

大脑设计

〔美〕艾什比 著

商 务 印 书 馆



大 脑 设 计

适 应 性 行 为 的 起 源

〔美〕 艾什比 著
乐秀成 朱熹豪 等译

商 务 印 书 馆

1991·北京

W. Ross Ashby
DESIGN FOR A BRAIN
The origin of adaptive behaviour

Second Edition Revised
Chapman & Hall Ltd, London 1960

DǎNǎO SHEJÌ
大 脑 设 计
适应性行为的起源
〔美〕艾什比 著
乐秀成 朱嘉豪 等译

商 务 印 书 馆 出 版
(北京王府井大街 36 号 邮政编码 100710)

新华书店总店北京发行所发行

河北省三河艺苑印刷厂印刷

ISBN 7 100 00730 5/B · 94

1991年11月第1版	开本 850×1168 1/32
1991年11月北京第1次印刷	字数 231 千
印数4500册	印张 10

定价 3.50 元

译者序

在堪称知识爆炸的当今世界，只有很少的科学著作在几十年后仍然被人们奉为经典。大部分科学著作都由于科技的迅速前进而陈旧了，但三十年前出版的艾什比的《大脑设计》是一个例外。这本书以及它的姐妹篇《控制论导论》是艾什比的主要科学著作。《大脑设计》于五十年代出版后，一再重版。书中提出的思想在今天已成为控制论的基本概念。人们深深感到，要领悟控制论的真谛，钻研这本书是一条捷径。

顾名思义，《大脑设计》应该是研究大脑结构和功能的。近三十年来脑科学的进展如此迅速，以至于今天的科学家去翻阅三十年前的文献时，常常会感到它们是那么幼稚、粗糙。那么，《大脑设计》为什么能保持着长久的生命力呢？其实，与其说它是一本研究大脑结构功能的专著，还不如说它是探讨如何研究大脑适应性行为的书。它实际上是一本有重要方法论意义的哲学书。书中并没有谈论真实大脑是怎样构成的，没有描述神经元之间的联系网络，也没有给出大脑的具体数学模型。艾什比在这本书中阐述的是控制论的基本思想，他的大部分工作是为了使人们摆脱在他看来是长久束缚人们的错误思想方法。

每一个人都有自己的方法论。它来自强大的传统观念和日常生活中的直观经验，也可以来自科学训练和哲学熏陶。当人们问“什么是思维”时，人们思考问题的模式显得非常突出。一般人们把思维看作大脑固有的属性，正如把硬度看作固体的属性，把流动性看作液体的属性一样。这种思维方式对于整理经验不无用处，

但在探讨大脑的奥秘时就将遇到不可逾越的障碍。按照这种思想方式,机械的物质运动层次比大脑低级,那么就无法用机器来模拟思维。也就是说,机器不可能有“思维”的属性。这给科学家的研究带来极大的困难。在某些时候,这类思想方法所带来的困难比大脑研究本身的复杂性还要大。可以说,只要人们不摆脱这种思想方法,就难以下手来研究大脑-思维问题。

一旦人们完成了方法论的转变,就豁然开朗了!为什么我们不去考察一下,那种先验地把某一类属性和某种实物层次绝对地对应起来的方法本身是否正确呢?这难道不是从亚里士多德以来的直观本体论的形而上学幽灵吗?在科学研究中,为什么不能把思维看作一种行为构造、把任何属性都看作行为构造来加以研究呢?正是在艾什比的《大脑设计》中,集中体现了控制论学者这种方法论的转变。否则,今天的人工智能、脑科学、生物控制论、社会控制论以及行为科学和心理学等这些学科的长足进步是不可能的。

一本书能解除人们由直观经验狭窄的眼界带来的局限,使人得到某种程度的解放,能在人们面临多种选择时,撇开由盲目和迷信所引导的错误道路和陷阱,能够将科学发现中成功的思想方法提炼出来,那么这本书就有长期存在的价值。《大脑设计》正是如此。

这本书在控制论思想发展史上是划时代的。它集中代表了控制论发展第二阶段的思想精华。

我们知道,本世纪四十年代控制论刚刚开始创立时,先驱者维纳和申农等就把这门边缘学科建立在两个新概念之上,这就是信息和反馈。反馈概念第一次清晰而可以定量地把握了整体内各个部分之间的作用与反作用,是研究部分怎样结合成整体的新方法。而信息则是不同于物质和能量的另一种自然界普遍存在的形式,

