

量子认知的研究回溯、核心应用领域与未来展望

Research Retrospect, Core Application and Future Research Prospects of Quantum Cognition

刘焯 / LIU Shen

(安徽农业大学人文社会科学学院心理学系, 安徽合肥, 230036)

(Department of Psychology, School of Humanities and Social Sciences, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui, 230036)

摘要: 量子认知是当代认知科学哲学体系中的一个新型的边缘分支学科, 借助量子力学理论的数学方法对认知科学哲学领域中的现象构建模型, 从而研究与描述人类认知, 最为核心的应用领域是决策行为。近年来, 一种基于量子理论的量子决策模型为解决传统决策模型难以解决的问题提供了新的思路。该模型打破了传统决策模型中经典概率理论的禁锢, 为决策理论的发展指明了新的方向。然而, 相较于其他较为成熟的认知科学哲学分支, 量子认知的研究仍处于起步和发展阶段, 还需要深入开展量子认知的基础理论研究、积极探索量子认知的神经生理基础、构建类量子贝叶斯网络以优化决策、发展量子博弈以拓宽量子认知疆域等。

关键词: 量子认知 量子决策 类量子贝叶斯网络 量子心灵 量子博弈

Abstract: Quantum cognition is a new marginal branch in the contemporary philosophy of cognitive science. It uses the mathematical method of quantum mechanics theory to model the phenomena in the field of cognitive science philosophy, so as to study and describe human cognition. The core application field is decision-making behavior. In recent years, a quantum decision-making model based on quantum theory has provided new ideas for solving problems that are difficult to explain by traditional decision-making models. This model breaks the confinement of the classical probability theory in the traditional decision-making model, and points out a new direction for the development of decision-making theory. However, compared with other more mature branches of cognitive science philosophy, the research on quantum cognition is still in its infancy and development stage, and it is still necessary to conduct in-depth research on the basic theory of quantum cognition, actively explore the neurophysiological basis of quantum cognition, construct Quantum-like Bayesian network to optimize decision-making, develop quantum games to expand the frontier of quantum cognition, etc.

Key Words: Quantum cognition; Quantum decision-making; Quantum-like Bayesian network; Quantum probability theory; Quantum game

中图分类号: O413; O212.8 文献标识码: A DOI: 10.15994/j.1000-0763.2024.04.006

一、量子认知

在量子力学的话语中, “薛定谔的猫”

(Schrödinger's Cat) 处于一种不死不活、既死又活的叠加态, 即便是两个相距很远的亚原子颗粒之间也可能相互纠缠、互相影响。借助量子理论, 人类行为这一世界上最为神秘且复杂

基金项目: 国家社会科学基金重大项目“当代量子诠释学研究”(项目编号: 19ZDA038); 安徽省高等学校哲学社会科学优秀青年项目“具身社会心智的神经哲学进阶研究”(项目编号: 2022AH030089)。

收稿日期: 2022年6月30日; **返修日期:** 2023年11月13日

作者简介: 刘焯(1992-)男, 安徽无为, 安徽农业大学人文社会科学学院心理学系教授, 研究方向为认知科学哲学与社会认知神经科学。Email: liushen@ahau.edu.cn

的现象或许能够被真正理解。在从事社会科学的研究者看来,人类行为中存在着许多与理性相悖的表现。经典的决策理论往往被用于预测人们是否会基于一些给定的参数而作出合理的决策,但由于人类行为中夹杂着“非理性”的倾向,这些预测时常会落空。相反,量子概率理论(Quantum Probability Theory)则能够很好地解释这种逻辑上的失误。以上便是量子认知(Quantum Cognition)关注的主要内容。量子认知是当代认知科学哲学体系中的一个新型的边缘分支学科,借助量子力学理论的数学方法对认知科学哲学领域中的现象(如决策、意识、心智等)构建模型,从而研究与描述人类认知尤其是决策行为。^[1]无论是从事自然科学研究的学者还是从事社会科学研究的学者看来,量子力学与认知科学哲学原本是两个看起来毫不相干的领域,但近年来学界更倾向于认为它们之间可能存在着一定的关联。例如,量子力学与认知科学哲学理论均被用于预测和解释看似随机的系统在未来的发展趋势。两者的区别在于,量子力学借助物理粒子以理解世界本质,而认知科学哲学则是从认知科学的层面去理解人类本质。^[1]

