

生物机器

研究生命的控制论途径

〔英〕 P. 卡 洛 著

科学出版社

DF48/16

生物机器

研究生命的控制论途径

(英) P. 卡洛著

汪云九 陈德高译



科学出版社

1982

内 容 简 介

尽管近代科学技术突飞猛进,但是生命之谜仍使人迷惑不解。“有机体是什么?”“我们可以用分子、原子、电磁力等等物理、化学术语完全解释生命的所有奥秘吗?”

本书作者是从事实验工作的动物学家,他融会贯通了人类在廿世纪中期才逐渐认识到的信息、控制和系统的概念和理论,针对当前生物学研究中的一些基本争论,从哲学观点和认识论意义上对生命作出新的解释。本书对生物学研究中长期存在的还原论与整体论之争,活力论与机械论之争,结合生物进化、生长发育以及遗传学上一些具体事例,作出合乎逻辑的解释。

本书可供对生物学有兴趣的哲学家、对生物学中的哲学问题感兴趣的生物学家参考,也可供生物物理专业、生物控制专业、系统论专业的研究生、科研工作者以及有关大专院校师生参考。

Peter Calow

BIOLOGICAL MACHINES

A CYBERNETIC APPROACH TO LIFE

Edward Arnold 1976

生 物 机 器

研究生命的控制论途径

[英] P. 卡 洛 著

汪云九 陈德高 译

责任编辑 王爱琳

科学出版社出版

北京朝阳区门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1982年7月第一版 开本:787×1092 1/32

1982年7月第一次印刷 印张:5

印数:0001—4,900 字数:111,000

统一书号:13031·1927

本社书号:2612·13-10

定价:0.80元

序

存在一种关于有机体的生物学和一种关于有机体分子组成的生物学。人们通常把这两种生物学的差别看得太大，以致于可能误认为是研究不同对象的学科，然而只要我们确信世界是连续的，则最终有可能将它们合并到一个统一的理论范畴中。我试图在本书中证明，倘若我们没有忘记有机体（依其定义）是“有组织的物质”，那么在它的生物学中便不存在任何不能根据其组分的性质以致于最终按照物理、化学定律得到解释的事物。正象开动着的机器根据它的组织结构而接受命令和运转，生物体也是如此。

我的中心主题是，沟通一种理论和另一种理论差距的最有效方法是采用一些模型，它们把物理-化学过程组织在一个有条不紊的系统中，该系统又能模拟出在生物整体中所观察到的现象。在这种意义上，我强调指出了系统论的原理和实践，因为正是在系统论中才明白地看到组织化的特点。按照计划，我突出了自动控制机器与生物体行为的相似性，进而引进了控制论和信息论。虽然“系统”一词已经成为生命科学的一个公认的特点，但很多生物学家仍然认为它的术语和原理有些空洞。对于大学生和年轻的研究工作者更是如此，因而本书对这些学者必有初步的指导意义。借助于用系统方法解决生物学问题的途径，我试图论证沟通部分生物学理论和整体生物学理论间的必然的关联性。

我坚定相信，由于现代科学是过去科学发展而来的产物，没有一个科学家能够忽视他的学科的历史或哲学。因此，在

整本书中，我把注意力集中到活力论和机械论之间古老的争论上，因为关于部分能做什么、整体能做什么以及处在组织化中的部分能做什么等问题已经存在很大的混乱，特别是现代机械论对活力论的压倒优势是显而易见的，有的哲学家甚至认为这个争论已经结束了。但是，我在本书最后一章再次使机械论和活力论进行正面交锋，并指出生物机器的某些方面对于最终的还原所存在的严重困难。对于这种哲学观点和某种程度上属于形而上学的观点，我让读者去得出他们自己的结论，正如在任何哲学性争论中那样最终会得出结论的。

汪云九 译
陈德高

• ■ •

目 录

第一章	类比的作用	1
§1.1	类比：科学的艺术	1
§1.2	生物学中的类比	3
§1.3	结论	8
第二章	机器的灵魂	10
§2.1	生物的目的	11
§2.2	机器的目的	15
§2.3	类比	20
§2.4	结论	21
第三章	系统论	23
§3.1	引言	23
§3.2	表示法	24
§3.3	系统的某些类型	27
§3.4	再论类比	35
§3.5	关于模型和魔术	37
§3.6	工程师和生物学家	38
§3.7	系统的测试	41
第四章	再论反馈	46
§4.1	引言	46
§4.2	控制论系统的提出	46
§4.3	开环和闭环	48
§4.4	两类反馈	48
§4.5	控制论系统的测试	50

