

DOI: 10.13451/j.cnki.shanxi.univ(phil.soc.).2022.01.003

论适应性表征及其方法论意义

魏屹东

(山西大学哲学社会学学院 山西太原 030006)

摘要: 适应性是主体适应其环境的特性,是物理演化系统和生物演化系统的本质属性,反映在认知上就是适应性表征。适应性表征也因此成为知识显现的方式和创造的核心,具有协调性、匹配性、互补性、模拟性和类比性,其表现方式有直接具象表征、间接具象表征、直接抽象表征和间接抽象表征,分别对应于经验主义、建构经验主义、理性主义和科学实在论。适应性表征的实现是通过科学理论核心概念的变化、定律的凝练、理论的更替、模型推理和世界观的改变展开的,具有经验上的适当性。这种经验适当性不仅是感知层次的体验,更是一种认知模式。在认知意义上,经验也是基于心理模型的,心理建模的路径有思想语言、心理表象、心理命题、思想实验和心理模拟推理。这种基于心理建模的适应性表征为科学认知和科学发现提供了有益的方法论。

关键词: 适应性表征; 科学认知; 心理建模; 方法论

中图分类号: N031

文献标识码: A

文章编号: 1000-5935(2022)01-0021-11

表征作为认知科学中知识形成的核心假设,由于它要不断适应其目标对象而表现出显著的“适应性”。在表达的意义上,表征是人使用概念、图像、命题、模型、符号等中介客体对目标客体的似真的、可靠的描述或刻画。用控制论的术语讲,表征就是中介客体与目标客体之间不断进行控制-反馈的认知适应过程。然而,由于表征特定目标客体的方式不止一种,其中有没有最佳表征?如何才能更有效更可靠地表征?经验在其中起何作用?要回答这些问题就意味着我们要在诸多表征类型中做选择,抑或是几种表征形式的混用。这种选择的实质涉及表征的经验适当性问题,因为在科学认知中研究者要运用各种手段从目标客体不断获得信息,以便在设计表征工具中不断调整方案,以达到可靠描述和解释目标客体的目的。本文从适应性表征这个概念出发,进一步挖掘其含义、类型、实现途径、经验适当性、认知模型、心理建模机制及其方法论,力图建立一种能够阐明认知机制的科学方法论。

一、适应性表征的内涵

“适应”是进化论的核心思想,它是主体(有机

体或行为体)与其所处环境协调而不断进化所表现出来的特性。霍兰德(J. H. Holland)通过“隐秩序”阐明了适应性如何建构复杂性的问题,发现自然系统和人工系统都存在适应性^[1]。在达尔文进化论意义上,适应就是生物融入环境并在环境中生存的过程,这就是“适者生存”。在这个意义上,生物学实质上就是关于生物适应性的科学。“表征”作为心智与自然的界面,是心理与物理间的中介物,一种心理建模的物理实现。海里根(F. Heylighen)认为,适应是一种替代选择,表征是主体与客体之间、心智与自然之间、智能适应性系统的内在和外在环境之间的动态关系的特征描述,其机制是反馈-前馈相互依赖,体现为抽象的信息加工过程^[2]。柏格森的创造进化论认为,“适应不仅仅是淘汰不适应者。适应是由于外部条件的积极影响,使有机体造就自己的形态。”^[3]神经生理学的可塑性原理表明,“皮层神经元所创造的有关世界的表征并非固定不变,而是不稳定的。在人的一生中,根据新经验、新的自我模式、外部世界的新刺激以及新同化工具等的不同,这一表征会不断调整自己。”^[4]如果说无机物的适应意味着机械地嵌入环境,如不同的液体在同一

收稿日期: 2021-11-12

基金项目: 国家社会科学基金重大项目“人工认知对自然认知挑战的哲学研究”(21&ZD061)

作者简介: 魏屹东,山西大学哲学社会学学院教授、博士生导师,主要从事科学哲学和认知哲学研究。

器具里具有相同的形状,那么有机体的适应就不是重复而是反应,不是复制而是塑造,塑造就是适应。适应性造就了创造性,同时也导致了表征的复杂性。因此,适应本质上是一种动态交互作用的过程。

表征作为一种认知过程,也是动态交互的同化适应过程。同化是主客体通过中介的相互作用,“这种相互作用的性质是,它包含对客体的特性的最大顺应,同时也包含最大限度地整合到先行结构中去(不管这些结构是怎样建立起来的)”^[5]。根据皮亚杰的生物学认识论,认知是适应性的,而且只是有机体适应环境的一个特例,适应的标准就是适应的成功。比如,“氧化说”比“燃素说”更成功地说明燃素现象,这是同一思维过程的两个近似值。认知表征是一个适应系统,其中的两个核心要素是中介客体A和目标客体B。在表征系统中,A是适应性主体,它不断使自己适应其客体B,通过相互作用最终形成适应性表征,而“适应度必须产生于具体的情境”^[6]。这就是说,适应随环境的变化而变化,表征须在特定语境中形成。因此,A表征B意味着它们之间具有协调性、匹配性、模拟性、类比性和同一性。而正是由于认知过程具有这些特性,才使得表征具有了适应性。

在我看来,在表征问题上不存在最佳表征,只有适应性表征,或者说,适应性表征就是最佳表征。凡是能适应性地表征对象的表征就是最佳的。适应性同时意味着可靠性和准确性,不适应一定是不可靠和不准确的。不过,表征会因学科不同而异,如数学表征不同于文学表征。即使是同一学科,不同人对同一现象的表征也会不同,如电磁现象,法拉第用自然语言和图形描述,麦克斯韦则用数学语言刻画。这必然涉及表征的类型和表征主体的经验适当性问题。

二、适应性表征的类型

如果一种表征是适应性的,那么它在经验上一定是适当的。根据表征的直接性、间接性和经验的感知性、抽象性,笔者将适应性表征分为四类:直接具象表征、间接具象表征、直接抽象表征和间接抽象表征,它们分别相应于经验主义、建构经验主义、理性主义和科学实在论。

