科 学 年 鉴

（1984）

〔美〕威廉 H. 诺尔特 主编

科学出版社

1985

China 需要全本请访问 www.ertongbook.com

Editorial Director: William H. Nault

SCIENCE YEAR

The World Book Science Annual

World Book, Inc.

1984

科学年鉴

(1984)

〔美〕威廉 H. 诺尔特 主编

责任编辑 王晓华 鲍建成

科学普及出版社出版

北京朝阳门内大街 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

*

1985 年 11 月第 一 版 开本：787×1092 1/16

1985 年 11 月第一次印刷 印张：13

印数：0001—8,000 字数：302,000

统一书号：13031·3043

本社书号：4825·13—18

定价：2.40 元

China

目　　录

专　题　论　述

帮助父母喂养弟妹的椋鸟大家庭 …… J. W. 菲茨帕特里克，G. E. 伍尔芬登（1）
人造肌体 …… W. J. 克罗米（8）
来自天空的酸 …… M. 小维西奇（15）
生物发光的秘密 …… B. 帕特鲁斯基（21）
终身的疱疹 …… R. W. 海曼（28）
美国的废物处理 …… T. H. 莫氏二世（34）
阿法尔三角地带的丰厚遗产 …… J. E. 卡尔布（42）
人类起源的分子线索 …… G. 亚历山大（48）
颜色的物理学 …… K. 纳赛（54）
绘宇宙之图 …… M. J. 盖勒（58）
癌与遗传的联系 …… B. 梅尔茨（64）
磁性新貌 …… J. 特里菲耳（71）
大地上的补丁 …… A. 考克斯，D. C. 恩格布雷森（78）
光合作用的研究前景 …… J. J. 卡茨（84）

学　科　进　展

天文学 …… （89）
物理学 …… （99）
化学 …… （111）
能源 …… （115）
电子学 …… （118）
空间探索 …… （124）
地球科学 …… （128）
动物学 …… （138）
植物学 …… （143）
生态学 …… （145）
神经科学 …… （149）
分子生物学 …… （151）
遗传学 …… （156）
心理学 …… （158）
农业 …… （160）
营养学 …… （164）
医学 …… （166）
免疫学 …… （176）
公共卫生 …… （178）
药物学 …… （181）
考古学 …… （184）
人类学 …… （189）
环境科学 …… （192）
科技新书 …… （195）

科学奖金和奖励 …… （199）
一年来逝世的著名科学家 …… （203）

China

专　题　论　述

帮助父母喂养弟妹的樫鸟大家庭

菲茨帕特里克　(John W. Fitzpatrik)*
伍尔芬登　(Glen E. Woolfenden)

佛罗里达州灌木丛林中的樫鸟，以子女帮助父母喂养弟妹的合力喂养，来对付鸟口拥挤的环境。子女们推迟自己的生育来帮助家庭。

这是佛罗里达州中部一个薄雾笼罩着的春天的早晨。在一片密而矮小的栎树灌木丛林里，一只蓝灰色的鸟——樫鸟的一种——静静地伏在她的经过伪装的、用树枝和棕榈树纤维编织起来的窝里。她一边发出低而柔和的声音，一边看着她的配偶嘴里衔着一只青绿色大蚱蜢的残骸悄悄地飞进窝来。窝里三只出世不久的小樫鸟正在吵吵嚷嚷地要食吃。飞来的雄鸟在鸟窝边上稍稍停顿之后，就把蚱蜢塞进一只嘴巴张得大大的小鸟的嘴里。

不一会儿，嘴里叼着一只撕碎了的毛虫的第三只樫鸟又飞进了窝里，给另一只饿极了的雏鸟喂食。离窝几码远的地方，另一只樫鸟执行着守卫的任务，注视着周围的一切活动。突然，这只鸟把它的嘴指向天空，发出一连串咯咯的尖叫声——这是一种报警的声音，通知大家，它发现有几只住在左近的樫鸟闯入了它们的“领地”。这时，在场的四只樫鸟都纵身而起，在天空中排成整齐的队形飞向受到挑衅的边界线，协力以愤怒刺耳的尖叫声把来犯者赶跑。

佛罗里达州灌木丛林中一家子樫鸟的又一天的生活开始了。我们先看到的两只樫鸟是两口子。它们已经成家四年了。膝下有一子一女。儿子已经三岁，但是还在家里做帮手而不出去自立门户。女儿是去年春天生的，她是由三只樫鸟合力喂养大的。现在，和她的兄长一样，也在家里做父母亲的助手。

这是一种颇不寻常的鸟类社会制度。在这种制度里，有些鸟明显地放弃了自己的生育而去帮助家庭喂养雏鸟，人们把这种情况叫做合力喂养。在世界上已知的近 9000 种鸟类里，只有少数几百种鸟实行这种制度。整个北美，只有极少几种鸟类有合力喂养的行为，其中，佛罗里达州灌木丛林中的一种樫鸟，是科学家们观察研究得最为仔细的。

灌丛中的樫鸟，像大多数其他樫鸟一样，个儿都和欧鸽差不多，通体以蓝颜色为主。它们和别的樫鸟的不同之处，在于它们没有冠毛而却有灰白色的腹部和浅棕色的背部。此外，它们带黑色的面部上有一条宽的白眉毛。它们属于鸦科，鸦科包括乌鸦、渡鸦、鹊鸟以及五十种左右的樫鸟。这些鸟都以聪明伶俐和它们的捣蛋行为闻名于世。

灌丛樫鸟盛产于美国西部和墨西哥的广袤土地上，但是佛罗里达的灌丛樫鸟则和它们的西部近亲完全隔离地住在大陆的另一侧。这种隔离很可能是几百万年的漫长岁月里，

* 菲茨帕特里克是芝加哥市自然史野外博物馆(Field Museum of Natural History)鸟类部主任；伍尔芬登是坦帕市南佛罗里达大学的动物学教授。

