

doi:10.13582/j.cnki.1672-7835.2015.05.006

计算知识论视域下的科学发现逻辑研究^①

侯旒

(南京大学 哲学系/现代逻辑与逻辑应用研究所,江苏 南京 210046)

摘要:在科学发现逻辑受制于描述性的传统研究路径,经历衰落和缓慢复苏的大背景之下,计算知识论为科学发现逻辑提供了一个全新的规范性研究框架。该框架不仅为科学发现逻辑做了系统性辩护,而且围绕发现问题的可解性做了许多规范性讨论。虽然其有关具体规范性的研究距离现实的科学发现仍然较远,但这一路径对未来发现逻辑研究走向的启发意义毋庸置疑。

关键词:科学发现;计算知识论;方法的可靠性;问题的可解性

中图分类号:B81 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-7835(2015)05-0033-07

A Study of the Logic of Scientific Discovery from the Computational Epistemology Perspective

HOU Ni

(Department of Philosophy/Institute of Modern Logic and Application, Nanjing University, Nanjing 210046, China)

Abstract: Computational epistemology provided a brand new normative research scheme for the logic of discovery when it was restricted within the traditional descriptive research paradigm. In this normative perspective, a detailed justification for the logic of discovery and many normative discussions concerning the solvability of discovery problems have been put forward. This approach is very enlightening for the further study of the logic of discovery, though the findings of the specific normative research is still quite inadequate for the scientific discovery in practice.

Key words: scientific discover; computational epistemology; the reliability of a method; the solvability of a problem

赖兴巴哈(H. Reichenbach)在1938年出版的《经验及预测》一书中将发现语境与辩护语境区别开来,断言辩护语境是科学实践中唯一与知识论讨论相关的部分。这种语境区分“对整个二十世纪的科学哲学产生了深重的影响”^{[1]vii}。从此,科学逻辑与科学方法论的研究范围和发展走向都由该语境区分规定。几十年间,科学发现逻辑被逻辑实证主义者排除在了科学逻辑之外,证伪主义和新历史主义的代表也相继接过了“没有科学发现的逻辑”的旗帜,科学发现研究陷入一片沉寂。

然而,科学发现逻辑的研究也有一些复苏的迹象。如,以汉森(N. R. Hanson)为代表的一批历史主义者提出了统一的抽象科学发现模式,为许多科学发现案例做了合理性重构;此外,以西蒙(H. A. Simon)为代表的一批人工智能研究者将发现看作问题求解,建构出了许多再发现科学定理的具体人工智能程序。但不幸的是,前者常被批评为太过模糊和泛化,而后者又被历史主义诟病为颠倒了发现的

① 收稿日期:2015-04-16

基金项目:江苏省普通高校研究生科研创新项目(KYZZ_0003)

作者简介:侯旒(1988-),女,湖北恩施人,博士研究生,主要从事科学逻辑与科学方法论研究。

顺序,在这种背景下,计算知识论另辟蹊径,围绕归纳问题的可解性展开分析,从而为发现逻辑研究提供了一条规范性的研究路径,开拓了传统描述性发现逻辑之外的广阔领域。

Kevin Kelly 是计算知识论的集大成者,是首位利用计算知识论系统性地考察科学推理问题的学者,更是非常积极的“发现之友”。他从程序范式的角度思考发现方法,将研究核心锁定在解决发现问题的可靠方法之上,为发现逻辑在科学逻辑中的合法地位做出了强有力的辩护;另一方面他在规范性发现逻辑的框架内对发现问题复杂度的多重影响因素作了系统性考察。

1 为科学发现逻辑正名

将发现逻辑从科学逻辑与科学方法论领域排除的呼声不断,使得为科学发现辩护成了每一位“发现之友”的首要任务。反对科学发现逻辑的学者有如下两个共识:一是对科学发现的研究应该被排除在科学逻辑之外,二是科学发现没有可以遵循的充分的方法。但是,在 Kelly 看来,这两点都是可以予以反驳的——这正是 Kelly 为发现逻辑进行辩护的基本思路。

