

·科学论坛·

由航天技术的发展认识仿生科学的价值

赵金才

(上海宇航系统工程研究所,上海 201108)

[摘要] 仿生学是在认知概念上使我们得以最恰当地把握人与自然的关系,通过科学活动的现代结构体系,加以快速发展的学科。在航天科技的发展过程中,科学探索和技术应用同时存在,大量的科学问题转化为实现的方法和工程技术问题。认识的超前、系统的庞大、投入的巨大和技术转化滞后,会在技术上呈现出螺旋式上升的超前性和延迟效应。系统的复杂性和解决问题的难度,需要边缘学科、交叉学科的渗透和融入来解决创新与突破的问题。通过仿生科学对航天技术的启示分析,仿生学的发展为技术的突破和复杂问题的解决,提供了一条有效的途径和最大的可能。由航天技术的发展认识仿生科学的价值和重要性,对仿生学的发展有着重要的启示作用。

[关键词] 仿生学,系统论,航天科技,系统工程,发展战略

1 引言

当今社会,由于科技的快速发展,新的学科不断涌现,其中仿生学是在认知概念上使我们得以最恰当地把握人与自然的关系,通过科学活动的现代结构体系,加以快速发展的、最有价值的学科之一。仿生是模拟,是相似、相通、相近等原理和准则的应用,并有着由表及里、由简单到复杂、由现象到本质、由特殊到普遍的特征,决定了在发明创造和科学技术应用的过程中最具创新和发明的特点。

中国航天奠基人钱学森院士曾经讲到“物艺相通”。他在我国航天事业的发展中,创造性地应用了系统论,并发展了系统工程的理论和方法。用系统的相似准则可以推而广之,得出“物经相通”、“物生相通”之道。前者讲“物”,即理性和实证的科学技术与艺术是相通的。而实际上实证的科学技术与由看不见的手掌控的经济、生态和社会的发展,都有相通和相似的准则,这可以通过科学技术和哲学的研究加以证明。因为“人类对自然的认识绝不是简单的临摹,而是依赖于人类的认知概念框架,对自然主动地进行同化和建构的结果”^[1],航天科技的发展充分说明了这一点。本文意图抛砖引玉,应用航天系统论的相似准则,认识仿生学的科学价值。

2 航天技术的仿生特征

航天系统本身与人的结构有许多功能上的相似之处,其实就是仿生的产物。航天器的发展越是进入高级阶段,仿生的特征就越明显,仿生技术的应用就越能得到充分发挥。从某种意义上讲,是由简单到复杂,由初级到高级的仿生过程。早期的航天器只是一个简单的工具,性能和功能单一。初期的卫星就像人的幼年时期,最早的功能就是睁眼看世界,解决观察、认识事物的目的。早期的探测类卫星解决看到和记录的问题,技术上主要也是研究解决“稳定和仔细地看”的问题;再发展又有了听和说的问题,发展了通讯类、广播类、导航类卫星,而在技术上扩展到“听得多和讲得快”的问题;再后又要看,又要撞、抓、拿、运、转、组、分、联网等等。随着科技的不断进步,再发展就要发展高智能的航天器,就是自主探测、自主规划的航天系统。除了提供基本的卫星平台功能,如:结构、能源、动力、导航与控制、测控、数管和热控外,依照任务的需要和分工,会派生出各种各样的智能化功能和载荷,提供定位、态势感知、判断、信息处理、生命保障、决策、执行、风险规避等等。这样就变成了一个类似成熟的高级生命的智能自主系统。由此带来了系统的复杂性和解决问题的

