



特殊结构“稳住”液态金属 给小动物来一次心电检测

◎本报记者 金凤

说起金属，一股坚硬、冰冷、锐利的气息扑面而来，但自然界的金属并非都那么“冷酷无情”。

液态金属，是一种在室温下呈现液态的不定形金属，例如汞、铷、铯、铯等。它们柔软、可塑，同时具有较高的电导率，因此可以被加工成柔性电子材料，变身为电子皮肤、可穿戴健康监测设备、软体机器人等传感器器件，监测生命体征，进行人机交互……

较为柔软的先天气优势，使得液态金属容易被

弯曲、拉伸、塑性，但作为植入器件，它们也存在稳定性差、加工困难等特点。

近期，刊发于国际学术期刊《科学·进展》的最新研究，为液态金属在生物体内检测的应用，打开了一扇窗。在这篇文章中，南京大学现代工程与应用科学学院教授孔德圣带领团队通过特殊的结构设计，让液态金属在可植入电子器件中长期稳定工作。在该结构下，电子器件具有高达400%的拉伸应变能力，而且在实验动物牛蛙和家兔的体内，展现了稳定可靠的生物电信号检测能力，拓展了液态金属在可拉伸植入电子方面的应用范围。

400%

在该结构下，电子器件具有高达400%的拉伸应变能力，而且在实验动物牛蛙和家兔的体内，展现了稳定可靠的生物电信号检测能力，拓展了液态金属在可拉伸植入电子器件的应用范围。

可拉伸电子器件的理想导体选择

在元素周期表的118个元素中，金属高达96种。在如此多的金属中，有几种零星的金属在常温下处于液态，如汞、铷、铯、铯、铯。

在这5种金属中，汞最为人所知，其最典型的应用是体温计、血压计、电极、旋转镜面天文望远镜、日光灯等，但由于汞在常温下极易弥散出剧毒性蒸气，致使其制作和使用存在风险，因而日常生活中正逐步被禁用。

而铷、铯、铯具有放射性，三者与钠钾合金的化学性质一样，都很活泼，易于与水甚至冰发生剧烈反应，迅速释放热量从而产生爆炸，因而只能用在特殊场合。

“铯的生物安全性和综合优势都是罕见的，许多关于液态金属的研究与应用正是从铯开始的。”论文的共同通讯作者孔德圣告诉科技日报记者，铯的熔点约为30℃，在室温下处于熔融态，像水一样具有流动性，而且反复变形也不会有损伤，同时具有金属材料的高导电率，这让它

成为可拉伸电子器件和系统的理想选择。

当前明星般存在的液态金属铯，虽然早在100多年前就被发现，但长期未被重视。此前铯主要以化合物形式得到应用，如氯化铯、碘化铯、磷化铯等均是经典的半导体材料，铯真正的普及应用和研究直到近20年来才开始。

“目前常见的两种铯基液态金属是铯铝合金和铯银锡合金，前者的铯和铝按照3:1的质量比形成合金，其熔点可降低为15.7℃，后者的铯、银、锡按照68%、22%、10%的质量比形成合金，其熔点可降至0℃以下。不过，铯基液态金属的熔点可以通过改变合金含量来调整。”孔德圣介绍，铯基液态金属不仅可以单独作为导电聚合物复合材料的导电填料，还可以作为改进导电填料的添加剂，使得导电聚合物复合材料的柔性、耐腐蚀和耐热等性能得到改善。铯基液态金属作为导电填料时，还会大大增加整体结构的柔韧性、柔软性和拉伸极限。

给合金穿上“外衣”抵抗腐蚀

此次研究中团队使用的铯铝合金，配比为75.5:24.5，熔点温度接近16℃，这意味着，在16℃以上的温度里，铯铝合金为液态。

柔软、形态可塑、高导电率让铯基液态金属成为柔性电子材料的宠儿，却不能避免这些特性带来的先天不足。

“铯基液态金属能否在体内的植入设备中使用，特别是能否被加工成高精度的图案化的电极，是近年来的研究热点。”孔德圣介绍，熔融后的铯基液态金属像水一样柔软、无形，所以想将它们固

