

哲学丛书

峰 ■ 主编

# 量子信息哲学

吴国林 著

中国社会科学出版社



当代新哲学丛书

赵剑英 肖峰 ■ 主编

# 量子信息哲学

吴国林 著

中国社会科学出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

量子信息哲学/吴国林著. —北京: 中国社会科学出版社,  
2011. 9

(当代新哲学丛书)

ISBN 978-7-5004-9987-9

I. ①量… II. ①吴… III. ①量子力学—信息技术—物理学哲学  
IV. ①0413. 1-02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 143275 号

责任编辑 储诚喜  
责任校对 刘娟  
封面设计 苍海光天设计工作室  
技术编辑 王超

---

出版发行 **中国社会科学出版社**  
社 址 北京鼓楼西大街甲 158 号 邮 编 100720  
电 话 010-84029450 (邮购)  
网 址 <http://www.csspw.cn>  
经 销 新华书店  
印 刷 北京君升印刷有限公司 装 订 广增装订厂  
版 次 2011 年 9 月第 1 版 印 次 2011 年 9 月第 1 次印刷  
开 本 710 × 1000 1/16  
印 张 18.25 插 页 2  
字 数 246 千字  
定 价 38.00 元

---

凡购买中国社会科学出版社图书, 如有质量问题请与本社发行部联系调换  
版权所有 侵权必究

## 《当代新哲学丛书》总序

如果说“哲学是时代精神的精华”，那么哲学的重要使命，无疑就是要通过对时代趋势的把握，来展现出时代精神的丰富内涵，并从中提炼出新的哲学观念、哲学方法和哲学视野，去影响人们更合理地构建自己的时代。

凡存在的，都是变动演化的，由此而形成不断推陈出新的趋势，人类智力和智慧的一种“内在本能”，就是要极力把握住这种新的趋势，以获得对存在之奥妙的“明白”，消解心中因外界的变动不居而留下的疑惑，并借助实践的力量将认识世界的成果转变为改善现实的成果。所以，对新事物的把握汇聚着人类各个层次的精神探求，在这个意义上，哲学不仅仅是一种“为往圣继绝学”的传承过程，更是“为当世探新知”的“开来”活动，这就是“探求新学”的活动，我们无疑可称这个意义上的哲学为“当代新哲学”。

“新哲学”也意味着，我们的哲学是处于发展中的哲学，而我们的哲学发展也不断形成新的趋向。无论是不断强化着的“科学性”、“实践性”，还是成为焦点的“人本性”、“文化性”，都是当今学术界在探索新哲学的过程中所归结的特征，这些特征当然并没有穷尽对哲学之新的把握，而本丛书所展示的方面，可以说是对新兴哲学的又一些维度的探视。

当代新哲学的多维度存在，表明她的来源是多样化的，她所

汇聚的是多样的趋势，例如，本丛书就择取的是如下视角：

其一是追踪科学技术的前沿趋势，让哲学走进“新大陆”。科学技术是人类在探新的过程中迄今走在最前沿的领域，它长期以来为哲学的发展提供着源源不断的智力支持和问题激励，以至于追踪科学技术的前沿趋势，成为每一个时代哲学保持其生命活力的必要条件之一。本丛书我们选取了“量子信息”和“纳米科技”这两个国内哲学界从未涉足的科技前沿领域，对其发展的现状和趋势进行了哲学初探。进入这些领域，也犹如让哲学踏上“新大陆”，进入由当代科技为我们开辟的知识上的“处女地”，使我们面对从未接触过的新存在、新现象去尝试性地进行哲学分析和思辨性概括，在其中看看能否获得新的哲学发现。这个过程也是哲学与新兴学科的相互嵌入，用哲学的方式去打开这些新的“黑箱”，力求产生出智力上的“互惠”和视域上融合。

其二是把握日常生活的变动趋势，也就是让哲学走进“新生活”。生活世界的新问题是层出不穷的，它们为哲学思考提供了取之不尽的新养料，在今天由“现代性”和“后现代性”交织影响的日常生活中，女性问题、技术的人文问题以及视觉文化问题都已经成为“焦点问题”，也有的成为公众的“热门话题”，因为它们或者关系到一部分人的社会地位，或者关系到全人类的“生存还是死亡”，又或者关系到我们日常的文化社会方式问题，它们成为生活世界中不断兴起的关注点和“热词”，对其加以哲学的分析和归结，可以使形而上的哲理具象化，使抽象的哲学观点社会化。抑或说，这是一种在生活世界与哲学探究之间相互会通的尝试，体现了哲学“从生活中来，再到生活中去”的强劲趋势。

