

稀土为什么重要

□ 莫兆军

近期，美国与乌克兰之间关于矿产资源的合作协议成为焦点，尤其是其中涉及的稀土元素，更是引发了全球的关注，也折射出稀土在全球科技竞争和产业链中的战略地位。那么，稀土究竟是什么“土”，为何如此重要？

稀土不是“土”，和普通的“土”（主要成分是硅酸盐等）在化学性质上有很大差别。稀土元素的名称最早来源于18世纪末至19世纪的研究发现。当时，这些元素从不常见的矿物中被提取出来，并且在自然界中的含量相对较少，因此被称作“稀有土”（Rare Earth）。尽管现在我们知道其中一些稀土元素并不真正稀有（某些稀土元素的地壳丰度比常见金属如金、银要高得多），但在当时它们的发现和分离技术非常有限，导致了这种命名。

实际上，稀土是镧系元素（共15种）以及钪和钇这17种金属元素的统称。由于其独特的电子层结构，稀土元素具有独特的物理和化学性质，在现代经济与国防科技中占据着至关重要的战略地位。它们是高科技产业的核心材料，推动全球技术创新和产业升级，也是先进武器系统、雷达、导弹、卫星和隐身技术中不可或缺的关键材料，直接关系到国家的军事优势和国防安全。因此，稀土不仅仅具有资源属性，还兼具技术属性和战略属性。确保稀土供应链的稳定，已成为各国在经济与国防战略中的重中之重。

稀土元素在磁性材料、催化剂、光学材料、中子吸收材料、储氢材料、航空航天金属材料等方面发挥着不可替代的作用。

磁性材料是稀土元素应用的主要领域之一，约占稀土总量的60%，其中稀土永磁材料占据了绝大部分。2024年，中国稀土永磁材料产量已占全球总量的90%左右。在中低端钕铁硼磁体生产中，主要使用钕（Nd）、镨（Pr）等轻稀土元素；而在高端钕铁硼磁体中，为了进一步提升其高温稳定性和抗退磁能力，还须添加铽（Tb）、镱（Dy）等重稀土元素。钕铁硼磁体

因性能优异，在电动汽车驱动电机、风力发电机、消费电子等众多现代科技与工业领域不可或缺，有力推动了清洁能源、信息技术及高端制造业的快速发展。钕钴磁体同样是稀土磁性材料的重要成员，具有高磁能积、优异的耐高温和抗腐蚀性，在一些极端环境下成为唯一的选择。例如，在航空航天发动机、石油钻井设备等高温场景中，钕钴磁体可稳定工作；在海洋、化工设备等强腐蚀环境中，其抗腐蚀特性使其成为不可替代的材料；在航空航天传感器、高精度测量仪器等对磁场稳定性要求极高的场景中，钕钴磁体同样发挥着关键作用。此外，铽镱铁作为高性能磁致伸缩材料，凭借高能量转换效率和快速响应特性，在声呐系统、超声换能器、精密机械定位系统中成为核心组件，具有不可替代的地位。还有，稀土极低温磁制冷技术作为目前唯一不依赖氮-3的制冷手段，具有重要的战略意义，有助于减少对进口氮-3资源的依赖，其在高能物理、量子计算、深空探测等前沿科技领域展现出广阔的应用前景。

在催化领域，稀土消费占比高达20%—25%，是仅次于永磁材料的全球第二大稀土应用方向。其核心价值在于稀土元素独特的4f电子层结构，可显著提升催化反应的效率和环保性能。在石油裂化领域，镧（La）、铈（Ce）作为助催化剂用于石油裂化催化剂，能够提高催化活性、增强热稳定性、延长催化剂寿命以及改善产物选择性，同时有助于减少炼油过程中的SOx/NOx等有害气体排放，降低环境污染，是石油裂化催化剂的关键元素。在汽车尾气净化方面，铈基储氧材料（CeO₂-ZrO₂）凭借动态氧存储—释放特性，使三元催化剂的CO/HC氧化效率和NOx还原率分别超过98%和90%，成为满足国六/欧六排放标准的关键材料。此外，稀土在SCR脱硝催化剂和固体氧化物燃料电池等新兴环保领域的作用也不可或缺，充分体现稀土在传统产业升级和新能源