China

气候的改变逐步消灭了佛罗里达州和得克萨斯州之间适合于灌丛樫鸟的栖息地的缘故。

佛罗里达灌丛地带的樫鸟栖息在该州中部非常严峻但却极为美丽的灌木栎树地带。我们大多数人的心目中，都把佛罗里达看作是一个有着海滩、棕榈树、柑橘园以及有着片片柏树洼地的地方。其实，佛罗里达州的中部很多是草原，那里有着众多的大牧场。在佛罗里达半岛的中央，绵延着一条狭长而隆起的沙丘。那是古代海洋覆盖着该州大部分地区时期所留下来的遗迹。在这条沙丘脊上，现在布满着柑橘园。但是，有些渗水漏水特别快因而尚未开发的地区，也就是北美最少有、最恶劣的自然环境区域之一的佛罗里达州的灌木栎树栖息地，却艰难地维持着生命。这个地带，通常人们干脆把它叫做灌木地带，在一块块闪闪发光的白色沙漠之间冒出了种种灌木丛林。这些灌木中，有许多是地球上别的地方找不到的。它们大都是高度不超过六英尺的丛生矮栎树。这些稀有的、并且正在逐步减少的栖息地是佛罗里达州灌丛樫鸟唯一的居住地。

从 1970 年起，我们对佛罗里达州灌木丛林樫鸟的有趣行为开始长期规划的研究。我们现在终于对它们有了比较深入的了解。多年来，我们对这里的许多樫鸟从它们诞生之日起就不间断地对它们的日常生活、活动、交配一直到死亡进行连续的观察和研究。

我们的研究围绕着都是左邻右舍的大约 25 个樫鸟家庭——每年大约为数 120 只左右。每一个樫鸟家庭都生活在它们的领地的边界线范围之内。这些领地加起来大约有 1.5 平方英里，位于佛罗里达州境内遗留下来的最大原始栎树灌木丛林地带。目前它归阿奇博尔德生物站所有和保护。阿奇博尔德生物站是一个私人维持的研究禁猎地，专供生态学和自然史领域的科学研究之用。

我们研究的课题是灌丛樫鸟的社会生物学方面，也就是对动物社会行为演变的原因进行研究。目的是要弄明白为什么佛罗里达州的灌丛樫鸟会形成目前这样的合力喂养的行为。我们希望，通过对它的了解，可以了解整个鸟类中合力喂养行为的来龙去脉。

佛罗里达州的灌丛樫鸟是一个理想的研究对象。因为尽管它们和西部的灌丛樫鸟是同一种族，但前者有合力喂养行为而西部樫鸟却从未有过，因此可以作为我们研究中的一个对照组。佛罗里达灌丛樫鸟还有另一个使它成为良好研究对象的特点：它们从不迁徙。大多数佛罗里达灌丛樫鸟终其生都不飞出诞生地一英里之外。

我们有幸能够以近在咫尺的距离对这些樫鸟进行观察。当人们不去侵犯它们时，它们可以成为和人非常接近非常驯服的鸟儿。

如果有樫鸟到来，我们常常是第一个知道的人，因为它们往往会突然飞在我们之中某一位的头上。我们利用它们的可爱的特点进行驯鸟工作。办法主要是给它们吃弄碎了的小片花生米。用不了多久，它们不但会接受我们提供的花生米，而且还会主动向我们索取。如果我们不给它们，有些樫鸟就会出于生气而啄我们的手或头。

在我们为了了解灌丛樫鸟社会行为的错综复杂的关系而进行的研究中，最关键的一着是不断查明我们对之进行研究的每只樫鸟的腿上是否都箍着一组有颜色的塑料和铝制的小箍条。这些箍条，每组的颜色各不相同，是我们用以识别一只只樫鸟的唯一办法。雏樫鸟出生十一天后我们就给它们箍上这种箍条。这时它们身上还没有长出美丽的羽毛，但是它们的腿的粗细已经长得接近成年鸟，因此完全可以承受这样的小箍条了。

我们的第二个最重要任务是找出春天繁殖季节每只樫鸟鸟窝的位置并对它们进行监察。这件事并不像想象的那么简单，因为常常存在蛇、美洲猫、浣熊、别的鸟类、甚至别的樫

China 需要全本请访问 www.ertongbook.com

鸟等入侵的危险。因此，灌丛鹛鸟总是把它们的鸟窝隐蔽在密密的丛林之中，想尽一切办法不让外人发现。

但是，通过耐心的研究和跟踪，我们还是能够在它们下蛋以前找到它们所筑的窝。有一个办法是我们大家都爱用的，但是，这个办法只有在一对鹛鸟新建的窝接近完成的时候才能奏效。鹛鸟的窝是用一种从扇叶状矮棕榈的小棕榈树上取下的粗纤维来做窝衬的。所以，我们就主动摘几根棕榈纤维，放在手掌上递给它们。因为这些鹛鸟是不怕人的，所以它们就从我们手里衔走。一旦鹛鸟找到了纤维，它们筑巢的本能促使它们径直向自己的窝飞去，这就泄露了秘密，把窝的位置告诉了我们。

能够连续不断地监察鸟窝而用不着惊扰它们对我们是非常有利的。我们可以静静地站在离窝几码远的地方记录鹛鸟的进出，观察哪一个家庭在哺育雏鸟，用什么食物喂养而鹛鸟完全不知道我们在窥视。只有为了核对窝里的东西，我们才不得不用手把母鹛鸟托起来。

所有的鹛鸟都箍上了有色箍条，所有鸟窝的位置都弄清楚以后，我们就可以年复一年地连续观察每一鹛鸟家庭之间所发生的变化。我们看着雏鸟一天天长大，看着它们长大后帮助父母养家，看着它们离家建立自己的领地，看着它们死亡。我们每个月查点一次，连续不断地记录着我们对之进行研究的鸟的数目。每次查点都要走遍整个研究地区，走遍每一个领地，直到我们对每一只鹛鸟都查清为止。在大多数季节里，灌丛鹛鸟都会飞到我们那里，目的是寻觅花生米。如果有一只鹛鸟不见了，我们就要反复查核，直到找到为止或者直到我们确信它不是死亡就是飞到别处去住为止。由于这些鹛鸟非常随和，通常我们总能够把每一只活着的鹛鸟弄得一清二楚。

通过不断地查点鹛鸟鸟口的数目，不断地勘测每一个家庭所控制的领地，我们掌握了佛罗里达灌丛鹛鸟生态方面的一个重要特点。一对生儿育女的鹛鸟一生基本上生活在同一片灌丛里，一对鹛鸟所占的面积平均约 20—25 英亩。而这里的栖息地区被这些一代代永久占领和守卫着的领地占得满满的，可以说已经达到了十分饱和的程度。此外，我们已经弄清楚，每年产仔的鹛鸟数目上下不超过 5%。这是迄今为止有记录可查的陆地鸟类中产仔鸟的数目最为稳定的一个。它反映了可居地严重不足的事实。很明显，"房荒"是佛罗里达州灌木丛林鹛鸟有助家喂养行为的一个重要因素。

