

复合膜净化工业废气高效又节能

通讯员 杨芳 朱琳 本报记者 金凤

甲醇是生产新能源汽车锂电池电解液碳酸二甲酯的主要原料，但甲醇跟其他物质反应后，会形成碳酸二甲酯和甲醇共沸混合物。从共沸混合物中提取碳酸二甲酯，通常采用变压精馏工艺。

最近，南京工业大学化工学院教授金万勤团队开发出一种新型有机-无机复合膜材料，采用新型膜分离工艺，提出一种有机共沸混合物分离的新策略。

“与变压精馏工艺相比，这种新工艺分离1吨碳酸二甲酯的蒸汽消耗将从8吨降至4吨。”金万勤说。

这一新工艺正是基于金万勤团队主持完成的“气体净化膜材料的创制及应用”项目研发的新技术。经过多年积累，项目成果在中石化、中盐集团等企业的200余项工程中应用，取得了一定的经济效益和社会效益。

研发“有机-无机复合膜”

金万勤介绍，石化、制药领域的工业废气成分复杂，其中含有机挥发物、超细粉尘及含油气体治理难度极大。传统气体净化技术如旋风、静电和布袋除尘等，往往存在处理效率低、运行不稳定、资源回收利用效率不高等问题。

“相较于传统气体净化技术，膜技术具有效率高、能耗低等特点。应用膜技术对工业废气进行处理，有望实现废气达标排放和资源回用。”金万勤说。

膜技术用于气体净化优点显著，但目前不少气体净化膜材料存在分离性能低、规模制备难度大、运行不稳定等问题，很难应对工业烟气单位时间排放体量大、过滤推动力小等复杂工况。

对此，团队聚焦工业化废气净化与回收面临的共性问题，针对气体净化膜技术的瓶颈问题，开展了系统深入的研究。

金万勤介绍，现有的膜材料通常是有机-无机复合膜，这种膜在有机溶剂等苛刻环境中极易发生溶胀。这会导致膜孔道结构被破坏失去分离选择

性，使性能不稳定。

于是，团队另辟蹊径，提出了“有机-无机复合膜”。在反复试验中，团队通过构建聚合物分离层和陶瓷支撑层，制备出低成本、高稳定性的聚合物-陶瓷复合膜。

为何要让两种材料复合叠加？金万勤介绍，这样做能更好地发挥两种材料的优势。他们通过将刚性无机支撑体与有机膜层复合，构筑了受限溶胀界面的新结构，成功突破膜通量和选择性相互制约的限制，解决了有机膜层在有机溶剂中因溶胀带来的不稳定性。

“这种膜的研制难点就在于如何解决无机层与有机层间的界面结合问题，其中涉及如何控制膜层厚度、支撑体的粗糙度、高分子溶液的黏度、孔渗控制，以及在放大制备过程如何保证膜层完整性。这些都需团队一次次反复试验优化。”金万勤说。

金万勤带领团队围绕现有膜材料难以满足复杂化工烟气超低排放与回收利用需求的难题进行了一系列攻关。他们克服了现有膜材料有机溶剂不耐受的难题，打破了传统膜渗透性和选择性难以兼具的瓶颈，实现了两者的同步提升；开发出国际首创有机-无机复合膜和双疏膜产品，显著提高膜的抗污染性能和长期服役性能；提出了国际首创的防静电导电网技术，创制了本质安全型膜组件，从根本上解决了装备防静电防爆问题，保障了百余项工程的安全运行。

突破规模化制备瓶颈

在实验室里实现的理论突破能否转化为产品，是团队面临的又一个挑战。在南京工业大学材料化学工程实验室，金万勤展示了一种膜层厚度不超过5微米的气体净化膜。他对记者感慨道，他带领团队攻克了气体净化膜技术的一系列规模化制备难题，又用了10年时间，让气体净化膜材料从实验室走向中试。

