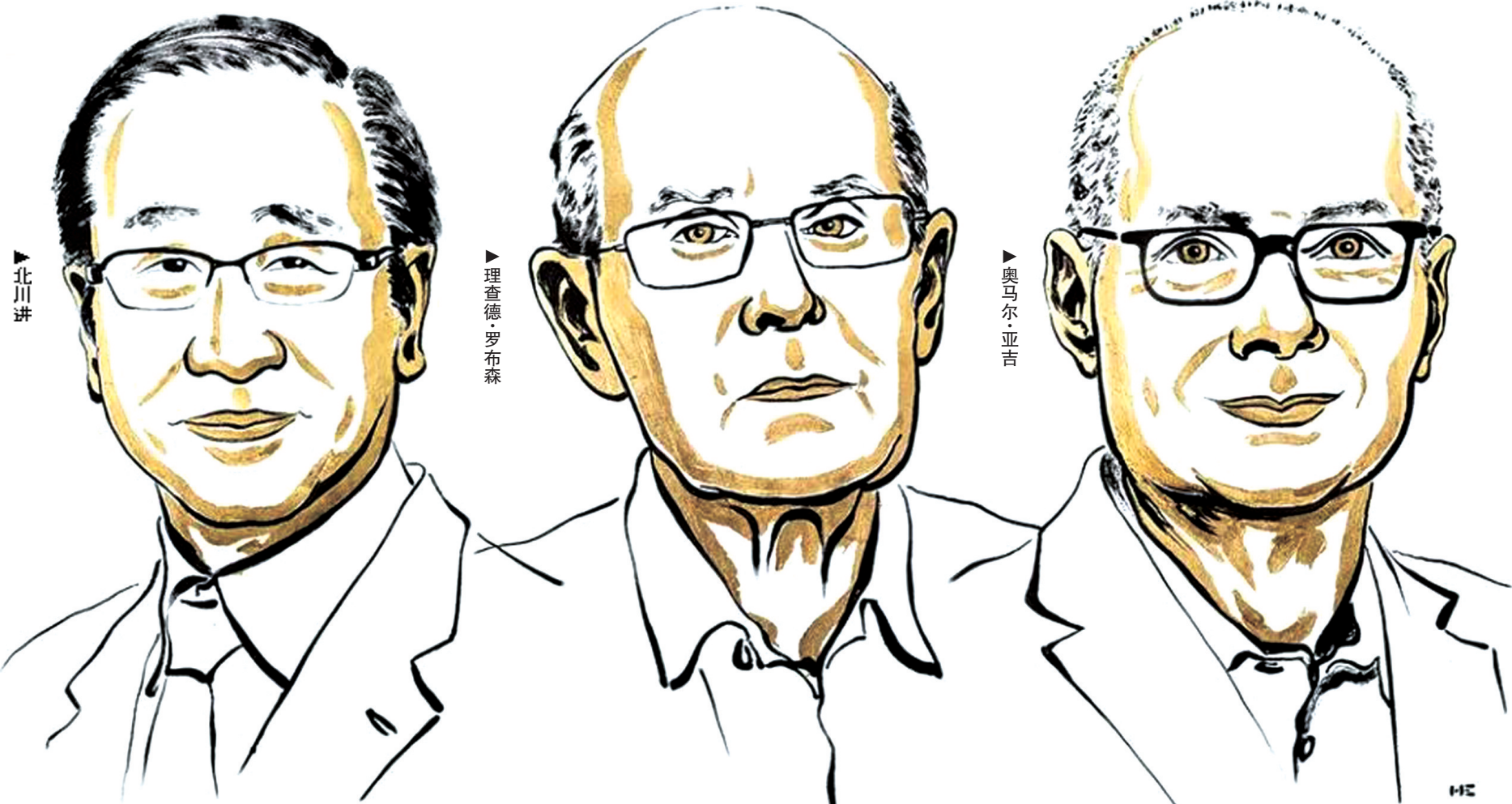




THE NOBEL PRIZE IN CHEMISTRY 2025



他们在分子世界里“造房子”

