中国科學和

一一记华东理工大学教授许建和团队 打造工业催化酶『侦察兵

李铁军

记者黄辛

中国建材总院"科技在行动"系列报道

"包氏三步法"化解陶瓷涂层"三无"难题

■本报记者 丁佳 通讯员 王艳萍

一提到涂层,老百姓往往想到的是油漆、塑料薄膜等。不管是在科技、国防还是民用领域,随着技术的进步,人们对工程材料表面性能要求越来越高,涂层正发挥着越来越重要的作用

作为一种重要的现代表面处理技术和 材料复合技术,涂层与基体形成的复合体, 可使它们在性能上"取长补短"。例如陶瓷涂 层复合构件具有耐高温、耐磨损、耐腐蚀等 特性,广泛地应用于石油化工、国防军工、航 天航空、机械电子等领域。

然而时至今日,人们对陶瓷涂层的认识还不能说了如指掌。对各种陶瓷涂层物理性能的准确评价,一直是困扰国内外工程界的难题。

经过多年潜心研究,中国建材检验认证 集团股份有限公司(国检集团)首席科学家、 教授包亦望设计了一套巧妙的技术方法,在 国际上率先突破了陶瓷涂层物理性能检测 的难题。

"三无"困局

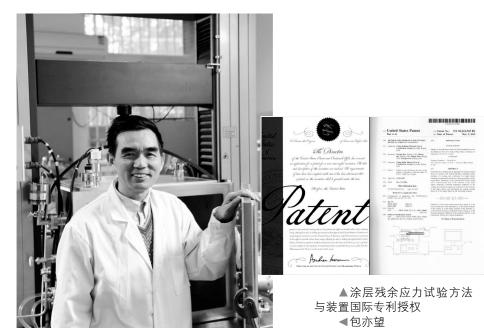
随着近几十年国民经济的飞速发展,我国陶瓷涂层领域的研究也有了长足的进步。在陶瓷涂层的研究和应用领域,特别是在航天航空和发动机等高温机械方面,国内的发展速度越来越快。

"可是,无论国内还是国外,陶瓷涂层性能评价技术的发展还远远跟不上涂层研发和应用推广的速度。这严重制约了涂层设计安全和应用可靠性的提高。"包亦望说。

对于陶瓷涂层而言,物理性能直接关系到涂层设计和制备以及应用过程中的可靠性和耐久性。例如,涂层的弹性模量直接关系到内应力的计算;膨胀系数影响热应力和界面可靠性;热导率是检验热障涂层的关键指标;残余应力评价更是判别构件强度和抗损伤能力的重要指标。

陶瓷涂层通常很难从基体上直接剥离, 因此无法作为单独块体试样进行各种物理 性能测试。很多情况下,科研人员都是用同 类块体材料的性能检测数据代替涂层的性 能,但这样做的误差很大。陶瓷涂层的物理 性能评价成了国内外陶瓷涂层及其相关领 域亟待解决的问题。

由于这一领域的重要战略意义,各国都希望在涂层检测技术上抢先一步占领制高点。如日本政府专门成立陶瓷涂层技术委员会进行攻关研究,意大利国家研究委员会陶瓷研究所、德国航空太空中心等机构也在热



障涂层领域开展了大量研究。

然而各方的研究均进展缓慢。直到本世纪初,陶瓷涂层的性能检测一直处于无方法、无标准、无设备的"三无"状态。2010年,国际标准组织先进陶瓷技术委员会专门成立了陶瓷涂层工作组,向全球征集关于陶瓷涂层的评价方法和技术。

老技术 新方法

这样的现状,让包亦望感到危机与机遇并存。"我们国家在陶瓷涂层的研究方面长期处于'跟跑'阶段,近年来才有所起色。如果我们能够在涂层性能检测上取得关键突破,将是为国家赢得先机的绝佳机会。"

能不能通过容易测试的参数,来计算难以测试的参数?包亦望一直在思考这个问题。在他的构想中,虽然涂层本身的性能难以测试,但是基体材料的性能和镀涂层后的复合体的性能均能通过常规方法和标准测试获得。"如果这两个性能参数与涂层的性能之间存在解析关系,我们是不是就可以直接计算出涂层的性能了?"

