



哲学研究论丛  
ZHEXUE YANJIU LUNCONG

# 冯·诺伊曼的计算机科学哲学

Von Neumann's Philosophy of Computer Science

潘沁◎著



中央编译出版社  
Central Compilation & Translation Press

013027679

TP3-02

02

桂林电子科技大学



# 冯·诺伊曼的计算机科学哲学

Von Neumann's Philosophy of Computer Science

潘沁◎著



北航

C1637298



中央编译出版社

Central Compilation & Translation Press

TP3-02  
02

图书在版编目(CIP)数据

冯·诺伊曼的计算机科学哲学 / 潘沁著. — 北京:  
中央编译出版社, 2013. 2  
ISBN 978-7-5117-1566-1

I. ①冯… II. ①潘… III. ①计算机科学-科学哲学  
-哲学思想-研究 IV. ①TP3-02

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第001053号

冯·诺伊曼的计算机科学哲学

---

出版人: 刘明清

出版统筹: 谭洁

著者: 潘沁

责任编辑: 曲建文

责任印制: 尹珺

出版发行: 中央编译出版社

地址: 北京市西城区车公庄大街乙5号鸿儒大厦B座 邮编: 100044

电话: (010) 52612345 (总编室) (010) 52612363 (编辑室)  
(010) 66161011 (团购部) (010) 52612332 (网络销售)  
(010) 66130345 (发行部) (010) 66509618 (读者服务部)

网址: [www.cctpbook.com](http://www.cctpbook.com)

经销: 全国新华书店

印刷: 北京振兴源印务有限公司

开本: 710毫米×1000毫米 1/16

字数: 158千字

印张: 12.75

版次: 2013年2月第1版第1次印刷

定价: 34.00元

---

本社常年法律顾问: 北京市吴栾赵阎律师事务所律师 闫军 梁勤

凡有印装质量问题, 本社负责调换。电话: (010) 66509618

## 序 言

潘沁的专著《冯·诺伊曼的计算机科学哲学》选题十分有价值，这是她的博士论文的精心修订版。该专著的出版，对潘沁个人的学术生涯而言无疑是一件值得庆贺的事。当今是计算机科学飞速发展的信息时代，计算机“智能”之谜无论对科学家还是普通老百姓都同样具有吸引力。因此，对计算机科学进行一种科学哲学的方法论的反思，是一个兼有理论价值和实践意义的课题。加之，冯·诺伊曼是一个极具代表性的人物，他是计算机科学的主要奠基者之一，他的论著中所包藏的极为丰富的科学哲学思想是有待挖掘的。这样看来，这是一个非常值得做的一个课题。

首先，我想说的是，潘沁在桂林电子科技大学任教（2003年起），她的科研（计算机科学哲学研究）是与工作环境或学术背景相协调的，这一点十分重要。教学能否与科研相结合，是对于事业上的发展是否有利的一种重要参数。有的人的科研工作与他所从事的日常工作毫不相干，甚至相互矛盾（至少在时间分配上相互妨碍），这样就会在无形

中给自己的发展道路上设置不必要的障碍和阻力。教学若能与科研相结合，自然就能获得更多的资源和支持，获得更多的发展机会。这样看来，潘沁选择研究“计算机科学哲学”应当看作是一种聪明的抉择。2003年，我参加过桂林电子工业学院（现名桂林电子科技大学）所发起的“全国计算机科学方法论研讨会”（有200人的规模，参会者大都从事计算机学科的教学工作）。“桂林山水甲天下”，风水好，转换成现代科学语言说，就是“人文地理环境好”。难怪政治家陈毅“不愿当神仙，愿做桂林人”。真没想到，这么多的计算机科学工作者能在桂林欢聚一堂，讨论教学经验，讨论科学方法论。给我印象最深的是两位学者：首先是东道主董荣胜教授，他的专著《计算机科学与技术方法论》（2002，两人合著），内容深入浅出，拥有广大的读者群体。会上有两位发言人强调董老师的书给她们很大启发，对教学工作帮助极大。后来又有专著《计算机科学导论——思想与方法》（2007）。给我深刻印象的第二个学者是厦门大学计算机系的赵致琢教授。我多年从事科学哲学专业研究，对库恩的科学革命、范式（又译范型），对拉卡托斯的科学研究纲领当然了若指掌。然而，这次在这个计算机科学的学术共同体中，我惊奇地发现，赵致琢教授对于计算机科学的标准化、“范型”的确立以及基本“研究纲领”（硬核）在逻辑结构上的精细化，都作出了重大的贡献。在他的大会发言中以及专著《计算科学导论》（科学出版社2003年第二版）的“计算科学的学科形态与核心概念”小节中断言，每一个学科都要有知识组织结构、学科形态与核心概念和基本工作流程。按照他的概括，计算科学的基本特征是研究内容的构造性数学特征。其学科形态一是理论（定义、定理、证明、解释）；二是抽象和模型化，广泛采用实验物理学方法；三是设计，广泛采用工程科学方法等等。他非常细致地筛选出了计算学科的核心概念，