2025年诺贝尔化学奖揭晓

据科技日报 如果一名房地产中介负责推销分子世界的房产,他或许会说:“这是一间宽敞明亮、专为水分子量身定制的单身公寓。”

这样的“房子”确实存在。它们是由科学家精心设计的分子建筑——金属有机框架化合物(MOF)。今年,诺贝尔化学奖授予日本科学家北川进、澳大利亚科学家理查德·罗布森和美国科学家奥马尔·亚吉,以表彰他们在MOF材料开发方面的开创性贡献。

这种新型分子结构内部拥有大量空腔,分子可在其中自由进出。得益于三位科学家的工作,化学家如今已能设计出数以万计的不同MOF,为化学领域带来一连串“奇迹”。

理查德·罗布森 “分子建筑”灵感源自一节化学课

科学发现常始于“跳出框架”的思考。2025年诺贝尔化学奖的故事,源自一节普通的化学课准备。

1974年,理查德·罗布森正在为课堂制作分子模型,他用木球代表原子、木棒代表化学键。摆弄间,他灵光一现:如果能像积木一样,让原子或分子依照其化学特性自行连接,能否构建出新的“分子建筑”?

直到十多年后,他终于动手验证这一想法。罗布森将带正电的铜离子与四臂分子相结合,结果这些分子像钻石晶格一样自组装成规则的三维晶体结构,不同的是,这种晶体内部竟有大量空腔。1989年,他在《美国化学会志》上发表成果,首次提出这类分子网络的潜力,预言它们将赋予材料前所未有的性质。

理查德·罗布森的灵感来源于钻石的结构,钻石中的每个碳原子都与其他四个碳原子连接,形成金字塔状的结构。

此后,罗布森陆续合成出多种含空腔的分子网络,并证明这些结构内部的离子可以互换,从而让物质进出。他展示了可按需设计的分子晶体,并提出这种材料可用作催化剂。尽管早期材料脆弱、易分解,被认为“没用”,但罗布森已打开了“分子建筑”的大门。

北川进 让“无用之物”变得有用

20世纪90年代,北川进接过了罗布森探索的火种。他奉行的信条是:“要看到‘无用之物’的用处。”

1992年,北川进构建出一种二维分子材料,分子之间形成可容纳丙酮分子的空腔。虽然功能有限,但这代表

一种全新的分子设计思维。他同样用金属离子作为“支点”,以有机分子相连。

1997年,北川进成功构建出一种金属有机骨架,其内部由开放通道相交。

1997年,他的团队用钴、镍、锌离子与4,4’-联吡啶分子搭建出三维MOF结构,形成交错的空腔通道。当他们将材料中的水去除后,这些孔洞仍然稳定,可以吸附和释放甲烷、氧气、氮气等气体而不变形。

面对“已有多孔沸石,为何还要MOF?”的质疑,北川进给出关键答案。他认为,MOF可由多种金属和有机分子构建,功能可定制,并且材料柔韧,能如呼吸般吸附和释放气体。这一定义奠定了MOF的科学基础。

奥马尔·亚吉 为分子积木命名并赋予力量

在大洋彼岸,奥马尔·亚吉延续并拓展了这一理念。

1995年,亚吉正式提出“金属有机框架(MOF)”这一名称,定义了这种由金属节点和有机配体组成、具有规则空腔的晶体结构。

1999年,亚吉构建了一种非常稳定的材料——MOF-5,它具有立方体结构。

随后,他于1999年研发出MOF-5,这是一种极其稳定且空间巨大的框架结构,即使在300℃高温下也不会坍塌。最令人震惊的是其内部表面积:几克MOF-5的内部总表面积相当于一个足球场,远超传统沸石。这意味着它能吸附更多气体。

亚吉的团队继续扩展MOF家族,创造出十几种变体,用以储存甲烷、捕获二氧化碳,甚至在沙漠中利用MOF创造了“空中取水”的奇迹:夜晚材料吸附空气中的水汽,白天经太阳加热后释放出液态水,为干旱地区提供取水新途径。

