

《失控：全人类的最终命运和结局》

作 者：(美)凯文·凯利 著，东西文库 译

出 版 社：新星出版社

出版时间：2010-12-1

* 版 次：1 页 数：700 字 数：500000
* 印刷时间：2010-12-1 开 本：16 开纸 张：胶版纸
* 印 次：1 I S B N：9787513300711 包 装：平装

内容简介

这是《黑客帝国》主要演员的必读物之一，这本关于机器、系统、生物和社会的“大部头”，揭示了社会进化、特别是互联网发展的“先知预言”，从这本书里，人们可以窥探到 SNS 的今天和未来。

《失控》涉猎：天文、化学、生物、计算机、控制论、运筹学、社会学 ……

同时又堪比《黑客帝国》中洞悉未来的“神谕”，正在兴起的“云计算”、“物联网”等都可以在这本写于 15 年前的书中找到相关的影子。

作者简介

凯文·凯利（Kevin Kelly，1952～，人们昵称他为 KK），他影响了苹果公司的史蒂夫·乔布斯、《连线》杂志的总编克里斯·安德森、《黑客帝国》的导演沃卓斯基兄弟、《少数派报告》的导演史蒂文·斯皮尔伯格；他参与创办了《连线》杂志、发起第一届黑客大会、创作《失控》……；他是网络文化的发言人和观察者……他是一——凯文·凯利 《连线》（Wired）杂志创始主编。在创办《连线》之前，是《全球概览》杂志（The Whole Earth Catalog，乔布斯最喜欢的杂志）的编辑和出版人。1984 年，KK 发起了第一届黑客大会（Hackers Conference）。他的文章还出现在《纽约时报》、《经济学人》、《时代》、《科学》等重量级媒体和杂志上。

凯文·凯利被看作是“网络文化”（Cyberculture）的发言人和观察者，也有人称之为“游侠”（maverick）。

目 录

第一章人造与天生	9
1.1 新生物文明	9
1.2 生物逻辑的胜利	11
1.3 学会向我们的造物低头	14
第二章蜂群思维	15
2.1 蜜蜂之道：分布式管理	15
2.2 群氓的集体智慧	19
2.3 非匀质的看不见的手	23
2.4 认知行为的分散记忆	26
2.5 从量变到质变	

.....34

2.6 群集的利与弊
.....35

2.7 网络是二十一世纪的图标
.....40

第三章有心智的机器
.....44

3.1 取悦有身体的机器
.....44

3.2 快速、廉价、失控
.....55

3.3 众愚成智
.....60

3.4 嵌套层级的优点
.....65

3.5 利用现实世界的反馈实现交流
.....68

3.6 无躯体则无意识
.....72

3.7 心智/躯体的黑盲性精神错乱
.....74

第四章组装复杂性
.....81

4.1 生物——机器的未来
.....81

4.2 用火和软体种子恢复草原
.....85

4.3 通往稳定生态系统的随机路线
.....89

4.4 如何同时做好一切
.....92

4.5 艰巨的“拼蛋壳”任务
.....95

第五章：共同进化.....98

5.1 放在镜子上的变色龙是什么颜色的？
.....98

5.2 生命之无法理喻之处
.....103

5.3.在持久的摇摇欲坠状态中保持平衡
.....108

5.4.岩石乃节奏缓慢的生命
.....113

5.5.不讲交情或无远见的合作
.....119

第六章自然之流变
.....127

6.1 均衡即死亡	127
6.2 谁先出现，稳定性还是多样性？	131
6.3 生态系统：超有机体，抑或是身份作坊？	136
6.4 变化的起源	139
6.5 生生不息的生命	141
6.6 负熵	146
6.7 第四个间断：生成之环	150
第七章控制的兴起	153
7.1 古希腊的第一个人工自我	153
7.2 机械自我的成熟	159
7.3 抽水马桶：套套逻辑的原型	163

7.4 自我能动派
.....170

第八章封闭系统
.....175

8.1 密封的瓶装生命
.....175

8.2 邮购盖亚
.....180

8.3 人与绿藻息息相关
.....184

8.4 巨大的生态技术玻璃球
.....188

8.5 在持久的混沌中进行的实验
.....192

8.6 另外一种合成生态系统
.....200

第九章“冒出”的生态圈
.....203

9.1 一亿美元玻璃方舟的副驾驶
.....203

9.2 城市野草
.....207

9.3 有意的季节调配

.....210

9.4 生物科学的回旋加速器
.....216

9.5 终极技术
.....220

第十章工业生态学
.....222

10.1 全天候、全方位的接入
.....222

10.2 看不见的智能
.....226

10.3 咬人的房间与不咬人的房间
.....230

10.4 规划一个共同体
.....234

10.5 闭环制造
.....236

10.5 适应的技术
.....241

第十一章网络经济学
.....244

11.1 脱离实体
.....244

11.2 以联结取代计算	
.....	247
11.3 信息工厂	
.....	252
11.4 与错误打交道	
.....	258
11.5 联通所有的一切	
.....	265
第十二章电子货币	
.....	269
12.1 密码无政府状态：加密永胜	
.....	269
12.2 传真机效应和收益递增定律	
.....	276
12.3 超级传播	
.....	280
12.4 带电荷的东西就可用于电子货币充值	
.....	287
12.5 点对点金融与超级小钱	
.....	294
12.6 对隐密经济的恐惧	
.....	296
第十三章上帝的游戏	
.....	298

13.1 电子神格
.....298

13.2 有交互界面的理论
.....300

13.3 一位造访他用多边形创造出来的天地的神祇
.....306

13.4 拟像的传送
.....312

13.5 数字之战
.....314

13.6 无缝分布的军队
.....321

13.7 一个万千碎片的超真实
.....325

13.8 两厢情愿的文字超级有机体
.....326

13.9 放手则赢
.....332

第十四章在形式的图书馆中
.....334

14.1 “大千”图书馆之旅
.....334

14.2 一切可能图像之空间
.....341

14.3 倘佯在生物形态王国
.....344

14.4 御变异体而行
.....350

14.5 形式库中也有性
.....353

14.6 三步轻松繁育艺术杰作
.....356

14.7 穿越随机性
.....360

第十五章 人工进化
.....362

15.1 汤姆·雷的电进化机.....362

15.2 你力所不逮的，进化能行
.....367

15.3 并行实施的盲目行为
.....371

15.4 计算中的军备竞赛
.....376

15.5 驾驭野性的进化

.....380

15.6 进化聪明分子的愚钝科学家
.....381

15.7 死亡是最好的老师
.....386

15.8 蚂蚁的算法天赋
.....391

15.9 工程霸权的终结
.....394

第十六章控制的未来
.....397

16.1 玩具世界的卡通物理学
.....397

16.2 合成角色的诞生
.....402

16.3 没有实体的机器人
.....407

16.4 行为学架构中的代理
.....413

16.5 给自由意志强加宿命
.....416

16.6 米老鼠重装上阵
.....420

16.7 寻求协同控制
.....423

第十七章开放的宇宙
.....425

17.1 拓展生存的空间
.....425

17.2 生成图像的基元组
.....427

17.3 无心插柳柳成荫
.....430

17.4 打破规则求生存
.....434

17.5 掌握进化工具
.....438

17.6 从滑翔意外到生命游戏
.....440

17.7 生命的动词
.....444

17.8 在超生命的国度中安家落户
.....446

第十八章有组织的变化之架构
.....450

18.1 日常进化的革命
.....450

18.2 绕开中心法则
.....453

18.3 学习和进化之间的区别
.....458

18.4 进化的进化
.....462

18.5 进化解释一切
.....464

第十九章后达尔文主义
.....465

19.1 达尔文进化论不完备之处
.....465

19.2 只有自然选择还不够
.....470

19.3 生命之树上的连理枝
.....473

19.4 非随机突变的前提
.....475

19.5 怪亦有道
.....479

19.6 化抽象为具象

.....482

19.7 物以类聚

.....485

19.8 DNA 并不能给所有东西编码

.....487

19.9 不确定的生物搜索空间密度

.....489

19.10 自然选择之数学原理

.....491

第二十章沉睡的蝴蝶

.....494

20.1 无序之有序

.....494

20.2 反直觉的网络数学

.....497

20.3 迭坐，喷涌，自催化

.....500

20.4 值得一问的问题.....503

20.5 自调节的活系统

.....508

第二十一章水往高处流

.....512

21.1 四十亿年的庞氏骗局
.....512

21.2 进化的目的是什么
.....517

21.3 超进化的七个趋势
.....523

21.4 土狼骗子般的自我进化
.....530

第二十二章预言机
.....532

22.1 接球的大脑
.....532

22.2 混沌的另一面
.....537

22.3 具有正面意义的短视
.....540

22.4 从可预测性范围里挣大钱
.....542

22.5 前瞻：内视行动
.....548

22.6 预测的多样性
.....552

22.7 以万变求不变

.....557

22.8 系统存在的目的就是揭示未来
.....559

22.9 全球模型的诸多问题
.....560

22.10 舵手是大家
.....568

第二十三章整体，空洞，以及空间
.....570

23.1 控制论怎么了？
.....570

23.2 科学知识网之缺口
.....575

23.3 令人惊讶的琐碎小事
.....579

23.4 超文本：权威的终结
.....584

23.5 新的思考空间
.....587

第二十四章造物九律
.....591

24.1 如何凭空造物
.....591

正 文

第一章人造与天生

1.1 新生物文明 我被关闭在密不透气的玻璃小屋里。在这里，我吸入的是自己呼出的气体，不过，在风扇 的吹动下，空气依然清新。由众多的导管、线缆、植物和沼泽微生物构成的系统回收了我的尿 液和粪便，并将其还原成水和食物供我食用。说真的，食物的味道不错，水也很好喝。昨夜，外面下了雪。玻璃小屋里却依然温暖、湿润而舒适。今天早上，厚厚的内窗上挂满 了凝结的水珠。小屋里到处都是植物。大片大片的香蕉叶环绕在我的四周，那鲜亮的黄绿色暖 人心房。纤细的青豆藤缠绕着，爬满了所有的墙面。屋内大约一半的植物都可食用，而我的每 一顿大餐都来源于它们。

这个小屋实际上是一个太空生活试验舱。我周边大气的循环再利用完全依赖于植物及其扎 根的土壤，以及那些在树叶间穿来穿去的、嗡嗡作响的管道系统。不管是这些绿色植物，还是 那些笨重的机器，单靠它们自己，都不足以保证我在这个空间的生存。确切地说，是阳光供养 的生物和机油驱动的机械共同确保了我的生存。在这个小屋内，生物和人造物已经融合成为一 个稳定的系统，其目的就是养育更高级的复杂物——当下而言，就是我。

在这个千年临近结束的时候，发生在这个玻璃小屋里的事情，也正在地球上大规模地上演 着——只不过不那么明晰。造化所生的自然王国和人类建造的人造国度正在融为一体。机器， 正在生物化；而生物，正在工程化。

这种趋势正验证着某些古老的隐喻——将机器比喻为生物，将生物比喻为机器。那些比喻 由来已久，古老到第一台机器诞生之时。如今，那些久远的隐喻不再只是诗意的遐想，它们正 在变为现实——一种积极有益的现实。

人造与天生的联姻正是本书的主题。技术人员归纳总结了生命体和机器之间的逻辑规律， 并一一应用于建造极度复杂的系统；他们正在如魔法师一般召唤出制造物和生命体并存的新奇 装置。从某种程度上来说，是现有技术的局限性迫使生命与机械联姻，为我们提供有益的帮 助。由于我们自己创造的这个世界变得过于复杂，我们不得不求助于自然世界以了解管理它的方法。这也就意味着，要想保证一切正常运转，我们最终制造出来的环境越机械化，可能越需要生物化。我们的未来是技术性的，但这并不意味着未来的世界一定会是灰色冰冷的钢铁世界。相反，我们的技术所引导的未来，朝向的正是一种新生物文明。

1.2 生物逻辑的胜利

自然一直在用她的血肉供养着人类。最早，我们从自然那里获取食物、衣着和居所。之

后，我们学会了从她的生物圈里提取原材料来创造出我们自己的新的合成材料。而现在，自然又向我们敞开她的心智，让我们学习她的内在逻辑。

钟表般的精确逻辑——也即机械的逻辑——只能用来建造简单的装置。真正复杂的系统，比如细胞、草原、经济体或者大脑（不管是自然的还是人工的）都需要一种地道的非技术的逻辑。我们现在意识到，除了生物逻辑之外，没有任何一种逻辑能够让我们组装出一台能够思想的设备，甚至不可能组装出一套可运行的大型系统。

人类能够从生物学中提取自然的逻辑并用以制造出一些有用的东西，这个发现真令人惊奇。尽管过去有很多哲学家都觉得人类能够抽取生命的法则并将其应用到其他的领域，但直到最近，当计算机以及人造系统的复杂性能够与生命体相媲美时，这种设想才有可能得到验证。生命中到底有多少东西是能被转化的，仍然是一个神奇的谜团。到目前为止，那些原属于生命体但却成功被移植到机械系统中的特质有：自我复制、自我管理、有限的自我修复、适度进化以及局部学习。我们有理由相信，还会有更多的特质被人工合成出来，并转化成新的东西。

人们在将自然逻辑输入机器的同时，也把技术逻辑带到了生命之中。

生物工程的源动因，就是希望充分控制有机体，以便对其进行改进。驯化的动植物，正是将技术逻辑应用于生命的范例。野生胡萝卜芳香的根，经由草本植物采集者一代代的精心选培，才最终成为菜园里甜美的胡萝卜；野生牛的乳房也是通过“非自然”的方式进行了选择性增大，以满足人类而不是小牛的需求。所以说，奶牛与胡萝卜跟蒸汽机与火药一样，都是人类的发明。只不过，奶牛和胡萝卜更能代表人类在未来所要发明的东西——生长出来而不是制造出来的产物。

基因工程所做的事情，恰如养牛人在挑选更好的种牛。只不过基因工程师们运用了一种更精确而且更强大的控制手段。当胡萝卜和奶牛的培育者们不得不在冗长的自然进化基础上进行优选时，现代的基因工程师们却可以利用定向人工进化，通过目标明确的设计而大大加快物种改进的过程。

机械与生命体重叠在一年年增加。这种仿生学上的融合也体现在词语上。“机械”与“生命”这两个词的含义在不断延展，直到某一天，所有结构复杂的东西都被看作是机器，而所有能够自维持的机器都被看作是有生命的。除了语义的变化，还有两种具体趋势正在发生：（1）人造物表现得越来越像生命体；（2）生命变得越来越工程化。遮在有机体与人造物之间的那层纱已经撩开，显示出两者的真面目。其实它们是——而且也一直都是——本质相同的。我们知道生物领域中有诸如有机体和生态系统这样的概念，而与之相对应的人造物中包括机器人、公司、经济体、计算机回路，等等。那么，如何为两者共有的灵魂命名呢？由于每个系统都具备如生命的属性，我将这些人造或天然的系统统称为“活系统”

1。

在以后的章节中，我会对这个大一统的仿生学前沿进行一次巡礼。我所描述的活系统，有很多是“人造”的——即人类制造的机巧之物。它们真实地存在于我们周围，而绝非泛泛的理沦空谈。这些活系统都是复杂且宏大的系统：全球电话系统，计算机病毒孵化器，机器人原型

机，虚拟现实世界，合成的动画角色，各种人工生态系统，还有模拟整个地球的计算机模型。

自然的野性是我们深刻认识活系统的主要信息来源，也许还将是未来深入了解活系统的最重要的源泉。我要报道的新实验包括了组装生态系统、复原生物学、复制珊瑚礁、探索昆虫（蜜蜂和蚂蚁）的社会性，以及建立像我在本书开场白中所描述的那个亚利桑那州生态圈

II 号

的复杂封闭系统。

本书所研究的活系统深奥复杂，涉及范围广泛，差别也十分巨大。从这些特殊的大系统中，我提取出一套适用于所有大型活系统的统一原则，称之为“神律”。这套神律是所有自我维持和自我完善系统共同遵循的基本原则。

人类在创造复杂机械的进程中，一次又一次地回归自然去寻求指引。因此自然绝不仅仅是一个储量丰富的生物基因库，为我们保存一些尚未面世的救治未来疾患的药物。自然还是一个“文化基因库”

2，是一个创意工厂。在丛林中的每一个蚁丘中都隐藏着鲜活的、后工业时代的壮丽蓝图。那些飞鸟鸣虫，那些奇花异草，还有那些从这些生命中汲取了能量的原生态的人类文化，都值得我们去呵护——不为别的，就为那些它们所蕴含着的后现代隐喻。对新生物文明来说，摧毁一片草原，毁掉的不仅仅是一个生物基因库，还毁掉了一座蕴藏着各种启示、洞见

.

1 活系统（vivisystem）：这是
KK 造的一个词，代表所有具有生物活力特质的系统。

.

2 文化基因（meme）：也译为弥母，文化传播的最小单位，通过模仿等非遗传途径而得以代代相传。

和新生物文明模型的宝藏。

1.3 学会向我们的造物低头

向机器中大规模地植入生物逻辑有可能使我们满怀敬畏。当人造与天生最终完全统一的时候，那些由我们制造出来的东西将会具备学习、适应、自我治愈，甚至是进化的能力。这是一种我们还很难想象的力量。数以百万计的生物机器汇聚在一起的智能，也许某天可以与人类自己的创新能力相匹敌。人类的创造力，也许总是属于那种华丽绚烂的类型，但还有另外一种类型的创造力值得一提——一种由无数默默无闻的“零件”通过永不停歇的工作而形成的缓慢而宽广的创造力。

在将生命的力量释放到我们所创造的机器中的同时，我们就丧失了对他们的控制。他们获得了野性，并因野性而获得一些意外和惊喜。之后，就是所有造物主都必须面对的两难窘境：他们将不再完全拥有自己最得意的造物。

人造世界就像天然世界一样，很快就会具有自治力、适应力以及创造力，也随之失去我们的控制。但在我看来，这却是个最美妙的结局。

第二章蜂群思维

2.1 蜜蜂之道：分布式管理

在我办公室的窗下，蜂箱静静地任由忙碌的蜜蜂进进出出。夏日的午后，阳光透过树影映衬着蜂箱。阳光照射下的蜜蜂如弧形的曳光弹，发出嗡嗡的声音，钻进那黑暗的小洞口。此刻，我看着它们将熊果树花朵今年最后的花蜜零星采集回家。不久雨季将至，蜜蜂们将躲藏起来。在写作的时候，我还会眺望窗外，而它们此时仍继续辛勤劳作，不过是在黑暗的家中。只有在晴朗的日子里，我才能幸运地看到阳光下成千上万的蜜蜂。

养蜂多年，我曾亲手把蜂群从建筑物和树林中搬出来，以这种快捷而廉价的方式在家中建起新的蜂箱。有一年秋天，邻居砍倒了一棵空心树，我用链锯切入那倒下的老山茱萸。这可怜的树里长满了癌瘤似的蜂巢。切入树身越深，发现的蜜蜂越多。挤满蜜蜂的洞和我一样大。那是一个阴沉凉爽的秋日，所有的蜜蜂都呆在家里，此刻被我的手术扰得不得安宁。最后我将手插入到蜂巢中。好热！至少有华氏九十五度（摄氏36度左右）。拥挤了十万只冷血蜜蜂的蜂巢已经变成热血的机体。加热了的蜂蜜像温暖稀薄的血一样流淌。我感到仿佛刚刚把手插进了垂死的动物。

将蜜蜂群集的蜂巢视同动物的想法姗姗来迟。希腊人和罗马人都是著名的养蜂人。他们从自制的蜂箱收获到数量可观的蜂蜜，尽管如此，这些古人对蜜蜂所有的认识几乎都是错误的。其原因归咎于蜜蜂生活的隐密性，这是一个由上万只狂热而忠诚的武装卫士守护着的秘密。德谟克利特³认为蜜蜂的孵化和蛆如出一辙。色诺芬⁴分辨出了蜂后，却错误地赋予她监督的职责，而她并没有这个任务。亚里士多德⁵在纠正错误认识方面取得了不错的成果，包括他对“蜜蜂统治者”将幼虫放入蜂巢隔间的精确观察。（其实，蜜蜂初生时是卵，但他至少纠正了德谟克利

.

3

德谟克利特（Democritus，约公元前460～前370）：古希腊哲学家。

.

4

色诺芬（Xenophon，约公元前434～前355）：希腊将军，历史学家，著有《长征记》一书。

.

5 亚里士多德（Aristotle，公元前

384～前

322): 古希腊大哲学家、科学家、亚历山大大帝的教师，雅典逍遥学派创始人。

特的蜜蜂始于蛆的误导。) 文艺复兴时期，蜂后的雌性基因才得到证明，蜜蜂下腹分泌蜂蜡的秘密也才被发现。直到现代遗传学出现后，才有线索指出蜂群是彻底的母权制，而且是姐妹关系：除了少数无用的雄蜂，所有的蜜蜂都是雌性姐妹。蜂群曾经如同日蚀一样神秘、一样深不可测。

我曾观看过几次日蚀，也曾多次观察过蜂群。我观看日蚀是把它当风景，兴趣不大，多半是出于责任，是因为它们的罕见与传说，更像是参加国庆游行。而蜂群唤起的是另一种敬畏。我见过不少次蜜蜂分群，每一次都令我痴呆若狂，也令其他所有目击者目瞪口呆。

即将离巢的蜂群是疯狂的，在蜂巢的入口处明显地躁动不安，喧闹的嗡嗡声此起彼伏，振动邻里。蜂巢开始吐出成群的蜜蜂，仿佛不仅要倾空其肠胃，还要倾空其灵魂。那微小的精灵在蜂巢上空形成喧嚣的风暴，渐渐成长为有目的、有生命、不透明的黑色小云朵。在震耳欲聋的喧闹声里，幻影慢慢升入空中，留下空空的蜂巢和令人困惑的静谧。德国神智学者鲁道夫·斯坦纳⁶在其另类怪僻的《关于蜜蜂的九个讲座》⁷中写道：“正如人类灵魂脱离人体……通过飞行的蜂群，你可以真实地看到人类灵魂分离的影像。”

许多年来，和我同区的养蜂人马克·汤普森一直有个强烈的怪诞愿望，建立一个同居蜂巢——一个你可以把头伸进去探访的活生生的蜜蜂之家。有一次，他正在院子里干活，突然一个蜂箱涌出一大群蜜蜂，“像流淌的黑色熔岩，渐渐消溶，然后腾空而起。”由三万只蜜蜂聚结成的黑色云团形成直径

20 英尺的黑晕，像

UFO 似的，离地六英尺，正好在齐眼的高度。忽隐忽

现的昆虫黑晕开始慢慢地漂移，一直保持离地六英尺的高度。马克终于有机会让他的同居蜂巢梦想成真。

马克没有犹豫。他扔下工具迅速进入蜂群，他的光头马上处于蜜蜂旋风的中心。他小跑着与蜂群同步穿过了院子。戴着蜜蜂光环，马克跳过一个又一个篱笆。此刻，他正跑步跟上那响声如雷的动物，他的头在它的腹部晃动。他们一起穿过公路，迅速通过一片开阔地，接着，他又跳过一个篱笆。他累了，蜜蜂还不累，它们加快了速度。这个载着蜂群的男人滑下山岗，滑进一片沼泽。他和蜜蜂犹如一头沼泽魔鬼，嗡嗡叫着，盘旋着，在瘴气中翻腾。马克在污泥中

·
6 鲁道夫·斯坦纳 (Rudolf

Steiner, 1861.02.27~1925.03.30): 奥地利社会哲学家，灵智学 (anthroposophy) 的创始人，讲究用人的本性、心灵感觉和独立於感官的纯思维与理论解释生活。

·
7

《关于蜜蜂的九个讲座》：Nine
Lectures
on
Bees

拚命摇晃着努力保持平衡。这时，蜜蜂仿佛得到某种信号，加快了速度。它们除去了马克头上的光环，留下湿漉漉的他独自站在那里，“气喘吁吁，快乐而惊愕。”蜂群保持着齐眼的高度，从地面漂过，好似被释放的精灵，越过高速公路，消失在昏暗的松树林中。

“‘蜂群的灵魂’在哪里……它在何处驻留？”早在
1901年，作家墨利斯·梅特林克⁸就发

出了这样的疑问：“这里由谁统治，由谁发布命令，由谁预见未来……？”现在我们已经能确定统治者不是蜂后。当蜂群从蜂巢前面狭小的出口涌出时，蜂后只能跟着。蜂后的女儿负责选择蜂群应该何时何地安顿下来。五、六只无名工蜂在前方侦察，核查可能安置蜂巢的树洞和墙洞。他们回来后，用约定的舞蹈向休息的蜂群报告。在报告中，侦察员的舞蹈越夸张，说明她主张使用的地点越好。接着，一些头目们根据舞蹈的强烈程度核查几个备选地点，并以加入侦察员旋转舞蹈的方式表示同意。这就引导更多跟风者前往占上风的候选地点视察，回来之后再加入看法一致的侦察员的喧闹舞蹈，表达自己的选择。

除去侦查员外，极少有蜜蜂会去探查多个地点。蜜蜂看到一条信息：“去那儿，那是个好地方。”它们去看过之后回来舞蹈说，“是的，真是个好地方。”通过这种重复强调，所属意的地点吸引了更多的探访者，由此又有更多的探访者加入进来。按照收益递增的法则，得票越多，反对越少。渐渐地，以滚雪球的方式形成一个大的群舞，成为舞曲终章的主宰。最大的蜂群获胜。

这是一个白痴的选举大厅，由白痴选举白痴，其产生的效果却极为惊人。这是民主制度的真髓，是彻底的分布式管理。曲终幕闭，按照民众的选择，蜂群挟带着蜂后和雷鸣般的嗡嗡声，向着通过群选确定的目标前进。蜂后非常谦恭地跟随着。如果她能思考，她可能会记得自己只不过是个村姑，与受命（谁的命令？）选择她的保姆是血亲姐妹。最初她只不过是个普通幼体，然后由其保姆以蜂王浆作为食物来喂养，从灰姑娘变成了蜂后。是什么样的因缘选择这个幼体作为女王呢？又是谁选择了这负责挑选的人呢？

“是由蜂群选择的。”威廉·莫顿·惠勒⁹的回答解答了人们的疑惑。威廉·莫顿·惠勒是古典

⁸ 莫里斯·梅特林克（Maurice Maeterlinck, 1862~1949）：比利时剧作家、诗人、散文家。主要作品有剧作《盲人》、《青鸟》，散文集《双重的花园》、《死亡》、《蚂蚁的生活》等。1911年作品《花的智慧》获诺贝尔文学奖。

威廉·莫顿·惠勒 (William

Morton Wheeler, 1865~1937): 美国昆虫学家、蚁学家, 哈佛大学教授。

学派生态学家和昆虫学家, 最早创立了社会性昆虫研究领域。在

1911 年写的一篇爆炸性短文

(刊登在《形态学杂志》上的《作为有机体的蚁群》) 中, 惠勒断言, 无论从哪个重要且科学的层面上来看, 昆虫群体都不仅仅是类似于有机体, 它就是一个有机体。他写道: “就像一个细胞或者一个人, 它表现为一个一元整体, 在空间中保持自己的特性以抗拒解体……既不是一种物事, 也不是一个概念, 而是一种持续的波涌或进程。”

这是一个由两万个群氓合并成的整体。

2.2 群氓的集体智慧

拉斯维加斯, 一间漆黑的会议室里, 一群观众兴高采烈地挥舞着硬纸棒。纸棒的一端是红色, 另一端是绿色。大会议室的最后面, 有一架摄像机摄录着疯狂的参与者。摄像机将纸棒上

的彩色点阵和由制图奇才罗伦·卡彭特¹⁰ 设置的一套计算机连接起来。卡彭特定制的软件对会堂中每个红色和绿色的纸棒进行定位。今晚到场的将近五千人。计算机将每个纸棒的位置及颜色精确地显示在一幅巨大而详细的视频地图上。地图就挂在前台, 人人都能看到。更重要的是, 计算机要计算出红色和绿色纸棒的总数, 并以此数值来控制软件。观众挥舞纸棒时, 屏幕上显示出一片在黑暗中疯狂舞动的光之海洋, 宛如一场朋克风格的烛光游行。观众在地图上看见的自己要么是红色像素, 要么是绿色像素。翻转自己的纸棒, 就能在瞬间改变自己所投映出的像素颜色。

罗伦·卡彭特在大屏幕上启动了老式的视频游戏“乒乓”。“乒乓”是第一款流行的商业化视频游戏。其设置极其简单: 一个白色的圆点在一个方框里跳来跳去, 两边各有一个可移动的长方形, 模拟球拍的作用。简单地说, 就是电子乒乓球。在这个版本里, 如果你举起纸棒红色的一端, 则球拍上移, 反之则球拍下移。更确切地说, 球拍随着会场中红色纸棒的平均数的增减而上下移动。你的纸棒只是参与总体决定中的一票。

卡彭特不需要作过多解释, 因为出现在这场于

1991 年举办的计算机图形专家会议上的与

会者们可能都曾经迷恋过“乒乓”游戏。卡彭特的声音通过扬声器在大厅中回荡: “好了, 伙计们。会场左边的人控制左球拍, 右边的人控制右球拍。假如你认为自己在左边, 那么你就是左边。明白了? 开始!”

观众们兴高采烈地欢呼起来。近五千人没有片刻犹豫, 玩起了乒乓大家乐, 玩得还相当不错。球拍的每次移动都反应了数千玩家意向的平均值。这种感觉有时会令人茫然。球拍一般会按照你的意愿移动, 但并不总是如此。当它不合你的意向时, 你会发现自己花在对球拍动向作预判上的关注力堪比对付那只正跳过来的乒乓球。每一个人都清晰地体察到游戏里别人的智慧

10 罗伦

.卡彭特（LorenCarpenter，1947～）：电脑图形图像专家，皮克斯动画工作室创始人之一并担任其首席科学家。—

—译自“维基百科”

也在作用：一群大呼小叫的群氓。

群体的智慧能把“乒乓”玩得这么好，促使卡彭特决定加大难度。在没有提示的情况下，球跳动得更快了。参与者齐声尖叫起来。但在一两秒之内，众人就立刻调整并加快了节奏，玩得比以前更好了。卡彭特进一步加快游戏速度，大家也立刻跟着加快速度。

“我们来试试别的，”卡彭特建议道。屏幕上显示出一张会堂座位图。他用白线在中央画了一个大圈。“你们能在圈里摆个绿色的‘5’吗？”他问观众。观众们瞪眼看着一排排红色像素。这个游戏有点像在体育场举着广告牌拼成画面，但现在没有预先设置好的顺序，只有一个虚拟的映象。红色背景中立即零落地出现了绿色像素，歪歪扭扭，毫无规则地扩大，因为那些认为自己的座位在“5”的路径上的人把纸棒翻成了绿色。一个原本模糊的图形越来越清晰了。喧闹声中，观众们开始共同辨认出一个“5”。“5”字一经认出，便陡然清晰起来。坐在图形模糊边缘的纸棒挥舞者确定了自己“应该”处的位置，使“5”字显得更加清晰。数字自己把自己拼搭出来了。

“现在，显示‘4’！”声音响起来。瞬时出现一个“4”。“3”，眨眼功夫“3”显示出来。接着迅速地、不断地一个个显现出“2……1……0。”

罗伦·卡彭特在屏幕上启动了一个飞机飞行模拟器。他简洁地说明玩法：“左边的人控制翻滚，右边的人控制机头倾角。如果你们把飞机指向任何有趣的东西，我会向它发射火箭。”飞机初始态是在空中。飞行员是……五千名新手。会堂第一次完全静了下来。随着飞机挡风玻璃外面的情景展现出来，所有人都在研究导航仪。飞机正朝着粉色小山之间的粉色山谷中降落。跑道看上去非常窄小。

让飞机乘客共同驾驶飞机的想法既令人兴奋，又荒唐可笑。这种粗蛮的民主感觉真带劲儿。作为乘客，你有权来参与表决每个细节，不仅可以决定飞机航向，而且可以决定何时调整襟翼以改变升力。

但是，群体智慧在飞机着陆的关键时刻似乎成了不利条件，这时可没空均衡众意。当五千名与会者开始为着陆降低高度时，安静的大厅爆发出高声呼喝和急迫的口令。会堂仿佛变成了危难关头的驾驶员座舱。“绿，绿，绿！”一小部分人大声喊道。“红色再多点！”一会儿，另一大群人又喊道。“红色，红色，红——色！”飞机令人晕眩地向左倾斜。显然，它将错过跑道，机翼先着地了。飞行模拟器不像“乒乓”游戏，它从液压杆动作到机身反应，从轻推副

翼杆到机身侧转，设定了一段时间的延迟反馈。这些隐藏起来的信号扰乱了群体的思维。受矫正过正的影响，机身陷入俯仰震荡。飞机东扭西歪。但是，众人不知怎么又中断了着陆程序，理智地拉起机头复飞。他们将飞机转向，重新试着着陆。

他们是如何掉转方向的？没有人决定飞机左转还是右转，甚至转不转都没人能决定，没人作主。然而，仿佛是万众一心，飞机侧转并离场。再次试图着陆，再次摇摆不定。这次没经过沟通，众人又像群鸟乍起，再次拉起飞机。飞机在上升过程中稍稍摇摆了一下，然后又侧滚了一点。在这不可思议的时刻，五千人同时有了同样坚定的想法：“不知道能否翻转360度？”

众人没说一句话，继续翻转飞机。这下没有回头路了。随着地平线令人眼花缭乱的上下翻转，五千名外行飞行员在第一次单飞中让飞机打了个滚。那动作真是非常优美。他们起立为自己长时间鼓掌喝彩。

参与者做到了鸟儿做的事：他们成功地结成了一群。不过，他们的结群行为是自觉的。当合作形成“5”字或操纵飞机的时候，他们是对自己的总体概貌做出反应。而飞行途中的一只鸟对自己的鸟群形态并没有全局概念。结队飞行的鸟儿对鸟群的飞行姿态和聚合是视而不见的。“群态”正是从这样一群完全罔顾其群体形状、大小或队列的生物中涌现出来的。

拂晓时分，在杂草纵生的密歇根湖上，上万只野鸭躁动不安。在清晨柔和的淡红色光辉映照下，野鸭们吱吱嘎嘎地叫着，抖动着自己的翅膀，将头插进水里寻找早餐。它们散布在各处。突然，受到某种人类感觉不到的信号的提示，一千只鸭子如一个整体似的腾空而起。它们轰然飞上天空，随之带动湖面上另外千来只野鸭一起腾飞，仿佛它们就是一个躺着的巨人，现在翻身坐起了。这头令人震惊的巨兽在空中盘旋着，转向东方的太阳，眨眼间又急转，前队变为后队。不一会儿，仿佛受到某种单一想法的控制，整群野鸭转向西方，飞走了。十七世纪的一位无名诗人写道：“……成千上万条鱼如一头巨兽游动，破浪前进。它们如同一个整体，似乎受到不可抗拒的共同命运的约束。这种一致从何而来？”

一个鸟群并不是一只硕大的鸟。科学报道记者詹姆斯·格雷克¹¹写道：“单只鸟或一条鱼的运动，无论怎样流畅，都不能带给我们像玉米地上空满天打旋的燕八哥或百万鳊鱼鱼贯而行的密集队列所带来的震撼。……（鸟群疾转逃离掠食者的）高速电影显示出，转向的动作以波状

¹¹ 詹姆斯

·格雷克（James Gleick, 1954.08.01~）：作家、记者、传记记者。他的书揭示了科学技术的文化派别，其中

传感的方式，以大约七十分之一秒的速度从一只鸟传到另一只鸟。比单只鸟的反应要快得多。”鸟群远非鸟的简单聚合。

在《蝙蝠侠归来》中有一个场景，一大群黑色大蝙蝠一窝蜂地穿越水淹的隧道涌向纽约市中心。这些蝙蝠是由电脑制作的。动画绘制者先制作一只蝙蝠，并赋予它一定的空间以使之能自动地扇动翅膀；然后再复制出几十个蝙蝠，直至成群。之后，让每只蝙蝠独自在屏幕上四处飞动，但要遵循算法中植入的几条简单规则：不要撞上其他的蝙蝠，跟上自己旁边的蝙蝠，离队不要太远。当这些“算法蝙蝠”在屏幕上运行起来时，就如同真的蝙蝠一样成群结队而行了。

群体规律是由克雷格·雷诺兹¹²发现的。他是在图像硬件制造商 Symbolics 工作的计算机科

学家。他有一个简单的方程，通过对其中各种作用力的调整——多一点聚力，少一点延迟——雷诺兹能使群体的动作形态像活生生的蝙蝠群、麻雀群或鱼群。甚至在《蝙蝠侠归来》中的行进中的企鹅群也是根据雷诺兹的运算法则聚合的。像蝙蝠一样，先一古脑地复制很多计算机建模的三维企鹅，然后把它们释放到一个朝向特定方向的场景中。当它们行进在积雪的街道上，就轻易地出现了推推搡搡拥挤的样子，不受任何人控制。

雷诺兹的简单算法所生成的群体是如此真实，以致于当生物学家们回顾了自己所拍摄的高速电影后，他们断定，真实的鸟类和鱼类的群体行为必然源自于一套相似的简单规则。群体曾被看作是生命体的决定性象征，某些壮观的队列只有生命体才能实现。如今根据雷诺兹的算法，群体被看作是一种自适应的技巧，适用于任何分布式的活系统，无论是有机的还是人造的。

.12 克雷格

.雷诺兹（Craig

Reynolds, 1953.03.15～）：仿真生命与电脑图形图像专家，1986 年发明仿真人工生命“类鸟群”。——译自“维基百科”

2.3 非匀质的看不见的手

蚂蚁研究的前驱者惠勒率先使用“超级有机体”来称呼昆虫群体的繁忙协作，以便清楚地和“有机体”所代表的含义区分开来。惠勒受到世纪之交（1900 年左右）的哲学潮流影响。该潮流主张通过观察组成部分的个体行为去理解其上层的整体模式。当时的科学发展正一头扎入对物理学、生物学、以及所有自然科学的微观细节的研究之中。这种一窝蜂上的将整体还原为其组成部分的研究方式，在当时被看作是能够理解整体规律的最实际做法，而且将会持续整个

21 世纪），至今仍是科学探索的主要模式。惠勒和他的同事们是这种还原观点的主要拥护者，并身体力行，写就了五十篇关于神秘的蚂蚁行为的专题论文。但在同一时刻，惠勒还从超越了蚂蚁群体固有特征的超级有机体中看到了“涌现的特征”。惠勒认为，集群所形成的超级有机体，是从大量聚集的普通昆虫有机体中“涌现”出来的。他指出，这种涌现是一种科学，一种技术的、理性的解释，而不是什么神秘主义或炼金术。

惠勒认为，这种涌现的观念为调和“将之分解为部分”和“将之视为一个整体”两种不同的方法提供了一条途径。当整体行为从各部分的有限行为里有规律地涌现时，身体与心智、整

体与部分的二元性就真正烟消云散了。不过当时，人们并不清楚这种超越原有的属性是如何从底层涌现出来的。现在也依然如此。

惠勒团队清楚的是：涌现是一种非常普遍的自然现象。与之相对应的是日常可见的普通因果关系，就是那种

A 引发

B，B 引发

C，或者

$2+2=4$ 这样的因果关系。化学家援引普通的因果

关系来解释实验观察到的硫原子和铁原子化合为硫化铁分子的现象。而按照当时的哲学家

C

.劳

埃德.摩根 13 的说法，涌现这个概念表现的是一种不同类型的因果关系。在这里， $2+2$ 并不等于 4，甚至不可能意外地等于

5。在涌现的逻辑里， $2+2=$ 苹果。“涌现——尽管看上去多少都有点

跃进（跳跃）——的最佳诠释是它是事件发展过程中方向上的质变，是关键转折点。”这是摩根

1923 年的著作《涌现式的进化》中的一段话。那是一本非常有胆识的书，书中接着引用了布朗宁的一段诗，这段诗佐证了音乐是如何从和弦中涌现出来的：

.

13 劳埃德.摩根 (Lloyd

Morgan, 1852.02.06~1936.03.06)：英国心理学家、生物学家和哲学家，比较心理学的先驱。

而我不知道，除此（音乐）之外，人类还能拥有什么更好的天赋

因为从三个音阶（三和弦）中他所构造出的，不是第四个音阶，而是星辰。

我们可以声称，是大脑的复杂性使我们能够从音符中精炼出音乐——显然，木头疙瘩是不可能听懂巴赫的。当聆听巴赫时，充溢我们身心的所有“巴赫的气息”，就是一幅富有诗意的图景，恰如其分地展现出富有含义的模式是如何从音符以及其他信息中涌现出来的。

一只小蜜蜂的机体所代表的模式，只适用于其十分之一克重的更细小的翅室、组织和壳

质。而一个蜂巢的机体，则将工蜂、雄蜂、以及花粉和蜂窝组成了一个统一的整体。一个重达五十磅的蜂巢机构，是从蜜蜂的个体部分涌现出来的。蜂巢拥有大量其任何组成部分所没有的东西。一个斑点大的蜜蜂大脑，只有

6 天的记忆，而作为整体的蜂巢所拥有的记忆时间是

3

个月，是一只蜜蜂平均寿命的两倍。

蚂蚁也拥有一种蜂群思维。从一个定居点搬到另一个定居点的蚁群，会展示出应急控制下

的“卡夫卡式噩梦”效应 14。你会看到，当一群蚂蚁用嘴拖着卵、幼虫和蛹拔营西去的时候，

另

一群热忱的工蚁却在以同样的速度拖着那些家当掉头东行。而与此同时，还有一些蚂蚁，也许是意识到了信号的混乱和冲突，正空着手一会儿向东一会儿向西的乱跑。简直是典型的办公室场面。不过，尽管如此，整个蚁群还是成功地转移了。在没有上级作出任何明确决策的情况下，蚁群选定一个新的地点，发出信号让工蚁开始建巢，然后就开始进行自我管理。

“蜂群思维”的神奇在于，没有一只蜜蜂在控制它，但是有一只看不见的手，一只从大量愚钝的成员中涌现出来的手，控制着整个群体。它的神奇还在于，量变引起质变。要想从单个虫子的机体过渡到集群机体，只需要增加虫子的数量，使大量的虫子聚集在一起，使它们能够相互交流。等到某一阶段，当复杂度达到某一程度时，“集群”就会从“虫子”中涌现出来。虫子的固有属性就蕴涵了集群，蕴涵了这种神奇。我们在蜂箱中发现的一切，都潜藏在蜜蜂的个体之中。不过，你尽管可以用回旋加速器和X光机来探查一只蜜蜂，但是永远也不能从中找出蜂巢的特性。

这里有一个关于活系统的普遍规律：低层级的存在无法推断出高层级的复杂性。不管是计算机还是大脑，也不管是哪一种方法——数学、物理或哲学——如果不实际地运行它，就无法

14 卡夫卡式噩梦：是德语小说家弗兰兹·

...卡夫卡在其作品中表现出来的一种毫无逻辑、茫然无从、琐碎复杂的精神状态。

揭示融于个体部分的涌现模式。只有实际存在的蜂群才能揭示单个蜜蜂体内是否融合着蜂群特性。理论家们是这样说的：要想洞悉一个系统所蕴藏的涌现结构，最快捷、最直接也是唯一可靠的方法就是运行它。要想真正“表述”一个复杂的非线性方程，以揭示其实际行为，是没有捷径可走的。因为它有太多的行为被隐藏起来了。

这就使我们更想知道，蜜蜂体内还裹藏着什么别的东西是我们还没见过的？或者，蜂巢内部还裹藏着什么，因为没有足够的蜂巢同时展示，所以还没有显露出来？就此而言，又有什么潜藏在人类个体中没有涌现出来，除非所有的人都通过人际交流或政治管理联系起来？在这种类似于蜂巢的仿生超级思维中，一定酝酿着某种最出人意料的东西。

2.4 认知行为的分散记忆

任何思维都会酝酿出令人费解的观念。

因为人体就是一个由术有专攻的器官们组成的集合体——心脏负责泵送，肾脏负责清扫——所以，当发现思维也将认知行为委派给大脑不同区域时，人们并没有感到过分惊讶。

十八世纪晚期，内科医生们注意到，刚去世的病人在临死之前其受损的大脑区域和明显丧失的心智能力之间存在着某种关联。这种关联已经超出了学术意义：神智错乱在本源上是属于生物学的范畴吗？1873年，在伦敦西赖丁精神病院

15，一位对此心存怀疑的年轻内科医生用外

科手术的方式取出两只活猴的一小部分大脑组织。其中一例造成猴子右侧肢体瘫痪，另一例造

成猴子耳聋。而在其他所有方面，两只猴子都是正常的。该实验表明：大脑一定是经过划分的，即使部分失灵，整体也不会遭遇灭顶之灾。

如果大脑按部门划分，那么记忆在哪一科室储存？复杂的大脑以何种方式分摊工作？答案出乎意料。

1888 年，一位曾经谈吐流利、记忆灵敏的男人，惶恐不安地出现在朗道尔特博士的办公室，因为他说不出字母表里任何字母的名字了。在听写一条消息的时候，这位困惑的男人写得只字不差。然而，他却怎么也读不出所写的内容。即使写错了，也找不出错的地方。朗道尔特博士记录道：“请他看视力检查表，他一个字母也说不出。尽管他声称看得很清楚……他把

A

比做画架，把

Z 比做蛇，把

P 比做搭扣。”

四年后这个男人死的时候，他的诵读困难变成彻底的读写失语症。不出所料，解剖尸体发现了两处损伤：老伤在枕叶（视力）附近地区，新伤可能在语言中枢附近。

这是大脑官僚化（即按片分管）的有力证明。它暗示着，不同的大脑区域分管不同的功能。如果要说话，则由这个科室进行相应的字母处理；而如果要书写，则归那个科室管。要说出一个字母（输出），你还需要向另一个地方申请。数字由则另一幢楼里的另一个完全不同的部门处理。如果你想骂人，就要像滑稽短剧《巨蟒剧团之飞翔的马戏团》16 里提示的那样，必须

.15 西赖丁精神病院：West

Riding

Lunatic

Asylum

.

16 巨蟒剧团之飞翔的马戏团（Monty

Python's Flying

Circus）：1969 年英国

BBC 电视台推出的一个电视滑稽剧。

下到大厅里去。

早期的大脑研究员约翰·休林-杰克逊 17 讲述了一个关于他的一名女病人的故事。这个病人在生活中完全失语。有一次，她所住的病房的街对面有一堆倾倒在那里的垃圾着火了，这位病人清晰地发出了一个字——也是休林-杰克逊所听到的她讲的绝无仅有的一个字——“火！”

怎么会这样？他感到有点不可思议，难道“火”是她的语言中枢记得的唯一一个字？莫不成大脑有自己的“火”字部门？

随着大脑研究的进一步深入，思维之谜向人们展示出其极具特定性的一面。在有关记忆的文献中，有一类人能正常地区分具体的名词——对他们说“肘部”，他们就会指着自己的肘部——但是非常奇怪的是，他们无力识别抽象名词——问他们“自由”或“天资”，他们会茫

然地瞪着眼睛，耸耸肩。与此相反，另一类看上去很正常的人则失去了记住具体名词的能力，却能完全识别抽象的东西。以色列人罗森菲尔德在其精彩但却不引人注目的著作《记忆的发明》18 中写道：

有这么一个病人，当让他给干草下定义时，他回答，“我忘了。”当请他给海报下定义时，他说，“不知道。”然而，给他“恳求”这个词时，他说，“真诚地请求帮助。”说到“协议”，则回答，“友好的协定。”

古代哲学家说，记忆是个宫殿，每个房间都停放着一个思想。随着临床上一个个很特别的健忘症被发现和研究，记忆房间的数量呈爆炸式增长，且无穷无尽。已经被划分为套间的记忆堡垒，又被分割为由极小的秘室组成的巨大迷宫。

有一项研究的对象是四个病人，他们能辨明无生命的物体（雨伞、毛巾），却会混淆生物，包括食品！其中一个病人能毫不含糊地谈论无生命的物体，但对他来说，蜘蛛的定义却是“一个为国家工作的找东西的人。”还有许多记录，是关于受过去时态困扰的失语症病人的。我听说过另一个传闻（我不能证实，但毫不怀疑），说患某种疾病的患者能够分辨所有食物，但蔬菜除外。

.17 约翰

.休林-杰克逊（John

HughlingsJackson, 1835.03.04～1911.10.07）：英国皇家学会会员，英国精神病学家。

.18 《记忆的发明》：The

Invention

of

Memory

南美文学名家博尔赫斯在他的小说中杜撰了一部名为《天朝仁学广览》19 的古代中国百科全书。其中的分类体系恰如其分地代表了这种潜藏在记忆系统下的怪诞不经。

在那本年代久远的百科全书中，动物被划分为：a) 属于皇帝的，b) 防腐处理的，c) 驯养的，d) 乳臭未干的小猪，e) 半人半鱼的，f) 赏心悦目的，g) 离家的狗，h) 归入此类的，

i) 发疯般抽搐的，j) 不可胜数的，k) 用驼毛细笔描绘的，l) 除此之外的，m) 刚刚打破花瓶的，n) 远看如苍蝇的。

任何分类过程都有其逻辑问题，就如天朝分类法那般牵强。除非每一个记忆都能有不同的地方存放，否则就一定会有令人困惑的重叠。举例来说，一只喋喋不休的、淘气的小猪，就可能被归为上述类别中的三个里面。尽管可以将一个想法插入到三个记忆槽里，但其效率则非常低。

在计算机科学家试图创立人工智能的过程中，知识是如何存入大脑的已经不仅仅是个学术问题了。那么，蜂群思维中的记忆架构是什么样的呢？

过去，多数研究人员倾向于认为，（记忆的存储）就如同人类管理其自制的文件柜一样，直观而自然：每个存档文件占用一个地方，彼此间有多重交叉引用，就像图书馆一样。活跃于1930年代的加拿大神经外科医生怀尔德

.潘菲尔德 20 通过一系列著名的精彩实验，将这种认为每条记忆都对应于大脑中一个单独位置的理论发展到了顶峰。潘菲尔德通过大胆的开颅术，在病人清醒的状态下利用电激探查其小脑活体，请他们讲述自己的感受。病人们能够回忆起非常生动的往事。电激的最微小移动能引发截然不同的想法。潘菲尔德在用探测器扫描小脑表面的同时，绘制出每个记忆在大脑中的对应位置。

他的第一个意外发现是，那些往事是可以重播的，就如同在若干年后播放录音机一般——“摁下重播键”。潘菲尔德在描述一位二十六岁妇女癫痫发作后的幻觉时用了“回闪”这个词：“同样的回闪出现了几次，都与她表亲的家或去那里的旅行有关——她已经有十到十五年没有去那里了，但小时候常去。”

潘菲尔德对活脑这块处女地的探索使得人们形成了根深蒂固的印象：脑半球就好比出色的

.19 《天朝仁学广览》：Celestial

Emporium

of

Benevolent

Knowledge

.