§4.6	控制标准	53
§4.7	适应性控制	56
§4.8	准备研究的问题	58
第五章	生命中的控制	59
§5.1	系统分析: 水螅的再生	59
§5.2	系统综合: 有机体的生长	66
§5.3	结论: 一种更广义的代谢模型	89
第六章	信息观点	93
§6.1	引言	93
§6.2	简短的极限	93
§6.3	标准密码	94
§6.4	编码: 测量信息量	94
§6.5	一种更为有效的信息测量法	96
§6.6	信息和概率	97
§6.7	噪声和多余度	99
§6.8	信息存贮	100
§6.9	结论	101
第七章	生命中的信息	104
§7.1	引言	104
§7.2	遗传的程序	104
§7.3	在噪声世界中的生命	111
§7.4	预成论和渐成论	116
§7.5	繁殖、复制和自动机	123
§7.6	结论	126
第八章	哲学总结	127
§8.1	引言	127
§8.2	四种“主义”	127
§8.3	机械论是活力论吗?	130

§8.4	回到地上	132
§8.5	一种可能的答案是物体的形状	138
§8.6	复制酶制造模板然后又复制它	141
§8.7	涉及其它通讯通道的问题	142
§8.8	结论	143
附录 1		145
附录 2		148
参考文献		150

第一章 类比的作用

现在这个时代,从根本上来说,是机器的时代。我们和机器生活在一起,依赖着机器,甚至有时我们梦见它们从被控制者变成了控制者。故事中魔术师的徒弟给他主人的扫帚以生命力*,起初扫帚帮助他做事,不久就不听这个新手的命令了,甚至完全失去控制,乱跑起来。令人惊奇的是,生物学的历史具有很相似的情况,但次序是颠倒的。生物学家常常把生物看作机器来研究,这样做有时有助于解释一些生物现象;但是,象那把魔术师的扫帚那样,机器类比往往会闹起原先没有估计到的独立性来。

本书的目标是考察用机械的观点研究生物学的一些近代进展,以便分析其作用;也要指出可能出现的危险。特别是我们将研究,生命的机械论观点怎样帮助我们,用构成有机体的“部件”的性质来描述、解释和理解整个有机体的性质。本章试图从这个问题的历史的和哲学的背景开始研究。

§1.1 类比: 科学的艺术

开普勒发现行星轨道性质的出发点,是假定太阳在星系中的作用类似于父亲在家庭中的地位。开尔文注意到单片眼镜片的反光时,想出了制作反射式检流计的念头。阿基米德看

* 可能是指歌德的诗篇“魔术师的徒弟”,该故事描写一个懒惰的徒弟,在做师父留给他的家务时,忽然想用他师父的咒语命令扫帚去打水,等到水溢出水桶,应该停止的时候,他又记不起停止打水的咒语,等到魔术师回来,这个不高明的徒弟都快溺死了。——译者

到了浴室里水从浴盆中溢流到地板上的现象与精确鉴定黄金成分问题之间的相似性；牛顿的伟大贡献并不是“他指出了苹果下落的原因”，而是“他指出了苹果和星球之间的相似性”（D'Arcy Thompson 1917）。在科学史上有无数的例子是从类比进行推理的，实际上我们在日常生活中，也常常遇到类比问题。例如，我们想要解释某一事物时，常常说它象“如此这般”地工作，当我们要描述某个人时，往往说他象某人；对于一个陌生人的初次印象，往往要用与他相象的某个熟人来比拟。有时甚至说：“女孩子很注意与她父亲相象的男人”；或者说：“某个青年娶了品行与他母亲一样的女孩子”。Agnes Arber (1954) 曾把“类比”称为“思想的支柱”，这个比喻非常恰当，因为通过类比我们常常能够跳过已知和未知之间的鸿沟。

引用类比，我们看到了已经理解的熟悉的事物与要了解的陌生的事物之间的某些相似性。类比把一种新的现象置于某种不同的上下文脉络之中，我们把它当熟悉的东西看待，可以对它提出新的有启发的问题。在艺术上，也采用与此相同的手法。例如，文学上的比喻，美术上的象征和比拟都是常用的表现方式。

