

7-20-2024

Constructing problemology that is symmetrical to methodology—Taking computer science as an example

Yuhang LIU

Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China,
liuyuhang@ict.ac.cn

See next page for additional authors

Recommended Citation

LIU, Yuhang and ZHANG, Yunquan (2024) "Constructing problemology that is symmetrical to methodology—Taking computer science as an example," *Bulletin of Chinese Academy of Sciences (Chinese Version)*: Vol. 39 : Iss. 7 , Article 38.

DOI: <https://doi.org/10.16418/j.issn.1000-3045.20240309004>

Available at: <https://bulletinofcas.researchcommons.org/journal/vol39/iss7/38>

This Disciplinary Development is brought to you for free and open access by Bulletin of Chinese Academy of Sciences (Chinese Version). It has been accepted for inclusion in Bulletin of Chinese Academy of Sciences (Chinese Version) by an authorized editor of Bulletin of Chinese Academy of Sciences (Chinese Version). For more information, please contact lcyang@cashq.ac.cn, yjwen@cashq.ac.cn.



Constructing problemology that is symmetrical to methodology—Taking computer science as an example

Abstract

Institutionalized scientific research encourages free exploration while emphasizing the organization and coordination of research activities. Nevertheless, overcoming dispersion and repetition in the research process is an urgent problem to be addressed. Taking computer science as an example, to implement the problem-oriented concept, this study proposes constructing problemology that is symmetrical to methodology. Methodology is the important manifestation of scientific and technological achievements, and symmetrically, problemology is needed by the scientific research community. The problematique is a crucial component of problemology, representing the level of understanding of problems within the scientific research community. Through problematique as a medium, it connects, bridges, and aggregates various links among industry, education, academia, and users, improving the quality and efficiency of institutionalized scientific research.

Keywords

science and technology problem; problem orientation; system engineering; problematique; problemology

Authors

Yuhang LIU and Yunquan ZHANG

引用格式:刘宇航,张云泉.构建与方法学对称的问题学——以计算机学科为例.中国科学院院刊,2024,39(7):1264-1275,doi:10.16418/j.issn.1000-3045.20240309004.

Liu Y H, Zhang Y Q. Constructing problemology that is symmetrical to methodology—Taking computer science as an example. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2024, 39(7): 1264-1275, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20240309004. (in Chinese)

构建与方法学对称的问题学

——以计算机学科为例

刘宇航* 张云泉

中国科学院计算技术研究所 北京 100190

摘要 建制化科学研究在鼓励自由探索的同时,强调研究活动的组织性、协同性。因此,如何克服科学研究过程中的分散重复,是一个亟待解决的问题。文章以计算机学科为例,为了将问题导向落到实处,提出构建与方法学对称的问题学。科学技术成果的重要表现形式是方法学,与之对称,科学研究共同体需要问题学。问题谱系是问题学的核心组成部分,代表着科学研究共同体对问题的认识水平。以问题为媒介,贯通、衔接、集聚产学研用各环节,提高建制化科学研究的质量和效率。

关键词 科学技术问题,问题导向,系统工程,问题谱系,问题学

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.20240309004

CSTR 32128.14.CASbulletin.20240309004

基础研究是整个科学体系的源头,是所有技术问题的总开关。2021年,中国科学院制定了《中国科学院关于加强基础研究的若干意见》(以下简称“基础研究十条”),强化需求导向和问题导向,加快实现

从“在干什么”“想干什么”向“该干什么”转变^①。建制化基础研究在鼓励自由探索的同时,强调研究活动的组织性、协同性,实现环节衔接、资源共享、优势互补、有效合作。作为一线科研人员,在日常科研

*通信作者

资助项目:国家重点研发计划(2023YFB4503904),中国科学院战略研究与决策支持系统建设专项项目(GHJ-ZLZX-2021-06),国家自然科学基金专项项目(L2124012)

修改稿收到日期:2024年5月30日;预出版日期:2024年6月27日

① 中科院召开基础研究工作专题会议部署新时期加强全院基础研究工作.(2021-11-06)[2024-05-27]. https://www.cas.cn/yw/202111/t20211106_4812915.shtml.

之余，笔者对“基础研究十条”进行了专题研究，特别是对建制化科学研究形成了若干思考。

如何优化科研组织模式、提高科研效能，以促进形成新质生产力，是一个重要问题。2023年9月，习近平总书记提出新质生产力这一概念^②，并在中共中央政治局2024年1月31日下午就扎实推进高质量发展进行第十一次集体学习中强调，“高质量发展需要新的生产力理论来指导”^③。为了实现中国式现代化，在科技的重要性日益提高、国际科技竞争和大国博弈日益激烈背景下，我国更加需要建立以问题为导向的新型科研组织模式和创新机制，促进形成新质生产力。

尽管我国科技事业取得了举世瞩目的长足进步，

但在科研组织模式方面还存在许多有待提升的地方，例如产业界（产）、教育界（学）、学术界（研）、用户（用）四者相互衔接不畅（表1）。相比半世纪前，现在科技发展的细分领域更多，新涌现的问题多，问题之间的关联性复杂，不同方向的研究者之间对彼此领域问题知之甚少，缺乏共识，跨方向跨学科研究者较少。

1 “科学技术问题谱系”的提出

构建自立开放的科学技术体系最终要落实到科学技术问题的提出和解决上。以信息技术领域为例，难的不是做出一款处理器芯片，或者实现一个技术指标，而是处理器生态怎么构建，技术体系怎么可控^[1]。