基于这一思路,针对每一项物理性能, 建立和推导基体、复合体和涂层三者之间关 系就成为最为关键的课题。 经过多年潜心研究,包亦望在大量力学 建模和数学推导后逐个确定了涂层性能的 计算公式,陆续解决了陶瓷涂层的弹性模 量、强度、密度、膨胀系数、导热系数、界面结 合强度以及残余应力等系列性能评价与测 试难题。

他和团队成员进一步将这些技术突破进行凝练,最终形成了一套"包氏三步法"的测试方法。这套测试方法在操作上简单易行,最多只需要三个步骤——基体材料性能测试、复合体性能测试、涂层性能计算。

"基体和复合体的性能均是采用常规的方法和标准,都没有难度,只要通过第三步计算,就可以用传统的测试技术来评价难以测试的材料性能,也就是所谓的老技术、新方法。"包亦望说,他们还针对各种涂层性能,给出了一套计算公式参照表,这样人们就可以用传统的方法,轻松实现涂层性能评价。

此外,如果基体的性能是已知的,三步法 还可以进一步简化为两步法;对多层涂层,则 可以重复这种步骤,得到下一层的性能。

中国成果 世界标准

在工程应用中,包氏三步法还可以推广 应用到其他表面性能评价领域。例如,要评

价混凝土表面的腐蚀和岩石表面的风化,可以把表面腐蚀层看作一涂层,用三步法可以评价该腐蚀层的性能和腐蚀损伤速度,以及超高温极端环境下的力学性能评价。

又如,对当前在电子工业和手机领域广泛应用的超薄玻璃的性能评价,由于其性能检测不能用与块体玻璃相同的方法,也可以将玻璃粘贴在金属表面看作是一涂层,利用涂层的物理性能测试方法确定超薄玻璃的各种性能。这种借鉴移植涂层测试技术用于解决其他材料性能评价的方法也称为拟涂层法。

10 年前,包亦望被任命为国际标准组织 先进陶瓷技术委员会历史上首个以中国为 召集国的工作组组长,同时连续四届担任全 国工业陶瓷标准化技术委员会副主任委员。 他深刻地认识到,虽然这种陶瓷涂层的性能 测试方法简单易用,但毕竟检测技术不是一 种产品,很难直接转化。"科研成果从引用到 应用是道坎儿,测试技术推广应用最有效的 途径还是标准化。"

近年来,包亦望团队集中力量致力于标准的制定,最终他们的涂层测试法受到国际和国内专家的认可,先后被制定成系列国际标准和3项国家标准。这些标准的发布,对于指导涂层设计及工艺优化、陶瓷涂层的结构设计与计算、陶瓷涂层构件的服役安全性与寿命预测均具有重要意义。

由于对推动标准建立做出的突出贡献,2014年,包亦望被中国标协评为"国际标准化十佳推动者";2018年获中国标准创新贡献一等奖,成为我国无机材料领域的首例。

最近,这一成果还成功走向了海外。3 月5日,包亦望团队申请的国际发明专利 "涂层残余应力试验方法与装置"在美国 获得授权。该专利技术应用极为广泛,如 石油化工、国防军工、航天航空、机械电子 等领域,不仅在国际上建立了新的涂层残 余应力测试方法,还研制设计了多功能涂 层膨胀系数和残余应力测试系统,突破性 地解决了涂层材料残余应力测试这一国际 性难题。

至此,包亦望带领团队成功地将自有专利技术研究成果转化为国际标准,并逐步建立了一套结构陶瓷力学性能测试与评价技术标准体系,率先在国际上取得陶瓷涂层材料物理性能评价领域的标准领先优势,也将我国建材行业的知识产权技术成功推上国际舞台,开创了一条拥有中国创新技术的国际化新路。

绿水青山就是金山银山,如何突破传统医药产业转型升级与环境污染困境? 人口老龄化进程凸显,如何助力健康医疗养老稳健发展?这不仅是社会大众关注的问题,也是众多科技工作者潜心攻坚的课题。

华东理工大学教授许建和带领团队,围绕生物催化剂的快速定制改造及高效合成手性化学品的关键技术攻关十多年,在近日举行的2018年度上海市科学技术奖励大会上获上海市技术发明奖一等奖。

