政策护航“碳基”新赛道

■本报记者 田瑞颖

不久前，工信部明确表示将碳基材料纳入“十四五”原材料工业相关发展规划，并将碳化硅复合材料、碳基复合材料等纳入“十四五”产业科技创新相关发展规划。

新材料被誉为制造业的“底盘”，是支撑国家重大工程和战略性新兴产业的重要基础。而处于“金字塔”基上的碳基新材料，是品种多、应用广、附加值高的典型一族。

中国科学院炭材料重点实验室副主任陈成猛在接受《中国科学报》采访时表示，我国碳基材料行业与发达国家相比仍然存在一定差距。“在基础炭材料领域，高精尖品种大量依赖进口，仍面临‘卡脖子’风险，亟须提高自主创新能力，加强科技攻关。”

但他也指出，在前沿炭材料领域，我国处于与国际并行乃至领跑状态，相关产业正加速崛起，“如何在低成本大规模制备的基础上，开拓应用场景，推进产业化，对于抢占新兴产业制高点具有重要战略意义”。

科研人员正在进行电容炭电化学性能测试。 中国科学院山西煤炭化学研究所供图

> “碳基材料由于其丰富的结构形貌，优良的力学、电学、热力学等性能备受关注，广泛应用于航空、航天、核能、风电、光伏、电子、冶金、化工、机械和交通等领域。

为制造强国奠定基础

碳元素产生于 137 亿年前的宇宙大爆炸，是人类接触最早且利用最早的元素之一。陈成猛表示，碳元素作为生命的基石，广泛存在于各类动植物及外界环境中，并作为最基本的骨架支撑整个有机生态体系。

“广义上碳基材料可以看做是以碳原子为骨架的材料体系，包括金刚石、石墨等纯碳体系和碳化硅、高分子有机物等多原子体系。”陈成猛介绍道。

按照维度划分，碳基材料可分为零维、一维、二维和三维材料。其中，零维材料有碳量子点、富勒烯等；一维材料有碳纤维、碳纳米管、碳纳米线等；二维材料有石墨烯等；三维材料也称体材料，包含各类立体的本征或复合体系。

“目前涌现的碳基新材料，主要包括碳纤维、特种石墨、纳米碳、多孔炭和储能炭材料等。”陈成猛告诉记者。

他表示，碳基材料由于其丰富的结构形貌，优良的力学、电学、热力学等性能备受关注，广泛应用于航空、航天、核能、风电、光伏、电子、冶金、化工、机械和交通等领域，“也是新一代战机、运载火箭、超高声速飞行器、核反应堆等重点领域不可缺少的关键材料”。

北京航空航天大学教授单光存告诉《中国科学报》，碳基半导体材料主要分为碳化硅和石墨烯，“碳化硅作为第三代半导体材料，国内外企业差距较小，国产替代空间巨大，国内企业有望在政策的推动下实现变道超车”。

单光存团队长期关注光电子半导体技术、石墨烯复合材料及柔性传感器件、视觉感知与认知智能技术、纳米生物交叉技术等高科技产业的应用基础研究，并首次提出了基于石墨烯纳米结构的纳米激光器，同时通过理论研究模拟了其激光机制。

对于被誉为“新材料之王”的石墨烯，他认为，目前全球石墨烯市场正处于起步阶段，但市场增速很快，整个行业正处于技术突破需求爆发的前夜。

“我国高度重视碳基新材料的发展，因其具有非常重要的战略意义。”陈成猛表示，“花大力气突破一批高精尖缺品种，能够大幅提高关键材料自主保障能力，提升新材料产业化和规模化应用水平，确保产业链和供应链安全，为建设制造强国奠定坚实基础。”

自主可控任重道远

在碳基新材料方面，陈成猛认为，目前我国亟待攻克的“卡脖子”品种有三大类，一是碳纤维及其制品，如高性能聚丙烯腈基碳纤维、沥青基碳纤维、黏胶基碳纤维、碳纤维预浸料、复合材料和碳纸等；二是特种石墨，如机械密封用石墨、抗烧蚀石墨、核石墨和高导热泡沫石墨等；三是功能炭材料，如中间相碳微球、电容炭、硬炭、硅炭、石墨烯导热膜和导电炭黑等。

“我国炭材料领域还有诸多‘卡脖子’难题，自主可控任重道远。”作为中国科学院山西煤炭化学研究所（以下简称中科院山西煤化所）709 课题组组长，陈成猛深感肩上的担子沉重。

