



□ 范晓彬



在这个科技日新月异的时代，我们正站在一场材料革命的风口浪尖。随着全球对可持续能源和高科技电子产品需求不断攀升，二维材料以其独特的属性和巨大的应用潜力，成了科研和工业界的新宠。它们的身影已经渗透到我们生活的方方面面，从智能手机的触摸屏到未来的超级计算机，从太阳能电池到精密医疗设备，无处不在。尤其是随着全球“芯片荒”的蔓延，二维材料，特别是石墨烯，因其可能取代硅成为下一代电子设备的材料而备受瞩目。那么，二维材料究竟是什么，它们具有哪些独特特性，以及它们将如何塑造我们的未来？

什么是二维材料

二维材料，这个名字听起来就像是来自科幻小说的词汇，但实际上，它们是指电子仅能在两个维度上自由运动的一类非常薄的材料，通常只有一层或几层原子厚。想象一下，如果二维材料是一张纸，那么它的厚度只有普通纸张的十万分之一。这些材料可以由碳、氮、硫、磷等不同的元素构成，构成了一个丰富多彩的二维世界。二维材料特别是石墨烯、黑磷、过渡金属硫化物、氮化硼比较典型，具有独特的物理和化学性质，在电子学、光学、催化、能量储存与转化等多个领域展现出广泛的应用潜力。

石墨烯是一种由碳原子构成的二维材料，每个碳原子都与其他三个碳原子相连，形成一个六角形的蜂窝状

结构。石墨烯的电子迁移率非常高，室温下可达 15000 平方厘米/伏秒，这意味着电子在石墨烯中移动得非常快。此外，石墨烯还非常坚固，被认为是已知最强的材料之一，其机械强度极高。这些特性使石墨烯在电子器件、复合材料和能源存储等领域具有广泛的应用前景。黑磷是一种由磷原子构成的二维材料，其结构类似于石墨烯，但具有独特的褶皱起伏的二维结构。这种结构赋予了黑磷显著的各向异性特性，如它在不同方向上的电导率和热导率差异明显。基于黑磷的场效应器件的迁移率可达 1000 平方厘米/伏秒，室温开关电流比最高可以达到 10⁸。黑磷的这些特性使其在高性能电子和光电子器件中展现出巨大潜力。过渡金属硫化物是一类由过渡金属和硫族元素（如硫、硒、碲）组成的二维材料。其中，二硫化钼是最具代表性的一种，它的电子行为、机械性能以及光学性质会随着层数的变化而变化。例如，剥离的二硫化钼会随着层数的减少从间接带隙半导体转变为直接带隙半导体，最终单层的二硫化钼在室温下的迁移率可以超过 200 平方厘米/伏秒，室温开关电流比最高可以达到 10⁸。这些特性使二硫化钼在光电子器件、传感器和催化剂等领域具有广泛的应用前景。氮化硼是一种由硼和氮原子交替排列构成的二维材料，其结构与石墨烯类似，但具有更高的热稳定性和化学稳定性。它在高温下仍能保持良好的绝缘性能，因此在高温电子器件和复合材料中具有重要应用价值。此外，氮化硼还具有优异的热导率和低介电常数，使其在散热和绝缘材料中表现出色。

二维材料的应用前景

正是这些独特的二维结构和可调节的物理化学性质，使得二维材料具

有广泛的应用和商业化前景。目前，一系列基于石墨烯的商品，比如小米的石墨烯电暖器以及市场上大量的石墨烯电热毯、石墨烯布料等已如雨后春笋般出现，并在一系列高新技术领域展现出巨大的应用潜力。

在电子器件方面：石墨烯因其卓越电子迁移率和机械性能，被看作是硅的潜在替代者，有望在下一代芯片和电子设备中大放异彩。尽管石墨烯本身是零带隙材料，但科学家们已经找到了方法来调整其特性，使其具备半导体特性。最新的研究发现，在碳化硅晶体系面上通过外延生长的单层石墨烯会和碳化硅发生化学结合，显示出半导体特性（可具有 0.6 电子伏特的能隙），并且拥有 10 倍于硅的电子迁移率，其场效应晶体管开关比高达 10⁸，已可满足工业化应用需求，这被认为是石墨烯在芯片制造领域的重要突破。此外，石墨烯的柔韧性也使其成为柔性电子设备的理想材料，预示着可弯曲、可穿戴电子设备的新纪元。

在能源存储方面：二维材料在能源存储领域也展现出巨大的应用潜力。例如，石墨烯由于其高比表面积和优良的导电性，被广泛用于锂离子电池的导电添加剂及电极材料，可以显著提高电池的能量密度和充放电速率。此外，石墨烯还可以作为超级电容器的电极材料，提供高能量密度和快速充放电的能力。黑磷也因高比表面积和优异的储能性能，使其在锂离子电池和钠离子电池中具有广阔的应用前景。