(一) 直接具象表征

所谓直接具象表征,就是运用感官包括视觉、听觉、触觉和嗅觉对要探究的目标客体或现象根据其形象直接进行描述,其哲学立场是经验主义,即完全

依赖经验建构知识。凡是通过感官从外部对象获得信息,再在人们头脑中进行加工形成其心理表征,都是直接具象表征。生物学、天文学、地质学是这种表征形式的主体学科,具体表现为实物、图像、图表、曲线图、物理模型等可见表征形式。在科学表征中,除使用语言外,为什么还要使用视觉图像呢?原因很简单,作为文本的语言不能完全清晰说明世界,语言描述具有模糊性,而视觉表征具有可见性,如近期关于“黑洞”的图像表征,将其由概念指代具体化为视觉图像,因为视觉表征提供了科学中使用的不同类的图形,能够依据内容表达意义并指明指称。因此,语言与图像是不同的两类表征形式,它们并不互斥,而是相辅相成,因为语言需要图像加以辅助说明,图像也需要语言做进一步阐释。魏格纳的“大陆漂移假说”是直接具象表征的一个典型例子。魏格纳根据大西洋海岸的高度吻合的二维视觉表征和各种地图的比较,提出大陆漂移假说,并通过大地测量证据、地球物理证据、地质证据、古生物和生物证据及古气候证据,将大陆移动的论点建立在地质学和古生物学的基础上,指出大西洋两岸地质学的相似性^[7]。在表征的意义上,这种假设是依据直接感知形象做出的,证据也是可直接感知的,正如吉尔(R. N. Giere)所言,“我认为形象是作为地球相关属性的部分视觉模型起作用的。这样,它们(形象)为关于物理概率的基于模型的判断提供了基础。这些物理概率在世界上将是有效的,假如它们是根据该模型被建构的话。”^[8]

(二) 间接具象表征

借助仪器、图形或他人的观察数据所做出的表征我称之为间接具象表征,其哲学立场是建构经验主义,即基于间接经验进行理论建构。在物理学中,开普勒利用第谷的天文观测资料所做的关于行星运动的几何模型与数学刻画,就是间接具象表征的典型例子。从表征的角度看,如果说第谷的天文观测结果是一种直接具象表征,那么开普勒使用数学方法处理那些观测资料,提出行星运动三定律说明太阳系行星之间的数量关系,就是一种间接具象表征。之所以间接是因为,他所用的资料是第谷观测的,而且几何模型不是对行星结构的直接观测获得的,而是设想的;之所以具象是因为,这种几何模型是形象的、可见的。开普勒用语言和几何图形混合表征行星运动的例子告诉我们,每一种发现一定会有一种相应的表征,要么是语言描述,要么是几何图形表达,要么是方程式刻画,抑或是几种方式的混合。这

几种方式在开普勒的表征中都用到。

法拉第对电磁感应现象的语言-绘图表征是间接具象表征的又一个典型例子。为了解释电磁感应现象,他创造性地提出“场”和“力线”这两个概念,将不可见的场用可见的图形表示出来,如表征磁铁N和S极的磁力线图、磁力线和电流线相互作用的关系图、表示电和磁通过运动相互变换的两个圆环垂直嵌套图。为了使磁场或电场成为可见的,法拉第在一张纸上撒满铁屑,并轻轻敲击纸,铁屑便连成许多细小线条,显示出永久磁铁或电流导线周围的磁场分布图形。铁屑所排列的形状就是磁力线的形状。通过场和力线这两个抽象概念的形象化表征,法拉第实现了对电磁场及其感应效应的间接具象表征,即将心中设想的不可见的场和力线变为由铁屑显示的可见线条。心中的设想是一种心理模型,它是科学家在其想象中能够操作的东西。因此,间接具象表征首先是建立心理模型,然后进行机制表征,最后获得经验启示法。间接具象表征给我们的启示是:科学发现依赖于找到一个足够重要的问题,而且将其转换成一种表征形式,这种表征形式提供了一个清晰的、简洁的、有希望的解决问题路径。总之,表征是发现过程的一部分,仅发现而不知道如何表征是难以有所突破的,也难以有所创造。

(三) 直接抽象表征

这是一种不以可见实体、图像、物理模型等为中介的抽象表征,其哲学立场是理性主义,即超越经验凭借纯粹理性思维进行表征建构。在面对一个新问题或一种未知现象时,科学家可直接构想一个新概念,而不是建立一个抽象模型或方程,然后设计实验验证;一旦验证了,说明新概念对那个问题或现象的解释就是适当的。拉瓦锡的“氧化说”和门捷列夫发现的“元素周期律”就属于这类表征,他们使用的表征工具是一种新的化学语言。在化学史上,对燃烧现象本质的探讨是先设想可燃物质内部存在某种“燃素”的东西,然后用其进行解释,再用实验进行验证。在探索燃烧本质的漫长过程中,拉瓦锡的“氧化说”最终取代了斯塔尔的“燃素说”。在概念表征的意义上,“燃素”和“氧”最初都是化学家设想的一种物质,但实验最终否定了“燃素”而证实了“氧”的存在。也就是说,“燃素”没有实际指称物,虽然能指,但没有所指。“氧”则相反,不仅能指,也有所指(氧元素)。“燃素说”之所以不是科学假说,其原因在于它仅从可燃物内部寻求燃烧的可能性,忽视了外部因素,而科学表征是内在表征和外在因

素的相互作用。拉瓦锡认识到燃烧是可燃物与空气中的氧结合的结果,从而提出“氧化说”。从表征的角度看,前者是用设想的东西表征虚构的能指,后者是用所发现之物表征本就存在的所指,即用所谓的“生命空气”表征真实的氧气。

元素周期律的发现过程是无模型直接抽象表征的典型例子。这种发现和表征首先得益于元素和原子量这两个概念的确立。门捷列夫时代已有63种元素得到确认,同时原子量也得到精确测定,制定了当时最精确的原子量表,使得探讨不同元素之间的规律性成为可能。然后,化学家尝试按照原子量大小和性质排列元素,发现部分元素之间存在性质上的规律性,如元素的“三素组”(如锂、钠、钾)现象、元素性质与原子量关系的“螺旋图”、元素性质相似的“八音律”和“元素周期表”。这种以量增和相似为主的表征方式体现了直接抽象表征的特征。笔者发现,在发现元素周期律的过程中,包括门捷列夫在内的所有人,直接使用经验可获得的原子量和实验测量的元素的物理性质来描述周期性,没有设计任何模型,也没有假设任何可能的机制,而是直接进行抽象的表征。这类表征完全不同于预先通过设计一个模型来描述世界的某方面的表征。这就是接下来要讨论的间接抽象表征。