1.1 澄清科学发现逻辑的本质

将发现逻辑排除在科学逻辑之外的观点有其深层渊源:一方面,科学推理研究以类似演绎逻辑的方式进行,从命题之间的逻辑关系着手寻找科学假说的知识论保障;另一方面,科学发现逻辑关注于新观念如何被提出的描述性问题;发现逻辑因此被认为是对知识论探究而言多余的存在。

Kelly 认为发现逻辑的处境来自学界长期以来对发现逻辑的误读,他从如下几个方面澄清了发现研究的本质:无论是科学辩护研究还是科学发现研究都应该实现研究范式上的转换,将研究锁定在从有限数据序列(或与给定假说一起)得出相应行为和推测的程序及其可靠性之上;科学发现逻辑的核心不是要解决描述性问题,而是要通过抽象的规范性讨论对发现问题的可解性作出刻画;科学发现程序与科学检验程序有计算上的对称性,科学发现研究与科学辩护研究有相当的知识论意义。

1.1.1 关注推理程序

在语境区分的大背景之下,以逻辑经验主义为代表的当代科学逻辑与科学方法论的一个研究重点就是寻求对理论假说的辩护。这种辩护是在关系范式下给出的,即通过寻求证据命题与假说命题之间的似逻辑蕴涵关系得到。卡尔纳普(R. Carnap)的概率确证度理论是在关系范式下回答规范性问题的典型。他认为“归纳类似于演绎,都关注命题之间的逻辑关系”^{[2]205},唯一不同在于归纳是扩充性的,即前提到结论无法逻辑保真。“演绎有效的论证中,结论在前提为真的所有世界中都为真。好的归纳论证,即前提为真而结论为假的世界集充分小,使我们能在一定程度上断言前提确证或部分蕴涵结论(这个度,即结论在给定前提基础上的条件概率)。”^{[3]233-258}通过其概率确证度概念,卡尔纳普为理论假说找到了似逻辑蕴涵的合理推出关系,为其真理性做出了辩护。

然而,“辩护是确证关系满足之后达到的一种状态……因为确证提供辩护,它就在哲学上排除了所有其他考虑,于是发现和可计算性与知识论无关,应该交由数学、心理学和计算科学中的合适专家讨论。”^[4]也就是说,在关系范式下,科学辩护的对象是已得的科学假说,无论是否将对假说的初步辩护包含于发现语境之中,科学研究的知识论保证最终都只是通过科学辩护这一独立的环节获得。所以,作为对提供知识论保证无足轻重的存在,科学发现逻辑被排除在了知识论的讨论之外。

有趣的是,卡尔纳普这一经典关系研究范式下的系统,却激发出了一个“全新、大胆、完全颠覆传统的研究范式”^{[3]233-258}——计算知识论。计算知识论最重要的诉求就是要用程序范式取代关系范式对科学推理进行研究。与关系范式不同,它将方法看作从有限数据序列(或与给定假说一起)得出相应行为和推测的程序。程序范式中,对假说的辩护不是通过对证据和已得假说之间逻辑关系的分析得到,而是内蕴于对所有科学推理程序的分析之中:计算知识论认为“经验方法应该同逻辑方法一样逻辑可靠地得到真理”^{[5]157-178}。所谓逻辑可靠,即方法在与背景知识相容的所有可能世界中都能收敛到真理,方法

在越多的可能世界中收敛到真理则越可靠。因此计算知识论中,假说的辩护通过可靠的推理程序获得,辩护研究演变成了对推理程序可靠性的研究。

这样,通过研究范式的转变,推理程序成了计算知识论视域中科学推理研究的对象。与关系范式中的科学推理研究致力于澄清证据与假说之间的似逻辑蕴涵关系不同,对程序之可靠性的先验分析成了计算知识论中科学推理研究的首要任务。这种看待科学推理的全新视角实际上突破了发现语境与辩护语境区分的桎梏,将辩护研究看成内蕴于发现、检验、预测等所有科学推理过程之中的对推理程序是否导向真理的方法论考量,这使得科学发现逻辑也因此具有了规范性的知识论意味。

