

# 推动自然科学与人文社会科学交叉融合

□ 徐浩然 张冠玉



习近平总书记指出：“一个没有发达的自然科学的国家不可能走在世界前列，一个没有繁荣的哲学社会科学的国家也不可能走在世界前列。”放眼未来，跨学科交叉会聚与多技术跨界融合将成为新一轮科技革命和产业革命的潮流，这就要求打破学科边界，积极推动自然科学和人文社会科学的交叉融合，通过加强基础研究形成创新势能。

## 自然科学与人文社会科学有着深刻的内在关联

作为人类认识客观世界运动发展规律的知识体系，自然科学、人文社会科学都具有科学的一般属性。马克思把自然科学与人的科学统一于历史科学中，指出“我们仅仅知道一门唯一的科学，即历史科学。历史可以从两方面来考察，可以把它划分为自然史和人类史。但这两方面是密切相联的；只要有人存在，自然史和人类史就彼此相互制约。自然史，即所谓自然科学。”自然科学与人文社会科学之所以具有内在关联性，主要是因为在我们所处的世界、万事万物是普遍联系着的，二者统一于人类认识世界的过程中，人是自然科学的直接对象，同时自然界也是关于人的科学的直接对象。复杂世界的演化充满不确定性，无论是从自然科学还是从人文社会科学角度，人类在回应不确定性问题时所展现的创新性、逻辑性、价值性以及可证实性等科学特征基本是一致的。当然，自然科学与人文社会科学也存在一定差异，本质上都是遵循着“从生动的直观到抽象的思维，并从抽象的思维到实践”的研究途径。早在亚里士多德时代，自然科学就已经成为政治学研究的类比对象。19世纪末20世纪初，理论力学和能量力学为正在兴起的边际主义经济学提供了拉格朗日虚位移、哈密顿函数等分析工具，而生物学理论则推动了社会有机体理论的建构。随着人类对物质世界运动规律的认识不断深化，自然科学与人文社会科学的方法互通性日益凸显，从而延伸出大量交叉学科，譬如复杂经济学，基于量子力学的世界观和熊彼特技术创新理论重新建构了经济学的研究范式：收益递增、路径依赖、随机性小事件、进化。

## 问题导向是自然科学与人文社会科学交叉融合的起点

问题是创新的起点。习近平总书记在哲学社会科学工作座谈会上指出：“从某种意义上说，理论创新的过程就是发现问题、筛选问题、研究问题、解决问题的过程。”从问题出发并且兼具自然科学与人文社会科学的多学科视角，有助于研究者确立整体论范式，这是全面认识世界和挖掘事物规律的基础。如果陷入单一学科范式，则只能从某个角度来理解和把握世界的切片，很容易陷入片面；反之，则能整体性把握现象世界并系统性地解决问题。比如20世纪80年代以来，基于全球气候变暖和环境变化这一问题，自然科学和人文社会科学领域开展了积极的协同探索。随着全球环境问题的日益严峻，气候变化从单纯的气候问题转变为探索人类可持续发展道路的综合性课题。这一课题包括人类活动与大气圈、陆地圈、水圈和生物圈等各个方面的关系，需要通过跨领域、跨学科手段研究各大圈层之间的相互联系、相互作用机制。在协同研究过程中，自然科学与人文社会科学将研究重心落在可持续发展上，然后从中切分出具体环境问题并提供理论支持和分析范式，在跨界交互中形成新认知、新策略。当今世界是开放的、变化是多维度的，在许多关切人类长远利益的重大研究课题中，都需要自然科学家与人文社会科学家通力合作，围绕研究计划打造联合研究团队，一起讨论和拟定研究目标与技术路线，共同参与项目实施，综合集成多学科方法解决理论与实践问题。

## 抽象类比是自然科学与人文社会科学交叉融合的基本方法

自然科学与人文社会科学的交叉融合，主要借助类比的方式来实现。抽象类比，是从功能或性质表述上建立对应性关系的基本方法，主要目的是在两个学科领域之间抽象出一般相似性。该方法能够以某学科的分析要素证明另一学科对应要素的有效性和可行性。譬如在经济学领域，亚当·斯密将市场机制抽象类比于牛顿式的自然法则，他认为在市场交易过程中参与者之间也会形成相互作用力。这个相互作用力包括利己的动力与竞争

