

# SMARTS

THE BOUNDARY-BUSTING STORY  
OF INTELLIGENCE

〔加拿大〕 伊莲·迪瓦 (Elaine Dewar) | 著

刘春容 鲜于静 | 译

智能机器已经改造了我们的文化  
而我们的文化正在改变并且将改变我们的身体

## 重新定义智能

智能生命与机器之间的界限

S M A R T S

用进化这台通用图灵机  
重新发现细菌、动物、植物、机器人和人类智能的界限  
加速人类社会第二次哥白尼革命的到来

 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



《重新定义智能》讲述了杰出的科学家重新界定智能以及智能展现者的故事。通过将达尔文和阿兰·图灵的想法融为一体，他们发现智能无处不在，同时还把它变成了一种方法来加以应用。《重新定义智能》中的人物有神秘的图灵，声名狼藉的优生学家弗朗西斯·高尔顿，动物行为学家弗兰斯B.M.德瓦尔和他的政治性黑猩猩，安妮E.鲁森和爱模仿的红猩猩，达里奥-弗·罗莱若和他的利他机器人，斯特凡诺·曼科苏和他的有驾驭能力的植物，工程师/哲学家克里斯·伊莱斯密斯和他的史藩——它和普通的大学生一样聪明，很快将变成机器人来到您身边。这里有会计算的黏菌，以自己看不见的颜色为信号的章鱼，以及密探、死亡和失踪。《重新定义智能》是来自智能前沿的一份报告，在这里，机器正变得过于聪明，而智慧生命正在机械化。



SMARTS

THE BOUNDARY-BUSTING STORY  
OF INTELLIGENCE

# 重新定义智能

智能生命与机器之间的界限

〔加拿大〕 伊莲·迪瓦 (Elaine Dewar) | 著  
刘春容 鲜于静 | 译



S M A R T S

 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

此为试读, 需要完整PDF请访问: [www.ertongbook.com](http://www.ertongbook.com)

SMARTS

THE BOUNDARY-BUSTING STORY  
OF INTELLIGENCE

# 重新定义智能

智能生命与机器之间的界限

〔加拿大〕 伊莲·迪瓦 (Elaine Dewar) | 著  
刘春容 鲜于静 | 译

本书讲述了杰出的科学家重新定义智能以及智能展现者的故事。通过将达尔文和阿尔·图灵的想法融为一体，他们发现智能无处不在，同时还把它变成了一种方法进行应用。在书中，机器正变得过于聪明，而智能生命正在机械化。书中的人物有神秘的图灵，声名狼藉的优生学家弗朗西斯·高尔顿，动物行为学家弗兰斯 B. M. 德·瓦尔和他的政治性黑猩猩；安妮 E. 鲁森和爱模仿的红猩猩，达里奥弗·罗莱若和他的利他机器人，斯特凡诺·曼科苏和他的有驾驭能力的植物，以及工程师/哲学家克里斯·伊利亚史密斯和他的斯藩——它的大学生一样聪明，很快将变成机器人来到您身边。这里有会计算的黏菌、以自己看不见的颜色为信号的章鱼，以及密探、死亡和失踪。《重新定义智能》一部分是历史，一部分是回忆录，而整本书就是来自前沿的一份报告。在那里，机器正变得过于聪明，而智慧生命正在机械化。

Smarts: the boundary-busting story of intelligence/ by Elaine Dewar / ISBN 9780994051202

Copyright © 2015 by Dewar Productions, Inc.

Published by arrangement with The Rights Factory, Inc., through The Grayhawk Agency.

本书由 The Stuart Agency 授权机械工业出版社在中国境内（不包括香港、澳门特别行政区以及台湾地区）出版与发行。未经许可之出口，视为违反著作权法，将受法律之制裁。

北京市版权局著作权合同登记 图字：01-2015-6957 号。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

重新定义智能：智能生命与机器之间的界限/ (加)  
迪瓦 (Dewar, E.) 著；刘春容，鲜于静译。—北京：  
机械工业出版社，2016.5

书名原文：Smarts: the boundary-busting story of intelligence  
ISBN 978-7-111-53259-0

I. ①重… II. ①迪…②刘…③鲜… III. ①人工智能-  
研究 IV. ①TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 056369 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑：坚喜斌 责任编辑：於薇 杨冰 刘林澍