表1 我国科研组织模式在产学研用方面的待优化之处

Table 1 Diverse aspects of organization pattern of scientific research that need to be optimized in terms of integrating industry, education, research, and application

待优化之处	具体阐述
国家需求需要通过问题谱系明确表达	国家的中长期和现实需求没有被明确表达，科研工作的靶向性不明确
教育界与学术界需要问题谱系衔接	教育界仍为应试导向而不是问题导向，教育界的“功利化”削弱了学术界的人才基础
科研与科普需要通过问题谱系并举和互促	科研与科普脱节，科普的严谨性和有效性不足，大众不了解学术界和产业界遇到的问题，大众科学素养低加剧教育界的功利化、学术界的浮躁化
学术界与产业界需要通过问题谱系交互和衔接	学术界的热点与产业界的痛点、难点不完全匹配，存在人力财力投入比例、内容和时间等方面的错位，科技成果转化率低
学术评价需要通过问题谱系先立后破	学术评价没有贯彻先立后破，提倡“破四唯”，但没有提出立什么，学术评价缺少关于目标和问题的参照系和抓手
学术评价标准与产业发展目标需要通过问题谱系协调和对齐	我国科研界一定程度上存在从国外论文中找问题，模仿、跟踪国外研究的现象，从论文到论文，看重发表多少论文、发表在什么地方而不是解决产业界的问题
学科内部的科学与技术、研究与工程的分工需要通过问题谱系协同	对科学与技术的边界认识不清晰，以发表论文等同于做基础研究，以做实物等同于做工程；侧重点不同的研究人员之间协同不够，缺乏协同解决科学技术问题的意识
跨学科研究需要通过问题谱系协同	由于专业细分、知识量增加，学科之间的沟通媒介匮乏，跨学科研究目前面临壁垒

② 第一观察 | 习近平总书记首次提到“新质生产力”. (2023-09-10)[2024-05-27]. http://www.xinhuanet.com/2023-09/10/c_1129855743.htm.

③ 习近平在中共中央政治局第十一次集体学习时强调:加快发展新质生产力 扎实推进高质量发展. (2024-02-01)[2024-05-27]. https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202402/content_6929446.htm.

表面上看,贯穿生态和技术体系的是指令集、体系结构、知识产权核、芯粒、片上系统芯片、验证、电子设计自动化工具等方面,但表象的背后是各种各样的科学技术问题,这些问题在时间演变上、逻辑依赖上纵横交织,需要加以系统全面的研究。为此,本文提出“科学技术问题谱系”,以期推进人类进一步认知什么是不知道的、需要知道什么,以科学技术问题的形式把难点、痛点、卡点、重点表达清楚,然后组织人力、物力开展研究、开发。

我国当前需要从论文导向转变为问题导向,从关注发表在哪里转变为关注解决了什么问题,即解决科研要解决什么科学技术问题这一命题。在国际竞争日益加剧、国内人力资源成本逐渐提高的背景下,本文认为应该发挥中国特色社会主义制度下集中力量办大事的优势,全国“一盘棋”,通过构建“科学技术问题谱系”,明确科研靶向,梳理产学研用各主体之间关系,形成面向国家需求的成建制有组织科研组织模式,进而促成高水平的科研效能,提升我国科学研究的质量和效率,为顺利实现中国式现代化提供有力的科技支撑(图1)。

面向构建自立开放科学技术体系,本文提出问题学和问题谱系的概念与思路,核心观点如下。

(1) 当前我国需要从论文导向转变为问题导向、从关注发表在哪里转变为关注解决了什么问题,建立问题导向的新型科研组织模式,促进形成新质生产力,构建“科学技术问题谱系”。

(2) 在科技竞争日益加剧的背景下,凝练和提出问题,对问题之间的联系和问题的历史演变进行研究,建立“科学技术问题谱系”和“面向构建自立开放科学技术体系的问题学”,有助于将国家战略需求具体化、清晰化、落到实处,避免分散重复和盲目找题,贯通产学研用,统一话语体系,避免认识偏差,便于交流和评价。

(3) 通过问题谱系,构建从根本上解决“卡脖子”问题的整体方案及其生态体系,避免“刻舟求剑”“头疼医头、脚疼医脚”。一方面,任何一项已知技术要卡是卡不住的,解决只是时间问题;另一方面,解决一个被卡问题,可能还会在新的问题上被卡。解决“卡脖子”问题的根本出路在于了解整个科学技术体系中哪些问题已经被卡,并预见哪些问题可能被卡。为此,问题的提出和解决都需要系统化,提出时不宜简单罗列,而要去粗取精、去伪存真、去冗就简,梳理问题在逻辑上、时空演变上的联系,解决时不宜仅强调局部点上的指标,要注重生态系统在要素和能力上的整体构建,从问题体系的角度重视前瞻性和整体性,建立“面向构建自立开放科学技术体系的问题谱系”。

