

国家科学技术奖背后的创新故事

编者按 7月8日,2025年度国家科学技术奖揭晓。一项项重磅奖项,见证了我国科技事业的跨越式发展,也承载着无数科研工作者“甘坐冷板凳”的坚守与探索。本报推出特别报道,解读代表性获奖项目,挖掘奖项背后科研团队的创新故事。

撬动催化原子“力”

◎本报记者 张 蕴

催化剂是化学工业的发动机,每年有价值千亿元的贵金属作为催化剂被用于工业反应,但在实际的催化反应中,大部分的“化学明珠”——贵金属催化剂却难以被人类应用,令人惋惜。

如何用好每一颗“明珠”?答案就藏在原子的力量里。中国科学院院士、中国科学院大连化学物理研究所研究员张涛带领团队提出“单原子催化”新概念,开辟了研究新领域。

7月8日,在国家科学技术奖励大会上,“单原子催化”搞得2025年度国家自然科学奖一等奖。这一从原子尺度重新定义催化的原始创新,让世界看到中国科学家在前沿基础研究的领先身位。

催化的本质,是一群被称为“活性位”的特定原子组合,把反应物快速转化为产物。近百年来,催化科学始终在追问同一个问题:能不能让每个金属原子都成为“活性位”,让每一个原子都“上岗”?这样一来,金属的利用率就能推到理论极限,催化效率将实现跃升。同时,一旦在原子级别看清活性位的结构和行为,催化就不再是“黑箱艺术”,有可能成为可以理性设计的科学过程。这正是张涛团队瞄准的目标。

20世纪80年代,当国际催化界还在纳米尺度优化催化剂颗粒时,张涛已着手探索高分散金属催化。二十余年的潜心攻关,终于在2009年迎来爆发点——张涛团队成功制备出国际上第一例可以实际应用的负载型单原子催化剂Pt₁/FeO_x。2011年,团队与清华大学教授李隽、亚利桑那州立大学教授刘景月等合作,在国际上率先提出“单原子催化”概念。

团队进而拓展出硝基芳烃选择加氢、C-H键选择氧化、烯烃氢甲酰化等一系列新反应,发现了单原子配位环境这一最具有特征性的描述符,发展出能预测稳定性的热力学模型和电化学势窗口模型,还揭示了动态单原子催化等新机制。从概念、机理到稳定性理论,中国科学家构筑起一个完整的新学科框架。

如今,在“单原子催化”概念引领下,国内外数千个研究组跟进,相关成果已在氯乙烯生产、精细化工、制药等领域实现工业应用。张涛说:“我们不仅设计完成了世界首例实用型负载金属单原子催化剂,而且归纳总结提出了‘单原子催化’概念,这个科学概念对整个催化乃至化学、材料等领域都产生了巨大影响。”