早在 2003 年,许建和团队就瞄准了生物催化剂在医药研发领域的独特优势,建立了酶法合成万能抗氧化剂(R)—硫辛酸的成套工艺,并在全球率先实现产业化,助推相关产业的绿色转型升级。

催化剂的魔力

说起"催化剂",人们往往会赞叹它在化学反应中特殊的"魔力"。随着新时代化工产业绿色转型升级需求的日益凸显,设计并创制高效、专一、绿色的生物催化剂和催化工艺,已成为国际上高端手性化学品合成技术发展的普遍趋势和第一选择。

(R)一硫辛酸,是一种 类似维他命的万能超神奇抗 氧化剂,在预防和治疗心脏 病、糖尿病及老年痴呆症方 面有着广泛应用,但其生产 的关键中间体手性氯醇因其

化学合成条件十分苛刻,安全和环保压力巨大。

经过慎重思考,许建和团队选择(R)—硫辛酸等手性醇工业生产所需的羰基还原酶催化剂为主攻方向,并于1996年组建了国内最早的生物催化研究室。"生物催化是化学催化的有益补充和手性合成的重要手段,具有反应条件温和、立体选择性强等独特优势。"他表示。

从无到有 从有到优

天然酶的基因数量特别巨大,动辄数以百万。高效、稳定的工业生物催化酶的筛选犹如大海捞针,极其艰难,而能否把天生脆弱的酶分子改造成工业上稳定耐用的催化剂,更是生物催化能否实现产业化应用的关键。

为了从多达 375 万条基因的数据库中快速筛选出工业上有用的羰基还原酶,项目团队通过梳理归纳基因"进化树",科学规划、聚类约简,从每 3000 条相似基因中挑选一名代表,经过常规的分子克隆和发酵技术,制备出可代表 300 多万条功能未知基因的 1214 个先导酶,使得目标酶基因的搜索空间缩小了 3 个数量级。

许建和做了一个形象的比喻,"精心挑选并培养出来的先导酶分子,就像是一个个潜伏在茫茫基因'林海'中的前线'侦察兵',一旦与待测试的目标底物对上'暗号',即可引导'基因搜索引擎'将方向瞄准'进化树'上活性先导酶邻近的基因群落,再通过高通量筛选方法,快速定制获得具有特需工业属性的羰基还原酶。"

经过前期的顶层设计和批量定制,项目团队逐步建立了产权自主、代表性强、品种逾千的生物催化先导酶"侦察兵团",满足了制药工业不同结构羰基底物不对称生物还原的多样化需求。

"无中生有"只是第一步。项目团队针对天然酶活力低、稳定性差等应用瓶颈问题,解析了酶的晶体结构和催化机理,在2018年诺贝尔化学奖相关技术的基础上,创新发展了多目标并行的定向进化策略,成功将天然羰基还原酶的催化效率提高960倍、稳定性提高1940倍,得到高性能的(R)—硫辛酸合成酶催化剂,实现了"从有到优"

"从有到优"。

优化升级 助推转型

相关专家评价说,生物催化酶"侦察兵团"的建立,解决了长期困扰工业界的酶催化剂效率低、选择性差等技术难题,将开发周期由原来的1~2年大幅度缩短至1~2周,极大提高了目标生物催化剂从头设计开发的针对性和命中率。

随着项目团队在羰基还原酶催化领域取得的成果不断丰富,苏州富士莱制药公司、江西科苑生物药业有限公司、厦门欧米克生物科技有限公司等多家企业纷纷慕名而来,希望能获得生产革新上的技术支持,解决传统生产过程存在的不安全、不环保、成本高、纯度低等难题,开拓全新的绿色生产工艺。

"大型反应器中局部的过酸或过碱现象,容易造成酶的工艺性失活。"许建和解释道。项目团队改用对酶友好的弱碱替代容易使酶失活的强碱,大幅减缓了酶的失活,并设计制作了酶反应专用的碱液喷雾均布装置,显著降低了反应器中酸和碱的浓度级差,攻克了长期悬而未决的酶工艺性失活问题。

