• 科学前沿 •

国际量子认知的研究回溯、热点发掘与整合展望

Research Retrospect, Hot Spots Exploration and Integration Prospect of International Quantum Cognition

刘 燊 /LIU Shen[1]　汪 澜 /WANG Lan[2]　韩逸雪 /HAN Yixue[1]　周 颖 /ZHOU Ying[3]

（1. 安徽农业大学人文社会科学学院，安徽合肥，230036；2. 安徽农业大学林学与园林学院，安徽合肥，230036；
3. 中国地质大学（武汉）教育研究院，湖北武汉，430074）
(1. School of Humanities and Social Sciences, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui, 230036;
2. School of Forestry and Landscape, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui, 230036;
3. Institute of Education, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei, 430074)

摘　要：目前国内对于量子认知的研究较为薄弱，对于国际量子认知研究进行系统评述进而启发国内学者的思考十分必要。本文以2003–2022年发表的1482篇量子认知英文文献为样本，从规模、分布和趋势三个维度刻画了国际量子认知研究在发文量、地区合作、主题分布以及热点演进方面的特征，在此基础上进一步展开了对于量子认知研究未来发展趋势的分析与讨论。量子认知研究发文量呈现持续上升的趋势；心理学是量子认知研究的主要领域之一；量子认知研究的前沿热点议题包括量子理论构建认知模型的潜力、利用量子力学探究意识在大脑中的工作机制、利用量子理论解释概率判断误差中的认知现象等。

关键词：量子认知　量子力学　认知科学　知识图谱

Abstract: At present, domestic research on quantum cognition is relatively weak. Systematic review of international quantum cognition research is necessary to inspire domestic scholars. In this paper, 1,482 English quantum cognition literatures published from 2003 to 2022 are taken as samples. From the dimensions of scale, distribution and trend, the characteristics of international quantum cognition research in the number of publications, regional cooperation, topic distribution and hot topics evolution are described. On this basis, the future development trend of quantum cognition research is further analyzed and discussed. The number of quantum cognition research papers presents a continuous increasing trend; Psychology is one of the main fields of quantum cognition research. The hot topics in quantum cognition research include the potential of quantum theory to build cognitive models, the use of quantum mechanics to explore the working mechanism of consciousness in human brain, the use of quantum theory to explain the cognitive phenomenon of probabilistic misjudgment, etc.

Key Words: Quantum cognition; Quantum mechanics; Cognitive science; Knowledge graph

中图分类号：O413; N031　DOI: 10.15994/j.1000–0763.2025.01.012　CSTR: 32281.14.jdn.2025.01.012

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路研究”（项目编号：2022AH030089）。

收稿日期：2023年5月23日

作者简介：刘　燊（1992–）男，安徽无为人，安徽农业大学人文社会科学学院教授，研究方向为量子认知与社会认知神经科学。Email: liushen@ahau.edu.cn
汪　澜（2005–）女，安徽池州人，安徽农业大学林学与园林学院本科生，研究方向为量子认知与社会认知神经科学。Email: 2199069524@qq.com
韩逸雪（2002–）女，安徽安庆人，安徽农业大学人文社会科学学院本科生，研究方向为科学计量学。Email: hanyixue1230@163.com
周　颖（2000–）女，安徽铜陵人，中国地质大学（武汉）教育研究院硕士研究生，研究方向为科学计量学。Email: daisynova@163.com

引　言

量子世界弥漫着不确定，其核心原则表明微观世界具有很大的开放性。受量子理论影响而建立的量子决策模型从根本上与经典的决策模型有着显著的区别，但却与心理学领域的启发式决策理论有着诸多相似之处。[1]启发式决策理论认为，个体在不确定条件下的决策并非总是理性的，更多会参考几种启发式方法。[2]而量子决策模型指出，当个体处于不确定或者冲突状态时，对于被试提出问题（即一种测量）可以使其转变为另一种确定状态。换言之，个体的认知与决策行为与其所处的状态有关，二者相互作用、相互影响，个体的决策是有限理性的。[3]此外，经典的概率理论无法解决的部分逻辑失误，可以借助量子概率模型进行较好的诠释。借助量子范式的逻辑，广义上的概率理论或许是一个可行的办法，在其中引入量子理论可以描述一种不确定的状态（如叠加态等），其在情感、认知和决策的建模过程中引入了不确定性，[4]为解释特殊的认知现象提供了途径，量子模型因此在解释认知现象方面显示出优势。与此同时，量子人工智能在研究和解决不确定性问题方面也具有独特的速度与算法优势，是在人工智能领域引入量子计算理论的一种尝试，更能够贴近人类生物体在原始道路上进行智能重建的过程。[5]因此，基于量子理论代替经典概率框架的认知模型逐渐涌现。量子认知将原本看似无关的人类心理与量子力学联系起来，它们同样试图预测系统在未来的行为或者推断系统过去发生的状态，只是研究对象和目的不同。两者在某些方面实现了有趣的重叠，如人类的心理具有类似量子态叠加的现象、人类心理表现出量子纠缠和量子振荡等现象。[6]于是学者们开始思考：如果将量子理论研究微观世界得出的规律运用到人类认知和行为上会出现不同的结果吗？由此，量子认知应运而生。

量子认知（quantum cognition）是当代认知科学领域的一个新兴分支，借助量子力学领域的数理手段将认知科学领域中的复杂现象（如语言、决策、记忆、概念、知觉等）模型化，基于量子的时空观研究与描述人类认知及其决策，[7]是一门量子力学与认知科学融会贯通的交叉科学。目前，量子认知着力于突破传统认知模型的局限，利用更为先进的量子理论面向抽象化的认知现象建模，从而得到较为全面的研究结果，具有广阔的应用前景。然而，国内关于量子认知的研究大多基于特定的现象或者情境，对于量子认知的概念与特点不甚明晰，因此本文主要通过归纳与分析国外量子认知领域的研究，从而为国内量子认知研究提供借鉴。

