

# 电解水析氢催化剂“变形记”

■本报见习记者 辛雨

氢能是一种高效的可再生清洁能源。电催化析氢是水裂解过程的阴极反应，也是获得高纯度氢气并实现可持续分布式存储的重要途径。作为极具潜力的催化剂，商业化铂碳(Pt/C)催化剂在电催化析氢过程中，表现出优异的活性。然而，铂金属价格昂贵、储量十分有限，这很大程度上限制了其规模化应用。

近日，中国科学技术大学国家同步辐射实验室教授宋礼与合肥微尺度物质科学国家研究中心教授江俊合作，在低铂(Pt)负载催化剂及其电催化析氢性能研究方面取得了重要进展，揭示了局域电场效应对电催化析氢反应动力学过程的影响。相关研究成果发表于《自然-能源》。

## 载体结构影响催化剂活性

研究表明，电催化析氢过程通常发生在催化剂材料表面。“参与反应的实际上是单个或者近邻的几个原子。”宋礼告诉《中国科学报》，“近年来，随着单原子催化剂制备和表征技术的发展，从降低金属负载量最大化原子利用率角度出发，利用高本征活性的金属设计制备高效催化剂成为了可能。”

单原子催化剂金属活性位点通常均匀分布在负载载体上。宋礼介绍，在活性位点结构均一的条件下，从化学反应碰撞理论的角度出发，可以进一步提升催化剂活性。比如，制备高密度的单原子催化剂(但需要增加金属的用量)，或提高反应物在催化活性位点的局部浓度。

基于此，研究人员把关键点锁定在载体结构和性质调控上，以期能够获得更好的催化性能和单原子稳定性。

研究人员还发现，以典型二维石墨烯为载体的碳负载催化剂多数存在堆积严重的问题，导致催化反应被限制在二维催化表面。“因此，我们以高曲率碳纳米洋葱 OLC (一种新型零维碳纳米材料)为载体，利用催化效果最好的铂金属，巧妙设计了遍布‘针尖’的‘松球’结构催化剂，从材料匹配和结构设计上，达到提高空间利用率和改善单原子稳定性的效果。”宋礼说。

## 催化剂结构这样改造

为改造催化剂结构，研究人员选择了单位质量下最大表面积的球形，将之前扁平的催化剂做成一颗颗“球”。宋礼表示：“这样，就把以前局限在二维平面的反应，改造成三维立体的反应。曾经的一间‘小平房’被改造成了一个球形‘小高层’，可容纳的‘人数’，也就是可以发生反应的场地大大增加了。”

同时，每个铂原子均位于球形表面，保证它们都在“生产一线”。这样，催化剂形成了一个表面满是“针尖”的“松球”，每个“针尖”都是一个单原子铂。江俊告诉《中国科学报》，用松球结构承载单原子催化剂，巧妙地获得了最大空间利用率，“这是本研究最重要的一个优势”。

研究人员通过理论模拟发现，弯曲的“松球”表面会在尖端铂原子处形成非常强

的局域电场，相当于给铂原子的“脚”戴上了加速履带，可以进一步增强催化效率。江俊介绍，类似尖端放电效应，“松球”表面上的“松针”会积累负电荷，产生较强局域电场，加速吸引周围反应物粒子(带正电荷质子)，因此，反应速度升高。

“值得一提的是，反应的产物是氢气，氢气不带电，就会自动离开‘松球’被收集起来。”江俊说。

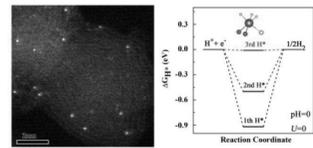
此外，由于碳纳米洋葱 OLC 是由一层层富勒烯结构嵌套而成，因此，相当于形成一个微型电容器，能够储存并快速提供电子。“如此一来，这种独特结构的催化剂不仅加快了电催化析氢反应过程中质子耦合的电子转移过程，也保证了金属单原子在催化反应过程中的稳定性，最终获得了优异的电催化析氢性能。”宋礼表示。

## 催化剂金属用量降至 1/75

单原子催化剂的研究是当下电催化析氢的热点课题，开发高效低成本的催化剂是实现电催化析氢的关键。

论文审稿人认为：“此工作利用极低的铂负载量获得了令人印象深刻的催化活性。作者通过维度调控，达到了改变电荷分布和诱导局域电场的目的，从而提高了单个铂原子的催化效果。”