本文于2005年11月28日收到。

难度,就需要一系列仿生技术的加入来帮助解决问题,如果搭载航天员,仿生科学和仿生技术的应用更是必不可少。

例如,发射“神舟五号”载人飞船的 CZ-2F 火箭是由我国最可靠的 CZ-2 火箭改进而成,发射“神舟一号”到“神舟四号”,一级飞行约 144 s,没有发现过火箭的异常问题,说明火箭在性能、结构和可靠性方面是有保障的。“神舟五号”载人飞船在飞行中,各项遥测数据显示正常,飞行是安全和可靠的。但我国首位航天员杨利伟曾在某一刻(飞行 120 s 时)感到很“难受”。那么,这一时刻的“难受”意味着什么?有什么样的隐患?如果通过常规的试验查找根源,费时费力,复现“现象”很难,判断和验证“问题”更难。用仿生科学的方法就很有效,通过火箭动力学分析和生命系统动力学的仿生系统综合分析及问题定位,利用系统的方法能够较快地确定其为新的 POGO(液体火箭纵向耦合振动)现象。当某时刻的液体推进剂输送与火箭结构产生纵向耦合时,就会有 POGO 发生,过去 POGO 在设计上是从避免星、箭结构的耦合考虑,确保载荷的可靠和稳定工作,并没有考虑到火箭的心脏与人的心脏会有某些有关联的相似性。因为“神舟五号”载了人,新的 POGO 发生恰好是人体器官的固有频率,意味着出现了短暂的共振,人自然就感觉到“难受”了。自然而然,解决的办法也是仿生的相似准则。独特的成因缘于不同的系统环境,搭载航天员带来了系统的复杂性和某些没有预见的问题,也是航天高风险性的特点。事实上应用仿生科学和技术能够有效地帮助预见和解决问题,减少风险,降低成本,“在载人航天史上,动物航天起到了‘先驱’的作用”^[2],航天大国载人前要进行大量的搭载动物试验就是用动物进行仿生,以检验生命系统承受空间环境和降低风险的科学体验。

3 航天的系统思想与仿生的价值体现

航天技术与航天产品有很大的市场需求,更有许多技术功能和衍生产品能够加速社会的技术进步和应用范围,扩大认识宇宙、利用自然资源的能力。但就航天系统工程而言,面临许多客观存在的技术问题,限制了其性能的进一步提高和功能的发挥,导致了成本增加。因为在航天科技的发展过程中,科学探索和技术应用同时存在,甚至同时进行。大量的科学问题转化成为实现方法和工程技术问题,导致航天工程系统复杂、技术密集、可靠性高、综合性

强、风险性大和研制周期长等特点。认识的超前、系统的庞大、投入的巨大和技术转化滞后,又会在技术上呈现出螺旋式上升的超前性和延迟效应,即最前沿的科学探索和最新、最高的技术成果与几十年前的技术产品会同时在一个大系统大量存在。一方面是系统的部分或局部在技术上、性能上已经发展到较高水平甚至极点,另一方面,又有相当一部分技术已经落后,无法突破,不能满足发展的要求。只有在材料、结构、工艺、方法或大系统等方面的创新有了质的变化,才能有根本性的改变,这既需要从系统方面考虑,也需要具体的技术在局部加以解决。仿生科学为这样的技术发展和问题解决,提供了最有效的途径、最好的方法和最大的可能。

例如,早期在航天领域要解决导弹、卫星用导航设备的问题,采用移植舰船导航技术,然而,就是最好的技术也会因为应用条件和环境的非相似性,制约系统的性能,而仿生技术的研究则带来了技术上的突破。受苍蝇平衡器后翅的启示,航天科学家成功地研制了体积小、重量轻的“谐振陀螺仪”,代替了笨重的“惯性导航仪”,应用在飞机、火箭及空间飞行器上,大大提高了制导与控制系统的性能。近期,美国佛罗里达州立大学航天及机械工程系的助理教授拉普夫发现马腿骨头的构造十分奇特,马腿第三掌骨上有一个毫不起眼的天然小孔,这个小孔不仅能使血管穿入骨组织为其供血,还具有“与众不同”的力学性能——马腿掌骨承受压力时,掌骨会自动把小孔所承受的巨大压力分散到周围的坚固部位,使马腿能在奔驰中单腿承受身体重量和空气阻力带来的强大压力。他的研究小组以电脑模型为基础,制造出一块“仿生板”,作为应用于飞机或宇宙飞船材料结构的原型,以此来模拟马腿第三掌骨小孔周围的骨构造。对“仿生板”进行的试验表明,“仿生板”承受压力的能力很强,与马的第三掌骨在承受压力时的表现一样,即便发生断裂,断裂位置也会出现在远离小孔的地方。