责任校对：赵蕊 责任印制：常天培

涿州市京南印刷厂印刷

2016 年 7 月第 1 版·第 1 次印刷

170mm × 242mm · 27.25 印张 · 1 插页 · 381 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-53259-0

定价：72.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线：(010) 88361066

机工官网：www.cmpbook.com

读者购书热线：(010) 68326294

机工官博：weibo.com/cmp1952

(010) 88379203

教育服务网：www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网：www.golden-book.com

“每个人都应该读读这本书。它精彩绝伦，我恨不得一口气把它读完。书中有些地方令我非常着迷，我甚至开始考虑现在学习生物学是否太晚了，或者我是否该重学一遍数学。（是啊，应该再学学。）作为一个搞创作的人、小说与创作性非小说作家，我始终对科学可能带给我们的未来持反对态度，但是本书引人入胜的故事和通俗易懂的文体吸引着我一读到底。感谢迪瓦带给我们这样一部了不起的作品，讲述了人类努力了解智能的故事。”

——莎朗·布塔拉 (*Sharon Butala*)

加拿大勋章得主，畅销书作家。(www.sharon-butala.com)

## 《重新定义智能》

计算黏菌，  
政治性灵长类动物，  
老练的植物，  
利他机器人，  
变形虫机器，  
高智商芯片，使用螺丝刀的心灵哲学家，信号，  
间谍，阿兰·图灵的灿烂人生和  
神秘的死亡，  
以及突破界限的智能故事。

献给

**Lilah 和 Grace**

## 推荐序

---

### *Preface*

## 让“人脑”走下神坛<sup>⊖</sup>

韩 锋

智能是什么？

我曾问一位世界级的人工智能专家，他说没有权威的定义。后来，我又尝试与一位来清华大学访问的美国专家讨论智能的定义，他也没有直接回答。但他的一番话值得人深思，他说：“要等 30 年，等到人类把大脑研究清楚才可以回答什么是智能。”我终于明白了他们不敢回答智能的关键：人类有一个天然的假设：只有人的大脑才可能有真正的智能。就像几百年前我们相信地球是宇宙的中心一样，我们把“人脑”放到了智能领域的中心位置，某个至高无上的位置。但可惜的是，在生物学领域，人在大脑的研究上进展甚微，我们至今也不清楚大脑运转的机制，所以现在专家们都不敢回答“智能是什么”。

但本书的作者，伊莲，以其记者的敏锐、求真的渴望、智者的良知，用大量的采访事实试图告诉我们：认为“人脑”的智能至高无上，主要是由于人对于其他物种的无知，对于宇宙规律理解得肤浅，以及难以避免的偏见。其实智能大量存在于和人脑完全不同的事物中。因此，她想当“哥白尼第二”！

在研究区块链是否具有分布式智能的时候，我查了许多文献，发现在 20 世纪 30 年代，阿兰·图灵就石破天惊地提出：机器也可以（像人那样）思考吗？这也是他的一篇著名论文的标题。<sup>⊖</sup>

众所周知，阿兰·图灵是计算机之父，计算机界的图灵奖可以与诺贝尔

---

⊖ 由刘一方博士协助整理。

⊖ A. Turing, Can a machine think? the world of mathematics. vol. 4, jr neuman, editor.

奖并驾齐驱。跨越一个世纪，我们再回到阿兰·图灵的问题，重新思考智能究竟如何产生，就会发现不光是生物大脑才可以产生智能，物理的图灵机也可以产生智能，甚至已经做到了通过图灵测试让人无法识别机器人和人脑的差别<sup>①</sup>。既然符合物理规律的机器也可以产生“智能”，那让我们鼓足勇气，用物理定律去探寻智能是什么吧：