在生物医学方面：二维材料在生物医学领域的应用也日益受到关注。例如，石墨烯由于其优异的生物相容性和高比表面积，被用于药物输送系统和生物传感器。石墨烯基复合材料可以有效负载和释放药物，提高药物的靶向性和治疗效果。此外，还具

有良好的生物成像性能，可以用于细胞成像和组织工程。

二维材料的制备与挑战

二维材料的应用潜力巨大，但要将其从实验室研究转化为市场上的商业产品，仍面临着一系列挑战。首先，如何大规模、绿色地生产高质量的二维材料是实现商业应用的关键。传统的制备方法存在效率低下和环境污染的问题。为了克服这些挑战，科学家们正在开发新的技术路线，以提高生产效率和环保性。例如，天津大学团队开发的“非强氧化插层—液相剥离”技术，有效解决了石墨烯生产中的效率和环保问题，降低了成本，减少了环境污染。该技术通过在石墨中插入非强氧化性的插层剂，然后在液相中进行剥离，从而得到高质量的石墨烯。这种方法不仅提高了剥离效率，还避免了传统强酸处理带来的环境污染问题。此外，成本控制也是实现二维材料商业化的重要因素。目前，二维材料的生产成本仍然相对较高，限制了其在很多领域的广泛应用。未来通过建立大规模生产线，实现宏量生产，可进一步降低成本，推动二维材料产业快速发展。

总之，二维材料以其独特的性质和巨大的应用潜力，正在成为材料科学领域的一颗新星。它们不仅在电子、能源、医疗等多个领域展现出广泛的应用前景，而且在推动科技进步和改善人类生活方面具有重要作用。虽然在一些领域的商业化方面仍面临挑战，但随着科技的进步和创新，有理由相信二维材料将在未来发挥更加重要的作用，并可能催生全新的应用领域，深刻影响人们的生产和生活方式。

（作者系天津大学化工学院院长、教授）

科普是实现创新发展的基础性工作，领导干部是重点科普人群之一。习近平总书记在二十届中共中央政治局第三次集体学习时强调，各级领导干部要学习科技知识、发扬科学精神，主动靠前为科技工作者排忧解难、松绑减负、加油鼓劲，把党中央关于科技创新的一系列战略部署落到实处。领导干部作为党和国家事业发展的“关键少数”，肩负着统筹经济社会发展 and 贯彻落实党和国家方针政策的重任，是科技创新的“推手”和“服务员”。以领导干部为受众和服务对象的科普工作，需要从传统的知识普及转向深度赋能和决策支撑。

随着经济进入了高质量发展阶段，要素驱动、投资驱动的传统经济增长方式正在全面转向创新驱动。这就要求领导干部必须具备“精准研判、前瞻布局 and 科学决策”的能力，需要从关心科技创新的“热心人”成长为推动科技创新的“内行人”。

让领导干部“看得懂科技前沿动态”。重要科学成果的形成和关键核心技术的突破不可能一蹴而就，需要长期积累、久久为功。科普工作要帮助领导干部建立起持续接触科学与技术前沿的丰富界面与渠道。领导干部要对科技发展历程以及前沿动态有通识性的了解，包括已经居于主流地位的成熟技术、新近涌现的潜力技术和仍然存在高度不确定性的未来科技。

让领导干部“看得懂科技发展趋势”。鉴于科学技术的高度专业性和日益细分的领域，前沿科技尤其难以被非专业人士全面掌握。对于领导干部而言，尽管他们可能仅接受过有限领域的专业教育，但在工作中却需全面了解科技前沿动态，这构成了一大挑战。因此，科普工作的重点应是帮助领导干部跳出繁琐复杂的专业知识细节，聚焦于科技前沿的本质与基本原理，使他们能够凭借有限的专业知识，洞察并理解科技发展的宏观趋势。

让领导干部“看得准科技产业化应用”。创新是驱动发展的第一动力，科技只有完成了产业化应用，才能最大限度地促进经济社会发展与进步。为此，针对领导干部的科普工作，应助其掌握各领域科技前沿的新特点、新要求及产业化应用的新条件，精准预判科技成果的产业化应用场景，超前布局。这将有助于他们整合国家创新体系资源，提前规划新兴产业和未来产业，从而“下先手棋”“谋未来事”。

传统的普及性科普工作在内容的权威性 & 分析的全面性和深入性上有所欠缺，所提供的决策信息远未达到领导干部的实际需求，难以有效助力领导干部工作重心由抓项目、抓投资转向抓科技、抓产业，也无法真正解决好他们面临的知识恐慌和本领恐慌。因此，推动高质量科普真正赋能领导干部，推动经济高质量发展，必须对现有科普进行体系性重构，从一般性的知识普及转变为决策支撑性的科普服务，为领导干部提供既符合其个性需求又具备共性价值的高质量科普信息。