将量子力学理论应用于认知科学领域的想法始于20世纪90年代,诺贝尔物理学奖获得者、牛津大学罗杰·彭罗斯(Roger Penrose)和亚利桑那大学斯图亚特·哈梅洛夫(Stuart Hameroff)提出了一种意识的量子认知模型——编制的客观还原模型(Orchestrated Objective Reduction Model),指出意识是微管中量子引力效应的结果,从而将意识研究的触角延伸至量子力学领域,进而大大拓宽了意识研究的疆域。^[2]而后历经近二十年的发展,昆士兰科技大学彼得·布鲁扎(Peter Bruza)和不列颠哥伦比亚大学丽安·加博拉(Liane Gabora)在《数学心理学杂志》(*Journal of Mathematical Psychology*)2009年第53卷第5期主持了“量子认知”特刊,标志了量子认知正式进入学界的视野。随后,一些与量子认知相关的书籍陆续出版。例如,2012年,印第安那大学杰罗姆·R.布塞迈尔(Jerome R.

Busemeyer)和布鲁扎合作出版了《认知与决策的量子模型》(*Quantum Models of Cognition and Decision*),指出量子理论的基本数学结构相较于经典的概率模型能够更好地诠释人类思维,并提出使用量子理论中的互文性和量子纠缠可以对概率动态系统构建模型;^[3]2015年,俄亥俄州立大学亚历山大·温特(Alexander Wendt)出版了《量子心灵与社会科学:整合物理与社会本体论》(*Quantum Mind and Social Science: Unifying Physical and Social Ontology*),以一种后牛顿科学的视野重构了人作为量子系统的本体论意义,展现了一个既充满着不确定性、又蕴含着多重潜能和可能的万象宇宙;^[4]2019年,旧金山州立大学何塞·阿卡西奥·德巴罗斯(Jose Acacio de Barros)和卡洛斯·蒙特马约尔(Carlos Montemayor)出版了《量子与心智:联系量子力学与意识的尝试》(*Quanta and Mind: Essays on the Connection Between Quantum Mechanics and Consciousness*),汇集了当代有关量子与心智研究路径的二十篇论文,其中既包括支持量子力学与意识之间彼此存在着关联的论述,也包括反对这一立场的讨论,还涉及意识对量子力学的促进作用以及量子力学对认识和诠释意识的价值等。^[5]

量子认知源于量子力学体系,实验建构了自然科学研究的底层逻辑。那么,量子认知研究怎么开展实验呢?近些年有关量子的科学普及在国内外已经非常成熟,量子实验,包括量子认知实验,其实并非社会公众所想象的那样一定是高深莫测的。例如,在量子力学体系中,双缝实验(Double-Slit Experiment)可以演示光子或者电子等微观物体的波动性与粒子性。在该经典实验中,量子波粒二象性、波的叠加与干涉等现象都能够被看得见、摸得着。事实上,双缝实验所传递的科学意义并非像它的流程那般简单。双缝实验所展示出的量子现象无法借助任何经典的方式来解释,它是量子力学的核心,包含了量子世界的奥秘,这个奥秘至今无人能够破解。如果仅仅以量子力学为出发点来研究人类认知,那么诸如双缝实验这

类量子世界中的谜团便如同一道难以解答的奥数题，而用其来解答人类认知这一复杂的方程式自然也就无法获得具体有效的结果。人类认知可以被视为宇宙中最富奥妙的双缝实验，人天生便有大脑左右两个半球以及左右双眼，是宇宙中最为复杂的“双缝”。光通过这两道“双缝”在人的认知层面上影射出种种波粒二象性、波的叠加与干涉等量子特性，从而使人获得信息与知识。无论在心理、社会、还是经济等领域，这方面的研究发现有很多，尤其是国内已有学者尝试探索“量子心理学”或者“量子认知心理学”这一更为新颖的领域。^[6]这些研究发现单凭量子力学理论无法解释，而传统的认知科学也难以诠释。在量子认知理论的拥簇看来，需要从探索人类认知、思维、情绪、意识等现象的量子波动性的本征态特性开始，在此基础上挖掘认知波动本征态特性潜在的状态叠加、干涉、纠缠、振荡等微观量子态属性，再运用量子理论及其数学方法建立模型与设计算法，从而描述现有的认知科学理论难以描述的认识特性。^{[7]、[8]}由于是基于认知科学的视角来研究量子认知，自然也就与心理学、认知神经科学等领域有机联系在一起，所建立起来的量子认知理论便能够较快地得到实际有效的应用、检验与改善。

