



科学发展模式的历史演进及其 对当代科学教育的启示

熊华夏

(北京师范大学 教育学部, 北京 100875)

摘要:近代科学诞生于西方,科学发展模式从20世纪下半叶的逻辑实证主义到拉卡托斯,形成了从表象科学观到发现科学观,再到社会-历史科学观的历史演进脉络。基于不同的科学发展模式,知识增量-时间坐标图谱也呈现出不同的样态。科学发展模式的更替体现了人类认识科学的思维演变进程,从社会-历史的缺位到社会-历史的复归再到人文关怀的终极回归,为我国科学教育改革指明了方向。要求科学教育教学方法从知识体系到知识-行动体系的整体转向;课程内容以研究为载体,融合 &HPS 理念的反思重构;教学过程依托科学教育,丰富学习体验,指向对人文关怀的终极回归;课程目标聚焦核心素养,培养科学“三观”,促进全面发展。

关键词:科学教育;学科核心素养;科学发展模式;科学哲学

中图分类号:G40.01

文献标识码:A

文章编号:1008-6390(2020)03-0095-05

近代科学诞生于西方,科学哲学兴起于20世纪20年代的逻辑实证主义,科学哲学以静态的方法论原则去揭露和演绎科学发展的动态过程和逻辑程序,科学发展模式是科学哲学方法论投射到整个科学哲学体系的缩影。从逻辑实证主义到拉卡托斯,科学发展模式的更替体现了人类认识科学的思维演变进程:从社会-历史的缺位到社会-历史的复归,再到人文关怀的终极回归。2019年7月,《中共中央国务院关于深化教育教学改革全面提高义务教育质量的意见》(以下简称《意见》)颁布,《意见》作为新时代我国深化教育教学改革、全面提高义务教育质量的纲领性文件,其中明确提出“加强科学教育和实验教学,着力培养学生认知能力,促进思维发展,激发创新意识”^[1]的要求。我们追溯历史,渴望历史的关照,指向持续可行且面向未来的科学教育,让科学触动每一位孩子的精神家园。

一、科学发展的理论更替

(一)表象科学观:逻辑实证主义

逻辑实证主义作为当代西方科学哲学的主要流派,它以经验为根据,以逻辑为工具,以观察作为研究的起点。“一个命题的意义就在于证明它的方法”^[2],这种模式可简略记述如下:积累经验事

实——归纳命题——产生科学假说F——多次观察和实验——科学理论的诞生。审视上述动态发展模式,其逻辑出发点聚焦观察命题和经验事实,存在的立足点是以是否能经受住经验的检验作为判断。科学理论的产生都可以追溯到经验中去,经验的实证是科学定律和科学理论的试金石。经验蕴藏的绝对值占据理论的比例不断增加和积累的过程就是科学发展的动态过程,整个科学进化史的本质就是科学理论经验蕴含量不断渐进积累的历史。逻辑实证主义主张真理与事实只有一步之遥,理论通过经验的检验之后就可以永远登上真理的宝座。这种科学理论发展观背后反映的是“以有限推及无限,以现在推及未来”的思想,但是它没有为有限与无限、现在与未来之间预留错误、意外、讨论、反驳的位置,使得逻辑实证主义关照下的科学发展变得僵硬和呆板。

(二)发现科学观:波普尔的证伪主义

波普尔的证伪主义与逻辑实证主义的经验证实原则分庭抗礼。证伪主义以理论为根据,以猜想与反驳为工具,以问题作为研究的起点。这种模式可以简略记述如下:基于问题A诞生了尝试性理论T1——发现T1中的错误——消除错误——发展正确理论T2——又在T2中发现问题B——……这一动态发展理论反映了科学知识的增长既不是单纯观