并且认为这是其重要思想/原则/方法/技术过程的集中体现；还专节分析了计算学科的典型方法与典型实例。也许可以说，在计算机科学家中他是独一无二的，这是把科学哲学和科学逻辑方法论的理念应用到家了。我意外地体会到了，在桂林居然存在着计算机科学的方法论研究的特殊氛围！Admire！

接着我要说的是，如果把《冯·诺伊曼的计算机科学哲学》这部专著的产生，放到潘沁的学术成长道路或培养背景中来看，那么就会觉得这是一件顺理成章的事，这也很有意思。潘沁原学英语，硕士生阶段在华中师范大学张大松教授门下攻读逻辑，博士生阶段在南开大学任晓明教授门下攻读科学哲学。这两个“科学共同体”的学术氛围都是极有特色的，两位导师先后对潘沁学术思想的形成产生了积极的影响。

先说说张大松教授所带领的逻辑团队。由于武汉大学与华中师范大学是近邻，因此我有机会经常参与他在华中师范大学所带领的逻辑研究生团队的活动。从整个国内学术界（特别是从科学哲学与逻辑的交叉领域）看，张大松属于“科学逻辑”学术圈（由武汉大学张巨青教授所发起）第二代中的一个佼佼者。我认为，在武汉他的团队在继承发扬这个研究传统方面是做得最好的。通过张大松的论著我意识到，他的基本功在于科学逻辑、科学哲学、归纳逻辑的交叉点上，当然他最熟悉的是“科学确证的逻辑与方法论”。以此为出发点，他的研究从科学逻辑向法律逻辑、法学方法论方向进行延伸。他所主编的《法律逻辑学教程》（2003）就很有影响。我注意到，他在基本的方法论立场上是采取科学逻辑的新范式的，可是回想当年（在1980年代）人们想摆脱普通逻辑旧范式的思想束缚却有多困难呵！在人才培养方面，张大松关注逻辑的社会功能和实际应用，注重理论联系实际，为学生设

计逻辑硕士论文的可能选题时，充分考虑学生原来的专业背景、特长与逻辑的结合，例如鼓励他的在本科阶段学法律的学生，研究法律逻辑和法学方法论，并且在毕业之后争取去当一名好律师；又如建议在本科阶段学计算机的，去做计算机方法论或人工智能逻辑等选题，毕业后比如到深圳什么公司去任职，仍然可以在电脑技能方面发挥特长，而逻辑训练则潜在地发挥作用等等。他的这种人才设计理念在实践上已经有了成功的先例。在我记忆中，其中有计算机专业背景的两个女学生，所写的有关人工智能方面或归纳决策方面的逻辑硕士论文，思路清晰，简明扼要，相当不错。在我印象中潘沁的硕士论文是研究卡尔纳普思想的。以上说的是，潘沁就是在这样一种氛围中完成她的硕士生阶段的学业的，换句话说，这是她成长的背景之一。

接着要说任晓明教授所带领的逻辑兼科学哲学团队。扩大一点说，这里有必要简单回顾一下潘沁所在的南开大学逻辑学博士团队研究的整体氛围。南开大学逻辑博士点，以温公颐老先生所开创的中国逻辑史传统为特色，因而在这方面人才比较集中，这是主线。近十年来，通过引进人才，输入新鲜血液，于是在学术生态上开始呈现出“生物多样性”。例如李娜教授的专长就在于集合论，而任晓明教授的专长则在于现代归纳逻辑（与此相关，我知道，他对“逻辑机器哲学”表现出强烈的兴趣），以及逻辑哲学与科学哲学、英美分析哲学的交叉。李娜和任晓明的博士团队，都是南开团队的“真子集”。

那么，任晓明教授所带领的逻辑博士生团队的局部氛围又如何？有何特色？我认为，从某种意义上说，“逻辑哲学”思想（由苏珊·哈克所倡导）在这个团队中起到了凝聚核的作用，它成为解开五花八门的“非经典逻辑”为何产生又如何建构之谜的金钥匙，也为各种博士论文选题打开了宽广的可能空间。我知道，在多种“非经典逻辑”