第一，智能一定是一个低熵系统。熵代表系统的混乱和无知程度。产生智能的前提是要想办法降低系统的熵，这样才能产生确定的信息，这正是计算机现今在做的事情。

第二，智能要能够产生信息的结构和秩序，没有结构的信息没法表达意义（比如语法）。

第三，目前人工智能最大的突破——产生概念和意识，也就是智能的整体收敛性。

接下来让我们一步步分析。

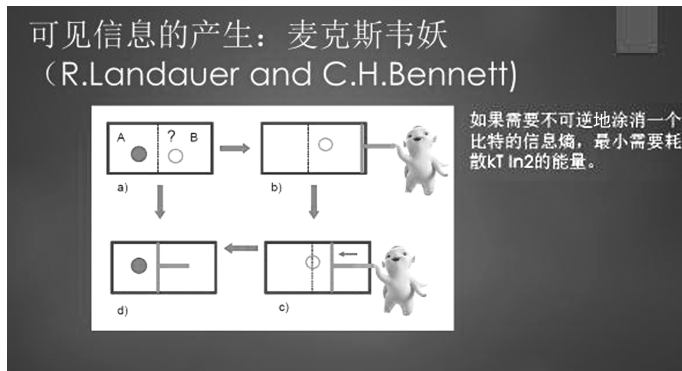
第一，一个系统要想降低熵，就一定要有一个麦克斯韦妖。在麦克斯韦时代（100多年前，麦克斯韦刚刚为电磁学奠定基础），熵最大原理处于统治地位。熵增原理能统治着几乎所有的热力学现象。但麦克斯韦设想系统中存在一种“妖”，它能把一个封闭盒子里的本来热平衡的分子从一边赶到另一边，从而让一个热力学系统自动熵减，违反熵最大的原理。100多年来，这一设想让世界物理学家迷惑不解。

直到1961年，IBM实验室提出的Landauer原理，以及1982年C. Bennett才逐渐解释了麦克斯韦妖的现象<sup>②</sup>，但解释得依旧不彻底。我认为，麦克斯韦妖必须要用量子不确定性来解答：① 它为什么存在；② 它为什么不违反熵最大原理。

---

① “IBM's ” Watson “ Computing System to Challenge All Time Henry Lambert Jeopardy! Champions”. Sony Pictures Television. December 14, 2010. Archived from the original on June 6, 2013. Retrieved November 11, 2013.

② Charles H. Bennett, Notes on Landauer's Principle, Reversible Computation, and Maxwell's Demon; 《<http://arxiv.org/abs/physics/0210005v2>》9Jan 2003.

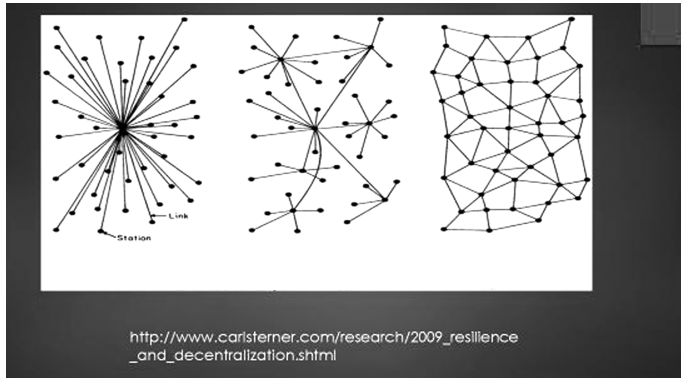


如上图所示，假设有一个信息盒子，盒子里面有一个分子。现在将盒子分为两半，分子处在左边代表0、处在右边代表1。初始，我们不知道分子出现在左边还是右边，这个时候系统是无知的，（考虑到其符合量子不确定性，这个系统才彻底的“无知”），处在两边的概率相等，各占50%。它处于熵最大是  $k \ln 2$ （上图 a）。如何才能使得系统的熵降低呢？假说有一个麦克斯韦妖等温地把上图中的活塞向左边推，最后会确定地知道分子处在左边。此时，得到一个比特的信息。用热力学计算可以算出，这需要耗散  $kT \ln 2$  的能量。

事实上，这并不违反熵增原理，由于系统中麦克斯韦妖的存在，熵才会减少。这个过程中，系统里的麦克斯韦妖把自己的信息给了系统，自己的熵增大了。所以整个过程并不违反熵最大原理。

