# 现代认知心理学对于问题解决的研究

乐 国 安

中国科学院心理研究所

问题解决（problem-solving）是现代认知心理学核心的研究课题之一。本文拟对它在这方面的一些具体研究作简要的介绍。

## （一）问题解决的定义

什么叫问题解决？现代认知心理学的定义是：问题解决是一系列的有目的指向的认知操作过程，需要产生新的程序的问题解决叫做创造性问题解决，使用现有程序的问题解决叫做常规性问题解决。因此可以认为，同时具有了三个条件的活动才称得上是问题解决活动。一是具有目的指向性，二是具有一系列操作，三是具有认知操作。按照这三个条件去衡量，象做梦、记住电话号码、解开自己知道如何去解的绳结等都不能叫做问题解决活动。据此也可以看出，有的现代心理学家认为问题解决不等于思惟，例如，记住一个电话号码是一种思惟活动，但不属于问题解决。

当然，有一点是需要肯定的，就是人的问题解决一定有思惟活动。人的思惟是私密性的。行为论心理学通过把思惟等于外部语言而在本质上放弃了对思惟的研究。现代认知心理学通过研究问题解决找到了研究思惟的一条可行的途径。它研究问题解决的方法就是让他们“出声地想”，即把解决问题时心里想到的东西说出来。研究者记录这些口头报告的内容。用信息加工的观点去分板、整理它们。试图从中发现人的思惟规律。

## （二）问题解决的过程

现代认知心理学认为，问题解决的过程就是问题解决者寻找操作系列以达到目的的过程。在这个过程中，问题分为三种状态：初始状态、中间状态、目的状态。问题解决者能够获得的各种状态则称为问题空间或状态空间。这样一来，问题解决就好象走迷津，问题解决者需要搜寻恰当的道路以通过迷津的各种状态最后走出去，到达目的地；也好象一个人玩魔方，他需要搜寻恰当的途径，使魔方六个面经历各种不同的颜色状态变化，最后使各面颜色统一。这种观点是由Newell和Simon提出来的，现在它已成了认知心理学和人工智能研究中分析问题解决时占主导地位的观点。下面举一个例子来说明问题空间的存在情况。有一个问题是所谓的“八张牌问题”。这八张牌的初始状态和目的状态如图1所示。图2是解决这个问题移动牌的过程，要移动26次，每次移动都改变了问题状态，直至达到目的状态为止。

如何去搜寻到达目的状态的道路呢？现代认知心理学认为，一般有两种途径：一种是启发式（heuristics），另一种是规则式（algorithms）。所谓规则式，是为了解决问题而



© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

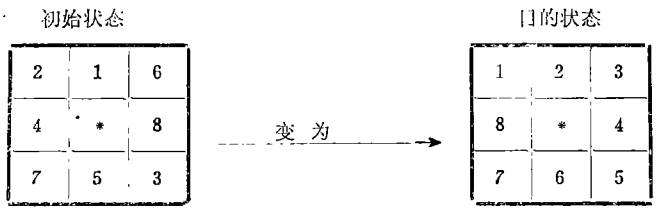



图 1　八张牌问题的一种初始状态和目的状态

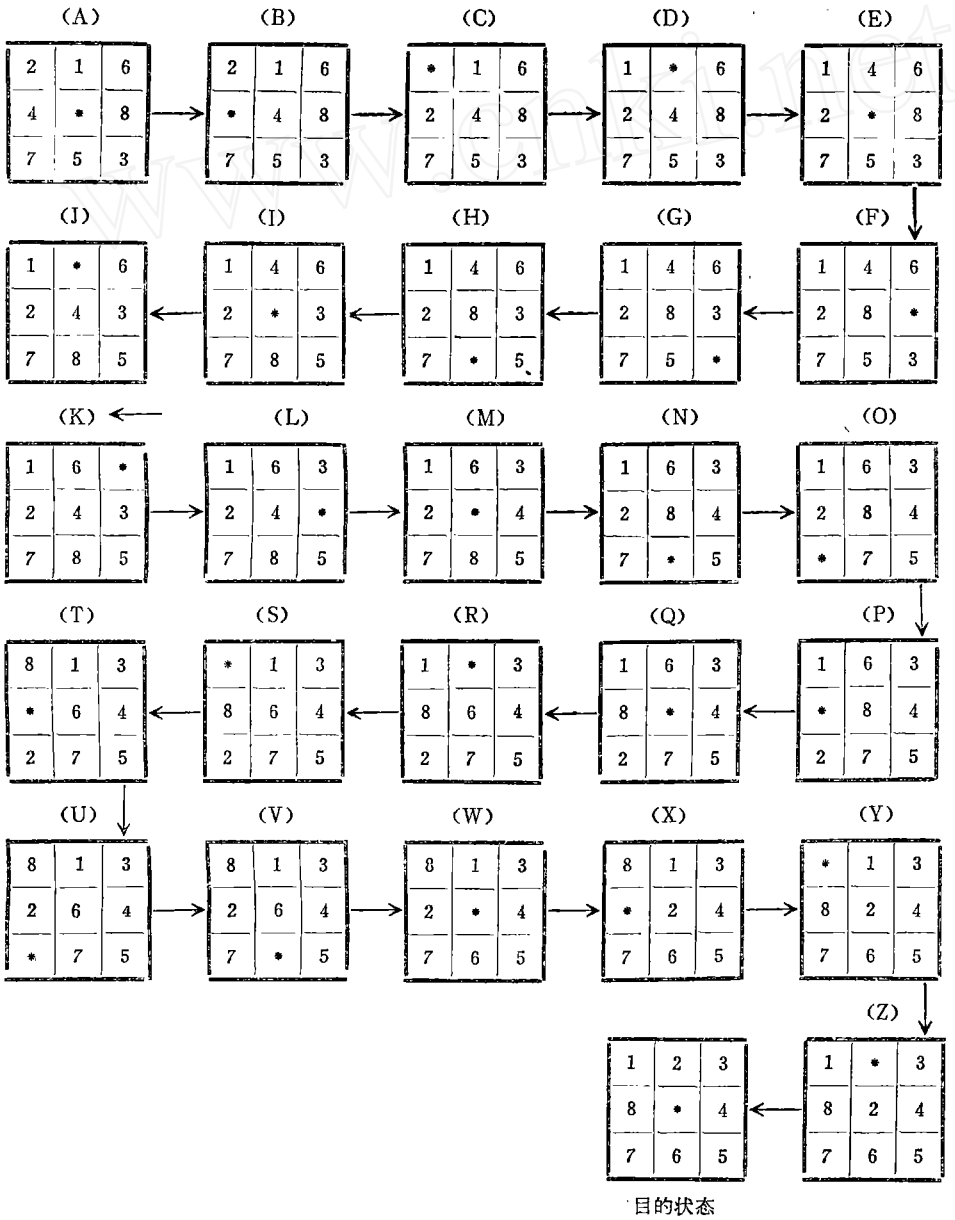



图 2　解决一个八张牌问题的运动系列



© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

产生完整的“搜寻树”（search tree），这种“树”实际是象一株倒立的树，有一“树干”和一些由“树干”延伸出去的“树枝”。这株“树”从问题的初始状态开始，延伸出去的是由该状态出发能够搜寻到的所有状态。它逐层延伸，直至搜寻到目的状态为止。因此，如采用规则式，那么只要问题答案存在，就一定能搜寻到它，而且也能据以发现最短的路径。然而，这种方式毕竟是一种过于麻烦的方式。下面仍用“八张牌问题”为例说明规则式的具体使用情况。“八张牌问题”的初始状态和目的状态如图3所示，图4则是运用规则式搜寻道路而产生出来的一株“搜寻树”。

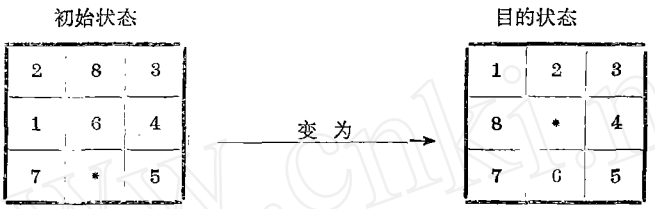



图 3 “八张牌问题”的一种初始状态和目的状态

所谓启发式，是另一种通过问题空间的道路的选择性搜寻方式，是指在解决问题时，人们常常受到类似性（similarity）的启发，他们所选择的操作途径往往是那种使问题状态转换成与目的状态更为类似的状态。启发式较充分地利用了现有信息及信息间联系，所以常可导致快而成功地解决问题，但因为它不如规则式那样系统，所以尽管可能成功得快些，但却并不能保证使问题一定得到解决，有时甚至于出现错误的引导。也就是说，启发式冒着不能解决问题的风险而减少了搜寻道路付出的代价。在许多情形中，人们使用启发式是因为不存在规则式或使用规则式过于繁锁。现举一例说明启发式的优缺点。Atwood和Polson（1976）在有关的实验研究中，给被试提出如下的“水罐问题”：

> 你有A、B、C三个水罐。其中A能盛8杯水，B能盛5杯水，C能盛3杯水。现在A装满了8杯水，B和C是空的。我们要让你找到一种分水的方式，使A和B各盛4杯水，你可以把水从一个水罐倒进另一水罐。