收稿日期:2020-02-25

作者简介:熊华夏,硕士研究生,研究方向:教育学原理。

察的结果,也不是一板一眼地纯粹追求事实与经验的一一对应的理论积累,而是基于猜想与反驳的试错法,一个理论不断被另一个理论证伪或者推翻的结果,“没有办法证实严格的全称陈述”^[3],科学发展史就是理论不断被证伪或者推翻的历史。波普尔最大的贡献是认识到揭示真理的过程不是一步到位的,人类需要为错误、革命、反驳在科学发展的过程中预留位置。有学者将波普尔的思想称为“境况逻辑”,“境况分析将关注点停留在对历史的理解而非预言上,强调历史重建中的多元论”^[4]。但是波普尔证伪主义的缺陷在于对错误、革命、反驳的程度的把握太过于严格,他主张为科学革命预留空位,但是这个科学革命是一次性的,一个理论只要一次被证伪,就再也没有登上竞技台的机会。然而,波普尔没有看到理论具有自我修正的能力,被证伪的理论可能被历史的聚光灯再次点亮,波普尔没有对其自我修正的过程给予足够的宽容。

(三) 社会 - 历史科学观:库恩的范式

库恩的科学理论发展模式建立在批判波普尔逻辑证伪主义之“猜测与反驳的科学观”的基础上。因为他发现,波普尔提出的不断实现革命性飞跃的科学动态模式有悖于科学史的发展,脱离了实际科学。他认为考察科学的发展需要考虑两个方面,一方面是历史框架要被引入对科学发展的研究中来,另一方面科学理论其实是不能简单草率地被证实或轻松证伪,它作为一个有机的整体,有其内在的合理结构。于是,他提出了“范式”关照下的科学理论的动态发展模式,这种模式可简略记述为“前范式时期——范式指导下的常规科学——科学危机——科学革命——新范式指导下的新常规科学”。处在“前范式”阶段的科学家缺少共同信念、方法、习惯的牵引,科学共同体尚不存在,各种学派相互争论,科学界处于一种朦胧、混沌的状态,没有统一的发展方向。“常规科学”是指以一种或多种已有科学成果为基础的研究,并且这些成果被某个科学共同体在一段时期内公认为是正向积极实践的基础^[5]。此外,“科学危机”的内涵是指科学家们信仰的范式发生了改变。新的常规科学时期是科学革命发生后的下一段平静期,“繁华落尽,终归沉寂”,科学共同体又在新的统一范式支配下进行工作。由于反常与危机,之前一直被奉为圭臬的旧范式逐渐被遗忘和抛弃。科学革命产生的直接原因就是科学危机的出现,其本质就是范式的改变。常规科学与科学革命不断交替的过程铸就了科学发展的动态模式,这一模式体现了渐变与飞跃的不断统一。

(四) 新社会 - 历史科学观:拉卡托斯的科学纲领

总的说来,我们能在拉卡托斯的理论中看到前述三个思想的影子,拉卡托斯认为“科学系列”应该取代“科学理论”,每一个科学理论体系的本质就是一个科学研究纲领,强调对体系的关注才能更好地揭示科学蕴含的张力和生命活力。科学研究纲领由四个相互关联的部分组成:一是“硬核”——科学纲领最基本的理论,它是不容许被改变和被反驳的核心关键;二是保护带,由多方辅助性假设构成,主要作用在于帮“硬核”挡刀,使其免遭攻击和伤害;三是反面启发法,通过采取一些禁令来解决目前面临的各种反常现象;四是正面启发法,即积极的鼓励性规定,将消除反常以保护整个研究纲领作为终极目标,这一部分科学共同体不仅被鼓励按照预设好的研究方向、步骤和方针展开研究,而且还被允许通过修改和增减辅助性假设的方法来发展和修订科学纲领。拉卡托斯指出:“新事实的产生是科学理论进步的表现。”^[6]研究纲领的进步取决于事实性预言的体量,而其产生途径是调整保护。如果某个研究纲领不仅无助于预言新的事实,并且只能以特设来解释新发现的事实,那么这个纲领就是典型的退化的纲领。在研究纲领进化的依据上,应该坚持“科学史的元标准”,经验与理性应该作为支撑科学的两条腿,从而彰显历史与逻辑相统一的特色。

二、科学发展模式的知识增量 - 时间坐标图谱

科学发展模式的更替深刻地影响着知识增量随着时间的变化,这种变化本质上反映的是知识观的变迁。教育承载着知识生产与传递的过程,知识观的变迁反过来倒逼社会认知教育。因此,从逻辑实证主义到拉卡托斯,知识增量 - 时间变化图谱作为科学发展模式与教育之间的桥梁,既照应了科学发展模式中人文关怀的终极回归过程,也回应了教育过程中逐步把人视作教育的中心的蜕变。