量子认知如今已经成为旨在借助量子力学的数学原理构建认知模型的前沿学科，最为核心的应用领域便是决策行为。接下来，本文将着重阐释量子认知领域的决策行为。

二、决策的量子认知阐释

1944年，数学家约翰·冯·诺依曼（John von Neumann）和经济学家奥斯卡·莫根施特恩（Oskar Morgenstern）合作出版了《博弈论与经济行为》（*Theory of Game and Economic Behavior*）一书，提出了博弈论（Game Theory）的基本思想，并在效用关系的完备性、传递性与替换性、决策者偏好的一致性元素的基础上，运用逻辑和数学工具，构建了在不确定条件下对理性人选择进行分析的框架，即期望效

用理论体系。^[9]期望效用理论体系的特征在于存在一组特定的公理，可以计算人在风险（即度量量化的不确定事件）中的选择偏好。因此，只要人类的决策遵循某些公理，那么心理过程就变得无关紧要了。^[10]即使个体在不确定状态中决策的信念状态会随时间而发生变化，但某一特定时刻的信念状态却会处于某一确定状态。^[11]然而，经济学家莫里斯·阿莱斯（Maurice Allais）开展的一项研究却表明，人类行为并不遵循这些规范和规则，甚至会违反期望效用理论体系。^[12]后来类似的多项研究一致表明，人类行为并不遵循规范理论。^[13]当人们在决策中遭遇不确定性时，显然并不总是能够获得现成的相应概率分布。即使具备足够的计算能力，也可能会由于缺乏基本的数据和材料而无法算出客观概率。这时主要是利用自身对于相关问题或者事件发生的可能性的主观感觉，即形成主观概率。由此看来，基于经典概率理论的传统决策模型似乎并无法很好地解释人们在不确定状态下的决策行为。近年来，一种基于量子理论的量子决策模型（Quantum Decision-Making Model）为解决传统决策模型难以解决的问题提供了新的思路。该模型的出现，打破了传统决策模型中经典概率理论的禁锢，为决策理论的发展指明了新的方向。量子决策理论是运用量子力学理论的数学方法对认知科学领域的决策行为构建模型，从而研究与描述决策行为的理论。量子决策理论基于类量子的范式，在量子信息和量子概率理论框架下进行数学描述，使用量子理论的数学形式来激发和形式化决策模型，其目标是在经典概率理论的基础上推进模型的发展。它注重对决策过程建立模型，以突破传统技术或者传统模型的障碍。量子决策模型同样认为人的决策是有限理性的以及具备严密而完备的数学逻辑体系，但该模型具备更加新颖与灵活的理论结构。^[14]此外，量子决策模型对人在决策过程中所处的不确定的状态有着很好的描述，最为经典的例子便是“薛定谔的猫”。根据对已有文献的梳理，对于量子决策的剖析往往是从顺序效应、概率判断和偏好逆转三个领域入手，以下将简要阐

