

# 基于主动回忆的学习中的知识结构与表述

原文: <http://super-memory.com/english/ol/ks.htm> <<http://super-memory.com/english/ol/ks.htm>>

**Piotr Wozniak** <<http://super-memory.com/english/english/company/wozniak.htm>> , 1994

本文摘自 P.A.沃兹尼亚克, 《学习经济学》, 博士论文(1995 年), 并经改编后作为独立文章在网上发表(P.A.沃兹尼亚克, 1997 年 4 月 23 日)。用通俗的科普语言编写的同等文本见: 学习中的 20 条知识表述规则

在这篇文章中, 我将试图表明, 将学习到的知识分解为小块, 并将其归结为在一个受学习过程约束的知识系统中的独立语义单位, 是可行的。我还预测这种方法在未来基于主动回忆的自我教学系统中的必然性。

我们将讨论与重复间隔算法(如 SuperMemo 中使用的)无关的要素, 这些要素会影响学习的效果。特别地, 我们将通过一个用于学习微观经济学的简单知识系统的例子, 看到知识表述如何影响知识在学生记忆中保留的容易程度。微观经济学知识体系几乎全部基于《企业经济学》中包含的材料。小阿瑟-A-汤普森的《理论与实践》, 1989 年。宏观经济学的一些一般概念是从 M.McKenzie, 1986 年所著的《宏观经济学》中增加的, 而数学问答项则是从 David A.Aaker 和 George S.Day, 1990 年所著的《市场营销研究》中抽取的。

## 自学优化中与知识无关的要素

在谈到知识的表述之前, 我只想简单地枚举一些其他与表述无关的有效学习的其他原则:

- 由于 SM-8 算法等重复间隔算法的原理所隐含的知识原子性, 所以不能把重复回答问答项等同于学习本身。在学习的过程中, 所学材料要素之间语义联系的连贯图形成了。此图可以通过逐项建立的方式来构建; 但是, 标准的教科书、超文本文档或交互式导师由于没有隐含的颗粒度约束, 总是会有功效上的优势。换句话说, 人们总是应该先学习, 然后才用重复间隔系统来工作, 以便在较长的时间内保留新形成的记忆痕迹。这里应该注意的是: 重复间隔的知识颗粒度是人类记忆的固有特性, 而不是方法的缺点。毕竟, 它并不妨碍存储在记忆中的知识的关联性。它只是影响了刺激物在重复时的呈现方式, 以使记忆效果最大化。
- 学习的一个基本原则是应用主动回忆而不是被动再认。从记忆巩固的角度看, 主动回忆的要求更高, 而且在应该加强什么样的突触连接方面, 它更接近于现实生活中的情况。

- 对已学过的或重复的材料的高度专注程度对学习效果有巨大的影响，但它在很大程度上与知识系统无关，不能受到知识系统开发者的显著影响。
- 与重复间隔算法相关的固有现象是，在学习中断的情况下，材料会堆积。这就对学生形成了一种束缚，因为堆积未完成的重复材料会对学生的学习态度产生消极影响。
- 最后，影响学习过程的一系列身心健康问题，但这些考虑远远超出了本文的范围。

## 学习中的知识表述问题

众所周知，知识的表述方式会影响到知识的记忆方式，进而影响到知识在记忆中更长时间内保留的容易程度。

助记艺术和学习艺术一样古老，专业的记忆师，凭借他们训练有素的记忆能力，可以真正让普通人在顶级的助记专长面前哑口无言。的确，助记术非常容易应用，大部分有能力的学生，或多或少都会在日常中使用。但是，只要有意识地了解其中的规律和原理，即使是最优秀的学生，也会有很大的收获。

从神经生物学的角度来看，助记术的基本原理是尽可能多地从以前存储的记忆痕迹中建立记忆表象。由于人脑中的视觉加工似乎比语言加工等涉及的网络要复杂得多，因此，广泛使用视觉图像是成功的关键。学生不需要记住一个无意义的电话号码，而是可以记住一系列明确映射到数字的视觉场景，并生成一个独特的、容易记忆的图片事件序列，作为表示数字的有效方式。那么，回忆电话号码就可以等同于调用记住的视觉事件，并将其转化为数字序列，或者更常见的是，转化为一个两位数的序列。正如我将在后面的段落中试图论证的那样，最大限度地减少存储记忆所涉及的突触连接数量，是在较长时期内最大限度地保留记忆的关键。将新记忆表示为旧记忆的易恢复部分的复合体，正是为了达到这个目的。

为了简化关于存储特定记忆痕迹所涉及的神经连接的复杂性的知识表述问题的讨论，我将简短地引入一个**突触模式**的概念。

早在敏感的神活动测量技术问世以来，人们就知道记忆可以与突触活动的时空模式相关联，简称**突触模式**。就**突触模式**概念的命名而言，存在着大量的术语混乱。因此，值得注意的是，比在相关文献中，**突触模式**的概念，往往不涉及其时间成分，可能会或多或少地与一些术语同义使用，如：细胞组装、神经结构、突触结构、突触网络、突触活动模式等。

正如我将在专门讨论记忆的生物学方面的一章中试图表明的那样，**突触模式**的复杂性很可能与问答项难度（如用简易度表示）有严格的相关性。因此，它是理解基于主动回忆和间隔重复的自学系统中知识有效表述原则的核心。

不符合最小**突触模式**复杂性的问答项，在重复的过程中，将逐渐丢失其组成成分。换句话说，记忆将完成对核心**突触模式**的自然选择并消除所有在重复时没有得到均匀刺激的额外连接。在后面的章节中，我将用模式提取一词来描述在重复过程中选择核心**突触模式**的现象。