对科技前沿领域、热点领域、交叉领域的科技动态提供权威解读。这就需要科普工作整合专业力量，从新一轮科技革命的宏观层面、学科角度和产业维度出发，对重要的科技领域做系统梳理与提炼归纳，提供更为丰富、准确、前沿的科普内容，让领导干部能够把握各项科技前沿的历史沿革、基本状况、最新进展、产业动态、国家政策等。

分领域、分层次提供高质量科普服务。在围绕科技前沿为领导干部提供普遍感兴趣的科普知识的同时，必须细化工作内容，根据不同专业领域，提供更为聚焦和专业的科普知识。此外，由于不同层级的领导干部对科技前沿的了解需求和关注重点存在差异。因此，还需针对不同层级的领导干部，提供分层次、详略得当的科普知识。

针对具体问题提供个性化科普服务。在具体决策中，领导干部更希望能够得到与特定决策事项密切相关的个性化咨询服务。为此，高质量科普工作要搭建领导干部同科学家、研发人员和企业家的沟通渠道，打破决策者同创新主体之间的信息不对称，畅通沟通渠道，在科普服务专业人士与领导干部的“一对一”甚至“多对一”的交流中提供个性化和针对性的咨询对话式的服务。

针对领导干部的高质量科普是一项系统工程，它要求精心组织的顶层设计与卓有成效的落地实施相结合，内容丰富的科普素材与多样化的科普渠道及平台相辅相成，还需要科普部门及人员的细致工作与受服务领

推动科技创新的『内行人』

□ 李蕾

领导干部的积极响应相配合。具体而言，推进高质量科普，需要把握四个关键点。

加强党的集中统一领导，从顶层设计上构建支持高质量科普的体制机制。引导各级领导干部自觉地重视、关心和支持科普，对科普工作舍得投入。投入人力、物力、财力很重要，投入时间同样非常关键。把化解高质量科普需要的迫切性与当前科普工作成效不足的矛盾作为主攻方向，既加强科普工作的规划，明确具体目标，又要有明确的资源投入和绩效考核要求，形成高质量科普的工作闭环。

加强科技资源的整合。将科技创新和科学普及贯通起来，信息共享、资源共用，围绕科技创新给科学普及出题目，以科技普及为科技创新打基础。科普工作提质加速不是简单地增加资金、增加人员编制和增加设施，而是要有针对性，重视服务领导干部的实际效果。高质量科普要有生命力，能够可持续发展，必须走融合发展的道路，将科普的软支撑同科创的硬实力结合起来，让领导干部在实际工作中真正体会到科普的赋能和服务。

将科普纳入干部培养体系。把科普融入干部基本培训内容之中，精心设计培训内容、培训方式和考核要求，在提高领导干部对科普工作重视程度的同时，实现领导干部系统学习科普知识的常态化。整合各级干部培训机构的资源，以专题讲授、专家报告、案例教学、体验式教学等多种方式开展分层、分类、分主题的科普教育，形成内容丰富的科普知识体系。

建设国家级高端科普平台。引入数字化、智能化技术，建设高端科普平台，推进科普内容的数字化和科普手段的数字化、网络化和智能化。将各类科普内容有序接入平台，使领导干部能够方便快捷地搜索到所需要的科普信息，让科普变得更方便、可感和切实可靠。同时，辅以人工智能、算法推荐等方式及时向领导干部推送个性化的科普内容，主动提供精准的赋能服务。



（上接1版）

未来产业代表着科技创新和产业发展的方向。未来产业由前沿科技驱动，具备成长为战略性新兴产业的潜力，对于未来经济社会发展具有巨大的带动作用。未来产业引领现代化产业体系构建，是发展新质生产力的突破口，不仅本身具有巨大增长潜能，还能够拓展新的发展空间，是未来经济增长和产业结构优化的新引擎。从这个意义上说，培育未来产业就是培育未来产业竞争力，是培育新动能、抢占新赛道、打造新优势的战略举措。因此，布局和培育未来产业既关系我国竞争新优势的塑造，又关系能否抓住全球产业结构和布局调整过程中孕育的新机遇。

新一轮科技革命和产业变革加速演进，重大前沿技术、颠覆性技术持续涌现，科技创新和产业发展融合不断加深，大力培育未来产业已成为引领科技进步、带动产业升级、开辟新赛道的战略选择。2023 年中央经济工作会议明确提出，开辟量子、生命科学等未来产业新赛道。2024 年中央经济工作会议进一步提出，开展“人工智能+”行动，培育未来产业。这一指示要求明确了现阶段布局未来产业的方向，指出了“人工智能+”行动对培育未来产业意义重大。由于其所具有的机器学习功能，能够产生人类所不能及的功能，不仅作为通用技术直接推动各类技术创新，而且孕育新的具有颠覆性意义的新产业。