的压力，两种力在千百万市场主体间的相互作用就会促使市场形成一种动态平衡的秩序。再如管理科学中，人们把集体决策行为类比为自然界的蜂群思维，这是生物学与管理学交叉融合的经典案例。生物学研究发现，作为“超级有机体”的蜂群，在春季选择巢穴时经常以分工协作的形式自发地建立起一套强大的互动系统。它们一般会首先派出一些侦察蜂基于一定标准进行分散考察和独立决策，这些侦察蜂之间保持高度联系，随时可以围绕选择地点进行信息沟通，最后根据推荐的侦察蜂数量和风险权衡（时间成本、外界攻击等）来确定新的巢穴选址。人类社会与蜂群在面对集体决策时存在类似的“反应集合”，蜂群思维启发了科学家对自组织理论的深刻洞察。在自然科学与人文社会科学的交叉融合中，抽象类比的适用性极强，但还需根据相关程度评估类比的正当性。一旦满足这个条件，跨学科交叉融合的成果可能就是突破性的。

## 自然科学与人文社会科学通过仿效嫁接实现交叉融合

自然科学与人文社会科学进行互动的一个重要方面是价值系统的转移，具体表现为从仿效到嫁接的过程。在自然科学与人文社会科学的交叉融合中，首先呈现的是一种对概念、理论、方法、模型、标准甚至是价值的仿效，这一环节完成的是“交叉”的任务。然后，为实现二者的深度融合，需要的则是嫁接的技巧。嫁接，是植物人工繁殖的方法之一，其原理是通过细胞增生和彼此愈合，使接在一起的两个植物部分长成一个完整的植株。嫁接的过程能够使得自然科学与人文社会科学的相关领域在“交叉”的基础上，通过密切交互完成“融合”和“增生”，形成新的理论范式。有关仿效嫁接最标志性的例子是英国经济学家马尔萨斯结合“牛顿风格”所形成的人口理论。在物理学界，牛顿在《自然哲学的数学原理》中展现出一种独具特色的论证方法。他先是以数学形式假定一个理想条件（匀速直线运动或者完全静止），由单个物体和一种中心指向力组成，并根据运动定律导出数学推论。接着牛顿逐步引入不同形状和构成的物体，分析物体间的相互作用，形成新的数学推论，以此分阶段地靠近现实世界的真实情况。这种对理想系统与实际系统之间发生的对位互动进行的阶段性递推分析，构成了“牛顿风格”。马尔萨斯将“牛顿风格”仿效嫁接到社会

人口研究领域，突破性地提出马尔萨斯人口论。马尔萨斯人口论表述了“如果不加控制，人口就会以几何比例增长”的基本原理。这条定律显然不是从大量观察中归纳出来的结果，而是效仿了“牛顿风格”，“人口以几何比例增长”就是其中的理想条件。《自然哲学的数学原理》关注的是自然界定律不同于纯抽象定律的原因，马尔萨斯探求的是为什么实际人口不会按照想象推论那样呈几何比例增长。基于论述方式的效仿，马尔萨斯在《人口论》中论述了人口为何不能按照几何级增长以及如何抑制人口增长，提出了道德抑制与积极抑制两种方法，在自然科学与人文社会科学的嫁接中萌发出了新的观点。

## 编织多学科网络撬动自然科学与人文社会科学交叉融合

随着互联网的兴起，文献检索数据库的全面推广为自然科学与人文社会科学的交叉融合提供了便利平台。不同学科以节点形式呈现在同一张网络上，相互链接、彼此影响，跨科学的知识关联和流动更加直观。网络思维以事物联系为底层逻辑，重视节点与节点之间的非线性交互作用。立足网络思维构建多学科网络，有利于发掘不同学科领域的研究共性，在强化联系中促进自然科学与人文社会科学的互动启发。有效发挥多学科网络的关联作用，需要完善和加强通识教育，培育能够开展跨学科研究、锐意创新的综合型人才，为学科间交叉融合提供源动力。有效发挥多学科网络的关联作用，需要立足多学科网络的中心节点，激活潜在的交叉融合趋向，实现创新观点的自发涌现。当然，编织多学科网络不能是分布式的，而是需要形成多学科聚合的中心节点，该节点既可能是某个基础科学，也可能是新兴的交叉科学。譬如复杂系统科学就是多学科综合的产物，像其中协同学所讨论的流体、激光、化学钟、矛盾、革命等问题，涵盖了物理学、化学、哲学、经济学。

