

科技评论

以“小而美”科学范式提升基础研究原始创新能力

王鑫,王川西,孙昌璞*

摘要 中国科技发展进入关键攻坚阶段尤其需要加强原始创新。基础研究是科技原始创新的源泉,但当下中国基础研究存在研究团队过大、研究方向同质化、缺乏核心能力,从而导致原始创新能力不足等问题。在国家层面,这些问题具体表现为团队研究不够精专、研究内容重复度较高、整体形态呈现“逆多样性”特征,逐步演化为“资源驱动型”科研范式,造成科研资源使用低效,导致的科研生态环境不利于原始创新的培育和发展。在基础研究领域,以科研团队“小而各彰其美”、科研人员“专而各显其长”为特征的“小而美”基础研究范式极具科技原始创新价值,能在资源约束下保障国家科研整体的“多样性”和国家科技链安全。以精专探索与原创突破实现基础研究的核心价值,要求每一个团队聚焦各自独特的研究方向长期深耕,其成员以“十年磨一剑”的精神进行专业积淀和问题攻坚。由此形成的科研生态多样性和高效配置资源,能在国际竞争中保障中国科技发展的韧性。

关键词 原始创新;基础研究范式;多样性;科学家精神;项目负责人制

1 基础研究需要回归“小而美”的创新模式

中国科技发展已进入关键攻坚期,“十五五”规划将原始创新与关键核心技术攻关置于至关重要的战略位置。在总体资源有限的约束下,加快培育原始创新能力、提升原始创新水平、增强科技发展应对外部环境变化的韧性,成为当前科技领域的迫切任务。基础研究作为原始创新的核心源泉,其核心特征在于自由探索。2024

中国工程物理研究院研究生院,北京 100193

年,习近平总书记在全国科技大会、国家科学技术奖励大会、两院院士大会上指出,要鼓励自由探索,筑牢科技创新根基和底座^[1]。

本文界定的以自由探索为特征的基础研究,是指科学家依据科技发展前沿动态与国家经济社会发展需求,自主选择研究方向,开展以原始创新为目标的科学研究,因此,有别于工程技术领域中面向共性基础问题开展的基础性研究,这里的“自由”,核心在于科学家拥有充分的科研自主权与学术争论的自由。除需要依托大科学装置(如粒子对撞机等)开展的部分

研究外,多数基础研究天然具有“小而美”的特质:“小”体现为研究团队规模精简、研究方向聚焦;“美”的内涵则直指原始创新——以独特视角探索科学认知边界、以专精探索实现从0到1的突破,这种“美”既表现为科研人员研究特色和风格,更落脚于科学发现的原创性。这种“小而美”的模式,能为科学研究整体注入多样性要素,让不同团队、不同学者在各自深耕的领域释放科学原创潜能。

2025年诺贝尔物理学奖表彰了3位科学家在宏观系统量子隧道效应及能级量子化领域的开创

收稿日期:2026-01-06;修回日期:2026-01-14

基金项目:国家自然科学基金项目(12088101);中国科学院学部咨询评议项目(2022-SL01-A-001)

作者简介:王鑫,副研究员,研究方向为科技政策与科技管理,电子信箱: xinwang@g scaep.ac.cn;孙昌璞(通信作者),教授,中国科学院院士,研究方向为量子物理、数学物理和量子信息理论以及面向国家需求的基础研究,电子信箱: suncp@g scaep.ac.cn

引用格式:王鑫,王川西,孙昌璞.以“小而美”科学范式提升基础研究原始创新能力[J].科技导报,2026,44(3):17-27;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2026.01.00024

性实验工作。这一极具特色的原创成果正是由导师与博士后、研究生组成的“小而美”团队完成的。其中的关键理论认知——“宏观量子”不等于“量子宏观”，是源于理论物理学家莱盖特(A. Leggett)的独立理论创新。此外，诺贝尔奖委员会在提及该成果对超导量子计算的推动作用时，特别肯定了中国学者于扬和游建强的贡献——二人并非国内著名大团队的热点人物，却凭借在实验与理论领域的深入研究，作出不可或缺贡献。

中国物理学家薛其坤(现南方科技大学校长)带领的研究团队通过三温度法,实现了拓扑材料组分与结构原子级精准样品制备,长出国际最高质量样品,4年制备1000多个5 nm级薄膜,攻克拓扑、绝缘、磁性共存的诸多材料制备难关,一步一步实现了对拓扑绝缘体的精密调控,在国际上率先实现了量子反常霍尔效应的实验验证。这一标志性的重大科学进展,除了得益于张首晟(斯坦福大学终身教授)、方忠(中国科学院物理研究所研究员、中国科学院院士)和戴希(香港科技大学教授)等的理论工作,以及吕力(中国科学院物理研究所研究员)的精密测量研究,更重要的是薛其坤牵头的多年合作形成的“小而美”核心攻关团队(含清华大学教授王亚愚、清华大学教授马旭村和清华大学教授何珂等少数核心负责人),以博士研究生为执行主力,人员结构精简、分工明确、效率极高。目标聚焦、决策链短、仪器与人员高度磨合,可快速迭代实验方案,契合量

子材料原子级制备与精密测量的高强度攻关需求。毫无疑问,这一重大的研究成果是中国学术界“小而美”科研范式的生动写照:研究工作既聚焦于物理学领域的重大问题,又充分发挥“小而美”团队实验技术的“高精尖”特色。