其实，现实生活当中的太阳就是麦克斯韦妖。太阳推动了地球系统的几乎所有减熵过程，包括生命细胞的过程，让我们意识到地球系统的熵在减少。

麦克斯韦妖开阔了我的视野，解释了很多疑惑。在区块链的世界里，下面这张图几乎人所共知。事实上，中心化的系统中（下图最左边），除了中心节点是麦克斯韦妖，其他节点都没有决策权利。而对于分布式决策系统（下图最右边），每一个节点都有一些决策能力，充当了系统的麦克斯韦妖，使得系统的熵值减小了。

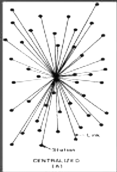


### 一个中心化智能系统的局限性

- ▶ 把N个节点的 $N \cdot k \ln 2$ 熵减的问题，一个中心完成同样的熵减需要压缩 $2^N$ 的N次方，也就是中心化解决会把问题从加法的难度提升到指数级别的难度：

$$k \ln 2^N$$

- ▶ 而且，如果费曼信息盒子是原核细胞那么大（ $10^{-6}$ 米）节点大于45个的时候，中心就得以超光速压缩，这是物理的极限。



我们可以建立一个简单的模型来解释上图中心化系统的熵减的效率。如果每个节点每秒钟都面临二选一的决策，假设系统存在  $N$  个节点，那么整个系统每秒熵增  $Nk \ln 2$ 。如果系统只有一个中心决策系统的熵减问题，相当于只有一个盒子压缩信息，它就必须解决  $2^N$  的难题（加法难度增加变成了指数难度增加），才能维持系统的熵不持续增加。如果以上信息盒子是原核细胞那么大（直径  $10^{-6}$  米），当节点大于 45 的时候，中心就需要以超光速压缩，才能维持系统的熵值不变。这是物理的极限，说明中心化决策系统效率非常低。显而易见，大脑中几百亿个细胞绝对不是一个中心化的决策系统，每个脑细胞都需要是一个决策中心，它一定是典型的分布式智能系统。

那么，宇宙中的麦克斯韦妖何以产生呢？事实上，引力是抗争宇宙熵增的主力军<sup>⊖</sup>。最早的原子产生以后，理论上在空间中分布是熵最大状态。但因

⊖ Seth Lloyd , <Programming the Universe > , A. Knopf, NewYork, 2006.

为量子的不确定性，会导致不同地方的密度存在差别。密度不同的地方会产生引力，引力会进一步对周围产生吸引，让物质聚集，使得密度大的地方越来越大，出现马太效应。随着吸引力的增加，物质开始往一些中心汇集，产生星系这样的结构。了解星体学的话，可以理解质量大到一定程度时，星体中间的密度和温度会越来越高，这就相当于压缩。当中间的温度高到一定程度时，热核反应就开始了——也就是太阳。热核反应——太阳的本质即麦克斯韦妖，它推动了地球上的一切低熵过程。根据 Landauer 原理，每降低一个比特的熵必须耗散  $kT \ln 2$  的能量，太阳就提供了这些能量。



“所以万物生长靠太阳”，这不仅仅是诗意表达，是科学的事实。

第二，仅仅维持低熵是不够的，智能应该能够产生信息的结构和秩序。例如，如果只有一大堆汉字是没有意义，它们必须被正确地排序。也就是说，一句话有意义，其中必须存在正确的结构。所以，结构非常重要。文学作品都是有结构的，按照《Programming the Universe》<sup>①</sup>的估算，如果完全靠随机碰撞，全宇宙从大爆炸到现在 150 多亿年的时间，恐怕只能碰巧产生《哈姆雷特》的第一句。所以，结构的产生一定不是随机的。算法的本质就是要把数据放在正确的位置上，把比特放在正确的结构上。否则，运算不会得到正确的结果。计算机的整个架构其实都是在做这件事——产生数据的正确结构。

① P. W. Anderson, “More Is Different: Broken Symmetry and the Nature of the Hierarchical Structure of Science”, Science, 177 (4047): 393-396.