20 怀尔德.潘菲尔德（Wilder

GravesPenfield，1891.01.26～1976.04.05）：加拿大神经外科医生、神经生理学家。

记录装置，其精彩的回放功能似乎更胜过时下流行的留声机。我们的每个记忆都被精确地刻划在它自己的碟片上，由不偏不倚的大脑忠实地将其分类归档，并能像自动点唱机中的歌曲一样，摁动正确的按钮就能播放出来，除非受到暴力的损伤。

然而仔细查看潘菲尔德实验的原始记录会发现，记忆并不是十分机械的过程。有一个例子，是一位二十九岁的妇女在潘菲尔德刺激其左颞叶时的反应：“有什么东西从某个地方朝我来了。是一个梦。”四分钟以后，当刺激完全相同的点时：“景色似乎和刚才的不一样……”而刺激附近的点：“等等，什么东西从我上面闪过去了，我梦到过的东西。”在第三个刺激点——在大脑的更深处，“我不停地做梦。”对同一点重复刺激：“我不停地看到东西——我不停地梦到东西。”

这些文字所谈及的，与其说是从记忆档案馆的底层文件架上翻出的杂乱无章的昨日重现，倒不如说是梦一般的模糊闪现。这些过往经历的主人把它们当作是零碎的半记忆片段。它们带有生硬的“拼凑”色彩，漫无目的地飘荡；梦境由此而生——那些关于过去的、星星点点的、没有中心的故事被重组为梦中的拼贴画。并没有所谓似曾相识的感觉，也没有“当时情形正是如此”的强烈意识。没有人会被这些重播所蒙蔽。

人类的记忆的确会不管用。其不管用的方式十分特别，比如在杂货店里记不起购物清单中的蔬菜或是干脆就忘掉了蔬菜这码事。记忆的损伤往往和大脑的物理损伤有关，据此我们猜测，记忆在某种程度上是与时间和空间捆绑在一起的——与时间和空间捆绑在一起正是真实的一种定义。

然而现代认知科学更倾向于一个新的观点：记忆好比由储存在脑中的许多离散的、非记忆似的碎片汇总起来而从中涌现出来的事件。这些半意识的碎片没有固定的位置，它们分散在大脑中。其储存方式在不同的意识之间有本质的不同——对洗牌技能的掌握与对玻利维亚首都的了解就是按完全不同的方式组织的——并且这种方式人与人之间会有所不同，上一次与下一次之间也会有所不同。

由于可能存在的想法或经历要比大脑中神经元的组合方式多，因此，记忆必须以某种方式进行组织，以尽可能容纳超过其存储空间的想法。它不可能有一个架子来存放过去所有的念头，也无法为将来可能出现的每一个想法预留位置。

记得二十年前在台湾的一个夜晚，我坐在敞篷卡车的后面，行进在满是灰尘的山路上。山

上空气很冷，我穿上了夹克。我搭的是顺风车，要在黎明前到达山区一座高峰。卡车在陡峭黑暗的山路上一圈圈艰难地向上爬升，而我在清新的空气中仰望星空。天空如此清澈，我能看见接近地平线的小星星。突然，一颗流星嗖地滑落，因为我在山里的角度特别，所以看见它在大气层里跳动。它跳啊，跳啊，跳啊，像粒石子。

现在，当我回忆起这一幕时，那颗跳动的流星已经不再是我记忆的重播——尽管它是如此的生动。它的影像并不存在于我记忆中任何特别的地方。当我重现这段经历时，实际上对其重新进行了组合，并且每次回忆起来都会重新进行组合。所用的材料是散布在我大脑中的细小的证据碎片：在寒风中瑟瑟发抖，在崎岖的山路上颠簸前进，在夜空中闪烁的无数星星，还有在路旁伸手拦车的场景。这些记录的颗粒甚至更细小：冷，颠簸，光点，等候。这些正是我们通过感官所接收到的原始印象，并由此组合成了我们当前的感知。

我们的意识正是通过这许许多多散布在记忆中的线索创造了现在，如同它创造了过去一样。站在博物馆的一个展品面前，其所具有的平行直线让我在头脑中将它与“椅子”的概念联系起来，尽管这个展品只有三条腿。我的记忆中从未见过这样一把椅子，但它符合所有（与椅子）相关联的事物——它是直立的，有水平的座位，是稳定的，有若干条腿——并随之产生了视觉映像。这个过程非常快。事实上，在察觉其所特有的细节之前，我会首先注意到其所具备的一般“椅性”。

我们的记忆（以及我们的蜂群思维）是以同样模糊而偶然的方式创造出来的。要（在记忆中）找到那颗跳动的流星，我的意识首先抓住了一条移动的光的线索，然后收集一连串与星星、寒冷、颠簸有关的感觉。创造出什么样的记忆，有赖于最近我往记忆里塞入了什么，也包括上次重组这段记忆时所加进去的感觉或其他事情。这就是为什么每次回忆起来都有些微不同的原因，因为每次它都是真正意义上的完全不同的经历。感知的行为和记忆的行为是相同的。两者都是将许多分布的碎片组合成一个自然涌现出的整体。

认知科学家道格拉斯·霍夫施塔特 21 说道：“记忆，是高度重建的。在记忆中进行搜取，需要从数目庞大的事件中挑选出什么是重要的，什么是不重要的，强调重要的东西，忽略不重要的东西。”这种选择的过程实际上就是感知。“我非常非常相信，”霍夫施塔特告诉我，“认

21 道格拉斯

·霍夫施塔特（Douglas Richard

Hofstadter, 1945.02.15～）：美国作家，从事意识思考及创造力方面的研究。侯世达是他的中文名。其著作《哥德尔、埃舍尔、巴赫》获得 1980 年普立兹非小说类别奖。——译自“维基百科”

知的核心过程与感知的关系非常非常紧密。”

在过去二十年里，一些认知科学家已经勾画出了创造分布式记忆的方法。1970 年代，心理学家戴维·马尔 22 提出一种人类小脑的新模型，在这个模型中，记忆是随机地存储在整个神经

元网络中的。1974 年，计算机科学家彭蒂

·卡内尔瓦 23 提出了类似的数学网络模型。借助这个模

型，长字符串的数据能随机地储存在计算机内存中。卡内尔瓦的算法是一种将有限数量的数据点储存进非常巨大的潜在的内存空间的绝妙方法。换句话说，卡内尔瓦指出了一种能够将思维所拥有的任何感知存入有限记忆机制的方法。由于宇宙中可能存在的思想要比原子或粒子更多，人类思维所能接触到的只是其中非常稀疏的一部分，因此，卡内尔瓦称他的算法为“稀疏分布记忆”

24 算法。

在一个稀疏分布式网络中，记忆是感知的一种。回忆行为和感知行为都是在一个非常巨大的模式可选集中探查所需要的一种模式。我们在回忆的时候，实际上是重现了原来的感知行为，也就是说，我们按照原来感知这种模式的过程，重新定位了该模式。

卡内尔瓦的算法是如此简洁清晰，以致于某个计算机高手用一个下午就能大致地实现它。

1980 年代中期，在美国宇航局艾姆斯研究中心，卡内尔瓦和同事们在一台计算机上设计出非常稳定的实用版本，对他的稀疏分布记忆结构进行了细调。卡内尔瓦的记忆算法能做一些可媲美于人类思维的不可思议的事情。研究者事先向稀疏内存中放入几个画在

20x20 格子里的低画质

数字图像（1 至

9）。内存保存了这些图像。然后，他们拿一个比第一批样本画质更低的数字图

像给内存，看它是否能“回忆”起这个数字是什么。结果它做到了！它意识到了隐藏在所有低画质图像背后的原型。从本质上来说，它记起的是以前从未见过的形象！

这个突破不仅仅使找到或重现过去成为可能，更重要的是，当只给定最模糊的线索时，它也能够从无数的可能性中发掘出一些东西。对一个记忆体来说，仅仅能调出祖母的容貌是不够

的，在不同的光线下以及从不同的角度去看祖母的样子时，它都应该能辨认出来。

. 22 戴维

.马尔（David

Courtney

Marr, 1945.01.19~1980.11.17): 英国神经系统科学家、心理学家。马尔整合心理学、人工智能及神经生理学研究成果，提出了视觉处理新模式，被公认为计算神经科学创始人。——译自“维基百科”

.23 彭蒂

.卡内尔瓦（Pentti

Kanerva): 发明“稀疏分布记忆”算法。现为雷氏神经系统科学研究所研究员。

.24 稀疏分布记忆: Sparse

Distributed

Memory

蜂群思维是能同时进行感知和记忆的分布式内存。人类的思维多半也是分布式的，至少在人工思维中分布式思维肯定是占优势的。计算机科学家越是用蜂群思维的方式来思考分布式问题，就越发现其合理性。他们指出，大多数个人电脑在开机状态的绝大部分时间里并没有真正投入使用。当你在计算机上写信时，敲击键盘产生的短脉冲会打断计算机的休息，但当你构思下一句话的时候，它又会返回到无所事事的状态。总体而言，办公室里打开的计算机在一天的大部分时间里都处于闲置状态。大公司的信息系统管理人员眼见价值几百万美元的个人电脑设备晚上在工作人员的办公桌上闲着，很想知道是否能够充分利用这些设备的全部计算能力。他们所需要的正是一个在完全分布式的系统中协调工作和存储的办法。

不过，仅仅解决闲置问题并不是分布式计算的主要意义。分布式系统和蜂群思维有其独特的优势，比如，对突然出现的故障具有极强的免疫力。在加利福尼亚州帕罗奥多市 25 的数字设备

公司 26 的实验室里，一名工程师向我演示了分布式计算的优势：他打开装有公司内部计算机网络

的机柜门，动作夸张地从里面拔掉了一条电缆。网络路由毫不迟疑地绕过了缺口。

当然，任何蜂群思维都有失灵的时候。但是，因为网络的非线性特质，当它确实失灵的时候，其故障可能类似于除了蔬菜什么食物都记得的失语症。一个有损伤的网络智能也许能计算出圆周率的第十亿个数位，却不能向新地址转发邮件；它也许能查出为非洲斑马变种进行分类这样晦涩难懂的课本文字，却找不出任何有关一般动物的合乎情理的描述。对蔬菜的整体“健忘”不太像局部的存储器故障，它更像是系统层面的故障，据其症状推断，有可能是与蔬菜相关的某种特殊关联出现了问题——就像计算机硬盘中的两个独立但又相互矛盾的程序有可能造成一个“漏洞”阻止你打印斜体字一样。斜体字的存储位置并没有被破坏，但是渲染斜体字的系统进程被破坏了。

创建分布式计算机思维所遇到的一些障碍可以通过将计算机网络建立在一个箱体内的方法

加以克服。这种经过刻意压缩的分布式计算也被称为并行计算，因为在超级计算机中的成千上万的计算机在并行运转。并行超级计算机不能解决“办公桌上闲置的计算机”问题，也不能将散布各处的计算能力聚合起来；并行运转是其本身和内部的一个优势，不过单就为了这一点，也值得花一百万美元来制造一个单机装置。

.25 帕罗奥多市（Palo Alto）：位于加州北部湾区地带，著名的斯坦福大学就位于该市。

.26 数字设备公司：Digital
Equipment
Corporation

并行分布式计算非常适用于感知、视觉和仿真领域。并行机制处理复杂性的能力要好于以体积庞大、运算速度超快的串行计算机为基础的传统超级计算机。在采用稀疏分布式内存的超级计算机里，记忆与数据处理之间的差异消失了。记忆成为了感知的再现，与最初的认知行为没有什么区别。两者都是从一大堆互相连接的部件中涌现出来的模式。

2.5 从量变到质变

满满一槽的水。当你拔去水槽的塞子，水就会开始搅动，形成涡流。涡流发展成为漩涡，像有生命一般成长。不一会儿，漩涡从水面扩展到槽底，带动了整个水槽里的水。不停变化的水分子瀑布在龙卷中旋转，时刻改变着漩涡的形状。而漩涡持续不变，就在崩溃的边缘舞动。

“我们并非僵滞的死物，而是自我延续的模式，”诺伯特·维纳²⁷如是写道。

水槽空了，所有的水都通过漩涡而流得一干二净。当满槽水都从槽里排入下水道后，漩涡的模式到哪去了呢？这模式又是从何而来呢？

不管我们在何时拔掉塞子，漩涡都会无一例外地出现。漩涡是一种涌现的事物——如同群一样，它的能量及结构蕴涵于群体而非单个水分子的能量和特性之中。不论你多么确切地了解H₂O（水的分子式）的化学特征，它都不会告诉你任何有关漩涡的特征。一如所有涌现的事物，漩涡的特性来源于大量共存的其他个体；在之前所举的例子中，是满满一槽的水分子。一滴水并不足以显现出漩涡，而一把沙子也不足以引发沙丘的崩塌。事物的涌现大都依赖于一定数量的个体，一个群体，一个集体，一个团伙，或是更多。

数量能带来本质性的差异。一粒沙子不能引起沙丘的崩塌，但是一旦堆积了足够多的沙子，就会出现一个沙丘，进而也就能引发一场沙崩。一些物理属性，如温度，也取决于分子的集体行为。空间里的一个孤零零的分子并没有确切的温度。温度更应该被认为是一定数量分子所具有的群体性特征。尽管温度也是涌现出来的特征，但它仍然可以被精确无疑地测量出来，甚至是可以预测的。它是真实存在的。

科学界早就认为大量个体和少量个体的行为存在重大差异。群聚的个体孕育出必要的复杂性，足以产生涌现的事物。随着成员数目的增加，两个或更多成员之间可能的相互作用呈指数

级增长。当连接度高且成员数目大时，就产生了群体行为的动态特性。——量变引起质变。

27 诺伯特·维纳（Norbert

Wiener, 1894.11.26~1964.03.08）：美国数学家，美国科学院院士，控制论的创始人。

2.6 群集的利与弊

有两种极端的途径可以产生“更多”。一种途径是按照顺序操作的思路来构建系统，就像工厂的装配流水线一样。这类顺序系统的原理类似于钟表的内部逻辑——通过一系列的复杂动作来映衬出时间的流逝。大多数机械系统遵循的都是这种逻辑。

还有另一种极端的途径。我们发现，许多系统都是将并行运作的部件拼接在一起，很像大脑的神经网络或者蚂蚁群落。这类系统的动作是从一大堆乱糟糟且又彼此关联的事件中产生的。它们不再像钟表那样，由离散的方式驱动并以离散的方式显现，更像是有成千上万个发条在一起驱动一个并行的系统。由于不存在指令链，任意一根发条的某个特定动作都会传递到整个系统，而系统的局部表现也更容易被系统的整体表现所掩盖。从群体中涌现出来的不再是一系列起关键作用的个体行为，而是众多的同步动作。这些同步动作所表现出的群体模式要更重要得多。这就是群集模型。

这两种极端的组织方式都只存在于理论之中，因为现实生活中的所有系统都是这两种极端的混合物。某些大型系统更倾向于顺序模式（如工厂），而另外一些则倾向于网络模式（如电话系统）。

我们发现，宇宙中最有趣的事物大都靠近网络模式一端。彼此交织的生命，错综复杂的经济，熙熙攘攘的社会，以及变幻莫测的思绪，莫不如此。作为动态的整体，它们拥有某些相同的特质：比如，某种特定的活力。

这些并行运转的系统中有我们所熟知的各种名字：蜂群、电脑网络、大脑神经网络、动物的食物链、以及代理群集。上述系统所归属的种类也各有其名称：网络、复杂自适应系统、群系统、活系统、或群集系统。我在这本书中用到了所有这些术语。

每个系统在组织上都汇集了许多（数以千计的）自治成员。“自治”意味着每个成员根据内部规则以及其所处的局部环境状况而各自做出反应。这与服从来自中心的命令，或根据整体环境做出步调一致的反应截然不同。

这些自治成员之间彼此高度连接，但并非连到一个中央枢纽上。它们组成了一个对等网络。由于没有控制中心，人们就说这类系统的管理和中枢是去中心化分布在系统中的，与蜂巢

的管理形式相同。

以下是分布式系统的四个突出特点，活系统的特质正是由此而来：

.
没有强制性的中心控制

.
次级单位具有自治的特质

.
次级单位之间彼此高度连接

.
点对点间的影响通过网络形成了非线性因果关系

上述特点在分布式系统中的重要度和影响力尚未经过系统地检验。

本书主题之一是论述分布式人造活系统——如并行计算、硅神经网络芯片、以及因特网这样的庞大在线网络等——在向人们展示有机系统的迷人之处的时候，也暴露出它们的某些缺陷。下面是我对分布式系统的利与弊的概述：

群系统的好处：

.
可适应——人们可以建造一个类似钟表装置的系统来对预设的激励信号进行响应。但是，如果想对未曾出现过的激励信号做出响应，或是能够在一个很宽的范围内对变化做出调整，则需要一个群——一个蜂群思维。只有包含了许多构件的整体才能够在其部分构件失效的情况下仍然继续生存或适应新的激励信号。

.
可进化——只有群系统才可能将局部构件历经时间演变而获得的适应性从一个构件传递到另一个构件（从身体到基因，从个体到群体）。非群体系统不能实现（类似于生物的）进化。

.
弹性——由于群系统是建立在众多并行关系之上的，所以存在冗余。个体行为无足轻重。小故障犹如河流中转瞬即逝的一朵小浪花。就算是大的故障，在更高的层级中也只相当于一个小故障，因而得以被抑制。

.
无限性——对传统的简单线性系统来说，正反馈回路是一种极端现象——如扩声话筒无序的回啸。而在群系统中，正反馈却能导致秩序的递增。通过逐步扩展超越其初始状态范围的新结构，群可以搭建自己的脚手架借以构建更加复杂的的结构。自发的秩序有助于创造更多的秩序——生命能够繁殖出更多的生命，财富能够创造出更多的财富，信息能够孕育更多的信息，这一切都突破了原始的局限，而且永无止境。

.
新颖性——群系统之所以能产生新颖性有三个原因：（

1）它们对“初始条件很敏

感”——这句学术短语的潜台词是说，后果与原因不成比例——因而，群系统可以将小土丘变成令人惊讶的大山。（

2）系统中彼此关联的个体所形成的组合呈指数增长，

其中蕴藏了无数新颖的可能性。(

3) 它们并不强调个体,因而也允许个体有差异和

缺陷。在具有遗传可能性的群系统中,个体的变异和缺陷能够导致恒新,这个过程我们也称之为进化。

群系统的明显缺陷:

·
非最优——因为冗余,又没有中央控制,群系统的效率是低下的。其资源分配高度混乱,重复的努力比比皆是。青蛙一次产出成千上万只卵,只为了少数几个子代成蛙,这是多么大的浪费!假如群系统有应急控制的话——例如自由市场经济中的价格体系,那么可以在一定程度上抑制效率低下,但绝不可能像线性系统那样彻底消除它。

·
不可控——没有一个绝对的权威。引领群系统犹如羊倌放羊:要在关键部位使力,要扭转系统的自然倾向,使之转向新的目标(利用羊怕狼的天性,用爱撵羊的狗来将它们集拢)。经济不可由外部控制,只能从内部一点点地调整。人们无法阻止梦境的产生,只能在它现身时去揭示它。无论在哪里,只要有“涌现”的字眼出现,人类的控制就消失了。

·
不可预测——群系统的复杂性以不可预见的方式影响着系统的发展。“生物的历史充满了出乎意料。”研究员克里斯

·朗顿 28 如是说。他目前正在开发群的数学模型。“涌现”

一词有其阴暗面。视频游戏中涌现出的新颖性带给人无穷乐趣;而空中交通控制系统中如果出现涌现的新情况,就可能导致进入全国紧急状态。

·
不可知——我们目前所知的因果关系就像钟表系统。我们能理解顺序的钟表系统,而非线性网络系统却是道地的难解之谜。后者淹没在它们自制的困思逻辑之中。A 导致

B, B

导致

A。群系统就是一个交叉逻辑的海洋: A 间接影响其他一切,而其他一切间接影响

A。我把这称为横向因果关系。真正的起因(或者更确切地说,由一些要素混合而成的真正起因),将在网络中横向传播开来,最终,触发某一特定事件的原因将无从获知。那

·
28 克里斯

·朗顿(ChrisLangton, 1949~): 美国生物学家, 仿生领域开创者之一。1980 年代他发明了术语仿真, 1987 年

在洛斯阿拉莫斯国家实验室组织了第一次“生命系统的合成仿真国际会议”。——译自“维基百科”

就听其自然吧。我们不需要确切地知道西红柿细胞是如何工作的,也能够种植、食用、甚至改良西红柿。我们不需要确切地知道一个大规模群体计算系统是如何工作的,也能

够建造、使用它，并使之变得更加完美。不过，无论我们是否了解一个系统，都要对它负责，因此了解它肯定是有帮助的。

非即刻——一点起火，就能产生热量；打开开关，线性系统就能运转。它们准备好了为你服务。如果系统熄了火，重新启动就可以了。简单的群系统可以用简单方法唤醒；但层次丰富的复杂群系统就需要花些时间才能启动。系统越是复杂，需要的预热时间就越长。每一个层面都必须安定下来；横向起因必须充分传播；上百万自治成员必须熟悉自己的环境。我认为，这将是人类所要学的最难的一课：有机的复杂性将需要有机的时间。

在群逻辑的优缺点中进行取舍就如同在生物活系统的成本和收益之间进行抉择一样——假如我们需要这样做的话。但由于我们是伴随着生物系统长大的，而且别无选择，所以我们总是不加考虑地接受它们的成本。

为了使工具体备强大的功能，我们可以允许其在某些方面有点小瑕疵。同样，为了保证互联网上拥有一千七百万个计算机节点的群系统不会整个儿垮掉，我们不得不容忍讨厌的蠕虫病毒或是毫无理由和征兆的局部停电。多路由选择既浪费且效率低下，但我们却可以借此保证互联网的灵活性。而另一方面，我敢打赌，在我们制造自治机器人时，为了防止它们自作主张地脱离我们的完全控制，不得不对其适应能力有所约束。

随着我们的发明从线性的、可预知的、具有因果关系属性的机械装置，转向纵横交错、不可预测、且具有模糊属性的生命系统，我们也需要改变自己对机器的期望。这有一个可能有用的简单经验法则：

对于必须绝对控制的工作，仍然采用可靠的老式钟控系统。

在需要终极适应性的地方，你所需要的是失控的群件。

我们每将机器向集群推进一步，都是将它们向生命推进了一步。而我们的奇妙装置每离开钟控一步，都意味着它又失去了一些机器所具有的冷冰冰但却快速且最佳的效率。多数任务都会在控制与适应性中间寻找一个平衡点，因此，最有利于工作的设备将是由部分钟控装置和部分群系统组成的生控体系统的混血儿。我们能够发现的通用群处理过程的数学属性越多，我们

对仿生复杂性与生物复杂性的理解就越好。

群突出了真实事物复杂的一面。它们不合常规。群计算的数学延续了达尔文有关动植物经

历无规律变异而产生无规律种群的革命性研究。群逻辑试图理解不平衡性，度量不稳定性，测定不可预知性。用詹姆斯·格雷克的话来说，这是一个尝试，以勾画出“无定形的形态学”

——即给似乎天生无形的形态造型。科学已经解决了所有的简单任务——都是些清晰而简明的信

号。现在它所面对的只剩下噪音；它必须直面生命的杂乱。

2.7 网络是二十一世纪的图标

禅宗大师曾经指导新入门的弟子以一种无成见的“初学者心态”悟禅。大师告诫学生，“要消除一切先入之见”。要想领悟复杂事物的群体本质，需要一种可以称为“蜂群思维”的意识。群体大师教导道，“放下一切固有和确信的执念。”

一个带有禅意和群体特性的看法：原子是
20 世纪科学的图标。

通行的原子标志是直白的：几个点循极细的轨道环绕着一个黑点。原子独自旋转，形成单一性的典型缩影。这是个性的象征——原子的个性，是最基本的力量基座。原子代表着力量，代表着知识和必然。它如同圆周一样可靠而规律。

行星似的原子图像被印在玩具上，印在棒球帽上。旋转的原子渐渐出现在公司的商标图案和政府的印章上，出现在麦片盒的背面，出现在教科书中，并且在电视广告中扮演着主角。

原子的内部轨道是宇宙的真实镜像，一边是遵守规则的能量核，另一边是在星系中旋转的同心球体。其核心是意志，是本我，是生命力；一切都被固定在其适合的旋转轨道上。原子那符号化的确定轨道以及轨道间分明的间隙代表了对已知宇宙的理解。原子象征着简单所代表的

质朴力量。

另一个带有禅意的思想：原子是过去。下个世纪的科学象征是充满活力的网络。

网络的图标是没有中心的——它是一大群彼此相连的小圆点，是由一堆彼此指向、相互纠缠的箭头织成的网。不安分的图像消褪在不确定的边界。网络是原型——总是同样的画面——代表了所有的电路，所有的智慧，所有的相互依存，所有经济的、社会的和生物的东西，所有的通信，所有的民主制度，所有的群体，所有的大规模系统。这个图标很具有迷惑性，看着它，你很容易陷入其自相矛盾的困境：没有开始、没有结束、也没有中心，或者反之，到处都是开始、到处都是结束、到处都是中心。纠结是它的特性。真相暗藏于明显的凌乱之下，要想解开它需要很大的勇气。

达尔文在其巨著《物种起源》中论述了物种如何从个体中涌现而出。这些个体的自身利益彼此冲突，却又相互关联。当他试图寻找一幅插图做此书的结尾时，他选择了缠结的网。他看到“鸟儿在灌木丛中歌唱，周围有弹跳飞舞的昆虫，还有爬过湿地的蠕虫”；整个网络形成

“盘根错节的一堆，以非常复杂的方式相互依存。”

网络是群体的象征。由此产生的群组织——分布式系统——将自我撒布在整个网络，以致于没有一部分能说，“我就是我。”无数的个体思维聚在一起，形成了无可逆转的社会性。它所表达的既包含了计算机的逻辑，又包含了大自然的逻辑，进而展现出一种超越理解能力的力量。

暗藏在网络之中的是神秘的看不见的手——一种没有权威存在的控制。原子代表的是简洁明了，而网络传送的是由复杂性而生的凌乱之力。

作为一面旗帜，网络更难与之相处——它是一面非控的旗帜。网络在哪里出现，哪里就会出现对抗人类控制的反叛者。网络符号象征着心智的迷茫，生命的纠结，以及追求个性的群氓。

网络的低效率——所有那些冗余，那些来来回回的矢量，以及仅仅为了穿过街道而串来串去的东西——包容着瑕疵而非剔除它。网络不断孕育着小的故障，以此来避免大故障的频繁发生。正是其容纳错误而非杜绝错误的能力，使分布式存在成为学习、适应和进化的沃土。

网络是唯一有能力无偏见地发展或无引导地学习的组织形式。所有其它的拓扑结构都会限制可能发生的事物。

一个网络群到处都是边，因此，无论你以何种方式进入，都毫无阻碍。网络是结构最简单

的系统，其实根本谈不上有什么结构。它能够无限地重组，也可以不改变其基本形状而向任意方向发展，它其实是完全没有外形的东西。类鸟群的发明者克雷格·雷诺兹指出了网络这种可以不受打断而吸收新事物的非凡能力：“没有迹象表明自然鸟群的复杂性受到任何方式的限制。

有新鸟加入时，鸟群并不会变得‘满载’或‘超负荷’。当鲱鱼向产卵地迁移时，它们那数百万成员的队伍绵延可达十七英里。”我们的电话网络能够达到多大？一个网络理论上可以包容多少个节点仍能继续运转？这些问题甚至都不会有人问起过。

群的拓扑结构多种多样，但是唯有庞大的网状结构才能包容形态的真正多样性。事实上，由真正多元化的部件所组成的群体只有在网络中才能相安无事。其它结构——链状、金字塔状、树状、圆形、星形——都无法包容真正的多元化、以一个整体的形式运行。这就是为什么网络差不多与民主和市场意义等同的原因。

动态网络是少数几个融合了时间纬度的结构之一。它注重内部的变化。无论在哪里看到持

续不断的不规则变化，我们都应该能看到网络的身影，事实也的确如此。

与其说一个分布式、去中心化的网络是一个物体，还不如说它是一个过程。在网络逻辑中，存在着从名词向动词的转移。如今，经济学家们认为，只有把产品当做服务来做，才能取得最佳的效果。你卖给顾客什么并不重要，重要的是你为顾客做了些什么。这个东西是什么并不重要，重要的是它与什么相关联，它做了什么。流程重于资源。行为最有发言权。

网络逻辑是违反直觉的。比如说，你要铺设连接一些城市的电话电缆。以堪萨斯城、圣地亚哥和西雅图这三个城市为例，连接这三座城市的电话线总长为 3000 英里。根据常识，如果要在电话网络中加上第四个城市，那么电话线的长度就必将增加。然而，网络逻辑给出的答案截然相反。如果将第四个城市作为中心（让我们以盐湖城为例），其他城市都通过盐湖城相连，电缆总长就可以减少至 2850 英里，比原来的 3000 英里减少了 5%。由此，网络的总展开长度在增加节点后反而得以缩短！不过，这种效果是有限的。1990 年在贝尔实验室工作的黄光明 29 教授和堵丁柱 30 证明，通过向网络引入新的节点，系统所能够获得的最大节省大约为 13% 左右。在网络中，更多代表了不同的含义。

另一方面，1968 年，德国运筹学家迪特里希·布拉斯 31 发现，为已经拥堵的网络增加线路只会使其运行速度更慢，现在我们称其为布拉斯悖论。科学家们发现了许多例子，都是说增加拥挤网络的容量会降低其总产量。上世纪六十年代末，斯图加特的城市规划者试图通过增加一条街道来缓解闹市区的交通拥堵问题。当他们这样做了的时候，城市的交通状况更加恶化，于是，他们关闭了那条街道，交通状况却得到了改善。1992 年，纽约在地球日关闭了拥挤的 42 街，人们曾担心情况会恶化，但结果却是，那天的交通状况实际上得到了改善。

还不止于此。1990 年，三位致力于脑神经网络研究的科学家报告说，提高个体神经元的增益——响应度——并不能提高个体检测信号的性能，却能提高整个网络检测信号的性能。

29

Frank

Hwang 黄光明 (Frank

Hwang): 毕业于台湾大学外语系，获美国纽约市大学管理学硕士、美国北卡罗莱那大学统计学博士。1967 年进入贝尔实验室工作，达 29 年之久。1996 年迄今任台湾交通大学应用数学系教授。

30 堵丁柱 (Ding

ZhuDu, 1949~): 中科院应用数学所研究员，1990 年

2 月到美国普林斯顿大学作访问学者。一个多月

后，即

4 月

10 日，他就和美国贝尔实验室黄光明研究员合作攻克了吉尔伯特-波雷克猜想，即斯坦纳比难题，被列为

1989 年~1990 年度美国离散数学界和理论计算机科学界重大成果。堵丁柱现在是德州大学达拉

斯分校计算机科学系教授。

·
31 迪特里希·布拉斯 (Dietrich Braess): 德国鲁尔大学数学学院教授。

网络有其自己的逻辑性, 与我们的期望格格不入。这种逻辑将迅速影响生活在网络世界中的人类文化。从繁忙的通信网络中, 从并行计算的网路中, 从分布式装置和分布式存在的网路中, 我们得到的是网路文化。

艾伦·凯³²是个有远见的人, 他与个人电脑的发明有很大关系。他说, 个人拥有的图书是文艺复兴时期个人意识的主要塑造者之一, 而广泛使用的联网计算机将来会成为人类的主要塑造者。我们甩在身后的不仅仅只是一本本的书。一天24小时、一周七天的全球实时民意调查, 无处不在的电话, 异步电子邮件, 五百个电视频道, 视频点播: 所有这一切共同交织成了辉煌的网路文化、非凡的蜂群式王国。

我蜂箱里的小蜜蜂大约意识不到自己的群体。根据定义, 它们共同的蜂群思维一定超越了它们的个体小蜜蜂思维。当我们把自己与蜂巢似的网络连接起来时, 会涌现出许多东西, 而我们仅仅作身处网路中的神经元, 是意料不到、无法理解和控制不了这些的, 甚至都感知不到这些东西。任何涌现的蜂群思维都会让你付出这样的代价。

·
32 艾伦·凯 (Alan Kay, 1940.05.17~): 美国计算机科学家, 以其面向项目的程序设计和视窗用户界面设计而著名。

第三章有心智的机器

3.1 取悦有身体的机器

当马克·波林³³和你握手致意时, 你握住的实际上是他的脚趾头。几年前他在摆弄自制火箭时炸飞了手指。外科医生们拿他的脚趾头勉强拼凑出了一只手, 但残疾的手还是让他动作迟缓。

波林制造嚼食同类的机器。他的发明物往往复杂而庞大, 最小号的机器人都比成人的个头还大; 最大号的那位伸直了脖子能有两层楼那么高。他的机器人们装备着由活塞驱动的下颚和蒸气铲车那样的胳膊, 浑身洋溢着活力。

为了防止他的怪兽们散架子, 波林经常要用他那只残疾的手费力地拧紧螺钉, 这让他感到很不便。为了加快修理速度, 他在自己的卧室门外安装了一台顶级的工业车床, 还在厨房堆满了焊接设备。现在, 焊接他那些钢铁巨兽的气动式四肢只需一两分钟。但是他自己的伤手还是很折磨人。他很想从机器人身上卸下一只手来给自己安上。

波林住在旧金山市一条街道尽头的仓库里。那条街是公路高架桥下的一条死胡同。住处旁边尽是简陋的白铁皮工棚，挂着汽车修理的招牌。仓库外就是个废品站，里面堆满锈迹斑斑的报废机器，高及铁篱外墙，其中竟然还有一个喷气发动机。废品站平时总是阴森森空荡荡的。来给波林送信的邮递员跳下越野车时，总要熄火锁门。

波林自称自己早年是个少年犯，长大后则干些“有创意的汪达尔式

34 街头打砸”。即便在

旧金山这个人人个性十足的地方，大家也都承认他的恶作剧水平不一般。还是

10 岁小孩的时

候，他就用偷来的乙炔枪割掉过口香糖贩卖机上的大罐子。20 来岁时，他玩起了街头艺术，给户外广告牌改头换面——在深夜里别出心裁地用喷漆把广告上的文字涂改成政治信息。最近，

.33 马克

.波林（Mark

Pauline）：美国表演艺术家，1978 年创立“生存研究实验室”。

.

34 汪达尔人（Vandals）：古代日耳曼人部落的一支，曾洗劫了罗马，使罗马古文物遭到严重破坏，“汪达尔主义”也成了

肆意破坏和亵渎圣物的代名词。

他又闹出了一个新闻：他的前任女友报警说，他趁自己周末外出，把她的车涂满环氧树脂黏合剂，之后在车身、挡风玻璃等各处都粘满了羽毛。

波林发明的装置既是最机巧也是最具有生物属性的机器。看看这个“回转利嘴机”：两个缀满鲨鱼状利齿的铁环在相交的轨道上疯狂旋转，彼此互成夹角，周而复始地“大嚼特嚼”。它可以在瞬间嚼碎一个小物体。平常它总是在啃着另一个机器人身上悬荡着的胳膊。再来看看拱拱虫。这个改良农具的一端安了个汽车引擎，通过曲柄带动

6 组特大号的钉耙，耙地的时候

一拱一拱地前行。它蠕动的方式非常低效，但却是生物的方式。还有“一步一啄机”，其机身附带罐装的加压二氧化碳，用气动的方式带动它的钢头捶打地面，凿碎路面的柏油沥青。它好似一只

500 磅重的巨型啄木鸟，发疯似地啄着公路。“我的绝大多数机器都是世界上独一无二的。其他神经正常的人不会去造这些对人类毫无实际用处的机器。”波林面无表情地说道。

每年总有几次，波林会带着他一家子的机器举办一场表演。1979 年的处女秀名叫“机器做爱”。秀场上，他那些古怪的机器互相踩来踏去，互相撕扯碾压，最后不分你我，成了堆破烂。几年后他办的一场展示叫“无用的机械行为”，延续了他把机器们解救出来，使其归于原始形态的风格。至今为止，他举办了

40 场左右的展示，通常都是在欧洲——“因为在那

儿，”他说，“不会有人控告我。”而欧洲国家对艺术的支持体系（波林称之为艺术黑手党）也接纳这种胆大妄为的演出。

1991年，波林在旧金山闹市区举办了一场机器马戏演出。那一夜，在某高速公路立交桥下废弃的停车场里，数千位一袭黑皮夹克的朋克追捧者完全靠口口相传云集于此。在这个临时搭建的竞技场内，在耀眼的聚光灯下，十来个机甲怪兽和铁疙瘩角斗士们正等着用激情和蛮力干掉对方。

这些铁家伙们的块头和精神劲儿使人想起一个形象：没有皮肤的机械恐龙。它们通过液压软管驱动的骨架、铰链咬合的齿轮和电缆连接的力臂来保持平衡。波林称它们为“有机机器”。

这可不是博物馆里死气沉沉的恐龙。它们的身体部件是波林从别的机器那里“连偷带借”来的，它们的动力来自废旧的汽车引擎。它们似乎被注入了生命，在驳杂的探照灯光束下碾压着、翻腾着、跳跃着、冲撞着——活了起来！

那天晚上，在金属强光照射下，离座的观众们癫狂不已。（特意挑选的音质粗糙的）大喇

叭们不停地播放着预先录制的工业噪声。偶尔，刺耳的声音会切换到电台的电话访谈节目或电子时代的其它背景音。一声尖利的汽笛压住了所有刺耳的声音——演出开始了，机器斗士动起来了！

在接下来的一小时里是一场混战。一枚两英尺长的钻头在一头状似雷龙的家伙的长颈一端咬了一口。这枚钻头形同蜜蜂的蛰针，让你恐怖地联想到牙医的钻头。它接着又暴跳如雷地钻进另一个机器人。“嗞——嗞——嗞——”，听得人牙根发麻。另一个发狂的家伙——“螺丝锥投石机”——滑稽地到处乱冲，嘶嘶狂叫着撕裂路面。它是一部长

10英尺，重一吨的钢制

滑车，底部是两个钢螺旋胎面的轱辘，每个轱辘带动一个直径

1.5英尺的螺丝锥疯狂旋转。它

在沥青路面上以

30英里的时速四处乱窜，真是逗人喜爱。机车顶部装有投石装置，可以投射

50磅重的爆破火焰弹。当“钻头”追着去蛰“螺丝锥”时，“螺丝锥”正对着一座由钢琴搭成的塔楼大投火焰弹。

“这里接近于受控的无政府状态

35。”波林曾对他那帮完全自愿的手下开玩笑说。他把自

己的“公司”戏称为生存研究实验室（SRL），一个故意让人误以为是公司的名称。生存研究实验室举办演出，喜欢不经官方许可，不向市镇消防部门报告，不投保险，不做事先宣传。他们让观众坐得太近，看上去很危险——也确实危险。

一部改装过的商用草地撒水车——它本来应在草丛里爬行、撒水，赐予草地生命——现在却给此地带来一场邪恶的火焰浴。它的旋臂泵出一大圈点燃的煤油，形成炽热的橘红云团。未完全燃烧的呛人烟气被头顶的高速公路硬逼回来，使观众感到窒息。角斗中，“螺丝锥”不小心踢翻了“地狱花洒”的燃料箱，使它不得不结束了自己的使命。“喷火器”立刻点火补上了

空缺。“喷火器”是台可操控的巨型鼓风机，通常用来给市中心的摩天大楼做空调鼓风。它被拴在一台马克型卡车发动机上。发动机带动巨大的风扇从

55 加仑的桶里把柴油燃料泵到空气中。炭弧火花点燃油气混合物，吐出长达 50 英尺的亮黄黄的火舌，烘烤着由 20 架钢琴叠起的塔楼。

波林可以通过一部模型飞机用的无线遥控手柄来操控火龙。他把“喷火器”的喷嘴转向观众，观众急忙躲避。即便在

50 英尺远的地方，都能感到扑面的热浪。“你明白是怎么回事了吧，”波林后来说道，“缺了掠食者，生态链就不稳定了。这些观众的生活里没有天敌，那

35 受控无政府状态（controlledanarchy）：指通过设定一套规则，让绝大多数人们认同并遵守这套规则，恰当地约束自己的行为，而不需要一个中央管理机构的治理模式。现在普遍认为维基百科即采用这种模式。

么，就让这些机器充当掠食者吧。它们的任务就是给文明社会突降些掠食者。”

生存研究实验室的机器们相当复杂，而且愈演愈烈。波林总是忙于孵化新型机器以使马戏团的生态系统保持不断进化。他常给老型号升级新式肢体。他可能换掉“螺丝锥”的电锯，代之以龙虾似的一对大铁螯，也可能给身高

25 英尺的“大坨塔”的胳膊焊上一把喷火枪。有时候他还搞杂交，把两个大家伙的部件对调一下。在其余的时间里他则忙着为新玩意儿接生。最近的一次秀场上，他推出了

4 只新宠物：一台便携式闪电机，对着近旁的机器武士喷吐出 9 英尺

长劈啪作响的蓝色闪电；一只由喷气机引擎发动的

120 分贝汽笛；一门军用的电磁轨道炮，发射时速

200 英里的热熔铁疙瘩，彗星般的火球在空中爆裂开，变成燃烧的毛毛细雨洒落下来；还有一门先进的远程视在 36 人机一体加农炮，戴着虚拟视镜的操控者转动自己的脑袋盯住目标就
可调整炮口的瞄准方向，而炮弹是塞满雷管炸药和混凝土的啤酒罐。

这些表演既然是“艺术”，就难免会资金短缺：门票收入仅够应付一场演出的杂项开销——燃料、员工的伙食以及备用件。波林坦承，他用来拆配成新怪兽的一些机器原型是偷来的。一位生存研究实验室的成员说，他们乐于在欧洲一直演出下去是因为那里有很多“可求之物”

37. 什么是“可求之物”？“容易得到的，容易解救的，或不花钱拿来的东西。”除此之外

的原材料则是从军队过剩的部件中挑选出来的。波林以 65 美元一磅的价钱从那些缩减规模的军事基地里一车车买回来。他还从那里搜刮来不少机床、潜艇部件、稀奇古怪的马达、罕见的电子器件、粗钢，甚至还有价值 10 万美元的备件。“要在 10 年前这些东西可值钱了，关乎着国家安全。可是忽然之间就成了没用的废品。我对它们进行改造，实际上是让这些机器改邪归正——它们过去从事的是‘有价值的’毁灭性工作，如今则做些毫无用处的破坏。”

几年前，波林做了一个会在地板上疾爬的蟹形机器生物。一只惊慌失措的小豚鼠被锁在一个满是开关的小座舱里充当驾驶员。做这么一只生物机器并非要蓄意表现残忍。这个创意是为了探究有机体和机器趋合的可能。生存研究实验室的发明常常会把高速运转的重金属物体和柔软的生物体结合起来。启动后，这只小豚鼠生物机器摇摇摆摆，左冲右突。在一场乱哄哄、处于受控无政府状态的演出中，几乎没人会注意到它。波林说：“这种机器生物几乎不能操控且

36 远程视在（tele-presence）：是虚拟现实的一种。当进行远程协同研究或教学时，能在浏览器上以电视质量现场显示一台科学仪器或设备，并能对它进行遥控操作，好象这台仪器就在你跟前一样。

37 可求之物（Obtainium）：这是 KK 造的一个词。这里译为“可求之物”，是从 Unobtainium 来的：Unobtainium 是一种近于调侃的说法，中文意思接近于“可遇不可求之物”。

毫无用处，但我们所需要的就是这种程度的控制。”

在旧金山新现代艺术馆的开工典礼上，主办方邀请波林在市中心的空地上集中展示他的机器家族，以“在大白天创造几分钟的幻觉”。他的“冲击波加农炮”率先出场发射空炮。你甚至能看到由炮口衍展开来的空气冲击波。几个街区内的汽车玻璃和大楼窗户都战栗作响，正值高峰期的交通一度中断。随后“蜂群之群”隆重亮相。这是些高度及腰的圆柱形移动机器人。它们成群结队，四处奔忙。人人都在猜蜂群会往哪里去；任何一个蜂群都不会控制其余的蜂群；其他蜂群也不管这个蜂群去哪儿。广场成了这些硬梆梆的家伙们的天下——一群失控的机器。

生存研究实验室的最终目的是让机器们自治。“让它们做出些自治的行为确实很难。”波林告诉我。不过，在试图把控制权由人转交给机器的研究领域里，他可是走在了很多经费充足的大学实验室的前头。他那些花几百美元做出来的蜂群式创造物，是用回收的红外线传感器和废旧的步进电机 38 装配的。在制造自治蜂群机器人的暗战中，他击败了麻省理工学院的机器人实验室。

在自然孕育物与机械制造物之间的冲突中，马克·波林无疑是后者的拥趸。他说：“机器有话要对我们说。每当我开始设计一场新的表演，我都自问，这些机器想做些什么？比如这台老旧的挖土机，让我仿佛看到某个乡下小伙子每天都开着它，在烈日下替电话公司挖沟。老挖土机厌倦了这种生活，它腰酸背痛，尘土满面。我们找到它，问它想干些什么。也许它想加入我们的演出呢。我们就这样四处奔走，去搭救那些被人废弃、甚至已经被肢解的机器。我们必须问自己，这些机器到底想做些什么，它们想被刷成什么颜色？于是，我们考虑到颜色和灯光的协调。我们的表演不是为人们办的，而是给机器办的。我们从不关心机器该如何取悦我们。我们关心的是如何取悦它们。这就是我们的表演——为机器举办的表演。”

机器也需要娱乐。它们有自己的复杂性，有自己的日子要过。通过制造更加复杂的机器，我们正赋予他们自治的行为，因而它们不可避免地会产生自己的打算。“这些机器在我们为它们创造的世界里过得自由自在。”波林对我说道，“它们的行为举止非常自然。”

·

38 步进电机：是一种将电脉冲转化为角位移的执行器。通俗地讲，当步进驱动器接收到一个脉冲信号，它就驱动步进电机按设定的方向转动一个固定的角度（即步进角）。可以通过控制脉冲个数来控制角位移量，从而达到准确定位的目的；也可以通过控制脉冲频率来控制电机转动的速度和加速度，从而达到调速目的。

我问波林：“假使机器的表现有遵循自然之道的話，那它们是否也有天赋万物的权利？”

“那些大家伙有很多权利，”波林说道，“我学会了尊敬它们。当其中一个大块头朝你走来的时候，它保有行走的权利，你就得给它让道。这就是我尊敬它们的方式。”

如今的问题是我们并不尊敬我们的机器人。它们被堆放在没有窗户的工厂里，干些没人乐意干的活。我们把机器当奴隶一样使唤，其实本不该如此。人工智能研究的先驱、数学家马文·明斯基 **39** 曾对那些肯倾听的人表达过这样的意见。他不遗余力地鼓吹把人脑的智能下载进计算机。而发明了文字处理技术、鼠标和超媒体的神奇小子道格拉斯·英格巴特 **40**，却提倡电脑为人

服务的理念。二十世纪
50 年代，这两位宗师曾在麻省理工学院相遇，留下一段脍炙人口的对

话：

明斯基：我们要给机器赋予智慧，让他们有自我意识！

英格巴特：你要给机器做那么多好事？那你打算给人类做些什么呢？

那些致力于使电脑界面更友好、更人性化、更以人为本的工程师们常常会讲起这个故事。而我却固持明斯基的理念——站在造物物的一边。人类有自己的生存之道。我们会训练机器来伺候我们。那么，我们打算为机器做些什么呢？

如今，世界上工业机器人的总数已经接近100万。然而，除了旧金山的那个疯狂的坏小子艺术家，没有谁会问机器人想要什么。人们认为那是可笑的、不合时宜的、甚至是大不敬的。

诚然，在这上百万的“自动装置”中，99%的装置只不过仅仅赢得了手臂的美名。它们是聪明的手臂，能做手臂可以做的所有事情，并且不知疲倦。不过，作为我们曾经所希望的“机器人”，它们仍然既瞎且哑，并且还得靠墙上的插座养活。

除了马克·波林的那些失控的机器人以外，今天绝大多数肌肉僵硬的自动装置们都笨重、迟缓，而且还要靠救济过日子——离不开持续的电力供给和人类脑力的驾驭。很难想象这些家伙

·
39 马文·明斯基 (Marvin

Minsky, 1927~): 美国麻省理工学院教授，人工智能专家，1969年获图灵奖，是第一位获此殊荣的人工智能学者。

.40 道格拉斯

.英格巴特 (Douglas

C.Engelbart, 1925.01.30~): 美国发明家，瑞典人和挪威人后裔。他最广为人知的发明是鼠标。另外他的小组是人机交互的先锋，开发了超文本系统、网络计算机，以及图形用户界面。他致力于倡导运用计算机和网络来协同解决世界上日益增长的紧急而又复杂的问题。——摘自“中文维基百科”

会衍生出什么有趣的事情。即便再给它安个胳膊、几条腿或者一个脑袋，你得到的还是一个昏昏欲睡的巨兽。

我们想要的是那个叫作罗比的机器人 41，是那个科幻小说中的原型机器人——一个真正自由自在、独来独往、能量自给的机器人，一个让人大惊失色的机器人。

近来，一些实验室的研究者们意识到，要想造出罗比，其最有效的途径是拔掉静态机器人身上的电源插头，制造出“移动的机器人”。如果静态机器人的手臂里能完全容纳下能量块和大脑，那也许还马马虎虎。其实，任何机器人只要能够做到独立行走和独立生存，就会更上层楼。尽管波林有些玩世不恭和多愁善感，但他所造出的机器人，屡屡打败那些世界顶级大学所研制出来的机器人。而他所用的设备恰恰是那些大学所摒弃的。对金属自身局限性和自由度的深刻理解弥补了波林没有学位的弱点。他在制造那些有机机器的时候从不用设计图。有一次，为了逗逗一位穷追不舍的记者，波林带他走遍自己的工作室，翻找正在开发的跑步机器的“计划书”。两人费力扒拉了

20分钟 (“我记得上个月图纸就在这里来着”)，最终在破旧不堪的金属写字台最底下一个抽屉里一本

1984年发黄的电话簿下面，找到一张纸。纸上是用铅笔勾勒出一台机器，其实就是一张草图，没有任何技术说明。

“都在我脑子里呢。我只需在金属块上划划线，就可以动手切割了。”波林拿起一块车削精细的两英寸厚的铝制工件对我说。铝块略显出暴龙前肢骨骼的形状。工作台上还有两块和它一模一样的成品。他正在做第四个。这些铝块将来会安在一头骡子大小的会跑的机器身上，作为其四肢的一部分。

波林的跑步机器并不真的会跑。它只是走得快一些而已，偶尔会有些踉跄。还没人能制做真正会跑的机器人。几年前，波林制造出一个结构复杂的特大型四足行走机器，高12英尺，方方正正的，既不聪明也不敏捷，但它确实拖着脚慢慢地挪动了。四条树干粗的方柱就是它的四条腿，由巨大的变速器和杂乱的液压管来共同驱动。如同生存研究实验室的其他发明一样，这头笨拙的怪兽由一台模型汽车的遥控器来操纵。换句话说，这头怪兽就是一只重达2000磅但大脑却小如豌豆的恐龙。

尽管已在研发上投入了千万巨资，还没有哪位计算机高手可以摆弄出一台靠自己的智能穿

·
41 罗比机器人（Robbie theRobot）：最早出现于1956年的科幻电影《惑星历险》（ForbiddenPlanet）中，随后成为科幻作品中的机器人原型代表。

过房间的机器。有些机器人要么磨磨蹭蹭花上数天的时间，要么莽莽撞撞一头碰到家具上，要么刚走完四分之三就出了故障。1990年12月，在经过了10年的努力之后，卡耐基—梅隆大学“野地机器人学42中心”的研究生们终于组装出了一台机器人，并命名为“漫步者”。它慢慢地横穿了整个院子，大约走了100英尺。

“漫步者”的个头比波林的拖脚走巨物还要大，原本的研发目的是用来做远地行星考察的。但是卡耐基—梅隆的这个庞然大物还在样机阶段就花费了纳税人几千万美元，而波林的拖脚走怪兽只花了几百块，其中三分之二买了啤酒和披萨。这位19英尺高的铁打的“漫步者”先生重达2吨，这还没算它那搁在地上的沉甸甸的大脑。这台巨大的机器在院子里蹒跚学步，每一次迈步都要经过深思熟虑。除此之外它不干别的。在等待了这么久之后，能走得不被绊倒就足以让人们感到欣慰了。“漫步者”的父母亲们满意地为它的人生第一步鼓掌喝彩。

动动六条蟹爪似的腿对“漫步者”而言是最轻松的事，而试图搞清自己身处何地就太难为这个巨人了。即使只是简单地描绘出地形，让自己可以计算出行动的路径，也成了“漫步者”

的噩梦。它不怕走路，却要花大量的时间考虑院子的布局。“这肯定是个院子，”它对自己说：“这儿有些我可以走的路径。不过，我得把它们和我脑子里的院子地图一一比对，然后选择最佳的那条。”“漫步者”通常要在头脑中创建出环境的轮廓图，然后根据这张轮廓图来为自己导航；每走一步都要更新一次轮廓图。中央电脑中用来管理“漫步者”的激光成像仪、传感器、气压足肢、齿轮箱和电机马达的程序长达数千行。尽管重二吨并有两层楼那么高，这个可怜虫却只靠它的头活着。而这个头是用一条长长的电缆连在它身上。

我们拿“漫步者”一只大脚垫下面的小蚂蚁作比较。“漫步者”好不容易才从院子这头踱到那头时，蚂蚁已经跑了个来回。一只蚂蚁的分量，脑袋加身体才百分之一克——也就米粒那么大点儿。它既没有对整个院子的印象，也对自己身处何地一无所知。然而它却能在院子里畅行无阻，甚至想都不用想。

研发人员把“漫步者”造得粗壮硕大是为了抵御火星上极端的严寒风沙环境，在火星上它不会那么重。然而具有讽刺意味的是，由于“漫步者”的块头太大，这辈子无论如何去不了火星了；只有蚂蚁那么小的机器人才有希望。

42 野地机器人学 (Field

Robotics): 是研究利用移动机器人在野外工作站或自然地理环境下执行独特任务，同时保障自己安全的学科。

用蚂蚁式移动机器人来作为解决方案是罗德尼·布鲁克斯⁴³的设想。这位麻省理工学院的教授觉得与其浪费时间制造一个无用的天才，还不如制造千万个有用的白痴。他指出，往行星上派送一个自负智力的超重恐龙恐怕是飘渺无期的，而派送一大群能做事的机械蟑螂却有可能使我们获得更多的信息。

布鲁克斯于

1989年发表了一篇论文，题为《快速、廉价、失控：一场太阳系的机器人入侵》⁴⁴。该论文后来被广为引用。他在文中声称，“若干年内利用几百万只低成本小机器人入侵一颗地外行星是可能的。”他提议用一次性火箭发射一群鞋盒大小的太阳能推土机去入侵月球。派出一支由无足轻重、能力有限的机器人个体组成的军队，让它们协同完成任务，并允许它们自由行动。有些士兵会死掉，大多数会继续工作，并最终做出一些成绩。这支移动机器人大军可以用现成的部件在两年内完成组装，然后用最便宜的单程环月轨道火箭发射。就在别人还在为某个大笨家伙而争论不休的时候，布鲁克斯可能早已把侵略大军制造出来并派出去了。

国家宇航局的官员们有理由听从布鲁克斯的大胆计划。从地球上进行远程控制的效果不太令人满意。一个在裂缝边缘摇晃的机器人，需要等上一分钟才能接到从地面站发来的指令。因此，机器人必须实现自治。一个宇航机器人不能象“漫步者”那样，身在太空，头在地球。它必须随身携带自己的大脑，完全依靠内在逻辑和规则运行，无需与地球进行过多的通讯。它们的头脑不必非常聪明。比方说，要在火星表面清理出一块着陆场，移动机器人可以每天花上

12

小时的笨功夫去刮平一块区域。推，推，推，保持地面平整！他们当中单拿出来任何一个，可

能干得都不是很好，但当成百个机器人进行集团化作业的时候，就能出色地清理出一片建筑地基。日后，当人类的考察队着陆时，宇航员可以让那些依然活着的移动机器人休息一下，并赞赏地拍拍它们的头。

绝大多数的移动机器人会在着陆后的数月内死去。日复一日的严寒酷热会使电脑芯片开裂失效。但就像蚂蚁群落，单个的移动机器人是无足轻重的。和“漫步者”相比，他们被发射到太空的费用要便宜上千倍；这样一来，即便发射数百个小机器人，其成本也只是一个大机器人的零头。

.
43 罗德尼

.布鲁克斯（Rodney

A.Brooks）：美国著名机器人专家，人工智能研究先驱。麻省理工学院计算机科学与人工智能实验室主任，同时也是著名的类人机器人小组的创建者。

.
44 《快速、廉价、失控：一场太阳系的机器人入侵》： Fast,

Cheap

and

Out

of

Control:

A

Robot

Invasion

of

the

Solar

System,

Journal

of

The

British

Interplanetary

Society,

Vol.

42,

pp

478-485,

1989.