针对工业烟气中油性气溶胶易吸附在滤材表面形成污染层、影响膜结构和透气性能的难题，团队又提出了表面疏水疏油改性的热辅助原位功能化方



团队研发的聚合物-陶瓷复合膜。金万勤供图

法，实现了对膜界面结合性与表面浸润性的有序调控，创制了双疏型气体净化膜材料，显著提高了膜的抗污染性能和长期服役性能。

“较之国际先进技术，气体净化膜产品透气速率提高30%以上，机械性能提高198%，对0.3微米超细粉尘去除率远超国际标准，达到99.99%以上。”谈及双疏膜，项目第二完成人、南京工业大学教授仲兆祥介绍，烟气中油性气溶胶等污染物在双疏膜表面吸附作用力小，污染层在重力和反吹等外力的作用下极易脱离膜表面，从而具有自清洁效果。为解决膜材料在高黏高湿体系中的应用提供了新的解决途径，膜稳定运行寿命也延长了3倍以上。

金万勤介绍，目前气体净化膜技术在200余项工程中应用，遍及25个省（区、市），率先实现了膜技术在含氯气体、含油烟尘处理等领域的规模化应用。累计处理工业气体超过3000亿立方米，新增高附加值粉体和有机溶剂回收价值超10亿元，产生了广泛的经济效益和社会效益。

“一张膜无法解决所有气体净化问题。利用膜技术更高效地进行气体净化是我们科研工作的更高目标。”金万勤说，下一步，团队将继续在提高气体净化膜材料分离性能及应用性上下功夫。“我们将在有机-无机复合膜的基础上，进一步创新研发一种新型混合基质膜，希望未来一到两年里实现规模化制备。”他说。

广州海珠湾隧道双线贯通

科技日报讯（记者龙跃梅 通讯员苏林建 郑玉茹）近日，随着盾构机刀盘破洞而出，广州市海珠湾隧道工程盾构隧道实现双线贯通。

海珠湾隧道工程总投资约116.8亿元，纵跨广州市海珠区、番禺区，全长4.35公里，隧道段长3143米。其中盾构段长2102米，开挖直径达15.07米，是广州第一条超大直径盾构隧道，被称为“广州第一盾”。

海珠湾隧道工程所处位置地表建筑物密集，周边交通繁忙、地质条件复杂，包括长距离穿越泥质粉砂岩地层、两条断层破碎带等，盾构穿越风险极高。为了确保盾构机安全高效掘进，建设团队建立穿越风险源条件验收制度，并选取多个掘进试验段开展掘进参数分析、调整，为盾构机实际掘进提供精准数据支撑。

该工程盾构段先后穿越多处敏感构筑物，共涉及较大风险源26处，影响范围内房屋近600栋。对此，建设团队对既有构筑物实行“原位保护”，即在不拆除构筑物的情况下进行桩基托换施工，不仅避免大拆大建，还最大限度减少了施工对周边企业、居民的影响。

据了解，自海珠湾隧道工程开工以来，广州交投集团、中铁十四局创新开展关键技术攻关，全力克服技术难度大、施工条件严苛、施工工艺复杂的严峻挑战。项目创下多项“全国首例”，如完成国内首例最大规模超大直径盾构磨群桩施工，在全国范围内首次对同个项目分别采用常压和常规两种刀盘进行双线掘进等。

海珠湾隧道工程计划2025年建成通车，届时可实现中心城区和广州南站15分钟互达。



图为工作人员正在检查盾构机作业情况。

中铁十四局供图

智慧技术为高速公路添“绿”提效

本报记者 矫阳

近日，在国新办举行的“推动高质量发展”系列主题新闻发布会上，交通运输部副部长李小鹏在会上透露，目前，我国综合立体交通网总里程已突破600万公里，其中高速公路里程18.36万公里。里程数如此庞大的高速公路，在智慧技术加持下，呈现了哪些出行新场景？

