

齐鲁人才

王加宁:用微生物拆掉“化学炸弹”

■本报记者 唐凤 仇梦斐 通讯员 王晨



被称为“工业血液”的石油是人类最重要的能源之一,但随着越来越多油气井的出现,土壤石油污染问题日益突出,这颗“化学定时炸弹”已经成为不容忽视的环境问题。

而山东省科学院生态研究所研究员、副所长王加宁带领的“污染控制与环境修复”团队另辟蹊径,找到了拆掉这颗炸弹的“秘密武器”:爱吃石油的微生物。

世界难题

据了解,我国大庆、胜利、辽河和中原等油田数万口油井附近 100~200 平方米的范围内都看不到草木生长的痕迹。

“土壤被原油污染后就成了不毛之地,每开采 40 亿吨原油,就有 7% 的原油流入周围环境。”王加宁说。

而石油污染土壤修复既是油田环境保护的世界性瓶颈难题,也是衡量国家污染土壤治理技术水平的重要标志。

目前,石油污染土壤修复方法主要有 3 种:化学方法、物理方法和生物方法,通过物理方法或者化学方法处理后,土壤中微生物的生态受

到严重破坏,土壤变成废渣,难以根本解决问题。而利用微生物分解石油,不仅能修复污染,还能让土壤更加肥沃。

生物修复作为土壤污染治理的主流技术,已经得到广泛应用,但受限于石油类污染物的降解难度,一直还未形成工程化和实用化的石油污染土壤生物修复技术。

王加宁团队从十几年前就开始承担国家“863”石油污染土壤生物修复课题。“难度在于石油成分很复杂,包括烷烃类的、芳香烃类的、石油里面的胶质和沥青质。因为石油成分复杂,受污染土壤中可能存在几百上千种化合物,一种方案很难修复。”他说。

因此,该项目技术攻关的难点之一就是不断筛选,找到效果最好的菌群。“要筛出来一个菌剂最好的配方,可能得几百上千次实验。”王加宁说。

拆掉“炸弹”

2013 年山东省科学院聘请了中科院沈阳应用生态研究所郭海研究员作为学术带头人,成立了“污染控制与环境修复”创新团队。



数年来,他们经历了不断重复的实验,针对烷烃、芳烃和胶质等石油组分的降解过程,强化机理及材料设备,开展了修复原理、工艺方法和技术工程化三方面的全链条创新,以电动协同、微生物包埋、生物增溶为增强手段,创建了石油污染土壤生物强化修复工程技术体系。“石油污染土壤生物修复工程技术体系构建及应用”成果荣获 2017 年度山东省科学技术进步一等奖。

实际上,这些微生物就“生活”在油田附近。“油田周围被污染的油泥地里生长着不少微生物,其中有一些依靠石油中的碳源生长,我们先挑选出‘饭量’大的,然后进一步筛选论证,将它们制成菌剂。”王加宁说。

从上万种菌群中发现适合细菌之后,研究人员还要找到最适合培养菌群的环境,然后投入模拟应用,再次不断实验。

最终,该团队在石油污染土壤、采油产生的油泥砂、多环芳烃及农药污染场地及农业面源污染等领域的修复技术上取得了较大突破,在



石油污染土壤修复技术方面,开发了耐盐、耐低温、耐高油污修复菌剂 2 个,结合生物强化、生物刺激、土壤改良等技术,在胜利油田建立了石油污染修复前、修复中和修复后的技术应用规范,填补了我国利用微生物—植物联合修复石油污染土壤的空白。

落地生根

目前,该成果在胜利油田、辽河油田和吉林油田进行工程应用,累计处理石油污染土壤 12 万吨,消减了生态脆弱区环境风险,取得经济效益 1.43 亿元,解决了长期困扰我国油田区石油污染土壤修复的工程技术难题,主要成果入选《2016 年国家重点环境保护实用技术》。

例如,胜利油田金岛实业有限责任公司利用该项目研发的生物及强化修复技术,自 2014 年 1 月至 2016 年 11 月针对胜利油田孤岛采油厂、桂西采油厂、河口采油厂等多个采油厂周边的石油污染土壤和采油过程中产生的 10.4 万

吨含油污泥进行了修复工程应用。经过 12 个月的修复周期后,土壤中石油污染物浓度降低 73%,修复后的土壤达到了农田的使用标准。

现在,在胜利油田附近的实验田,油污地开始有了生机,实验棚里的植物已经长得郁郁葱葱。

“新旧动能转换每个产业都离不开环保,之所以叫旧动能,就是因为能耗高、效率低、污染重,从这个角度理解,动能转换的最终问题还是环保问题,新旧动能转换名单里的十大产业没有把环保单独拿出来作为一个产业,但每个产业都必须把环保、生态放在首位,而对关停企业的治理就更离不开环保技术了。”王加宁说。