## 主动回忆系统中有效知识表述的组成部分

下文所讨论的所有有效的知识表述原则都来自于我多年来开发知识系统的经验，以及研究 SuperMemo 用户开发的知识系统中问答项难度与知识表述之间的关系，他们中的许多人在着手进行重大知识系统开发之前都会征求专业人员的意见，或者同样经常渴望分享自己的经验，以及在所有可以想象的学习领域中应用重复间隔时遇到的问题。

以下是基于主动回忆的自学系统中与知识表述相关的五个主题：

- 特定问答项在知识系统中存储的顺序，作为学生大脑中复杂知识结构有效建立的要素。
- 应用最小信息原则、举例缩小原则、类比法、生动法、图像法、挖空法、图片遮挡法、助记术、枚举技巧、消除干扰等原则，将**突触模式**的复杂度降到最低。
- 以建立突触模式的冗余为手段，尽量减少遗忘对有联系的知识结构的破坏（采用被动和主动的方法、灵活重复、推理线索、推导步骤等）。
- 以措辞优化为手段，影响错误率、刺激特异性、反应时间、注意力等。
- 与知识无关的功能（来源、子域分类、更新标记等）。

在下面的五节中，我将以上述微观经济学知识体系中的例子，分别对上述所有主题进行阐述。

## 在习得有联系的知识的步骤过程中，对问答项进行排序

问答项排序中最重要的规则与一般的学习过程有着内在的联系。循序渐进必须从基本概念通过基础到更复杂的细节问题。在所有的学习形式中，这一原则来源于理解的需要，当学生一下子被抛入深渊时，显然会大大降低理解能力。在应用遗忘指数较低的重复间隔时，这种方法还有一个重要的方面。由于在这种学习形式中，遗忘的作用微乎其微，学生很可能会出现新的知识片段很好地镶嵌在已有的结构中的现象。这可能会影响到排序算法，使其从真正的从基础到细节的方法转为先理解先记忆的方法，这种方法免除了在第一次接触新学材料时完全理解的需要。这样一来，学生就不会因为无法理解某个概念而产生卡壳的感觉，同时，也不会因为害怕滚雪球般的不理解而不愿继续深入。因此，在第一遍课程中，学生只记住那些已经理解的部分，并希望在第二遍中消除理解上的差距，插入现象能够消除理解空白。

从基础到细节的方法可以与最适用的方法成功结合，在这种方法中，学生可以更迅速地深入研究材料中其他部分最常引用的那些部分的细节。这增强了入门现象，这是学习中最强大的动机因素之一，为学生提供了成就感。

对于问答项最优排序问题，目前还没有固定的算法，但是，用稍微正式一点的术语来说，最优排序可能被定义为双组分优化，其中考虑了以下两个因素：

- 所考虑的问答项的原始性，即与排序组中其他问答项的语义依赖性的数量。
- 问答项的适用性，即该问答项出现在其他问答项的语义依赖关系中的频率（或者如果它很容易被量化，则该问答项在集合所附的学习材料中或多或少地被直接引用的频率，甚至是在现实生活中对所学知识的日常应用中的频率

举个例子，让我们考虑经济学中生产概念的定义。生产通常被认为是制造的同义词。然而，从经济分析的角度来看，对生产的更准确、更有用的定义是：任何创造价值的活动。下面这个放在学生记忆中的问答项，很可能会深刻影响学生对概念的解释：

问：什么是生产？

答：任何创造价值的活动

正如后面将显示的那样，我始终建议同时应用名称与概念的联想能力，以及概念与名称的联想能力；因此，下面的翻转问答项也应该出现在同一个集合中：

问：创造价值的活动的名称是什么（经济学上）？

答：生产

在经济学中对生产的各个方面进行分析时，为了从控制论的角度对生产的性质进行分类，对生产进行更精确的定义也许是有用的。由于上述定义提供了一种直观的理解，割裂了生产与制造之间的联系，因此，在生产过程成为更详细分析的重点的情况下，特别是利用经济模型进行分析时，上述提出的与前述方法不太一致的定义可能具有更大的适用性。「生产是一系列活动，通过这些活动，资源投入通过配方和技巧过程转化为商品和服务的产出」。由于概念的基本性质，上述定义的非常精确的印记可以被认为是建立更高级的经济学知识方面的宝贵财富。基本概念的难度在于，它们太基本了，以至于不能用更基本的术语来要求它们。像「什么是生产？」这样要求背诵定义的顺口溜的问题，正如后面将表明的那样，完全没有达到建立真正理解力的目的（比较：突触模式的简易度和突触刺激的特殊性）。把答案简化为「一系列活动」，并在后面加上一些定义「活动」的问答项，也是不允许的，因为「一系列活动」有很多充分的替代物，比如，「任何创造价值的活动」，等等。在这里，一个非常有价值的，也常常被低估的挖空工具派上了用场。考虑以下问答项的措辞。

问：生产是将资源投入通过配方和工艺流程转化为商品和服务产出的一系列[...]