述。^{[3], [4], [7]}

在一项关于顺序效应的经典研究中,哈拉尔·阿特曼斯帕赫(Harald Atmanspacher)和哈特曼·罗默(Hartmann Römer)认为,经典物理学认为物体和测量设备之间仅有“弱”的相互作用,而量子物理学则认为物体和测量设备之间存在“强”的相互作用。因此,两者之间的区别就在于测量行为是否与系统状态的变化有关,而系统状态的变化又可以通过再次测量予以识别。如果没有发生变化,那么这两个测量值之间便可以交换,反之则不可以交换。当操作次序不影响结果输出时,可交换性成立,如加法便具有可交换性, $A+B=B+A$;反之则不成立,如减法, $A-B \neq B-A$ 。^[15]当应用于一系列物理测量时,如果可交换性成立,那么世界的状态便独立于观察者而存在,因此观察者只是记录了预先存在的事实;而如果非可交换性成立,那么主客体之间的区别便会被打破,而观察者则在某种程度上参与了建立事实的过程。非可交换性成立的典型例子是观察测量粒子的动量或者位置时所发生的情况:如果改变测量顺序,便会得到不同的结果,这便是顺序效应。但顺序效应实质上违反了经典概率理论中的相容性原则和交换原理,因此不是理性的,是一种需要被解释和管理的现象。针对顺序效应,研究者试图提出了多种方法。例如,推崇贝叶斯原理的研究者尝试将呈现的次序变成另一个需要被主体吸收的信息,但这种方法是特设的,且只是重新描述了现象,而没有提供解决性的洞察。^[14]相较于经典物理学,量子力学并没有预先规定交换性是否成立,而是认为它取决于在给定经验背景下“基向量”是否被认为是“相容”的。^[16]如果相容,则量子模型便会被还原为经典模型,顺序效应也就不会被观察到;而如果不相容,则非交换结果作为量子现象的一个主要特征便会出现。由于顺序效应由其非交换性来定义,量子决策理论在对其进行解释时表现颇佳也就不足为奇了。量子决策理论在预测现有和新的实验数据方面,至少表现和经典模型一样好,而且通常强于后者。^[16]

在经典概率理论中,人们被要求以特定的

方式对不确定事件的概率进行分类。当同时考虑两个事件时,如果其中一个事件是另一个事件的子集,则涵盖范围较小事件的概率不能大于涵盖范围较大的事件概率。从直觉上来说这能讲得通,但实际上人们却常常会出现合取谬误并违反这一规则。在概率判断中,如果将两个合取项组成的合取事件的概率估计大于合取项的概率估计,那么便会导致合取谬误的出现。所谓合取谬误,是指复合事件中组成部分发生的概率要小于复合事件发生的概率,典型的例子是关于“琳达”问题的研究。琳达是一个虚构的主体,在大学期间接受哲学专业的训练,她具备直率且聪明的特质,她关心种族歧视和偏见问题,曾经参与过示威游行。在熟知这些背景信息后,研究者要求被试对若干个关于琳达的描述进行概率推断。例如,(1)“琳达是一名银行出纳员”,被试作出的概率判断记为 $p(T)$;(2)“琳达是一名女权主义的银行出纳员”,被试作出的概率判断记为 $p(F \cap T)$ 。按照经典概率理论,被试作出第二种情况判断的概率 $p(F \cap T)$ 要小于第一种情况 $p(T)$,因为第一种情况包含了第二种情况,但实际结果却恰恰相反。^[12]

进一步的研究表明,只有当这两个选项是一个不熟悉的配对时(如女权主义者与银行出纳员),才会导致这一效应。有研究者提出用“代表性直觉”来解释这一效应,即被试基于这样的假定来进行推断:琳达是女权主义者的代表,而不是银行出纳员的代表。^[17]然而,代表性直觉也是特设的,而且由于对合取谬误的起源没有共识,作为一种解释无法继续发展。相反,合取谬误很容易采用量子决策理论予以解释。有研究对此进行了论证:假定在一个 n 维向量的希尔伯特空间中表征一个主体的信念和知识,其中,不同的基向量对应于与不同概念、事件和情况所相关联的组合,它们都作为潜在性以叠加的方式共存于心灵之中,不一致或者没有共同经历的概念或者事件将有不相容的基向量。由于第一次测量会影响第二次测量的结果,这意味着它们的联合概率无法被定义,这违反了经典概率理论中的交换律。^[8]再回到

