

“非共识”前瞻布局，将肺部影像从黑白变彩色

■杨曦

那是2020年1月22日，距离农历除夕只有两天。

中国科学院精密测量科学与技术创新研究院院长、研究员周欣刚刚完成医疗器械注册证的答辩。与此同时，武汉传来新冠疫情加重的消息，打乱了所有既定日程。他迎头一次任何项目答辩都更为紧迫的倒计时，并决定搭乘当日最后一班飞机回武汉。

“我必须赶快回去，我们的仪器应该能帮上忙。”疾驰的出租车在空荡的马路上驶过，车窗外的路灯向后飞掠，如同倒计时的刻度。这位深耕肺部磁共振成像十余年的科研工作者，暗下决心：无论前方有多少艰难险阻，都要带着技术与仪器，逆行走进风暴眼。

周欣口中能“帮上忙”的人体肺部多核磁共振成像(MRI)装备，在十多年前，还是一项学术界的“非共识”研究。从科研的前端到应用转化，再到社会效益，每一个环节都曾受到质疑。如今，该装备已在国内十余家三甲医院投入临床应用，在慢阻肺、放射性肺损伤、肺癌等多种重大疾病的临床诊断中大显身手。

一路走来，这项研究能够坚持下来并在关键时刻派上用场，离不开国家自然科学基金委员会(以下简称自然科学基金委)具有战略眼光的前瞻性布局。

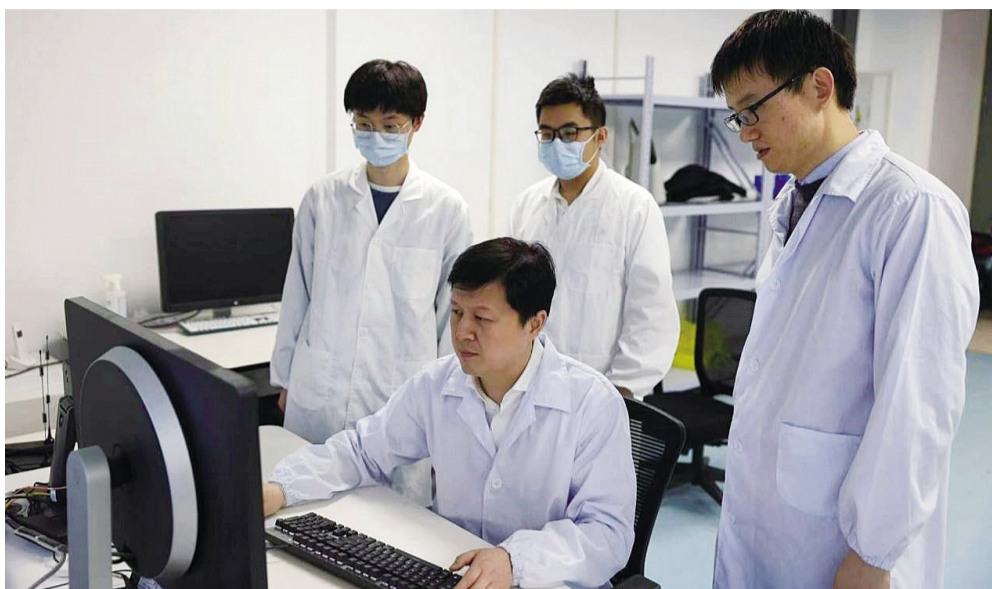
“点亮”肺部的目标

基础研究是整个科学体系的源头，是所有技术问题的总机关。正是基于这一深刻认知，2025年12月，自然科学基金委正式启动重大非共识项目试点，明确鼓励开展一些争议大、风险高，却极具原创与颠覆性的高价值基础研究。此举旨在引导科研人员聚焦高水平原创研究，构建良好的原始创新生态，为建成科技强国提供坚实支撑。