答：活动

同理，挖空应生成依次缺少以下术语的问答项。「资源投入」、「配方」、「技巧过程」、「产出」、「商品和服务」，这样才能最终得出：

问：生产是将资源投入通过配方和工艺流程转化为[...]产出的一系列活动。

答：商品和服务

问题是，上述问答项是否会产生预期的效果，即根据前面提供的定义理解生产的概念。经验表明，尽管所学概念的特定组成部分之间似乎有很高的分离度，但所呈现的问答项似乎在学生的记忆中产生了牢固的印记，不仅为稳定的理解提供了坚实的支持，而且还使学生能够毫不费力地背诵整个生产的定义。根据影响记忆的其他要素，这类建构问答项的简易度一般在 2.0~2.8 之间，其中干扰是最主要的因素。尽管会产生更多问答项，但比起将整个定义塞进答案中，且简易度最可能降到 1.5 以下的情况下，这肯定能保证更少的工作量。

相比之下，让我们考虑以下问答项，由于不尊重从基础到细节的方法，似乎显示出高度的棘手。

问：什么是贴现率？

答：FRS 对成员银行贷款所收取的利率

这个问答项经常被遗忘，因为它没有得到同一集合中其他问答项的支持，从而无法理解 FRS（联邦储备系统）的缩写，进而无法理解成员银行的概念。这使得贴现率的定义几乎没有留下什么语义内涵，迫使学生采取句法方法来记忆，这无非是无意识的死记硬背，保留的期望很低。

## 最小化突触模式复杂性的技巧是保持高简易度的关键

在以主动回忆和重复间隔为基础系统中，有效知识表述最重要的原则是最大限度地降低参与存储记忆痕迹的突触模式的复杂性（Wozniak, 1990）。这一原则转化为保持问答项的内容简单、具体、形象、一致、可理解和单义。这种方法的主要目的是，确保在学习任务期间激活的时空模式，在每个连续的重复中都是相同的。换句话说，在重复的过程中，由于模式提取的结果，突触模式应该有最小的变化。最佳重复间隔的整个概念是基于处理不变的信息片段，其记忆痕迹是不变和稳定的，因此可以作为原子实体来处理。如果神经元的激活在多次重复中改变了它的过程，那么相关突触模式中的一个突触子集将得不到足够的增强，导致部分学习信息的丢失。

利用微观经济学集合中的例子，我将展示在表示集合中存储的单个信息时涉及的突触模式最小化的所有可区分的方面。

## 理解力

上一节已经强烈地指出，从基础到细节的方法，除其他外，应该确保最大程度的理解力。在这里我只想指出，理解力确实与本章的主题——最小化突触模式复杂性有关。无意义的短语或概念在学习过程中涉及的神经元数量要多得多。低级电测量显示，在记忆无义词的情况下，神经活动比自然词要高。同样，PET 扫描显示，在执行学习任务的过程中，表现出高智商的人的大脑活动要比低智商学生的情况低得多。最后，研究表明，人们对职业的记忆比对名字的记忆更稳定。心理学家解释说，这与代表各种职业的成熟的突触模式通常不会与类似的模式相匹配，这些模式可以很容易地用来代表名字，特别是姓氏。

## 最小信息原则

最小信息原则是基于最小突触模式复杂性的方法最明显的结果。为了保持问答项的记忆表象简单，问答项本身也应该是简单的。

让我们考虑竞争性市场的缺点，如收入分配不均、把生产成本强加给公众、开发社会不良产品、产品泛滥等。最小信息原则说：「竞争性市场的缺点是什么？」由于答案的复杂性，不能接受这个问题。在这种情况下，解决方法来自于缩小问题的焦点；这种方法往往需要额外的术语和知识结构，对集合开发人员的要求一般比较高。一个典型的焦点较窄的问题，听起来可能是这样的。

问：在竞争市场上，收入分配出现了什么问题？

答：收入集中在少数人手中。

或：

问：把生产成本强加给不在竞争市场上消费的人的例子是什么？

答：环境污染

如上所述的一组具体问题产生了非常高的知识保持率；然而，问题是，它是否等同于学生能够准确地指出竞争市场的最重要的缺点。经验表明，将上述颗粒物粘成一个连贯的整体的若干问答项是必要的。这可以通过本章后面讨论的挖空法来方便地实现，例如：

问：竞争市场的主要缺点是：

收入的再分配（贫富差距）

对（污染）生产成本收税

[...]（违禁药品）

产品扩散（标准化/规范化问题）

答：社会不需要的产品

上面介绍的与竞争市场的特殊缺陷相关的例子，起到了生动的增强和理解提升，但其主要功能是让我们更容易追踪缺失的条目。毕竟，正如后文所示，枚举是遵守最小信息原则中最棘手的障碍之一。所提出的挖空作为（1）掌握与所讨论的缺点有关的术语的工具，而概念性的答案的确是由伴随着枚举的例子强烈地暗示出来的，（2）图形骨架，用于钩住前面所介绍的由狭义焦点问题获得的知识碎片。

在对税收收入的分析中，尝试绘制 1975–1982 年欧洲国家的拉弗曲线，又出现了更为复杂的知识结构。经分析，在光谱的两端，有两个国家的显著例子值得考虑。瑞典和西班牙。前者的平均税率为 49%，税收下降了 12%，而后者的平均税率为 23%，税收却有 60% 的显著增长。自然，一个问答项塞满了上述所有事实，几乎没有机会通过最小信息原则。那么可以考虑以下问答项，以确保学生对税率与税收关系相关事实的回忆。

问：1975–1982 年西班牙的平均税率是多少？

答：23%

和

问：1975–1982 年西班牙的税收有什么变化？

答：增加了 60%。

遗憾的是，针对瑞典提出的类似问题并不能形成一个连贯的记忆表象，使学生回忆起构成对拉弗曲线所说明的关系的理解的全部信息片段的集合。自然，这种理解不需要举例。边际税收收入的理论含义可能被认为是理解的充分要素；然而，在教育中，说明理论的事实的作用早已被人们所认识；因此，我将为所讨论的税收收入案例提出一组作为联想粘合剂的示例性问答项，以供考虑。

