



闵恩泽是我国著名石油化工催化剂专家，在石油炼制催化剂制造技术、催化新材料、新反应工程、绿色化学研究等领域取得诸多开创性重大成果，为中国石油化工技术赶超世界先进水平作出巨大贡献，被誉为“中国催化剂之父”。

“我最骄傲的事是回到祖国”

闵恩泽，1924年出生于四川成都，名字寓意“承天地之恩，泽苍生黎民”。他自幼受中国传统文化和家族“忠厚传家久，诗书继世长”的影响，形成了坚定的品格和追求。

1937年，七七事变后，日军战火燃及重庆、成都等地。在战乱中长大的闵恩泽，深感国家落后就会挨打，遂立志发奋学习。回顾往昔的艰难岁月时，他写道：“我经历了四川军阀多年的混战、8年的抗日战争和在上海3年的物价飞涨、民不聊生。这些遭遇都让我十分盼望国泰民安。”1948年3月，闵恩泽自费公派赴美国俄亥俄州立大学化学工程系留学。在暑假，他参观了肯塔基州的阿希兰德炼油厂，目睹原油经过流态化催化裂化装置，神奇地转化为清亮汽油，这一幕让他震惊且激动，心中涌起强烈期盼：中国何时才能有这样规模的炼油厂？

在美深造期间，闵恩泽与陆婉珍喜结连理，共同于1951年获得博士学位。毕业后，夫妇二人在美国都找到了稳定的工作，但安逸的生活难抵思乡爱国之情。随着新中国建设的好消息不断传来，报效国家的渴望也愈发热切。然而，朝鲜战争爆发后，美国国会通过法案，禁止学习理工农医的中国留学生离开美国国境。他乡之客，关山难越，他们几次寻求回国的尝试都告失败。

1953年，闵恩泽夫妇归心似箭，写信求助于时任香港中国印染厂厂长的潘其迪，潘费尽周折，为夫妇二人成功办理了香港居留证，靠着这张居留证，最终使美国移民局开具了允许轮船公司把票售予他们的证明。1955年9月，闵恩泽夫妇终于从旧金山乘坐邮轮启程，经过香港数日短暂逗留后，就与钱学森等一批留学生一道，乘火车从罗湖过境回到祖国怀抱。多年后，闵恩泽接受采访，被问起在半个多世纪科研生涯中什么事情最值得骄傲时，他坚定地回答：“我最骄傲的事是回到祖国！”

闵恩泽：中国炼油催化应用科学的奠基者

□ 徐 静



“国家需要什么我就做什么”

回国后，闵恩泽迅速投身于石油工业部的石油炼制研究所，与催化剂结下不解之缘。

催化剂，素有炼油工艺的“芯片”之称，其生产技术在各国都属于高度保密级别。新中国成立初期，催化剂的研究和生产都处于空白，完全依赖苏联进口。面对这一严峻形势，闵恩泽临危受命，承担起了研制和生产炼油催化剂的重任。尽管他之前并未专攻催化剂领域，但他坚定地说：“国家需要什么我就做什么，我就学什么，我就请教什么，就组织研发什么。”正是这样的决心，让他从零开始，为我国的炼油工业打下了坚实基础。

当时，小球硅铝裂化催化剂对于航空汽油的生产至关重要。然而，在20世纪50年代末，随着中苏关系的恶化，苏联撤走专家，并带走了原计划用于建设催化剂工厂的图纸。后来，苏联将次品卖给中国直至停止供应。面对进口库存越来越少、飞机就要停飞的困境，石油工业部决定自力更生，在兰州炼油厂建设中国自己的小球硅铝裂化催化剂厂。闵恩泽被任命为副总指挥，负责建设期间的所有技术难题。在极其简陋的实验室里，闵恩泽每天从早上8点开始工作，直到

深夜1点多才结束，随后还要开碰头会，通常凌晨两三点才休息。1964年2月，工厂开始试运行，闵恩泽和同事们吃住车间，仅用3个月时间就攻克了一系列技术难关。他常常冲在一线，面对干燥带掉带问题，他毫不犹豫地钻进高温烘烤的干燥室查看；当湿球干燥不均匀时，他连续一周守在干燥带旁废寝忘食地观察，终于在某个凌晨4点找到了问题的根源，这让他开心不已。1964年7月，进口库存仅能维持两个月时，催化剂厂顺利投产，其产品质量远超苏联，价格仅为进口剂的一半。在这次被称为“兰炼会战”的高强度科技攻关后，闵恩泽因劳累过度罹患肺癌，不得不接受手术摘除右肺下部两片肺叶和一根肋骨。手术后的他身体不如从前，最爱的乒乓球不打了，有时爬楼也会喘。即便如此，他仍心许国家，无怨无悔。

