

生命真的可以合成吗？

——贝塔朗菲与合成生物学的隔空对话

■唐兴华

当科学家宣布“人造细胞”诞生,当基因可以像电路一样被设计与组装,一个古老的问题被重新推到聚光灯下:生命,真的可以被“合成”吗?这个问题表面上需要实验室研究和工程图纸设计,背后却涉及我们如何理解“什么是生命”这一最根本的哲学命题。

要回应“什么是生命、生命可以被合成吗”这个问题,我们需要回到系统生物学的创始人路德维希·冯·贝塔朗菲那里寻找答案。早在 20 世纪上半叶,他就在《生命问题:现代生物学思想评价》(以下简称《生命问题》)和《一般系统论:基础、发展和应用》(以下简称《一般系统论》)两部经典中,对生命的问题进行了深刻思考。

《生命问题》被认为是引发了生物学领域的一场“哥白尼革命”;《一般系统论》则从生物学领域,将系统观念扩展到所有科学领域,提供方法论基础。

2025 年北京大学出版社将这两本书纳入“科学元典”系列重新翻译出版,新译本不仅在本语上更贴近原意,还把原本的“译者前言”扩展为“导读”,细致梳理了机体论与一般系统论的思想。重读这位先驱的思想会发现,经典思想像一座灯塔,为智能时代的生命科学发展照亮前路、校准方向。

生命问题的传统抉择:机械论与活力论交锋

在贝塔朗菲之前,机械论与活力论作为生物学领域长期激烈争论的生命观,都走入了死胡同。机械论把生命视为一台机器,认为只要将它拆成微小的零件——细胞、分子、原子,再用物理学规律加以解释,就能掌握生命的全部秘密。机械论用简单还原观点将生命现象看作孤立的因果链条,将生命看作各基本单元“累加”的结果。生物体与非生物体并无差异,正如物理学家薛定谔所言,“在生物体内部发生的事件必须遵循严格的物理学定律”。机械论忽视生命的整体性,否认各部分之间的相互作用。

活力论不否认生命是各个基本单元的总和,看到了生命的整体性。但活力论的问题是把这种“超越部分之和”的整体性归因于一种神秘的“活力”或“灵魂”,设想它们由一位神秘的工程师在控制并补充其养分,忽视了生命现象的科学解释。

贝塔朗菲敏锐地指出,这两种看似对立的思想其实共有一个隐含前提:生命无非是各个部分的“加和”。机械论否认部分之上还有“什么”,活力论则把“什么”推给科学之外的神秘力量。它们都忽视了一件至关重要的事情——对部分与部分之间关系的科学分析。

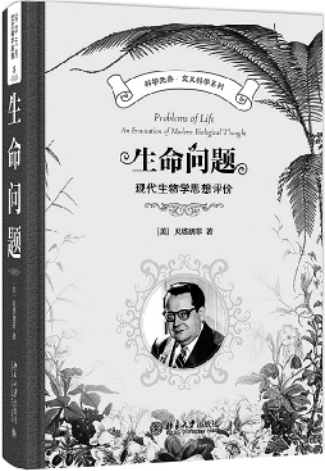
将生命看作系统的机体论

为破解这一困局,贝塔朗菲在《生命问题》中提出了“机体论”。机体论生命观为现代生命科学的发展提供了新的研究范式,亦是创建一般系统论的理论起点。在贝塔朗菲看来,生命是一个有组织的系统,各个部分不是孤立运作的,而是在相互作用和关联中共同构成了整体。有机体作为一个整体,会“涌现”出任何一个单独部分所不具备的性质,存在各部分之和所不具备的功能。

机体论并非否认部分的作用,而是强调整体不等于部分之和,强调生命的独特性和整体性。正如细胞不是分子的堆积,个体也并非器官的简单加总。正是这种整体性,使得生物系统呈现出协调、动态、调节、自我维持和修复的特征。

