

纳米“高熵铠甲”破解电厂“顽疾”

■本报记者 叶满山

在中国西北的戈壁深处,新疆凭借其得天独厚的资源禀赋,成为煤炭资源接续区和战略性储备区。其中,准东煤田的储量达到 3900 亿吨,是中国最大的整装煤田。在火力发电领域,燃煤成本占发电总成本的 70%~80%。准东煤因价格便宜、储量丰富,在西北地区使用尤为普遍。然而,这种高碱煤容易导致锅炉结焦、高温腐蚀、爆管、煤耗高、热效率低等问题,严重影响电站锅炉的安全性和经济性。

近日,中国科学院兰州化学物理研究所(以下简称兰州化物所)研究员高祥虎团队历时 10 年针对高碱煤研发的纳米高熵陶瓷涂层技术取得重大突破。他们给电厂锅炉量身定制了纳米“高熵铠甲”,为消除火力发电行业“顽疾”提供了全新的解决方案,而且带来了显著的经济效益和环境效益。

危机突现,电厂寻求产学研合作

时间回溯到 2020 年,一直以准东煤田的高碱煤为燃料的西北地区最大调峰电源——甘肃电力投资集团(以下简称甘肃电投)常乐电厂正面临着一场前所未有的危机。

“2020 年,我们甘肃电投常乐电厂 2 号 1000 兆瓦超超临界机组发生了严重的结焦和高温腐蚀。”甘肃电投常乐电厂相关负责人回忆道,“炉膛结焦非常严重,导致高温腐蚀水冷壁管减薄达 1.5 毫米,按照这个速度,不出两年,整个炉膛水冷壁系统就得面临更换的命运。”

这场危机不仅让电厂承受巨大的经济损失,更严重影响陇电入湘这一绿色能源输送项目的稳定性。作为连接西北与中南地区的重要能源桥梁,陇电入湘承载着缓解中东部地区电力紧张、促进区域协调发展的重任。一旦调峰电源不能稳定运行,不仅意味着能源供应的短缺,更可能引发连锁反应,影响整个能源网络稳定运行。

面对如此严峻的挑战,甘肃电投常乐电厂的领导层迅速行动起来,积极寻找解决方案。他们深知,要想从根本上解决问题,就必须依靠科技创新,找到一种能够有效抵御高碱煤腐



高祥虎深入炉膛调研。受访者供图

蚀、防止结焦的新材料。最终,他们将目光投向了兰州化物所的科研团队,希望通过产学研合作突破困境。

与时间赛跑,与困难较量

兰州化物所与高碱煤发电难题的“较量”,早在多年前就已悄然拉开序幕。自 2015 年起,高祥虎所在的科研团队就敏锐捕捉到国家能源需求,开启了攻克高碱煤发电难题的征程。

“那时候,国内对高碱煤的研究很少,我们几乎是从零开始的。”高祥虎回忆,“高含量的碱金属就像煤里的‘定时炸弹’,燃烧时与二氧化硫、氯化物反应,生成低熔点化合物,黏附在水冷壁管表面,逐步腐蚀金属基材。”

在火力发电领域,炉膛结焦堪称行业“顽疾”。某电厂曾发生惨烈事故:高温炉膛内,数十吨焦块突然崩塌,3 名工人被瞬间掩埋,酿成不可挽回的悲剧。这也暴露出传统

清焦方式的致命缺陷——工人需身着厚重防护服,手持钢钎手工敲击焦块,日均清理面积不足 5 平方米,效率与安全的天平严重失衡。

“国外厂商对炉膛防护高端涂层材料实施技术垄断,每平方米报价高达 8000 元,而一台 1000 兆瓦机组需喷涂 4000 平方米,仅单次防护费用便突破 3200 万元。”高祥虎表示,爆管事故产生高额的维护费用,叠加非计划停机造成的发电损失,单次事故综合成本往往达数千万元。这种被动局面,让国内电厂在安全与成本间艰难求生。