梳理2000年以来诺贝尔物理学奖的获奖情况可见,其中有16年授予实验方面,7年授予理论方面,另有3年涵盖实验与理论领域,但其中没有科学家因在理论和实验方面合作并共同发表文章而获奖。这表明,除依托大科学装置的研究外,多数诺贝尔奖成果源于“小且专精”的原始创新——团队规模精简却聚焦核心问题,学者深耕一隅却实现原创突破,这正是“小而美”中“美在原始创新”的核心要义。回顾近代物理学发展历程,其中极少有重要的科学工作(获得诺贝尔奖量级的工作)是理论与实验直接合作完成发表。而目前中国发表在国际著名科技期刊中的研究工作,理论与实验一起发表的情况较为常见。部分领域和团队过分强调理论与实验“捆绑式”发展,本质上是为争夺学术资源而刻意拓展研究范围,而非出于科学问题本身的内在需求。这就导致原本专注理论的学者“被迫”涉足实验领域,原本深耕实验的学者也盲目拓展理论方向,团队规模随之膨胀,凭借庞大体量争夺资源,使得专注细分领域的小团队和个人在资源竞争中屡屡受挫,难以持续发展。而原本各具特色的理论组与实验组,在这种外延式扩展的推动下,学术特色消失殆尽,科学探索的精专性大打折扣,原始

创新能力随之下降。

上述现象在一定程度上折射出中国当前基础研究呈现“大而平庸”的特征和“逆多样性”现象,这与“小而美”的范式背驰。本文所指的“大而平庸”,并非否定科研团队规模合理扩大的组织性,而是指脱离科学价值导向、以规模换资源的模式。“大”体现为研究团队规模“大而散”,研究方向泛化、“趋同而不特”,凭借“大而全”的架构大量挤占本可流向更多潜在创新领域的科研资源;“平庸”则表现为整个科学研究“大而泛”、一个团队的研究是领域“百科全书”,专精不足、原始创新乏力。

值得注意的是,在当前基础研究实践中,一种以规模扩张和资源集中为特征的科研运行模式正在逐步显现,被张宏(中国科学院生物物理研究所研究员、中国科学院院士)等学者概括为“资源驱动型”科研范式^[2]。在这种模式下,科研资源持续向少数体量庞大的团队和既有优势方向集中,中小团队及新兴研究方向获得支持的空间被明显压缩,原本应由多元研究主体共同构成的科研生态结构趋于收敛,其危害性将在后文进一步分析。

要特别说明的是,上述关于“小而美”与“大而平庸”的科研范式的讨论,必须考虑论题语境的层级性(hierarchy),对不同层级科研团体有相应的适配性选择。本文强调的是在国家创新体系层面保持“大而全”多样性和在科研团队层面保持“小而美”的专与精。在国家创新体系层面保持“大而全”是必要的——通过多领域、多方

向的研究布局,形成覆盖基础研究到应用转化的完整研究网络,其核心作用在于通过科研领域的全面覆盖与多样性布局,筑牢国家科技链的安全屏障,支撑保障国家科技主权。要强调的是,这种“大”的多样性是整个创新体系内以众科研团队的“小而各彰其美”为支撑。具体而言,每个团队需要聚焦各自细分领域,团队内部个体在细分方向上极致专精,通过长期积累形成独特的核心能力,从而实现基础领域原创性成果的突破。

纯基础研究团队的“小”容易度量,但是结果是否“美”却难以事前评估。因此,评价“美”的关键在于团队的研究目标是否“美”,即是否具有特色和原创性。众多团队“各彰其美”才能共同构成国家创新体系“大而全”的多样性。若在科研团队层面追求“大而全”,则可能陷入研究同质化、资源分散、效率低下的平庸困境,不利于实现国家创新体系的多样性。这种层级相对性在一些重大的、跨学科协作的研究中尤为显著,国家层面需要整合多领域“小而美”团队形成“大协作网络”,但各团队仍需要保持内部专精性。通过“小而美”单元的协同实现“大而全”目标,这正是举国体制有组织科研必须考量的基本原则。

2 来自进化论的启发:集体多样性与个体“小而美”

科学发展与科学研究作为不断演化的、有层级的复杂系统,其发展趋势很难依据“历史决定论”

的观点(即事先认为科学是依据某种确定的路径发展)加以准确预测,而多样性正是应对科学发展不确定性的最有效手段,这一点可以与达尔文生物进化的思想相类比。达尔文生物进化论核心是“自然选择”与“适者生存”,其底层逻辑是多样的、可遗传的变异,变异的不确定性是应对自然选择压力的基础;群体的多样性是物种在多变环境中维系存续的根本保障;群体因其众多个体的独特性与专精性,面对环境压力而形成的“高精尖”形态,使其在生存上具有“高适应性”,从而在事前无法精准预判的情况下实现群体韧性^[3-4]。除变异多样性外,功能冗余也是增强体系韧性的关键因素。当系统内各功能群保持较高数量(即功能冗余),这种多样性使得系统能获得更强的韧性、整体功能得到更好的发挥^[3]。因此,生物圈必须保持多样性来获取生存机会和空间。

在国家创新体系层面上,这一进化论逻辑对理解科研团队多样性与“小而美”范式的优势提供了深刻启发。国家创新体系功能的充分发挥和体系的良性发展,离不开科技创新体系的多样性支撑,而这种多样性在很大程度上得益于“小而美”科学研究的持续发生。基础研究的原始创新具有“探索性”“不确定性”“突破性”的特征,不同科研团队的差异化探索(如研究方向、方法、视角的多样性)为科学发展提供了多样选择的可能性,极大地拓展了科学前沿的边界。在看似边缘方向上的探索可能在未来成为引领发展的核心动力,某些一度被视为“小众”的方