自然科学基金委在基础研究与应用基础研究领域进行战略性与前瞻性的资助与布局，早有迹可循。

众所周知，MRI技术凭借无电离辐射、高分辨率等优势，显著提升了现代医疗诊断水平。然而，长久以来，人类至关重要的呼吸器官——肺，在MRI面前被学术界公认为绝对的“黑洞”。传统MRI依赖探测人体组织内部水分子中的氢质子信号，而肺作为气体交换的空腔组织，空气多、水分少，导致其在图像上往往呈现一片漆黑。

周欣从中看到了创新研究的可行性。在美国哈佛大学医学院深造期间，他每天和医生沟通，敏锐地发现了一个临床需求：当时国际上



周欣(右二)和团队成员在实验室。

受访者供图

尝试用氦气进行造影。然而，氦气不仅价格高昂，产量稀少，而且不能进入血液。

带着寻找更好替代元素的目标，2007年，周欣前往美国劳伦斯伯克利国家实验室，最终找到能够运用于肺部检测的化学元素——氦。

2009年，带着“点亮”肺部的目标，周欣放弃留美机会回国。他的美国导师曾断言：“这件事必须懂仪器原理的人来做，你回中国有很大概率能成功，就看你下不下了决心。”

周欣下了决心，但他面临的却是极其艰难的开局。当他提出要做肺部气体磁共振成像时，业内质疑声四起，“这项研究只能发文章，没法推广”“只能停留在动物实验”“已经有CT了，为什么还要花时间、精力、金钱去做肺部磁共振”。

世有伯乐，然后有千里马。转折发生在2012年。

周欣还记得，在申报这一有争议的“非共识”国家重大科技仪器设备研制专项项目答辩时，专家从科学性、必要性和可行性等几个层面进行了点评与提问。周欣当即立下军令状：“我会尽百分之百的努力去做，我不敢保证百分之百会成功，如果不成功的话，我再也不到自然科学基金委来。”

周欣最终获得资助。这张关键的“信任票”不仅彰显了科学共同体对高风险、高价值原始创新科学研究的包容，也体现出自然科学基金委在基础研究领域的战略定力，为周欣研制医疗仪器充满未知的漫漫征途锚定了“起点”。

在自然科学基金委宽容失败的氛围下，周欣和团队成员挺过了“至暗时刻”。2019年，周欣带领团队自主研发的人体肺部气体多核磁共振成像装备进入临床应用。在推动技术向临床应用转化的过程中，周欣逐渐感受到拥有交叉人才团队的重要性。同年，他作为学术带头人获批“生命波谱与成像”国家自然科学基金创新研究群体项目(以下简称创新研究群体项目)。依托该人才项目的资助，一支多学科交叉团队正式组建完成。这不仅为后续的科研攻坚积蓄力量，更生动诠释了自然科学基金委“通过项目培养人才”的初衷。

从“非共识”到“共识”

2020年，周欣坐了十余年“冷板凳”后，迎来了大考。

当年3月，周欣在一次视频会议结识了时任武汉市金银潭医院院长、华中科技大学同济医学院附属协和医院教授张定宇。“非常执着”是张定宇对周欣的第一印象。为了获取新冠患者肺部情况的第一手临床资料，周欣向张定宇提出对处于恢复期的新冠患者进行检测。在了解该仪器对评估患者肺功能的潜力后，双方一拍即合，决定将这套仪器搬进金银潭医院。由于仪器设备体积庞大，而医院预留房间的墙体凸出，精密仪器无法搬入。眼看项目就要卡壳，周欣直接找到张定宇

商量。最后，墙体被拆除，设备顺利入驻。

与此同时，周欣率先请战奔赴前线，团队成员也紧随其后。“我们团队所有人都写了请战书。”中国科学院精密测量科学与技术创新研究院磁共振影像研究部主任、研究员郭西旋回忆道。至今，她依然对当时的情景记忆犹新：“在对病毒还不了解的情况下，大家都怕。”关键时刻，周欣身先士卒，第一个躺进仪器做测试。