“核心技术买不来、等不起!”高祥虎发现,国外涂层价格离谱,且针对国内煤炭、特别是新疆高碱煤适配度不足、防护功能单一,寿命可靠性有待验证,同时也无法满足不同电厂的需求,尤其是深度调峰火电机组。

科研团队当即决定,必须研发出适配中国煤质、成本可控的抗结焦、耐高温腐蚀材料,为能源装备穿上国产“铠甲”。

在实验室里,科研团队尝试了数百种配方,进行了上千次性能测试,每一次失败都是对意志和耐心的考验。特别是在新冠疫情期间,实验室进入封闭式管理,但研发进程容不得片刻停歇。团队骨干主动请缨留守,用仅存的原料继续攻坚;在凌晨仅有的数小时停机窗口验证效果,与时间赛跑,与困难较量。

经过无数个日夜的奋斗,科研团队终于从传统陶瓷釉工艺中汲取灵感,创新性研发出纳米高熵防护与节能增效陶瓷涂层材料。该材料由五种以上不同元素(如钛、锆、钼等金属加氧、氮等非金属)以几乎相等的比例混合而成,就像把不同颜色的积木打乱重组,形成一种全新的稳定结构。这项技术不仅攻克了陶瓷材料防结焦、耐高温腐蚀的技术瓶颈,更实现了红外辐射增效、高导热率及热膨胀系数可调的重大突破。它就像是为锅炉量身定制的纳米“高熵铠甲”,

■ 按图索技

10 毫米大口径压电 MEMS 快反镜问世

本报讯 中国科学院上海微系统与信息技术研究所研究员武震宇、助理研究员王栋皓团队,开发了一种高性能的 10 毫米大口径压电 MEMS(微机电系统)快反镜,能够实现更精确的激光光束闭环控制,可满足激光星间链路对高精度、快速响应与稳定性的需求,为卫星通信终端提供小型化高性能解决方案。相关研究近日发表于《微系统与纳米工程》。

快反镜在卫星激光通信中承担着光束指向、捕获和跟踪等重要作用,需要具备高指向精度、高工作带宽和高光学质量等一系列极限制性能指标。然而,传统机械快反镜存在体积小、功耗高、有迟滞等挑战,同时原有 MEMS 快反镜镜面小、带宽低、无集成角度传感器等问题也亟待解决。

在前期研究基础上,研究团队开发了一种 10 毫米大口径压电驱动 MEMS 快反镜。

该设计采用双层异构集成技术以及晶圆级键合工艺,器件具备高线性度超高角度分辨率、快速阶跃响应以及高重复定位精度。在结构设计方面,研究团队创新性引入力学定向结构形成应力集中区域,显著优化了光束控制的精确性。在性能表征方面,研究团队首次针对 10 毫米大口径镜面动态变形进行表征,在准静态驱动下最大动态表面形变仅 2 纳米,满足远距离卫星激光通信对镜面面型的严苛要求。

研究团队表示,与传统机械快反镜及现有商用 MEMS 快反镜相比,该器件优势显著,在航空航天领域具有重要的应用前景,未来将继续针对镜面尺寸、闭环控制以及器件可靠性进行优化研究。

相关论文信息:
<https://doi.org/10.1038/s41378-025-00935-1>



封装后的 MEMS 快反镜。

研究团队供图

全球首个注射用阿立哌唑微球获批上市,每月仅注射一次——

长效针剂有望开启精神分裂症患者“重生之路”

■本报记者 张思玮

多起病于青壮年、病程往往迁延反复、常预后不良、致残率高达 80%。这是目前我国精神分裂症(以下简称精分)患者的生存窘境。

“治疗依从性不佳直接导致患者病情反复、住院率上升,这已经成为临床亟待解决的难题。”近日,中南大学湘雅二医院教授李凌江表示,口服制剂需每日服用,精分患者漏服、拒服现象普遍存在,而构建长效给药体系被认为是破解精分患者复发困局的关键突破口。

