

创造性科学思维中的意象

李醒民

(中国科学院研究生院, 北京 100039)

科学概念是如何起源的?在科学进步中科学概念是如何演变的?在科学研究中心理意象(mental imagery)的作用是什么?科学家是如何提出理论的?这些问题长期吸引着科学家和哲学家进行不懈的探索,后来又引起科学史家和认知心理学家的关注。

之所以如此,是因为科学创造过程同于艺术创作过程。科学发明恰如伟大的艺术作品、音乐作品或文学作品的问世一样,也是智力活动的结果。在这个过程中,人类精神从外部世界吸取很少,输出却很大。这是无法用言辞或数学方程描述的过程。一个主要原因恐怕在于,创造性思维的成果大于它的部分之和。

例如,每一个民族的语言都是由有限的字母和单词构成的,每一个不是文盲的人都能(借助于词典)使用它们。但是,莎士比亚、曹雪芹何以能利用它们创造出不朽之作,而一般人却不能呢?音乐符号比起词汇来要少多了,但这并不意味着我们易于理解莫扎特、贝多芬的乐曲。油画颜料谁也会买到、会涂抹,但是达·芬奇、梵高是如何用同样的颜料绘出惊世名画的呢?正如伟大的作家、音乐家和画家以独一无二的方式看待他们周围的世界、以大胆的新方式构造词汇、音符和色彩的组合一样,伟大的科学家也是如此,只不过科学家的构造元素是概念和数学符号而已。诚如爱因斯坦所说:“人们总想以最适当的方式来画出一幅简化的和易领悟的世界图像;于是他就试图用他的这种世界体系(cosmos)来代替经验的世界,并来征服它。这就是画家、诗人、思辨哲学家和自然科学家所做的,他们都按自己的方式去做。”不管各种创造者的方式多么迥异,由于其目的相同,结果是:在创造的时刻,各门学科之间的屏障往往就消失了;在创造者身上,他们的心理机制有惊人的相似之处。

就科学家而言,面对同样的实验材料和数学技巧,为什么发明家能以新方式解释这些材料和运用这些技巧呢?美国科学史家和科学哲学家阿瑟·I. 米勒在他的专著《科学思维中的意象》(1984年)和撰写的论文“意象、审美和科学思维”中,对这个问题进行了饶有趣味的探索。

米勒认为,科学发明家是以不同的心理意象方式来辨认、选择组合的,从而构造出有用的组合即科学发明。米勒以20世纪物理学的发展为背景,以彭加勒、爱因斯坦、玻尔和海森伯的科学创造为例,比较深入地探讨了心理意象在科学发明过程中的作用,勾勒出创造性科学思维的动力学。米勒之所以选取上述四位物理学大师为对象,不仅仅因为他们是现代物理学两大理论支柱——相对论和量子力学——的缔造者;更重要的是,他们研究的深度和广度迫使他们不得不深入到一个更为复杂得多的问题,即创造性科学思维的心理机制和日常思维(科学思维不过是日常思维的提炼)的本性问题。

米勒指出,彭加勒的心理意象方式是感觉意象(sensual imagery)。的确,彭加勒在一篇内省分析或自我分析的讲演(这篇题为“数学发明”的讲演是一篇极为有趣的材料,被公认是对心理学的重大贡献。该文已由作者译出,刊登在《世界科学》1986年第3期上)和其他科学哲学著作中提出,富有创造力的数学家都是一些用图像思维的人,这些图像可以是视觉的或感觉的,其中后一类能导致数学发明。他把感觉意象定义为“迅速地领悟论据整体的能力,……也可以说是这种秩序的感觉或直觉”。

在彭加勒看来,数学创造并不在于用已知的数学实在造成新的组合。任何一个人都会做出组合,但是组合的数目是无限的,它们中的大多数完全无意义。创造恰恰在于不作无用的

组合，而作有用的、为数极少的组合。“发明就是辨认、选择。”可是，怎样在无数的组合中辨认、选择呢？这就是靠科学家的直觉(眩惑的洞察力)和审美感。和谐的、同时也是有用的和美的组合能激起数学家的这种特殊感觉，使数学家能够毫不费力地包容全体，于是一个秩序井然的整体便处于数学家的双目之下，使其能预见数学定律。彭加勒的感觉意象与莫扎特的听觉意象有异曲同工之妙。莫扎特能用精神之耳听到新的、当时还未写出的曲谱，这个曲谱不是相继的片断，而是同时一齐来到的。对他们二人而言，新的创造物的形式是实质性的，而细节是随后而来的。