科技日报记者日前实地走访了中铁交通投资集团有限公司（以下简称“中铁交通”）运营管理的部分高速公路，体验了最新运维创新成果。

智能动态照明节能78%

云南玉（溪）至楚（雄）高速段，是国家公路网规划中广昆高速联络线（G8012）弥勒至楚雄高速公路的重要组成部分。

当车行驶进玉楚高速干海子隧道时，记者发现，隧道内的照明是依据车辆行驶需要开关的。“这是我们探索的隧道伴随式智能动态照明场景。”中铁交通西南运营中心党委书记、总经理余国斌告诉记者，这种照明技术可以实现LED隧道灯开关、亮度实时调节。

根据系统设计和类似实例测算，中铁交通西南运营中心在干海子隧道应用的伴随式智能动态照明场景，在单边日均车流量1000辆的交通状况下，能够实现69%—78%的节能效率。

专家认为，干海子隧道这种伴随式智能动态照明场景，有力推动了高速公路运营模式向节能减碳转型，在隧道智慧照明智能管理上积累了可复制可推广的经验与实践。

第一时间“截断”事故隧道

在高速公路行驶，如果前方隧道发生突发事件，通常会在路口设置人工路障和电子警告灯。而如今，隧道突发事件预警阻拦系统已经逐渐在高速公路隧道应用。

“特长隧道发生突发事件后，现场管控具有滞后性，容易导致车辆来不及刹车。”中铁交通北方运营中心党委书记、总经理苗铁军说。

静兴高速连接山西省忻州市静乐县与吕梁市兴县。6月26日，山西省交通运输厅、吕梁市人民政府、中铁交通等联合举行了静兴高速大万山特长隧道交通事故联合应急演练。

在这次演练中，隧道口首次使用隧道突发事件预警阻拦系统，在距离

隧道口500米、180米和洞口处分别通过声光报警、光雾软管阻隔、栏杆机自动拦截形成三道防线。

“这个系统融合了声、光、影等系列控速措施。当隧道发生险情时，系统通过声光报警器高频闪烁并发出高分贝警报声；情报板发布禁止通行指令，通行信号改为预警色。同时，烟雾发生器模拟产生烟雾，激光发生器发射红外线照进烟雾，形成‘光幕+投影+各项显示指令’的交通阻断形式。整个事故隧道洞口封闭用时38.67秒，达到了第一时间‘截断’事故隧道洞口交通流的目的。”苗铁军说。

5秒发卡、20秒缴费通行

在汕头—湛江高速、濮阳—湖北阳新高速、静兴高速、宜（宾）彝（良）高速等路段，高速公路智能收费机器人已全面推广。

“对未安装ETC的车辆，大多数高速公路收费采用人工收费方法。中铁交通联合相关科技企业，共同研发了‘全站无亭+智慧云仓’智慧收费站。”中铁交通汕湛公司党委书记、董事长、总经理柳丽君说。

在汕湛高速收费站，记者看到，智能无人收费机器人系统融合了车道信息、事件信息、控制指令等，结合收费

业务场景，集成了多种智能化模块。智能无人收费机器人系统提供入口自助发卡及出口自助缴费服务，实现5秒发卡、20秒缴费通行，提升了收费现场车道通行效率。

濮新高速采用的则是基于智能化云仓系统打造的全域标准化无人值守收费站。无人值守收费站通过设置独立式发卡机、独立式缴费机、智能节点三合一设备、智慧云仓、车型识别等设备，将车道信息、收缴费、特情等内容信息汇总到终端，并施行云计算处理和反馈，打破了传统岗亭式人工收费单一模式，收费时间及通关效率提升30%，特情反馈和应急处置效率提升近40%，不仅有效降低建设和人工成本，更为广大司乘带来更智能、更便捷、更高效的出行体验。

在为司乘营造良好通行场景的同时，中铁交通对高速公路的维修保养也采用了全新数字技术，如北斗边坡一体化智能监测系统。中铁交通相关技术负责人解释说，这个系统结合卫星导航、智能物联网、融合通信等技术，通过云计算和机器学习进行大数据处理，对高速公路边坡提供全天候的监测，实时掌握边坡灾害、变化因素、变形量、变化速率、预警阈值等数据，提高了建设和运营营养工作效率。

