

# 从人工智能的三条路线看未来

■黄铁军

杨立昆是当今世界顶尖的人工智能专家，为他的新书作序，颇具挑战性。好在众多专家已在人工智能领域探索了近70年，本文希望通过反思已走过路径的合理性及局限性，探索人工智能的未来发展方向。

就像人可以分为精神和肉体两个层次，机器智能也可以分为载体（具有特定结构的机器）和智能（作为一种现象的功能）两个层次，两个层次同样重要。因此，我偏好用机器智能这个概念替代人工智能。

与机器智能相比，人工智能这个概念的重心在智能。“人工”二字高高在上的特权感主导了人工智能研究的前半叶，集中体现为符号主义。符号主义主张（由人）将智能形式化为符号、知识、规则和算法，认为符号是智能的基本元素，智能是符号的表征和运算过程。

符号主义的思想起源是数理逻辑、心理学和认知科学，并随着计算机的发明而步入实践。符号主义有过辉煌，但不能从根本上解决智能问题，一个重要原因是“纸上得来终觉浅”：人类抽象出的符号，源头是身体对物理世界的感知，人类能够通过符号进行交流，是因为人类拥有类似的身体。

计算机只处理符号，就不可能有类人感知和类人智能，人类可意会而不能言传的“潜智能”，不必或不能形式化为符号，更是计算机不能触及的。要实现类人乃至超人智能，就不能仅仅依靠计算机。

与符号主义自顶向下的路线针锋相对的是连接主义。连接主义采取自底向上的路线，强调智能活动是由大量简单单元通过复杂连接后并行运行的结果，基本思想是，既然生物智能是由神经网络产生的，那就通过人工方式构造神经网络，再训练人工神经网络产生智能。

神经网络研究在现代计算机发明之前就开始了。1943年，沃尔特·麦卡洛克和沃伦·皮茨提出的M-P神经元模型沿用至今。连接主义的困难在于，它并不知道什么样的网络能够产生预期智能，因此大量探索归于失败。

20世纪80年代神经网络曾经兴盛一时，掀起本轮人工智能浪潮的深度神经网络只是少见的成功个案，不过这也是技术探索的常态。

人工智能的第三条路线是行为主义，又称进化主义，思想来源是进化论和控制论。生物智能是自然进化的产物，生物通过与环境以及其他生物之间的相互作用发展出越来越强的智能，人工智能也可以沿这个途径发展。

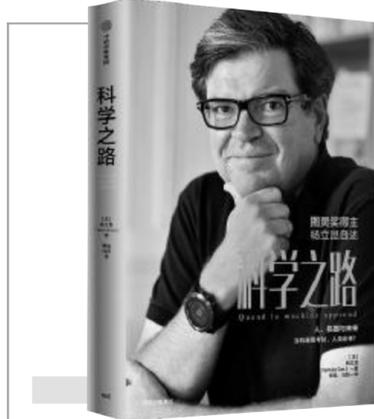
这个学派在20世纪80年代末90年代初兴起，近年来颇受瞩目的波士顿动力公司的机器狗和机器人就是这个学派的代表作。行为主义的一个分支方向是具身智能，强调身体对智能形成和发展的重要性。行为主义遇到的困难和连接主义类似，那就是什么样的智能主体才是“可塑之才”。

## 二

机器学习从20世纪80年代中期开始引领人工智能发展潮流，本书给出了很通俗的定义：学习就是逐步减少系统误差的过程，机器学习就是机器进行尝试、犯错以及自我调整等操作。机器学习对人工智能最重要的贡献是把研究重心从人工赋予机器智能转移到机器自行学得智能。近年来，最成功的机器学习方法是深度学习和强化学习。

深度学习是连接主义和机器学习相结合的产物，最大的贡献是找到了一种在多层神经网络上进行机器学习的方法，本书作者杨立昆和约书亚·本吉奥、杰弗里·辛顿因此获得2018年度图灵奖。

