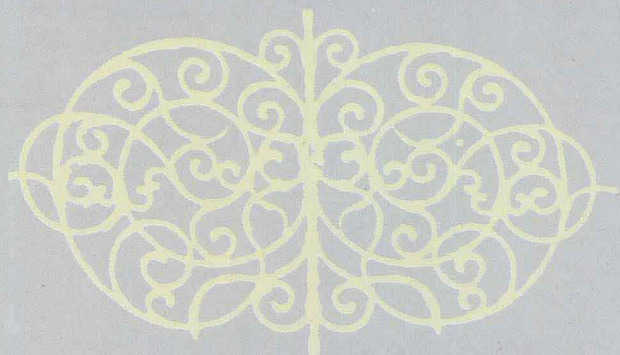


丁 峻 著

思维进化论

SIWEI JINHUA LUN



中国社会科学出版社

丁 峻 著

思维进化论

SIWEI JINHUA LUN

中国社会科学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

思维进化论/丁峻著. —北京: 中国社会科学出版社, 2008. 12
ISBN 978-7-5004-7446-3

I. 思… II. 丁… III. 思维科学 IV. B80

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 194180 号

责任编辑 罗 莉

责任校对 林福国

封面设计 王 华

版式设计 李 建

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 北京新魏印刷厂 装 订 丰华装订厂

·版 次 2008 年 12 月第 1 版 印 次 2008 年 12 月第 1 次印刷

开 本 710×1000 1/16

印 张 36.75 插 页 2

字 数 599 千字

定 价 60.00 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

杭州师范大学优秀学术著作出版基金资助项目

浙江省哲学社会科学十五规划2005年度项目

浙江省社科联哲学社会科学优秀学术著作出版基金资助项目

目 录

题白 镜观心灵之妙·····	(1)
----------------	-----

第一单元 心脑关系论·····	(7)
-----------------	-----

第一节 千古难题:心灵与大脑之神秘关系 ·····	(7)
第二节 大脑与心灵的语言观 ·····	(13)
第三节 感觉、知觉、思维与意识之异同 ·····	(25)
第四节 情思、智思与理思·····	(26)
第五节 精神世界的真理品格 ·····	(41)
第六节 意识活动的相对独立性和超前能动性 ·····	(46)
第七节 心脑功能的重合与分离 ·····	(63)
第八节 心脑系统的差相成熟与异速进化 ·····	(68)
第九节 生物学进化、文化进化与环境进化·····	(72)
第十节 思维进化是人类社会不断发展的内在动力 ·····	(85)

第二单元 神经进化论 ·····	(90)
------------------	------

第一节 人脑进化的多元内容与多级形式 ·····	(92)
第二节 神经进化的时空标志·····	(104)
第三节 人脑的生长进发期与机能敏感期·····	(112)
第四节 髓鞘化:神经结构的成熟标志 ·····	(116)
第五节 古皮质、旧皮质与新皮质的发生阶段及相对变化 ·····	(120)
第六节 交互式连接的时空特点与重大作用·····	(126)
第七节 感觉皮层、联合皮层和前额叶新皮层的再分化形式 ·····	(130)
第八节 镜像神经元与 40Hz 高频同步振荡脑波 ·····	(144)
第九节 信息增益盈溢与高阶神经功能突现·····	(153)

第十节	二元协同进化:基因顺式驱动与意识—分子反式驱动 …	(160)
第三单元	思维形态进化论	(170)
第一节	思维形态发生论	(172)
第二节	形而下的(体象—物象)思维对象及其内化形式	(185)
第三节	感性思维与直观错觉(地动说与日动说)	(190)
第四节	形而中的(表象—概象)思维对象及其内化形式	(200)
第五节	知性思维之花:间体世界与镜像时空	(205)
第六节	形而上的(概象—意象)思维对象及其内化形式	(214)
第七节	理性思维与主观主义	(225)
第八节	思想坐标对学术创新的重要影响:量子学争论 所蕴含的深刻启示	(243)
第四单元	思维时空进化论	(256)
第一节	精神世界的时空观	(256)
第二节	思维时空演化的动因与意义	(261)
第三节	划分思维时空多层属性的客观依据	(264)
第四节	历时空的信息摄取及人的感性进化方式	(269)
第五节	共时空的知识整合与符号思维进化方式	(276)
第六节	超时空的理念统摄与人格意识进化的理性方式	(282)
第五单元	思维表征进化论	(304)
第一节	思维表征的含义、特点与功能	(304)
第二节	思维表征方式的发展历程	(314)
第三节	表象生成与感性塑造	(322)
第四节	经验与情感的历时空建构	(336)
第五节	感性—知性学习:“镜像体验”与知识内化	(339)
第六节	概象化合与知性塑造	(351)
第七节	内外世界的规则范式廓出方式	(359)
第八节	意象廓出与理性塑造	(367)
第九节	主客观规律图式的契通与整合境界	(375)
第十节	科学文化对人类思维与行为的另一重影响	(391)