(四) 间接抽象表征

这是一类完全使用抽象符号的表征,其哲学立场是科学实在论,即在本体论承诺的前提下,使用想象进行符号化表征。这类表征不是使用概念或模型作为中介描述客体或现象,而是通过符号或数学方程进行表征。麦克斯韦描述电磁波的方程组是此类表征的典型例子。为了表达法拉第的“力线”和“场”的思想,弄清传播电磁作用介质的力学结构和运动与所观察到的电磁现象之间的关系,麦克斯韦提出“位移电流”概念和“涡旋电场”假说以及光的电磁波动学说,通过方程组(5个微分方程)将电、磁和光现象用动力学统一起来,不仅反映了电磁场的规律,也揭示了电磁场的物质性,成为自牛顿以来物理学上最深刻的一次革命。从适应性表征的角度看,麦克斯韦针对电磁现象创造性地导出了电磁现象的场方程,这是物理学中的一个新的表征结构,即关于力的一个“量化场”表征。麦克斯韦的建模表征过程包括三个基于模型的推理,即漩涡流动模型、漩涡-滚轮模型和弹性漩涡-滚轮模型。这三个模型是递进的,它们都是以流体力学和机械力学作为源,通过满足各种约束条件建立模型来表征电磁现

象,正如奈瑟希安(N. J. Nersessian)总结的“麦克斯韦的基于模型的推理实践包括建构、评价,以及通过抽象和整合不同约束条件适应模型。约束条件本质上是经验的、数学的和理论的,它们源于连续统力学和机械力学,源于电与磁中的实验发现,源于数学以及法拉第和汤姆森的各种假设。一旦麦克斯韦形成一个满意的模型表征一个具体的机制,他就考虑能够说明电磁现象的机械模型的那些抽象关系结构,明确表达抽象模型的方程,并用电磁变量替换。”^[9]

三、适应性表征的实现途径

在认知表征系统中,中介客体相对于目标客体是该系统的主体,它是作为“适应性主体”起表征作用的。由于表征是“用一个中介客体指涉一个目标客体”,“指涉”不仅意味着指代和关涉,更意味着映射、耦合、匹配等适应性意义,是一种有向的对应替代关系。科学认知的中介客体主要是概念(命题)、定律、理论、模型及其组合,其适应性反映了其对目标客体表征的主体性,即适应目标的主动性和能动性。这些作为适应性主体的中介客体是如何适应其所指涉的目标客体的呢?我认为这种适应性是通过科学理论核心概念的变化、定律的凝练、理论的更替、模型推理和世界观的改变实现的。

(一) 概念变化产生适应性

科学理论中的核心概念不是一成不变的,一个概念从提出到进入理论核心,进而真正反映事物的本质,其名称、内涵与外延必然会发生变化。概念变化的类型可归结为三种:一是一个新概念取代另一个原有概念,这是彻底的概念变化,必然产生革命性影响,比如,“氧化”概念取代“燃素”概念,导致了化学中的一场革命。二是名称(语形)本身未变,但内涵变了,其意义必然发生了变化,例如“原子”概念的语形,从古希腊至今未变,但意义由“不可分”到“可分”发生了变化,这导致了粒子物理学的产生,使原子论成为当代科学的主要基石。三是在原初概念上分化出新概念,导致原初概念的内涵和外延发生变化,例如“元素”概念,它是指由同种原子组成的单质,如氢元素在元素周期表中占据第一个位置,后来发现氢元素有三种,它们是质子数相同但中子数不同的同位元素(氕、氘、氚),由于它们的化学性质基本相同且在元素周期表中占据同一位置,“同位素”概念便由此产生了。“同位素”概念不仅改变了元素概念的内涵和外延,而且揭示了决定元素化

学性质的是质子数(核电荷数)而不是原子量。这些类型的概念变化表明:科学概念只有不断适应新的事实而变化,才能真实反映并表征目标客体。

(二) 定律的凝练过程创造适应性

皮尔逊认为,科学定律是“概述事实群之间的关系之简要的陈述或公式”^[10]。也就是说,定律是人的某些感知和概念群的关系和顺序的概要或简明的表达。例如,对于行星运动体系的数学刻画,从古希腊到牛顿时代的两千多年里,越来越趋向简洁、精确、包容广的陈述或公式。古希腊的自然哲学家用“同心球”几何结构体系描述日、月和诸多行星的运动,比如亚里士多德用3到4个同心球的组合来描述行星的运动。这些早期的学者们把太阳的运动和恒星的运动结合起来,将地球置于同心球体系的中心并静止不动,设想行星沿着“本轮”做圆周运动,而“本轮”的中心处于另一个圆周的“均轮”上,“均轮”的中心则是地球。这样一来,行星和地球之间的距离就会发生变化,用此来解释行星的亮度变化更符合人们的视觉感知;而适当选择圆周的大小和运转的速度,通过设想天体运行的轨道都是“偏心圆”轨道中心离开地球有一定的距离来解释,则行星运动的轨迹就可从数量上得到说明,比如“偏心圆”轨道较准确地解释了太阳的某些不规则的视运动和月亮的近地点运动。再后来托勒密则采用“本轮”“均轮”加“偏心圆”的新理论来描述行星运动,虽然复杂但使理论更接近观测结果。这种通过不断修正的行星运动体系,严格说是合乎逻辑的、完善的几何表征。近代的哥白尼发现,托勒密的体系既不简洁也不完全符合事实,他通过假设地球绕轴自转摆脱了它携带恒星的天球之麻烦,通过将太阳而不是地球置于体系的中心摆脱了“本轮”,虽然没有摆脱“偏心圆”。哥白尼的体系在陈述上更简洁,精确性也更好,但还没有凝练为更简化的数学公式。开普勒通过构想行星在椭圆上运动,太阳处于一个焦点上,用三个数学公式完备地刻画了行星的运动。牛顿进一步用万有引力定律统一了开普勒三定律,不仅描述了行星的运动,也描述了它们的卫星的运动和它们上面物体的运动,从而提出一个更简洁、更精确、包容更广的陈述和公式。显然,定律凝练的过程就是表征不断适应所观测事实的过程。