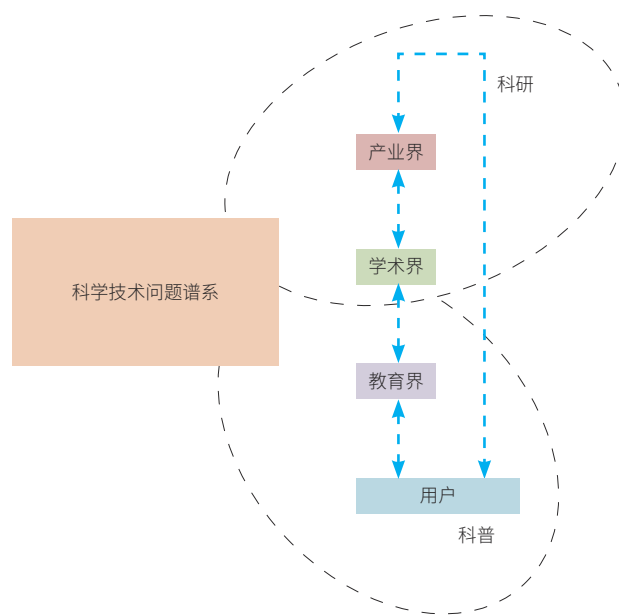


图1 “科学技术问题谱系”成为连通产学研用的媒介和科研科普的桥梁

Figure 1 Problematique of scientific and technological problems is taken as a medium connecting industry, education, research, and application, as well as a bridge for scientific research and science popularization

子”问题的整体方案及其生态体系,避免“刻舟求剑”“头疼医头、脚疼医脚”。一方面,任何一项已知技术要卡是卡不住的,解决只是时间问题;另一方面,解决一个被卡问题,可能还会在新的问题上被卡。解决“卡脖子”问题的根本出路在于了解整个科学技术体系中哪些问题已经被卡,并预见哪些问题可能被卡。为此,问题的提出和解决都需要系统化,提出时不宜简单罗列,而要去粗取精、去伪存真、去冗就简,梳理问题在逻辑上、时空演变上的联系,解决时不宜仅强调局部点上的指标,要注重生态系统在要素和能力上的整体构建,从问题体系的角度重视前瞻性和整体性,建立“面向构建自立开放科学技术体系的问题谱系”。

(4) 构建“科学技术问题谱系”在内容上需要从第一性原理角度思考,并进行细致的逻辑演绎,需要清晰严谨地交代问题背景和术语的确切含义,需要梳

理学术文献,面向中国短、中、长期发展需求,考虑产业界现实的痛点和难点及中长期的潜在的颠覆性科学技术,且与国际开放开源、共建共享。

(5) 构建“科学技术问题谱系”在形式上需要分方向分层次,梳理关联性,贯彻系统工程的思想;需要范式规整,推动科学共同体形成便捷统一的话语体系,便于联动和评价;需要总体设计,多主体协同,“静态为主、动态为辅”,逐步完善,建立产学研用的良性闭环,建立问题提出、解决、测评、应用、激励的良性闭环。

2 “科学技术问题谱系”的意义

科学研究是提出问题和解决问题的过程,一方面要研究如何解决问题,即方法学(methodology);一方面要对问题本身进行研究,研究问题的本质、起源、结构,即问题学(problemology)。真正的科学技术问题是客观的,不排除特殊性,但整体上具有一般性;不排除动态衍生性,但整体上具有静态稳定性。因此,科学技术共同体能够而且应该构造“科学技术问题谱系”,以全国“一盘棋”布局建制化的、有组织的、高效率的、靶向精准的科学研究。对每一个科学技术问题按照一定的范式进行清晰准确的定义和表述,再向产学研用各界公布,作为各界同向发力、攻坚克难的共同目标,打通教育与科研之间、学科方向之间、科研与科普之间的梗阻与鸿沟。

2.1 有助于将国家战略需求具体化、清晰化、落到实处

构建“科学技术问题谱系”有助于把面向世界科技前沿、面向国家重大需求、面向国民经济主战场、面向人民生命健康等目标落实到位。目前,国家有大量的亟待解决的问题,但是一些研究主体找不到或找

不准问题,导致研究力量的分配与问题的重要性之间没有合理匹配。“基础研究十条”提出要把围绕国家战略需求和科学前沿重大问题的定向性、体系化基础研究作为主要任务,创新选题机制和组织模式,加强人才队伍建设。哪些是最紧迫的科技问题,哪些是世界前沿问题,哪些是它们的交集,哪些是短、中、长期国家战略需求,这些已经不是仅凭研究者个体的直觉或者科技管理部门的简单决策能够准确回答的,而是需要以问题学的形式进行系统深入的专门研究、统一规划、顶层设计、联动实施。长期以来,我国科研工作者花费了较多精力撰写项目申请书,一些科研工作者为了获得资源和经费而申请项目,而不是因为有实际的研究动机而去申请项目;有些项目评审“打招呼”现象还时有发生;项目申请成功后有些主体并没有或客观上不能按照“编制的剧本”开展研究,有些项目的结题验收并没有回归到问题本身,有些项目成果以论文、专利等形式作为完成标准而非解决问题本身作为标准。例如,2020—2022年我国某高校累计获得财政投入科研经费1.79亿元,实施科研项目702个,仅有5个项目成果实现市场转化,占比0.71%;某高校累计获得财政投入科研经费1.31亿元,实施科研项目862个,实现成果转化0个^④;另据国家自然科学基金委员会统计,2018—2021年约7成评审专家“被招呼”^[2]。国家给予支持的科研项目数量巨大,但从国家顶层和全局看,奖项、项目、文章、人才称号等都只是中间产物或管理手段,而不是国家战略需求。在新时期,研究者都应把精力放在思考问题和解决问题上,而不是最大精力用在撰写项目书的“八股文”上。问题学是一门关于问题本身的科学,只有通过问题学才能把国家的战略需求以问题的形式具体化、清晰化、落到实处。

^④ 王石川. 提高成果转化率“做有用的科研”. (2023-08-09)[2024-05-27]. http://news.youth.cn/jsxw/202308/t20230809_14706362.htm.