其三是反思思想学术的“转型”趋势，也就是让哲学进入“新视界”。近来，各种新兴思潮尤其是“\* \*主义”的兴起，不断掀动着思想学术或理论范式的“转型”，出现了从“物质主义”到信息主义、从实体主义到计算主义，从客观主义到社会建构主

义，呈现出新兴学术思潮冲击传统思潮的强大趋势。这些学术思潮起初发源于具体学科，分别作为“信息观”、“计算观”、“知识观”等等而存在，但由于其潜在的说明世界的普遍性方法论功能，无疑包含着成为一种新哲学的趋势；这些理论范式在走向哲学的过程为我们“重新”认识世界提供了若干新的参照系，引领我们换一个角度看世界，去看看世界究竟会是个什么样子？这无疑是一种智力探险，同时也伴随了丰富的思想成果，为当代哲学图景起到了“增光添彩”的作用，同时其“利弊得失”的“双重效果”也构成为哲学反思的新课题，正因为如此，这些选题构成为本丛书的一个重要组成部分。

总之，我们的新哲学源自于探索领域的新扩张、或是焦点问题的新延伸、或是观察视角的新转移。

世界范围内经济、政治、文化的大变迁，必然伴之以人类智慧和思想的大发展，使得哲学探新的势头日趋强劲，各个新领域、新侧面的哲学探索不断推出新的成果。如果从哲学上 20 世纪是“分析的时代”，21 世纪则是各种新哲学思想竞相争艳的时代，正是在这种背景下，各种当代新哲学连续诞生，成为人类知识宝库和文化成就中的重要组成部分，“当代新哲学”的选题就是反映 21 世纪以来最引人注目的哲学新学科，展现近几十年乃至近几年来异军突起的哲学新亮点，它们认识论到方法论再到本体论，都带来了“新气象”。作者们力求从当代新的自然图景、社会图景和人文图景中把握总体性的新的世界图景，从而增加我们从哲学上把握世界的时代感、生动性和趋势感；这些新哲学的出现即使构不成哲学中的“全新革命”，但至少也由于其应对了时代的“挑战”而实现了哪怕是局部的“突破”和“超越”，从而形成了实实在在的“新发展”。哲学必须有它的传统和历史的积淀，才有智慧的进化；哲学也必须有对人类新发现新发明新趋势的追踪和创新性思考，才有不仅仅是作为“非物质文化遗产”的哲学存在，而且还有作为把握现实的世界观和方法论哲学的存

在。由于“存在就是推陈出新”，也由于哲学的探新精神，新哲学的涌现是没有止境的。

本丛书汇聚了一批中青年哲学工作者参与写作，其长处是他们对于“求新”的渴望，他们中不少在追踪学术前沿的过程中，已经开辟了或正在开辟新的哲学领域；同时，由于初涉这些全新的领域，所以这样的探索还只能是“初探”。当然，即便如此，我们也是力求以一种前沿性、学术性和通俗性相结合的方式，将其传播至公众和学者，力求通过焦点之新和表述之活来对更多的人产生更大的吸引力，可以称之为对哲学的一种“新传播”：提高哲学尤其是新哲学对世界的“影响力”，从而不仅仅是满足于能够以各种方式解释新的世界，而且还能够参与建构一个新世界。这或许就是当代新哲学的“力量”及其旨趣和追求。

**赵剑英、肖峰**

2011年8月

# 前 言

人们对世界的三大基本要素——物质、能量与信息的重要性的理性认识，最为晚近的是信息。经典信息论开始于1948年申农的《通信的数学理论》，而量子信息也在20世纪末受到了高度关注。“大器晚成”的量子信息，注定不一般，展现出一个全新的视阈，释放出人们探索世界与改变世界的多种可能性。

量子信息概念与量子力学密切相关。自20世纪20年代建立量子力学矩阵力学和波动力学以来，在近一个世纪的探索中，量子力学取得了巨大成功，但是，仍然有多种量子力学诠释，这些诠释之间还有相当大的分歧。1935年爱因斯坦、波多尔斯基和罗森（EPR）在《物理评论》发表了《能认为量子力学对物理实在的描述是完备的吗？》一文，EPR佯谬成为令人困惑的重大问题。1964年，贝尔提出了贝尔不等式。20世纪70年代以来，一连串的物理实验开始检验贝尔不等式，并开始检验EPR佯谬本身。