第六单元	思维素质进化论 ·····	(399)
第一节	面向知识创新的内功修炼·····	(400)
第二节	全面塑造和超前优化思维素质·····	(408)
第三节	思维之感性素质进阶·····	(411)
第四节	思维之知性素质进阶·····	(421)
第五节	思维之理性素质进阶·····	(431)
第六节	大中小学的教学创新与学科创新·····	(437)
第七节	贯通知识创新与教育创新的思想阶梯·····	(444)
第八节	打造人才创造性思维心理的三大素质平台·····	(451)
第七单元	思维结构与功能进化论 ·····	(465)
第一节	素材(经验)构成与动力(情感)结构·····	(465)
第二节	工具(符号知识)结构与方法(规则程序)坐标·····	(471)
第三节	世界模型构成与解释——预测之意识结构·····	(482)
第四节	思维功能之进化历程·····	(488)
第五节	反映对象外观、透视对象属性、把握对象本质·····	(497)
第六节	特征认识、规则转化、规律化用·····	(499)
第七节	认知与完善主客体世界·····	(502)
第八节	思维三级跳:实体世界—符号世界—真理世界 ·····	(504)
第八单元	思维观念创新论 ·····	(510)
第一节	元认知与思维观念·····	(510)
第二节	观念变革与内源知识创新的关系·····	(515)
第三节	观念创新意识驱动原理·····	(526)
第四节	观念创新的符号驱动原理·····	(529)
第五节	观念创新的感性驱动原理·····	(530)
第六节	观念创新的方法助动机制·····	(532)
第七节	观念创新的内外环境孵化机制·····	(543)
附录一	最新绘制的人类大脑皮层分区及功能新定位图 ·····	(553)
附录二	人脑左右半球全息功能的最新定位图 ·····	(554)

附录三	人脑初级和次级感觉皮层之空间关系示意图·····	(556)
附录四	记忆与想象活动的脑定位·····	(557)
附录五	人脑认知的模型建构示意图·····	(558)
附录六	正电子发射术所标定的人脑皮层功能映射图·····	(559)
附录七	神经结构与功能快速发展及成熟期·····	(560)
附录八	心智发展的分级模型·····	(561)
附录九	大脑认知功能的哲学诠释·····	(564)
附录十	人脑复杂功能及信息加工的内在路径·····	(565)
附录十一	大脑复杂功能的结构定位与协同机制·····	(566)
附录十二	模拟意识活动的机器人示意图·····	(567)
附录十三	人脑与电脑的认知特点·····	(568)
附录十四	人脑三个层次的机能·····	(569)
附录十五	思维之光·····	(570)
后记	·····	(579)

题 白

镜观心灵之妙

若要问世间最复杂最奇妙的事物是什么，则非心灵莫属。正是人的心灵深度、广度和复杂程度等内在品格，决定了我们对宇宙万物的认知程度、体验水平和改造利用的效能。

然而，万千年以来，人类更多地致力于认识自然、社会 and 历史文化，相对放松了对自身心灵的观照与探究，对情知意能力知其然而不知其所以然，只管使用而不知维护修整和升级更新。古人说得好：“工欲善其事，必先利其器。”思维之能是人类的超级工具；对思维和内在情意的返身体验，则是人类确证存在意义并实现本体价值的独特方式之一。它们发动了人类的所有外在行为，并对之进行动态设计、超前引导、灵活调节和多维评价。所以，我们的确有必要从现在开始，抽出一部分精力、时间和空间来镜观吾心，以便从中有所发现、有所领悟，借此推动心灵的结构更新与功能升级，提高外在行为的效能与价值。

马克思有言：人是有意识的对象性存在物，他自己的生活的对象，从而使自己的生命活动本身变成自己的意志与意识的对象；人不仅能在意识中理智地复观自己，而且能动地、现实地复观自己，从而在他创造的世界中直观自身。^①这样做的目的，主要是为了创造更加丰富并接近主客观世界本质属性的全新感觉，也是为了从对象化的形态中发现与提升自己的本质力量。因而，镜观心灵具有理论和实践方面的重要意义。

