

DOI: 10.13376/j.cbls/2022013

文章编号: 1004-0374(2022)02-0113-05



# 基础研究的再认识

吴家睿

(中国科学院分子细胞科学卓越创新中心, 上海 200031)

基础研究当今在中国正得到前所未有的重视。早在 2018 年, 国务院就发布了《关于全面加强基础科学研究的若干意见》; 为深入贯彻落实这个文件, 科技部、发改委、教育部、中科院和自然科学基金委于 2020 年联合印发了《加强“从 0 到 1”基础研究工作方案》的通知。2021 年 11 月, 李克强总理在国家科学技术奖励大会上发表的讲话里明确提出: “我们要持之以恒加强基础研究, 不断提高原始创新能力”。在 2021 年 12 月颁布的《中华人民共和国科学技术进步法》(简称“科技进步法”) 修订版中, 基础研究得到进一步的强调, 并单独成为一章, 明确提出: “国家加强基础研究能力建设, 尊重科学发展规律和人才成长规律, 强化项目、人才、基地系统布局, 为基础研究发展提供良好的物质条件和有力的制度保障”。不久前, 中国科学院发布了《中国科学院关于加强基础研究的若干意见》(简称“基础研究十条”)。此外, 地方政府也纷纷出台促进基础研究的措施, 如上海市政府于 2021 年 10 月印发了《关于加快推动基础研究高质量发展的若干意见》。

“基础研究”(Basic Research) 这一概念于 20 世纪中叶随着美国主导的科学建制化开始流行, 并被视为现代工业社会的“研究与开发”(Research & Development, R & D) 框架内的一个重要组成部分。在第 15 版《不列颠百科全书》(Encyclopedia Britannica) 的条目“Research & Development”里给出了这样的描述: “基础研究被定义为科学家或其他人所开展的没有明确目的之研究工作, 仅仅是为了揭示自然的奥秘。在现代工业社会设定的研究与开发框架内, 基础研究(有时称为纯科学, Pure Science) 通常并非完全的‘纯粹’, 往往带有某种一般性目的, 如一个有可能解决某个工业领域难题的技术前沿研究; 比方说制药公司实验室所进行的基因剪切或克隆研究”<sup>[1]</sup>。该条目还定义了 R & D 框

架内不同研究类型间的关系: “应用研究推进基础研究的发现, 把这些发现进行开发以满足特定的需求; 而进入开发阶段则涉及新的或改良的产品或者工艺实现产业化的各种必要步骤”<sup>[1]</sup>。在美国政府历年来发布的统计报告《科学与工程指标》(Science & Engineering Indicators) 中, 同样是把 R & D 分为三个部分进行统计: 基础研究、应用研究、开发; 其中基础研究的经费保持在年度 R & D 总支出的 15%~18% 之间。然而, 笔者发现, 这个如此重要并被广泛使用的概念, 在当前的语境中尚有许多内容需要梳理和讨论。

## 1 基础研究具有不同的层次和类型

基础研究有不同的层次, 有些基础研究工作“深”, 其研究成果揭示出世间万物的普遍联系, 如牛顿的万有引力定律和达尔文的自然选择理论等; 有些基础研究工作“浅”, 其研究成果通常只是反映了部分事物之间的特定关系, 如某种生物的代谢通路或者细胞信号转导通路。前者在国内往往被称为原创性基础研究, 并有一个形象的说法: “从 0 到 1”。为了解决我国基础研究缺少“从 0 到 1”原创性成果的问题, 国家 4 部委在 2020 年专门发布了《加强“从 0 到 1”基础研究工作方案》。也就是说, 并非所有基础研究工作都是原创性的, 我国的基础研究成果大多是非原创性的。

需要注意的是, 基础研究的“原创性成果”并没有一个绝对的判定标准。首先, 不同学科的基础研究涉及的对象不一样, 结果的普适性也就不一样: 如热力学第二定律等物理学法则适用于宇宙间万物, 中心法则等生命科学规律仅属于生命世界; 而生命科学的分支学科, 如免疫学或神经生物学的发现则适用的范围更窄。但是, 各门学科均有其学科特有的原创性基础研究。例如, 相对于当今某一种蛋白质三维结构解析的一般性基础研究成果而言,