灌木丛林鹛鸟一开始成熟就成为助家鸟或助喂鸟。每年春天，在三月到六月之间，成双的鹛鸟就开始生小鸟。一般的鸟到了成年就离家远走高飞，但鹛鸟却不离开家庭而是留在父母的领地范围内帮助保卫领地和驱逐来犯者。到了下一个繁殖季节，它们也参与一些筑窝的活动，但主要是为雏鸟觅食。每一年，约一半左右有家室的鹛鸟至少有一只助家鸟，有的有两只、三只，少数甚至有四只或四只以上助家鸟的。

我们所看到的许多助家鸟中，64%在帮助着父母双亲。当双亲中有一方死亡时，通常由别的领地的鸟来配对而成为助家鸟的继父或继母。助家鸟中有 26% 在所帮助的双亲中有一个是继父或继母。其余的 10% 帮助的是亲缘关系比较远的鹛鸟，有的甚至非亲非故。佛罗里达州没有只身独居的鹛鸟。失去双亲的鹛鸟都设法加入别的家庭，它们在那里最终被接受成为家庭的附属成员。

我们发现，在繁殖季节，一对鹛鸟夫妇有着明显的分工。雌的负责孵卵和用翅膀护着雏鸟，雄的负责提供大部分食物。助家鸟也根据性别分工。雄的供应食物比雌的多而

China

什么是社会生物学?

狮子为什么群居而大多数别的猫科动物却分散生活?为什么蜂群中有许许多多工蜂而只有一只传宗接代的雌蜂?为什么佛罗里达州的许多灌木丛林雀鸟推迟自己的生育而扶养其他雀鸟的子女?诸如这类问题正是一门新的科学领域——社会生物学领域内目前正在设法研究解决的问题。

这类问题似乎都是无关痛痒的问题,但是到了本世纪七十年代末,它们却成了科学及哲学上争辩得最为热烈的问题之一。争论的热潮是由马萨诸塞州哈佛大学生物学家威尔逊(Edward O. Wilson)一本名为《社会生物学:新的综合》(*Sociobiology: The New Synthesis*, 1975)的书所引起的。在他的这本巨著的头二十六章里,他描述了在动物世界里发现的种种不同程度的社会组织。但是到了书的第二十七章及最后一章里,他却把他的观察结果和推测扩大到了人类里来。由于他提出了我们人不是全都也至少是部分地由人类进化中昔日的烙印所支配的,他就为纷至沓来的批评敞开了大门:人类的行为究竟在多大程度上是我们无法控制的遗传因素所主宰的?

社会生物学这门科学是在20年前开始形成的。它把三门学科——研究动物行为的个体生态学、研究大自然生物彼此如何依存的生态学和研究生物如何通过漫长的岁月逐步发生变化的遗传过程的进化生物学三者融为一体。这三者都是以英国生物学家达尔文的自然选择理论——适者生存的理论为基础的。

这三个领域的界线是在本世纪六十年代开始崩溃的。动物之间表面上似乎互不相关的社会行为——例如求爱、领地的保卫、甚至父母的爱护都是由一个简单的结论

以年长的雄性助家鸟最为积极。由于助家鸟帮助觅食,双亲供应食物的负担减轻了,生活也就轻松得多,双亲能够花较多的时间在保卫鸟窝和其他活动上。

从一项非常别致的统计数字可以很明显地看出助家鸟的价值:有助家鸟的雀鸟夫妇,其幼鸟可以存活到成年的比没有助家鸟的要多50%。这就非常清楚,助家鸟为家庭的发展带来了好处,因为比竞争对手生育较多能存活到成年的雀鸟是一项重要的、能在繁衍进化方面取得成功的措施。

助家鸟提高幼鸟的存活率主要是因为它们可以帮助发现并驱逐来犯的敌人。父母是能够为它们的子女提供全部所需的食物的,但是,有了助家鸟,就增强保卫鸟窝的能力,可以有力地抵抗窥伺鸟卵和雏鸟的来犯者。发现了来犯者以后,家庭中所有成年鸟都紧紧地围着来犯者发出愤怒的尖叫声,这种行动人们称之为群鸟围袭。在这种情况下,即使比较大的动物如美洲猫之类也害怕自己的眼睛被尖嘴利爪所伤不得不望而却步。

助家鸟不仅提高了雏鸟的存活率,而且往往有助于亲鸟活到下次生育之日。我们发现,没有助家鸟的双亲的年死亡率约23%,而有助家鸟的双亲,年死亡率只有15%。其原因,显然也是因为助家鸟起到了发现和助攻来犯者的作用。雀鸟的敌人主要是鹰隼之类的猛禽。

China

连在一起的：动物的社会行为是自然选择所塑造和支配的。

举例来说，在某些环境下，带有促进侵犯性的基因的动物在争夺配偶时就可能压倒它的胆小的对手。这种动物所生的下一代所接受的进犯性基因就比胆小基因多。进犯性就将成为这一种类动物比以前更具有共性的特性。

进犯行为能够增加动物生存和繁殖的机会，利它主义又如何呢？看来是无私利人的虔诚是不是能够通过进化而得到加强呢？社会生物学家们认为这是可能的。因为动物之间要把最大数目的基因传给下一代的竞争可以走间接的道路。甚至当某一动物为了别的动物而使自己处于危险之中时，例如当一只灌木丛林助家樫鸟警告家属有隼鹰来犯并以此来提高自己的注意时，也有可能是出于无意识的自私的理由。通过保护自己的家庭成员，助家鸟增加了家族的基因——其中许多是助家樫鸟也有的——一代代传下去的可能性。

但人类又如何呢？我们人类是不是也是昔日遗传烙印所支配的奴隶？科学家很少怀疑人和猿是从同一个灵长目祖先传下来的。此外，我们和其他灵长目动物一样，也是习惯于群居的动物。由于这个缘故，社会生物学家认为，通过研究别的动物的社会，我们可以更好地了解人类社会。

但是许多科学家强烈反对把社会生物学理论用到人类身上。最常见的反对意见是，人类是万物之灵，人类有智慧和学习的能力，这远非其他动物可比。人类创造了语言和文字可以把知识传递给下代。甚至威尔逊也说过，由于人类需要适应文明社会的习惯，人类的遗传倾向，常常能够被克服。通过文化和教育，我们人类是有可能摆脱灵长目祖先的过去的影响的。