2.2 有助于避免“盲目找题”和“分散重复”，有助于贯通产学研用

通过“科学技术问题谱系”将产学研用各界更加紧密的协同起来。打破盲目摸索找问题和分散重复表述问题的局面，中国的科研生态可能会焕然一新，产学研用协同模式可能会发生深刻变革，科研效率和质量可能会有质的飞跃，进而促进形成新质生产力。产学研用这四者之间，两两配对存在6对关系，以下将举例教育界（学）和学术界（研）进行详细阐述。

（1）教育界（包括基础教育和高等教育）应该更多关注学术界在研究什么问题，从而知道“应该怎么学、应该怎么考、学了有什么用”。如果有“科学技术问题谱系”，学生就能在学习中更有目标感，将当前的学习与未来的职业发展，以及报效社会和国家联系起来，增加学习的内生动力，实现习近平总书记所提倡的从“要我学”到“我要学”的转变。

（2）在学术界内部，问题的提出要避免分散重复、随意化的现象。“10 000个科学难题”丛书^[3]代表了我国学术界对科学问题的系统整理的较高水平，从中提取计算机系统结构领域的8个科学技术问题，可以发现：① 这些问题的主要形式是“如何达成某个目标”。这8个计算机系统结构领域的科学技术问题具体是：问题1“如何持续提升计算机系统的性能”，问题2“计算机系统如何成为可靠的系统”，问题3“电脑（计算机）能否接近人脑”，问题4“互补金属氧化物半导体（CMOS）工艺特征尺寸的极限是什么”，问题5“处理器芯片的性能极限是多少”，问题6“如何突破冯诺伊曼结构的挑战”，问题7“如何应对计算机的存储墙”，问题8“如何克服计算系统的能耗瓶颈”。② 这些问题之间并不是独立的，而是存在着重叠、重复、因果、相关等不同的关系；只有加以系统梳理和整合，才能避免分散重复，才能做到交叉融合。详细分析相关问题的文本描述，可以发现：问题1是一个根本性的问题，目的在于提供足够的算力；

问题1有助于解决问题3，但似乎不能替代问题3；问题5与问题1基本相同，在问题5中整理者只提到摩尔定律如果失效，后续如何应对，问题1则提到了能耗问题（这是问题8）、如何挖掘和表达应用的并行性、如何保证可靠性（这是问题2）；关于摩尔定律何时失效、能延续到何种程度，这是问题4；问题7由问题6导致，然后又是问题1的成因之一。

2.3 有助于统一话语体系和避免认识偏差，便于交流和评价

不同的申请者对同一问题表述的尺度不同，对于“什么是问题”“问题的严重性和重要性如何”，不同的研究者由于知识掌握的不同和利益不同等因素，观点往往不一致。这种观点的不一致往往是学科分类过细、个体之间因为术业有专攻引起的信息不对称造成的。国家调动各方面的力量和资源，经过规范的流程，进行充分的论证和审核，以自己的公信力为基础，保证问题是“真问题”。如果这种由于学科分类过细、术业有专攻引起的信息不对称而出现观点不一致的“认识偏差”情况被解决，中国的科研生态在一定程度上可能会被重塑，科研模式、科学共同体交流模式、科研评价方式、科研与科普的互动会发生深刻变化，进而产生更高水平的新质生产力。

在构建自立开放的科学技术体系的过程中，凝练和提出问题，对问题之间联系和问题的历史演变的研究，本身是科学研究的一部分，本文称之为“面向构建自立开放科学技术体系的问题学”，应建立并加强问题学的研究。尤其注意，简单地罗列问题通常是远远不够的，为了能够系统、深刻地揭示问题的本质及问题之间的联系，需要去粗取精、去伪存真、去冗就简，并梳理问题在逻辑上、时空演变上的联系。

3 “科学技术问题谱系”的内容

知易行难，需要研究如何构建“科学技术问题谱系”。构建“科学技术问题谱系”应坚持以下3条

原则。

3.1 从第一性原理角度思考，并进行细致的逻辑演绎

定义问题要按照事物的本来面目进行，要有因果逻辑的论证，要细致地、客观地从问题的源头说起，给出最根本的因^[4]，即第一性原理。例如，在计算机科学中，对存储墙问题（memory wall problem）来说，最根本的因是迫及问题^⑤，但是不要因此就认为整个问题很简单，因为还要从第一性原理出发进行逻辑演绎。存储墙问题是指计算机系统内的计算部件的性能与存储部件的性能具有不同的增长速率，前者的增长速率大于后者的增长速率，于是形成越来越大的剪刀差，进而导致：对于大量的数据密集型应用，计算机系统整体的性能受限于存储系统，此时由于阿姆达尔定律（Amdahl's Law）的制约，进一步改进计算部件的性能并不能对计算机系统的整体性能有显著的裨益。因此，存储墙问题可以归结为迫及问题和阿姆达尔定律。从上面的分析可以看出，定义科学技术问题，需要从第一性原理出发，以清晰简练的语言进行严谨缜密的逻辑演绎，充分把问题的来龙去脉表达清楚，即提出并准确地表达问题是解决问题的第一步。