“国家需要”是闵恩泽的奋斗动力。1960年，他向时任石油工业部部长余秋里立下“军令状”，要拿下当时被美国垄断的微球硅铝裂化催化剂的研制任务。从实验到建厂按常规周期至少是8—10年，但在“国家需要”的驱动下，闵恩泽与团队仅用5年时间就完成了任务，连国外同行都觉得不可思议。与闵恩泽共事40多年的中国科学院院士李大东称赞道：“在闵先生心里有两点是至高无上、神圣无比的，那就是国家的自强、民族的自

尊。正是这种志气——我们中国人不屈不挠的志气、骨气——促使他和一批科技人员，历时30年，为中国的石油化工开拓出了一片自主创新的空间，使中国人从此在世界石油化工领域扬眉吐气，抬头走路了。”

“创新的过程就像唐僧西天取经”

闵恩泽的人生，犹如一部创新交响曲。自投身石油化工起，他就瞄准行业前沿，潜心研究，结合国情，不断创新。

1956年，在进行铂重整催化剂的中型试验时，闵恩泽发现国外使用的高纯度金属铝原料根本不符合我国国情。他亲自前往北京和山东的试剂厂、铝厂，调查国内原料和生产经验，经过两年试验，终于开发出一套高纯氧化铝载体的低成本制造方法。后续每一次技术难题的攻克，都是闵恩泽与同事们历经艰难困苦、砥砺前行 的结果。他家就住实验室附近，每晚睡前，闵恩泽总会在窗前看下实验室的灯光，亮着说明一切顺利，熄灭意味着催化剂“死”了！在生产催化剂的过程中，闵恩泽亲历了一次爆炸事故。巨大的震动和飞溅的陶瓷碎片让他心有余悸，但他并未因此退缩，反而提出了更严格的操作规范要求。

1960年，抚顺石油三厂建成了一座铂重整工业试验装置，可仅运行3天就因催化剂“失活”而停运，闵恩泽查阅文献及认真调研后发现，是原油中的“砷”所致。为了攻克这一难题，他和团队研发了测“砷”仪器和含铜的脱砷剂。经过不懈努力，1965年，我国第一间铂重整催化剂车间终于建成。这一成就，见证了他和团队长达10年的坚守与付出。

晚年的闵恩泽在谈及科技创新时说：“创新的过程就像唐僧西天取经”“取经要经过九九八十一难，唐僧就很执着，碰到再多困难和挫折，也没有动摇他取经的决心，最后终于到了西天，取得真经”。正是这种孜孜以求的创新精神，推动着我国催化剂事业不断实现跨越。

20世纪80年代中期，我国的催化剂研发走上自主创新之路。闵恩泽深知，石油化工要发展必须有自己的“新式武器”“秘密武器”。他力主科技原创，不辞劳苦地筹建了基础研究部，带领团队在新催化材料领域和新反应工程领域取得了一系列重大成果。1995年，闵恩泽主持中国科学院“绿色化学与技术”院士咨询项目，开启了在绿色化学领域的创新之旅。即便在74岁高龄，他依然勇于探索，首次涉足化纤单体己内酰胺的全新领域。在20世纪90年代初，中国石化斥巨资引进了三套己内酰胺生产装置，

但由于高昂的制造成本，巴陵分公司和石家庄化纤公司陷入了严重亏损的困境。这时，已退居二线的闵恩泽再次临危受命，应邀参加中国石化技术服务小分队，致力于“挖潜增效”。己内酰胺的制造远比炼油要复杂，用闵恩泽的话说，进入这个领域是“稀里糊涂地就骑到老虎背上去了”。骑上虎背的他，带领团队为巴陵分公司开发了全新的生产工艺技术，并为石家庄化纤公司提出了多项技改项目和科研课题。经过努力，两套装置的生产能力由原来的每年5万吨提至14万吨、16万吨，产品质量国际领先，同时消除了引进技术带来的环境污染问题。装置起死回生，企业扭亏为盈，工人们感激地把闵恩泽称为“福星”。

2008年，闵恩泽荣获国家最高科学技术奖，被誉为中国炼油催化应用科学的奠基人、石油化工自主创新的先行者、绿色化学的开拓者。这些赞誉既是对他成就的肯定，更是对他从技术革新到局部创新，再到原始创新不懈努力的证明。

“本身就是催化剂”

闵恩泽因在石油化工领域的卓越贡献而享有崇高声望，被同行亲切地称为“催化剂”。在2007感动中国年度人物颁奖晚会上，主持人问及这一比喻，他解释说：“那当然应该指跟我周围工作的人，这里面关键是要把他们催化在一起，要形成团队，形成活力，让他们各尽所能，发挥他们的才华！”