总之，人文社会科学与自然科学有着深刻的内在关联，历史上那些科学的重大发现以及关乎国计民生等重大社会问题的解决，往往都会涉及不同学科的相互交织和相互融合。在新一轮科技革命和产业革命的历史背景下，人文社会科学与自然科学的交叉融合顺应了历史大势，这是物质世界运动规律、社会空间尺度变化以及科学技术进步综合作用的必然结果。

# 引爆生物学进入新时代的工具：冷冻电镜

□ 霍佳鑫

对于宏观世界的构造，诸如对宇宙的认知，我们可以通过天文望远镜或者飞行器进行观测，但是对于微观世界，长期以来除了显微镜之外并没有更好的办法去了解微观世界里原子、分子的结构。到19世纪末，科学家们已经将光学显微镜的性能基本上发挥到了理论极限，以至于测定光学仪器分辨率物理极限之一的科学家恩斯特·卡尔·阿贝都不禁感叹：人类的创造性已基本没有希望找到新的方法和途径来克服这个极限了。由此也激发了人类对包括生物学在内的微观世界的探索。试想，作为细胞基础的蛋白质，科学家们只能看到一个模糊的斑点，不了解其结构就难以解析其功能产生的机理。不过这一僵局被冷冻电镜所打破。作为一项颠覆性新技术，冷冻电镜可以让科学家看到许多悬而未决问题的背后机理。而这一新工具的大规模应用已经为结构生物学的发展带来了新的研究范式：从平面到立体的跃迁。

## 何谓“冷冻电镜”

冷冻电镜是电子显微镜技术的衍生技术，其工作原理是将蛋白质保存在非常薄的液体层中，然后将它们冷冻。通过电子枪以光速发射电子穿过样本，然后一个专门设计的相机捕获电子以形成图像。冷冻电镜技术的发展始于1970年代，雅克·杜波切教授与其小组在欧洲分子生物学实验室通过将样本水溶液施加到网格上并在液态乙烷或者丙烷下将样本快速冷冻，于1981年末两位科学家阿拉斯代尔·麦克道威尔和雅克·杜波切首次报告了冷冻电镜成功观测到的结果，并最终掌握了冷冻方法。与此同时，约阿希姆·弗兰克教授与其研究小组则为冷冻电镜的三维重构技术奠定了基础。此后，杜波切的研究小组通过对玻璃化膜腺病毒2型、T4噬菌体等的分析，证明了冷冻电镜在结构生物学中的作用。冷冻电镜有两项强大功能，一是“万物皆可冻”，只要有需求，不论是生物组织、还是病毒、大分子等都可以通过冷冻电镜观察样本；二是通过冷冻电镜的三维重构可以很好地观察到样本的结构信息。不过，碍于样本制作技术以及冷冻电镜分辨率低等原因，导致冷冻电镜技术发展出现放缓的迹象。

进入21世纪以来，随着计算机技术和硬件设备的突破，制作出了更为灵敏的电子显微镜和更加复杂的软件，它们可以捕获更加清晰的分子结构，由此解决了冷冻电镜分辨率低的困境。2013年，加州大学旧金山分校的程亦凡教授和合作者利用冷冻电镜技术实现了对膜蛋白结构的近原子级解析，这一工作曾被认为是冷冻电镜难以逾越的障碍，开启了冷冻电镜的新时代。通过冷冻电镜，一方面科学家可以观察到那些十分松散或者不停摆动、难以排成晶体并且很难被X射线拍摄到的蛋白质结构，另一方面，让科学家有机会观察到细胞体的结构，使科学家能够获得不同蛋白质的原子结构与分辨率，同时了解它们如何穿透细菌的细胞壁。冷冻电镜在微观领域的突破也让雅克·杜波切、约阿希姆·弗兰克和理查德·亨德森三位深耕冷冻电镜技术的科学家共同获得2017年的诺贝尔化学奖。