定成一块传感器器件，就需要精密加工的助力。

除了塑性，抗腐蚀也是铯基液态金属作为体内植入设备必须具备的“基本素养”。“生物体体液里有大量盐分，金属长期浸透在里面，会被腐蚀，从而降低器件的稳定性，我们在一些早期测试里曾发现，如果铯铝合金直接与生物体接触，几小时后，金属表面就会失去光泽、变色、电阻也会上升。”

如何既保留铯铝合金的柔软、高导电特性，又能让它们生物体内指哪打哪、结实耐用，是

学者们面临的普遍挑战。

经历长达两年的时间，孔德圣团队终于摸索出一套解决方案。记者看到，在他们设计的铯铝合金传感器电极阵列中，一根根“电线”平行笔直地排列，这是一条条“穿”了一层橡胶材料的铯铝合金，“用橡胶包裹铯铝合金，就像往暖水袋里灌水一样，既能保持合金塑性，又能让它们抵抗生物体体液的腐蚀。”孔德圣说。

在一排排线路的终点，是一个圆形电极，电极的“内芯”是裸露出来的铯铝合金，上面覆盖了

一层碳纳米管复合材料。电极的表面则涂上一层微裂纹状的导电聚合物。

“导电聚合物可以降低电极界面阻抗，让电极与生物组织直接接触、收集信号，再经由铯铝合金电路直接传输到监测设备上。”孔德圣解读，为了让铯铝合金从橡胶“外套”中暴露出来，要用激光在精细的电路路上钻孔，这对加工工艺的精细化要求很高。

碳纳米管复合材料的导电性有限，在传感器件中大量使用会导致信号模糊。对此，团队压缩复合导电材料的厚度，以减小电阻。

获得牛蛙和家兔的清晰心电图

制成传感器电极阵列后，铯铝合金是否还柔软、形态多变、高导电“结果是我们欣慰的。”孔德圣表示，团队通过电学、力学性能测试后发现，将电极阵列拉伸到原来长度的5倍时，单个电极的阻抗依然远低于 1×10^4 欧姆，在反复拉伸到原来两倍的长度达1万次后，传感电极阻抗仍保持稳定。

“生物组织、器官的表面不都是光滑的、规则的，所以传感器电极阵列要模拟器官在萎缩、膨胀时的多变和高频。”孔德圣解释。

随后，科研团队在南京大学教授宁兴海团队的协助下，用铯铝合金传感器电极阵列为牛蛙和家兔做心电图检测。牛蛙和家兔是两种心率差异较大的动物模型，牛蛙的心率约33次/分钟，家兔的心率约270次/分钟，非常适于探索电极的广泛适用性。同时，家兔的心电图结构与人类相似度较高，对潜在的临床研究具有较强的指示性。

团队用凝胶将电极阵列固定在它们的心脏表面，结果发现，在牛蛙和家兔体内获取的心电信号信噪比分别高达263和137。

“信噪比越高，说明信号的清晰度越高，越有利于看到心电图微小的细节，便于医生诊断疾病。”孔德圣说，在测试过程中，团队还尝试用药物引发家兔心率失常，结果发现家兔心电图波形紊乱，心脏收缩的信号不稳定。但给家兔注入治疗剂后，家兔心率变缓，心跳逐渐恢复正常。

“高质量的心电信号获取，证明了铯铝合金传感电极阵列在心血管疾病的诊断和治疗方面具有巨大的应用前景。”孔德圣说，牛蛙和家兔的心电测试，虽然各自只持续了几个小时，但对于术中监测，表现出一定的应用潜力，未来也许可以考虑在脑监测仪、心脏起搏器等长期植入设备中添加液态金属部件。