MOF-303可以在夜间捕获沙漠空气中的水蒸气。当早晨太阳加热该材料时,便会释放出可供饮用的水。

如今,科学家已设计出数以万计的MOF,它们被用于碳捕集、空气净化、药物递送、能源存储等众多前沿领域。甚至在半导体制造中,也有MOF被用于捕捉或分解剧毒气体。

一些科学家认为,MOF潜力巨大,有望成为“21世纪的材料”。无论未来如何,通过MOF的开发,三位科学家为我们提供了解决能源、环境与健康等重大问题的新途径,而这正契合了诺贝尔遗嘱中“造福人类”的精神。

解读

金属有机“笼子”离我们有多远

本报记者李楠 长沙报道

10月8日,2025诺贝尔化学奖揭晓,日本科学家北川进、澳大利亚墨尔本大学科学家理查德·罗布森、美国科学家奥马尔·亚吉三位科学家共同获奖,以表彰他们“在金属有机框架领域的发展”。

国内有公司首创了使原材料更易获得的工艺

中南大学化学化工学院教授、博士生导师徐海对于金属有机框架化合物(以下简称MOF)开展过很多研究,已发表十多篇相关论文。据介绍,获奖的三位科学家是MOF领域的先驱,MOF主要是指有机成分和金属实现配位,再形成框架,相当于笼子,然后就可以做各种各样的应用。当前从事这一领域研究的科学家为数不少,就可以发现不同的“笼子”,做各种不同的应用。

从科学研究到具体应用,徐海教授坦言:“MOF的制造成本曾经确实较高,目前尚没有大规模应用非常好的样本。但近年来随着制备工艺的改进,其成本正在逐渐降低,一些应用也已开始走进普通人的生活。”他举例表示,国内已有公司自主研发了MOF的新型制备工艺,首创了助剂调控快速结晶制备工艺,使原材料更易获得,成本降到接近一元一克,“这个是巨大的突破”。

具体应用已逐步落地或接近实用化

随着MOF的制造成本的降低,徐海教授认为,MOF将在环境净化、能源储存、日常用品升级三大场景与我们普通人的生活相关联,其中具体应用已逐步落地或接近实用化。

在空气与水质净化领域,MOF的超高孔隙率能高效吸附污染物,比如在家用净水器中可过滤水中的重金属(铅、汞)和微量有害有机物;在空气净化过滤器滤网中,能精准捕捉甲醛、TVOC等装修异味,吸附精准度远优于传统活性炭。

对于能源与便携设备,MOF可用于储氢和储甲烷,未来能让氢能汽车的储氢罐体积更小、更安全;在充电宝或手机电池中,MOF基电极材料可提升电池容量和快充速度,延长设备续航。

在日常用品与健康层面,在食品包装中,MOF可作为“保鲜剂载体”,缓慢释放抗菌成分,延长水果、肉类的保质期;在医用领域,MOF能包裹药物并精准递送到病灶(如肿瘤部位),减少药物对正常细胞的伤害,提升治疗效果。

获奖者之一的奥马尔·亚吉与中国有诸多联系

值得一提的是,本次诺贝尔化学奖获奖者之一的奥马尔·亚吉与中国有诸多联系。据媒体报道,该校副校长王博师从本次的获奖者之一奥马尔·亚吉。王博立足MOF、配位聚合物薄膜材料(MOFilter),面向重大国家需求,在污染治理、绿色储能、能源气体生产与储存等领域取得了系列科研成果。

此外,奥马尔·亚吉曾在2022年1月被清华大学核能与新能源技术研究院聘任为清华大学名誉教授。据清华大学核能与新能源技术研究院官网消息,清华大学核能与新能源技术研究院近年来开展了COF/MOF材料的应用研究,取得了一些开创性的成果,例如新型拓扑结构COF储氢(J. Am. Chem. Soc., 2021, 143, 92.)和锂离子电池MOF隔膜(Nature Commun., 2022, 13, 172.)。国际业内顶尖教授奥马尔·亚吉的加入,将进一步拓展COF/MOF在新能源领域的应用研究。



瑞典皇家科学院8日宣布,三名科学家获2025年诺贝尔化学奖。图/新华国际微博