2007 年，在导师、中科院山西煤化所研究员王茂章和杨永岗的指导下，陈成猛开始带领团队从事先进炭材料的研发工作。从“自负盈亏”，想办法让课题组“活下来”，到实现关键核心技术的突破和推动相关产品的产业化，他深知其中的不易。

在陈成猛的带领下，团队攻克了可控氧化、交联固化、活化造孔和产品提纯等瓶颈性技术难题，设计开发了全套生产工艺与过程装备，先后建成吨级石墨烯和十吨级电容炭中试示范线，实现批次百公斤级材料的稳定供货。此外，团队还牵头制定了石墨烯、多孔炭和超级电容器领域多项国际、国家和行业标准，为相关产业的健康有序发展构筑了质量技术基础。

他表示，总体而言，我国一些碳基新材料技术仍以跟踪替代为主，自主设计应用能力较弱。此外，关键制造装备也处于以引进为主、研制和仿制为辅的状态，高端分析测试设备更是基本依赖进口，具有工匠精神的专业工程技术人才出现断层。“这些都已经成为制约我国碳基材料发展的突出问题。”

“碳基新材料作为国民经济的关键基础材料，拥有极为广阔的下游应用领域和巨大的市场空间。在诸多高新技术领域，如果不能实现关键材料的国产化，我们就很难从制造大国变为制造强国。”陈成猛说。

仍需破解产研“两张皮”

《2020 全球碳纤维复合材料市场报告》（以下简称《报告》）指出，碳纤维的应用曾经是以航空航天为主驱动的，这些年已经变成了航空航天驱动与工业驱动的双引擎驱动模式。这给全世界碳纤维的产业格局带来了深刻影响。

单光存指出，目前，我国碳纤维树脂基复合材料制造工艺装备仍比较落后，大规模工业化生产成套工艺与装备研发能力不足，缺乏碳纤维高端产品，“这些都是阻碍我国高性能复合材料发展的重要原因”。

但他也指出，我国碳纤维树脂基复合材料正处于迈向产业中高端的关键时期。“在市场需求的推动下，将迎来更广阔的发展空间，同时也面临很多压力和挑战。”

不久前，中科院山西煤化所与美锦能源等签署协议，共同设立了山西中科美锦炭材料有限公司，电容炭产业化项目已经启动，该项目完成后，将具备年产 500 吨电容炭的生产能力。“这对于实现电容炭的国产化、解决我国超级电容器行业多年的‘卡脖子’难题具有重要意义。”陈成猛表示。

但在他看来，科研与产业“两张皮”，依然是阻碍碳基新材料发展的“老大难”问题。高校和科研院所产生大量的科研论文和专利难以转化；而企业自身研发实力不足，迫切需要科技创新突破技术瓶颈。“必须加强产学研用结合，使科技成为支撑产业高质量发展的基石，使市场需求成为材料研发的实践方向，这样才能解决真问题，真解决问题。”

陈成猛还发现，与日本、美国和欧洲等发达国家和地区不同，我国的炭素产业多以中小型企业为主，缺乏龙头企业的引领。大部分企业的研发水平和资金实力较为薄弱，存在低水平的重复建设，乃至恶性市场竞争。

他认为，国家应进一步加强顶层设计，引导大型企业和资本入场，牵引碳基新材料的研究与产业发展。

“此外，对碳基新材料发展的战略部署和支持力度仍有欠缺，需要面向国家重大需求和国民经济主战场，在基础研究与应用技术开发方面，进一步做好统一规划和战略部署，防止碎片化和重复立项。”陈成猛表示。

光热发电进入刚性需求阶段

■本报记者 秦志伟

“近期，风光热打捆态势已非常明显，说明光热发电进入刚性需求阶段，也吸引了资本的兴趣。”近日，中国科学院电工研究所研究员、国家太阳能光热产业技术创新战略联盟理事长王志峰预判了今后太阳能热发电的发展方向，并在 2021 中国太阳能热发电大会上作出上述表述。

这一观点也得到浙江高晟光热发电技术研究院有限公司董事长兼院长金建祥的认同。他呼吁，要进一步锤炼技术、降低成本，为未来五年、十年光热发电行业的快速发展做好准备。

“孤芳自赏”难有出路

在中国科学院院士徐建中看来，随着“3060”目标的推进，太阳能光热作为可再生能源的一种重要形式，也将重塑能源未来。

近期，青海、甘肃、吉林等地陆续启动光热与光伏风电一体化开发项目，这些项目发挥了光热发电的储能和调峰作用，使光热作为调峰电源支持新能源发展，还能充分利用了近年来风电光伏成本快速下降的成果。