研究人员表示，作为未来氢能大规模应用中关键的材料基础，铂催化剂具有极高的电催化析氢活性。但是如何解决铂金属价格昂贵、储量有限的难题



高曲率碳纳米洋葱负载 Pt 单原子催化剂设计及析氢机理 宋礼供图

极具挑战。因此，低铂负载催化剂驱动的电催化析氢反应的研究对铂基催化剂的规模化应用和未来氢能的进一步开发都具有重要的意义。

宋礼告诉《中国科学报》，与商业的铂碳催化剂相比，此研究设计的“松球结构”碳纳米洋葱负载低铂电催化析氢催化剂，在制氢效果不变的情况下，可将铂金属的用量降低到传统商业催化剂的约 1/75，有望推动未来铂基催化剂的深入研发和潜在应用。

他同时指出，目前材料的制备较复杂，尤其将单原子铂精准地“锚定”到纳米碳“松球”表面对设备要求较高。“因此，目前该催化剂的制备量还比较少，我们正在寻找适合大规模生产的方法，还需要一些时间。”宋礼说。

未来，研究人员还将通过寻找简单低廉的合成新方法、改变单原子种类、探索适合的质子交换膜等方法，进一步开展相关深入研究。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41560-019-0402-6>

## 智造论坛

工业制造是强国之基，制造业的发展关乎国家长远战略，支撑着实体经济的发展、国计民生的振兴。工业制造从机械化、电气化、自动化到智能化，经历着不断变革、创新和发展，智能制造、人工智能、量子技术等迅猛发展，新材料、新技术、新工艺层出不穷，引领前沿、抢占先机，已成为全球制造强国激烈竞争的焦点。

高端电子装备，广泛应用于各个领域，如通信、导航、计算、定位、信息感知等装备的制造，具有数字化、网络化、智能化的特色，其本身就是智能制造重要的软硬件基础支撑，对于发展未来制造意义重大。世界制造强国长期注重发展高端电子装备，通过信息化带动工业制造迈向高水平，如美国在集成电路、软件、通信、GPS 导航以及互联网、工业互联网等方面的发展，有效地提升了装备制造的信息化水平，积累了智能科技与产业发展的厚重基础，引领着先进制造的前沿方向。

我国高端电子装备制造与欧美发达国家相比存在明显不足，在材料、制造装备、工艺、质量上，对外依赖度高、自主创新弱。如芯片制造的高纯度硅、光刻机、晶圆加工、封测，高端设计软件自主工程化、精密超精密加工制造装备与工艺，关键基础件、核心零部件加工，高精尖测试仪器仪表等，均为制约发展的瓶颈问题，亟待破解。

首先，面向工业制造新挑战，要突出高端电子装备制造“智能核心”的重要作用，加大自主创新强度和力度。高端电子装备制造实力与水平的提升，是工业制造转型升级的关键突破口，没有高端电子装备、智能装备制造的坚实支撑，整个工业制造体系的升级、创新发展将缺乏核心竞争力，影响长远战略推进与发展。

第二，须打破行业隔阂的壁垒，发挥高端电子装备制造示范辐射作用，推动共性共享技术、市场与人才保障重点建设，注重通过技术、工艺、市

场、人才等互通性、互补性因素，加快深度融合，实现优势互补、资源共享、信息互通，集中力量解决重大共性问题，提升质量、水平，降低成本、能耗，实现良性循环。

第三，加快推进智能制造，要以智能化手段、方式，有效解决行业优势互补、部门协作协同的掣肘难题，从体制机制上突破自主创新的制约瓶颈。着力推进数字化、网络化、智能化制造，进一步强化工业制造 2.0、3.0 向 4.0 的并行、推进，有效解决工业深度融合中保密与共享、成本与性能、数量与质量等多方面的矛盾。

第四，加强前沿布局、引领未来制造。要坚持优势发展的思路，鼓励支持高端电子装备制造把握前沿趋势、推进技术创新，以高端电子装备制造为抓手，在智能制造、仿生制造、人机融合等前沿方向上规划布局，发挥各自在先进颠覆性技术、重要基础性研究、系统规模化制造方面的特色，整合力量、共享资源、协同创新，切实通过行业深度融合，大力推进前沿技术的研发，占据未来制造发展的有利先机。

(本文作者段宝岩为中国工程院院士、西安电子科技大学教授，李耀平为西安电子科技大学高级工程师，杨会科为西安电子科技大学讲师)