3.2 清晰严谨，交代问题背景和术语的确切含义

第一性原理只是思考的起点，起点之后还需要对问题背景和术语的确切含义进行交代。例如，对于存储墙问题，有些大同行仍然有不解之处，可能会提出这样的一些问题：①问题中的“计算部件的性能”的“性能”是如何衡量的，是指什么性能，是指浮点运算性能还是定点运算性能；②问题中的“存储部件的性能”的“性能”是如何衡量的，是指存储访问的延迟还是存储带宽；③为什么计算机系统内的计算部件的性能与存储部件的性能一定具有不同的增长速率，为什么前者的增长速率一定大于后者的增长速率，是

技术因素还是非技术因素导致的，这些因素在过去和现在的情况如何，未来是否发生变化；④什么是阿姆达尔定律；⑤计算机系统上应用程序的执行时间取决于哪些因素，计算机系统上应用程序的执行时间与计算部件的性能是如何关联的，计算机系统上应用程序的执行时间与存储部件的性能是如何关联的等。可以看出，定义科学技术问题，不仅需要第一性原理和逻辑演绎，还需要交代问题背景和术语的确切含义，标题式、口号式、愿景式的表述都不能满足这一要求。

3.3 梳理学术文献，面向中国短、中、长期发展需求，考虑产业界的痛点和难点，且与国际开放开源共建共享

“科学技术问题谱系”的构建要服务于中国式现代化，在定义科学技术问题时，要着重考虑中国现实需要和长远需要，考虑产业界的痛点、难点。从这个意义上说，“科学技术问题谱系”的构建会促进学术界与产业界的合作，促进学术界成果转化，节省企业研发成本，提升数字经济对经济社会发展的贡献度。

“科学技术问题谱系”的构建也要坚持国际化，注意对提出问题的开篇之作进行严谨考证，用国际通行术语，坚持科学技术问题的学术性、客观性、普遍性。例如，对国际上第一篇关于“存储墙”问题的学术文献进行详细的考证，促进了国内学术界对这一重要问题的理解^[5]。可以说，如果没有这样对原始文献的考证，仅仅靠其他渠道只言片语的转述，断章取义，望文生义，将很难准确完整理解“存储墙”问题。因此，提出建立信息技术领域的考据学，目的就是梳理信息技术领域的原始问题、原始概念、原始方法及其历史关联与演变^[5]。

4 “科学技术问题谱系”的形式

在形式上，“科学技术问题谱系”应具有以下

⑤ 同向运动的两个物体，尽管两者都在前进，速度较慢的那一个永远追不上速度较快的那一个，且两者的差距会越来越大。

特点。

4.1 分方向分层次，梳理关联性，贯彻系统工程的思想

科学技术问题的粒度是构建问题谱系时需要考量的重要因素之一。不是所有未知都是科学技术问题，需要抓住学科的主干、根本任务、起点和终点、输入和输出。没有准则地提出问题，可能导致无效劳动，不利于甚至干扰真正的核心问题被重视、研究和解决。例如，前文中8个计算机系统结构领域的科学技术问题具体到每个问题都是一篇文章^[3]，但是粒度有大有小，不应停留于一句话或几句话来简单罗列问题，也不应根据描述问题的篇幅来确定问题的粒度大小，而应根据问题的内涵确定问题的粒度。各种粒度的问题都有意义，且相互之间可能存在关联。

建立问题的谱系，而不是问题的散点集合。计算机学科有不同的方向，定义科学技术问题可以分方向进行，然后按照“最小完全集”的思想，每个方向先给出前10位的问题（这些问题往往是“根”问题），再考虑前30位的问题（这些问题除了“根”问题，还包括“枝”问题），再给出前100位的问题（这些问题除了“根”问题和“枝”问题，还包括“叶”问题）。最后会发现问题之间存在千丝万缕的关系，问题之间具有层次性，有一级问题，一级问题下面又分为二级问题，以此类推，至此形成了树状的问题集合。不同的问题之间作为“因”共同作用的结果，往往导致了新的问题。所以问题之间的最终呈现情况是较为复杂问题关联图，而只有从全局把握问题关联图，才能系统地开展交叉研究和联合攻关。

通过“科学技术问题谱系”促进学科融合。学科的不同方向是出于学科知识爆炸与人精力有限的考虑，为了便于分工而人为进行划分的结果，不同的方向之间在研究目标、研究方式、研究内容侧重点上有区别，但这种区别不是绝对的，不同方向之间没有泾渭分明的分界线，不同方向的问题也不是一定不相干

的。以计算机学科为例，真正定义了计算机学科的主要问题也就基本定义了计算机整个学科，真正理解了主要问题也就基本理解了整个学科。一开始不试图定义“全部”问题，不同方向先抓住前10位、前30位与前100位的基本问题和核心问题，形成问题关联图，不断规整、梳理，很快就会发现没有想象得那么多。然而，问题数量不多不代表问题简单，国家可以考虑组织产学研用等力量，扎实细致协同推进这项重要的系统工程。

通过“科学技术问题谱系”促进从根本上解决“卡脖子”问题的整体方案及其生态体系，避免“刻舟求剑”“头疼医头、脚疼医脚”。一方面，任何被“卡脖子”的已知技术终将被突破，只是时间问题；另一方面，解决一个“卡脖子”技术之后，可能会继续遇到新的“卡脖子”技术。因此，解决“卡脖子”问题的根本在于全面了解整个科学技术体系中的现有“卡点”，并预见未来潜在“卡点”，从问题谱系的角度注重前瞻性和整体性。为此，问题的提出不宜简单罗列，而要去粗取精、去伪存真、去冗就简，梳理问题在逻辑上、时空演变上的联系；问题的解决不宜仅仅强调局部的指标，应注重生态系统在要素和能力上的整体构建，建立“面向构建自立开放科学技术体系的问题谱系”，实现问题学与方法学的对应和联动。