它代表事物的确定性与组织程度。维纳在他的名著《控制论》中全面展开了有关这两个概念的讨论，把人们引进了一个新的领域。在维纳的带领和启发下，控制论获得了第一阶段研究的丰硕成果。但是，到了五十年代初，控制论进一步发展就感到了某种重大困难。

第一，当把控制论推广到更大的领域，如生物学、心理学、经济学和社会科学时，维纳的方法就明显不够用了。生物和社会现象过于复杂了，仅仅一般地谈论反馈与信息而不能给出一整套示范性研究方案，这些研究必定是难以深入的，只能停留在启发性意见上，甚至会出现用漂亮名词掩盖无知的伪科学。确实，五十年代以前，生物学、心理学和社会科学中取得的成果，远不能和自动控制与计算机相比，很多研究只是用控制论术语生搬硬套。比如当时的某些大脑模型，以及把伺服机理论类比到经济学中就是例子。

第二，在研究生命活动以及复杂整体行为时，仅仅笼统地讲信息传递和反馈是正的还是负的，这是远远不够的。就拿学习和适应机制来说，肯定包括了信息与反馈，但怎样才能更精确地把握它们呢？五十年代以前很难做到这一点。这明显地反映在维纳的《控制论》一书中。后来，维纳在该书第二版中加了一章，专门谈自组织与学习机制。但他的观点是这样晦涩，数学工具又太专门太复杂，得到的结果却不多。可以说，是杀鸡用牛刀，鸡却没有杀死。维纳本人也在这种困难面前止步了。

艾什比的《大脑设计》就是在这种情况下问世的。它一下子震撼了控制论学界。它那独特的、简明而深刻的方法，一举扫除了维纳碰到的困难。艾什比给出了一整套方法，用于研究大脑以及复杂生物体的适应行为。书出版后，立即成为一个全新的起点。今天，许多著名的控制论学者是艾什比的学生，或者是属于这个学派的。很多不是专门从事生物学和控制论研究的学者，也从这本书

中受到方法论的启发。我国著名学者钱学森在他的《工程控制论》一书中,就把艾什比的“超稳定性”作为重要一章来介绍。

读者看了《大脑设计》后会明显地感到,虽然这本书讨论的是诸如生物的适应性以及学习机制这类复杂问题,但全书贯穿着非同寻常的清晰性和简单性。思路如水晶般明彻。艾什比非常有意识地除去笼罩在高级生物行为上的直观本体论认识的束缚。虽然在维纳那里,已经再三强调了功能的观点,但科学家在研究大脑复杂行为时还是不由自主地首先从解剖学、组织学和神经生理学开始,至少是以神经元为基础来构造模型。这无疑带来了巨大的复杂性。艾什比却撇开了这种传统方法,他开辟了一条全新的思路:思维和学习首先是一种行为结构。只要从结构上把握这类高级行为,那么原则上我们就可以用某种实体或效应来组成表现这一行为的机器。这一崭新的思想如锋利的宝剑,一下子把缠绕住很多科学家的“亚历山大绳结”砍断了。古典的难题被明确地分解为两个比较容易解决的部分:首先是从数学上清晰地把握某类行为的机制,接着是考虑用哪些物理、化学或生物的效应来实现这些机制。第一个问题解决后,第二个问题也就相对容易解决了。艾什比的工作主要在于解决第一个问题。

为了从行为结构上理解高级生物的适应与学习功能,艾什比发展了维纳和申农提出的控制论基本概念。他引入两个作为控制论大厦基础的新概念,这就是稳定性和超稳定性。并非艾什比首创稳定性这一概念,数学家早就研究过微分方程的稳定性问题;维纳也提到稳定性判别对于反馈特别重要。艾什比的贡献在于从一个全新的角度来看待稳定性。他发现生物适应和维持生存这类行为从结构上看就是稳定性。趋向一个目的的运动也是具有稳定性的。把系统纠正干扰造成偏差的机制和生物适应行为联系起来,发现它们结构的一致,这是极为重要的一步。它表明,当控制论普