法可能打开新的认知大门(例如,人工智能发展经历过多次低谷期,但始终有人在该领域坚持探索,目前已成为引领发展的重点领域)。在国家创新体系层面,科研领域的多样性使体系整体更具韧性,保证了足够多原始创新“候选方案”能够进入筛选过程,从而始终确保有一些能真正解决问题、推动认知进步的原始创新得到保留并推广,避免因单一路径依赖而陷入停滞。

反观“大而平庸”模式下,团队往往追求规模扩张与方向全覆盖,容易导致研究内容同质化和空泛化。在总体资源有限的约束下,这类团队垄断资源使得专注小众方向的“小而美”团队难以获得支持(类似“生存竞争”中强势群体抑制弱势群体),最终导致科研领域的“多样性坍塌”。“大而平庸”的模式要保持体系稳定性,就必须追求有利于获得短期回报的研究方向,倾向于选择重复验证比较容易成功的路径,而非主动承担探索未知所带来的风险。然而,正如农场中大规模种植或繁殖的单一动植物品种难以抵御突发的病虫害,“大而平庸”模式将在环境剧变中不可避免地失去发展和拓疆开土的能力。资源过度集中导致学科布局失衡、创新链条断裂,难以快速响应前沿趋势与国家需求;而多样性的缺失使得整个科研体系丧失了容错、试错的弹性与持续突破的潜力,进而在应对科技突袭、保障国家战略需求等方面暴露出能力短板。

综上所述,生物系统中“多样性是存续与发展的基础”规律,同样适用于基础研究:整体的多样性

科研产出效用均能达到最优水平^[7]。从研究结果来看,优秀团队规模均不超过40人,且不同学科之间存在差异——理论研究的团队最优规模显著小于实验团队。一方面,团队沟通存在“有效边界”约束:数量控制在合理范围内,成员间能够实现高效的信息共享、思维碰撞与协同配合;一旦团队规模超过这一“有效边界”,人与人之间的沟通成本会呈指数级增长,信息传递的准确性与效率会大幅下降。此时,若团队不及时分裂为多个专注于不同细分方向的子团队^[7],会造成整体研究效率的下滑,甚至会严重破坏学术多样性——成员之间难以形成差异化的研究视角,创新思维会受到严重束缚。

从科研生态构建的宏观视角进一步分析可以发现,只有基础研究团队的规模保持适度,才能在有限的科研资源总量约束下,培育出数量更多、方向更丰富和水平更高的研究团队,覆盖更广泛的科学探索领域,以多样性应对科学发展的复杂性与不确定性。反之,在资源总量固定时,若基础研究团队过大,必然会产生“逆多样性”效应,使得研究方向向少数领域集中,最终导致资源投入的边际效用递减——即科研资源的持续增加无法带来科研总产出的显著提升,甚至会出现人均产出急剧下降的局面,严重降低整体科研资源的配置效能。大团队的规模效应,容易形成不利于科学健康发展的“马太效应”:资源越集中的大团队,越容易获得更多的科研项目、经费支持与学术话语权;而专注于小众领

域、缺乏规模优势的小团队,则难以在资源竞争中立足,生存与发展空间被不断挤压。这种“强者更强、弱者更弱”的局面,会进一步加剧学术生态的失衡。

需要指出的是,上述不考虑资源约束的“资源型科研”,其危害远超资源配置的低效本身。从学术生态层面来看,它会逐渐侵蚀健康的科研文化,导致科研评价标准异化——部分团队将资源获取能力而非研究成果的学术价值、创新价值作为核心追求,滋生出重数量规模、轻原创质量的不良风气,这严重制约了国家原始创新能力的培育和提升。科研人员的精力过多耗费在资源竞争、团队管理等非研究环节,小众的、具有潜在突破价值的研究方向因缺乏资源支持而难以推进。对此,国内学界已有诸多学者发出警示,本文作者孙昌璞曾明确呼吁警惕“没有资源约束边界的科学研究”^[8],强调资源配置的合理性与约束性对科研事业健康发展的重要意义;张宏院士近期亦撰文强调,需高度防范此类“资源型科研”对科研文化的负面影响,呼吁构建以创新价值为核心的科研评价与资源配置体系^[9]。

需要说明的是,本文所指的“资源型科研”是指没有资源约束条件的科学研究,具体表现为以资金、人力和规模堆砌,却在科学上没有展现相应价值的研究。这种“资源型科研”对于“从0到1”的纯基础研究具有巨大的危害。然而,对于“从1到10”的应用基础研究,这类研究原理和技术路线基本明确、研究目标相对清晰,可以根据研究的重要性适当采取“资

源驱动”,一定程度上集中资源推进研究。但“资源驱动”的模式不能前置到“从0到1”的纯基础研究上,并应充分考虑研究需求和资源约束的平衡。因此,在基础管理层面,资助方不宜设立过多体量大的重点、重大项目,而要聚焦于资助额适中、资助面广的项目(例如面上项目和青年项目),鼓励各类创新思想的萌发与探索;科研评价方面应注重研究成果的科研质量以价值,而不能以项目数、经费数、文章数作为指标,特别是要警惕那些文章数量明显超过正常水平的研究团队(例如1年发表数百篇文章的团队和个人),这些研究通常是由资源堆砌而成的,很难有基础研究的重大创新。