通过仪器“点亮”肺部，医生们首次直观地看到新冠患者肺部的情况。时至今日，这台带有“抗疫勋章”的仪器，每年仍在金银潭医院为2000多名新冠患者进行定期的随访检查。

经此一役，这项曾经的“非共识”研究赢得了同行的“共识”，同时取得了令人瞩目的转化成果。周欣带领团队在全球范围内率先实现了人体肺部气体多核磁共振成像装备的自主研发，使超极化氦气磁共振信号增强8.6万倍，达到国际最高水平；开发了系列用于肺部重大疾病检测的活体多核MRI探针以及系列原位细胞的多核磁共振新方法，实现了从微观到宏观对肺部的观察与检测。

简单来说，这项技术不仅让病患免受辐射之苦，更将肺部影像从黑白变成了彩色，做到了让老百姓“用得起、看得清、测得准”。凭借这些硬核的底层技术突破，2023年，该仪器获批国家三类创新医疗器械，并于2024年被纳入国家医疗服务价格项目立项指南。

聚交叉之力，育创新之魂

近期，该创新研究群体项目资助期满，评估成绩优异。周欣认为，该项目的独特意义在于坚持以国家重大需求与前沿科学探索为牵引，帮助团队真正实现了化学、物理、生物医药等交叉学科背景人员的建制化科研范式，从而解决了以临床为目标的基础科学问题。

如果说前期的国家重大科技仪器设备项目是打造了一件探索未知的“利器”，那么后续的创新研究群体项目则是汇聚了一支能将“利器”发挥到极致的“跨界大军”。在将氦气磁共振技术推向临床的过程中，团队遇到了一个核心堵点：仅拥有创新型仪器还不够，作为造影剂的氦气分子，在人体内的成像灵敏度、定量精度和特异性仍显不足，严重制约了临床转化应用。

依托该创新研究群体项目，在前期研究的坚实基础基础上，周欣带领交叉团队从分子层面攻坚克难。他们通过分子化学与生命健康的深度融合，成功突破了人体分子成像的灵敏度极限，打通了从基础研究到临床落地的关键通道。

回首来时路，周欣认为，科研方向是既定的轨道，研究项目就像卫星。“我要在预定轨道上不断发射卫星，并根据世界科技前沿和国家重大需求，不断修正轨道的方向。”早在学生时期，周欣就明确了未来职业发展研究方向：要做能够落地的基础研究，研究成果最终要“落到人上面来”。

要实现这个长远目标，不仅需要个人的笃定，更离不开前辈的引路。博士刚毕业时，他曾想顺理成章地申请副高级职称。中国科学院院士叶朝辉与刘买利建议他去世界顶尖实验室开阔眼界，如此才能走得更高、更远。

这份来自前辈的“风物长宜放眼量”的教诲，不仅影响了周欣当初的个人抉择，也被他融入人才培养与团队管理中。他常常告诉团队里的年轻人，做科研工作不是只为发几篇文章，而是要真正厘清“学业、职业与人生”的长远规划。在他看来，只有坚持守正创新，把论文写在祖国的大地上，才是科研工作者真正的成就。

为了让这支队伍能够沉下心来瞄准长远的目标，周欣在管理模式上进行了改革。他发现，随着团队规模扩大，传统的按学科分组模式容易让人陷入“信息茧房”：大家受惯性思维影响，往往只在自己的专业领域内打转，难以同其他学科进行深度融合。为此，他打破学科壁垒，因地制宜、因材施教，转而以问题导向和需求导向进行小组重组。

在探索基础科学问题时，周欣鼓励学生跨界阅读、大胆假设，强调“既要有天马行空的创新，又要有脚踏实地的严谨”。团队中自由活跃的学术氛围感染着青年学者。

在临床应用时，周欣极其严苛：“临床是没有容错率的，对待病患一点都不能出错。”