遍运用到生物学与社会科学时，稳定性已不是一个比反馈和信息低一层次的概念，它也是控制论的基石之一。

为什么说发现稳定性和适应性之间的内在联系是控制论的重大进展呢？我们知道，“适应”本来是一个重要但多少有点含糊的概念。生物体适应环境，社会生产力与生产关系相适应，适应一般是用于表示一个整体中两个存在着作用与反作用的部分相互关系的重要形式。一旦发现了适应与稳定机制的联系，就意味着“适应”这个在生物学和社会科学中有重要意义的概念，可以清晰地把握了。正如反馈概念的提出，大大推进了作用与反作用的研究那样。

“超稳定性”是艾什比独创的概念。他在坎农著名的思想“内稳态”基础上，进一步升华提出了超稳定系统。艾什比认为，当一个系统旧有的稳定性不可避免地破坏时，如果有一种机制可以使稳定性重新建立，那么，这种系统可以称为“超稳定系统”。他运用清晰的数学语言，给出超稳定机制的结构，并用它来理解生物体的学习功能。生物体适应环境可以看作一种稳定性，而学习正是生物体从不适应（或者从不太适应）变为适应（或更适应）的过程。超稳定性就是理解这种过程的关键。超稳定系统是《大脑设计》中的核心思想之一。深入理解它后，就可以对大脑的最基本行为——学习能力——获得进一步的认识。

艾什比引进这两个概念，对控制论是很有意义的。由于这两个概念具有一般方法论的特点，它们不仅适用于研究大脑和生物体，而且原则上可以运用于任何复杂系统。艾什比的方法为控制论推广到社会科学中去开辟了道路。我们知道，今天社会科学家碰到的困难，和当年生物学家碰到的困难有类似之处。如果从一切细节出发，比如从具体的经济过程、政治事件、文化、地理、人口资源以及人们的心理性格特征出发，就等于是以无穷多的变化为起点来研究社会结构，正如从生物体的一个个神经元出发来理解

学习功能一样，问题会复杂得无从下手研究。一旦运用艾什比的方法，提出社会整体的宏观模型，从模型总结机制，再从机制寻找相应的重大因素，研究就将容易得多，也更具有科学性。

当然，艾什比并没有作这种推广，但《大脑设计》作为一本控制论的理论著作，它为这种推广提供了出发点。从这些概念出发，可以用稳定性来研究社会各个子系统之间的相互作用和适应，以及适应方式的变化，即社会演化过程。三十多年来，生物控制论、经济控制论、社会控制论蓬勃地发展起来。特别令人高兴的是，近十几年来，控制论方法已深入到历史、地理、文学艺术等人们原来以为根本不能用自然科学方法研究的领域，并取得了有意义的成果。因此，今天我们用辩证唯物主义和历史唯物主义的观点来吸收控制论的思想和方法，特别是艾什比的研究成果，是一件有意义的工作。

《大脑设计》这本书有什么不足之处呢？任何一部科学著作都是一个时代人类思想的结晶，它也必然带着那个时代人们思想方式所不可避免的局限性。从这个角度讲，对于真正的科学著作，我们一般只讲特点而无所谓“缺点”。但如果把它看作人类认识真理的远征中一块小小的里程碑，每一种理论的提出不过是开辟了新的思路。它有两重任务：第一，使后继者获得较为正确的知识和方法，迅速地把他们引到探索的前沿；第二，它应该指出那些作者还来不及走但应该走的路，即提出这门学科在未来的新生长点。在《大脑设计》一书中，第一个任务完成得较好，对于第二个任务，它显得有某些不足。

《大脑设计》是一本理论专著，但它基本上没有涉及数理逻辑、元数学、递归过程，特别是哥德尔理论。而这些方面的理论，对于认识大脑和思维是十分重要的，即使是对于学习机制和适应过程的研究来说，也不是没有关系的。五十年代以后，自动机理论和哥

德尔定理构成了控制论基础的重要方面。而这些方面的进展，至今为止看起来和艾什比的著作关系不大。也许，并不该责备艾什比，这本书是为生物学家写的。直到今天，数理逻辑、自动机理论、哥德尔理论与大脑思维以及控制论的哲学基础，它们之间究竟是什么关系，还没有明确的结论，至今仍在探讨之中。

本书第二个不足之处是忽略了对突变与渐变关系的探讨。艾什比为了研究学习机制，把阶跃函数引入了控制论。阶跃函数即突变是超稳定系统的重要组成部分。在超稳定系统中，阶跃函数的突变是受连续变化着的参数影响的，那么，连续变化与突变是什么关系呢？艾什比仅仅指出这取决于临界点的分布，可惜艾什比并没有去讨论临界点分布的规律。今天发现，事物的稳定性、阶跃函数的突变以及参数连续变化这三者之间有着深刻的联系。虽然这三者都是艾什比体系中的重要概念，它们是超稳定系统的有机组成部分，但艾什比却没有把它们之间更本质的关系揭示出来。