图5是解决这个问题的两条道路，(1)是初始状态，(15)是目的状态。解决这个问题有许多可行的道路，图5所示的只是两条最近的道路。研究者们通过分析被试的行为而发现了类似性对他们的启发作用，并因此而带来了利弊。例如，研究者问被试，他们是喜欢第一步实现状态(呢)，还是走另一条路，第一步实现状态(9)？喜欢实现(9)的人是喜欢实现(2)的人的二倍。这是因为状态(9)与目的状态较类似，而状态(2)与目的状态差别较大，被试受到启发而选择了实现状态(9)的方式。这种利用启发式的方式此时是有利于解决问题的，但是，类似性也可造成错误引导。例如，在从状态(5)向状态(6)转换时，或从状态(11)向状态(12)转换时，尽管它们是些关键性步骤，但被试常因为状态(6)或(12)与目的状态差别较大而造成有50%以上的被试背离了这种正确的走法。

### （三）指导搜寻的方法

为了改善搜寻，现代认知心理学总结了一些启发式的指导搜寻的方法，它们是：手段——目的分析（means-ends analysis）。逆向推理（working backward）、计划简化法（planning by simplification）。



© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

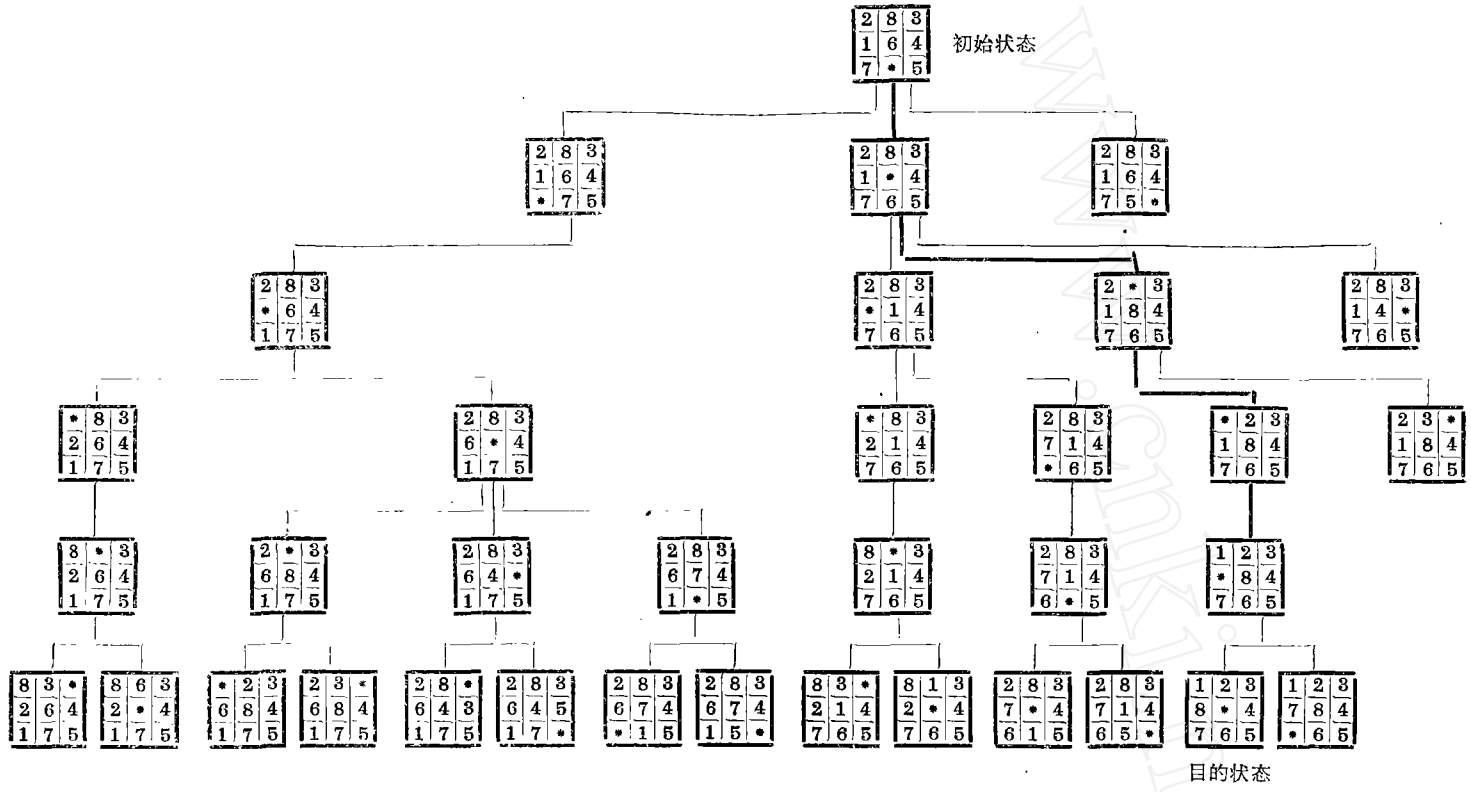



图 4　解决图3所示问题的“搜寻树”（部分）



© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

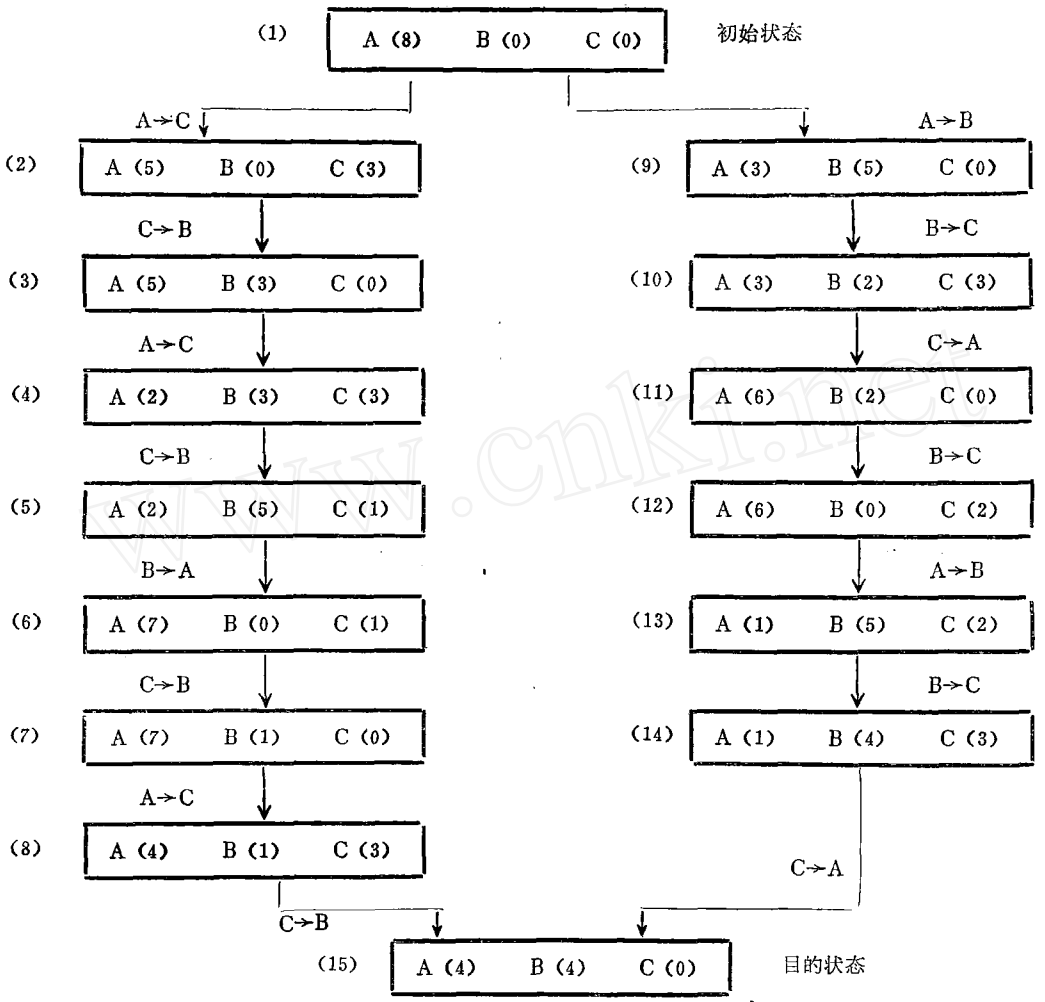



图 5 解决“水罐问题”的两条道路