彭加勒认为创造性思维发生在有意识的工作-无意识的工作-有意识的工作-证实的循环过程中。他这样强调无意识的作用：潜在自我无论如何也不比自觉的自我低下，它能够辨认，它机智、敏锐，它知道如何选择、如何凭直觉推测。但是要使潜在自我富有成效，一方面有意识的工作必须在它之前，另一方面有意识的工作必须尾随其后。

正是这种极其微妙、难以捉摸的特殊感觉或感觉意象，起到了精巧的筛子的作用，它筛掉了大量的无用组合，留下了和谐的美的组合。这些美的组合引起了数学家的精神的共鸣，从而从无意识领域闯入意识领域。这就是科学家顿悟或灵感突降之时，也是科学创造过程中最激动人心的时刻。

爱因斯坦的心理意象方式是视觉意向(visual imagery)，这是德语文化背景特有的心理意象方式。这种方式至少可以追溯到康德的“通常的直观”，它是从我们在感觉世界中实际目睹的对象或现象中抽象出来的或建构起来的。爱因斯坦正是运用形象思维(即视觉思维 visual thinking，它是一种视觉意象)，尤其是思想实验超越了已知的实验事实，从而达到相对论的。彭加勒面对同样的材料，却通过构造性的努力，达到的是电子动力学(它在数学上和预言上与狭义相对论等价，但在解释或概念上却不同)，而没有达到爱因斯坦那样的原理理论，其中一个原因就在于他们的心理意象方式不同。另外需要指出的是，爱因斯坦对形象思维的偏爱，直接得益于德国哲人科学家亥姆霍兹、玻尔兹曼和赫兹，爱因斯坦在上大学时自学了他们的著作。这是德国科学家的传统。

创造性思维，尤其是形象思维本质上是非词语的，因为词语思维是一种线性过程，而创造性思维却是从显然不同的领域的元素中引出的网状过程。爱因斯坦晚年在《自述》中这样写道：“对我来说，毫无疑问，我们的思维不用符号(词)绝大部分也都能进行，而且在很大程度上是无意识地进行的。”“概念决不是一定要同通过感觉可以知觉的和再现的符号(词)联系起来的；但是如果有了这样的联系，那么思维因此就成为可以交流的了。”

在致法国数学家 J. 阿达玛的信中，爱因斯坦指出形象思维正是创造性思维的特征。他说：写下来的词句或说出来的语言在他的思维机制里似乎不起任何作用。那些似乎可用来作为思维元素的心理实体是一些能够“随意地”使之再现并且结合起来的符号和多少有点清晰的印象。当然，在那些元素和有关的逻辑概念之间有着某种联系。也很清楚，希望在最后得到逻辑上相联系的概念这一愿望，就是用上述元素进行这种相当模糊活动的情绪上的基础。“但是从心理学的观点来看，在创造性思维同语词或其他可以与别人交往的符号的逻辑构造之间有任何联系之前，这种结合的活动就是创造性思维的特征。”爱因斯坦还明确供认，上述那些元素主要是视觉型的，这充分说明他的心理意象方式是视觉意象。

在创立相对论的过程中，爱因斯坦得心应手地运用思想实验这一行之有效的工具。通过追光、升降机等思想实验，爱因斯坦悟出了时间的同时性和相对性，找到了相对论的公理基础。思想实验是科学家用来把大自然放到精神之眼下进行试验的工具，它通过创造有假想主体干预的假想客体的表象的运动，来揭示事物的规律。在科学家头脑展开的思想实验，是以形象思维为其特色的，这也是思想实验不同于纯逻辑思维的关键。从心理学的角度来看，思想实验是以视觉意象展开的。

爱因斯坦的视觉意象对于他形成相对论的框架是有根本性的意义的，它给像时间和空间

这样的概念带来了未曾料到的变化，为物理学的下一步高涨开辟了道路。但是，随着物理学的研究进入到亚原子领域，传统的视觉意向已不中用了。因为在这一领域，“物”能够同时是波和粒子。这样的物是不可见的。新原子物理学的结果使人感到眩惑，它们在人们还未理解的程度进一步改变了我们关于物理实在的本性的观点。