“在不需要国家补贴支持的条件下，建设一批光热发电项目是值得鼓励的方向。”国家能源局新能源和可再生能源司新能源处副处长孔涛表示。

“在可见的未来，新能源结构必将是光伏、风电与光热协同发展、多能互补的形式，光伏、风电装机规模不断扩大、成本进一步下降，都将成为光热起步发展的有利条件。”金建祥说，“孤芳自赏、不愿意做配角的光热没有出路。”

风光热打捆态势已非常明显，这是王志峰判断今后太阳能热发电的一个发展方向。其他方向还包括高参数发展，太阳能热发电进入了 800℃运行温度的时代，未来在 800℃高温支撑下的超临界二氧化碳发电系统将成为一个新的方案，可以将电价降低到约 0.3~0.4 元 / 度的水平；此外，太阳能高温热能向工业利用发展，在“双碳”目标下，工业部门对太阳热能将非常感兴趣。

但“太阳能热发电将一直处于以储热为中心的态势”。王志峰补充道。他表示，2021 年，我国能源电力行业央企已大举进入太阳能热发电领域。

今年也被看成是光热行业发展的元年。在金建祥看来，需要同行坚定信心、有所作为。

行业发展仍需政策纾困

“通过国家示范项目的推进和企业的自主创新与研发，部分技术已走在国际前列。”在中国电机工程学会秘书长王刚看来，我国聚光吸热技术路线呈多元化发展局面，部分技术路线为世界独创，为未来的进一步发展奠定了基础。在能源转型大背景下，太阳能热发电在新型电力系统中的重要性逐渐凸显。

然而，目前我国太阳能热发电产业发展仍有不足，现有的装机容量和市场规模无法满足“双碳”目标下可再生能源的加速发展，行业发展仍须政策纾困。

孔涛表示，新能源司正在积极协调相关单位从多方面支持光热行业发展。例如，在《关于鼓励可再生能源发电企业自建或购买调峰能力增加并网规模的通知》中，将光热电站列为调峰电源，并将储热纳入了《关于加快推动新型储能发展的指导意见》。

实际上，构建以新能源为主体的新型电力系统目标的提出为光热发电行业的发展带来了新的机遇。孔涛认为，这主要体现在，一是我国部分地区将光热发电作为调峰电源有刚性需求；二是光热参与电力市场，有利于在国家补贴退出后保证光热产业的可持续发展；三是通过积累国家首批太阳能热发电示范项目建设运行经验，有利于参与国际市场竞争。

据他透露，由新能源司牵头编制的“十四五”可再生能源发展规划将于近日印发。

“将继续支持在资源优质区域，通过与风电、光伏发电基地一体化建设的方式，建设一定规模的光热发电项目，充分发挥光热发电的调节作用和系统支撑能力。”孔涛补充道。

我国首个大型页岩气田累计产气 400亿方

本报讯（记者计红梅）10 月 8 日，《中国科学报》获悉，我国首个商业开发的大型页岩气田——中国石化涪陵页岩气田累计生产页岩气 400 亿立方米，创国内页岩气累计产气新纪录。目前，该气田日产气量近 2000 万立方米，可满足 4000 万户家庭（相当于 3 个重庆市的家庭）日常用气需求，惠及长江经济带沿线 6 个省、70 多个城市、2 亿多居民。

页岩气是指赋存于富有机质泥页岩及其夹层中，以吸附或游离状态存在的非常规天然气，成分以甲烷为主，是一种清洁、高效的能源资源和化工原料。涪陵页岩气田位于重庆市涪陵区，是我国首批设立的国家级页岩气示范区和勘查开发示范基地，也是川气东送管道重要气源之一。

该气田于 2012 年 12 月开始建设，为当时除北美以外首个页岩气重大商业发现；2014 年 3 月提前进入商业开发，成为我国首个进入商业开发的大型页岩气田，也使中国成为继美国、加拿大之后第三个实现页岩气商业开发的国家。2017 年气田如期建成百亿方年产能，2018 年、2020 年和 2021 年累计产气分别突破 200 亿方、300 亿方、400 亿方，实现跨越式发展。在储量方面，2020 年 10 月，经自然资源部评审认定，涪陵页岩气田累计探明储量达 7926.41 亿立方米。

