



Views & Comments

科学的时代特征——应对全球挑战中转变范式

董超^a, 李静海^b, Daya Reddy^c^a National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085, China^b State Key Laboratory of Multiphase Complex Systems, Institute of Process Engineering, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China^c University of Cape Town, Rondebosch 7701, South Africa

科学作为人类共同的事业,在不断取得突破、造福人类的同时,也正面临诸多全球挑战,其自身也处在范式变革之中。应对挑战与范式变革紧密相关、相互促进、互为动力,体现了当代科学发展的时代特征,然而我们对此关注不够。无论是应对挑战还是推动范式变革,都需要摆脱惯性思维,而实现两者互动更是不易,科技界既要“通过转变科研范式应对重大挑战”,也要“在应对重大挑战中倒逼科研范式变革”。这也对凝练科学问题的能力提出更高的要求。当然,应用现有知识的能力也需要提高。目前,我们对这些方面重视不够,能力也不足。这需要全球科技界的共同努力以集成全球智慧,更需要各国政府和国际社会的鼎力支持。

1. 只有转变科研范式才能有效应对重大挑战

科研范式变革已逐步引起学术界的关注,有的认为“数据密集型科研”是第四科研范式,有的认为人工智能的运用也是一种科研新范式。然而,科研范式变革的方向和本质性内容方面尚未达成共识。

我们认为,实质性的科研范式变革绝不仅限于此。比如:至少应更关注科学和技术问题(包括大数据和人工智能)中复杂性背后的共性原理,以复杂性原理的突破带动应对重大挑战能力的提升;人工智能运用的效果也必然取决于是否可通过复杂性原理的突破实现通用人工智能。事

实上,知识体系和复杂世界一样具有多层次特征,每一层次中的复杂性规律,尤其是动态结构的形成与演化、有序与无序以及共性与多样性并存的机理,各层次复杂性的相互关联,必然成为推动范式变革、应对全球挑战和广泛开展全球合作的重要切入点。

为此,需要重视两个方面:一是还原论和系统论的融合。随着科学问题的愈加复杂和对时空动态结构及其过程的愈发关注,科学研究已逐步从分别关注每一层次单元细节和整体行为走向实现两方面的关联。二是探索不同层次复杂性中的简单规律并归纳多样性中的共性原理。这不仅需要学科交叉融合,更要从知识体系的完整性和应对重大挑战角度来辨识其中缺失的内容。

结合实证研究探讨上述两个方面,也许是推进科研范式变革的重要方向。在此趋势下,科技界应当积极探索范式变革的可行方向并逐步形成共识,才能形成通过范式变革有效应对重大挑战的全球力量。

2. 应对重大挑战是转变科研范式的重要驱动力

人类共同面对的全球挑战,如联合国17个可持续发展目标(SDGs)如何有效协调实现[1]?特别是应对气候变化,如何统筹在发展中实现碳中和?如何科学有效应对大规模流行性传染病以保障人类生命健康?这些都是集社会、经济、产业、科学和技术于一体的复杂性问题。只有

科学的进步，尤其是转变科研范式，才能给出最优的实现路径并提供科学支撑。

对科学自身发展而言，尽管对自然、人类自身及其生产活动的认知已深入到分子原子水平并拓展到整个宇宙涉及的时空范畴，但各领域仍因无法处理复杂性问题而面临困难。这表明知识还有缺失的环节，甚至应用已有知识的能力还有欠缺。例如，在应对新冠肺炎疫情中，我们深刻体会到科学技术快速进步发挥的作用，但也碰到如何深入理解病毒与人体多层次相互作用的问题。

为实现全球碳中和，如何系统优化分阶段分层次的策略，采取科学理性的政策引导，也是一个十分复杂仍待解决的问题[2]。这些均涉及复杂系统中多层次动态结构变化的调控和优化，需要实现还原论和整体论的融合，需要从各领域复杂案例中归纳共性规律，这都呼唤新科研范式的出现。针对这些挑战性问题，积极探索转变科研范式的典型案例，长期坚持，必然成为范式变革的有效推动力，也会是破解重大挑战的重要途径。

