



科学与人文 前沿论丛  
李建会 主编

# 走向计算主义

数字时代人工创造生命的哲学



李建会 著

中国书籍出版社

教育部人文社会科学研究“十五”规划项目

# 走向计算主义

数字时代人工创造生命的哲学



科学与人文前沿论丛  
李建会 主编

李建会 著

中国书籍出版社

**图书在版编目 (CIP) 数据**

走向计算主义：数字时代人工创造生命的哲学/李建会著. —北京：中国书籍出版社，2004.1

ISBN 7 - 5068 - 1175 - 8

I. 走... II. 李... III. ①计算技术 - 应用 - 生物学 - 理论研究 ②科学哲学 - 研究 IV. ①Q - 332 ②N02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 123134 号

责任编辑 / 张 瑞

责任印制 / 王大军 武雅彬

封面设计 / 智道设计工作室/黄俊杰

出版发行 / 中国书籍出版社

地 址 / 北京市丰台区太平桥西里 38 号 (邮编：100073)

电 话 / (010) 63455164 (总编室) (010) 63454858 (发行部)

经 销 / 全国新华书店

印 刷 / 北京神剑印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16 16 印张 220 千字

版 次 / 2004 年 1 月第 1 版 2004 年 1 月第 1 次印刷

印 数 / 0001 - 3000 册

定 价 / 28.00 元 (册)

版权所有 翻印必究



# 科学与人文前沿论丛 编委会

主 编 李建会

副主编 杨艳萍 周雁翎

## 编委会成员

(按姓名汉语拼音排序)

董春雨 李和平 李建会

刘 立 彭万华 尚智丛

孙雍君 王 阳 杨艳萍

袁海军 张增一 周雁翎

## 《科学与人文前沿论丛》总序

我们进入新的世纪已整整 4 年！4 年的时间虽然不长，但在科学文化领域，我们感到人们的思想和上个世纪相比已经有了非常明显的不同。上个世纪，我国的科学文化争论，占主导地位的是科学：不论是世纪初的“科玄论战”，还是世纪末的“科学与伪科学或反科学的论战”，都是科学占着上风。然而，进入新的世纪，情况有了明显的变化。我们看到，不仅有一批著名的科学文化学者从“科学主义的缺省配置”升级到“人文主义的高级配置”，要“让科学回归人文”，而且有一批自然科学家从科学走向人文，提出“科学人文本同根”，“科学人文，和而不同”，要让“科技以人为本”。

发生这样的转变，原因是多方面的。有科学的原因，也有人类思想自身发展的原因。

与上个世纪一样，新的世纪也是一个科学技术突飞猛进的世纪。但与上个世纪不同，新世纪科学的很多重大突破都与生命密切相关。我们已经看到，人类基因组全序列的测定，干细胞克隆技术的发展等，都是关于生命的。因此，新世纪科学技术的重大发现会引起人们更加广泛的关注。人们不仅希望了解新技术对于我们自身以及社会的积极价值，也希望了解它们对于我们自身和社会的负面价值。人类基因组序列的测定，毫无疑问，具有重大的理论意义，也能给我们带来很多好处，但它也引起了人们对诸如基因隐私权的丧失、基因歧视的担心等。克隆技术毫无疑问有重大的科学意义，也能给我们带来很多好处，但它也引起人们对克隆人类本身的恐惧。新世纪这种对科学潜在后果的担心和恐惧，使人们开始更多地讨论科学的人文价值导向问题。

20 世纪末，西方科学知识社会学和后现代主义思潮被介绍到中国。开始很多学者可能是以一种批判的眼光学习和介绍这些思想的，但随着对这些思想的理论背景和理论的逻辑根据的了解，一些学者开始发生思想的“格式塔转换”，由原来“默认的思想配置”骤然升级到了新的后现代的配置。