布鲁克斯当初想入非非的主意如今已经演化为国家宇航局的正式项目。“喷气推进实验室”

45 的工程师们正在创造一种微型漫游者。这个项目刚开始的时候是想制造一个“真正的”行星漫游者的微缩模型。但当人们逐渐认识到小尺寸及分布式的优点后，微型漫游者本身就变成了真正的成果。国家宇航局的这个微型机器人原型看上去很光鲜：六轮行走，无线电遥控，象台儿童沙滩车。某种意义上说它确实是辆沙滩车，不过它还是太阳能驱动和自引导的。计划于

1997 年启动的火星环境勘测

46 任务里，可能会有一大批这样的微型漫游者担纲主角。

微型机器人可以用现成的部件快速搭建。发射它们很便宜，而且一旦成群释放，它们就会脱离控制，无需持续的（其实可能是误导的）管理。这种粗犷但却实用的逻辑，完全颠覆了大多数工业设计者在设计复杂机械时采用的缓慢、精细、力图完全掌控的解决之道。这种离经叛道的工程原理简化成了一个口号：快速、廉价、失控。工程师们预见，遵循此道的机器人将适用于以下领域：（1）探索星球；（2）采集、开矿、收割；（3）远程建设。

.45 喷气推进实验室：Jet

Propulsion

Laboratory

.46 火星环境勘测：Mars

Environment

Survey

3.2 快速、廉价、失控

“快速、廉价、失控”的口号最早出现在会展中工程师的胸牌上，后来罗德尼

.布鲁克斯将

之用于自己那篇引起轰动的论文的标题中。新的逻辑带来对机器全然不同的新视角。移动机器人群体中并没有控制中心。他们分散在时空里，正如一个民族穿越了历史和大陆。大量地制造这些机器人吧，别把它们看得过于珍贵。

罗德尼.布鲁克斯在澳大利亚长大成人。和别的男孩一样，他喜欢读科幻小说，喜欢做玩具机器人。他养成了反过来看事物的习惯，总是爱逆寻常的观念行事。他不断进出全美各大顶尖机器人研发实验室，追寻关于机器人的奇思异想，最后接受了麻省理工学院移动机器人研究项目负责人的终身职位。

在那里，布鲁克斯开展了一个雄心勃勃的研究生课题项目，研发更接近昆虫而非恐龙的机器人。第一个诞生的是“阿伦”。他的头脑保存在旁边的台式电脑里，因为当时的机器人研发者都这么做，以获得值得保存的大脑。阿伦的身体具有视觉、听觉和触觉，它所感知到的信号通过几股线缆传送到那个盛放大脑的“盒子”里。在这些线缆上会产生太多的电子背景干扰，使布鲁克斯和他的团队倍受困扰，挫折不断。为解决这一问题，布鲁克斯换了一个又一个学生。他们查遍了各种已知的传播介质，甚至尝试了业余无线电、警用对讲机、手机等多种替代方案，但无论哪种方案，都无法建立不受静电干扰又能传输丰富多样信号的连接。最后布鲁克斯和学生们都发誓，不管必须把大脑设计得多么小，下一个项目非把大脑中枢整合到机器人体内不可——这样就再也用不着那些惹麻烦的线缆了。

因此，在制作后两个机器人“汤姆”和“杰瑞”时，他们被迫只使用非常简单的逻辑步骤以及短且简单的连接。出乎意料的是，在完成简单任务时，这种简陋的自带神经电路居然比大脑表现得更好。这个不大不小的收获促使布鲁克斯重新审视弃儿“阿伦”。他后来回忆道，“事实证明，阿伦的头脑真没起什么作用。”

这次精简让布鲁克斯尝到了甜头，并促使他继续探索，看看机器人能傻到什么程度但仍能做些有用的工作。最终，他得到了一种基于反射的智能。具有这种智能的机器人不比蚂蚁更聪

明，但它们和蚂蚁一样能给人以启迪。

布鲁克斯的设想在一个叫“成吉思”的机巧装置上成形。成吉思有橄榄球大小，象只蟑螂似的。布鲁克斯把他的精简理念发挥到了极致。小成吉思有

6条腿却没有一丁点儿可以称为

“脑”的东西。所有

12个电机和

21个传感器分布在没有中央处理器的可解耦网络上。然而这

12个充当肌肉的电机和

21个传感器之间的交互作用居然产生了令人惊叹的复杂性和类似生命体的行为。

成吉思的每条小细腿都在自顾自地工作，和其余的腿毫无关系。每条腿都通过自己的一组神经元——一个微型处理器——来控制其动作。每条腿只需管好自己！对成吉思来说，走路是一个团队合作项目，至少有六个小头脑在工作。它体内其余更微小的脑力则负责腿与腿之间的通讯。昆虫学家说这正是蚂蚁和蟑螂的解决之道——这些爬行昆虫的足肢上的神经元负责为该足肢进行思考。

在机器蟑螂成吉思身上，行走通过

12个马达的集体行为而完成。每条腿上两个马达的起

落，取决于周围几条腿在做什么动作。如果他们抬起落下的次序正确的话——那么，起步！

一、二、一，一、二、一！——就“走起来”了。

这个精巧的装置上没有任何一部分是掌管走路的。无需借助高级的中央控制器，控制会从底层逐渐汇聚起来。布鲁克斯称之为“自底向上的控制”。自底向上的行走，自底向上的机敏。如果折断蟑螂的一肢，它会马上调整步态用余下的五肢爬行，一步不乱。这样的转换不是断肢后重新学习来的；这是即时的自我重组。如果你弄废了成吉思的一条腿，还能走的其余五

条腿会重新编组走路，就如同蟑螂一样，轻易地找到新的步态。

布鲁克斯在他的一篇论文里首先阐述了怎样使创造物“无知无觉”地走路的方法：

没有所谓的中央控制器来指导身体把脚放在哪里，或者跨过障碍时要把腿抬多高。实际

上，每条腿都有权做些简单动作，而且每条腿都能独立判断在不同环境下该如何行事。举例来说，一个基本动作的意识是，“如果我是腿而且抬起来了，那么我要落下去”，而另一个基本动作的意识可描述为，“如果我是腿在向前动，得让那五个家伙稍微拖后一点”。这些意识独立存在且随时待机，一旦感知的先决条件成立就会触发。接下来，要想开步行走，只需按顺序抬起腿（这是唯一可能需要中央控制的地方）。一条腿一抬起来就会自动向前摆动，然后落下。而向前摆动的动作会触动其余的腿略微向后挪动一点。由于那些腿正好接地，身体就向前

移动了。

一旦机器生物能在平滑表面稳步前行了，就可以增添一些其他动作使它走得更好。要让成吉思翻越横亘在地板上的电话簿，需要安装一对触须，用来把地面上的信息传递回第一组腿。来自触须的信号可以抑制电机的动作。此规则可能是，“如果你感觉到什么，我就停下；不然我还接着走。”

成吉思在学会爬过障碍物的同时，其基本的行走模式却未受到丝毫扰乱。布鲁克斯借此阐释了一个普适的生物原则——一个神律：当某个系统能够正常运转时，不要扰乱它；要以它为基层来构建。在自然体系中，改良就是在现存的调试好的系统上“打补丁”。原先的层级继续运作，甚至不会注意到（或不必注意到）其上还有新的层级。

当你的朋友告诉你走哪条路去他家的时候，绝不会顺便告诫你“千万别撞车”，即便你确实必须遵守此训诫。他们不需要就那个低层次的目标和你沟通，因为你熟练的驾车技术早已保证那个目标会轻易实现。而走哪条路去他家就属于高层次的活动了。

动物（在进化过程中）的学习方式与此类似。布鲁克斯的移动机器人亦是如此。它们通过建立行为层级来学会穿越复杂的世界，其顺序大致如下：

- ..避免碰触物体
- ..无目的地漫游
- ..探索世界
- ..构造内在地图
- ..注意环境变化
- ..规划旅行方案

.

预见变化并相应修正方案

在碰到障碍物的时候，负责无目的漫游的部门不会大惊小怪，因为负责避免碰触物体的部门早已对此应对自如了。

布鲁克斯移动机器人实验室的研究生们制作了一个拾荒机器人，他们开心地称它为“搜集癖好机”——一到晚上，它就在实验室里四处搜集空饮料罐。它的无目的漫游部门让它在每个房间里晃来荡去；避免碰触部门则保证它在漫游的时候不会磕碰上家具。

搜集癖好机整晚地闲逛，直到它的摄像头侦测到桌子上一个饮料罐形状的物体。信号触动移动机器人的轮子，将其推进到饮料罐正前方。搜集癖好机的胳膊并不需要等待中枢大脑（它也没脑子）发出指令，就能够通过周围环境“了解”自己所处的位置。它的胳膊上连有传递信

号的导线，以便胳膊能够“看”到轮子。如果它察觉，“噢，我的轮子停下了”，它就知道，“我前面肯定有个饮料罐”。于是，它伸出胳膊去拿罐子。如果罐子比空罐子重，就留在桌子上；如果和空罐子一样轻，就拿走。机器人手拿着空罐子继续无目的地漫游（因为有避免碰触部门的帮助，它不会撞墙或磕到家具），直到偶遇一只回收筒。这时，轮子就在回收桶前停下。傻乎乎的胳膊会“查看”自己的手是否拿着罐子，是，就会扔进回收筒。如果不是，就再次在办公室里四处漫游，直到发现下一个罐子为止。

这个荒唐的、“撞大运”的回收系统效率极其低下。但夜复一夜，在没有什么其他事好做的情况下，这个傻乎乎却很可靠的拾荒者居然搜集到数量可观的铝罐子。

如果在原有的正常工作的搜集癖好机上添加一些新的行为方式，就能发展出更复杂的系统。复杂性就是这样依靠叠加而不是改变其基本结构而累积起来的。最底层的行为并不会被扰乱。无目的漫游模块一旦被调试好，并且运转良好，就永远不会被改变。就算这个无目的漫游模块妨碍了新的高级行为，其所应用的规则也只是会被抑制，而非被删除。代码是永远不变的，只是被忽略了而已。多么官僚却又多么生物化的一种方式啊！

更进一步说，系统的各个部分（部门、科员、规则、行为方式）都在不出差错地发挥作用——犹如各自独立的系统。“避免碰触部门”自顾自地工作，不管“拿罐子部门”在不在做事。“拿罐子部门”同样干自己的工作，不管“避免碰触部门”在不在做事。青蛙的头即便掉下来了，它的腿还会抽跳，就是这个道理。

布鲁克斯为机器人设计的分布式控制结构后来被称作“包容架构”

47，因为更高层级的行

为希望起主导作用时，需要包容较低层次的行为。

如果把国家看成一台机器，你可以用包容架构来这么建造：

你从乡镇开始。先解决乡镇的后勤：基本工作包括整修街道、敷设水电管道、提供照明，还要制定律法。当你有了一些运转良好的乡镇，就可以设立郡县。在保证乡镇正常运作的基础上，你在郡县的范围内设立法院、监狱和学校，在乡镇的层级之上增加了一层复杂度。就算郡

.47 包容架构：Subsumption

Architecture

县的机构消失了，也不会影响乡镇照常运转。郡县数量多了，就可以添加州的层级。州负责收税，同时允许郡县继续行使其绝大部分的职权。没有州，乡镇也能维持下去，虽然可能不再那么有效率或那么复杂。当州的数量多了，就可以添加联邦政府。通过对州的行为做出限制并承载其层面之上的组织工作，联邦层级包容了州的一些活动。即使联邦政府消失了，千百个乡镇仍会继续做自己的地方工作——整修街道、敷设水电管道、提供照明。但是当乡镇工作被州所包容，并最终被联邦所包容时，这些乡镇工作就会显示出更强大的功效。被这套包容架构所组织起来的乡镇不但能够建造楼房，还可以设立教育体系，制定规则，而且会比原来更繁荣。美国政府的联邦结构就是一个包容架构。

3.3 众愚成智

大脑和身体的构建方式是相同的，自下而上。与从乡镇开始类似，你从简单行为——本能或反射——开始。先生成一小段能完成简单工作的神经回路，接下来让大量类似的回路运转起来。之后，复杂行为从一大堆有效运作的反射行为中脱颖而出，你也就此构建出第二个层级。无论第二层级生效与否，最初的层级都会继续运作。但当第二层级设法产生一个更复杂的行为时，就把下面层级的行为包容进来了。

以下是由布鲁克斯的移动机器人实验室开发出来的一套普适分布式控制方法：

- ..先做简单的事。
- ..学会准确无误地做简单的事。
- ..在简单任务的成果之上添加新的活动层级。
- ..不要改变简单事物。
- ..让新层级像简单层级那样准确无误地工作。

.

重复以上步骤，无限类推。

这套办法也可以作为管理任何一种复杂性的诀窍，事实上它也就是用作这个的。

你不会指望依赖一个中心化的大脑来管理整个国家的运转。假如你想修修家里的下水道，还得打电话给华盛顿的联邦下水道修理局预约，你能想像自己会搅起怎样一连串可怕的事情吗？

在做某件复杂的事情时——比如治理一亿人口或靠两条细细的腿走路，人们最常想到的办法就是，按顺序列出一个需要完成的任务清单，然后在中央指挥部或大脑的指令下完成这些任务。前苏联的经济就是按这种合乎逻辑却又极不切合实际的方式运作的。其组织模式的内在不稳定性早在苏联解体之前就显现出来了。

中枢指挥下的身体较之这种中央指令型经济也绝好不到哪里去。然而一直以来主流的机器人研发、人造生物、人工智能走的都是中枢指挥的套路。那些头脑中心论的家伙们培育出的机

器人，到现在都还没能复杂至可以“崩溃”的程度，对此布鲁克斯一点也不感到奇怪。布鲁克斯一直致力于培育没有中枢头脑的系统，以使系统拥有当得起“崩溃”的复杂性。在一篇论文里，他把此类没有中枢的智能称为“非理性智能”，其含义生动而微妙，语带双关。一方面，这种基于自下而上层累结构的智能本身并没有用于进行推理的机制，另一方面，这种智能的涌现也毫无推理可遵循。

苏联的崩溃并非因为中央集权体制扼杀了经济，而是因为所有由中央控制的复杂系统都僵化且不稳定。如果按中央集权控制的模式设计机构、公司、工厂、生物体、经济、还有机器

人，那它们都难以繁荣下去。

是啊，我听见你咕哝了，作为人类，难道我没有一个中央大脑吗？
人类有大脑，但它既非中央集权，也没有所谓的中心。“大脑有一个中心的想法是错误的

的，而且错得还很离谱。”丹尼尔·丹尼特⁴⁸这样断言。丹尼特是塔夫茨大学哲学系教授，长期鼓吹意识的“功能性”视角：意识的各种功能，比如思考，都来自不司职思考的部分。爬虫似的移动机器人所具有的半意识，就是动物和人类意识的极好样本。据丹尼特的说法，人体内没有一处是用来控制行为的，也没有一处会创造“行走”，没有所谓的灵魂居所。他说：“如果你仔细看看大脑内部，会发现里面其实空无一物。”

丹尼特正在慢慢地说服很多心理学家，让他们相信，意识是从一个由许许多多微渺而无意识的神经环路构成的分布式网络中涌现出来的。丹尼特告诉我：“旧的模式认为，大脑中存在一处中心位置，一座隐秘圣殿，一个剧场，意识都从那里产生。也就是说，一切信息都必须提交给一个特使，以使大脑能够察觉这些信息。你每次做出的有意识决定，都要在大脑峰会上得到最终确认。本能反射例外，它们是穿山而过的隧道，因而得以不参加意识峰会。

按照这种逻辑（这在脑科学领域绝对正统），丹尼特说，“一个人开口讲话时，大脑里就生成了一个语言输出盒。由某些讲话工匠编撰排版好要说的话，再放进盒子里。讲话工匠服从一个叫‘概念生成者’的子系统的指示，得到一些先于语言构成的信息。当然，概念生成者也得从某个来源获取信息，于是，类似的控制过程无限地回溯下去。”

·
48 丹尼尔

·丹尼特（Daniel

Dennett, 1942~）毕业于哈佛大学，后获牛津大学哲学博士。1971 年开始任教于塔夫斯（Tufts）大学，创立认知科学研究中心并任主任一职。

丹尼特称这种观念为“唯中央意图”。想要表达的意思从大脑中央权威处层层下传。他从语言的角度对这种观点进行了描述——就像“有位四星上将对部队训话：‘好了，伙计们，你们的活儿来了。我想狠啐这家伙一顿。快找个合适的话题，再造些英语脏话，然后发送过来。’假如说话要经过这么一个流程，想想也觉得泄气。”

丹尼特说，实际的情况更像是“有许多微不足道的小东西，本身并没有什么意义，但意义正是通过其分布式交互而涌现出来的。”一大堆分散的模块生成常常自相矛盾的原材料——这儿有一个可用的词，那儿有一个不确定的词。“语言就是从这样一堆杂乱无章、不完全协调、甚至是互相竞争的词中冒出来的。”

我们常用文学的手法来修辞讲话，把它看成意识的畅流，就如同我们头脑里正在播放新闻广播。丹尼特说，“并没有什么意识之流。意识的苗头往往是多发并存的，或者说，有许多不同的意识流，没有哪一条是被单独选出来的。”心理学家先驱威廉

·詹姆斯⁴⁹在

1874 年写道，

“……思维在任何阶段都像是一个舞台，上演着各种并发的可能性。意识在这些可能性互相比对的过程中起起落落，选此即抑彼……”

彼此各异的思智们吵闹着，共同形成了我们所认为的“统一的智慧”。马文·明斯基把这称为“心智社会”

50. 他将其简单形容为“你可以通过许多微小的反应建立知觉意识，每种反应自己却都是无知无觉的。”想象一下，有很多独立的专业机构关心各自的重要目标（或本能），诸如觅食、饮水、寻找庇护所、繁殖或自卫，这些机构共同组成了基本的大脑。拆开来看，每个机构都只有低能儿的水平，但通过错综复杂的层累控制，以许多不同的搭配组合有机结合起来，就能创造高难度的思维活动。明斯基着重强调，“没有心智社会就没有智能。智慧从愚笨中来。”

心智社会听起来和心智的官僚主义似乎大同小异。实际上，如果没有进化与学习的压力的话，头脑中的心智社会就会流于官僚主义。然而正如丹尼特、明斯基、布鲁克斯等人预想的一

49 威廉·詹姆斯（William James，1842～1910）：美国本土第一位哲学家和心理学家，也是教育学家，实用主义哲学的倡导人，美国机能主义心理学派创始人之一，也是美国最早的实验心理学家之一。

50 《心智社会》（The Society of

Mind）：马文·明斯基于

1988 年出版的哲学人文著作。其理论是：人类心智活动和任何自然进化出的感知系统是由无数“碌碌众生”式的代理（agent）所完成的单独简单进程组合成的大社会。从脑部高度关联的互动机制中，涌现出各种心智现象。

样，一个复杂组织里愚钝的个体之间总是为了获得组织资源和组织认同而相互竞争又共存合作。竞争个体间的合作是松散的。明斯基认为，智能活动产生于“几乎各自离散的个体，为了几乎各自独立的目的而结合的松散的联盟。”胜者留存，败者随时间而消逝。从这层意义上来看，头脑并非垄断独裁，而是一个无情而冷酷的生态系统，在这里，竞争孕育出自发的合作。

心智的这种微混沌特性甚至比我们所能体会的还要深刻。很有可能，心智活动实际上就是一种随机或统计现象——等同于大数定律

51. 这种随机分布式鼓荡生灭的神经脉冲群落构成了智力活动的基石；即使给定一个起点，其结果也并非命中注定。没有可重复的结局，有的只是随机而生的结果。某个特定念头的涌现，都需要借助一点点运气。

丹尼特对我坦承，“我为何痴迷于这个理论？因为当人们第一次听到这种说法时会不禁摇头大笑，但接着再想想，他们会觉得也许真是对的！后来随着思考越发深入，他们意识到，哦不，这不仅有可能是对的，而且某些观点肯定是对的！”

就像丹尼特和其他人都注意到的那样，人类并不多见的多重人格综合症在某种程度上源于人类意识的分散化和分布式特性。每一个人格——不论是比利还是莎利——都共用同一群人格代理以及同一群执行者和行为模块，却产生出显著相异的角色。罹患多重人格障碍的病人实际上将他们人格中的某个碎片（或者说，某个群组）当作一个完整的人格表现出来了。外人永远不知道他们在和谁交谈。病人看上去缺失了一个“我”。

而我们难道不都是这样的吗？在生活的不同时期，在不同的心境下，我们也变换着自己的性格。当某个人被我们内心世界的另一面所伤害时，她会冲着我们尖叫，“你不是我所熟悉的你了！”“我”是我们内心世界的一个笼统外延，我们以此来区分自己与他人。一旦“我”失去了“我”，就会忙不迭地创设一个“我”。明斯基说，我们正是这么做的。世上本无“我”，庸人自设之。

人无“我”，蜂窝无“我”，野兽无“我”，公司无“我”，家国无“我”，任何活物都没有“我”。一个活系统的“我”是一个幽灵，是不知晦朔的朝菌。它就如同亿万个水分子汇成的瞬间的漩涡，指尖轻轻一碰，便即销蚀无形。

·

51 大数定律：在随机事件的大量重复中所呈现出的一种必然规律。通俗地说，在条件不变的前提下，重复试验多次，随机事件出现的频率近似于它的概率。比如，我们向上抛一枚硬币，硬币落下后哪一面朝上本来是偶然的，但当我们上抛硬币的次数足够多后（上万次甚至几十万、几百万次以后），硬币每一面向上的次数约占总次数的二分之一。

然而须臾之际，那些分布在低层的乌合之众又搅起了漩涡。这个漩涡是新象，抑或是旧影？你有过濒死体验吗？是感觉浴火重生呢，还是历经沧桑？如果本书的章节打乱次序，还会是原来这本书吗？想想吧，想到白头愁未解，你就明白什么是分布式系统了。

3.4 嵌套层级的优点

每一个单独的生物个体内都有一大群非生物的东西。将来有一天，每一台单独的机器内也会有一大群非机械的东西。不管是哪种类型的群体，他们都一方面各忙各的，另一方面又组成了一个新的整体。

布鲁克斯写道：“包容结构实质上是一种将机器人的传感器和执行器连接起来的并行分布式计算。”这种架构的要点在于将复杂功能分解成小单元模块并以层级的形式组织起来。很多观察家津津乐道于分布式控制的社会理想，听说层级是包容结构中最重要和最核心的部分时，却很反感。他们会问，难道分布式控制不就意味着层级机制的终结吗？

当但丁一层层爬上天堂的九重天时，他所攀爬的是一座地位的层级。在地位层级里，信息和权力自上而下地单向传递。而在包容或网络层级架构里，信息和权力自下而上传递，或由一

边到另一边。布鲁克斯指出，“不管一个代理或模块在哪一个层级工作，他们均生来平等……每个模块只需埋头做好自己的事。”

在人类的分布式控制管理体系中，某些特定类型的层级会得到加强而非减小消失。在那些包含人类节点的分布式控制体系内更是如此——比如巨大的全球计算机网络。许多计算机领域的活动家大力鼓吹网络经济的新纪元——一种围绕计算机点对点网络建立起来的新纪元，认为是时候抛弃那些等级森严的网络了。他们的说法既对又错。虽然那种专制的“自上而下”的层级结构会趋于消亡，但是，若离开了“自下而上”控制的嵌套式层级，分布式系统也不会长久。当同层的个体之间相互影响时，它们自然而然聚合在一起，形成完整的细胞器官，并成为规模更大但行动更迟缓的网络的基础单元。随着时间的推移，就形成了一种基于由下而上渗透控制的多层级组织：底层的活动较快，上层的活动较慢。

通用的分布式控制的第二个重要方面在于控制的分类聚合必须从底部开始渐进累加。把复杂问题通过推理拆解成符合逻辑的、互相作用的因子是不可能的。动机虽好，但必然失败。例如，合资企业中一些大而不当的公司，其垮掉的可能性是非常高的；为解决另一部门的问题而创生的大型机构，其本身也成了问题部门。

数学运算时除法比乘法难，同样道理自上而下的分类聚合也不可行。几个素数相乘得出答

案很容易，小学生就会做。但要对一个大数做分解质因数，最超级的计算机也会卡壳。自上而下的控制就如同将乘积分解成因子一样困难，而用因子来得到乘积则非常容易。

相关的定律可以简明地表述为：必须从简单的局部控制中衍生出分布式控制；必须从已有且运作良好的简单系统上衍生出复杂系统。

为了验证自下而上的分布式控制理论，罗切斯特大学研究生布赖恩·山内⁵²制作了一个号称“杂耍抛球”的机器胳膊。胳膊的任务是用拍子反复弹拍一只气球。这只机器胳膊并没有一个大脑来对气球定位并指挥拍子移动到气球下方，再用适合的力量弹拍；相反，山内将这些定位和控制力量的工作分散化了。最终的动作平衡是由一群愚笨的“代理”组成的委员会来完成。

举例来说，把“气球在哪里？”这个最复杂的难题细分为几个独立的问题，将其分散到许多微型逻辑电路中。某一个代理只考虑一个简单问题：气球在触手可及的范围内吗？——一个相对容易操作的问题。主管此问题的代理对何时拍击气球一无所知，甚至也不知晓气球在哪里。它的单一职责就是当气球不在胳膊上的摄像仪的视线内时指令胳膊倒退，并持续移动直到气球进入视野。由这些头脑简单的决策中心所组成的网络或社会就构成了一个机体，能够展现出非凡的敏捷性和适应性。

山内说：“行为代理之间并没有明确的信息交流。所有的交流都是通过观察其它代理的动作在外界环境里留下的痕迹和影响而得以进行的。”像这样保持事物的局部性和直接性，就可让社会进化出新的行为方式，同时也避免了伴随“硬件”通讯过程而产生的复杂度爆炸问题。和流行的商业说教相反，把每件事告知每个人并非智慧的产生方式。

“我们更进一步地拓展了这个想法，”布鲁克斯说道，“并常常利用外部世界作为分布式部件间的交流媒介。”一个反射模块并非由另一个模块来通知它做什么，而是直接感知外部世界反射回来的信息，然后再通过其对外部世界的作用把信息传递给他人。“信息有可能会丢失——实际上丢失的频率还很高。但没关系，因为代理会一遍又一遍地不断发送信息。它会不断重复‘我看见了。我看见了。我看见了’的消息，直到胳膊接收到信息并采取相应动作改变外部世界，该代理才会安静下来。

52 布赖恩

山内（Brian Yamauchi）：美军坦克自动化研究、开发及工程中心资助的第二阶段小企业开发新技术推动计划的

首席机器人专家。该研究项目旨在发展高速遥控小型无人地面车辆。

3.5 利用现实世界的反馈实现交流

过度集中的通讯负荷并非中央大脑仅有的麻烦。中央内存的维护同样让人感到头痛。共享的内存必须严格、实时、准确地更新——很多公司对此都深有感触。对机器人来说，控制中心要承担的艰巨任务是根据自己的感知来编辑或更新一个“外部世界模型”，一个理论，或者一个表述——墙在哪里，门还有多远，还有，别忘了，留神那里的楼梯。

如果由不同感应器反馈回来的信息互相冲突，大脑中枢该怎么办？眼睛说有物体过来了，而耳朵却说那物体正在离去。大脑该信谁的？合乎常理的做法是尽力找出真相。于是，控制中心调节纠纷并重新修正信号，使之一致。在非包容结构的机器人中，中央大脑的计算资源大都消耗在根据不同视角的反馈信号绘制协调一致的外部世界映像上。系统每个部分对摄像头和红外传感器传回的海量数据有各自不同的解读，因而各自形成对外部世界大不一样的观感。这种情况下，大脑永远无法协调好所有的事情，因而总是一事无成。

要协调出一幅关于世界的中央视图实在太难了，而布鲁克斯发现利用现实世界作为其自身的模型要容易得多：“这个主意很棒，因为世界确实是其自身相当好的模型。”由于没有中央强制的模型，也就没有人承担调解争议的工作，争议本身本不需要调和。相反，不同的信号产生出不同的行为。在包容控制的网络层级中，行为是通过抑制、延迟、激活等方式被遴选出来的。

实质上，对机器人来说（或者说对昆虫来说——布鲁克斯更愿这么表述），并不存在外部世界的映像。没有中央记忆，没有中央指令，没有中央存在。一切都是分布式的。“通过外部世界进行沟通可以避免根据来自触臂的数据调校视觉系统的问题。”布鲁克斯写道。外部世界自身成为“中央”控制者；没有映像的环境成为映像本身。这样就节约下海量的计算工作。“在这样的组织内，”布鲁克斯说，“只需少量的计算就可以产生智能行为。”

没有了中央机构，形形色色的个体们或是冒尖或是沉寂。我们可以这样理解布鲁克斯提出的机制——用他的话来说就是，“大脑里的个体们通过外部世界进行沟通来竞争机器人的身体资源。”只有成功做到这一点的那些个体才能得到其它个体的注意。

那些脑子转得快的人发现，布鲁克斯的方案正是市场经济的绝妙写照：参与市场活动的个

体之间并没有交流，他们只是观察别人的行动对共同市场所造成的影响（不是行动本身）。从千百位我从未谋面的商贩那里，我得知了鲜蛋的价格信息。信息告诉我（含杂在很多别的信息里）：“一打鸡蛋比一双皮鞋便宜，但是比打两分钟国内长途贵。”这个信息和很多其它价格信息一起，指导了千万个养鸡场主、制鞋商和投资银行家的经营行为，告诉他们该在哪里投放资金和精力。

布鲁克斯的模型，不仅仅为人工智能领域带来了变革，它也是任何类型的复杂机体得以运作的真正模型。我们在所有类型的活系统中都能看到包容结构和网络层级机制。布鲁克斯总结了设计移动式机器人的五条经验，其表述如下：

- ..递增式构建——让复杂性自我生成发展，而非生硬植入
- ..传感器和执行器的紧密耦合——要低级反射，不要高级思考
- ..与模块无关的层级——把系统拆分为自行发展的子单元
- ..分散控制——不搞中央集权计划

稀疏通讯——观察外部世界的结果，而非依赖导线来传递讯息

当布鲁克斯把笨重且刚愎自用的机器怪兽压缩成一只卑微的、轻如鸿毛的小爬虫时，他从那次小型化的尝试中有了新的认识。以前，要想使一个机器人“更聪明”，就要为它配置更多的电脑部件，也就会使它更笨重。它越重，驱动马达就要越大。马达越大，供电所需的电池组就要越大。电池组体积越大，移动电池组的构架也就要越大，如此陷入恶性循环。这个恶性循环使得机器人头脑与身体的比重朝着越来越小的趋势发展。

但如果这个循环反过来，则成为一个良性的循环。电脑部件越小，电机就可以越小，电池也越小，构架也越小，对应其尺寸的结构强度就越大。这也使得小型移动机器虫的大脑占身体的比重相应更大，尽管脑的绝对尺寸还是很小。布鲁克斯的移动机器虫大都轻于

10 磅。成吉

思，由模型汽车组件装配出来，仅重

3.6 磅。布鲁克斯想要在三年内推出体长

1 毫米（铅笔尖

大小）的机器虫。他干脆叫它“机器跳蚤”。

布鲁克斯主张不仅要把这种机器人发送到火星上去，还要让它悄悄渗透在人类社会各个角落。布鲁克斯说，他想尽可能多地把人造生命引入现实生活，而非尽可能多地在人造生命里引入有机体。他想让世界各处充溢便宜的、微小的、无处不在的半思维机器生物。他举了个聪明的例子。在你的住宅里，只需增加

10 美元成本，就可以在一扇门上安装一个电脑芯片，它会

知道你要出门了，或者听到另一扇门传递的信息说你过来了，它还会在你离去时通知电灯，诸如此类，等等。如果一幢大楼里每扇门都会互相交谈，就可以帮助对气候进行控制，还可以帮

助控制车流。如果在所有其他在我们现在看来冰冷乏味的设施里推广这些小小的入侵者，注入快捷、廉价、失控的小小智慧，我们就能拥有无数感觉灵敏的小家伙们。它们为我们服务，而且不断学习如何更好地为我们服务。

受到触动的布鲁克斯预言了这样一幅未来的美好画卷：我们的社会到处是人造生物，与我们和谐共处互相依赖，构成一种新型的共生关系。其中大部分并不被我们所察觉，而是被看成是理所当然的事情。它们解决问题的方式被设计为昆虫的方式——众人拾柴火焰高，人多力量大，个体单元则微不足道。它们的数量将像自然界的昆虫一样远多于我们。事实上，布鲁克斯眼中的机器人不必象《星球大战》里的 R2D2 那样为我们端茶倒水，只需在我们视线不及处自成一体，与万物同化。

移动机器人实验室有位学生制作了一款兔子大小的廉价机器人。它会观察我们在房间里的位置，随着你的走动不断调整你的立体声音响，从而达到最佳的音效。布鲁克斯也有一个创意，让一个小型机器人生活在我们客厅的某个角落或者沙发下面。它会象搜集癖好机那样四处游荡，专等你不在家的时候四处吸尘。你只有在回家发现地板光洁一新后才会意识到这位田螺姑娘的存在。还有个机器爬虫，会在电视机关着的时候从角落里面爬出来偷偷吸食机身上的灰尘。

每个人都幻想有可以编程的宠物。“汽车和马的最大区别，就是你无须每天照料汽车，却必须每天侍候马，”凯斯·汉森⁵³，一位颇受欢迎的技术布道者说道，“我想人们一定希望动物也具备可以开关的功能。”

“我们热衷于制造人工存在物。”布鲁克斯在 1985 年的一篇文章中写道。他把人工存在物定义为一种可以脱离人类协助、在现实环境里生存数周乃至数月、并可以做一些有用工作的创造物。“我们的移动机器虫就属于这种创造物。开启电源，它们就会融入外部世界，与之交互作用，寻求达成各种目标。别的机器人与之相比则大为不同。它们要遵循预设程序或计划，完成某项特别任务。”布鲁克斯坚持自己不会像大多数机器人设计师那样，为他的存在物设立

53 凯斯

·汉森 (Keith

Hensen, 1942~): 美国电气工程师和作家。著有《长生术》、《人体冷冻法》、《谜因学》和《进化心理学》。——译自“维基百科”

玩具环境（即简单、容易的环境）。他说：“我们坚持建造能在现实世界里存在的完整系统，以免自欺欺人、逃避难题。”

时至今日，自然科学一直未能解决一个难题，就是如何建立一种纯意识。如果布鲁克斯是对的，那么这个目标也许永远无法实现。相反，意识将从愚笨的身体中生长出来。几乎所有从移动机器人实验室获得的经验教训都在告诉我们，在一个不宽容错误的真实世界里，离开身体

就无从获得意识。“思考即行动，行动即思考，”海因茨·冯·福尔斯特 54，一位上世纪五十年代控制论运动的启蒙者说道，“没有运动就没有生命。”

.54 海因茨

.冯·福尔斯特（Heinz

von Foerster, 1911.11.13~2002.10.02): 奥地利裔美国科学家，集物理学和哲学之大成。与沃伦·麦克斯洛、诺伯特·维纳、约翰·冯·诺依曼、劳伦斯·福格尔等人一起创立了控制论。

3.6 无躯体则无意识

我们人类认为自己更接近于机器人“漫步者”而非小小的蚂蚁，这种与生俱来的想法造就了“漫步者”体态臃肿的麻烦。自从医学证实了大脑在生理上的重要作用后，头脑就取代了心脏，成为我们现代人所认同的中心。

20 世纪的人类完全依靠大脑而存在，因此，我们制造的机器人也是依靠大脑而存在。科学家们——同样是些凡人——认为，作为生灵的自己就扎根在眼球后、前额下的那一小块区域。我们生息于此。到了

1968 年，脑死亡已经成为判断临床死亡的依据。无意识则无生命。

功能强大的计算机催生了无躯体智能的狂热幻想。我们都见过这样一种表述：意识可以栖居于浸泡在容器中的大脑里。现代人说，借助科学，我可以无需躯体而以大脑的形式继续存活下去。由于计算机本身就是巨大的头脑，所以我可以生存在计算机中。同样道理，计算机意识也可以轻易地使用我的躯体。

在美国通俗文化的圣典中，意识的可转移性已经成为被广泛信守的教条。人们宣称，意识转移是绝妙的想法、惊人的想法，却没有有人认为那是错误的想法。现代民众相信，意识可以在容器间倒来倒去。由此产生了《终结者 2》、《弗兰肯斯坦》等一大批类似的科幻作品。

不管结果如何，在现实中，我们不以头脑为中心，也不以意识为中心。即便真的如此，我们的意识也没有中心，没有“我”。我们的身体也没有向心性。身体和意识跨越了彼此间的假想边界，模糊了彼此间的差别。它们都是由大量的亚层次物质组成的。

我们知道，与其说眼睛像照相机，还不如说它更像大脑。眼球拥有超级计算机般的海量处理能力。我们的许多视觉感知在光线刚刚触及纤薄的视网膜时就发生了，比中枢大脑形成景象要早得多。我们的脊髓不只是一捆传输大脑指令的电话线，它也在思考。当我们把手按在胸口（而非额头），为我们的行为做出保证时，我们更接近于事情的真相。我们的体内流淌着荷尔蒙和多肽构成的浓汤，我们的情感漫游其中。脑垂体分泌的激素，释放出爱的念头（也许还有些可爱的想法）。这类荷尔蒙也处理信息。科学家们的最新推断表明，我们的免疫系统是一台神奇的并行分布式感知机，它能辨识并记住数以百万计的不同分子。

对布鲁克斯来说，躯体就意味着简洁、明了。没有躯体的智能和超越形式的存在都是虚妄

的幽灵，给人以错觉。只有在真实世界里创造真实的物体，才能建立如意识和生命般的复杂系统。只有创造出必须以真实躯体而存活的机器人，让他们日复一日自食其力，才有可能发掘出人工智能或真正的智慧。当然，假如你意图阻止意识的涌现，那么只管把它与躯体剥离开来。

3.7 心智/躯体的黑盲性精神错乱

55

单调乏味会使心智错乱。

40 年前，加拿大心理学家赫伯斯

56 对一些案例发生了很大兴趣：据传，一些人在极度无聊

的时候出现了诡异的幻觉。雷达观测员常常报告发现了信号，而雷达屏幕上却空空如也；长途卡车司机会突然停车，因为他看到搭便车的旅行者，而路上连个鬼影都没有。韩战期间，加拿大国防研究会邀请赫伯斯参与研究另一件棘手的事情，研究人体处于单调疲乏心理状态下的产物：招供。那些被俘联军士兵似乎在被共产主义者洗脑（当时是个新名词）之后宣布摒弃西方世界。他们也许受到过被关进隔绝水箱之类的折磨。

1954 年，赫伯斯为此在蒙特利尔麦吉尔大学搭建了一间避光隔音的小房间。志愿者们呆在这个狭小的房间内，头上戴着半透明的防护眼镜，手臂裹着纸板，手上戴着棉手套，耳朵里塞着耳机，里面播放着低沉的噪音，在床上静躺两到三天。他们起先听到持续的嗡嗡声，不久即融入一片死寂。他们只感觉到背部的钝痛，只看得到暗淡的灰色，亦或许是黑色？与生俱来氤氲心头的五色百感渐渐蒸发殆尽。慢慢地，各种意识挣脱身体的羁绊开始旋转。

有半数的受测者报告说产生了幻视，其中一些出现在第一个小时：“有一队小人，一个德军钢盔……一个卡通式人物的鲜活而完整的场景。”在

1954 年那个纯真的年代，加拿大科学家

们报告说：“我们的早期受测者中有几个案例，声称其进入了被一个测试者称为‘醒时梦’的状态。这种描述最初让人很是莫名其妙。后来，我们的一位研究员以受测者的身份观察到了这一现象，并意识到了其特殊性及其引申。”静躺不动到第二天后，受测者们可能会报告“现实感没了，体像变了，说话困难，尘封的往事历历在目，满脑子性欲，思维迟钝，梦境复杂，以及由忧虑和惊恐引起目眩神迷。”他们没有提及“幻觉”，因为那时词汇表里还没有这个词。

几年后，杰克·弗农 57 继续进行赫伯斯的实验。他在普林斯顿心理学系的地下室建造了一间

.

55 黑盲性精神错乱：black

patch

psychosis

.

56 赫伯斯 (Donald
Olding

Hebb, 1904.07.22~1985.08.20): 在神经心理学方面很有影响力的加拿大心理学家。他致力于了解神经元功能在心理过程中——如学习过程中——所起的作用,被尊为神经心理学与神经科学之父。

57 杰克·弗农 (Jack

Vernon): 生在田纳西州,长在弗吉尼亚州,是二战期间的飞行员。获美国弗吉尼亚大学博士学位。

“黑屋”。他招募了一些研究生;这些受试的学生们打算花四五天时间在黑暗中“好好想些事情”。最初受试的一批学生中有一位后来告诉前来听取情况的研究者:“你们打开观察窗的时候,我猜自己大概已经在那儿呆了一天了。我那时还奇怪,为什么你们过了这么久才来观察我。”然而事实是,那儿根本没有什么观察窗。

在这个与世隔绝的、寂静的棺材里呆了两天后,几乎所有的受测者都没有了正常的思维。注意力已经土崩瓦解,取而代之的是虚幻丛生的白日梦。更糟糕的是,活跃的意识陷入了一个不活跃的循环。“一位受测者想出了一个游戏,按字母表顺序,列出每种化学反应及其发现者的名字。列到字母

N 的时候,他一个例子也想不出来了,他试图跳过

N 继续下去,但

N 总是

固执地跳入思绪,非要得到答案不可。这个过程实在令他厌烦,他打算彻底放弃这个游戏,却发现已经心魔难驱了。他忍受着这个游戏所带来的不断的追求,坚持了一小会儿之后,发现自己已经无法控制游戏了,于是按下紧急按钮,中止了测试。”

身体是意识乃至生命停泊的港湾,是阻止意识被自酿的风暴吞噬的机器。神经线路天生就有玩火自焚的倾向。如果放任不管,不让它直接连接“外部世界”,聪明的网络就会把自己的构想当做现实。意识不可能超出其所能度量或计算的范畴。没有身体,意识便只能顾及自己。出于天赐的好奇心,即便是最简单的头脑也会在面对挑战时,殚精竭虑以求一解。然而,如果意识直面的大都是自身内部的线路和逻辑问题,那它就只能终日沉迷于自己所创造出的奇思异想。

而身体——或者说,任何由感觉和催化剂汇集起来的实体——通过加载需要立即处理的紧急事务,打断了神智的胡思乱想!生死悠关!能闪避吗?!心智不必再去虚构现实——现实正扑面而来,直击要害。闪避!凭借以前从未试过、也从未梦想一试的一种全新的原创悟性,它做出了决断。

失去了感觉,心智就会陷入意淫,并产生心理失明。若非不断被来自眼耳口鼻和手指的招呼打断,心智最终会蜷入一隅遁世隐居。眼睛是最重要的感官,其本身就相当于半个大脑(塞满了神经细胞和生物芯片)。它以难以想象的丰富信息——半消化的数据、重大的决策、未来演变的暗示、隐匿的事物线索、跃跃一试的动感、无尽的美色——濡养着心智。心智经过一番细嚼慢咽,抖擞登场。若突然斩断其与眼睛的纽带,心智就会陷入混乱、晕眩,最终缩入自己

1966 年，他移居美国俄勒冈州开始进行耳鸣临床研究，不久即在俄勒冈保健科学大学建立了美国第一个耳鸣诊所。

的龟甲里。

看了一辈子大千世界的眼球会产生晶状体混浊，这种折磨老年人的白内障是可以手术摘除的，但重见光明之前不得不经历一段全盲的过程，比白内障带来的混浊不清还要黑暗。医生通过外科手术摘除病变恶化的晶状体，然后敷以全黑的眼罩，用以遮蔽光线，防止眼球转动，因为只要眼球在看东西就会下意识地转动。因为左右眼球是联动的，所以两眼都要戴上眼罩。为了尽可能减少眼球转动，病人须卧床静养长达一周。入夜，熙熙攘攘的医院渐渐沉寂下来，由于身体静止不动，病人愈加体会到蒙着双目带来的无边黑暗。二十世纪初，这种手术首次临床普及时，医院里没有机器设备，没有电视广播，夜班护士很少，也没有灯光。头缠绷带躺在眼科病房里，周围是一片黑暗死寂，令人感觉跌入了无底深渊。

术后第一天的感觉黯淡无光，只是静养。第二天感觉更黑暗，头脑发木，焦躁不安。第三天则是黑暗，黑暗，黑暗，外加一片寂静，四周墙上似乎爬满了密密麻麻的红色虫子。

“术后第三天的深夜，60 岁的老妇撕扯着自己的头发和被单，拼命想下床，声称有人正要抓她，还说房间起火了。护士解开她未做手术的那只眼睛上的绷带后，她才慢慢平静下来，”此段文字记载于 1923 年一家医院的报告上。

二十世纪五十年代初，纽约西奈山医院的医生们在白内障病房一连发现 21 例异常病例。

“有 9 位病人日益感到焦躁不安，他们撕下护具或是试图爬上床头的架子。有 6 位病人出现癔症，4 位病人诉说身体不适，4 位病人兴奋异常 [!!]，3 位病人有幻视，2 位出现幻听。”

“黑盲性精神错乱”现在已成为眼科大夫巡视病房时很留意的一种症状。我认为大学也应该给予足够的重视。每个哲学系都应该在一个红色的类似火灾警报的盒子里挂一副黑眼罩，上面标明：“一旦发生与意识和身体有关的争执，请打破玻璃，戴上眼罩。”

在一个充斥着虚拟事物的时代，再怎么强调身体的重要性也不过分。马克·波林和罗德尼·布鲁克斯之所以比其他人更成功地制造出了类人的机器，正是因为他们把这些造物完全实体化了。他们坚持其设计的机器人必须完全融入现实的环境。

波林的自动机器活得时间并不太长。每次表演结束后，还能自己动弹的铁武士寥寥可数。但平心而论，别的大学研发的机器人并不比波林那些大块头们活得更长久。能“存活”过十几个小时的移动机器人屈指可数。对大多数移动机器来讲，它们是在关机状态下得以改良的。本质上，机器人专家们都是在造物处于“死亡”状态的时候来琢磨如何改进它们，这个怪异的

窘境并没逃过一些学者的注意。“要知道，我想制造的是那种可以

24 小时开机、连续工作数周

的机器人。这才是机器人的学习之道。”说这话的是玛佳

.玛塔瑞克，布鲁克斯团队的一员。

我走访麻省理工学院移动机器人实验室时，成吉思已被大卸八块，躺在实验台上，旁边堆放着一些新的部件。“他在学习呢。”布鲁克斯俏皮地说。

成吉思是在学习，但不是以行之有效的方式。他不得不依赖于忙碌的布鲁克斯和他忙碌的学生们。如果能在活着时学习该多好！这是机器将要迈出的下一大步。自我学习，永不停歇。不仅仅是适应环境，更要进化自身。

进化是步步为营的。成吉思的智力与昆虫相当。它的后代有一天可能会赶上啮齿动物，总有一天，会进一步进化得像猿一样聪明伶俐。

但是，布鲁克斯提醒说，在机器进化的道路上我们还是耐心点为好。从创世纪的第一天算起，几十亿年后，植物才出现，又过了大约十五亿年，鱼类才露面。再过一亿年，昆虫登上舞台。“然后一切才真正开始加快前进的步伐。”布鲁克斯说道。爬行类、恐龙、哺乳类在随后的一亿年里出现。而聪明的古猿，包括早期人类，在最近两千万年出现。

在地质学史上，复杂性在近代有了较快的发展。这使布鲁克斯想到：“一旦具备了生命和对外界做出反应的基本条件，就可以轻而易举地演化出解决问题、创造语言、发展专业知识和进行推理等高级智能。从单细胞生物进化到昆虫历经了

30 亿年的时光，而从昆虫进化到人类只

花了

5 亿年。“这意味着昆虫的智力水平绝非低下。”

因而，类昆虫生命——布鲁克斯正努力解决的课题——是一个真正的难题。创造出人造昆虫，人造猿也就随之而来了。这也表明了研究快速、廉价、失控的移动机器人的第二个优势：进化需要数量巨大的种群。一只成吉思固然可以学习，但要想实现进化，则需要云集成群的成吉思。

要让机器发生进化，就需要大量成群的机器。像蚊虫一样的机器人也许是最理想的方法。布鲁克斯的终极梦想是制造出充满了既会学习（适应环境变化）又能进化（生物种群经受“无数考验”）的机器的活系统。

当初，有人提出要实行民主制的时候，许多理性的人们确实担心它甚至还不如无政府主义。他们有自己的道理。同样，给自治的、进化的机器以民主，也会引发人们对新无政府主义的担忧。这样的担心也不无道理。

有一次，自治机器生命的鼓吹者克里斯.朗顿问马克.波林：“要是有一天机器拥有了无比的智慧和超高的效率，人类将在何处容身？我的意思是，我们是要机器呢，还是要自己？”我希望本书的字里行间都能回响着波林的回答：“我认为人类将不断积聚人工和机械的能力，同时，机器也将不断积累生物的智慧。这将使人与机器的对抗不再像今天那么明显、那么关乎伦理。”

对抗甚至可能转变成一种共生协作：会思考的机器、硅晶中的病毒、与电视机热线连接的人、由基因工程定制的生命，整个世界网结成人类与机器共生的心智。如果一切都能实现的话，我们将拥有协助人类生活和创造的精巧机器，而人类也将协助机器生存和创造。

以下这封信刊发于

1984 年美国《电气和电子工程师学会会刊》

58。

2034 年

6 月 1 日

亲爱的布里斯先生：

我很高兴地支持你考虑由人类来承担专业工作的想法。你知道，人类历来都是不错的备选者。直到今天我们仍有很多强烈推荐他们的理由。

正如他们的名称所示，人类是有人性的。它们可以向客户传递真诚关爱的感觉，有利于建立更好且更有效率的客户关系。

人类每个个体都是独一无二的。很多情况下，观点的多样性是有益的，而由个体的人类所组成的团队，在提供这种多样性上是无与伦比的。

人类具有直觉，能使他们即使在不明原由时也能做出决定。

人类善于变通。因为我们的客户常常提出变化很大的、不可预知的要求，变通能力非常关键。

总之，人类有很多有利条件。他们虽然不是万能药，但对某些重要且具挑战性的专业难题来说却是对症良药。仔细考虑一下人类吧。

.58 《电气与电子工程师学会会刊》：IEEE
Spectrum

您忠实的

雷德里克.海斯-罗特

达尔文革命最重大的社会后果是，人类不情愿地承认自己是猿猴某个偶然的后代分支，既不完善也未经过设计改良。而未来新生物文明最重大的社会后果则是，人类不情愿地承认自己碰巧成了机器的祖先，而作为机器的我们本身也会得到设计改良。

上述观点可以更进一步地概述为：自然进化强调我们是猿类；而人工进化则强调我们是有

心智的机器。

我相信人类绝不仅仅是猿和机器的结合生物（我们有很多得天独厚的优势！），我也相信我们比自己想像的还要接近猿和机器。这为人类所具备的那种无法量测但却明晰可辨的差异留下了发展空间。这种差异激发出了伟大的文学、艺术，以及我们的整个生命。我欣赏并沉浸于这种感性认识中。但是在机械的进化过程中，在支撑生命系统的复杂而可知的相互连接中，在产生机器人可靠行为的可复现进程中，我所遭遇的是在简单生命、机器、复杂系统和我们之间存在的大一统。这种大一统所能激发出的灵感，不逊于我们曾有过的任何激情。

机器现在还是不讨人喜欢的东西，因为我们没有为其注入生命的精髓。但是我们将被迫重新打造它们，使之在某天成为众口称道的东西。

作为人类，当我们知道自己是这颗蓝色地球上枝繁叶茂的生命之树上的一根枝条时，我们就找到了精神的家园。也许将来某一天，当我们知道自己是层积在绿色生命之上的复杂机器中的一根纽带时，我们将进入精神的天堂。自旧的生命系统中诞生出新生命的庞大网络，人类则成为其中一个华丽的节点——也许我们还会为此高唱赞美诗哩！

当波林的机器怪兽嚼食同类的时候，我看到的不是毫无价值的破坏，而是狮子在围捕斑马，以维护野生动物的进化旅程。当布鲁克斯那六足的成吉思机器虫伸出铁爪子，搜寻可以抓握的地方时，我看到的不是从机械的重复劳动中解脱出来的工人，而是一个欢天喜地蠕动着的新生婴儿。我们与机器终将成为同类。当某天机器人开口反驳我们时，谁不会心生敬畏呢？

第四章 组装复杂性

4.1 生物——机器的未来

灰暗的秋色降临，我站在美国最后一片开着野花的大草原 59 中间。微风拂来，黄褐色的草沙沙作响。我闭上眼睛向耶稣——那重生复活的上帝——祈祷。接着，我弯下腰，划着火柴，点燃这片最后的草原。草原燃起熊熊烈火。

“今日原上草，明日炉中烧。”那复活者说。火借风势噼啪作响，燃起八英尺高的火墙，如一匹脱缰野马；此时，那一段福音浮现在我的脑海中。丛丛枯萎的野草发出的热量令人敬畏。我站在那里，用绑在扫帚把上的橡皮垫拍打火苗，试图控制火墙的边界，阻止它向淡黄色的田野蔓延。我想起了另一节福音：“新的到来，旧的逝去。”

在草原燃烧的同时，我想到了机器。逝去的是旧的机器之道，到来的是重生的机器之本性，一种比逝去的更有活力的本性。

我来到这片被火烧焦的草地，因为这片开着野花的草原以自己的方式展现了人造物的另一个侧面，正如我马上要解释的那样。这片烧焦的土地以事实说明，生命正在变为人造的，一如人造的正在变得有生命，它们都在成为某种精彩而奇特的东西。

机器的未来就在脚下这片杂乱的草地里。这片曾经野花盛开的草原被机器按部就班地翻犁

过，什么都没留下，除了我脚下的这一小片草地。然而，具有极大讽刺意味的是，这片小草地掌握着机器的命运——因为机器的未来是生物。

带我来到这片草场火海的人，是三十多岁、做事极其认真的史蒂夫·帕克德 60。当我们在这

59 北美大草原 (prairie): 分布于北美大陆中部和西部的辽阔的大草原，也称为温带草原，以禾本科植物为主。随着降雨量的由西向东增加和草茎的高低，而又区别为高、中、低几种类型的草原，东部气候半湿润，草木繁茂，种类丰富，并常出现岛状森林或灌丛，称为高草草原；西部内陆靠近荒漠一侧，雨量减少，气候变干，草群低矮稀疏，种类组成简单，并常混生一些旱生小半灌木或肉质植物，称为矮草草原。中间为过渡混生草原。

60 史蒂夫·帕克德 (Steve Packard): 主持伊利诺斯州自然保护协会的科学和管理工作，唤起了世界对芝加哥地区残存的稀

片小草原上漫步时，他抚弄着少许干杂草——他非常熟悉它们的拉丁名字。大约二十年前，帕克德陷入一个无法自拔的梦想。他幻想某个郊区的垃圾场重新绽放出花朵，还原为缤纷草原的原始颜色，成为烦扰不断的世人寻求心灵平和的生命绿洲。就像他喜欢对支持者说的那样，他幻想得到一个“带来生活品质改善”的草原礼物。1974 年，帕克德开始实施自己的梦想。在持怀疑态度的环保组织的些许帮助下，他开始在离芝加哥市中心不太远的地方重建一个真正的草原。

帕克德知道，生态学教父奥尔多·利奥波德 61 在 1934 年曾经成功地重建了一块勉勉强强的草原。利奥波德所在的威斯康星大学买了一个名为柯蒂斯旧农场，打算在那里建立一个植物园。利奥波德说服学校让柯蒂斯农场重新还原成草原。废弃的农场将最后一次接受翻犁，然后被撒上行将绝迹的、几乎叫不上名字的草原种子，随后就听之任之了。

这个简陋的实验并非在逆转时钟，而是在逆转文明。

在利奥波德这天真的行动之前，文明迈出的每一步都走上对自然进行控制和阻隔的又一个阶梯。修建房屋是为了将大自然的极端温度挡在门外；侍弄园圃是为了将自然生长的植物转变为驯服的农作物；开采铁矿则是为了砍伐树木以获取木材。