(三) 理论的范式更替造就适应性

在科学中,后继理论取代先前的理论几乎是一种常态。这一方面反映了人的认识的提升,另一方面反映了理论不断适应目标客体这个事实。根据库

恩的观点,两个理论范式是不可通约的,因为它们拥有完全不同的概念体系,但它们在适应目标客体方面却是一致的。进化论的发展是理论不断更替适应的典型例子。进化意味着主体(生物的和非生物的)随着时间变化。对于生物体而言,进化意味着变种和生存竞争,其目的是为了适应环境而生存。而描述进化现象的理论无疑是非生物的,也是随着时间改进的。进化理论只是提供了解释目标客体(种群)的一个模型。达尔文理论是描述进化发生的一个“自然选择”模式,后来生物学家发现促进进化的因素还有遗传漂变(偶然因素引起种群基因构成变化)、基因流动(迁移引起的种群基因的变化)和基因突变(DNA调整导致的变化)这些都是解释进化的不同模式。这些理论范式导致了渐进论(进化是微小变化慢慢积累的过程)与突变论(进化是一个间歇性的暴涨过程)之间的不可调和的争论。20世纪20年代出现的“现代综合论”发现,两个看似不可调和的观点其某些核心部分是可兼容的,即孟德尔遗传学与达尔文自然选择背后的机制是一致的。这就是20世纪50年代DNA结构的发现,该发现是弄清分子过程参与遗传的关键。分子遗传学就是综合论的巨大成就,形成了新的进化理论。

(四) 模型推理强化适应性

模型一般可分为理论模型和实验模型,前者依据理论建模,后者依据测量或观测数据建模。现代宇宙模型的发展是模型推理的一个典型例证。爱因斯坦首先根据广义相对论创立了一个有物质无运动的静态宇宙学模型,其后其他天文学家根据广义相对论建立了一个物质密度为零而有一定质量的静态宇宙学模型,它们均属于封闭宇宙系统。后来有人通过分析上百个球状星团的空间分布,确认银河系的中心在人马星座方向,提出银河系模型,彻底否定了太阳系宇宙中心说。再后来不断涌现出新的宇宙模型,诸如“弗里德曼宇宙模型”(基于爱因斯坦引力方程)、“勒梅特的膨胀宇宙模型”(宇宙大尺度时空将随时间的推移而膨胀)、“稳恒态宇宙模型”(宇宙的性质在大尺度时空范围内恒定不变)。宇宙虽然在不断膨胀,但物质可以连续不断地从虚空中创造出来,形成新的天体和天体系统,从而保持宇宙中物质密度不变。这种关于宇宙膨胀观点最终形成了著名的“大爆炸宇宙学假说”,即推断宇宙起源于原始火球的大爆炸,今日演化着的动态宇宙是热大爆炸的结果。从宇宙模型的演化可以看出,模型是构造出的假设,模型推理是假设的模型化过程,从理论

假设到建构模型的过程,就是不断适应目标客体(宇宙)的过程。

(五) 世界观的转变契合适应性

在科学中,世界观是指一套信念体系,该信念体系内的各个信念相互联系、连贯一致^[11]。从亚里士多德到牛顿世界观的变化说明了对真实世界的适应。亚里士多德认为,地球处于宇宙中心且静止不动,诸行星围绕地球约24小时公转一周;月下区的物质由土、水、气、火四种基本元素构成,月上区由以太构成,每种基本元素的本质属性由它们的运动方式决定等。这些基本信念形成一个完整的、连贯一致的信念体系,其中地球静止不动且处于宇宙中心是核心信念,其他信念随之而调整,如土元素向着宇宙中心方向运动,气向着离开宇宙中心的方向运动。若改变核心信念,其他信念就必须调整或替换。也就是说,核心信念是不可改变的,否则就要改变整个信念体系。在牛顿世界观形成之前的近两千年里,亚里士多德的世界观一直是西方的主流。牛顿以来的新的观测证据(由于发明了望远镜)表明:地球不仅围绕自己的轴自转,而且在椭圆轨道上围绕太阳运动。这不仅更符合太阳系的实际情形,也彻底颠覆了亚里士多德的世界观。虽然亚里士多德的世界观更符合常识,但牛顿的世界观更符合证据。在证据面前,常识通常被颠覆。证据与真理相关,常识与信念相关。这种世界观的转变有力地说明,我们的大多数信念是缺乏证据的,我们之所以相信那些信念,是因为它们符合常识和所持的世界观。因此,我们不能仅把科学看作是一个由真信念和真理构成的集合,它要不断地适应经验世界才能存在,就连人工智能的知识表征上也是适应的,正是“适应性确保了多智能体系统能够学习自己的运行方式,使其在某种程度上依赖于自己的经验”^[12]。这就是认知表征的经验适当性。

四、适应性表征的经验适当性

适应性表征与经验密切相关,或者说,表征在经验上是适当的。这就是范·弗拉森(B. C. van Fraassen)所说的“经验适当性”,它对于科学表征是不可或缺的,理由有如下三点:

第一,对复杂理论的理解需要经验适当性。范·弗拉森将世界分为可观察和不可观察两类,前者是我们直接看到的,或通过仪器观测到的经验世界;后者是超越人类视力范围,或根本就不可观察的非经验世界,如物理学中的宇观、微观领域,哲学中

的可能世界或形而上世界。理论对经验世界的表征应该是经验适当的,否则就是不可接受的;对不可观察世界的理论描述若不具有经验适当性,就难以被理解。如量子力学,不论多么深奥,也不论有多少种解释,最终都是要通过实验与经验联系起来。这种超验的理论如何与经验联系本身就是个难题。在范·弗拉森看来,科学是建构的而不是发现的,是建构符合科学现象的模型,而不是发现不可观察物的真理,建构过程就是不断适应的过程^[13]。

第二,超验的想象需通过经验适当性加以确认。哈瑞将世界分为三个局域^[14]:局域1是人类视力直接观察的世界,一种完全经验世界;局域2是借仪器如望远镜和显微镜可观察的世界,一种非完全的经验世界,或是半经验世界;局域3是完全不可观察的世界,一种超验的可能世界。局域1和局域2是经验主义和实证主义可达的世界,对于局域3它们无能为力。局域3是科学实在论可达的世界,不是通过经验,而是通过隐喻式的想象认知。但科学实在论并不排斥经验,相反它承认通过经验主义和实证主义就可描述局域1和局域2。因此,科学实在论超越了经验主义和实证主义,将认识论的范围扩展到经验之外。想象和隐喻认知是科学研究所必须的,但仍面临着抽象的想象物和隐喻的事物的经验适当性问题,也就是将想象和隐喻的事物转换为经验上可感知的东西,这是科学表征的一个难题。