值得一提的是,5 月 9 日,国家药品监督管理局批准了一款国产自主研发的注射用阿立哌唑微球的上市申请,适用于治疗成人精分。

据悉,这不仅是全球首个阿立哌唑微球制剂、中国首个自主研发的阿立哌唑长效剂型,更是目前全球精分治疗领域给药间隔最长(每月一针)的微球产品。

业内专家表示,这或将开启国内精分患者及家庭的“重生之路”。

选择有效治疗药物

世界卫生组织(WHO)流行病学调查显示,全球大约有 2400 万精分患者,终生患病率为 0.38%至 0.84%。据统计,美国精分的经济负担由 2013 年的 1557 亿美元已经增长至 2019 年的 3432 亿美元。

数据显示,中国精分患者超 800 万人,治疗中断率达 75%,出院后 1 年内复发率高达

77%,2 年内升至 90%。

李凌江介绍,精分是一类常见的、严重损害社会功能的、慢性迁延性反复发作的精神障碍。患者主要临床表现为阳性症状(如幻觉、妄想、言语混乱等),以及阴性症状(如情感迟钝、社交退缩、意志消沉等)。部分患者伴有认知障碍。

“它的有效治疗主要取决于规范化基础上的个体化较长期的药物治疗与心理社会康复治疗。许多患者之所以疗效不好,病情反复发作,主要原因是没有坚持较长期的有效治疗。”李凌江指出,治疗不容易坚持下去有很多原因,如治疗效果不好、治疗副作用大,以及治疗费用高、家庭支持系统不好、治疗过程太麻烦,比如每天都要服用一大把药物,影响患者的生活等。

李凌江认为,帮助患者选择有效的、副作用小的、长效的治疗药物,是预防并减少复发,促进患者社会功能恢复、重返社会的最重要举措。

提供更优的治疗

目前,全球精分治疗正加速向长效制剂方向迭代升级。作为全球主流抗精神病药物阿立哌唑的首个微球制剂,患者只需每月进行一次肌肉注射,即可持续有效。

北京大学第六医院教授司天梅介绍,阿立哌唑作为首个多巴胺 D2 受体部分激动剂,已在全球应用多年,疗效和安全性获得广泛认可。而微球技术采用可生物降解的高分子材

料,其平均粒径约 50 微米,仅为头发丝直径一半粗细。该技术可精准调控药物载量、释放速率及降解周期,实现“稳定释药储库”,是经临床验证疗效可靠、安全性良好的长效制剂。

为验证由丽珠医药集团历时 8 年自主研发的阿立哌唑微球临床效果,首都医科大学附属北京安定医院教授王刚牵头国内 15 家医疗中心开展了一项注射用阿立哌唑微球与阿立哌唑微晶长效制剂的对照研究。其结果显示:相较于对照组(400 毫克/4 周),注射用阿立哌唑微球以更低剂量(350 毫克/4 周)实现同等疗效。

研究还发现,微球创新剂型使患者血药浓度波动更低;不良反应发生率更低,且程度更轻。另外,临床前动物实验数据显示,阿立哌唑微球注射剂残留少于对照组,可降低药物蓄积带来的潜在风险,长期治疗更安全。

“更为重要的是,‘一月一针’的给药模式可减少患者对疾病的日常关注,降低病耻感,尽早重建正常生活节奏。”司天梅说,微球技术助力阿立哌唑实现了“稳浓度、低残留、高便捷”的治疗目标,破解了依从性差、疗效波动、容易复发三大痛点,为精分患者提供了更优的治疗选择。

为何“叫好不叫座”