1.1.2 抽象的、规范性研究

科学发现逻辑的反对者普遍将发现逻辑的对象理解为科学发现的实际过程,将科学发现逻辑关注的主要问题看作是对人们实际发现过程进行刻画描述性的问题。但是科学发现的实际过程中杂糅了许多心理和社会因素,单纯从逻辑的角度根本无法对其进行刻画的,这种对实际的具体推理过程进行刻画的问题也不是逻辑研究的合法课题,应该交由心理学和社会学这样的经验科学来处理。而程序范式的采用使得计算知识论将科学推理研究关注的对象锁定到了推理程序的可靠性之上,具体到科学发现研究,对从证据得到假说的发现程序之可靠性的分析成为了其研究核心。

这种分析借鉴计算理论的思路进行。Kelly 将发现问题与不可计算问题类比,通过对特定发现问题所有可能发现程序之可靠性的抽象研究分析其可解性。一个发现问题是可解的,当且仅当该问题具有在给定意义上收敛到真理的发现程序。因此,对充分发现程序之存在性的考察是一种抽象的研究,正如 Kelly 所言:“一个给定形式系统中的证明如何存在,则给定程式化的系统中可枚举的假说产生程序就在相同的抽象意义上存在。所以,发现逻辑是一个其关注对象包括所有可能程序的抽象研究。”^[6]

对发现问题可解性的更深层次考察基于对其复杂度的分析,计算知识论的一个重要成果就是根据复杂度对不同难度的发现问题做了分层。一个发现问题的复杂度由其最优的解决方案规定。对特定发现问题而言,最优的发现程序能在可能的最严格意义上收敛到给定问题的正确答案。但是,无论是对前述充分发现程序还是对这里的最优发现程序的寻求都属规范性的考虑,离不开对收敛标准、正确答案的标准以及数据获得方式等多重影响因素的考察。可见,计算知识论视域下,从多角度入手寻求充分和最优发现程序的探究方式不再具有经验科学的具体描述意味,而是一种抽象的、规范性研究进路。

Kelly 在这里实际做出了一个简单却至关重要的层次区分,他将科学发现行为的研究和对科学发现问题的研究区别开来。对科学发现行为的研究,旨在对其进行刻画和解释,属心理学、社会学范畴;对发现问题的研究,旨在分析其可解性和复杂度,探讨充分和最优科学发现程序的存在性,需通过对所有可能科学发现程序的抽象、规范性讨论达到,属科学逻辑与科学方法论的讨论领域。

1.1.3 与科学辩护研究同等重要的知识论地位

科学逻辑与科学方法论领域可以有研究科学发现的独特视角,并不足以构成对科学发现逻辑的完整辩护。如果发现研究能讨论到的,通过辩护研究都能讨论,并且除此之外,发现逻辑没有任何知识论上的特殊意义,则发现逻辑就成了可有可无的存在。这正是劳丹(L. Laudan)对发现逻辑的批评思路。

Kelly 从程序范式角度对劳丹的想法做了如下解读:“劳丹可能预设了每个充足的发现方法都包含一个子检验程序和列举假说并将检验适用于所列举假说之上的程序。因为检验程序已经提供了潜在的知识论保证,所以,对知识论的实践而言,任何进一步将检验转化为发现程序的工作都是多余的”^[6]。这一挑战已经不再是关系范式下的责难,而是从程序范式内部对发现程序的诘问:是否所有发现程序的知识论保证都须借由其中的子检验程序提供?发现程序研究是否具有提供知识论保证之外的其他知识论意义?