量子信息概念还与计算机技术的发展有关。1982年，著名物理学家费曼（R. P. Feynman）首先推测，按照量子力学规律工作的计算机（量子计算机）可能避免能耗这一困难。1994年，肖尔（P. Shor）发现了具体的量子算法。1993年，本内特（C. H. Bennett）等四个国家的6位科学家联合在《物理评论快报》发表题为《经由经典和EPR通道传送未知量子态》的论文，这是一篇直接引发了量子信息理论的一系列重要研究的论文。1997年9



月，中国科技大学学者潘建伟与荷兰博士波密斯特尔等合作完成了“实验量子隐形传态”<sup>①</sup>并在《自然》杂志报道了基于 EPR 关联的量子隐形传态的实验结果，这一成果标志着在实验层次上从量子力学原理向量子信息处理研究的转变。量子隐形传态（teleportation）是量子信息的根本性特点。20 世纪后半期，量子计算、量子密钥分配算法和量子纠错编码等 3 种基本思想的出现，标志着以量子力学为基础的量子信息论基本形成。2000 年，研究量子信息的权威本内特等在《自然》杂志上撰文认为，量子信息理论已开始将量子力学与经典信息结合起来，成为一门独立的学科<sup>②</sup>。

量子信息（quantum information）是近 10 年来受到国内外学术界高度关注的一个重要的理论和技术问题，出现了许多综述性论文，量子信息理论已取得了重大理论突破，并在量子信息技术取得进展。量子信息理论已开始将量子力学与经典信息结合起来，成为一门独立的学科。国内外学界高度关注量子信息理论及其应用。国内 2000 年以后，仅有几篇直接是量子信息的哲学研究的论文，更缺乏系统的研究。随着量子信息理论成为一门独立的学科，在其重要性日益突出的同时，量子信息哲学也开始建立自己的话语体系和理论框架。

下面我们简要介绍本著作的主要内容：

在第一章，我们首先介绍了量子与量子纠缠的一些基本概念。具体分析了量子性、波粒二象性、波函数的意义等，它们构成了理解微观世界的基础。量子创造和揭示了一个新的空间，为人们认识世界展开了新的可能性。量子纠缠所表现出来的性质超越人的想象，本章由此探讨了量子纠缠的基本涵义。

第二章探讨了量子信息的本质。结合经典信息的涵义，对量

---

① D. Bouwmeester, J. W. Pan, K. Mattle, M. Eibl, H. Weinfurter & A. Zeilinger. Experimental Quantum Teleportation. *Nature* 390, p. 575, 1997.

② Bennett C. H. and Di Vincenzo D. P. quantum information and computation, *Nature*, 2000, p. 404.

子信息和经典信息的联系和区别进行了讨论，并对量子信息进行了本体论和认识论上的区分：所谓本体论量子信息，是指在量子相干长度之内所展示的事物运动的量子状态与关联方式；所谓认识论量子信息，是指主体感受和所表述的在量子相干长度之内的事物运动的量子状态与关联的方式。量子信息不是量子实在，而是作为量子实在的状态、关联、变化、差异的表现。量子信息也就是微观事物的量子状态与关联方式的自身显现。

什么是实在的，实在的东西有什么特点？那实在的东西有没有一个实体存在？这实体是不可进入吗？不可变吗？实在是潜在的吗？第三章在于阐明微观实在的特点。而波函数是量子实在的典型形式，量子控制所控制的对象也是波函数等。研究了评价实在的标准，即“实在”的三个判据：可观察性标准、因果性标准和语义标准，这三个标准都必须满足，才能说某事物是实在的。据此，我们探讨了波函数、算符的实在性。对于“万物源于比特”（It from bit）这一问题，事物的运动不是与信息没有关系的，信息与事物的运动是统一的；并没有虚无的信息存在，信息是事物或存在的某种显现。

第四章再次研究量子纠缠。量子隐形传态就像神话传说中的“土行孙的遁地术”一样。我们详细研究了量子纠缠的基本性质。量子纠缠是微观物质的根本性质，它以非定域方式存在，并且具有实在性、转移性、独立性、可创生性和可消亡性，以及分离性和非分离性的统一等特征。在量子隐形传态过程中，究竟传递的是什么东西？它有没有实在性？这涉及量子力学中一个非常重要的全同性原理。在具体研究中，以真假悟空为例，说明了如何区别两个事物。从外观、力量大小、内在的感知能力都没能区分真假悟空。尽管谛听能做出区分，但控制力不强，也没有让假悟空显现出来。只有如来以自己的知识和力量，借助器具——钵盂，将六耳猕猴显现出本。要做出事物的区别，必须具备理论知识，又要具有使用技术控制现实的能力，缺少一个都不行。在量子信

息理论中，我们着重于从量子隐形传态过程入手，具体分析微观粒子的同一性问题，认为微观粒子本身是内在性质和外在性质的统一。从这一意义上讲，微观粒子是内在同一的，而不具有外在同一性，或者说，是同一性与可分辨性的统一。