4 科研评价与资助机制对“小而美”基础研究的影响

维护“小而美”的基础研究需要合理的科研评价、评估体系支撑,而学术多样性本质上要求基础研究的学术评价不能依赖单一或具体指标,否则在指标“指挥棒”的引导下,基础研究会发生异化,形成以“四唯”为标志的制度化“内卷”,进而阻碍其自身发展。

这一异化机制可以借助经济学中的“古德哈特定律”得以清晰解释。查尔斯·古德哈特总结了一个规律^[9]，“任何观察到的统计规律,一旦为了控制目的而对其施加压力,就会趋于崩溃”(Any observed statistical regularity will tend to collapse once pressure is placed upon it for control purposes),该规律随后也得到了数学上的严谨证

明^[10]。在科研评价实践中,文章数量在统计意义上可以侧面反映学术水平,但是一旦被固化为单一评价指标,那么必然会有人以各种正当或非正当方式扩大发文量来获得更好的评价。对个人来说,非正当方式投入产出比可能更高,其结果是文章数量客观上丧失了其作为评价指标的意义,因此,依据单一指标的评价会造成“劣币驱逐良币”,这就阐释了中国科技发展在一段时期内面临“四唯”问题的核心逻辑。

以单一或少数指标为“指挥棒”会引发其他内卷效应。内卷原本是社会学概念,“指某一文化模式达到最终形态后,既无法实现自我稳定,也难以转变为新形态,只能在内部不断复杂化”。在指标评价体系精准驱动下,科技界内卷主要表现为:基础研究被异化为复杂的发文竞争、影响因子提升竞争,进而衍生出诸多精细化操作,如刻意创造新名词、刻意增加发文数量、增加无意义引文、抱团互引等,甚至诱发违背学术道德,如选择性使用实验数据、编造论文等行为。可以说,这样的评价体系不仅无法体现科学研究原本应有的价值,甚至摧毁了孕育原始创新的学术文化土壤。

在科研资助评审环节,亦可能发生科研评价的价值导向偏移。评价指标的有效性高度依赖代理指标与科研人员真实学术水平的相关性,但这一要求在实操中往往难以精准实现。以科研基金资助评审为例,其核心本质是通过同行评价(通常以项目打分等代理指标形式呈现^[10])以尽可能反映被

评人的真实科研能力,这就要求同行评价所采用的代理指标与被评人真实水平的相关系数 ρ 尽可能趋近于 1。El-Mhamdi 等^[10]的研究揭示了 ρ 和噪信比 ε 的量化关系

$$\rho^2 = 1/(1 + \varepsilon^2) \quad (1)$$

具体如下,若以代理指标 M (如论文数量、影响因子等)来替代人才或团队真实科研水平与能力 G ,在合理假设 G 与 M 存在 $M = G + \xi$ 的条件下(ξ 表示真实水平 G 与代理指标 M 之间的误差)。可以推导出 G 与 M 的相关系数

$$\rho = \frac{E[(M - \bar{M}) \cdot (G - \bar{G})]}{\sigma_M \cdot \sigma_G} \quad (2)$$

式中, $\bar{M} = E(M)$ 和 $\bar{G} = E(G)$ 分别表示 M 和 G 的期望, σ_M 和 σ_G 分别表示 M 和 G 的标准差。定义 ξ 与 G 的噪信比 ε 为

$$\varepsilon = \frac{\sigma_\xi}{\sigma_G} \quad (3)$$

上述 2 个公式化简可得

$$\rho^2 = 1/(1 + \varepsilon^2) \quad (4)$$

显然,噪信比越低,代理指标与真实水平的相关系数越高,评审

结果的精准度随之提升。从理想状态来看,噪信比应低于基金资助率,否则评审过程极易筛选出“高噪声、低信号”(即真实学术水平不足)的项目。根据 El-Mhamdi 等^[10]的研究结论,过度追求代理指标,会使代理指标和真实水平之间的误差较大(表现为长尾分布),此时古德哈特定律生效。这种情况下遴选比例(资助率)和噪信比的关系影响遴选效果,如果资助率低于噪信比,此时噪声起主导作用,评审不能很好发挥作用,因此,为了降低误差噪声的影响,噪信比应小于资助率。假设某类项目的资助率为 10%,此时要求噪信比 $\varepsilon \leq 10\%$,根据上述公式可推得相关系数 $\rho \geq 99.5\%$ 。但在实际评审中,受评价主体主观差异、信息不对称等多重因素影响,这一超高相关系数根本无法实现。

从国际经验看,为克服评估高相关度难以实现的困境,多数科研资助体系选择维持相对较高的资助率(普遍超过 20%,见表 1)。即便如此,仍有学者指出,20% 的资助率对于青年学者的职业成长而

表 1 世界主要国家科研项目资助率概览

基金项目	年份	资助率/%
英国研究与创新署	2020—2021 ^[12]	21.0
	2024 ^[13]	19.0
美国国家卫生研究院	2023 ^[14]	22.0
美国国家科学基金	2012—2021 ^[15]	20.0~30.0
	2024 ^[16]	26.0(估计值)
日本学术振兴会科研费	2024 ^[17]	27.3
欧盟地平线欧洲计划	2020—2022 ^[18]	20.9
德国研究基金会	2024 ^[19]	29.5
法国国家科研署	2024 ^[20]	24.2
俄罗斯科学基金会	2023 ^[21]	21.0
中国国家自然科学基金	2024 ^[22-23]	11.7

