心 理 学 报
第2期 ACTA PSYCHOLOGICA SINICA 1991年

# 认知科学的一些最新进展[1)]*

Herbert A. Simon
中国科学院心理研究所，北京

今天我要谈的是这几年来认知心理学的一些新进展。我1983年在北大讲演的时候谈到认知心理学的一些情况，这个讲演后来被整理出一本书，即《人类的认知》。因此，我想谈谈在那之后有了哪些新的发展，主要是近一个阶段认知科学、认知心理学的新情况。我特别要讲的题目首先是科学发现，其次是心理表象，第三则是心理的符号模型与平行加工模型(即联结主义)的关系。我主要是从心理学的角度来谈这些问题，而不是从计算机的角度去谈这些问题。

在过去十年中，认知科学家对于科学发现的认知过程特别感兴趣。在这个方向上的工作能开展起来是有原因的。在早期，认知心理学家、认知科学家主要是研究那些具有完整结构的问题的解决过程。现在大家感兴趣的则是那些所谓的结构不完善的问题的解决过程，包括人类的创造性、人类的直觉等问题。我们的第一个问题就是创造性的思惟过程能不能用符号进行表征、用计算的办法进行研究。现在我要介绍一些研究工作以说明人类创造性的思惟活动是可以用符号进行表征的，是可以用计算机模型加以模拟的。

什么是科学发现？科学家在我们的日常生活中进行着各种各样的工作：他们提出所要解决的新问题；他们收集数据，并根据这些数据材料归纳出新的规律、新的定律；他们提出新的理论，这些理论不只是描述现象，而且要对现象做出某种解释；他们进行重要的实验，这些实验可以检验他们提出的理论预测是否正确；他们还发明仪器设备，通过这些仪器设备去研究问题，如，用仪器研究温度问题、化学元素的组合问题和原子相互碰撞问题。科学家必须找出能把这些问题在心理上表征出来的方法。正是由于他能够表征这些问题，所以他才能够对这些问题做进一步的思考。科学家还设计并且完成一些实验。当然，科学家在日常生活中还做许多事情。但是，我刚才提到的那些任何单一的事情都不是真正的科学发现的过程。科学家是怎么做的呢？他们是把刚才提出来的各种问题一个一个地单独地进行思考，然后建立一些模型，最后再检验这些模型。检验工作一方面是根据历史上的科学材料进行比较，另一方面是根据他现在进行的实验的结果进行考察，看模型是否正确。

关于怎样从数据得出规律这个问题，在《人类的认知》[1]一书的第八章关于BACON程序的内容中已经介绍过了。当你给BACON计算机程序提供过去开普勒(J.Kepler)发现行星运行规律的那些数据(各个行星的距离，它们的运行周期)，或者是欧姆定律(Ohm's law)那些原始数据后，这个计算机程序就能够根据这些数据创造出开普勒定律

1) 本文于1990年11月19日收到。
* 本文是司马贺(Herbert A.Simon)教授1990年8月在中国科学院心理研究所做的学术报告。由傅小兰整理。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

或者欧姆定律。但是，我们无法知道计算机程序发现和解决开普勒定律问题是否与当时开普勒发现这个定律时所用的是同一个过程。因此，在我的实验室里工作的秦裕林同志用人类被试做了一个实验。在实验中，给14名被试两组数据，它们分别是变量X的值和变量Y的值。实际上，X变量就是行星与太阳的距离，Y是它们的运转周期。可是我们没有告诉被试这两组数据是什么意思。大约在一小时以内，14名被试中的4名被试就发现了这两组数据的规律性，他们所发现的定律正是开普勒当时发现的行星运行的第三定律。

