



研究表明,一部废旧智能手机包含多种有价值的材料,黄金含量约为0.015%,银含量约为0.3%,铜含量约为20%—25%,可再生材料含量约为40%—50%,此外还有铂、铝、钯等。

## 挖出废旧手机里的真金白银

◎实习记者 沈唯

据西班牙《阿贝赛报》网站近日报道,“1吨智能手机能提炼出235克黄金和1公斤白银”,废弃的智能手机中矿藏十分丰富。当下电子产品更新换代速度加快,尤其是在日常生活中有着广泛应用场景的智能手机。与此同时,废旧智能手机的数量也在不断增加,这座“城市矿山”的价值正在被看见。

很多人对于如何正确处理废旧智能手机并不了解,事实上如果废旧智能手机处理不当,一方面会对环境造成污染和危害,另一方面还浪费了其中许多宝贵的可回收利用资源。

### 内含多种具有回收价值的材料

研究表明,一部废旧智能手机包含多种有价值的材料,黄金含量约为0.015%,银含量约为0.3%,铜含量约为20%—25%,可再生材料含量约为40%—50%,此外还有铂、铝、钯等。

同济大学生态文明与循环经济研究所所长杜欢政教授告诉记者,在我国,一吨废旧智能手机的含量可达280克,银的含量可达2000克,分别相当于原矿的60倍与13倍,堪称“城市矿山”,1吨废旧智能手机中金属的价值可达23000美元。

废旧智能手机中可以回收许多高价值金属,至少能够提炼出金、银、铜等高价值元素,这些金属绝大部分都来源于手机的电路板。此外,电路板上还分布着大量芯片,存在着非金属元素硅。通过提纯得到的晶硅经过加工后,最终可以得到用于制作半导体元件的单晶硅。

“现在绝大多数智能手机使用的都是锂电池,这里面可回收的金属元素也不少。大部分锂电池是以钴酸氧化物为正极,以石墨为负极,而电池中的钴元素回收价值每年在全国可达数亿元。”杜欢政表示。

此外,还有让手机屏幕显示效果更加鲜艳的稀土元素镧,以及在扬声器、前置传感器上使用的超强磁力稀土元素钕等。这些贵金属如果能够被充分回收利用,也可缓解智能手机大规模生产给贵金属带来的资源压力。

“废旧智能手机属于废弃电器电子产品中的一种,同样兼具环境风险属性和资源价值属性。在降低其环境风险属性的前提下,最大程度挖掘其价值是完成废旧智能

手机回收处理的正确途径。”中国物资再生协会电子产品回收利用分会秘书长张贺然表示,当前,我国仍有大量废旧智能手机被不规范回收拆解。一些有价值物资因为受到工艺技术水平限制,没有得到充分利用,不仅浪费了资源,更对环境造成危害,废旧智能手机等废弃物的规范回收利用具有现实的必要性和紧迫性。

### 提升回收技术挖掘“电子矿产”

“从废旧智能手机中提取这些有价值的材料大致可分为三个阶段,预处理是第一个阶段。”杜欢政表示,该阶段主要是将电子废弃物中的金属与非金属分开,实现金属的初步富集。

张贺然介绍,回收的智能手机显示屏在清洗后会运至专门的液晶显示屏处置企业,进行专门处理;手机外壳等零部件通过人工拆解得到的塑料可以直接出售,或者机械粉碎后进入再生塑料生产流程,进行塑料造粒,制作EPC托盘等木塑复合材料制品;电路板则需要将上面连接的电子元器件进行拆卸。锂电池通过机械拆解能得到塑料或金属外壳、锂电池芯等。

在预处理阶段应用到的技术,包括拆解、破碎和分选等物理处理,通过高温加热分解废旧手机中的塑料、橡胶等有机物的常规热解,以及利用微波加热使塑料、橡胶等非金属材料分离的微波热解等。

回收和精炼提纯是继预处理之后的两个阶段。回收主要是将稀贵金属进行提取富集;精炼提纯是从回收的贵金属浸出液中得到纯度较高的稀贵金属。

回收阶段使用到的技术有很多类型。如火法冶金技术,其原理是利用冶金炉高温加热剥离非金属材料,对金属铜、金、银、钯等的回收率非常高。湿法冶金技术是将材料与水溶液或其他液体接触,通过化学反应来提取金属。利用这种技术回收的金、银等贵金属品位高、回收率也高。