这种前进的步伐很少有过停歇。偶尔，某个封建领主为了自己的狩猎游戏会保留一片野生树林不被毁掉。在这块庇护地，猎场看守人可能会种植一些野生谷物为他主人的狩猎吸引动物。但是，在利奥波德的荒唐举动之前，没有人刻意地去“种植”野生状态。事实上，即使在利奥波德审视柯蒂斯项目的时候，他也不认为能有人“种植”野生状态。做为一个自然学家，他认为必须由大自然来主掌这片土地，而他的工作就是保护自然的一切举动。在同事以及大萧

条时期由国家资源保护队雇用的一群农民小伙子的帮助下，利奥波德在头五年时间里，用一桶桶水和偶尔进行的间苗，养护了三百英亩新兴的草原植物。

草原植物生长茂盛，非草原杂草同样生长茂盛。这片草场无论覆盖上了什么，都不是草原

树大草原的关注，建立了自愿者网络，成为《纽约时报》科学作家威廉·史蒂文斯的新书《橡树下的奇迹》所关注的焦点。

.61 奥尔多

.利奥波德（Aldo

Leopold, 1887~1948）：美国伦理学家、环境保护主义理论家。著有自然随笔和哲学论文集《沙乡年鉴》。在这本书中，利奥波德从哲学的意义上提出了“土地道德”的概念，把人们对自然的 attitude 与人的道德联系

在一起，并指出，在人类历史上，征服者最终都将祸及自身。

曾经有过的模样。树苗、欧亚舶来种、还有农场杂草，都与草原植物一起旺盛地生长。在最后一次耕耘又过了十年后，利奥波德终于明了，新生的柯蒂斯草原只不过是个荒原混血儿。更糟糕的是，它慢慢变成一个杂草丛生的场地。这里缺失了什么。

也许有一个关键的物种缺失了。一旦这个物种被重新引进，它就有可能恢复整个植物生态圈的秩序。二十世纪四十年代中期，人们找到并确认了这个物种。它是个机敏的动物，曾经遍布高草草原，四处游荡，影响着所有在草原安家的植物、昆虫和鸟类。这个缺失的成员就是一一火。

火使草原有效地运转。它使那些需要浴火重生的种子得以发芽 62，将那些入侵的树苗一笔抹去，让那些经不起考验的“城里人”望而却步。火在高草草原生态中所承担的重要职能被重新发现，这也正契合了对火在北美其它几乎所有生态圈内所承担的职责的重新发现。说是重新发现，因为原住民中的土地学家早已认识和利用了火对大自然的影响。欧洲移民曾详细记录了火在白人统治前的草原上无处不在、肆意横行的情况。

尽管对我们来说火的功能已经了然，但当时生态学家还不清楚火是草原的重要组成部分；自然资源保护论者，也就是我们现在所说的环保人士，就更不理解了。具有讽刺意味的是，奥

尔多·利奥波德，这位最伟大的美国生态学家，竟然强烈反对让野火在荒地里燃烧。他于 1920

年写道：“放火烧荒不仅无益于预防严重的火灾，而且最终会摧毁为西方工业提供木材的森林。”他列举出放火不好的五个原因，没有一个是根据的。利奥波德严厉斥责“烧荒宣传员”，他写道，“可以确定地说：如果烧荒再持续五十年的话，我们现存的森林区域将进一步大幅度缩小。”

十年后，当大自然的相互依赖性被进一步揭示之后，利奥波德终于承认了天然火的重要本质。当他重新在威斯康星这块人造草地引入火种之后，草原迎来了几个世纪以来最茂盛的生长期。曾经稀少的物种开始遍布草原。

然而，即使经过了五十年的火与太阳及冬雪的洗礼，今天的柯蒂斯草原仍然不能完全体现其物种的多样性。尤其是在边缘地带——通常这里都是生态多样性最集中体现的地方——草原几乎成了杂草的天下，这些杂草同样肆虐在其他被人遗忘的角落。

62 浴火重生的种子：某些硬壳类植物种子，非火烧去外壳不能发芽。比如澳洲桉树的种子有厚厚的木质外壳，借助大火把它
的木质外壳烤裂，便于生根发芽。因此桉树林就像凤凰，大火过后不仅能获得新生，而且会长得更好。

威斯康星的实验证明，人们可以大致地拼凑出一个草原的近似物。但是，到底要怎样才能再现一个各方面都真实、纯洁、完美的草原呢？人类能从头开始培育出真正的草原吗？有办法制造出自维持的野生状态吗？

4.2 用火和软体种子恢复草原

1991 年秋天，我和史蒂夫

·帕克德站在他的宝地——他称之为“阁楼中发现的伦勃朗”——

一芝加哥郊外的树林边。这是我们将要放火焚烧的草原。散生的橡树下生长着几百英亩的草，沙沙作响、随风倾倒的草扫拂着我们的脚面。我们徜徉在一片比利奥波德看见的更富饶、更完美、更真实的草地上。融入这片褐色植物海洋的是成百上千种不寻常的物种。“北美草原的主体是草。”帕克德在风中大声喊道，“而大多数人注意到的是广告中的花朵。”我去的时候，花已经凋谢，样貌平平的草和树似乎显得有些乏味。而这种“无趣”恰恰是重现整个生态系统的关键所在。

为了这一刻，帕克德早在二十世纪八十年代初，就在伊利诺斯州繁茂的丛林中找到了几块开满鲜花的小空地。他在地里播上草原野花的种子，并将空地周边的灌木清除掉，扩大空地的面积。为了阻止非原生杂草的生长，他把草点燃。起初，他希望火能自然地做好清理工作。他想让火从草地蔓入灌木丛，烧掉那些林下灌木。然后，由于林木缺乏油脂，火就会自然地熄灭。帕克德告诉我，“我们让火尽可能远地冲进灌木丛。我们的口号是，‘让火来做决定’。”

然而，灌木丛没有按他希望的那样燃烧。于是，帕克德和他的工作人员就动手用斧子清除那些灌木。在两年的时间内，他们获得了令人满意的结果。野生黑麦草和金花菊茂密地覆盖了这片新领地。每个季节，这些重建者都要亲自动手砍伐灌木，并播种他们所能找到的、精挑细选的北美草原花种。

可是，到了第三年，显然又有什么不对劲的地方。树荫下的植物长得很不好，不能为季节性的烧荒提供良好的燃料。而生长旺盛的草又都不是北美草原的物种，而是帕克德以前从没见过的。渐渐地，重新种植的区域又还原为灌木丛。

帕克德开始怀疑，任何人，包括他自己，是否能走出几十年来焚烧一块空地，却一无所获的困境。他认为一定还有另一个因素被忽略了，以致于无法形成一个完整的生物系统。他开始读当地的植物历史，研究那些古怪的物种。

他发现，那些在橡树地边缘的空地上繁茂生长的不知名物种并不属于北美草原，而是属于

稀树大草原生态系统⁶³——一个生长有树木的草原。研究了那些与稀树大草原有关的植物之后，帕克德很快意识到，在他的重建地边缘还点缀着其他的伴生物种，如蒲公英、霜龙胆和金钱草。甚至还在几年前，他就发现了怒放的星形花朵。他曾经把开着花的植物带给大学的专家看，因为星形花植物多种多样，非专业人士是分辨不出来的。“这是什么鬼东西？”他问植物学家，“书中找不到，国家物种大全中也没列出来。这是什么？”植物学家说，“我不知道。这可能是稀树大草原的星形花植物，可是这里没有稀树大草原，那么，它就不可能是那种植物。不知道是什么。”人们对他们不想要的东西总是视而不见。帕克德甚至告诉自己那不同寻常的野花一定是偶然出现的，或被认错了。他回忆说：“稀树大草原物种不是我最初想要的，因此曾想把它们除掉来着。”

然而，他不断地看到它们。他在地里发现的星形花植物越来越多。帕克德渐渐明白了，这古怪的物种是这些空地上的主要物种。其它与稀树大草原相关的许多物种，他还没有认出来。于是，他开始到处搜寻样本——在古老公墓的角落里，沿着铁路的路基，以及旧时的马车道——任何可能有早期生态系统零星幸存者的地方，只要可能，就收集它们的种子。

帕克德看着堆在车库里的种子，有了一种顿悟。混成一堆的北美草原种子是干燥的、绒毛似的草籽。而逐渐多起来的稀树大草原的种子则是“一把把色彩斑斓、凹凸不平、粘糊糊的软胶质”，成熟后的种子包有果肉。这些种子不是靠风而是靠动物和鸟类传播。那个他一直试图恢复的东西——共同进化系统，连锁的有机体系——不是单纯的北美大草原，而是有树的大草原：稀树大草原。

中西部的拓荒者称有树的草原为“荒野”。杂草丛生的灌木丛，和长在稀少树木下的高草，既不是草地也不是森林——因此对早期定居者来说那是荒野。几乎完全不同的物种使得这里保持着与北美大草原截然不同的生物群系。这块稀树大草原的荒野特别依赖火，其程度远超过北美大草原。而当农民们来到这里，停止了烧荒，这块荒野就迅速沦为树林。本世纪初，这种荒野几乎消失，而有关这里的物种构成也几乎没有记录。但是一旦帕克德脑子里形成了稀树大草原的“搜索图像”，他就开始在各处看到它存在的证据。

帕克德播种了成堆的稀树大草原古怪的粘糊糊种子。两年之内，这块地就由稀有的被遗忘

63 热带或亚热带稀树大草原 (savanna): 是指干湿季对比非常明显的热带地区。主要见于东非、南美巴西高原和印度等地。以高达一米以上的旱生禾草为主要成分所组成的草被层占优势,在这种草被层的背景上散生着一些旱生矮乔木。以禾草的生产力高以及植被稀疏开旷等为其特点。savanna 土著原意即为“树木很少而草很高”。

了的野花点缀得绚丽多彩: 问荆、蓝茎秋麒麟、星花蝇子草、大叶紫菀。1988 年的干旱使那些原本非土生土长的杂草枯萎了,而重新得以安家落户的“土著居民”却依然茁壮成长。1989 年,一对来自东方的蓝色知更鸟(在这个国家已经几十年未见过)在它们熟悉的栖息地安了家——帕克德将这件事看作是“认证”。大学的植物学家们回了电话,州里似乎有关于稀树大草原多种花色鲜明植物的早期记录。生物学家将其列入濒临灭绝的物种清单。长有椭圆叶的乳草植物在这块重建的荒野恢复生长了,而在州里其它任何地方都找不到它们的影子。稀有而濒临灭绝的植物如白蝴蝶兰和浅色连理草也突然自己冒了出来。可能它们的种子一直处在休眠中——在火和其它因素之间找到了合适的萌芽条件——或者由鸟类,如来访的蓝色知更鸟,带来了过来。伊利诺斯州各地整整十年未见过的银蓝色蝴蝶,奇迹般地出现在芝加哥郊区,因为,在那新兴的稀树大草原上生长着它最喜爱的食物,连理草。

“啊,”内行的昆虫学家说,“爱德华兹细纹蝶是典型的稀树草原蝴蝶。但是我们没见过。你肯定这是稀树草原吗?”到了重建后的第五年,爱德华兹细纹蝶已经在这个地区满天飞舞了。

“你盖好了,他们就会来。”这是电影《梦幻之地》64 中的经典台词。这是真的。你付出的努力越多,得到的越多。经济学家称其为“报酬递增法则”,或滚雪球效应。随着相互联系的网络编织得越来越紧密,再加织一片就更容易了。

64 《梦幻之地》(Field of

Dreams): 是凯文

·科斯特纳最出色的代表作之一。这是一部带有神秘色彩的文艺片,描写中年

人不甘心于平凡而内心渴望追求梦想的那股力量,对于美国婴儿潮一代的集体心理有深刻动人的刻划。主人翁是青少年时

期与父亲失和而无法完成梦想的农场主人雷,有一天他听到神秘声音说:“你盖好了,他们就会来。”于是他像着了魔一

样铲平了自己的玉米田建造了一座棒球场,没想到他的棒球偶像真的来到那里打球,而且还因此使他跟父亲之间的多年心结得以开解。

4.3 通往稳定生态系统的随机路线

不过,其中仍有机巧。随着事情的进展,帕卡德注意到物种加入的次序很有关系。他获悉

其他生态学家发现了同样的情况。利奥波德的一位同事发现，通过在杂草丛生的土地，而不是像利奥波德那样在新开垦的土地上播种北美草原的种子，能够获得更接近真实的北美草原。利奥波德曾经担心争强好胜的杂草会扼杀野花，但是，杂草丛生的土地比耕种过的土地更像北美大草原。在杂草丛生的陈年地块上，有一些杂草是后来者，而它们中有些又是大草原的成员。它们的提早到来能加速向草原系统的转变。而在耕耘过的裸地上，迅速抽芽的杂草极具侵略性，那些有益的“后来者们”加入这个集体的时间过晚。这好比在盖房子时先灌注了水泥地基，然后钢筋才到。因而，次序很重要。

田纳西州立大学生态学家斯图亚特·皮姆⁶⁵将各种次序——如经典的刀耕火种——与自然界上演了无数次的次序作了比较。“从进化的意义上来说，参与游戏的选手们知道先后的顺序是什么。”进化不仅发展了群落的机能，而且还对群落的形成过程进行了细调，直到群落最终能够成为一个整体。还原生态系统群落则是逆向而行。“当我们试图还原一块草原或一块湿地的时候，我们是在沿着该群落未曾实践过的道路前行，”皮姆说。我们的起点是一个旧农场，而大自然的起点则可能是一个万年前的冰原。皮姆自问道：我们能通过随机加入物种，组合出一个稳定的生态系统吗？要知道，人类还原生态系统的方式恰恰带有很强的随机性。

在田纳西州立大学的实验室里，生态学家皮姆和吉姆·德雷克⁶⁶一直在以不同的随机次序组合微生态系统的元素，以揭示次序的重要性。他们的微观世界是个缩影。他们从

15 至

40 种不

同的单一水藻植株和微生物入手，依次把这些物种以不同的组合形式及先后次序放入一个大烧瓶。10 到

15 天之后，如果一切进展顺利，这个水生物的混合体就会形成稳定的、自繁殖的泥

地生态——一种很特别的、各物种相互依存的混合体。另外，德雷克还在水族箱里和流水中分别建立了人工生态。将它们混在一起后，让其自然运行，直到稳定下来。“你看看这些群落，

.

65 斯图亚特

·皮姆 (Stuart

Pimm): 1971 年获英国牛津大学文学学士，1974 年获新墨西哥州立大学哲学博士。皮姆具有保护濒危物种的经验，对热带雨林的消失及其后果颇有研究。

.

66 吉姆·德雷克 (Jim Drake): 宇航工程师，发明家，帆板运动创始人之一。

普通人也能看出它们的不同，”皮姆评论道。“有些是绿色的，有些是棕色的，有些是白色的。有趣的是没办法预先知道某种特定的物种组合会如何发展。如同大多数的复杂系统一样，必须先把它们建立起来，在运行中才能发现其秘密。”

起初，人们也不是很清楚是否会容易地得到一个稳定的系统。皮姆曾以为，随机生成的生态系统可能会“永无休止地徘徊，由一种状态转为另一种状态，再转回头来，永远都不会到达一个恒定状态。”然而，人造生态系统并没有徘徊。相反，令人惊讶的是，皮姆发现了“各种奇妙的现象。比如说，这些随机的生态系统绝对没有稳定方面的麻烦。它们最共同的特征就是

它们都能达到某种恒定状态，而且通常每个系统都有其独有的恒定状态。”

如果你不介意获得的系统是什么样子，那么要获得一个稳定的生态系统是很容易的。这很令人吃惊。皮姆说：“我们从混沌理论中得知，许多确定系统都对初始条件极其敏感——一个小小的不同就会造成它的混乱。而这种生态系统的稳定性与混沌理论相对立。从完全的随机性入手，你会看到这些东西聚合成某种更有条理性的东西，远非按常理所能解释的。这就是反混沌。”

为了补充他们在试管内的研究，皮姆还设立了计算机模拟试验——在计算机里构建简化的生态模型。他用代码编写了需要其它特定物种的存在才能生存下来的人造“物种”，并设定了弱肉强食的链条：如果物种

B 的数量达到一定密度，就能灭绝物种

A。（皮姆的随机生态模型

与斯图亚特·考夫曼⁶⁷的随机遗传网络系统相似。见第二十章）。每个物种都在一个巨大的分布式网络中与其它物种有松散的关联。对同一物种列表的成千上万种随机组合进行了运行后，皮姆得到了系统能够稳定下来的频度。所谓稳定，即指在小扰动下，如引入或移除个别物种，不会破坏整体的稳定性。皮姆的结果与其瓶装微生物世界的结果是相呼应的。

按皮姆的说法，计算机模型显示，“当混合体中有

10 至

20 种成分时，其峰值（或者说稳

定点）可能有十几到上百个。假如你重演一遍生命的进程，会达到不同的峰值。”换句话说，投放了同样的一些物种后，初始的无序状态会朝向十几个终点。而改变哪怕是一个物种的投入顺序，都足以使系统由一个结果变成另一个。系统对初始条件是敏感的，但通常都会转为有序状态。

皮姆把帕卡德还原伊利诺斯大草原（或者应该说是稀树大草原）的工作看成是对他的发现

.

67 斯图亚特·考夫曼（Stuart

Kauffman, 1939～）：美国圣塔菲研究所（Santa

FelInstitute）科学家，理论生物学家。

的佐证：“帕卡德第一次试图组合那个群落的时候失败了，从某种意义上说，是由于他得不到所需的物种，而在清除不想要的物种时又遇到很多麻烦。一旦引进了那些古怪但却合适的物种，则离恒定状态就相当接近了，所以它能容易地达到那个状态，并可能一直保持下去。”

皮姆和德雷克发现了一个原则，它对任何关注环境以及对创建复杂系统感兴趣的人都是重要的经验。“要想得到一块湿地，不能只是灌入大量的水就指望万事大吉了。”皮姆告诉我，“你所面对的是一个已经历经了千万年的系统。仅仅开列一份丰富多样的物种清单也是不够的。你还必须有组合指南。”

4.4 如何同时做好一切

史蒂夫·帕克德的初衷是想延续真正的北美草原栖息地。在此过程中，他复活了一个已经消

逝了的生态系统，也许还得到了一个稀树大草原的合成指南。三十年前，戴维·温盖特在百慕大群岛的一片海洋（而不是如海的草地）中看护一种珍稀岸禽，以使其免于灭绝。在此过程中，他再现了一个亚热带岛屿的完整生态环境，进一步阐明了组合大型机能系统的原理。

百慕大的故事说的是一个岛屿受到病态的、无规划的人工生态系统的蹂躏。第二次世界大战结束时，住房开发商、外来害虫彻底侵占了百慕大群岛，当地植物被进口花园物种所毁灭。1951年，在该群岛外岛的悬崖上发现了百慕大圆尾鹫——一种海鸥大小的海鸟——这一通告令当地居民和全球科学界极为震惊，因为人们认为百慕大圆尾鹫已经灭绝几个世纪了。人们最后看到它们是在渡渡鸟灭绝前后的十七世纪。出于一个小小的奇迹，几对圆尾鹫一连几代都在百慕大群岛远处海崖上孵卵。它们大部分时间生活在水上，只有在构建地下巢穴时才上岸，因此四个世纪都没人注意到它们。

戴维·温盖特 68 在中学生时代就对鸟类充满狂热的兴趣。1951年，百慕大一位自然学家成功地将第一只圆尾鹫从裂隙深处的鸟巢取出时，他就在现场。后来，盖温特参与了尝试在百慕大附近名为楠萨奇的无人居住的小岛重新安置圆尾鹫的行动。他如此倾心于这个工作，以致于新婚的他搬到了这个无人居住、没有电话的外岛上的一处废弃的建筑里。

温盖特很快就明白了，如果不还原这里的整个生态系统，就不可能恢复圆尾鹫的兴旺。楠萨奇和百慕大原本覆盖着茂密的香柏树林，但是在

1948 至

1952 年仅仅三年的时间里，香柏就

被引入的害虫彻底毁掉了，只剩下巨大的白色树干。取而代之的是许多外来植物。温盖特认为主岛上那些高大的观赏树肯定逃不过五十年一遇的飓风。

温盖特面对着所有整体系统制造者都会面临的难题：从何入手？事事都要求其他的条件万事俱备，但你又不可能一下子把整个东西拎起来舞弄。有些事必须先做，而且要按正确的顺序

.

68 戴维

.温盖特（David

Wingate, 1935~）鸟类学家、博物学家、自然资源保护论者，大英帝国勋章获得者。再现了百慕大

生态环境，拯救了珍稀鸟类圆尾鹫。——译自“维基百科”

去做。

通过对圆尾鹩的研究，温盖特断定，它们的地下筑巢地点已经因无计划的城市扩张而减少，之后，又有热带白尾鸟前来抢夺仅存的合适地点。好斗的热带鸟将圆尾鹩的幼鸟啄死，再占用其鸟巢。严峻的形势下需要采取严厉的措施。因此，温盖特为圆尾鹩制定了“政府安居计划”。他制作了人工巢穴——一种地下鸟窝。假如楠萨奇森林能够恢复的话，那些树木在飓风的作用下微微倾斜，根部拔起形成大小合适的缝隙。热带鸟太大进不去，但对圆尾鹩来说那就太完美了。但是，温盖特等不及这一天了，因而，他制作了人工鸟巢，作为解开这个谜题的第一步。

由于需要森林，他种植了

8000 棵香柏，希望其中能有一些抵抗得住枯萎病。有些香柏确

实顶住了病害的侵袭，但是又被风扼杀了。于是，温盖特又种了一种辅助物种——生长迅速、非本地生的常青植物木麻黄——作为环岛防风林。木麻黄迅速长大，使香柏得以慢慢生长，几年过后，更适应环境的香柏取代了木麻黄。补种的森林为一种已经几百年未在百慕大出现过的夜鹭创造了完美的家，而夜鹭吞食陆地蟹。如果没有夜鹭，这些陆地蟹就成了岛上的有害物种。数目爆长的陆地蟹一直享用着湿地植物汁多味美的嫩芽。如今蟹的数量减少，让稀少的百慕大莎草有了生长的机会，近几年里，它也有了结籽的机会。这就好像“少了钉子，丢了王国。”

69 的寓言故事。反过来说：找到钉子，王国获胜。温盖特一步一步地重组了失去了的生态系统。

生态系统和其他功能系统犹如帝国，毁掉容易，建起来难。大自然需要发展森林或湿地的

时间，因为就连大自然也不能同时做好一切。温盖特所给予的那种帮助并没有违反自然规律。大自然一般都是利用临时的脚手架来完成自己的许多成就。人工智能专家丹尼·希利斯 **70** 在人类的大拇指身上看到了类似的故事。借助拇指的抓握，灵巧的手使人类的智能更进一步，具备了制造工具的能力。但是一旦智能建立，手就没那么重要了。希利斯宣称，建立一个巨大的系统确实需要许多阶段，而这些阶段对于系统本身的运转并非必须。“锤炼和进化智能所需的辅助手段远比简单地停留在某个智能水平上要得多得多。”希利斯写道。“人们在确信与其他四指相

.

69 少了钉子，丢了王国：这个寓言故事讲的是一个国王去打仗，所骑的战马少了一个马掌钉，结果在战斗中战马跌倒，输掉了战争，也丢掉了王国。

.

70 丹尼·希利斯 (Danny

Hillis, 1956~): 美国发明家、企业家、作家、人工智能专家。思考机器公司创始人之一。

对的拇指在智能发展中的必要性的同时，也毫不怀疑现在的人类可以脱离开拇指进行思考。”当我们躺在隐于高山山梁的草甸上，或涉入潮沼肮脏的水中，就遭遇了大自然的“无拇指思想”。将样板草场更新为花的世界所需要的中间物种此刻都消失了。留给我们的只有“花的念想”，而缺失了看护它们成型的“拇指”。

4.5 艰巨的“拼蛋壳”

71 任务

你可能听说过一个感人的故事——《植树人种出了幸福》，说的是如何从荒芜中创造出
一片森林和幸福的故事。这是一位

1910 年徒步去阿尔卑斯山深处旅行的欧洲年轻人讲的故事：

这位年轻人信步来到一个多风无树的荒芜山区。那里仅剩的居民是一些吝啬、贫穷、牢骚
满腹的烧炭人，挤在一两个破败的村庄里。年轻人在这个地方见到的唯一一个真正快乐的居民
是一个孤独的牧羊隐士。年轻人惊奇地看着这位隐士整天默默无语，白痴似的把橡子一粒粒戳
进月球表面似的荒山。沉默的隐士每天种

100 粒橡子。年轻人迫不及待地离开了这块荒凉的土

地。许多年后，第一次世界大战爆发，年轻人竟又意外地回到了这里。这次，他发现当年的那
座村庄已经郁郁葱葱，几乎认不出来了。山上生长着茂盛的树木和植物，流淌着溪水，到处是
野生的鸟兽，还有一批心满意足的新村民。那位隐士在三十年的时间里种了

90 平方英里茂密

的橡树、山毛榉和桦树。他在大自然面前看似孤立无援、蚍蜉撼树的举动已经重塑了当地的气
候，为成百上千的人们带来了希望。

可惜这个故事是杜撰的。尽管人们把它当做真实的故事在世界各地传扬，实际上它只是一
位法国人为时尚杂志编写的奇幻故事。不过，也确实有一些理想主义者通过种植上千棵树木而
重建森林的故事。他们的成果证实了法国人的直觉：大面积生长的植物能促进当地生态系统进
入良性循环。

有个真实的例子：二十世纪六十年代初期，英国奇女子温迪·坎贝尔-普尔蒂旅行到北非，
通过在沙漠中栽种树木来抵御沙丘的入侵。她在摩洛哥提兹尼特省的四十五英亩沙地上种植了
2000 棵树，形成一道“绿色的墙”。在六年的时间里，这些树功勋卓越。温迪又设立了基金，
为在阿尔及利亚布萨达的

260 亩沙漠荒原上再种植

13 万株树木提供资金。这项工作也取得了成

果，形成了一小块适合柑橘、蔬菜和谷物生长的新田地。

哪怕只给予一个小小的立足点，那些相互关联的绿色植物内所隐藏的巨大潜能都会触发收
益递增的法则：“拥有者得到更多。”生物促进环境发展，也促进更多生物的成长。在温盖特

.

71 拼蛋壳：有个英语童谣，大意是，一个叫

Humpty

Dumpty 的矮胖子，不小心从墙头摔下来，像鸡蛋一样跌得粉碎。国王

的骑士们谁都无法把他拼好。

的岛上，鹭的出现使莎草能够重现。在帕克德的北美大草原，以火来清除障碍使野花得以生存，从而使蝴蝶得以生存。在阿尔及利亚的布萨达，一些树木改变了气候和土壤，从而使那里适合更多树木的生长。更多的树木为动物、昆虫和鸟儿创造了生存地，从而为更多的树木准备好了栖息地。从一些橡子开始，大自然就像一部机器，为人类、动物和植物建造豪华的家园。

楠萨奇和其它森林收益递增的故事，以及来自斯图亚特·皮姆微观世界的数据报告，都印证了一个重要的经验，皮姆称之为“拼蛋壳效应”。我们能把失去的生态系统重新组合起来吗？是的，只要所有的碎片都还存在，我们就能将其还原。只是，不知道我们能否还能得到所有的碎片。也许陪伴生态系统早期发展的某些物种——正如助推智能发展的拇指——在附近已不复存在了。或者，在一场真正的灾难中，重要的辅助物种在全球灭绝了。完全有这样一种可能，曾经有一种假想的、到处生长的小草，对于北美大草原的形成具有至关重要的作用，但却在最后的冰河时期被一扫而空。随着它的逝去，蛋壳就不可能再还原了。“记住，两点之间并非总有一条路径可走。”皮姆说。

帕克德曾经有过这个令人沮丧的想法。“大草原永远不能完全复原的一个原因是有些成分永远消失了。也许没有大型食草动物，如古时候的乳齿象乃至过去的野牛，大草原是不会回来的。”皮姆和德雷克的工作还得出更可怕的结论：不仅要有合适的物种按恰当的顺序出现，而且还要有合适的物种在恰当的时间消失。一个成熟的生态系统也许能轻易地容忍X物种，但是在其组合过程中，X物种的出现会把该系统转到其它路径上，将其引向不同的生态系统。”帕克德叹息道：“这就是创造一个生态系统往往要经过数百万年的原因。”如今扎根在楠萨奇岛或驻扎在芝加哥郊区的哪个物种能将重现的稀树大草原生态系统推离原来的目的地呢？

由此说到机器，有一个违反直觉但却很明确的规则：复杂的机器必定是逐步地、而且往往是间接地完善的。别指望通过一次华丽的组装就能完成整个功能系统。你必须首先制作一个可运行的系统，作为你真正想完成的系统的工作平台。要想形成机械思维，你需要制作一只机械“拇指”——这是很少有人欣赏的迂回前进的方式。在组装复杂机械过程中，收益递增是通过多次不断的尝试才获得的——也即人们常说的“成长”过程。

生态系统和有机体一直都在成长，今天的计算机网络和复杂的硅芯片也在成长。即使我们拥有现存电话系统的所有关键技术，但如果缺少了从许多小型网络向一个全球网络成长的过程，我们也不可能组装出一个与现有电话系统一样巨大且可靠的替代品。

制造极其复杂的机器，如未来时代的机器人或软件程序，就像还原大草原或热带岛屿一样，需要时间的推移才能完成，这是确保它们能够完全正常运转的唯一途径。没有完全发展成熟或没有完全适应外界多样性就投入使用的机械系统，必然会遭到众口一致的诟病。用不了多久，再听到“时机成熟，再把我们的硬件投放市场”时就不会觉着可笑了。

第五章：共同进化

5.1 放在镜子上的变色龙是什么颜色的？

二十世纪七十年代初期，斯图尔特.布兰德 72 向格雷戈里.贝特森 73 提出了上述谜题。贝特森

与诺伯特.维纳同为现代控制论的奠基人。贝特森接受的是最正统的牛津教育，从事的却是最异端的职业。他在印尼拍摄巴厘舞影片；他研究海豚；他还提出了实用的精神分裂症理论。六十多岁时，贝特森在加利福尼亚大学圣巴巴拉分校任教。在那里，他那些有关心理健康和进化规律的观点既离经叛道又才气横溢，深深吸引了具有整体观念且崇尚非主流文化的人群。

斯图尔特.布兰德是贝特森的学生，也是倡导控制整体论（cybernetic holism）的传奇人物。

1974 年，布兰德在他的《全球概览》杂志中提出了这一变色龙公案。布兰德这样写道：

“一次，我与格雷戈里.贝特森进行讨论，当时，两人都沉湎于思考意识的功能是什么，或者意识到到底有没有功能（指自我意识）。我向他提出了这个问题。我们都是生物学家，便将话题转而讨论这让人难以捉摸的变色龙。格雷戈里断言，变色龙最终将停留在它变色范围的中间点；我则坚信，这个可怜的家伙因为想方设法要从自身影像的世界中消失，会将种种保护色试个没完。”

镜子可以构成一个信息回路的绝妙实现。普普通通的两面镜子相对放置会产生奇趣屋 74 效

72 斯图尔特.布兰德（Stewart Brand）：“全球电子链接”（WELL-Whole Earth'LectronicLink）电话会议系统创建者，《全球概览》（The WholeEarth Catalog）刊物创办人。

73 格雷戈里.贝特森（Gregory Bateson，1904.05.09～1980.07.04）：英国人类学家、社会科学家、语言学家、符号学者及控制论专家，其论述涉及许多领域。

74 奇趣屋（fun-househall）：马戏团常设的一种娱乐项目。屋内放置了许多镜子，人走入其中就像走入了“复制自己的世界”。

应，不停地将一个物象来回映射，直至消失于无穷回溯中。相向而放的镜子间的任何信息，无论如何来回反射都不会改变其形式。那么，如果其中一面镜子具备了变色龙似的反应功能，既能反射又能产生影像将会如何呢？这种试图将自己与自身镜像保持一致的行为会不断搅乱自身的镜像。它有可能最终定格于某种可以准确描述的稳定状态么？

贝特森觉得这个系统——可能与自我意识类似——会快速进入一种由变色龙在各种颜色的极值间变化时而达成的平衡态。互相冲突的颜色（或者人类心智所组成的社会中相互冲突的观点）会向“中间色调”折衷，仿佛那是一次民主表决。而布兰德则认为任何类型的平衡都近乎没有可能，而且自适应系统将既无定向也无终点地摇摆不定。他猜想（变色龙的）颜色变化会陷入一种如同太极阴阳的混沌状态中。

变色龙对自身影像变化的反应恰似人类世界对时尚变化的反应。从整体看来，时尚不正是蜂群思维对自身映像的反应么？

在一个紧密相连的二十一世纪社会中，市场营销就是那面镜子，而全体消费者就是变色龙。你将消费者放入市场的时候，他该是什么颜色？他是否会沉降到某个最小公分母——成为一个平均消费者？或者总是为试图追赶自己循环反射的镜像而处于疯狂振荡的摇摆状态？

变色龙之谜的深奥令贝特森沉醉，他继续向自己的其他学生提出此疑问。其中一名学生杰拉尔德·霍尔提出了第三种假说来解释这位镜中人的最终颜色：“变色龙会保持进入镜子反射区域那一瞬间的任何颜色。”

在我看来，这是最符合逻辑的答案。镜子与变色龙之间的相互作用或许是如此密切、迅捷，几乎没有发生适应调节的可能。事实上，一旦变色龙出现在镜子前，它可能丝毫也改变不了自己的颜色，除非由于外部诱因导致其变色或者其自身的变色程序出错。否则，镜子与变色龙组成的系统将凝固于其初始状态——无论那是什么颜色。

对于市场营销这样一个镜像世界来说，这第三个答案就意味着消费者的冻结。他要么只买其最初所用的品牌，要么什么也不买。

当然还可能有其他的答案。在为写这本书进行采访的时候，我不时向被访者提出变色龙之谜。科学家们将它看作是自适应反馈的典型案例。他们的答案林林总总。下面举几个例子：

数学家约翰·霍兰德 75：变色龙会像万花筒一样千变万化！由于存在时间的滞后，它的颜色会闪烁不停。变色龙永远不可能停在某种固定的颜色上。

计算机科学家马文·明斯基：变色龙可能会有若干特征值或者特征色，因此会回归到若干颜色上。假如你把它放进去的时候它是绿色，它可能一直是绿色；假如是红色，它就可能一直是红色；而如果你是在它呈棕色时放进去，它有可能会变成绿色。

自然主义者彼得·沃肖尔：变色龙出于某种恐惧反应才改变颜色，因此这一切都取决于其情绪状态。一开始它也许被自己的镜象吓坏了，但随后就处之泰然了；颜色则会随着它的情绪而变化。

把变色龙放在镜子上似乎是个很简单的实验，所以我想，即使是作家也可以完成这个实验。于是我着手实验。我做了一个小箱子，里面装上镜子，买了一条会变颜色的蜥蜴放进去。虽然布兰德的谜题已流传了

20 年之久，但据我所知，这还是第一次有人尝试真正动手试验。

趴在镜子上的蜥蜴稳定在一种颜色——绿色，是春树发新叶的那种嫩绿。每次把它放进去时都回归到这个颜色。但在回到绿色之前，它也许在一段时间内会保持棕色。它在镜箱里休憩时用的颜色看来与它在箱外时喜欢保持的深棕色不同。

尽管我完成了这个实验，但我对实验的结果却信心不足，这主要由于如下一些重要的原因：我用的不是真正的变色龙，而是一条变色蜥蜴，它可以改变的颜色种类比真正的变色龙少多了。（真正的变色龙一条要花好几百美元，还要配一个专门的玻璃容器来饲养，我可不想买。）更为重要的是，根据我所读过的为数不多的相关文献资料得知，除了根据背景颜色而相应改变颜色外，变色蜥蜴变色还有别的原因。如同沃肖尔所说，它们为了应对恐惧也变色。它们确实相当恐惧。变色蜥蜴不愿进入镜箱。在箱里显示出的绿色与它害怕时采用的颜色一样。镜子上的变色龙可能仅仅是处于持续的恐惧状态——它自身的陌生感被放大并充斥着其所在的周边环境。假如我在镜箱里，肯定也会抓狂。最后是观察者的问题：我只有把脸贴近镜箱，将蓝眼睛和红鼻子深入变色蜥蜴的地盘，才能看到蜥蜴。这种行为骚扰了蜥蜴，却又无法避免。

可能要等到将来使用真正的变色龙，并进行更多的对比实验，才能真正破解这个谜题。但

.

75 约翰

.霍兰德（John

Holland, 1929.02.02~）：复杂理论和非线性科学的先驱，遗传算法之父。美国约翰

.霍普金斯大学

心理学教授，麦克阿瑟研究奖获得者，麦克阿瑟协会及世界经济论坛的会员，圣塔菲研究所指导委员会主席之一。

我仍心存疑虑。真正的变色龙与变色蜥蜴一样，是身体硕大的动物，有不只一个改变颜色的理由。镜子上的变色龙之谜恐怕最好仅作为思想实验来保持其理想化的形式。

即便从理论角度来考虑，“真正的”答案也取决于下述具体因素：比如变色龙颜色细胞的反应时间，其对色调改变的敏感性以及是否有其他影响信号的因素。所有这些都是反馈回路中常见的重要数值。如果有人能够改变变色龙身上的这些参数，就可以一一演示前文所述镜子上的变色龙变色的种种可能。其实，工程师们正是这样设计控制电路以引导宇宙飞船或控制机器人手臂的。通过调整滞后的长短、信号的敏感度、以及衰减率等参数，他们可以调整一个系统使之达到一个广域的平衡态（比如将温度保持在华氏

68 至

70 度之间），或不断的变化，或某

个介于两者之间的动态平衡点。

我们看到，这种情况也发生在网络化的市场活动中。毛衣生产商试图通过文化镜象来激发消费者此消彼长的购买欲望，以销售多种款式的毛衣；而洗碗机制造商则力图将消费者行为的反馈聚集在几个公约数上，即仅推出几款洗碗机，因为较之花样繁多的毛衣款式，推出多种洗

碗机的成本要高得多。反馈信号的数量和速度决定了市场的类型。

镜子上变色龙之谜的重要之处在于，蜥蜴与镜子形成了一个整体。

“蜥蜴属性”和“镜子属性”融合为一种更复杂的属性——“蜥镜属性”——其行为方式与单一变色龙或单一镜子的行为方式都有所不同。

中世纪的生活是极端抹杀个性的。普通人对自己的形像只有模糊的概念。他们对独立人格和社会身份的认知是通过参与宗教仪式和遵循传统而达成的，不是通过行为反射。与此相反，当今世界是一个充满了镜像的世界。我们有无处不在的电视摄像机、每天都在进行的民意调查（如“百分之六十三的美国人离过婚”），将我们集体行为的每一个细枝末节都反映给我们。持续不断的纸面记录——帐单、评分、工资单、商品目录——帮助我们建立了个人的身份标识。不远的将来，普及的数字化必将为我们提供更清晰、更快捷、更无所不在的镜子。每个消费者都将成为反射镜像与反射体，既是因，也是果。

希腊哲学家痴迷于链式的因果关系，研究如何沿因果链条溯本追源，直至找到最初原因。这种反向倒推的路径是西方逻辑的基础，即线性逻辑。而蜥蜴-镜子系统展示的是一种完全不同的逻辑——一种网状的因果循环。在递归反射领域，事件并非由存在链所触发，而是由一系列业因如奇趣屋般地反射、弯曲、彼此互映所致。与其说业因和控制是从其源头按直线发散，倒不如说它是水平扩展，如同涌动的潮水，曲折、弥散地释放着影响力。浅水喧闹，深潭无波；

仿佛万物彼此间的关联颠覆了时空的概念。

计算机科学家丹尼·希利斯指出，计算——特别是网络计算——呈现了一种非线性的因果关系统域。他写道：

在物质世界中，一件事对另一件事的影响随两者之间的时间或空间距离的增大而衰减。因此，我们在研究木星卫星的运行轨道时不去考虑水星的影响。这是物体和作用力这一对相互依存的概念所遵循的基本原则。作用力的局限性体现在光速是有限的，体现在场的平方反比定律之中⁷⁶，还体现在宏观统计效应上，如反应速度和音速等。

在计算领域中，或至少在计算领域的旧有模式中，一个随意的微小事件有可能、也往往会造任意的重大影响。比如，一段小程序可以抹去所有的内存；一条简单的指令可以使主机停止运行。在计算科学中没有类似于距离这样的概念。没有哪个存储单元比别的存储单元更不易受影响。

自然生态系统中的控制轨迹也呈发散状溶入因果关系的界域。控制不仅分散到空间中，还随着时间而逐渐模糊。当变色龙爬到镜子上面的时候，诱使其变色的业因便溶入到一个因果自循环的界域中。事物的推演不像箭那样直线行进，而是像风一样四散开来。

⁷⁶ 场的平方反比定律：指物体或粒子间的场力（引力、电磁力等）与距离的平方成反比。

5.2 生命之无法理喻之处

斯图尔特.伯兰德在斯坦福大学主修生物学，导师是人口生物学家保罗.埃尔利希⁷⁷。埃尔利希也执迷于难解的镜子上的变色龙之谜。而他是从蝴蝶与其宿主植物之间的关系中清楚地看到了这一谜题的影子。那些狂热的蝴蝶收藏家们很早就知道，制作完美标本的最好方法就是将毛毛虫和它要吃的植物一起装入盒子等它化茧。变身之后，蝴蝶会破茧而出，展现出完美无缺的翅膀。这时迅速将它杀死，就能制成完美的标本。

这个办法要求蝴蝶收藏家们懂得蝴蝶要吃什么植物。为了得到完美的标本，他们可谓不遗余力。其结果是积累了大量有关植物/蝴蝶群落的文献资料。简而言之，大多数蝴蝶幼虫只吃一种特定的植物。举个例子，黑脉金斑蝶的幼虫就专吃马利筋，而马利筋似乎也只欢迎黑脉金斑蝶前来就餐⁷⁸。

埃尔利希注意到，从这个意义上说，蝴蝶的映像投入了植物，而植物的映像也投入了蝴蝶。为了防止蝴蝶幼虫完全吞噬自己的茎叶，马利筋步步设防，迫使黑脉金斑蝶“改变颜色”

——想法子绕过植物的防线。这种相互投映仿佛两条贴着肚皮跳舞的变色龙。马利筋如此投入地进行自我保护，以抗拒黑脉金斑蝶的侵袭，结果反而变得与蝴蝶难舍难分。反之亦然。任何长期敌对的关系似乎都包容这样的相互依存。

1952 年，关注机器如何学习的控制论专家罗斯

艾希比⁷⁹写道：“[生物的基因模式] 并没有具体规定小猫如何抓老鼠，但是提供了学习机制和游戏的旨趣，因此是老鼠将捕鼠的要领教给了小猫。”

⁷⁷ 保罗.埃尔利希 (Paul

Ehrlich, 1854.03.14~1915.08.20): 德国著名医学家，血液学和免疫学奠基人之一，1908 年诺贝尔生理学及医学奖获得者。

⁷⁸ 马利筋 (milkweed): 是一种蜜源植物，它的乳汁是有毒的。其花蕊的封闭式构造使其很难利用风力传粉。所以分泌花蜜并通过蝴蝶的足肢沾染授粉器达到授粉目的。黑脉金斑蝶幼虫以马利筋嫩茎与叶为食，蜕蝶后以花蜜为食；它可将马利筋的强心柑毒素累积在自己体内转为防御武器。

⁷⁹ 罗斯.艾希比 (Ross

Ashby, 1903.09.06~1972.11.15): 英国精神病学家，从事控制论和复杂系统研究的先驱。

1958 年，穆德

⁸⁰ 在《进化》杂志上发表了一篇文章，题为《专性寄生生物与其宿主共同进

化的数学模型》。埃尔利希在这个标题中发现了一个可以用来形容这种贴身双人舞的词——“共同进化（coevolution）”。与大多数生物学发现一样，共同进化这个概念并不新鲜。神奇的达尔文在其

1859 年的杰作《物种起源》中便曾提到过：“生物体彼此之间的共同适应……”

约翰·汤普森⁸¹在《互相影响和共同进化》一书中对“共同进化”做了一个正式定义：“共同进化是互相影响的物种间交互的进化演变。”实际上共同进化更像一曲探戈。马利筋与黑脉

金斑蝶肩并肩结成了一个单系统，互相影响共同进化。共同进化之路上的每一步都使这两个对手缠绕得更加密不可分，直到一方完全依赖于另一方的对抗，从而合二为一。生物化学家詹姆斯·洛夫洛克⁸²就这种相拥状况写道：“物种的进化与其所处环境的演变密不可分。这两个进程紧密结合，成为不可分割的单一进程。”

布兰德采用了这个术语，并创办了名为《共同进化季刊》的杂志，用于发表包罗万象的宏论——阐述相互适应、相互创造、同时编织成为整体系统的生物学、社会学和科技等等。作为发刊词，布兰德撰写了共同进化的定义：“进化就是不断适应环境以满足自身的需求。共同进化，是更全面的进化观点，就是不断适应环境以满足彼此的需求。”

共同进化之“共同”是指向未来的路标。尽管有人抱怨人际关系的地位在持续降低，现代人在生活中互相依赖的程度却日益增长，超过了以往任何时候。目前，所有政治都意指全球政治，而全球政治则意味着“共同”政治；在通讯网络基础上建立起的在线社区则是“共同”世

界。马歇尔·麦克卢汉⁸³并非完全正确。我们共同打造的不是一个舒适的地球村；我们共同编织

.

80

C.

J.穆德（Charles

J.Mode）：宾州费城德雷塞尔大学名誉数学教授，资深多产科学家。研究兴趣包括：生物统计学、随机过程、人口统计学、传染病学、遗传学和生物信息学、统计推理与数据分析方法、马尔科夫链、不完全马尔科夫过程、软件工程、蒙特卡罗模拟法等等。

.

81 约翰·汤普森（John

Thompson）：宾夕法尼亚大学华盛顿-杰佛逊学院教授。

.

82 詹姆斯

·洛夫洛克（James Lovelock）：英国皇家学会会员，英国科学家，盖亚假说的提出者。在他的假说中，地球被视为一个“超级有机体”。

.

83 马歇尔·麦克卢汉（Marshall

Mcluhan, 1911~1980): 加拿大著名哲学家及教育家, 曾在大学教授英国文学、文学批判及传播理论。他是现代传播理论的奠基人, 其观点深远影响了人类对媒体的认知。在没有“互联网”这个字出现时, 他已

的是一个熙熙攘攘的全球化蜂群——一个最具社会性的“共同”世界, 一个镜状往复的“共同”世界。在这种环境下, 所有的进化, 包括人造物的进化, 都是共同进化。任何个体只有接近自己变化中的邻居才能给自己带来变化。

自然界充斥着共同进化。每个有植物的角落都有寄生生物、共生生物在活动, 时刻上演着难解难分的双人舞。生物学家普莱斯 **84** 估计, 今天物种的 **50%** 都是寄生生物。(这个数字已经很陈旧了, 而且应该在不断增长。) 而最新的说法是: 自然界半数生物都共生共存! 商业咨询师们常常警告其客户, 切不可陷入依赖于某个单一客户或供应商的共生处境。但是, 据我所知, 许多公司都是这么做的, 而他们所过的有利可图的日子, 平均起来也并不比其他公司少。二十世纪九十年代, 大企业之间的结盟大潮——尤其在信息和网络产业当中——是世界经济日益增长的共同进化的又一个侧面。与其吃掉对手或与之竞争, 不如结成同盟——共生共栖。

共生关系中的各方行为不必对称或对等。事实上, 生物学家发现自然界几乎所有的共栖同盟在相互依存过程中都必然有一方受惠更多——这实际上暗示了某种寄生状态。尽管一方所得就意味着另一方所失, 但是从总体上来说双方都是受益者, 因此契约继续生效。

布兰德在他那本名为《共同进化》的杂志里开始收集各种各样共同进化的故事。以下是一则自然界里最具说服力的结盟的实例:

墨西哥东部生长着各类金合欢属灌木和掠夺成性的蚂蚁。多数金合欢长有荆棘和苦味的叶子以及其它抵御贪婪世界伤害的防护措施。其中一种“巨刺金合欢(即牛角相思树)”学会了如何诱使一种蚂蚁为独占自己而杀死或驱赶其他的掠食者。诱饵渐渐囊括了可供蚂蚁居住的防水的漂亮巨刺、现成的蜜露泉和专为蚂蚁准备的食物——叶尖嫩苞。蚂蚁的利益渐渐与合欢的利益相融合。蚂蚁学会了在刺里安家, 日夜为金合欢巡逻放哨, 攻击一切贪吃金合欢的生物, 甚至剪除如藤萝、树苗之类可能遮挡住金合欢妈妈的入侵植物。金合欢不再依靠苦味的叶子、尖尖的刺或是其它保护措施, 如今它的生存完全依赖于这种金合欢蚂蚁的保护; 而蚁群离开金合欢也活不下去。它们组合起来就天下无敌。

在进化过程中, 生物的社会性与日俱增, 共同进化的实例也愈来愈多。生物的社会行为越

预示互联网的诞生, “地球村”一词正是由他首先使用。

.

84

P.

W.普莱斯 (P.

W.Price): 生物学家。在加拿大和美国从事科学研究多年, **2002** 年至今任北亚利桑那大学生物科

学
系名誉教授。

丰富，就越有可能形成互惠互利的关系。同样，我们构建的经济和物质世界越是相互影响，共同努力，我们越能见证到更多的共同进化的实例。

对于生命体而言，寄生行为本身就是一片安身立命的新天地。也正因此，我们发现寄生之上还有寄生。生态学家约翰·汤普森注意到“正如丰富的社会行为能够促进与其他物种的共生关系，某些共生关系也促成了新型社会行为的进化。”共同进化的真正含义是，共同进化孕育了共同进化。

距今千百万年后，地球上的生命可能大都具有社会性，随处可见寄生物和共生体；而世界经济也许会是一个拥挤的联盟网络。那么，当共同进化充斥了整个地球时又会发生什么呢？这个由映射、回应、相互适应以及首尾相接循环不息的生命之链所组成的星球会做些什么呢？

蝴蝶和马利筋继续在彼此周围舞蹈着，无休无止的疯狂芭蕾使它们的形态大大改变，远远不同于它们彼此处于平静状态时可能拥有的形态。镜子上不停翻腾的变色龙陷入了远非正常的某种紊乱状态。二战之后的核军备竞赛让我们同样有种愚蠢地追赶自我倒影的感觉。共同进化将事物推向荒唐的境地。蝴蝶和马利筋，虽然从某种角度来看是竞争对手，却又不能分开独立

存活。保罗·埃尔利希认为共同进化推动两个竞争对手进入“强制合作。”他写道：“除掉敌人既损害了掠食者的利益，也损害了被掠食者的利益”。这显然不合乎常理，但又显然是一股推动自然的力量。

当一个人的意识失去控制、钻入揽镜自顾的牛角尖时，或过于看重自己的敌人以至于对敌人亦步亦趋时，我们会认为这种意识有些失常。然而，智力和意识本来就有一点失常——或者说，一点失衡。从某种程度上说，即使是最简单的心智，也一定会顾影自怜。莫非任何意识都非得固守其自我吗？

在布兰德向贝特森提出镜子上的变色龙之谜题后，有关意识的失衡性成为了谈话的重点，两人转而顺着这个话题探讨了下去，最终得出了一个古怪的结论，相对于其他事物都有一个平衡点来说，意识、生命、智力、共同进化都是失衡的、意外的、甚至是无法理喻的。我们之所以看到智力和生命的不可捉摸之处，正是因为他们维持着一个远离平衡态的不稳定状态。较之宇宙间其他事物，智力、意识乃至生命，都处于一个稳定的非稳态。

蝴蝶和马利筋，犹如立足笔尖的铅笔，依靠共同进化的递归动态而立得笔直。蝴蝶拉扯马利筋，马利筋也拉扯蝴蝶，它们拉扯得越厉害，就越难以放手，直到整体的蝴蝶/马利筋逐渐形

成一个独特的存在——一个鲜活的昆虫/植物系统便自我生成。

共生并非只能成双成对。三个一组也可融合成一个渐进的、以共同进化方式连接的共生系

统。整个群落也可共同进化。实际上，任何生物，只要能适应其周边生物，就可以在某种程度上起到间接的共同进化触媒的作用。既然所有的生物都相互适应，就意味着同一生态系统内所有生物都能通过直接共生或间接相互影响的方式参与到一个共同进化的统一体里。共同进化的力量由一个生物流向它最亲密的邻居，然后以较弱一级的波状向周边扩散，直至波及所有生物。这样一来，地球家园中由亿万物种构成的松散网络就编结起来，成为不可拆分的共同进化体系，其组成部分会自发提升至某种不可捉摸的、稳定之非稳态的群集状态。

地球上的生命网络，与所有分布式存在一样，超越了作为其组成成分的生命本身。然而强悍的生命向更深处扎根，不但用它的网络将整个地球包裹起来，而且将没有生命的岩石和大气也串连进它的共同进化的怪诞行动之中。

5.3.在持久的摇摇欲坠状态中保持平衡

三十年前，生物学家请

NASA（美国国家航空和航天管理局）将两个无人操纵的探测器发

射到最有可能找到地外生命的两个待选星球——火星和金星上，并用探针插入它们的土壤检测是否有生命迹象。

NASA 的生命探测器是一个相当复杂、精密而且昂贵的精巧装置，一旦着陆，就能从洒落其上的尘土中找寻细菌生命的蛛丝马迹。说话温和的英国生物化学家詹姆斯.洛夫洛克是

NASA

聘请的顾问之一。他发现了一个能够更好检测行星生命的办法。这个办法不需要价值数百万美金的精巧玩意儿，甚至都不需要发射火箭。

洛夫洛克是现代科学研究领域罕见的奇才。他在英格兰康沃尔郡乡下一个灌木篱笆墙围绕的石头库房内从事科学研究，仿佛一位独行侠。他保持着无可挑剔的科学声望，却不隶属于任何正规的科研机构，这在动辄就需要大笔资金的科学界实属罕见。他那鲜明的独立性滋养了自由思想，也离不开自由思想。二十世纪六十年代早期，洛夫洛克提出了一个颠覆性的建议，让 **NASA** 探索团队的其他成员都感到不痛快。他们是真想向外星发射探测器，而他却说何必找这个麻烦。

洛夫洛克告诉他们，只需通过一架天文望远镜进行观测，他就能确定某行星是否有生命。他可以通过测量该行星大气层的光谱来确定其气体的成分。包裹着行星的大气组成就能揭秘星球是否存在过生命体。因此，用不着投掷一个昂贵的罐罐穿越太阳系去查明真相。答案他早就知道了。

1967 年，洛夫洛克写了两篇论文，预言说，根据他对星球大气光谱的解读，火星上面没有生命。十年后，**NASA** 发射了环火星轨道航天器，再十年后的数次壮观的火星软着陆

85 探测终于

.