亲鸟从助家鸟身上得到了发展门庭的很大好处，但是，助家鸟本身又如何呢？它们为什么做助家鸟呢？答案是为了得到保护，得到食物，有时甚至可以得到一个永久的小家庭。留在自己的家庭的领地内，助家鸟被敌人逮住的可能性就比较少。此外，由于它们是在自己的熟悉的地点生活，它们对食物的来源就比较清楚。再者，雄的助家鸟最终可以提出要求从家庭的领地内划出一小块作为自己的领地，建立自己的家庭生儿育女。雌的助家鸟最终要飞离家庭的领地到别处去成家，留在老家相对来说得益较少。可能是由于这个缘故，当雌樫鸟成长到二、三岁时就都离开家庭去寻找配偶。

雌樫鸟满一周岁时，也就是成为助家鸟的第一个春天，她就开始不时飞离家庭领地去寻找配偶。雌樫鸟这样做是很危险的，在没有家庭保护的情况下飞出去，被敌人杀死的可能性要比她的守在家里的兄弟姊妹大一倍。

父母显然是以长幼有序、雌雄有别的统治形式为基础的行为控制来限制助家鸟自己繁殖的。我们对在自然环境下的以及飞到实验装置前的樫鸟进行了观察。我们发现，所有樫鸟家庭都有一种非常明显的长幼有序、雌雄有别的制度。雄性樫鸟优先于雌性樫鸟，父母优先于助家鸟，年长的樫鸟优先于年幼的樫鸟，甚至同性别、同年龄的子女，也有一个居长。

在有一只以上雄性助家鸟的家庭里，通常是年长的助家鸟先成家室。年长的助家鸟

China

通常是在大家庭的领地内，通过一种称为建立领地的过程成家立室的。处于优先地位的助家鸟(通常是助家时间最长的，有的可能长达五年之久)到了一定时候，就开始把自己的活动局限在大家庭领地内的一块小地区里，最后，他从别的领地引来一个配偶。这对新夫妇逐步成为这一小片灌木丛林中的唯一的占有者。到了下一个繁殖季节，它们的领地安全了，它们之间的夫妇关系巩固了之后，就开始筑巢。如果这对夫妇生下的仔鸟能存活到下一个繁殖季节，它们就有了帮手——助家鸟，这样就开始了一个新的循环。

通过多年来对领地大小所进行的比较，我们发现，随着樫鸟家庭成员的增多，它们的领地也开始增大。无子女的新婚夫妇通常控制 10 英亩左右的灌木丛林。 当这对夫妇取得繁殖子女的经验后，它们的领地就开始扩大，成婚数年的夫妇控制着 17 英亩左右的灌木丛林。如果夫妇俩成功地抚育了几只助家鸟，领地就扩大到平均 25 英亩。最大的家庭能够拥有 40 或 40 英亩以上的领地。

由于这里的灌木丛林栖息地被一个个这样的家庭占得满满的，只有当一些领地缩小时，另一些领地才能扩大。大多数领地都和五块或六块领地接壤，其中有少数领地内的主人夫妇一直没有小鸟。有时候这样的一对樫鸟还会由于配偶中有一个死亡而拆散。这些不太成功的家庭，由于鸟口逐步减少，就不断失地给鸟口增长的家庭。领地的增大与缩小通常不是由家庭之间的大规模战争而是由家庭之间沿着毗邻的边界彼此不断进行试探性小冲突的结果。

当在繁殖上获得成功的家庭的鸟口增长领地得到扩大时，助家鸟一个个挨着先后次序各自继承一小片领地。有时候，当老的一对死亡时，它们就继承下整个领地。通过这种扩大和继承，有的樫鸟家庭可以占有大片灌木丛林并把占有的领地传下去好几代。助家鸟通过提高雏鸟的存活率，帮助扩大家庭和领地。这样，助家鸟也为自己赢得成家立室的机会。

我们认为，佛罗里达州灌木丛林樫鸟之间的领地继承的重要性能解释北美西部和佛罗里达州樫鸟行为上的不同。佛罗里达州樫鸟助家行为之所以形成，是由于佛罗里达樫鸟的一片片为数甚少的栖息地带内鸟口极度稠密的结果。

在西部，可供樫鸟居住的栖息地有几千平方英里。由于栖息面积如此之大，许多质量只稍为差一些的地区就因为没有樫鸟去居住而空着，这意味着年轻的樫鸟总可以找到它们生儿育女的空间。

用进化论的术语来说，动物生存只是为了一个目的——尽可能多地把它们的基因传给下一代。一个动物要做到这一点，最直接的方法是生养大量能存活的子女。这当然不是动物的有主观意识的决定。在动物中，谁的基因使它有优越的繁殖力，谁的后代的数目就超过繁殖力较劣的对手。就这样，一个在让自己的种族生养最大数目后代的繁衍进化"战略"就相应形成了。

这种战略可以是直接也可以是间接的。如果某一动物提高其近亲的繁殖成功率，例如提高其父母或兄弟姐妹的繁殖成功率或存活率，也就等于把它的基因贡献给了下一代，因为这种基因是它和它的亲族所共有的。佛罗里达灌木丛林樫鸟中的助家鸟，在它们自己不直接繁殖的几年里，助家扶养弟妹，就通过这种叫做亲属选择的战略间接地为繁衍进

China

化作出了贡献。

说起来似乎有点怪，但事实却是这样：雄樫鸟留在老家做几年助手也直接推进了它自己的繁殖的成功。在一个成婚成对育龄樫鸟经常是饱和的环境里，一个年轻的未成婚的樫鸟要想贡献自己的基因给下一代而不仅仅是通过家族贡献基因，它能做些什么呢？

答案似乎是"先从家庭内部做起"。不是去冒离开家庭另寻繁殖空间的危险而是留在老家的安全领地内，帮助保卫领地和扩大领地。在做助家鸟的几年时间里，它从提高它的年幼的弟妹的存活率得到一点间接的为繁衍后代贡献基因的好处。但是，更为重要的是，它帮助扩大了它家庭的领地，最后将能继承它自己开始成家所需要的空间。这样，忠心耿耿的助家鸟就成了它花了一生中大半生心血投资的"土地银行"的直接的受益者。