成功破解酶的失活难关后,项目团队针对反应底物在水相中不稳定、频繁更换工作介质造成大量浪费和排污等情况,在酶促还原反应中引人后续步骤通用的溶剂,形成了甲苯一水两相酶催化介质体系,有效地抑制了底物酮酯的自发水解,建立了基于羰基酶法还原的(R)—硫辛酸绿色制造成套工艺。

值得一提的是,合作企业苏州富士莱制药公司果断淘汰了原来使用的6步全化学合成工艺,在全球范围内率先建立了既高效又环保的酶一化学偶联法合成技术,工艺路线从6步缩短为3步,产品总收率从25%提高至55%,大幅度降低了能源消耗和三废排放。

近3年来,项目团队为企业新增产值9.8亿元,新增利润2.4亿元,并培育了一家上市企业;累计培养博士和硕士研究生100余人,其中4人已经成长为知名高校教授······ 形成了巨大的经济效益、环境效益和社会效益。

"酶是生物制造产业的核心'芯片',而智能化是未来发展新趋势,这些都是技术创新和知识产权争夺的焦点。"许建和表示,团队将在继续坚持源头创新的基础上,结合机器深度学习等智能计算方法,持续深耕、不懈奋进,攻克关键的"卡脖子"难题,更好地满足医药化工行业安全、节能、减排和技术转型升级的深层次需求。

中科院弘光专项系列报道②

支撑现代物流体系建设的核心智能装备系统产业化团队

将"汗水物流"转变为"智慧物流"

■本报记者 沈春蕾 通讯员 许绍云

在无锡苏南硕放机场附近,有个快递包 裹自动分拣中心,大大小小的包裹正被传送 带自动分发到代表不同地区的收集袋中。

"这不是一条普通的传送带,而是一套自动分拣设备,装备有自主研发的图像型全向大视野高景深自动扫码系统。系统在读取条码信息后,从数据库可以获得每个包裹的地址信息,从而实现自动分拣。"日前,这套自动分拣设备的研发者、中国科学院微电子研究所(以下简称微电子所)研究员李功燕告诉《中国科学报》,"我们应用图像处理、人工智能、工业物联网等技术,将'汗水物流'转变为'智慧物流'。"

从果蔬分选说起

说起这套物流包裹自动分拣系统,李功 燕告诉记者:"系统的技术原理来自团队在 2007年开发的果蔬分选系统。"

我国是世界上最大的果蔬生产国,年产量达到10亿吨,辐射带动相关产业实现产值超过3万亿元

超过3万亿元。 然而,一些问题也随之暴露。李功燕团队 通过调研发现,国内果蔬采后商品化处理比 例不足30%(发达国家高达80%以上);产地 采后腐烂损耗高达20%~30%,直接经济损失 超过4000亿元;产地商品化处理技术、产品、 装备与国际存在较大差距,严重影响我国果

蔬产品商品性和市场竞争力。 以赣南济橙为例,赣南济橙规模化种植后, 采后商品化处理成为推动赣南济橙品牌化、国际化的重要手段。长期以来,赣南济橙产地商品 化处理技术、产品、装备与国际存在较大差距, 严重影响赣南济橙的商品性和市场竞争力。

2007年起,微电子所与江西绿荫、赣南师范大学合作,联合开发基于重量、表面视觉、含糖量融合的果蔬分选系统。据李功燕介绍,项目初期成果于2008年底实现产业化,并大规模应用于赣南脐橙。随后,果蔬分选系统在国内25个省市先后安装了600余套,出口11个国家和地区,目前在国内同类产品的高端

市场比例已经达到80%以上。

在此基础上,李功燕团队的技术成果于2011年获得江西省科技进步奖二等奖。2018年微电子所与江西绿萌等单位共同成功申报科技部重点研发项目"优质果蔬智能化品质分级技术装备研发",进一步推动果蔬智能分拣技术创新发展。

"果蔬分选系统不仅实现了产业转型升级,还发挥延长产业链、提升价值链的作用,促进农民增收和农业增效。"李功燕说,"我们将果蔬分选系统成功转让之后,也开始思考下一步的应用方向。"