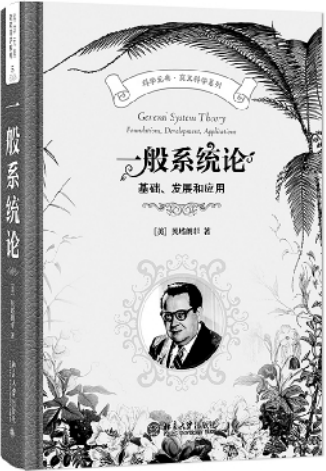
在贝塔朗菲看来,活的有机体具有几个无法被还原的特征:整体性,即部分之和不等于整体;动态性,即生命是物质和能量持续流动的状态;开放性,即必须不断与环境交换才能维持自身;等级性,即高层级会涌现出低层级所不具备的新性质;目的性,即自我调节存在于系统本身,而非外部神秘力量驱使。机体论在方法论上既承认对生命的“还原分析”,又强调“整体涌现”,是系统研究方法“还原+系统”的综合运用。

贝塔朗菲不仅用机体的视角看待生命,更敏锐



《生命问题:现代生物学思想评价》,[美]贝塔朗菲著,吴晓江译,北京大学出版社 2025 年 1 月出版,定价:69 元

《一般系统论:基础、发展和应用》,[美]贝塔朗菲著,魏宏森、林康义等译,北京大学出版社 2025 年 11 月出版,定价:88 元



地发现生物学、物理学、心理学以及社会学领域都能用系统进行解释。这种思维方式从系统的角度揭示了事物、对象之间相互联系和相互作用共同本质和内在规律性。

他在《一般系统论》中把机体论提升为一套跨学科的研究纲领,即一般系统论。一般系统论力图找到适用于各种系统的模式、原则和规律,为科学的统一或者科学的整体化提供一个方法论基础,塑造新的系统世界观。作为 20 世纪最有影响力的科学思想,一般系统论为后来的控制论、信息科学以及系统生物学奠定了思想基础。

从《生命问题》到《一般系统论》,贝塔朗菲的身份也从生物学家变成“系统科学奠基人”。他实现的不只是一次理论提升,更是一场世界观革命。

合成生物学:贝塔朗菲思想的当代回响

贝塔朗菲的机体论和一般系统论提出多年,其所带来的世界观革命并未过时,依旧在最新的生命科学领域绽放光彩。合成生物学作为 21 世纪备受瞩目的生命科学,是生物学科的必然发展,亦是对贝塔朗菲机体论和一般系统论的当代回应。合成生物学正以具体实证的方式延续着古老的研究方法。法国化学家斯特凡·勒杜克提出生物学要走一条描述、分析、合成的道路。

传统生物学无论是从“还原”还是“系统”的方式去理解生命,都是对生命的描述和分析。合成生物学颠覆了传统生命的研究范式,不仅要分析生命,更力图“合成”生命。合成生物学利用工程学原理,从构成生命的基本单元出发,设计和合成复杂的生命。

合成生物学遵循“自上而下”和“自下而上”的研究路径。“自上而下”是从完整的生物体出发,删减基因,得到能存活的“最小基因组”。“自下而上”指的是用非活性的分子零件组建新生命。

合成生物学将复杂的生命体拆分成可研究、可设计的基本单元,用零件合成出复杂生命。乍一看,貌似是机械论的胜利,遵循“拆分”的思路,但其实不然。“拆分”只是合成生物学的一个环节,并不能仅通过“拆分”和“还原”就完成对生命的认识。合成生物学的“整合”发生在瞬间,当被设计好的元件按特定的目的重新组合成回路,新的生命体涌现出零件本身所不具备的整体功能,自然界不存在的人工生命体就出来了。

“拆分+整合”的方法,将定量设计和整体研究结合起来,这是贝塔朗菲“线性分析和整体互动”的“还原+系统”研究方法的延续。

合成生物学特有的“拆分+整合”的思路意味着,一方面,承认还原论的价值,必须深入了解每个基因零件的功能,利用标准化的生物元件,才能在有目的的设计下精准设计生命系统;另一方面,它更强调整合的必要性,仅仅知道所有零件还不够,关键在于这些零件如何按照特定目的组合涌现出整体功能。贝塔朗菲所说的“分析与综合的互补性”,在今天