在短短几年时间里迈过 4 个百亿产量阶梯，秘诀何在？中国石化江汉油田首席专家、涪陵页岩气公司党委书记刘尧文告诉记者，这主要是依靠管理创新、组织创新、技术创新和市场化运作等。

据他介绍，在 8 年多时间里，中国石化从零起步，不断探索，创新集成长水平井分段压裂试气、绿色开发等五大页岩气开发技术体系，为我国页岩气大规模勘探开发奠定了理论和技术基础；首创中国页岩气立体开发调整技术体系，达国际先进水平；自主研发关键装备全部实现国产化，打破国外技术垄断。2018 年，“涪陵大型海相页岩气田高效勘探开发”项目获国家科技进步奖一等奖。

中国石化江汉油田涪陵页岩气公司总工程师李远照告诉《中国科学报》，与北美相比，涪陵页岩气田在装备和技术方面不存在代际差异。

他介绍，压裂是实现气田高产的关键一环。涪陵气田正在推广使用的全电驱压裂装备相比于传统柴驱压裂设备，占地面积减少 23.07%，能源消耗平均降低 33.2%，噪声下降 46.3%，施工效率提高 70.9%，气田单平台最高日压裂段数为 9 段，达到北美先进水平。此外，为提高气田产量和采收率，涪陵页岩气公司采取推进老区精细立体开发调整、加大增压开采力度等措施，创新形成了“上部气层和下部气层两套层系分层开发，2000 米水平段长为主，同一平台大丛式交叉布井”等国内首个页岩气立体开发技术。目前，焦石坝区块立体开发区采收率达 38.6%，居国际先进水平、国内领先水平。

他表示，下一步，中国石化将联合高校和科研机构，在气田监测技术方面进行联合攻关，如建立更加丰富的数据库和可解释的数据模型，以进一步完善和升级现有技术。

中国石化涪陵页岩气田现场。 中国石化供图

资讯

研究提出颗粒细化诱导提高电池循环容量新机制

本报讯 近日，中科院大连化学物理研究所研究员李先锋、副研究员郑琼团队和燕山大学教授唐永福团队合作，在钠 / 锂离子电池电极储能机理研究方面取得新进展。相关成果发表在《德国应用化学》上。

近年来，钠离子电池研究受到国内外广泛关注，取得快速发展。研究发现，具有较高钠离子储存性能和循环稳定性的电极材料，对于提高钠离子电池的能量密度和倍率性能十分重要。

研究中，团队设计了一种珊瑚状磷化铁（FeP）复合材料，该材料可锚定 FeP 纳米颗粒，并将其均匀分散在氮（N）掺杂的三维碳骨架（FeP@NC）上。珊瑚状 FeP@NC 复合材料具有较短的电荷转移路径和较高的导电氮掺杂碳网络，可显著改善复合材料的电荷转移动力学。同时，由于 FeP 纳米颗粒周围具有高度连续的 N 掺杂碳骨架和弹性缓冲的石墨化碳层，基于 FeP@NC 复合材料的钠离子电池表现出优异的倍率性能和循环性能，在 10 安培 / 克下，经 10000 次循环后，其容量保持率为 82.0%。

更重要的是，针对循环过程中电池容量逐渐上升的现象，研究团队结合电化学研究和原位电镜表征分析，证实了一种独特的颗粒细化在循环过程中提高容量的作用机制，这种容量提升效果在小电流下表现得更为显著。研究表明，均匀分布在氮掺杂碳基体上的 FeP 纳米颗粒，在第一个循环中经历了细化—复合过程，经过数次循环后呈现出全区域细化的趋势，这种细化对周围的非晶碳产生强烈的吸附作用，使复合材料石墨化度和界面磁化强度逐渐增加，为钠离子的存储提供了更多的额外活性中心，进而提高了循环容量。这种容量提升机制也可以扩展到锂离子电池。研究发现，在 10 安培 / 克下，经 5000 次循环后，基于 FeP@NC 复合材料的锂离子电池的容量保持率为 90.3%，超过了已报道的 FeP 基复合材料的容量保持率。

该研究提出了一种在循环过程中经颗粒细化诱导提高电池容量的新策略，为设计高性能的钠 /锂离子电池负极材料提供了新思路。（卜叶）

相关论文信息：

https://doi.org/10.1002/anie.202110177

钢铁工业绿色化亟待标准支撑

■本报记者 李惠钰

“什么使中国钢铁的大而不强？”近日，在由冶金工业规划研究院主办的 2021（第三届）中国钢铁高质量发展标准化论坛上，国际标准化组织前主席、星闪联盟理事长张晓刚抛出的这一问题，发人深省。