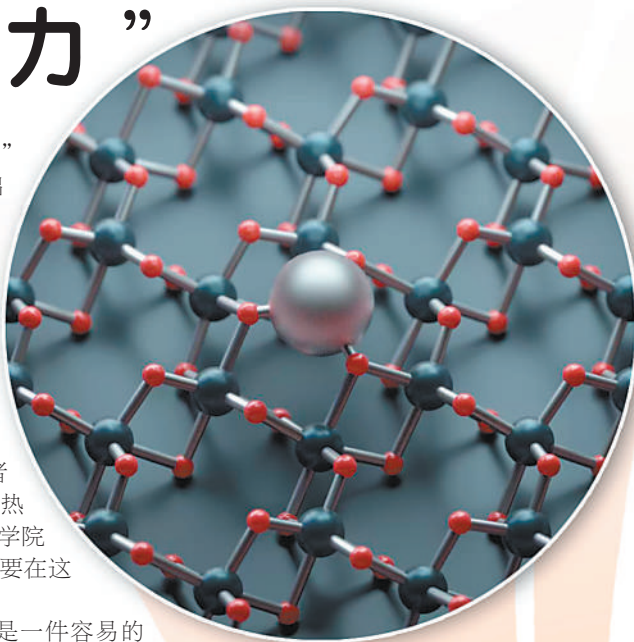
“基础研究是科学技术发展的原动力。有了‘从0到1’,才能够进一步推动

‘从1到10’‘从10到100’。”张涛这样向记者阐释基础研究的意义。而他从秦岭深处的山间小路走向世界催化之巅的轨迹,恰是这段话最生动的诠释。

1963年,张涛出生在陕南。20世纪70年代,国家恢复高考和研究生招生的春风吹进了秦巴大山。一本讲述诺贝尔奖获得者的书,点燃了他对化学的热爱。于是,他瞄准了中国科学院大连化学物理研究所,决定要在这里读研究生。

但走出大山从来都不是一件容易的事。秦巴山区的冬夜寒气逼人,张涛裹着大棉袄、穿着毛靴,在孤灯下啃着收集来的每一本书。回忆起那段挑灯夜战的日子,张涛笑声里依然带着当年那股不服输的劲头。随后,他如愿考取了中国科学院大连化学物理研究所研究生。正是这种执着,沉淀为日后二十余年坐“冷板凳”的定力。

当“单原子催化”概念从实验室走向世界,当“单原子催化”先后入选美国化学会十大研究、中国科学院改革开放40年标志性科技成果以及国际纯粹与应用化学联合会(IUPAC)“2025年度化



“单原子催化”概念示意图。
中国科学院大连化学物理研究所供图

学领域十大新兴技术”,中国催化科学终于完成了一次漂亮的位势转换——从长期跟跑、并跑,进入领跑的新阶段。“单原子催化”这个由中国科学家提出并系统发展的原创概念,也成为催化科学百余年历史中刻有中国印记的基础理论突破。

看穿水的“量子心”

◎本报记者 陆成宽

水是地球上最常见的物质,却藏着物理学界最顽固的难题。它的结构之谜、氢键本质之谜,困扰了一代又一代科学家。为了揭开这些谜底,北京大学教授王恩哥、江颖带领团队,潜心研究水的全量子效应长达25年。

7月8日,在国家科学技术奖励大会上,他们凭借“水的氢键强度及动力学过程全量子效应研究”获得2025年度国家自然科学奖一等奖。

故事要从微观世界的奇妙规则说起。电子、原子核这些小家伙,既是粒子也是波,这是量子力学的基本常识,也是习惯于用宏观视角看问题的人们最难理解的地方。1927年,物理学家玻恩和奥本海默为了简化计算,做了一个“聪明”的假设:原子核太重,运动太慢,干脆把它“冻”住,只考虑电子的量子行为。这就是玻恩-奥本海默近似。

这个“近似”好用极了,近100年来一直是凝聚态物理的理论基石。对此,王恩哥有个生动的比喻:“这就像拿着一枚一块钱的硬币远远地看,能根据大小猜出面值,却看不清正面的文字。”

而王恩哥等人研究的全量子效应,就是给原子核“解冻”,把电子和原子核同时进行量子化处理,还要考虑两者之间的量子耦合。“这就好比一个硬币放到你手上,把两面都翻给你看,而且告诉你这两面是有关的。”王恩哥说。

水是研究全量子效应的最佳试验场。水中三分之二的原子是质量最轻的氢原子,量子效应最为显著。更重要的是,决定水几乎所有反常性质的氢键,百年来一直没被真正研究清楚。

2002年,王恩哥和美国物理学家费贝尔曼有一场关于水在金属表面能否自发分解的科学争论。这场争论让他隐约感觉到,玻恩-奥本海默近似可能漏掉了什么。从那时起,他带着学生一头扎进了水的量子世界。

突破来自理论与实验的双剑合璧。理论方面,王恩哥团队利用费曼的路径积分,巧妙避开了希尔伯特空间复杂的高维解析求解灾难,发展出一套国际领先的全量子效应计算软件。实验方面,江颖另辟蹊径,原创了高阶静电场扫描探针显微术,带领团队造出了世界顶尖的自主仪器。正是借助这台“火眼金睛”的仪器,科学家在人类历史上首次“看清”了水分子内部飘忽不定的氢原子,并精确测量出单根氢键的强度。