85 火星登陆探测：在发射了“水手”号探测器的基础上，美国实施“海盗”号火星着陆探测计

划，共研制了两个“海盗”号
火星探测器。1975 年
8 月
20 日发射“海盗”1 号，1976 年
6 月
19 日探测器进入了火星轨道，7 月
20 日降落装置在火星
表面软着陆成功，进行了大量拍照和考察，在火星上工作时间达
6 年，于
1982 年
11 月停止发回信息。1975 年
9 月
9 日
“海盗”2 号发射上天，1976 年
8 月
7 日进入火星轨道，9 月
3 日降落装置在火星表面软着陆成功，在火星上的考察至
1978 年
7 月停止。这两个探测器专门对火星上有没有生命存在进行了
4 次检查和重要的试验。

明白地告诉世人，火星确实如洛夫洛克预测的那样死气沉沉。对金星进行的类似探测带回来同样的坏消息：太阳系里除地球之外一片贫瘠。

洛夫洛克是怎样知道的呢？

是通过对化学反应和共同进化的研究。火星大气和土壤中的成分被太阳射线赋予能量，被火星核心加热，再被火星引力吸附，历经数百万年进入动态平衡。懂得了化学反应的一般规则，科学家就可以将星球当作一个大烧瓶里的物质来对它们的复杂反应作计算。化学家得出火星、金星以及其他行星的近似反应方程式之后，等号两边基本持平：能量、吸入成分；能量、逸出成分。通过天文望远镜、以及后来的实地采样获得的结果都符合反应方程式的预测。

地球却不同。地球大气中气体混合的路数不循常。经洛夫洛克查明，它们的不循常，是共同进化累积形成的有趣效果。

以氧气为例，它占地球大气的
21%，造成地球大气的不稳定。氧气是高活性气体，能在我们称之为火或燃烧的激烈化学反应中与许多元素化合。从热力学角度来看，由于大气氧化了固体表面，地球大气中氧气的高含量理应快速下降才对。其他活性示踪气体 86，如一氧化二氮、碘
甲烷也处于异常爬升的水平。氧气虽与甲烷共存，却根本不相容，更确切地说，它们太融洽了，以致于会相互引爆。令人费解的是，二氧化碳理应像在其他行星那样成为大气的主要成分，却仅仅是一种示踪气体。除大气之外，地球表面的温度及碱度也处于异乎寻常的水平。整

个地球表面似乎是一个巨大、不稳定的化学变异。

在洛夫洛克看来，似乎有一种看不见的能量，一只看不见的手，将互动的化学反应推至某个高点，似乎随时都会回落至平衡状态。火星和金星上的化学反应犹如元素周期表那般稳定，那般死气沉沉。以化学元素表来衡量，地球的化学性质是不正常的，完全失去了平衡，却充满活力。由此，洛夫洛克得出结论，任何有生命的星球，都会展现奇特的不稳定的化学性质。有益生命的大气层不一定富含氧气，但应该突破规范的平衡。

那只看不见的手就是共同进化的生命。

共同进化中的生命拥有非凡的生成稳定的非稳态的能力，将地球大气的化学循环推至一个

86 示踪气体：是在研究空气运动中，一种气体能与空气混合，而且本身不发生任何改变，并在很低的浓度时就能被测出的气体总称。其它示踪气体包括：氟仿、过氧乙酰硝酸酯、二氧化氯、氮氧化物、二氧化硫、氦、汞。由于示踪气体的总量非常小，因此它们的变化幅度可以非常大。目前空气成分变化最大的是二氧化碳，工业化开始后其浓度增加了约40%。

洛夫洛克所称的“持久的非均衡态”。大气中的氧含量应该随时都会下降，但数百万年来它就是不降下来。既然绝大多数的微生物生命都需要高浓度的氧，既然微生物化石都已存在亿万年了，那么，这种奇特的不和谐的和谐状态算得上是相当持久而稳定的了。

地球大气寻求稳定的氧含量，与恒温器寻求稳定的温度非常相似。它碰巧使得氧气的平均浓度为20%，按一位科学家的说法“纯属偶然”。低于这个水平是贫氧，高于这个水平就易

燃。多伦多大学的乔治·R.威廉斯这样写道：“20%左右的氧含量似乎能够保证某种平衡，在洋流近乎彻底循环的同时，又不会招致毒性物质或可燃性有机物的聚集而产生更大危害。”那么，地球的传感器和温控机制在哪儿呢？那个加热用的炉子又在哪儿呢？

无生命星球通过地质轮回来达到平衡。气体，如二氧化碳，溶入液体并经沉淀析出固体。溶入定量的气体之后达到自然饱和。固体在火山活动中经加热或加压，会将气体释放回大气层。沉降、风化、隆起——所有巨大的地质力量——也如强大的化学作用那样，打断或合成物质的分子链。热力学的熵变将所有化学反应拉到它们的最低能量值 87。臆想的炉子垮塌了。无生命星球上的平衡不太象恒温控制下的平衡，它更像碗里的水，处在等高的水平；当不能降得更低时就干脆处在同一个水平上。

而地球则是一个恒温器。相互纠缠共同进化的生命提供了一个自主循环的回路，引导地球

的化学物质趋向上升的势能。大概要等地球上所有的生命都寂灭之后，地球的大气才会回降至持久的平衡态，变得像火星和金星那样单调乏味。但是，只要生命的分布式之手仍占主导地位，它就能保持地球的化学物质脱离四平八稳的状态。

但失衡本身却是自主平衡的。共同进化的生命产生的持久失衡，自有其稳定之道。洛夫洛克一直致力于寻找这种持久失衡的存在。据我们所知，地球大气中

20%左右的氧含量已保持了

亿万年之久。大气层像一个高空悬索上摇摇摆摆的杂技演员，而且几百万年来一直保持着那个欲跌还休的姿势。她永不坠落，也永远摆脱不了坠落趋势，始终处于摇摇欲坠的状态。

洛夫洛克认为这持久的摇摇欲坠状态是生命的显著特征。近来复杂性理论的研究人士也已意识到，任何活系统：经济体、自然生态系统、复杂的计算机模拟系统、免疫系统，以及共同

.

87 热力学的熵增定律：大多数自发化学反应趋向于系统混乱度增大的方向，即熵增方向。伴随着系统熵的增加，反应体内的能量相应减少。

进化系统，都具有摇摇欲坠的显著特征。当它们保持着埃舍尔式 **88** 的平衡态——处在总在下行却

永远未曾降低过的状态时，都具有那种似是而非的最佳特性——在塌落中平衡。

戴维·雷泽尔 **89** 在他的科普性书籍《宇宙发生说》中辩称，“生命的核心价值不在于它繁殖的不变性，而在于它繁殖的不稳定性。”生命的密钥在于略微失调地繁衍，而不是中规中矩地繁衍。这种几近坠落乃至混沌的运行状态确保了生命的增殖。

少有人注意到活系统的核心特点是，这种似是而非的特质是具传染性的。活系统将它们的不稳定姿态传染给它们接触到的任何事物，而且无所不及。地球上，生命横冲直撞，把势力扩张到固体、液体和气体之中。就我们所知，没有哪块从未被生命触摸过的岩石。微小的海洋微生物将溶入海水的碳和氧固化，生产出一种散布在海床的盐。这些沉积物最终被沉淀性的重量压成岩石。微小的植物性微生物将碳从空气中吸入土壤乃至深入海底，在水下化为石油。生命生产出甲烷、氨气、氧气、氢气、二氧化碳以及其他气体。铁——还有金属富集细菌造出金属矿团。（铁是非生命的典型代表，它由生命产生！）通过严格的观察，地质学家得出结论：所有露出地表的岩石（或许火山岩除外）都是再循环的沉淀物，因此，所有的岩石都具生物成因的实质，也就是说，在某些方面受生命影响。共同进化生命的无情推拉，最终将宇宙中的非生命物质带入它的游戏之中。它甚至将顽石也变成为映射其婆婆姿影的一部分。

.

88 埃舍尔（M.

C.Escher, 1898~1972）：荷兰著名艺术家，他以在画面上营造“一个不可能的世界”而著称。在他的作品

里展示了深广的数学哲理。一些自相缠绕的怪圈、一段永远走不完的楼梯或者两个不同视角所看到的两种场景——产生出悖论、幻觉甚至哲学意义。

89 戴维

.雷泽尔 (David

Layzer): 哈佛大学天体物理学家。他在

1970 年代初期明确指出, 根据热力学第二定律, 在日益膨

胀的宇宙中熵会增加, 但是由于一些相空间细胞也不断增加, 熵的最大极限其增长速度可能超过熵本身的增长。

5.4.岩石乃节奏缓慢的生命

俄罗斯地质学家弗拉基米尔.沃尔纳德斯基 90 第一个明确提出了具有划时代意义的观点——

生命直接塑造了地球的肉身。他将地球上亿万生命体加以总结, 并思考它们对地球的物质资源产生的群体影响。1926 年, 他出了一本书, 把这个宏大的资源系统称为“生物圈”(其实爱德华.苏斯 91 在早几年也曾创造了这个术语), 书中着手对生物圈进行了量化评估。这本名为《生物圈》的著作直到最近才被译成英语。

沃尔纳德斯基将生命明确地比作石头镜子上的变色龙, 这个说法得罪了两方人。他把活体生物所处的生物圈看作巨型的化工厂, 激怒了生物学家。在他看来, 植物和动物在矿物质环绕世界的流动中充当着临时化学容器的作用。“活体生物不过是岩石的一个特类……既古老又永恒年轻的岩石,” 沃尔纳德斯基写道。活体生物是存储这些矿物的精美而脆弱的贝壳。有一次他谈到动物的迁移和运动时说, “动物存在的意义, 就是为了帮助风和浪来搅拌发酵中的生物圈。”

与此同时, 沃尔纳德斯基将岩石看做半生命, 又引起了地质学家的强烈不满。他说, 由于每块石头都是从生命中起源, 它们与生命机体之间的不断互动表明岩石是生命中移动最慢的一部分。山脉、海洋里的水以及天空中的气体, 都是节奏非常缓慢的生命。地质学家们当然要阻止这种明显的密契主义 92 观点。

.90 弗拉基米尔

.沃尔纳德斯基 (Vladimir Vernadsky, 1863~1945): 俄罗斯和前苏联矿物学家和地球化学家。代表作为

《生物圈》(1926 年) 一书。在前苏联他被称为

20 世纪的罗蒙诺索夫。他的生物圈学说和智慧圈思想揭示了人与自然平

等共生的关系, 描绘出人与生物圈共同进化的图景。他被称为现代生物地球化学之父。

91 爱德华.苏斯 (Eduard

Suess, 1831.08.20~1941.08.26): 奥地利地质学家。曾任维也纳大学教授, 是英国皇家学会、

奥地利皇家学会会员，法国科学院、彼得堡科学院外籍院士。

92 密契主义 (Mysticism): 同时肯定道与万物。“密契主义”一词出自希腊语动词 *myein*, 即“闭上”，尤其是“闭上眼睛”。之所以要闭上眼睛，乃是出自对通过感官从现象世界获得真理、智慧感到失望。不过，密契主义并不像怀疑主义那样放弃对真理的追求，它仅仅主张闭上肉体的眼睛，同时却主张睁开心灵的眼睛，使心灵的眼睛不受现象世界的熙熙攘攘所干扰，从而返回自我，在心灵的静观中达到真理、智慧。因此，辞书中对神秘主义的解释一般是“通过从外部世界返回到内心，在静观、沉思或者迷狂的心理状态中与神或者某种最高原则结合，或者消融在它之中”。——摘自“有道”

两种奇思怪论组合成一个美丽且对称的体系。生命是不断更新的矿物质，矿物质是节奏缓慢的生命。它们构成了一枚硬币的正反两面。等式的两端并不能精确地开解；它们同属一个系统：蜥蜴/镜子、植物/昆虫、岩石/生命，以及当代的人类/机器系统。有机体即是环境，而环境也即是有机体。

这个古老且神圣的观念在边缘科学领域起码存在有几百年了。十九世纪的许多进化论生物学家，如赫胥黎 93、赫伯特·斯宾塞 94，当然还有达尔文，对此都有直觉上的认识——物理环境塑造了生物，生物也塑造了其所处的环境。如果从长远看，环境就是生物，而生物就是环境。早期的理论生物学家阿尔弗雷德·洛特卡 95 于 1925 年写道：“进化的不只是生物或物种，而是物种

加环境的整个系统。两者是不可分割的。”进化的生命和星球构成了一个共同进化的整体系统，一如变色龙的镜上舞。

沃尔纳德斯基认为，假如生命从地球上消失，不但地球本身沉沦至一种“化学稳定”的平衡状态，而且那些沉积的粘土层、石灰岩的洞穴、矿山中的矿石、白垩的峭壁，以及我们视为地球景观的特有构造也将随之消退。“生命并非地球上偶然发生的外部演化。相反，它与地壳构造有着密切的关联，”沃尔纳德斯基于 1929 年写道。“没有生命，地球的脸面就会失去表情，变得像月球般木然。”

30 年后，自由思想家詹姆斯·洛夫洛克通过天文望远镜对其它星球进行分析，也得出同样的结论。“生物体简直无法‘适应’一个仅由物理和化学支配的死气沉沉的世界。它们生存的世界由其先祖们的气息和骨骼构成，而今由它们继续维持着。”洛夫洛克有关早期地球的知识较之沃尔纳德斯基更为全面，对气体和物质在地球上的环流模式的理解也略高一筹。所有这些，都令他得出一个十分严肃的结论：“我们呼吸的空气，以及海洋和岩石，所有这一切要么是生命机体的直接产物，要么是由于他们的存在而被极大改变了的结果。”

93

T.

H.赫胥黎 (T.

H.Huxley, 1825.05.04~1895.06.29): 英国生物学家、教育家。在古生物学、海洋生物学、比较解剖学、地质学等方面都有重大贡献。

94 赫伯特

.斯宾塞 (Herbert

Spencer): 十九世纪下半期英国著名的唯心主义哲学家、社会学家和教育学家，他被认为是“社会达尔文主义之父”。

95 阿尔弗雷德

.洛特卡 (Alfred

Lotka, 1880.03.02~1949.12.05): 数学家。曾于1924年至1933年间担任美国大都会人寿保险公司统计数学研究的负责人。

法国自然哲学家让.巴蒂斯特.拉马克 96 早在

1800 年就已预言了这一非凡的结论，当时他所

拥有的行星动力学方面的信息甚至比沃尔纳德基还要少。作为生物学家，拉马克与达尔文旗鼓相当。他，而非达尔文，才是进化论真正的发现人。拉马克之所以没有获得应得的赞誉而沦为失败者，部分原因是他太过依赖直觉而不是现代科学所推崇的详细例证。拉马克凭直觉推演生物圈，而且具有先见之明。但因为当时没有一丝一毫的科学根据的支持，拉马克的言论并不具有影响力。1802 年，他写道：“以单体聚合、矿体、岩层等形式出现的所有构成地壳的复合矿物质，以及由此形成的低地、丘陵、峡谷和山脉，都是在地球表面生存过的的动植物的独一无二的产物。”

拉马克、沃尔纳德基还有洛夫洛克之流大胆的主张乍看起来似乎荒谬可笑，但是在横向因果关系下却颇有道理：我们周围目所能及的一切——白雪皑皑的喜马拉雅山，从东到西的深海，逶迤起伏的群山，色调阴森的荒漠峡谷，充满乐趣的溪谷——与蜂窝一样都是生命的产物。

洛夫洛克不停地向镜中窥探，发现它几乎是个无底深渊。其后几年，随着对生物圈的仔细观察，他将更多的复杂现象列入了生命产物表。举几个例子：海洋浮游生物释放出一种气体（二甲基硫），经氧化后产生亚微观的硫酸盐气雾，形成云中水滴凝聚的凝结核。如此说来，甚至云层雨水也是由生物的活动产生的。夏天的雷暴雨也许是生命自身幻化为雨。某些研究暗示，大多数雪晶的核也许是腐朽的植物、细菌或菌类孢子；因此，也许雪大都是由生命触发的。能逃脱生命印记的只是极少数。“也许我们这个星球的内核并不受生命的影响，但我不认为这种假设是合理的，”洛夫洛克如是说。

“生命是最具威力的地质力量，”沃尔纳德斯基断言，“而且这力量与时俱进。”生命越多，它的物质力量就越大。人类将生命进一步强化。我们利用化石能源，将生命植入机器。我

们的整个制造业基础设施——好比我们自己身体的扩展——成为更广泛的、全球规模的生命的一部分。我们的工业产生的二氧化碳进入大气，改变全球大气的成分，我们的人造机械领域也成为地球生命的一部分。乔纳森·韦纳⁹⁷当年写《下个一百年》时就能肯定地说：“工业革命是

.⁹⁶ 让

.巴蒂斯特·拉马克（Jean

Baptiste Lamarck）：法国生物学家。科学院院士。早期的进化论者之一。

.

⁹⁷ 乔纳森·韦纳（Jonathan

Weiner）：美国作家，1976年毕业于哈佛大学，曾获

1995年普利策奖、1994年洛杉矶时报图

书奖、1999年全国图书评论家大奖，并获

2000年度安万特奖入选提名。曾在亚利桑那州立大学、洛克菲勒大学任教，

惊心动魄的地质学事件。”如果岩石是节奏缓慢的生命，那么我们的机器就是相对快一点的节奏缓慢的生命。

将地球比作母亲是一种古老且亲切的说法。但将地球比作机械装置却令人难以接受。沃尔纳德斯基的看法非常接近洛夫洛克的感悟，即地球的生物圈显现了一个超越化学平衡的规则。沃尔纳德斯基注意到“生物体呈现出一种自我管理的特性”，生物圈似乎也是自我管理的，但他没有进一步深入下去，因为一个关键概念——纯机械过程的自我管理——当时尚未出现。一台纯粹的机器怎么能自我控制呢？

我们现在知道了，自我控制和自我管理并非生命所独有的神奇活力要素，因为我们已经创造出了能够自我控制和自我管理的机器。其实，控制和意图是纯粹的逻辑过程，它们可以产生于任何足够复杂的介质中，包括铁制的齿轮和操作杆，乃至更为复杂的化学路径中。如果恒温器和蒸汽机都能够具有自我调控能力的话，那么一个星球可以进化出如此优雅的反馈回路也不是那么怪异的想法了。

洛夫洛克将工程师的敏感带入对地球母亲的分析。他做过修补匠、发明家、专利持有人，还给无论何时都是最大的工程技术公司

NASA 打过工。1972年，洛夫洛克提出了地球的自治表

征的假说。他写道：“地球上的所有生命体集合，从巨鲸到细菌，从橡树到海藻，可以看成是一个单体生命，它能够熟练地操控地球大气层以满足自己的全部需要，而其所具备的能力和能量也远超过其组成部分。”洛夫洛克把这个观点称为盖亚

⁹⁸，并于

1972年与微生物学家林恩

.马

基莉斯 99 一起公布了这个观点，以接受科学评判。洛夫洛克说：“盖亚理论要比共同进化论更强化些，”至少在生物学家使用这个词的时候。

现在哥伦比亚大学新闻研究院执教。

.
98 盖亚 (Gaia): 这个名字源自希腊神话的大地女神盖亚，是一个统称，包含了地球上有机生命体通过影响自然环境使之更适于生存的相关概念。这套理论认为，地外生命中的所有生物体使星球管理生物圈以造福全体。盖亚理念描绘出一个物种间的残存性生命力的联系，以及这种联系对其他物种生存的适用性。当盖亚理论有了若干先驱者时，英国化学家詹姆斯·洛夫洛克便于 1970 年以科学形式推出了盖亚假说。盖亚假说解决的是自动动态平衡概念，并主张主体星球的居留生命与其居住环境匹配为一个单一、自动调节的系统。这个系统包括近地表的岩石，土壤，以及大气。开始时有过论战，后来科学界许多人都或多或少地接受了以不同形式呈现的这一理念。——译自“维基百科”

.
99 林恩

.马基莉斯 (Lynn

Margulis): 美国马萨诸塞州立大学教授，生物学家，美国国家科学院院士。著有《性的奥秘》、《何为生命》。

一对在互相攀比、不断升级的军备竞赛中共同进化的生物似乎只能滑向失控的深渊；而一对卿卿我我、眼中只有对方的共生体又似乎只能陷入停滞不前的唯我主义。但洛夫洛克却认为，假如有一张大网遍布着共同进化的动因，它网罗所有生物使其无可逃遁，生物创造自身存活所需的基质，而基质又创造存活其中的生物，这个共同进化的网络就会向周围扩展直到成为一个自给自足、自我控制的闭环回路。埃尔利希所提出的共同进化论中的“强制合作”——无论互为敌人抑或互为伴侣——不仅仅能从各方培育出自发的内聚力，并且这种内聚力也会有效地调和自身的极端值以寻求自身的生存。全球范围内的生物在共同进化的环境中所映射出的休戚与共的关系，就是洛夫洛克所指的盖亚。

许多生物学家（包括保罗·埃尔利希）都不喜欢盖亚理念，因为洛夫洛克并未获得他们的准许就扩大生命的定义。他单方面将生命的范畴扩大，使之具有一个占优势地位的机械器官。简而言之，这个固体行星成了我们所知道的“最大的生命形式”。这是一头怪兽：99.9%的岩石，大量的水，一点空气，再裹以薄薄一层环绕其周身的绿膜。

但是，假如将地球缩成细菌大小，放在高倍显微镜下观察，它能比病毒更奇怪吗？盖亚就在那里，一个强光映照下的蓝色球体，吸收着能量，调节着内部状态，挡避着各种扰动，并日

趋繁复，准备好一有机会便去改造另一个星球。

后来，洛夫洛克不再坚持早期的主张，即强调盖亚是一个有机体或表现得像一个有机体，但他保留意见说盖亚确实是一个具有生命特征的系统。它是一个活系统。无论是否具备有机体所需的所有属性，它都是一个鲜活的系统。

尽管盖亚是由许多纯粹的机械回路所组成的，但这不应成为阻止我们为它贴上生命标签的理由。毕竟，细胞在很大程度上可以看作是化学循环；海洋中的某些硅藻也只不过是毫无生气的钙晶；树木则是硬化的浆汁。但它们全都仍然是有生命的有机体。

盖亚是一个有边界的整体。作为一个生命系统，它那些无生气的机械构件也是其生命的一部分。洛夫洛克说：“在地球表面任何地方，生命物质和非生命物质之间都没明确的区分。从岩石和大气所形成的物质环境到活细胞，只不过是生命强度的不同层级而已。”在盖亚的边界上——或是在稀薄的大气顶层，或是在炽热的地球核心，——生命的影响会消退。但是，没有人能说清这条边界到底在哪里——如果它有的话。

5.5. 不讲交情或无远见的合作

对于多数怀疑论者说来，盖亚的麻烦在于将一个非活物的星球看作是一部“聪明的”机器。我们曾试图将毫无生气的计算机设计成人工学习机器，但却遭受了挫折。因此，在行星尺度内展开头绪纷乱的人工学习，其前景似乎挺荒谬。

但实际上我们高估了学习，把它当成一件难事，这与我们的沙文主义情节——把学习当成是人类特有的能力——不无关系。在本书中，我想要表述一种强烈的看法，即进化本身就是一种学习。因此，凡有进化（哪怕是人工进化）的地方就会有学习。

将学习行为拉下神坛，是我们正在跨越的最激动人心的知识前沿之一。在一个虚拟的回旋加速器里，学习正被撞裂成为基本粒子。科学家们正在为适应、归纳、智能、进化、共同进化等事物的基本成分编目造册，使之成为一个生命的元素周期表。学习所需的各种粒子藏身于所有迟钝的介质当中，等待着被组装（并往往自行组装）成奔涌灵动的事物。

共同进化就是多种形式的学习。斯图尔特·布兰德在《共同进化季刊》中写道：“没错，生态系统是一个完整系统，而共同进化则是一个时间意义上的完整系统。它在常态下是向前推进的、系统化的自我教育，并从不断改正错误中汲取营养。如果说生态系统是在维持的话，那么共同进化则是在学习。”

生物的共同进化行为也许可以用一个更好的术语来描述——共同学习，或者共同传授也行，因为共同进化的各方在相互学习的同时也在相互传授。（我们没有恰当的字眼来表述同时施教与受教，但假如做到了教学相长，我们的学校教育将会得到改善。）

一个共同进化关系中的施与受——同时施教与受教——使许多科学家想到了玩游戏。简单的儿童游戏如“哪只手里有钢镚儿？”具有“镜子上的变色龙”般的递归逻辑。藏钢镚儿的人进入这样一个无止境的过程：“我刚才把钢镚儿藏在右手里，那么现在猜的人会认为它在我的

左手，因此，我要把它移到右手。但她也知道我知道她会怎么想，于是，我还是把它留在左手里。”

由于猜的人的思考过程也是如此，双方就构成了一个相互预测对方意图的游戏。“哪只手

里有钢镚儿”的谜题和“镜子上的变色龙是什么颜色”的谜题相关联。从这类简单的规则衍生出的无限复杂性令约翰·冯·诺依曼非常感兴趣。在二十世纪四十年代早期，这位数学家就研发出用于计算机的可编程逻辑，并同维纳和贝特森一起开辟了控制论的新领域。

冯·诺依曼 100 发明了与游戏有关的数学理论。他将游戏定义为一场利益冲突，游戏各方都试

图预测其他方的举动，并采取一系列的步骤，以解决冲突。1944 年，他与经济学家奥斯卡·摩

根斯特恩 101 合写了一本书——《博弈论与经济行为》。他察觉到，经济具有高度共同进化和类

似游戏的特性，而他希望以简单的游戏动力学来阐释它。举例说，鸡蛋的价格取决于卖方和买方彼此之间的预期猜测——我出价多少他才能够接受，他认为我会出多少，我的出价应该比我能承受的价位低多少？令冯·诺依曼惊讶的是，这种相互欺诈、相互蒙骗、效仿、映像以及“博弈”的无休止递归一般都能够落实到一个明确的价格上，而不是无限纠缠下去。即使在股市

上，当有成千上万的代理在玩着相互预测的游戏时，利益冲突的各方也能迅速达成一个还算稳定的价格。

冯·诺依曼最感兴趣的是想看看自己能否给这种互动游戏找出最理想的策略，因为乍一看来，它们在理论上几乎是无解的。于是他提出了博弈论作为解答。位于加利福尼亚州圣塔莫妮卡市的兰德公司是美国政府资助的智库。那里的研究人员发展了冯·诺依曼的工作，最后列出了四种有关相互猜测游戏的基本变体。每一个变体各有不同的输赢或平局的奖励结构。这四个简单的游戏在技术文献中统称为“社会困境”，但又可以被看作是构造复杂共同进化游戏的四块积木。这四个基本变体是：草鸡博弈、猎鹿博弈、僵局，以及囚徒困境。

“草鸡博弈”是供鲁莽的青少年玩的游戏。两辆赛车朝悬崖边奔去；后摔出来的司机是赢家。“猎鹿”是一群猎手面对的难题，他们必须合作才能把鹿杀死，如果没有人合作的话，那么开小差各自去撵兔子会更好些。他们是在赌合作（高回报）还是背叛（低，但是肯定有回报）吗？“僵局”是挺无聊的游戏，彼此背叛收益最高。最后一个“囚徒困境”最有启发性，

100 约翰·冯·诺伊曼（John vonNeumann，1903.12.28～1957.02.08）：美国籍犹太人数学家，现代计算机创始人之一。

101 奥斯卡·摩根斯特恩（OskarMorgenstern，1902.01.24～1977.07.26）：出生于德国的奥地利经济学家。他与约翰·

冯·诺依曼一起创立了博弈论。

在

1960 年代末成为两百多例社会心理学实验的测试模型。

“囚徒困境”是由兰德公司的梅里尔·弗勒德 102 于

1950 年设计出来的。游戏中，两个分别

关押的囚犯必须独立决定否认还是坦白罪行。如果两人都认罪，那么两人都会受到惩罚。如果两人都否认的话，则都会被无罪释放。但假如只有一人认罪，那么他就会得到奖励，而另一个则受到惩罚。合作有回报，但如果策略奏效的话，背叛也有回报。你该怎么办呢？

如果只玩一次，背叛对手是最合理的选择。但当两个“囚徒”一次又一次地玩，从中相互学习——也即“重复的囚徒困境”——游戏的推演就发生了变化。你不能无视对手玩家的存在；不论是作为强制的敌手还是同伙，他都必须受到重视。这种紧密相连的共同命运与政敌之间、生意对手之间或者生态共生体之间的共同进化关系非常类似。随着对这个简单游戏的研究的进一步深入，问题变成了：要想在长期内取得高分，面对“重复的囚徒困境”应该采取什么样的策略？还有，同无情或友善的各类玩家对垒时，该采取什么样的策略更容易取得成功呢？

1980 年，密歇根大学政治学教授罗伯特

·阿克塞尔罗德 103 组织了一次锦标赛，征集了

14 条

不同的用于“囚徒困境”的对策，以循环赛的形式看哪个对策最后胜出。最后获胜的是一个最简单的对策，叫做“一报还一报”，由心理学家阿纳托尔

·拉普伯特 104 设计。“一报还一报”是

往复型策略，它以合作回报合作，以背叛回报背叛，往往产生一轮轮合作的周期。阿克塞尔罗德发现，重复游戏能产生一次性游戏所不具备的“未来阴影”之效果，这种效果鼓励合作，因为对玩家来说，用现在对他人予以的合作来换取今后他人给予的合作是一个合理的选择。合作的闪现使阿克塞尔罗德陷入沉思：“没有中央集权的自我主义世界需要具备什么条件才能涌现出合作的行为？”

·

102 梅里尔·弗勒德（Merrill

Flood, 1912~）：1935 年在内布拉斯加大学获数论硕士学位，同年获普林斯顿大学哲学博

士学位。曾在普林斯顿大学、美国陆军部、兰德公司、哥伦比亚大学、密歇根大学、加利福尼亚大学等处任职，曾任美国

管理科学学会会长、美国运筹学学会会长，以及工业管理工程师协会副会长。——译自“维基百科”

·

103 罗伯特·阿克塞尔罗德（Robert

Axelrod）：密歇根大学政治学与公共政策教授，美国科学院院士，著名的行为分析

及博弈论专家。

104 阿纳托尔·拉普伯特（Anatol

Rapoport，1911.05.22～2007.01.20）：出生在俄罗斯的美籍犹太裔数学家和心理学家。

主要贡献有统摄系统理论、数学生物学、社会相互影响的数学模式，以及随机感应模型。

1651 年，托马斯

·霍布斯 105 宣称：只有在善意的中央集权帮助下才能产生合作。这一传统政

治推论曾经在几个世纪里一直被奉为主臬。霍布斯断言，没有自上而下的管理，就只会有群体自私。不管经济体制如何，必须有强大的势力来推行政治利他主义。然而，在美国独立和法国革命后逐步建立起来的西方民主制度表明，民意通达的社会可以在没有中央集权强力干预的情况下发展合作机制。个人利益也能孕育出合作。在后工业化经济里，自发合作是常有的事情。

被广泛采用的工业标准（既有质量方面的，也有协议方面的，如

110 伏电压，还有

ASCII

码），以及因特网这个世界上最大的无政府形态的兴起，都使得人们更加关注孕育共同进化合作所需的必要条件。

这种合作不是新时代的精神至上主义。相反，如阿克塞尔罗德所说，这是一种“不讲交情、无需远见的合作”——是大自然的冷规则，适用于许多层面，并催生了自组织结构。不管你愿不愿意，多少都得合作。

“囚徒困境”这类游戏，不单只人类，任何自适应个体都可以玩。细菌，狢狢，或是计算机里的半导体器件，都可以根据各种回报机制，在眼前的稳妥收获与未来的高风险高回报之间做出权衡。当长时间与相同的伙伴一起玩这个游戏时，双方既是在博弈，又是在进行某种类型的共同进化。

每一个复杂的自适应组织都面临着基本的权衡。生物必须在完善现有技能、特质（练腿力以便跑得更快）与尝试新特质（翅膀）之间作取舍。它不可能同时做所有的事情。这种每天都会碰到的难题便属于在开发和利用之间作权衡。阿克塞尔罗德用医院作了一个类比：“一般情况下你可以想见试用某种新药比尽可能发掘已有成药的疗效回报来得低。但假如你给所有病人用的都是目前最好的成药，你就永远无法验证新药的疗效。从病人个人角度来讲最好不要试用新药。但从社会集合体的角度出发，做实验是必要的。”开发（未来收益）与利用（目前稳赢的筹码）之比应该是多少，这是医院不得不作的博弈。生命有机体为了跟上环境的变化，在决定应该在多大程度上进行变异和创新时，也会作出类似的权衡。当海量的生物都在做着类似的权衡并且互相影响时，就形成一个共同进化的博弈游戏。

阿克塞尔罗德发起的、有

14 位玩家参与的“囚徒困境”循环锦标赛是在电脑上进行的。

1987 年，阿克塞尔罗德通过设定一套系统拓展了这个电脑游戏。在系统里，有一小群程序玩家

105 托马斯·霍布斯（ThomasHobbes，1588～1697）：英国政治学家、哲学家。英国理性主义传统的奠基人。

执行随机产生的“囚徒困境”策略。每个随机策略在和所有其它运行中的策略对阵一圈之后被打分，得分最高的策略在下一代的复制率最高，于是最成功的策略便得以繁衍和传播。许多策略都是通过“捕食”其他策略来取胜的，因而，只有当猎物能存活时，这些策略才能兴旺发达。这就导出了自然界荒野中俯拾皆是生物数量呈周期性波动的机理，说明了狐狸和兔子的数量在年复一年的共同进化的循环中是如何起起落落的。兔子数量增，狐狸繁殖多；狐狸繁殖多，兔子死翘翘。但是没有了兔子，狐狸就得饿死。狐狸数量少了，兔子数量就多了。兔子多了，狐狸也就多了，以此类推。

1990 年，在哥本哈根尼尔斯波尔研究院工作的克里斯蒂安

·林德格雷 106 将这个共同进化实验

的玩家数扩展到一千，同时引入随机干扰，并使这个人工共同进化过程可以繁衍到三万世代之后。林德格雷发现，由众多参与“囚徒困境”游戏的愚钝个体所组成的群体不但重现了狐狸和兔子数量的生态波动，也产生出许多其他自然现象，如寄生、自发涌现的共生共栖，以及物种间长期稳定的共存关系等，就如同一整套生态系统。林德格雷的工作让一些生物学家兴奋不已，因为在他的漫长回合博弈游戏中出现了一个又一个的周期。每个周期的持续时间都很长；而在一个周期内，由不同策略的“物种”所形成的混合维持着非常稳定的状态。然而，这些盛世都被一些突发、短命的不稳定插曲所打断，于是旧的物种灭绝，新的物种生根。持新策略的物种间迅速达成新的稳定，又持续发展数千代。这个模式与从早期化石里发现的进化的常见模式相契合，该模式在进化论业界里叫做间断平衡 107，或简称为“蹦移（punk eek）”。

这些实验得出了一个了不起的结果，令所有希望驾驭共同进化力量的人都为之瞩目。这是众神的另一条律法：在一个饰以“镜子上的变色龙”式的叠套花环的世界里，无论你设计或演变出怎样高妙的策略，如果你绝对服从它，为它所用，从进化的角度来看，这个策略就无法与其他具竞争力的策略相抗衡。也即是说，如何在持久战中让规则为你所用才是一个具竞争力的策略。另一方面，引入少许的随机因素（如差错、缺陷）反而能够在共同进化的世界里缔造出长久的稳定，因为这样一来某些策略无法被轻易地“山寨”，从而能够在相对长的时期里占据

·
106 克里斯蒂安·林德格雷（KristianLindgren）：从事复杂系统和物质能源理论的研究。目前是威尼斯的欧洲生活科技中心主任。

·
107 间断平衡论（punctuated equilibrium）：1972 年由美国古生物学家 N.埃尔德里奇和

S.J.古尔德提出后，在欧美流传颇广。认为新种只能以跳跃的方式快速形成；新种一旦形成就处于保守或进化停滞状态，直到下一次物种形成事件发

生之前，表型上都不会有明显变化；进化是跳跃与停滞相间，不存在匀速、平滑、渐变的进化。

统治地位。没有了干扰——即出乎意料或是反常的选择——就没有足够多的稳定周期来维持系统的发展，逐步升级的进化也就失去了机会。错误能使共同进化关系不致因为胶着太紧而陷入自沉的漩涡，从而保持共同进化的系统顺流前行。向你的错误致敬吧。

在电脑中进行的这些共同进化游戏还提供了另外的教益。零和与非零和游戏的区别是少数几个渗透到大众文化中的博弈论理念之一。象棋、选举、赛跑和扑克是零和游戏：赢家的收益取自输家的损失。自然界的荒野、经济、思维意识、网络则属于非零和游戏：熊的存在并不意味着狼獾会失败。共同进化中的冲突环环相扣、彼此关联，意味着整体收益可以惠及（有时殃及）所有成员。阿克塞尔罗德告诉我，“来自博弈论最早也是最重要的洞见之一就是，非零和游戏的战略内涵与零和游戏的战略内涵截然不同。零和游戏中对他人的任何伤害都对你有好处。在非零和游戏中，你们可能共荣，也可能同衰。我认为，人们常用零和游戏的观点看世界，其实他们本不该这样。他们常说：“我比别人做得好，所以我就该发达。”而在非零和游戏里，尽管你比别人做得好，你也可能和他一样潦倒。”

阿克塞尔罗德注意到，作为赢家，“一报还一报”策略从不琢磨利用对手的策略——它只是以其人之道还治其人之身。在一对一的对决中，该策略并不能胜过任何一个其他策略；但在非零和游戏中，它却能够在跟许多策略对抗的过程中取得最高累积积分，从而夺得锦标。正如阿克塞尔罗德向“囚徒困境”的始作俑者威廉

·庞德斯通¹⁰⁸指出的：“这个理念太不可思议了。

下棋时怎么可能不击败任何一个对手就夺得锦标呢？”但是在共同进化中——变化是响应自身而变化——不用打击他人就能赢。企业界那些精明的首席执行官们现在也承认，在网络和结盟的时代，公司犯不着打击他人就可以大把地赚钱。这个就是所谓的双赢。

双赢是共同进化模式下生命所演绎的故事。

坐在堆满书籍的办公室里，罗伯特·阿克塞尔罗德还沉浸在对共同进化的理解和思考中。然后他补充道：“希望我在合作进化方面的工作有助于避免世界冲突。你看过国家科学院给我的奖状没有，”他指着墙上的一块牌匾说，“他们认为它有助于避免核战争。”尽管冯

·诺依曼是

发展原子弹的关键人物，但他并没有将他的理论明确地应用于核军备竞赛的政治游戏。在

1957

.

108 威廉·庞德斯通（William Poundstone）：美国作家、怀疑论者。曾在美国麻省理工学院学习物理，现居洛杉矶。长

期为《纽约时报》、《经济学人》等知名报刊以及美国一些电视台撰稿。迄今已出版著作十余部，其中《循环的宇宙》、

《推理的迷宫》获普利策奖提名。

年冯·诺依曼逝世之后，军事战略智囊团开始利用他的博弈论分析冷战，冷战中两个相互为敌的超级大国带有共同进化关系中“强制合作”的意味。戈尔巴乔夫具有基本的共同进化洞察力。阿尔塞德罗说，“他看到，减少而不是增加坦克数量会让苏联更安全。他单方面裁掉了一万辆坦克，使得美国和欧洲更难有借口保持大规模的军事预算，借此全面展开了结束冷战的进程。”

对于“伪神们”

109 来说，从共同进化中获得的最有用的教训就是，在共同进化的世界里，控制和保密只能帮倒忙。你无法控制，而开诚布公比遮遮掩掩效果更好。“在零和游戏中你总想隐藏自己的策略，”阿克塞尔罗德说。“但在非零和游戏中，你可能会将策略公之于众，这样一来，别的玩家就必须适应它。”戈尔巴乔夫的策略之所以有效，是因为他公开实施了这个策略；如果只是秘密地单方面削减武器则会一事无成。

镜子上的变色龙是一个完全开放的系统。无论是蜥蜴还是玻璃，都没有任何秘密。盖亚的大封闭圈里循环不断，是因为其中所有的小循环都在不断的共同进化沟通中互相交流。从苏联指令式计划经济的崩溃中我们了解到，公开的信息能够保持经济的稳定和增长。

共同进化可以看作是双方陷入相互传教的网络。共同进化的关系，从寄生到结盟，从本质上来讲都具有信息的属性。稳步的信息交流将它们焊接成一个单一的系统。与此同时，信息交流——无论是侮辱、还是帮助，抑或只是普通新闻——都为合作、自组织，以及双赢结局的破土发芽开辟了园地。

在我们刚刚迈入的网络时代中，频繁的交流正在创造日益成熟的人工世界，为共同进化、自发的自组织以及双赢合作的涌现而准备着。在这个时代，开放者赢，中央控制者输，而稳定，则是由持续的误差所保证的一种永久临跌状态。

.

109 伪神：这里应当是指人类。

第六章自然之流变

6.1 均衡即死亡

今晚是中国传统的中秋佳节。旧金山唐人街闹市区内，华侨们一边互赠月饼，一边讲述着嫦娥奔月的故事。我家在距此

12 英里陡峭堤岸的后面。金门的大雾积聚在我家屋后堤岸的上

空，将附近地区笼罩在茫茫雾气中。我踏着午夜的月光，出去散步，犹如云中漫步。

发白的黑麦草高及胸口，在风中喃喃低语。我跋涉其中，仔细观察加利福尼亚的崎岖海岸。这是一块无序的土地，大都是多山的沙漠，相临的大海虽然水量充足，却无法提供雨水。海洋在夜间展开浓雾，偷偷地运送着生命之水。清晨来临，雾气凝结成水滴附着在嫩枝和树叶上，滴滴答答地落到地上。整个夏天，水大都以这种方式传送过来，而在其他地方，这本是雷雨云团的份内之事。生命中的庞然大物红杉树，就在这雨水替代物的涓滴滋养下茁壮成长。

雨水广施恩泽，涵盖万物，包罗万象且一视同仁。相对之下，雾气却只能逡巡于方亩之间。它依赖于微弱的空气对流，漂浮到最容易到达的地方，然后滞留在适当而平和的丘陵间的凹陷处。地形以这种方式掌控着水汽，也间接地掌控了生命。丘陵形成合适的地形就能留住浓雾，或凝结水滴滴入峡谷。与阴面的北部斜坡相比，朝南向阳的山丘会因为蒸发作用失去较多的宝贵水分。而某些地表的土壤能够更好地保持水分。当这些变数彼此叠加组合时，便会造成许多小片的动植物栖息地，构成拼贴画般的风景。在沙漠地带，水决定着生命去留。而当一块沙漠地带水的传送无法做到普降恩泽、其所达范围有限且反复无常时，那么决定生命去留的就是土地本身。

结果就形成了拼贴画一样的风景。我屋后的小山就披着由三块截然不同的“料子”拼成的植被，一面斜坡上是匍匐的草地群落，居住着老鼠、猫头鹰、蓟和罂粟——一直延伸到海边。小山顶上，粗桧林和柏树把持着另一个单独的群丛，其中有鹿、狐狸和青苔。而在另一边的高地上，无边无际浓密的毒葛和常绿灌木丛中隐藏着鹌鹑以及其它种群成员。

这些“小联邦”之间保持着动态的平衡，它们相互间自我维持的姿态持续保持着将跌未跌

的状态，就像春天溪流中的驻波 ¹¹⁰。当大量的自然界生物互相推搡着拥进共同进化的怀抱之时，在不均衡的地貌和气候环境中，它们的相互作用令彼此无法聚集，于是成为一片片隔离的斑块 ¹¹¹，块内的动植物互相依存。这些斑块的位置亦随时间改变而游移。

风和春季洪水侵蚀着土壤，暴露出地下土层，新组成的腐殖质和矿物成分初露地表。土壤混合物上下搅动翻身的同时，与之息息相关的动植物也混杂着搅动变迁。郁郁葱葱的仙人掌丛，比如巨树仙人掌丛林，可以在短短不到

100 年之内迁进或迁出西南部的小块沙漠地带。如

果延时拍摄后用普通转速放映的话，会发现巨树仙人掌丛林在沙漠景观里蔓延的过程就像水银泻地。能游走的不仅仅只有仙人掌树丛。在同样缩时拍摄的画面里，中西部稀树大草原的野花绕着橡树丛漫溢上来，犹如涌来的潮水，有时，将树丛尽没在茫茫草原里；有时，山火过后，

花草的潮水又会退却，复现扩散膨胀的橡树林。生态学家丹·鲍肯 ¹¹² 曾这样描述过，森林“和着气候变换的节拍缓缓地穿行于地貌之中。”

“如果没有变化，沙漠就会退化，” 托尼

·博格斯 ¹¹³ 断言。他是一位身材魁梧，留着一大把

红胡须的生态学家，深爱着沙漠。他全身心地学习与沙漠相关的知识和资料。在亚利桑那州图森市附近，博格斯顶着酷热一直监测着一块沙漠带。几代科学家在此进行了持续

80 年的测

量和拍摄。对这块土地上的观察在所有无间断生态学观察中时间是最长的。通过研究这

80 年

来沙漠变化的数据，博格斯得出结论，“多变的降雨量是沙漠存续的关键。每年降雨的情况稍有不同，才能使每个物种略微脱离平衡态。如果降雨量变幻多端，那么物种的混合群落就会增

加两到三个数量级。反之，如果相对于每年的气温循环周期，降雨量保持不变的话，美丽的沙漠生态将几乎总是向着单一乏味溃缩。”

·
110 驻波：振动频率、振幅和传播速度相同而传播方向相反的两列波叠加时，就产生驻波。比如水波碰到岸边反射回来时，前进和反射波的叠合就产生驻波。驻波形成时，空间各处的介质点或物理量只在原位置附近做振动，波停驻不前，而没有行波的感觉，所以称为驻波。

·
111 斑块（patch）：这里是生态学术语，指的是外观上与周围地表环境明显不同的非线性区域。其类型分为干扰斑块（由自然的火、雷电、山崩等引起）、残存斑块、环境镶嵌分布斑块和人类活动引起（已经占据主要作用）的斑块等。

·
112 丹·鲍肯（Dan Botkin）：资深生物学家，理学博士。研究自然、环境和地球生命。研究对象包括北极驼鹿、北冰洋弓头鲸、非洲大象、中北美森林等。参与拯救加州兀鹰、西北太平洋鲑鱼，同时写了大量有关自然、生物的书，对环保事业贡献良多。

·
113 托尼·博格斯（Tony Burgess）：沙漠/草原生态学博士，任职于亚利桑那州图森的沙漠协调实验室。

“均衡即死亡”，博格斯如是陈述。这个观点在生态科学圈内流行时间还不很长。“直到二十世纪七十年代中期，我们所有人都在前人学说的指导下工作，即生物群落正趋向不变的均衡，形成顶极群落。而今，我们看到，正是紊乱和多变真正给自然赋予了丰富的色彩。”

生态学家偏爱自然界中的各种均衡状态，其主要原因和经济学家偏爱经济中的各种均衡状态相同：均衡态可以用数学模型来表达，你可以为一个过程写出你能够求解的方程。但如果说这个系统永远处于非均衡状态，你就是在说它的模型是无法求解的，也就无从探究。那就相当于你几乎什么都没说。而在当今这个时代，生态学（还有经济学）上的理解发生巨大改变并不是偶然的，因为用廉价计算机就能轻松地为非平衡和非线性方程编程求解。在个人电脑上为一个混沌的共同进化的生态系统建立模型突然不再是难题了。你看，这和行进的巨树仙人掌丛林或稀树大草原的奇异行为多像啊。

近年来，学者们提出了上千种非均衡态模型；事实上，现在有一个小圈子，专门研究混沌非线性数学，微分方程和复杂性理论等，所有这些研究都有助于改变这样的旧有观念：大自然和经济活动都会收敛到平衡稳态。这个新观点——流动即常态——重新阐述了历史数据。博格斯能够向人们展示沙漠的老照片，表明巨树仙人掌丛林的生态地块在一段相对较短的时间——几十年——正在图森盆地内漂移。“从我们监测的沙漠带发现，”博格斯说，“这些地带的发

展不同步。而正因如此，整个沙漠带内物种较为丰富，如果自然灾害彻底毁灭了一个地块上的物种，处在另一发展阶段的地块可以输出生物体和种子到这片地带。甚至在没有降雨量变化的生态系统，比如热带雨林，由于周期性的暴风雨和倒折的树木，也存在这种斑块生态动力系统（patch dynamics）。”

“均衡态不仅意味着死亡，它本身就是死亡状态”，博格斯强调。“系统要变得丰富，就需要时间和空间上的变化。但变化太多也不行。你会一下从生态渐变群 114 转到生态交错群 115”

博格斯认为，自然界对扰动和变化的依赖是个现实问题。“在自然界，如果作物（包括蔬菜，种子，或肉）的收成年复一年差异很大，那没什么问题。自然实际上在此差异中增加了其丰富性。但是当人们要靠一个生态系统中的作物维持生计，比如受变化驱动演化的沙漠系统，他们能做的仅仅是将这个系统简化成我们所谓的农业——根据变化的环境提供固定的产品。”

114 生态渐变群：同一物种的多个种群散布在大片地理区域中。

115 生态交错群：两个不同群落交界的区域，亦称生态过渡带。两群落的过渡带有的狭窄，有的宽阔；有的变化突然，有的逐渐过渡或形成镶嵌状。群落交错区的环境特点及其对生物的影响，已成为生态学研究的重要课题。

博格斯希望沙漠的变迁能教会我们如何不用简化系统就能和变化的环境共处。这并不是一个完全愚蠢的梦想。信息驱动的经济模式为我们提供的是一种能够适应调整的基础结构，它能围绕无规律的产出灵活地做出修正；这就为灵活的“即时”制造业提供了基础。理论上，对于提供食物和有机资源的丰富多变的生态系统，我们可以利用信息网络调节投入，以适应其极不规律的产出。但是，正如博格斯承认的，“眼下，除了赌博，我们还没有由变化驱动的工业经济模式。”

6.2 谁先出现，稳定性还是多样性？

如果说自然是建立在恒久流变的基础之上，那么不稳定性可能就是引起自然界生物类型丰富多彩的原因。不稳定的自然力量是多样性产生的根源，这种想法与一条古老的环境主义格言背道而驰：即稳定性产生多样性，多样性又带来稳定性。但如果自然的系统的确并不趋向精致的平衡，我们就应该习惯于和不稳定打交道。

在二十世纪六十年代后期，生物学家最终获得计算机的帮助，开始在硅晶网络上建立动态生态系统和食物链网络模型。他们试图回答的首批问题之一是，稳定性来自于何方？如果在虚拟网络上创建掠食者和被掠食者的相互关系，是什么条件致使二者稳定下来演绎一段长期共同进化的二重奏，又是什么条件会使这些虚拟生物难以为继？

最早的模拟稳定性的论文中有一篇是加德纳和艾希比在

1970 年合作发表的。艾希比是一位

工程师，他对正反馈回路的种种优点和非线性控制电路很感兴趣。他俩在电脑上为简单的网络回路编制出数百种变化，并系统地改变节点的数量和节点间的关联度。他们发现了惊奇的一幕：如果增加关联度至超过某一临界值，系统从外界扰动中回复的能力就会突然降低。换句话说，与简单的系统相比，复杂的系统更有可能不稳定。

次年，理论生物学家罗伯特·梅¹¹⁶也公布了类似的结论。梅在电脑上运行生态模型，一些模拟的生态群落包含大批互相作用的物种，另一些则只包含极少的物种。他的结论与稳定/多样性的共识相抵触。他提醒大家，不要简单地认为增加物种混合的复杂性就能带来稳定性。相反，梅的模拟生态学认为，简单性和复杂性对稳定性的影响，并不如物种间相互作用的模式来得大。

“一开始，生态学家建立起简单的数学模型和简单的实验室微观系统，他们搞砸了。物种迅速消失。”斯图亚特

·皮姆告诉我，“后来，生态学家在电脑上和水族箱里建立了更复杂的系统，他们以为这样会好些。他们错了，甚至搞得更糟。复杂性只会让事情变得异常困难——因

为参数必须正好合适。所以，除非它确实简单（单猎物-单资源的种群模型），否则随机建立一

.

