

郭万林：用一滴水“装下一个时代”

■本报记者 陈彬

炎炎夏日，水成了人们最愿意亲近的东西——大人在阴凉处喝着冷饮，孩子在喷泉边嬉戏打闹，泳池中挤满了男女老少……然而，在中国科学院院士、南京航空航天大学教授郭万林看来，那些或消散在空中，或流淌于地面的清水，为人们带来的远不止清凉，还蕴藏着无处、无时不在的能量。

郭万林的目标，是将这些能量变成可用的电能。在他眼中，这个全新的研究领域甚至“能装下一个时代”。如今，在郭万林推动下，从水获电已成为一门新学科——水伏学。

“水中取电”“空中取电”不再是幻想

什么是水伏学？答案要从十多年前一次“失败”的实验说起。

2010 年，博士生殷俊在导师郭万林指导下尝试验证石墨烯在一定流速和离子浓度的水溶液中生电的实验。然而，在他尝试了不同流速和浓度的组合后，仪器上记录电压的那条线没有任何起伏。很明显，沉浸于水中的石墨烯不能生电，初步实验失败了。

但当殷俊将实验记录回放给导师看时，郭万林注意到了测量曲线尾部的一个剧烈波动信号。殷俊说，那是将石墨烯从水中拿出时，没有关测量仪器而产生的。

“既然如此，反复把它放入水中再拿出来，不就能反复生电？如果水面沿石墨烯上下波动呢？”郭万林让学生进行波动实验。结果发现，只要气液界面沿石墨烯运动，电压就会产生。

为了弄清楚背后的原因，郭万林带领团队开启了 3 年多的深入研究。

2014 年，该团队关于水滴生电和波动生电的研究成果接连发表于《自然－纳米技术》和《自然－通讯》。2018 年，郭万林作了题为《水伏科学技术的曙光》的报告，并与团队将其整理发表于《自然－纳米技术》，首次提出“水伏效应”这一新概念。论文刊发时，期刊编辑在封面以“水伏学——从水获电的新途径”进行推介，一门新学科



南京航空航天大学供图

由此诞生。

“所谓水伏学，简单地说，就是研究水与材料物质相互作用，将水中的能量和热量转化为电能的途径。”郭万林告诉《中国科学报》，这种途径是多样的。比如，水滴在石墨烯表面滚动就能产生电，而且水滴运动越快，所产生的电量就越大。水的自然蒸发也能发电，只要蒸发不停止，就能持续稳定发电。

他指出，该领域还可以利用大气的水汽凝结一再蒸发，源源不断地把大气中的热能变为电能。也就是说，在水伏学的研究范畴内，“水中取电”“空中取电”都不再是幻想。

寻找登山的“台阶”

“取电”是一回事，能取到足够多的电却是另一回事。水伏效应最初被发现时，其发出的电信号极其微弱，必须用高灵敏电表才能测出毫伏、百纳安级的发电量。

一个标有“10V@10mA”字样的牌子一直被挂在郭万林课题组实验室最显眼的位位置，上面数字的意思是“水伏生电的电压达 10 伏、电流达 10 毫安”。这是课题组在实

现水伏效应发电量从“毫伏”到“伏”、从“亚微安”到“微安”的跨越后，此后 5 年的奋斗目标。

这块牌子一挂便是 4 年。其间，团队在理论计算、材料研究和器件研发中交叉迭代。“这就像大家一起爬山，所有人都在寻找不知道在哪儿的登顶的台阶，总会有人在不经意间找到。”郭万林如此形容那段经历。

团队成员、南京航空航天大学教授张助华则将那段时间的体验形容为“痛并快乐着”。“科学家比普通人更能体会什么叫‘寂寞’，什么叫‘柳暗花明又一村’，因为我们要在没有路的地方找到一条路。”他说。

虽然开辟一条全新的路极其困难，但自从发现水伏现象后，郭万林便从未动摇过开辟这条路决心。因为他清楚地意识到，这条路将通往一片怎样广阔的天地。

“目前全球气候变暖的本质是地球吸收的太阳光热过多，既然如此，我们的能源利用应该没问题，但事实为何并非如此。”郭万林说，其原因是目前的新能源利用方式均存在不稳定和间歇性问题。