深度学习首先回答了什么样的神经网络



《科学之路：人，机器与未来》（法）杨立昆著，李皓、马跃译，中信出版社2021年8月出版，定价：88元

“我认为这种抱怨是片面的，人类棋手大脑的功耗确实只有数十瓦，但训练一个人类棋手要花费十多年时间。更重要的是，人类棋手学围棋时是带着大脑这个先天基础的，这颗大脑是亿万年进化来的，消耗了巨大的太阳能，这都应该记到能耗的总账中。这样比较，到底是机器棋手还是人类棋手能耗更大呢？”

可以训练出智能，包括多层神经网络和卷积神经网络，也回答了训练（学习）方法问题，包括受限玻尔兹曼机模型、反向传播算法、自编码器模型等。深度学习对连接主义的重大意义是给出了一条训练智能的可行途径，对机器学习的重大意义则是给出了一个凝聚学习成效的可塑载体。

强化学习的思想和行为主义一脉相承，可追溯到1911年行为心理学的效用法则：给定情境下，得到奖励的行为会被强化，而受到惩罚的行为会被弱化，这就是强化学习的核心机制——试错。1989年，沃特金斯提出Q学习，证明了强化学习的收敛性。

2013年，谷歌子公司DeepMind将Q学习和深度神经网络相结合，取得AlphaGo、AlphaZero（阿尔法元）和AlphaStar等重大突破。最近，DeepMind更是强调，只需要强化学习，就能实现通用人工智能。

与DeepMind极力推崇强化学习不同，杨立昆认为强化学习不过是锦上添花，传统监督学习标注成本高，泛化能力有限，也只是点缀，自监督学习才是机器学习的未来。

自监督学习是通过观察发现世界内在结构的过程，是人类（以及动物）最主要的学习形式，是“智力的本质”，这就是本书第九章的核心观点。最近，杨立昆和另外两位图灵奖获得者发表的论文《Deep Learning for AI》（《面向人工智能的深度学习》）中，也重点谈了这个观点。

有了三位图灵奖获得者的大力倡导，相信自监督学习将会掀起一波新的研究浪潮，但我不认为这就是“智力的本质”。根本原因在于，这只是从机器学习层次看问题，或者更一般地说，是从功能层次看问题。我认为，学习方法（功能）固然重要，从事学习的机器（结构）同样重要，甚至更重要，因为结构决定功能。正如我开始时强调过的，永远不要忘记作为智能载体的机器。

## 三

杨立昆在第九章开篇提到了法国航空先驱克萊芒·阿代尔，他比莱特兄弟早13年造出了能飞起来的载人飞机。杨立昆从这位先驱身

上看到的主要是教训：“我们尝试复制生物学机制的前提是理解自然机制的本质，因为在不了解生物学原理的情况下进行复制必然导致惨败。”

他的立场也很清楚：“我认为，我们必须探究智能和学习的基础原理，不管这些原理是以生物学的形式还是以电子的形式存在。正如空气动力学解释了飞机、鸟类、蝙蝠和昆虫的飞行原理，热力学解释了热机和生化过程中的能量转换一样，智能理论也必须考虑到各种形式的智能。”

我的看法和他不同，我认为克萊芒·阿代尔（和莱特兄弟）不仅没有“惨败”，而且取得了伟大的成功。

原因很简单：克萊芒·阿代尔1890年和莱特兄弟1903年分别发明飞机，而空气动力学是1939—1946年才建立起来的。两次世界大战中发挥重大作用的飞机，主要贡献来自克萊芒·阿代尔和莱特兄弟的工程实践，而不是空气动力学理论的贡献，因为空气动力学还没出现。

另一个基本事实是，至今空气动力学也没能全面解释飞机飞行的所有秘密，更没有全面解释各种动物的飞行原理。空气动力学很伟大，但它是“事后诸葛亮”，对于优化后来的飞机设计意义重大，但它不是指导飞机发明的理论导师。

智能比飞行要复杂得多，深度学习成功实现了智能，但是能够解释这种成功的理论还没出现，我们并不能因此否定深度学习的伟大意义。杨立昆和另外两位图灵奖获得者的伟大、和克萊芒·阿代尔及莱特兄弟的伟大性质相同。

我们当然要追求智能理论，但是不能迷恋智能理论，更不能把智能理论当作人工智能发展的前提。如果这里的智能理论还试图涵盖包括人类智能在内的“各种形式的智能”，则这种理论很可能超出了人类智能可理解的范围。