不过，他并不讳言，想真正走向临床应用，还需要解决大量问题，例如铯铝合金传感电极阵列的长期稳定性、与生物体的兼容性、大规模加工的潜在成本问题以及理想的应用场景。“虽然从原材料到器件终端，还有很长的路要走，但液态金属研究和应用的大门正在徐徐打开。”孔德圣对未来充满希望。

高盐度海水中长出海马齿 海岛居民的餐桌有望更丰富

◎本报记者 王祝华

一种叫海马齿的高营养蔬菜最近在海南高盐度海水中规模化选育成功。该项目的成功对于解决海岛居民新鲜蔬菜问题，为大众提供高价值的药食同源食品具有重要的价值。

4月25日，记者从海南南海热带海洋研究所(以下简称热海所)获悉，该所与三亚热海生物技术有限公司合作课题“高盐度海水规模化选育培育海马齿”最近在三亚崖州湾科技城内成功完成项目指标，所选育的海马齿不仅在35%以上的海水中茁壮成长，而且比文献记载的盐度高5%以上。

热海所所长陈宏向科技日报记者介绍，人工培育的该品种作为海水蔬菜，在国内外是首次，也是目前规模化培育的适应最高盐度的陆生海水蔬菜。

九年磨一剑创新喜结果

陈宏团队专注海马齿海水蔬菜研究始于2013年。当时，团队正在我国西沙海域开展珊

瑚研究培育，团队成员几乎日头烈日考察珊瑚礁生态。细心的陈宏发现，在个别潟湖里极高海水盐度的礁岩坑内，会生长一些野生海马齿。这让陈宏对其进化和生境适应性产生了极大的好奇。

海马齿(*Sesuvium portulacastrum*)属于番杏科(Aizoaceae)、海马齿属(*Sesuvium*)，为多年生匍匐性肉质草本盐生植物，广泛分布于热带与亚热带海岸，与海马齿属于同属不同种的物种。

我国海马齿主要分布在海南、广东、福建、广西等地。由于地理环境的关系，不同地域的海马齿对盐度适应性不同，在已有的文献中记载，盐度超过30%就很难培育。

9年多来，陈宏团队执着于此。此次，高盐度海马齿选育获得成功，不仅可以解决生态修复问题，也突破了海洋蔬菜食品开发的重要技术瓶颈。

研究表明，海马齿具有高蛋白低脂肪的营养特点，含有丰富的水分，肉质多汁，营养价值远高于红萝卜、马铃薯、莴苣笋、大白菜等多种常见蔬菜。每100克(g)海马齿食用部分能量为74.9—93.3千焦(kj)，水分为93g，灰分为2.6g，碳水化合物为1.4g，蛋白质为3.0g，粗纤维

为0.95g；含有亚麻酸和亚油酸两种必需脂肪酸；矿物质元素丰富，可为人体提供常量及微量元素。海马齿所含营养成分中维生素E含量最高，β-胡萝卜素次之；含有16种必需氨基酸，种类齐全。此外，海马齿谷氨酸含量很高，含有丰富的鲜味氨基酸，其含量占总氨基酸的23.02%，另含有配比合理的氨基酸，占总氨基酸的比例为39.39%。

陈宏介绍，海马齿还具有较高药用价值，富含蒽、萜以及一些挥发性油类物质，国外已证明其对发热、坏血病等病症有较好的疗效。

海水蔬菜开发应用价值大

海马齿海水蔬菜研究的成功，引起了人们对于海水蔬菜更大范围研究和开发利用价值的更多关注。

相关资料显示，20世纪50至60年代，以色列生态学家雨果·博伊科进行多次海水浇灌甜土植物的试验，开发了海水蔬菜。从1978年开始，美国亚利桑那大学的卡尔·霍奇森，历时十几年，从1300多种野生盐生植物中筛选出了20多种生命力强、产量高且品质优良的强耐盐作物，此后