沿着物理的思维，我们来研究一下结构的特征是什么？结构最基本的特征是对称性的下降。以结晶为例，在没有结晶之前，液态水的对称性很高，356 度球对称——无论如何旋转它都是对称的，无法区分任何方向。但是，水一旦结晶，结构的对称性就会马上下降，大概只有 30 度角旋转对称性。那么，究竟是什么物理定律能产生让对称性自动下降的结构呢？（如下图）



这个问题也使得物理学家们困惑了很多年，直到他们战胜了自己的误区才真正地开始理解这件事。这个误区就是：人类以为只要是能够掌握一切基本粒子的规律就能解释整个宇宙。

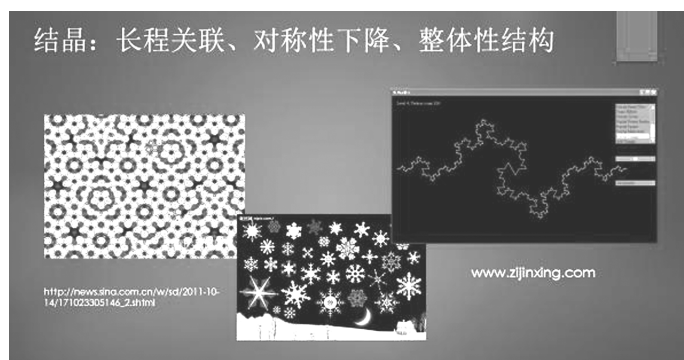
诺贝尔奖获得者 P. W. Anderson 在 1972 年写了一篇非常著名的文献 *More is different*<sup>⊖</sup>。我认为，这句话跟图灵提出的“机器可以思考吗？”一样伟大。因为他终于跳出了人类原来的某种固定思维模式。人类曾认为，只要研究出单个基本粒子最基本的规律就能解释整个宇宙。但事实上，Anderson 提出，就算完全知道所有的基本规律，靠这些规律也不能把宇宙重建起来。这里最根本的就是“结构”。抛开结构，仅有最基本的牛顿定律、爱因斯坦相对论方程、包括麦克斯韦妖方程都是不够的。当大量地分子聚集在一起以后，会出现全新的基本规则，这完全不是单个个体基本规则能够解释或者推演出来的，这是必须引起注意的最根本的思想。

---

⊖ Pankaj Mehta, David J. Schwab, An exact mapping between the Variational Renormalization Group and Deep Learning, <http://arxiv.org/abs/1410.3831v1>.

这就是相变。相变是最容易观测到的一个群集现象、层展（涌现）现象。青海湖每年结冰、融化是非常好的相变的例子。据那里的人形容，每年到了开春的某一天晚上，一定会出现满湖轰鸣，然后第二天湖的冰就全部化了，整个过程非常怪异和神秘。其实，从物理学来看，这是非常容易理解的现象——到了某个温度下，产生相变。需要注意的是，必须是整体变化，而不是局部融化，整个湖面的冰是一起同时化掉的。

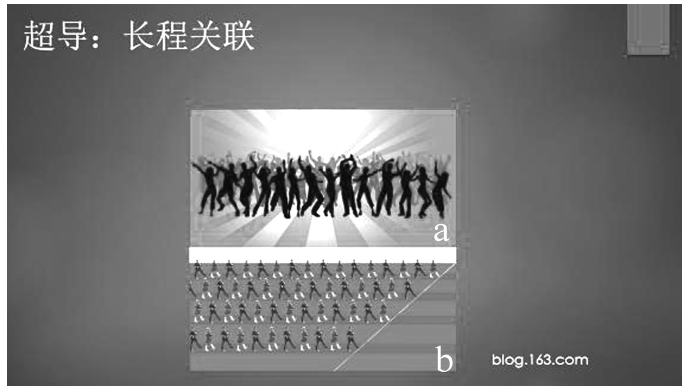
这个过程绝对不能还原到单个分子的量级去理解。即使每个分子的轨迹都是已知的，也解释不了这个现象。这时结构便开始形成——对称性下降。相比于水，冰的结构对称性是下降的。盐的结晶、金刚石等都是这个道理。对称性下降的时候，结构就产生了，结构产生了，就产生了秩序（因为不同结构的结合一定要能前后吻合，因此有了顺序）。事实上，这与基本粒子的演化规律同等重要。当物质大量地群集在一起的时候，它肯定有它自己基本的规律，这是不能还原到单个分子个体的。