20世纪中叶美国科学家鲍林 (Bauling, L) 提出的蛋白质  $\alpha$  螺旋结构可以视为分子生物学领域一个原创性基础研究成果, 因为  $\alpha$  螺旋通常是各种蛋白质都拥有的基本结构。其次, 从科学研究的进程来看, “从 0 到 1” 很少是从“绝对的 0” 开始; 如 DNA 双螺旋模型的提出是一个典型的“从 0 到 1” 重大原创性成果; 但是, 这个研究成果是建立在孟德尔、摩尔根的遗传学研究成果之上, 尤其是建立在埃弗里 (Avery, O) 通过肺炎球菌转化实验证明了 DNA 而非蛋白质是遗传物质的研究成果之上。

基础研究通常被划为两种类型, 一种是科学家好奇心驱动的、没有明确目的之自由探索, 另一种则是国家和社会需求或科学前沿目标导向的基础研究。在 2022 年实施的“科技进步法” 第十九条中明确规定: “国家加强规划和部署, 推动基础研究自由探索和目标导向有机结合”。对今天的中国科学院而言, 其基础研究类型被确定为以目标导向的为主, 在“基础研究十条” 中, 第一条的标题就是“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”; 当然, 在该文中也提到: “保持一定的高水平自由探索研究”。

由此可见, 基础研究不仅可以是目标导向的, 而且这类定向性基础研究在国家科技创新体系中占有重要的位置。值得强调的是, 应该反思一下自由探索型基础研究在现实中的实际地位。倡导自由探索最著名的是美国科技管理专家布什 (Bush, V); 他在 1945 年提交给美国总统罗斯福的一份科技战略报告“Science, the Endless Frontier” ( “科学: 无尽的前沿”, 以下简称“布什报告”) 中明确提出: “广泛的科学进步源于学者的思想自由及研究自由, 他们理应在好奇心的驱使下探索未知, 自主选择研究的方向。……研究自由在任何政府资助的科学规划中都必须得到保障”<sup>[2]</sup>。但是, 在“布什报告” 推动下形成的国家建制化科学体系中, 由科学家好奇心驱动的自由探索实际上是得不到鼓励和支持的, 因为该体制依靠的是一种围绕着科学精英开展研究活动的“精英中心化” 科研范式 (笔者有专文讨论“精英中心化” 科研范式<sup>[3]</sup>)。在一篇纪念“布什报告” 发表 65 周年的文章中, 作者明确指出: “近几十年来, 科学政策已经把其关注点转移到对社会具有可测度的利益之上。那种关于基础研究的模糊概念似乎不再适应当下的环境, 即对预期研究成果进行含糊的描述在今天对公共经费高度竞争的环境下是不够的”<sup>[4]</sup>。

自由探索通常被定义为研究者好奇心驱动下开展没有实际应用目的之科学研究, 笔者在此要特别强调一下对“研究目的” 的评判。首先要注意到, 这个词带有很强的主观色彩。研究者本人在开展一项具体的研究时可能清楚自己的研究目的并清晰地表达出来, 也可能不清楚自己的研究目的或没有表达出来, 甚至可能因为某些主客观因素故意隐藏自己开展研究的真实目的; 研究目的可以是单一的, 也可能是复合的, 还有可能是变化的。显然, 他人评判研究者之“目的” 并非易事, 下判断时要特别谨慎。更需要警惕的是: 不要把某项研究获得的结果简单等同于驱动研究者开始进行研究之目的。当然, 人们也可以建立各种“客观” 标准来进行评判。例如, 美国国防部于 1963 年开展了一个叫“后见之明” (Hindsight) 的项目, 评估在武器创新过程中科学和技术活动分别所做的贡献, 结论是基础研究的贡献不大。随后美国国家科学基金会也进行了类似的评估项目——“追溯研究” (TRACES), 得到的结论却是基础研究的贡献巨大 (对这二个项目之详细分析见樊春良教授不久前在微信公众号“科学之思” 上发表的文章<sup>[5]</sup>)。这二个评估项目的差异之一是, 评估回溯时间的标准不同, 前者是“回溯 20 年”, 后者是“回溯 50 年”。也就是说, 不同的判别标准可能影响到最终对基础研究之目的和价值等的判断。还有一点需要注意: 我们能今天的观念回到几年前乃至几十年前的历史现场去判断当时某个研究者之真实研究目的吗?