上述琳达问题，被试被要求决定两种关于琳达的描述中哪一种更为可信。当单独回答银行出纳员的问题时，背景信息很难让被试相信琳达是一个银行出纳员。但当回答合取问题时，被试则必须同时考虑女权主义者的特征和银行出纳员的特征，而这两个特征可以用不相容的基向量来表示。由于这些问题必须遵循顺序效应，所以被试可以先将自己投射到女权主义的子空间（假设存在一个琳达问题的几何投影）并评估可能性，继而“旋转”考虑替代子空间即银行出纳员。从女权主义投射出发，继而转向银行出纳员的问题，对后者的考虑将包括对琳达是一个女权主义者的判断，而这一过程排除了一些背景信息，使得此时想象她只是碰巧有一份银行出纳员的工作比想象她仅是一名银行出纳员更容易。这在现象学上是合理的，且量子决策理论也提供了一种机制来解释这一观察到的偏差，即量子干涉效应。根据量子干涉效应，两条可能路径的并集概率比单独一条路径的概率要小，这一点尽管明显违背了经典概率理论，但却正是在琳达问题中所观察到的现象。^[4]事实上，基于这一机制，量子决策理论的研究者甚至可以利用现有研究所提供的参数来预测偏差的大小。这使得他们能够严格地测试这类概率谬误模型，而结果与数据非常吻合。

在经典的决策理论中，人们的非理性形式包括两种方式：一种是判断概率的方式，另一种是形成偏好的方式。在偏好方面，理性由期望效用理论体系中的假设来定义，具体包括如下三种：第一，理性行为者在作出选择之前，必须对所有的结果有完整且完全确定的偏好；第二，偏好必须遵循一定的逻辑且可以传递，即如果相对于B更偏好A、相对于C更偏好B，那么必然相对于C更偏好A；第三，偏好无法被观察到，如果偏好是决定性的，则确实存在，那么这些偏好在被引发的不同过程中必须是“不变的”。^[4]与期望效用理论体系所关注的概率问题一样，期望效用理论体系显然与前述经典模型中确定的约束是一致的。然而，“偏好逆转”现象挑战了所有上述三个假设，表明偏好根本不是被“显露”出来的，而是在选择过

程中被“建构”的，因此对框架效应和语境效应非常敏感。关键的问题是过程的不变性，即偏好不应取决于如何被引出，因为这可能会违反传递性。测试这一假设的经典实验比较了两种设问方式：（1）让被试在两种博弈情形中进行选择，其中一种有较高概率获胜但只能赢一小笔钱，另一种有较低概率获胜却赢得更多；继而（2）问被试每次愿意付多少钱来进行博弈。这些实验的设置使得选择与预期现金价值在形式上是等价的，因此理性的被试应该为他们偏好的情形支付更多的钱。然而，实际的情况往往是两种博弈之间的选择主要受到赢和输的概率影响，而买卖价格则主要由输赢美元数量决定，这样便违反了传递性。^[18]此外，量子决策理论中有一个替代的公理框架，它不仅解释偏好逆转，还可以对其进行预测。在进行测量之前，叠加状态不会还原为实际或者“本征”类型。之后基于场景，一个基向量成为首选，从波函数坍缩中涌现一个单一的模型。这与标准观点完全相反，决策被建模为对偏好的测量，而非对潜在预先存在偏好的表达。而这与随机效用模型的预测恰好相反，在随机效用模型中，选择被假定为离散的。^[19]与之相反，由于量子芝诺效应即重复快速测量可以减缓甚至停止波函数的演化，量子决策理论预测了这种重复模式。^[20]这只是一个例子，但考虑到量子决策理论学者在概率判断中的发现，似乎完全有理由期待进一步的成功。

三、量子认知未来研究展望

近年来，量子理论在认知科学领域的应用已经越来越多。尽管关注的研究问题不同、所建立的量子模型也不同，但它们所遵循的公理均一致，这便是量子模型灵活性与严密性的体现。^[21]然而，相较于其他较为成熟的认知科学哲学分支，量子认知的研究仍处于起步和发展阶段，还有如下几个需要深入研究的问题。