4.2 范式规整，推动科学共同体形成便捷统一的话语体系，便于联动和评价

“科学技术问题谱系”所包括的问题会有一定数量，但不会太多。粗略估算，每个三级学科核心问题不超过10个，如果每个核心问题衍生不超过3个“子问题”，那么细分的“子问题”就不超过30个，再细分的“孙问题”不超过90个，数量是有限的。如果规划设计好流程，并行分布式去做，预计耗时不多。

科学技术问题的定义在被达成广泛共识之后，最好有统一的范式便于引用和交流。参考范式应该包含以下要素：①问题的名称、编号；②问题的基本描

述（所述的学科方向，基本原因，基本后果，属于科学问题、技术科学问题还是工程问题）；③问题在第一性原理下的逻辑根源追溯；④问题从根源直至产生的逻辑演绎；⑤问题的背景和术语的确切含义，包括涉及的里程碑式的一系列学术文献；⑥问题解决之后的意义；⑦与其他问题的关联；⑧问题的研究现状和解决方案的历史演进轨迹；⑨对问题本身的认识的历史演进轨迹，包括问题描述的修改的时间和内容。研究生写学位论文、研究人员申请项目、学术界和产业界交流，直接引用问题编号或简称即可，形成统一的话语体系，把更多精力放在发挥聪明才智解决问题上。

4.3 建立问题提出、解决、测评、应用、激励的良性闭环

构建“科学技术问题谱系”需要总体设计和多主体协同。发挥中国特色社会主义制度能够集中力量办大事的优势，通过问题导向，重新梳理不同主体之间关系，形成面向国家需求的成建制有组织科研生产关系。①教育的目的之一是培养能解决问题的人，应让教育领域了解科学技术问题，让小学、中学、大学在问题的背景下去教学，使学生们能学以致用。②让普通大众了解科学技术问题，通过问题而不是知识来贯通科普与科研的鸿沟。③资助和管理机构通过不同问题在意义和难度上不同来规划资金资源分配比例，通过问题解决的质量和彻底性来评价科研活动。④坚持“自上而下”和“自下而上”相结合，建立多种选题机制，包括与重要行业部门和骨干企业对接，从国家战略和经济社会发展重大需求中凝练基础科学问题；充分发挥老中青不同年龄层次科学家作用，从科学发展中凝练提出前沿科学问题等。

构建“科学技术问题谱系”需要建立产学研用的良性闭环。中国科学院的高技术类研究院所形成的共识是不能将科研成果停留在论文上^[6]。孤立地、随意地提出带有问号的语句，不等于提出问题；仅仅停留

于发表论文，不等于解决问题；签订横向合作合同，不等于应用；落地应用，不等于产生预期价值。因此，自立开放科学技术体系需要建立产学研用的闭环，需要明确各主体、各环节的主责主业和边界，做好边界交互和衔接。

构建“科学技术问题谱系”可以借鉴国内外先进经验。2005年，《Science》创刊125周年之际，由各领域专家组成的编委会挑选了125个挑战全球科学界的重要基础问题（以下简称“125个问题”）^[7]。2015年，《科学通报》邀请相关领域的100余位专家、学者对这些问题进行了解读^[8]，笔者就其中计算机科学领域的问题在自己的专著中进行了介绍和解读^[5]。

构建“科学技术问题谱系”，可以了解和借鉴这些历史上的基础工作。科研水平走在世界前列需要在问题的提出、解读、解决等环节都走在世界前列。同时，“125个问题”只是全部问题中的一小部分，还有更多的与“125个问题”同等层次的问题，“125个问题”内部还有细分问题，我国在这方面面临着重要的机遇，在现代科学技术领域的问题学和问题谱系的创立和发展上大有可为。

构建“科学技术问题谱系”要坚持开放开源。依托各学科一流科学家不等于只依靠少数科学家，个体的科学家总是有一定的局限性，鼓励专业人员和非专业人员对问题谱系进行讨论、修订和完善，采取版本控制和审核的机制，坚持教育链、产业链、创新链和科普链的融合，让科学技术问题家喻户晓、深入人心，激发全民的科学精神和科研热情，把全民族的智慧与人类面临的科学技术问题衔接起来。随着研究的深入，问题本身可能在变化，旧的问题可能被彻底解决，也可以被部分解决，或以新的形式呈现，这些都可以通过修订解决。要鼓励科研工作者了解已有科学技术问题的同时，主动发现可能的新问题，并在已有的科学技术问题体系中找到新问题的定位：新问题究竟是哪一层级的问题，是“主干”上的新问题，还是

“枝叶”上的新问题,越接近“枝叶”,就越接近工程技术。

构建“科学技术问题谱系”,既要做加法,又要做减法;既要分解,又要整合。要过滤闭门造车、故弄玄虚、追逐媒体话题热点形成的伪问题、次问题。学科交叉领域的问题,由具备多个领域造诣的研究者提出,经过讨论、审核的多次迭代,重新梳理整合多学科之间的目标差异、路径差异,打通学科之间的梗阻,实现学科融合。