¹¹⁶ 罗伯特·梅（Robert

May）：理论生物学家，皇家学会会员，联合王国政府首席科学顾问，皇家学会会长，在悉尼大学、普林斯顿大学、牛津大学、伦敦大学帝国学院等多所大学任教授。

个模型是行不通的。增加多样性、加强互相作用或者增加食物链长度，它们很快也会达到崩溃的地步。这是加德纳、艾希比、梅和我对食物网络所作的早期研究的主题。但继续在系统里加入物种，不断地让它们崩溃，它们竟然最终混合在一起，不再崩溃，突然获得了自然的秩序。它们经过大量反复的杂乱失败才走上正轨。我们所知道的获得稳定持续的复杂系统的唯一方式，就是再三重复地把它们搭配在一起。就我所知，还没人能真正理解其有效的原因。”

117118

1991 年，斯图亚特·皮姆和他的同事约翰·劳顿

以及约·科恩

一起回顾了所有对野外食物

链网进行的实地测量，通过数学方法分析，得出的结论是，“生物种群从灾难中恢复的比率...取决于食物链长度”和一个物种所对应的被掠食者和掠食者数量。昆虫吃树叶就是一条食物链的一环。龟吃掉吃叶子的昆虫就形成了一条食物链上的两环。狼也许处在离叶子很远的环节上。总体来说，当食物链越长，环境破坏带来的影响就会使得互相作用的食物链网越不稳定。

西班牙生态学家罗蒙·马格列夫

119 在此前几年观察到的一个现象，最恰当地阐述了由梅的模拟实验中得出的另一要点。马格列夫像梅一样注意到，由许多成员组成的系统成员彼此之间的联系会很弱，而成员很少的系统其成员彼此间的联系会很紧密。马格列夫这样说：“实际经验表明，那些与别的物种互动自由度大的物种，它们的交际圈子往往很大。相反地，彼此交往密切，互动程度强的物种常常隶属于一个成员很有限的系统。”生态系统内的这种明显的折衷，要么是多数联系松散的成员，要么是少数联系紧密的成员，与众所周知的生物体繁殖策略折衷非常相似：要么生出少数后代并加以妥善保护，要么产出无数后代任其自寻生路。

生物学表明，除了调节网络中每个节点各自的接头数量，系统还趋于调节网络中每对节点之间的“连接性”（连接强度）。自然似乎是保持连接性的不变性的。因此，我们应该料想能在文化、经济和机械系统中找到相似的连接性守恒 120 定律，尽管我不清楚是否有过这样的研

·
117 约翰·劳顿（John Lawton）：达勒姆大学教授，动物学家。1969 年到 1999 年间任教于达勒姆大学、牛津大学、约克大学、帝国理工学院等多所院校，并在英国全国环境研究委员会任主席等职。

·
118 约·科恩（Joel Cohen，1944.02.10～）：数学生物学家，目前任教于纽约洛克菲勒大学，同时也是哥伦比亚大学地球研究所人口学教授。

·
119 罗蒙·马格列夫（Ramon Margalef，1919～2004）：巴塞罗纳大学生物系名誉生态学教授，是西班牙当之无愧的科学巨匠。指导、建立了巴塞罗纳大学生态学系，1967 年成为西班牙首位生态学教授。其重要贡献包括将信息理论运用于生态研究，创造了研究人口的数学模式。

·
120 连接性守恒：意指由连接数量和连接强度组成的某种形式的合量保持不变，即连接数量增加时，强度降低；反之亦

·
究。如果在所有的活系统中有这样的规律，我们也可料想，这种连接性在流变，永远处于不断调整的状态。

·
“一个生态系统就是一个活物的网络”，博格斯说。生物通过食物链网、气味和视野以各种不同程度的连接性连接到一起。每个生态系统都是一个动态的网络，总是在流变，总处在重塑自己的过程中。“不论何处，当我们寻找不变时，找到的都是变化”，伯特克写道。

·
当我们踏上黄石公园朝圣之旅，或去加利福尼亚红树林，又或去佛罗里达湿地，我们总被当地那种可敬的、恰到好处地浑然天成深深打动。熊似乎就应出没于落基山脉的幽深河谷里；红衫林似乎就应摇曳在海岸山丘上，而北美鳄似乎就该呆在平原。我们有一种冲动，要保护它

们免遭干扰。但从长远眼光来看，它们全都原本就是过客，既不是此地的老住户，也不会永住于此。鲍肯写道，“自然本身无论是形式、结构还是构成都不会恒久不动，自然无时无地不在变化。”

学者研究从非洲一些湖底的钻孔里得到的花粉化石，发现非洲地貌在过去几百万年中一直处于流变的状态。在过去的某个时刻，非洲的景观看起来和现在迥然不同。现在广袤的撒哈拉沙漠在过去不久的地质时期里是热带森林。而自那时到现在曾出现过许多生态类型。我们认为野性是永恒的；现实中，自然就是受限的流变。

注入人工介质和硅晶片中的复杂性只会有更进一步的流变。虽然我们 know，人类制度——那些凝聚人类心血和梦想的社会生态系统——也一定处在不断的流变和反复破立中，但当变化开始时，我们却总是惊讶或抗拒。（问一个新潮的后现代美国人是否愿意改变订立已

200 年之

久的美国宪法。他会突然变成中世纪的保守派。）

变化本身，而不是红衫林或国家议会，才是永恒的。问题就变成：什么控制着变化？我们怎样引导变化？在政府、经济体和生态系统等松散团体中的分布式生命可以用任一种刻意的方式加以控制吗？我们能预知未来的变化状态吗？

比如说你在密歇根购买了一块

100 英亩荒废的农田。你用篱笆把四周围起来，把牛和人都

隔在外面。然后你走开，监测这块荒地几十年。第一个夏天，园内野草占据这块地。从那以后每年都有篱笆外的新物种被风吹入园内落地生根。有些新来者慢慢地被更新的后来者代替，生态组合在这片土地上自我组织，混合就这样流变经年。如果一位知识渊博的生态学家观察这片

然。

围起来的荒野，他能否预测百年之后哪些野生物种会占据这片土地？

“是的，毫无疑问他能预测，”斯图亚特·皮姆说，“但这预测不会像人们想的那样有趣。”

翻开所有标准的大学生态学课本，在有关生物演替概念的章节中都可找到这块密歇根热土最后的形态。第一年到访的杂草是每年开花的草本植物，接着被更坚韧的多年生植物如沙果草和豚草取代，木本的灌木丛会荫蔽并抑制开花植物的生长，随后松树又抑制了灌木的生长。不过，松树的树荫保护了山毛榉和枫树等阔叶木的幼苗，接下来轮到后者坚定地把松树挤出地盘。百年之后，典型的北方阔叶林就几乎完全覆盖了整块土地。

整个过程，就好像这片土地本身就是一粒种子。第一年长出一堆野草，过了一些年，它变成浓密的灌木丛，再后来它长成了繁茂的树林。这块土地演替的画卷按着可以预知的阶段逐步展开，正如我们可以预知蛙卵将以何种方式变成蝌蚪。

这种发育过程还有其他奇特的侧面，如果这块新开发地开始于100 英亩潮湿的沼泽区，

而不是一块田地，或者换成同样大小的密歇根干燥多沙的沙丘，那么最初来接管的物种是不同的（沼泽上会是莎草，沙丘上会是覆盆子），但是物种的混合逐渐向同一个终点会聚，那就是阔叶林。三粒不同的种子孵化成同样的成体。这种会聚现象使得生态学家萌生了生物演替存在终点或是顶极群落 121 的设想。在某一区域，所有生态混合体趋于转替直到它们达到一种成熟、终极、稳定的和谐。

在气候温和的北方，土地“想要”的是阔叶林。只要时间充足，干涸的湖泊或风沙沼泽地都会成为阔叶林。如果再暖和一点，高山山顶也会有此愿望。就好像在复杂的吃与被吃的食物链网中，无休止的生存竞争搅动着该地区混杂在一起的物种，直到混合态变成阔叶林这种顶极形态（或是其他气候条件下的特定顶极群落），那时，一切就会平静地归于一种大家都可接受的和平，土地就在顶点混合状态下平息下来。

演替达到顶极期时，多样物种间的相互需求漂亮地合拍，使整体很难遭到破坏。在短短三

·
121 顶级群落：群落演替的最终阶段是顶极群落。顶极群落是最稳定的群落阶段，其中各主要种群（如某种阔叶林、松、牧草等）的出生率和死亡率达到平衡，能量的输入和输出以及生产量和消耗量也都达到了平衡。只要气候、地形等条件稳定，不发生意外，顶极群落可以几十年几百年保持稳定而不发生演替。现在地球上的群落大多是在没有人为干扰下经过亿万年的演替而达到的顶极群落。——摘自《普通生物学-生命科学通论》，陈阅增。

十年内，北美的原种栗树就完全消失了 122——这些强势的栗树本是北美森林主体的重要组成部分。然而，森林的其他部分并未遭受巨大影响，森林依然挺立着。物种间的特殊混合产生的持久稳定性——生态系统——显示了类似属于有机体的和谐性的某种盆地效应。互相支撑中驻留着某种具有整体性而且富有生命力的东西。也许一片枫树林仅仅是由较小有机体组成的巨大的有机体。

另一方面，奥尔多·利奥波德写道，“若依普通的物理度量，无论是质量还是能量，松鸡在一英亩的土地生态系统中仅是沧海一粟。但是若从系统里拿走松鸡，整个系统也就停转了。”

·
122 北美原种栗树的消失：一百年前，美国东海岸还都生长着巨大的美洲栗树。在阿巴拉契山脉，许多山头都是整片的栗树林。人们说，松鼠们只需在栗树的枝头跳跃，就可以轻松地南方的佐治亚跳到纽约，爪子都不用沾地。一百年前，物

种交流引起一场大灾难。亚洲移植的栗树携带有一种霉菌，亚洲栗树对这种霉菌有很强的抗病力，美洲栗树对此却毫无抵抗能力。从第一棵树的发病开始，只经历了短短几十年，到上世纪五十年代，美国东部地区九百万英亩森林中的主要品种——美洲栗树，已经事实上全部灭绝了。直到现在，得到很多民众支持的美洲栗树基金会仍在做着徒劳而不懈的努力。

6.3 生态系统：超有机体，抑或是身份作坊

123？

1916 年，生态学奠基人之一弗雷德里克·克莱门茨

124 把类似山毛榉阔叶林这样的生物群落

称为自然产生的超有机体。用他的话说，顶极群落构成的就是一个超有机体，因为“它产生，发展，成熟，死亡...的主要特点，堪比单株植物的生命历程。”由于森林自身就能在荒废的密歇根田地再次播种，克莱门茨将其描绘为繁殖，生物体的另一个特性。对于任何一位敏锐的观察者而言，山毛榉—枫树林

125 差不多和乌鸦一样展示出了完整性和身份特征。能够可靠地

繁殖自身，并在空地和不毛的沙地上传播，除了（超）有机体，我们还能把它叫做什么？

二十世纪二十年代，超有机体在生物学家眼里可是个时髦词。用来描述在那时尚属新奇的想法：群集的干员（agent）协力行动，产生由整个群体控制表达的种种现象。就像点点霉斑将自身聚合为粘液菌，一个生态系统也能结合而成一个稳定的超组织（superorganization）——蜂群或森林。一片乔治亚州松树林的行为与单棵松树不同。得克萨斯州山艾树荒原也不同于单棵的山艾树，就像鸟群不是一只大鸟，它们是另一种有机体。动植物联合成松散的联邦，展现出有一个自己独特行为方式的超有机体。

克莱门茨的竞争对手，另一位现代生态学之父，生物学家格利森 126 认为，超有机体联邦的观点过于牵强，很大程度上是人类内心的产物，试图能在各处发现模式。格利森反对克莱门茨的假设，他提出顶极群落仅仅是生物体偶然形成的联合，其兴衰取决于当地气候和地质条件。生态系统更似一个联合会而非社区——不确定，多元，包容，不断流变。

自然界的万千变化为这两种观点都提供了证据。在某些地方，群落间的边界是明确的，更符合生态系统是超级有机体的期待。太平洋西北部多岩石的海岸沿线，高潮期的海藻群落和临水侧的云杉林之间是杳无人烟的贫瘠海滩。站在数尺宽的狭窄沙盐地带，仿佛可以感受到两侧

.

123 身份作坊：物种的身份——即其区别于其他物种的特性——不是特意地、带有预判地创造的，而是通过“彩排……物

种彼此尝试演练不同的角色”，进化到某处，自然而然地涌现出来的，因而是漫无目的的、作坊式的、细敲碎打的。

.

124 弗雷德里克·克莱门茨（Frederic Clements, 1874~1945）：美国植物生态学家，植被演替研究的先驱。

·
125 山毛榉-枫树林群落：是北美地区常见的植物顶极群落。

·
126

H.

A. 格利森 (H.A. Gleason, 1882~1975)：美国著名生态学家、植物学家及分类学家，以其对个体/开放群落的生态演替概念的支持而著称。

的两个超有机体，正忙碌着各自的烦恼尘缘。另一个例子在中西部地区，落叶林和开满野花的草原之间有着无法渗透的边界，引人注目。

为解开生态超有机体之谜，生物学家威廉姆·汉密尔顿

127 从二十世纪七十年代开始在电脑上

为生态系统建模。他发现，在他的模型中（和现实生活中一样）很少有系统能自组织形成任何一种可持久的连贯一致性。我上述的例子是野外生物界的例外。他还找到了另外几个例子：几千年来，水藓泥炭沼泽抵制了松树的入侵。苔原冻土带也是如此。但是大多数生态群落跌跌撞撞地发展出的杂交混合物种，并未作为一个整体给整个群落提供特别的自卫能力。从长远来看，大多数生态群落，不管模拟的还是真实的，都很容易受到外部的侵入。

格利森是正确的。一个生态系统内各成员间的连接远比有机体内各成员间的连接更为易变和短暂。从控制论的角度看，象蝌蚪这样的有机体和淡水沼泽这样的生态系统之间控制方式的不同在于，单个有机体受到严格紧密的束缚，而生态系统则宽松自由，不受束缚。

长远来看，生态群是临时性的网络。尽管有些群落相互联系紧密，近乎共生，大多数物种在进化期内还是漫无目的地随着伙伴的自身进化而与不同的伙伴同行。

从进化的时间尺度上看，生态学可以看做一场漫长的带妆彩排。对生物类型来说，那就是个身份作坊。物种变换角色尝试与每个物种合作，探索合作关系。随着时间的推移，角色和扮演融入到生物体的基因中。用诗意的话讲，基因不愿意将取决于其邻伴行为方式的任何交互作用和功能吸收进自己的编码，因为邻里关系时时刻刻都在发生变化替换。基因宁愿为保持灵活、独立和自由付出些代价。

同时，克莱门茨也是对的。存在某种效率盆地：假定其他条件不变，可以使特定的混合群体达到稳定的和谐状态。譬如，设想一下山谷两边岩石滚落谷底的方式。不是所有的岩石都能在谷底着陆；某些石头可能会卡在某个小山丘。同样，在山水间的某处，也可以发现未达到顶极群落状态的稳定的中间级物种混合群落。在极短的地质时期——几十万年——内，生态系统形成一个亲密的团体，既与外界无涉也无需额外物种加入。这些联合体的生命甚至远比个体物种的生命还要短暂，个体物种通常可以存续一两百万年。

为使进化发挥效力，参与者之间必须具有一定的连接性；所以在那些紧密连接的系统里，进化的动力得以尽其所能。在连接松散的系统里，比如生态系统、经济系统、文化系统，发生

.
127 威廉姆.汉密尔顿 (William Hamilton, 1936~2000): 英国进化生物学家, 二十世纪最伟大的进化理论家。

的是不那么结构化的适应性调整。我们对松散系统的一般动力学所知甚少, 是因为这种分散的改变是杂乱的、无限间接的。早期的控制论专家霍华德.派蒂

128 将层次结构定义为一个连接性频

谱。他说, “在理想主义者的眼中, 世上万物间都互有联系——也许的确如此。每个事物都有联系, 有的事物会比其他事物有更多的联系。” 派蒂定义的层级是系统内的连接性差异化的产物。那些联系松散以至于“扁平化”的成员, 容易形成一个独立的组织层次, 与那些成员间联系紧密的区域分离开来。不同的连接性区域产生了层级构造。

用最普适的话来说, 进化是紧密的网络, 生态是松散的网络。进化性的改变像是强力束缚的进程, 非常类似于数学计算, 甚或思维活动。在这种意义上, 它是“理智的”。另一方面, 生态变化则像是低等智力的、迂回的过程, 以那些对抗风、水、重力、阳光和岩石的生物躯体为中心。生态学家罗伯特.洛克利夫

129 这样写道, “群落 [生态学的] 属性是环境的产物而非进

化史的产物。”。进化是直接由基因或计算机芯片产生的符号信息流控制的, 而生态则受控于不那么抽象, 但更多杂乱无章的复杂性, 这种复杂性来自于肉体。

因为进化是这样一个充满符号信息的过程, 所以我们现在能人为创造并加以控制, 但因为生态变化受到有机体本体的约束, 只有当我们能更容易地模拟出生物躯体和更丰富的人工环境时, 才能加以合成。

.
128 霍华德.派蒂 (Howard Pattee): 任职于

T.

J.沃森学校系统科学与工业工程系以及纽约州立大学工程及应用科学

系。主要研究包括: 复杂系统进化模式, 动态系统语言控制及理论生物学。

.
129 罗伯特.洛克利夫 (Robert

Ricklefs): 美国鸟类学家和生态学家。2006 年因其在鸟类学领域的毕生成就而获库珀鸟类学社团罗伊和奥尔登米勒研究奖。

6.4 变化的起源

多样性从何而来? 1983 年, 微生物学家朱利安.亚当斯

130 在培养一族大肠杆菌菌群的时候

发现了一个线索。他将培养基提纯, 得到具有完全一致的不变性的同一菌类。他将这族菌群放入一个特制的恒温器, 给菌株提供一个均匀一致的生长环境——每个大肠杆菌都享有相同的温

度和营养液。然后他令这些一模一样的菌虫复制并发酵。经过四百代的裂变之后，大肠杆菌孕育出与其本身基因稍有变异的新菌株。在恒常不变没有特色的环境中，生命自发地走向了多样化。

亚当斯很惊讶，他仔细研究那些变体（它们不是新物种）的基因，想查明发生了什么。某个初始的细菌经历了一次变异，使其分泌有机化学物质乙酸酯。另一个细菌经历的变异使它能够利用第一个细菌分泌出来的乙酸酯。乙酸酯制造菌和乙酸酯采食菌的共栖协同依赖性突然从均质性中显露头角，这一群体分化成了一个生态体系。

虽然均质性也能产生多样性，但是不一致产生的效果会更好。假使地球像闪亮的轴承滚珠一样平滑——像完美的球状恒化器般均衡地分布着同样的气候和土壤——那么地球所拥有的多姿多彩的生态群落就要大大减少。在一个持久不变的环境里，所有的变异和多样性必须由内力驱动产生。其他共同进化的生命将是作用于生命的唯一限制。

假如进化可以自行其道，不受地理或地质变化力的干扰——换言之，脱离躯体的拖累——那么这似乎有意识的进化就会将进化产物作为进一步进化的输入，产生深度递归的关系。一个没有山脉，没有风暴，也没有出乎意料的干旱的地球上，进化会将生命卷进越缠越紧的共同进化之网，形成充满沉湎于不断加速的协同依赖性的寄生物、寄生物之寄生物（即重寄生物）、仿制品以及共生体的平淡世界。但由于每一物种与其它物种的耦合如此之紧密，想要分辨从何处起算是一个物种的身份发端和另一个物种的身份消亡就很困难。最后，滚珠般均匀的星球上的进化会将所有的事物一股脑地塑造成一个在全球范围内超级分布式的、单一、巨大的超个体（超有机体）。

出生环境恶劣的极地生物，必须随时应对大自然强加给它们的难以捉摸的变化。夜晚的严

.

130 朱利安·亚当斯 (Julian Adams): 理学博士，曾在普洛斯基普公司、勃林格殷格翰公司担当过多种职务。在勃林格殷格翰公司工作时成功发现了对抗艾滋病的药物 Viramune.。

寒，白昼的酷热，春天融冰过后的暴风雪，都造就了恶劣的栖息环境。而位于热带或深海的栖息地相对“平稳”，因为它们的温度、雨量、光照、养分都持久不变。因此，热带或洋底的平和环境允许那里的物种摒弃以改变生理机能的方式适应环境的需要，并给它们留下以单纯的生态方式适应环境的空间。在这些稳定的栖息地里，我们大有希望观察到许多怪异的共栖和共生关系的实例——寄生吞噬寄生，雄性在雌性体内生活，生物模仿、伪装成其他生物——事实也正是如此。

没有恶劣环境，生命就只能自己把玩自己，但仍然能够产生变异和新特性，无论在自然界还是人工仿真界，通过将生物投入恶劣而变化多端的环境都能产生更多的多样性。

这一课对于那些设法在电脑世界里创造仿真行为的众神仿效者们并非毫无教益。自我复

制、自我变异的电脑病毒一旦被释放进处理资源均匀分布的电脑存储器，便快速进化成一大群递归复制的变种，有寄生，有重寄生，还有重重寄生。有个名叫戴维·艾克利

131 的电脑生命研究

员告诉我：“我最终发现，想要得到和生命真正类似的行为，不是设法创造出真正复杂的生物，而是给简单的生物提供一个极其丰饶的变异环境。”

131 戴维·艾克利 (David

Ackley): 卡内基梅隆大学物理学博士。在新墨西哥大学任职之前，他是贝尔通信研究所认知科学研究组的研究员。他的研究兴趣集中在人工生命模型和人工生命实体；目前研究重点包括遗传算法及程序设计，分布式计算和社会性计算，以及计算机安全。

6.5 生生不息的生命

这大风天的下午两点，离上次午夜远足六个月之后，我又爬上了屋后的山丘。冬雨洗得草儿绿，大风吹得草儿弯。爬到山脊不远处，我在野鹿卧在软草上压成的一个圆圆的草垫前停下。踩过的草茎饱经风霜，浅黄中微微带紫，这颜色好像是从鹿的肚子上蹭下来的。我在这草窝中歇息。头顶上是呼号的风。

我看见吹弯的草叶下蜷缩着的野花。不知什么原因，所有的物种都是紫蓝色的：羽扇豆，蓝眼草，蒲公英，龙胆草。在我、偃伏的草叶、还有远处的大海之间，是披挂着银绿色叶子粗矮的灌木丛——典型的荒漠版本。

这里有一株野胡萝卜花。它叶子上的纹路纵横交错，精细而复杂，令人眼花缭乱。每片叶子上排列着

24 片小叶，其中每片小叶之上又排列着

12 片更小的细叶。这种递归式的形状无疑

是某种过度处理的结果。其顶生的复伞形花序，由

30 朵奶白色的小碎花簇拥着中心一朵小紫

花，同样令人感到意外。在我歇息的这个草坡，多种多样的生命形式各自势不可当地呈现着自己的细节和不可思议。

我本应感动。但是坐拥这两百万棵草本植物以及数千棵杜松灌木林，对我冲击最大的却是想到地球上的生命是何其相像。在被赋予生命的物质所能采用的所有形状和行为中，只有少数几种及其广泛的变异形式通过了选拔。生命骗不了我，一切都是一样的，犹如杂货店里的罐头食品，尽管商标不同，却是由同一个食品集团制造。显然，地球上的所有生命都来自同一个超越国界的联合大企业。

我坐着的草棵支愣着，乱蓬蓬的蒲公英杆刮着我的衬衫，棕胸燕朝山下俯冲：它们是向四面八方滋蔓的同一事物。我之所以懂得，是因为我也被拉扯进去了。

生命是一种连结成网的东西——是分布式的存在。它是在时空中延展的单一有机体。没有

单独的生命。哪里也看不到单个有机体的独奏。生命总是复数形式（直到变成复数以后——复制繁殖着自己——生命才成其为生命。）生命承接着彼此的联系，链接，还有多方共享。“你和我，血脉相同，”诗人莫格利柔声吟咏。蚂蚁，你和我，血脉相同。暴龙，你和我，血脉相同。艾滋病毒，你和我，血脉相同。

生命将自己分散成为显在的众多个体，但这些不过是幻象。“生命〔首先〕是一种生态属性，而且是稍纵即逝的个体属性。”微生物学家克莱尔·福尔索姆这样写道。克莱尔专爱在瓶子里搞超有机体。我们分布式地生活在同一个生命里。生命是一股变换的洪流，一路注满空容器，满溢出之后再注入更多的容器。无论那些容器的形状和数量如何，都不会对此造成丝毫影响。

生命像一个极端分子，运行起来时狂热而不加节制。它到处渗透，充塞大气，覆盖地表，还巧妙地进入了石床的缝隙，谁也无法拒绝它。如洛夫洛克所言，我们每挖出一块远古岩石，也就同时挖出了保存在那里的远古生命。约翰·冯·诺依曼，用数学术语思考生命，他说：“生命有机体……从任何合理的概率论或热力学理论来看，都属于高度不可能……〔但是〕倘若因由任何一次概率论无从解释的意外，竟然真的产生了一个生命，那么，就会出现许多生命有机体。”生命一旦形成，便迅速占领地球，征招所有类型的物质——气体，液体，固体——纳入它的体制。“生命是一个行星尺度的现象，”詹姆斯·洛夫洛克说。“一个星球上不可能只有稀疏点点的生命。否则它就会像只有半个身子的动物那样站立不稳。”

如今，整个地球表面覆盖着一层整体生命的薄膜。这个外罩怎么也脱不掉。撕开一个口子，外罩会自行将破处修补。蹂躏它，外罩会因此变得更繁茂。这不是件破衣烂衫，它苍翠华丽，是一件覆盖地球巨大躯体的艳丽长袍。

实际上，它是一件永恒的外套。生命对我们保有一个大秘密，这秘密就是，生命一旦出世，它就是不朽的。一旦发动，它就是不能根除的。

不管环保激进人士怎么说，完全消除地球上的生命洪流都超越了人类的能力。即使是核弹，也无法在整体上令生命停止，说不定，它实际上还能增加非人类的变体。

数十亿年前，生命肯定有过一次跨越不可逆性门槛的行动。我们称之为

I点（I是不可逆转或不朽的缩写）。

I点之前生命是纤弱的；它面临的是一面陡峭向上的高坡。四十亿年前地球上频繁的陨石冲击，强烈的射线，大起大落的温差，给所有半成型、准备复制的复杂体造成了难以置信的恶劣环境。但随后，如洛夫洛克所描绘的，“在地球历史的太古期，气候条件形成了一个恰好适合生命诞生的机遇窗口。生命获得自我创生的短暂时期。如果它当初失败，也就没有未来的整个生命系统了。”

可是一旦扎下了根，生命就再也不撒手了。并且，一旦越过了

I点，生命就不再娇贵脆

弱，而会出落得桀骜不驯。单细胞细菌出奇地不屈不挠，它们生存在每一种你想得到的恶劣环境中，包括强辐射地区。将病房里的细菌完全清除？也许只有医院才知道这根本就是天方夜谭。从地球上把生命抹去？哈！做梦吧！

我们必须留意生命永不停歇的本性，它与活系统的复杂性密切相关。我们打算制造类似蝗虫程度的复杂机器，将它们播散到世界中。一旦登场，它们就不会下台。迄今为止，病毒猎手们编写过的数千种电脑病毒，没有一种灭绝了。据杀毒软件公司说，每星期都有数十种病毒诞生。只要我们还在用电脑，它们就和我们相伴在一起。

之所以无法令生命止步，是因为生命动力的复杂性已经超过了所有已知破坏力的复杂性。生命远比非生命复杂。生命自己就能打理死亡的事宜——掠食者分食被掠食者——由一种生命形式消费掉另一种生命形式在总体上无损整个系统的复杂性，甚至可能增加它的复杂性。

全世界所有的疾病和事故，每天

24 小时、每星期

7 天，永不止歇地向人类机体进攻，平均要用

621960 小时才能杀死一个人类个体（注，即世界人口平均寿命）。即以七十年全天候的攻击来突破人类生命的防线——不计现代医学的干扰（现代医学既可加速也可延缓生命的死亡，视你所持观点而定）。这种生命的顽强坚持直接源于人体的复杂性。

相比之下，一辆做工精湛的轿车最多开上二十万英里就会用坏一个气缸阀门，行驶时间大约是五千个小时。一台喷气机的涡轮发动机可运转四万小时。一个没有可动部件的普通灯泡可使用二千小时。非生命复杂体的寿命比之生命的执著，简直不能相提并论。

哈佛大学医学院的博物馆里，专门用一个陈列柜摆放着“撬棍头骨”。这个头骨被高速飞来的撬棍粗暴地打了一个洞。头骨属于菲尼亚斯·盖吉，他是十九世纪一个采石场的工头，在用铁棍将注入孔洞的黑色炸药捣实的时候，炸药爆炸了。铁棍打穿了他的头。他的手下将露在他脑袋外面的铁棍锯断，然后把他送到一个设备极差的医生那里。据认识他的人传说，盖奇此后又活了十三年，功能或多或少还算齐全，只不过变得脾气暴躁。这是可以理解的。但他的身体还能运转。

人少了一个胰脏，缺了一个肾脏，或切了一节小肠，可能不能跑马拉松了，但他们还都能存活。当身体的许多小部件——尤其腺体——功能降低的时候会引起整体死亡，但这些部件都有厚重的缓冲使其轻易不会破损。的确，避免破损解体是复杂系统主要的属性。

野生状态下的动植物常常在遭受猛烈的暴力或损害后仍能存活。据我所知唯一一次有关野

外损害率量度的研究是以巴西蜥蜴为对象，而其结论是有百分之十二的蜥蜴至少缺失了一只爪趾。麋鹿中枪之后仍能存活，海豹被鲨鱼咬过也能痊愈，橡树被砍伐之后还会抽芽。一次实验

中一组腹足动物 132 被研究人员故意压碎了壳，然后放归野外生活，之后它们活得和未受损的对照组一样长。自然界中，小鱼“鲨鱼脱险”不算什么，老朽过世若能导致系统崩溃才是英雄壮举。。

形成网络的复杂性会逆转事物间通常的可靠性关系。举例来说，现代照相机中的单个开关件可能有百分之九十的可靠性。把数百个开关凑合着连成一个序列，如果不按分布式排列，这数百个开关作为一个整体，其可靠性就会大大降低——就算它们有百分之七十五的可靠性吧。而如果连接得当——每一个开关都把信息传给其他开关——比如在先进的小型数码相机中，与直觉相反，照相机整体的可靠性可上升至百分之九十九，超出了每个个体部件的可靠性。

但此时照相机有了许多新的由部件组成的子集，每个子集就像是一个部件。这样的虚拟部件越多，部件层面发生不可预知行为的总体可能性就会越大。出错的路径千奇百怪。因此，虽然作为一个整体的照相机的可靠性更高了，但当它出现意外时，就常常是想象不到的意外。老相机容易失灵，也容易修。新相机则会创造性地失灵。

创造性地失灵是活系统的标记。寻死很难，但导致死亡的路却有无数条。1990 年，两百多个高薪的工程师紧张工作了两个星期来找出当时全美电话交换网频繁出现各种状况的原因，而正是这些工程师设计和建造了这个系统。问题在于，某种状况可能过去从未出现过，并且可能将来也不再会出现。

每个人的出生情况都大致相同，每一例死亡却不相同。如果验尸官愿意给出精确的死因证明，那么每一例死亡就都是独一无二的。医学觉得一般化的结案和归类更为有益，因此没有记录每一例死亡独有的真正特性。

复杂系统不会轻易死亡。系统的成员与其整体达成了一种交易。部件们说：“我们愿为整体牺牲，因为作为一个整体的我们大于作为个体的我们的总和。”生命与复杂交织。部件会死，但整体永存。当系统自组织成更复杂的整体，它就加强了自己的生命。不是它的生命长度，而是它的生命力度。它拥有了更多生命力。

我们往往将生与死想象成二元性的；一个生物非死即生。但生物体内自组织的子系统使人

.

132 腹足动物：软体动物门中物种最多的一个纲。蜗牛以及田螺、玉螺、骨螺等等各种各样的海生螺类都属于这个纲。

联想到，有些东西比别的东西更有活力。生物学家林恩·马基莉斯还有其他人指出，甚至单一的细胞也是以复数形式存活的，因为每一个细胞都至少留有细菌的三个退化形式，是历史性联姻的结果。133

“我是所有生命中最有活力的，”俄国诗人塔科夫斯基（电影摄制者之父）聒噪道。这从政治角度说来不对，但有可能是事实。麻雀和马的活力可能没有实质的不同，但马和柳树，病毒和蟋蟀之间的活力就不同了。活系统的复杂性越高，里面栖息的生命力就可能越多。只要

宇宙继续变冷，生命就会逐步建立更多奇怪的变体，构筑更加互联的网络。134

133 细胞的起源：距今

39 亿年前古细菌、蓝菌（俗称蓝藻）是地球上最初的生命形式，拥有细胞质、细胞壁、细胞膜，我们称为原核生物，而后的真核细胞拥有细胞核、高尔基体（细胞器）、线粒体、内质网等，进行有丝分裂，是真正的细胞。按照现在普遍接受的内共生理论，线粒体是最初真核生物吞噬细菌后，形成共生关系而进化出来的；同样叶绿体是真核生物吞噬蓝菌后共生而来的；细胞器也是如此。

134 热寂和熵减的关系：本书作者在

2008 年的一次访谈中说道：“人们都说，没有什么能逃脱冷酷的热力学第二定律，宇宙的最后归宿是一片热死寂。但这不是故事的全部，宇宙在沉寂的同时，也在热闹起来，从旧物中带来新生、增加复杂性的新层次。宇宙充满了无尽的创造力。熵和进化，两者就象两支时间之矢，一头在拖拽着我们退入无穷的黑暗，一头在拉扯着我们走向永恒的光明。”

6.6 负熵

我再次登上屋后的山丘，漫步至一小片桉树林，本地的

4-H 俱乐部

135 曾在这里放养蜜

蜂。每日的此时，小树林都在特有的水汽笼罩下打盹儿；树林所处的面向西方的山丘，挡住了早晨温暖的阳光。

我想象历史开篇时这山谷瘦石嶙峋的贫瘠模样——满山裸露的石英岩和长石，荒凉而闪亮。十亿年倏忽而过。而今，岩石披上了如织的草毯。生命用成片高过我头顶的树木填补了一片小树林的空间。生命正努力填满整个山谷。下个十亿年，它会不断尝试新造型，并在所有能找到的缝隙或空地勃发成长。

在生命出现之前，宇宙中没有复杂的物质。整个宇宙绝对简单，盐、水、元素，乏味之极。有了生命之后，就有了许多复杂物质。根据天体化学家的观点，在生命之外的宇宙中，我们无法找到复杂分子团（或大分子）。生命往往劫持所有它能接触到的物质并把它复杂化。经由某种离奇的术数，生命向这山谷注入的活力越多，它给未来生命创造的空间就越大。最终，这片加利福尼亚北部海岸蜿蜒的小山谷将会变成一整块坚实的生命。如果任它随意飘摇，生命最终会渗透所有物质。

为何从太空看到的地球不是莽莽苍苍？为何生命尚未遍及海洋并充满天空？我相信假使由它自生自灭，地球总有一天会绿成一体。生物体对天空的侵入是相对较近的事件，而且事情还没完结。海洋的完全饱和有待巨藻铺天盖地，进化到能抵御风浪的撕扯。但最终，生命将凌驾一切，海洋会变为绿色。

将来某一天，银河系也可能变为绿色。现在不利于生命的那些行星不会永远如此。生命会进化出别的形式，在目前看来并不适宜的环境里繁盛起来。更重要的是，一旦生命的某个变体在某处有了一席之地，生命固有的改造本性就会着手改变环境，直到适合其他物种的生存。

二十世纪五十年代，物理学家欧文·薛定谔

136 将生命活力称为“负熵”，意即与热力学的熵

.

1354-H: 头 (Head), 心 (Heart), 手 (Hands), 健 (Health)。4-H Club 又作四健会。

.

136 欧文·薛定谔 (Erwin

Schrödinger): 著名的奥地利理论物理学家，量子力学的重要奠基人之一，同时在固体的比热、统计热力学、原子光谱及镭的放射性等方面的研究都有很大成就。

增是反向的 137。二十世纪九十年代，一个活跃在美国的科技主义亚文化群体把生命力称作“外熵”

138。

外熵概念的鼓吹者自称为“外熵族”。基于生命外熵的活力论本质

139，他们发表了关于生

活方式的七点声明。声明第三点是纲领性条文，申明他们“无疆界扩展”的个人信仰——即生命会一直扩张，直至充满整个宇宙。那些不这么认为的人，被他们贴上“死亡主义者”的标签。从他们的宣传来看，这一信条不过是盲目乐观者的自我激励：“我们无所不能！”

但我仍有些固执地把他们的鼓吹当作一个科学主张：生命将会充满宇宙。没有人知道生命所引起的物质扩散的理论极限在哪里，也没有人知道我们的太阳最多能支持多少带有生命印记的物质。

二十世纪三十年代，俄罗斯地球化学/生物学家沃尔纳德斯基写道：“最大化扩张的属性是活物与生俱来的，就如同热从温度较高的物体传到温度较低的物体，可溶性物质溶入溶剂，以及气体扩散到空间。”沃尔纳德斯基称之为“生命的（物理）压力”并且以速率来度量这种扩张。他认为大马勃菌的扩张速度是生命中最快的。他说，大马勃菌产生孢子的速率极快，如果能够快速地为其发育提供原料，那么只须繁殖三代，大马勃菌的体积就能超过地球。按照他晦涩难懂的算法，细菌生命力的“传输速度”大约为每小时一千公里。以这样的速度，生命填满宇宙就要不了太久。

当还原至其本质时，生命很像是计算用的函数。与众不同的思想家爱德华·弗雷德金

140 曾在

麻省理工大学工作过，他构思出一个异类的理论，说宇宙是一台计算机。不是比喻意义上的电脑，而是说物质和能量也是信息处理的形态，其对信息处理的方式与一台麦金塔电脑里的内部

处理方式相同。弗雷德金不认同原子的不可分性，他坦率地说：“世界上最具体的东西就是信

137 负熵 (negentropy): 自然万物都趋向从有序到无序，即熵值增加。而生命需要通过不断抵消其生活中产生的正熵，使自己维持在一个稳定而低的熵水平上。生命以负熵为生。——摘自《生命是什么——活细胞的物理学观》，薛定谔。

138 外熵 (extropy): 系

1988 年

1 月由汤姆·比尔杜撰，并由马克斯·摩尔定义为“生命系统或有组织系统内的智力、功能秩序、活力、能量、生活、经验以及能力还有改进和成长的动力。”外熵只是一种隐喻，还未成为技术名词，故此，它不是熵的反义（反义词是负熵），尽管也有考虑将它作为专用反义词的。马克斯·摩尔撰写的《外熵的哲理》，其原意旨在阐述其超人主义。——译自“维基百科”

139 活力论和还原论：两者的纷争由来已久，鉴于逐渐意识到生命体独特的复杂性和整体性，近年来科学界已不再象过去那样排斥活力论了。

140 爱德华·弗雷德金 (Ad

Fredkin): 曾任麻省理工学院计算机实验室主任，鼓吹“宇宙就是一台电脑”的思想。

息。”在多种计算机算法领域做出过开拓性工作的数学天才斯蒂芬·沃尔夫拉姆

141 对此表示赞

同。他是首批将物质系统视为计算性处理过程的人之一，其后这个观点便在一些物理学家和哲学家的小圈子里盛行起来。根据这个观点，生命达成的极小工作，其物理与热力学性质与计算机中达成的极小工作类似。弗雷德金及其合作者会说，知道了宇宙能够进行的最大的计算量（如果我们将其中的全部物质视做一台计算机），我们就能够知道，在给定我们所看到的物质

142

143

和能量的分布下，生命是否能够充塞宇宙。
。我不知道是否有人作过那个计算。

认真考虑过生命的最后命运的科学家很少，理论物理学家弗里曼·戴森

144 是其中之一。戴森

做过粗略的计算，以估计生命和智力活动是否能够存活到宇宙最终完结之时。他的结论是，能。他写道：“我计算的数值结果显示，永久生存和信息交流所需的能量不算很大，这令人惊

讶……这强有力地支持了对生命潜力持乐观态度的观点。无论我们向未来走得有多远，总会有新鲜事物发生，有新信息进入，有新世界去开发，有可供不断拓展的生命、意识、知觉和记忆疆域。”

戴森将这个观念推进到我不敢想象的程度。我操心的只是生命的动力，以及它如何渗透所有的物质，还有为何已知万物没有一个能够阻止它。然而正如生命不可逆转地征服物质，类似生命的，我们称之为心智的更高级的处理能力，也一发不可收地征服了生命，并因而征服了所有物质。戴森在他抒情而又形而上学的书——《全方位的无限》（Infinite in All Directions）中写道：

在我看来，心智渗透及控制物质的倾向是自然定律……这种渗透深入宇宙，不会被任何灾

141 斯蒂芬·沃尔夫拉姆（Stephen Wolfram，1959.08.29～）：生于伦敦，美国物理学家，数学家，商人。以其在理论粒子物理学、宇宙学、格状自动机、复杂性理论及计算机代数方面的成就著称，是计算机程序 Mathematica 的创建人。

142 宇宙的总质量：有机体的基本构成粒子都来源于宇宙物质，来自恒星和星云。宇宙的粒子总数是一定的，约为 10^{80} ，一个人体约为 10^{28} 。那么，根据维持生命存活所必须环境温度、压力、日光等物理变量计算出符合要求的恒星系统的大小、分布和类型以及其所需的基本粒子数量，也许就能推测生命能否奢侈到布满宇宙各个角落。

143 关于宇宙所能进行的最大计算量：2000 年麻省理工学院的赛斯·劳埃德给出了计算值（本书成书于 1994 年），他依据光速、普朗克常数、万有引力常数等物理规律，按信息论把所有基本粒子看成可储存并计算 0 和 1 的二进制运算单元。 120×10^{90}

根据宇宙所包含的总能量，劳埃德算出宇宙计算机可以执行 10^{10} 次基本运算。而它能存储的信息则大约有 10^{10} 比特。考虑

到计算还需要能量和时间，上述数值已按爱因斯坦的质能方程和量子物理理论作了修正。

144 弗里曼·戴森（Freeman Dyson, 1923.12.15~）：优秀的理论物理学者，早年作为量子电动力学的巨擘，与诺贝尔物理学奖擦肩而过。1956 年发表的《自旋波》论文被无数次引用，堪称物理学史上的重量级论文之一。戴森称，“自旋波”或许是他一生最重要的贡献。

难或我所能想象的任何藩篱永久阻挡。假如我们这个物种不走在前头，别的物种就会带头，也许已经走在前头了。假如我们这个物种灭绝，其它物种会更聪明更幸运。心智是有耐心的。它在奏响第一阙弦乐四重奏之前，在这个星球上等待了三十亿年。或许还需要三十亿年它才能遍布整个银河系。我认为不会等这么久。但是如果需要的话，它有此耐心。宇宙就像在我们周边展开的沃土，准备好等待心智的种子萌芽、生长。或迟或早，心智终将践行传承。当它知会并控制宇宙之后会选择做什么？这个问题我们不能奢望回答。

6.7 第四个间断：生成之环

大约一个世纪以前，人们普遍信奉生命是注入活物的一种神秘液体的观点，被精炼为现代哲学所谓的活力论。145 活力论与平常的“她失去了生命”这句话意义相差并不远。我们都设想某些不可见的物质会随着死亡而流走。活力论者认真看待这一专属的含义。他们认为，活跃于生物体内的本质灵魂，其自身并不是活体，也不是无生命的物质或者机械。它是某种别的东西：是存在于被它激活的生物体外的原脉动。

我对生命侵略特性的描述并不意味着要将它当变为后现代的活力论。的确，将生命定义为：“通过组织各个无生命部分所涌现的特性，但这特性却不能还原为各个组成部分，”（这是科学研究目前能给出的最好定义），这非常接近形而上学的调调，但其目的是可以测试的。

我认为生命是某种非灵性的、接近于数学的特性，可以从对物质的类网络组织中涌现。它有点像概率法则；如果把足够多的部件放到一起，系统就会以平均律展现出某种行为。任何东西，仅需按照一些现在还不知道的法则组织起来，就可以导出生命。生命所遵循的那些定律，与光所遵循的那些定律同样严格。

碰巧，这一受自然法则支配的过程给生命披上了件貌似灵性的外衣。第一个原因是，按照自然法则，这种组织必定产生无法预知的、新奇的东西。第二，组织的结果必须寻找各种机会复制自身，这让它有一丝急迫感和欲望，第三，其结果能轻易环接起来保护自身存在，并因此获得一种自然发生的流程。综合起来，这些原则也许可以称为生命的“涌现性”原理。这一原理是激进的，因为它要求以一种修正的理念看待自然法则的含义：不规则性，循环逻辑，同义重复性，出奇的事物。

活力论，正如历史上每一个错误的观念，也包含了有用的真理片段。二十世纪主要的活力

145 活力论的历史：作者在这里的论述不尽符合事实。活力论由来已久，可以追溯到亚里士多德时期。他把生命这种要素区别于水、火、气、土，称为 *entéléchie*（完成）。活力论一直到 20 世纪仍有其代表人物，其中最后的一位即是文中所提到的胚胎学家汉斯·德里施。但是到了 20 世纪二、三十年代生物学家几乎普遍地否定了活力论。这是因为自牛顿、笛卡儿以来的自然科学的发展，物理定律、化学热力学定律的大批发现，使得朴素唯物主义的机械论、还原论占了上风。近三十年来，随着学界对生命独特的复杂性和整体性的重新认识，以及建立在分子生物学上的实验生命科学飞速进步，人们不再由于害怕活力论无法实证研究而排斥它，而是视之大有可为。

论者汉斯·德里施

146 在

1914 年将活力论定义为“关于生命进程自治的理论”。在某些方面他是 对的。在我们刚刚萌芽的新观点中，生命可以从活体和机械主体中分离出来，成为一种真实、自治的过程。生命可以作为一种精巧的信息结构（灵性或基因？）从活体中复制出来，注入新的无生命体，不管它们是有有机部件还是机器部件。

回顾人类的思想史，我们逐步将各种间断从我们对自己作为人类角色的认知中排除。科学史学家大卫·查奈尔

147 在他的著作《活力机器：科技和有机生命研究》中总结了这一进步。

首先，哥白尼 148 排除了地球和物理宇宙其他部分之间的间断。接着，达尔文排除了人类和有机世界其他部分之间的间断，最后，弗洛伊德 149 排除了自我的理性世界和无意识的非理性世界之间的间断。但是正如历史学家和心理学家布鲁斯·马兹利士

150 所指出的，我们依然面对着四个间断，人类和机器之间的间断。

我们正在跨越这第四个间断。我们不必在生物或机械间选择了，因为区别不再有意义。确实，这个即将到来的世纪里最有意义的发现一定是对即将融为一体的技术和生命的赞美、探索与开发利用。

生物世界和人造物品世界之间的桥梁是彻底不均衡的永久力量——一条叫做生命的定律。将来，生物和机器将共同拥有的精髓——将把它们和宇宙中所有其它物质区别开来的精髓——是它们都有自我组织改变的内在动力。

现在，我们可以假定生命是某种处于流变之中的东西，其遵循的规律是人类能够揭示和认知的，即使我们不能完全理解这些规律。在本书中，为探索机器和生物间的共同之处，我提出

以下这些问题：生命想要什么？我用同样的方式考虑进化，进化想要什么？或者更精确些，从生命和进化各自利益的角度来讲，它们怎么看待世界？假如我们把生命和进化看作自主自治的

146 汉斯·德里施（Hans Driesch, 1867.10.28～1941.04.16）：德国生物学家、哲学家。以其早期胚胎学实验性研究以及实体新活力哲学著称。

147 大卫·查奈尔（David Channell）：科学技术史博士，主要研究伦理学。

148 哥白尼（Copernicus, 1473～1543）：波兰天文学家，现代天文学创始人。创立日心说，推翻了托勒密的地心说，使自然科学开始从神学中解放出来，著有《天体运行论》。

149 弗洛伊德（Freud, 1856～1939）：奥地利神经学家、精神病医学家、精神分析的创始人。提出潜意识理论，认为性本能冲动是行为基本原因，主要著作有《释梦》、《精神分析引论》等。

150 布鲁斯·马兹利士（Bruce Mazlish）：麻省理工学院名誉历史学教授。

过程，那么它们的自私行为指向什么目标？它们要走向何方？它们会变成什么？

151

152

格瑞特·埃里克

在其充满诗意的《蒙大拿空间》

一书中写道：“野性没有条件，没有确

定的路线，没有顶点或目标，所有源头转瞬超越自身，然后放任自流，总在生成当中。靠CT 扫

瞄或望远镜无从探究其复杂性，相反，野性的真相有多个侧面，有一种率直的总是出乎意料的本性，就像我脚下的红花菜豆地上连串的野草莓。野性同时既是根源又是结果，就好像每条河流都头尾环绕着，嘴巴吞吃尾巴——吞、吞、吞到源头...”