面对这种情况，玻尔认为，正如知觉现象的尺度是由光速建立起来的一样，普朗克常数的微小量把波和粒子模式关联在一起而成为波粒整体，由于我们感官知觉的限制而对我们隐藏起来。玻尔的这种有限制的隐喻揭示出，尽管图像(或来自直观，或来自图像感觉链)必然不同于物理学定律，但我们不得不用感官知觉调和的语言表述这些定律，因为我们只有一种语言。玻尔用互补原理概括了他的思想。这个意义深远的原理有两个主要部分：①在原子领域，基本的差别在于图像(或直观)和实际的原子系统的显现之间。因为在这个领域，物理定律要求摆脱视觉的形象化。②原子整体的知觉模式依赖于所用的实验安排。波和粒子模式不能在单一的实验中显示出来，因为它们是互斥的。可是，对于描述原子整体的特征，这两种模式都是需要的。

通过玻尔的审查，海森伯的不确定关系原来是互补原理的特例。尽管海森伯同意互补原理对于知觉世界隐喻的限制，但由于它的固有的缺陷，他依然对它小心翼翼。海森伯在不借助于视觉心理意象的情况下对量子力学加以形式化。海森伯终于认识到，原子领域的某种视觉意象能够通过新原子物理学的数学而得到，也就是说，新原子物理学的数学符号决定了理论的物理意义和它的视觉意象。这种状况与在计算机科学中把意义(语义学)赋予数学符号(句法)的问题有着惊人的类似性。海森伯的心理意象模式是用数学而不是由知觉回火的，它比玻尔的有限制的隐喻更进一步。

显而易见，20世纪物理学的进步伴随着意象的转化：从感觉意象(彭加勒)到以实际觉察到的对象为基础的视觉意象(爱因斯坦)，再到为了把爱因斯坦那类意象用于原子而对它加以限制(玻尔)，再到用亚原子的基本粒子的数学回火的意象模式(海森伯)。米勒正是通过追溯这种迷人的转化，初步探讨了心理意象的起源和动力学、它在构造科学概念中的作用，以及导致科学家达到新的意象深景(new vistas of imagery)的想像(imagination)的限度。米勒在上述基础上得出结论说：20世纪物理学的进程与认知心理学结合为一体，科学的进步与知觉和意象的转换联系在一起——科学史难道不也是知觉和意象的理论的历史吗？

上述四位科学大师都强调心理意象在他们做出科学发明时的作用。他们的创造性思维不是演绎的或语词的，这是有道理的，因为后者只能直线地或分段地进行。而且，词只有在上下文中才能获得它们的意义，这常常需要意象，或者至少需要直觉。多产的思维是高度直觉的，是在资料的多维场上自由运动的。语言对思维尽管有用，但只有当思维用如视觉意象这样的比较合适的媒介操作时，词才有助于思维。

现在从事认知科学研究的学者已注意到心理意象或心理图像在创造性科学思维中的作用，他们的分歧只是在于这种作用的大小，即在把思维化归为符号处理和关于像心理图像这样一类符号的处理结果的程度上意见不一。一派宣称，心理图像仅仅是比较普遍和比较抽象的加工系统的一个特殊方面，它只起附带作用；另一派则断言，心理图像在思维中起基本的作用。米勒称前者为反意象派(anti-imagists)，称后者为前意象派(pro-imagery)。这两派都依据认知科学的原则性信条即信息加工范式，并把精神看作是一种计算系统的符号处理机，来阐述各自的观点。

反意向派把具有全部神经生理学复杂性的大脑视为“认知虚机”(cognitive virtual machine)。认知虚机提供了认知功能结构或计算机语言，这种结构或语言是固定的，并对物种是普适的。这个学派把那些宁可能够用生物学——而不愿用法则和抽象符号的表象——来解释的心理过程定义为在认知上是费解的，从而定义为功能结构的一部分。所有其他过程都被定义为能够用心理规则系统模拟的认知过程。规则系统是在功能结构上执行的，正像在普

通计算机程序中一样。因此,执行是在计算机语言中完成的,无意义的符号按照形式规则(句法)用计算机语言来加工。抽象的符号是一种特殊的命题,并且具有三个性质:因为它们的意义与任何词或图像无关,所以它们是抽象的;它们具有由数理逻辑的规则所携带的真值;它们具有形成法则或句法。于是,符号就被释解或被描述(语义学),例如能把符号解释为数字。甚至在数理逻辑中,解释的真理并非总是肯定的,由于符号系统能够用许多不同的方式来解释,但是它们之中仅有某一个变得有意义,这种判断常常是直觉地做出的。这个学派主张,生物学基质是由技术水准构成的,这在原则上能够包括在永远是比较精致的句法理论之中。他们大胆断言,精神是语义的工具,即句法完全决定语义学。