又如,减重是研制高性能仿生智能飞行器的关键。自然界许多飞行生物体的材料和结构具有超轻质、高强度、自适应变形等突出性能,如蜻蜓和一些昆虫的翅膀都是由质量非常轻的网状翅脉和薄膜材料构成的。对于这类超轻质生物材料的组成和它们的理化与机械性能,目前还缺乏足够的了解,在使用的形式和材料、结构一体化的优化设计方面也无可利用的成熟方法。因此,迫切需要对自然界许多飞行生物体的结构、材料和它们适应外界环境,进行自

适应变形等突出性能,做进一步深入细致的观察研究。由加拿大多伦多大学和美国加州 SRI 国际研究公司共同开发的仿蜻蜓飞行姿态的扑翼飞机已试飞成功。美国国家航天航空局(NASA)对这种模仿生物飞行、可用于行星探测的飞行器表现出极大的兴趣。

目前,NASA 的喷气推进实验室已经启动扑翼飞机的研究,成功试验了仿蜂鸟和蜻蜓的自主控制和导航系统,并希望在 2009 年火星探测任务得到应用。美国新一代航天飞机将借鉴马腿掌骨结构。新的航天飞机的设计在大量应用仿生技术来解决技术发展的瓶颈问题时,也应用了系统思考的方法。

航天科技的发展,在思想上最成功的经验之一一是应用了系统论和发展了系统工程的理论和方法。钱学森的系统科学理论和实践是马克思主义哲学与现代科学技术、中国传统文化的结合,是交叉科学前沿领域综合集成的开创性成果,是解读和落实科学发展观“智慧的钥匙”。系统的思想和研究方法,有很多相似准则和前提,仿生也如此。一般情况是,大型动物更多地受地心吸力和惯性的控制;小型动物则更多地受附着力、流体黏沾力和张力等表面力的控制;植物则体现出结构、材料和静力学的特征,“树木的根系则呈现明显的建筑结构”^[3]。潜艇仿生的对象是鲸鱼类的体态和大洋中航行的特征,符合尺寸相似准则。对蝙蝠的仿生在于搞清楚它在黑暗洞穴里的飞行方向和对物体的辨别能力。蛇为爬行动物,腹地而行,视野受限,它最灵敏的感官是什么?是对温度、湿度和振动的高度敏感性,红外制导的响尾蛇导弹由此而诞生。大象的特征为体大、耳大和鼻子长,其仿生的价值体现在什么方面?有可能对超低频有奇特的敏感性,那么对地震测量、海啸的传播和预警研究有价值。系统的思想和方法就是这种由定性到定量的分析,再到科学验证的综合集成。它为复杂性问题研究与科学决策提供了一种现实可行的组织形式与运行机制,仿生学的研究是完全可以借鉴的。

仿生学就仿生概念而言,自古有之,中华民族灿烂的文化,蕴藏着无数的仿生之道,“古代的中国人用以表达体验的,有象,有数。但就根本而言,数也是一种象,或者说,数是象的“特例”^[4]。中国的文化表象曾经被排斥在科学的大门之外,曾几何时,随着近代西方文化的冲击和科学的发展遭到破坏。对科学的传统理解是静态的、单线条的,“事实上,近代科学只是机械宇宙象的模拟”,大致适用于古典科学。

现代科学则可以认为是一种人类活动,需要兼容中西方文化的精华,这种认识得到了广泛认同。例如,“近年来从西方传来的分维、分形理论的研究,很快便获得了广泛应用。因为分维、分形数学主要为幂函数,正反演都很容易,应用时则完全属于反演,故近几年迅速得到推广。《周易》中“大易以逆为用”的原理在这里又一次得到证明^[5]。再如,在分子生物学领域,1957 年苏特兰德发现了环腺一磷,1963 年普赖斯发现了环鸟一磷,二者在生命活动及疾病过程的发生发展中都起着一定的作用。1973 年戈德伯格则从《太极八卦图》得到启示,认为环腺一磷和环鸟一磷,就是体内两种对立的调节,与东方医学中的“阴阳”相似,很可能是“阴阳”的物质基础,从而提出了著名的“阴阳假说”。在分子生物学的研究领域里,占有了一定的地位^[6]。这些可以说是中国文化、系统思想与现代科学的结合,也代表了对仿生的进一步认识。