## “冷冻电镜”的前景与困境

正如亨德森教授所坚信的那样，随着软硬件技术的发展，冷冻电镜一定会成为“常规的、快速的、可以获得更多非常困难的样本结构的技术手段”。不过对此前景，他预计冷冻电镜技术发展依然不会太快，一个重要的影响因素便是其高昂的成本，一台冷冻电镜设备的成本可能超过700万美元，每天的运行成本也是数千美元起步，并且还需要专门的实验室来最大限度保障数据的准确性，这也注定了能够运营这套设备的实验室还是少数。但是亨德森教授认为，“到2024年，冷冻电镜确定的蛋白质结构数量将会超过X射线晶体衍射学的结果。科学家特别感兴趣的一类蛋白质——嵌入细胞膜中的蛋白质，冷冻电镜已经取代了X射线晶体学。”许多这样的膜结合蛋白质都与疾病相关，科学家通过观察其结构可以用它们充当药物的靶标，为新药研制提供方向。因此科学家们正在游说冷冻电镜的制造商研发

更加便宜的产品，以进一步普及该设备。从历史上看，冷冻电镜推广缓慢的原因是这项工作操作技术难度较大，个体的技能与设备状态以及实验人员的操作都会影响实验结果。如今，冷冻电镜工作流程中许多步骤都已经自动化，显著提高了判断速度和易用性。

## “冷冻电镜”在我国的发展

当前结构生物学已经进入冷冻电镜时代，科学家通过冷冻电镜不仅可以在3D中看到蛋白质的结构，还加深了我们对生物结构的理解与认知。中国自2009年清华大学购入第一台冷冻电镜后，如今已经建立了以清华大学、南方科技大学领衔的世界领先的冷冻电镜实验室。经过10余年的发展，特别是近5年，中国已经拥有了超过50台各种型号的冷冻电镜，其中清华大学、南方科技大学、中科院、北京大学、复旦大学等多家高校与科研机构也都配备了高端的冷冻电镜。虽然我国的科学家通过冷冻电镜取得了令世界瞩目的科研成果，但是从电镜制造来看，中国尚无制造冷冻电镜设备的能力。纵观冷冻电镜设备的研发制造，涉及到材料、光学、生物、计算机科学、半导体、系统集成等多个科学技术领域，全世界能够生产冷冻电镜的制造商现在只有日本和荷兰的3家公司，其中荷兰的FEI公司已经被美国赛默飞世尔科技公司收购，而后者在冷冻电镜市场占有率一家独大，而且与冷冻电镜配套的相机设备制造商也主要是美国Gatan公司，换言之美国基本垄断了冷冻电镜制造市场。与此同时，中国在冷冻电镜人才方面也有待提升与完善，对于设备运行管理人才则更需要国家的专门培养。虽然我们在相关成果上取得了长足进步，但要清醒认识到，我们目前还没有办法生产冷冻电镜，这是否会成为下一个卡脖子技术？尚未可知，但任何设备未来都将会面临更新淘汰的问题，更新的路出在哪里？在这场冷冻电镜的“军备竞赛”中，不仅需要科研人员原创性科研成果，也需要自立自强的技术设备制造能力的支持，而我国在这个领域还有很长的路要走。



# 提升长三角科技创新共同体的创新效能

□ 王春梅

提升长三角科技创新共同体的创新效能是长三角区域高质量发展的应有之义，在今年召开的两院院士大会上，习近平总书记也明确指出我国创新体系整体效能不高，需要继续下大力气加以解决。