那么，如何镜观自己的心灵呢？黑格尔在《小逻辑》中指出：只有通过反思中介的变化，对象的真实本质才可能呈现于我们的意识面前。^②这个中介就是“思维间体”及其所在的“镜像时空”。

① 《马克思恩格斯全集》第42卷，人民出版社1972年版，第96页。

② 黑格尔：《小逻辑》，贺麟译，商务印书馆1980年版，第76页。

(1) “思维间体”作为心灵创造的内在产物，同时折射了主客观世界的本质特征，因而有助于我们借此审视自己的精神价值和客观世界的规律品相。它犹如显微镜或反射镜这类科学工具，有助于我们的感官突破生理与心理的局限性，认识无形无声、深幽繁复和变化无穷的思想世界。

(2) “镜像时空”又指什么？笔者认为，它好比一个“时空大熔炉”，主体借此将自己、他人和人类的历时空经验、共时空知识和超时空理念有选择地荟萃于其内，将生命世界、自然世界、社会世界和文化世界的形而下特征—形而中属性—形而上规律有机巧妙地融汇于其内，以感性表象、知性概象和理性意象之多层级表征体来重构与再现上述复杂内容，遂从中生成了主体的“思维间体”。前者成为我们镜观心灵的“第四时空”，后者成为我们镜观心灵之对象化精神本质的价值载体。时空是所有存在物/象得以显现的先决条件，不同的物质时空含有多元多态和多层次的实体、气体、临界体、超临界体及遥相对应的心理表征体。例如，宇宙时空就包括7%的明物质、23%左右的暗物质和70%左右的暗能量；对于精神时空来说，思维间体就涵纳了特殊的多重时空及多元形态的内容。

(3) 镜观心灵的现实维度。除了从内在的中介符号维度观照心灵，我们还可以基于现实维度体察和提升精神世界。譬如，各种自然景象、文艺景观、知识媒介、历史文化和生命形象，都可以成为我们观照心灵的物质之镜。具体来说，例如，我们素平仰观夜空所发现的群星闪烁之光阵，其实先我们而存在了千百万光年！换言之，我们当下的真实视觉所接收的天体信息，其实是很久以前的过时信息。我们的真实感觉也可能会欺骗我们的知性、歪曲对象时空的本来属性。然而，我们却意外地借助视觉整合了宇宙的过去式、生命的现在式和文化的将来式（时空），即有可能借助宇宙气象和浩瀚星空的神妙启示，来创生种种文学的、美术的、音乐的、科学的、哲学的和生活的诗意慧心美感、善意爱心道德感、敬意平心理智感和创意直觉灵感，从而在内心实现了把握与再现未来时空之主客观规律与真理的价值理想。

(4) 关系高于本质。哲学家齐美尔有言：真理昭示了关系、而不是本质，是某种协调的原则或规范。^① 真理是关于主客观规律的思想加工、符

① [德] 齐美尔：《社会是如何可能的：齐美尔社会学文选》，林荣远译，广西师范大学出版社2002年版，第182页。

号表达与精神认同方式，因而主客观世界的规律也主要体现为某种时空之事物运动的相互作用方式与特征效应，包括互动互补、增益衰减、相生相克、协同进化等范式特征与综合效果。例如，人类心智的根本奥秘，即在于多元化和多层级系统（之内和之间）的复杂的相互作用，包括物质、能量和信息层面，生物、生理、心理和意识（之结构—功能）层面，分子、基因、细胞、柱群、皮层亚功能层、皮层各区、皮层与皮层下核团、局部与泛脑神经网络及全脑系统层面，低阶、中阶与高阶（心理结构—信息—功能）层面，等等。