技术突破中的战略价值。

在光学材料应用方面，稀土元素La、Nd、镱（Yb）和铒（Er）在高性能光学器件中扮演着至关重要的角色。它们能够显著提升相机镜头、望远镜及其他精密光学玻璃的折射率和色散性能，从而优化成像质量。此外，稀土元素在固态激光器中也是不可或缺的，可提供特定波长的激光输出。固态激光器对稀土原料中的关键杂质含量有着极为严格的控制要求，通常需要达到ppm（百万分之一）甚至ppb（十亿分之一）级别的纯度。稀土元素同样是半导体材料的关键掺杂剂，对改善其电学和光学性能具有重要作用。例如，在光电探测器中，稀土元素的掺杂可以增强材料对特定波长光的敏感性，进而提高探测效率。在光纤放大器中，稀土元素（如Er）能够通过受激发射放大光信号，广泛应用于长距离光纤通信系统中。此外，稀土元素铕（Eu）、Tb和Ce等在发光材料领域具有独特的应用价值。它们能够发射特定波长的光，是制造节能灯、LED和显示屏等荧光粉的核心材料。

在中子吸收材料方面，钆（Gd）和钐（Sm）凭借其卓越的中子吸收特性，在核能领域具有不可替代的重要作用，尤其在核反应堆控制棒中发挥着不可替代的作用。控制棒作为调节核裂变反应速率的核心部件，通过吸收中子精确控制反应堆功率输出，确保其稳定运行；紧急情况下，控制棒能够快速插入堆芯终止链式反应，防止反应堆失控，从而为核电站的安全运行提供重要保障。此外，钆和钐的使用减少了对传统控制棒材料（如镉和硼）的依赖，不仅提升了反应堆的性能，还优化了其设计，已成为现代核反应堆中不可或缺的功能性材料。

稀土储氢合金是镍氢电池通常采用的负极材料，稀土元素能够与氢形成稳定的氢化物，从而提高储氢容量、降低反活化能，使电池在充放电过程中更加高效，能提高吸放氢动力学性能，使电池能够快速充放电，

还能够抑制合金在反复吸放氢过程中的粉化和退化，延长电池寿命。稀土元素（如钇、钆、钐）在固体氧化物燃料电池的电解质中也不可或缺，通过掺杂显著提升了氧离子导电性和热稳定性，是其高效运行的关键。如：Gd₂O₃或Sm₂O₃掺杂的CeO₂，在中温范围（500℃—700℃）表现出更高的氧离子导电性；钇的掺杂在氧化锆晶格中引入氧空位，促进氧离子迁移，显著提高高温（800℃—1000℃）下氧离子（O²⁻）的导电性。

稀土元素不但在功能材料中有广泛应用，在结构材料中也是不可或缺的关键材料。其独特的物理和化学性质能够显著提升合金的性能，满足航空航天领域对材料高强度、耐高温、抗腐蚀等苛刻要求。通过添加稀土元素，可以细化合金晶粒结构，提高强度、韧性、抗疲劳性能以及耐腐蚀能力，从而延长部件使用寿命。特别是，稀土元素还能改善高温合金的高温稳定性和抗蠕变性能，使其适用于航空发动机热端部件等极端环境。此外，在轻量化设计方面，稀土镁合金因其低密度、高比强度和耐热性，是制造卫星和航天器结构件的理想材料，为现代航空航天技术的发展提供了重要支撑。

稀土元素在传统工业和高科技领域占据重要地位的同时，也在能源转型、信息技术发展和前沿科学研究中发挥着关键作用。随着全球对清洁能源、智能技术和高端制造需求的持续增长，稀土材料的战略价值将愈发凸显，成为提升国家科技竞争力和保障经济安全的重要支柱。当然，稀土的难点在于其开采、提纯、加工过程的技术复杂性和环境保护要求，以及由此带来的经济和政治层面的问题。随着技术进步和环保意识的提高，这些问题正在逐步得到解决，但仍然是制约稀土产业发展的关键因素。



何为“知识蒸馏”