但现实情况是,国内长效针剂(LAIs)却“叫好不叫座儿”。

既能阻挡高温烟气的冲刷,又能高效传递热量,让锅炉在恶劣环境中依然稳定运行。

节煤 1.3 万吨,减排 3.4 万吨

“技术突破的最终目的是服务于生产实践。”高祥虎表示,在甘肃电投常乐电厂的大力支持下,纳米高熵陶瓷涂层技术先后在 2 台 1000 兆瓦超超临界调峰机组上应用,结果没有让人失望。

使用纳米高熵陶瓷涂层后的水冷壁管壁表面光滑,无明显结焦现象,且未出现腐蚀情况。经权威机构检测,管壁厚度较喷涂前无明显变化,而未喷涂涂层区域则出现明显的腐蚀凹坑。这一对比结果,让所有人都为之振奋。

随后,团队又在华能兰州西固热电有限公司的大力支持下,开展了 165 兆瓦机组炉膛的数值模拟和能效测试。结果显示,涂层防结焦、耐高温腐蚀性优异;涂层的应用显著提高了锅炉的热效率,减少了供电煤耗,并有效缓解了高温氧化与磨损风险,增强了机组的煤种适应性。

对于 1 台 1000 兆瓦的煤电机组而言,这意味着每年可节煤 1.3 万吨,减排二氧化碳 3.4 万吨。

纳米高熵陶瓷涂层技术的成功应用,不仅为甘肃电投常乐电厂和华能兰州西固热电有限公司带来了显著的经济效益和环境效益,更为整个火力发电行业提供了一种全新的解决方案。

谈及未来,兰州化物所的科研团队表示,他们将持续进行技术的迭代升级,不断优化纳米高熵陶瓷涂层技术,力争实现电厂安全、稳定地 100%燃用多种高碱煤的目标。同时,他们将与企业合作,开展技术成果的推广应用,让这项科技成果惠及更多电厂,为我国煤电向基础性、支撑性、调节性电源转型提供强有力的技术支撑。

“目前,我们已经与国内的几大发电集团进行了深入对接,未来合作前景广阔。”高祥虎说,“我们相信,不久的将来,纳米高熵陶瓷涂层技术将成为火力发电领域的标配,为我国能源行业可持续发展贡献更大力量。”

■ 集装箱

尼泊尔“地标生境”大豆蔻案例正式启动

本报讯(记者田瑞颖)近日,中国科学院地理科学与资源研究所(以下简称地理资源所)支持尼泊尔以大豆蔻为重点的特色农产品和地理产品项目。该项目在尼泊尔首都加德满都正式启动,并在该国伊拉姆地区、珠穆拉地区开展示范工作。

据悉,尼泊尔“地标生境”(GIES)大豆蔻事例是地理资源所 2024 年 2 月与联合国粮农组织(FAO)正式就“地标生境”方法与技术支持“一国一品”项目签订合作谅解备忘录后启动的又一国际事例,旨在通过地标生境大数据、物联网与标准化管理,对尼泊尔优质特色产品大豆蔻进行原产地生态环境科学鉴定、产地和产品溯源与知识产权保护,促进市场认知品牌,保护生态环境,提升产品价值,促进可持续发展。该事例的顺利实施,标志着中国地标生境新质生产力正式向全球有序转让和推广应用。

为确保大豆蔻项目高质量推进,地理资源所与 FAO 共同组成项目团队,先后深入尼泊尔大豆蔻研究中心和伊拉姆地区开展大豆蔻生态环境的样品采集,并对当地大豆蔻种植专家和农民进行了技术转让现场培训。地理资源所党委书记王生林表示,该事例在中尼建交 70 周年和 FAO 成立 80 周年的重要历史节点正式启动,是中国技术和标准向全世界推广应用的重要里程碑,也是地理资源所推动实现 FAO“四个更好”目标和中尼友好合作的重要标志。