言并不健康^[1]。值得关注的是,近年来中国科学基金资助率持续下降,2024年面上项目平均资助率已降至11.7%。据此反推,对应的相关系数需达到 $\rho \geq 99.3\%$,这一标准在实际操作中同样难以企及。因此,过低的资助率会导致基金资助评审极易被评价“噪声”所干扰:一方面,代理指标与真实水平的相关性评估难以满足高资助精度的要求;另一方面,严苛的资助比例会放大评审误差的影响,最终导致大量蕴含原始创新潜力的学术思想难以获得支持,进而制约基础研究的创新活力。

除评价指标和资助率问题外,当前科研资助体系中的部分运作逻辑加剧了上述不利影响。比起具有原始创新思想但尚未取得明显成果的青年科学家,当前中国部分社会或官方资助机构往往更倾向于资助已有研究成果、基本不缺乏研究经费的团队。其中,滚动资助机制的运行方式尤为典型。

滚动资助本应是助力科研项目持续推进、培育创新成果的重要支撑,但其“锦上添花”的运作逻辑,却使其逐渐偏离资助初衷,异化为对已有成就科学家的历史性“奖励”。这种资助模式不仅与国家坚决反对的“四唯”(唯论文、唯职称、唯学历、唯奖项)导向相背离,更在资源分配的倾斜中忽视了未来创新的培育,成为制约原始创新活力的隐形壁垒。

在“锦上添花”的逻辑下,滚动资助的核心特征是将过往科研成就作为核心评价指标,形成“已有成果—获得资助—再出成果—持续资助”的循环。对于已积累

丰硕成就的科学家而言,滚动资助如同“锦上添花”,使其科研资源更趋富集;而对于初出茅庐、缺乏历史成果但具备创新潜力的青年科研人员,或是深耕小众探索性领域、尚未产出显性成果的团队,则难以获得资助青睐,陷入“巧妇难为无米之炊”的困境。

从评价逻辑上来看,“四唯”的本质是将科研人员的价值简单绑定于显性、量化的历史成果,而“锦上添花”型滚动资助正是以这些“四唯”指标作为资助评审的核心依据。这就形成了“越符合‘四唯’标准,越易获得滚动资助;越获得滚动资助,越易产出‘四唯’指标成果”的循环。这样的做法不仅未能破除“四唯”桎梏,反而进一步固化了以历史成果为核心的评价体系,让科研人员陷入“为维持资助而追逐短期显性成果”的功利性导向。这种对历史成就的过度“奖励”,通常会忽视对未来创新的培育规律。原始创新往往诞生于小众探索、跨界融合或需要长期积累的“无人区”,其初期阶段往往缺乏显性成果支撑,难以满足资助的“历史成就”评估门槛。而“锦上添花”型滚动资助将大量资源集中于已有成就的科学家,形成资源垄断的“马太效应”,偏离“小而美”的基础研究范式,在成熟领域作不必要的复耕。

在中国基础科学发展历史进程中,国家自然科学基金(如之前的青年科学基金)曾经起到过非常好的“雪中送炭”作用^[24-25],帮助很多青年科学家在职业生涯早期得到必要的资助,并坚定地走上科研的道路,科学基金的早期资助培育

了一批优秀科学家。诸多专家建议,科学基金应继续发挥“雪中送炭”的功能,培育更多具有创新思想的科学家^[26-27]。在国际范围,平衡优化资源分配,资助青年和优秀学者,是科研资助机构的基本共识。美国国家卫生研究院(National Institutes of Health, NIH)基于实证研究结果^[28-30]采取了一系列措施^[31],优化资源分配、发挥科研资助效能,把经费用于职业生涯初期的学者和高产出学者,而不是给已有充足资金的学者更大的增量支持。

为破解上述结构性困局,要敢于摆脱“路径依赖”评估方法,回归科学本质。从培育科研生态多样性的角度出发,对基础研究人才的选拔与支持应摒弃以简单指标来评价的模式,回归科学价值导向。一方面,要优化科研资源配置结构,减少过度集中的大项目投入,提高“面上”科学基金的资助率,尤其是要加大对青年学者的资助率,大力培育青年学者的原始创新思想,发挥科研经费“雪中送炭”的功能。

另一方面,唯有打破“锦上添花”的滚动惯性,建立以创新能力提升为核心的资助导向,才能真正破除“四唯”影响,为中国科技未来创新培育肥沃土壤。在具体操作上,科研资助流程可以探索符合统计规律的粗粒化的评估管理方式,比较广泛地资助具有发展潜力的研究方向,而不是建制化隐形鼓励“内卷”。一是可以试点低成本评审制度,例如,相关科技管理部门可探讨其他国家为应对过度竞争而试行的“部分随机抽

签制度”在中国的可行性;二是可在保持合理资助额度的前提下提高资助率,让更多的创新思想不被过分量化的评价所扼杀。新西兰、瑞士等国家已经在项目资助评审过程中采取了部分随机抽签的制度。通常的做法是首先开展同行评议,对没有取得一致意见的项目(即所谓的非共识项目^[32-33]),采取不同形式的随机抽签模式。例如,新西兰健康研究理事会(Health Research Council of New Zealand, HRC)^[34]对非共识项目全体采取随机抽签方式决定是否资助;而瑞士国家科学基金则对非共识项目采取贝叶斯分层模型进行排名^[35],在对在资助线以上的项目予以资助。同时,对于排名误差范围内的项目予以随机抽签决定是否资助。这种模式既降低了项目评审的管理成本,又使非共识的创新思想保留了制度空间。