“传统的回收技术工艺简单,操作快捷,但缺点也很明显。”杜欢政表示,以火法冶金技术为例,回收的金属杂质多,在提炼过程中需要消耗大量的燃料,还会产生二氧化碳、烟雾、固体颗粒以及有毒有害气体。

为此,研究人员致力于发展一种通过微生物的催化氧化作用来提取稀贵金属的生物冶金回收技术,该技术具有工艺简单、可操作性强、成本低、环境污染小等优点。

此外,超临界流体回收稀贵金属技术目前也处于实验室研究阶段,未来可能会作为一种辅助回收技术。这

些新技术发展前景广阔,但当下尚不成熟,距离大规模工业应用还有很长的路要走。

### 产业化发展还需形成规范

不菲的利润驱动着手机回收市场规模的不断扩大,张贺然介绍,我国废旧智能手机回收利用已经自发形成了回收、翻新、拆解、元器件再使用、提炼贵金属等完整的产业链。

杜欢政认为,从废旧手机中提取有价值的材料正在逐渐形成产业,但目前仍存在技术不完善、处理规模小等制约因素。“目前我国具有自主知识产权的电子废弃物处理技术发展得还不够先进,这会使我们在处理废旧智能手机时不能充分将其资源效益化,也间接提高了对剩余残渣的处理费用。我们要继续加大研发人力和财力的投入,开发更先进、更完善的处理技术。”杜欢政说,同时,废旧智能手机处理利用的规模化企业数量和处理能力不足,也使得产业发展受到限制,远远不能应对我国目前严峻的电子废弃物处理问题。

张贺然还指出,当前手机回收存在回收网络体系不完善、行业政策标准体系不健全、综合回收处理能力不足等多方面问题。“目前废旧手机回收市场管理没有专门的法规或管理办法可依,市场发展不规范,正规回收企业数量少。废旧手机回收、信息销毁、维修及元器件再利用的行业标准或规范缺乏,整个行业的发展欠缺指导。此外相关领域专业人员的匮乏,也制约着我国废旧手机的环境无害化和高效处理利用。”张贺然表示。

进一步促进手机回收利用产业发展,使其更加规范完善,仍需多方努力。张贺然建议,应进一步完善生产者延伸责任制度,将生产企业纳入回收体系建设中,制定回收率目标,鼓励生产企业利用已有销售、维修渠道自行建设、联合建设或委托专业第三方建设回收网络体系。还应建立健全行业标准体系,加强政府监管,针对废旧智能手机回收利用行业所涉及的分拣、识别、分拣、信息销毁、维修、拆解、元器件再使用、材料利用、稀贵金属提取等各个环节出台相应的技术规范、指南、行业标准或认证,对废旧智能手机的回收处理全过程进行管理。

“要鼓励或规范专业的废旧手机回收企业,科学地将废旧手机进行环境无害化处理和高效的资源化利用,在现有基础上加大废旧手机分类、拆解及深加工处理技术的研发和产业化,着力提升我国废旧手机的专业化处理能力。”张贺然说。

## 寻材问料

### 低成本、高离子电导率

## 新型固态电解质开发成功

科技日报讯(记者吴长锋)7月4日,科技日报记者从中国科学技术大学获悉,该校马骋教授开发出一种新型固态电解质,其综合性能与目前最先进的硫化物、氯化物固态电解质相近,但成本不到后者的4%,适合进行产业化应用。相关研究成果日前发表在国际学术期刊《自然·通讯》上。

全固态锂电池是一项颠覆性技术,但由于其核心材料——固态电解质难以兼顾性能和成本,导致产业化面临巨大阻碍。目前被广泛研究的氧化物、硫化物、氯化物固态电解质都无法同时满足高离子电导率、良好的可变形性以及足够低廉的成本这3个条件。

研究中,马骋把目光转向氧氯化物,设计并合成了一种新型固态电解质——氧氯化锆锂。这种材料的成本远低于目前最具成本优势的固态电解质氯化锆锂,并且不到硫化物和稀土基、钨基氯化物固态电解质成本的4%。