□ 张林峰

随着近年来大模型的迅猛发展，知识蒸馏（Knowledge Distillation）逐渐成为人工智能领域一个备受关注的课题。尤其是在近期，DeepSeek凭借其在技术上的突破和创新，不仅让自身声名鹊起，也将知识蒸馏这一概念带入了公众的视野。那么，何为知识蒸馏呢？它究竟是如何在人工智能领域发挥着重要作用并推动着技术的不断进步，这值得深入探究。

作为一种强大的模型压缩技术，知识蒸馏是人类社会中教师与学生关系在人工智能领域的延伸；在人类社会，知识储备较少、学习能力较弱的学生可以向知识储备丰富、学习能力更强的教师学习以获取知识，以此获得比自学更高的学习效率。类比到人工智能领域，研究人员发现可以将一个参数量较小、学习能力较弱的模型作为“学生模型”，将一个参数量较大、学习能力较强的模型作为“教师模型”，通过让学生模型学习教师模型，获得比学生模型直接从数据中学习更高的效率。这一种模仿人类学习行为的算法在人工智能领域被称为“知识蒸馏”。知识蒸馏由图灵奖、诺贝尔奖得主杰弗里·辛顿（Geoffrey Hinton）正式提出，成为人工智能领域最重要的基础算法之一。

知识蒸馏最早被用于减少模型的参数量，以降低人工智能模型的存储成本和计算成本。当前的人工智能模型参数量大，其计算速度慢、存储成本高，在实际应用中存在诸多不便。例如，在自动驾驶中，人工智能模型计算速度慢会导致自动驾驶汽车无法快速感知周围环境，容易造成交通事故；在手机应用上，人工智能存储成本过高会导致其占用大量手机存储空间，导致手机卡顿，影响用户体验。早期的知识蒸馏让参数量小、

性能不佳的学生模型学习参数量大、性能好的教师模型。理想情况下，如果学习成功，小的学生模型掌握了与教师模型相同的知识，那么就可以在继承教师模型优良性能的同时维持参数量小的优势，实现“又小又好”。研究人员将这一过程与物理学中的“蒸馏”联系起来，意在通过此种方式将模型中无用的参数“蒸发”，将重要的知识保留，因此称为知识蒸馏。

在大模型时代，知识蒸馏受到了更加广泛的关注。一方面，大模型的参数量与传统模型相比有了百倍、千倍乃至万倍的增长，模型的参数成本和计算成本被进一步放大，因此对于它们的压缩和加速需求也就更加显著。例如，DeepSeek V3模型有6710亿参数，是传统人工智能模型BERT的2000多倍，这意味其计算耗时和存储成本也增长了千倍以上。为了将类似DeepSeek的大模型在个人电脑、手机等小设备上部署，就需要进一步探索和利用知识蒸馏技术，将DeepSeek的知识提取出来，存到小的模型上。

另一方面，大模型时代的知识蒸馏不仅体现了参数上知识的传递，也体现了数据上知识的传递。具体来说，如果一个人类教师是学习过“数理化学史地”全科知识的教师，那么在授课过程中，即使他仅向学生教授单个科目的内容，也有可能潜在地向学生传递他所具备的其他领域知识。类似地，在人工智能中，如果教师模型学习了更加广泛领域上的知识，那么，在知识蒸馏的过程中，学生模型也可以间接地学习这些领域上的信息。例如，如果教师模型学习过中文和英文的数据，而学生模型仅学习过中文的数据。那么，通过让学生模型向教师模型学习，学生模型即可间接地学习到英文数据中的知识，实现能

力的进一步提升。这一行为也导致知识蒸馏引发了许多知识产权的顾虑：如果教师模型的知识是具备独特知识产权的内容，那么学生模型向教师模型学习的过程是否意味着对于知识产权的侵犯？对于这一问题，各界尚未达成一致的认知。从技术角度上看，判断一个模型是否以其他模型为教师模型进行过知识蒸馏训练也是非常困难的。因此，由知识蒸馏导致的侵权争议也广泛存在。