从狭义相对论来看，一般认为，信息传递的最大速度为光速，否则将违反因果性。但是，经典物理的因果性未必一定能推演到量子物理中，包括其有信息传递的速度不超过光速。第五章研究了因果性问题，还将具体探讨在量子隐形传态过程中的因果性问题。利用基于事件概念的邦格状态空间模型对量子隐形传态实验中的相互作用及因果关系进行了研究。量子隐形传态中所展现出的量子非定域性违背了“定域性作用”假设，其中有相互作用的发生，进而展示出了一种新型的非定域性因果关系的存在。这不仅将丰富和拓展我们对于因果关系观念的思考和理解，而且还将拓展我们对于一般性意义上的因果关系观念的思考和理解。本书用不确定性原理来说明量子隐形传态中有能量波动，并可以把“能量波动”看作是对经典因果性的“能量传递”概念的提升。

第六章探讨现象学与量子现象、量子信息之间可能的关系，这是为本书作者所倡导的量子现象学做一些准备。现象学作为二十世纪哲学界的显学，量子力学自 20 世纪初诞生以来，到目前仍然是科学的前沿，两者对于哲学和物理学的重要地位自不待言。我们比较了现象学的“现象”与量子力学的量子现象，量子力学的概率与现象学的“可能性”，量子力学的互补原理与现象学的变更理论，以及用（后）现象学的基本概念和方法分析了量子信息的体现性与变量性，以期为现象学和自然科学的交叉研究做一个奠基性的工作。

从现象学来看，信息就是物质的状态与关联方式的自我显现，关键在于向他者传递、显明或解蔽物质之所是。物质的客观实在性与信息是相互统一的。对于微观物质而言，量子实在就是

微观物质自我同一性的显现。量子信息就是微观物质的状态与关联方式的自我显现。这里的“显现”还有一个在什么境域中显现，通过什么方式来显现，以及向谁显现的问题。在现象学意义上，量子信息是由量子技术与量子实在（或量子客体）不断生成的，实质上，量子信息就是意向性与量子实在所构成（constitution）的状态与关联方式的自我显现。

第七章探讨量子算法与量子计算的特点及其哲学意义。量子算法最根本的特征是，它充分利用了量子态的迭加性和相干性，以及量子比特之间的纠缠性。量子计算机就是一个量子力学系统，量子计算过程则是量子系统的量子态的演化过程。与经典计算主要基于数学的抽象性不同，量子算法与量子计算以 EPR 关联——量子纠缠作为其关键运行机制，这使得数学的经验性在更高的层次上凸显出来，量子计算展现给我们的观点是，数学深刻地揭示了客观世界的物理本质。从量子计算与量子算法来看，波函数（或几率幅）与算符都具有物理实在的意义，波函数描述了微观物质（量子系统）的状态和运动（演化）性质，量子黑盒显示出不同于经典黑箱的方法论意义。

第八章围绕对称性、量子信息与相互作用展开研究，探讨量子信息是否意味着一种新的相互作用形式的出现。从现象学意义上，“对称性支配相互作用”可以进一步理解为：客观事物的本质支配了相互作用。量子信息的发现显现了一种新的相互作用，它不同于原来的通过传递中间玻色子一类的四种相互作用的类型，量子信息的传递并不破坏因果律。不仅要从各种相互作用出发研究物理系统的运动规律，而且要把对称性作为支配这些相互作用的更深层次的规律，并把对称性作为一种重要的物理学方法。“客观事物”与“相互作用”是同时存在的，它们都是“存在”（being）的表现形式。在一些具体的情况下，“客观事物”可能表现为实体、场等形式，“相互作用”可能表现为力、关系等形式。客观事物在一定环境或相互作用中，就表现为客观

现象。

量子纠缠成为一种重要的资源是量子信息哲学兴起的重要标志。

能否用量子力学哲学来取代量子信息哲学呢？显然不能。量子信息哲学的研究范围比量子力学哲学要大得多，量子力学仅是量子信息理论的基础之一，量子信息理论还包括信息理论、计算理论等。因此，量子信息哲学的研究范围，除了以新的角度对量子力学的有关问题展开研究之外，还要扩大研究范围。即使对于同样的物理现象，量子信息哲学也会有新的角度。比如，对于EPR关联问题，量子力学哲学对它的存在还处于争论之中，而在量子信息哲学中，EPR关联是作为一种最基本的存在，并对其展开多方面的研究。