之中，任晓明最先接触到并且特别关注的是有关计算机的逻辑和方法论，尤其是计算机逻辑学家勃克斯（W. Burks）的思想，包括因果模态逻辑、元胞自动机和逻辑机器哲学。

我与任晓明可以说是相当熟悉的老朋友了。1988—1990年间，他在武汉大学哲学系现代西方哲学博士点，在江天骥教授门下攻读博士学位，而我当时是副教授，江先生的助手，算是博士指导小组成员之一。江先生的学术思想具有强大的辐射力，对周围的每一个学者都产生了长远而深刻的影响。江先生所带领的团队，具有鲜明的英美分析哲学风格，当年研究关注的焦点集中于科学哲学、归纳逻辑以及语言哲学。江天骥先生主编的《科学哲学名著选读》（1988），其实就是国际上现代归纳逻辑大师们的经典文献的译文选，可见其间关系之密切。当年我、任晓明、朱志方一起参加了由王雨田教授主持的863课题“归纳逻辑与人工智能”，因此我们经常在一起讨论相关问题。任晓明与计算机逻辑学家勃克斯（W. Burks）保持密切的通讯联系，并且初步确定以《勃克斯的因果模态逻辑研究》作为博士论文选题，因此勃克斯经常寄资料给我们课题组。例如，勃克斯寄来的《Robert and Free Minds》，这是介绍他的计算机科学哲学思想（即逻辑机器哲学）的系列演讲集，我们的中译本取名为《机器人与人类心智》（1993）。还有关于分子自动机的一些资料。我记得一件最奇怪的事是：勃克斯寄给任晓明（也就是寄给我们课题组）4本《因果、机遇与推理》，这是700页厚的英文原版书。当我赶到收发室，莫名其妙的是，10分钟前某人以任晓明师弟的名义冒领走了，再也没有还给我们，甚至一本也不留，从而成为至今不解之谜！于是，不得不到北京图书馆去复印。那本书成为我们的《机遇与冒险的逻辑——归纳逻辑与科学决策》（1996）一书的重要资料来源之一，特别是关于概率归纳逻辑的公理体系。



对于任晓明的博士论文的前期准备工作而言，有关勃克斯的归纳逻辑与逻辑机器哲学思想，资料准备已经差不多了，然而情况发生了突然的变化。变化在于：江天骥先生在经由广州参加1988年香港分析哲学会议之后，他老人家作为我国现代归纳逻辑研究的领军人物，忽然敏锐地认识到科恩（J. Cohen）的非帕斯卡概率逻辑的前沿性和重要性，而武汉大学团队绝不能落在人家后面，必须迎头赶上。因此江先生果断地作出决定，让任晓明暂停研究W. Burks的归纳逻辑，立即更换题目，改为研究（J. Cohen）的归纳逻辑。对任晓明来说，当时颇有措手不及之感，这样一来，勃克斯的逻辑思想和计算机科学哲学思想研究也就成为他的一个未了的心愿。我想，后来任晓明和我合著《生物目的性自动机》（中国科学技术出版社1994年出清样），正式版为《计算机科学哲学研究》（人民出版社2010年版），可以看作一种了却心愿之作。可以推测，任晓明建议潘沁做《冯·诺伊曼计算机科学哲学思想研究》这个选题，就是希望他的弟子能把这种研究进一步深入进行下去。

一般计算机科学家当然不会采取科学哲学家的风格写论文，例如，博登所编辑的名为《人工智能哲学》一书，只是人工智能研究开拓者的经典文献选编，这些“发明家”只告诉你，他发明、创造了什么，但并不告诉你怎样进行发明、创造。同样道理，对冯·诺伊曼的自动机理论之中的科学哲学思想进行挖掘，是需要费尽心机并且工作量极为浩大的一项任务，再说冯·诺伊曼的大部分论著还没有现成的中译本。

现在回到放在读者面前的《冯·诺伊曼的计算机科学哲学》这本书来说事。作者潘沁，下苦功夫详细阅读了大量英文原始文献，较好地把握了国内外研究动态，对计算机逻辑思想的来龙去脉作了清晰的梳理，在正确把握冯·诺伊曼自动机理论的基本内涵的基础上，从中