20 世纪，虽然在科学与“玄学”的争论中，科学占上风，但仍有相当的学者坚持“玄学”。今天在科学与人文的争论中，虽然人文主义很强大，但也有很多学者坚持科学的优势地位或科学主义。科学主义和人文主义的激烈争论成为新世纪学术争论的一个热点。这个热点不仅表现在有众多学者的参与，而且表现在一些专门研究机构的建立和学术刊物及学术著作的出版上。2002 年 9 月，中国科学院研究生院成立了人文学院；2002 年下半年，中国科学院自然科学史研究所成立了科学文化小组；2003 年秋天，上海交通大学成立了科学史与科学传播研究中心；2003 年 9 月，北京师范大学成立了“科学与人文研究中心”。一本专门讨论科学文化的期刊将于 2004 年 1 月在中国科学院自然科学史研究所创刊，一批以“科学与人文”为主题的丛书也在出版。这套“科学与人文前沿论丛”就是在这样的背景下由中国书籍出版社负责人刘伟见先生组织策划的。

在北京师范大学科学与人文研究中心成立大会上，有学者严肃地指出，科学与人文研究不要仅仅停留在空泛的议论上，要以问题为导向，要做实实在在的案例研究。本丛书的编辑将以此为指导思想。我们推出的论丛每一本都将是对科学前沿与人文前沿交叉的一些实实在在的问题的研究结果。在我们的有的书中可能不出现一个“科学与人文”的字眼，但读过这些书的读者将会深深地感受到这些著作的科学和人文的意义和价值。

李建会

2003 年 12 月

## 序 言

我认识建会是在 10 多年前。那时，他还在北京师范大学攻读硕士学位，到武汉访学时，访问了我。他对生命科学哲学前沿问题的了解给我留下了较深的印象。以后虽多年未曾见面，但不断看到有他的论文发表，知道他很勤奋。我到北京后，与建会见过几次面，讨论过科学前沿中的一些哲学问题。后来知道他去了美国，继续进行生命科学哲学研究。建会从美国学习归来，报考了我的博士研究生。在北京大学攻读博士学位期间，在学术研究方面，他又做了不少工作。

在确定他的博士论文题目的时候，我根据对他的了解，建议他研究人们在计算机上创造的人工生命现象，从哲学上总结一下计算主义的生命观，并分别将这二者与以有机物为载体的生命现象，以及相应的传统生命观进行一下比较。这个题目很新，尚未见有人系统地做过。当然，这个题目难度较大，工作量也很大，是一个比较刺激和富于挑战性的题目。其实，他以前也注意到了这方面的情况，也知道我告诉他的一些基本文献，只是没有重视而已。他接受了我的建议，决定做这个题目。我不熟悉生物学，也不熟悉计算机方面的进展，只能随着他的论文的进展跟着他学习一点点，同时也和他讨论研究的思路和角度方面的问题。他在掌握了基本的文献之后，曾经多次请教国内的计算机专家，后来去美国又与人工生命专家和生物学哲学专家们讨论论文撰写中涉及到

的问题。论文完成后我觉得做得还可以。我因为不喜欢参加自己指导的学生的论文答辩，所以不了解他答辩的具体情况。但是，后来知道，专家们对他的论文的评阅意见不错，答辩委员会对他的陈述和答辩也比较满意。建会以他的博士论文为基础，经过进一步修改，写成了这样一部著作，是很有基础的。这项工作密切联系了生物学、计算机科学和哲学三者发展的前沿，有案例研究，有对不同哲学观点的分析，也做了相应的方法论概括，提出了自己的一些观点，是一项有时代感的工作。

1980年代，我国科学哲学界出现了历史上前所未见的评介国际性学术思潮、人物和流派的浪潮，很多学科受益。这导致了大量系统的评介工作。从那个时候到现在，用中文发表的有些学术内容的文章，多数还是这方面的。这方面的工作很有意义，需要有人做下去。但是，20多年后，我们的工作还可以有些新的路数。比如，我们也需要通过对一些优秀的工作的了解，在把握了国际学术规范的情况下，逐步加入国际学术共同体，进行一些深入细致的原创性研究，并且在国际学术刊物上发表论文。建会已经注意到这个问题，他和洪帆博士合写的一篇文章已经在国际学术刊物上发表。这是一个很好的开端。我期待着建会在本书中开始的对于人工生命的系统的哲学研究，能够引起本书读者的关注，有更多的人投入到科学前沿的哲学问题的研究中来。我也期待着建会以此书为起点，在生命科学哲学研究方面，进一步围绕一些更加具体的问题，再深入地做些工作，不断有新的工作成果发表在国际性学术刊物上。