科学发展的规律是，如果一本著作中没有指出它自然萌发的新生长点，那么，就只有靠其他人来重新发现。确实，这方面的研究正好相应着本世纪七十年代初出现的一门新学科分支的出现，这就是突变理论。人们会遗憾地读到，艾什比已经几乎碰到这个新生长点了。在《大脑设计》7.17节中，他差不多谈到了突变理论的基本思想，但他没有重视。今天，随着突变理论的广泛应用，表明它和艾什比的体系存在着一致性。控制论研究者应该进行一种新的综合：把突变理论的新成果与艾什比的理论统一起来。这样，控制论就会有一个更为深厚的基础。当然，我们不能因为这一点去谴责艾什比的疏忽。他毕竟不是数学家。三十年前，大部分科学家并不熟悉代数几何和微分拓扑。我们在这里之所以要指出这一点，不过是想表明，今天许许多多新理论成果的涌现，都有可能成为现代控制理论的有机组成部分。控制论作为一座宏伟的边缘

学科大厦,虽已初具规模,但还未建成。

今天,继续建设完善控制论理论大厦,并用控制论方法向社会科学、自然科学更广阔的领域进军,在我国也开始进行了。我们翻译这本书,正是为了这个目的尽自己微薄的力量。由于我们水平有限,翻译中肯定有许多欠妥之处,甚至会出现错误,希望在这方面得到读者、特别是我国翻译控制论著作的老前辈的批评指正。我们热诚地希望:

“中国的控制论学者、特别是中青年研究者能够站在艾什比的肩上!”

目 录

前言	1
第二版前言	3
第一章 问题	5
行为, 反射型和习得型 部分间的联系 大脑功能的基因控制 对所用概念的限制 意识 提出的问题	
第二章 动态系统	18
变量与系统 操作的方法 相空间和场 自然的系统 研究复杂系统的战略	
第三章 作为机器的生物	36
行为的规范 生物体与环境 基本变量	
第四章 稳定性	51
直接影响图 反馈 寻求目标 稳定性与整体	
第五章 作为稳定性的适应性	66
内稳态 广义化的内稳态 维生 稳定性与协调	
第六章 参数	80
参数和场 刺激 动态系统的结合 参数与稳定性 部分与整体的平衡	
第七章 超稳定系统	90
适应性的含义 双重反馈的含义 阶跃函数 包含阶跃机制的系统 超稳定系统	
第八章 内稳定器	110
内稳定器作为适应者 训练 一些明显的缺陷	

第九章 生物体中的超稳定性	133
生物体中的阶跃机制 记忆有一种分子基础吗? 阶跃机制 是必需的吗? 反馈的层次 目标控制 基因模式和超稳定 性 小结	
第十章 重复出现的情况	149
反复出现的情况 适应的积累	
第十一章 充分连接的系统	159
适应的时间 积累的适应	
第十二章 暂时的独立	170
独立性 不变量的作用 局部稳定的效果	
第十三章 具有局部稳定性的系统	183
逐步趋向平衡 分散作用 巨稳定系统中的局部化	
第十四章 重复刺激与形成习惯	197
习惯 较小的干扰	
第十五章 重复系统与顺序系统中的适应	205
重复系统 顺序系统	
第十六章 多重稳定系统中的适应	218
丰富连接的环境 贫乏连接的环境 回溯抑制	
第十七章 辅助调整	232
大脑内部的通信 辅助调节 反馈的分布	
第十八章 适应的放大	245
定态系统中的选择 适应的放大 总结	

附录

第十九章 定态系统	253
机制的逻辑 正则表示 正则表示的变换	
第二十章 稳定性	267
稳定性的概率	

第二十一章 参数	277
系统的连接 定态系统	
第二十二章 不变量的作用	289
具有多重场的系统 超稳定系统 暂时的独立性 影响图	

前 言

本书并不是一本有关全部大脑机制的专著，而是设法解答一个专门的问题，即神经系统能产生适应性行为的这种独特能力的起源。本书的基础是，神经系统事实上具有适应性行为并假设它在本质上是机械性的；先假定这两者并非互不相容，然后在此基础上展开讨论。作者试图从观察到的事实推论：神经系统必定有怎样一种机制，它的行为才与迄今所制造的任何机器都截然不同。另外一些解决方法都一直没有解决这样的问题——是否别的理论就不能同样符合这些事实。作者一直试图推出，若要使神经系统的活动同时具有机械性和适应性，那末有哪些条件是必不可少的，神经系统又必须有什么样的性质。