从计算理论的角度分析,Kelly 认为发现程序和辩护程序“有计算上的对称性(computational symme-

try)……发现程序可以由检验程序构建,检验程序同样可以通过发现程序构建”^[6],”事实上,对任何包含在多项式时间可计算的全函数的潜在关系而言,其检验程序都通过发现程序建构而来”^{[7]11}。所以,发现程序和检验程序中都应该蕴涵着为假说提供辩护的知识论考量,就为假说提供知识论保证而言,检验研究并不具备比发现逻辑更为根本的地位。赖兴巴哈对“直接规则”的研究、蒯因(W. V. Quine)对“因果过程”的分析以及劳丹对从合理性角度对“研究传统”的考察都表明了发现逻辑在知识论辩护之外的多重意义^{[7]12-13}。

至此,Kelly将计算知识论视域下的科学发现逻辑之本质做了彻底的澄清。发现逻辑以发现程序的可靠性为分析对象,以计算理论为分析手段,围绕特定发现问题对其所有可能的发现程序做抽象的、规范性讨论,旨在得出能解决给定发现问题的充分和最优的发现程序,与科学检验研究占据同等重要的知识论地位。

1.2 证明充分发现方法的存在

无论发现逻辑有多少非凡的知识论与方法论意蕴,只要不存在充分的发现程序,规范性发现逻辑的诉求就根本无法达到,那么对科学发现的这种抽象的规范性讨论也终究归于无意义。没有充分的发现方法存在也正是卡尔纳普和亨佩尔(C. G. Hempel)所持的观点。

充分发现方法的判断标准一直没有得到澄清,Kelly在卡尔纳普充分性标准的基础上,提出了更具操作性也更为严格的充分标准:“假说产生机器M对情境关系S是强充分的,当且仅当对任何S-情境W,根据S,M在W中不犯任何错误。”^[6]这里的S为“合适关系”^[6],指的是假说和任何其它相关因素的关系,从卡尔纳普“假说须是得到了很好确证的并且为观察到的事件提供了好的说明”^[6]这一要求扩充而来。

在此基础上,Kelly证明“对任何递归可枚举的合适关系S,都存在有相对S强充分的假说产生机器。”^[6]换言之,“如果合适关系是递归可枚举的,则所讨论的机器存在。”^[6]还证明出“许多‘完全不可计算’的合适关系都有充分的发现逻辑。”^[6]针对亨佩尔等人所担忧的包含理论术语的假说无法通过假说产生机器得到的问题,Kelly借用卡尔纳普在《可检验性和意义》中对理论假说的证实思路,定义了对理论假说而言的合适关系,并构造出了相应的程式,证明了该程式能“创造”出满足该合适关系的包含理论谓词的假说。

所以,“虽然这些基本事实并没有结论性的反驳存在的反生成论,它们已经表明这一观点是不安全的”^[6]。Kelly已经证明,充分的发现程序至少在一定意义上是存在的。

2 规范性发现逻辑框架下的具体研究

从Kelly对发现逻辑的辩护可以看出,发现逻辑反对者们的错误根源正是他们“对发现逻辑之数学背景和计算背景的忽略。”^[6]正如Kelly所言,“对发现逻辑之意义和范围的研究引起了大量的计算性问题,而这些问题是在精确的计算理论背景之外甚至根本无法构建。”^{[7]6}正是计算理论的运用才为科学发现逻辑开辟出了一片广阔的新天地。

Kelly规范性发现理论的理论内核就在于程序视角和计算理论的分析思路。在此基础上,Kelly为科学发现提供了一个简单灵活的形式构图,这一构图由以下基本要素构成:

- 一个证据语言和假说语言;
- 一个理论可能世界的空间;
- 一个形式协议,科学家通过它来获得证据;
- 一个理论家,他根据数据协议提供的证据提出假说;
- 一个合适标准,它规定出假说在可能世界中是否合适;
- 一个收敛标准,它约束理论家在给定可能世界中从给定数据收敛到某假说的收敛。^[8]

这些要素也都是影响发现问题可解性的因素。以发现问题的可解性和发现程序的可靠性为基本关注点,Kelly关于科学发现的规范性讨论也都围绕这些要素展开:不同的收敛标准对归纳问题的可解性有何影响?数据、假说语言等发现问题的构成要素如何影响着发现问题的复杂度?传统方法论原则在什么意义上对可靠发现有益?