**任定成**

2003年12月27日

于北京大学承泽园迪吉轩

## 摘 要

20 世纪的计算革命导致了自伽利略以来又一场新的方法论革命：计算机仿真实验革命。这场方法论革命的产物之一是计算机和生物学交叉的前沿学科——人工生命的诞生。人工生命一方面以计算机为工具，力图在计算机或现实世界中创造出具有生命特征的人工实体；另一方面，它又从计算的视角理解生命，把生命的本质看作是一种特殊的形式规定或算法。本书在考察人工生命思想的兴起过程、理论根据、构建方法以及最新进展的基础上，系统地探讨这种新生命观的主要内容，并从这些内容出发，进一步概括出一种新的计算主义世界观。

第一章导论部分讨论了人工生命提出的哲学问题、研究这些问题的价值以及国内外关于人工生命的哲学，特别是人工生命的新生命观研究的历史、现状，指出了以往研究的成就和不足。

第二章论述了人工生命思想的产生和发展过程。人工生命的思想可以追踪到冯·诺伊曼 (John von Neumann)。冯·诺伊曼证明，如果自我繁殖是生命的本质，那么机器完全可以做到这一点。冯·诺伊曼之后，康韦 (John Conway) 证明细胞自动机与图灵机等价；沃弗拉姆 (Stephen Wolfram) 发现有四种类型的细胞自动机；兰顿认识到，细胞自动机的规则空间与相变和计算密切相关：那些处于“混沌边缘”的细胞自动机可以支持复杂的计算。在此基础上，兰顿 (C. Langton) 萌发出人工生命的思想：生命的本质在于物质的组织形式而不在物质自身；如果我们在某种媒质中创造出产生混沌边缘的条件，那么我们就

可能在这种媒质中创造出生命。

第三章探讨了构造人工生命的主要方法。与传统科学采用的自上而下的分析方法和强调主导因素作用的中心控制方法不同，人工生命主要采取的是自下而上的综合策略：即从个体出发，重点模拟简单的单位，而不是复杂的单位；主要运用局部控制，而不是全局控制；让行为从底层突现出来，而不是自上而下地做出规定。人工生命的这种方法是以前计算机仿真实验为基础的；计算机仿真实验是可以与伽利略的受控实验革命相媲美的一场新的方法论革命。人工生命的这种以前计算机仿真实验为基础，以局部的简单行为突现出复杂的整体行为的综合研究策略已经成为现代科学中的一种新的重要的思维范式，即基于个体的思维。

第四章和第五章分别讨论了人工生命的两种主要形式：虚拟人工生命和现实人工生命。虚拟人工生命主要采取软件的形式在计算机中创造人工生命实体，主要的模型包括 Tierra, Avida, “阿米巴世界”等；现实人工生命主要采取硬件的方式在现实世界中创造展示生命特征的人工实体，主要模型包括艾伦 (Allen)、赫伯特 (Herbert)、根格斯 (Genghis) 和考格 (Cog) 等。虚拟生命的构建以全新的算法生命观为指导；现实的人工生命则是在经典的基于知识的人工智能范式遇到困难时产生的基于行为的和基于神经网络的人工智能新范式。第四和第五两章主要揭示两种人工生命形式构建的新的指导思想。

在人工生命的哲学讨论中，有两种理论倾向：一种是强人工生命，一种是弱人工生命。强人工生命认为，人工生命实体已经是或最终将是真正的生命；弱人工生命则认为，人工生命实体只不过是对自然生命的模拟。两种观点依生命的本质是什么为转移。第六章首先探索了生命的定义。区分了两种定义生命的方法：实体定义方法和功能定义方法，前者强调生命的物质构成，后者强调生命的功能特征。由于“多重实现”是自然界的普遍特征，因此，实体定义显得过于狭窄。功能定义有“新陈代谢说”、“自创生论”、“灵活适应说”等，本

