

# “退役”动力电池都去哪了

□ 陈春华 赵佳亮

据媒体近日报道，高工产业研究院预计2025年我国“退役”动力电池累计137.4兆瓦时，梯次利用与再生利用产值预计可超千亿元规模。

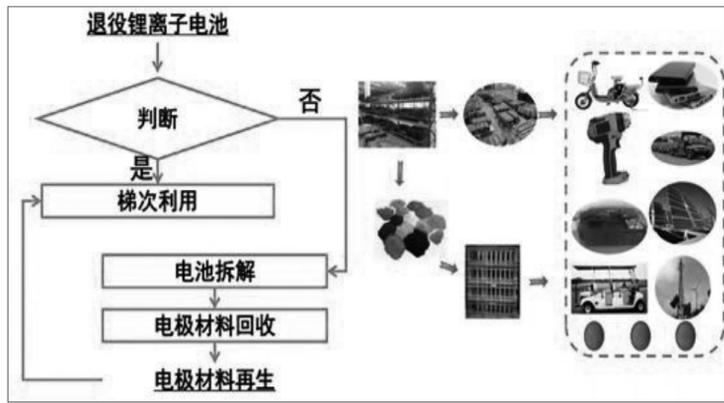
这里所说的“退役”电池往往指新能源汽车搭载的动力锂离子电池，其广泛应用于出租车、网约车，生命周期一般为5—8年。相较于其他的消费电池，比如电脑、手机电池，其规模更大、品质更高，可回收的锂资源更加丰富，因而市场针对退役动力电池回收的需求愈发迫切。

目前常见的动力电池中含有大量锂、镍、钴、锰等元素，部分资源需要进口。从电池制造全链条来看，动力电池回收利用处在产业链后端，但退役动力电池的回收利用工作，却是整个储能行业能否持续健康发展的关键。从这一点来看，做好退役电池的回收工作，不仅可以更好地发展循环经济，也能有效缓解我国长期以来对此类资源对外依存度。

除节省材料外，动力电池回收对能源消耗和环境保护也有积极影响。锂、镍、钴和铝从矿山中被提取、运输和冶炼过程中，释放大量温室气体，尽管铝、铜、铁本身价格不高，但回收利用所需要的能量远远低于开采，同时减少大量有害气体排放。

一般来说，新能源汽车中的动力电池在衰减大于20%时，就无法满足汽车驾驶的要求，需要“退休”。对于衰减区间在20%—40%的退役动力电池，可以满足二次使用的梯次利用，而这也被认为是退役动力电池的首选去向。

梯次利用，指某一个已经使用过的产品达到原生设计寿命，再通过其他方法使其可



“退役”锂离子电池的回收流程（作者绘图）

能全部或部分恢复继续使用，但不能视为翻新使用。动力电池梯次利用，即是对新能源汽车退役动力电池进行必要的检验检测、分类、拆分、电池修复或重组为梯次产品，使其可应用于其他领域的过程。

在生活中，我们手机、电脑的电池容量都会衰减，新能源汽车的电池也会衰减。由于锂电池的特性，车主会发现新能源汽车在使用过程中，续航里程和动力性能方面就会不如刚买的时候那样好，这主要由于动力电池容量衰减。如果衰减超过40%，动力电池一般就只能被拆解进行资源化利用，这也成为动力电池回收市场的第二种商业模式。

在原材料翻倍上涨的行情下，直接提取电池里的锂、钴、镍元素进行资源化利用，远比梯次利用更划算。

动力电池常用的化学回收工艺可分为湿法回收技术和火法回收技术。火法回收是最简单粗暴的回收方法，就是将报废锂电池放电后直接送入熔炉，并在高温下熔炼。在这个过程中，塑料、电解质和含碳成分被去除，有价值的金属（钴、镍、铜等）被收集为熔融金属和合金。然而，该工艺通常不回收锂，锂与其他难熔氧化物和气体一起作为熔渣流失。

而湿法回收工艺是将废弃电池破碎后溶

解，然后利用化学试剂选择性分离浸出溶液中的金属元素，产出高品位的金属材料，直接进行回收。湿法回收处理比较适合回收化学组成相对单一的废旧锂电池，其设备投资成本较低，适合中小规模废旧锂电池的回收。因此，该方法目前使用比较广泛。