同时,氧氯化锆锂的综合性能与目前最先进的硫化物、氯化物固态电解质相当。实验证明,由氧氯化锆锂和高镍三元正极组成的全固态锂电池在12分钟快速充电后,仍然成功地在室温条件下稳定循环2000圈以上。

### 更强韧、能传输电信号

## 人造蛛丝完胜天然蛛丝

◎本报记者 陈曦

天然蛛网上有两类蛛丝,一种是与高等合金钢抗拉强度相当的蛛丝,即蛛网上的经纬,具有很高的韧性。另一种是黏附型蛛丝,即蛛网上的纬线,用于捕获猎物。

南开大学教授刘遵峰,中国科学院院士、东华大学教授朱美芳,中国药科大学副教授周湘组成的联合团队,研发出一种带有类皮肤的褶皱结构的人造蛛丝,强度达到1.61吉帕斯卡,韧性达到466兆焦/立方米,超过了自然界中强度最高的达尔文树皮蛛的蛛丝。联合团队同时研发出一种仿生黏附型人造蛛丝,其强度和韧性超过了天然的黏附型蛛丝。该人造蛛丝还可以传输电信号,表现出类似神经元的功能,有望用于神经修复、植入式电极、人机交互等。这两项成果近日发表于国际期刊《先进材料》。

### 最强韧人造蛛丝刷新世界纪录

一直以来,制备人造蛛丝的常用方法是采用蛛丝蛋白或者重组蛋白进行纺丝,但是其力学性能与天然蛛丝相去甚远。“这是因为天然蛛丝经过亿万年的进化,形成了精细而独特的微纳多尺度结构。”刘遵峰介绍,当前,世界上报道的强度最高的天然蛛丝是在马达加斯加岛上发现的达尔文树皮蛛的蛛丝,其强度可达1.6吉帕斯卡,韧性可达350兆焦/立方米。

刘遵峰团队创新性地提出了采用独特的凝胶纺丝方法制备人造蛛丝,近年来取得了系列突破性进展,不断将人造蛛丝的性能推进到新的高度。如刘遵峰团队提出了采用凝胶牵伸纺丝的方法,制备了具有捻曲一核壳结构的人造蛛丝,强度可达0.9吉帕斯卡,韧性可达370兆焦/立方米。

受自然界中材料具有取向性的启发,此次联合团队研发出一种表层带有类皮肤褶皱结构的人造蛛丝。刘遵峰解释说,很多材料的取向(分子链、纳米纤维等沿一个方向平行排列)不是均匀的,比如树木、皮肤、牙齿等,它们的核心层和表层的取向方向是相互垂直的。这有利于在提高水平方向强度的同时,抵抗来自垂直方向的冲击,使得具有这种结构的材料更加强韧。类皮肤的褶皱结构就是把平行排列的结构做成褶皱形状,以提高在不同方向上的抗冲击能力,使这种人造蛛丝强度达到1.61吉帕斯卡,韧性达到466兆焦/立方米。

### 仿生黏附型人造蛛丝可传输生物电信号

受神经元在生物体内传输的启发,科学家致力于研发人工神经网络及器件并应用于柔性电子、智能设备和神经态计算机等领域。

蜘蛛的黏附型蛛丝表现出高强度和高韧性,以及高黏附性。通过模仿黏附型蛛丝的结构和纺丝过程,人们已经开发出了各种力学性能优异的水凝胶纤维。下一步,将黏附性和离子导电性引入水凝胶纤维中,人们或将开发出具有优异黏附性、力学强度和信号传输功能的人工神经网络。

“然而要实现力学性能和电学性能的良好结合,主要挑战在于如何在连续纺丝的基础上调节人工纤维分子间的相互作用和分级结构。”朱美芳介绍。

联合团队基于PrDA水凝胶纤维,开发了一种用于生物电信号传输的可纺黏性导电人造蛛丝材料。该人造蛛丝的两性离子聚合物链间的静电相互作用保证了优异的牵引纺丝能力、力学性能和对不同类型表面的黏附性能。同时,该人造蛛丝显示出良好的离子导电性,是捕捉人体生物电信号并传输到检测仪器的理想界面材料。此外,将该人造蛛丝用于人工突触晶体管构建,可实现拟神经信号的调控。其未来可应用于生物电极、脑机接口、可穿戴电子设备和神经态计算机等领域。