此外,团队先后与乌克兰、俄罗斯、美国、澳大利亚、爱尔兰、西班牙等相关大学、科研院所及企业建立了国际合作关系,在环保、高效石油吸附材料的研制及关键技术引进及应用领域,开展联合研究,积极引进国外先进技术与产品,推动了我国石油污染控制及修复领域技术进步。

范景莲:难熔金属女中豪杰

■张涵

范景莲,现任中南大学难熔金属与硬质合金研究所所长、湖南省纳米材料工程中心常务副主任,先后荣获国家杰出青年基金、中组部“万人计划”、教育部“长江学者”、全国创新争先奖、何梁何利基金、全国优秀科技工作者等荣誉,享受国务院特殊津贴。

作为一名女性科学家,这样的成绩和荣誉对她来说殊为不易。1967 年 7 月,范景莲出生于湖南澧县,1983 年进入中南大学就读,硕士毕业工作数年后又回到母校攻读博士,并于 2001 年被破格评为中南大学教授。

自 1990 年开始,范景莲教授一直从事难熔合金新材料、新技术和基础理论研究,先后承担了国家杰出青年科学基金、国家自然科学基金重点项目和面上项目、科技部“863”计划、科技部“ITER”专项、总装重大专项、国防军工项目等 30 余项科技攻关。针对新型航空飞行器、火箭发动机、原子能等领域对难熔金属材料的需求和现有难熔金属材料性能不足、高温抗氧化烧蚀差的问题,范景莲创新性提出“纳米原位复合/微纳复合”设计思想,发展了纳米/微纳复合粉末制备原理与技术,建立了高性能微细结构难熔复合材料烧蚀理论,开辟“纳米/微纳复合高性能难熔金属基复合材料”新领域,取得系列重大突破。

一、原创发明超高温轻质难熔金属抗烧蚀复合材料,为新型航空飞行器和火箭发动机提供高性能关键高温材料保障

新型航空飞行器研制是目前世界各空天强国重点探索的领域,代表了空天技术发展的重大方向。新型飞行器在近地空间以极高速度长时间飞行,其前端关键结构部件与空气产生剧烈的摩擦和冲击,表面产生 2000~3000℃ 高温,同时还承受强表面氧化和高动压过载冲击,这对热端构件提出了极为苛刻的使用要求,要求具有优异的高温强韧、长时间抗氧化抗烧蚀与轻量化等综合性能,因此,热端构件材料的热防护问题是国际公认的最突出技术难题。现有高温材料因高温强度低、抗氧化和抗烧蚀性差或密度高等不足,无法满足新型航空飞行器热端部件的使用要求,成为新型航空飞行器研制的关键技术瓶颈。

针对这一重大需求和瓶颈,范景莲创新性提出“微纳复合—氧化抑制”设计思想,通过纳米级超高温陶瓷相与微米级钼基体共格增强,实现陶瓷相对难熔基体的增强和难熔金属的补强,进而实现材料高温强韧化、基体抗氧化和轻量化。同时,通过表面氧化抑制设计,在基材表面原位生长成梯度复合的陶瓷化的热防护层,与基体具

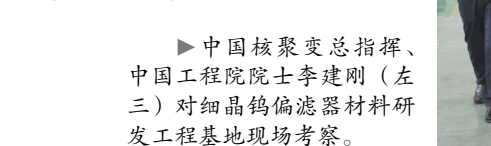
有高的热匹配和强的冶金结合,实现与基体的一体化设计,进而实现高辐射、长时间抗氧化、抗烧蚀。在此设计思想指导下,创新发明了微纳复合原位反应制备纳米陶瓷相增强难熔金属复合材料,实现了基材的高温、高强度,其 1600℃ 抗拉强度 250MPa 以上,与现有超高温材料相比,高温强度提高 3~5 倍,达到国际领先水平;同时创新采用了基材表面反应烧结形成方向性梯度复合涂层,实现复合涂层高辐射、强冶金结合、良好热匹配和与基体的一体化设计,进而实现高辐射、长时间抗氧化、抗烧蚀,制备出超高温轻质难熔金属基抗烧蚀复合材料,经风洞和火箭发动机反复试验验证,材料基体无破坏,表面基本无烧蚀。该技术成果为国内外原创,填补世界空白,成为新型航空飞行器前缘热端部件的重要关键材料,为我国新型航空飞行器的研制提供关键高温材料保障。2014 年 6 月 ×× 中心给予了高度评价,评价为:“中南大学范景莲教授轻质难熔金属取得了重大突破,在重大科技专项耐高温材料上作出了重要贡献。”