章分析了这些定义的优缺点，然后，根据现代科学的成就提出了生命的信息定义并对这个定义作了理论的论证。如果信息定义成立，那么，强人工生命就是可能的。有人从“多重实现是一个经验命题”，“鞋子-苍蝇谬误”等方面反对人工生命的观点，本章对这些反驳存在的误解进行了分析，指出这些反驳存在的问题。

如果人工生命可以成为真正的生命，那么它们的本体论地位如何？第七章讨论了这个问题。论文通过理论论证指出，计算机的创造能力已经可以使我们得出这样的结论：我们可以在计算机中创造出一个独立的世界——虚拟的数字生命世界；数字生命世界与我们的现实世界具有相同的本体论地位。有人从哥德尔不完备定理出发反对数字生命世界的实在性，本章对这种观点进行了反驳。

人工生命把生命的本质看作是计算。实际上，如果我们扩大我们的视野，对当代其它科学的一系列新进展，比如人工智能，DNA 计算机，计算生物学等理论成果，进行综合分析，我们就可以发现，不仅生命和智能的本质是计算，而且整个世界都可以看作是按算法规则建立并按算法所规定的规则演化的。现实世界事物的多样性只不过是算法的复杂程度的不同的外部表现。不仅生命和思维的本质是计算，自然事件的本质也是计算。本书的结论部分对这种计算主义的世界观进行了概括和总结。

**关键词：**生命 人工生命 人工智能 计算 计算主义

## Abstract

The computational revolution in the 20th century has led to a new methodological revolution since Galileo. One outcome of this methodological revolution is the birth of the new frontier science: Artificial Life (Alife). Alife tries to use computer to create entities which exhibit characteristics of life in computer or in real world, and from the perspective of computation, it views life as a special algorithm. This book systematically explores the main contents of the Alife views of life.

Because of the uniqueness and novelty of the object, method and idea of Artificial Life, not only many scientists are attracted to do research in this area, but also many philosophers are attracted to generalize new philosophical thoughts from its concepts and theories. In chapter one of this book, the challenges of Artificial Life to philosophy are illustrated.

The ideas of Alife can be traced to John von Neumann. Von Neumann proved that the logic of self-reproduction can be abstracted from life itself. After von Neumann, John Conway proved that the cellular automaton is equivalent to a Turing machine; Stephen Wolfram found that there are four kinds of cellular automata; Chris Langton realized that the rule space of cellular automaton closely relates to phase transition and computation; cellular automata which are at the edge of chaos can support complicated computation. Langton herein germinated the ideas of Alife: if we can create the conditions of the edge of chaos in some kinds of media, then we

might create life in them. Chapter two of this book mainly discusses the logic of life and the relation of life, information, and computation, elucidating the theoretical foundation of Artificial Life.

Chapter three explores the constructive methodology of Artificial Life. Differing from the traditional top-down analytical and centralized controlling methodology, the new methodology of Artificial Life research is bottom-up and synthetic: it tries to simulate individual units instead of one big complex unit; to use local control instead of global control; to let the behavior emerge from the bottom up, instead of being specified from the top down. This kind of individual-based modeling has already become an important thinking paradigm not only for Alife, but also for complex sciences.

There are two types of artificial life: virtual artificial life and realistic artificial life. Virtual artificial life mainly uses software to create artificial life entities in computer; realistic artificial life uses hardware to create artificial entities in real world. The main ideas and contents of the virtual artificial life and realistic artificial life are analyzed in chapter four and chapter five respectively.

There are two claims about artificial life. Strong artificial life believes that Alife entities are or ultimately will be genuine life; while weak artificial life believes that Alife entities are merely simulations of natural life. Two claims are closely related to our definition of life. Chapter six first probes the definition of life, then theoretically elucidates whether artificial life, especially the virtual artificial life is real life or not based on the definition. If we understand life from informational perspectives, then we would support strong artificial life.

Chapter seven discusses the ontological status of artificial life. If we view virtual life or digital life from the perspective of the interior processes themselves of com-

puter, then their realness is indubitable. The creativity of computers has already made us believe: we can create an independent world: virtual life world in computer; virtual life world has the same ontological status as our real world. Gödel's incomplete theorem can't negate the possibility of digital life.