据估算，从2015年至2040年，动力电池回收由此产生的废物将高达400万吨。锂电池的回收利用或可解决由于资源不均、以及直接填埋而造成的环境问题，但很遗憾的是，因为钴在国际市场上价格高昂，目前回收工作主要紧盯钴。随着正极材料由传统的钴酸锂向高镍、磷酸铁锂转变，其他类型的金属回收也迫在眉睫。

“退役”动力电池都去哪了？目前，退役动力电池正在新能源汽车充电行业、通信行业、储能领域、辅助调频领域发挥作用；北京大兴电动出租车充电站将退役动力电池用于变压器输出功率的调整以及维持电压水平的稳定；比克公司将退役动力电池用于基站、路灯等设备的储备电源，以达到稳定、节能的目的；郑州尖山退役电池储能示范工程将退役动力电池与风力、太阳能发电站结合，实现了稳定的风光储混合微电网功能；唐山曹妃甸梯次电池储能示范工程，实现了可靠的削峰填谷功能，提高了电能质量。

（第一作者系中国科学技术大学教授、博士生导师，第二作者系中国科学技术大学硕士研究生）



## 我国实现全天时监测大气环境

科普时报讯（记者李禾）我国在太原卫星发射中心用长征二号丁运载火箭，日前成功将高光谱综合观测卫星送入预定轨道，发射任务取得圆满成功，这将对于生态环境遥感监测业务能力的提升具有重要意义。

生态环境部表示，此次高光谱综合观测卫星的成功发射，在大气环境方面可对沙尘、气态污染物，以及主要温室气体排放源等开展遥感监测，为大气污染防治和空气质量监测预警提供技术支持；在水

环境方面可对水体叶绿素A、悬浮物、透明度、水表面温度等开展动态监测；在自然生态方面可对重要生态功能区、重点城市等生态质量开展持续监测。

高光谱综合观测卫星是“高分辨率对地观测系统重大专项”的“收官”卫星，采用太阳同步轨道，轨道高度为705公里，整星重量约1300千克，设计寿命为8年。卫星共搭载3台载荷，分别是可见短波红外高光谱相机、大气痕量气体差分吸收光谱仪和宽幅热红外成像仪，具备大气、水、自然

生态等全天时、多要素综合探测能力。

可见短波红外高光谱相机光谱范围覆盖0.4—2.5微米，具有330个光谱通道，幅宽为60公里，可进一步提高我国高光谱卫星数据国产化率。

大气痕量气体差分吸收光谱仪可通过推扫观测方式，获取2600公里幅宽的紫外可见高光谱数据，实现对全球大气痕量气体成分，即二氧化硫、二氧化氮、臭氧等的定量化监测，光谱分辨率在0.3—0.6纳米之间。

## 牧场+风电，海洋资源开发再添新模式

□ 维德宏 科普时报记者 何亮

中国三峡新能源（集团）股份有限公司投资建设的昌邑市海洋牧场与三峡300兆瓦海上风电融合示范项目，日前全容量并网发电，将为我国海洋资源开发再添新模式。

风电融合试验示范项目位于山东省昌邑市北部，离岸14至18公里，共布置50台单机容量6兆瓦的海上风电机组和一座220千伏海上升压站，同时配套建设昌邑海上风电场监测观测站，海洋环境观测数据同步上传至山东省海洋观测网，为海上风电场与海洋牧场融合共建提供数据支持。

海上风电场由近海风电场与远海风电场组成。与陆上风电场相比，海上风电场的优点主要是不占用土地资源，基本不受地形地貌影响，风速更高，风电机组单机容量更大，年利用小时数更高。

海洋牧场，指在一定海域内采用规模化渔业设施和系统化管理体制，利用自然的海洋生态环境将人工放流的经济

海洋生物聚集起来，像在陆地放牧牛羊一样，对鱼、虾、贝、藻等海洋资源进行有计划和有目的的海上放养。

作为山东省新旧动能转换重大工程，风电融合试验示范项目依托已建成的风机基础，同步建设海洋牧场，在风机基础周围50米海域内布置养殖区，“定制化”投放产卵礁、海珍品礁等不同类型的人工鱼礁，为鱼类、贝类和藻类等海洋生物提供良好的栖息和产卵场所。截至目前，山东昌邑市海洋牧场已投放大量礁石。

风电融合试验示范项目是山东省首个海洋牧场与平价海上风电融合示范项目，建成后每年可提供约9.4亿千瓦时的清洁电能，满足约40万户家庭一年的用电量，每年节约标煤约29万吨，减排二氧化碳约79万吨，经济效益和节能减排效益显著，将为推动区域经济社会发展、能源结构转型升级、海洋事业和谐共生、加快实现“双碳”目标注入强劲动力。