得到了最具体的科学呈现。

此外,合成生物学还以一种贝塔朗菲未曾料到的方式回应了他的整体论。合成生物学借助“硅细胞”模拟、人工基因组合成等实验手段,让整体的相互作用网络一步步可视化、可计算、可重构。“生命的关系网络”不再是哲学口号,而成为可被设计、检验和拓展的对象。从这个意义上说,合成生物学并不是对机体论的终结,而是机体论思想在当代的回响。

当生命可以被合成,我们更需要回到经典

生命真的可以合成吗?合成生物学未来能走向何处,该如何走?这是合成生物学的问题,更是生命科学的挑战。

贝塔朗菲的机体论和系统论为我们理解这些问题提供了借鉴意义。在方法论上,合成生物学的“拆分+整合”融合发展了贝塔朗菲的“还原+系统”。而在本体论层面上,合成生物学丰富了生命的涵义,打破了自然与人工界限,将二者结合起来。合成生命的基因序列是人工设计的,但它一旦被“激活”,就能按照生命本身的规律自主生长、代谢、繁殖。

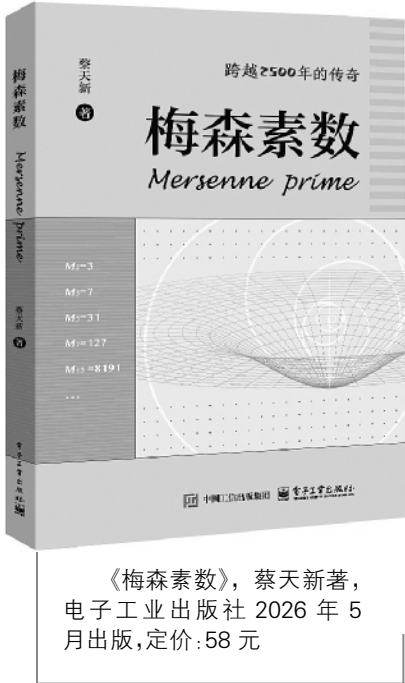
合成生物学告诉我们,生命可以被设计;而机体论提醒我们,被设计生命依然会涌现出超越设计者预期的复杂性,这种复杂性更值得我们重视。在技术飞速发展的时代,贝塔朗菲留给我们最重要的遗产,也许正是这份对生命整体性的敬畏,在承认技术创造力的同时,使我们看到生命的复杂性和“涌现”,从整体理解生命。贝塔朗菲对生命的理解和对生命的分析方法,被系统生物学和合成生物学所继承发展。

在人工智能、大数据和合成生物学并行发展的今天,一般系统论的现实意义反而更加突出。贝塔朗菲指出,当今世界,我们面临一个相互依赖的地球共同体,这一全球系统是人、技术与环境高度耦合、深度互嵌的复杂系统,地球在新的意义上成为一个相互依赖、不可分割的整体。这也正是我们生活的“人类世”。

《一般系统论》中将“一般系统论”的分析框架延伸至从微观个体到宏观地球的不同层次,为我们理解“人类世”中人类个体、技术系统、生物群落和整个地球这些多元行动者提供了新视角。他反复强调,人是“两个世界的居民”——既是生物学意义上的生命体,也是社会文化中的存在;生命问题不仅是技术问题,更是事关人的自我认识的哲学问题。面对合成生命带来的伦理与哲学挑战,我们不能仅从技术层面作答,更需要从整体系统的视角,综合考量生物学、哲学、伦理学与社会学的多重维度。

在合成生物学不断推进、“人类世”加速到来的今天,重读《生命问题》和《一般系统论》,不仅是回望思想史的源头,更为我们走入新生命纪元,准备了一份必要的哲学行装。越是先进的技术,越呼唤经典思想的烛照,这或许正是贝塔朗菲与合成生物学这场“隔空对话”留给我们最珍贵的启示。

(作者单位:中国地质大学(北京))



《梅森素数》,蔡天新著,电子工业出版社 2026 年 5 月出版,定价:58 元

有 23249425 位。可能是因为 50 这个整数的缘故,日本一家叫虹色的小出版社在不到一个月的时间里出版了一本名叫《2017 年最大的素数》的书,全书共 720 页,没有任何文字,只有一个数字,那就是第 50 个梅森素数。此书出版后第 4 天,首印的 1500 册图书便销售一空了。