(一) 逻辑实证主义

该理论模式认为,科学发展只能体现量的积累,并且这种积累还是线性的,其间没有科学革命推动科学理论的发展。换句话说,经验命题的不断归并与追加积累导致了知识的连续增长,因此可以直接用一条斜率固定的斜线来表示知识的线性积累(如图1所示)。随着知识的增加,科学的发展可以用公式表示:“(事实 A1A2A3... AN——归纳出一般规律 RA) + (事实 B1B2B3... BN——归纳出一般规律

RB) + ... + (事实 N1N2N3... NN——归纳出更多一般规律 RN) = 科学理论”。

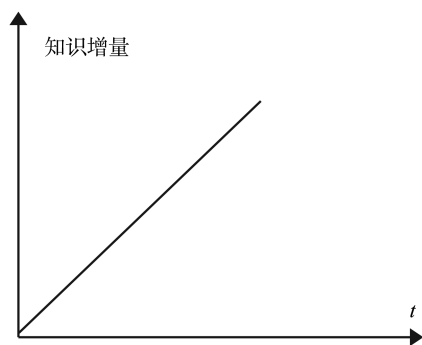


图1 逻辑实证主义知识增量-时间坐标图谱

(二) 波普尔证伪主义

渐进性和连续性中断时,波普尔的证伪主义不同于别的科学发展理论的创新点。这一动态进化模式相比于归纳主义的经验累积模式来说,对其只反映科学发展渐进性方面的局限有了一定的突破。同时证伪主义还凸显了科学进化不断革命的飞跃性特征,“大胆猜想,小心验证”是“试错法”的独有特色,科学家们要立志成为善于“从错误中学习”的特定问题专家^[7]。因此,用公式表示:“A——TT——EE——B……其中A代表问题,TT代表试探性理论,EE代表消除错误或批判性检验,B代表新的问题。”从逻辑实证主义的线性积累到波普尔的波浪式增长,由直到曲的变化反映出错误和反驳对知识增长带来的冲击,科学发展在科学革命影响下单位时间内知识增长的不确定性,具体如图2所示。

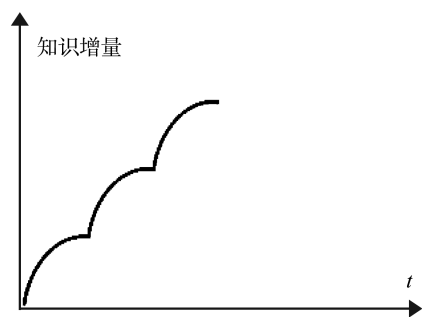


图2 波普尔证伪主义知识增量-时间坐标图谱

(三) 库恩的范式

在这里似乎没有办法再用一个公式来单纯表示库恩认为的科学发展模式,因为从实证主义到证伪主义,科学理论的发展都被认为只靠理论本身的力量就可以被推动。因此,可以从一个理论的视角来描摹科学发展的图谱。但是到了库恩,他削弱了被习以为常的理论本身这种独断的,强调心理的、信念

的、历史的等非理性因素也要参与到推动科学发展的力量中来的思想,给予了新发现充足的生命力。但成也萧何,败也萧何,对非理性因素程度的把控,一直是人们批判其思想的着力点。因此,这一阶段的知识增量-时间坐标图谱很难再从一个理论切入。在波普尔曲线波浪图的基础上,库恩范式思想下的知识积累在起点处有了新的突破,散点图表示各家理论学派在范式形成前的竞争,反映了考察科学发展的框架从一元转向二元,人的因素逐步被揭示。曲线表示一种理论突出重围,形成范式之后的科学发展也是伴随着突变、科学革命、非直线积累发展起来的,具体如图3所示。