水伏现象却不存在这个问题。“比如，蒸发现象无时无刻不在发生，这其中蕴含着大量能量。”郭万林告诉《中国科学报》，目前太阳光热到达地球表面的能量有 70%被水吸收，存储在了水和水汽中。如果水伏学能够实际应用，能源问题将得到极大缓解，随之得到解决的还有全球变暖问题和生态问题。事实上，人类的健康领域以及人工智能领域也能依托水伏学得到极大发展。通常情况下，人脑的含水量约为 70%~80%，可以说人脑是在水中工作的，而脑电波的产生也有可能与水伏效应有关。

“从某种角度说，水伏学‘足以装下一个时代’。”郭万林说。

“大学教师要面对一个基本事实——你的学生需要应对的是二三十年后的世界，而这个世界与你现在熟悉的世界完全不同。”郭万林说，这就要求大学教师洞悉科学发展前沿，引领潮流，或者至少跟得上潮流，而非在熟悉的领域做一辈子。

“一家企业可以专注做冰箱几十年，但老师是不能永远做‘冰箱’的。否则，当‘冰箱’被时代淘汰了，你还能做什么？”郭万林问。

这样的理念也被郭万林应用到了对水伏学的研究中——在他的预测中，水伏学将发展出 3 个层次：水伏能源、水伏生态和水伏智能。而他已将研究团队按这 3 个方向进行划分。

大学教师不能“做冰箱”

很多人可能想不到，如今一门心思研究

“水”的郭万林，其学术生涯却始于硬邦邦的“金属”。

1981 年，郭万林进入西北工业大学学习。同年，他日后的研究生导师、我国航空事业奠基人之一的黄玉珊教授在西北工业大学创建了飞机结构强度研究所。此后的 20 年，郭万林一直躬耕于疲劳断裂力学研究。然而，随着研究推进，郭万林越发觉得，要想进行更深入的研究，就必须在原子甚至量子尺度有更深的认识。

此时已是上世纪末，世界科学研究正迈入纳米科技时代。察觉到这一趋势后，做惯了传统力学研究的郭万林牵头在南京航空航天大学成立纳米科学研究所。其间，郭万林还将研究的触角伸向脑科学，希望基于对离子、分子间相互作用机制的研究，探索大脑思维的奥秘。而当他发现水伏效应后，更是将两者进行了结合……

在如今已是郭万林团队一员的殷俊眼中，自己的导师对科学研究永远保持十足的热情，喜欢探索科学前沿问题。“更重要的是，他总是鼓励自己的学生这样思考、这样做。用他的话说，反正你们‘啥都不懂’，还不如琢磨点新东西。”

在郭万林看来，这就是作为一名老师的“本分”。

“大学教师要面对一个基本事实——你的学生需要应对的是二三十年后的世界，而这个世界与你现在熟悉的世界完全不同。”郭万林说，这就要求大学教师洞悉科学发展前沿，引领潮流，或者至少跟得上潮流，而非在熟悉的领域做一辈子。

“一家企业可以专注做冰箱几十年，但老师是不能永远做‘冰箱’的。否则，当‘冰箱’被时代淘汰了，你还能做什么？”郭万林问。

这样的理念也被郭万林应用到了对水伏学的研究中——在他的预测中，水伏学将发展出 3 个层次：水伏能源、水伏生态和水伏智能。而他已将研究团队按这 3 个方向进行划分。

“大学教师要面对一个基本事实——你的学生需要应对的是二三十年后的世界，而这个世界与你现在熟悉的世界完全不同。”郭万林说，这就要求大学教师洞悉科学发展前沿，引领潮流，或者至少跟得上潮流，而非在熟悉的领域做一辈子。

“一家企业可以专注做冰箱几十年，但老师是不能永远做‘冰箱’的。否则，当‘冰箱’被时代淘汰了，你还能做什么？”郭万林问。

这样的理念也被郭万林应用到了对水伏学的研究中——在他的预测中，水伏学将发展出 3 个层次：水伏能源、水伏生态和水伏智能。而他已将研究团队按这 3 个方向进行划分。

“大学教师要面对一个基本事实——你的学生需要应对的是二三十年后的世界，而这个世界与你现在熟悉的世界完全不同。”郭万林说，这就要求大学教师洞悉科学发展前沿，引领潮流，或者至少跟得上潮流，而非在熟悉的领域做一辈子。

“一家企业可以专注做冰箱几十年，但老师是不能永远做‘冰箱’的。否则，当‘冰箱’被时代淘汰了，你还能做什么？”郭万林问。

这样的理念也被郭万林应用到了对水伏学的研究中——在他的预测中，水伏学将发展出 3 个层次：水伏能源、水伏生态和水伏智能。而他已将研究团队按这 3 个方向进行划分。