科学家和艺术家都要涉及知识问题；他们观察和描述事物，并试图加以解释。但是，只有科学家才把自己的个性严格地置于他的作品之外；而艺术家，至少现代艺术家皆以置身于作品之中为荣。艺术是一种主观的见解，它的作用和成就在很大程度上取决于艺术家观点的独创性。在本质上来说，艺术表现起迄于类比，越新颖越好。然而，科学却要求，在我们感觉敏锐性和推理能力的限度之内，力争尽量客观地反映事物。象艺术家那样，科学家考察周围世界，并对其中的基本原理提出自己的主观见解。这就是他们使用的假说。但是，要

是假说仅仅停留在个人见解的水平上，那显然是不够的。一个科学家的想法，要用严格的观察和实验来检验；假说在科学上取得的成就以及它们是否能荣获客观规律的桂冠，则取决于它们如何面对现实世界的考验。科学研究必须在逻辑推理上是合理的，在这一点上，科学就要与艺术分道扬镳。但在假说得到广泛承认以前，它们必定是从某个地方来的，在这方面与艺术一样，类比似乎是灵感的一种重要来源。事实上，面对未知物、不熟悉的事和物，难以设想科学家怎样能够从未知世界中提出问题。如果我们把类比作为科学研究的一种艺术，那只是科学研究的开始而不是结束；它只是作为灵感和启示的源泉，但不必是对问题作绝对圆满解释的基础。

§1.2 生物学中的类比

生物学研究的对象是生命。生物学家看到生命系统与它们最熟悉的事物之间存在着相似性，这是毫不奇怪的，这些最熟悉的东西就是他们使用的工具和机器。

在中世纪，对生命过程进行类比是极为普遍的，特别是把“人”与生命过程进行类比。例如十六世纪中叶法国医生 Fernel 把生物看作是四种基本元素的混合物——火、气、土、水四要素的成对组合构成四种主要的物质性质。Fernel 综合了亚里士多德和 Hippocratic 的学说，认为人体是由四种体液组成(表 1.1)，而人体的疾病是由于它们之间自然比例失调引起的。为了描述人体组织是怎样由食物变成的，Fernel 把这个过程与烹调过程相类比。三位厨师把食物变成人体组织(图 1.1)，同时，整个系统的每一部分，实际上都有几个小炼丹士居住其中，并参与工作，他们不断将复合物提炼成为组成身体的体液。整个集体就象厨师和化学家一样，协调地工作着，形成了一个十分平衡、健康的系统，这个系统由某个不存在的，但可

表 1.1 四种基本元素,四种体液和四种性质

基本元素和性质是亚里士多德提出来的, 体液是 Hippocrates 提出来的, Fernel 把它们综合成为最早的生理学理论之一。

性质	体液	元素	性质
干	血液	= 火	热
	黄胆汁	= 气	
湿	黑胆汁	= 土	冷
	粘液	= 水	

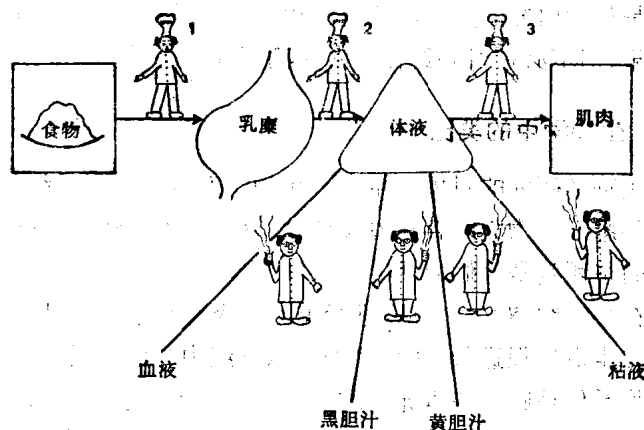


图 1.1 Fernel 关于生理学的活力论。厨师 1 把食物变成乳糜（胃内物）；厨师 2 把乳糜变成体液；厨师 3 把体液变成身体组织。炼丹士把复合物提炼成四种体液（表 1.1）。

以比拟为“上帝”的人物来指挥。

Fernel 关于生物的这种描绘显然过分夸张，但认为它超越了当时的文明所允许的程度，也是不公正的。重要的是要知道，这一种或类似的理论皆用虚无飘渺的神灵来代替“小人”，无非是把“自我”放进去进行类比。这正是泛灵论和有关的活力论所遇到的主要困难，因为他们无非是用一种未知去