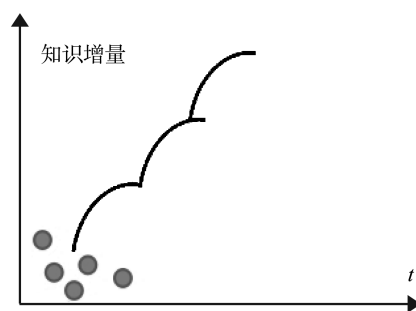


图3 库恩范式知识增量-时间坐标图谱

(四) 拉卡托斯科学研究纲领

拉卡托斯认为科学发展模式无法再从一个孤零零的理论视角出发,以单纯的公式为载体来表示科学发展模式。拉卡托斯基于纲领的科学进化模式如下:进化的科学研究纲领——退化的科学研究纲领——新的进化的研究纲领证伪并取代退化的研究纲领——进化的新科学研究纲领——……量变与质变的辩证组合以及渐进与飞跃的美感在拉卡托斯的科学发展模式观中被完美体现。因为科学纲领的进步期与退化期相互交融,这一思想背景下的知识增量-时间坐标图谱不仅要反映出“进步期的理论也是需要预言与证实的”^[6]特点,还要体现退化期知识增量的减缓和反常时期知识增量速率的停滞。因此,用斜率固定的斜线表示进步期知识的直线积累,用斜率小于进步期的曲线表示科学纲领退化期知识增量的骤减,用直线抽象地表示反常时期知识增量的停滞。拉卡托斯的阶段式知识积累更加完整地表达了在人文关怀回归过程中知识积累的变化,具体如图4所示。

总体说来,拉卡托斯的科学研究纲领结合了历史与逻辑,是从更全面的视角出发的理论体系。可以说拉卡托斯在考察科学发展的动力时,解决了“谁唱主角”的问题,因为他认为站在历史的视角来

考察科学发展是非常必要的,虽然推动科学发展的主动力还是理论本身。“不管是对人的历史的研究还是对自然的历史的研究,我们不能忘了研究的初心是一切为了人。”^[8] 科学研究纲领也存在着一定的局限性,从理论上来看,拉卡托斯的理论对研究纲领进步或退步的解释是说得通的,但也止步于理论,是后验的;同时科学研究纲领方法论低估了概念问题还可能在科学评价和竞争中发光发热。

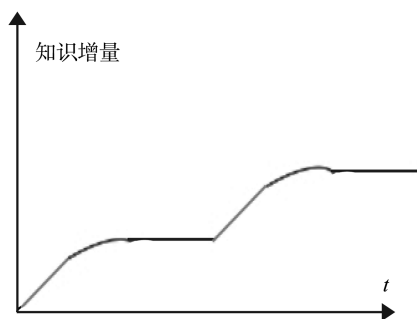


图4 拉卡托斯知识增量-时间坐标图谱

三、对当代学科科学教育改革的启示

每一次科学发展模式的更迭都不是空穴来风,对每个阶段更替背后折射出的科学教育价值进行充分的辨析,使其成为我国基础教育科学学科课程改革的不竭动力。

（一）从知识体系到知识-行动体系：教学方法的整体转向

从表象科学观到发现科学观,彰显了科学界对错误的包容性从零到一的过程,串联起了逻辑实证主义迈向证伪主义的重要一步。科学方法的核心是科学探究,科学教育不能脱离“探究教学”的教学方法。探究不是重演,探究过程中的不确定性本身就为错误和失败埋下了伏笔,一次革命的科学不一定是严谨的科学。“科学文化教育是本质的”^[9],当以静态固定的知识来替代科学,把科学教育作为推动社会发展的工具时,科学教育的教学方法常常陷入重“重现”轻“探索”的沼泽中。当用动态发展的眼光来考察历史、知识、人与科学的关系时,对科学的研究就已经不仅仅停留在认识论的层面,而扩展到价值论中去了。回望科学发展史上的三次科学哲学转向,其已经将触角伸向了科学价值论的内容。科学教育想要挖掘深度、扩展广度,教师必须变革科学教育教学方法,让学生在科学文化的熏陶下,养成主动探索的习惯。