所以，尽管自监督学习是值得探索的一个重要方向，它也只是探索“智力的本质”漫漫长途中的一个阶段。

人类和很多动物具有自监督学习能力，并不是自监督学习多神奇，而是因为他（它）们拥有一颗可以自监督学习的大脑，这才是智力的

本质所在。机器要进行自监督学习，也要有自己的大脑，至少要有深度神经网络那样的可塑载体，否则自监督学习无从发生。

## 四

相比之下，强化学习的要求简单得多，一个对温度敏感的有机大分子就能进行强化学习，这正是生命和智能出现的原因。所以，强化学习才是更基本的学习方法。

当然，从零开始强化学习，确实简单粗暴、浪费巨大，这也是强化学习思想提出百年并未取得太大进展的重要原因。强化学习近十年来突然加速，是因为有了深度神经网络作为训练的结构基础，因而在围棋《星际争霸》等游戏中超越人类。不过，人类输得并不心甘情愿，抱怨的主要理由是机器消耗的能源远高于人类大脑。

我认为这种抱怨是片面的，人类棋手大脑的功耗确实只有数十瓦，但训练一个人类棋手要花费十多年时间。更重要的是，人类棋手学围棋时是带着大脑这个先天基础的，这颗大脑是亿万年进化来的，消耗了巨大的太阳能，这都应该记到能耗的总账中。这样比较，到底是机器棋手还是人类棋手能耗更大呢？

从节省能源角度看，机器智能确实不应该从头再进化一次，而是应该以进化训练好的生物神经网络为基础，这就是纯粹的连接主义，构造一个逼近生物神经网络的人工神经网络。

1950年，图灵的开创性论文《计算机与智能》中就表达了这个观点：“真正的智能机器必须具有学习能力，制造这种机器的方法是，先制造一个模拟童年大脑的机器，再教育训练它。”这也是类脑智能或神经形态计算的基本出发点。

相关科研实践始于20世纪80年代，基本理念就是构造逼近生物神经网络的神经形态光电系统，再通过训练与交互，实现更强的人工智能乃至强人工智能。

除了改进训练对象的先天结构，训练不可或缺的另一个要素是环境。环境才是智能的真正来源，不同环境孕育不同智能。人们往往把今天人工智能系统的成功归结为三个要素：大数据+大算力+强算法，其中数据是根本，另外两个要素主要影响效率。训练更强智能，需要更大数据，这是智能发展的基本规律。

但即便是大数据，也不能完整地表达环境，数字孪生能更全面地刻画物理环境，更好地保留环境自有的时空关系，因此也能够哺育出更强的人工智能。物理世界的模型化本来就是科学最核心的任务，以前从中发现规律的是人类，未来这个发现主体将扩展到机器。

行文至此，我们已经从人工智能发展史中小心翼翼地挑出三根靠得住的基本支柱：一是神经网络，二是强化学习，三是环境模型。在这三根支柱中，杨立昆最突出的贡献是对神经网络的贡献，特别是卷积神经网络。至于想到用卷积神经网络，是因为借鉴了生物神经网络感知系统，这就是卷积神经网络在图像识别和语音识别等领域大获成功的主要原因——深度神经网络已经借鉴了生物神经网络的部分结构。

总而言之，人工智能经典学派有三个：符号主义、连接主义和行为主义。符号描述和逻辑推理不是智能的基础，而是一种表现，读写都不会的盲官就拥有的“低级”智能才更基础。因此，连接主义和行为主义虽然困难重重，但有着更强的生命力，从中发展出的深度学习和强化学习两套方法，成为当今支撑人工智能的两大主要方法。

最后需要强调的是，人类智能是地球环境培育出的最美丽的花朵，我们在为自己骄傲的同时，也要警惕人类中心主义。

（作者系北京智源人工智能研究院院长、北京大学教授，本文为《科学之路：人，机器与未来》一书序言，有删减，标题为编者所加）



6月出版，定价：88元  
著：李玉珊译：商务印书馆2021年  
《野性与温情——动物父母的自我修养》

# 动物父母如何进行自我修养

■赵序茅

今年的某一天，我在街头见到一位年轻的妈妈在路上训斥3岁左右的儿子，男孩哭得很凶，妈妈不不问径直过马路，男孩哭着在后面追赶，追到后，妈妈又是一顿训斥，而后加快步伐，孩子哭着追赶，差一点被电动车撞上。先不说这种行为会对孩子心灵带来什么样的影响，路上来来往往的车已经造成严重的安全隐患。在当下，准父母们是否应该问问自己，是否准备好为人父母？在对于后代的照顾和抚养上，动物们自有一套，如《野性与温情——动物父母的自我修养》一书中写的。