随着可视化技术的日益成熟，科学计量学的方法被更多地被应用于展现理论结构、探索研究热点、挖掘研究主题和分析研究发展趋势，成为获取领域动态的主要知识发掘工具。[8]基于此，本文采用科学计量法，系统梳理近二十年国际量子认知领域的研究情况，从而为国内该领域的后续研究提供新的思路和方向。

一、研究方法

以Web of Science核心合集数据库中的SCI和SSCI引文索引检索数据，时间跨度为2003年1月1日至2022年12月31日，检索式为“TS=（‘quantum cognition’ or ‘quantum mind’ or ‘quantum consciousness’）”，语种为英语，文献类型为论文（Articles）和综述论文（Review Articles），检索和下载数据的时间均为2023年2月2日。共计获得1482条有效记录，每条记录均包含作者、年份、标题、出版物、关键词、机构、参考文献等用于文献分析的信息。采用CiteSpace 6.1.R6对于所获得的1482篇文献进行可视化知识图谱分析，确定分析的参数设置，[9]随后制作本文所需的知识图谱，并利用VOSviewer 1.6.18进行辅助的工作。

二、量子认知研究概况分析

1. 量子认知研究文献时间分布

在统计范围内，最早的量子认知论文是“量

子力学的认知和神经心理学基础——第一部分：作为康德思想的量子粒子”（Cognitive and Neuropsychological Basis for Quantum Mechanics: Part I. Quantum-Particles as Kantian Ideas），[10]该文首先引出康德的思想，即关于实际的无限、宇宙、宇宙和意识的原因，涉及由大脑左右半球之间的竞争所引发的认知冲突。自此之后，量子认知研究的发文量呈现逐年增长的趋势。根据检索数据将量子认知的年度发文量、被引量以及发文量趋势的拟合方程制成图1，具体数据见表1。

由图1和表1可知，2004–2007年之间，量子认知研究的发文量总体呈现平稳增长的趋势，但涨幅不大，截至2007年，年发文量最高仅37篇。该现象一方面体现了量子认知研究的“新”，量子理论在19世纪末才诞生，作为新兴研究方向的量子认知研究初始增长缓慢，符合正常新兴学科研究的增长规律；另一方面也揭示了“量子认知”概念早期在称谓上的模糊性，早期的研究并未将“量子认知”作为检索词，[11]因此检索到的文献量也相对有限。2008–2022年期间，量子认知研究的发文量不断增加。随着2014年“宇宙中的意识：关于‘Orch OR’理论的回顾”（Consciousness in the Universe: A Review of the “Orch OR” Theory）[12]的发表，量子认知研究

表1 量子认知研究发文量和被引量

出版年份	发文量	被引量
2004	23	7
2005	36	47
2006	34	116
2007	37	177
2008	58	200
2009	57	380
2010	63	516
2011	73	589
2012	65	732
2013	70	923
2014	83	1235
2015	108	1437
2016	108	1546
2017	105	1789
2018	103	1918
2019	85	2209
2020	132	2641
2021	127	3152
2022	115	3336

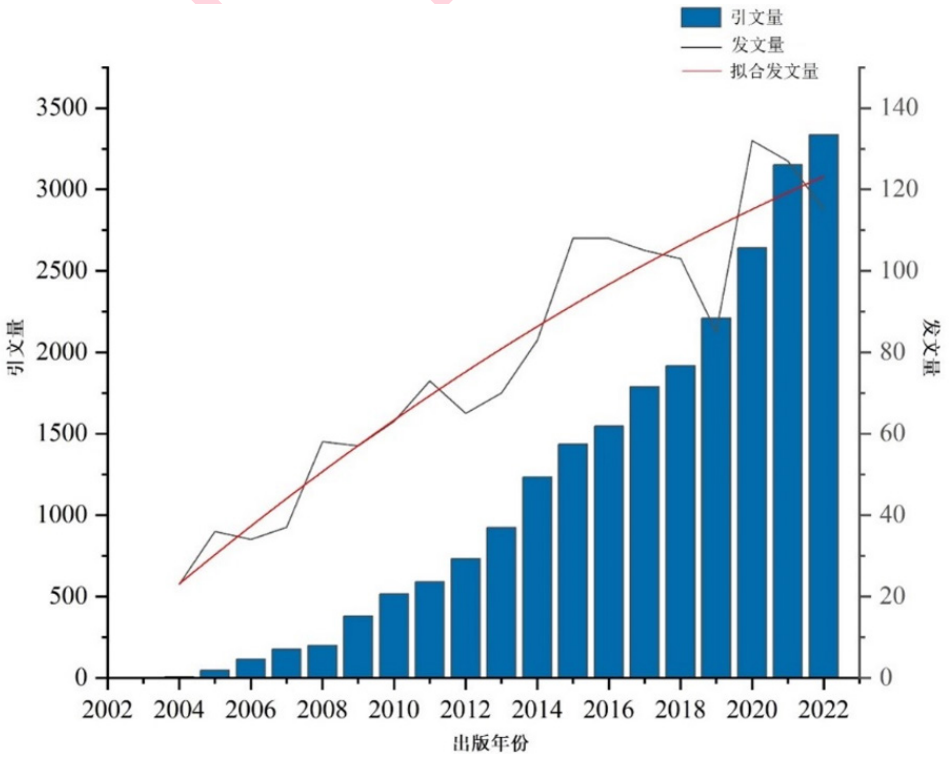

图1 量子认知发文量、被引量和发文趋势

的发文量明显增长，在2015年突破100篇后保持稳定。该文提出了量子认知领域具有代表性的Orch OR模型，在一定程度上指明了大脑过程与意识的相关性，为量子认知研究的进一步探索和完善提供了借鉴。其中，2020年发文量最多，达132篇，比2019年（85篇）增加了47篇，增幅最大。2015–2022年共计发文883篇，占总文献量的60%。总体而言，量子认知研究的年发文量尽管在个别年份偶尔有所下降，但整体上呈现持续上升的趋势，尤其以近三年最为火热。根据对于原始发文量的拟合曲线不难预测，未来量子认知的研究数量仍会不断增加。