（5）思维间体及其镜像时空的变化之妙。基于关系高于本质的判言，笔者认为，第一，思维间体的根本意义在于其转化为物化的各种对象形式，其根本价值蕴藏于人类的多元实践活动之中。当它未获得物化的对象形式之前，仍然属于思想中介体，进而成为相对独立的第二客体—第二主体；当它获得物化的对象形式之后，则成为独立性更突出的存在性间体乃至实体性的间体。例如，各种文化产品乃至行为产物乃是思维间体的物化形式和对象化形式。第二，思维间体包括多种类型，譬如审美间体、认知间体、伦理间体、科学间体、技术间体、艺术间体、情爱间体，等等。更有意义的是，主体可以对某种间体进行二度创造，以期改变、充实、优化和重构存在性间体原先所涵纳与表征的主客体世界之双重价值特征，进而使之更加契合主体的个性化需要、更加适于主体表现自己的独特价值力量。所以说，存在性间体是孵化新的思维间体的文化母体，也是催化个性主体的内在创造性素质的有效工具。第三，主客体与间体之间可以展开互动映射，从而借助时空叠合、价值基因杂交与信息重构实现三者的互补协同和结构功能进化。例如，当主客体均为个体或群体之人类时，这种三元的相互作用就更加有趣：当某个主体对某个客体的照片、绘画、影视作品、文学作品、书法作品、音乐作品、思想理论、科学定律等进行审美的、认知的、科学的或哲学的观照时，就会引发主体内心的二度创造，并形成更为合情合理和完满美妙的思想间体；当这种思想间体转化为物化的对象形式之后，就成为能够造益主客体各方甚至更多人的文化间体。于是，客体借助这个间体而展开与主体的思想交流和价值互渗过程，主体同样借此与客体展开思想交流与价值互渗；这个间体逐步臻于完美，并折射出主客体融为一体的精神特征与价值力量；当然，主体与间体、客体与间体的互动交流和彼此映射，更是不待自言了，因为他们之间既是主客体的

关系，也是本体性的自我与镜像的关系。

(6) 借助相关的神经科学知识建构镜观心灵的认知背景，以此展开认识自我的奇妙过程。诸如围绕经验—情感—知识—想象—推理—假设—理念—人格—意识这个轴线，或基于感性—知性—理性这个坐标，来耦合相关的神经结构与功能，理解相应的心理特征与价值内容。

例如关于大脑与心理能质的遗传度和后天影响程度，即是非常有趣而尚未弄清的复杂问题。2006年，美国《科学》杂志刊登了华盛顿大学的进化生物学家辛克莱等人的重要研究成果《大脑皮层的遗传度》一文(Science, 2006, Vol. 387, No. 8325: 1429—1435)。该文指出，在人类漫长的进化过程中，其大脑的不同皮层分别获得了程度不同的生物学特性遗传度。具体而言，感觉皮层的遗传度最高、约为0.6左右；联络皮层的遗传度次之，约为0.3左右；前额叶新皮层最低，约为0.1左右。辛克莱教授领导的研究小组，经过近十年长期复杂的多学科跟踪与反溯性研究，终于在精细的分层考察和社会样本的定量基础上初步揭示了大自然所赋予人类大脑的独特精妙的遗传规律，从而使有关“先天”与“后天”、“遗传”与“环境”孰强孰弱或孰多孰少、孰主孰次等长达数百年的激烈争论终于有可能画上一道休止符了。换言之，原先人们所争论的问题的“问题”在于，人们对问题的建构存在着思维时空的均质化和目标定位的混沌化倾向，即认为大脑各皮层的遗传度都是相同的，于是环境对各皮层信息建构的影响程度也是相同的，过于简单化地主观认定了以上的错误前提；前提的谬误导致了所有推论结果的主观化错误。从中，我们可以清楚地体会到，思维方式或推理所依托的前提假设是多么重要，以致会最终决定思维的价值命运乃至主体的未来前途。

又如，关于心灵对低阶活动乃至大脑结构与功能的能动性调节问题，迄今缺乏深入精细的研究模型。史密斯(A. G. Smith)指出：“从基因、神经递质到蛋白质，从细胞、细胞群到神经网络，再到结构区域化和功能特化的意识，人类的心智经历了数十万年的复杂进化。其中，更重要的是意识内容对无意识内容的调节与修饰活动。”^① 笔者认为，人类大脑的顶级功能(意象思维)对低阶心理活动、大脑—神经网络—细胞—突触—基

^① [英] 凯恩斯·史密斯：《心智的进化》，孙岳译，中国对外翻译出版公司2000年版，第63页。

因表达谱—蛋白合成谱具有下行驱动及能动调节作用，人类对精神心理的文化建构活动能够促进大脑神经系统的特化与完善，并进一步推动大脑心理结构、知识经验和功能活动从表象世界向概象和意象世界升级。