**1、手段——目的分析**

这是一种极普通而有效的问题解决方法。它的基本点是把需解决的问题分析成一系列的子问题，通过解决这些子问题而导至主要问题的解决。例如，下面是一个常识性的例子，但却又是手段——目的分析的实例：

我要带孩子上幼儿园。我所处的现状和我想达到的目的之间的差别是什么？其中一个是距离。什么可改变距离呢？我的自行车。我的自行车坏了。怎么才能修好呢？需要修补内胎。哪里能修？修车铺。……等等。

手段目的分析注意到给定的状态和目的状态的差别，并且通过建立一系列子问题去减少这些差别。在上述的例子中，一个子问题是修自行车，解决了这个子问题便导至转向下一个子问题，直至达到目的。

Newell和Simon对手段——目的分析做了广泛的研究，并把它用于称为GPS（General Problem Solver）的计算机刺激程序中。它模拟人的问题解决过程。Newell 和Simon



© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

指出，GPS所使用的启发式手段——目的分析是：

①如果一给定的物体不是希望的物体，那么这一可利用的物体和希望的物体之间的差别将是可觉察的。

②操作对操作物的某些特征产生影响作用，另一些特征则没有变化。因此，操作的特点能由它们所产生的变化限定，并且能用于试图消除被利用的物体和希望的物体之间的差别。

③如果一希望的操作是不能运用的，那么它可能对于修正输入以使之变得能运用是有益的。

④某些差别将表明比另外的差别更难于受到影响。

根据这四条可以看出，试图去消除“困难的”差别，即使付出引进较少困难的新差别的代价，也是值得的。只要在消除困难的差别方面取得进展，这个过程能够重复进行（Newell和Simon，1972）。下面的作业图表示了由GPS使用的手段——目的分析中使用的程序（见图6）。从图中可以看出，这种手段——目的分析的一般特点就是把大目的分离