2.1 系统性考察收敛标准

发现问题的可解性都是相对于具体的收敛成功标准而言的,从不同收敛标准出发分析给定归纳问题的可解性会得出完全不同的结果。对不同收敛标准之下特定发现问题可解性以及权衡不同收敛标准的讨论构成了计算知识论的一个重要工作。

不同的收敛标准来自对传统确定收敛标准的弱化。从皮尔斯(C. S. Peirce)那里获得启发,Kelly注意到科学发现方法与一般算法有一个重要差别:它难以“逻辑保证确定地收敛到正确答案,即输出正确的答案并停止(也即用停止确定地表明这个输出是正确的)”^{[9]4},事实上,“一个方法可以在逻辑上保证固定到真理,却一直未给出它已经发现真理的标志”^{[9]4}。所以Kelly认为应该弱化发现方法的收敛标准,放弃确定性要求,从未来的长远角度考察方法的成功。

基于长期视角的方法论讨论面临一个无法逾越的问题:极限中可靠的方法论原则如何在短期内更好地表现。出于对方法论原则短期表现的考虑,计算知识论对追求最少心智变化次数的稳定收敛以及追求收敛时间最小化的快速收敛这两个知识论标准做了详细考察。这两个标准亦非常符合我们的直觉,前者要求方法保证得到的知识更稳定,而后者则是要求方法更高效。

计算知识论的许多讨论都已经表明将最小化心智变化的标准纳入考虑能更好地限制方法在短期内的表现。“最小化心智变化的原则决定了归纳概括的输出内容,却并没有决定其时间。”^{[5]157-178}换言之,将稳定收敛的要求纳入考虑,发现方法会倾向于输出需要最少心智变化的假说,稳定收敛是在输出内容上对方法的限制。但是仅考虑使心智变化次数最少这一标准,发现方法有可能会长时间不作出超越给定数据的跳跃式发现。这就要求将快速收敛的标准纳入考虑范围,从收敛的时间上对发现方法加以约束。毋庸置疑,要求方法尽可能快地收敛到正确假说是基于方法短期表现的考虑。

有限样本收敛和有限心智变化收敛只是计算知识论着重讨论的两个收敛标准。事实上,为了更全面的分析发现问题的可解性,Kelly列出了从有限样本收敛、有限心智变化收敛、极限收敛到逐步收敛的一系列收敛标准,并通过拓扑概念对给定归纳问题在每种收敛标准上的相应复杂度做了刻画^{[9]38-116}。

2.2 进一步解析多重复杂度影响因素

收敛标准是分析发现问题可解性和复杂度的必要参照,但是发现问题可解性的影响因素远不止于此。计算知识论中,假说语言、证据语言、规定科学家获得数据方式的数据协议、背景知识所规定的可能世界以及假说产生方法这些要素共同构成了发现问题的本体论基础。Kelly对这些要素对发现问题复杂性的影响做了一些详细的审查。

直觉上来说,假说语言越丰富,发现问题越复杂,因为丰富的假说语言提供了更多需要厘清的可能性。Kelly将这种直觉诉诸于清楚严格的分析之中,他在假说语言的四个语形特征——谓词数量、函数符数量、是否具有等价谓词、量词前缀的复杂性——基础上定义出了假说语言复杂性的四维度量方式,并进一步根据四个不同的收敛标准,系统性地考察了不同假说语言对在这些语言中发现一个完全的、真理论的问题的难度的限制,得出了许多颇具启发意义的结果^{[9]296-301}。