在此需要指出，第一，创造性思维不单需要智力支撑，更需要情感体验和意向动机等非智力因素驱动，它们交融一体、有机互动，任何人为的分离式解析都是不妥当的。特别是神经生物学家巴罗（H. Barlow）把智力定义为出色的猜测，从而把有关的很多问题都包括进去了：“想象力只是在形成某些高质量的东西时才对智力有所贡献……智力也包括想象力，对未来的设想可能是猿进化到人时智力上的一个发展。”^① 第二，想象力也不尽然纯属智力，而是包括了人的情感体验和知识经验内容，以及在多元概念空间建立新关系和预定中长期战略的直觉虚拟能力。第三，意识与智力的关系。人的意识可包括自我意识、自然意识、社会意识、文化意识，还可分为情感意识（审美与伦理）、认知意识和人格行为意识等组分。所以，作为对有关时空之超越性认知与未知世界之假定性把握的核心部分，创造性是智力的本质内容，也是意识活动的核心标志。

增进我们每个人对自己的心脑王国的关爱，这是建构与强化自爱自信自尊自强意识的源头动力，也是持续改善与优化自己的超级工具的不二法门。其道理在于，知之深方能爱之切；唯有我们自觉地把心灵和大脑放在对象化的时空位置，进行真切客观的对象化镜观时，我们才能更深刻地体认自己的本体价值，进而由衷生发对自己的心脑偶像的爱意、敬重、呵护、滋养之情，并通过爱护吾之脑、吾之心灵而推及对自我的对象化、具象化和操作化的爱护。

从某种意义上说，胚胎发育乃是人类进化的全息缩影和个性化预演，个体的脑体发育与心理发展则遵循人类大脑与思维进化的一般规律。因而，本书旨在为读者提供一幅简括的思维进化图景，以便于感兴趣的人们引为参照，借此展开镜观自我的内在发现之旅。本书属于文理交叉的学术尝试，加之个体能力有限，必定存在不少偏颇、遗漏和失误，因而诚盼各界方家读者贡献批评与导正意见，以期互动互补、相得益彰、协同进取。愿我们的这个美好理念通过心灵窗户，抵达读者朋友的大脑心扉，触动您

① [英] 凯恩斯·史密斯著：《心智的进化》，孙岳译，中国对外翻译出版公司 2000 年版，第 79 页。

的心弦，使其奏响轻盈美妙的“心身之歌”，让心灵银翼在歌声激励下飞向创造的“天堂”，共同创造美好的内在世界与外在世界，进而领略那“无限风光在险峰”的诗意胜境吧……

谢谢！

第一单元

心脑关系论

第一节 千古难题：心灵与大脑之神秘关系

几千年来，哲学家、心理学家和生物学家等，对人的心灵或意识之来源、发生机制等奥妙，进行了长期的艰巨复杂的探求，迄今尚未寻到满意的答案。主要困难之一，在于人的意识之表现形式（心理/精神水平上）——如表象、意念、情绪、动机等，均无法获得实证性检验，有关的研究至今仍然带有较强的主观性、经验性、内省性和抽象性等人文色彩。

一 心理现象同大脑生理过程有什么联系？

当代著名神经科学和认知科学家 R. L. 格莱高里 (R. L. Gligory) 指出：“我们推论，脑与意识之间有种密切的联系。……有关意识的一件麻烦事是，它无法（或现在还未曾）从脑里分离出来，在不同的前后渊源中加以研究。所以，经典的科学研究方法对于研究脑与精神之间的关系，不是十分有用的。但这不是说人们对此一无所知，在脑的功能、结构与意识之间，确已建立了许多联系，然而我们尚不知道有关的联系原理。一般说，原因和因果方向不是由相互关系给出的，而是由适当的理论模型给出的。……尽管相互关系是明确的，但仍然很难判定因果的方向。理论（或范例）的变化，可以不改变资料而改变因果关系的方向。”^① 在此，格莱高里从哲学的认识论逻辑和方法论原理上分析了意识与脑的关系命题。

（1）物质科学主要是从它们所描述的宇宙中摒弃了意识和理智而取得成功的。不依靠有意识的理性实体来解释自然因果，不把神明作为自然界

^① 转引自钱家渝《视觉心理学》，学林出版社 2006 年版，第 12 页。

的动因（如天体运行和物种进化），这是对预成论问题的创造性理智解答。如果脑是通过自然选择而发展出来的，我们可以认为意识具有生存价值。就这种情况而言，它一定有因果效应。可是，知觉或意识会有些什么效应呢？