此外，量子认知研究的年被引量同样呈现持续增长的趋势。在2003–2022年间，量子认知研究的年被引量最高达3336次（2022年），其中2021年为3152次，相较于2020年的2641次增加了511，增幅最大。由此可见，由于认知科学和量子理论的进一步发展和完善，量子认知研究开始得到广泛的关注，研究前景更加良好、发展空间更为广阔。

2. 量子认知研究地域分布的不均衡性

各国家的具体发文量数据见表2。由表2可知，量子认知研究在地域分布上呈现出以美国和欧洲为主、澳洲和中国为辅的特征。美国以416篇发文量位居首位，约占检索所得发文量的28%，作为量子理论发源地的德国发文量为114篇。由此可见，尽管量子力学理论的提出者多为德国学者，但随着其进一步发展，作为量子认知主要发源地的德国，不再是该理论的主要研究阵地。

表2 量子认知发文量排名前15国家

排名	国家	发文量	比例
1	美国	416	28.07%
2	英国	163	11.00%
3	意大利	120	8.10%
4	中国	116	7.83%
5	加拿大	114	7.69%
6	德国	114	7.69%
7	印度	104	7.02%
8	法国	80	5.40%
9	俄罗斯	61	4.12%
10	比利时	56	3.78%
11	澳大利亚	54	3.64%
12	西班牙	54	3.64%
13	日本	53	3.58%
14	瑞士	53	3.58%
15	瑞典	50	3.37%

其中，中国关于量子认知研究最早的文献可以追溯到2004年发表的“量子坍缩、意识和超光速通信”（Quantum Collapse, Consciousness and Superluminal Communication），[13] 在假设量子坍缩是一个真实过程的前提下，进一步分析了量子坍缩存在的可能性，并且证明量子坍缩与观察者意识的结合将使得观察者在原则上能够区分非正交状态，从而为实现超光速通信提供了可能。随后，中国对于量子认知的研究不断深入，以116篇的发文量位居第4，表明我国比较关注量子认知研究，并在国际上取得了一定的学术认可。

3. 量子认知研究期刊分布的跨学科性

量子理论属于物理学，认知科学本身是一门交叉学科，因此由二者结合产生的量子认知理论同样也表现出跨学科的属性，间接体现在该领域发文期刊的类别上。表3列出的是量子认知研究发文量排名前10的期刊，其中位居第一的是《神经量子学》（220篇），主要关注神经科学研究；排名第二的是《意识研究杂志》（40篇），主要发表社会科学和多学科研究；位居第三的是《熵》（34篇），主要关注物理和多学科研究。其余期刊还涉及心理学、数学、生物学、哲学等领域。由此可见，量子认知研究的学科分布十分广泛，多学科性鲜明地体现了其较强的学科交叉性。表3中影响因子较高的几种期刊主要涉及心理学、生物化学与分子生物学、物理学等学科，表明心理学和物理学是量子认知研究的关键领域。美国的《神经量子学》发文量遥遥领先，进一步表明美国在量子认知研究领域的成果丰硕。

4. 量子认知研究作者及其文献分布

为考察量子认知研究发文量较多的作者是否同时也是高被引作者，在此分别列出排名前

十的高产作者和高被引作者及其高被引文章，此处只列出文章的第一作者，见表4。

“广告中的混沌（2）全息学”（Chaos in AdS_{2} Holography）、[14]“宇宙中的意识：关于‘Orch OR’理论的回顾”[12]和“高效钙钛矿蓝色发射器中的电子–声子相互作用”（Electron-Phonon Interaction in Efficient Perovskite Blue Emitters）[15]作为被引量排名前三的论文，具有一定程度的代表性，表明对于量子认知关注度较高的领域有物理学、生物学、化学等。其中，与量子认知主题相关度最高的是被引量排名第二的“宇宙中的意识：关

表3 量子认知发文量排名前10期刊

期刊名称	发文量	影响因子	期刊所属类别及其对应的引文索引
Neuroquantology	220	0.453	神经科学（SCI）
Journal of Consciousness Studies	40	1.361	社会科学、多学科（SSCI）
Entropy	34	2.738	物理、多学科（SCI）
Frontiers in Psychology	28	4.232	心理学、多学科（SSCI）
Foundations of Physics	27	1.276	物理学、多学科（SCI）
Biosystems	26	1.957	数学与计算生物学（SCI）生物学（SCI）
Progress in Biophysics & Molecular Biology	25	4.799	生物化学与分子生物学（SCI）生物物理学（SCI）
Foundations of Science	24	0.793	科学史与科学哲学（SCI）科学历史与哲学（AHCI）
Journal of Mathematical Psychology	24	1.387	心理学、数学（SSCI）社会科学、数学方法（SSCI）数学、多学科应用（SCI）
Physical Review A	23	2.971	光学（SCI）物理、原子、分子和化学（SCI）
Physical Review D	18	5.407	物理、粒子和场（SCI）天文学与天体物理学（SCI）