唐代文学家韩愈曾言，“弟子不必不如师，师不必贤于弟子”。这一现象在知识蒸馏领域同样存在。人工智能领域对于知识蒸馏中的教师和学生的认知也有过三个不同的阶段。早期的知识蒸馏通常认为教师模型应当有比学生模型更强的智力水平，即“师贤于弟子”，以此才可以让学生学习得更好。随后，一些研究人员提出“自蒸馏”的概念，即认为模型可以自我学习，达到“吾日三省吾身”的自我反思的学习效果。多个学习能力相当的模型也可以相互学习，以此达到比单个模型更好的效果。同时，有研究人员发现，如果让学生模型过分学习智能水平远远超过它的教师模型，反而可能会损伤学生模型的性能，即人工智能中的学习行为也应当逐步进行，不可一步登天。近年来，包括OpenAI在内的一些研究人员又提出了“师不必贤于弟子”的思路，即认为教师模型不需要超过学生模型的智力水平，只需要在某个特定能力上优于学生，就可以继续引导学生模型的学习。这一思路的提出为人工智能的进一步演化提供了可能。倘若以人类的知识作为教师模型，以人工智能模型作为学生模型，那么这种从以弱能力教师模型的引导实现更强能力学生模型的范式，也就意味着通过人类知识的引导

得到超越人类智能水平的人工智能，这为通用人工智能的实现提供了一丝希望。

人类的学习过程讲求取其精华、去其糟粕，意在对于教师所传授的信息进行有选择的学习，避免对于错误信息或不适于自身信息的盲目模仿。有趣的是，这一思路在人工智能中同样是在的。学者们发现，如果让学生模型学习教师模型输出的所有内容，往往无法达到最佳的学习效果。对于教师模型的知识进行筛选，并仅学习关键的部分，有时可以获得更高的学习效率。同时，在大模型时代，学生模型向教师模型学习的过程可能会导致学生模型的价值观受到教师模型的影响。例如，如果教师模型是由西方世界的数据库所训练的，那么向其学习的过程会导致学生模型的认知也受到西方世界的数据库中的偏见影响，进而引入对于特定群体的刻板印象乃至偏见。因此，在大模型的知识蒸馏过程中如何避免价值观的污染，也是知识蒸馏研究的重点问题。

综上所述，知识蒸馏是人类社会中师生概念在人工智能领域的延伸，其研究思维和方法也与人类社会中的学习行为不谋而合，体现了人类智能和人工智能的呼应。在发展的过程中，知识蒸馏也引起了数据产权的争议与人工智能价值观问题的潜在风险。安全、可控、有效的知识蒸馏算法的实现需要社会各界的统一协作。



党的二十届三中全会指出，强化人才激励机制，坚持向用人主体授权、为人才松绑。建立以创新能力、质量、实效、贡献为导向的人才评价体系。创新驱动实质是人才驱动。科研人员作为科技创新的核心力量，在我国从科技大国向科技强国迈进的关键阶段，肩负着极为重要的使命。然而，当前一些科研人员却面临着诸多困境，其精力正被繁重的行政事务、短期的考核机制及资源分配壁垒等隐性负担持续消耗，陷入重负荷低创新的悖论之中。因此，为科研人员松绑减负，既是释放创新潜能的当务之急，更是建设科技强国的战略支点。

科研活动的本质是探索未知、创造知识，其核心要素在于科研人员的专注度、自由度与创造力。为科研人员松绑减负的根本意义就在于还原科研活动的专业性、自主性，让科研人员从“指标运动员”转型“创新探险家”，从“孤岛研究者”变为“协同创造者”。这不仅是对科研规律的尊重，更是对人才是第一资源理念的深度践行。正如习近平总书记所强调的，“要持续营造尊重劳动、尊重知识、尊重人才、尊重创造的社会氛围”，这既是激发创新活力的必要前提，也是建设科技强国的逻辑起点。

从国家战略层面看，松绑减负更是破解“卡脖子”难题的关键抓手。当前，我国在基础研究、原始创新领域的短板，与过去一段时间科研人员受制于烦琐行政程序、陷入短期功利化评价不无关联。当科研精力被非学术事务大量消耗，当“十年磨一剑”的基础研究因考核周期过短而难以继，科技创新的源头活水必然面临枯竭风险。因此，松绑减负本质上是通过制度“供给侧结构性改革”，重构科研生产关系，使之更适应科技创新生产力的发展需求。