在将探究法教学落地到实践中时,教师首先应该有意识地引导学生辩证地看待科学实验的失败,

同时还应该利用各种教学策略激发学生学习的主体性。主体性的激发可以从对互动策略的选择入手,通过联系学生的生活实际来调动他们学习科学、探究科学的兴趣和积极性。其次,科学教育过程中一定不能遗忘了科学的理性传统,学生应该被教师引导按照“提出问题——猜想和假设——制定计划和设计实验——获得数据与事实——检验反思评价——分享与交流”的科学探究程序进行科学知识的获得与理解^[10]。最后,科学教育还旨在培养科学的思维方式和生活方式,引导学习者在面对抽象严谨的科学知识时,通过师生互动、专题探究、合作学习、运用实践等环节,使科学的教育与学习从自然现象走来,向与心理、社会、个体、历史等丰富元素交织在一起的科学走去,最终实现科学知识体系向“科学知识—科学思维和生活方式”体系的转化,促进学习者科学核心素养的形成与发展。

（二）以研究为载体,融合 &HPS 理念：课程内容的反思重构

从发现科学观到社会-历史科学观,“历史”作为考量科学进步的一种因素被拉上舞台,一切历史都是人的历史,历史的背后其实是“人”的影子在婆娑起舞,“人”的主体性跃跃欲试。关照到课程内容上,时代变革更新的速度已经不允许再用呆板、僵化的思维面对教育,科学教育课程内容的定位不仅仅是传递知识,而是要“将逻辑和经验连贯起来串成一条线,以培养学习者高阶能力的发展为目标,突出学生学习的个性和灵活性”^[11]。为此,科学教育要与时代发展统一步调,社会的快速变革引领着科学课程内容的不断丰富。当今的科学教育已不仅仅被限定在自然科学教育的小天地中,而是包含了社会科学、人文科学和行为科学等在内的大概念科学。这种丰富性背后彰显的是对人的关照,更多人的因素被纳入对科学发展的反思中。

&HPS (“history, philosophy and sociology of science”的缩写)教育即表示将科学史、科学哲学、科学社会学的有关内容引入科学教育中,指向学生对科学本质的理解,培养其科学精神和创造力。“对科学知识体系进行重构以形成一种内容更丰富和全面的“大科学课程”模式,在我们开展 &HPS 教育的过程是不可或缺的。”^[12] 人类到底应该用科学哲学的方式来回答“什么是科学”的问题,还是以科学史的方式来回答,一直就是科学界争论的话题。正如贝爾斯特亚 (D. J. Balestra) 形容的那样:“若科学合理性是依赖一种科学哲学作为存在依据,那么其在理解科学史和追溯科学史的时候就是以辉格式解释为

代价的;若科学史被一门科学哲学成功地追溯或理解,则这种科学哲学对科学理论的建构是不完整的。”^[13] &HPS 的诞生是学者们在科学哲学沉寂了近三十年后,对过去科学哲学和科学史联系状况的深刻反思,其不仅仅是方法论视角上的简单融合。浸润在 &HPS 理念下的科学教育是从哲学、社会、历史这三个以人为依托的新角度对自然科学内容进行重新加工和编写,不是对大量的学科教育知识进行粗暴的叠加、简单的拼凑,这一理念下的科学教育实践使学生不但能够学习到科学概念、理论和定律,还能了解到科学史、科学社会学、科学哲学等方面丰富的知识。此外,科学哲学和科学史的融合让学生面对的不再是冰冷的公理、定律和概念,而是鲜活的生命个体发展过程,彰显了知识背后的温度,“使学生建立‘开放的’知识观和‘完整的’自然科学知识体系,真正领悟科学本质”^[14]。

(三) 依托科学教育,丰富学习体验:教学过程中人文关怀的终极回归

拉卡托斯对社会-历史科学观的更新,指向的是人文关怀的终极回归,体现的是科学教育教学过程中对“完整科学”的美好向往。圆满的教育是能够启迪人性的有温度的教育,不是冷冰冰的知识灌输。“只见事实的科学只会造就只见事实的人。”^[15] 科学教育在教学过程中要体现人文关怀,要力图将以科学知识体系为根基的科学思想,“贯穿于科学研究活动之中的科学精神、科学美感,科学共同体所遵循的科学伦理,让学生充分地体验和获得,这才是完整的科学教育”^[9]。科学教育过于专门化会失去教育的本质,让科学教育异化为理论、概念、定律的工具,不能彰显人在科学教育过程中的主体性,分割了人在接受科学教育过程中的学习体验感。当然,在教学过程中,既要注意防止科学主义,也要克服反科学主义,保留理性传统。科学教育必须继承理性传统,否则可能会流于形式,被简单的“观察”所欺骗,被表面的“现象”所蒙蔽,从而与真正的科学背道而驰。“学生能够通过科学教育习得辩证地看待科学与技术关系的能力,能够深刻认识科学的功能,用正确的态度面对科学家的研究和研究成果,同时为捍卫科学的正当性和合法性做出自己的努力。”^[9]