有了看清氢原子的“眼睛”和准确解释氢键作用的“头脑”,一系列颠覆性发现接踵而至。他们发现,看似微弱的核量子效应,对氢键强度的贡献竟高达14%,远超室温下的热效应,而且其作用规律非常简洁:弱化弱氢键、强化强氢键。正是这个规律,使得水中氢键有长有短。

他们的研究不仅解开了老谜题,更发现了新的物理现象。团队首次发现,质子在氢键网络中可以四个协同“齐步跳”,这

铸就炼钨“无形锅”

◎本报记者 沈 唯

在距离地面约400公里的中国空间站里,有一台名为“无容器材料实验柜”的特殊装置。钽合金、钨合金、钨合金等一系列需要在极端条件下冶炼的高温金属材料,都曾在这台“炼丹炉”里经受高温考验。

然而,开展空间实验成本极高且机会有限,因此先在地面预演失重与悬浮实验,再将材料样品送往空间站,成了最经济可行的实验路径。为此,中国科学院院士、西北工业大学教授魏炳波带领团队打造了一套模拟太空环境的科学实验系统。团队利用这套系统解决了高性能难熔合金加工提纯的世界级难题,攻克了高温金属材料的深过冷技术,为航空航天、能源、国防等领域的工业生产提供了应用价值。

7月8日,在国家科学技术奖励大会上,魏炳波团队的研究成果“空间极端条件下高温金属材料超常调制技术与科学实验系统”获得2025年度国家技术

发明奖一等奖。

钨是自然界中熔点最高的金属,在高达3422℃的高温环境下,钨才能被炼成钨水。

用激光束熔化钨容易,难的是找不到能盛放它的坩埚。魏炳波比喻说:“如果把钨比作我们要炒熟的饭,那炒这碗饭的难点就在于找不到合适的‘锅’——还没等饭炒熟,锅就先熔化了。”

于是科学家们开始探索如何用无形的“锅”做“饭”。在太空中,没有重力影响的材料样品可以悬浮在空中,因此在这样的极端条件下,不用容器就能炼钨。

魏炳波介绍,团队研制的科学实验系统,可通过静电悬浮、电磁悬浮、超声悬浮、气动悬浮四种方式,让实验样品在地球也能浮在空中。其中,实现静电悬浮的难度最大。魏炳波说,其原理并不复杂,“真正的挑战在于稳定控制,如果只把纵向的重力抵消掉,样品还是会横向飞走”。

为此,魏炳波和团队花了20年时间,才找到横向与纵向电场的最优组合,实现

了既有悬浮力又有约束力的稳定控制。

“虽然静电悬浮的概念由外国科学家率先提出,但现在我们已经在技术上实现了超越和领先——可处理的材料样品直径达15毫米,远超国外普遍可做的6毫米。”魏炳波自豪地说。

无形的“锅”虽然造好了,但真正能产生价值的,还是用它做出国家需要的“饭”。

“我国钢铁产量连续30年稳居世界第一,但生产常规条件下难以制备的特种金属材料,仍是我们的短板。”魏炳波直言。

利用自主研制的科学实验系统,魏炳波团队正在开展高温金属材料无容器深过冷与快速凝固研究。

魏炳波以水为例解释,过冷态的水结冰极快,正常状态下的水在冰箱冷冻几个小时才能结冰,而过冷态的水只需不到一秒就可结冰。“把水换成钨,这个原理同样适用。过冷态的钨水快速结晶时,晶体的生长速度可达每秒40多米。这意味着原来需要十几天才能制备一个数十吨的大型钨合金部件,未来用我们的技术可能一秒钟就能完成。”魏炳波说。