构建“科学技术问题谱系”需要做好一般性与特殊性、稳定性与动态性的统一。建制化基础研究需要兼顾计划性和灵活性,兼顾静态稳定性和动态衍生性,因此,从科研组织模式的角度,可以构建一个“静态为主、动态为辅”的问题谱系。①鼓励科研人员独立提出科学技术问题和科学技术思想,加大支持非共识和颠覆性项目,定期发布重要选题榜单,动态调整,滚动更新,揭榜挂帅,持续攻关。②由一批合适的具有丰富知识和经验的研究人员凝练形成一批科学技术问题,从问题的角度,把学科的“四梁八柱”建立起来,建立学科的关于基本问题的“基本面对”。在丰富的现实世界中,应用的场景在不断发展变化,在解决已知问题的过程中,人的认识会继续深化,可能会发现新问题,这时可以继续凝练,新凝练的问题因为“基本面对”的存在而定位更加清晰。在一定的时期内,新凝练的问题一般不会动摇“基本面对”,因此,“基本面对”的参照系意义愈加值得重视。

5 “科学技术问题谱系”的迫切性

从科研范式变革的历史维度看,关于现代科学技术的问题学的研究尚属空白。不同的时代具有不同的科研范式,以信息技术领域为例,新中国成立后,先后经历了实物导向、简单论文导向、高质量论文导向

3个阶段。具体来说,改革开放以前,科技工作者注重研制实物;改革开放以后,有一些学者通过在国际上发表论文进行学术交流,相当一段时间的风向标是发表论文;后来中国计算机学会推出了“推荐会议或期刊”。然而,目前还没有一个较为完备的问题谱系,对问题学的研究曾引起国外一些研究者的重视^[9,10],但尚没有发现我国在现代科学技术领域关于问题学的系统研究。

从认识过程的维度看,关于科学问题的重要性曾被多个领域的重要人物强调,但没有“问题学”这样的系统的理论和“问题谱系”这样的具体的产物。无论是学科还是项目,最根本的内在驱动力是科学技术问题。习近平总书记在2020年9月科学家座谈会上指出:“科研选题是科技工作首先需要解决的问题”^⑥。哲学家卡尔·波普尔说:“科学和知识的增长永远始于问题,终于问题——越来越深化的问题,越来越能启发新问题的问题”^[11]。爱因斯坦说:“提出一个问题往往比解决一个问题更为重要,因为解决一个问题也许只是一个数学上或实验上的技巧问题。而提出新的问题、新的可能性,从新的角度看旧问题,却需要创造性的想象力,而且标志着科学的真正进步”^[12]。根据到19世纪为止数学发展的整体状况,希尔伯特在1900年巴黎第二次世界数学家大会上提出23个重要的数学问题,统称为“希尔伯特23个问题”,有力地推动了20世纪数学的发展,希尔伯特十分强调“问题”的重要性,他在关于23个问题的报告中说“只要一门科学分支能提出大量问题,它就充满着生命力,而问题缺乏预示着这门学科的衰亡或中止”^[13]。

从实践的系统性、深度和完整性的维度看,国内外在科学技术问题收集整理方面开展了一些工作,但没有“问题学”这样的系统的理论和“问题谱系”这样的具体的产物。①国内。我国科技工作者在2011年

⑥ 习近平:在科学家座谈会上的讲话。(2020-09-11)[2024-05-27]. https://www.gov.cn/xinwen/2020-09/11/content_5542862.htm.

曾经尝试做过科学技术问题的收集和整理工作^[3],积累了后来者可以借鉴的宝贵经验,但客观地说,这些收集和整理在系统性、精细度、标准化、实际影响力和可行性等方面还存在一定不足,主要体现为:问题的提出随意化,受到问题整理者认知局限性的影响较大,对问题之间的关系缺乏梳理和合并,分散重复,范式不统一。2024年7月,中国科学技术协会发布了具有前瞻性、创新性和引领性的10个前沿科学问题、10个工程技术难题和10个产业技术问题。据报道,征集发布活动共收到102家全国学会和学会联合体、企业科协 and 高校科协推荐的597个问题难题,评选过程进一步突出高层次专家评议指导,129位院士专家在复选、终选等环节进行评议把关^⑦。需要思考,如何在问题的提出和遴选过程中避免随意性、主观性,避免把具有客观性的问题学变成了凭借主观印象(其又往往受到宣传报道的影响),避免只言片语的文字表述而导致问题阐释不精准全面。② 国外。2016年、2019年、2023年,美国先后发布或更新了《国家人工智能研发战略计划》;2017年,日本发布了《研究开发俯瞰报告2017》;2022年、2024年,美国先后发布或更新了《关键与新兴技术清单》,列出了10余个技术及其分支。这些计划或报告提出了一些宏观愿景和挑战,也做了一些具体重点方向的筛选预判,但缺乏从问题学的角度进行的微观分析、关联和梳理,这些不足某种意义上也正是我国的机遇。

6 结束语

当代中国智力资源丰富且有中国特色社会主义制度能够集中力量办大事的优势,推进中国式现代化迫切需要实质性地、高效率地解决真问题、根问题,需要在问题的提出、解读、解决等环节上扎扎实实做好

基础工程,实现率先和自立。从问题的角度看,一个学科的最基本的问题就构成了这个学科的“四梁八柱”。当前我国倡导破“四唯”,但没有回答立什么。从优化科研组织模式的角度,本文提出“立问题”,即构建“面向构建自立开放科学技术体系的问题学”和“科学技术问题谱系”,落实问题导向,促进产学研用结合,提高科研效能,促进形成新质生产力。构建“科学技术问题谱系”,是一个需要做大量工作的系统工程、公共工程、基础底座,本文进行了关于必要性和可行性的论证,抛砖引玉,期望更多有识之士共同思考解决。