(四) 聚焦核心素养,培养科学“三观”:课程目标的全人理念

纵观科学发展模式的演进脉络,是一部不断向“人”看齐的发展史,这给科学教育的课程目标带来的启示是科学教育的终极指向是滋养人的全面发展。科学作为一种认识工具,可以帮助人类个体更

好地认识自己、他人与集体,尤其是提供了比较全面、深刻地认识自己的可能性;科学的出现为人们提供了摆脱物质牵累的契机,直面表象背后的精神世界,使人的精神生命得以彰显和勃发;科学更为人类个体的实践提供了方法论上的指导,当我们把“科学实践纳入与物质的再生产、人的再生产和知识的再生产之间的相互依存的关系中予以考察”^[16]时,科学不仅提高了个体活动效率,还有助于其更健康、人道地生活。当前,基础教育课程改革把“科学观念与应用”作为科学学科核心素养的重要内容,引发了各位学者对科学教育的重视与研究。“核心素养的培养是一个系统工程,应将关注点放在科学知识体系的一致性和连贯性上面,同时注重培养孩子的有效衔接能力,将‘知识本位’的思想转为以‘概念为基础’、以‘能力为驱动’、注重人的全面发展。”^[17] 科学素养的核心体现是对批判和怀疑精神的追求,怎样通过课程的开展培养学生有效的质疑能力、行动力是科学教育课程开展的出发点,也是课程目标制定的着力点。

“三观”是支撑生命个体立足于世界的根本,科学的“三观”既能对个体的生命历程提供认识论上的指导,又能提供方法论上的关怀,还影响个人对“什么是科学”的理解,即对科学本体论的追问。科学教育课程目标的制定需要从“培养全面发展的人”的初心出发,通过提升个体的科学素养,培养学习者科学的价值观、人生观、世界观,使其“知情意行”得到充分发展,成为一个具有科学核心素养的未来公民。

四、结语

对科学教育发展与改革的反思需要跳出科学教育本身,考察科学发展模式的更替不失为一个很好的研究视角。科学发展模式的不断更替,一方面揭示了世界上不存在完美的科学发展模式,每一种科学发展模式都需要丰富和完善;另一方面也说明科学在不断地发展。科学的发展需要科学发展模式更明晰、更严格、更精确,并且更加人性化,从而能够真正体现科学发展的合理性。如今社会的和谐发展已经无法仅凭物质层面的满足来维系,对人的关怀和关心、个体精神生态的建构决定着社会发展的品质。在新挑战、新形势下,如果仍然用“实用”的态度来对待科学教育,就不能真正地完新时代赋予的历史使命。科学教育的改革需要充分体现科学与人文融合的理念,因为从本质上讲这一变化指向的是对人的终极回归的回应。

(下转第 104 页)

升到人格层面,将人格作为最基本的元规范,作为伦理道德教育的核心。

其次,地方媒体与高校应合力建立积极的引导机制与平台,增强大学生群体与社会之间的吸引力和凝聚力。“后真相”时代下的社群重归部落化,且在社交媒体的回声室效应与过滤气泡效应的作用下加厚了各社群之间的壁垒,造成社群的分裂,要想改变这种现象,重在打破壁垒、凝聚社群,扩大各社群之间的共识,建立平等互动的对话平台。

最后,传统媒体应以诗情涵养“四力”,加强阵地意识共塑舆论合力。习近平总书记在党的十九大报告中指出,要坚持正确舆论导向,高度重视传播手段建设和创新,提高新闻舆论的“四力”,这为新闻舆论工作指明了方向,明确了着力点。传统媒体在新时代应坚持正确的意识形态方向,新闻工作者要坚守新闻专业主义,坚持党管媒体原则,明确一切为了人民,不论在何时何地,都要对党和人民负责;加强内容与渠道建设,提高新闻媒体的话语表达能力,创新话语表达体系;加强媒体自身文化建设,重视融合传统媒体与新媒体的声音,重构媒体议程;积极引导大学生在网络平台上展现理性的一面,使“正能量”声音在网络舆论空间不断涌现。