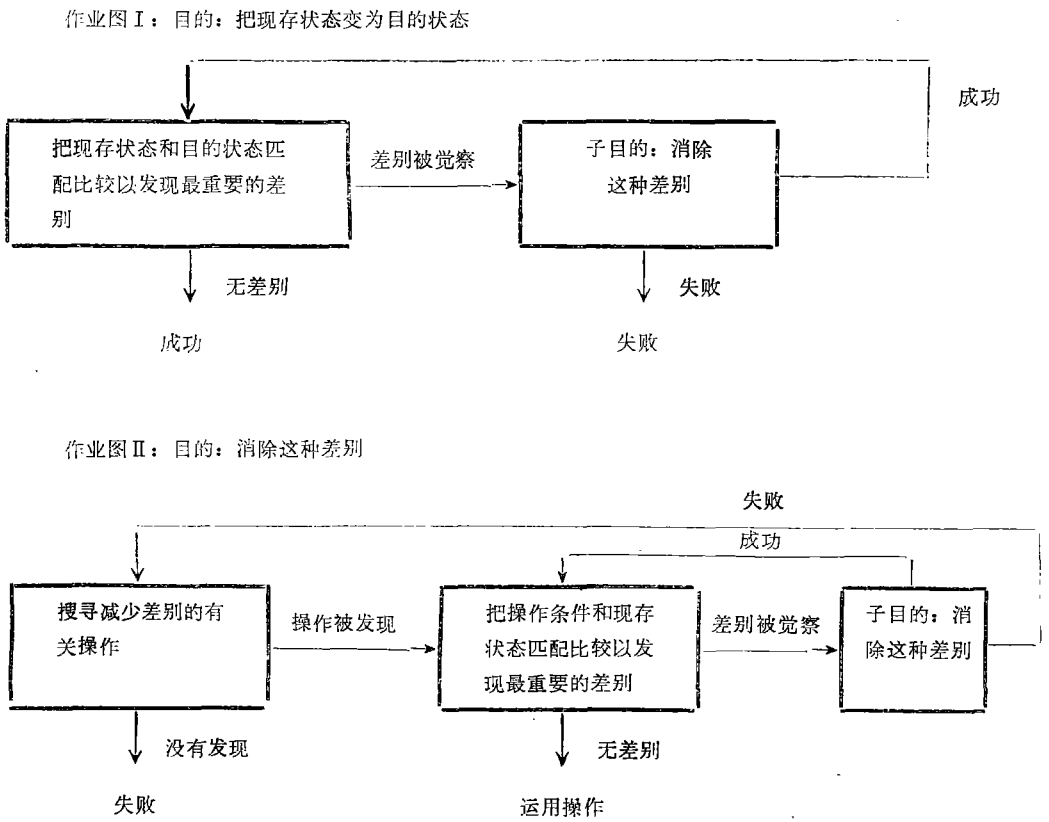



图 6　由Newell和Simon的GPS运用的手段——目的分析。作业图Ⅰ把问题分离成一系列差别并且试图去消除每一差别。作业图Ⅱ搜寻消除差别的有关操作。

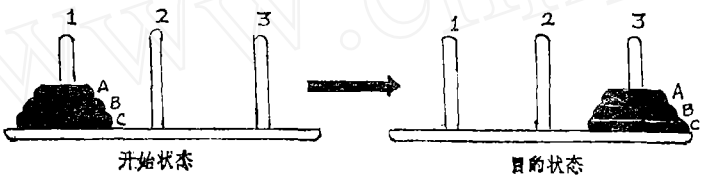
成一些子目的。GPS以两种方式产生子目的。第一种方式是在作业图Ⅰ中，GPS把现存状态分离成一系列差别并且把减少每一种差别当成是一个独立的子目的。它试图去消除首先知觉到的最重要的差别。第二种方式是在作业图Ⅱ中，GPS试图去发现消除差别的操作。



© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

然而，因为操作条件和现存状态之间存在差别，这种操作可能不能直接运用。于是，在操作得以运用之前，可能有必要去消除另外的差别。为消除这另外的阻碍运用操作的差别，作业图Ⅱ则需要再次重复以找到与消除这种差别有关的操作。