成果播报

8毫米超纯铁素体不锈钢下线

科技日报讯（记者赵向南）近日，中国宝武太钢集团（以下简称“太钢集团”）不锈钢冷轧厂成功下线8毫米厚超纯铁素体热卷。太钢集团不锈钢冷轧厂副厂长冯杰说：“这是我们集团生产的第一批8毫米厚超纯铁素体不锈钢，比原来的厚度增加了2毫米。这意味着我厂超纯铁素体不锈钢实现了突破极限规格设计能力。”

据介绍，厚规格超纯铁素体不锈钢主要用于制造汽车高端法兰等部件，国内每年需求量约为5000吨，出口订单量为1000—2000吨。“过去，我们采用‘热连轧厂轧制剪切+热轧厂退火酸洗’开平板工艺路线，生产的厚规格超纯铁素体不锈钢厚度虽大于6毫米，但没超过8毫米。”太钢集团不锈钢冷轧厂宽幅原酸作业区副主管邹庆华说，“对研发团队来说，厚度增加2毫米是极大考验。”

今年，太钢集团不锈钢冷轧厂接到一笔特殊的订单：要求试生产厚度规格为8毫米的超纯铁素体不锈钢。为此，不锈钢冷轧厂研发团队对焊接工艺进行了精益求精的探索。“焊缝熔合质量决定

了整个工序质量。”太钢集团不锈钢冷轧厂热连轧厂郑勇说，“8毫米厚度的超纯铁素体不锈钢，焊接难度更大。掌握好在线退火炉、焊缝各项性能参数，是这一工艺的关键。”

为了攻克这一难关，不锈钢冷轧厂组织有经验的焊工对焊接工艺参数进行调整。焊接中，研发团队全程跟踪观察焊缝，确保能及时发现问题。“通过拉伸、弯曲测试和焊接后的取样分析，我们最终确认了焊接工艺参数。”郑勇说。

生产8毫米厚的超纯铁素体不锈钢，对退火工艺要求严格。工艺窗口窄、不合适等问题，都极易引起脆性断裂。“通过与技术中心产品工程师进行多次取样分析、试验后，我们最终确定了科学的退火工艺。”太钢集团不锈钢冷轧厂技术质量室王月省说，“目前，产品性能比前期产品质量明显向好，用户反馈也良好。”

日前，8毫米厚规格超纯铁素体不锈钢已实现稳定生产。冯杰说：“该产品的稳定生产增强了企业核心竞争力，有力支撑先进制造业发展，满足国家重大战略需求。”

新型空气悬浮离心鼓风机投用

科技日报讯（记者俞慧友）7月21日，记者从中车株洲电机有限公司获悉，日前由该公司自主研发的新型空气悬浮离心鼓风机，在湖南省株洲市城市生活垃圾焚烧发电厂成功启用。与此前采用的传统罗茨鼓风机相比，空气悬浮离心鼓风机不仅显著降噪，还大大降低了能耗。

株洲市城市生活垃圾焚烧发电厂是湖南省和株洲市重点建设项目，年处理生活垃圾约60万吨，年发电量约2.5亿千瓦时，年节约标煤7.5万吨。今年6月，经过现场勘查和多方技术调研，该发电厂将二期污水处理站渗滤液处理系统，由传统罗茨鼓风机提质改造为空气悬浮离心鼓风机。

中车株洲电机有限公司流体装备事业部总经理赵雪源介绍，空气悬浮离心鼓风机应用了中国中车全球领先的高铁核心技术。技术团队攻克了空气悬浮轴承、高速永磁同步电机、高性能气动设计、系统匹配、智能控制等关键技术。

“神枪”检测提速口岸通关

本报记者 陈曦
通讯员 张扬 孙鑫

近日，在天津港集装箱货物查验场地上，天津新港海关的工作人员柴陆路正在对申报品名为“再生铝块”的货物进行现场检测。柴陆路拿着酷似手枪的检测设备，分别将设备前端的辐射检测窗口和元素检测窗口对准货物表面，轻扣“扳机”，不到3分钟，设备显示屏上便清晰显示出货物的放射性检测数据和金属元素种类、含量。