## 2 基础研究与应用研究之间有着复杂的关系

许多人认为纯粹的基础研究不应该考虑应用, 例如在“布什报告” 中就写道: “进行基础研究并不考虑实际目的”<sup>[2]</sup>。但是, 在当代建制化的 R & D 框架中, 很难找到这样纯粹的基础研究。《不列颠百科全书》明确表达了类似的观点: “在现代工业社会设定的研究与试验发展框架内, 基础研究 (有时称为纯科学, Pure Science) 通常并非完全的‘纯粹’, 往往带有某种一般性目的”<sup>[1]</sup>。著名的英国学者贝尔纳 (Bernal, J) 在其名著《历史上的科学》中甚至这样评说倡导纯科学的研究者: “他们热望能回到理想境界, 纯粹地为科学本身而研究科学, 但是, 这样的境界事实上从来不曾存在过”<sup>[6]</sup>。

“布什报告” 认为基础研究和应用研究联合而构成完整的科研创新体系; 在其“基础研究的重要性” 一节中这样写道: “进行基础研究并不考虑实

际目的。它产生的是一般性知识以及对自然及其规律的理解。尽管无法对任何一个问题给出完整具体的答案，但这种一般性知识提供了解答大量重要实际问题的方法。应用研究的功能就是提供这样完整的答案”。可以清楚地看到，尽管“布什报告”倡导基础研究，但目标仍是落在应用之上：“科学家们可以无所顾忌地自由追求真理，他们必然能够产生可用于解决政府、产业或其他领域实际问题的新科学知识”<sup>[2]</sup>。美国著名学者霍尔特 (Holt, R) 在最新出版的“布什报告”一书的导读中也明确指出：“布什的关注点最终落在了一种特殊的进步上，那就是能够满足美国民众物质需求的各类技术。布什对实际应用的这种偏好，在《科学：无尽的前沿》及其他的著作中随处可见”<sup>[2]</sup>。

“布什报告”对于基础研究和应用研究的看法随后被美国科技界总结为一种线性模式，即基础研究和应用研究是两个相对独立的科研活动模块，先有作为创新源泉的基础研究，而后才有作为技术创新的应用研究。这种科研创新的线性模式在 20 世纪的美国以及世界各个国家制定科技政策中发挥了重要影响。然而，这种简单化的线性模式显然很难完全反映出现实中复杂的科技创新活动。1997 年，美国普林斯顿大学学者斯托克斯 (Stokes, D) 通过一个二维坐标体系把基础研究和应用研究之关系分为四类，其中由求知欲驱动的纯基础研究称为“波尔象限” (Bohr's Quadrant)，由应用引发的基础研究称为“巴斯德象限” (Pasteur's Quadrant)，而纯应用研究则称为“爱迪生象限” (Edison's Quadrant) (图 1)。斯托克斯当时没有给第四个象限取名称。在这个二维象限图中，巴斯德象限不仅指出应用研究也可以是基础研究的起点，而且表明应用研究和基础研究之间有时并没有明确的界限，二者的研究目标是可

以融合的。

自由探索型基础研究被视为好奇心驱动的研究，通常等同于由科学问题或假设驱动的研究。但是，在当今大数据时代，出现了一种新的研究类型：数据驱动的研究；开展研究的出发点不是好奇心，其研究目的也不是去解决某个科学问题或者验证某个科学假设，而是要去获取研究对象的海量数据<sup>[7]</sup>。在生命科学领域最具代表性的数据驱动的研究就是人类基因组计划——研究目的是测定组成人类基因组的 30 亿个碱基的排列顺序。需要指出的是，数据驱动的研究通常也不直接涉及具体的应用目标。人类基因组计划希望通过测定碱基序列而发现基因组包含的所有基因和其他组成元件。因此，数据驱动的研究往往被称之为“发现的科学” (Discovery science)。这种发现的科学既可以支撑假设驱动的基础研究，也可以服务于需求驱动的应用研究。