5 以项目负责人制实现科技创新的“小而美”范式

项目负责人(principle investigator, PI)制作为国际主流的基础研究组织模式,已成为国际上支撑基础研究高质量发展的核心制度架构。在长期的科研实践中,这种模式充分验证了其适配基础研究探索性、自主性本质的特性,有效规避了大团队模式的协同低效、方向同质等弊端,生动诠释了“小而美”基础研究的独特科学价值。

PI制的“小”,核心体现为研究团队的精干化,这种小规模特征并非刻意限制,而是精准匹配基础研究需求,尤其是理论性研究的创

新规律。与应用研究或工程攻关所需的大规模协同不同,基础研究的核心创新往往依赖于研究者之间高效的思维碰撞、灵活的决策响应,而过大的团队规模会不可避免地增加沟通成本、降低决策效率。以英国生命科学研究领域为例,其PI团队规模平均仅为7.3人^[36],这种精简的团队结构确保了成员之间信息传递的精准性与及时性,使研究方向能够根据科学前沿动态快速调整,避免了大团队常见的路径依赖与资源内耗。这种小规模特征具有普遍性,欧美顶尖高校的物理、化学等理论性较强的学科中,PI团队规模多集中在5~10人,这种“小”不仅未削弱研究实力,反而促使团队聚焦单一研究方向,形成“专而精”的探索优势。

PI制的“美”,则体现在其通过科学的制度设计优化资源配置、平衡国家层面的多元化需求,最终实现学术自主、声誉追求与前沿探索的有机统一,成为维系基础研究多样性、推动科学进步的关键支撑。一方面,从国家层面看,PI制下的资源配置更具精准性。由PI统筹调配,根据实际需求动态调整,避免了层级化管理中的资源闲置与错配;另一方面,这种模式有效平衡了个体学术追求与国家需求,既赋予研究者探索未知的自由,又通过项目导向保障了基础研究与国家长远发展需求的衔接,实现了学术价值与社会价值的协同统一。

PI制的核心价值,还在于提供了不受单一目标束缚的学术自由,为基础研究的多样性发展提供

了土壤:不同PI根据自身优势聚焦不同细分领域,形成覆盖广泛、差异化明显的研究格局,既避免了研究方向的同质化内卷,又能让科学探索触及更多“无人区”,为应对复杂的科学问题和国家需求提供多元支撑。历史上诸多重大原始创新成果,如基因编辑技术的初期探索、量子纠缠理论的突破等,均源于PI带领小团队开展的自主探索,充分印证了学术自主权对原始创新的催生作用。

更为重要的是,PI制通过构建以学术声誉个人负责制为核心的内生约束机制,在维护学术多样性的同时保障了研究质量(原始创新程度)。在PI制下,项目责任与学术声誉深度绑定,这种内生约束形成了替代“唯论文、唯影响因子”等单一指标评价的长效机制。受声誉约束,PI会主动规避短期化、表面化的功利性研究行为,转而聚焦具有长远学术价值和潜在应用前景的研究方向,愿意投入时间和精力开展长期积累性探索。这种以学术价值为核心的评价逻辑,不仅有效破解了量化指标导向引发的研究异化问题,更通过研究者维护自身声誉的自发诉求,保障了研究的严谨性与原创性,使基础研究在“百花齐放”的多样性发展中始终坚守学术本质。

6 用科学家精神加持“小而美”的原始创新

维护“小而美”范式的基础研究,除了在制度层面需要获得必要保障,还需要科学家精神的加持。“小而美”的基础研究常面临验证

周期漫长的困境,这主要源于基础理论成果常常会超越当下实验技术和思想方法的边界^[37]。例如,杨-米尔斯规范理论从提出到粒子物理标准模型的建立,历经近60年。科学理论的价值确认,既依赖科学共同体持续的理论探索与实验检验,更离不开科学家群体对学术本质的深刻理解以及对科学精神的坚守。对这类研究的价值判断,应从逻辑自洽性、解释力拓展、方法论创新和潜在应用价值等多维度综合考量。就像杨-米尔斯理论的规范对称性框架,尽管提出时缺少实验支撑,但其具备的数学美感以及对称性决定相互作用的核心价值,使其成为基本相互作用统一理论的第一个“圣杯”。

在创新成果的价值判断中,“小而美”所蕴含的科学品味发挥着关键作用。它体现为研究者在科学价值上对“真问题”的敏锐洞察和在科学品味上对“好理论”的审美追求。例如,在物理学发展史上,物理学家对数学之美(如麦克斯韦方程组的对称性)的感悟,以及对物理直觉(如爱因斯坦对光速不变性的坚持)的把握。有了科学精神加持的科学审美,即便面对漫长的验证周期,科学家依然执着地追寻真理、不断地推动理论完善,这种独立性、批判性和坚韧性,共同构成了科学家精神的生动写照。

中国基础研究发展到当前阶段,理应全面支撑国家创新体系的发展,这要求基础研究应该“大而全”多元化地发展,即各领域多学科全覆盖、共发展,形成紧密的创新研究网络。而国家基础研究“大而全”的根基是各领域多学科