表4 量子认知研究高产作者和高被引作者及其文章

高产作者	发文量	高被引作者	高被引文章	被引频次
Diederik Aerts	32	Kristan Jensen	*Chaos in AdS_{2} Holography*	407
Andrei Khrennikov	23	Stuart Hameroff	*Consciousness in the Universe: A Review of the “Orch OR” Theory*	362
Jerome Busemeyer	22	Xiwen Gong	*Electron-Phonon Interaction in Efficient Perovskite Blue Emitters*	351
Jack Adam Tuszynski	20	Thomas Mueller	*Exciton Physics and Device Application of Two-Dimensional Transition Metal Dichalcogenide Semiconductors*	345
Sandro Sozzo	19	Jonathan Barrett	*Nonlocal Correlations as an Information-Theoretic Resource*	334
Emmanuel Pothos	15	Oriol Romero-Isart	*Toward Quantum Superposition of Living Organisms*	319
Elio Conte	14	Alok Dhawan	*Toxicity Assessment of Nanomaterials: Methods and Challenges*	318
Liane Gabora	13	Margret Schot-telius	*Ligands for Mapping αvβ3-Integrin Expression in Vivo*	257
Tomas Veloz	13	James Whitfield	*Simulation of Electronic Structure Hamiltonians Using Quantum Computers*	239
Massimiliano Sassoli de Bianchi	12	Jerome Busemeyer	*A Quantum Theoretical Explanation for Probability Judgment Errors*	235

于‘Orch OR’理论的回顾”，[12]其为量子认知提供了假设的理论模型。尽管尚未经过实证检验，但仍对量子认知的后续发展产生了巨大影响，一度成为该领域研究者的重要参考。

来自印第安纳大学伯明顿分校的杰尔姆·布斯迈耶（Jerome Busemeyer）既是高被引作者也是高产作者，其被引量最高的论文是“概率判断误差的量子理论解释”（A Quantum Theoretical Explanation for Probability Judgment Errors）[16]（235次）。该文主要描绘了在量子模型中，认知科学可以提出的一个新的基本概念——问题的兼容性与不兼容性，及其对于判断顺序的影响，显示出量子信息处理原理为理解人类的判断和推理提供了一种可行且有前景的新方法。另外两篇被引量过百的论文是“量子概率能否为认知建模提供新的方向？”（Can Quantum Probability Provide a New Direction for Cognitive Modeling?）[17]（210次）和“利用量子理论建立认知模型的潜力”（The Potential of Using Quantum Theory to Build Models of Cognition）[18]（102次）。前者列举了经典概率模型无法解决的复杂认知现象，而在物理学中数百年占据主导地位的量子概率方法却可以为这些现象提供合理的解决方法；后者则尝试回答量子认知研究中重要的三个问题：为什么要将量子概念应用于人类认知？量子认知建模与传统认知建模有何不同？使用量子概率对于哪些认知过程进行了建模？此外，该文还简要介绍了量子概率论并提供了具体的例子，以说明如何开发量子认知模型来解释心理学文献中的矛盾发现。综上表明，由于经典的概率理论在预测人类认知行为现象方面存在一定的误差，研究者在探索以新方式建立认知模型的过程中，量子理论的数学方式作为一种新型手段开始受到关注。

共被引是指某篇论文被不同作者联合引用或者某一位作者被多次引用，跨领域联合引用或者作者间的交叉引用都称作共被引。[19]在统计范围内，共被引频次排名前三的是“宇宙中的意识：关于‘Orch OR’理论的回顾”[12]、“认知和决策的量子模型”（Quantum Models of Cognition and Decision）[20]和“量子概率能否为认知建模提供新的方向？”。[17]除前文已提及的几篇文章，“认知和决策的量子模型”[20]则是对于量子认知理论的进一步完善和补充。不难发现，量子认知研究的热点偏重于从生命物理学的角度入手，利用量子理论的数学手段对于人类认知现象进行建模，反映了量子认知的发展趋势和研究方向。此外，在表5中，仍是布斯迈耶的研究出现频率较高（7次），且其工作与量子认知的联系更为紧密，有着良好的探索和参考价值，也表明他在量子认知领域具有较高的认可度和影响力。

三、量子认知研究的热点与未来发展趋势

1. 基于关键词共现数据以及突现词分析量子认知研究的热点与前沿

关键词是对于文献主题的核心概括，具有显著的代表性和较高的研究价值。基于表6所示的高频关键词，结合各关键词涉及的领域和出现的时间进行进一步剖析，可以加深对于量子认知研究的理解以及捕获研究热点。

在量子认知关键词共现的所得数据中除去主题检索词“量子认知”“量子心智”和“量子意识”以及相似主题词“认知”“量子”“心智”等后，按照出现频次从高到低可以将其热点概括为：模型、量子力学、系统、大脑、信息、解释、决策、行为、不确定性、时间、纠缠等。首先，贝叶斯模型的出现及其发展为经典的概率理论在认知科学研究领域占据主导地位提供了强有力的支持。但随着研究的不断深入，认知科学中的部分现象愈发难以被经典的概率理论所解释，亟需新的建模方式为认知科学注入活力，以解释部分特殊现象。[1]其次，量子力学是量子认知研究兴起的理论基础，迄今依然是量子认知研究的重点。由于经典理论难以解释微观系统，研究者不断探索挖掘，终于提出量子力学理论，以研究物质世界微观粒子的运动规律，量子力学与相对论共同构成了现代物理学的理论基础。再者，认知科学涉及学习、语言、意识等领域，本质上都是信息的接触和