为了使推论严密，最重要的是采用一种很完善的机制逻辑。直到前不久，人们还几乎完全用某些专门的具体领域——机械、电子、神经学等等的术语来讨论机制问题，这个时代已经过去了。现在已有了很完善的纯机制逻辑。这种逻辑和几何学一样严密，在我们了解复杂的生物学系统时，它所起的重要作用就象几何学在天文学中所起的作用一样。正是由于这种基本逻辑的不断发展，才有可能进行本书中的有关工作。

在第18章的末尾处，总结了本书所得出的结论，但如就其本身来看，这些结论可能是难以理解或者容易产生误解的，因为它们只是为了突出读者在学习过程中的一些要点。然而当读者深入进行研究时，这些结论可能是很有用的，这将能帮助读者区分主要和次要特性。

每当我们企图把大脑机制与观察到的行为联系在一起时，总感到产生混乱，所以作者的宗旨是决不承认任何不能用数学形式表述的东西，因为只有使用数学语言，人们才能确保在推论过程中不会不知不觉地改变术语的含义或者增加假设；或者在其它方面陷入混乱。这一宗旨证明是可以实现的。至于对组织、行为、行为变化、部分、整体、动力学系统、协调等等这些难懂但又是最基本的概念，都成功地下了严格的定义，并融会贯通为一个整体。然而这种严格性和一致性离不开数学形式，尽管数学不是每个人都能轻而易举地看懂的。不过，由于基本命题主要是建立在常识性推理之上，所以我们能分两部分来进行说明。主要的说明（第1—18章）是非数学形式的，它本身是完备的。而附录（第19—22章）则包含了数学内容。

因为读者可能要经常前后参阅，因此将每一章分成若干小节。每一节都有标号，例如4.5节就表示第四章第五小节。每张图表也按照所在的章节编号，例如图4.5.2就表示第4.5节的第二张图。每一页的上方都标有小节号，所以查找小节和图表就象查找页码一样容易和直接。

作者衷心感谢巴恩伍德出版社（Barnwood House）的主管人和 G. W. T. H. 弗莱明博士，他们为本书的编写工作提供了慷慨的支持，作者还要感谢 F. L. 戈拉博士和 W. 格雷·沃尔特博士，他们提出了许多有益的批评。

第二版前言

本书第一次完稿时,信息论刚开始为人们所知。从那以后,它为我们了解机制逻辑作出了巨大的贡献,因而作者在《控制论导论》*(在本书中简称《导论》)一书中对这些方面单独作了论述。它采用的观点和方法对于本书有着十分重要的意义。

这两本书的内容重复很少。《导论》涉及的是与机制、通信和调节有关的基本原理,然而它只涉及了原理却没有怎么提到它们的应用。它认为机制是按小的间断阶跃方式进行的,这是一个使人们很容易地理解其逻辑特性的假设。虽然《大脑设计》一书也是根据同样的原理,但只是在解决适应性行为的起源这一专门问题而必须运用这些原理时,才提及它们。该书将机制的变化看成是连续的(即阶跃幅度减小到零),因为这种假设可使机制的实际特性较为明显。这本书本身是完整的,不过读者可以发现,《导论》对于理解本书的基本原则是很有帮助的。

初版和再版相隔了八年,在此期间,对大脑一类的机制的理解有了巨大的发展。为此,作者重新编排了这本书,并完全重写了后面三分之二的內容。使作者满意的是新版本提供的资料总的说来比前一版更明确、更简洁、更有说服力。

不幸的是改变编排使作者无法继续使用以前的小节编号,因此,这两版的小节编号并不相互对应。如果可能的话,作者可以避免出现这种混乱,不过作者认为还是应该首先满足简单明了的要求。

* 伦敦 Chapman & Hall 有限公司;纽约 John Wiley & Sons 公司;第三次修订,1958 年。还翻译成捷克语、法语、波兰语、俄语和西班牙语。