得传统地膜易老化破碎,既难回收,又造成“白色污染”。全世界普遍采用物理降解地膜,如地膜厚度美国和欧洲≥25 微米,日本≥20 微米。但是,我国采用 10 微米地膜,加厚方案成本太高,不符合我国国情。北化院牵头研发的低成本可回收耐候地膜专用树脂 EGF-34GL,以创新技术破解行业痛点,兼具经济性、长效适配性与绿色环保价值。

### 攻关

研发团队历经全链条技术攻关,从基础树脂筛选、耐候助剂体系优化到加工工艺探索,通过海量实验室老化模拟与性能检测持续迭代配方。联合中台共创,化销华北等上下游单位协同发力,成功完成从

实验室小试到工业化放大的关键跨越,精准平衡了加工稳定性、田间耐候性与回收性能三大核心需求。EGP-34GL 专用树脂由中台共创生产,摒弃传统多树脂物理复配的复杂工艺,降低制备成本。在厚度仅 10 微米的超薄设计下,攻克了膜脆不稳定、拉伸与撕裂强度不足等难题,实现性能突破。经田间 220 天使用后,仍保持优异力学完整性,回收后机械性能保留率超 85%、机械回收率突破 95%,真正实现“收得回、用得上”的绿色目标。

### 应用

耐候地膜以技术创新适配极端环境,用循环价值赋能绿色农业。自 2020 年新疆沙雅县千亩示范田应用以来,产品获得地膜企业广泛认可。2021 年起逐步推广,累计产销超 4 万吨,覆盖新疆农田超 700 万亩,更出口至美国 5000 吨。回收地膜再加工可实现每吨至少 3000 元的增值,既助力农户降本增收,又升级了高端合成树脂产品线。

## PBST 全生物降解地膜

### 产品

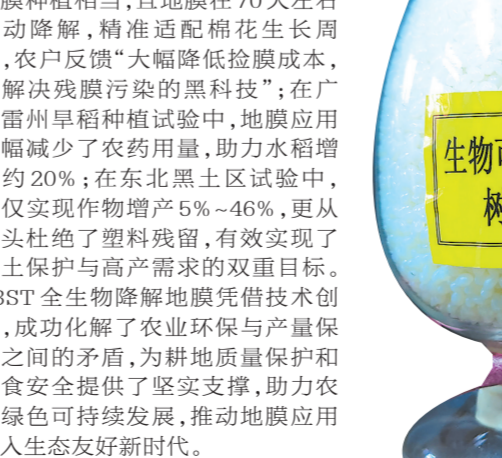
以北化院自主研发的 PBST 全生物降解材料为核心材质的地膜,是应对农业“白色污染”的创新解决方案。相较于传统脂肪—芳香族共聚产品,PBST 材料抗紫外线能力更强,特别适配新疆、海南等强紫外线地区的农业生产需求;水汽阻隔性优异,可有效保障作物病情稳定;耐热性能突出,能适应不同产区的温度波动;同时,其降解周期可调控,匹配各类作物生长节律,从源头避免农膜残留。

### 攻关

该产品的成功产业化,源于 20 多年的持续攻关及“产研研”协同创新体系。自 2004 年起,北化院聚焦催化剂研发、单体优化、聚合工艺升级及加工应用适配四大核心方向,构建起全套自主技术体系,累计申请专利 122 件。其间,北化院联合华鲁公司、中石化(海南)聚烯烃新材料公司,持续开展“产研研”联合攻关与技术推广。2024 年,全球首套 6 万吨/年 PBST 连续工业化装置在海南洋浦经济开发区建成,2025 年,该装置一次投料开车成功,实现了原创技术

### 应用

目前,该产品已在西北、华南、东北等农业主产区完成典型试验示范,成效显著。在新疆乌苏万亩棉田试验中,第三方测评结果显示,棉花产量与传统 PE 地膜种植相当,且地膜在 70 天左右启动降解,精准适配棉花生长周期,农户反馈“大幅降低膜成本,是解决残膜污染的黑科技”;在广东雷州旱稻种植试验中,地膜应用大幅减少了农药用量,助力水稻增产约 20%;在东北黑土区试验中,不仅实现作物增产 5%~46%,更从源头杜绝了塑料残留,有效实现了黑土保护与高产增产的双重目标。