处理，且在运用计算表征模型探讨思维、记忆、知觉、推理等过程中，涉及研究心理状态与物理状态的关系等本体论问题。[21] 量子认知则是通过对于认知科学领域的现象建模，运用量子力学理论来解释个体的认知及其决策，探究意识在大脑中的发生和工作机制。[22] 和量子力学理论提出的背景类似，量子认知的灵感源自其与解决经典的概率理论无法预测的某些情况所具有的共性，即不确定性。此外，量子力学理论还认为，个体的预期和最终决策在一定程度上可以被视为相互纠缠的。[7] 总体而言，量子认知为认知计算提供了新的途径，是量子理论扩展应用的突出表现之一。

此外，采用CiteSpace可以分析关键词中的突现词，以了解不同时期的研究前沿并由此分析该领域的演进趋势。突现词的突现强度越高，则表明其作为研究前沿的特征越明显。图2是根据数据制作的突现词强度排名。“量子力学”的首现年是2006年，突现时间最早，其突现值也最高（7.93），是2009–2011年兴起的研究前沿。“量子计算”和“整合”的突现年份最长（5年），分别是2009–2014年、2010–2015年的研究前沿。“大脑”“神经科学”“时间”“意识”“放射”和“生命”的突现年份最短（1年）。此外，“认知”“自旋”和“神经网络”的兴起年份均在2018年及以后并延续至今，表明这三个主题仍然是目前量子认知研究的热点与前沿。

值得重点关注的是在2009–2014年兴起的突现词“量子计算”。量子计算作为量子认知

表6 量子认知研究排名前20的高频关键词

关键词	出现频次	关键词	出现频次
模型	166	信息	43
意识	133	认知	41
量子力学	130	解释	40
量子认知	86	决策	36
大脑	82	思维	35
动力学	72	量子点	34
量子	71	行为	30
量子理论	67	不确定性	29
力学	61	时间	29
系统	49	纠缠	28

表5 量子认知研究排名前10共被引文献

共被引文献	频次	中心度
Hameroff, S., Penrose, R. 'Consciousness in the Universe: A Review of the “Orch OR” Theory'[J]. *Physics of Life Reviews*, 2014, 11(1): 39–78.	65	0.06
Busemeyer, J. R., Bruza, P. D. *Quantum Models of Cognition and Decision*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2012.	52	0.01
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.	47	0.01
Haven, E., Khrennikov, A. *Quantum Social Science*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.	36	0.02
Wang, Z., Solloway, T., Shiffrin, R. M., et al. 'Context Effects Produced by Question Orders Reveal Quantum Nature of Human Judgments'[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2014, 111(26): 9431–9436.	32	0.03
Aerts, D., Gabora, L., Sozzo, S. 'Concepts and Their Dynamics: A Quantum-Theoretic Modeling of Human Thought'[J]. *Topics in Cognitive Science*, 2013, 5(4): 737–772.	31	0.03
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.	28	0.06
Wang, Z., Busemeyer, J. R., Atmanspacher, H., et al. 'The Potential of Using Quantum Theory to Build Models of Cognition'[J]. *Topics in Cognitive Science*, 2013, 5(4): 672–688.	26	0.01
Bruza, P. D., Wang, Z., Busemeyer, J. R. 'Quantum Cognition: A New Theoretical Approach to Psychology'[J]. *Trends of Cognitive Science*, 2015, 19(7): 383–393.	21	0.05
Wang, Z., Busemeyer, J. R. 'A Quantum Question Order Model Supported by Empirical Tests of a Priori and Precise Prediction'[J]. *Trends of Cognitive Science*, 2013, 5(4): 689–710.	21	0.01

的根本手段而存在，不仅为科学家们提供了一种新型的数学建模方式，而且是物理学和数学跨学科结合的体现，间接反映了量子认知的跨学科性。此外，2015年开始突现的关键词“决策”和“干扰”，与2017年开始突现的关键词“合取谬误”联系紧密，反映了在突现年份内，量子认知研究的重点是不确定性条件下决策机制。突现强度较高的“量子力学”“力学”“自旋”和“相干性”均为物理学概念，表明量子认知研究的重点是物理学，基础也是物理学研究。

综上不难发现，量子认知研究的重点领域是物理学，目前最新的研究热点是神经网络并在未来一段时间内可能会持续保持。研究量子认知需要关注认知计算、量子计算、量子理论等，将物理学、数学、认知科学等多学科知识联系起来，结合时代背景，充分利用高科技推进相关研究。

2. 基于量子认知文献关键词可视化分析的主题聚类和演化路径

采用VOSviewer对于量子认知研究所涉及的关键词进行聚类分析，结果见图3。量子认知的关键词聚类主要集中于大脑意识的工作机制、量子概率解决不确定性认知现象和量子计算、量子自旋等数学、物理学理论的研究等方面。其中，蓝色聚类包括“意识”“大脑”“神经元”等关键词，该聚类主要研究意识在大脑中的工作机制。绿色聚类包括“量子概率”“模糊性”“谬误”等关键词，该聚类主要探讨在

Top 23 Keywords with the Strongest Citation Bursts

Keywords	Year	Strength	Begin	End	2004 - 2022
quantum physics	2006	7.93	2009	2011	
brain	2004	3.63	2009	2010	
neuroscience	2009	3.05	2009	2010	
quantum computation	2004	3.01	2009	2014	
mind	2005	4.46	2010	2013	
integration	2010	4.05	2010	2015	
subjective experience aspect	2010	3.14	2010	2013	
mechanics	2006	6.68	2011	2014	
time	2005	3.25	2011	2012	
consciousness	2004	3.44	2012	2013	
behavior	2004	3.24	2012	2015	
quantum probability	2013	7.44	2013	2016	
explanation	2013	3.84	2013	2015	
coherence	2004	4.89	2014	2017	
representation	2015	3.86	2015	2017	
decision making	2013	3.43	2015	2017	
interference	2010	3.29	2015	2017	
conjunction fallacy	2013	3.1	2017	2020	
cognition	2014	6.34	2018	2022	
emission	2018	3.74	2018	2019	
life	2018	3.42	2018	2019	
spin	2019	5.59	2019	2022	
neural network	2020	3.17	2020	2022	