“开拓二号”成功完成海试

近日，由上海交通大学自主研制的深海重载作业采矿车工程样机“开拓二号”成功完成海试。

这次深海试验，“开拓二号”在海底多金属结壳与结核矿区，连续成功完成 5 次下潜，其中 4000 米级深度 1 次、2000 米级深度 4 次，采矿车分别达到了 1802.4 米、1929.9 米、1955.8 米、2048.5 米和 4102.8 米等深海海底。

此外，“开拓二号”对紧密附着在坚硬矿岩上的多金属结壳、浅埋于稀软深海沉积物中的多金属结核等不同类型海底矿物进行了高效开采收集，成功获得了 200 多公斤的多金属结壳、多金属结核、海底基岩等各类深海

矿产样品。

海试首席科学家、上海交通大学船舶海洋与建筑工程学院教授杨建民介绍，深海采矿在国际上存在三大技术难题：矿区海底地形异常复杂，装备安全行进困难；深海矿产赋存形式与物理特性复杂多样，高效开采收集困难；深海重载作业装备在海上风浪条件下，安全布放与回收困难。而“开拓二号”的研发，实现了国内同类研究的多个“突破”，为我国深海矿产资源勘探与绿色环保开采提供了一手材料和数据。

图为“开拓二号”。

本报见习记者江庆龄报道
上海交通大学供图



年省燃油 300 吨，经济效益超百万元

“海豚蒙皮”助力超大型油轮节能增效

■本报记者 张楠 通讯员 高晓静

近日，首艘安装仿生蒙皮螺旋桨的 30 万吨级超大型油轮（VLCC），顺利靠泊在福建泉州港码头，完成了 3 个航次的原油运输任务。

该船所用仿生柔性减阻材料，在实船应用前取得了中国船级社产品认证，满足国际控制船舶有害防污底系统公约（AFS）要求。

该船螺旋桨表面敷设仿生蒙皮后，实船油耗数据显示节能约 2%，预测在 2.5 年的修船周期内，平均节能 1.5%。按此计算，一艘 VLCC 每年可节约燃油 300 吨以上，直接经济效益逾 100 万元，减少二氧化碳排放量超 900 吨。

布局仿生研究 实现减阻节能

航运业是全球经济活动的重要支柱，目前超 90% 的全球贸易通过海运完成。然而，海运也消耗着大量能源，并且已成为温室气体排放的重要来源之一。据国际能源署（IEA）数据显示，海运业的能源消耗量在全球能源消耗总量中占比约为 9%，排碳量占全球二氧化碳排放总量的 3%。

因此，突破大型船舶的节能减排关键技术，引领全球海洋运输业绿色变革，对国家实现“双碳”目标具有重要意义。

船舶航行过程中，其能源主要用于驱动螺旋桨产生推力，克服船体与水之间的阻力，推动船舶前进。

在中国工程院院士、中国科学院宁波材料技术与工程研究所（以下简称宁波材料所）研究员薛群基布局下，该所海洋关键材料重点实验室研究员王立平和曾志翔带领团队，较早开展了表面仿生滑移材料与海洋舰体减阻方面的研究工作。

该实验室与中远海运能源股份有限公司（以下简称中远海能）联合开展了“船用仿生蒙皮减阻节能技术”项目。

接枝高柔性分子刷构造“类液态”表面

众所周知，海豚、鲨鱼等海洋生物在海里游动时遇到的阻力极小，这主要得益于其表面的微结构、柔弹性和黏液分泌特性。

海豚表皮在水流作用下，形成微结构，产生微涡流，将水流与表皮的滑动摩擦转变为滚动摩擦，再结合表皮黏液的润滑特性，可以有效降低水流的湍流动能，减小水与表皮之间的剪切力。

仿生蒙皮就是通过人工合成方法制备出的具有类似海豚皮特征的人造材料。对于人造的仿生减阻材料而言，表面微结构和柔弹性易于实现，但模仿海豚表皮长期黏液分泌的特性相对困难。