2025 年国际食品安全与健康大会召开

本报讯(记者孟凌霄)日前,中国食品科学技术学会与国际食品科技联盟在北京召开 2025 年国际食品安全与健康大会。大会围绕“科技赋能引领食安健康新变革”主题,共举办 10 个大会主旨报告、8 场专题会议,以及企业家高峰对话、超加工食品圆桌论坛等系列活动,为全球食品产业高质量发展建言献策。

中国工程院院士、中国食品科学技术学会理事长孙宝国指出,以下四方面的发展趋势将对食品安全与健康产生重要影响:一是前沿技术为食品产业带来前所未有的新变革;二是交叉融合催生食品产业新业态;三是科技赋能风险防控,构建全球食品安全新格局;四是及时发声助力科普普及与科技创新“两翼齐飞”。孙宝国呼吁,守护消费者“舌尖上的安全与健康”,需要全球各方共同携手构建“食安健康共同体”。

国家卫生健康委食品安全标准与监测评估司副司长宫国强介绍,国家卫生健康委持续构建“最严谨的标准体系”,致力于构建监测精准高效、评估科学权威的食品安全监测评估体系,统筹推进国民营养计划和健康中国合理膳食行动。

据了解,中国食品科学技术学会与国际食品科技联盟自 2010 年起连续 16 年召开国际食品安全与健康大会,每届大会均吸引了来自全球政府相关部门、科技界、工业界的数百位代表参会,受到国内外食品界同人的高度关注。

第九届“奶牛营养与牛奶质量”国际研讨会举行

本报讯(记者李晨)日前,由中国农业科学院北京畜牧兽医研究所、美国奶业科学学会和新西兰初级产业部共同主办的第九届“奶牛营养与牛奶质量”国际研讨会在北京举行。

本届研讨会的主题是“构建可持续发展的奶业”。会议围绕“奶业全产业链高效优质关键技术进展”“牛奶质量与安全”和“特色畜牧营养品质研究进展”三大议题安排了 36 场精彩报告,内容包括奶牛高效饲养与智慧化养殖、低碳排放、瘤胃微生物调控、牛奶质量安全与健康等前沿科学技术,同时涵盖特色奶畜的饲养技术、营养品质与功能特性等多个领域的最新研究成果与创新技术。

据悉,“奶牛营养与牛奶质量”国际研讨会自 2009 年举办第一届以来,已连续举办 9 届,主办单位由中国和美国扩展到中国、美国和新西兰,成为交流国际奶业科技最新进展和推动中外奶业科技合作的重要科学平台。

辽宁滨海实验室发布系列成果

本报讯(记者孙丹宇)近日,辽宁滨海实验室在大连举办主题为“滨海精材创链未来”的科技成果发布会,并发布了“特种胺合成技术”“高端聚酯单体合成技术”“多相羰基化合成酯/醇/酸技术”“烃类高效转化生产关键化学品”“环氧烷烃衍生产品技术”等多项技术,以及“聚芳醚酮特种工程塑料”“PETG/PCTG/PCT 系列聚酯”“高性能氟硅橡胶”等先进材料。

据介绍,这些成果目前均已具备产业化条件,可广泛应用于航空航天、高端制造等领域。在发布会现场,辽宁滨海实验室还与两家企业签署合作协议,共同推动科技成果转化成为现实生产力。

此外,大连松岛化工新材料中试基地进行了现场推介,并表示将与实验室开展合作,通过构建共性技术与专业功能性中试平台,有效破解化工类科研项目缺乏中试放大实验场所的难题,从而加速科技成果的产业化进程。

辽宁滨海实验室自 2022 年 9 月成立以来,针对辽宁省产业发展急需,围绕化石资源高效清洁利用、可再生能源、多能融合、精细化工与新材料、基础前沿交叉、能源战略研究 6 个重点研究方向,根据科研进展的不同阶段,设立部署颠覆性技术类、联合基金类、中试类、应用示范类、成果转化类 5 类科研攻关项目,形成了全链条的科研攻关新模式。