第三,实验探究凸显经验适当性。施拉格尔(R. H. Schlagel)倡导的语境实在论认为,语言不是作为探究的首要材料,经验探究的结果才是首要材料;科学如果仅仅致力于逻辑形式和数学形式的研究,而忽视了实验探究的发现,它就不会取得如此大的进步;逻辑不是澄清概念和论证的唯一工具,经验探究可能更重要;科学表征是系统的描述,它极力说明知识问题的不同方面,如经验探究的层次、量子力学自相矛盾的结论、心身问题的困境、语言指称问题以及真理的意义标准等^[15]。在他看来,这些问题相互关联,可以在语境实在论框架中加以解释。实验探究首先是感知性的,其结果也一定与经验相关,因为实验的设计要与探究的现象相匹配,结果要通过数据模型来表征,而数据模型是与实在世界紧密相联的。可见,语境实在论也非常重视经验在探究中的作用,语言被置于次要地位,尽管探究的结果需要语言表达。或者说,在科学探究中,经验探究是第一位的,语言描述是第二位的,因为语言毕竟是作为工具被使用的。正如康德指出的,“在时间上,我们没

有任何知识在先于经验,一切知识都从经验开始。”^[16]

需要指出的是,这里强调表征的经验适当性并不是一味坚持经验主义。事实上,表征关系中并不包括经验,经验只是在两种客体形成表征关系时的匹配方面起作用,即表征应该在经验上是适当的,经验上不适当就不能形成被认可的表征关系。虽然奎因对经验主义的批判已经表明,经验主义关于观察命题和理论命题的区分是失败的,经验作为检验标准也不一定可靠,但这并不能成为我们可以忽视经验在表征确证方面起重要作用的理由。在我看来,经验是探索过程中不可或缺的一种基本认知表征模式,这与心理建模密切相关。

五、适应性表征的心理建模

如果经验是一种认知模式,那么所有表征在认知意义上均是基于心理建模的,因为所有表征都首先是内在于人心的,是有心理意向的人做出的。可以说,心理建模和认知加工是所有知识产生的基础,因此所有基于经验的表征都是认知表征。既然表征是一种认知过程,它就不仅仅是指代、经验描述、心理想象,更应是推理和建模。在传统认知科学中,表征和包括推理的加工被认为是在头脑中进行的心理建模,包括心理想象、心理动画以及基于感知的表征。这种内在表征一定会延伸到外在世界,从而形成外在表征——语言表达、逻辑刻画、视觉表征、物理模型和计算模型等,这正是具身认知科学和延展认知纲领所倡导的。因此,适应性表征必须考虑心理建模这种内在表征的框架和实现路径。

(一) 心理建模框架

心理模型最初是心理学的一个假设,在当代认知科学中处于核心位置。根据这个假设,人们在许多案例中通过设计思想实验进行关于物理情境的内在模型的推理,在此过程中,模型是类比真实世界现象的一个结构、行为或功能,如说明绝对空间的牛顿桶的思想实验。心理模型作为一种解释框架进一步假定:模型是知识的心理表征的组织单元,在各种认知任务包括推理、问题解决和话语理解方面有着广泛应用。因此,心理模型是在工作记忆中作为感知、话语理解和想象的结果被建构的,它的一个重要特征是它的结构对应于它所表征的结构,如一栋房子的心理模型与该房子的结构几乎同构。这样一来,心理模型与建筑师的房子模型类似,也与化学家的化合物分子模型类似。

那么,究竟什么是心理模型?它如何被表征?哪类加工是使用它的基础?创造和使用心理模型的心理机制是什么?心理建模如何参与外在表征和加工过程?这些问题目前还没有一个公认的理论能够说明。在心理学中,心理模型通常是指人们遵循习俗或经验建立的有效方法,它是根据零散的事实构建而成的一种初步的理解,或是相互关联的言语或表象的命题集,是推论和预测深层知识的基础。奈瑟希安认为,“心理模型是真实世界或想象情景、事件或过程的一个结构的、行为的或功能的类似表征。”^{[9]93}也就是说,心理模型是通过类比对真实世界、想象情境或事件的表征,其框架的一个总假设是:领域知识的某些心理表征被组织在包括时空结构、因果联系和其他关系结构知识的单元中。

在我看来,心理模型是一类框架或结构,与命题框架相比更形象化和动态化。例如“狗”不仅仅是一个抽象概念,我们都有一个关于狗的形象化的心理模型,或许是基于我们的宠物狗的形象,或许是基于像狗的狼的形象。不同框架之间可以相互嵌套,不同心理模型之间也可以嵌套。科学家能够拥有关于一个总系统的心理模型,如宇宙模型,也能够拥有关于这个系统的一部分如何工作的心理模型,如太阳系模型。“胸有成竹”就是做事有成功把握的一种心理模型。认知的表征本质上也是一种心理框架,如语言表征的命题框架,模型表征的物理、符号、数学框架。

心理模型的意义一般是通过在心中编码形成的命题实现的,即心理表征。心理表征的结构是语法式的,依赖于惯例来控制被称为思想语言的东西。例如语句“三角形位于圆的右侧”,谓词“右侧”先于主语“三角形”和宾语“圆”,在我们心中形成的心理模型(图像)是:△O。这种心理模型是有空间的,即它与两个客体之间的实际空间关系是同构的,但它不表征两个客体之间的距离和物质特征。表征概念在认知心理学中被理解为可反复指代某一事物的符号集,包括日常语言与形式语言。特别是在某物缺席时它代表该事物,被代表的事物通常是外部世界的一个特征或人心中想象的一个对象。相对于外部表征如地图、图画、文字语言等,心理表征是内在于心中的,它仅代表了环境的一些特征,与外部表征的一些特征是对应的^[17]。在认知科学中,符号主义心理表征观认为,认知是通过各种基于规则的加工过程而对符号表征进行操作,因此心理模型就是符号模型。联结主义采用神经网络组成的计算模型,不

是通过命题表征的符号内容对信息进行表征,而是以具有亚符号特性的分布式表征来描述信息,心理模型因此也是一种微观结构模型。

(二) 心理建模的实现路径

我们究竟是如何在大脑中组织和表征外在世界的?这是认知科学和脑科学都会面临的最棘手的问题。在认知心理学中,表征是指物理客体不在场的情形下重新指称这一实体的任何符号或符号集,心理表征就是要处理大脑中所储存的知识的内容和形式。如果这个定义是正确的,那么心理建模是通过什么途径实现的?根据认知心理学和认知科学,我将心理建模的实现路径概括为以下五种:

1. 思想语言 思想语言是哲学家福多(J. A. Fodor)提出的一种相对于自然语言的心理语言假设。自然语言作为表征外部世界的工具,是我们的一种语言表征能力;思想语言作为表征外部世界的一种观念或观念集,是关于我们的行为如何被解释的一种观念,也因此是我们的一种心理表征能力。与自然语言一样,思想语言不受刺激的约束,即我们任何时候任何地点都能够使用思想语言进行思考和想象,使用这种语言表征的世界可能是反事实的世界,如神话世界。思想语言的这种特征使得它作为表征工具可能会误表征真实世界。在我看来,思想语言其实就是自然语言在心中的反映,没有自然语言就不会产生思想语言,因为自然语言是从口语到书面语逐渐在特定世界如汉语世界中发展起来的,只有学会了自然语言,才能形成思想语言。显然,自然语言是组织化的系统,语言表征就是组织化的知识。具体说,一个语句是按照语法规则组织起来的词语结构,语句的意义是依赖于词语的含义加上它的结构。在表达的意义上,自然语言是说出的思想语言,思想语言是内化于心的自然语言。前者是外在的、显在的,后者是内在的、潜在的。当然,思想语言假设能否成立是有巨大争议的。不过,我认为既然有思想就会有思想语言,否则思想就难以被表征了。尽管自然语言可以描述我们的思想,但它不能描述所有的思想和观念,思想和观念有时是“只可意会,不可言传”。这就是我们常常说的意会知识,它是难以用自然语言表达的。

2. 心理表象 表象是视觉感知的东西在心中形成的图形或图像,因此也称视觉表象。比如我看到一匹马,当闭上眼回忆时在我心中会形成马的形象,马的形象就是表象。亚里士多德曾经将表象看作人类思维的主要中介和心理表征的一种重要形式。心

理旋转、心理扫描和认知地图是表象的主要形式。心理旋转实验表明:表象具有客观世界中那些物体的全部属性,就像物体占据物理空间那样占据一定的心理空间,似乎具有三维特征。心理扫描实验也证明,表象具有域特异的空间特征,与客观世界物体和活动所拥有的特征相类似。例如让被试看一副地图,发现被试从一个目标扫描另一个目标的时间,与这两个目标之间的实际距离相关,即扫描时间与两物体之间的实际距离成正比。认知地图是基于过去经验产生于头脑中的某些类似于现场图的模型,也是一种对局部环境的综合表象,包括事件的顺序、方向、距离以及时间关系的信息。这种综合表象是通过大脑对环境加工后建立的一个完整的格式塔,这种格式塔就是认知地图。认知地图是真实环境的复制品,与物质环境大致一一对应,似乎是一幅贮存在头脑中的环境图像。总之,表象的实质是客观事物的心理空间模拟和心理动画模拟,一种具体的心理表征。

3. 心理命题 这里的命题不是指一个有特定意义的陈述句,而是指一种心理的概念性内容,一种可以用于指代所有心理信息的基本语言。这种心理命题构成了一个普遍的、不具有感觉特性的心理语言。我们可以想象心理的内容是类似事物的各种实体,它们通过各种概念关系组合起来。例如(狗,草坪)这些实体,它们的概念加上谓词“玩”可以表征为(狗,草坪,玩),用语句描述就是“狗在草坪上玩”。金属铜、铁、银等实体,其概念加上谓词“导电”,可以表征为(金属,导电),用语句表示就是“金属能导电”。科学中的许多核心概念起初并不是从实践中获得的,而是先在心中形成范畴,如原子、分子、夸克等,这些均是不可观察的实体,它们首先是类似于实体的心理客体,由它们组成的命题自然就是心理命题。潜在的心理命题通过实验验证后,就成为显在的知识命题。这就是心理命题与知识命题的转化关系,它们是内在表征与外在表征耦合的结果。

4. 思想实验 所谓思想实验就是一种想象的实验,一种理想的、在头脑中设计形成的认知模型,其实质是在心中操作模拟真实实验的一种心理类比。与心理命题是类语言表征相比,心理类比是关于视觉、听觉和动觉的表象。类比表征是不连续的,能够内隐地指代事物,组合规则是松散而具体的。例如,我们通过类比知晓,电脑病毒类似生物病毒那样自复制、自传播,不同病毒的复制和传播途径不尽相同,危害性的大小也不一。科学中的思想实验就是

与真实实验的心理类比。例如牛顿设想了水桶旋转实验来证明时空是绝对的,用无限大的水桶类比宇宙,桶中旋转的水形成的凹类比绝对空间。伽利略设想了行驶中的船上运动的物体,如飞翔的苍蝇,这种情境与在陆地上没有什么区别,以此说明运动的地球围绕太阳转动的相对运动性。这些例子说明,精心设计的思想实验的叙事导致建构一类情境的一个心理模型,而且这类情境的模拟结果,提供了表征世界某些方面的认知通道。正如奈瑟希安指出的,“思想实验模型提供了探讨结果(概念的或经验的)一种方法,由此产生了表征世界的一种方式。它们本身通常不提出解决方案,而是指明可能变化的通道。”^{[9]175}

5. 心理模拟推理 推理经由心理模拟是心理模型的一个核心洞见。事实上,不仅推理需要心理模拟,其他知识,如因果知识,也同样需要建构模型,创造一个经由模拟的新状态。日常生活中像搬家具这种简单的事情,我们事先也是在心中像“放电影”一样回顾家具搬入家门的情境,看家门的大小是否能让家具通过。这个过程就是心理模拟。可以说,凡是在心中再现某种场景的过程都是心理模拟。科学中的心理模拟就是想象,想象是展现场景的思维过程,如化学家凯库勒在思考苯环的结构时,据说他在梦中展现了几条蛇头尾相咬连成一个环的情形,醒来后豁然开朗,意识到苯的结构可能是环状。爱因斯坦设想追逐光柱、光线弯曲的情形,是他创立相对论不可或缺的一环。科学中的心理模拟不是做梦,它是一种基于科学原理的想象,具有变为现实的可能性。心理模拟具有的心理空间、心理旋转、心理动画特征表明,被模拟的客体可能是一个模糊的、无模式的图像,如牛顿将地球视为一个质点而非椭圆的球体。这不只是出于研究和表征的方便,可能是心理模拟的特点使然。总之,心理模拟是通过建立与目标客体相类似的一个心理模型来探索该客体的结构和属性,它是对世界的客观反映,不纯粹是精神现象。

六、适应性表征的方法论意义

上述表明,人的认知系统是适应性表征系统,它源于生命系统对环境的适应性。在作为人类活动的科学实践中,我们如何实现表征的适应性?作为表征的中介客体,它既可以指称抽象的心理实体,如问题、观念、知识和代数概念,也可指称具体的物理实体,如自然类、物理过程和境遇,它是如何将心智与