如今，团队正在向更精密的制高点发起冲锋。肺部影像不仅要“看得清”，还要“看得准”。他们通过特制药物与仪器的结合，让不同类型的肺癌在仪器下呈现不同的“颜色”，实现早期癌症的精准判别。

“很多关键核心技术依然受制于人，实质原因是没有解决其背后的科学问题。正所谓‘基础不牢，地动山摇’。”周欣坚信，科研需要深度钻研，更需要打破壁垒进行交叉聚力，这样才能步步为营。

从“非共识”的“冷”起点，到抗疫前线的“热”应用，再到成为学科方向的“共识”凝聚，在科研团队看来，正是自然科学基金委具有前瞻性地对“非共识”项目探索的远见与定力，为这场漫长的科马马拉松锚定了起点，也为他们向生命健康更深层次探索注入了不竭动力。

(作者单位：国家自然科学基金委员会科学传播与成果转化中心)

绿色分离的“膜”法秘籍

■本报记者 甘晓

在现代化工业生产中，物质精准分离离不开在高温、高盐、强腐蚀环境下稳定工作的“筛子”——特种分离膜。这类功能膜材料形态丰富、品类多元，既有薄如蝉翼的高分子薄膜，也有坚硬致密的无机陶瓷管，还有细如发丝的中空纤维束，可适配不同工业场景的分离需求。

这些形态各异的特种分离膜可在分子尺度准确地“挑出”目标物质，无需加热和燃烧等工序，节能环保，让工业分离变得更清洁、高效、经济。

自2020年起，在国家自然科学基金创新研究群体项目“特种分离膜”(以下简称创新研究群体项目)的支持下，南京工业大学研究员邢卫红带领团队以“设计膜、做好膜、用好膜”为主线，构建起从基础研究到工程化应用的全链条创新体系，形成国际一流研究队伍，持续引领我国特种分离膜领域发展。

近日，在接受《中国科学报》采访时，邢卫红表示：“我们的核心使命是持续攻克基础研究关键科学问题，研发化工节能减碳与高质量发展中用得上、用得起、用得好的特种分离膜。”

直面瓶颈，找准科学方向

我国是化工制造大国，分离过程能耗占比高，传统工艺普遍存在高耗能、高排放、效率偏低等问题。而膜材料需要面对高温、强酸强碱、有机溶剂、复杂烟气等极端工况，普通膜材料极易失效，难以实现长期稳定运行。

“无膜可用”，这是创新研究群体项目立项之初，邢卫红深入企业一线调研时听到最多的行业呼声。膜领域普遍存在“跷跷板效应”，即膜的渗透通量与分离选择性相互制约，往往通量越高选择性越低、选择性越高则通量越低，成为高性能膜材料研发的固有难题。

团队深入剖析发现，彼时我国特种分离膜产业发展面临多重现实瓶颈。例如，膜结构、制备工艺与使用性能之间的匹配关系尚不清晰，膜材料设计缺少理论支撑，微结构精密构筑方法亟待发展；高端苛刻应用场景长期面临性能不达标、无法规模化应用的困境，难以支撑化工、环保、能源等行业绿色转型升级。

面向国家重大需求与产业现实挑战，邢卫红团队于2019年获得创新研究群体项目立项支持，由邢卫红担任学术带头人，会聚南京工业大学化工学院教授陆小华、金万勤、范益群、汪勇、暴宇钟等骨干成员，共同开展研究。

团队凝练提出三大核心科学目标，即膜传质模型构建、膜微结构精密构筑、膜微结构稳定性控制。邢卫红解释，三者构成互为支撑、紧密衔接的逻辑体系。膜传质模型构建解决“如何科学设计膜”的基础问题，膜微结构精密构筑解决“如何高质量做好膜”的技术问题，膜微结构稳定性控制解决“如何高效用好膜”的工程问题。