## 掺铒光纤放大器：传递信号不衰减

□ 宋丹

铒，元素周期表第68号元素。

铒的发现充满曲折。1787年，在距瑞典斯德哥尔摩1.6公里的伊特比小镇，人们在一块黑色石头中发现了一种新的稀土，根据发现地命名为钇土。法国大革命后，化学家莫桑德利用新开发的技术从钇土中还原出单质钇。此时，人们意识到钇土并不是一种“单一成分”，还找到了另外两种氧化物：粉红色的被称为氧化铒，浅紫色的被称为氧化铈。1843年，莫桑德发现了铒和铈，但本人并不认为找到的这两种物质是纯的，可能混有其他物质。随后几十年里，人们逐渐发现其中确实混有很多元素，陆续找到了除了铒和铈以外的其他镧系金属元素。

对铒的研究与其发现一样并不顺利，虽然1843年莫桑德就发现了粉红色的氧化铒，但直到1934年由于提纯手段不断改进，铒金属纯净的样本才被提取出来。通过加热提纯出氯化铒和铈，人们实现了金属铒对铒的还原。即便如此，铒的性质与其他镧系金属元素太相似了，因此相关研究停滞近50年，比如磁性、摩擦能产生火花等。直到1959年，随着铒原子特殊4f层电子结构在新兴光学领域的应用，铒被人们所关注，开发出铒的多项应用。

铒，银白色，质地柔软，只有在接近绝对零度的时候才会表现出强铁磁性，而且为超导体，室温下会被空气和水缓慢氧化。氧化铒是玫瑰红色，通常用于制瓷业，是一种很好的釉料。铒集中分布于火山岩中，在我国南方有大规模矿床。

铒的光学特性非常突出，可将红外线转化为可见光，是已证明制作红外探测器、夜视仪的完美材料。它在光子检测上也是一把好手，能通过固体中特定离子连续激发能级依次吸收光子，然后对这些光子进行检测和计数，就能制成光子探测器。不过三价铒离子直接吸收光子的效率并不高，直到1966年，科学家们通过辅助离子间接捕获光信号，然后再将能量转移给铒，从而研制出铒激光器。

铒激光器与钕激光器原理类似，但比钕激光器的能量要低得多。波长2940纳米的铒激光器就能用来切割软组织。这种中红外区的激光虽然穿透能力比较差，但可以被人体组织中的水分快速吸收，以较小的能量就能获得较好的效果，可精细切割、磨削和切除软组织，实现伤口快速愈合，广泛用于口腔、白内障、美容除皱除皱等激光手术。

1985年，英国南安普顿大学和日本东北大学成功研制出了一款掺铒的光纤放大器。如今，我国湖北省武汉市的武汉光谷已能自主生产这种掺铒的光纤放大器，还能出口到北美、欧洲等国。这项应用是光纤通信中最伟大的发明之一，只要掺杂一定比例的铒，就能够补偿通讯系统中光信号的损耗。这种放大器是当前光纤通信中应用最广的器件，能使光信号毫不减弱地传递下去。

（作者系武汉市第二十中学化学教师、武汉市科学家科普团成员）



图为山东昌邑海上风电场（受访单位供图）

## 一亿年前昆虫是什么颜色

（上接第1版）

2010年3月，由Jakob带领的中美团队在《科学》（Science）上报了他们对用几乎一样的原理和方法，完整恢复了一种小型兽脚类恐龙——赫氏近鸟龙的全身羽毛颜色。成果一经发表，引起学界巨大轰动，掀起了对远古动物黑色素体和颜色重建的研究热潮，一些恐龙、鱼龙、蛇类等远古动物的颜色很快被重建出来。

最近，周忠和院士和中国科学院南京地质古生物所研究员泮燕红等采用多种化学和分子技术分析，包括免疫电镜和超高分辨率的元素能谱分析，证明了距今1.3亿年鸟化石羽毛中β角蛋白的保存，还验证了羽毛化石中的纳米级微体结构被β角蛋白包裹，确为羽毛的黑色素体。自此，远古动物的颜色重建，不再是艺术家的想象，而是有一定科学依据的推断。