为科研人员松绑减负关乎创新活力释放，一些科技发达国家经验为我国提供了参考。美国出台《贝赫-多尔法案》赋予高校科研成果转化自主权，减少行政干预。德国马普学会以长期聘用制构筑稳定支撑，其6216位科学研究助理中，77%为机构资助的长期聘用人员（4786人），3990位工程师、4739位行政管理人员的长期聘用占比分别高达95%和99%，并以国际同行阶段性评估替代硬性考核，助力长周期基础研究。英国皇家学会推行“贡献导向”评价，纳入科研成果对经济社会的实际影响。这些经验表明，减负需从制度设计、评价体系、支持保障等多维度发力，构建“松而不散、活而有序”的科研生态。

面对科研人员负担过重的顽疾，国家层面也已打出系列“组合拳”。2018年，中共中央办公厅、国务院办公厅印发《关于深化项目评审、人才评价、机构评估改革的意见》，提出建立分类评价指标体系和评价程序规范。2021年，国务院办公厅印发《关于改革完善中央财政科技经费管理的若干意见》，赋予科研人员更大自主权。2022年，科技部等5部门联合推出《关于开展减轻青年科研人员负担专项行动的通知》，提出“挑大梁、增机会、减考核、保时间、强身心”5项行动。在国家政策的引领下，部分高校和科研机构结合自身特点，积极探索减负新路径。上海交通大学开发“云上办”系统实现经费管理全流程数字化，中国科学院将青年科研人员项目资助比例要求写入专项管理办法。这些政策与实践在一定程度上减轻了科研人员的负担，但改革仍面临多重深层次体制障碍。一是政策落实存在“中梗阻”，部分地方和单位对下放自主权执行不到位，科研人员政策获得感不强，科研时间占比提升未达预期；二是评价体系改革相对滞后，过度依赖量化指标的倾向尚未根本扭转，青年科研人员“帽子焦虑”与“非升即走”考核压力犹存；三是政策覆盖盲区，国家激励政策主要惠及国有机构科研人员，非公机构/企业的科研人员难以享受同等支持，导致部分创新生力军被排除在减负体系之外；四是资源管理粗放，科研资源分配不均、管理

持续为科研人员松绑减负

□ 王慧妹 潘建红

机制行政化，导致创新空间受限、跨学科协作困难等。

为破除给科研人员松绑减负改革进程中的深层体制性梗阻，重构我国科研创新生态的良性肌理，需要构建“政策穿透—资源重构—评价革新—体系扩容”的改革架构。破解桎梏，需以政策破冰为先。可积极探索建立科研管理的“负面清单”。通过建立禁止干预事项清单，从制度源头为科研活动划定“宁静区”；同步构建政策落实效能评估体系，将科研人员政策获得感、科研时间占比提升率等核心指标纳入地方政府和科研单位考核，压实政策执行主体责任。打通梗阻，当以资源活水为要。针对资源配置的“马太效应”，可依托国家科技管理信息系统建立资源动态图谱，通过人工智能算法实现冷门领域定向扶持、过剩资源跨区域调配，同步推行科研设备共享奖励制度，破解分配不均、协作困难困境。重塑生态，贵在评价革新。建立科学合理的“分类分层”评价机制，可以将现行评价体系拆分为“基础研究（长周期+国际同行评议）”“应用研究（市场验证+产业链评价）”“青年人才（阶段性成果+发展潜力评估）”三类通道，对“非升即走”制度设置成果质量缓冲期。统筹规划，重在体系扩容。填补政策覆盖盲区，将新型研发机构、民营企业实验室纳入国家科技支持体系，实现国有与非公机构科研人员同享经费自主权、仪器共享权等核心权益。更要培育宽容失败的创新文化土壤，对于那些虽历经失败但能够证明进行了有效探索的科研项目，依然给予后续支持，在全社会营造一种鼓励探索、宽容失败的浓厚创新文化氛围。

从“钱学森之问”的世纪之思，到今日“卡脖子”技术难题的突围之战，中国创新的每一次突围跃升，背后都跃动着科研人员的智慧光芒。为科研人员松绑减负，并非改革的终点，而是创新生态重构的全新起点。当科研人员彻底从烦琐的行政事务中解脱出来，创新价值在科学合理的评价体系中得到充分彰显，科研资源在高效协同共享中实现最优配置，中国科研的源头活水必将奔涌出更磅礴的创新势能。这既是科技治理现代化的必由之路，更是大国创新体系从追赶转向领跑的关键一跃。