（杨昇鸿译）

China

人　造　肌　体

克罗米　(William J. Cromie)*

从金属膝盖到塑料心脏，从机械肘臂到电子耳朵，人造器官正代替着大量人体被损害或失去了的部分。

“我刚安上这只手时，本能地对它有些反感，因为我已习惯了没有这只手的生活。但现在已经适应它了，戴上它觉得挺自然。”这是来自俄勒冈州韦斯特弗的艾丽斯·奥尔森(Alice Olson)在谈到她的仿生臂时说的一段话。五年多前，她在一次工伤事故中失去了手臂。1982 年，她成了截肢者中第一位安装上新型电子手臂的人，而且，这个新肢比它所替代的原肢更有力量。

“起初，我是仅仅考虑到外观需要才想装上手臂的，”33 岁的艾丽丝说，“可我渐渐发现它在我的日常生活中的作用很大，象开罐头、切蔬菜、梳妆以及拿起一杯咖啡等。”

艾丽丝是在盐湖城的犹他大学装上机械手臂的。在那里，由科学家、外科医生和工程师们组成的研究组不断在仿生学领域取得引人注目的进展。仿生学是一门将生物学中的解剖知识与新材料和电子技术相结合，以造出人造肢体及器官的学科。犹他大学的研究人员还研制了一个人造心脏、人造肾以及为聋人用的电子耳。在美国及其它国家的医学研究中心，科研人员正在制做电子腿和电子眼、金属上下颚、金属关节和金属骨骼，以及肺、胰、肝和血液的代用物。犹他大学材料科学与工程学教授莱曼（Donald J. Lyman）宣称：“如果能找到合适的材料，那么人造器官将可以替代人体的任何一个部分。”

但除了少数特殊情况外，这些人造器官目前发挥的功能还赶不上它们所替代的原器官。因为尽管它们能使患者摆脱病痛的折磨，恢复丧失的功能并延长生命，但它们绝不能将伤残人恢复成“完人”了。

伯恩特（Russie Berndt）的例子就很能说明问题。她今年 34 岁，患有风湿性关节炎。人们戏称这位颇为达观的妇女为“仿生女人”，因为她的髋关节、腕关节、肘关节和两个指关节分别由金属和塑料制品代替，这些关节是在芝加哥的拉什-普雷斯比特里恩-圣卢克医学中心安装的。她希望能有更多的人造关节植入到她体内，以取代那些由于疾病而丧失活动能力的关节。然而，她再也不能跳上高处或抓住强壮的坏人了。使她感到欣慰的是还能握住铅笔或爬上几级台阶。

尽管如此，有数十万人从人造器官获得了不同的收益。芝加哥的整形外科医生吉特里斯（Steven Gitelis）断言：“人体的所有关节几乎都能置换。”只要有足够的肌肉和肌腱仍保持其功能，起到支撑和控制作用，人体的骨盆、腿、脚、肩、臂、腕和手指等部位的骨骼就能用金属或其它材料来代替，即使被癌症侵蚀破坏的脊椎骨也可以用金属和塑料重造。颏可用硅橡胶，颚骨可采用金属钛。外科医师们正试着用死尸的骨骼做成的“油灰状物

---

* 克罗米是科学写作促进会的执行主席。

China 需要全本请访问 www.ertongbook.com

质”来重塑鼻子、前额和面颊，还可用这种物质使畸形的脸部和头部恢复原状。内科医生们制造硅脚趾，并配上脚趾甲，用胶粘剂把它们粘到脚上去。生物工程师还研制出了人造皮肤，以备烧伤病人所用。

在残留的神经、肌肉和肌腱不足以支撑人造骨骼和关节的情况下，就需要更换整个肢体了。目前有好几万人戴着人造手臂或人造腿，但这些假肢几乎无一例外都很笨重、难于操纵且容易脱落。戴假肢者必须利用缚在“残肢”或肢体完好部分上的绳索，经过复杂的机械动作方能移动手脚。

微电子学与合成材料已成为利用仿生装置来代替人体器官这项新技术的发展基础，这些仿生装置的功能要与人体器官的功能十分接近。整形外科医师们都认为，所有假肢中最佳者当推所谓的“犹他臂”，它以肌肉控制马达取代了笨拙的绳索控制。这种臂是由生物工程师雅各布森（Stephen C. Jacobsen）所领导的犹他大学的一组科研人员研制成功的。安装这种装置的截肢者可根据需要购买塑料肩、上臂、前臂、机动肘以及由两个象钳子似的“手指”组成的机动金属手等。

三十多位这种犹他臂的使用者，通过收缩和松弛上臂、肩部和胸部残存的肌肉来实现对人造器官的控制。残存肌肉的运动发出微电流，系在肌肉上的电极接收这种电流并输送给植在肘部的微型计算机。计算机又将电流译成指令，传到控制肘部和手动作的蓄电池马达那里。装上这种假肢的人能抓起重达 50 磅的重物。奥尔森（Alice Olson）捏碎了一个胡桃，显示出她的握力，实在令人惊愕。那个和手臂相连的金属钳戴上塑料手套后象个真手，它具有手指、指甲、甚至手纹。这种犹他臂的价格至少要 17,000 美元——是普通可操纵式假肢价格的 3—4 倍。

截肢者目前还买不到功能可与犹他臂相媲美的仿生腿，但计算机控制的膝盖和腿的研制工作已在各种实验室展开。例如，在费城的“莫斯康复医院”*，一位从膝盖以上截肢者菲茨帕特里克（Timothy Fitzpatrich）就用一条试制的电子腿步行。固定在大腿和髋部肌肉上的电极把由肌肉松缩而发出的电信号传输给一台大型固定式电子计算机。计算机的程序能辨识将腿抬起、放下，以及前进、后退等信号。它随即发出相应的电脉冲，操纵一个气动装置，这种装置的控制能力比普通的假腿强得多。要让菲茨帕特里克离开实验室后也能用这条腿行走，那还需要为这条电子腿配置一部可携式微型计算机。这并非是不可逾越的技术障碍，莫斯的学者们预料，到 1987 年，安上这种腿的人将可以步行上街了。