问：1975–1982 年，西班牙和瑞典的平均税率和税收收入变化如下：

西班牙：[...] % 和 60%（分别）

瑞典：49% 和 -12%（分别）

答：23

并以类似的方式：

问：1975–1982 年，[...] 和瑞典的平均税率和税收收入变化如下：

[...]：23% 和 60%（分别）

瑞典：49% 和 -12%（分别）

答：西班牙

以上述方式表述的问答项似乎产生了非常连贯的记忆痕迹，尽管数字反应本身就难以捉摸（如所介绍的两个例子中的第一个例子），但这些记忆痕迹显示出高于平均水平的保留率。

## 通过例子缩小范围

通过例子缩小范围是一种非常有效的方法，可以使与问题有关的刺激更具体，从而更成功地留下持久的记忆。

如果提供一个缩小范围的例子，说明哪些商品可能受制于政府规定的价格上限，就可以加强价格上限的概念。此外，这个例子使得价格上限的定义更加具体；因此，突触模式复杂性降低的可能性增加，模式提取的可能性最小化。

问：政府规定的价格，超过这个价格就不能出售商品（如药品）的名称是什么？

答：价格天花板

在上面的例子中，「（如药品）」是通过举例缩小范围的手段。同样，在横向市场的定义中，猪肉与牛肉的竞争性的说明有助于通过举例缩小范围。

问：可以作为替代品的产品的市场（如猪肉和牛肉市场）叫什么名字？

答：横向市场

请注意，放在答案字段中的例子往往会与上面的情况相反。下一节将讨论知识表述中信息冗余的各个方面。在这种情况下，将介绍通过例子进行扩展的技巧。

# 类比法

重用以前形成的记忆是尽量降低突触模式复杂性的关键。这就使得练习材料的呈现更倾向于类比而非字面表述。

需求和需求量的区别在于，需求是由需求曲线来描述的，而需求量则是在给定价格水平下的需求值。如果以上述解释作为把握学问差异的方法，那么对「需求和需求量的区别是什么？」这个问题的回答可能会承担相当复杂的措辞。相反，通过提取问题中差异的本质，可以采取以下方法。

问：需求与需求量的区别是什么？

答：就像曲线与点之间的区别一样。

这种方法在确保学生理解方面要有效得多，而且同样重要的是，在大多数情况下，由此产生的简易度非常高。建议对所提出的答案进行扩展，可以在括号里加上，例如，以下措辞。「需求是由数量-价格曲线描述的，而需求量是指需求曲线上的一个点」。

我们再来看一个例子，在这个例子中，类比法又进了一步，用近乎诗意的语言来描述经济概念。在技术和创新的利润理论中，企业在市场竞争中的创造性努力可以转化为经济利润。换句话说，技巧和创新是用来平抑竞争对手的垄断优势，或者说是用来解除完全竞争的条件。通过破旧立新，技术和创新会产生高于正常的利润。这里有一个吸引人的问答项，一定会表现出很高的简易度。

问：能准确反映技术和创新在产生利润方面的作用的比喻表述是什么？

答：创新破坏的持续大风（译者注：原文是 "perennial gale of creative destruction" 太诗意了）

请注意，后面讨论的记忆问答项中的生动和形象元素与类比法的目的完全相同：利用已有的记忆，甚至利用先天的神经结构，形成稳定的记忆痕迹。

## 生动法

制定生动的、甚至是令人震惊的问答项，与类比法的目的完全相同。这里的主要区别在于，类比法利用了现有的陈述性记忆，而生动法则利用了与负责产生情感冲动的回路相关的记忆的力量。在这里，贬义词、幽默的语句、对美学、品味、基本本能、性等的提及都可以作为增强记忆的有力工具。此外，生动的方法增加了符合集合的额外吸引力，作为一个非常理想的激励因素。

在商业世界里，非常典型的优化公司业绩的方法是基于经验、直觉、猜测和纯粹的动力，以满足管理者的幻想。这驱使一众商业作家嘲笑经济分析的优点，甚至劝阻商学院的潜在毕业生不要报考。理由是，毕竟没有比自己亲自经营企业更好的学校了。这种态度的破坏性影响，已经不止一次地惹恼了经济界的顶尖大脑，也给了很多贬低性言论的空间，往往带有情绪化的色彩。在此不提供指哈佛商学院毕业生的职业记录的统计数字，而用一位高尚的学者的一句生动的话语，也许就足以激励人们学习经营自己企业的理论知识。



问：赫伯特-西蒙对企业追求利润最大化的态度有何看法？

答：管理者容易满足，因为他们没有智慧去最大化利润。

此外，在括号里加上一句话，表明赫伯特-西蒙的权威性（诺贝尔经济学奖），可能会使学者的智慧与自以为是、自我满足的灰暗的企业经理人的闭门造车形成更鲜明的对比，从而增强声明的情感色彩。

## 图像法

基于利用先前建立的记忆的第三种技巧是图像法。在前面的章节中，已经采用了陈述性记忆和情感记忆。图像法利用了人脑强大的视觉处理能力。人们早就发现，视觉记忆的稳定性远远高于语言记忆。事实上，记忆术的核心就是利用视觉加工能力来增强记忆的保持力。在图片方法中，用图表、插图、照片或视频短片来代替语言描述。如后文所示，知识的文字表述并不排斥图像法，但是，通常它是最简单的解决方案。

## 枚举技巧

最小化突触模式复杂性的最基本原则之一是避免枚举。枚举，特别是相对于有序列表的集合，可以被证明会对产生突触模式产生模糊的影响。这甚至可以在行为层面观察到，当在产生反应时，学生很可能会偏离他或她的想法，经常在每个特定的重复中以不同的顺序产生集合的元素。如前所述，重复时多变的突触刺激很可能大大降低记忆巩固的效果；净结果是较高的简易度。