在美国《科学》周刊一篇题为“庆祝基因组”的社论中明确指出：“人类基因组测序的成功宣告了‘大科学’的生物学时代到来，并且产生了一种全新的科研生态系统，以用于开展那些复杂的、技术驱动的、数据密集型的多学科研究项目，从而能够持续不断地改进我们对肿瘤、微生物、大脑，以及其他生物学领域的认识”<sup>[8]</sup>。显然，数据驱动的研究既不是传统意义上的基础研究，也不是单纯的应用研究，而更适合纳入到斯托克斯教授没有命名的第四个象限 (图 1)。笔者建议把该象限称为“第谷象限” (Tycho's Quadrant)——这位丹麦天文学家对众多天体的运行进行了精密的观测，而这些天体观测数据随后为开普勒 (Kepler, J) 创立行星运动的三大定律奠定了基础。

### 3 基础研究没有标准的或者既定的模式

基础研究往往被贴上一些固定的标签：如探索性强、周期长、需要稳定支持等等。但是，从以上的讨论和分析中可以看出，不同种类的基础研究具有各自的特点，其具体的研究起点、研究路径、研究方法、研究环境可能都会有所差别。首先来看一下基础研究的经费需求。我国用于基础研究的经费在全社会 R & D 总支出中的比例要低于美国等发达国家。因此，最新颁布的“科技进步法”第二十条规定：“国家财政建立稳定支持基础研究的投入机制。……逐步提高基础研究经费在全社会科学技术研究开发经费总额中的比例，与创新型国家和科技



图1 斯托克斯模型

强国建设要求相适应”。

要注意的是,不同类型的基础研究对经费的需求显然是不一样的。例如,高能物理的研究通常需要大科学装置,如粒子对撞机或加速器,仅仅是建造这些装置就需要几十亿甚至数百亿的经费;天文学领域也经常需要大型的观测装置,最近发射上天的韦伯太空望远镜(JWST)的建造共花费了大约100亿美金。然而,有些研究则不需要很多的经费,如理论物理领域的许多研究工作。生命科学过去需要的经费不多,如孟德尔在教堂花园里利用豌豆进行的遗传学研究;但是,今天的生命科学领域有些研究工作也需要使用一些昂贵的设备,例如结构生物学研究需要核磁仪或冷冻电镜。总的来说,人们不能笼统地把经费强度和基础研究水平划上一个等号,更不能简单地认为原创性基础研究成果是用钱堆起来的。

从时间的角度来看,不同的基础研究需要的时间也是长短不一,一般性基础研究通常需要的时间较短,而“从0到1”的原创性研究有的可能需要长一点的时间。有的研究要“十年”去“磨一剑”,例如匈牙利裔美国女科学家卡利蔻(Karikó, K)对mRNA疫苗的研究;有的研究则显然没要如此长的时间。物理学史上的两个经典案例:牛顿在乡间度过的一年半时间里完成了牛顿力学体系的建构,被称为牛顿的丰收年;爱因斯坦在专利局工作的三年时间里完成了多项重要的研究,并于1905年连续发表了包括了狭义相对论在内的4篇原创性研究论文,被称为爱因斯坦的丰收年。即使我们认为这些“超级天才”是例外,科学史上显然也有许多在短时间就做出重要发现的案例,如DNA双螺旋模型的提出满打满算也就是4年左右的时间。克里克(Crick, F)在其自传里这样描写他和吉姆·沃森(Watson, J)的研究工作:“整个故事中最奇怪的一点是,无论是吉姆还是我,研究DNA都不是我们的正式工作。……人们经常问吉姆和我花了多少时间研究DNA。这取决于你怎么定义‘研究’”<sup>[9]</sup>。此外,技术的先进性或发展程度也会影响到研究所花费的时间,这在高度依赖仪器设备的实验科学中尤为突出。世纪之交的人类基因组计划花了10年左右的时间才完成了测序工作,而采用今天发展的测序技术只需要几个月甚至更短时间就能够完成同样的任务。显然,获得高水平基础研究成果,尤其是原创性研究成果与研究所需要的时间长短没有线性关系。