行业颠覆性创新

近年来,物流快递产业呈规模爆炸式增长趋势。统计显示,我国快递业务量连续5年稳居世界第一,对世界增长贡献率超过50%,成为世界物流业的动力源和稳定器。

来自国家邮政局官方网站的消息显示, 2018年全国完成快递投送507.1亿件。目前, 快递行业7家企业上市,市值接近万亿元。马 云曾指出,中国快递用10年时间,将一个不 能称之为行业的行业,做成了一个超过了美 国近一百年积累的行业。

然而,在中国快递行业发展的背后流淌着无数快递员的汗水。以人工分拣快递为例,需要一个个拣货员手动扫描快递包裹的条码,再根据包裹上粘贴的快递单信息将其放到代表相应配送位置的区域,"不仅工作量大,而且效率低下、容易出错。"李功燕说。

2014年,李功燕团队通过调研发现,之前的果蔬分选系统的技术原理也可以应用于物流包裹分拣系统。"当时国内的快递分拣系统大多依靠进口,价格很高,而通过技术创新完全可以将价格降至国外产品的四分之一甚至五分之一。"于是,在一年多的技术攻关后,团

队推出了物流包裹分拣系统原理样机。 "原理样机研发成功后,如何寻找到第一个 试用的客户是摆在团队面前的主要难题。"李功 燕回忆道,"我们前后花了近一年的时间,遍访 仅提高了大件包裹的 分拣效率,还提升了中 转中心的转运时效。 了国内主要的快递企业,终于得到一家民营快 递企业给予试用的机会。"当年,这家快递公司 每需自己公拉没久。用国外公及尽事的价格而

自动分拣系统节

省人力超过60%,不

递企业给予试用的机会。"当年,这家快递公司 急需自动分拣设备,因国外设备昂贵的价格而 苦恼。"经过半年时间的测试和团队不断改进技 术,样机的性能指标完全满足客户的需求,我们 也拿到了进入这个行业的通行证。" 这也推动着实验室里的科研成果向应用

这也推动看头验室里的件研放集的应用市场的转化。2016年5月,中科微至智能制造科技江苏有限公司(以下简称中科微至)在江苏省锡山经济技术开发区成立,李功燕多了一个身份——中科微至的创始人。

2018年,在中科院弘光项目支持下,中科院给予李功燕团队 5000 万元的科研经费。随后,微电子所联合中科院物联网研究发展中心、微电子所昆山分所和中科微至,在小件自动分拣技术基础上,进一步创新性地研发了大件包裹自动分拣系统、经济型动态秤系统以及直线型分拣系统,初步构建了具有自主知识产权的物流智能装备产品体系。

1 秒钟扫描 20 件

在无锡硕放机场的快递包裹自动分拣中心,设备采用单层线结构,总长近300米,每小时可分拣快递包裹3.6万件。这还不是最快的,李功燕介绍,中科微至开发的物流智能装备最快纪录是1秒钟扫描20件,1小时分拣

7.2万件,出错率只有万分之一。

以前由人工操作的快递分拣工作,现在只需要一个工人在人货口将包裹放上供包机,经过主线自动扫码装置,系统利用大分辨率图像传感、高速信息处理等技术,在1平方米范围内可扫描任意高度的货物条码,再由数据驱动包裹传送至相应区域分拣口时,包裹便会滑入收集袋内。

来自中国邮政的数据显示,一家中等城市的快递企业分拨中心分拣工人近600人,每人每小时的快件处理能力约为1200件。若采用自动化分拣设备,可以节省人力超过60%。"自动分拣取代人工分拣,大幅度提高了快递中转效率。"李功燕说。

2018年7月,中科院院长白春礼在《微电子所物流核心智能装备系统产业化工作进展、思路和建议》中作出批示,鼓励团队早日实现国际领先的物流装备企业的目标,体现中科院在智慧物流领域引领科技创新的中流砥柱作用。中科院也正从院级层面筹备成立"智能物流装备工程实验室"。

截至2019年5月,中科微至累计销售成套装备超260台套,超额完成阶段任务指标。

从 40 多人的创业团队发展到 300 多人,从果蔬分选到快递分拣,李功燕希望团队未来能在智能制造、工业控制集成电路等领域拓展新的产业方向。