在证据语言上,长期以来的计算知识论研究都将证据语言处理为不含量词的,这似乎符合科学家总是只得到有限的证据这一直觉。但是除了直接来源于世界的单个证据之外,科学家也会将经验规律作为其输入数据并在此基础上做出判断或新的发现。基于此,Kelly考察了含量词的证据语言对发现问题复杂性的影响,他根据数据公式的量词前缀复杂性得出了一个归纳问题的层级,对能从给定复杂性的数据中可靠推出的假说的量词复杂性做了限制^[8]。

数据协议是世界联系数据和科学家行为的倾向。计算知识论主要从两个方面分析了数据协议对发现问题可解性的影响:一是围绕即时性和历时性的数据协议展开,即讨论科学家过去的行为和预测影响和不影响当前证据获得两种情况下的问题可解性;另一个方面的讨论围绕数据协议是主动还是被动展开,如果数据协议是主动的,则科学家所获得的数据是理论负载的,在不同的系统中,数据、真等核心概念都会有完全不同的含义,这就涉及到了相对主义的问题。在计算知识论的视域中,Kelly从可靠收敛到真理的角度对数据协议的这两个方面做了详细分析。

在计算知识论中,背景知识是被给定的,讨论背景知识对发现问题可解性的影响没有实质的规范性意义。Kelly对背景知识的这种处理遭到了苏佩斯(P. Suppes)的批评:“Kelly的基本思想是康德式的,即科学家带入具体科学研究的背景假说应该被处理为先验的,可靠研究的逻辑都相对于这些背景假设而言。”^[10]这种先验的背景知识无法就经验获得修正和省察,一般的回应方式是借用另外的方法来讨论前一方法中预设的背景知识,但是这必然涉及到无限倒退的问题,Kelly亦对此作了详细考察^{[11] 199-217}。针对假说产生方法对发现问题可解性的影响,Kelly一方面对其可计算程度与可靠性的关系作了分析,另一方面也就方法是否遵循传统的方法论原则的不同情况作了详细考察。

2.3 重新审视传统方法论原则

值得注意的是,长期视角与程序范式的结合产生了一个重要的正面作用,使计算知识论中对方法的评价和选择能更好地坚持求真诉求。如Kelly自己所言:“关系概念表明我们持短期的视角并且只要有某个弱于又类似于蕴涵的相似概念就排除错误的可能性。程序概念则提倡另一种回应:抛弃停止要求,因为程序一旦停止,答案即便错误也难以撤回并得到修正。……瞬时的、部分支持的基本观念就被可错但自我纠正并收敛到正确答案的实用观念替代了。”^[4]

与传统关系范式着眼于当下、保留确定性要求而弱化求真诉求至合理性诉求不同,计算知识论选择放眼未来、弱化收敛标准、放弃确定性收敛要求而保留求真追求。因此,通过采用弱化收敛标准的程序范式,计算知识论将对发现方法的分析锁定在了其长期中的求真目标上,这也正是Kelly如此重视方法可靠性的原因。

正如有学者已指出,计算知识论实际是一种假言律令式的目标-手段(means-end)知识论^[12],其中对所有方法论原则的分析都以特定收敛意义上的求真目标为参考。在此思路下,计算知识论详细考察了传统方法论中的简单性原则,阐明了该原则在发现真理中的具体作用。Kelly在多篇文章中详细讨论并清晰地证明了奥卡姆剃刀的作用,其分析的结果是:简单性原则虽然没有直接指向真理,却能减少心智变化次数,提高方法发现真理的效率^[13]。

简单性原则之外,Kelly还详细讨论了另一个传统方法论原则——一致性。对这个原则的讨论源自理想主体和可计算主体的区分。传统方法论讨论都预设了理想主体,这样的推理主体虽然同我们一样只能获得有限的经验数据,却不受任何计算限制,能确定给定案例中的所有数学关系。无论如何,科学家都不是理想主体。基于这样的考虑,Kelly认为有必要对传统方法论原则进行限制。如前所述,Kelly将方法理解为程序,认为“方法应该是有严格的步骤可以遵循的”^{[9]158},所以他认为“图灵可计算似乎是对方法论原则的一个自然限制”^{[9]58}。