Artificial life views the essence of life as computation. If we enlarge our perspectives, we find that there are many contemporary sciences, such as DNA computational theory, artificial intelligence, computational biology, etc., not only viewing the essence of life as computation, but also viewing the essence of intelligence as computation. We can go even further steps to say that the whole world is constructed by some kinds of algorithm rules, and in some senses, the universe can be seen as a huge computational system.

**Key Words:** Life, Artificial Life, Artificial Intelligence, View of Life, Computation, Computationalism

# 目 录

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 序 言 .....                 | 1  |
| 摘 要 .....                 | 1  |
| Abstract .....            | 1  |
| <br>                      |    |
| 第一章 导 论 .....             | 1  |
| 一、人工生命研究的兴起和基本思想 .....    | 1  |
| 二、人工生命提出的生命观和哲学问题 .....   | 6  |
| 三、人工生命的生命观和哲学研究的价值 .....  | 9  |
| 四、人工生命的生命观研究的现状及问题 .....  | 11 |
| <br>                      |    |
| 第二章 生命的逻辑与人工生命的思想基础 ..... | 13 |
| 一、机械过程的本质 .....           | 13 |
| 二、自我繁殖的逻辑 .....           | 15 |
| 三、生命游戏与“生命”计算机 .....      | 21 |
| 四、信息动力学与混沌边缘的生命 .....     | 28 |
| <br>                      |    |
| 第三章 构造人工生命的方法 .....       | 48 |
| 一、综合的方法 .....             | 48 |

|                                              |            |
|----------------------------------------------|------------|
| 二、从局部到整体 .....                               | 51         |
| 三、遗传算法 .....                                 | 54         |
| 四、计算机仿真实验：人工生命和复杂性科学的方法论革命 .....             | 58         |
| 五、生成和突现 .....                                | 63         |
| 六、一种崭新的思维方式：基于个体的思维 .....                    | 79         |
| <br><b>第四章 虚拟人工生命：从磁芯大战到“阿米巴世界” .....</b>    | <b>87</b>  |
| 一、磁芯大战 .....                                 | 87         |
| 二、计算机病毒和蠕虫 .....                             | 92         |
| 三、Tierra：人扮演“上帝” .....                       | 99         |
| 四、“阿米巴世界” .....                              | 112        |
| <br><b>第五章 现实人工生命：从自主 Agent 到进化机器人 .....</b> | <b>120</b> |
| 一、经典人工智能研究及其遇到的问题 .....                      | 120        |
| 二、基于行为的自主机器人研究 .....                         | 125        |
| 三、基于神经网络的联结主义研究 .....                        | 137        |
| 四、进化机器人：虚拟和现实的结合 .....                       | 146        |
| <br><b>第六章 生命的定义与强人工生命的可能性 .....</b>         | <b>152</b> |
| 一、定义生命的困难 .....                              | 153        |
| 二、“如吾所识的生命” .....                            | 155        |
| 三、定义生命的两种方法 .....                            | 158        |
| 四、四种“根本性质”定义 .....                           | 164        |
| 五、强人工生命的可能性 .....                            | 176        |

|                              |                |
|------------------------------|----------------|
| <b>第七章 强人工生命的本体论地位 .....</b> | <b>188</b>     |
| 一、虚拟的真实性 .....               | 188            |
| 二、人工生命实在性的理论论证 .....         | 190            |
| 三、哥德尔定理与强人工生命 .....          | 194            |
| <br><b>第八章 走向计算主义 .....</b>  | <br><b>203</b> |
| 一、信息、算法和计算：理解生命本质的重要概念 ..... | 203            |
| 二、计算的本质 .....                | 205            |
| 三、认知与计算 .....                | 206            |
| 四、生命与计算 .....                | 211            |
| 五、宇宙与计算 .....                | 213            |
| 六、对一些反对意见的反驳 .....           | 215            |
| 七、结 语 .....                  | 217            |
| <br><b>参考文献 .....</b>        | <br><b>218</b> |
| <b>中英文人名译名对照表 .....</b>      | <b>228</b>     |
| <b>致 谢 .....</b>             | <b>235</b>     |