生物降解 PBST 树脂切片

PBST 全生物降解地膜助力绿色农业绿色发展

## HDPE 包装膜

### 产品

HDPE 薄膜具有拉伸强度高、化学稳定性强、防潮性好等优点,尤其适合制作各种包装膜,如购物袋、垃圾袋衬里、重包装袋、土工膜、防水材料等。依托国产 BCE-H200 型催化剂制备的 HDPE 薄膜,在拉伸强度、抗冲击韧性与加工适配性上实现精准升级,兼具稳定性与卓越防潮阻隔性,制品强度高、手感细腻且开口性优良,特别是所得薄膜制品中的“鱼眼”缺陷显著减少,有效提升了成品外观与使用可靠性,适配从精细包装到工程防渗的多元高端需求。

### 攻关

该薄膜的性能突破源于聚乙烯催化剂的国产化攻关。此前,生产高品质 HDPE 膜料的

主流技术是淤浆法工艺,其核心催化剂长期依赖进口,制约产业降本增效。北化院科研团队瞄准产业链自主可控需求,聚焦催化剂性能优化与工艺适配性,自主研发出 BCE-H200 型高性能淤浆法聚乙烯催化剂,实现了催化剂高负荷稳定生产。2022 年,该催化剂在中韩(汉)石化成功产业化应用,实现 9255、9252 等多个高端膜料牌号量产,完成进口催化剂的稳定替代。

### 应用

目前,采用 BCE-H200 催化剂生产的隔膜树脂被国内的隔膜生产企业广泛应用,极大满足了国内隔膜制品的日常需求。中韩石化技术人员评价,“BCE-H200 型催化剂生产的膜料树脂质量优异,解决了高负荷生产难题,投放市场后获得包装、土工等行业客户广泛认可,为拓展高端膜料市场奠定了坚实基础。”

## 电池软包用 CPP 薄膜

核心技术,北化院自主研发的 CPP 专用料,兼具优异的冷冲压成型性,可适配各类复杂电池极型的结构设计;耐电解液稳定性突出,能有效抵御电池内部化学环境侵蚀;具备高阻隔性、强耐穿刺性与优良绝缘耐高温性能,为电池安全与寿命提供双重保障。

### 攻关

为突破国外企业在 CPP 专用料领域的技术垄断,研发团队聚焦凝聚态结构与相结构调控核心技术开展针对性攻关,攻克多相多组分软包 CPP 薄膜材料结构改性关键技术,开发封装材料整体解决方案,成功实现冷冲压性能、粘接性能与热封性能的协同提升。

在千吨级专用料生产装置上,首次完成 5 个规格 CPP 专用料的工业化量产,填补了国内高端软包 CPP 专用料的技术空白。

### 应用

目前,系列产品已在多家主流封装材料企业实现规模化应用,累计生产封装材料超 20 万平方米,在 3C 电子(计算机、通信和消费 3 类电子产品)、动力电池及储能等核心场景应用潜力较大。经下游头部厂商严格测评,产品部分关键性能优于同类进口产品,在降低产业链采购成本的同时,保障了供应链安全稳定。

## 高性能 HDPE 防渗膜

### 产品

在环保与基建领域,防渗膜是守护土安全、阻隔污染渗透的关键屏障。为彻底改变高端专用料依赖进口、核心评价技术受制于人的局面,北化院联合石化等单位,成功研发出国产高性能 HDPE(高密度聚乙烯)防渗膜 TR400 系列专用料,并构建起自主、完整的检测评价体系,全面实现从“料”到“膜”的国产化突破,标志着我国在高性能防渗膜领域实现了从“依赖进口”到“自主可控”的根本转变,为重大工程建设和生态环境保护提供了坚实可靠的材料与技术保障。

### 攻关

北化院科研团队直面国内在专用料性能、评价体系、关键设备等方面的短板,围绕“材料—检测—标准”开展系统性攻关。通过历时两年攻关,还成功服务“一带一路”沿线项目(刚果(金)修复等),获得产业链上下游企业的广泛信赖。

## 超滤膜

### 产品

作为工业污水处理与回用的核心材料,超滤膜的性能直接决定水处理效率与成本。为破解国内超滤膜“高端用不起、低端用不久”的行业痛点,北化院开发了均质聚丙烯(PP)中空纤维膜、均质聚偏氟乙烯(PVDF)中空纤维膜、PVDF 板式膜、湿法增强 PVDF 中空纤维膜等一系列国际先进水平膜产品,实现了从核心膜材料制备、膜元件开发到工业应用技术的全链条自主创新,打破了国外高端产品技术垄断。