在同事和学生们的眼里，闵恩泽是一位慈祥的领袖式科学家，不仅培养了大批年轻人才，还特别能凝聚团队。在他的感召下，许多出国人员都在学成后回国。晚年，他仍致力于著书讲学传授经验、奖励创新人才。他如“催化剂”一样，小颗粒大作为，点石成金，引领升华。

2016年3月7日，闵恩泽走完了为我国石油化工科研事业奉献的一生。正如他给天津大学学子们的题词：“爱国、爱党、爱人民，奉献、勤奋、执着、创新，诚信、宽容、谦虚、热情！”这是他一生的真实写照，将永远激励后人不断前行。



走近医疗机器人

□ 苏 鹏 李星坛

人民日益增长的美好生活需要催生科技发展新需求，医疗机器人作为“机器人产业皇冠上的明珠”，是机器人和医疗器械领域的重点发展方向，也是提高我国医疗及养老助残服务科技化水平的重要落脚点。同时，人形机器人在医疗领域的应用和潜力日益凸显，预示着医疗产业将迎来更多创新与变革。

什么是医疗机器人

讲到医疗机器人，很多人会联想到达芬奇机器人，达芬奇机器人由美国直觉外科公司生产，历经了5代发展，完成了超过700万例手术，处于行业绝对垄断地位，是医疗机器人的代表。但是医疗机器人并不只是达芬奇机器人一类，它泛指用于手术、康复、诊疗等场景的机器人，包括手术机器人、康复机器人、辅助机器人和医疗服务机器人等。其中，手术机器人，如达芬奇机器人，由外科医生控制，可执行微创手术和手术影像引导，还可细分为外科手术机器人、骨科机器人、介入机器人、腔镜机器人等；康复机器人可辅助人体运动，用于损伤后肢体或神经康复，包含上下肢康复机器人、外骨骼机器人、假肢机器人、护理机器人等；辅助机器人可在医疗过程中起到辅助作用，如胶囊机器人、配药机器人、远程医疗机器人等；医疗服务机器人提供非治疗辅助服务，减轻医护人员重复性劳动，如陪护机器人、移送机器人、消杀机器人、医用物流机器人等。

医疗器械未来的发展方向是智能化，而医疗机器人则融合了医学、机械、控制、信息、仿生等多学科交叉知识，是医疗器械智能化前进的最终方向。那么，医疗机器人究竟运用了哪些关键技术呢？人体结构复杂，包含肢体、感知系统、神经和小脑、大脑等关键部分。相应地，医疗机器人技术也模拟了这些结构，配置了机械执行机构、传感器、运动控制系统和

决策系统，其关键技术研发工作也是围绕以上四个方面开展。

一是先进机器人机构设计。机构作为机器人的执行系统，是进行高精度、高稳定性操作的基础，包括机构构型、模块化设计、关节设计、仿生机构设计等。例如，手术机器人的执行机构，不仅需要满足期望尺寸要求，还要融合感知与交互，以实现各类复杂的功能。二是智能感知技术。感知是智能的输入和起点，也是人工智能发挥作用的基础，医疗机器人需要搭载各种传感器，结合信息处理技术，实时感知环境和人体状态。例如，通过视觉传感器识别并跟踪目标组织，分析病理图像；通过力传感器感知人机接触交互力等。三是机器人控制技术。控制是人工智能发挥作用的桥梁，通过对执行系统的智能运动控制、动态误差补偿、自主避障等，使医疗机器人具备高精度、高稳定性的运动能力，确保精准执行操作者的指令，最终实现复杂的智能行为。四是人工智能技术。医疗机器人是具身智能的重要载体，利用AI多模态大模型以及深度学习、机器学习等人工智能技术，进行复杂的决策计算，持续学习并优化出最合理的指令，从而高效指挥控制执行系统。例如，在紧急情况下，医疗机器人能够自主决策，迅速调整手术策略。

此外，医疗机器人的应用事关人民群众生命健康，安全和可靠性至关重要，其关键技术还涉及人机协同、人机交互、主从操作以及可靠性技术等。这些技术的不断进步和完善，将极大地提升医疗机器人的性能，确保其在医疗领域的应用更加安全、可靠和高效。

为什么要发展医疗机器人

当前，我国医疗资源紧缺问题依然突出，而人口老龄化趋势的加剧更

是进一步放大了民众对高质量医疗服务的需求。医疗机器人作为人工智能时代在医疗领域应用的深化，能够有效帮助医生进行一系列的医疗诊断和辅助治疗，在临床实践中体现出显著的技术优势。