我国未来产业的发展要把握科技前沿和未来产业发展新趋势，充分发挥新型举国体制优势，实施国家科技重大项目和重大科技攻关，发挥国家实验室、全国重点实验室等创新载体作用，鼓励龙头企业牵头成立创新联

合体，体系化推进关键核心技术攻关。打造未来产业培育高地和策源地，加强产学研合作，建设未来产业新型研发机构，大力培育未来产业领军企业家和科学家，开展产业共性关键技术研发，促进科技成果转化及产业化，加快打造未来产业创新和孵化高地。

未来产业和战略性新兴产业都是新质生产力引领现代化产业体系构建的重要方面。但未来产业较战略性新兴产业技术更加前沿，只是技术尚未成熟、还未转化为产品，或已经形成产品设计、产品原型但尚不具备规模化生产或市场化运营条件。创新未来产业不仅涉及技术路线，还涉及市场接受程度，不确定、创新失败的概率很大，会产生沉没成本。培育未来产业需要构建起相应的体制机制生态，关键在于营造鼓励创新、宽容失败的氛围：发展科技金融，鼓励对科技和产业创新项目的风险投资；完善和发展科创板之类的资本市场，更大力度吸引社会资本参与创业投资，壮大耐心资本；为激励创新、风险投资，政府可建设科技园、参与建设孵化器和众创空间，在一定程度上减轻风险投资者的风险压力。

改造提升传统产业

传统产业是指满足传统需求的产业，而不是指技术基础传统的产业。传统产业只有在产业基础进行数字化智能化升级以后才能成为新质生产力产业载体的重要组成部分，改造提升传统产业实际上是推进其产业基础高级化。党的二十大报告提出，要实施产业基础再造工程。

当前，新一轮科技革命和产业变革提供的产业基础是数字化和绿色化，关键技术主要有人工智能、云计算、量子通信、智能技术和绿色技术等。产业基础高级化的路径是推动制造业、服务业、农业等产业数字化，利用互联网新技术对传统产业进行全方位、全链条的改造，也就是 2024 年中央经济工作会议所要求的，积极运用数字技术、绿色技术改造提升传统产业。

数字化指的是实体经济和数字经济深度融合。数字经济及其技术平台催生新技术、新模式、新业态，加速科技成果和新技术在产业中的应用。第一，数字经济为传统产业改造升级提供新平台。网络基础设施及互联网平台，加强了各产业之间以及国内外市场之间的相互联系，促进了共享经济、开放经济的发展。第二，数字经济催生的新技术推动了先进制造业的发展，使制造业趋向智能化、信息化。互联网、大数据、人工智能等技术的发展，为产业升级提供了重要的技术支持。传统产业转向以知识密集型和技术密集型为主，实现传统制造业高端化。

绿色化以绿色生产力为底色。绿色发展是高质量发展的底色，新质生产力本身就是绿色生产力。在全球环境及资源供给条件恶化的背景下，我国提出了碳达峰和碳中和的时间表，按绿色化要求改造传统产业，从对自然资源竭泽而渔的发展模式转向以再生能源为基础、重复或循环利用资源的经济模式。加强绿色技术创新，鼓励绿色低碳技术研发，大力推进节能高效的能源使用技术进步，构建起绿色生产力的科技创新体系，通过技术创新增

育绿色低碳发展的新动力，推动新一代能源领域的关键性技术突破，提高可再生能源的技术开发水平。

实施产业基础再造工程，就农业技术基础高级化来说，转向现代农业的根本途径是以最新技术改变传统农业发展方式，使现代生物技术、互联网、大数据、人工智能等信息技术在农业中广泛深度应用。就服务业技术基础高级化来说，新一代信息和数字技术与服务业的融合催生了新的服务模式 and 业态，提升了服务价值。就制造业技术基础高级化来说，数字化绿色化通过数智技术对传统制造业进行渗透、整合和改造，促进其一跃进入现代产业体系。

建设现代化产业体系需要相应的基础设施和通用技术。新型基础设施的建设是科技创新驱动的基础设施，是产业基础高级化的基础。要加快推进 5G 技术、物联网、互联网、云计算、人工智能等基础设施的建设进程，推进新技术在产业中的应用。加快现有基础设施的数字化升级，尤其要以新型基础设施建设推动数字化发展，推动基于数字经济发展模式下的企业平台建设，加速数字经济发展。促进新型基础设施的智能化发展，以人工智能、大数据、互联网、区块链等信息技术的发展作为支撑，充分利用新技术、新业态、新模式，实现全方位全链条的智能化转型。推动科技创新，以新基建推动产业链和创新链的结合，带动产业结构转型升级。新型基础设施的建设要为产业发展建设创新平台，实现新型基础设施的创新性、数字化发展。

（作者系南京大学原党委书记）