野性的目的就是它自身。它同时是“根源和结果”，因和果混合在循环逻辑里。埃里克所谓的野性，我叫做活力生命的网络，是一种近似于机械力的流露，其唯一追求就是扩张自己，它把自身的不均衡推及所有物质，在生物和机器体内喷薄汹涌。

埃里克说，野性/生命总在生成当中。生成什么？方生方死，方死方生，生生不息。生命在生命之路上更复杂，更深入，更神奇，更处在生成和改变的过程中。生命是生成的循环，是自身催化的迷局，点火自燃，自我养育更多生命，更多野生，更多“生成力”

(
becomingness)。生命是无条件的，无时无刻不在瞬间生成多于自身之物。

如埃里克所暗指的，狂野的生命很像乌洛波洛斯衔尾蛇，吞掉自己的尾巴，消费自己。事实上，狂野的生命更加奇异，它是一个正在脱出自己肉身的衔尾蛇，吐出不断变得粗大的尾巴，蛇嘴随之不断张大，再生出更大的尾巴，把这种怪异图景溢满宇宙。

.
151 格瑞特·埃里克 (Gretel
Ehrlich): 1978 年开始写作，最有影响的著作是
1984 年由维京企鹅出版社出版的《旷野的
慰藉》(The
Solace of
Open
Spaces)，美国艺术及读书协会因此给她颁发了哈罗德
D.沃尔肖卓越散文奖。

.
152 《蒙大拿空间》: Montana
Spaces

第七章控制的兴起

7.1 古希腊的第一个人工自我

像大多数发明一样，自动控制的发明也可以溯源到中国古代。在一片风尘滚滚的平原上，一个身穿长袍的小木人站在一根短柱上，身子摇摇晃晃。柱子立在一对转动的车轮之间，拉车的是两匹套着青铜挽具的红马。

这具人像身着公元九世纪飘逸的中式长袍，一只手指向远方。当马车在草原上驰骋的时候，连接两个木头轮子的齿轮吱呀作响；在这些齿轮的神奇作用下，柱子上的小木人总是坚定、准确无误地指向南方。当马车左转或右转的时候，带有联动齿轮的轮子就根据变化作出反向修正以抵消车子位移，确保木人的手臂永远指向南方。凭借坚定的意志，木人自动地追寻着南方，永不知倦。它为王师指路，保证整个队伍不在古代中国的荒郊野岭中迷失。

中世纪中国的发明天才们心思真是活络阿！居住在中国西南惠水河汉的农民们，想在围炉宴饮时控制酒量，就发明了一个小装置，通过它的自行调节来控制住心中对酒的躁动渴望。宋代的周去非便在他云游溪峒的游记中记述过这种颇具酒趣的吸管。吸管以竹制成，长约一寸半，可自控酒量，牛饮小啜各得其乐。一条银质“小鱼”浮动其中，饮者或许已经酩酊大醉，无力啜饮，那么吸管里的金属鱼就会自动下沉，限制住梅子酒的暖流，宣告他的狂欢之夜已然结束；如果饮者啜饮过猛，同样不会喝到什么，因为浮标会借助吸力上升，堵住吸管。只有不疾不徐，平稳啜饮，才能享受到酒精带来的乐趣。153

不过，细考起来，无论是指南车还是酒吸管都不是现代意义上真正的自动（即自我控制）

装置。这两个装置只是以一种最微妙、最隐晦的方式告诉它们的人类主人，要想保持原来的行为状态就得作出调整，而改变行进方向或肺部力量这类事情则被交给了人类。按照现代思维的术语来说，人类是回路的一部分。要成为真正的自动装置，指向南方的木头人就应该自己改变车的行驶方向让它成为指南车。至少它的手指尖得挂一根胡萝卜，挑逗马（现在马在这个回路

153 控制饮酒量的装置：参见周去非（宋朝，1135～1189）的《岭外代答》。其实这个“吸管”不是放在嘴里吸，而是插在鼻子里吸，即所谓“鼻饮”。

里了）跟着前进。同样地，不管人使多大的劲来喂，酒吸管也都应当能自行调节酒的流量。不过，虽然算不上自动，指南车却使用了差速齿轮，这可是现代汽车的变速器在一千多年前的老祖宗，也是在磁力指南针无用武之力的武装坦克上辅助驾驶员的现代自瞄准火炮的早期原型。从这个意义上说，这些机巧的装置其实是自动化谱系上一些奇妙的流产儿。事实上，最早的、真正意义上的自动装置要比这还早一千年就出现了。

克特西比乌斯 154 是公元前三世纪中叶生活在亚历山大港的一位理发师。他痴迷于机械装置，而且在这方面也颇有天分。他最终成为托勒密二世 155 治下的一名机器工匠，正儿八经地制造起人工物品来。据说，是他发明了泵、水压控制的管风琴和好几种弩炮，还有传奇的水钟。当时，克特西比乌斯作为发明家的名气，堪与传奇的工程学大师阿基米德 156 相媲美。而今天，克特西比乌斯被认作是第一个真正自动装置的发明人。

当时而论，克特西比乌斯的钟可谓非常准确，因为它能自行调节供水量。在那之前，绝大多数水钟的弱点在于推动整个驱动装置的存水器在放空的过程中，水流的速度会逐渐减慢（因为水越少、越浅，水的压力就越小），因此也就减慢了钟的运行速度。克特西比乌斯发明了一种调节阀，解决了这个积年难题。调节阀内有一个圆锥形的浮子，浮子的尖端向上戳入一个与之配套的、倒转的漏斗中。水从调节阀中的漏斗柄处出来，漫过浮子，进入浮子漂浮的杯中。这时，浮子会浮起来进入倒扣的漏斗将水道收窄，以此限制水的流量。当水变少的时候，浮子又会往下沉，重新打开通道，让更多的水流入。换句话说，这个调节阀能够实时地找到恰当的位置让“刚刚好”的水通过，使计量阀容器中的流量保持恒定。

克特西比乌斯的这个调节阀是有史以来第一个可以自我调节、自我管理以及自我控制的非生命物体。从这个意义上说，它也就变成了第一个在生物学范畴之外诞生出来的自我。这是一个真正自动的物体——从内部产生控制。而我们现在之所以把它看成是自动装置的鼻祖，是因为它令机器第一次能够像生物一般呼吸。

而我们之所以说它确实有一个自我，是因为它置换出的东西。一股能够持续不断地、自动

154 克特西比乌斯（Ktesibios）：古希腊工程师，发明家。公元前三世纪中叶生活在埃及托勒密王朝下。

·
155 托勒密二世 (King

Ptolemy

II, 公元前

308~前

246): 古埃及托勒密王朝国王。他利用宗教巩固王朝统治, 将版图扩展至叙利亚、小亚细亚和爱琴海, 在位期间国势处于全盛时期。

·
156 阿基米德 (Archimedes, 约公元前

287~前

212): 古希腊数学家、发明家, 以发现阿基米德原理 (即浮力原理) 而著称, 在数学方面的发现有圆周率以及球体、圆柱体的表面积和体积的计算公式。

地进行自我调节的水流, 转换成了一座能够不断进行自我调节的时钟, 这样一来, 国王就不再需要仆人来照顾这座水钟的水箱。从这个角度来说, “自动的自我”挤出了人类的自我。有史以来第一次, 自动化取代了人类的工作。

克特西比乌斯的发明是二十世纪全美国风行的装置——抽水马桶的近亲。读者们可以看出克特西比乌斯的浮阀实际上是陶瓷马桶上半部分箱体中浮球的祖先。在冲水之后, 浮球会随着水位的降低而下沉, 并利用其金属臂拉开水阀。放进来的水会再次充满水箱, 成功地抬起浮球, 以便它的金属臂在水位精确地达到“满”的位置时切断水流。从中世纪的角度看, 这个马桶通过自动起落的方法来保证自己水量充足。这样, 我们就在抽水马桶的箱体内看到了所有自治机械造物的原型。

大约在一个世纪之后, 同样生活在亚历山大港的海伦 157 琢磨出了很多种不同的自动浮力装置。在现代人的眼里, 这些装置就像一系列严重弯折曲绕的厕所用具。而事实上, 它们却是用于派对的精巧分酒器。比如说那个“喝不净的高脚杯”, 这东西能够不断地通过它底部的一个管子给自己续杯, 让杯子里的酒保持在一个恒定的水平。海伦写了一本百科全书巨著——《气体力学》158——里面塞满了他的各种发明。那些发明, 即使以今天的标准来看依然显得不可思议。这本书在古代世界中曾经被广泛地翻译和复制, 产生了无法估量的影响。事实上, 在之后的两千年里 (也就是说延续到十八世纪的机械时代), 没有一种反馈系统不是以海伦的发明为鼻祖的。

其中有一个特例, 那是

17 世纪的一位名叫科内利斯·德雷贝尔

159 的荷兰人想出来的。此人

集炼金术士、透镜研磨匠、纵火狂和潜艇癖于一身 (他曾经做出不止一艘能潜到

1600 米以下的

潜水艇!)。正是德雷贝尔在胡乱地以各种手段提炼金子的时候, 发明了恒温器。这个恒温器是另一个影响全世界的反馈系统的范例。作为一个炼金术士, 德雷贝尔当时怀疑实验室里的铅之所以变不成金子, 可能是因为加热元素的热源温度波动太大的缘故。所以在十七世纪二十年代, 他自己拼凑了一个可以对炼金原材料进行长时间适温加热的迷你熔炉, 就仿佛地底深处那些界定了冥府的含金石经受灼烧熔解的情形。德雷贝尔在小炉子的一边连接了一个钢笔大小的

玻璃试管，里面装满了酒精。受热之后，液体就会膨胀，于是把水银推入与之相连的第二个试

157 海伦（Heron，10～75）：是一个非常重要的几何学家和机械学家。

158 《气体力学》：

The

Pneumatica

159 科内利斯·德雷贝尔（Cornelis Drebbel）：荷兰发明家，建造了第一艘能航行的潜水船。

管，而水银又推动一根制动杆，制动杆则会关闭这个炉子的风口。显然，炉子越热，风口被关得更久，火也就越小。冷却了的试管会使制动杆回缩，从而打开风口让火变大。在乡下使用的那种普通的家用恒温器，跟德雷贝尔的这个装置的道理一样——目的都是要保持一个恒定的温度。不幸的是，德雷贝尔的这个自动炉并没炼出金子来，而德雷贝尔也从来没有向世人公开过这个设计，结果他的自动化发明消失得无声无息，没有造成任何影响。一百多年之后，才有一个法国的乡绅重新发现了他的设计，做了一个恒温器用于孵化鸡蛋。

詹姆斯·瓦特

160，这位顶着蒸汽机发明者头衔的人，运气就没有这么背了。事实上，早在瓦特能够看到蒸汽机之前几十年，有效运转的蒸汽机就已经在工作了。有一次有人请年轻的工程师瓦特修理一台无法正常工作的、早期的小型纽科门 161 蒸汽机。这台拙劣的蒸汽机弄得瓦特颇为沮丧，于是他开始着手对它进行改进。大约在美国革命发生的时候，他给当时的蒸汽机增加了两样东西，一样是改良性的，另一样是革命性的。他哪项关键的改良性创新是把加热室和冷却室分开，这样一来，他的蒸汽机的功效变得极其强大。如此强大的功效需要他增加一个速度调节器来缓和这种新释放的机械力。跟往常一样，瓦特把目光转向了那些已经存在的技术。托马斯·米德

162 既是机器匠，也是磨坊主。他曾经为磨坊发明过一个笨拙的离心调节器，只有在磨石速度足够快的时候才把磨石降到谷粒上。它调节的是石磨的输出功率，而不是磨石的动力。

瓦特琢磨出了一项根本性的改进。他借鉴了米德的磨坊调节器，把它改良成一个纯粹的控制回路。采用这种新的调节器，他的蒸汽机就自己掐住了自己动力的喉咙。他这个完全现代的调节阀。可以自动让当时变得颇为暴躁的马达稳定在某个由操作者选定的恒定速度上。通过调整调速器，瓦特就能够任意改变蒸汽机的转速。这就带来了革命。

和海伦的浮子以及德雷贝尔的恒温器一样，瓦特的这个离心调速器在其反馈中也同样是透明的。两个铅球，分别装在一个硬摆杆的两端，挂在一根柱子上。柱子旋转的时候，这两个球也会转起来，这个系统转得越快，它们飞得越高。与旋转的摆成剪状交叉的联动装置把柱子上的滑动套筒顶起，扳动一个阀门，一个通过对蒸汽进行调整从而控制旋转速度的阀门。球转得越高，这些联动装置关闭的阀门越多，降低旋转速度，直到达到某个回转速度（以及旋转中的

.
160 詹姆斯·瓦特（James Watt，1736.01.19～1819.08.19）：英国著名的发明家，是工业革命时的重要人物。他改良了蒸汽机、发明了气压表、汽动锤。后人为了纪念他，将功率的单位称为瓦特。

.
161 纽科门（Newcomen）：英国工程师，蒸汽机发明人之一。他发明的常压蒸汽机是瓦特蒸汽机的前身。

.
162 托马斯·米德（Thomas Mead）：英国发明家，磨坊主。

球的高度）的均衡点。这种控制跟物理学本身一样可靠。

旋转其实是自然界里一种陌生的力量。不过，对于机器来说，它就是血液。在生物学中，唯一已知的轴承存在于精子那转动着的鞭毛螺旋桨的连接处。事实上，除了这个微型马达之外，所有带着基因的东西都不会有转轴和轮子这些东西。可是，对于那些没有基因的机器来说，旋转的轮子和转动的轴承，却是它们生存的理由。瓦特所给予这些机器的，是那种让它们能够对自身的革命形成控制的秘笈，而这，恰恰就是瓦特的革命。他的发明广泛而迅速地传播开来。也正是因为他的发明，工业时代的工厂才能够以蒸汽作为动力，引擎才能够规规矩矩地进行自我调节，而所采用的，恰恰是这种万能式的自我控制：瓦特的飞球调控器。自供应的蒸汽动力催生了机器厂，机器厂生产出新型的发动机，新型发动机催生了新型的机床。它们都有自我调节装置，给滚雪球式的优势累积法则提供着动力。工厂里每一个可见的工人，都被上千个不可见的调控装置所围绕。今天，一个现代工厂里同时工作的可能有成千上万的隐蔽的调节装置。而它们的工作伙伴，可能就只有一个人。

瓦特获取了蒸汽在膨胀时如同火山般爆烈的力量，然后用信息来驯服它。他的飞球调控器是一种原汁原味的信息控制，是最初出现的非生物的控制回路之一。一辆汽车和一个爆炸的汽油罐之间的区别就在于，汽车的信息——也就是它的设计——驯服了汽油那种残暴粗野的能量。暴乱中燃烧的汽车与印地

500 车赛中超速行驶的赛车的能量与器质相当。而赛车的系统受

到临界量的信息控制，从而驯服了喷火的巨龙。一点点的自我认知，就可以把火所带有的全部热量和野性驯化得服服帖帖。人们驯服狂暴的能量，把它从荒蛮之中引入自家后院、地下室、厨房乃至在客厅，服务于我。

要是没有那个安安分分转动着的调控器所构成的主控回路，蒸汽机根本就是不可想象的装置。没有那个自我作为它小小的心脏，它会直接炸毁在它的发明者面前。蒸汽机所释放出的巨大能量，不仅取代了奴隶，还引发了工业革命。然而转瞬间，一场更为重要的革命随之悄然而至。要不是有迅速推广开来的自动反馈系统所引起的信息革命与之并行（虽然难以发现），工业革命也就不成其为革命了。如果如瓦特蒸汽机一般的火力机械缺失了自我控制系统，那么所有被这种机器解放出来的劳动力，就又都会束缚在照看燃料的工作上。所以说是信息，而不是煤炭，使机器的力量变得有用，进而予取予求。

因此，工业革命，并不是为更加复杂周密的信息革命作出准备的原始孵化平台。相反，自动马力本身就是知识革命的第一阶段。把世界拖入信息时代的，是那些粗糙的蒸汽机，而不是

那些微小的芯片。

7.2 机械自我的成熟

海伦的调节器、德雷贝尔的恒温器，还有瓦特的调控装置为自己的脉管注入了自我控制、感知意识以及渴望的觉醒。调节系统感知自身的属性，关注自己是否发生了与上一次查看时不同的某些变化。如果有变化，就按既定目标调整自身。在恒温器这个特定的例子中，装了酒精的试管侦测系统的温度，之后决定是否应当采取行动调整火力，以保持系统的既定温度目标。从哲学的角度来说，这个系统是有目的的。

尽管这一点对于现在的人来说也许是显而易见的，但是，即使把最简单的自动电路，比如说反馈回路，移植到电子领域中，也花了世界上最优秀的发明家很长的时间。之所以会如此拖延，是因为电流从被发现的那一刻起，就首先被看成是能量而不是通信工具。事实上，在上个世纪（十九世纪），德国顶尖的电子工程师们就已经意识到电的本性其实是两面的，而这一崭露头角的差别意识，就是把相关电的技术分成强电和弱电两种。因为，发送一个信号所需的能量小得令人不敢相信，以至于电必须被想象成某种完全不同于能量的东西。对于那批狂野的德国信号学家来说，电与说话的嘴以及写字的手是兄弟，功用相同。这些弱电技术的发明者（我们现在要称其为黑客了）带给我们的，也许是史无前例的发明——电报。正是因为有了这项发明，人类之间的沟通，才能通过像闪电一样的不可见粒子载体飞速地传播。而正是因为有了电这个令人惊叹的奇迹的后代——弱电，才有了我们对整个社会的重新构想。

尽管这些电报员们牢记着弱电模型，并且实现了精妙的改革创新，但是直到

1929 年

8

月，贝尔实验室的电话工程师布莱克 163 才调校出一条电子反馈回路。布莱克当时正在努力为长途电话线路寻找一种能够制造持久耐用的线路中继放大器的方法。早期的放大器，是用天然材料制成，而这种未经加工的材料往往会在使用的过程中逐渐分解，导致电流的流失。一个老化的中继器不单会把电话信号加以放大，还会错误地把任意拾得的各种频率的细微偏差与电话信号相混合，直到这些不断膨胀的错误充满整个系统，将系统彻底摧毁。所以，这里就需要某种类似于海伦的调节装置的东西，能够产生约束主信号的反向信号，缓冲不断重复的循环所带来的影响。幸好布莱克设计出了一个负反馈回路，它的作用就是用来抵消放大器的正回路所产生的滚雪球效应。单从概念上来看，这个电学负反馈回路，和抽水马桶的冲水系统或者恒温器的

.

163

H.

S.布莱克（H.

S.Black）：贝尔实验室的电话工程师，提出负反馈放大器。

作用是完全一样的。这个起着刹车作用的电路，能够让放大器在不断的微调中保持在稳定的放大状态上，而其原理，跟恒温器能够通过不断的微调保持在特定温度上是一样的。只不过，恒温器用的是一个金属制动杆，而放大器用的则是一些可以自我交流的弱电子流。于是，在电话交换网络的通道里，第一个电学意义上的自我诞生了。

自第一次世界大战开始至战后，炮弹发射装置变得越来越复杂，而与此同时，那些移动着的预攻击目标也变得越来越精细，弹道轨迹的计算考验着人类的才智。在战斗的间隙，被称为计算员的演算人员要计算在各种风力、天气和海拔条件下那些巨炮的各种参数设置。而计算出来的结果，有时会印在一些口袋大小的表格上，便于前线的火炮手使用；或者，如果时间来得及，而且是通用火炮，这些表格就会被编码输入火炮装置，也就是通常所说的自动操作装置。在美国，与火炮演算有关的种种活动，都集中在海军位于马里兰州的阿伯丁试验场 164，在那个地方，房间里挤满了人类计算员（几乎全都是女性），使用手摇计算机来演算表格。

到了第二次世界大战，德国飞机——大炮竭力要攻打下来的东西——几乎飞得和炮弹一样快。于是就需要速度更快的即时演算。最理想的形式就是火炮在新发明的雷达扫描装置测出飞行中的飞机数据时即行引发。此外，海军的炮手有一个很关键的问题：即如何根据新射击表提供的精确数据转动这些怪物并使之对准目标。办法近在眼前，就在舰尾：一艘巨舰，是通过某种特殊的自动反馈回路，即伺服机制来控制它的方向舵的。

伺服机制 165 是一个美国人和一个法国人在相隔大洋的情况下，于 1860 年左右同时独自发明出来的。法国人里昂·法尔科

166 为这个装置取了一个很拗口的名字：伺服电动机。由于船只随着时间的推移发展得更大、更快，人类作用于舵柄的力量已经不足以抵抗水下涌动的水流了。海军的技术人员想出了各种油液压系统来放大作用在舵柄上的力量，这样只要轻轻地摇动船长舵舱内的小型舵杆，就可以对巨大的船舵产生些许影响。根据不同的船速、吃水线和其它类似的因素，对小舵杆所做的反复摇动，反映到船舵那里就表现为大小不同的舵效。法尔科发明了一个连通装置，把水下大舵的位置，和能够轻松操纵的小舵杆的位置联系到一起——也就是一个自动反馈回路！这样一来，舵杆就能够指示出大舵的实际位置，并且通过这个回路，移动舵杆这个指示器——也就是在移动大舵这个实体。用计算机领域的行话来说，这就是所谓的所见

.
164 阿伯丁试验场：Aberdeen Proving Ground
.

165 伺服机制（servomechanism）：系指经由闭环控制方式达到一个机械系统设定的位置、速度、或加速度的系统。
.

166 莱昂·法尔科（Leon Farcot）：法国工程师。

即所得！

二战时期的重型火炮的炮管，也是这么操作的。装着液压油的液压管把一个小的转动杠杆（小舵杆）连接到炮管转向装置的活塞。当操炮手把杠杆移动到预计的位置时，这一小小的转动，就会挤压一个小活塞，使得阀门打开，释放液压油去顶起一个大活塞，进而摆动巨大沉重的火炮炮管。反过来，当炮管摆动的时候，它又会推动一个小活塞，而这个小活塞则会引动那个手动的杠杆。所以，当炮手试图去转动那个小舵杆的时候，他也会感觉到某种温和的抗力，这种抗力，就是由他想移动的那个舵杆的反馈产生的。

那时的比尔·鲍尔斯

167 还是个年轻的电子技师助手，责任是操纵海军自动火炮。后来他通过研究控制系统来探求生物的奥秘。他这样描述普通人通过阅读了解伺服机制时可能产生的错误印象：

我们说话或写作的手法，往往把整个行为伸展开来，使之看来好像是一系列截然分开事件。如果你试图去描述火炮瞄准的伺服机制是如何工作的，你可能会这样开头：“假设我把炮管下压产生了一个位差。那么这个位差就会使伺服电动机生成一个对抗下压的力，下压力越大，对抗的力也就越大。”这种描述似乎足够清晰了，但它却根本不符合实情。如果你真的作了这个演示，你会这样说：“假设我把炮管下压，产生了一个位差……等一下，它卡住了。”

不，它没有卡住。恰恰相反，它是一个优良的控制系统。当你开始向下压的时候，作用于炮管感应位置的微小偏移，使得伺服电动机转动炮管向上来对抗你下压的力量。而产生一个和你的下压力相等的抗力所需的偏移量非常之小，小到你根本看不到也感觉不到。这样一来，炮管在你感觉中僵硬得像是被浇铸在水泥里面一样。因为它重达

200 吨，所以让人感觉它跟那些

老式的机器一样是不能移动的；但是，如果有人把电源切断，炮管会立刻砸到甲板上。

伺服机制给转向装置添加了如此神秘巧妙的助力，以至于我们现在（采用升级版的技术）还在利用它来为船只导航，控制飞机的副翼，或者摆弄那些处理有毒或者放射性废料的遥控机械臂的手指。

比起其它那些纯机械的自我，比如海伦的阀门、瓦特的调控装置以及德雷贝尔的恒温器，法尔科的伺服机制更进一步，它向我们开启了另一种可能性的大门：人机共栖的可能性——融合两个世界的可能性。驾驶员与伺服机制相融合。他获得了力量，它获得了实体。他们共同掌

.

167 比尔·鲍尔斯（Bill

Powers）：美国感知控制论的创始人，美国西北大学教授。

舵。控制与共栖——伺服机制的这两个方面激发了现代科学中某个更富色彩的人物的灵感，让他发现了能够把这些控制回路联结在一起的模式。

7.3 抽水马桶：套套逻辑的原型

168

为炮制更为精确的射击表，一战时期征召了一批人力计算实验室的数学家去阿伯丁试验场，而在这批被征召的数学家中，没有几个人像列兵诺伯特·维纳那样拥有远超水准的资质。这位前数学神童具有一种异端的天赋。

在古代人的眼里，天才应该是某种被赐予而不是被创造出来的东西。但是，世纪之交的美国，却是成功地颠覆传统智慧的地方。诺伯特·维纳的父亲列奥·维纳

169 到美洲来是为了创办一

个素食主义者的团体。结果他却被另外一些非传统的难题弄得头疼，比如说对神的改良。1895年，身为哈佛大学的斯拉夫语教授的列奥

·维纳决定：他的头生子要成为一个天才。是刻意制造的天才，不是天生的天才。

因此，诺伯特·维纳肩负着很高的期望降生了。他

3岁能读，18岁获得哈佛的博士学位。

到了

19岁，他开始跟随罗素

170 学习元数学。30岁的时候，他已经是麻省理工的数学教授和一个

彻头彻尾的怪物了。身材矮小，体魄健壮，八字脚，留着山羊胡，还叼着一支雪茄，蹒跚而行，就像一只聪明的鸭子。他有一项传奇式的本领，就是在熟睡中学习。不止一个目击证人说过这样的事情：维纳在会议进行中睡着了，然后在什么人提到他的名字的时候突然醒来，并且对他在打盹的时候错过的那些交谈发表评论，还常常提出一些具有穿透力的见解把其他人弄得目瞪口呆。

1948年，他出版了一本为非专业人士写的有关机器学习的哲理和可行性的书。（因为各种间接的原因）这本书最初由一个法国出版社出版，而在最初

6个月中，这本书在美国印了

4

版，在头十年中卖出了

2.1万册——在当时是最畅销的书。它的成功，可以与同年发行的以性行为为研究主题的《金赛报告》171相提并论。《商业周刊》的记者于1949年写下如此的评

.

168 套套逻辑（tautology）：又作重言式，或同义反复。意指不管条件真假与否，始终为真的命题。例如，“要么所有的乌鸦都是黑的，要么不都是黑的”。再譬如，“四脚动物有四只脚”。

.

169 利奥·维纳（LeoWiener）：俄裔犹太人，语言学家，哈佛大学教授。诺伯特·维纳之父。

.

170 伯特兰·罗素 (Bertrand

Russell, 1872~1970): 二十世纪最有影响力的哲学家、数学家和逻辑学家之一, 同时也是活跃的政治活动家。

.

171 《金赛报告》: The

Kinsey

Report

论: “从某个方面来说, 维纳的书和《金赛报告》类似: 公众对它的反应和书本身的内容同样是意义重大的。”

尽管能够理解这本书的人不多, 但是维纳那些发聋振聩的理念, 还是进入了公众的头脑之中。原因就在于他为他的观点以及他的书起了那个奇妙的、富有色彩的名字: 控制论 172。正如很多作家指出的, 控制论这个词来源于希腊文中的“舵手”——掌控船只的人。维纳在二战时期研究过伺服系统, 被它那种能够给各种类型的转向装置提供辅助的神秘能力所震撼。不过, 人们通常不会提及, 在古希腊语中, 这个词也被用来指国家的治理者。据柏拉图 173 说, 苏格拉底 174 曾经说过, “舵手/治理者能够在重大的危险中拯救我们的灵魂, 拯救我们的身体, 拯救我们所拥有的物质财富。”这个说法, 同时指向该词的两种不同的含义。所谓治理 (对希腊人来说, 指的是自我治理), 就是通过对抗混乱而产生出秩序。同样的, 人也需要掌控船只以避免沉没。而这个希腊词被拉丁语误用为

kubernetes 之后, 就派生出了

governor (治理者、

调控者), 瓦特就用它来标记他那个起控制作用的飞球调节器。

对于说法语的人来说, 这个具管理意味的词还有更早的前身。维纳所不知道的是, 他并不是第一个重新赋予这个词鲜活意义的现代科学家。在

1830 年左右, 法国物理学家安培

175 (安

培, 我们用来衡量电量的那个单位安培, 以及简写“安”, 就是随了他的名字) 遵循法国大科学家的传统做法, 为人类知识设计了一个精细的分类系统。其中, 安培定义了一个分支学科叫做“理解科学”

176, 而政治学是这个分支下面的一个子学科。在政治学中, 在外交这个亚属的下面, 安培列入了控制论学科, 即关于治理的学说。

不过, 维纳意念中的定义更为明确。他在那本书的标题中就显眼地表述了这个定义: 《控制论: 关于在动物和机器中控制和通讯的科学》

177。随着维纳关于控制论的概略想法逐渐为后

.

172 控制论 (cybernetics): 诺伯特·维纳在其所著的《控制论: 关于在动物和机器中控制和通讯的科学》中创造了这个新词来命名当时的新学科。

.
173 柏拉图 (Plato, 公元前

427~前

347): 古希腊哲学家, 其哲学思想对西方唯心主义哲学的发展影响很大。

.
174 苏格拉底 (Socrates, 公元前

469~前

399): 古希腊哲学家, 认为哲学在于认识自我, 美德即知识; 提出探求真理的辩证法。本人无著作, 其学说仅见于他的学生柏拉图和色诺芬的著作。

.
175 安培 (Ampere, 1775~1836): 法国物理学家, 电动力学奠基人之一, 制定安培定律, 首创电磁学理论。

.
176 理解科学:

Noological

Science

.
177 《控制论: 关于在动物和机器中控制和通讯的科学》: Cybernetics:

or

the

Control

and

Communication

in

the

Animal

and

the

Machine

来的计算机具体化, 又由后来的理论家加以补充丰富, 控制论渐渐地具有了安培所说的治理的意味, 不过除去了政治的意味。

维纳的书所产生的效果, 就是使反馈的观念几乎渗透了技术文化的各个方面。尽管在某些特殊情况下, 这个核心观念不仅老旧而且平常, 但维纳给它安上了腿脚, 把它公理化: 逼真的自我控制不过是一项简单的技术活儿。当反馈控制的观念跟电子电路的灵活性完美组合之后, 它们就结合成一件任何人都可以使用的工具。就在《控制论》出版的一两年间, 电子控制电路就掀起了工业领域的一次革命。

在商品生产中使用自动控制所产生的雪崩效应, 并不都是那么明显。在车间, 自动控制不负期望, 具有如前面所提及的驯服高能源的能力。同时, 生产的总体速度, 也因为自动控制天生的连续性得到了提高。不过, 相比起自我控制回路所产生的出人意料的奇迹, 即它们从粗中选精的能力, 这些都是相对次要的了。

为了说明如何通过基本的回路从不精确的部件中产生出精确性，我沿用了法国作家皮埃

178179

尔·拉蒂尔

1956 年的著作《用机器进行思考》

中提出的示例。在

1948 年以前，钢铁行业中

的一代又一代技术人员想要生产出厚度统一的薄板，却都失败了。他们发现，影响轧钢机轧出的钢板厚度的因素不下六七个——比如轧辊的速度、钢铁的温度以及对钢板的牵引力。他们花费了很多年的时间不遗余力地一项项调整，然后又花了更多的时间进行同步协调，却没有任何效果。控制住一个因素会不经意地影响到其他因素。减慢速度会升高温度；降低温度会增加拉力；增加拉力又降低了速度，等等，等等。所有的因素都在相互影响。整个控制进程处在一个相互依赖的网络的包围之中。因此当轧出的钢板太厚或者太薄的时候，要想在

6 个相互关联的

疑犯中追查到那个祸首，简直就是在耗费力气。在维纳那本《控制论》提出他那睿智的通用化思想之前，问题就卡在那儿了。而书出版之后，全世界的工程师就立刻把握住了其中的关键思想，其后的一两年里，他们纷纷在各自的工厂里安装了电子反馈设施。

实施过程中，以一个厚薄规测量新轧出的金属板的厚度（输出），然后把这个信号传送回控制拉力变量的伺服电动机上，这信号在钢材进入轧辊之前，一直维持它对钢材的影响。凭着这样一个简单的单回路，就理顺了整个过程。因为所有的因素都是相互关联的，所以只要你控

.

178 皮埃尔·拉蒂尔（Pierre de

Latil）：法国作家。

.

179 《用机器进行思考》： Thinking

by

Machine

制住其中一个对产品的厚度直接起作用的因素，那么你就等于间接地控制住了所有的因素。不管出现偏差的倾向来自不平整的金属原料、磨损的轧辊，或是不当的高温，其影响都不太重要。重要的是这个自动回路要进行调节，使最后一个变量弥补其它变量。如果有足够的余地（确实有）调节拉力，来弥补过厚或热处理不当的金属原材料以及因为轧辊混入了铁屑而导致的偏差，那么最终出来的将会是厚度均匀的钢板。尽管每个因素都会干扰其他因素，但由于这种回路具有连续性和几乎瞬间响应的特性，因此仍然可以把这些因素间的那个深不可测的关系网络引向一个稳定的目标，即稳定的厚度。

工程师们发现的这个控制论原理是个一般性的原理：如果所有的变量都是紧密相关的，而且如果你真正能够最大限度地控制其中的一个变量，那么你就可以间接地控制其它所有变量。

这个原理的依据是系统的整体性。正如拉蒂尔所写的，“调节器关注的不是原因；它的工作是侦测波动并修正它。误差可能来自某种因素，其影响迄今仍然无从知晓，又可能来自某种业已存在，而从来没有受到过怀疑的因素。”系统怎样、何时达成一致性，超出了人类知识范围，更重要的是，也没有知道的必要。

拉蒂尔说，颇具讽刺意味的是，这一突破性进展——这个反馈回路——从技术上说其实颇为简单，而且“如果以一种更为开放的心态去处理的话，它本可以提前

15 年或者

20 年就被引

进来……”。而更局讽刺意味的是，其实采纳这种观念的开放的心态，20 年前就已在经济学圈子里建立起来了。弗里德里克.哈耶克

180 以及具有影响力的奥地利经济学学院派已经剖析过那种

在复杂网络中追踪反馈路径的企图，结果认为这种努力属于徒劳。他们的论证当时被称为“计算论证”

181。在一种指令性经济体制中，比如当时还处在胚胎状态的由列宁在俄罗斯建立起来的那种自上而下的经济体制，是通过计算、权衡和沟通管道的控制来分配资源的。而对一个经济体中的分布节点间的多重反馈因素进行计算，哪怕是控制不那么强的计算，和工程师在钢铁厂中追踪那些狡猾的、相互关联的因素一样，是不可能成功的。在一个摇摆不定的经济体中，要想对资源分配进行计算是不可能的。相反，哈耶克和其他的奥地利学派的经济学家在二十世纪二十年代论证说，一个单一的变量——价格——可以用来对其它所有资源分配变量进行调节。按照这种学说，人们就不用在意到底每个人需要多少块香皂，也不用在意是不是应该为了房子或者书本去砍伐树木。这些计算是并行的，是在行进中进行的，是由下而上、脱离了人的

.

180 弗里德里克.哈耶克（Frederick Hayek）：奥地利经济学家。

.

181 计算论证：calculation argument

控制，由相互联结的网络自主自发的。秩序会自发形成。

这种自动控制（或者人类控制缺失）的结果，就是工程师们始终绷紧的神经终于可以放松下来，不再操心原材料的规格统一、工序的完美调节。于是他们可以使用不完美的原料和不精准的工序开工了。让自动化流程所具有的自我修正的特性去进行最优化、从而只放行高质量的产品吧。或者，投入品质划一的原料，将反馈回路设置到一个更高的质量水准，给下一道工序提供精度更高的精品。同一理念也可以上溯运用到原材料供应商那里，他们也可以使用类似的自动回路来挑选更高品质的产品。如果这一理念贯通了整个产业链的上下游，那么自动化的自我就会在一夜之间变成一部品质管理机器，而原来总是操持要提高精度的人类就可以不费吹灰之力地从物质中获得了。

以利.惠特尼

182 的可互换的标准件以及福特的流水线理念的引入，已经让生产方式发生了根本性的变化。但是，这些改进需要大规模地更新设备、投入资金，而且也不是处处都适用。另一方面，家用的自动电路——这种价格便宜得可疑的辅助设施——却能够被移植到几乎所有业有专属的机器上。就好像一只丑小鸭，经过印制，一下就变成了优雅的鹅，而且还下金蛋。

不过，不是每一种自动电路都能产生比尔·鲍尔斯的炮管所拥有的铁定会产生的即时性。在一个串接的回路串中，每增加一个回路，都加大了一种可能：即在这个变得更大的回路中漫游的信号，当回到它的起点的时候却发现事情早在它还在回路中游荡的时候就已经发生了根本性的改变。特别是那些环境快速变动中的大型网络，遍历整个线路所需的那几分之一秒，都可能要大于环境发生变化所需要的时间。而作为回应，最后一个节点倾向于发出更大的修正作为补偿。可是，这样一种补偿性的指令，同样会因为所需穿越的节点太多而被延迟，于是它抵达时也错过了移动标记，就又产生了一个无缘无故的修正。这就跟新手开车总是开出之字形道理一样，因为每次对方向的修正，总是会矫枉过正，超过上一次的过度反应。这种情况会一直延续下去，直到新手学会收紧整个反馈回路，让它作出更小、更快的反应，否则他一定会不由自主地（徒劳地）在高速路上改变方向寻找中线。这也是简单的自动线路为什么会消亡的原因。它往往会进入“大摆”或者“频跳”的状态，也就是说，神经质地从一个过度反应摆荡到下一个过度反应，努力寻求安稳。对付这种过度补偿的倾向，办法有一千种，每个办法都有上千种已经发明出来的更先进的电路实现。在过去的四十年间，有控制理论学位的工程师们写了装满

·
182 以利·惠特尼（Eli

Whitney, 1765~1825）：美国机械工程工程师、发明家，发明轧花机，设计并生产装配步枪用的互换零件，对工业生产有很大影响。

一个书架又一个书架的论文来交流刚刚发现的震荡反馈问题的最新解决方案。幸运的是，反馈回路是可以被整合进入有用的配置之中的。

让我们以抽水马桶这个控制装置原型机为例。给它安上一个把手，我们就可以调节水箱中水线的高度。而水箱中的自我调节机制会随之把水调节到我们所设定的高度。向下扳，自我调节机制就会保持在一个满意的低水平，往上扳，它就会放水进来达到一个高水位。（现代的抽水马桶上还真有这种把手。）现在让我们走得更远一点，再加上一个自我调节的回路来扳动把手。这样一来，我们就可以连这一部分的活都放手不做了。这第二个回路的工作，是为第一个回路寻找目标。这么说吧，第二个机制在感受到进水管的水压，就会移动把手，如果水压高，就给水箱定一个高水位，如果水压低，就给它定一个低水位。

第二个回路控制着第一个回路的波动范围，而第一个回路则控制着水。从抽象的意义上来说，第二个回路给出的是一种二级控制：对控制的控制，或者说，元控制。而有了这个元控制，我们这个新出炉的二级马桶的行为方式就是“有目的的”。它可以依据目标的变化进行调整。尽管为第一个线路进行目标设定的第二线路也同样是机械的东西，但整个机制本身确实在选择自己的目标的事实，使这个元回路获得了某种生物的感觉。

就是这么简单的一个反馈回路，却可以在一种无穷无尽的整合过程中缝合在一起、永远共

同地工作下去，直到形成一个由各种具有最不可思议的复杂性和错综复杂的子目标构成的塔。这些回路塔会不断地给我们带来诧异，因为，沿着它们流转的信号，会无可避免地相互交叉自己的路径。A 引发

B，B 引发

C，C 又引发

A。以一种直白的悖论形式来说：A 既是原因，又是结

果。控制论专家海因茨·冯·福斯特把这种难以捉摸的循环称为“循环因果”

183。早期人工智能

184

185

权威沃伦·麦克洛克

把它称为“非传递性优先”

，意思是说，优先级的排序上会像小孩子玩

的石头—剪刀—布那样无休止地以一种自我参照的方式自我交叉：布能包石头，石头能崩坏剪刀、剪刀能裁剪布，循环不已。而黑客们则把这种情况称之为递归循环。不管这个谜一样的东

.

183 循环因果：circular

causality。

.

184 沃伦·麦克洛克（Warren McCulloch，1898.11.16～1969.09.24）：美国神经生理学家和控制论专家。

.

185 非传递性优先（intransitive preference）：所谓传递性，就是说如果

A 和

B 有关系

R，B 和

C 有关系

R，那么

A 和

C 也就关系

R，“大于”就是一个有传递性的关系：如果

A 大于

B，而

B 又大于

C，那么

A 大于

C——“大于”这个关系

经由

B 传递到

C。现在的情况是

A 引发
B, B 引发
C, 所以如果传递的话, 那么应该是
A 引发
C, 但现在在是
C 引发
A, 所以
说不传递。

西到底叫做什么, 它都给了传承

3000 年的逻辑哲学以猛然一击。它动摇了传统的一切。如果有
什么东西既是因又是果的话, 那么所谓的理性, 岂非对任何人来说都是唾手可得之物?

7.4 自我能动派

复杂电路常常具有奇怪的反直觉行为, 其根源正是在那些套叠起来且首尾相接的回路所具备的复合逻辑。精心设计的电路看似能够可靠、合理地运行, 然而突然之间, 它们就踩着自己的鼓点, 毫无预兆地转向了。人们付给电子工程师们高额的工资, 就是让他们去解决所有回路中的横向因果关系。然而, 对于机器人这种程度的复杂性来说, 电路的异常表现是无法消除的。如果把这一切都简化到其最简形式——反馈回路——的话, 循环因果正是那无处不在的矛盾。

自我从何而来? 控制论给出了这样让人摸不着头脑的答案: 它是从它自己那里涌现出来

186

187

的。而且没有别的法子。进化生物学家布赖恩·古德温
告诉记者罗杰·卢因

: “有机体既是它

自己的因也是它自己的果, 既是它自己固有的秩序和组织的因, 也是其固有秩序和组织的果。自然选择并不是有机体的因。基因也不是有机体的因。有机体的因不存在。有机体是自我能动派。” 因此, 自我实际上是一种自谋划的形式。它冒出来是为了超越它自己, 就好象一条长蛇吃掉自己的尾巴, 变成了乌洛波洛斯衔尾蛇 188——那个神秘的圆环。

按照荣格 189 的说法, 衔尾蛇是人类灵魂在永恒概念上的最经典的投影之一。这个咬着自己的尾巴的蛇所形成的环, 最初是作为艺术装饰出现在埃及雕塑中。而荣格则发展出一套观点, 认为那些在梦中造访人类的近乎混沌的形形色色的意象, 容易被吸附在稳定节点上, 形成重要且普适的图像。如果用现代术语来作比的话, 这跟互连的复杂系统很容易在“吸引子”上安顿

186 布赖恩·古德温 (Brian Goodwin, 1931~2009): 加拿大数学家和生物学家, 圣塔菲研究所的创办者之一。2009 年不

幸从自行车上跌落受伤, 在医院做了手术后去世。——译自“维基百科”

187 罗杰·卢因 (Roger Lewin): 英国人类学家和科学作家, 曾做过十年《科学》杂志的新闻编辑, 是伦敦经济学院复杂

性研究小组的成员之一。——译自“维基百科”

188 衔尾蛇 (Ouroboros, 亦作咬尾蛇): 是一个自古代流传至今的符号, 大致形象为一条蛇 (或龙) 正在吞食自己的尾

巴, 结果形成一个圆环 (有时亦会展示成扭纹形, 即阿拉伯数字

8 的形状), 其名字涵义为“自我吞食者”。这个符号一

直都有很多不同的象征意义, 而当中最广为接受的是“无限大”、“循环”等意义。另外, 衔尾蛇亦是宗教及神话中的常

见符号, 在炼金术中更是重要的徽记。近代, 有些心理学家 (如卡尔·荣格) 认为, 衔尾蛇其实反映了人类心理的原型。

189 荣格 (C.

G. Jung, 1875~1961): 瑞士著名心理学家、精神分析学家, 他是分析心理学的始创者, 是现代心理学的

鼻祖之一。

下来的情形非常相像。而一大堆这样具有吸引力、奇异的节点, 就形成了艺术、文学以及某些类型的疗法的视觉词汇。在那些最持久的吸引子当中, 一个早期的图式就是“吞食自己尾巴的东西”, 往往用图像简单地表示为一个在吞噬自己尾巴的蛇状龙所形成的完美圆环。

衔尾蛇的循环回路显然是一个反馈概念的象征, 我难以确定到底是谁先在控制论的语境中使用它。作为真正的原型, 它也许不止一次地被独立地看作是一个反馈的象征。我毫不怀疑, 当任何一个程序员在使用

GOTO

START 循环的时候, 他脑子里都会浮现出那副蛇吃自己尾巴的微弱图像。

蛇是线性的, 但当它回身咬住自己的时候, 它就变成了非线性物体的原型。在经典的荣格主义框架中, 咬住尾巴的衔尾蛇是对自我的一种象征性的图解。圆圈的完整性就是自我的自我控制, 这种控制既来源于一个事物, 也来源于相互竞争的部件。从这个意义上说, 作为反馈回路的最为平实的体现, 抽水马桶也同样是一只神秘的野兽——自我之兽。

荣格派学者认为, 自我 (self) 其实应该被看成是“我 (ego) 的意识的诞生前的一种原始心理状态”, 也就是说, “是那种原始的曼达拉状态

190, 而个体的我 (ego) 正是从这种心灵

状态中产生出来的”。所以, 我们说一个带着恒温器的炉子有自我, 并不是说它有一个我。所谓自我, 只不过是一个基础状态, 一个自动谋划出来的形式, 而假如它的复杂性允许的话, 一

个更为复杂的我便藉此凸显出来。

每一个自我都是一个同义反复：自明、自指、以自己为中心并且自己创造自己。格雷戈里·贝特森说，一个活系统就是一个“缓慢地进行自我复原的同义反复。”他的意思是说，如果系统受到干扰或者干涉，它的自我就会“朝向同义反复寻求解决”——沉降到它的基础自指状态，它那个“必要的矛盾”中。

每一个自我，都是一场试图证明自己特性的论争。恒温系统的自我内部总是在争论到底该调高还是调低炉子温度。海伦的阀门系统则会不间断地就它所能执行的唯一的、孤立的动作进行争论：应不应该移动那个浮子？

一个系统，就是任何一种能够自说自话的东西。而所有的有生命的系统以及有机体，最后都必然精简为一组调节器，即化学路径和神经回路，其间总是进行着如此愚蠢的对话：“我

190 曼达拉（mandala）：所谓“曼达拉”，是指在人类文化史上和人类大脑记忆体内存在着一种图式或图形：其外围是一圆形圈或方形圈；其中央或作对称的“十”字形，或作对称的“米”字形。

要，我要，我要要要；不行，不行，你不能要”。

把各种自我播种到我们构建的世界，就给控制机制提供了一个家，让它们在那里滴注、蓄积、满溢和迸发。自动控制的出现分成三个阶段，也已经在人类文化中孵化出三个几乎是形而上学的改变。控制领域的每个体制，都是靠逐渐深化的反馈和信息流推进的。

由蒸汽机所引发的能量控制是第一阶段。能量一旦受到控制，它就达到了一种“自由”。我们释放的能量再多，它也不会从根本上改变我们的生活。同时，由于我们达成某一目标所需要的卡路里（能量）越来越少，我们那些最为重大的技术成果，也不再朝向对强有力的能源做进一步控制。

相反，我们现在的成果是通过加大对物质的精确控制得来的。而对物质的精确控制，就是控制体制的第二阶段。采用更高级的反馈机制给物质灌输信息，就像计算机芯片的功用那样，使物质变得更为有力，渐渐地就能用更少的物质做出没有信息输入的更大数量物质相同的功。随着那种尺寸堪比微尘的马达的出现（1991年成功制作出了原型机），似乎任何规格的东西都可以随心所欲地制造出来。分子大小的照相机？可以，怎么不行？房子大小的水晶？如你所愿。物质已经被置于信息的掌握之下，就跟现在的能量所处的状态一样，方法也是同样的简便——只要拨动拨号盘就好。“二十世纪的核心事件，就是对物质的颠覆。”技术分析家乔治·吉尔德¹⁹¹如是说。这是控制史的一个阶段，一个我们身历其中的控制的阶段。从根本上说，物质——无论你想要它是什么形状——都已经不再是障碍。物质已经几乎是“自由”的了。

控制革命的第三阶段，是对信息本身的控制。两个世纪之前，当把信息应用于燃煤蒸汽的时候，就播下了它的种子。从这里到那里，长达数英里的电路和信息回路执行着对能量和物质

的控制，而这些线路和信息回路也在不经意间让我们的环境充满了信号、比特和字节。这个未受约束的数据狂潮达到了有害的水平。我们产出的信息，已经超过了我们能够控制的范围。我们所曾憧憬的更多的信息，已经成为事实。但是，所谓更多的信息，就好像是未受控制的蒸汽爆炸——除非有自我的约束，否则毫无用处。我们可以这样改写吉尔德的警句：“二十一世纪的核心事件，是对信息的颠覆”。

基因工程（控制

DNA 信息的信息），以及电子图书馆（管理图书信息的信息）所需的各种

.

191 乔治·吉尔德（George Gilder）：当今美国著名未来学家、经济学家，被称为“数字时代的三大思想家之一”。上世

纪

80 年代，他是供应学派经济学的代表人物，90 年代，他是新经济的鼓吹者。他为《福布斯》、《哈佛商业评论》等著

名杂志撰稿，影响较大的著作有：《企业之魂》，《财富与贫困》。

工具，预示着对信息的征服。首先感受到信息控制的冲击的，是工业和商业，这跟能量和物质控制产生的冲击一样，后来才会逐渐渗入到个体领域。

对能量的控制征服了自然的力量（让我们变得肥胖）；对物质的控制带来了可以轻易获取的物质财富（让我们变得贪婪）。那么，当全面的信息控制遍地开花的时候，又会为我们带来怎样五味杂陈的混乱？困惑？辉煌？躁动？

没有自我，几乎什么也不会发生。马达，数以百万计的马达，被赋予了自我，现在正管理着各种工厂。硅基芯片，数以十亿的硅基芯片，被赋予了自我，将会自我设计得更小更快来管理马达。很快，纤细的网络，数量无限的网络，被赋予了自我，将会重新构思芯片，并统治所有我们让它们统治的东西。假使我们试图通过掌控一切的方式来利用能量、物质和信息的巨大宝藏的话，那么必然会陷入失败。

我们正在以所能达到的速度，尽可能快地把我们这个已经建好的世界装备起来，指令它自我治理、自我繁衍、自我认知，并赋予它不可逆转的自我。自动化的历史，就是一条从人类控制到自动控制的单向通道。其结果就是从人类的自我到第二类自我的不可逆转的转移。

而这些第二类自我是在我们控制之外的，是失控的。文艺复兴时期那些最聪慧的头脑也未能发明出一个超越古代的海伦所发明的自我调节装置，其关键原因就在于此。伟大的列奥纳多·达·芬奇

192 建造的是受控制的机器，而不是失控的机器。德国的技术史学家奥托·麦尔说过，启蒙时代的工程师们本可以利用在当时就已经掌握的技术建造出某种可调节的蒸汽动力的。但是，他们没有，因为他们没有那种放手让他们的造物自行其事的魄力。

另一方面，古代的中国人尽管其创造从来没有超出过指南车，却拥有一种正确的关于控制

的无念心态。听听老子这位神秘的学者在
2600 年前的《道德经》中所写的，翻译成最地道的现代话语就是：

智能控制体现为无控制或自由，

因此它是不折不扣的智能控制；

愚蠢的控制体现为外来的辖制，

.

192 列奥纳多·达·芬奇（Leonardo da Vinci）：意大利文艺复兴中期的著名美术家、科学家和工程师，以博学多才著称。

在数学、力学、天文学、光学、植物学、动物学、人体生理学、地质学、气象学，以及机械设计、土木建筑、水利工程等方面都有不少创见或发明。

因此它是不折不扣的愚蠢控制。

智能控制施加的是无形的影响，

愚蠢的控制以炫耀武力造势。**193**

老子的睿智，完全可以作为

21 世纪饱含热忱的硅谷创业公司的座右铭。在一个练达、超

智能的时代，最智慧的控制方式将体现为控制缺失的方式。投资那些具有自我适应能力、向自己的目标进化、不受人类监管自行成长的机器，将会是下一个巨大的技术进步。要想获得有智能的控制，唯一的办法就是给机器自由。

至于这个世纪所剩下的那一点点时间，则是为了

21 世纪那个首要的心理再造工作而预留

的彩排时间：放手吧，有尊严地放手吧。

.

193 《道德经》原文：上德不德，是以有德。下德不失德，是以无德。上德无为而无以为，下德无为而有以为。

第八章 封闭系统

8.1 密封的瓶装生命

旧金山史坦哈特水族馆 **194** 一长溜展品的尽头，灯光照耀下怡然自得地生长着一丛密集的珊瑚礁。水族馆的玻璃墙后面，几英尺的完备空间就将南太平洋海底一英里长的珊瑚礁上的各种

生物集中展现了出来。

这浓缩的礁石以异乎寻常的色调和怪异的生命形态，营造出一种新纪元音乐般的氛围。站在这个长方形容器的前面，如同脚踩着和谐的节点。这里每平米生物种类数目超过了地球上其他任何地方。生命密集得不行了。那异常丰富的自然珊瑚礁，已经被进一步压缩成了超越自然富集程度的人造堡礁。

两扇平板玻璃窗让你一览充满异域生物的爱丽丝奇境。嬉皮士般色彩斑斓的鱼瞪着眼看橙色底白条纹的小丑鱼，抑或是在看一小群亮蓝雀鲷。这些艳丽的小精灵时而在栗色软珊瑚那羽毛般的触手中间疾速游走，时而又在巨型海蚌那缓慢翕动的肥唇间穿梭。

对这些生物说来，这里不单是圈养栏，这里就是它们的家。它们要在这里吃、睡、打闹，在这里繁育后代，直到生命的尽头。不仅如此，如果时间充足，它们还会共同进化，共享天命。它们所拥有的是一个真正的生命群落。

在这个珊瑚展示池后面，一堆隆隆作响的泵机、管道和各种机械装置，在电力的带动下维持着这个玩具礁体上的超级生物多样性。一个游客，打开一扇没有任何标志的门，从水族馆昏暗的观景室中跋涉到泵机这里，一开门，就有炫目的外星人似的光线奔涌而出。这里的房间内部刷成了白色，弥漫着温热的水汽，耀眼的灯光令人感到窒息。头顶的架子上挂着炙热的金属卤素灯，每天放射出

15 个小时的热带阳光。盐水涌动着穿过一个四吨重的水泥大桶，桶里装满了净化菌的湿沙。在人工阳光之下，长长的浅塑料托盘里绿色水藻生长旺盛，过滤着礁石水体所产生的自然毒素。

.

194 史坦哈特水族馆：

Steinhart

Aquarium

对于这个礁体来说，工业管道装置替代了太平洋。一万六千加仑的再生海水旋转着流过仿生系统，冲刷着这块珊瑚礁，像南太平洋那长达数英里的海藻园和沙滩给野生珊瑚礁提供的东西一样，带来了过滤的、湍急的、富含氧气的海水。这一整套带电的展示，是精细脆弱、来之不易的平衡，每天都需要能量和照料。一步走错，整块珊瑚礁就可能在一天内分崩离析。

古人都知道，一天就可以摧毁的东西，要想建成它，可能会需要几年甚至几个世纪的时间。在史坦哈特珊瑚礁建成之前，没有人确定是否能够通过人工方法建立起珊瑚礁群落，如果可以，也没有人知道这样的工作到底需要耗费多长的时间。海洋科学家清楚地知道，作为一种复杂的生态系统，珊瑚礁必须按照正确的顺序才能组合成功。但是没有人知道那个顺序到底是什么。很显然，当海洋生物学家劳埃德·高梅兹起先在学院水族楼那阴湿的地下室中转悠的时候，他也不知道这个顺序到底是什么。高梅兹一桶桶地把微生物倒在大塑料槽里搅和，按照不同的顺序逐样添加各个物种，希望能够获得一个成型群落。但基本上每次尝试都是失败的。

每次尝试开始的时候，他都会首先培养出一份浓稠的豆色海藻培养液，排放在正午的阳光下，乱糟糟地冒着泡泡。如果系统开始偏离形成珊瑚礁的条件，高梅兹就会冲洗培养槽。用了一年不到的时间，他终于获得了演化方向正确的原型珊瑚培养液。

创造自然需要时间。高梅兹启动珊瑚礁（项目）5年之后，礁体才形成自我维持系统。直到前不久，高梅兹还必须给栖息在人造礁石上的鱼和无脊椎生物提供食物。不过在他看来，现在这块礁体已经成熟了。“经过持续了5年的精心照料，我已经给水族箱建立了一个完整的食物网，因此，我不必再给它喂食了。”唯一要提供的就是阳光，卤素能源不断地燃烧，生成人造日光倾泻在这块人工礁石上。阳光哺育海藻，海藻养活水生物，水生物养活珊瑚、海绵、蛤蜊和鱼。而归根到底，这块礁石是靠电力维持生命的。

高梅兹预测说，当这个礁石群落最终稳定下来时，还会发生进一步的转变。“在我看来，到满10岁之前它还会发生重大的变化。因为到那时候礁石会发生融合。基脚珊瑚开始向下扎根到松散的岩石中，而身处地下的海绵会在底下挖洞。所有这些会整合成一个大型的生命群。”一块有生命的岩石就从几个种子生物体中发展起来。

大家都没料到，在所有融进这块玩具礁石的生物里面，大约有90%的生物是偷偷进来的，也就是说，最初的那锅培养液里没有它们的影子。其实，当初那培养液里就存在着少量且完全不可见的微生物，只不过直到5年之后，等到这块礁石已经做好了融合的准备，才具备了这些微生物参与融合发展的条件，而在此之前，它们一直隐匿而耐心地漂浮着。

与此同时，某些在初始阶段主宰这块礁石的物种消失了。高梅兹说，“我没有预料到会出现这种情况。这让我非常震惊。生物接连死去。我问自己我到底做错了什么？事实证明我什么也没有做错。这只不过是群落的循环而已。这个群落启动之时需要大量的微藻类。之后的10个月内，微藻类消失。接着，某些开始时很旺盛的海绵消失，另一种海绵却突然冒出头来。就在最近，一种黑色海绵开始在礁石里扎下根。而我却完全不知道它是从哪来的。正如帕卡德的北美大草原以及温盖特的楠萨奇岛的复原工作，珊瑚礁在组合的初始阶段，而不是在维护阶段，需要某些伴护性物种的帮助。礁石中的某些部分只不过是“拇指”。

劳埃德·高梅兹的这种建造礁石的技巧在夜校里大受欢迎。对于那些痴心不改的业余爱好者来说，珊瑚礁可以算得上是一个最新出现的挑战。这些人登记入学，就是为了学会怎样把浩瀚的大洋微缩到100加仑。高梅兹的这个微缩盐水系统，把方圆数英里的生物收入一个带附件的大型水族箱里。附件也就是定量给料泵机、卤素灯、臭氧发生器、分子吸附过滤装置，诸如此类的东西。每个水族箱1万5千美金，价格不菲。这套昂贵的设备运转起来，就像真正的海

洋一样，清洁、过滤着礁石周围的水体。珊瑚的生存环境需要水溶气体、微量化学元素、酸碱度、微生物种群、光照、波浪模式和温度等种种因素上达到非常精细的平衡。而所有这一切，都是由机械装置和生物制剂的互联网络在水族箱中提供的。按照高梅兹的说法，常见的失误，往往在于试图往生物栖息地塞入超过系统承载能力的生物，或者，正如皮姆和德雷克所发现的，没有按照正确的顺序来引入这些生物。那么，顺序到底有多么要紧？高梅兹的说法：“生死攸关。”

要获得稳定的珊瑚礁，重要的是要做好最初的微生物母体。夏威夷大学的微生物学家克莱尔·福尔索姆曾经根据他对广口瓶中的微生物培养液所作的研究得出过这样的结论：“任何一种稳定的封闭生态系统的基础，基本上都是某种微生物。”他认为，在任何一个生态系统里，微生物都肩负着“闭合生物元素之环”的作用，使大气与养分能够循环流动。对此，他通过微生物的随机混合找到了证据。福尔索姆所做的实验跟皮姆和德雷克所作的实验非常相似，唯一的区别就是，他把广口瓶的盖子给封上了。他仿制的不是地球生命的一小部分，而是自给自足的整个地球的自我循环系统。地球上的所有物质都处于某种循环之中（除了些许无足轻重的轻气体的逃逸，以及陨石的少量坠落）。用系统科学的术语来说，地球在物质上是一个封闭系统。而另一方面，从能量/信息的角度来看，地球又是开放的：阳光照射着地球，信息则来来去去。像地球一样，福尔索姆的广口瓶在物质上是封闭的，在能量上是敞开的。他从夏威夷群岛的海

湾挖出含盐的微生物样本，把他们用漏斗倒进实验室用的那种

1升或者

2升的玻璃烧瓶中，然

后密封起来，再通过一个采样口抽取少许来测量它们的种群比率和能量流，直到它们稳定下来。

如同皮姆发现随机混合物是多么轻易地形成自组织的生态系统时一样，福尔索姆也是大吃一惊。他惊讶地发现，即使对封口的烧瓶中生成的封闭营养物质循环回路施以额外挑战，也阻止不了简单微生物群落获得均衡状态。福尔索姆说，在

1983的秋天，他和另外一个叫曹恒信的

研究者意识到，封闭式生态系统，“哪怕它的物种类别再少，也几乎都能成活。”而那时，福尔索姆最初的那些烧瓶，有些已经存活了

15年。最早的那一瓶是在

1968搭配封装的，到现在

已经有

25年的时间了。在此期间，没有向里面添加过一点空气、食物或者营养物质。尽管如此，他这一瓶以及所有其它的瓶装生物群落，仅凭着室内的充足光照，在此后多年里仍然生长旺盛。

不过，无论能够生存多长时间，这些瓶装系统都需要一个启动阶段，一个大概会持续

60

到

100天的波动危险期，在此期间任何意外都可能发生。高梅兹在他的珊瑚微生物中也看到了这种情况：复杂性的开端植根于混沌之中。不过，如果复杂系统能够在一段时间的互相迁就之

后获得共同的平衡，那么之后就再没有什么能够让它脱离轨道了。

这种封闭的复杂系统到底能够运行多长时间？福尔索姆说，据说巴黎国家博物馆展出过一株

1895 年封入一个玻璃罐中的仙人掌，正是这个传说激发了他制造封闭的物质世界的最初兴趣。他不能证实传说的存在，但据说在过去的一个世纪里，这株仙人掌上覆盖的藻类和苔藓的颜色会依序从绿到黄循环变换。如果这个封闭的玻璃罐能获得光照和稳定的温度，那么，从理论上说，这些苔藓没有理由不能生存到太阳毁灭的那一天。

福尔索姆的封闭微生物迷你世界有它们自己的生活节奏，也真实地反映了我们星球的生活节奏。在大约两年的时间内，它们重复利用自己的碳，从二氧化碳到有机物质，再从有机物到二氧化碳，循环往复。它们保持着一种与外界的生态系统相类似的生物生产率。它们生产出定量的氧气，比地球的氧水平稍高。它们的能源效率与外部大生态系统相当。而且，它们赡养的生物数量显然是不限定的。

福尔索姆从自己的烧瓶世界中得出这样的结论：是微生物——这种细小细胞构成的微型生命，而不是红杉、蟋蟀或者猩猩——进行了最大量的呼吸，产生了空气，最终供养了地球上无穷的可见生物。隐形的微生物基质引导着生命整体的发展进程，并将各种各样的养分环融合在

一起。福尔索姆觉得，那些引起我们注意的生物，那些需要我们照料的生物，就环境而言，可能仅仅是一些点缀性的、装饰性的东西。正是哺乳动物肠道中的微生物，还有黏附在树根上的微生物，使树木和哺乳动物在包括地球在内的封闭系统中有了价值。

8.2 邮购盖亚

我的书桌上曾经摆放了一个小小的生态球。它甚至还有一个编号：58262 号世界。我不必为我的星球做什么，只要时不时地看看它就行了。

1989 年

10 月

17 日下午

5 点

04 分，在突然袭来的旧金山地震中，58262 号世界变成了齏粉。在大地的震动中，一个书架从我办公室的墙面上松脱，砸在我的书桌上。一眨眼的功夫，一本关于生态系统的厚重的大册子就把我的这个生态球的玻璃壳压得粉碎，像搅和打碎的鸡蛋那样把它的液体内脏彻底地搅和在一起。

58262 号世界是一个人工制作的生物圈，制作者精心地让它达到了一种平衡状态，以求它能够永远生存下去。它是福尔索姆和曹恒信的那些微生物广口瓶的后裔之一。曹恒信是加州理

195196

工学院喷气推力实验室

为

NASA 高级生保计划

工作的研究人员。与福尔索姆的微生物世界相

比，他创造出来的世界更具多样性。曹恒信是第一个找到包含动物在内的自维持生物的简单组合的人。他把小盐水虾和盐卤藻一起放进了一个永续的密闭环境中。

他的这个封闭世界的商业版名称叫做“生态球”，基本上是一个跟大柚子差不多大小的玻璃球。我的

58262 号世界就是这些玻璃球中的一个。被彻底地封在这个透明球体中的有四只

小盐水虾、一团挂在一根小珊瑚枝上的毛茸茸的草绿色水藻，以及数以百万计的肉眼看不见的微生物。球的底部有一点沙子。空气、水或者任何一种物质都不能出入这个球体。这家伙唯一摄入的就是阳光。

打从开始制作时算起，年头最长的曹氏人造微生物世界已存活了

10 年。这让人很意外，

因为游弋其中的盐水虾的平均寿命通常在

5 年左右。照理说这些生物能在封闭的环境中一直繁

衍下去，但是让这些生物在这样的封闭世界里繁衍生息总归是个难题。当然，个体的盐水虾和海藻细胞会死。获得“永生”的是群体的生命，是一个群落的整体生命。

你可以通过邮购买到一个生态球，就好像买到一个盖亚或者一种自发生命的实验。你从塞满填充物的包裹中拆出这样一个球体来。在经历了剧烈震荡的旅程之后，那些小虾看起来仍然

.