研究人员使用“类液态”材料，在固体有机物分子内部接枝了高度柔性分子刷，从而表现

出一定液体特征，有效解决了上述问题。由于所接枝分子链具有类似流体的高度动态特性，能自由旋转与运动，所以各种液体在这种材料的表面黏附力低且易滑移。

仿生蒙皮由研究团队研制的具有“类液态”特征的动态界面材料与具有 0.1~0.2 毫米尺寸微结构的柔性材料耦合而成，敷设于螺旋桨表面，能够减小螺旋桨与水之间的剪切力，并减少反推力对水的做功，进而提高螺旋桨效率，降低能耗。

促船业绿色、低碳化发展

巨型油轮螺旋桨效率随载货量和航速变化而变化，通常在 60%~70%之间。船用发动机在驱动螺旋桨旋转的时候，约 70%能耗转化为推力，约 15%消耗于螺旋桨剪切水做功，剩余约 15%则消耗于螺旋桨反推力对水做功。

“海豚蒙皮”研制成功后，项目研究人员将具有仿海豚皮特征蒙皮材料应用于巨型油轮螺旋桨表面，以提高有效推进效率。

此次顺利靠泊的油轮，航行时长近 200 天，里程逾 3.5 万海里，航线往返于中国沿海



仿生蒙皮螺旋桨。 宁波材料所供图

和中东各大港口，实船油耗数据显示节能约 2%，预测在 2.5 年的修船周期内，平均节能 1.5%。这是国际上首次将仿生柔性减阻材料应用于 30 万吨 VLCC，完成了多航次、长航时、多海域的节能数据收集。

鉴于船用仿生柔性减阻材料在实船上取得的良好节能减排效果，中远海能与宁波材料所紧密合作，计划将该减阻材料推广至中远海能旗下的 100 余艘油轮，以带来显著的经济效益，并有效降低二氧化碳排放量。

发现·进展

中国科学院华南植物园

揭示热浪下植物叶片损伤生理生态基础

本报讯(记者朱汉斌 通讯员周飞)中国科学院华南植物园生态中心植物生理生态研究组研究员叶清团队，研究揭示了热浪下植物叶片损伤的生理生态基础。相关成果近日发表于《功能生态学》和《整体环境科学》。

近些年高温热浪事件的频率和强度增加，不仅影响了人类的生产和生活，也严重影响了植物的生长和存活。尤其在城市环境中，受“热岛效应”的影响，植物对高温热浪事件的响应更加敏感。然而，植物在自然高温热浪事件下叶片损伤的生理生态基础仍不明确。

该研究实地测定了长江沿岸 5 个城市 100 多种木本植物的叶片损伤率、叶片耐热指标和叶片经济性状，发现植物叶片习性感光合耐热性。通过对比常绿树种和落叶树种，研究人员发现叶片构成本较高的常绿树种耐热性高于落叶树种，并指出落叶树种可能采取部分落叶的“避热”策略以保证在高温热浪事件下的存活。同时，叶片热敏感性与自然条件下叶片损伤率的显著相关性，为预测热浪下植物叶片损伤情况提供了一个潜在指标。

论文通讯作者、中国科学院华南植物园副研究员刘慧表示，目前的研究从叶片光合耐热性和叶经济谱的角度探讨了自然高温热浪事件下叶片损伤的生理生态基础，未来的研究还需考虑更多的生理性状，以更全面地了解植物对高温热浪的响应与适应机制。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1111/1365-2435.14562>
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170022>



《功能生态学》当期封面。 宁秋蕊 / 摄

中国科学院生物物理研究所

新型抗菌纳米酶特异性杀真菌

本报讯(记者孟凌霄)中国科学院生物物理研究所研究员高利增团队首次提出将抗菌肽和纳米酶结合的策略,通过计算机模拟从头部设计合成了多肽纳米酶,并系统研究了其特异性杀伤真菌的机制,为新型抗菌药物研发提供了思路。相关论文近日在线发表于《自然－通讯》。

纳米酶是具有类酶催化活性的纳米材料,具有高稳定性、高活性、多功能、低成本等优势,是新一代人工模拟酶,有望在生物医学、农业等诸多领域应用。

高利增团队根据仿生原理,提出基于纳米酶模拟抗菌肽和抗菌酶的杀菌机制,设计开发出双功能高效抗菌纳米酶。该团队前期研究发现多种具有氧化还原酶类活性的纳米酶能够模拟溶酶体杀菌原理,高效杀死多种耐药菌。这种以细菌铁死亡为主的杀菌机制,显著区别于现有抗生素和其他抗菌材料。他们据此提出纳米酶抗生素新概念。