### 重建最古老的昆虫结构色

包括恐龙在内的古脊椎动物，一直是古生物研究的明星。在恐龙和古鸟颜色的重建研究浪潮带动下，古生物学家随后也开始关注地球上生物多样性最高的昆虫。

与Jakob同属一个实验室的学者Maria McNamara，于2011年底报道了在德国梅塞尔油页岩中发现的一只4700万年前的蛾子。通过对其翅膀上小鳞片超微结构观察，他们发现这些鳞片包含多层反射膜的构造，当光线以相同的角度在这一结构的各不同层面被反射时，可以产生一种单一的可见光，并推测翅膀上的颜色能够帮助蛾子在可能的捕食者（如

蝙蝠）面前隐藏起来，避免被取食。这项研究证明捕食者和被捕食者之间进行的“军备竞赛”可以追溯到4700万年前。

一年之后，Maria团队又报道了一批距今4700万—1500万年前的甲虫化石，通过扫描电子显微镜观察发现，这种原始的带有金属光泽的颜色归功于位于昆虫外表皮的多层反射膜上的纳米结构，它们形成了一种典型的结构色。这种结构的存在正是金属光泽颜色能够在地质历史时期长期保存的原因。但是，他们模拟计算发现，甲虫化石比它们原本的颜色要稍红一些（波长更长）。因此化石甲虫并没有完全保存原始颜色。

2018年4月，中国科学院南京地质古生物所研究员王博团队报道了来自英国、德国、哈萨克斯坦和中国的侏罗纪蛾类标本，以及白垩纪缅甸琥珀中飘翅目（蝴蝶、蛾的远祖）昆虫。利用多种显微成像技术、三维光学建模等技术方法，分析了这批化石中鳞片的微观结构和可能的结构色。研究发现，侏罗纪的蛾类鳞片已演化出鱼骨状的纳米光学结构，形成了衍射光栅，类似于现代小翅蛾。结合鳞片的形貌数据和模型模拟计算出化石蛾类的结构色，它们可以产生银色或金黄色。这项发现代表了已知最古老的昆虫结构色，并将该记录提前了至少1.3亿年。

### “时间胶囊”大有奥秘

以印痕化石形式保存的昆虫，绝大部分不能保存昆虫原本的颜色。琥珀，也称“时间胶囊”，以一种特殊的方式栩栩如生地保存了亿万年前的小生命。然

而，绝大部分琥珀昆虫化石并不能保存明显的结构色，带有金属颜色的昆虫鲜有报道，主要发现于始新世波罗的海琥珀、中新世墨西哥琥珀和哥伦比亚柯巴脂中。当时学者只关注了昆虫的形态和分类，并没有深入研究颜色的保存、形成机理和生态意义。

近些年，笔者研究团队对距今约一亿年前白垩纪缅甸琥珀中大量的具金属色彩的昆虫进行了系统研究，发现纯净而强烈的颜色可直接在多种昆虫体表保存下来。研究团队运用了琥珀超薄切片、扫描电子显微镜和透射电子显微镜等技术分析，证明了青蜂胸部的蓝绿色是由多层重复出现的纳米级构造形成的，属于一种典型且常见的结构色类型，即多层反射膜结构（可以简单理解为多层肥皂泡叠加在一起）。

此外，还通过光学理论模型，证明其反射波长与肉眼观察到的昆虫颜色的波长接近，说明琥珀昆虫身体显现的颜色可能是原始颜色，证明了超微纳米级的光学结构可以在地质历史时期中稳定保存下来的，否定了前人所说的昆虫金属色不能在中生代化石中保存的观点。

我们团队重点研究了35枚保存精美的带金属光泽的白垩纪昆虫化石，包括膜翅目、鞘翅目和双翅目，共3个目，其中绝大部分属于膜翅目青蜂科，少部分属于鞘翅目隐翅科、蜡斑甲科和隐翅虫科，以及双翅目水虻科。大部分昆虫种类的全身或部分身体结构呈现出带金属光泽的绿色、蓝色、蓝绿色、黄绿色或蓝紫色。通过分类对比研究，发现这些化石昆虫对应的现生属种同样具有类似的带金属光泽的颜色，这直接证明

清除脑内神经毒性β淀粉样蛋白（Aβ）一直是缓解和治疗阿尔茨海默病的主要策略。然而，神经中枢内直接清除Aβ的干预方法，却存在诸多不良反应和不便之处。

南京医科大学基础医学院张志远教授课题组和陆军军医大学全军免疫学研究所张志仁教授课题组，通过机体外周组织、细胞清除Aβ来促进中枢神经系统Aβ外流，进而间接减少脑内Aβ异常沉积，并改善相关神经病理改变和认知功能。该研究发现调控外周巨噬细胞清除Aβ的机制，从而为阿尔茨海默病的有效治疗提供了新思路。