人们在用“十年磨一剑”来形容基础研究时,不仅想强调研究工作是一个长期积累的过程,而且还强调了其工作时那种心无旁骛的专注。克里克在回忆他和沃森研究DNA双螺旋模型的工作状态是这样说的:“在差不多两年的时间里,我们经常讨论这个问题,无论是在实验室,还是在午餐时间沿着河畔的校区花园散步,或是在家里”<sup>[9]</sup>。但是,这种专注不是“钻牛角尖”。克里克是这样总结的:“如果我们有任何值得称道的地方,那就是我们对问题的不懈追求,以及当一个想法站不住脚的时候果断抛弃它”<sup>[9]</sup>。

需要指出的是,那些长期进行高度专业化研究的专家不一定就能够在“从0到1”研究方面表现出更强的创新能力,尤其是当原创性研究需要超越现有的专业知识或者跨越学科的边界时。作为一个进入生命科学基础研究领域的新人,克里克是这样评价他自己:“我才意识到资历浅可能也有好处。许多科学家年届三十之后就陷在自己的专业里了。他们在某个专门领域里付出了许多努力,以至于很难再做出重大改变。我恰恰相反。我知道的很少”<sup>[9]</sup>。最近,中国和以色列的研究人员通过对海量文献的大数据分析发现,研究团队的新鲜度(Team freshness)与原创性(Originality)高度相关,即有新成员的团队其研究成果通常比有长期合作的“旧”团队具有更高的原创性<sup>[10]</sup>。总而言之,当我们提倡要潜心做基础研究时,不能把这个提法脸谱化、模式化。

#### 4 结语:基础研究最需要的是批判理性和超越精神

基础研究目前得到了国家和社会的高度重视和支持,经费资助和体制机制保障等各种外在因素显然会有很大的提升和改进。但是,我们要认识到,从事基础研究,尤其是进行“从0到1”的原创性基础研究,更需要的是研究者内心深处具有那种“仰望星空”的科学探索精神。这种科学探索精神靠两个要素支撑,首先是批判理性——不迷信权威与传统、勇于批判他人和自我;其次是超越精神——超越现实的束缚、超越功利的诱惑。

**致谢:**感谢中国科学院先导专项“多维大数据驱动的中国人群众精准健康研究”(XDB38020000)对本文的支持!

#### [参 考 文 献]

[1] The New Encyclopedia Britannica [M]. Chicago: Encyclopedia

- Britannica, Inc., 1994
- [2] 范内瓦·布什, 拉什·D·霍尔特. 科学: 无尽的前沿[M]. 崔传刚译. 北京: 中信出版集团, 2021
- [3] 吴家睿. “精英中心化”科研范式的特征及其面临的挑战. 科学通报, 2021, 66: 3509-14
- [4] Pielke R Jr. In retrospect: science — the endless frontier. Nature, 2010, 466: 922-3
- [5] 樊春良. 怎样看待美国的基础研究? ——评江晓原教授《美国是因为重视基础研究而强大的吗?》及另外一篇文章. 科学之思 2021 [EB/OL]. <https://mp.weixin.qq.com/s/dBJTD5hLI0AwI6Rn3uXaVA>
- [6] 贝尔纳. 历史上的科学[M]. 伍况莆等译. 北京: 科学出版社, 1981
- [7] 吴家睿. 多学科研究的三种形态. 中国科学基金, 2021, 35: 170-4
- [8] Fraser CM. A genome to celebrate. Science, 2021, 371: 545
- [9] 弗朗西斯·克里克. 狂热的追求[M]. 傅贺译. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2020
- [10] Zeng A, Fan Y, Di Z, et al. Fresh teams are associated with original and multidisciplinary research. Nat Human Behaviour, 2021, 5: 1314-22