仿生研究要有超前意识和前瞻性。要善于提出问题,细观察、多思考,注重本质,以系统性、目标性、整体协调性和最优化的原则,结合当代科技发展的趋势为仿生科学寻求最有效的发展模式,争取并保持领先地位。仿生的价值在于依照相似准则和前提,按照生物系统的结构和性质为工程技术提供新的设计思想及工作原理,并找到新的更加经济、合理、高效和可靠的方法。仿生学研究,就科学方法和技术应用而言,在我国还处于起步和快速成长阶段,特别需要用系统的方法进行思考,用现代科学方法加以验证,借助中华文化的精髓和科学技术哲学加速推进与指导。要以比“古为今用,洋为中用”更加开放的思想,对科技发展进行崭新的理解,才能跻身世界科技强国之林。仿生学乃集中西文化精髓于一身的科学,其价值还体现在孕育着无穷的智慧和顽强的生命力。仿生技术的延伸、拓展性很强,一项仿生技术的突破,往往带来一个技术领域的根本性转变,从而带动一个行业、一个产业或若干个领域的发展,带来无限的经济价值和商机,是最有可能在科学技术领域实现跨越式发展的交叉学科。

4 结束语

随着现代仿生学的建立,近 40 年以来,大量的仿生技术应运而生,创造了无数的财富。国际上仿生研究发展惊人是在于认识的深刻、方法的科学和在战略上的高度重视。尤其美国,应用仿生研究在很多方面取得了重要突破,特别是在军事科学和生

物科学方面充分体现了仿生技术的价值。我国的仿生学研究处于起步加速阶段,采用仿生科学技术战略发展的专业与企业少之又少,所以,从航天技术的发展认识仿生科学的价值和重要性,对仿生学的发展有着重要的启示作用。

参 考 文 献

- [1] 李大椿. 科学技术哲学导论. 北京: 中国人民大学出版社, 2005, 67.
- [2] 沈羨云. 动物航天的意义. 中国航天, 2002, 7: 33.
- [3] 赵鑫珊. 建筑是首哲理诗——对世界建筑艺术的哲学思考. 天津: 百花文艺出版社, 1998, 617.
- [4] 谢松龄. 天人象: 阴阳五行学说史导论. 济南: 山东文艺出版社, 1991, 154—167.
- [5] 李树菁. 《周易》与现代自然科学的研究远景蔚然可观. 周易研究, 1992, 2: 4.
- [6] 张微. 中华五千年历史之谜. 沈阳: 辽宁画报出版社, 2003, 365.

VALUE OF BIONICS RECOGNIZED THROUGH THE MEANS OF AEROSPACE TECHNOLOGY

Zhao Jincai

(Shanghai Aerospace System Engineering, Shanghai 201108)

Abstract On the basis of perception, bionic can help us grasp the relations between the human and nature. By the agency of modern structural system of scientific activities, the subject got a great of development. In the process of aerospace technology development, scientific explore and technical application coexist, and also a great number of scientific problems are converted into feasible methods and engineering problems. By contrast to the advanced perception, enormous system and great investment, the much hysteretic technical conversion will make the advanced development and delayed effect ascend as the helix style. The complications of system and the difficulties of solving problems require for referring to some interdisciplinary to solve the problems on the aspect of innovation and breakthrough. By means of analyzing the revelations brought by bionics for aerospace technology, the development of bionics provides the most effective means and possibility for breaking through the technology and solving the complicated problems. The development of aerospace technology provides us a channel for recognizing the value and importance of bionic, and so it gives a full play to the development of bionic.

Key words bionics, systematology, aerospace technology, systems engineering, development strategy