由于肌肉或神经受损而使下肢或四肢失去功能的瘫痪病人，总有一天会借助一种电信号重新行走，这种信号和使菲茨帕特里克能行走的那条仿生腿的信号是同一种类型的。在芝加哥的迈克尔·里斯医院，截瘫患者（下身瘫痪的患者），如 35 岁的伯戈斯（Joaquin Burgos），可以通过上背部肌肉的运动来通知计算机去指挥他们的腿，这套系统由芝加哥伊利诺斯技术研究所（简称 IIT）的电气工程师格劳珀（Daniel Graupe）设计，并由内科医生科恩（Kate Kohn）试制成功，科恩是里斯康复医学组织的领导人。

---

* 所谓康复医院是指使残废人恢复正常人生活的那种医院。——译者

China

健康人在行走时，是靠大脑将运动信息通过神经传输给腿，而 IIT 系统则是靠一台微型计算机使运动信息绕过损坏了的脊髓神经，直接由背部肌肉传给腿。未来的某一天，这套系统将使截瘫患者告别他们的轮椅。

伯戈斯等病人在学习控制自己走路时，还得借助一副双杠来站立。伯戈斯左肩向前的动作转换成一个电信号，安装在他背部的电极接收到这一信号后便传给计算机，计算机随即向他的左腿发信号，于是借助于固定在左腿肌肉上的电极，使这条腿前移。对于瘫痪病人来说，计算机输出的脉冲信号是病人丧失功能的神经所不能发出的。若是碰到那些大面积肌肉和大部分神经都已坏死的患者，这套系统就失效了。

在俄亥俄州戴顿的赖特州立大学，生物医学工程实验所的生理学家彼得罗夫斯基(Jerrold S. Petrofsky)曾向两位截瘫病人和两位四肢全瘫病人许诺，他将使他们在 1982 年圣诞节来临时重新站立起来。彼得罗夫斯基没有食言，他设计了一套系列装置，从而实现了他的允诺。在这套装置中，动作是由计算机发出的信号来指挥，而不是靠未被损害的肌肉活动去指挥。彼得罗夫斯基为这部计算机编制了站立、骑自行车和行走等一系列程序，这些程序的作用就如同大脑，它们将相当于神经冲动作用的电脉冲传给固定在大腿肌肉皮肤上的电极。位于一条腿支架上的传感器连续不断地为计算机提供髋、膝和踝部位置的读数，这个反馈信号再通知电子线路应刺激哪一部位的肌肉，以保持人体运动的继续进行。

彼得罗夫斯基就用这套装置来训练瘫痪病人，防止他们的肌肉萎缩。赖特州立大学的患者们——他们全是这所大学的学生——用他们的腿抬起重物，骑固定式自行车，借此来增强肌肉的力量并使之发达。经过三个月的训练，22 岁的戴维斯（Nan Davis）就可以骑着一辆成人三轮脚踏车绕校园一周了。这辆车配有一台以蓄电池为电源的计算机，它的体积小得可以放到三轮车的铁丝框里。1982 年 11 月，彼得罗夫斯基又为戴维斯装了一台编有刺激行走动作程序的计算机。这样，她自四年多前在汽车事故中受伤后又第一次“行走”了。

为了使这套系统的实用性更强，把人们从轮椅上解放出来，彼得罗夫斯基研制出了一种体积很小可放人背包的计算机，他还计划要缩小传感器和电极的体积，接上尽可能少的导线，然后将它们植放于皮下。他说：“只要能在缩小电子元件的体积上有突破，我们就可以制造出一种带有可长期使用的蓄电池系统的计算机，并使它们的体积缩小到能被植入到腹部皮下。”

缩小了体积的电子装置能植人人体，这是因为——象金属关节和骨骼以及塑料心脏瓣膜一样——它们不具有生物活性。人体的免疫系统不会把它们看成病毒或细菌那样的外来人侵者而加以抵抗。它不同于人造心脏和人造肾等有相当大一部分直接接触血液的器官，这些器官要用特殊的聚合物(包括塑料和橡胶的合成物质)来防止血液凝聚成块。

几乎所有这些人造器官 1983 年仍处于试制阶段，大多数还在进行动物实验。

人造肾是个例外，早在 1913 年，科学家们就考虑到制造这样一种装置，利用它的过滤系统将人体的废物排出体外，其作用就象人的肾一样。他们通过下述方法来实现这一设想：将血液从动脉中抽出，使其通过滤清器或膜将杂质滤出去，然后再将血液输回静脉。科尔夫(Willem J. Kolff)——一位当时年仅 29 岁的荷兰医生，目睹了一位小伙子死于血液中的代谢物淤积后，于 1939 年着手这方面的实验，他用赛璐玢肠衣作滤清器，把杂质从血

China

液中分离出来。经过反复的实验改进，他终于在 1945 年成功地制出了第一个人造肾。现在的这种血液过滤清净机每年挽救 50,000 名美国人的生命。

有些病人家里就拥有这种机器，但多数人必须去医院或过滤中心接受治疗，方法是将人造肾与人体相连结。这种疗法每次约花四、五个小时，一星期需治疗三次，这个过程往往把病人搞得疲惫不堪，心力俱尽，而且费用高，每位病人每年得花费 25,000 美元。科尔夫现在是犹他大学生物医学工程研究所负责人，他力劝善于搞发明创造的同事们制造一种病人能随身携带的机器。雅各布森（Stephen Jacobson）和他的研究小组接受了这一任务，他们研制成功了一种以蓄电池为电源的装置，病人背上它就象背一个大行李包。这种被称为穿戴式人造肾（简称 WAK）的装置，算上蓄电池才重 14 磅。犹他的医生们解释说："穿戴式人造肾将使更多的患者在家里就可进行过滤治疗。我们估计到 1983 年它将被食品药物局批准通过，到那时就能以每台 7000 美元的价格出售。"穿戴式人造肾将能使许多肾脏病人减轻痛苦。

肾功能衰竭是糖尿病的并发症之一，在美国，糖尿病的死亡率高居第三位。糖尿病的病因是胰腺（靠近胃的一个腺体）功能衰退，不能分泌出足量的胰岛素，使血液内的含糖量保持正常水平。为了解决这个问题，世界各地的研究人员都在研制人造器官，他们希望这些人造器官能比传统的自动注射胰岛素的方法疗效更好。例如，现任伍斯特市马萨诸塞大学医学院教授的奇克（William Chick）和罗得岛首府普罗维登斯的布朗大学医学教授加勒梯（Pierre M. Galleti）一起设计了一种人造胰，其功能与人造肾极其接近。在这个人造胰中，血液从一些多孔的塑料管中流过。这些塑料管装置在一个腔室里，内有能生成胰岛素的活细胞。流经管壁的血糖给这些细胞以信号，使其以能平衡血糖的速率生成胰岛素。这些胰岛素便穿过管壁进人血流中。