我们还让这14名被试在进行思惟的同时大声地说出来，即进行出声思惟。我们把被试的口语报告记录下来，然后再分析其思惟过程，总结出这四名成功被试和那10名失败被试的思惟过程。我们发现，10名不成功的被试只是列出方程式，列出数据的一些函数关系，他们想方设法把数据往里面套，但总是没有成功。这实际上是尝试错误方法，因为要在很多函数中碰上所要求的函数的机会是很少的。那4名成功的被试则是从数据中找出它们的函数关系(线性的或非线性的)，或者是他们先有一个假设的函数关系，再分析数据偏离的情况，然后找出能与数据更吻合的函数曲线。因此，他们成功地找到了解答问题的方案。这4名成功被试所用的方法实际上就是BACON程序的计算机模型，即选择性的、启发式的思惟方法。我必须指出，这些被试对于BACON程序并不了解。该实验结果说明，在人类的思惟过程中和计算机的运行程序中可以发现很重要的科学定律，甚至是科学史上非常重要的科学定律。这就是我们常用极简单的、用符号过程进行的选择性搜索的办法，即启发式的办法来进行科学发现。

现在我谈一下在科学工作中其它方面的重要活动，这就是为了解决一个科学问题而设计的实验。例如，德国的生物化学家Hans Krebs在Otto Warburg的实验室里学会了一种方法，使他终于发现能够用身体内的氮来产生尿素后。来我的一个研究生D.Kulkarni[2]编了一个叫做KEKADA的计算机程序。如果你给这个计算机程序提出一个科学问题，再给它一个方法，这个程序就能从问题和方法设计出科学实验。如果你给这个程序有关实验结果的信息，那么它可以根据这个实验结果再设计一个新的实验。这样继续下去，计算机程序就能够预测将来的实验结果会是怎样。如果实验结果和所预测的结果不一样，这个程序也会象人一样感到惊奇。如果这个计算机程序惊奇了，它就会自己去检查解决问题的范围是太大还是太小，然后再进一步去解释为什么出现这个错误，其机制是什么。例如，在Krebs的实验中，如果给这个计算机程序提供尿素合成的信息，同时也给它提供他的老师所用的方法，即纤维切片法，那么这个计算机程序就能够发现某种特定的氨基酸，即鸟氨酸(ornithine)能产生尿素，它就进一步设计实验看类似于鸟氨酸的化学元素是否也能产生这种效果，而发现其它化学元素不能产生这种效果。然后，他可以进一步去检验鸟氨酸在这种化学合成反应中是否已经被用完了，还是反复地作为催化剂来使用。所以这个计算机程序也有象人类一样的惊奇，进行一系列的操作，最后就能够得到导致尿素合成的化学反应的结果。这个例子再次说明，计算机程序也可以用符号的过程去进行科学发现，这种发现也就是Krebs获得了诺贝尔奖的科学发现。给这个计算机程序提供的是一个已知的问题，给它提供的方法是一种现成的方法，即他的老师教给他的方法。有了问题和方法后，这个计算机程序就可以进行创造性的活动，它可以设计实验，最后达到所要求的结果。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

我要举的有关科学发现的第三个例子是关于心理表象的工作。《人类的认知》这本书里提到了一个很有名的谜题，叫棋盘谜题，它有 8 × 8 个方块，用两个连在一起的双方块（共32块）可以把整个棋盘盖住。现在我们假定把这个棋盘的两个角去掉，问题是能不能用这种双方块把棋盘都盖住，即不允许有突出的地方，也不允许有未被盖住的地方。当你给被试这样的棋盘后，他们往往真正地试图拿双方块去盖，可就是怎么也盖不成功。被试越来越着急，认为他没有办法解决这个问题，而不是从其他方面去考虑这个问题。被试只是在试，可从来不想这个问题是不可能解决的。其实很简单，你在棋盘上将这些方块分别画上加号和减号，最后你就会发现加、减号并不相等。因为一个双方块必须同时盖上一个加号的块和一个减号的块，所以不管怎样去盖，最后总要剩一个单的方块。实验能够说明人到底是如何表征这个问题的。我们的脑子里边并不存在一个现成的单子，写出了各种解决问题的可能性是什么。我们的大脑也不是一个发生器，能够产生各种各样的解决问题的方案。但如果给这个被试一点提示的话，如在棋盘上面画上加号、减号，那么他马上就能解决这个问题了。这是因为我们给他提供了一个集中注意的方向。被试会问，这种加号减号起着什么作用，能把双方块也看做是正负符号，找出它们的关系，从而解决了这个问题。有的被试花几个小时也解决不了这个问题，可是有的被试不用提示也能解决问题。我们注意到后者就是一再地想办法用双方块去盖棋盘，总是不成功，即最后总是剩下一两块，剩下的都是同一个符号的。如果我们在棋盘上不画这些符号，他也会发现剩下的块总是有一定的关系，成斜线或对角线的关系。一旦被试发现了这个特点，他就会产生对问题的表征。我主要是指出两个问题。首先，被试首先要把注意力集中到少数几个特征上，然后去利用这些特征，再找出它们之间的关系，而不是随机地从任何地方去寻找答案。他必须集中注意那些有关的特征，不去理会那些无关的特征。他反复地表征这些有关的特征，最后发现这些有关的特征总是具有某种不变的、恒定的关系。