本版图片由视觉中国提供

### 厚度33微米,可屏蔽99%入射电磁波

## 我科研团队研发出高性能电磁屏蔽材料

◎本报记者 李禾

如今,各种电子设备越来越多地应用于人们的生活和工作中,但是电子设备在运行过程中会产生电磁辐射,可能会给人们的健康带来不良影响,各设备间的电磁干扰也会造成信号被拦截、数据丢失等,严重影响电子设备的性能及其正常运行。特别是随着物联网、自动驾驶、可穿戴设备的发展,电子设备越来越复杂、体积越来越小、精度要求越来越高,要保证这些高度集成、高功率的电子设备正常运行,电磁干扰屏蔽至关重要。

发展新型电磁屏蔽材料是解决电磁污染的关键,特别是超薄、轻质并具有优异力学强度和可靠性的高性能电磁屏蔽材料。日前,北京航空航天大学化学学院研究员衡利苹团队研发了一种具有超润滑界面的还原氧化石墨烯/液态金属(S-rGO/LM)异质层状纳米复合材料,可用于高性能稳定的电磁屏蔽。相关研究成果发表在国际学术期刊《美国化学学会·纳米》上。

### 用石墨烯研发高性能柔性电磁屏蔽材料

电磁屏蔽材料是能够通过吸收、反射

等方式来衰减电磁波能量传播,以有效抑制电磁干扰和污染的功能材料。

人们希望,电子设备在工作时,既不被外界电磁波干扰,又不辐射出电磁波干扰其他设备或危害人体健康,因此电子设备运行中,自身产生的电磁波需要被吸收,而外界入射的电磁波需要被反射或吸收。铜、铝等金属是常用的电磁屏蔽材料,但它们容易被腐蚀、密度大、重量重,并以反射电磁波为主,会造成二次电磁污染。特别是传统的金属材料不具备柔性,难以被应用在柔性电磁屏蔽领域。

镱基液态金属(LM)是目前柔性电子制造应用最广泛的材料,这主要归因于其具有低熔点、低黏度、高电导率和热导率等物理特性。衡利苹说,随着对具备室温流动性的镱金属、镱基合金液态金属材料研究的逐步深入,其在柔性电磁屏蔽材料领域已表现出相当大的潜力。

但是现有的镱基液态金属电磁屏蔽材料普遍需要与绝缘的聚合物基材共混,以得到具备一定机械强度、可实际应用的电磁屏蔽材料。而材料的导电性和导磁性越好,对电磁的屏蔽效能就越高,镱基液态金属电磁屏蔽材料与绝缘的聚合物基材共混,会损失镱基液态金属的导电性能,使电磁屏蔽性能无法达到最佳水平。使用一种本身也具备超高电导率的基材

在日常生活和工作中,

### 可作为抗结冰、除冰功能材料使用

聚二甲基硅氧烷(PDMS)具有耐热性、耐寒性、防水性、导热性以及良好的化学稳定性,电绝缘性和疏水性能好,可在-50℃—200℃下长期使用。目前,PDMS已广泛用于绝缘润滑、防震、防油尘和热载体等。

该团队先将S-rGO/LM材料在稀释后的PDMS溶液中浸涂,随后再对其旋涂抹硅油,使其获得超润滑特性。衡利苹说,得益于材料本身的稳定性和超润滑界面的协同保护,S-rGO/LM材料在极限工作温度中,严重机械磨损后,依然能保持良好的电磁屏蔽能力。

除了具有出色的电磁屏蔽性能外,S-rGO/LM材料还具备优秀的热管理性能。实验显示,在1个太阳光照功率(100毫瓦/平方厘米)照射下,S-rGO/LM材料的表面温度在40秒内就可达到47.5℃。这表明,在低温地区,S-rGO/LM还可以作为具有抗结冰、除冰功能的材料来使用。

来构建液态金属柔性复合材料,成为提升液态金属柔性电磁屏蔽复合材料性能的关键。于是,石墨烯进入了衡利苹团队的视线。

石墨烯具有优异的光学、电学、力学特性,本身就可以保持很好的导电性。氧化石墨烯(GO)对镱基液态金属还起到了良好的桥接作用,因此,在S-rGO/LM材料内