如何给量子信息哲学（philosophy of quantum information）下一定义，如何定义这门学科，其回答取决于量子信息理论的发展状况，取决于对这门学科所持的观点。如果不是一个学科，当然就无从研究该学科的研究对象问题，而只能将其视为自然科学中某个领域的哲学问题，如量子信息论中的哲学问题等。无疑持这种方法是不利于对量子信息进行哲学研究的，尽管量子信息哲学与量子力学哲学有交叉，但是，量子信息哲学正在形成自己的话语特质，形成自己的概念体系、理论结构等。

我们可以大致下一个定义，量子信息哲学就是对量子信息理论（包括重大实验）的哲学反思，其中包括量子信息的实在性问题（如量子信息的客观性、量子信息的本质问题、量子纠缠问题、量子消相干问题等）、量子信息的认识论问题（如量子信息与经典信息的关系问题、量子信息的发生与演化问题）、量子信息论的方法论意义、量子信息资源的意义（如量子纠缠的资源意义、量子信息与复杂性的关系、量子信息与计算的关系）等。限于篇幅，本书仅对其中一些问题展开了研究。

早在2004年，我申请的“量子信息的哲学研究”被批准为

广东省哲学社会科学“十五”规划项目，经过这6年的潜心研究，取得了一些进展，本项目是国内最早资助量子信息研究的哲学课题，2010年6月正式结项，结项为良。本书就是相关研究的部分成果。由于本书主旨针对更广泛的读者，降低了数理的要求，因此尽可能用日常语言来表达，为此一些论述的严格性就会降低，但不会影响到结论的严格性。

## 阅读建议

虽然我们尽可能用较简单的话语来叙述，但是，对于非专业性普通读者而言，量子信息理论及其哲学分析还是有一定的难度，因此，我们给出阅读本书的方法建议：

1. 书中使用的一些基本数学表达式，一般的代数与三角函数，如果遇到较难的数学公式，可以跳述，直接从结论来理解。

2. 要比较好地理解本书，建议要认真阅读附录“狄拉克符号、直和与直积”。这是与量子力学有关的数学知识，然后才能更好地认识和理解量子纠缠、量子信息。这些符号看似难，实则简单，读者只需要知道这些符号的运算规则，而不需要亲自计算。花十多分钟就可看懂。狄拉克符号是由著名物理学家首创的，对于处理微观世界或量子力学问题具有重要意义。狄拉克符号是将括号  $\langle \rangle$  分为左右两个部分，在括号左边的  $\langle |$  称之为左矢，在括号右边的  $| \rangle$  称之为右矢。

# 目 录

前言 .....	(1)
阅读建议 .....	(1)
<b>第一章 波函数与量子纠缠</b> .....	(1)
一 量子态与波粒二象性 .....	(1)
二 波函数及其意义 .....	(6)
三 量子纠缠的涵义 .....	(9)
四 EPR 关联——两粒子量子纠缠 .....	(15)
<b>第二章 量子信息是什么?</b> .....	(21)
一 经典信息的涵义 .....	(21)
1. 信息的词源与结构上的涵义 .....	(21)
2. 信息的学科涵义 .....	(23)
二 量子信息的基本涵义与性质 .....	(27)
三 量子信息涵义的论争 .....	(32)
四 量子信息与经典信息的关系 .....	(35)
五 量子信息的本质 .....	(38)
<b>第三章 若隐若现的量子实在</b> .....	(41)



一	“20 问”游戏与延迟选择实验	(41)
二	实在及其标准	(50)
三	量子实在面面观	(59)
1.	算符的表示与涵义	(59)
2.	波函数的实在性	(66)
3.	经典实在、量子实在与环境	(69)
4.	波函数的实在与经典实在的比较	(71)
四	万物来自于比特吗?	(74)
<b>第四章 再论量子纠缠及其同一性</b>		<b>(85)</b>
一	量子幽灵成像	(85)
二	量子隐形传态的过程与分析	(89)
三	量子纠缠的性质	(99)
四	真假悟空	(102)
五	哲学上的同一性	(109)
1.	古典同一性	(109)
2.	现代同一性	(110)
六	物理学中的同一性问题	(116)
七	量子纠缠中的同一性问题	(125)
<b>第五章 因果性有没有界限?</b>		<b>(129)</b>
一	近距作用与域定性	(129)
二	过程与事件:审视事物的新视角	(132)
三	INUS 模型和萨普斯模型	(134)
1.	马基的 INUS 条件模型	(136)
2.	萨普斯的概率模型	(138)
四	邦格的事件理论及因果状态空间模型	(139)
五	量子隐形传态过程的因果关系分析	(143)
六	几点哲学讨论	(146)