“小而美”的研究团队,这类团队在细分方向上深入研究,形成研究的多样性和专精能力。本文阐述的“小而美”范式聚焦于具有原创性突破的科学探索,其核心价值在于创造前所未有的知识体系与方法,然而多数研究成果难以在短时期内被准确预测^[38]。这一特性决定了基础研究应倡导自由探索,以科学研究的多样性形成学科、领域全覆盖,通过精简的小团队专注细分领域构建专而精的研究基础。在资源约束的条件下,唯有此种“大小兼修”“广专并举”,中国基础研究才能更好地支撑国家发展事业。

为持续推进“小而美”基础研究的范式,需要从国家、团队和个体3个层面构建其立体的维护体系,它既需要合理的科研资源的养分支持,更需要融合科学价值与爱国精神、科学家精神的内在引领。在宏观层面,应通过完善和革新评价激励制度,使其更好适应长期主义的科学研究规律,建设规模合理学术团队以促进思想交流碰撞,营造“无功利性”的科研文化氛围。与此同时,国家层面的基础研究布局需要在保持“大而全”多元化的前提下,合理配置科研资源,有效地培育、激发各类创新思想。在具体操作层面,要扩大基础研究的资助率,鼓励创新探索,而非历史功劳簿上“滚动”,以破除“资源型科研”桎梏、更好地发挥科学资助“雪中送炭”的功能;扶持好“坐冷板凳、十年磨一剑”、坚持原创性艰难探索的青年科学家,培育基础研究的多样性,在更广的范围内、让更多的研究领域可以

钻深、扎牢。在科研导向上,还需确保正确的科学价值引领,引导科研人员自觉践行科学家精神、抵御功利价值的影响,回归科学探索的本质,使个人科研追求真正融入国家发展之中。

致谢:北京理工大学教授、中国科学院院士胡海岩,南方科技大学校长、中国科学院院士薛其坤,清华大学教授王亚愚,中国工程物理研究院研究生院教授傅立斌对本文提出非常有价值的学术意见。

参考文献(References)

- [1] 习近平. 朝着建成科技强国的宏伟目标奋勇前进[J]. 求是, 2025(7): 4-10.
- [2] 张宏. “资源型科研”正在摧毁中国的科研文化[EB/OL]. (2025-12-15) [2025-12-22]. <https://mp.weixin.qq.com/s/uJ-GAcFnVFeivcnj4l8c5g>.
- [3] Oliver T H, Heard M S, Isaac N J B, et al. Biodiversity and resilience of ecosystem functions[J]. Trends in Ecology & Evolution, 2015, 30(11): 673-684.
- [4] Smulders M J M, Bonekamp G, Bourke P M, et al. Resilience through diversity: The potential of modelling species and variety interactions to enhance resilience of production systems[J/OL]. Plants, People, Planet. [2025-12-22]. <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ppp3.70-095>.
- [5] 孙昌璞. 战略科学家培育之我见[J]. 科技导报, 2022, 40(16): 18-26.
- [6] 孙昌璞. 基础理论研究人才培养之我见[J]. 科学与社会, 2018, 8(3): 5-7.
- [7] Kenna R, Berche B. Managing research quality: Critical mass and optimal academic research group size[J]. IMA Journal of Management Mathe-