世界结合而成为适应的?或者说,适应性表征如何体现?这是科学认知的方法论问题,其意义在我看来表现为五方面。

(一)适应性表征提供了认知主体与外在世界之间不可或缺的界面

逻辑地看,任何表征都是有内涵和外延的。表征的内涵是抽象的指称,是指内在的、主观的和心理的意义或内容;表征的外延是具体的指称,是指它指代的外部客体和物理现象。借用皮尔士的符号学概念来说,内涵指称是解释项,外延指称是指代项。譬如,如果我们要把一个具体记号作为一个表征,我们必须说明它指代什么,指出其指代项就是给出意义或做出解释。然而,要清晰地说明表征概念的意义不是一件容易的事情。一个表征,既不完全属于外部世界或物质领域,也不完全属于纯粹的心理或理念领域,它介于这两个领域之间,在二者之间保持一种适应性张力,即:表征构成一个界面,位于心智与自然之间、主体与客体之间、自我与世界之间,超越了传统的心智与自然、主体与客体的二分。在任何操作的意义上,纯观念和“物自体”都不存在,它们是不可达的理想物。这种划分是人为地区别了内在自我与外部世界,纯粹是一种表征的人造物。皮尔逊认为,所谓的“外部客体”就是我们“过去感觉印象存储的结果”,也就是一种由即时的感觉印象与过去的或存储的感觉印象组合而成的“构象”(construct),因此,事物的实在性依赖于它作为即时的感觉印象群出现的可能性;而形而上学家的概念,如康德的“物自体”或克利福德的“心智素材(mind stuff)”,就是非实在的(不是理想的),它们不能变成直接的感觉印象,但关于物质本性的物理学假设是理想的(不是非实在的),因为它们并非绝对地处在可能的感觉印象的领域之外^[18]。由此可见,一个表征就是连接心智与自然的一个中介,它的意义依赖于它要表征的物体的语境,如关于天体运动的描述,在托勒密的表征体系中,太阳的视运动被认为是属于外在世界的天体,属于太阳本身,而在哥白尼的表征体系中,太阳的运动属于地球,属于居于地球观察太阳的主体。因此,一个表征原则上就是心智与自然之间的桥梁,表征概念就是心智科学与自然科学之间的桥梁。

(二)适应性表征提供了刻画外部世界的一个指称框架

相对论和量子力学清楚地表明:像空间、时间、质量和能量这些基本物理属性,依赖于观察者的指

称框架。这个指称框架被看作是表征的一个具体例子。在量子力学中,观察者也使用一个表征来起主导作用,根据测不准原理,在观察者与其观察的客体之间总是存在一个有限的相互作用,这引起了客体本身的一个扰动。由于观察者与其所观察的客体的非分离性,总是存在一种持续的不确定性。由于观察者对客体缺乏完整的知识,他必须对客体状态的表征做出选择,以便对其感兴趣的变量进行计算。如果观察者对在某一个空间域中发现一个粒子的概率感兴趣,他就会使用粒子态的波函数表征。如果观察者对该粒子自旋的可能值感兴趣,他会将该粒子态作为自旋本征矢量的一个线性结合体。这种表征的结果意味着,表征本质上不只是一个不变物理现象的相当纯粹的常规描述,情形似乎是,主体、客体、表征和观察,不再被看作是彼此分离的,它们形成一个不可分割的整体,这就是玻尔的互补性原理所描述的微观世界的粒子运动现象的特征。因为我们使用仪器观察微观粒子时,这些粒子不可避免地会受到观察者的影响而失去它们本来的运动状态。经典力学缺乏一种概念工具来模型化这种基本相互作用性,而量子力学则提供了这样一种概念框架。

在认知科学中,最初独立地研究认知或心理现象而不用指称外部物理世界似乎也取得了丰富的成果,如逻辑形式主义的抽象结构和属性分析、生成语法分析、状态空间搜索的启示法等就是如此。后来,为了给实际的智能建模,我们需要研究能够面对实际世界的系统,研究处于具体境遇中的智能系统。典型的例子是机器人的研究。机器人应该能够通过反馈其目标系统,有能力体验物理世界,能够根据其目标作用于物理世界,并及时修正其行为。这个例子说明,认知科学也同样趋向一个更整体的、相互作用的方法,其中认知主体和被认知的客体是相互包含的,更说明物理科学与认知科学在逻辑上是相通的,建立一个整合的、适应变化的表征概念是必要的。这就是适应性表征。

(三)适应性表征提供了一种替代选择

适应性系统是能够根据环境的变化而自动调节以适应环境变化的系统。认知系统如人脑就是一个适应性系统,机械系统如恒温器也是一个适应性系统。人能够根据环境的变化不断调整自己,如气温升或降时,我们会减少或增加衣服。当遇到一种突然出现的变化如火灾时,人能够根据当时的具体环境和条件做出适当的选择,如逃跑或躲避,凡是有利于生存的选择就是适应性选择。在选择的过程

中,认知系统自然会形成一种感知-进化-推理-行动的模式。这种模式包括一个反馈-控制环,系统通过不断的反馈-控制循环,达到最佳的适应性选择或表征。相对于人类这种具有目的、意志、知识的认知系统而言,机械系统的适应性就会弱许多,因为它没有目的性和知识性,尽管它也能机械地自动调节和选择。在这个意义上,机器人的适应性与人类的适应性不可同日而语。机器人虽然也有内在表征(符号编程),但没有心理表征(心理图像、思想语言)。机器人的符号表征是不会随着环境的变化而变化的,但人的心理表征则会。换句话说,机器人是不会自动生成语境的,而人类是语境化的。这就是机器人与人类的本质差别。

(四) 适应性表征引导或控制一个系统及其环境之间的相互作用

表征以通过发生在某个环境中的变化的方式来保持那个系统的同一性。这使得那个系统以内在变化的方式适应环境的变化,或者说,在外在变化破坏系统的同一性之前它们就得到补偿。为了保持系统的同一性,即在变化的环境中系统仍然能够适应环境,这个表征应该能够提供一个在环境中可能变化的模型,提供该系统可能行动的一个模型,并允许这个系统探查环境,以便使它不断适应其环境。比如一个人来到一个新的环境,他首先应该去熟悉那个新环境,以便在此环境中调整自己的行为让自己适应,或者说,使自己保持与新环境的同一。