图2 量子认知研究关键词突现

不确定性情形下，量子概率在研究人类决策行为领域的应用。红色聚类包括“量子计算”“算法”“密度泛函理论”“自旋”等关键词，该聚类主要研究量子的性质及其数学算法、物理性质等科学知识。基于上述聚类可知，量子认知研究的主要领域是认知科学、数学以及物理学，具有很强的学科交叉性，各方面的研究相辅相成，共同促进量子认知的研究和发展。

对于量子认知研究涉及的关键词进行聚类分析，并将发表时间加入考察以呈现时间线视图，结果见图4，一方面可以通过聚类凸显主题，明确该主题未来发展方向；另一方面可以借助时间线图展示各个聚类的演变时间，观察不同研究方向的发展趋势。[9] 根据时间线图可以看出关键词包含七个聚类，分别是：#0量子力学、#1量子认知、#2量子力学、#3量子相干性、#4密度泛函理论、#5行为、#6量子化学。以下根据时间线图整理分析量子认知发展过程

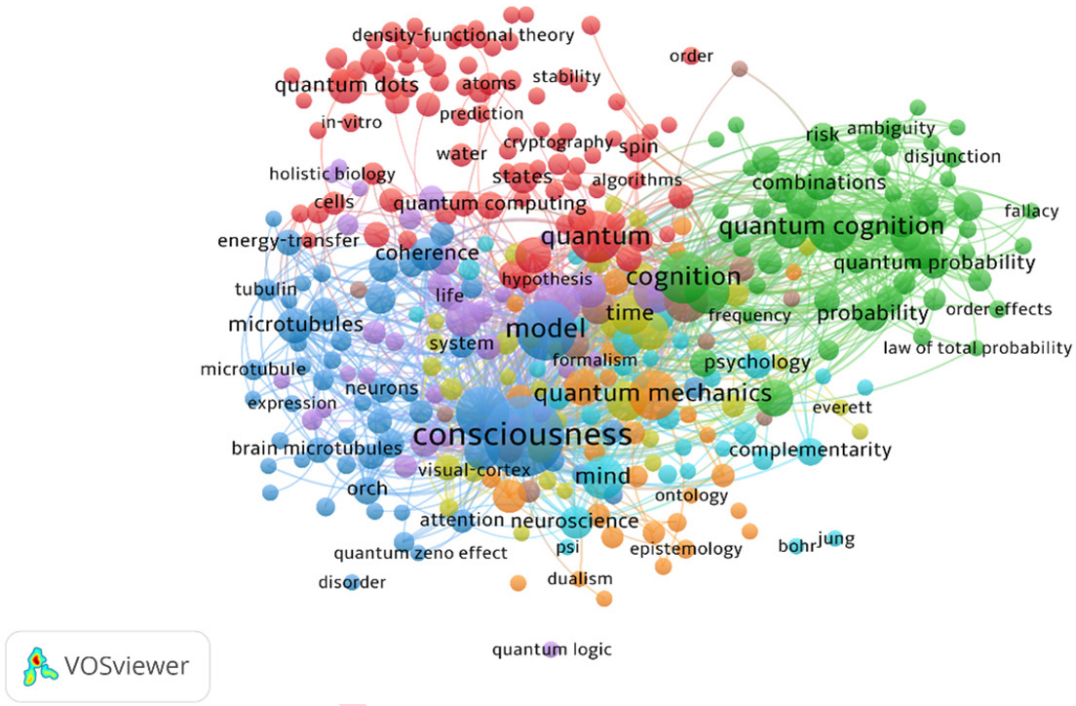

图3 量子认知研究关键词聚类网络

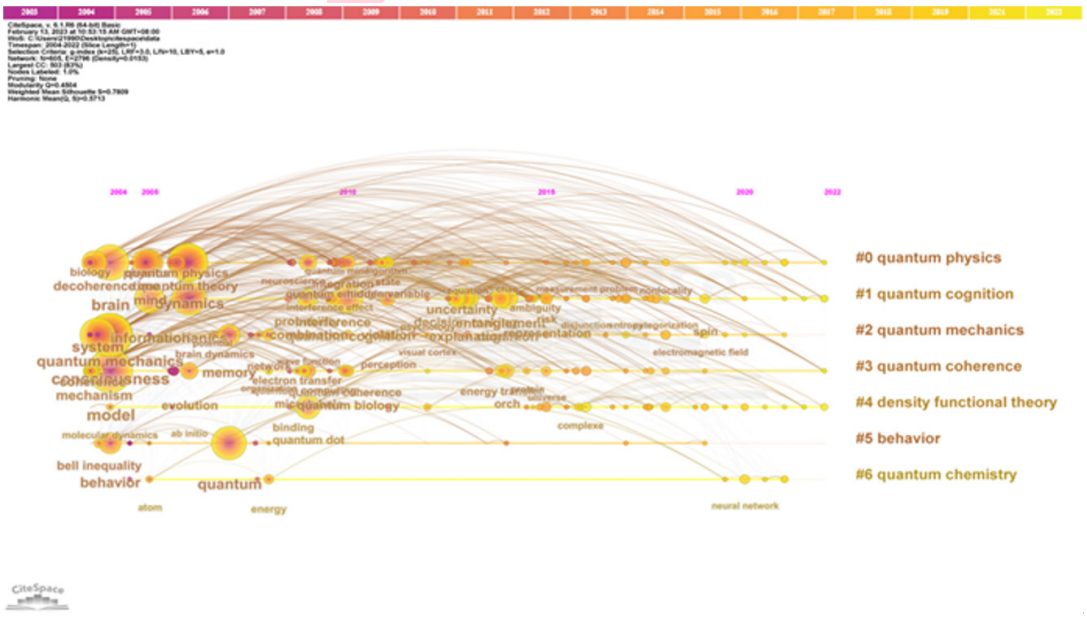

图4 量子认知关键词聚类时间线图

中占据主要地位的研究领域和研究重点。

首先，量子认知研究以量子力学、化学等基本理论为基础，包括聚类#0量子力学，聚类#2量子力学、聚类#3量子相干性、聚类#4密度泛函理论和聚类#6量子化学均属于科学理论，对于量子动态、结构、性能等进行研究。其次，量子认知建立在理论基础上，将量子微观世界规则和性质应用到人类认知领域，包括聚类#1量子认知。此外，根据对数似然比（Log-likelihood Ratio, LLR）算法面向关键词进行详细的聚类分析，可以将上述七个聚类进行简单合并，随后分别进行分析，概括出量子认知研究未来的发展趋势和方向（见表7）。

第一，通过量子理论研究意识在大脑中的工作机制，探索和描述个体的认知与决策行为是量子认知研究未来的发展趋势之一，包括聚类1神经关联和聚类3量子认知。在20世纪90年代中期，意识依赖于大脑神经元内微管集合中的生物连贯量子过程的理论被提出，这些量子过程与人脑神经元突触和膜活性相关，可以调节神经元突触和细胞膜活性，并且均会根据量子态的“客观还原”特定方案，进行“薛定谔的猫”（即无法预测）式的连续演化直至终止，往往发生在个体产生意识或者进行选择时。[12]与合取谬误相似，个体在不确定时做出判断和在冲突时决策方式用经典的概率理论难以预测，[4]而用量子理论却可以得到合理的解释。由此可见，以量子认知切入意识研究和分析人类行为有着良好的研究潜力，是量子认知研究未来持续的发展方向之一。

第二，基于量子力学和量子化学理论，深入探索量子的性质、结构、功能等是量子认知研究未来的发展趋势之一，包括聚类2研究进展和聚类7量子化学。量子力学的提出从根本上改变了人类对于物质结构及其相互作用的理解，它“几乎”能够在所有情况下正确地描绘能量和物质的物理性质。从激光、电子显微镜、原子钟到核磁共振的医学图像显示装置，还有对于半导体的研究导致了二极管和三极管的发明，均在关键环节依赖于量子力学的原理和效应。同样，量子认知概念也建立在量子理论的基础之上。[23]因此，以量子理论为切入点，建立完善量子认知理论概念是量子认知研究未来的发展趋势之一。