第一，深入开展量子认知的基础理论研究。量子理论本身便是一个庞大的理论体系，其中还有许多尚未被发现的理论值得量子认知领域

的研究者去挖掘与借鉴。量子认知研究善于使用诸如量子叠加和量子干涉效应之类的量子力学学术语,以适应已有研究中所发现的悖论。例如,在量子信息处理中,信息是基于波函数被表征的,因此它们无法处于确定的状态,而是处于不确定的叠加态。即所有的信念都同时存在于人的思维之中,而不是像传统所认为的每个信念仅在相对应的时间范围内才会出现。在某个时刻,某个信念可能比其他信念更受青睐,但所有的信念都可以同时被获得。就这个意义而言,量子理论可以对认知系统构建模型,就如同它是一个波在状态空间中跨时间移动直至作出最终决定那样。在这种叠加态中,不确定性可能会产生来自相反方向的不同波,这些波彼此之间可能会相互碰撞,从而干扰分布。当作出最终决定后,不确定性便不复存在,波坍塌为确定的状态。因此,量子信息既处理确定的状态,又处理不确定的状态。^[3]而量子干涉效应潜在的认知意义,目前还尚未有研究去剖析。因此,深入开展量子认知基础理论研究是量子认知未来研究可以思考的问题之一。

第二,积极探索量子认知的神经生理基础。尽管认知科学领域经典的扩散激活模型可以为许多与认知、决策和运动控制相关的自动过程构建模型,但为人类意志构建模型则还需要投入更多的努力。当人们为自愿行为做准备时,大脑会启动一种被称为“动作模板”的神经活动模式。^[22]美国物理学家亨利·斯塔普(Henry P. Stapp)指出,量子理论所涉及之处是一种自发的过程,在此过程中,有意识的大脑会遵循一个动作模板来指导其执行。美国心理学家威廉·詹姆斯(William James)认为,实现意志的关键是专注于一个困难的目标,并在大脑中牢牢盯紧。^[23]因此,注意努力是意志的基本表现,量子理论便在这种“注意努力”中发挥作用。斯塔普将这种詹姆士式的“注意努力”与一种本质上被称为量子芝诺效应的量子现象联系起来,通过对量子系统进行快速测量,可以减缓它的演化,实际上是“冻结”了它。^[24]快速的还原序列也可以用来驱动量子系统沿着设想的路径运行,快速还原的效果基本上是量子的,

但不需要系统与它的环境相隔离,因此可以在大脑中合理运作。^[25]总之,斯塔普认为大脑中的信息处理在很大程度上近似于经典的扩散激活模型,意识的作用是控制减少的速度,这是詹姆士式“注意努力”的物理表现。通过量子芝诺效应来集中注意力是自由意志在人类身上运作的假设,但目前还尚未引起认知神经科学研究者的广泛重视。因此,积极探索量子认知的神经生理基础是量子认知未来研究可以思考的问题之二。

第三,构建类量子贝叶斯网络以优化决策。贝叶斯网络可用于概率推断,展现了概率论与图论之间的联系。^[26]图论的基本特性是它的模块化,人们可以通过组合更小、更简单的部分来构建一个复杂的系统。个体更容易组合证据并对其进行推断,而不是计算所有可能发生的事件及其各自的信念。同样,贝叶斯网络在小模块中表征决策问题,这些小模块可以组合起来执行推断,计算执行推断实际需要的概念。这个过程可能类似于人类认知:在推断过程中,由于能力有限,人们无法处理所有信息,因此会试图合并一些较小的证据以便作出最终决定。^[27]贝叶斯网络是基于概率的,概率论是一个正式的框架,可以表征多个结果及其在不确定性下的可能性。不确定性是由多种因素所造成的,如人们观察世界的能力、建模的能力等。^[26]如果考虑概率系统背后的结构便会发现,在一个极端中,存在着完整的联合概率分布;而在另一个极端中,存在着朴素的贝叶斯模型。贝叶斯模型可以被视为介于完成联合概率分布和朴素的贝叶斯模型之间的框架,通过将条件参数化与图结构中的条件独立性相结合,是高维概率分布的紧凑表现。这样,贝叶斯网络可以用于通过组合来自联合概率的所有相关条目来回答有关该领域的任何问题。近期,有学者建议通过用量子概率振幅代替实际概率数来定义类量子贝叶斯网络。^[28]类量子贝叶斯网络的一般思想是:当执行概率推断时,网络中每个分配的概率幅度都会传播并影响其余节点的概率。也就是说,将传播网络的每个节点的每个分配,直到到达代表查询变量的节点为止。通

过同时采用多个分配和路径,这些路径会相互影响,从而产生干涉效应。该效应可以用于适应已有研究发现中的若干悖论,从而可以更好地解释人类的认知偏见,甚至还可以预测人类的理性决策。^[28]但目前类量子贝叶斯网络的思想更多还是处于理论探索阶段,缺乏必要的实证证据支持。因此,构建类量子贝叶斯网络以优化决策是量子认知未来研究可以思考的问题之三。