在系统不断适应环境的过程中,系统的表征结构也在发生着变化,其结构可以是同构的,即一一对应的映射,也可以是相似的,即是部分同构的;既可能是静态结构,如图像,也可能是动态结构,如神经网络。适应性反映了环境的动态性,反过来,正是环境变化的动态性,使得表征产生适应性。假如环境是不变的,系统对它的表征也就不会变化,当然也就不存在适应性了。那么,是什么使得一个表征具有适应性呢?什么机制使得它对变化的物体建模呢?在我看来,这个机制是基于表征的状态和结构的二元性。结构是适应性表征的一个静态部分,它是不变元素的一种组织和内在联系;状态是一个表征的不断变化的方面,为了与环境中的变化一致,状态一定是能够表征的。而从一个状态到另一个状态的转换部分地由表征的结构和实际外部境遇决定。比如一个语言系统,其表征结构一般由词汇、语法或句法和内在逻辑构成,语言的使用者知道这种结构,并有能力运用语言进行描述或表征,也就是能够说出或

写出有意义的句子。当然,要知道句子的意义,还需要有句子的语境。因为语言系统的灵活性导致了句子的数量可能是无限的,但词汇和语法规则却是有限的。这意味着,语言的使用者要适应其语言变化,以便描述或表征变化多端的境遇。如从一种语言到另一种语言的转化,这不仅取决于使用者的能力,也取决于对语境转换的把握,适应性表征在这种情形中突出了动态性。

(五) 适应性表征提供了正反馈-反馈的认知机制

在一般系统中,稳定结构与变化环境之间的相互作用可分为输入与输出,如由外部境遇产生的表征状态的变化(输入)和由表征状态产生的外部境遇的变化(输出)。在高阶的认知系统中,感知是输入过程,行动是输出过程。从输入到输出的过程由表征决定,通常被称为“正反馈”,而从经过环境的变化后的输出返回一个新输入的过程,被称为“反馈”,而相互作用过程就是正反馈-反馈构成的一个循环,表征就体现在这个循环过程本身。具体而言,信息加工过程就是表征过程。如果信息蕴含了知识,那么信息表征就是知识表征。与心理学中的长时记忆和短时记忆相比,稳定知识相当于长时记忆,变化的知识相当于短时记忆。由于短时记忆能够转化为长时记忆,变化的知识也可以转化为稳定知识。适应性表征就是在这种变化中形成的。如果要追问适应性表征的最终根源是什么,那就要探寻更高阶的元表征,即表征背后的表征问题。这是表征的形而上学问题。

参考文献:

- [1] HOLLAND J H. Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control and artificial intelligence [M]. 2nd. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1992.
- [2] HEYLIGHEN F. Representation and change: a meta-representational framework for the foundations of physical and cognitive science [M/OL]. Ghent, Belgium: Communication & Cognition, 1999: 23-27 [2021-04-11]. <http://pcp.vub.ac.be/books/Rep&Change.pdf>.
- [3] 亨利·柏格森. 创造进化论 [M]. 姜志辉, 译. 北京: 商务印书馆, 2012: 54.
- [4] 米格尔·尼科莱利斯. 脑机穿越: 脑机接口改变人类未来 [M]. 黄玉萍, 郑悠然, 译. 杭州: 浙江人民出版社, 2015: 195.
- [5] 皮亚杰. 生物学与认识 [M]. 尚建新, 等译. 北京: 三联书

- 店,1989:54.
- [6]约翰·H·莫兰. 隐秩序:适应性造就复杂性[M]. 周晓牧, 韩晖,译. 陈禹,方美琪,校. 上海:上海科技教育出版社,2012:94.
- [7]魏格纳. 大陆和海洋的形成[M]. 张翼翼,译. 北京:商务印书馆,1986.
- [8]GIERE R N. Science without laws [M]. Chicago and London: The University of Chicago Press,1999:131-132.
- [9]NERSESSIAN N J. Creating scientific concepts [M]. Cambridge,MA: MIT Press,2008:28.
- [10]卡尔·皮尔逊. 科学的规范[M]. 李醒民,译. 北京:华夏出版社,2003:79.
- [11]理查德·德威特. 世界观:科学史与科学哲学导论[M]. 李跃乾,张新,译. 北京:电子工业出版社,2014:7.
- [12]卢西亚诺·弗洛里迪. 第四次革命:人工智能如何重塑人类现实[M]. 王文革,译. 杭州:浙江人民出版社,2016:210.
- [13]范·弗拉森. 科学的形象[M]. 郑祥福,译. 上海:上海译文出版社,2002:6-7.
- [14]罗姆·哈瑞. 认知科学哲学导论[M]. 魏屹东,译. 上海:上海科技教育出版社,2006:18-21.
- [15]SCHLAGEL R H. Contextual realism: A meta-physical framework for modern science [M]. New York: Paragon House,1986:xiii.
- [16]康德. 纯粹理性批判[M]//李秋零. 康德著作全集:第3卷. 第2版. 北京:中国人民大学出版社,2013:26.
- [17]M·W·艾森克,M·T·基恩. 认知心理学[M]. 高定国,肖晓云,译. 邢其斌,审校. 武汉:华中师范大学出版社,2004:262-266.
- [18]卡尔·皮尔逊. 科学的规范[M]. 李醒民,译. 北京:华夏出版社,2003:41-42.

On Adaptive Representation and Its Methodological Significance

WEI Yi - dong

(School of Philosophy and Sociology , Shanxi University , Taiyuan 030006 , China)

Abstract: Adaptability is the characteristic of the subject adapting to its environment, the essential attribute of the physical and biological evolution system, and the adaptive representation in cognition. Therefore, adaptive representation has become the way of knowledge presentation and the core of creation, which are of coordinative, matching, complementary, simulating and analogical natures. There are four ways of adaptive representation: direct concrete representation, indirect concrete representation, direct abstract representation and indirect abstract representation, respectively corresponding to empiricism, constructive empiricism, rationalism and scientific realism. The realization of adaptive representation is carried out through the change of the core concepts of scientific theories, the conciseness of laws, the replacement of theories, the model reasoning and the change of world outlook, and it has the appropriateness in experience. This appropriateness is not only a perceptual experience, but also a cognitive model. Furthermore, in the sense of cognition, experience is also based on mental models. The paths of mental modeling include thought language, mental representation, mental proposition, thought experiment and mental simulation reasoning. This adaptive representation based on mental modeling provides a useful methodology for scientific cognition and scientific discovery.

Keywords: adaptive representation; scientific cognition; mental modeling; methodology

(责任编辑 郭郁 责任校对 郭郁)