# 加快高端电子装备制造智能制造建设步伐

■段宝岩 李耀平 杨会科

## 匠人匠心

# 李景镇：为时间拍照的“摄影大师”

■本报记者 李晨

夜幕降临，整个城市一天的喧嚣即将远去。而此时，深圳大学电子科学与技术学院一间实验室里仍旧灯火通明，映着该院教授李景镇与团队成员紧张有序做实验的身影。无论寒暑，李景镇依然坚持这个作息规律，“这个时候很安静，我能静下心来思考问题”。

作为国际全光原子时间成像技术的开拓者，他坚持研究如何观测“一瞬即逝”的超快过程，在高速摄影、超高速摄影和极高速摄影技术领域取得了创造性的成就。

## 围绕时间靶心的工匠

李景镇曾在时间的科学中创下多个第一：研制出我国第一台国际领先水平超高速分幅扫描同时成像记录仪；研制出我国第一台每秒 2000 万幅摄影频率的转镜同步型超高速分幅摄影机；在国际上第一次实现每秒万亿幅全息相干快门极高速摄影，等等。

这位时间的“工匠”能够坚持下来，取得今日之成绩，与他工作的坚守、对科研不懈追求的精神密不可分。

从就读清华大学，到分配到中国科学院西安光机所工作，再到后来来到深圳大学就职，李景镇始终探索着超高速成像光学的完美。

“我要把深圳的光学搞起来，不辜负

光学前辈的厚望。”在他的带领下，深圳大学光学工程学科建设实现了从本科、硕士到博士的三级跳。他为我国创建光谷做了先期的理论工作，促进了广东光谷的诞生。他还主导成立了深圳微·纳光子信息技术重点实验室(任主任)和光子工程研究所(任所长)。

“瞬态光子信息技术研究已自成体系，形成了一门交叉性学科，几十年来我一直在干这个，世界范围内干这么久的可能只有我一个。就是因为热爱，所以我一直没有考虑过放下。”李景镇说。

围绕时间这个靶心，李景镇为我国超高速成像、超高速成像和极高速成像原理和技术的发展做出了巨大贡献。2018 年，李景镇实现了激光等离子体飞秒多幅高分辨率成像，把摄影频率推进到每秒 10 万亿幅领域，远远超过受测不准原理制约的啁啾编码的极高速成像，刷新了世界纪录；同年 10 月 10 日在荷兰召开的第 32 届国际超高速成像和光子学会议上，他作的特邀报告产生了很大影响；因其技术性能指标大幅度超过美国、日本，被与会学者称为 MOPA-Li 技术。

## 追求极致的时间雕刻师

20 世纪末的中国，正值新型强爆轰等高层次科学试验工作的进行阶段，当时，研发满足要求的国产超高速摄影机

这一艰巨任务落在了李景镇的肩头。

研发难度大、精度高、系统极为复杂，面对压在肩头的“三座科研大山”，李景镇带领团队率先成功研制出 S-150 超高速等时式分幅摄影机，并在 2006 年荣获国家技术发明奖二等奖，这也是深圳市首次获得国家科学技术发明奖。

但是，该摄影机却在关键性的问题上：由于它是单功能的分幅摄影机，在相邻两幅之间有时间缝隙，存在严重的原理性信息丢失。

国家急需没有原理性信息丢失的分幅扫描同时成像的摄影机，他决心从头开始研发。那段时间，他几乎整天“泡”在实验室，不断根据需要进行原理误差，一点点进行试验、创新，不放弃任何一个可能性。

“因为有许多原理误差都需要消除，所以只有不断地进行研究、试验、创新。”李景镇表示。从分幅扫描同时记录，把不完善的空间光学系统变成平面光学系统，再到消除各种影响摄影性能的原理误差，最后提高成像质量……每一步，李景镇都步履维艰，却又步步为营。

## “实验效果一定要超过美国！”

“实验效果要超过美国！不然就不干了。”那时，还有人认为李景镇是口出狂言，但彼时的他一心想的却是一定要设计理论创新，一定要技术创新，如果超不

过美国，就对不起祖国的长期培养。

要想彻底解决 S-150 超高速等时式分幅摄影机原理性信息的丢失问题，就必须用到被誉为超高速摄影领域“皇冠上的明珠”的新型高精度 SSF 成像记录仪。李景镇毅然承担起“SSF 超快过程分幅扫描同时成像记录仪”的研制工作。他废寝忘食，在实验室里不停地写着、算着、画着。

那时，只有上海、南京、西安等地能在加工水平、装调水平上满足研究要求，为此，李景镇常常一结束深圳大学的工作，便赶往西安等地，亲自跟进样品加工进程，并随时讨论加工细节以及装调步骤。