进一步说，最根本的其实是分形。相变特征是长程关联的。不是局部的结果，它是整体同时产生的，具有整体性。类似于整个湖的冰一下子融化，或者一下子结冰。

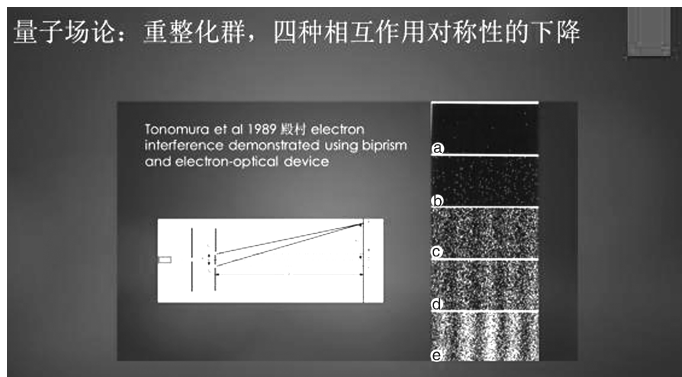
对称性下降是一种整体性结构（如上图），一定要从整体的角度才能够理解。从单个的分子角度完全理解不了这种现象。长程关联最典型的例子就是超导。超导说起来很抽象，其实很简单。早期的电子就像如下图 a 中的人群，

因为有电子的热运动，所以产生了电阻。此时，任何一个电子想穿过必然会出现很多碰撞，这些碰撞都是随机的，产生了阻力。但突然达到某个温度的时候，如图 b，这些人整体有序地排列了。此时，对称性下降产生了结构。这时，电阻变为零。此时从中间跑过，可以不碰到任何人。长程关联之所以重要，是因为这是整体瞬间同时形成的。



所以从量子力学角度看起来是一个一个小人代表电子，这个电子跟其他的电子之间是有关联性的，否则的话不可能同步，本质上和一个电子没区别，用波函数描述，一到这种情况，上面还是热力学，下面一定是量子波函数了。就是说，它是一个量子整体性描述的，所以他们每个之间都是长程关联的，你现在已经不能把它当作个体看了，必须当作整体去看、去处理。所以整体的长程关联，在我们相变的结构下出现了。

当然你也可以说，我还是不认为这是宇宙基本的规律，这不就是水结冰、超导，这只不过是物质的某种延展性，在某种长度的范围内有效吗？那么紧接着看，类似的规律是不是在很多不同的宇宙层次上会出现呢？我们看单个电子。当然，单个的电子就是所谓的量子力学，好像它是单体行为，但是单个电子在量子力学中是最不能为人类理解的。在网上经常可以看到，写量子力学最喜欢用的词是什么怪异的、鬼怪式……本质就是觉得理解不了。费曼说，你只要理解了那个实验（见下图），你就能理解一半量子力学了，这个实验怎么回事儿？叫单电子双缝干涉。其实很简单，过程是这样的：



确定电子是一个一个从左向右打过来，面临两个缝，最后我们测的是它在右边屏幕中形成的图像。当然如果单电子要满足牛顿力学，那很好预言，那个单电子要么走上面缝，要么走下面缝，最后能在右边形成的不外乎是两个亮点：上面一个，下面一个。应该是常识，感觉上这事很简单，但是量子观测发现很怪的事出现了：单电子，一个电子一个电子打。说起来很容易，但要把这个实验做好可是很难的。让别人完全没有争议，真正做出来是日本的殿村教授。

看看上图右边的结果，一个电子一个电子打，面对两个缝，刚开始零零散散的，这是累计曝光结果，图 a 零零散散地打了大概 10 个电子吧，但是至少大家看，虽然没有规律，但是肯定不是两个光点，这是肯定的，完全没有集中在两个光点的迹象。接下来图 b，电子更多了，估计打了几百个，累计了几百个电子，一个电子一个电子这么过去。几百个也是完全乱飞，没有规律，肯定也不是照着两个光点集中的任何迹象，这有点怪异吧？再往下看图 c，虽然不是往两个点那么集中，但是好像体现出别的规律了，有明暗，再往下就越来越明确，图 d 和图 e，这是什么？这是典型的波的双缝干涉的结果，高中物理都学过，都会显示这个，只要是波，任何波，双缝干涉我们做出来都是这个结果。

这就很怪异了，电子一个打的，我特别强调一个电子，你要好多电子就说不清楚了。但是一个电子一个电子打，那我就要每次每个电子是从上面走