首先，长三角科技创新共同体知识创新能力与技术创新能力发展不平衡。在2020年世界知识产权组织发布的《全球创新指数报告》中，长三角区域的上海、南京、杭州、苏州、合肥等5个城市跻身世界科技创新集群100强。分析这5个城市的创新指标发现：长三角科技创新共同体科学出版物指标值占总值的3.46%，远超全球排名第1的东京一横滨创新集群和排名第2的深圳—香港—广州创新集群；但是这5个创新集群PCT专利申请量占全球总量的2.19%，却远低于东京一横滨创新集群的10.81%和深圳—香港—广州创新集群的6.9%，显示出长三角科技创新共同体中知识创新和技术创新作为创新体系的两翼，发展的规模和水平严重不平衡，长三角科技创新共同体的整体效能没能有效激发。

其次，长三角科技创新共同体知识创新优势与技术创新能力间的关联度有待提升。在长三角科技创新共同

体5个世界100强科技创新集群中，排名第一的科学出版物领域均来自化学，而这5个科技创新集群中PCT专利活动最多的领域分布在数字通信、电机仪器能源、计算机技术、其他消费品等4个方面，与长三角科技创新共同体中排名第一的科学出版物化学领域没有直接的关联。可见，长三角科技创新共同体的知识创新成果和技术创新成果之间没有形成有效的连接，也没有形成相互的支撑，知识创新的优势并没有转化为技术创新的能力。

因此，在新发展阶段，如何提升长三角科技创新共同体的创新效能，为实现长三角区域高质量发展和高水平科技自立自强提供坚强支撑，要做到四个“面向”。

面向生物医药等前沿领域，培育知识创新优势。世界100强创新集群在基础研究领域的优势正在向生物医药等新兴领域集中。随着新冠疫情的暴发，生物医药领域科学研究和创新能力的重要性日益凸显，因此长三角科技创新共同体应特别重视通过生物医药学和人工智能等前沿科学领域的交叉研究，不断拓展基础研究的新领域，形成在基础研究领域的新优势。

面向国家发展战略，强化大学的引领作用。在长三角区域的新兴产业

发展中，除了安徽省围绕中国科技大学的量子科学和核科学进行专项规划外，其他省市通过知识创新优势形成产业发展优势的实例尚不显著，说明大学在应对社会发展需求方面的步伐相对缓慢，大学未来如何面向国家发展战略需求？一方面，大学自身应积极发展新能力，支持新兴学科、交叉学科的研究和发展，及时将学科优势转化为经济社会发展的坚强支撑；另一方面，通过经费资助模式的变革将对大学的资助与满足社会需求的能力挂钩不失为一种尝试。

面向区域发展，创立新兴产业发展联盟。在长三角一体化规划实施方案中提出的未来新兴产业发展方向，均涉及集成电路、人工智能、生物医药、新能源、智能汽车等，产业雷同度颇高。如果按原有分散的路径去推进，各城市创新的发展必然存在着竞争，所以，如何让长三角城市从竞争走向合作共赢，形成创新发展的利益共同体，就必须在产业链和创新链的协同上进行重构，促使各城市间的竞争变为合作。例如，在生物医药领域，上海在研发领域有领先优势，而江苏则具备了初步产业发展的基础，安徽等地则刚起步。因此，参考中国第三代移动通讯技术和高铁技术发展

的经验，选定若干领域的关键技术、前沿技术，创立新兴产业发展联盟联合攻关，风险共担、利益共享，从创新联盟走向利益联盟，推动创新目标的顺利实现。

面向关键技术，培育高新技术龙头企业。长三角科技创新共同体的专利数量与世界一流创新集群的差距反映的是企业科技创新能力的差距。近年来，长三角区域的上海、南京、苏州等地高新技术企业数量有了大幅增长，最高增幅超过200%，但是，长三角需要更多华为这样的龙头企业，既有核心创新能力，又能引领产业发展。因此，一方面，企业自身在创新投入、新兴产业核心技术攻关等方面要大力投入、久久为功，促进企业尽快脱颖而出；另一方面，政府和社会通过创新资源流动和共享、基础研究、新产品市场培育等方面的协同促进区域创新成本下降、创新效率提升，从而使得区域城市共同受惠，提升长三角科技创新共同体创新效能。