8 年过后，李景镇与团队终于迎来了柳暗花明，他们成功研制出 SSF 超快过程分幅扫描同时成像记录仪。它可以在等待模式下同时得到同一时间基准、同一空间基准的分幅图像和扫描图像。团队发明的在等待模式下分幅一扫描同时记录的暗箱成像系统和无原理误差的转镜相机暗箱，填补了我国高端爆轰研究领域空白。

“干一行就要把这一行干好、干精。”几十年的风雨兼程，李景镇只做了一件事，但却收获了无数瞩目的成果。在他看来，之所以能够矢志不渝地在时间里旅行，是科研“匠心”在支撑着他，也让他跨越时间的广度与深度，勇做一名“时光科学工匠”。

# 杨明：站在最前沿的青年医生

■本报记者 唐凤 仇梦斐 通讯员 王晨

## 站在癌症研究最前沿

2005 年，杨明进入北京协和医学院攻读博士，研究方向是肿瘤学。而学医的这颗种子，自幼就埋藏在了杨明的心中。

杨明年幼时，奶奶罹患肺癌。“肿瘤到底是什么？”“人为什么会患上肿瘤？”这些问题在杨明的内心深处播撒下求医求学的种子。

读博期间，师从我国肿瘤学巨擘、中国工程院院士林东昕，杨明潜心开展肿瘤学感基因研究，虽然课题研究中屡屡遇到各种挫折和失败，但最终取得了不俗的科研成果，毕业时发表多篇 SCI 论文，博士毕业论文被评为北京市优秀博士学位论文。

2008 年，杨明毕业赴美国哈佛大学医学院继续博士后工作。

“刚到美国，博士后导师就布置了研究任务——前列腺癌。”杨明回忆道，“那时候我对前列腺癌的前沿研究并不是很了解。”

于是，他从头开始，大量阅读文献，一点点摸索，最终决定围绕前列腺癌领域最核心的临床问题激素非依赖性前列腺癌开展相关研究工作，发现激素非依赖性前列腺癌细胞可能通过细胞膜通道蛋白向胞内输送雄激素前体并在胞内自身合成雄激素，从而实现激素非依赖性生长，相关成果发表于肿瘤学顶级期刊《临床肿瘤学杂志》，并因此获得美国临床肿瘤学大会优异资助助参会、进行大会学术交流。

“做科研一定要站在最前沿，并不断更新知识。保持创新的心态，你才可能做出新东西。”即使现在和国内外顶尖的前列腺癌专家交流，杨明的专业知识也一点不落伍。

## “老派”人 新研究

2010 年，杨明结束博士后工作，选择回国。

“想法很简单，就是报效祖国。”杨明说，“这个词听起来可能有些老套，但我当时就想回国，用所学知识为国家的肿瘤防控事业作出自己的一点贡献。”

2010 年 7 月，杨明回国，进入北京化工大学生命科学与技术学院。

而跟中国工程院院士、山东省肿瘤医院院长于金明的一次长谈，让杨明的职业生涯“转了一个弯”。他离开北京，回到山东，毅然决然地投身到家乡建设中。

在山东省肿瘤医院，杨明一心扑在科研上，仅 3 年时间，先后鉴定了多个肿瘤发生和耐药驱动基因。由于科研成果突出，他先后入选了国家万人计划青年拔尖人才、青年长江学者和青年泰山学者；作为科主任带领基础研究中心人员获得了 20 余项国家和省部级科研项目资助；2016 年获得中国肿瘤青年科学家奖；2018 年获得山东青年五四奖章和山东省留学者回国创业奖；同年，杨明带领其创新团队还获得了山东

省科技进步奖二等奖。

## 做好本职工作就是最大贡献

当下，地处中国由南向北扩大开放、由东向西梯度发展战略节点的山东省，新旧动能转换强劲起步，新优势新环境加速形成。在着力推动发展方式转变、实现新旧动能转换的大潮中，青年人人才成为一支“生力军”。

“对于各行各业的青年人才而言，我认为能把自己的本职工作做好，以点带线，以线带面，做到行业内顶尖水平，其实就是对山东省新旧动能转化最大的贡献。”杨明说，“就像院长于金明对于我本人，对于我们医院、对于肿瘤放疗学科的引领作用一样。”

在山东省肿瘤医院院长于金明团队中，杨明聚焦科技创新，立足癌症研究前沿，为山东省建设富有活力的创新创业生态、添砖加瓦。



杨明和学生在实验室