提炼出科学哲学思想。主要概括为：一是以“毕达哥拉斯主义思想”（宇宙的奥秘在于数学规律之中）为导向，构想自动机的理论模型，并且与后世的“计算主义思想”（宇宙=一台巨型计算机）接轨；二是贯彻亚里士多德“程序目的性”（由生物学哲学家迈尔提炼概括出来，并且认定为亚里士多德“目的论”中最精彩的成分）和维纳控制论的“现代目的论”思想于逻辑机器之中。从科学哲学视角看，冯·诺伊曼自动机理论被看作毕达哥拉斯主义传统与目的论传统有机结合的产物。这是对冯·诺伊曼思想非常有特色性、非常有新意的概括。

记得，勃克斯在《机器人与人类心智》演讲集的第三讲“计算机与形上学”中特别提到，毕达哥拉斯的“万物皆数”是一个形上学原理，指的是每一事物都有它自身的数，每一个人、每一台计算机都有自身的“毕达哥拉斯数”。这是把毕达哥拉斯主义的理念贯彻到计算机科学中去，真是有趣非凡！另一方面，现代生物学家德尔布吕克与迈尔高度重视亚里士多德的“程序目的性”思想，并分析它与遗传程序的关联性。迈尔把“程序目的性”界定为“按照某种程序和信息密码而运行的动态过程”，而亚里士多德则采用“形式因”/“目的因”的特殊方式从哲学角度表述了它。在我和任晓明看来，亚里士多德的“程序目的性”思想，既包含着“目的论”的要素，又包含着“程序或算法”的要素，它预示着“目的论”与计算主义或毕达哥拉斯主义整合的潜在可能性。在潘沁的书中对此又进一步作延伸，分析它对计算机科学的哲学启示。维纳关于“一切目的性行为都是需要负反馈的行为”的论断，体现着“现代目的论”思想之精华。冯·诺伊曼的元胞自动机则被看作“现代目的论”思想的算法实现。该书还较系统地探讨了冯·诺伊曼理论对复杂性研究的贡献，而复杂性理论则是系统科学学科群中较晚才兴起的部分，20-21世纪之交才成为热门的话题，

可见冯·诺伊曼的先见之明。

尽管本书所讨论的是计算机科学哲学的深奥的哲理，却是用一种优美流畅的文字和深入浅出的笔法来表述的，因此可读性很强。它适合于关心计算机科学、自然辩证法、科学哲学、逻辑与科学方法论的研究者，乃至一切对此有兴趣的广大读者。希望读者诸君都会喜欢它！

桂起权

2012年1月5日 序于珞珈山

## 前 言

冯·诺伊曼是计算机科学哲学的主要奠基人之一。为了实现莱布尼茨把人的理性还原为计算的梦想，冯·诺伊曼在图灵通用计算机的数学模型基础上，提出了一种理论计算机模型，即以生物系统为参照系的自动机理论。

冯·诺伊曼的自动机理论具有毕达哥拉斯主义和柏拉图主义渊源，是毕达哥拉斯主义数学自然观的产物。冯·诺伊曼开始对自动机理论的研究始于他对电子计算机的研究，早期的计算机的逻辑设计是他的自动机理论的第一步，后来又进一步提出了自动机的理论总体构想与模型，并对自动机的逻辑理论做了探讨。冯·诺伊曼的自动机理论是数学的、逻辑的理论。他常常把他的自动机理论说成是“自动机的逻辑理论”，而不只是谈“自动机理论”。他的理论体现了毕达哥拉斯主义的数学助发现原则、逻辑简单性、抽象性原则以及对数学精神的执著追求。

冯·诺伊曼自动机理论是生物目的性自动机理论中最有代表性的理论之一。现代目的论哲学——控制论和系统论的建立，对冯·诺伊曼的自动机理论产生了深刻影响。目的性概念通过系统与环境的反馈相互作用机制得到科学说明，并对技术系统与生命系统普遍适用，这为生物目的性自动机理论诞生奠定了科学的基础。冯·诺伊曼在对生物信息过程的探究中，通过对自然自动机与人工自动机相似性与差异性的比较研究，把生物目的性实现的机制应用于人工自动机。“冯·诺伊曼计算机”，一个为储存信息与控制系统特别设计的机器，是控制程序模拟人的目的性行为最有力的表现形式。冯·诺伊曼自增殖自动机理论提出并解决了“什么样的逻辑组织足以使一个自动机控制自己并自增殖”的问题，他构建的动力自动机系统体现了亚里士多德“程序目的论”思想，他发展的元胞系统是现代目的论思想算法的实现。