代替另一种未知。“小人”象“大人”那样神秘莫测。活的神灵可能存在，但按照定义，你既不能肯定也不能否定它们的存在，正因为如此，实践科学不可能向前发展。活力论与科学是绝对不相容的，那些误入活力论歧途的科学家往往抛弃了实验桌，而登上理论家的名声不佳的安乐椅。

相对说来，用机器类比倒有些希望。至少这里是用已知代替未知，而且类比物是可以观察、会动作的和可以更换修复的。更重要的或许是：机器的动作和运转常常可以从它本身的理论，或更一般地说可以从物理或有时从化学理论上找到解释。在生物学研究中使用机器类比时，意味着这样一个问题：“支配机器运转的规律能用来解释生物的活动吗？”或更进一步：“物理学中物体的理论能用来解释生物学中生物的行为吗？”这是个重要的问题，因为如果答案是肯定的，那么我们实际上就宣告生物学本身并无特殊性，可能不需要称为“生物学”的这门学科了。本书在以后章节将讨论这个问题。

表 1.2 按照历史顺序列出了一些重要的已经用于生物学的机械论者的类比。每当发明新的机器时，新的类比就可能被人们采用，所以象艺术一样，生物学中的理论就被文明世界其他方面发生的事情所“着色”。从这里可看到，技术、化学和物理学中的成就对生物学的发展具有深远的影响。

笛卡尔、Borelli 和 Diderot 是机械论的鼻祖。他们生活在机械式机器的时代，这些机器的构件是杠杆、弹簧和齿轮，其运转原理可以从伽里略及以后的牛顿的力学理论中找到解释。对于那些关心生物的物理学家——人们称之为物理医学家 (iatriphysicist)——来说，那时的钟表机构与肌肉和四肢的动作的相似性是很清楚的，就这方面来说，机械(力学)理论的应用可能是有用的，而且将来继续有用(见 Alexander, 1968)。但是物理医学家们把类比用得太过分了。在极浅薄的、往往是

表 1.2 生物与机器的一些类比

类 比	创始人	类比理论	创始人
机械式机器	Descartes ¹⁾ (1595—1650)	力学	伽里略 (1564—1642)
	Borelli (1608—79)		牛顿 (1642—1727)
	Diderot (1713—84)		
热机	Priestley (1733—1804)	燃素	Stahl (1660—1734)
	Lavoisier (1743—94)	氧化	
	Rubner ²⁾ (1854—1932)	热力学	Mayer (1814—78)
			Carnot (1796—1832)
化工厂	Wöhler (1800—82)	Gibbs 自由能	Gibbs (1839—1903)
	Pasteur (1822—95)		
	现代生化学和生物能学	开放系统的热力学	Prigogine (1952)

1) 他关于生理学的书: De Homine, 在他死后于 1662 年出版。

2) 他用 Hess 的热量总和守恒定律解释他的结果, 但这实际上是热力学第一定律的特殊情况。

不适当的基础上, 他们想用纯机械来说明所有生命活动。他们想对消化、胚胎发生、神经活动 (图 1.2) 乃至人类特有的思维活动, 都去寻找机械的解释。略经思索, 我们可以看到纯机械论的人是很愚蠢的, 但我们也应当赞赏这一途径对于把生物学从中世纪唯灵论的束缚中解放出来所起的决定性作用。

从历史上来说, 用于生物学的第二种机械类比是热机。这里把生命类比为物理学中的燃烧过程, 用‘火’这个概念代表生命。最精通化学的 Priestley 可能在这场革命中起着先