- tics, 2012, 23(2): 195–207.
- [8] 孙昌璞. 营造良好的作风学风, 践行科学家精神[J]. 中国科学基金, 2019, 33(6): 549–550.
- [9] Goodhart C A E. Monetary theory and practice: The U. K. experience[M]. London: Red Globe Press, 1979.
- [10] El-Mhamdi E M, Hoang L N. On Goodhart's law, with an application to value alignment[J/OL]. arXiv: 2024. <https://arxiv.org/abs/2410.09638>.
- [11] Cushman P, Hoeksema J T, Kouveliotou C, et al. Impact of declining proposal success rates on scientific productivity[J/OL]. arXiv: 2015. <https://arxiv.org/abs/1510.01647v2>.
- [12] Kamerlin S C L. 5 suggestions to increase grant application success rates[J]. EMBO Reports, 2022, 23(4): e54893.
- [13] Woodrow L. The grant lottery: Award rates at UK national funding agency fall below 20[EB/OL]. (2025–09–01) [2026–01–16]. <https://doi.org/10.1038/d41586-025-02584-w>.
- [14] NIH Data Book. Success rates: R01–equivalent and research project grants[EB/OL]. [2026–01–16]. <https://report.nih.gov/nihdatabook/category/10>.
- [15] National Science Board. New report details recent trends in NSF awards [EB/OL]. (2023–07–11) [2026–01–16]. <https://www.nsf.gov/nsb/updates/new-report-details-recent-trends-nsf-awards>.
- [16] Brainard J, Hersher M. Despite Trump chaos, NSF avoided feared dip in research financing[EB/OL]. (2025–11–19) [2026–01–16]. <https://www.science.org/content/article/despite-trump-chaos-nsf-avoided-feared-dip-research-financing>.
- [17] JSPS. Trends in KAKENHI Budgets [EB/OL]. (2025–05–16) [2026–01–16]. https://www.jsps.go.jp/file/stor-age/kaken_award_2025/1-1_r7e.pdf.
- [18] Matthews D, Brent T, Naujokaitytė G. Here's what the first two years of Horizon Europe look like in numbers [EB/OL]. (2023–01–31) [2026–01–16]. <https://sciencebusiness.net/news/Horizon-Europe/heres-what-first-two-years-horizon-europe-look-numbers>.
- [19] DFG. Funding rate (by number) in the individual grants programmes [EB/OL]. (2025–06–27) [2026–01–16]. <https://www.dfg.de/en/news/facts-figures/statistics>.
- [20] ANR. The ANR funds research in its diversity: 2024 annual report[EB/OL]. (2025–10–12) [2026–01–16]. <https://anr.fr/fileadmin/documents/2025/ANR-Annual-Report-2024.pdf>.
- [21] RSF Press Office. Russian Science Foundation released 2023 results[EB/OL]. (2024–04–03) [2026–01–16]. <https://rscf.ru/en/news/en-57/russian-science-foundation-released-2023-results>.
- [22] 国家自然科学基金委员会. 2025项目指南[EB/OL]. (2025–01–04) [2026–01–16]. <https://www.nsf.gov.cn/p1/2931/3391/3400/msxm.html>.
- [23] 杨好好, 郝红全, 赵英弘, 等. 2024年度国家自然科学基金项目申请集中接收与受理情况分析[J]. 中国科学基金, 2024, 38(3): 526–531.
- [24] 李晨阳. 难忘“雪中送炭”的青年科学基金[EB/OL]. (2022–04–25) [2025–12–26]. <https://news.sciencenet.cn/sbhtmlnews/2022/4/369165.shtml>.
- [25] 苏都莫日根. 帮助科学家的基金[J]. 中国科学基金, 2006, 1: 61–62.
- [26] 徐冠华. 关于我国基础研究发展的若干看法[J]. 中国科学基金, 2001, 3: 129–134.
- [27] 王乃彦. 国家基础科学人才培养基金工作的回顾与展望[J]. 中国科学基金, 2002, 3: 149–152.
- [28] Berg J. Measuring the scientific output and impact of NIGMS grants [EB/OL]. (2010–09–27) [2025–12–15]. <https://nigms.nih.gov/loop/2010/09/measuring-the-scientific-output-and-impact-of-nigms-grants>.
- [29] Lauer M. Implementing limits on grant support to strengthen the biomedical research workforce[EB/OL]. (2017–05–02) [2025–12–15]. <https://nexus.od.nih.gov/all/2017/05/02/nih-grant-support-index>.
- [30] Berg J. Well-funded investigators should receive extra scrutiny[J]. Nature, 2012, 489: 203.
- [31] Kaiser J. NIH to impose grant cap to free funds for more investigators[EB/OL]. (2017–05–03) [2025–12–15]. <https://www.science.org/content/article/nih-impose-grant-cap-free-funds-more-investigators>.
- [32] 唐林. 正确对待非共识性创新项目[J]. 中国科学基金, 1992, 1: 69–72.
- [33] 陈晦鸣, 朱志文. 关于基金项目评审中的“共识”与“非共识”问题的探讨[J]. 地球科学进展, 1993, 8(3): 96–99.
- [34] Bendiscioli S, Firpo T, Bravo-Biosca A, et al. The experimental research funder's handbook[R]. Denmark: Research on Research Institute, 2022.
- [35] Heyard R, Ott M, Salanti G, et al. Rethinking the funding line at the Swiss national science foundation: Bayesian ranking and lottery[J]. Statistics and Public Policy, 2022, 9(1): 110–121.
- [36] Cook I, Grange S, Eyre-Walker A. Research groups: How big should they be?[J]. PeerJ, 2015, 3: e989.
- [37] 孙昌璞. 贝叶斯哲学视角下实验“证实”理论的科学认知重构[J]. 自然辩证法研究, 2025, 41(9): 17–25.
- [38] 范内瓦·布什, 拉什·霍尔特. 科学: 无尽的前沿[M]. 崔传刚, 译. 北京: 中信出版社, 2021: 16–39.

Enhancing the capacity for original innovation in basic research through the "small but excellent" scientific paradigm

WANG Xin, WANG Chuanxi, SUN Changpu*

Graduate School of China Academy of Engineering Physics, Beijing 100193, China

Abstract China's science and technology development has entered a critical stage of tackling key challenges and therefore needs to strengthen original innovation. Basic research is the source of original scientific and technological innovation, yet at present China's basic research faces problems such as oversized research teams, homogenized research directions, a lack of core capabilities, and consequently insufficient capacity for original innovation. At the national level, this manifests as team research that is neither specialized nor distinctive and often duplicative, along with an overall pattern that runs counter to diversity. The resulting "resource-driven" research paradigm leads to inefficient use of research resources. As a result, the research ecosystem is degraded, hindering the cultivation and growth of original innovation. This paper argues that, in the realm of basic research, a "small but excellent" paradigm—characterized by small teams that each play to their unique strengths and researchers who are highly specialized and each bring distinctive expertise—has high value for original innovation. Under resource constraints, it can also preserve the overall diversity of national research and the security of the national science and technology chain. Delivering the core value of basic research through rigorous, specialized exploration and original breakthroughs requires each team to focus on a distinctive direction and cultivate it deeply, while team members build deep expertise and tackle hard problems through years of sustained effort. This approach helps foster diversity in the research ecosystem and enables efficient resource allocation, thereby ensuring the resilience of China's scientific and technological development in international competition.

Keywords original innovation; paradigm of basic research; diversity; the spirit of scientists; the principal investigator system ●



(责任编辑 王丽娜)