从历次范式变革来看，取得共识往往都要经历很长时间。当今科学已进入全球开放合作的时代，变革的动力也来自不同方面都充分感受到的共同挑战，所以一旦方向明确，变革的速度就可很快。因此，不失时机地确定变革的方向并逐步取得共识将十分关键！各领域存在的复杂性及其共性和多样性，应当是这一变革的焦点问题。对此，需要各学科领域的共同努力，不同领域都会作出各自的贡献。

3. 应当充分重视提升凝练科学问题的能力

无论是真正认识重大挑战性问题的本质，还是通过范式变革来解决这些问题，还是科学自身发展填补知识体系的缺失，最为关键的是要尽可能精准地凝练出所涉及的科学问题。凝练科学问题是科学研究的灵魂所在，往往决定了研究工作的价值、进展速度和水平。对基础研究而言，就是要以提出和解决科学问题为根本指向。当然，科学问题既来自科学前沿，也来自经济社会发展需求，不同类科学问题的解决都需要鼓励探索和突出原创。

对于什么是科学问题？一方面，由于科学问题来源的多样性和认知过程演化的复杂性，不太容易给出一个普遍共识的统一定义；另一方面，每个经过长期专业训练的科学家内心又自有“默契”的判断，而判断中的“默契”则是基于科学家学术素养所包含的共性，当然也存在多样性。复杂性、共性和多样性相互交织，使得“什么是科学

问题”成为科研工作者都试图回答却又难以达成明确共识的问题，往往是仁者见仁、智者见智。因此，有必要对科学问题的共性特征进行探讨，以便科学家之间形成最大限度的“默契”，这将有利于从复杂性和多样性中归纳共性。

对于科学问题的共同特征，无论是哲学层面所描述的科学问题是一种可知的未知，还是现实科研活动中科学家对科学问题的具体阐释，尽管表述多样但共同内涵应是明确的。可以认为：提出科学问题是探寻知识源头的过程，而任何一个科学问题所表达的内涵应该是当前知识体系中需要填补、完善或扩展的内容。当然，实践中经常存在将应用现有知识就能阐释的问题与尚需解决的科学问题混淆的情况，这是一个不容忽视的问题，混淆了基础研究和应用研究，会导致把基础研究做成无目标的应用研究，而把应用研究变成低水平的基础研究。

凝练科学问题的基本步骤与学科领域特点相关，但一般来讲可由浅入深归纳为：一是提出对事物或现象的疑问；二是探究解释这些疑问的科学视角；三是从选定的视角出发分析现有知识在释疑中缺失或需扩展的内容；四是确定填补这些内容需要聚焦的具体方向；五是深入思考开展不同主题研究可能涉及的共性规律。通过上述过程，不仅能够逐步明确科学问题，也可能对范式变革贡献有用的案例。

凝练科学问题的能力，决定了取得重大突破的进程和成本，也是学科交叉融合的黏合剂和科研范式变革的推动力。从不同视角可以有不同的分析，提出的问题也会有差异，但充分重视凝练科学问题，一定会激发百花齐放的学术氛围，为重大科学突破创造条件。青年人富有创造力和好奇心，思维惯性也最小，在这方面潜力最大。当然，各种疑问背后的困难也许是技术问题或工程问题，可能需要不同的思维和步骤。

致谢

感谢中国科学院国际伙伴计划(122111KYSB20170068)的资金支持。感谢 Manfred Horvat 的意见、建议和对文字的润色；感谢沈洁、徐进、唐荣达和邹立尧对稿件英文版的帮助。

References

- [1] Fu B, Wang S, Zhang J, Hou Z, Li J. Unravelling the complexity in achieving the 17 Sustainable Development Goals. *Natl Sci Rev* 2019;6(3):386-8.
- [2] Huang W, Li J. Optimizing the roadmap to carbon neutrality with a new paradigm. *Engineering* 2021;7(12):1678-9.