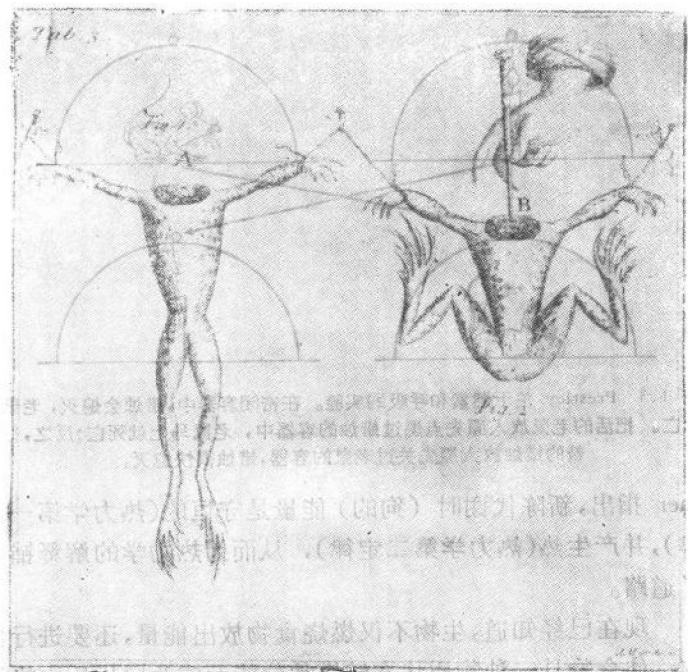


图 1.2 Alexander Stuart (18 世纪苏格兰医生) 所做的一些神经生理学实验。Stuart 注意到用针刺入刚斩首的蛙的脊髓时, 引起后肢收缩。他用典型的笛卡尔方式解释这一结果。他认为脊髓中充满了水样的“活泼的精神”(animal spirit), 针象活塞那样增加了液体压力, 推向肌肉, 肌肉内压力提高了, 于是肌肉收缩。当动物活着时, “活泼的精神”由脑发出, 并起同样的作用。此处假定松果腺象阀门一样控制液体流入脊髓。笛卡尔相信在人体中这种精气同样存在, 并能对运动起控制作用。(参看 Manuel, E.D. (1971), *School Science Review*, 52)

导作用。他注意到老鼠和蜡烛在密闭容器中都会断气(图 1.3), 他用 Stahl 的燃素论解释这种结果, 认为老鼠和蜡烛两者都会放出一种物质——燃素, 失去了燃素蜡烛就会熄灭, 而老鼠则会死亡, 所以生命与燃烧是一回事。拉瓦锡把这种思想更合理化一些, 他用氧气而不用燃素来解释这一切。Ru

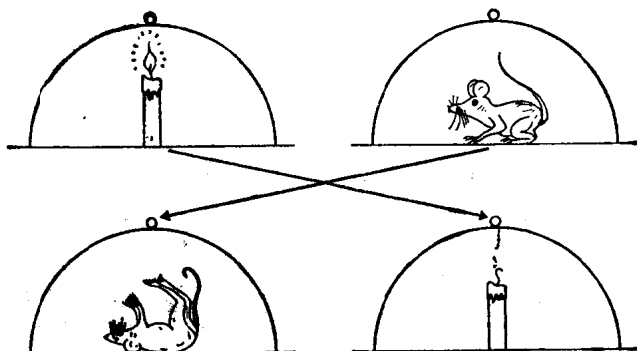


图 1.3 Prestley 关于燃素和呼吸的实验。在密闭容器中,蜡烛会熄灭,老鼠会死亡。把活的老鼠放入原先点燃过蜡烛的容器中,老鼠马上就死亡;反之,把燃着的蜡烛放入原先关过老鼠的容器,蜡烛很快熄灭。

ber 指出,新陈代谢时(狗的)能量是守恒的(热力学第一定律),并产生热(热力学第二定律),从而为热力学的解释铺平了道路。

现在已经知道,生物不仅燃烧食物放出能量,还要进行合成,使食物从一种物质状态转换其位能而成为原质中的另一物质状态。这把我们引向一种叫做“化工厂类比”的现代观点。生物好象化学工程师,取来原始材料放入“生物反应烧瓶”,产生新的合成物。这种生命观开始于 Wöhler 合成尿素和巴斯德 (Pasteur) 关于微生物生物化学的开拓性工作,后来发展到许多生物化学途径的详细阐明。应用吉布斯 (Gibbs) 自由能方程,可对这种类比进行热力学解释,这样做有点象化学工程师,但生物学家现在知道,必须应用更复杂的、涉及开放系统能量流动的热力学理论才行(见第七章)。

§1.3 结论

机械论的危险已由物理医学家作了很好说明,但他们仍

旧追随所有机械论者的观点。机械论者常常随机器的发展而成长,然后对生物学发生兴趣,或者反之,原来是动、植物学专家,后来对机器发生兴趣。不论哪种情况,他们全都容易被新的兴趣所左右,他们也容易忘记光用类比解释是不够的,尚需实验证明。物理医学家的机械模型,象魔术师的扫帚那样,自己提高了本领,竟不顾经验上的挑战而继续向前进军。这样一来它的情况并不比活力论更好些,许多生物学家把它当作活力论看待,就不足为奇了。

正云九译

• • •