一致性对理想方法可靠性的意义显而易见,但是在可计算方法的可靠性是否同样有益呢?Kelly得出的基本结论是:一致性原则对可计算方法的可靠性是限制性的,即存在有这样的归纳问题,可计算方法只有在不遵循一致性原则的时候才能解决它^[4]。

从计算知识论对这些方法论原则的考察也不难看出,通过清晰区分理想主体和可计算主体,以长期的求真目标为指导,传统以短期合理性为目标的方法论原则的适用范围和具体作用方式都得到了更为清楚的呈现。

3 结语

Kelly 基于可计算理论的可靠发现逻辑,产生于“发现之友”与发现逻辑的反对者们激烈论争的大背景之下,为科学发现逻辑和整个科学逻辑研究提供了非常新颖的视角。计算理论分析方法的引入将科学发现逻辑从为科学发现过程做刻画的狭小描述性研究空间中解放出来,开拓了发现逻辑的广阔规范性讨论领域。

将发现方法处理为程序并弱化收敛标准,Kelly 不仅将知识论学者长久以来的求真追求作为了方法论分析的基本点,还将更多发现问题纳入考察范围,使科学发现问题的难度得以具体评估和比较,而不是笼统地被看作不可解决的。这实际上构成了对怀疑主义的部分回应,走了一条介于乐观主义与悲观主义之间的中庸道路。

在规范性科学发现逻辑的新疆域之下,Kelly 对发现问题复杂度的多重影响因素作了考察。这些努力虽然成果颇丰,却也仍然只是规范性发现逻辑框架下的初步探索:现有的分析仍然是有多重限制下、极度简化了的抽象讨论,离实实在在的科学发现情境仍然太过遥远。但这种不足不应该构成放弃计算知识论路径的借口,而应该成为发现研究者的启示,正是这些不充分的地方构成了未来发现逻辑研究者可以大有作为的广阔天地。

参考文献:

- [1] Schickore J, Steinle F. Revisiting Discovery and Justification[M]. Dordrecht: Springer, 2006.
- [2] Carnap R. Logical Foundations of Probability[M]. Chicago: University of Chicago Press, 1962.
- [3] Goethe N B. Two Ways of Thinking about Induction[C]// Friend M, Goethe N B, Harizanov, V. S. (Eds.). Induction, Algorithmic Learning Theory, and philosophy. Dordrecht: Springer, 2007.
- [4] Kelly K. The Logic of Success[J]. British Journal for the Philosophy of Science, 2000, 51(4):639-660.
- [5] Schulte O. Logically Reliable Inductive Inference[C]// M Goethe, N B, Harizanov, V S. (Eds.). Induction, Algorithmic Learning Theory, and philosophy. Dordrecht: Springer, 2007.
- [6] Kelly K. The logic of discovery[J]. Philosophy of Science, 1978, 54(3): 435-452.
- [7] Kelly K. The Automated Discovery of Universal Theories[D]. Pittsburgh: University of Pittsburgh, 1986.
- [8] Kelly K, Glymour K. Theory Discovery from Data with Mixed Quantifiers[J]. Journal of Philosophical Logic, 1990,19(1): 1-33.
- [9] Kelly K. The Logic of Reliable Inquiry[M]. Oxford: Oxford University Press, 1996.
- [10] Suppes P. Review of Kevin Kelly, The Logic of reliable inquiry[J]. The British Journal for the Philosophy of Science, 1998, 49(2): 351.
- [11] Kelly K. How to Do Things with an Infinite Regress[C]// M Goethe N B., Harizanov V S. (Eds.). Induction, Algorithmic Learning Theory, and philosophy, Dordrecht: Springer, 2007.
- [12] Schulte O. Means - Ends Epistemology[J]. The British Journal for the Philosophy of Science, 1999(50):1-31.
- [13] Kelly K. Justification as Truth - finding Efficiency: How Ockham's Razor Works[J]. Minds and Machines, 2004(14): 485-505.

(责任校对 游星雅)