致谢 本文是作者参与中国工程科技2040发展战略(信息与电子领域)研究的一部分成果,来自同济大学、北京航空航天大学、北京理工大学等单位的同志提供了大量材料,为本文部分观点的形成提供了帮助。中国科学院计算技术研究所李国杰院士、中国科学院科技战略咨询研究院王海名及匿名审稿人为本文提出了修改建议。

参考文献

- 1 孙凝晖. 对信息技术新体系的思考. 中国科学院院刊, 2022, 37(1): 8-14.
Sun N H. Thoughts on new IT technique system. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2022, 37(1): 8-14. (in Chinese)
- 2 郝红全, 赵英弘, 杨好好, 等. 2022年度国家自然科学基金项目申请、评审与资助工作综述. 中国科学基金, 2023, 37(1): 3-6.
Hao H Q, Zhao Y H, Yang H H, et al. Proposal application, peer review and funding of national natural science foundation of China in 2022: An overview. Bulletin of National Natural Science Foundation of China, 2023, 37(1): 3-6. (in Chinese)
- 3 “10 000个科学难题”信息科学编委会. 10 000个科学难题

⑦ 中国科协发布2023重大科学问题、工程技术难题和产业技术问题. (2023-07-02)[2024-07-02]. http://paper.people.com.cn/hwb-wap/html/2024-07/08/content_26067876.htm.

- (信息科学卷). 北京: 科学出版社, 2011.
- Information Science Editorial Board of 10 000 Scientific Challenges. 10 000 Scientific Challenges (Information Science). Beijing: Science Press, 2011. (in Chinese)
- 4 孙凝晖. 对青年科技工作者战略思维的思考. 中国计算机学会通讯, 2023, 19(4): 50-52.
Sun N H. Considerations on strategic thinking among young technology professionals. Communications of CCF, 2023, 19 (4): 50-52. (in Chinese)
 - 5 刘宇航, 包云岗. 计算机系统开创性经典文献选读与解析. 北京: 机械工业出版社, 2023.
Liu Y H, Bao Y G. Selection and Analysis of Seminal Literature in Computer Systems. Beijing: China Machine Press, 2023. (in Chinese)
 - 6 孙凝晖, 李小娟. 关于信息领域科技成果转化的一点思考. 中国科学院院刊, 2024, 39(2): 367-372.
Sun N H, Li X J. Thoughts on transformation of scientific and technological achievements in field of information technology. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2024, 39(2): 1-6. (in Chinese)
 - 7 Kennedy D, Norman C. What don't we know?. Science, 2005, 309: 75.
 - 8 《科学通报》编辑委员会, 高福. Science 125 个前沿问题解读. 北京: 科学出版社, 2019.
Editorial Board of *Chinese Science Bulletin*, Gao F. Interpreting 125 Cutting-edge Questions in Science. Beijing: Science Press, 2019. (in Chinese)
 - 9 Checkland P, Poulter J. Soft systems methodology// Reynolds M, Holwell S. Systems Approaches to Making Change: A Practical Guide. London: Springer, 2022.
 - 10 米歇尔·梅耶. 论问题学: 哲学、科学与语言. 史忠义, 译. 北京: 中国社会科学出版社, 1986.
Meyer M. De la problématique: Philosophie, science et langage. Translated by Shi Z Y. Beijing: China Social Sciences Press, 1986. (in Chinese)
 - 11 Popper K R. Conjectures and Refutations: The Growth of Scientific Knowledge. New York: Basic Books, 1962.
 - 12 Einstein A, Infeld L. The Evolution of Physics. Cambridge: Cambridge University Press, 1938.
 - 13 Hilbert D. Mathematical Problems. (1900-08-08) [2024-05-21]. https://www.aemea.org/math/Hilbert_23_Mathematical_Problems_1900.pdf.

Constructing problemology that is symmetrical to methodology

—Taking computer science as an example

LIU Yuhang* ZHANG Yunquan

(Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract Institutionalized scientific research encourages free exploration while emphasizing the organization and coordination of research activities. Nevertheless, overcoming dispersion and repetition in the research process is an urgent problem to be addressed. Taking computer science as an example, to implement the problem-oriented concept, this study proposes constructing problemology that is symmetrical to methodology. Methodology is the important manifestation of scientific and technological achievements, and symmetrically, problemology is needed by the scientific research community. The problematique is a crucial component of problemology, representing the level of understanding of problems within the scientific research community. Through problematique as a medium, it connects, bridges, and aggregates various links among industry, education, academia, and users, improving the quality and efficiency of institutionalized scientific research.

Keywords science and technology problem, problem orientation, system engineering, problematique, problemology

刘宇航 中国科学院计算技术研究所副研究员,《中国计算机学会通讯》编委、专栏作家,中国计算机学会高级会员。研究方向为计算机体系结构、高性能计算、存储系统、智能并发系统。E-mail: liuyuhang@ict.ac.cn

LIU Yuhang Associate Professor of Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences. Editorial Board Member and Columnist of *Communications of CCF*. Senior Member of China Computer Federation (CCF). His research interests include computer architecture, high performance computing, memory systems, and intelligent concurrent systems. E-mail: liuyuhang@ict.ac.cn

■责任编辑: 文彦杰

*Corresponding author