我要进一步指出的是，一个图画，或者一个图解会帮助我们表征某些问题。[8] 即使这图画、图解在外界并不真正存在，只在我们脑子里的图画也可以帮助我们表征问题。例如有一个简单的滑轮问题。滑轮左边的重量是一公斤，现在要知道右边的重量有多大。我们用简单的代数就可以解决这个问题，一个重量一公斤的力加在滑轮左边，那么滑轮右边应该是相等的力，因此第二个重量一定也是一公斤。对于一个更复杂的问题，我们需要更多的搜索才能够解决。如果脑子里有一个图画的话，即有一个滑轮，左边有一个S1的绳子，右边有一个S2的绳子，很容易就能看出图画中滑轮这边的重量是一公斤，滑轮那边也一定是一公斤，因为左边的力等于右边的力。根据脑子里的图画或外界的图画，我们可以一点一点地把这个信息往前推，一直推到最后而得到结果。对于复杂的问题，如果我们脑子里有一个表征的图画，就可以大量减少搜索的时间、搜索的数量，用这种方法比单用一个代数公式、代数推理要简单得多。

现在我进一步谈一个更复杂的表征和图画问题。我要举的例子是爱因斯坦的相对论。我们在高中学代数的时候都要解决坐船的问题，即上水和下水的问题。如果桂林到阳朔的距离是A，船的航行速度是B，水流速度是V，要求出桂林到阳朔的时间或者是阳朔到桂林的时间。这就是相对论中所谓劳伦斯转换的基本问题。我们解决这个问题不应该有困难。爱因斯坦怎么去说服他的读者相信他的方程式是对的呢？爱因斯坦要求读者能

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

在脑子里产生一幅图画。想象有一根棍，有一光束从棍的一端射到棍的另一端，再从一个镜子反射回来，问这个光束由起点到棍那端以及回来所用的时间是多少？假定光的速度是恒定的，用C来表示，要求被试写出方程式，算出光束从这头到那头的时间。现在假定这个棍同时也在运动，那么这个方程式是棍的长度被光的速度减去棍的运动速度去除：

$$T = \frac{L}{C - V}$$

如果让他把他怎么想的画一个图，一般是这样的：一个是光的速度，一个是棍的速度。如果你问他，既然光束的方向与棍运动的方向是相同的，你为什么不把两个速度相加而是相减呢？他将说不出来，而可能在想了一会后再写出另外一个方程式，这是一个距离方程式：

$$L = CT$$

CT就是速度乘以时间，那么L就是棍的长度。让学生去画图的话，他就画出下面的图。由于棍也在运动，所以光走的是棍长加上棍运动的距离，是二者之和：

$$CT = L + VT$$

光束反射回来的距离实际上是缩小了，所以它是两个速度相加。这种实验告诉我们，如果让一个人去解决问题，他往往除了用方程式去解决外，同时脑子里还有一个图画，这个图画是可以画在外边的。我们发现，这种图画必须是非常简单的，只代表着最基本的特征，换句话说，如果一个人用图画来表示变化，他往往需要画几个图画，例如，一个表示运动之前，一个表示运动之后。他并不是用一个进行着的变化过程来表示。它不是一个电影，而是幻灯片的一个个图画。在谈论这个问题的时候，我们可以联想到计算机作图，计算机辅助教学常常利用这种方法帮助学生更好地解决问题。实际上，我们也具体做了一个很复杂的图画，一个用计算机屏幕呈现的反映相对论的运动的图画。可是实际上这个图画对学生没有任何帮助，反而把他扰乱了，还不如他在自己脑子里画出来的很简单的代表了基本特征的图画。我们在利用计算机来显示图形的时候，一定要知道人类被试是怎样提取信息的，哪些信息对于他有用，哪些信息对于他没有用。