在可以表明，奢侈品、新奇产品或具有良好替代品的产品的需求价格弹性高度为负，而对基本必需品或耐用品的需求则相当缺乏弹性。这个重要的观察是一个极好的知识范例，可能最方便地用枚举的方式来表示。「哪些示范性的商品会表现出高度负的价格弹性？」。自然，除非结合某种记忆方式，否则这种枚举必然会造成持久的回忆问题。这里最简单的变通方法是按照以下模式表述问题集合。

问：必需品的需求价格弹性是什么？

答：无弹性需求

问：新奇产品的需求价格弹性是什么？

答：弹性需求

所提出的问题集合的语义记忆表象与相关枚举的主要区别在于学生无法回忆起所有的、甚至是一部分有弹性的、或无弹性需求的商品。但是，从分析上更有助于理解影响需求价格弹性的因素，甚至更有助于理解。对于注意到的不足之处，不承担枚举的否定，一个部分的解决方案可能是。

问：哪些典型商品表现出无价格弹性的需求（至少回忆两种）？

答：必需品、耐用品、饱和商品、独特产品等。

括号中的备注起到了重要的作用，它保证了学生不会把上述问答项当作枚举，而且明确规定了回忆的满意程度，可以用来决定何时和不提供合格成绩。

另一种方法可以是前面讨论的生产定义进行延伸，考虑各种资源投入。这些资源最一般可以是：原材料、劳动力、资本、土地和管理技能。对示例性原材料的枚举，可以反过来通过枚举性的例子来定义原材料。

问：煤、钢、水等资源投入的名称是什么？

答：原材料

最后，最通用的解决枚举问题的方法是挖空。例如，不要求学生回忆独特产品生产、刚性批量生产、弹性成批生产和流动生产等不同的生产类型，可以用以下形式构建一系列的挖空。

问：生产的类型有：

独特产品生产（如一栋办公楼）

刚性成批生产（如福特汽车的老车）

[...]（如通用汽车的新车）

流动生产（如低产，炼油厂）

答：弹性成批生产

上述方法具有普遍性，在大多数情况下，对消除枚举问题非常有效。

## 挖空和图片遮挡

挖空是一种简单的技巧，它可以快速生成由同一复杂知识（例如一个复杂的句子）衍生出来的问答项集合。在一个基于挖空的问答项中，问题呈现的是一个缺少一个元素的连贯知识（标准的用三个点代替），而答案则提供了缺少的元素。在前面的章节中，已经从问答项排序、最小信息原则和枚举技巧等方面介绍了一些挖空的方法。在这里，我只想重点介绍一下图片遮挡和挖空，可能会利用它们的图片方面的优势。

图片遮挡与之前介绍的挖空不同，它不是挖空文字元素，而是挖空或遮挡图片的片段，答案可能会提供缺失的片段或其名称。由于基于大脑皮层的视觉处理能力，图片遮挡是一种强大的知识表述工具，以期在重复的过程中尽量减少模式提取。

挖空不一定要用图片来利用大脑的视觉加工能力。仅仅是特定文字成分的空间分布，就可能唤起人们的视觉形象，从而提高回忆的功效。如果枚举式挖空不改变题中枚举要素出现的顺序，尽管在回忆时很少强调位置，但其空间位置会强烈地印在学生的记忆中。这样就更容易将枚举的内容图片化。因此，尽管事实上挖空组中的两个问答项确实都不需要掌握枚举本身的知识，就可以在复述时获得合格的成绩，但学生能够回忆起整个枚举的情况并不少见。

这里又是一个基于挖空的问答项的例子。需要注意的是在学习过程中唤起的三段式枚举结构的清晰直观形象。

问：成本更高的公司在与成本效益更高的竞争对手竞争时，有几个选择：

[...]（预计损失较大）

勾结（非法）

改进（产品或成本结构）

答：价格战

自然，在一个结构良好的集合中，至少还会出现另外两个同类问答项；缺失的部分是勾结和提高产品的成本效益。此外，在枚举之前的声明部分的要素可能会被弄丢。因此，几个问答项将致力于增强文本结构的视觉部分；净结果是更好地回忆要素和整个知识片。

## 拆解复杂的概念

到目前为止，只考虑了所学知识中相对简单的内容；但是，有些概念可能最好是通过同时理解一些子概念，把它们放在一个紧密联系的网状结构中来掌握。这其中往往会包括控制系统、数学技巧、复杂的理论模型等。这类复杂概念与前面所介绍的例子的主要显著区别在于：在后一种情况下，单个有意义的知识单位可以用一句话或一段话来表达，而复杂的概念可能跨越好几个段落，其中任何一个段落都不可能单独作为一个有意义的整体。这类概念的复杂性并非不能解开。它们存在的主要原因并不是任何固有的属性，而是缺乏或不需要专门的术语，而这些术语可能会起到分离较小单位的作用。处理这类概念是特别困难的，需要知识系统开发者的特殊技能。很多时候，最终的解决方案来自于引入适合于分别描述所有子成分的新术语。

作为经济学中一个复杂概念的例子，以及将其拆解成符合最小信息原则的可管理的知识碎片的手段，我将考虑在收入约束下的产品效用最大化组合的确定。

设  $P_a, P_b, P_c, \dots, P_n$  为产品  $X_a, X_b, X_c, \dots, X_n$  的价格， $I$  为消费者的货币收入， $TU=f(X_a, X_b, X_c, \dots, X_n)$  为消费者对  $n$  种产品的效用函数。在收入约束的前提下，总效用函数应该是最大化的，其形式如下：

$$I=P_a \cdot X_a+P_b \cdot X_b+\dots+P_n \cdot X_n$$

引入拉格朗日乘数  $\lambda$ ，将总效用函数与收入约束结合起来，以产生有待进一步分析的函数  $Z$ ：

$$Z=f(X_a, X_b, \dots, X_n)+\lambda \cdot (I-P_a \cdot X_a-\dots-P_n \cdot X_n)$$