又先后培育出毕氏海蓬子SOS-7、SOS-10两个可用纯海水直接进行灌溉的杂交品系。墨西哥、沙特阿拉伯、埃及、巴基斯坦和印度等地均先后进行了不同规模的海水蔬菜引种试验，取得了良好的成效。

我国于1998年将毕氏海蓬子从美国引入，从而开启了我国海水蔬菜领域的研究。这些年来，科学家们已开发出可耐受1/3海水的黄苔菜、红苔菜、番杏、绿苣苔等海水蔬菜。

陈宏介绍，海水蔬菜在生长期内几乎无病虫害，无需用药，经济效益可观，不需要施用化肥和农药，且富含天然盐、生物碘和维生素等多种营养要素，完全符合绿色健康蔬菜特征，是天然有机食品。

此外，由于许多海岛缺少淡水和土壤，培养蔬菜一直很困难，新鲜蔬菜一直是海岛居民最渴望的食材。水培海马齿作为一种高营养绿色保健的野生海洋蔬菜品种，不仅可以增加海岛居民的营养，还能丰富百姓餐桌。

“虽然近期发展海水蔬菜需要较大的投入，但是，产业体系建立之后，可部分解决我国人地矛盾所带来的生态问题和经济问题，具有广阔的发展前景。”陈宏说。

成果播报

高效杀菌并快速愈合伤口

新型纳米酶带来灭菌减毒新思路

科技日报讯(记者吴长锋)记者从中国科学院合肥物质科学研究院了解到，该院智能机械研究所黄青研究员课题组制备出一种新型纳米酶可用于高效杀菌并促使伤口快速愈合。研究成果日前在《生物学杂志》作为封面文章发表。

新冠肺炎疫情等已引起全世界对有害微生物减毒消杀技术的高度重视。纳米酶作为下一代酶模拟物质，因其低成本、优异的活性和高稳定性等优势而得到了广泛的研究，目前已经被应用在包括生物传感、抗免疫、细胞保护和疾病预防或治疗、癌症治疗和灭菌等诸多方面。因此，新型纳米酶制备及应用是当前研究的一个热点。

研究人员首先将铂纳米颗粒均匀附着在二维片状材料上，获得的复合材料具有优异的纳米酶活性，能够模拟氧化酶，在无需过氧化氢存在的条件下催化氧化底物。动力学研究表明，纳米酶活性显著高于其他一些已报道的纳米酶材料。平板灭菌实验结果表明其具有优异的灭菌效果。此外，通过在小鼠背部创建伤口并观察愈合现象，证明了该复合材料可以加速伤口愈合，而且具有高生物兼容性。

科研人员从对细菌膜的电子传递影响方面入手，经过膜电势和电子传输效率检测等一系列实验，验证了新型纳米酶复合材料灭菌是通过影响细菌膜上的氧化还原反应引起的，由此推测该纳米酶通过切断微生物电子呼吸传递链达到灭菌效果的机制。这为从源头上设计制备在生物领域应用的新型高效、低毒的纳米酶材料提供了新的思路。

该研究成果不仅提供了一种新的高效抗菌材料，而且在制备技术及纳米酶灭菌机理研究方面取得了新进展，对医疗健康领域灭菌减毒、控制有害微生物传播等方面的研究都提供了新的启示。

“璇玑”系统“智造链”建成投产

可年产100套高端装备

科技日报讯(记者操秀英)记者从中国海油获悉，近日，我国首条旋转变向钻井与随钻测井“璇玑”系统智能化生产线在广东佛山正式建成投产，标志着由我国自主研发的“璇玑”系统迈入大规模产业化新阶段。

旋转变向钻井与随钻测井技术被誉为石油钻井技术“皇冠上的明珠”，中国海油“璇玑”系统技术研发成功是我国石油钻井、测井领域一项革命性、颠覆性的技术突破。该系统可以精准控制几千米地下的钻头“瞄着”油层去，“闻着”油味钻，甚至可以“遥控驾驶”钻头在0.7米的薄油层中横向或斜向稳定穿行1000米以上，同时可以实现对地层资料的实时分析，是大幅降低油气田开发成本、高效开发海洋油气资源的重要法宝，代表当今世界钻井、测井技术发展的最高水平。