阿尔茨海默病就是人们熟知的老年痴呆症，是一种起病隐匿、进行性发展的神经系统退行性疾病，主要发生于老年人群，且随着年龄增长患病率显著升高。患者主要表现为记忆等认知或行为改变。大部分患者首发症状是记忆力减退，但多数患者没有意识到这一点，而往往被家人首先注意到。阿尔茨海默病让患者无法作出正确的判断，混淆日期或时间，在熟悉的地方迷路，短期学习和记忆功能障碍，无法表达自己想说的话。

“Aβ是一种神经毒性蛋白，在全身都有分布，但是在脑内异常聚集会产生神经损伤。”论文共同通讯作者、南京医科大学教授张志远介绍说，此前，多项散发性阿尔茨海默病患者全基因关联研究，发现了免疫细胞异常与阿尔茨海默病发病的相关性，然而以往单核巨噬细胞系统清除Aβ的介入，主要聚焦于浸润和侵入到大脑中的少量细胞，而更多人体外周组织和脏器中的巨噬细胞的相关作用仍然未知。

在此次研究中，科研人员发现，促红细胞生成素（EPO）可通过激动过氧化物酶体增殖物激活受体γ，促进巨噬细胞吞噬降解Aβ，并抑制由Aβ引起的炎症反应。

“研究发现，选择性敲除外周巨噬细胞的促红细胞生成素受体（EP-OR），能升高外周组织和中枢神经系统的Aβ水平，进而加重阿尔茨海默病模型小鼠相关病理损伤及认知行为缺陷。”张志远说，此次研究发现，相较于年轻模型小鼠，老龄阿尔茨海默病小鼠外周巨噬细胞中的EPOR信号通路显著下调，而外源性EPO可逆转老龄阿尔茨海默病小鼠外周巨噬细胞EPOR信号缺陷，提高巨噬细胞吞噬功能，减缓阿尔茨海默病病理进程。

“这意味着，清除机体外周组织、脏器中的Aβ，有助于降低脑内Aβ水平，减缓阿尔茨海默病相关神经病理改变。”张志远表示，该研究也对外周巨噬细胞参与系统性Aβ清除的具体机制，及其与阿尔茨海默病的发病和病理进展的关联有了更清晰的认识，为阿尔茨海默病相关治疗新药物的研究提供了新思路。

相关成果近日发表于《欧洲分子生物学学期刊》。

## 脑内疾病脑外治，阿尔茨海默病诊疗有新思路

□ 科普时报记者 金凤

中生代昆虫亮眼的结构色是可以保存下来的。并且，通过对其中一枚化石青蜂标本的超微分析，证实多层反射膜是产生结构色的直接原因。

同时，我们还发现一个有趣的现象：一亿年前琥珀中看似能够永久保存的结构色并不是保持不变的。琥珀昆虫在前期加工（如切割、打磨和抛光等）过程中，其中任一小部分结构受到损坏，导致其与空气或水分接触，它的色彩便会在短期内（几天或几周）变成银色，但金属光泽仍可保留，并且这种变化是不可逆转的。这一现象的发现解释了缅甸琥珀乃至其他琥珀中银色昆虫的形成原因，以及对琥珀昆虫形态特征的正确描述均有借鉴意义。

琥珀昆虫的结构色有什么用呢？一般认为，较常见的绿色很可能是身处茂密森林环境中的昆虫的隐蔽色，它帮助昆虫隐匿自身，从而躲避捕食者。另外，结构色还能参与昆虫的热调节。因此，不同种类昆虫身上发现的不同色彩的结构色在一定程度上表明了白垩纪中期森林中已经存在复杂的生态关系。

以恐龙为代表的远古脊椎动物羽毛颜色的重建是当今古生物学研究的热点，而人们对古无脊椎动物颜色的研究还不够深入和广泛。作为一种非常特殊的化石保存形式，琥珀为我们了解远古昆虫原始结构色提供了独一无二的窗口。随着更多保存精美化石的发现和新技术、新方法在琥珀化石研究中的应用，相信更多远古动物颜色的奥秘会被揭开。

（作者系中国科学院南京地质古生物研究所研究员）