研究人员选择了 Ni (Ac)₂ 组装的多肽纳米管(Ni-IH-7)作为后续研究对象。Ni-IH-7 多肽纳米酶由于形成了稳定的二级结构纳米管,对多种水解酶均表现出良好的耐受性。经过实验,研究人员发现 Ni-IH-7 多肽纳米酶具有磷脂酶和过氧化物酶样活性以及靶向结合甘露聚糖的能力,从而展现出特异性杀真菌的功能。

为了验证 Ni-IH-7 多肽纳米酶的实际应用潜力,研究人员将其固定在医用垫单上,发现垫单在 10 分钟内即可杀死超 90% 的白色念珠菌。针对阴道炎症患者分泌物,体外菌落涂板实验证明,Ni-IH-7 多肽纳米酶具有较好的杀真菌效果,且杀菌性不受分泌物中其他物质干扰。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1038/s41467-024-50094-6>

中国科学院生物物理研究所

新型抗菌纳米酶特异性杀真菌

本报讯(记者孟凌霄)中国科学院生物物理研究所研究员高利增团队首次提出将抗菌肽和纳米酶结合的策略,通过计算机模拟从头部设计合成了多肽纳米酶,并系统研究了其特异性杀伤真菌的机制,为新型抗菌药物研发提供了思路。相关论文近日在线发表于《自然－通讯》。

纳米酶是具有类酶催化活性的纳米材料,具有高稳定性、高活性、多功能、低成本等优势,是新一代人工模拟酶,有望在生物医学、农业等诸多领域应用。

高利增团队根据仿生原理,提出基于纳米酶模拟抗菌肽和抗菌酶的杀菌机制,设计开发出双功能高效抗菌纳米酶。该团队前期研究发现多种具有氧化还原酶类活性的纳米酶能够模拟溶酶体杀菌原理,高效杀死多种耐药菌。这种以细菌铁死亡为主的杀菌机制,显著区别于现有抗生素和其他抗菌材料。他们据此提出纳米酶抗生素新概念。

研究人员选择了 Ni (Ac)₂ 组装的多肽纳米管(Ni-IH-7)作为后续研究对象。Ni-IH-7 多肽纳米酶由于形成了稳定的二级结构纳米管,对多种水解酶均表现出良好的耐受性。经过实验,研究人员发现 Ni-IH-7 多肽纳米酶具有磷脂酶和过氧化物酶样活性以及靶向结合甘露聚糖的能力,从而展现出特异性杀真菌的功能。

为了验证 Ni-IH-7 多肽纳米酶的实际应用潜力,研究人员将其固定在医用垫单上,发现垫单在 10 分钟内即可杀死超 90% 的白色念珠菌。针对阴道炎症患者分泌物,体外菌落涂板实验证明,Ni-IH-7 多肽纳米酶具有较好的杀真菌效果,且杀菌性不受分泌物中其他物质干扰。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1038/s41467-024-50094-6>

哈尔滨工业大学

新型双离子电池负极材料可在 -60℃工作

本报讯(记者孙丹宁)哈尔滨工业大学教授王振波团队开发出可在 -60℃工作的双离子电池负极材料,有望为新一代储能系统双离子电池技术的发展与在极端场景中的应用提供新思路。相关成果近日发表于《德国应用化学》。

电动汽车、海底勘探和太空探索等领域的不断发展对极端环境下(低于 -40℃)的储能系统提出巨大挑战。双离子电池具有的阴离子存储机制无须面临电荷转移过程中的高反应能垒,有望突破低温等极端环境下的应用瓶颈。然而,双离子电池面临正负极反应速率不匹配问题,导致其无法发挥出最佳性能。

基于上述问题,研究团队发现二维层状材料 Ti₃C₂ MX-ene 在相对室温(25℃)的低温环境下表现出更优异的倍率性能与循环稳定性,并将其作为负极与聚三苯胺正极组装成钾双离子电池。研究表明,低温下电解液中钾离子与溶剂之间的相互作用增强,使 Ti₃C₂ 表面形成以有机物为主的固体电解质界面,促使 Ti₃C₂ 回避了低温下具有高反应活化能垒的脱溶剂过程,加速了 Ti₃C₂ 在该体系下的动力学行为。电化学测试结果表明,该钾双离子电池在 -60℃ 0.5 A/g 循环两万次后的容量保持率为 86.7%。

该研究攻克了超低温环境下双离子电池性能衰减难题,为其实际应用开辟了新途径。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1002/anie.202406765>