人类作为高等级个体，从创造的繁华物质世界和高度的精神文明来看，的确有这个底气。但是，如果回到最本质的生育育女，尤其是对后代的抚养，人类和其他动物相比，似乎就没有那么可骄傲的了。

这本书里描述并介绍了各种类型动物的父母对孩子的抚养和教育。对于这些动物来说，它们赋予孩子最重要的一项能力就是生存能力。

非洲草原上，危机四伏，羚羊幼崽出生后不久，父母就要鼓励它们奔跑；为教会后代捕猎，虎鲸母亲往往要忍受饥饿之苦，面临海边搁浅的风险；即便是被人类视为冷血动物的泰山树懒，也会不可思议地用自己的皮肤喂养刚刚孵化的后代。

对于后代的爱，动物一点不比人类差。“老吾老以及人之老，幼吾幼以及人之幼。”这是孟子对于人类提出的道德要求。这在人类文明的今天，也并没有完全实现。然而在动物身上却屡见不鲜。

2009年中科院动物研究所任宝平博士和西华师范大学黎大勇博士在云南滇西北白马雪山保护区观察猴群行为的时候，记录到一起亲抚育（Allomaternal Nursing）案例。所谓亲抚育是指处于哺乳期的雌性动物对和自己没有血缘关系的后代进行哺乳、照顾。这是首次在滇金丝猴中发现义亲抚育，他们如实地记录了这一过程。

人类中收留别家孩子，可能出于道义、同情或者其他目的，滇金丝猴中为何会出现义亲抚育呢？我个人观点是，自然选择在人类中遇到阻碍，一个很重要的原因就在于文化的驯化。

相比之下，动物的社会要简单得多。在滇金丝猴的例子中，任宝平和黎大勇认为其符合亲代投资迷迭假说。哺乳期的雌猴照看自己孩子的时候，在激素分泌如催产素和催乳素的作用下，有利于和非亲缘形成临时的联系纽带，增加容忍度。

另一方面，滇金丝猴猴死亡率接近60%，孤婴不可能在没有母亲关怀和非亲母亲抚育的情况下生存。因此，义亲抚育有利于种群的延续。

当然，动物界也有确存在血腥的一面，比如杀婴行为。非洲草原上，新的狮王一旦登基——接管原来的狮群后，它所做的第一件事就是将原来狮王留下的孩子杀掉，以便让母狮尽快繁育自己的后代。

高山上繁育的金雕，可谓空中霸主。这位令无数动物闻风丧胆的空中霸主，对自己的孩子却是柔情似水。如果生了二胎或者三胎，这些父母也会为了孩子们的食物而发愁。赶上风调雨顺的年份，食物充足，只要辛苦些，食物都能得到保障。因此，我们通常可以看到一个巢中两只或者三只金雕都能成功离巢，翱翔蓝天。但遇到灾荒年份，金雕父母就犯难了。它们无法让每一个孩子都得到充足的食物。这个时候，它们不会搞平均主义，这样可能每个孩子都活不了。它们会让孩子们自由竞争，往往强壮的那一只会将弱小的后代杀死。虽是残酷，也是最无奈的时刻。

本书给我们提供了一个新的视角，人类不再是高高在上，无所不能。最起码在抚养后代上，人类并不特殊，并不比其他动物高级。

# 激情燃烧的三线岁月

■陈华文



《热血在燃烧：大三线峥嵘岁月》，鹤蛋著，北京十月文艺出版社2021年5月出版，定价：48元

“1964—1978年，三线地区建起1100多家大中型工矿企业、科研单位和大专院校。各种企业和工厂，陆续在西南、西北的深山当中建成。

上世纪60年代至70年代末期，在西北、西南广大地区进行的三线建设，对当下年轻一代而言，不免有几分神秘色彩。读长篇报告文学《热血在燃烧：大三线峥嵘岁月》后不难发现，三线建设其实并不神秘，那是一代人的豪情和干劲、青春和热血，他们谱写了一曲壮美的时代乐章。