### 攻关

研发团队以需求为导向,聚焦两大技术攻关方向:前期突破传统结构设计瓶颈,通过优化材料配方与制备工艺,解决了膜性能与稳定性的平

衡难题;后续前瞻性布局“限氧令”应对方案,依托中国石化自有膜材料优势,国际首创热法非均相增强聚丙烯超滤膜制备技术,首次实现无氧有机膜材料放大制备,构建起原料、创新、产业深度融合的研发体系,为国产膜材料转型提供核心技术支撑。

未来,研发团队将重点聚焦国际领先的新一代非含氧超滤膜产品研发及应用,持续提供适配绿色化转型的膜技术解决方案。

## 纳滤膜

### 产品

在水处理分离领域,纳滤膜是实现资源精准分离与高效回收的核心材料,我国长期面临“低端产能过剩,高端依赖进口”的结构性困境,制约产业升级。北化院推出的高端纳滤膜产品性能,显著提升处理效率并降低能耗;耐酸碱纳滤膜突破 pH 应用限制,助力酸碱介质的循环利用;镁分离膜凭借高选择性,为盐湖绿色提锂提供新方案;有机溶剂纳滤膜适配苛刻体系,有效支撑精细化工贵金属催化剂回收与溶剂纯化,切实助力企业降本增效。

### 攻关

研发团队聚焦基础材料创新与核心工艺突破两大方向,历经十余年攻关,实现关键跨越。团队打破国外技术垄断,攻克高端纳滤膜制备核心难题,从膜材料分子设计、配方优化到工艺调控完成全链条自主创新,最终建成先进中试生产线,实现从实验室研发到工业化制备的顺利转化。

当前,团队正围绕膜材料长效稳定性提升、特种分离精度优化持续深化研发,夯实技术领先优势,持续支撑“双碳”目标下工业节水减排与资源循环利用。

## 多峰膜料

### 攻关

研发团队以客户需求为导向,前期深入下游市场,精准定位客户对薄膜强度和加工稳定性的核心诉求,通过优化分子结构设计并聚合工艺,解决了产品性能均衡与批次稳定性的难题;后续面对市场竞争的牌号快速升级,公司并未简单跟随,而是依托自身研发积累,形成了独特的自主核心技术体系,构建起从需求洞察、定制化研发到紧密服务的一体化支撑体系。

未来,中韩石化将继续聚焦多峰膜料系列的性能优化与细分市场拓展,持续提供适配客户升级需求的定制化解决方案,巩固并扩大在多层膜领域的领先优势,为国产高端聚烯烃材料的高质量与市场化发展注入强劲动力。

### 产品

作为日用包装与薄膜生产的核心原料,多峰膜料的性能直接决定了薄膜的强度、均匀性及加工效率。为破解薄膜市场“高端依赖进口、低端同质竞争”的结构性痛点,中韩石化成功开发了多峰高密度聚乙烯膜料 HIF7000,实现从自主配方设计到稳定工业化生产的技术突破,

通过精准对接周边区域客户,中韩石化多峰膜料 HIF7000 以优异的加工适用性和稳定的产品表现获得下游客户的广泛认可,年销售量达 8.3 万吨,牢牢占据了区域市场主导地位。中韩石化创新建立的“自主配方+深度技术服务”模式,有效帮助客户提升了生产效率和产品竞争力。王冲昊 吴希慎 供稿



中韩石化新材料研发人员攻克多峰高密度聚乙烯膜料生产技术难题。吴希慎



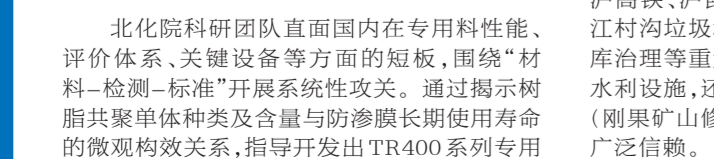
北化院纳滤膜系列产品。



科研人员研讨提升锂电池软包聚丙烯流延薄膜(CPP)性能。



电池软包铝塑膜是软包锂电池的关键封装材料,相较传统的电池金属外壳,具有轻、薄、设计灵活等优势,广泛应用于 3C 电子、动力电池及储能领域,其内层聚丙烯流延薄膜(CPP)是



防渗膜的性能突破源于聚乙烯催化剂的国产化攻关。此前,生产高品质 HDPE 膜料的