这款被海关关员们称为“神枪”的口岸检测设备，全称为“手持式再生金属分析仪”，是由天津海关研究开发的再生金属元素含量定量检测设备。该设备不仅便于携带，而且能够准确筛查放射性、检测金属元素含量，可应用于口岸进口集装箱货物中再生金属原料的放射性和元素含量的检测。这也是全国首个可应用于口岸货物监管的便携式再生金属元素含量检测设备。

随着口岸贸易量的持续攀升，较长的实验室检测用时与口岸快速通关要求之间的矛盾日益突出。

在传统口岸检测模式下，海关关员需要携带光谱仪、便携式γ能谱仪和表面沾污仪等多台设备以应对不同类型的查验工作。部分进口货类受限于检测设备准确度的准确性，难以当场出具结果，需要送海关实验室检测。

“过去，检测化学成分需要实验室工作人员对口岸送检样品进行制样，使样品满足标准要求检测条件后才能上机测试。从送样、制样再到上机测试，整个过程平均需要5天左右才能出具报告，由此产生的仓储和物流费用对企业来说都是一笔不小的支出。”天津海关课题组主要科技人员孙鑫介绍说。

通过转子悬浮运转和整机隔音降噪设计，新型空气悬浮离心鼓风机确保了设备满负荷运行时的低噪环保，将厂区室内综合噪声从114分贝降至84分贝，室外综合噪声由95.6分贝降至52.2分贝，噪声监测各项指标大幅低于国家标准。

在节能降耗方面，空气悬浮离心鼓风机搭载超高效永磁同步电机，配以专门研制的矢量控制变频器控制系统，在满足客户流量和压力工况下，单台实际使用功率仅60千瓦，较传统罗茨鼓风机单台可节电31%，年省电量约23.6万度。

赵雪源透露，公司还自主开发了空气悬浮轴承性能预测软件，能准确预测轴承承载能力、刚度、阻尼等性能参数，具有独立的空气悬浮轴承设计能力，可为高速、高温、大承载、强振动等复杂工况提供专业化设计。目前，技术团队利用自主研发的核心技术，研制了空气悬浮、磁悬浮离心鼓风机、空压机、氧化风机和余热回收发电机等系列无油高效节能装备。

“神枪”检测提速口岸通关

天津海关科技人员应用激光诱导击穿光谱技术，采用焦点移动光路设计理念，研究开发聚焦透镜微电机驱动模块用于该设备，实现设备1秒钟内对被测样品表面高达1000次的激发，以采集尽可能多的货物信息，提高仪器检测精密度和准确度。

不仅如此，设备首次将元素分析与放射性检测相结合，内嵌多套神经网络算法模型，自动将检测数据与再生金属原料标准样品库、标准限值数据库等进行比对，快速、准确地完成铜、铝、铁等多基体再生金属化学成分和放射性污染物的检测，填补了该领域的技术空白。

“有了‘神枪’的帮助，进口再生金属的检测效率可谓是一日千里，单次元素检测仅需3秒钟，α、β表面污染检测每点仅需2至3分钟，γ周围剂量当量率检测每点仅需100秒。”柴陆路介绍，“借助这台设备，铜、铝、铁等多基体再生金属化学成分和放射性污染物的检测效率提升的同时，还为降低进口再生金属原料实验室送检比例提供了有效的技术方案。这一升一降，无论是时间还是成本，企业都获得了实实在在的效益。”

据悉，目前该设备已在天津、南宁、广州等地的5家实验室对129批样品进行了比对验证，结果表明使用该设备检测的主要金属含量结果与实验室采用经典方法的检测结果一致性高，相对误差满足标准要求。

天津海关科技处处长后璞说，下一步，天津海关将在智慧海关建设和“智关强国”行动中持续发力，不断加强基础研究和核心技术攻关，通过科技装备智能化，不断提升口岸智能监管水平，为守护国门生态安全提供坚实的科技支撑。