冯·诺伊曼的计算机理论是毕达哥拉斯主义和亚里士多德以来的目的论传统的有机结合，是数学、逻辑与生物学的有机结合。

冯·诺伊曼的自动机理论贯穿着对“复杂性”问题的研究。他对复杂自动机，尤其是人的神经系统，未来的巨型计算机系统十分感兴趣。他想要建立复杂系统的逻辑组织理论，并相信这样的理论是建造大型计算机的最本质的前提。冯·诺伊曼关注的自动机的两个问题，可靠性和自增殖都与复杂性有关。他比较了自然自动机与人工自动机的可靠性和复杂性，并把复杂性与热力学、信息论进行类比。他提出了度量复杂性的——“逻辑深度”概念，倡导了复杂性分析法——数值方法，并用“自下而上”的方法构建了元胞自动机。元胞自动机是简单规则导致复杂性“涌现”的范例。

冯·诺伊曼自动机理论对后世影响深远，其计算机理论催生了当

代计算主义形成与发展，为研究复杂性提供了技术手段。而元胞自动机，从计算的角度理解生命，它成为了当代计算主义的根隐喻，并为复杂系统动力学提供了研究案例，为人工生命研究提供了建构方法，为人工生命研究提供了研究路径。

# C 目 录

CONTENTS

第一章 计算机逻辑思想源流 .....	1
第一节 莱布尼茨：伟大的梦想 .....	3
第二节 从乔治·布尔到弗雷格 .....	6
一、乔治·布尔：把逻辑变成数学 .....	6
二、弗雷格：创建一种计算机程序语言 .....	9
第三节 从库尔特·哥德尔到阿兰·图灵 .....	11
一、哥德尔：计算机程序设计师 .....	11
二、阿兰·图灵：计算机逻辑理论的奠基人 .....	13
第四节 冯·诺伊曼：莱布尼茨梦想的实现者 .....	17
一、冯·诺伊曼其人 .....	17
二、冯·诺伊曼与“冯·诺伊曼型机” .....	21
三、自动机：理论计算机模型 .....	26

第二章 冯·诺伊曼自动机理论中的毕达哥拉斯主义倾向 .....	29
第一节 毕达哥拉斯主义的特点及其影响 .....	31
第二节 “冯·诺伊曼机”结构中体现的数学启发原则 .....	37
第三节 冯·诺伊曼自动机模型中体现的抽象性原则 .....	44
第四节 冯·诺伊曼对自动机数学理论的追求 .....	51
第三章 冯·诺伊曼自动机理论中隐含的生物目的论思想 .....	59
第一节 目的论思想的源流 .....	61
一、亚里士多德的目的论思想 .....	62
二、神学目的论与活力论 .....	64
三、近代目的论 .....	65
四、现代目的论 .....	70
第二节 冯·诺伊曼与目的论思想应用研究 .....	75
一、对生物信息过程的探究 .....	76
二、自然自动机与人工自动机之比较 .....	81
三、冯·诺伊曼计算机：现代目的论的机器实现 .....	86
第三节 自增殖自动机：目的论的算法实现 .....	89
第四章 冯·诺伊曼自动机理论中的复杂性问题 .....	97
第一节 冯·诺伊曼对复杂性问题的关注与论述 .....	99
一、复杂性问题概述 .....	100
二、自动机的可靠性与复杂性 .....	106
三、复杂性与信息论、热力学 .....	110
第二节 简单规则导致复杂行为的自增殖自动机：元胞自动机 .....	112



一、对空间、时间关系的形式化 .....	113
二、元胞的各种“态”与转换规则 .....	116
第三节 冯·诺伊曼自动机理论对复杂性问题的贡献 .....	130
一、逻辑深度 .....	130
二、复杂性分析法——数值方法 .....	132
三、自下而上的建构方法 .....	135
四、复杂性的涌现 .....	137
<b>第五章 冯·诺伊曼自动机理论之意义与影响 .....</b>	<b>141</b>
第一节 冯·诺伊曼自动机理论对计算主义的影响 .....	143
一、计算主义思想的理论渊源与发展 .....	143
二、元胞自动机成为当代计算主义的根隐喻 .....	147
第二节 冯·诺伊曼计算机理论对研究复杂系统的方法论 意义 .....	152
一、为复杂性研究提供了技术手段 .....	152
二、为复杂性研究提供了方法——数值方法 .....	155
三、为复杂系统动力学提供了研究案例 .....	157
第三节 冯·诺伊曼自增殖自动机理论对人工生命研究的 意义 .....	164
一、从计算的角度理解生命 .....	164
二、为人工生命研究提供了建构方法 .....	167
三、为人工生命研究提供了研究路径 .....	169
<b>结    语 .....</b>	<b>174</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>176</b>
<b>后    记 .....</b>	<b>184</b>