前意象派赞同图像根源于命题编码,而且存在着功能结构。他们继而宣称,心理图像不仅在思维中起着原因的作用,而且它们一旦形成,就总是编入“文字编码”内,例如,这可以由极坐标构成。文字编码被存储起来以供将来利用。从主体如何回忆平常对象中的空间关系的语词描述之实验中得到的资料表明了以下各点:①心理模式,例如心理图像比现象的命题陈述能更好地回想起来;②我们能够而且常常宁可发展的心理模式推理,也不愿严格地按三段论推理;③从心理模式得出的推论有助于更深刻地理解问题情势。换句话说(这里对科学史研究而言存在着有趣之点),在逻辑演绎推理和心理图像之间有着复杂的相互作用。

总而言之,反意象派和前意象派都同意存在着心理图像。基本争端是图像在精神的结构功能中的心理陈述,它主要有两个方面,即心理图像的内容和它的形式。陈述的内容就是正在被描述的东西。反意象派和意象之间的分歧表现在形式争端上。内在陈述的形式是它的编码,这对意象来说可以是陈述的,或者可能既是文字的,也是语词的(正象前意象派)坚持的。由于前意象派认为心理意象在创造性科学思维中起着基本的作用,因而对意象问题进行了许多可贵的探讨。这个学派的发言人 S. M. Kosslyn 把意象作为独特的“心理感官”来看待。在他的理论中,心理图像具有空间内容,并在思考过程中起作用。为了跨越几个长期存在的哲学和心理学的缺陷而达到我头脑中的图像的概念,他加强了心理图像的概念:心理图像是准图画描述,而准图画描述则起因于用命题和文字编了码的描述信息的过程。准图画描述不在空间媒质或“视觉缓冲”中显现,它是固有的,从而是功能结构的一部分。该理论由视觉缓冲和潜在的经过编码的深描述组成。视觉缓冲是用单元被填满的二维曲面型片模拟的,或者实际上是由与计算机相连的打印机打出的圆点完成的。深描述是两折的:①知觉记忆,它包含关于回忆起来的对象的文字显现,这是用极坐标(r, θ)编码的;②关于对象的事实,这是用命题表编码的。因此,在 Kosslyn 看来,深描述包含着以前目睹的视觉信息的记忆,这是用文字编码的,也是用命题编码的。图像是通过把深描述投射到视觉缓冲上的面描述而产生的。这些图像受到其他与图像的清晰度、大小和取向有关的深描述的检验。除了解释现有资料外, Kosslyn 的模型也有预见能力。

简而言之, Kosslyn 假定,尽管心理意象的描述乍看起来是命题的,但是实际知觉到的对象的心理图像却能够用文字的形式被存储(即被记忆)起来。深描述被投射到是功能结构一个指定部分的视觉缓冲上,从而假定它在认知上是费解的。

现在,让我们从认知科学中关于心理意象的理论回到米勒本人的工作上。米勒的案例研究表明,心理意象是创造性科学思维的关键成分。心理意象既可以用实际观察到的对象来构造,也可以从物理理论的数学形式中抽象。当科学家掌握了一种理论时,他同时也就掌握了一种特殊的想像模式,科学家改变他们的心理意象的意愿受到他们的研究的影响。关于研究方法,米勒提出,像格式塔心理学和发生认识论这样的认知心理学,对于研究心理意象乃至创造性科学思维的动力学来说是极为有用的。但是,这必须与历史的案例研究密切结合起来,把科学史作为认知研究的实验室。米勒的这种研究方法是可取的,借用这一研究方法,也许能揭示出心理意象的新图景。

参考文献

- 《爱因斯坦文集》第1卷，许良英等编译，北京：商务印书馆，1976年第1版，第101页。
- Arthur I. Miller, *Imagery in Scientific Thought, Creating 20th-Century Physics*, Birkhauser Boston Inc., 1984; Arthur I. Miller, *Imagery, Aesthetics and Scientific Thought*, 此系米勒教授寄给本书作者的文稿。
- H. Poincaré, *The Foundations of Science*, Authorized Translation by G. B. Halsted, The Science Press, New York and Garrison, N. Y., 1913.