手段——目的分析被不少人运用于实际的问题解决中。Ernst和Newell（1969）就讨论过模仿猴子取香蕉问题。代数问题、微积分问题、以及逻辑问题的解决中使用这种方法的情况。不少认知心理学专著中都援引了所谓的“河内塔问题”（tower of Hanoi problem）来说明手段——目的分析法的具体使用过程。所谓“河内塔问题”，如图7所示，有三根桩和三个尺寸大小不等的圆盘A、B、C，圆盘中央有孔能够使它们堆放在桩上。圆盘可由一根桩向任何一根桩移动。但只有上面的一个圆盘可以移动并且不许放在较小的圆盘之上。所有的圆盘开始都在第一根桩（桩1）上，目的是通过一次移动一个圆盘把它




们全部放到第三根桩（桩3）上去。GPS技术运用于这个问题解决的过程是这样的：

①、目的：移动A、B、C到桩3
②、　　：差别是C不在3上
③、　　：子目的：放C到3
④、　　　　：操作是移C到3
⑤、　　　　：差别是A和B在C上
⑥、　　　　：子目的：从C移走B
⑦、　　　　　　：操作是移B到2
⑧、　　　　　　：差别是A在B上
⑨、　　　　　　：子目的：从B移走A
⑩、　　　　　　　　：操作是移A到3
⑪、　　　　　　　　：与操作条件无差别
⑫、　　　　　　　　：运用操作（移A到3）
⑬、　　　　　　：子目的实现
⑭、　　　　　　：与操作条件无差别
⑮、　　　　　　：运用操作（移B到2）
⑯、　　　　：子目的实现
⑰、　　　　：差别是A在3上
⑱、　　　　：子目的：从3移走A
⑲、　　　　　　：操作是移A到2
⑳、　　　　　　：与操作条件无差别
㉑、　　　　　　：运用操作（移A到2）



© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

㉒、　　：子目的实现
㉓、　　：与操作条件无差别
㉔、　　：运用操作（移C到3）
㉕、　：子目的实现
㉖、　：差别是B不在3上
㉗、　：子目的：放B到3
㉘、　　：操作是移B到3
㉙、　　：差别是A在B上
㉚、　　：子目的：从B上移走A
㉛、　　：操作是移A到1
㉜、　　：与操作条件无差别
㉝、　　：运用操作（移A到1）
㉞、　：子目的实现
㉟、　　：与操作条件无差别
㊱、　　：运用操作（移B到3）
㊲、　：子目的实现
㊳、　：差别是A不在3上
㊴、　：子目的：放A到3
㊵、　　：操作是移A到3
㊶、　　：与操作条件无差别
㊷、　　：运用操作（移A到3）
㊸、　：子目的实现
㊹、　：无差别
㊺、目的实现

**2、逆向推理**

搜寻问题解决途径的第二种方法是逆向推理。这种方法简而言之就是从目标出发往回推理而解决问题。例如，考虑一下图8所表明的一个几何问题。ABCD是一个矩形，要求证明 $\overline{AD}=\overline{CB}$。为解决这个问题而运用逆向推理，学生自问："怎么能证明 $\overline{AD}=\overline{CB}$？如果我能证明ΔACD全等于ΔBCD就行了。"于是，他从证明线段相等这个目的出发返回去证明三角形全等。第二步是推理："如果我能证明那两个三角形的两边和夹角相等，则能证明这两个三角形全等。"于是，他从一个子目的出发返回到另一个子目的。

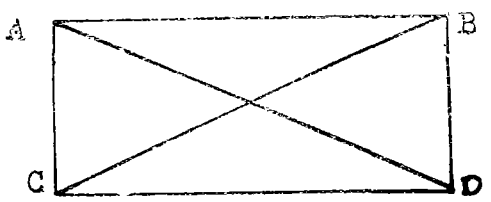



图 8　一个几何问题，ABCD是矩形，证明：$\overline{AD}=\overline{CB}$

逆向推理对于证明平面几何定理是很有用的。从定理返回到公理的通路相对较少，而从公理出发却有许多通路到达不同的定理，即大量的定理能被公理证明。因此，从定理中给定的信息逆推到公理以证明定理，相对容易些。



© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

逆向推理和手段——目的分析有何异同呢？它们共同的地方在于都考虑到了目的而且都确定什么操作能达到目的。他们不同的地方在于：手段——目的分析考虑了目的和现有状态的差异，而纯逆向推理则没有这样做。因此，手段——目的分析更强调搜寻问题空间的方式。它能更迅速地导致获得答案而较少走错路。当问题空间中有多种途径从原初状态发出而只有少数途径通向目的状态时，逆向推理是富有成效的；相反，如果通向目的状态的途径也很多，那么手段——目的分析则是更为有用的搜寻方法。