求出  $Z$  的各变量的偏导数，并将其等效为零。

- $\partial Z / \partial X_a = \partial TU / \partial X_a - \lambda \cdot P_a = 0$ ，等等。
- $\partial Z / \partial \lambda = I - P_a \cdot X_a - \dots - P_n \cdot X_n = 0$

这些方程可以解出  $X_a, X_b, \dots, X_n$  的效用最大化购买水平。很快我们会得出  $(\partial TU / \partial X_a) / P_a = (\partial TU / \partial X_b) / P_b = \dots = (\partial TU / \partial X_n) / P_n$ 。

即相当于  $MU_{X_a} / P_a = MU_{X_b} / P_b = \dots = MU_{X_n} / P_n$ ，其中  $MU_{X_i}$  是产品  $X_i$  的边际效用。上式表达了购买一组产品的最大效用的条件。

下面是符合最小信息原则的主动回忆系统中如何表达上述推导。

问：最大效用分析中总效用函数的公式是什么？

答： $TU = f(X_a, X_b, \dots, X_n)$

问：最大效用分析中收入约束的公式是什么？

答： $I = P_a * X_a + P_b * X_b + \dots + P_n * X_n$ 。

问：最大效用分析中使用的  $\lambda$  系数的名称是什么？

答：拉格朗日乘数

问：在最大效用分析中，总效用函数和收入约束如何结合？

答： $Z = TU + \lambda * (P_a * X_a + \dots + P_n * X_n)$

如果不是因为可能的误解，上述表达方式还可以缩短为  $Z = TU + \lambda * I$ 。之所以选择上面使用的比较复杂的公式，只是因为后面的推导步骤，在这种情况下，收入本身是没有用的。

问：在最大效用分析中，如何利用函数  $Z$  来寻找  $X_a, X_b, \dots, X_n$  的最优组合？

答：偏微分和带零的方程

可以选择在这里补充  $X_a$  和  $I$  的推导结果，以便于回忆特定的计算步骤及其意义。

问：在最大效用分析中，找到使函数  $Z$  最大化的  $X_a, X_b, \dots, X_n$  的组合，最后得出的结论是什么？

答： $MU_{X_a} / P_a = \dots = MU_{X_n} / P_n$

上述问答项只是作为一个介绍性的例子，还应该加以扩展，以符合后面各节提出的冗余原则。显而易见，良好的术语是将复杂概念有效拆解为简单问答项的关键。上面介绍的这段话，最明显的术语缺陷是缺乏一个准确的术语来描述函数  $Z$ ，脱离了语境，绝对没有意义。其次，编造出最大效用分析这个短小精悍的名词，只是为了不必使用更长的名称，即受收入约束的产品效用最大化组合的确定方法。

## 助记术

助记术在这个意义上比图像法更进一步，它们使用人为的冗余具体图像来表示独特或无意义的信息。思维导图和图钉列表是两种基本的助记术之一。思维导图是一种图片，它以生动的形式表示所学知识的特

定成分之间的语义联系结构。市场经济图片模型可能是思维导图的一个例子；但是，思维导图也适用于所有语义连贯的知识片段，与标准教科书中通常的表述形式无关。因此，计算使顾客的总效用最大化的产品组合（见上一节）也可以用图片的形式呈现。流程图是最能打动人的命题，不过任何其他形式的不一定是向图都可以。思维导图的一个有趣的种类是映射在一个熟悉的物体的图像上的图，例如自己的公寓。从记忆中检索这种图的特定片段特别容易，不过由于每个学生都宁可使用自己熟悉的映射，所以这种解决方案并不总是通用的。最常应用的通用映射是将思维导图的特定节点与人体的部分挂钩的映射。所介绍的方法的主要缺点是将多个思维导图钉在同一物体上，相互之间存在较强的干扰。

另一种流行的助记术是钉子列表。钉子列表是一个与基数相关联的可视化良好的对象序列。对于复杂的应用，挂钩列表通常由 101 个与 0 到 100 的数字挂钩的对象组成。挂钩列表的主要应用是记忆数字和有序枚举。一个 101 个元素的钉子列表可以用来表示所有的数字，作为由所记数字的两个数字成分的钉子列表等价物组成的顺序视觉场景。例如，假设一个电话号码 867045 应该通过图钉表来记忆。假设以下图像与数字的两位数成分相关联：86——汽车（第一辆汽车由卡尔-本茨在 1886 年制造），70——电话（格雷厄姆-贝尔在 1870 年发明了电话），45——炸弹（广岛爆炸的日期）。如果我们想象一个场景，在这个场景中，我们开着车，拿起手机，通过激活铃声引发一个巨大的火球，那么我们就有效地将一个原本无意义的电话号码映射到了一个容易检索的图片场景中（映射是通过图钉列表实现的）。

为了说明规模回报率不断提高的现象，以及福特汽车公司在 20 世纪初通过基于半自动化装配线的专业化劳动而获得了比竞争对手更多的难以置信的竞争优势，学生不妨注意到，在 1914 年，FMC 用 13000 名员工生产了 27 万辆汽车；而同期其他 299 家美国汽车公司，用 66000 名员工只生产了 29 万辆汽车。这个例子对集合开发人员来说拥有一个严重的难题。所引用的每一个数字都构成了无用的垃圾知识。然而，综合起来，这些数字组合成了一个生动而令人信服的说明，说明了规模回报率的提高及其在经营任何一种业务中的重要性。要求学生理解规模收益递增的道理，使这个例子失去了强烈的感情色彩，因为学生可能会把自己与亨利-福特的商业狡猾联系在一起。从数字上剥夺了这个例子的生动性。建议的两种解决方法是（1）将问题限制在一个能显示 FMC 在市场上的领先优势的估计数字上；（2）用挖空法拆解上面的句子，并使用助记术来记忆涉及的数字。第一种方法可能是这样的：