“膜传质模型为膜制备、膜应用提供理论支持，膜制备、膜应用反馈数据，为膜传质模型提供验证；膜制备为膜应用提供核心材料，膜应用的稳定性为膜制备方法调控提供依据。”她表示。

几年来，在创新研究群体项目的支持下，科研团队在三大方向协同发力，将膜传质机理研究从传统多孔传质拓展至纳微结构限域传质，同时提出固态溶剂调控新策略，实现膜材料微观结构的精准设计与可控构筑。相关基础研究成果达到国际先进水平。

三步创新，锻造膜材料利器

在创新研究群体项目支持下，邢卫红团队系统推进“设计膜、做好膜、用好膜”全链条创新，把基础研究突破转化为可制造、可应用、可推广的膜材料与成套技术。

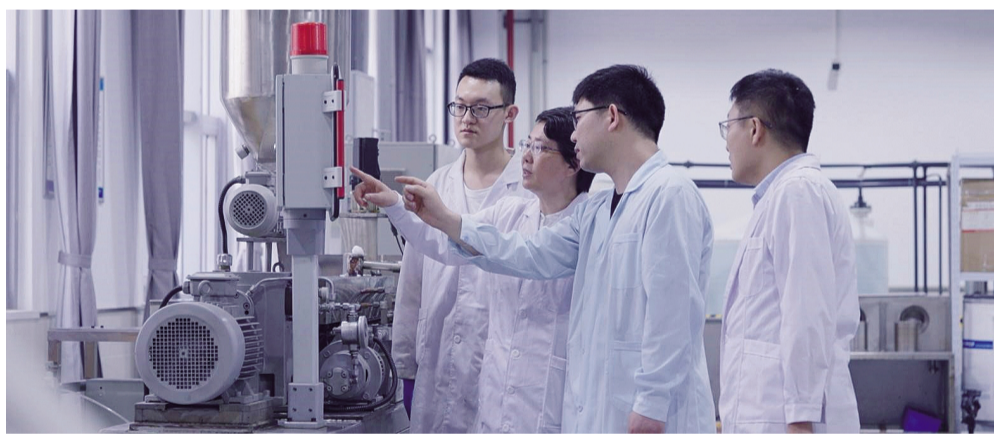
在“设计膜”方面，团队聚焦限域传质机理，打破膜渗透性能与分离性能之间的“跷跷板效应”，实现膜结构按需定制。

“我们发现，当膜孔径缩小到一定程度时，分子在孔道内的传递会产生滑移效应，推动分离性能实现大幅提升。”邢卫红介绍说，而“限域传质理论模型”就是在这机理的基础上建立起来的，用以指导分离分子、膜孔道及孔壁界面间的协同设计，为高性能膜材料研发筑牢了理论根基。

在“做好膜”方面，科研团队对膜的微观结构进行精细调控，全面提升膜综合性能。

团队开发了固态溶剂、纳米胶囊封装等原创策略，攻克膜微结构精准调控难题，成功研发出新型功能膜，在国际上率先实现技术突破。通过调控膜从表面到断面的电荷状态，团队设计构筑电荷渐变层级结构膜，显著提升了膜分离效能。

例如，团队成员、南京工业大学教授孙世鹏率先提出“纳米胶囊封装”方法，将改性剂定量封装并在成膜过程中可控释放，制备耐酸、耐碱、耐有机溶剂的特种纳滤膜，建成年产50



邢卫红(左二)指导团队开展工作。

受访者供图

万平方米规模化生产线。2022年6月，这项前沿技术吸引社会资本入局，催生了一家高科技产业化企业。投资方高度看好这项中空纤维纳滤膜技术，尤其是其突出的拉伸力学性能和分离性能。“达到这一性能水平的同类产品，在国际上也十分稀缺。”邢卫红表示。因此，投资方投入1500余万元成立立业化公司，落地建设专业化生产线，推动成果快速转化。