那么, AI 能否找到第 53 个梅森素数? 能否找到第一个奇完美数? 相信数学界和信息技术界许多业内人士已经在期盼并动手了。

(作者系浙江大学教授)

II 书后

跨学科研究

思想是没有限制的,这是《技术之耳》这本书的底色。

《技术之耳》由我的博士论文改编而成,出版时改动很少。改动的部分包括,一是把晦涩的理论部分做成了附录,二是打磨了不甚精湛的文字。经常有人问我,这本书属于什么领域?我总是回答:声音研究。

声音研究是近 20 多年来国际新兴的跨学科学术领域,学术界通过使用多元的理论和研究方法研究声音的各个维度。然而,声音研究在人们对传统学科的固有认知中不算是一个专业领域,难以理解。换个方式来讲,这属于科学、技术与社会(STS)的研究范畴,主要采用技术社会建构(SCOT)作为理论支撑。在研究方法上,采用人类学田野调查和定性采访的方法。

本书的内容基于我在美国康奈尔大学 STS 系博士联合培养期间,在北美的录音室和音乐厅进行的为期一年的田野调查。当时,我对康奈尔及其周边的多位钢琴家、声音工程师和钢琴技师进行多次定性采访。对琴这种技术物,进行了 STS 史研究;对于声音技术,进行了技术社会学研究;而通篇的思辨,尤其是最后一章,是技术哲学研究。

总体来说,整个研究跨学科,不是因为隶属某一领域而使用该领域的理论和方法,而是根据具体研究的问题和思考的进程采用所需的理论和方法。

声音是多方共同创造的结果

从书的封面可以看出这本书所要讲述的故事——琴的黑键是由人构成的,寓意琴的声音是由人生成的。

琴,从古琴到现代钢琴再到电钢琴,是由钢琴技师设计的。钢琴声音,是由弹奏钢琴的钢琴家、作某曲的作曲家和给某琴调音的钢琴技师共同生成的。而钢琴声音流入市场,流向手机、广播、电视、电脑、网络等媒介而被传播形成的钢琴声音制品,则是由录音师,也叫声音工程师经由前期录音和后期制作生产出来的。

因此,《技术之耳》分为两部分。上半部分研究琴,从有键盘的弦乐器,到被称为“古钢琴”的家族,再到聆听现代钢琴的迷思——钢琴内是否有钢?钢琴与古钢琴的区别是什么?被我们称之为钢琴的这个家族究竟是何物?

下半部分研究录音技术,考察钢琴声音是如何生产出来的。一些钢琴录音发生在录音室内,但由于钢琴的特殊性——体积大、重量沉、不易搬运,钢琴录音也发生在音乐厅里。此时,音乐厅就作为录音室而存在。于是,我深入录音室和音乐厅内,考察在钢琴声音发生的地方,声音究竟是如何生产和制作的。

这正如技术的社会建构理论所强调的,到应用某技术的场地中去,考察该技术是在哪里被使用的,使用者究竟是如何使用该技术的。钢琴声音的生成,发生在录音室和音乐厅,是由钢琴家、作曲家、钢琴技师以及声音工程师,有时还会有制作人共同生成的。前期录音阶段,钢琴家弹奏钢琴曲;如果作曲家也在,作曲家对于钢琴家如何演奏自己的曲目有指导作用,甚至决定最终作品是否过关。从表面看来,钢琴作品就是由钢琴家和作曲家共同创作的。

实则不然,有另外两个角色长期被忽视了。

一个是钢琴技师。每一架琴都是有性格的,而该琴的性格是由钢琴技师与琴共同协商而成的。钢琴技师可以把一架琴调得温婉可人,也可以调得桀骜不驯;而琴的性格最终决定了钢琴作品的感觉。另一个是录音师。录音,顾名思义,就是把声音记录下来,而这恰恰是对录音工作的最大误解。录音从来不是还原音源的声音,而是对于音源声音的再创作。拾音器,也就是我们俗称的话筒,种类各式各样五花八门;拾音方式,也就是如何选择设备、如何搭建设备、如何录制声音,更是千变万化。