问：1914 年福特汽车公司在美国汽车市场上指挥的份额是多少？

答：接近 50%。

或使用挖空和助记术：

问：1914 年，福特汽车公司生产了 27 万辆汽车，员工 1.3 万人；其他[...]美国汽车公司，有 6.6 万名员工，只生产了 29 万辆汽车。

答：299（福特打开电灯开关，看看他有多少竞争对手，[...]只有两只猫蹦蹦跳跳地转着尾巴）

上文括号中看似轻率的评论是助记法的重要组成部分。在上面的例子中，使用了一个 11 人的钉子表，数字 2 用一个电灯开关代表（开关有两种状态：开和关），9 用一只猫代表（「猫有九条命」）。

由于对众多集合中难解问答项的分析表明，数字率先使问答项难以被人类记忆消化，因此，各类集合中数字的使用应限制在绝对最小的范围内。由于所讨论的微观经济学集合中的数字明显稀少（数学公式在

此不算），上述例子是一个明显的例外，也许正因为如此，并没有造成严重的回忆问题。但是，如果有更多这样的数字饱和的案例，这个问题可能已经开始成为一个问题。

## 问答项的单义性和问答项间干扰

问答项的单义性并不是要把突触模式复杂性降到最低，而是要确保不同问答项使用不相干的模式。两个独立的问答项所引起的相似的措辞甚至相似的联想会导致问答项间的干扰，这常常导致混淆，在参考记忆良好的知识片段时提供错误的答案，神经刺激不足，以及在干扰和被干扰的突触模式所涉及的突触上缺乏统一的记忆巩固。

一个非常典型的干扰问题是术语上的歧义。例如，只要涉及到两个竞争产品的替代，「边际替代率的公式是什么？」这个问题没有错。但是，当我们一进入生产过程的等量纲分析，资本对劳动的边际替代率就开始干扰直到现在的简单图景。的确，在后一种情况下，正确的术语是技巧替代的边际率；但是，这种术语上的细微差别对消除干扰问题没有多大帮助。解决上述干扰问题的一个非常简单的办法是在问题中提供强有力的背景线索。比如说

问：产品 X 和 Y 的边际替代率的公式是什么？

答： $dX/dY$

问：资本和劳动的边际技术替代率的公式是什么？

答： $dC/dL$

虽然解决干扰问题的方法通常看起来非常简单，但仅仅是寻找潜在干扰项的过程就给学习材料开发者带来了巨大的挑战。事实上，消除干扰项的方法只有一个真正的、行之有效的方法：记忆整个材料。只有人脑的神经网络才能即时发现问题的相似性。这就清楚地说明了一个事实：任何为在重复间隔中主动回忆而设计的学习材料都不应该脱离自然的学习过程。这自然会使开发成本成倍增加。

现在我们来考虑一个强语义项间干扰的案例。下面的问答项都涉及到规模不经济的问题，然而，一开始并没有明确的干扰问题映入眼帘。

问：经常被引用的 U 型成本函数的论据是什么？

答：大多数公司以最大产能的 90% 左右的速度工作

问：为什么该理论认为每个公司都必须随着产量的增加而达到规模收益不变的地步？

答：通过努力将产量推向极限，公司必须在某个点上降低成本效率（人员、机器、设施等超负荷运转）。

问：为什么企业在发展到一定程度以上时可能会遇到问题（参照红河工厂）？

答：因为管理上的问题

问：美国经济规模不经济的主要因素是什么？

答：工会活动

仔细观察，从语义上看，上述问答项都是在问同一个问题「规模不经济的原因是什么？」，而每个问答项却提供了不同的答案。自然，这对学生来说是一个麻烦。要不了多久，他或她就会开始将红河案例与工会活动问题相混淆，或者将 U 型成本曲线归结为与维度有关的管理问题。在一个精心设计的、无干扰的学习材料中，除了使用一些枚举技巧来列出导致规模收益率下降的最重要因素外，几乎没有其他选择。

正如我试图证明的那样，学习材料的作者几乎没有选择的余地，只能先把自己的材料背下来，然后再提供给广大学生。术语和语义的干扰都可能降低基于主动回忆的自学系统的工作效果。

## 有计划的冗余是交叉强化突触模式的一种方式

在本分章中，我将讨论在某种意义上与基于最小突触模式复杂性的方法背道而驰的技巧。也就是说，我将展示知识表述的冗余在有效回忆信息中的重要性。如果我们注意到冗余在这里并不被理解为给原本最小复杂性的突触模式增加额外的成分，那么前面的方法和所提出的方法之间的矛盾就可以很快得到解决。冗余的功能在这里完全是为了促进额外的突触模式的建立，作为记忆知识的紧急通道。冗余项绝对不会在集合中重复它们的内容，至少在句法上不会。首先，这就违背了重复间隔算法的原则，因为重复间隔算法的基本前提之一就是假定问答项的唯一性。但是，为了给大脑的模式匹配神经网络提供一个推导语义共同分母的机会，相同的语义内容可能会使用不同的手段来表达（例如，在使用多重缩小的例子的问答项中）。共同分母的推导将自然地通过模式提取的机制进行。冗余一般会包括以下内容：