医疗机器人，尤其在手术领域，其优势尤为显著。手术机器人可消除人手震颤，实现手术的精准化与微创化，能够进行手术规划与精准定位，并提供高清的手术视野，在眼外科、神经外科等显微手术中优势明显。此外，与传统开放式手术、腹腔镜手术相比，机器人辅助手术体现出创口小、感染率低、恢复快的优势，也可增强临床医生应对复杂手术的能力。康复机器人被认为是特殊环境下的“可穿戴设备”，具备助残行走、康复治疗、减轻劳动强度等作用，具有良好的运动一致性，能够保证康复训练的强度、效果与精度，可针对患者的损伤程度和康复程度，提供不同强度和模式的个性化训练方案与量化评价，并可基于人机交互控制，提高患者康复训练效果。

辅助机器人的出现，则丰富了医疗服务的内容。它能为患者提供诊前、诊中和诊后一体化的综合服务，满足医疗过程中的不同需求，特别是随着高质量网络系统的发展，医疗专家可在北京、上海等医疗发达地区的三甲医院，通过远程医疗机器人，实施跨越山海的手术，让老百姓在“家门口”就能享受到优质的异地医疗资源。

此外，医疗服务机器人可替代人工，长时间完成消杀、医用耗材管控与运输等工作，并具备全程追踪溯源、优化管理系统等功能，特别是在面对重大突发公共卫生事件时，彰显出非凡应用价值，智能配送、医疗监控、消毒运输等一大批机器人曾冲上防疫前线，在减少人员交叉感染、提升治疗效率等方面发挥了重要作用。

可以说，医疗机器人的普及正重塑医疗领域，在民生福祉中具有不可

替代的作用，其以精准、高效的方式深度参与医疗过程，极大提升医疗服务效果，有力推动健康中国和精准医疗的进步。

如何发展医疗机器人

多年来，国家密集推出了一系列发展医疗机器人行业的相关政策文件，包括“十二五”规划提出机器人医疗服务，2016年国务院印发《“健康中国2030”规划纲要》，2024年工业和信息化部等七部门联合印发《关于推动未来产业创新发展的实施意见》等，为以医疗机器人为代表的高端医疗装备发展提供了有利环境。然而，医疗机器人仍面临结构复杂、技术门槛高等挑战，与国外发达国家相比，我国医疗机器人普及率较低，产品和技术、性能和可靠性等方面仍有不足。因此，需加大研发投入，提升自主创新能力，以实现行业持续健康发展。

从医疗机器人的产业链看，其上游核心零部件包括伺服电机、减速器、传感器、控制器、系统集成等。目前，这些核心部件中最为关键的高端伺服电机、减速器和控制器仍然主要依赖进口，这在一定程度上制约了我国医疗机器人产业的自主发展。因此，坚持自主创新，实现核心部件国产化是产业可持续发展的重要保证；中游是医疗机器人整机生产企业，整体来看，我国康复机器人和辅助机器人的数量占比较高；下游为应用领域，涵盖外科手术、医院服务、助残、康复和家庭看护等各个层面。受限于科技和经济的发展，以及医疗行业的特殊性，现有的医疗机器人大多需要人工干预，智能化程度较低，功能较为单一，虽称为“机器人”，但距离真正独立进行手术或康复辅助的智能时代还有较长的发展路程。各种先进机构、智能感知、安全交互、远程医疗仍是未来医疗机器人的研究热点，特别是融合人工智能技术实现具

身智能，是医疗机器人应用与发展的重要研究方向。

具体而言，面对人体复杂结构，刚柔耦合的小型化执行器设计有待取得突破，特别是单孔腔镜手术机器人、胶囊机器人、纳米靶向机器人、柔性机器人等新型医疗机器人产品都是新兴细分领域；面对人机协同智能控制需求，需要通过多维传感、交互多模型、增强现实等技术手段，提升机器人的智能感知和认知能力，保障医疗机器人使用过程中的安全性；面对人一机一环境安全交互的需求，需要做好包括视觉、补偿、规划、增强现实、生物力学等研究，提升医疗机器人的数字孪生性能；面对远程医疗的发展需求，借助6G智能互联技术，突破术区多模信息实时反馈与精准解析、低延时网络安全传输等关键技术问题，提升医疗机器人的远程交互能力。

同时，医疗机器人作为医疗设备，面临严格的准入机制，增加了产业化难度。优化监管、试行绿色通道可平衡其安全性与市场性，提高技术转化效率。

医疗机器人作为医疗领域的重要创新，引领产学研协同发展，正走在新质生产力创新发展的前沿阵地。随着技术突破与应用拓展，它将深刻变革医疗领域，但也需应对技术、安全和伦理等挑战，构建负责任、可信赖、可持续的风险治理体系，确保其健康、可持续发展。未来，医疗机器人技术将更加成熟，为人类健康事业贡献更大力量。

（作者分别系北京信息科技大学继续教育学院院长、应用技术学院院长，北京市经济社会发展研究院产业发展研究所副所长）