1982 年 9 月，在巴黎的奥尔特-迪厄医院，加勒梯和他的同事们与法国研究人员一起，对人进行了第一次人造胰试验。这种人造器官不装在体内，人们将它与同类型的用于透析的动脉-静脉分流器连接起来。一位自愿参加试验的人的血在这人造胰中流动约 5 小时后，血糖水平就恢复正常了。这种代用胰腺标志着人体器官代用物的一个新突破——它是一种既不完全是生物移植，也不完全是人造的新器官。这种生物-人造器官或称混合式器官，可以使患糖尿病的老鼠生命延长六个月。美-法联合小组计划搞一个能将人的生命延续得更久的实验。

由于确证安全、有效的混合式胰腺尚未问世，许多不想做胰岛素注射的糖尿病患者目前使用一种名叫胰岛素泵的装置。美国现在有大约 5000 名糖尿病患者戴着以蓄电池为动力的胰岛素泵，其体积就如同一个小的晶体管收音机。这种泵源源不断地将胰岛素通过一些纤细的尼龙管和插在腹部皮下的针头向身体提供。

在混合器官技术发展成熟的过程中，生物工程师和其他人员还在不断地用品种浩繁的合成材料制造人体的各部器官。例如，加勒梯就用特氟隆盘形管来制做人造肺。健康人在呼吸时，空气先进人鼻腔或口腔，吸进体内，然后经气管到达肺部。在肺内，空气中的氧进人血流，而二氧化碳则脱离血液进人肺部，然后呼出去。位于胸、腹之间有一块有力的肌肉——膈肌，它的上下运动维持呼吸的正常进行。

China

加勒梯发明的代用器官由两个带有若干塑料管的特氟隆盘形管组成，这个器官仅有书本大小。塑料管分别与肺动脉和静脉连结，它们将血液输入心、肺，并从心、肺输出。他在用这些人工肺对一只羊做实验时，该羊的心脏通过特氟隆盘形管泵出血液，氧则通过包在特氟隆管外面的塑料袋循环。氧气进入血液而二氧化碳则通过管壁被排走。目前，氧气还得来源于压力罐，将来计划让这些装置能直接从气管中吸取空气，而且，隔肌在呼吸时的动作，也同正常呼吸时一样。据估计，美国每年大约有 90,000 人死于呼吸系统疾病。一旦有了切实可用的人造肺，就能延长其中一部分人的生命。人造肺最初将用作“辅助器官”，供肺病初愈但肺功能还较弱的患者用它来辅助呼吸。

心脏辅助器自 1965 年起就开始运用了，用它们来替代心脏的右心室(它将血液泵入肺部)或左心室(将血液输送到身体的其他部位)，由于左心室担负的功能占心脏总功能的 80%，所以左心室辅助装置（简称 LVAD）应用得更为普遍。大约有 200 名心脏初愈的患者利用 LVAD 以维持他们的生命。

当然，也有许多颗心脏没有抢救成功，两个心室都发生过这种情况。据 NHLBI 估计，约有 30,000 美国人能从人造心脏受益。科尔夫于五十年代开始致力于这种装置的研究，1957 年，他将他的第一个试制品植给一条狗，但这只狗仅活了 90 分钟就死了。科尔夫 1967 年到犹他大学工作时，组织了一个小组继续从事这个课题的研究。到 1982 年末，科尔夫小组研制出了塑料气动心脏，将这种塑料心脏植入一头小牛体内后，这头牛犊存活了 260 天，食品和药物局已批准可将这种装置在人体内实验。贾维克(Robert K. Jarvik)——医学院的一名学生，他设计出了一个机械心脏，它曾使一头牛犊活了 268 天。这个装置称为贾维克 7 号心脏。

1982 年 12 月 2 日(星期四)清晨，犹他大学医学中心的外科医师们摘除了 61 岁的牙医克拉克 (Barney B. Clark) 的大部分心脏，代之以一个重 10 盎司、直径 15 英寸、长 12 英寸的双泵，这个装置被安在自体心脏剩余部分下部与两条大动脉的缝合接口处。这两条动脉其一是为肺部提供血液的肺动脉；其二是主动脉，它从心脏左侧一直延伸到身体的其它器官。

从外面泵入的空气推动细薄而富有弹性的膈肌，将血液送入心脏，然后再泵入动脉。空气来自于由气体压缩机、真空系统、空气罐、蓄电池和监视器共同构成的组合装置，这套装置共重 375 磅，其中监视器装在轮车上，它的体积与超级市场所用的监视器差不多。两条 6 英尺长的塑料管将病人与这套复杂而笨重但却能救命的装置连结起来。

克拉克 1983 年 2 月说，戴上这个“笨家伙”总比死去或病弱到连自己穿裤子也不行强得多。克拉克换上人造心脏后幸存了 112 天，后来他于 3 月 23 日死于其它病因。就在死时，他心脏功能依然良好。（参阅“医学·外科学”一文）

为了设法代换这套重达 375 磅的笨重组合体，犹他大学的科学家们正在试制一个 9 磅重的小型装置。它很小巧，甚至可以放在肩垫上，这个只有照相机大小的新装置是西德亚琛的赫姆霍尔兹研究所的海姆斯（Peter Heimes）发明的。

这套较轻便的装置可以与贾维克 7 号或研究人员们预计在未来造出的更先进的心脏配套使用。贾维克已将一种新型电子液压装置植给小牛，这种装置包括一个可逆式马达和一只推进泵，只有大雪茄烟蒂那么大，它从一个人造心室抽取少量液压液体，输送到另一个心室里去。这个动作推动血液交替输给主动脉和肺动脉。塑料膈肌将血液和液压液

China

体隔离开。对于病人，直径 0.25 英寸的空气管和贾维克 7 号心脏所需的小车都可以弃之不用了，取而代之用四根由马达引出的细导线，它们穿过胸部与用带子挂着的蓄电池箱连接起来。