参考文献:

- [1] 中国互联网络信息中心. 第44次中国互联网络发展状况统计报告[R/OL]. (2019-08-30) [2019-11-20]. <http://www.cac.gov.cn/pdf/20190829/44.pdf>.
- [2] 马克·格兰诺维特,理查德·斯威德伯格. 经济生活中的社会学[M]. 瞿铁鹏,姜志辉,译. 上海:上海人民出版社,2014:67.
- [3] 周葆华,陆晔. 从媒介使用到媒介参与:中国公众媒介素养的基本现状[J]. 新闻大学,2008(4):58-66.
- [4] 李富强,王亚南. “90后”大学生思维特点及思维能力的培养[J]. 科教文汇(下旬刊),2014(11):200-202.
- [5] 路翠萍. 大学生思维方式与应对方式的关系研究[J]. 心理发展与教育,2008(4):56-60.
- [6] 古斯塔夫·勒庞. 乌合之众:大众心理研究[M]. 冯克利,译. 北京:中央编译出版社,2011.
- [7] 江作苏,黄欣欣. 第三种现实:“后真相时代”的媒介伦理悖论[J]. 当代传播,2017(4):52-53,96.
- [8] 张华. “后真相”时代的中国新闻业[J]. 新闻大学,2017(3):28-33,61.
- [9] 彭兰. 人人皆媒时代的困境与突围的可能[J]. 新闻与写作,2017(11):64-68.

[责任编辑 乡 下]

(上接第99页)

参考文献:

- [1] 中共中央国务院关于深化教育教学改革全面提高义务教育质量的意见[EB/OL]. (2019-06-23) [2019-11-19]. http://www.moe.gov.cn/jyb_xwfb/s271/201907/t20190709_389557.html.
- [2] 洪谦. 逻辑经验主义[M]. 北京:商务印书馆,1984:39.
- [3] 卡尔·波普尔. 科学发现的逻辑[M]. 查汝强,译. 北京:中国美术学院出版社,2008:70.
- [4] D'Amico R. Historicism and Knowledge[M]. New York: Routledge,1989:23.
- [5] 托马斯·库恩. 科学革命的结构[M]. 金吾伦,译. 北京:北京大学出版社,2003:8.
- [6] 伊姆雷·拉卡托斯. 科学研究纲领方法论[M]. 兰征,译. 上海:上海译文出版社,1986.
- [7] 夏基松. 现代西方哲学[M]. 上海:上海人民出版社,2006:263.
- [8] 乔治·萨顿. 科学史和新人文主义[M]. 陈恒六,刘兵,仲维光,译. 上海:上海交通大学出版社,2007:25.
- [9] 蔡铁权. 从科学文化的视角观照科学教育改革[J]. 教育科学研究,2018(11):24-28.

- [10] 中华人民共和国教育部. 全日制义务教育科学(7—9年级)课程标准(实验稿)[M]. 北京:北京师范大学出版社,2001:11.
- [11] 邓莉,彭正梅. 迈向2030年的课程变革:以美国和芬兰为例[J]. 湖南师范大学教育科学学报,2018(1):99-108.
- [12] 石中英. 知识转型与教育改革[M]. 北京:教育科学出版社,2001:156-166.
- [13] Domini J. Balestra, “Galileo’s Unfinished Case and Its Cartesian Product: Method, History, and Rationality”, in International Philosophical Quarterly, 1994(3):310.
- [14] 蔡其勇. 科学哲学的文化转向及其对科学教育的影响[J]. 教育研究,2008(6):47-51.
- [15] 胡塞尔. 欧洲科学的危机与先验现象学[M]. 张庆熊,译. 北京:生活·读书·新知三联书店,1997:981.
- [16] 李正风. 科学知识生产方式及其演变[M]. 北京:清华大学出版社,2006:49-53.
- [17] 曾再平,孟鸿伟. OECD面向2030的课程图谱分析[J]. 基础教育课程,2019(7):27-33.

[责任编辑 石 悦]