本书中，作者对于三线建设并没有无节制地铺陈开来，毕竟三线建设牵涉到的地域广、领域广、时间长。她采取以点带面的方式，聚焦于上世纪60年代贵州六盘水三线建设，从一代人的青春、一座城市的诞生、一个国家的成长的角度，揭开尘封已久的历史，通过一个个感人的故事，全面展现三线建设那段峥嵘岁月，以及广大三线建设者感人的奋斗历程和他们的青春轨迹。

涉及三线建设主题的长篇报告文学，目前在国内并不多见，这部作品在一定程度上填补了这一题材的空白。所谓三线建设，是针对我国地理区域而言的。三线地区分为两大片：一是云、贵、川三省以及湘西、鄂西地区的西南地区，二是陕、甘、宁、青四省区以及豫西、晋西地

区的西北地区。

上世纪60年代，国际形势错综复杂，国内很多国防工业、工矿企业集中在沿海和东北地区，从国防布局、经济建设等各个维度看，东西部地区发展不均衡，制约了国家建设和发展。

1964年，三线建设拉开序幕。书中写道，当时各有关部门迅速展开西南、西北三线建设的具体部署，其方针是“大分散、小集中”“依山傍水扎大营”。三线建设规模之大、投入之多、动员之广、行动之快、人们积极性之高都是空前的，在“好人好马上三线”的号召下，全国数以百万计的建设者们，不讲条件、不计得失，从四面八方会集三线。

据统计，从外地迁入三线企业的建设者（不含家属）多达400万人。1964—1978年，三线地区建起1100多家大中型工矿企业、科研单位和大专院校，建成10条8000公里的铁路干线。各种企业和工厂，陆续在西南、西北的深山当中建成。

与此同时，涌现出一批特色新兴城市，除了本书中讲到的煤都六盘水，还有铜城攀枝花、汽

车城十堰等等。可以这么讲，三线建设举全国之力，这种力度和速度，在世界上也不多见。

参加过三线建设的人们，现在多数年过七旬了，回想起参加三线建设的岁月，他们都感慨万千。我是三线建设者的后代，家父曾参加三线建设工程襄渝铁路的修建，每当提及这段往事，我就倍感自豪。我也曾经想写写三线建设者的故事，可惜几次都中途搁浅。

鹤蛋和我一样，也有感于这段历史。2018年，她在六盘水水城县文艺扶贫时，发现了三线建设这个题材，就瞄准这个主题。

自2019年7月起，她多次专程到六盘水采访。先后到六盘水的钟山区、六枝特区等地深入生活，又到贵阳、清镇、盘州、遵义、六枝等地寻访“三线老人”，深入到三线建设者曾经工作过的地方进行调研，先后采访近百名三线建设者和三线后代等相关人员，查阅了大量历史资料，创作完成了这部30多万字的长篇报告文学作品。

地质勘探工作者是三线建设的先遣队，无论是修路架桥、选址盖房还是开发矿藏资源，都离

不开地质勘探。对于三线建设时期在贵州六盘水地区的地质工作者，本书拿出相当的篇幅书写他们的事迹。

那时地质勘探条件艰苦，书中提到，除了经验丰富的地质工作者加入到勘探队伍中，那些地质类专业毕业的青年学生们也加入其中。在条件艰苦的野外，他们吃了多少苦受了多少罪，只有他们自己最清楚。他们没有抱怨，也没有打退堂鼓。

当时的三线建设者们，在六盘水用“不想爹不想妈，不出煤不回家”的气概，用“献了青春献终身，献了终身献子孙”的精神，累积为共和国贡献了13亿吨煤、4600亿度电、5900万吨钢材和近万吨水泥。

对于三线建设的意义，社会学家费孝通曾说，三线建设使西南荒寒地区整整进步五十年。

三线建设的年代虽然远去，但是其留下的奉献精神、艰苦创业、团结协作、开拓创新的品质，无论现在还是未来，都是一笔宝贵的精神财富。