克拉克的死因是循环系统出了故障，这一事实充分说明了心脏的作用——要使心脏将血液送到人体各部，密密如织、四通八达的血管网就必须正常发挥其功能。从五十年代初期起，外科医师就开始用涤纶管来代替那些损坏和被阻塞了的血管——通常是由动脉粥样硬化引起的。这些管子只能在直径超过 0.3 英寸时才能发挥其功能。若小于这个尺寸，人造血管就会被血液凝块阻塞住。这就牵涉到一个关键问题——人体内 75% 血管的直径是小于 0.25 英寸的。经过 10 年的艰苦努力，莱曼和他在犹他大学的同事们终于研制出了一种聚氨基甲酸酯管，这种管子在实验室内试验时能抗血液凝结；可一旦植到狗身上，所有的管子又被阻塞了。

莱曼发现血管阻塞的现象常发生在人造血管与人体自身血管的接合处。他解释说："这种塑料管比起人体本身的血管来，就象钢管那么硬，接合处伸屈产生压力，导致伤痕组织形成，堵塞开口。我们已经研制出了一种和人体血管一样柔韧的塑料管，将血管阻塞问题解决了，装上这种新血管的狗能存活三年。"莱曼目前正准备把这种血管植到将要截肢的病人身上，这些患者截肢的原因是血液不能在肢体中循环。他估计美国每年有 300,000 人能受惠于这种塑料血管，其中也包括需要以新的冠状动脉来使心肌正常活动的那些人。

同时，还有数以千计的人可以通过血液本身的临时更换而使生命转危为安。红血球将氧、矿物质和蛋白质运送到全身，而白血球则专门抵制病菌感染。一种称为 Fluosol 的氟与碳的无色混合物可以代替血液，直到骨髓使人体失去的红血球恢复正常时为止。Fluosol 已帮助我们使数百人的性命化险为夷。严格地说，Fluosol 算不上是人造血，因为它仅仅运载氧，可人造血这个名称还是沿用下来了。

尽管合成血液的应用目前还仅限于一定范围，但将来它会比人体自身的血液更具有优越性。辛辛那提儿童医院的内科大夫克拉克(Leland C. Clark)解释说："人体本身的血液载有可诱发疾病的有机体，以及促使动脉阻塞或引起心脏病突发的物质，而人造血液则可按一定配方制成，并与人体自身血液混合，使药物在血流中传输，防止上述问题出现。"

生物工程师们没有忽略掉人体任何一个可能由于疾病或事故而致残的部位，他们还发明了电子会话以及电子视听等系统，这些装置堪称构思新颖，且颇有些出人意料。

哑人们目前还得将就着和那些由各种代替器官发出的单调的机械声音打交道，这些代替物顶替了失去功能的声带。一种最先进的装置是以蓄电池为电源的人造喉，它是由费城托马斯·杰斐逊大学的研究工作者们设计制造的。它由一个薄塑料片和微型电路组成，安在上颚，随着舌头的动作而开闭，从而使两只手获得了解放。可以想见，它比那种为了发声而不得不将手指顶在喉咙上的谈话装置优越得多了。

通过电子器件来恢复会话能力比恢复听力省事。普通人在听声时声波撞击鼓膜，引起其颤动，这种颤动牵动了灵敏的听小骨，听小骨将声音传给 25,000 个细微的毛细胞——它们呈螺旋结构，称为耳蜗。毛细胞将声音的颤动转换为神经冲动，随后沿着听觉神经传给大脑。一旦由于生病或外伤使毛细胞遭到破坏，人就聋了。为了恢复听力，生物工

China

程师们直接用植在耳蜗里的电极刺激听神经。

在旧金山加利福尼亚大学，参加电子听力训练的全聋患者，每人都随身携带一部蓄电池和麦克风的组合装置，把它放在胸前的口袋里。麦克风将声音的颤动转换成电脉冲，脉冲沿着极小的导线传给安在左耳或右耳后的一个小绕组天线。天线将信号透过皮肤传给植到头盖骨下的接收器，然后这个信号再沿着导线到达安装在耳蜗内的八对电极。

利用这套系统，扬特 (Lee Yount)——这位 60 岁的退休者，能听懂 50% 用简单句子说出的话，和 65% 连续说出的两个音节的单词。到了杨特会看说话者的唇形和手势时，他便完全领会了说话者要表达的意思。犹他大学的生物物理学家埃丁顿 (Donald Eddington) 用近乎相同的系统也取得了类似的效果。有 30 万之多的全聋患者，以及另外几十万在很强的助听器下听力仍然很弱的人，可以得益于这项研究工作。

生物工程师们要是不设法为盲人驱除黑暗，也就不可能在征服耳聋方面取得如此巨大的进展了。自 1975 年以来，多贝尔 (William H. Dobelle)——现任纽约城人造器官私人研究所所长——一直在实验这样一种技术，即通过植在大脑中的电极，可以使盲人“看见”。对配有这种电子视觉器的人来说，展现在他眼前的世界，犹如球类大联赛赛场内的记分牌那样瞬息万变。有位盲人配上一台大型计算机后，已能看见蓝色的点和线了。要使这套装置轻便可携，还需连上一台电视摄象机——它必须小得能容纳在人造眼的后面，这种人造眼带有一个装嵌在电池控制的眼镜框里面的微型计算机。

这种小得能放置在眼镜框里的计算机目前还不十分理想，但研究人员确信：他们能将一千万个开关和其它电子元件装在普通邮票大小的一张硅片上。储存在计算机存储器内信息单元的密度比相应的人脑单元的密度要高 100 倍。斯坦福大学电气工程师怀特 (Robert L. White)说：“这种电子智力装置随着体积逐步缩小而表现出来的对于人体神经组织的优越性肯定还要增加。现在已经可以考虑用综合智力装置来代替那些有缺陷的神经组织了……”换言之，怀特相信，实现用微型计算机取代部分不健全的脑神经已是指日可待的事情了。

那么，如果科研人员们达到了这一目的，他们是否还会竭力设法代替人的整个大脑，或造一个和常人的大脑一样充满智慧而又多才多艺的机器人呢？“没有理由说这是不可能的。”明斯基 (Marvin Minsky) 博士这样回答，他是马萨诸塞理工学院人造智能科学实验室的计算机专家。明斯基是以善于独辟蹊径，敢于标新立异而远近闻名的，其他一些人则认为，脑的智力太高，我们不可能仿制出和常人大脑一样的人造大脑。雅各布森解释说，“人造的东西很难与人体原器官或躯体媲美，我们永远不会有能力造出一个会欣赏落日余辉或能领导一个国家的仿生人。”

（何云艺译）

China 需要全本请访问 www.ertongbook.com