在介绍现代认知心理学关于问题解决中搜寻道路的逆向推理法时，有必要谈及所谓的“逻辑理论家”（Logic Theorist。缩写为LT）。不少研究者认为，LT是现代认知心理学的一个开端。因为它是信息加工理论在心理学研究中的具体化，它表明启发式解题程序和人解决问题的行为是一致的，它为心理学同计算机结合做出了榜样，它是心理学研究在方法上的突破。LT是什么呢？它是Newell，Shaw，和Simon（1958）研制的用于证明符号逻辑中的定理的一种计算机程序，它是一种用于证明定理的带有严格的推理规则的公理系统，就象在平面几何中的情形一样。Newell等人观察了人用从定理返回公理的逆向推理证明定理的过程。并用相同的方式设计出了LT程序。他们用它去证明数学定理，获得了很大的成功，因此认为这种启发式的程序能够说明人解决复杂问题的思惟活动，进而认为可以用基本的信息加工过程阐述人的心理，并由此而开创了信息加工心理学（李家治，1982）。

**3、计划简化法**

搜寻问题解决途径的第三种方法是计划简化法。这种方法实际上就是制订计划。计划有两个作用，一是防止错误，二是简化问题解决过程。例如，建筑师设计房子，在纸上设计当然比用木头和钢筋水泥建造便宜得多，方便得多。而且也易于修正可能出现的差错。

在计划简化法中，人们把问题抽取成简单的形式，解决了这种较简单形式的问题后，把答案用于指导原初的、更复杂的问题的解决。例如，Hayes（1978）讨论过下述数学问题：设想我们的任务是通过五个给定的等式去找出X和Y的函数关系（用Y表示X）：

$$R = Z^2$$
$$X = R + 3$$
$$2M = 3L + 6$$
$$Y = M + 1$$
$$R = 3L$$

运用计划简化法，便把这些等式抽象地表述为各变量间的连结形式：

R——Z
X——R
M——L
Y——M
R——L

在这种抽象的再现中，寻找X和Y的函数关系的问题便简化为寻找连结X和Y的通路的问题了。这条通路是：

X——R——L——M——Y

这种抽象的答案能用于指导对原始问题的解决。我们首先把表示第一条连线的等式和表示



© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

第二条连线的等式联结起来。这两个等式是：

$$X = R + 3$$

$$R = 3L$$

联结起来是：

$$X = 3L + 3$$

然后，我们把这个等式和表示下一条连线的等式：

$$2M = 3L + 6$$

联结起来，产生出新的等式。如此继续下去，最后找到了X和Y的关系：

$$X = 2Y - 5$$

**4、问题再现**

以上我们只是介绍了现代认知心理学关于问题解决的研究中所涉及的如何选择正确的操作去解决问题这一方面。现代认知心理学也认为，另一方面，正确地再现问题状态对于解决问题具有重要作用。因为能够正确地再现问题，便有可能运用关键性的操作。

通常，找到问题的答案有赖于问题解决者在他所处的环境中以新异方式再现物体的能力。对此，心理学界早在三十年代就有实验研究。一个经典的实验是Maier（1931）的“两根绳子问题”（two-string problem）。他的实验结果表明，只有39%的被试能在10分钟之内找到答案。问题的困难在于被试不能把钳子再现为一个可以用作类似于钟摆的重物。这便是所谓的功能固着（functional fixedness）现象。被试按照一个物体的习惯性的功能固定地再现该物体，不能再现出它的新异功能，因此不能选择合适的操作去解决问题。四十年代，Duncker（1945）的一个实验演示也说明了这点。他给予被试把蜡烛支在门上的任务（见图9所示）。在桌上放着一合图钉，一些火柴和一支蜡烛。正确的答案是用图钉把图钉合子钉在门上，把蜡烛放在合子上。这个问题的困难在于被试只是把合子看成一种容器，而不是一个可放东西于其上的平台，而且如果合子里装满了图钉，则强化了被试的这种功能固着性看法，使得问题越难得到解决。

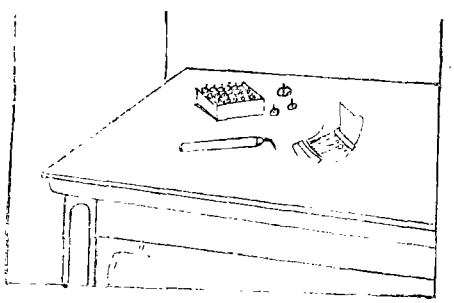


图 9　Dunker的蜡烛问题

**5、定势和酝酿对解决问题的影响**

现代认知心理学在研究问题解决时还注意到了问题解决技能的编码。问题解决包括运用心理程序去达到目的。这些程序能编码为产生式系统。当然，对于我们过去经验过的问题、我们就已具有了工作程序；但在我们面对一个新问题时，便不得不创造一个新的产生式系统去解决这个问题。这种对程序编码的过程需要使用个体已有的知识。这时，就出现了所谓的定势作用。定势作用是指已有的知识结构对问题解决的影响作用而言的。这些知识结构可以是程序性的，也可以是陈述性的。人们在解决问题时具有每次都用相同的方式（即相同的知识结构）的倾向，便叫做定势。定势对问题解决有两种不同的作用。如果已有的知识结构是解决当前的实际问题所需要的，那它就能促进问题解决；反之，则妨碍问题解决。定势作用有时是很顽固的。Gardner和Runquist（1958）发现，被试用相同的



© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

方法解决的问题越多，他们便越难于在具有两种解决办法的问题中找到另一个较为简单的办法。他们还发现，被试对于不能用惯于使用的第一种方法、而需用另一种方法解决的问题，困难则更大。因此，如果一个人发现自己在解决问题时钻入了不成功的“牛角尖”，则应该强迫自己挣脱出来，改变定势，寻求另外的答案。

所谓酝酿作用（incubation effects），是与定势有关的在对程序编码时的另一种现象。通俗地说来就是，在解决问题时，会碰到百思而不得其解的情形。这时如若干脆把该问题搁置于一边而改做它事。时隔几小时、几天、甚或更长时间之后再来解决它，问题答案常可较快地找到。著名的法国数学家彭加勒1929年在《科学的基础》一书中写到了他自己有过的这种体验：

> 我把自己的注意集中于某些算术问题的研究，但却显然没有成功的结果，甚至没有与我先前研究成果有任何联系的苗头。因为对自己的失败感到烦恼，我到海边去消磨了几天，想一些其它的事情。一天早晨，当我在悬崖边散步时，一个想法涌进我的脑海，它带有简洁性、突然性、以及直接的确定性特点。这个想法就是不确定的三元二次形式的算术转换与非欧氏几何的那些转换是一致的。

（poincare, H., The Foundations of Science。New York: Science House. 1929.P.388.）

1971年，Silveira做过一个实验说明酝酿作用。他向被试提出了“经济项圈问题”（见图10所示）。实验时对被试的指示是：

> 给你四条分开的链子，每一条由三节组成。打开一节要花2分钱。封闭一节要付3分钱。开始时所有各节都是封闭的。你的目的是把全部12节连成一个项圈，花费不能超过15分钱。

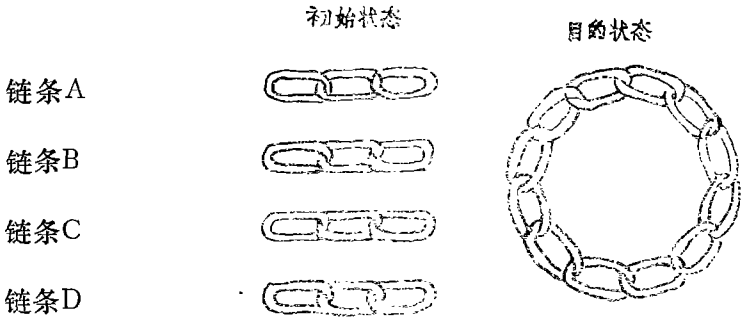



图10　经济项圈问题

解决这个问题的答案是：把一条链子上的三节都打开（花6分钱），然后用这打开的三节去把其余三条链子连在一起（花9分钱）。研究者把被试分为三组。让一个控制组花半小时解决这个问题，55%的人获得成功。让第一个实验组总共也用半小时解决这个问题，但中间插入半小时从事其它活动，66%的人获得成功。让第二个实验组总共用半小时解决这个问题。但中间插入4小时其它活动，85%的人获得成功。现代认知心理学对这种酝酿作用的解释是：原初的定势不合适至使问题得不到解决，后来通过暂时放下这个问题，不合适的知识结构得以消散，个体便能够运用新的定势去解决问题。



© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

## 参 考 文 献


〔1〕 Anderson, J.R., *Cognitive Psychology and Its Implications*, 1980

〔2〕 Atwood, M.E., & Polson, P.G., *Cognitive Psychology*, 1976,8, 191-216

〔3〕 Duncker, K., *Psychological Monographs*, 1945, 58, No.270

〔4〕 Ernst, G., & Newell,A.,*GPS: A Case Study in Generality and Problem Solving*.1969

〔5〕 Hayes, J.R., *Cognitive Psy chology*, 1978

〔6〕 Maier, N.R.F., *Journal of Comparative Psychology*, 1931, 12, 181—194

〔7〕 Newell, A., Shaw, J.C., & Simon, H.A., *Psychological Review*, 1958, 65, 151—166

〔8〕 Newell, A., & Simon, H.A., *Hunan Problem Solving*, 1972

〔9〕 李家治：认知心理学和人工智能，中国科学院心理研究所印,1982


（上接28页）

## 结 论

计算机在我们社会中宣告了一种新型的学习。计算机对学生的阅读和写作可以提供各种帮助，对于某些在动作、视觉、计划或注意力方面有困难的学生，它可以消除他们的这些挫折和弥补这些缺陷。在使用计算机的情况下，读和写已不单是为了完成教师的要求，而成为一种自然会出现的文字交往。

（原文载《Reading Education Report》No.42, 1983.朱丹摘译　宋钧校）



© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net