第四,发展量子博弈以拓宽量子认知疆域。1999年,波茨坦大学的詹斯·艾瑟特(Jens Eisert)等人率先提出了“量子博弈”(Quantum Game)。^[29]简而言之,将经典的博弈论量子化,便产生了量子博弈论。^[30]量子博弈运用量子力学理论的数学方法对博弈现象的认知决策过程进行建模,从而研究与描述博弈现象及其对策。量子博弈论基于类量子范式,通过复杂系统(如大脑、心理等)进行信息处理,可以在量子信息和量子概率理论框架下进行数学描述。量子博弈的基本原理是建立在与经典博弈不同的对于输与赢状态的描述之上,经典的博弈论认为只存在输与赢两种互斥的基本状态,要么输、要么赢;而在量子博弈状态中,往往同时存在输与赢两种基本形态的种种组合,输与赢可以同时并存。每个博弈者的这两种状态的不同组合是千变万化的,难以用语言与词汇来精确表达。但却可以通过量子叠加的数学形式来准确描述,并进一步探讨提高赢的可能性。量子博弈的这种既有输又有赢、既是输又是赢的思维模式,有助于人们通过摆脱经典博弈论的固定思维从而走出博弈的困境。此外,量子博弈还强调两个博弈者之间存在着“纠缠”,即每个博弈者都会影响另一个博弈者。在此情况下,对其中一个博弈者进行测量会自动固定另一个博弈者的相应属性,这是任何经典的博弈都难以描述的。研究表明,这种量子“纠缠”策略不仅是最理性的,也可以使得博弈双方的利益最大化。^[31]因此,相较于经典博弈所使用的策略,量子博弈能够提供一些更为优化的策略。尽管自1999年起至今,量子博弈理论和应用的研究已经取得了令人瞩目的成就。然而,目

前量子博弈的实践者几乎没有做出任何努力赋予其与认知科学相关的实质性意义,这使得局外人难以理解,对于量子认知的发展贡献也较为有限。^[4]因此,发展量子博弈以拓宽量子认知疆域是量子认知未来研究可以思考的问题之四。

结 语

量子与认知在过去一直相隔甚远,两个领域在各自的发展历程中面对着不同且独特的问题与挑战,在很大程度上独立地开展着研究与探索。然而,这两个过去看起来互不往来的领域,近年来正在越来越相互关注、相互靠近。在可预见的将来,它们将会交合在一起。只有当量子理论真正地、有效地与人类认知交汇融合时,量子认知科学才能正式形成并引领认知科学迈向新一代的发展阶段。

[参考文献]

- [1] 刘燊、汪澜. 量子认知对意识的“难问题”的突破及其展望[J]. 自然辩证法研究, 2023, 39(9): 55-59.
- [2] 陈向群. 微管中的量子意识——基于Orch OR模型的意识探析[J]. 科学技术哲学研究, 2016, 33(6): 50-56.
- [3] Busemeyer, J. R., Bruza, P. D. *Quantum Models of Cognition and Decision*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2012.
- [4] Wendt, A. *Quantum Mind and Social Science: Unifying Physical and Social Ontology*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2015.
- [5] de Barros, J. A., Montemayor, C. *Quanta and Mind: Essays on the Connection Between Quantum Mechanics and Consciousness*[M]. Berlin: Springer, 2019.
- [6] 刘燊、汪澜. 量子形态的元宇宙心理学探微[J]. 心理技术与应用, 2023, 11(7): 386-398.
- [7] Pothos, E. M., Busemeyer, J. R. 'Can Quantum Probability Provide A New Direction for Cognitive Modeling?'[J]. *Behavioral and Brain Sciences*, 2013, 36(3): 255-274.
- [8] Busemeyer, J. R., Pothos, E. M., Franco, R., et al. 'A Quantum Theoretical Explanation for Probability Judgment Errors'[J]. *Psychological Review*, 2011, 118(2): 193-218.
- [9] von Neumann, J., Morgenstern, O. *Theory of Games and Economic Behavior*[M]. Princeton: Princeton University Press, 1944.