同时,范景莲还将超高温难熔金属材料成果拓展应用于空空导弹、空地导弹的高能固体火箭发动机,满足了火箭发动机在大推力、高动压、耐 3000℃ 以上的强的抗冲刷、抗冲击和抗烧蚀性能要求,成为多项国家重大高新工程和型号的关键高温部件唯一材料,其中,研制开发的耐高温烧蚀复合喷管和空地导弹发动机飞行喷管已通过用户单位组织的鉴定,应用于我国新一代战机和新型空地导弹。

二、发明新型超高温高性能钼基复合材料,成功应用于国防科技、新能源、微电子信息、原子能等高端制造,推动行业领域的发展

高性能钼基复合材料具有高密度、高强韧等特性,是国防军工和国民经济诸多领域难以替代的关键材料。现有制备技术存在晶粒粗大、性能低、规格尺寸小等缺陷,难以满足尖端技术发展要求。为解决这一重大难题,范景莲提出“纳米原位复合”思想,发明“溶胶—喷雾干燥—多步还原”技术,实现粉末超饱和固溶和合金化,突破传统 W、Cu 不相溶和 W 渗 Cu 理论禁锢与技术缺陷,解决了现有 W-Cu、W-Ni-Fe(Cu) 等钼基合金材料强度低、晶粒粗大、组织不均匀的问题,晶粒细化 4~10 倍,强度提高 30%,延伸率提高 2~5 倍,建立了“纳米原位复合”超高温钼基复合材料理论模型,获国际钼领域权威 German、Hausselt 多次引用和积极评价。通过技术和装备

集成创新,研制出系列新型高性能钼基复合材料和超大尺寸钼材,形成了多种规格和品种的产品,成功用于我国 10 多项重点、重大工程,为保障国家安全做出了重要贡献;超大规模钼材在国内 11 家企业推广应用,同时产品出口国外,应用于新能源、微电子信息等高端技术领域,经济效益十分显著,性能达到国际先进水平,引领我国



目前最大的国际合作项目——国际热核聚变实验堆(ITER),我国也已启动了国际聚变工程实验堆(CFETR)建造计划,这将开启人类未来能源的理想途径。聚变堆面向等离子体材料在运行时,承受高能等离子体持续长时间轰击,并在表面产生 2000℃ 以上的高温,对材料高温性能和化学稳定性提出了极高要求。钼由于极高的熔点、良好的化学稳定性等优点,被认为是未来聚变堆理想的面向等离子体最耐高温结构材料。但是,现有钼材料晶粒粗大、性能差,难以满足未来聚变堆苛刻服役环境要求。针对这一难题,创新发明提出“纳米/微纳复合增强”和“纳米梯度复合扩散连接”技术制备超高温钼



▲范景莲在第五届核聚变委员会大会做报告。

偏滤器材料及部件。采用微量稀土氧化物和碳化物纳米/微纳复合增强钼,实现其高强度和高抗冲击性,与目前国际最先商业钼相比,抗热冲击性提高 50% 以上。采用纳米梯度复合扩散连接技术,实现超高温钼材料与热沉结构材料高强度冶金结合,连接强度比传统连接强度提高 2 倍。研究成果获国际钼领域权威刊物 R.M.&H.M 主编 H. Ormal 评价“钼领域重大技术进展”,国际核聚变权威机构 CEA 法国原子能委员会评价“为全球偏滤器提供全新技术途径”,将我国钼研究引入国际前沿系列。这一成果发表高水平论文 40 余篇,申请发明专利 15 项,获得国家发明专利授权 9 项和国际专利授权 1 项。

在学术兼职领域,范景莲还兼任总装专项、国防科工局专家、国家奖励计划专家、国家核聚变重大专项专家组组长,硬质合金国家重点实验室学术委员,美国粉末冶金协会会员,中国钨协顾问、理事,《中国钨业》和《硬质合金》编委。

此外,为了让科技成果尽快应用于国家高新技术领域,范景莲积极响应习近平总书记号召“把论文写在祖国的大地上”,使科技成果用起来,在创新驱动和军民融合推动下,组建了由教授、副教授、博士、硕士、工程人员组成的产学研创新团队,在宁乡高新区政策和资金支持下,成立了“长沙微纳坤宸新材料有限公司”,作为工程产业化基地。以“纳米/微纳复合”难熔金属复合材料技术原型为基础,建立了一条从设计开发到制备,再到部件精密加工与集成的工程化生产线,使新型难熔金属复合材料在国家重大军事工程成功应用,同时推广应用于微电子、核能等国计民生各尖端技术领域,实现“让成果走出实验室,让创新引领科技发展,让知识更有价值”的转变,走出了一条有特色的产—学—研—用的科研发展与成果转化之路。