（2）精神意识可以发挥超前能动的创造性作用，即通过它的有目的之超前设计和定向的身心行为努力，来加速和定向地优化本身的信息容量、思维和操作能力、神经细胞的优化连结和高效活动。大脑的信号是动作电位的电脉冲系列，传递速度接近音速，频率变动很大（从每周期 20 毫秒到 200 毫秒）。所有到达脑的感觉信号用的是同一种密码。由外周神经排放神经电脉冲，以及由弱电流实验刺激脑内结构，均可产生某引起感觉。但是，人为地刺激脑则无法诱发出痛觉或有意义的系列化精神体验。

格莱高里味深长地发问：“既然运动控制和感觉刺激均取决于来自神经纤维的信号，那么我们为什么还需要意识这种东西呢？意识对脑有因果作用吗？意识足以成为一事物（或一种力，一种随便什么东西）而作为一种动因吗？如果不是，那么意识有什么用处呢？什么是意识具有的而神经信号（以及物质性能活动）所不具有的？……可以说，‘内在的’意识世界是根本不同于物质世界的，但是神经系统的物理信号又是如此重要。”^①显然，上面的问题有相悖之处：如果意识没有用处，它就不会被进化为人脑的一种动因。意识不但客观地反映现实，还可根据其内在信息而补充/添加修改、虚拟和预示外部时空情境（过去、现在、未来；自我、他人、自然等体系）。意识的超前指示性功能或预示性的意识活动是超前发生的，相应的行为显然遵循世界的一种内部刺激模式，使得预示提前于脑对外部世界所发生事件的模拟（描绘或假设）。

（3）在此基础上，格莱高里进一步推论：“知觉实在（意识）可能是脑用来模拟世界的一种特性，而我们则按照它采取预先行动。在通过我们的内部模拟而感知世界时，为什么我们只意识到现在，而又按照未来的预示而行动？……这里，我们遇到了同一悖理：意识有没有因果效应。如果它没有因果效应，就没有理由否认机器会拥有极其复杂的知觉。如果意识具有发挥原因的作用，则需要赋予机器以意识。倘若如此，机器要拥有意识时，它应该复制人脑的哪些结构或功能特性？……总之，凭借其相

① 转引自钱家渝《视觉心理学》，学林出版社 2006 年版，第 98 页。

互关系永远不足以建立因果关系。我们需要提出一种得以统一相互关系和识别因果关系的理论，但迄今我们尚没有这种理论。”^① 心理学上的很多感觉状态（例如羞怯、骄傲、爱情、创思、想象、回忆、反省等），很难用明确的生理状态来描述指征。生理学如何同心理学相联系？能否撇开生理变化来影响或控制意识？从哲学上看，心理学能在多大程度上还原为生理学过程？

（4）目前最先进的第六代计算机，如神经网络计算机，量子计算机，光子计算机，基因计算机等，其单元量级、处理自然语言的能力和自动修正更新的水平远逊于人脑，更不用说具有情感、意识、想象力或创造力了。所以，笔者认为，首先借鉴人工智能和神经网络技术来模拟认识人脑是很有必要的，但是不应将模拟、计算方法视为主要的方法，因为它不能代替我们对人脑本身的研究与实证。其次，以分子生物学为新方法的脑微观研究及动物脑研究，不应视为唯一的、高层次的工作。如果不建立相应的中介原理来沟通现有的微观成果与宏观现象，则无论有关大脑的微观研究及动物研究多么精深至周，也无助于理解人脑与意识的本质关系。

二 脑与精神的关系

论及大脑的复杂深奥性，1991年诺贝尔医学生理学奖得主之一巴特·萨克曼（B. Saxman）指出：“我们什么时候能了解大脑是如何工作的呢？例如，人脑的学习机理远远超出了我们的研究能力。因为大脑的高级功能实在太复杂，我们甚至不知道应该去观测什么信号。通过什么样的证据才能知道某个突触变得更强壮？突触的强化是不是记忆和学习的基础？我的答案是否定的，仅仅靠突触尚不足以完成如此重任。学习和记忆过程几乎涉及所有细胞及其彼此之间联系的变化——这是一种我们很难理解的变化。”^②

突触活动的频率是大约每秒钟1千多次，1毫秒就能产生一个动作电位或者说一个信号；一个突触大约有一千万个受体；一个细胞可以接收几千到上万个突触（传导的信息）。因而，一个神经元能够同时处理数百亿

^① 转引自钱家渝《视觉心理学》，学林出版社2006年版，第105页。

^② 转引自〔美〕托马斯·A. 巴斯《再创未来——世界杰出科学家访谈录》，李尧、张志峰译，三联书店1997年版，第34页。