第三，利用量子理论完善测量模型，对于“难问题”给出更准确的答案是量子认知研究未来的发展趋势之一，包括聚类4测量难题和聚类5量子模型。早期的心理学研究往往将反应结果作为个体决策时的认知状态，但这种做法被质疑不够完整和准确，认为被测量的结果无法准确反映测量前个体或者事物的性质和状态，而测量本身却可以改变个体或者事物的属性。测量所得的确定状态并不能够作为此种“难问题”的答案，而只是提出的问题（此处可认

表7 关键词聚类分析

聚类	规模	平均年	其他关键词（LLR算法）
1	205	2011	神经关联（900.38, 1.0E-4）; 人类意识（746.3, 1.0E-4）有意识过程（629.86, 1.0E-4）; 大脑功能（577.31, 1.0E-4）; 综合效应（569.79, 1.0E-4）
2	130	2014	研究进展（987.67, 1.0E–4）; 硅量子（859.38, 1.0E-4）; 半导体量子点（813.56, 1.0E-4）;光催化析氢（763.19, 1.0E-4）;关于纳米结构荧光材料（511.5, 1.0E-4）
3	128	2012	量子认知（1359.3, 1.0E-4）; 干扰效应（1233.68, 1.0E-4）; 合取谬误（1044.35, 1.0E-4）; 自然概念（934.18, 1.0E-4）; 万维网（907.33, 1.0E-4）
4	122	2007	测量难题（754.89, 1.0E-4）; 量子力学（683.51, 1.0E-4）; 心理状态（502.72, 1.0E-4）; 机械测量过程（501.53, 1.0E-4）; 类量子认知（418.81, 1.0E-4）
5	73	2009	量子模型（703.08, 1.0E-4）; 量子认知（643.56, 1.0E–4）; 测量难题（607.09, 1.0E-4）; 类量子模型（458.5, 1.0E-4）; 难问题（453.24, 1.0E-4）
6	8	2015	皮尔斯宇宙学（95.31, 1.0E-4）; 东方哲学（95.31, 1.0E-4）; 西方思维（95.31, 1.0E-4）; 符号性自我组织（95.31, 1.0E-4）; 东方空虚本体论（79.34, 1.0E-4）
7	5	2006	解释（35.54, 1.0E-4）; 变质（35.54, 1.0E–4）; 量子化学（35.54, 1.0E-4）; 起源（35.54, 1.0E-4）; 意识（35.54, 1.0E-4）

为是测量本身）与原先个体的不确定状态共同作用所得到的确定结果。[3]而根据量子理论对于测量“难问题”的方式进行建模可以对此种现象进行解答，进而了解个体心理状态或者事物变化状态，是量子认知研究未来的发展趋势之一。