本次投产的“璇玑”系统智能化生产线，属国家重大装备国产化项目，是中国海油建设高端油气勘探装备“智造链”的核心内容之一。“璇玑”系统技术带头人、中海油服油田技术事业部总经理高捷表示，“璇玑”系统“智造链”的建成投产，标志着我国在旋转变向钻井和随钻测井领域具备了涵盖科研、生产、销售、服务一体化的成熟能力，有效保障了国产高端技术装备的自主可控。该生产线投产后，具备年产100套“璇玑”等高端装备的制造能力，一举解决了国内规模化市场应用带来的供不应求问题，进一步强化能源自给保障能力。

据悉，旋转变向钻井与随钻测井技术自20世纪90年代诞生以来，因其横跨20多个学科，涉及1000多道高端工艺，多达几百万行控制代码，被美国三家国际油田服务公司垄断达20多年。面对每年10亿元人民币的高昂服务费用、完全加密的技术封锁和从不出售的产品垄断，中国海油旗下专业技术公司中海油服经过7年的技术攻关，于2014年成功研发“璇玑”钻井、测井系统并实现海上作业，使我国成为世界上第二个拥有该项技术的国家。

截至2022年3月，“璇玑”系统已陆续在渤海、南海、东海和陆地主要油气田应用，并推广至伊拉克、印尼等“一带一路”沿线国家。

智能涂层实现

全天候冷热能量捕获与利用

科技日报讯(记者吴长锋)记者从中国科学技术大学了解到，该校工程学院教授裴刚与国家同步辐射实验室研究员邹崇文团队合作，提出了一种全新的能量利用方法，该方法分别以太阳和太空为热源和冷源，巧妙利用光谱自适应智能涂层来解决光热转换过程和辐射制冷过程的光谱冲突，实现24小时全天候的冷热能量捕获和利用。相关研究成果近日发表在《美国科学院院刊》上。

从热力学的角度来看，太阳和太空是地球能量循环的终极热源和终极冷源。光热转换通过对太阳辐射直接利用，获得高温热能；而天空辐射制冷可以将地表能量以红外辐射形式通过大气窗口直接发射至低温太空，获得低温冷量。实现对深空低温的超远距直接利用。然而，目前的光热转换和天空辐射制冷都依赖于静态的光谱选择性涂层，但两种过程存在红外光谱冲突，目前技术都是对单一目标、单一功能的利用。

基于此，研究团队创新性提出利用光谱自适应调控机制对太阳热源和太空冷源进行时间解耦，突破目前对太阳热源和太空冷源的单一利用方式。科研人员研制了一种基于二氧化钒相变材料的多层膜光谱选择性自适应涂层，该涂层在白天太阳辐照下处于金属态，整体涂层太阳吸收率为0.89，红外发射率仅为0.25，表现为光热吸收特性；在夜间无日照条件下，处于绝缘态，涂层在大气窗口波段具有高的发射率，在其余中红外波段具有低的发射率，表现为辐射制冷特性。实测结果表明，该器件表面温度在白天可以比环境温度高170℃，在夜间可以比环境温度低20℃，具有白天光热转换、夜间辐射制冷的自适应功能。器件可以24小时全天候运行，极大提升冷热能量捕获的综合效率。

这一研究结果为基于太阳热源和太空冷源的能量捕获和高效利用提供了一种全新的途径，该技术可以广泛应用于建筑节能、光伏冷却、热电转换以及深空探索等领域。

“虽然近期发展海水蔬菜需要较大的投入，但是，产业体系建立之后，可部分解决我国人地矛盾所带来的生态问题和经济问题，具有广阔的发展前景。”陈宏说。