- [10] Glimcher, P. W., Camerer, C. F., Fehr, E., et al. *Neuroeconomics: Decision Making and the Brain*[M]. Amsterdam: Elsevier, 2014.
- [11] Asano, M., Basieva, I., Khrennikov, A., et al. 'Quantum-Like Generalization of the Bayesian Updating Scheme for Objective and Subjective Mental Uncertainties'[J]. *Journal of Mathematical Psychology*, 2012, 56(3): 166-175.
- [12] 余剑梅、史晋川. 居民风险偏好逆转成因的研究——“阿莱悖论”相同比率效应探析[J]. *经济理论与经济管理*, 2004, 24(11): 16-19.
- [13] Machina, M. J. 'Risk, Ambiguity, and the Rank-dependence Axioms'[J]. *American Economic Review*, 2009, 99(1): 385-392.
- [14] 辛潇洋、徐晨虹、陈宏玉等. 一种新决策模型——量子决策模型[J]. *心理科学进展*, 2018, 26(8): 1365-1373.
- [15] Atmanspache, H., Römer, H. 'Order Effects in Sequential Measurements of Non-commuting Psychological Observables'[J]. *Journal of Mathematical Psychology*, 2012, 56(4): 274-280.
- [16] Trueblood, J. S., Busemeyer, J. R. 'A Quantum Probability Account of Order Effects in Inference'[J]. *Cognitive Science*, 2011, 35(8): 1518-1552.
- [17] Gigerenzer, G., Gaissmaier, W. 'Heuristic Decision Making'[J]. *Annual Review of Psychology*, 2011, 62: 451-482.
- [18] Slovic, P. 'The Construction of Preference'[J]. *American Psychologist*, 1995, 50: 364-371.
- [19] Lambert-Mogiliansky, A., Kosenok, G. 'Fine-tailored for the Cartel-favoritism in Procurement'[J]. *Review of Industrial Organization*, 2009, 35(1-2): 95-121.
- [20] Atmanspacher, H., Filk, T., Römer, H. 'Quantum Zeno Features of Bistable Perception'[J]. *Biological Cybernetics*, 2004, 90: 33-40.
- [21] Tenenbaum, J. B., Griffiths, T. L., Kemp, C. 'Theory-based Bayesian Models of Inductive Learning and Reasoning'[J]. *Trends in Cognitive Sciences*, 2006, 10(7): 309-318.
- [22] Stapp, H. P. *Quantum Theory and Free Will: How Mental Intentions Translate into Bodily Actions*[M]. Berlin: Springer, 2017.
- [23] James, W. *Psychology: The Brief Course*[M]. Mineola: Dover Publications, 2001.
- [24] Misra, B., Sudarshan, E. C. G. 'The Zeno's Paradox in Quantum Theory'[J]. *Journal of Mathematical Physics*, 1977, 18: 756-763.
- [25] Panov, A. D. 'Inverse Quantum Zeno Effect in Quantum Oscillations'[J]. *Physics Letters A*, 2002, 298(5-6): 295-300.
- [26] Koller, D., Friedman, N. *Probabilistic Graphical Models: Principles and Techniques*[M]. Cambridge: The MIT Press, 2009.
- [27] Courville, A. C., Daw, N. D., Touretzky, D. S. 'Bayesian Theories of Conditioning in A Changing World'[J]. *Trends in Cognitive Sciences*, 2006, 10(7): 294-300.
- [28] Moreira, C., Wichert, A. 'Interference Effects in Quantum Belief Networks'[J]. *Applied Soft Computing*, 2014, 25: 64-85.
- [29] Eisert, J., Wilkens, M., Lewenstein, M. 'Quantum Games and Quantum Strategies'[J]. *Physical Review Letters*, 1999, 83(15): 3077-3080.
- [30] Meyer, D. A. 'Quantum Strategies'[J]. *Physical Review Letters*, 1999, 82(5): 1052-1055.
- [31] Chen, X., Hu, X. Y., Zhou, D. L. 'Entanglement Witness Game'[J]. *Physical Review A*, 2017, 95(5): 052326.

[责任编辑 王巍 谭笑]