录音师会根据自己对音乐家的理解,对作品的理解,对想产生声音的感觉的把握来选择如何录制声音。因此,录和制是不能分开的,录的过程就是制的过程。事实上,前期录音仅仅是获得了素材,结束后,录音师的镜头戏才刚刚开始。尽管素材的好坏在很大程度上决定了最终成品的优劣,但后期制作的技术力量更加强大——如今的音频技术可以修改错误的、消除不想要的、创造不存在的。从剪辑到音效再到混音,玩法千奇百怪。

技术已没有限制,有限的只是想象力。一位声音工程师可以把一架钢琴的弹奏录制得像一百架钢琴共同弹奏的感觉,也可以把一百架钢琴的声音制作得如同一架;可以让悲伤的音乐听起来愉快,可以让轻松的乐曲听起来愤怒。

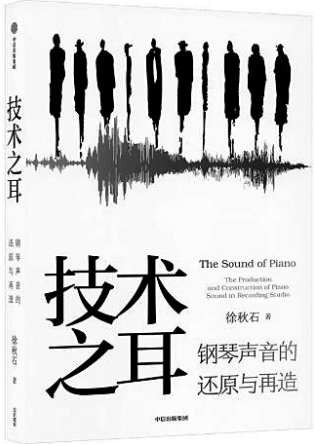
这也是为什么录音师更名为声音工程师或声音艺术家的原因了。声音技术就是他们手中的乐器,用来进行艺术创作,实现包括钢琴家、作曲家,以及他们自己在内的所有人的共同想法。

钢琴技师和声音工程师在整个钢

看

一本关于听的书

■徐秋石



《技术之耳:钢琴声音的还原与再造》,徐秋石著,中信出版社 2025 年 9 月出版,定价:88 元

琴声音的生产和制作过程中都发挥着举足轻重的作用,然而他们的隐性力量却长久不为人知。当揭示了他们手中的技术力量时,钢琴声音的故事随之发生了变化。

钢琴音乐不仅是作曲家和钢琴家的作品,还是钢琴技师和声音工程师的作品。大众通过各种渠道听到的钢琴音乐,是由钢琴家、作曲家、钢琴技师和声音工程师共同创造的声音制品,甚至声音工程师对于最终声音产品的模样具有决定作用。大众对于钢琴、钢琴声音和钢琴艺术的理解在很大程度上是由钢琴声音制品建构的。因此,声音技术不是一个单纯中性的技术,而是一种艺术创作,参与塑造一个时代的听觉文化。

为什么研究声音:对于熟悉事物的反思

那么,了解这样一个新的故事有何意义?

这是我近年来遇到最多的问题。为什么研究声音?研究声音有什么意义?研究钢琴声音有什么用?

学术研究源于好奇,源于对现实生活的反思。我自幼弹钢琴,取得过不错的成绩,钢琴是伴随我成长的伙伴,是我沟通自我和感受世界的一种方式。

在我的学术历程中,本科学习的就是录音艺术;硕士研究方向是文化创意产业,以文化研究为主导;博士研究的是科技哲学,恰逢导师是声音研究领域的领军人物特里弗·平齐(Trevor Pinch)教授。于是,天时地利人和,以钢琴声音的生产和制作对象进行 STS 领域的声音研究,顺理成章地把我过往的经历串联在一起。

钢琴、录音,都是我熟悉的,对于熟悉事物的反思则充满意味。熟悉并不意味着理解,重新反思自以为熟悉的事物开启了一种新的认知方式,而认知方式的转变则书写了一个全新的故事。

意义和价值都是建构的。这个世界有太多价值评判标准,有太多重要的事物,重要之中还分等级。能够欣赏“无用之美”,是一种勇气,也是一种智慧。

我的博士学位论文原题《琴之声——钢琴声音生产与建构的录音室研究》,出版时标题改为《技术之耳:钢琴声音的还原与再造》。其中的“耳”,意指一种由技术不断塑造的听觉能力与认识方式。从留声机到数字录音,技术不仅改变了钢琴声音的生产与传播,更重构了人们何以听、如何听、听什么,以及什么被认为是“真实声音”的认知。

所谓“技术之耳”,既是技术拥有的耳朵,也是被技术塑造的人类之耳,更是一种通过听觉重新理解现代技术社会的方法。

(作者单位:南方科技大学)