195 喷气推力实验室：Jet

Propulsion

Laboratory

.

196 高级生保计划：Advance

Life-support

Program

很健康。然后，你用一只手托起这个炮弹大小的生态球，对着光照，它会闪烁出宝石一样纯净的光芒。这是一个被吹制进瓶子的世界，玻璃在顶部整齐地收拢在一起。

这个生态球就呆在那里，生存在它那种脆弱的不朽之中。自然学家彼得·沃肖尔手里有一个第一批制造出来的生态球，一直放在他的书架上。沃肖尔的读物包括那些已故诗人的隐晦诗作、法国哲学家的法语著作，以及关于松鼠分类学的专题论文。对于他来说，自然就是诗歌的一种；生态球则是一个大肆宣传实体的皮书套。沃肖尔的生态球生活在善意的忽视下，几乎相当于某种不用去照料的宠物。关于他的这种“非嗜好”，沃肖尔写到：““你不能喂虾。不能

去除残腐。你也不能去摆弄那些根本就不存在的过滤器、充气机或者泵机。你也不能把它打开来用手指去测试水温。你所能做的唯一的事情——如果‘做’在这里还是合适的词汇的话——就是观察和思考。”

生态球是一个图腾，一个属于所有封闭的生命系统的图腾。部落民众选出某种图腾物，作为连接灵魂与梦想这两个相互分离的世界的桥梁。而生态球，这个被封闭在晶莹剔透的玻璃里面的独特世界，仅仅凭着“存在”，向我们发出邀请，让我们去沉思那些难以把握的图腾似的理念，比如“系统”、“封闭”、甚至“存活”。

“封闭”意味着与流动隔绝。一个树林边上修剪整齐的花园，独立生活在自然形成的野生状态的包围中。不过，花园生态所处的分离状态是不完全的——是想像多于现实的分离。每一个花园，实际上只是我们都身历其中的更大生物圈的一小部分。水分和营养物质从地下流入其中，氧气和收获物又会从中“流出”。如果没有花园之外的那个持续存在的生物圈，花园自己就会衰败消失。一个真正的封闭系统，是不会参与外部元素流动的；换句话说，它所有的循环都是自治的。

“系统”意味着相互连通。系统中的事物是相互纠结的，直接或者间接地连接到一个共同的命运。在一个生态球世界中，虾吃藻类，藻类靠阳光生存，微生物则靠两者产生的“废料”生存。如果温度上升得太高（超过华氏

90 度

197），虾蜕皮的速度就会超过它进食的速度，这样

一来它们实际上就是在消耗自己。而如果没有足够的光照，藻类的生长速度就达不到虾所需要的水平。虾摇摆的尾巴会搅动水，从而搅起微生物，让每个小虫都能得到晒太阳的机会。生态球除了个体生命，更有整体生命。

.

197 华氏

90 度：约合摄氏

32.2 度。

“存活”，意味着惊喜。完全黑暗的环境里，一个普通的生态球可以生存

6 个月，与逻辑

预期相反。而另外一个生态球，在一个温度和光线非常稳定的办公室里呆了两年之后，突然有一天爆发了繁育潮，在球里平添了

30 只小虾仔。

不过，静态才是生态球的常态。沃肖尔不经意地写过这样一段话：“有时候你会觉得这个生态球太过平静，和我们匆忙的日常生活形成鲜明的反差。我曾经想过要扮演一次非生物的上帝。拿起它摇晃一阵：来点地震怎么样，你这小虾米！”

对生态球世界来说，像这样时不时地让其公民混乱上一阵，还真的是一件好事。纷扰维护着世界。

森林需要破坏力巨大的飓风来吹倒老树，以便腾出空间让新树生长。大草原上的流火，可以释放必须经过火烧才能摆脱硬壳束缚的物质。没有闪电和火焰的世界会变得僵硬。海洋既有在短期内形成海底暖流的激情，也有在长期的地质运动中挤压大陆板块和海床的激情。瞬间的热力、火山作用、闪电、风力以及海浪都能够让物质世界焕然一新。

生态球中没有火，没有瞬间的热力，没有高氧环境，没有严重的冲突——即使在它最长的循环周期里也没有。在它的那个小空间里，在数年的时间里，磷酸盐——所有活细胞的重要成分，会跟其他元素非常紧密地结合在一起。从某种意义上说，把磷酸盐剔出这个生态球的循环，就会逐渐减少产生更多生命的希望。在低磷酸盐的环境中，唯一能够繁荣兴盛的只有大块的蓝绿海藻，那么，随着时间的推移，这个物种势必在这些稳定系统中占据主导地位。

给这玻璃世界加点东西，比如能够产生闪电的附件，也许能逆转磷酸盐的沉降，以及摆脱随之而来的蓝绿海藻必然的接手。一年有那么几次，让这个由小虾和藻类组成的平静世界产生几个小时的灾祸，噼啪作响、嘶嘶作声、沸腾起来。它们的休假当然会就此泡汤，但是它们的世界却可以从此焕发青春。

在彼得·沃肖尔的生态球中（除了他的遐想之外，这个球多年来一直放在那里没人打扰），矿物质已经在球体的内部凝成一层坚实的晶体。从盖亚理论的角度来说，就是生态球制造出了陆地。这块“陆地”——由硅酸盐、碳酸盐以及金属盐组成——之所以在玻璃上形成，是因为电荷的作用，是一种自然形成的电解沉积。唐·哈曼尼，那个生产生态球的小公司的主要负责人，对他的小型玻璃盖亚的这种趋势非常熟悉，他半真半假地建议说，可以通过给这个球体焊上一根地线来阻止石化层的形成。

最后，盐晶会因为自身的重量从玻璃球的表面脱落下来，沉积到液体的底部。在地球上，海底沉积岩的累积，也正是更大范围的地质循环的一部分。碳和矿物质通过水、空气、土地、岩石进行循环，然后重新返回到生命体中。生态球也是如此。它抚育的各种元素，也是通过大气、水和生物圈所组成的循环达到了动态平衡。

绝大多数的野外生态学家都感到惊讶，这样一种自我维持的封闭世界居然能够如此简单。看来随着这种玩具式的生物圈的出现，那种可持续的自给自足状态也可以轻易地创造出来，特别是如果你对这种系统维持的到底是哪些生物不太在意的话。可以说，邮购的生态球证明了一个不同寻常的断言：自我维持的系统“主观上”愿意出现。

如果说简单的小型系统唾手可得，那么我们到底能够把这种和谐扩大到什么程度，而不至于失去这样一个除了能量输入之外完全封闭的自我维持的世界呢？

事实证明，生态球按比例放大后仍很完好。一个巨大的商业版生态球可达200升。这差不多是一个大垃圾箱的容积——大到你无法环抱。在一个直径30英寸漂亮的玻璃球里，海虾在海藻的叶片之间戏水。不过，与通常只有

3、4 只食孢虾的生态球不同，这个巨大的生态球里装了

3000 只虾。这是一个有自己居民的小月球。大数定律在这里应验：多则意味着不同。更多的个体生命让这个生态系统更具活力。事实上，生态球越大，达到稳定所需时间就越长，破坏它也就越困难。只要处于正常状态，一个活系统的集体代谢过程就会扎下根，然后一直持续下去。

8.3 人与绿藻息息相关

下一个问题显然是：这种与外界流动隔绝的玻璃瓶，到底要多大、里面要装些什么样的活物，才能保障人在里面生存？

当人类的冒险家们冒险穿越地球大气这个柔软的瓶壁的时候，上述的学术问题就具备了现实意义。你能通过保证植物持续存活，来让人类在太空里像虾在生态球里一样持续存活吗？你能把人也封闭在一个受到日光照射、有充足的活物的瓶子里，让他们相互利用彼此的呼吸吗？这是一个值得动手去探寻的问题。

小学生都知道，动物消耗植物产出的氧气和食物，植物则消耗动物产出的二氧化碳和养料。这是一个美好的镜像：一方生产另一方所需要的东西，就好象虾和水藻那样，彼此服务。也许，可以按照植物和哺乳动物对等的要求，以一种正确的方式把它们搭配在一起，它们就能够相互扶持。也许，人也能在一个封闭的容器里找到适合自己的生物体化身。

第一个足够疯狂来做这个尝试性实验的人，是一名莫斯科生物医学问题研究所的俄罗斯研究员。在对太空研究热火朝天的头些年里，叶夫根尼·舍甫列夫

198 于

1961 年焊了一个铁匣子，
匣子的大小足以把他还有

8 加仑的绿藻装进去。舍甫列夫的精心计算表明，8 加仑的小球藻在
钠灯的照射下可以产生足够一个人使用的氧气，而一个人也可以呼出足够

8 加仑的小球藻使用
的二氧化碳。方程的两边可以相互抵消成为一体。所以，从理论上说，应该是行得通的，至少纸面上是平衡的，在黑板上的演算也非常完美。

但在这个气密的铁仓里，情况却全然不同。你不能凭理论呼吸。假如绿藻发育不良，那天才的舍甫列夫也得跟着倒霉；反之，如果舍甫列夫玩完了，那绿藻也活不下去。换句话说，在这个匣子里，这两个物种几乎是完全共栖的关系，它们自身的生存完全依赖对方的存在，而不再依赖外部那个由整个星球担当、以海洋、空气以及各种大小生物构成的巨大的保障网络。被封闭在这个舱里的人和水藻，实际上已经脱离了由其他生命编织起来的宽广网络，形成一个分离的、封闭的系统。正是出于对科学的信念，干练的舍甫列夫爬进了舱室并封上了门。

.

198 叶夫根尼·舍甫列夫 (Evgenii

Shepelev): 第一位在封闭的生命系统内中生活的人类。构成该系统生物再生部分的只有小球藻。

绿藻和人坚持了整整一天。在大约

24 个小时的时间中, 人吸入绿藻呼出的气息, 绿藻吸

入人呼出的气息。之后腐败的空气把舍甫列夫赶了出来。在这一天临近结束的时候, 最初由绿藻提供的氧气浓度迅速降低。在最后一刻, 当舍甫列夫打破密封门爬出来的时候, 他的同事们都被他的小屋里的那令人反胃的恶臭惊呆了。二氧化碳和氧气倒是交换得颇为和谐, 但是绿藻和舍甫列夫排出的其他气体, 比如甲烷、硫化氢以及氨气, 却逐渐污染了空气。就好象寓言中那个被慢慢烧开水煮熟的快乐青蛙, 舍甫列夫自己并没有注意到这种恶臭。

舍甫列夫带有冒险色彩的工作, 受到了远在北西伯利亚的一个秘密实验室中的其他苏联研究人员的严肃对待, 后者继续做了舍甫列夫的工作。舍甫列夫自己的小组能够让狗和老鼠在绿藻系统中生存最长

7 天。他们不知道, 大约在同一时间, 美国空军航空医学学院把一只猴子关进了由绿藻制造的大气里

50 个小时。在此之后, 舍甫列夫他们把一桶

8 加仑的小球藻放在一个

更大密封室里, 并且调节了绿藻的养料以及光线的强度, 创造了一个人在这个气密室里生存 30

天的记录! 在这个特别持久的过程中, 研究人员发现绿藻和人的呼出物并不完全相称。要想保持大气的平衡, 还需要使用化学滤剂去除过量的二氧化碳。不过, 让科学家们感到鼓舞的是, 臭臭的甲烷的含量, 在

12 天之后就稳定下来了。

到了

1972 年, 也就是十多年之后, 这个苏联的研究团队, 在约瑟夫·吉特尔森的领导下, 建立了能够支撑人类生存的第三版小型生物栖息地。俄国人管它叫生物圈 3 号。它的里面很拥挤, 仅可供三人生存。4 个小气密室里装进了好几桶无土栽培的植物, 用氙气灯照射。盒装的人在这些小房间里种植、收获那些俄罗斯出产的作物——土豆、小麦、甜菜、胡萝卜、甘蓝、水萝卜、洋葱和小茴香。他们的食物一半来自这些收获的作物, 包括用小麦做出的面包。在这个拥挤、闷热的密封暖房里, 人和植物相依为命共同生活长达

6 个月之久。

这个匣子其实还不是完全密封的。它密封的空气倒是没有气体交换, 但它只能再循环 95%

的水。苏联科学家事先在里面存储了一半的食物(肉类和蛋白质)。另外, 生物圈 3 号不能对

人类的排泄物或者厨房垃圾进行回收; 生物圈

3 号的住客只得把这些东西从匣子里排放出去,

这样也就排出了某些微量元素和碳。

为了避免所有的碳都在循环中流失, 居民把死掉的植物中那些不能吃的烧掉一部分, 把它

变成二氧化碳和灰烬。几个星期里房间就积累了不少微量气体，源头各有不同：植物、建材还有居民自己。这些气体有些是有毒的，而当时的人们还不知道如何回收这种气体，于是，只好用催化炉把这些东西“烧”掉。

当然，NASA 对在太空为人类提供食物和住所也非常感兴趣。1977 年，他们发起了一个持续至今的计划：受控生态生命保障系统

199. NASA 采用的是简约式的方法：寻找能够生产出人类消耗所必需的氧气、蛋白质以及维他命的最简单的生命形式。事实上，正是在摆弄这些基本系统的过程中，身为 NASA 一员的曹恒信偶然发现了虽然有趣但在 NASA 眼中并不是特别有用的虾/藻搭配。

1986 年，NASA 启动了面包板计划

200. 这个计划的目的是在更大的范围内实现那些在桌面上获得的试验结果。面包板计划的管理人找到一个“水星号”宇宙飞船

201 遗留下来的废弃的圆筒。这个巨大的管状容器，曾经用作安在“水星号”火箭顶尖上的小型太空舱的压力测试室。NASA 给这个双层结构的圆柱体外面添加了通风和给排水管道系统，把里面改装成带有灯具、植物和循环养料架的瓶装住宅。

与苏联的生物圈

3 号试验的办法一样，面包板计划利用更高等的植物来平衡大气、提供食物。一个人一天能勉强下咽的绿藻实在有限，而且，就算一个人只吃绿藻，小球藻每天能为人类提供的养分也只达到人类所需的十分之一。正是这个原因，NASA 的研究人员才放弃了绿藻系统而转向那些不仅能清洁空气，而且还能提供食物的植物。

看起来每个人都不约而同想到了超密集栽培。超密集栽培能够提供真正能吃的东西，比如说小麦。而其中最可行的装置，就是各种水培装置，也就是把水溶性的养料通过雾、泡沫的形式传输给植株，或者用薄膜滴灌的方式给那些遮盖了塑料支撑架的莴笋之类的绿叶植物输送养分。这种精心设计的管道装置在狭窄的空间生产出密集的植物。犹他州大学的弗兰克·索尔兹巴利 202 找到了不少精确控制的办法，把小麦生长所需的光照、湿度、温度、二氧化碳含量以及养料等控制在最佳状态，将春小麦的种植密度扩大了 100 倍。根据野外试验的结果，索尔兹巴利

.
199 受控生态生命保障系统：CELSS, Controlled Ecological Life Support System

.
200 面包板计划：Breadboard
Project

.
201 “水星号”：是美国的第一代载人飞船，总共进行了
25 次飞行试验，其中
6 次是载人飞行试验。“水星号”飞船计
划始于 1958 年
10 月，结束于 1963 年
5 月，历时
4 年
8 个月。

.
202 弗兰克·索尔兹巴利（Frank
Salisbury）：1955 年获加州理工学院植物生理学/地球化学博士学位，先后在波摩纳学
院、科罗拉多州州立大学任教，1966 年到犹他州州立大学农业学院担任新建立的植物科学系主
任直至退休。研究范围包
括花生生理学、雪下植物生长、受控环境下的植物生长（以向宇航员提供食物和氧气）以及植物
对地心引力的反应等。

估算出在月球基地之类的封闭环境下每一平方米超密集播种的小麦能够产出多少卡路里。他的
结论是，“一个美式橄榄球场大小的月球农场能够供养
100 名月球城居民”。

100 个人就靠一个足球场大小的蔬菜农场过活！这不就是杰弗逊的那个农业理想国的愿景
吗！你可以想象一下，一个近邻的星球聚居着无数带有超大圆顶的村庄。每一个村庄都可以为
自己生产食物、水、空气、人以及文化。

然而，NASA 在创造封闭的生存系统方面给许多人的感觉是，过于小心谨慎、速度缓慢得令
人窒息，而且简约到了令人无法容忍的程度。事实上，NASA 这个“受控生态生命保障系统”可
以用一个很贴切的词来形容：“受控”。

而我们需要的，却是一点点的“失控”。

8.4 巨大的生态技术玻璃球

那种比较合适的失控状态，发端于靠近新墨西哥州圣达菲的一家年久失修的大牧场。在二
十世纪七十年代早期，也就是公社最繁荣的时代，这家牧场收拢了一群文化不适应的典型叛道
者。当时，绝大多数公社都在随心所欲地运转。而这个被命名为协作牧场的大牧场并未随波逐
流。这个新墨西哥州的公社要求其成员遵守纪律，辛勤劳作。大灾变来临时，他们不是听天由
命，怨天尤人，而是致力于研究怎么做才能摆脱社会的疾患。他们设想出几个制作巨型精神方
舟的方案。那异想天开的方舟设计得越是宏大，大家对整个的构想就越感兴趣。

想出了这个令人振奋的主意的，是公社的建筑师菲尔·霍斯。1982年，在法国开的一次会议上，霍斯展示了一个透明球体太空飞船的实体模型。这个玻璃球里面有花园、公寓，还有一个承接瀑布的水潭。“为什么仅仅把太空生活看成是一段旅程，而不把它当做真正的生活来看待呢？”霍斯问到。“为什么不仿造我们一直游历其中的环境建造一艘宇宙飞船呢？”换句话说，为什么不创造一个活的卫星，来替代打造出来的死气沉沉的空间站呢？把地球本身的整体自然环境复制出来，做出一个小型的透明球体在太空中航行。“我们知道，这是行得通的。”富有魅力的牧场领导者约翰·艾伦说道，“因为这其实就是生物圈每天在干的事情，我们要做的，只不过是找出合适的规模。”

在离开牧场之后，协作牧场的成员仍在继续努力实现这隐秘的生活方舟的梦想。1983年，德克萨斯州的艾德·巴斯，前牧场成员之一，利用家族非常雄厚的石油财富的一部分，为建造这个方舟的实证原型提供了资金。

跟

NASA 不一样，协作牧场人解决问题靠的不是技术。他们的想法是尽可能多地在密封的玻璃圆顶屋内添置生物系统——植物、动物、昆虫、鱼还有微生物，然后，依靠初始系统的自我稳定倾向自行组织出一个生物圈的大气。生命经营的事业就是改造环境使其有益于生命。如果你能把生物聚拢成为一个群落，给它们充分的自由制造自己茁壮成长所需的条件，这个生物集合体就能够永远生存下去，也没有必要知道它是怎样运转的。

实际上，不仅它们不知道，生物学家们也并不真正知道植物到底是怎么工作的——它到底需要什么，又生产出了什么——也根本不知道一个封闭在小屋子里的分布式微型生态系统到底

会怎样运转。他们只能依靠分散的、不受控制的生命自己理出头绪，从而达到某种自我加强的和谐状态。

还没有人建造过这么大的生命体。就连高梅兹那时也还没有建造他的珊瑚礁。协作牧场人对克莱尔·福尔索姆的生态球也只有个模糊的概念，而对俄罗斯的生物圈三号试验的了解就更少了。

这个小团体——如今自称为太空生物圈企业

SBV

203——利用艾德·巴斯资助的数千万美

金，在二十世纪八十年代中期，设计建造了一个小棚屋大小的试验装置。小棚屋里塞满了一个暖房那么多的植物，一些负责水循环的别致的管道，几个灵敏的环境监控装置的黑箱子，还有一个小厨房和卫生间，当然还有很多玻璃器皿。

1988年

9月，约翰·艾伦把自己封闭在这个装置中进行了第一次试验，为期3天。跟叶夫

根尼·舍甫列夫那勇敢的一步类似，这也是一次基于信念的行动。虽然是通过理性的推测精选出

来了植物，但这些植物作为一个系统怎样才能工作得好，却是完全不受控制的。和高梅兹辛苦得来投放顺序相反，SBV 的家伙们只是把所有的东西一股脑儿往里一扔。这个封闭的家园至少能依靠某些个品种的植物来满足一个人的肺活量。

测试的结果非常令人鼓舞。艾伦在他

9 月

12 日的日记中写到：“看起来，我们——植

物、土壤、水、阳光、夜晚还有我，已经接近了某种均衡”。在这个大气循环达到 100% 的有限生物圈中，“可能原本都是由人类活动产生的” 47 种微量气体的含量降到了微乎其微的水平，这是因为小棚屋的空气是透过植被土壤传送的——SBV 把这种古老的技术现代化了。跟舍甫列夫的实验不同的是，当艾伦走出来的时候，里面的空气是清新的，完全可以接纳更多的人进去生活。而对于外边的人来说，吸一口里面的空气，就会震惊于它的湿润、浓厚和“鲜活”。

艾伦的试验数据表明，人类可以在这个小屋子里生活一段时间。后来，生物学家琳达·利在这个小玻璃棚里过了三个星期。在

21 天的独居结束之后，她跟我说：“一开始我担心自己

是否能忍受呼吸里面的空气，不过两个星期之后我就几乎不再注意那里的湿气了。事实上，我感到精力充沛，更舒适，也更健康了，也许是因为密闭植物清洁空气、制造氧气的天性使然。

.

203 太空生物圈企业 (SBV

-Space

Biosphere Ventures): 是生物圈二号最早的管理机构，由石油大亨爱德·巴斯提供

部分资金。该机构的投资人试图从项目进程中获取商用技术。1996 年美国哥伦比亚大学加入，建立生物圈二号中心股份

公司。该合资公司将生物圈二号的设施改造成为会议、教学以及日后短期的不包括人类的人造生态系统研究基地。

而大气即使在那个空间里，也是稳定的。我觉得这个测试模块完全可以持续两年的时间，而且大气还不出什么问题。”

在这三周的时间里，棚屋里那些精密的监测设备显示，无论是来自建筑材料，还是来自生物体的微量气体，都没有增加。尽管总的来说，大气是稳定的，但它也很敏感，任何微小的变异都能轻易地引起它的波动。当利在棚屋动土收红薯的时候，她的挖掘惊扰了制造二氧化碳的土壤生物。慌乱的虫子们暂时改变了实验室中的二氧化碳浓度。这是蝴蝶效应的一个实例。在复杂系统中，初始条件的一个小变动都可能放大，大范围影响到整个系统。这个原理通常是这样来说明的：假设北京的一只蝴蝶扇动了一下翅膀，就会在佛罗里达引发一场飓风。而在 SBV 封闭的玻璃棚屋里，蝴蝶效应是小规模的：利动了动手指，就扰乱了大气的平衡。

约翰·艾伦和另外一位协作牧场人马克·尼尔森设想在不远的将来，将火星空间站建成一个巨型封闭式系统瓶。艾伦和尼尔森逐渐推演出一种名为生态技术的混合技术，这种混合技术基

于机器人和活生物体的融合而建立，旨在支持未来人类外星移民。

他们对上火星的事是极其认真的，而且已经开始解决细节问题了。为了去火星甚至更远的地方旅行，你需要一组工作人员。到底需要多少人呢？军事长官、探险队领队、创业经理、还有危机处理中心的人对此早有认识。他们认为，对于任何一个复杂、危险的项目来说，最理想的团队人数是

8 个人。超过

8 个人，会造成决策缓慢和耽搁；而少于

8 个人，突发事件或者疏

忽大意就会变成严重的阻碍。艾伦跟尼尔森决定采用

8 人一组制。

下一步：要想为

8 个人无限期地提供庇护、食物、水和氧气，这个瓶装世界要有多大？

人类的需要是相当确定的。每个成年人每天大概需要半公斤食物，一公斤氧气，1.8 公斤饮用水，美国食品及药物管理局（FDA）建议的维他命量，以及几加仑用来洗涮的水。克莱尔·福尔索姆从他的小生态圈中得到推算结果。按照他的计算，你需要一个半径为

58 米的球体——

半是空气半是微生物的混合液——来为一个人提供无限期的氧气供应。接着，艾伦和尼尔森提取了俄国生物圈三号的试验数据，并把它跟福尔索姆、索尔兹巴利以及其他从密集栽培农业收获的数据结合在一起。根据二十世纪八十年代的知识和技术，需要

3 英亩（大约

1 万

2 千平

米）的土地才能养活

8 个人。

3 英亩！那个透明的容器必须得像阿斯托洛圆顶体育馆

204 那么大了。这么大的跨度至少需

要

50 英尺（15 米多）高的穹顶，外面再罩上玻璃，它真会成为一个不寻常的景观。当然也相当昂贵。

不过，它一定会很壮观！他们一定会建成它！凭借艾德·巴斯的进一步资助，他们也做到了，总共追加了一亿美元。这个

8 人方舟的工程，于

1988 年正式动工。协作牧场人把这个宏大

的工程称为生物圈二号（Bio2），我们地球（生物圈 1 号）的盆景版。建成这个“盆景”耗费了三年时间。

204 阿斯托洛圆顶体育馆：耗资

3100 万美元、于

1965 年兴建完成的这一运动场是目前世界上最大的一座室内运动场，内部装有冷暖气设备。棒球、足球、赛马，以至于马戏团表演，都可以在室内进行。紧邻的阿斯托洛世界（AstroWorld）

是一个规模极大的娱乐中心，游客可以观赏欧洲各种村落的景色，也能够欣赏各类表演。

8.5 在持久的混沌中进行的实验

生物圈二号跟地球相比是小，但是作为一个完全自足的玻璃容器，在人类眼里，它的规模就很令人震撼了。生物圈二号这个巨型玻璃方舟有机场飞机库那么大。至于它的形状，你可以想像一艘全身透明的远洋轮船，再把它倒过来就是了。这个巨大的温室的密闭性超强，连底部也是密封好的——在地下

25 英尺的位置埋了一个不锈钢的托盘来防止空气从地下泄露出去。

没有任何气体、水或者物质能够出入这个方舟。它就是一个体育馆大小的生态球——一个巨大的物质封闭、但能量开放的系统——只不过要复杂得多。除了生物圈

1 号（地球）之外，生物

圈二号就是最大的封闭式活系统了。

要想创造一个有生命的系统，无论大小，所面临的挑战都令人心生畏惧。而创造一个像生物圈二号这么大的生命奇迹，只能说这是一种在持久的混沌中进行的实验。我们面临的挑战有：首先要在几十亿种组件中挑选出几千个合适的物种；然后把它们合理地安排在一起，让它们能够互通有无，以便这个混合物整体能任凭时间流逝而自我维持；还要保证没有任何一种有机体以其它有机体为代价在这个混合体中占据主宰的位置，只有这样，这个整体才能保证它所有成员都不断地运动，不会让任何一种成分边缘化；同时保证整个活动和大气气体的组分永远维持在摇摇欲坠的状态。噢，对了，人还得在里面活得下去，也就是说，里面得有东西吃，有水喝，而食物和水，也都要从这个生态圈中获取。

面对这些挑战，SBV 决定把生物圈二号的存亡问题，托付给这样一条设计原则：生命体大杂烩那不寻常的多样性能够达成统一的稳定性。而生物圈二号这个“实验”，即使证明不了别的什么，至少能够为我们理解下面这条在过去的二十年间几乎被所有人都认可的假设提供某些帮助：多样性保证了稳定性。它还可以检验某种程度的复杂性是否可以诞生自我延续性。

作为一个具有最大多样性的建筑，在生物圈二号最终的平面设计图中有

7 个生态区（生物

地理的栖息环境）。玻璃苍穹下，一个岩石面的混凝土山直插穹顶。上面种着移植过来的热带树木，还有一个喷雾系统：这个合成的山体被改造成了一片雾林，也就是高海拔地区的雨林。这片雾林向下融入一片高地热带草原（有一个大天井那么大，但是长满了齐腰高的野草）。雨林的一边在一面悬崖边住脚，悬崖下探至一个咸水湖，里面配有珊瑚、色彩斑斓的鱼类，还有龙虾。而高地草原则向下延伸到一片更低更干燥的草原上，黑黢黢地布满了多刺、纠结的灌木

丛。这个生态区叫做多刺高灌丛，是地球上最常见的动植物栖息地之一。在真实世界中，这种地域对人类来说几乎是不可穿越的（因此也被忽视了）。但是在生物圈二号，它却为人类和野生动物提供了一小块隐居地。这片植物丛又通往一小块紧凑湿软的湿地，这就是第

5个生态区

了，它最后注入了咸水湖。而在生物圈二号的最低处，是一片沙漠，大小跟一个体操馆差不多。由于里面湿度非常的大，所以种植的是从下加利福尼亚和南美移植来的雾漠植物。在这块沙漠的一边，就是第

7个生态区：一块密集农业区和城市区，这里就是

8个现代人种植食物的

地方。跟诺亚的方舟一样，这里面也有动物。有些是为了作食用肉，有些是为了当宠物养，还有些逍遥自在：在荒野漫游的蜥蜴，鱼以及鸟类。另外还有蜜蜂、番木瓜树、海滩、有线电视、图书馆、健身房和自助洗衣房。乌托邦啊！

这东西规模大得惊人。有一次我去参观他们的建筑工地，有一台

18轮的半挂大卡朝生物

圈二号的办公室开去。司机从车窗里斜探出身子问他们想要把海放在哪里，他拖来了一整车的海盐，还要在天黑之前把这车东西卸下来。办公室的工作人员指了指工地中心的一个大洞。在那里，史密森学会 205 的瓦尔特·阿迪正在建一个一百万加仑的海，有珊瑚礁，有湖沼。在这个巨

大的水族箱里，有足够紧凑的空间让各种惊喜出现。

造一个海并不是容易的事情。不信你可以去问高梅兹还有那些喜欢摆弄咸水水族箱的业余爱好者们。阿迪曾经在史密森学会的一个博物馆开馆前给它培养过一个人造的、能够自我再生的珊瑚礁。不过生物圈二号的这个海极大，它有自己的沙滩。它的一端是一个昂贵的波浪生发泵，给珊瑚提供它们所喜爱的湍流。就是这个机器，还可以按照月亮盈缺的循环周期制造出半米高的海潮。

司机把海卸下来了：一堆每包重

50磅（约

22.6公斤）的速溶大海，跟你在热带水族店

里买的没什么两样。稍后，另一辆卡车会从太平洋拉来含有合适微生物（类似发面团用的酵母）的启动溶液，然后搅和好，倒进去。

负责修建生物圈二号野生物区的那些生态学家属于一个学派。他们认为：土壤加上虫子就是生态学。为了获得你想要的那种热带雨林，你需要有合适的丛林土壤。为了能在亚利桑那州得到这样的土壤，你必须从零开始。用推土机铲一两斗的玄武岩、一些沙子和一些粘土，再撒

.

205 史密森学会（Smithsonian Institution）：英国科学家詹姆斯·史密森去世后遵照其遗嘱，在 1836 年将时值

50 万美

金（约合

2008 年的

1000 万美金) 的遗产馈赠给美国政府, 并在 8 年后设立了史密森尼学会。今天, 史密森尼学会已成为世界上最大的博物馆系统和研究机构联合体, 拥有 19 处博物馆和动物园, 以及 9 个研究中心。

进去一点合适的微生物, 然后混合到位。生物圈二号中的所有 6 个生态区下面的土壤, 都是这样辛苦得来的。“我们一开始没有意识到的是,” 托尼·博格斯说, “土壤是活的。它们会呼吸, 而且跟你呼吸得一样快。你必须像对待有生命的东西一样对待土壤。最终是土壤控制着生物区系”。

一旦拥有了土壤, 你就可以扮演诺亚的角色了。诺亚把所有能活动的东西都弄上了他的方舟, 当然这种做法在这里肯定是行不通的。生物圈二号封闭系统的设计者不断地返回到那个让人又气恼又兴奋的问题上: 生物圈二号到底应该吸纳哪些物种? 现在问题已经不仅仅是“我们需要什么样的有机体才能正好对应上 8 个人的呼吸”了。现在的难题是“我们得选什么样的有机体才能对应上盖亚?” 什么样的物种组合, 才能生产出供呼吸的氧气、供食用的植物、喂养食用动物(如果有的话)的植物, 以及供养食用植物的物种? 我们如何才能随便用有机体编织出一张自我支持的网络? 我们怎样才能启动一种共同进化的回路?

几乎可以任举一种生物为例。绝大多数的水果都需要昆虫来授粉。所以如果你希望生物圈二号里有蓝莓, 你就需要蜜蜂。但是你要想让蜜蜂在蓝莓准备好授粉的时候飞过来, 你就要让它们在其它季节也有花采。可如果你要为蜜蜂提供足够的应季花朵以免它们饿死, 那其他的植物就没地方摆了。那么, 也许可以换另外一种同样能够授粉的蜂? 你可以用草蜂, 一点点花就能养活它。可是它们不去为蓝莓以及其他几种你想要的果实授粉。那么, 蛾子呢? 以此类推你就会一直在生物目录上这么找下去了。要分解枯朽的木本植物, 白蚁是必需的, 但人们发现它们喜欢吃窗户边上的密封胶。那么, 又到哪里去找一种能够替代白蚁, 同时又能和其他生物和平共处的益虫呢?

“这个问题挺棘手”, 这个项目的生态学顾问彼得·沃肖尔说, “想要挑出 100 样生物然

后让它们组成一个‘野生环境’, 哪怕从一个地方来挑, 也是相当难的事情。而在这里, 因为我们有这么多的生态区, 我们得从世界各地把它们挑出来混合在一起。”

为了要拼凑起一个合成生态区, 6、7 个生态学家一起坐下来玩这个终极拼图游戏。每个科学家都是某个方面的专家, 要么是哺乳动物、昆虫、鸟类, 要么是植物。尽管他们了解一些莎草和池蛙的情况, 但是他们的知识很少是可以系统地加以利用的。沃肖尔叹息到, “如果什么地方能有一个关于所有已知物种的数据库, 里面列出它们的食物和能量要求、生活习性、所产生的废物、相伴物种、繁育要求诸如此类的东西就好了。但是, 现在连与之稍微有点类似的都

没有。就是对那些相当常见的物种，我们了解的也很少。事实上，这个项目让我们看到，我们对任何物种都所知甚少。”

在设计生态区的那个夏天，急待解决的问题是：“呃，一只蝙蝠到底要吃多少蛾子？”到最后，选出一千多种较高等生物的工作，实质上成了有根据的猜测和某种生物外交活动。每一个生态学家都列了一个长长的待选名单，里面有他们最钟意、可能是最多才多艺、也最灵活的物种。他们的脑子里满是各种相互冲突的因素——加号、减号，喜欢跟这家伙在一起，又跟那个处不到一块。生态学家们推测生物竞争对手的竞争力。他们为帮助生物争取水和日照的权利而斗争。就好像他们是一些大使，为了保护他们所选出的那些物种的地盘不被侵占而进行着外交努力。

“我的海龟需要那些从树上掉下来的果实，越多越好，”说这话的是生物圈二号的沙漠生态学家托尼·博格斯，“可是海龟会让果蝇无法繁育，而沃肖尔的蜂鸟需要吃果蝇。我们是不是应该种更多的树来增加剩余果实的数量，要不就把这块地方用作蝙蝠的栖息地？”

于是，谈判开始了：如果我能为鸟类争取到这种花，你就可以保留你的蝙蝠。偶尔，彬彬有礼的外交活动，也会变成赤裸裸的颠覆行为。管沼泽的家伙想要他挑的锯齿草，可沃肖尔不喜欢他的选择，因为他觉得这个物种太富攻击性，而且会侵略到他照看的那片干地生态群系。最后，沃肖尔向管沼泽的家伙的选择做了有条件的让步，不过，半真半假地找补了一句：

“噢，反正也没有大不了的，因为我正准备种些高点的大象草来遮住你的那些东西。”管沼泽的家伙回敬说他正准备种松树，比这两个都高。沃肖尔开怀大笑，发誓说他一定会在边缘地带种上一圈番石榴树作为防御墙，这种树倒是不比松树高，可是它长得快，而且要快得多，可以提前占领这个生态位。

物物相关使规划成了一场噩梦。生态学家们喜欢采用的一种做法是在食物网络中设立冗余的路径。如果每个食物网络中有多条食物链，那么，假设沙蝇死绝了，还有其它的东西可以成为蜥蜴的备选食物。所以说，他们的做法不是要去跟那个纠结复杂的相互关系网斗争，而是去发掘它。而要做到这一点的关键，就是要发现具备尽可能多的替代能力的生物体，只有这样，当物种的某种角色不起作用了，它还有另外一、两个方法来完善某个物种的循环回路。

“设计一个生态群系，实际上是一个像上帝一样去思考的机会”，沃肖尔回忆说。你，作为一个上帝，能够从无中生出某种有来。你可以创造出某些东西——某些奇妙的、合成的、活生生的生态系统——但是对于其中到底会进化出什么，你是控制不了的。你所能做的唯一的事

情，就是把所有的部件都归拢到一起，然后让它们自己组装成某种行得通的东西。瓦尔特·阿迪说：“野外的生态系统是由各种补丁拼凑起来的。你向这个系统中注入尽可能多的物种，然后让这个系统自己去决定它到底想要哪块物种补进来。”事实上，把控制权交出去，已经成为“合成生态学的原则”之一。“我们必须接受这样一个事实”，阿迪继续说，“蕴含在一个生态系统中的信息远远超过了我们头脑中的信息。如果我们只对我们能够控制和理解的东西进行尝试，我们肯定会失败。”所以，他警告说，自然生成的生物圈二号生态，其精确的细节是无法预测的。

可细节却是至关重要的东西。8 条人命就靠这些形成生物圈二号的整体的细节上。生物圈二号的造物主之一，托尼·博格斯，为沙漠生态群系订购了沙丘上的沙子让卡车运进来，因为生物圈二号有的只是建筑用沙，而对于陆龟来说，这种沙子太尖利，会划破它们的脚。“你必须好好地照顾你的龟，这样它们才能照顾好你。”他说这话的时候，有一种神父一样的语气。

在生物圈二号头两年中，那些到处乱跑、照顾着这个系统的生物数量非常少，因为没有足够的野生食物来让它们大规模地生存。沃肖尔几乎没有把像猴子一样的非洲婴猴放进去，因为他不能肯定初生的洋槐能否为它们提供足够的咀嚼物。最后他放了

4 只婴猴在里面，又在方舟

的地下室里存放了几百磅救急用的猴嚼谷。生物圈二号其他野生动物居民还有豹纹龟、蓝舌石龙子（“因为它们是通才”——不挑食）、各种蜥蜴、小雀类、以及袖珍绿蜂鸟（部分原因是为了授粉）。“绝大多数的物种都会是袖珍型的”，在封闭之前，沃肖尔告诉《发现》杂志的记者，“因为我们确实没有那么大的空间。事实上，最理想的是我们能连人也弄成袖珍的。”

这些动物，并不是一对一对地放进去的。“要想保障繁殖，雌性的比例应该高一点”，沃肖尔告诉我。“原则上，我们想让雌性和雄性的比例达到

5:3。我知道主管约翰·艾伦说的

8 个

人——4 男

4 女——对于人类的新建殖民地和繁殖来说是最小的规模了，但是从符合生态学而不是符合政治观点来看，生物圈二号的组员其实应该是

5 个女性、3 个男性。”

有史以来第一次，创造一个生物圈的谜题逼得生态学家们不得不像工程师那样去考虑问题了：“需要的东西都齐了，用什么样的材料才合适？”与此同时，参与这个计划的工程师们，则不得不像生物学家那样去思考问题：“这可不是土，这是活物！”

对生物圈二号的设计者们来说，一个难以解决的问题是为雾林造雨。降雨很难。最初的计划比较乐观，就是在覆盖丛林分区的

85 英尺高的玻璃屋顶的最高处安一些冷凝管。这些冷凝管

会凝结丛林中的湿气，形成温和的雨滴从天顶降下——真正的人工雨。但是，早期的测试表

明，这种方式获得的雨水出现的次数非常少，而一旦出现，又太大、太具有摧毁性，根本不是计划中的那种植物所需的温柔持续的雨水。第二个获得雨水的计划寄热望于固定在上空框架上的洒水装置，但事实证明这个办法简直是维护方面的一个噩梦：在两年的时间里，这些被打了精细的小孔的喷雾装置，肯定需要疏通或更换。最后的设计方案是把散置在坡面上的水管在末端装上水雾喷头，然后把“雨水”从这些喷头里喷出来。

生活在一个物质封闭的小系统里面，有一点未曾预料得到，那就是水不仅不缺，而且还颇为充裕。在大约一周的时间里，所有的水都完成了一次循环，通过湿地的处理区中微生物的活动而得到了净化。当你的用水量加大时，也不过是稍微加快了水进入循环的速度罢了。

生命的任何领域都是由数不清的独立的回路编织而成的。生命的回路——物质、功能和能量所遵循的路线——重重叠叠、横七竖八地交织起来，形成解不开的结，直至脉络莫辨。显现出来的只有由这些回路编结而成的更大的模式。每个环路都使其他环路变得更强大，直至形成一个难以解开的整体。

这并不是说，在包裹得严严实实的生态系统中，就没有什么灭绝的事情发生。一定的灭绝率，对于进化来说是必要的。在之前做部分封闭的珊瑚礁的时候，瓦尔特·阿迪所得到的物种流失率大概是

1%。他估计在第一个两年周期结束的时候，整个生物圈二号中的物种会有30-40%的

下降（我在写这本书的时候，耶鲁大学的生物学家们还没有完成物种流失的研究，目前正在清点生物圈二号重新开放之后的物种数量 206。）

不过阿迪相信，他已经学会如何培育多样性了：“我们所做的，就是塞进去比我们希望能活下来的物种数量更多的生物。这样流失率就会降下来。特别是昆虫和低等生物。之后，等到新一轮重新开始的时候，我们就再过量地往里塞，不过换一些有些许差别的物种——这是我们的第二次猜想。可能会发生的情况是，这一次还是会有大比例的损失，也许是四分之一。但是我们在下一次封闭的时候再进行重新注入。每一次，物种的数量都会稳定在一个比上一次高一点的水平上。而系统越复杂，它所能容纳的物种就越多。当我们不断这样做下去的时候，多样性就确立起来了。而如果你把生物圈二号在最后所能容纳的物种都在第一次就放进去，这个

206 生物圈二号的物种流失：由于物种关系失调，热带雨林植物和葡萄藤在高二氧化碳浓度下过度生长；所有传播花粉的

昆虫消失，大多数植物灭亡；外来侵入的蚂蚁和其依生生物以及微生物成为独占物种；引入的25种脊椎动物中有

19种消失。

系统就会在一开始就崩溃。”可以说，这个巨大的玻璃瓶，其实是个多样性的泵机——它能增加多样性。

留给生物圈二号的生态学家们的一个巨大问题，就是如何以最佳方式启动初始多样性，使它成为后续多样性成长的杠杆。而这个问题，跟那个如何能把所有的动物都装到方舟上去的实际问题是紧密相关的。你要怎么做，才能把

3000个互相依存的生物塞到笼子里去——还得是活着

的？阿迪曾经提出过这样一个建议：用缩写一本书的方法压缩整个生态群落，然后把它挪进生物圈二号那个相对来说缩小了的空间，也就是说，选择分散在各处的精华，然后把它们融合进一个取样器。

他在佛罗里达的埃弗格莱兹地区选了一块

30英里长的优良的红树林沼泽，把它一格一格地

勘查了一遍。按照盐分含量的梯度，大约每半英里就挖一小方红树根（4 英尺深、4 平方英尺大）。把这带有多叶的枝条、根、泥以及附着在上面的藤壶的样本装箱拉上岸，这些分段取出的沼泽样本，每一块的含盐量都因其中稍有不同的微生物而略有不同。在和一些把红树认作芒果 207 的农业海关人员长时间谈判之后，这些沼泽样本被运回了亚利桑那。

就在这些来自大沼泽区的泥块等着被放进生物圈二号的沼泽里的同时，生物圈二号的工人们把水密箱和各种管道组成的网络钩连起来，使其形成一个分布式的盐水潮。然后大约 30 块

立方体就被重新安放在了生物圈二号里。开箱之后，重新形成的沼泽，只占了小小的 90X30 英尺

的地方。不过在这个排球场大小的沼泽中，每个部分都生活着越来越多的嗜盐微生物的混合体。这样一来，从淡水到盐水的生命流，就被压缩到了一个鸡犬相闻的范围之中。对于一个生态系统来说，要运用与此类似的方法，规模是其关键问题的一部分。比如说，当沃肖尔鼓捣那些用来制造一个小型稀树草原的各部分的时候，他摇着头说：“我们最多也就把大约一个系统的十分之一的品种搬进了生物圈二号。至于昆虫，这个比例差不多接近百分之一。在西部非洲的一片稀树草原上会有

35 种虫子。而我们这里最多也就

3 种。所以，问题在于：我们到底是

在弄草原还是在弄草坪？这当然要比草坪强……可到底能强多少，我就知道了。”

208

.

207 红树认作芒果：英语中，红树（mangroves）和芒果（mangoes）的拼写很接近。

.

208 生物圈二号的结局：在经过两年半的实验后，生物圈二号宣告其长期维持

8 个人生存的努力失败。原因主要有化学元

素循环平衡失调、物种关系失调、水循环失调、食物短缺等。2005 年该工程被出售，现在已用于观光和社区建设。

8.6 另外一种合成生态系统

获取自然环境中的某些部分，再将它们重新组装成湿地或者草原，只是建立生态区的办法之一，生态学家们把这种办法叫做“比对”法。这种办法的效果似乎还不错，但是，正如托尼·博格斯所指出的，“这个办法其实有两种途径。你可以模拟在自然界中发现的某个特定的环境，或者参照多个环境创造一个合成的环境。”生物圈二号最终成了一个合成的生态系统，其中有很多比对的部分，比如阿迪的沼泽。

“生物圈二号是一种合成的生态系统，而现在的加利福尼亚也是一种合成的生态系统。”博格斯说。沃肖尔也同意这种观点：“你在加利福尼亚所看到的，其实是未来的一个征兆。一种程度很深的合成生态。它有数百种非本地的物种。澳大利亚的很多地方也在朝着这条路走。而且红杉树/桉树林其实也是一种新的合成生态。”在这个飞机传播的世界，很多物种有意无意地搭上飞机，从它们的原生地传播到它们原本根本不能到达的远方，造就了许多不同的生态系统。沃肖尔说：“第一个使用合成生态

209 这个词的人是瓦尔特·阿迪。之后我意识到其实在生物圈一号里已经有了大量的合成生态。而我并没有在生物圈二号中发明一个合成的生态，我只是把早已经存在的东西进行了复制而已。”康奈尔大学的爱德华·密尔斯已经在北美五大湖中识别出了

136 种来自欧洲、太平洋和其他地方的鱼，它们已经在五大湖地区兴旺发达了。“也许五大湖地区绝大多数的生物量其实都是外来的”，密尔斯宣称，“它现在已经是一个十足的人造系统了”。

我们不妨开发一门关于合成生态的科学，反正我们已经在不经意间创造了合成生态。很多古生态学家认为，人类早期的整个活动谱系——打猎、放牧、放火烧荒以及对草药的选择和收集——已经在荒野打造出了一“人工的”生态，确切地说，就是依靠人类的技能大大改变了的生态。所有那些我们觉得是自然的、未受侵犯的野生环境，其实都充满了人为和人类活动的痕迹。“很多雨林实际在很大程度上处于印第安土著的管理之下，”博格斯说，“可是等到我们进去的时候，我们做的第一件事就是清除印第安人，于是管理技能就消失了。我们之所以认为这片老树是原始雨林，是因为我们自己所知道的唯一的管理树木的方式就是把树砍掉，而这里没有明显的砍伐痕迹。”博格斯相信，人类活动的痕迹留得很深，根本不会被轻易抹除。

·
209 合成生态：synthetic
ecology

“一旦你改变了生态系统，并找到适合播种的种子，以及必不可少的气候窗口，改变就开始了，而且这是不可逆转的。这个合成的生态系统持续运转下去并不需要人的存在，它不受干扰地运转。加利福尼亚的人即使都死了，现在这个合成的动植物群落仍会保持下去。这是一种新的亚稳定状态 210，只要现有的自我强化的条件不变化，它就会一直如此。”

博格斯认为：“加利福尼亚、智利以及澳大利亚正在非常迅速地会聚合流，成为同样的合成生态。同样的人，同样的目的：弄走那些古老的食草动物，换上生产牛肉的牛。”作为一个合成的生态，生物圈二号实际上正预示着未来的生态学。显然，我们对自然界的影响并没有消失。而也许生物圈二号这个大玻璃瓶能够教会我们如何人工地演化出一种有用的、破坏性更小的合成生态。

当这些生态学家存心装配第一个合成生态的时候，他们尝试着设计了几条他们觉得对于创造任何活的封闭生物系统都非常重要的指导原则。生物圈二号的制造者们把这些原则称为“生物圈原则”。创造生物圈的时候要记住：

·
微生物做绝大部分的工作。

·
土壤是有机体。它是活的。它会呼吸。

·

创造【冗余】（多余）的食物网络。

·
逐步地增加多样性。

·
如果不能提供一种物理功能，就需要模拟一个类似的功能。

·
大气会传达整个系统的状态。

·
聆听系统：看看它要去哪里。

雨林、冻土带、沼泽本身并不是自然的封闭系统：它们相互之间是开放的。我们所知道的唯一的自然封闭系统：整体来看是地球，或者说，盖亚。说到底，我们对创造新的封闭系统的兴趣，其实还是在于调配出拥有自己生命的生态系统的实例，这样我们就能概括它们的表现，从而去理解地球系统，我们的家园。

·
210 亚稳态：meta-stablestate，又称脆弱的平衡态，多见于弱力作用的物理和化学系统。系统处于亚稳态也满足平衡条件和稳定性条件。但是该系统往往受外界小的干扰即向稳定的平衡态过渡。

在封闭系统中，共同进化的多样性得到了集中体现。把虾倒进一个烧瓶里然后卡死瓶颈，就好像是把一条变色龙仍进了一个镜像瓶，然后堵上入口。这条变色龙会对它自己生成的形象做出反应，就好像虾会对它自己形成的氛围做出反应一样。封了口的瓶子——当内部的回路编织成形然后又变得紧凑之后——就会加速其内部的变化及进化。这种隔绝，就跟陆栖进化的隔绝一样，培育着多样性和显著的差异性。

不过，最终，所有的封闭系统都是会被打开的，至少会出现泄露。我们可以肯定的是，无论哪一个人工制造的封闭系统，都或早或晚地会被打开。生物圈二号大约会每年封闭、打开一次。而在宇宙中，在星系时间的尺度内，星球的这种封闭体系也会被穿透，以交叉的方式相互提供生命种子——彼此交换一下物种。宇宙的生态类型是：封闭系统（各星球）中的某个星系，像被锁在镜像瓶里的变色龙那样疯狂地发明着各种东西。而时不时地，从一个封闭系统中产生出来的奇迹，就会给另外的一个封闭系统带来震撼。

在盖亚，我们所建造的那些在短暂的时间内处于封闭状态的小盖亚，绝大多数其实都只是有指导意义的辅助物。它们是为了回答一个基本问题建造出来的模型：我们对地球上这个大一统的生命体系到底能产生什么样的影响，发挥什么样的作用？有没有我们可以达到的控制层面，要么，盖亚根本就不受我们控制？