此外，聚类6皮尔斯宇宙学较为偏向基础哲学研究方面，聚类规模不大并且主题分布较为零散，暂不作为对于量子认知研究未来的发展趋势进行思考，故不对其进行赘述。

余　论

量子认知作为近些年兴起的跨学科研究，在国际学术共同体中的关注度持续上升，逐渐成为一个备受关注的学术热点。基于前述分析，量子认知研究的发展趋势整体呈现如下特点：

第一，核心研究论题的延续性。量子力学是量子认知研究的核心主题和理论基础，直接决定了量子认知的发展空间。随着量子力学理论不断在各领域取得创新性进展，其原有的基本内容获得了更为完善的检验，部分知识可以作为量子认知研究的突破点。[24]近年来，研究者正在建立基于量子人工智能的框架来分析文本信息，以便于更精准地建立神经网络。[25]

第二，热点转移的周期性。量子认知在保持量子力学这一核心研究不变的条件下，其他研究热点呈现出周期性转移的特征，每个研究热点的周期约为1至3年。根据关键词突现的分析可知，近20年的研究热点总体上大致经历了神经科学和大脑思维导向、意识行为导向、科学理论导向三个阶段。神经科学和大脑思维导向阶段约起源于2009年，探讨意识在大脑中发生时，神经元进行的量子过程活动，至2011年逐渐淡出热点话题；意识行为导向阶段主要探讨量子概率理论在分析人类认知与行为中的应用，在2011至2013年期间始终作为热点议题存在；科学理论导向阶段重点研究量子的性质和功能，随后进一步将理论应用于各个学科，如建立量子模型以完善神经网络等，约起源于2013年，至今仍在不断探索。

第三，论域扩展的多元性。量子认知的研究对象大体上可以分为两种：一种是利用数学手段对于认知现象进行建模，重在研究手段和建立量子理论模型；另一种是以量子理论为基础，完善认知体系，重点研究量子本身的性质和功能。就相关研究的发散性来看，量子认知不仅在物理学、神经科学、生物化学与分子生物学等热点领域有着良好发展，还涉及社会科学、心理学、科学史与科学哲学等多个论域。

［参 考 文 献］

[1] Gilboa, I. *Theory of Decision Under Uncertainty*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2012.

[2] Tversky, A., Kahneman, D. 'Judgement Under Uncertainty: Heuristic and Biases'[J]. *Science*, 1974, 185(4157): 1124–1131.

[3] 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.

[4] 谢昊岩. 情感、认知和决策建模的发展方向——以量子概率理论为视角 [J]. 前沿, 2020, 423（1）: 26–31.

[5] 程鹏、谭浩. 量子人工智能的工程哲学探析 [J]. 工程研究——跨学科视野中的工程, 2021, 13（5）: 479–491.

[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] 刘燊. 量子认知的研究回溯、核心应用领域与未来展望 [J]. 自然辩证法通讯, 2024, 46（4）: 41–48.

[8] 赵蓉英、魏明坤. 可视化图谱视角下的国内外科学计量学比较 [J]. 图书馆论坛, 2017, 37（1）: 56–65.

[9] 刘燊、隋婷婷. 国际视阈下实验哲学发展趋势的知识图谱溯源与研判 [J]. 科学技术哲学研究, 2022, 39（6）: 97–107.

[10] Fidelman, U. 'Cognitive and Neuropsychological Basis for Quantum Mechanics: Part I. Quantum-Particles as Kantian Ideas'[J]. *Kybernetes: The International Journal of Systems & Cybernetics*, 2004, 33(7/8): 1247–1257.

[11] Fidelman, U. 'Visual Search and Quantum Mechanics: A Neuropsychological Basis of Kant's Creative Imagination'[J]. *Journal of Mind and Behavior*, 2005, 26(1/2): 23–33.

[12] Hameroff, S., Penrose, R. 'Consciousness in the Universe: A Review of the "Orch OR" Theory'[J]. *Physics of Life Reviews*, 2014, 11(1): 39–78.

[13] Shan, G. 'Quantum Collapse, Consciousness and Superluminal Communication'[J]. *Foundations of Physics Letters*, 2004, 17(2): 167–182.

[14] Jensen, K. 'Chaos in AdS_{2} Holography'[J]. *Physical Review Letters*, 2016, 117(11): 111601.

[15] Gong, X. W., Voznyy, O., Jain, A., et al. 'Electron-Phonon Interaction in Efficient Perovskite Blue Emitters'[J]. *Natural Materials*, 2018, 17(6): 550–556.

[16] 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.

[17] 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.

[18] Wang, Z., Busemeyer, J. R., Atmanspacher, H., et al. 'The Potential of Using Quantum Theory to Build Models of Cognition'[J]. *Topics in Cognitive Science*, 2013, 5(4): 672–688.

[19] 陶颖、周莉、宋艳辉. 知识域可视化中的共被引与耦合研究综述[J]. 图书情报工作, 2017, 38（11）: 140–148.

[20] Busemeyer, J. R., Bruza, P. D. *Quantum Models of Cognition and Decision*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2012.

[21] 魏屹东. 认知科学的功能主义本体论[J]. 晋阳学刊, 2011, 32（1）: 66–74.

[22] 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）: 60–64.

[23] 郑凯文. 量子力学的发展和应用[J]. 科技致富向导, 2014, 12（10）: 279–279.

[24] 朱科夫. 物理理论的形式体系与诠释之辨析 ——基于对量子力学诠释的考察[J]. 自然辩证法通讯, 2024, 46（8）: 17–24.

[25] Smriti, S. 'Quantum Algorithms for Simulation of Quantum Chemistry Problems by Quantum Computers: An Appraisal'[J]. *Foundations of Chemistry*, 2022, 24(2): 263–276.

[责任编辑　李斌]