我只是简单地举了几个例子来说明现代的认知科学家正在从哪几个方面进行人类创造性的研究。迄今为止，我们已经证明人类的创造性活动是可以用简单的符号的计算机办法去进行模拟。

现在简单地谈论一下所谓的联结主义。在我们的大学里认为联结主义是很重要的，所以无论是计算机系还是心理系都有人在研究这方面的问题，同时也有象我这样的一些同行研究的是符号处理的理论体系。我认为，两方面的研究工作都是重要的，最后可以看看哪种途径在解决哪些问题上更适用。对我们采取符号路线的人来说，愿给我们的联结主义同行们提出一些问题。首先一个问题是，对于人类大脑里面的活动，究竟有哪些、有多少是平行加工的，有哪些、有多少是串行加工的，我们究竟知道多少。当然我们已经知道脑子里有很多很多的神经元，大概有$10^{15}$这么多的触突联结。但是很可能，这些神经元只不过是被动的、记忆的元件，就象我们计算机里面的那些元件一样。我们没有更多的证据来说明它们究竟是怎样活动的。比较清楚的所谓平行的传导是我们的感官：眼睛的视网膜和大脑皮层的联系是平行的，耳朵的感受器向大脑的连接也是平行的。如果我是个联结主义者的话，我将把我的研究集中在人的感觉方面，即视觉、听觉，而不是将注意力集中

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

到模拟大脑里面的功能，象语言、问题解决这一类的问题。

一些计算机科学家在设计平行的计算机模型的时候，会遇到的很大困难是什么呢？就是在设计的时候，往往必须是在某一个环节完成之后才能进行第二个环节。每一个步子的顺序必须是正确的，必须是到下一步的时候，第一步所给的信息正好是可以供第二步来利用的。这方面关于人类被试的证据是很多的。实际上，在人类这个信息加工系统中，有着一个缩小的瓶颈，这个瓶颈就是我们的注意。我们将注意力集中到一个事情上。这种注意是跟短时记忆有关系的，不管你有多少事情存在于短时记忆里面，相对来说，你只能集中到少数的事情上。比如我们骑自行车在通过交通管制的红绿灯时，最好不要再与朋友聊天。实际上，我们人只能进行一项工作，我们的工作在高级水平上实际上是一个串行的机制，这些神经元的系统只不过是低级的，为集中注意进行符号串行加工提供了条件而已。

我要问联结主义同行们的第二个问题是，我们所涉及的所谓平行加工的这几个环节究竟和真正的神经元有什么关系？换句话说，它们是不是一样的，还只是一些联结点连在一起而已。如果联结主义者所设想的那些单元不能真正表现真实的、生物的神经元的话，那么我们为什么要用这种办法去模拟人的真正的神经元的活动呢。对这些问题，我不能谈得太深太多。这些问题是可以讨论和争论的。我们都是科学家，要相信最后实验的结果。因此从长远来看，从两方面进行工作，一个是从平行加工的途径，另一个是从符号的、串行加工的途径，在将来有一天必会看到，究竟在哪些问题上哪个模型比较合适，那时我们才能做出结论来。我认为，人的所有智能活动都是可以用符号和计算来实现的。我们要一步一步地去试，一个领域一个领域地去试。当我们碰到困难失败了，那时再说。

我今天只能举出很少的几个例子来说明在认知科学和信息科学比较活跃的领域。实际上，我们的认知科学的大厦是很庞大的，我们有许多工作可以做。

## 参 考 文 献

[1] Simon, H.A.著，荆其诚、张厚粲译，人类的认知——思维的信息加工理论，科学出版社，1986年11月第1版。

[2] Kulkarni, D.and Simon, H.A.The strategy of experimentation, *Cognitive Science*, 1988, 12, 139—175.

[3] Langley, P., Simon, H.A., Bradshaw, G.L. and Zytkow, J.M. *Scientific Discovery*, Boston: MIT Press, 1987.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net