“错失了工业革命机会的中国钢铁行业，基本上是在西方已完成了行业标准和专利布局后，开始从行业技术的最末端开始追赶，走的是一条引进跟随式科技创新之路。”张晓刚一针见血地指出，产业技术基础薄弱导致钢铁行业大而不强，究其背后的原因，则是科学实验验证能力不强所导致的数据和标准不能互认。

而在“双碳”目标下，钢铁行业亟须制定更为清晰和完善的标准化体系。冶金工业规划研究院党委书记、总工程师李新创表示，标准是节能降耗的调节阀，是环境保护的硬约束，也是绿色制造的催化剂。加快制定修订节能、环保、资源综合利用等绿色关键技术标准，将有效支撑国家节能减排和产业结构升级要求。

当前标准尚未满足行业需求

钢铁工业作为国民经济的基础产业，是衡量一个国家综合国力和工业化程度的重要标志，是最硬核的制造业之一。如今，在“双碳”目标的引领下，钢铁工业开启新的征程，也将助力行业低碳标准化工作。

李新创表示，低碳标准是依法规范钢铁企业碳排放管理、推动钢铁行业低碳发展的重要依据，是加快钢铁行业节能减排、提升产业基础能力和产业链现代化水平的技术手段，为钢铁行业低碳技术研究和低碳产品研发提供理论指导。

不过，他坦言，当前低碳标准远不能支撑钢铁行业低碳发展需求，钢铁行业低碳标准体系还不完善，不利于统筹标准化工作的有序开展；低碳管理、低碳技术、低碳产品、全生命周期碳足迹评价等方面的标准严重缺失，将大大影响钢铁行业低碳发展和规范管理。

此外，张晓刚也指出了我国钢铁行业标准化存在的不足。他表示，科学实验验证能力取决于实验室小试、中试到大生产过程中的标准互认，而标准互认的前提是数据互认。中国钢铁材料实验验证的缺陷也存在于数据互认上。

“标准化是质量提升的‘牛鼻子’，只有有效发挥标准化对质量提升的基础性、引领性、战略性作用，质量才能提得起来、升得上去。”在李新创看来，全方位成体系的低碳标准研制工作迫在眉睫。

制定“领跑者”评价标准

据悉，目前钢铁行业已专门成立低碳工作推进委员会，冶金工业规划研究院作为低碳发展研究工作组和低碳标准研究工作组组长单位，正在支撑研究钢铁行业碳达峰实施方案和钢铁行业低碳标准体系建设方案。

李新创表示，钢铁行业“十四五”时期应积极开展多方面标准化工作：一是研究并构建钢铁行业高质量发展、绿色发展、低碳发展等方面的标准体系，按照体系框架要求逐步有序开展标准制定修订工作。二是着眼提升钢铁工业竞争力，加强关键技术标准研制，满足柔性化生产、个性化定制的需要，立足提高产品和服务质量，在追求高标准中创造更多优质供给。三是推进绿色低碳发展，强化节能、节材、节水及减排等标准的制定实施，加快标准升级步伐，让标准严起来、高起来、快起来，从而更好推进生态文明建设。

张晓刚则提出，中国钢铁工业高质量发展，一是用标准 + 检验检测结合数字技术，实现产品质量均等化，进而实现数据互认；二是用标准 + 检验检测 + 认证认可，实现产品质量保证体系化。总之，在数字技术应用中实现数据互认、标准互认，认可互认是建立钢铁行业产业质量技术基础问题的关键。

中国标准化专家委员会副主任张纲指出，在标准供给侧结构性深刻变革中，团体标准要扮演重要角色，需加快推进政府颁布标准与市场自主制定标准二元体系的形成，同时还需加快创建标准化与科技创新深度融合的机制，在变革中赢得标准化发展的先机。

“合格评定在我国钢铁行业实际应用中，不仅能够推动质量提升，推动质量、安全、环境三大管理体系认证，还可以推动节能减排。”国家市场监督管理总局认可检测司司长董乐群也表示，“十四五”期间，我国应着力建设更加科学合理的合格评定标准体系，提升重点领域合格评定水平和服务能力，大力推进合格评定国际标准化工作，推动合格评定，为传递信任、服务发展发挥更大作用。

“‘十四五’时期钢铁行业将加大先进标准的有效供给，充分发挥标准化对产业发展和质量提升的支撑和引领作用，让钢铁行业成为标准支撑传统产业绿色低碳转型升级发展的典范。”李新创强调。