7月8日,国家科学技术奖励大会在北京召开。“松辽盆地国际大陆科学钻探工程:创新与发现”荣获2025年度国家科学技术进步奖一等奖。

这是一项什么研究,解决了什么科学问题?科技日报记者采访了项目主要完成人——中国科学院院士、中国地质大学(北京)教授王成善团队。

近期,北半球遭遇历史性高温天气,气候变暖再度引起关注。

20多年前,王成善就意识到,气候变暖是人类面临的严峻挑战。在46亿年的演化历史中,地球经历了冰室气候、温室气候两种状态。现在处于冰室气候,最显著特征是高纬度地区覆有冰盖。“但冰室气候不是地球常态,温室气候才是。”王成善说。

地球上一次经历温室气候是白垩纪——恐龙生活的时代。这个时代有“三高”:高温、高二氧化碳浓度、高海平面。国际科学界普遍认为,白垩纪气候能为人类应对可能到来的温室气候提供参考。

白垩纪距今约1.45亿年至6600万年,这么久远的地球气候,人类如何知晓?

答案藏在岩石中。科学家根据岩石沉积物能反演地球古环境和古气候,而获取地球深部岩石最直接的手段就是钻探。为此,王成善决定,在中国松辽盆地实施科学钻探工程,获取完整的白垩纪岩石。

“松辽盆地国际大陆科学钻探工程”项目分三个阶段实施:松科一井,锁定白垩纪—古近纪生物大灭绝界线;松科二井,识别白垩纪大洋缺氧事件;松科三井,重点揭示白垩纪中期有机质分布规律。

2006年8月18日,随着项目开展,技术难题接踵而至。王成善回忆,打松科二井时,700多根钻杆连成7公里长的钻杆柱,重达200吨。这么一个庞然大物,下井时也像面条一样摇摇晃晃。

好在,王成善团队不是孤军作战。吉林大学团队研制出“地壳一号”万米钻机,并在松科二井完成“首战”,创下亚洲国家大陆科学钻井新纪录;中国地质调查局团队完成松科二井钻探工程,创下四项世界纪录;中国地质大学(武汉)团队研制出耐超高温(241℃)的水基泥浆体系,为松科二井成功完钻完井并提供重要支撑……

在约26万平方公里的松辽盆地上,科研工作者们埋头苦干,一年又一年。松科一井钻探2485.89米,松科二井7018米,松科三井3600米,耗时16年,白垩纪地质“拼图”终于完成。2021年,项目组获得长达8186.96米的连续岩心,构建了全球首个陆相白垩纪地层“金柱子”。

“这不是一个人、一支队伍的胜利,而是一部协同创新的交响曲。”王成善说,“没有国家实力和我国科技总体水平跃升,就没有松辽盆地科学钻探的成功。”

白垩纪岩心找到了,新的接力开始了——标定岩心“年龄”,解读岩心奥秘。利用高精度物理测量和年代标定的全流程方法技术体系,中国地质大学(北京)团队把岩心的描述精度从米提升到了厘米,把连续时间标尺的精度从百万年提高到了万年,为全球开展白垩纪古气候研究提供了高精度时间标尺。

由于看得更清和更准,恐龙时代的气候状况逐渐被揭晓。得益于松辽盆地科学钻探工程,中国科学家对全球陆相白垩纪成果的贡献度提升了15%。国际地球科学界评价,松辽盆地科学钻探是全世界的“灯塔工程”。

在河北燕郊的中国地质调查局自然资源实物地质资料中心,8000多米的岩心被精心分类、悉心保存、认真标定,其承载的厚重历史,等待着被发现和讲述。

苏联的钻机曾钻探到地下约1.2万米,这是人类迄今钻探最深处。但这个数字不及地球平均半径的0.19%。王成善说,人类“入地”的探索,大幕才刚刚开启。

向地球深处进军,王成善期待看到更多年轻的身影、先进的装备,以及了不起的协作创新。

钻出白垩纪“金柱子”

◎本报记者 代小佩

图为松科二井。
中国地质大学(北京)供图

责任编辑 裴宸纬 美术编辑 田晶娟