而“用好膜”则重在提升膜在复杂工况下的抗污染能力、结构稳定性与综合使用效能。团队围绕工业实际场景开展系统集成研究，解决了膜污染、性能衰减、结构脆裂等长期制约规模化应用的痛点。他们在高温工况中发现膜材料自愈现象，通过温度与气氛协同调控实现膜结构在应力作用下的自我修复，大幅提升膜材料的使用寿命与运行可靠性。

一系列关键技术难题的攻克让高性能膜材料真正走出实验室，进入大型工业装置并实现长期稳定运行。

基础研究的持续创新，也推动了我国膜领域学术平台建设。在创新研究群体项目立项之前，有学者看到，我国膜产业与膜科学研究已跻身国际前列，却始终缺少一本由本土主办的国际英文期刊。依托创新研究群体项目的诸多高水平成果，团队于2021年创办英文学术期刊《先进膜》(Advanced Membranes)。

事实上，我国膜领域学术论发表量、引用量均位居全球首位，却没有属于自己的国际专业期刊，与行业学术地位和产业发展格局并不匹配。”邢卫红表示。

于是，团队牵头倡议，凝聚全球华人膜领域学者力量，携手创办国际自主主导的国际学术期刊，得到学界广泛支持。如今，期刊创办三年多，影响力已超过国际传统同类顶刊，成为展示中国膜领域原创成果的重要窗口。

邢卫红说：“我们实现了把高质量科研成果发表在中国期刊上！”

始终秉持“靠近科学、靠近工程”的发展理念。

“科研选题必须源于产业真实需求。”邢卫红强调。团队坚持将企业一线技术难题凝练为前沿科学问题，把产业发展刚需确立为研究方向，针对不同品类、不同应用场景的膜材料，实行分阶段、差异化研发布局，精准对接市场实际需求。

团队构建起老中青梯队搭配、结构合理、富有活力的科研人才梯队。“我们建立以重大任务为导向的青年人才激励机制，大力支持青年骨干牵头承担重点科研攻关任务。”邢卫红表示。

与此同时，依托创新研究群体项目的培育支撑，团队整合国家特种分离膜工程技术研究中心、江苏省膜材料与膜过程协同创新中心平台资源，推行“一所两制、统一管理”，组建高校科研人员与产业化平台人员深度融合的研究队伍，有力促进了科技创新和产业创新深度融合发展。在这培养体系下，一大批深耕基础理论又通晓产业工程的复合型青年人才迅速成长、脱颖而出。

比如，南京工业大学化工学院教授仲兆祥针对大气污染防治PM2.5超低排放面临的问题，研制出满足化工烟气高效治理的改性聚四氟乙烯(PTFE)和高温碳化硅膜产品并实现了规模化应用，烟气净化后达到国家超低排放标准，运行能耗降低1/3以上，减污降碳效果显著，为化工企业烟气治理提供了技术支撑。南京工业大学化工学院教授潘宜昌则聚焦石油化工轻烃分离能耗高的问题，研制出丙烯丙烷分离用沸石咪唑酯骨架-8(ZIF-8)膜材料，并提出微空间转化策略，实现了ZIF-8膜的规模化制备，并进一步建成验证性侧线分离装置，为膜法同碳数烃的高效分离提供了一条具有实际应用前景的技术路径。

在团队成员看来，创新研究群体项目给予了长期稳定、聚焦前沿的科研保障，让科研人员能够潜心钻研、深耕细作，开展长周期系统性科研攻关。

邢卫红介绍，团队还特别注重学生的培养，鼓励学生以科研成果参加创新创业竞赛。近年来，多名学生在中国国际大学生创新创业大赛、“挑战杯”全国大学生竞赛等活动中取得优异成绩。

面向未来，邢卫红团队将继续深化限域传质理论研究，攻克高端膜材料与分子分离/离子分离关键技术难题，持续开展特种分离膜在新能源、环境治理、医药健康、绿色化工等领域的应用，推动原创成果工程化、产业化。