- 同时使用主动和被动回忆
- 提供辅助推理推导步骤
- 提供可选的推理背景
- 为语义上同源的问答项提供多重表示

冗余的主要功能不是让问答项容易记忆，而是保证遗忘一个问答项不会影响整个知识图的关联结构。这里要强调的是，遗忘是重复间隔算法固有的以部分，无论如何也无法消除。由于生物学的原因，100% 保留率的理想模式是不可行的。冗余应该是为了最大限度地减少遗忘对所学技能表现的可能影响。

## 被动和主动办法

被动实现冗余的最简单说明是学习新术语的情景。其基本思想是以这样的方式构建问答项，即概念的定义和它的名称分别作为一个问题和一个问答项放置。如果定义出现在问题中，大脑就会在概念和名称之间产生联想。如果名称出现在问题中，大脑就会学习如何通过名称识别概念。虽然，很多时候学习定义概念的名称就足以被动地通过名称识别概念，但并不总是如此；因此，冗余方法的重要性。此外，即使其中一项被卷入遗忘池，另一项也可以作为恢复遗忘记忆的方式。换句话说，以被动和主动的形式呈现概念，一方面是对记忆模式的延伸，另一方面是对偶然遗忘的保护。

作为被动和主动方式的例子，可以考虑以下问答项：

问：由两种（或多种）产品的数量组合所决定的、产生相同总效用的曲线名称是什么？

答：无差异曲线

问：什么是无差异曲线？

答：由产生相同效用的产品数量决定的曲线。

值得注意的是，在第二个问答项中，答案已被最大程度地简化，以减少其预期的简易度。任何因这种简化而可能产生的不一致之处，都应该通过增加新的问答项来解决，而不是使答案更加复杂。

## 支持推导、推理和智能

教育中的自然要素与培养要素这一永恒的难题，从一开始就必然会在本章中出现。我将试图说明，通常所理解的智力要素是可以在主动回忆和重复间隔的基础上，在学习过程中得到发展的。人们常用的智力定义有两种，往往不分彼此。一方面，智力可以理解为大脑处理信息的能力。另一方面，发展这种能力的潜力往往与能力本身互换使用。当我们谈到某人「他会很快地解决这个问题，他是一个非常聪明的人」时，我们更多的是使用第一种对智力的解释。但是，当我们说「这个学生一生会做很多事情，他是很聪明的」时，我们更多的是采用第二种解释。我们不难发现，很多先天性的特征都会影响到智力，即发展良好的信息处理能力的潜力。除了神经元的数量和神经元的连接、胶质的发育以及其他使神经组织有更大的可塑性空间的因素外，诸如精神和情绪的稳定性、血清素和多巴胺的高水平等人格特征，都可能对智力的发展起到同样重要的作用。然而，如果我们把智力看作是处理信息的能力，那么，正如我将试图表明的那样，大部分智力将在教育过程中得到发展。聪明的数学家之所以是聪明的数学家，不仅仅是数学知识，不是天生的天赋，而是将其数学解题知识的各个组成部分联系起来的能力。因此，正确表述数学概念知识，更重要的是数学推理知识，将使解题者灵活的大脑与一般凡人区别开来。在数学及其他领域，智能思维的核心知识是最抽象、最普遍适用的数学推导规则。这些规则可以应用在无数的日常情境中。这种在解决问题中的普遍适用性，使别人认为是一个聪明人的基础。如果在学习中恰当地制定和表述这些规则，就可以用标准的方式来记忆这些规则，换句话说，记忆可以成为走向智慧的途径！

在本节中，我将展示几个例子，在这些例子中，推理步骤被纠缠在知识结构中，表示为基于重复间隔的学习中使用的问答项。一个典型的情况是，当我们有了一个问题的一般定义（即不是一个特定的问题实例），我们最初记住了问题的解决方案。例如，我们可能有最大效用问题的定义（见拆解复杂概念），并结合其对特定产品的边际效用相等的解。在特定的问题解对有重大影响的情况下，增加特定的推理步骤（这里是部分微分和将结果等价为零），一方面可能提供有助于解决类似问题的推导规则，另一方面可能提供一定剂量的冗余，其维持记忆的作用在前面已经强调过。可以很容易地证明，取消推导步骤将使学生的记忆从考虑重复过程中的推理步骤中解放出来。此外，每次重复时要求学生自己解决问题，可以等同于枚举式学习，正如我前面试图证明的那样，这违背了将突触模式复杂性降到最低的规则，而这正是有效学习的核心！换句话说，为了解决特定的问题实例作为一种重复的形式外，我认为除了单纯的记忆推导步骤之外，没有其他合理的替代方法可以作为提高学生解决问题能力（即上述第一种解释中的智力）的最佳手段。那么，一般的规则是：只要有可能，只要合理，就把一般问题的特定解法的推导步骤背下来。



让我们把完全替代品的概念看作是提供知识扩展的一个简单例子，否则就应该从以前学到的事实和规则中推导出来。

问：边际效用不变的产品的特点是什么？

答：完全替代品

问：完全替代品的无差异曲线是什么形状？

答：线性

问：无差异曲线为直线的两种产品叫什么？

答：完全替代品

两种产品的效用函数相同的事实，使得我们可以得出结论，它们的完全替代品一定是线性的。然而，仅仅知道概念定义，绝对不能加强对这一事实的理解。换句话说，学生可能需要大量的时间来总结出无差异曲线的形状。明确地记住了这个事实，不仅可以使从完全替代品的定义到其无差异曲线的形状的推导途径更加顺畅，而且还可以起到强化一个更普遍、更抽象的规则的作用，这个规则说的是：函数之和关于一个变量的导数等于导数之和。当然，加强的程度取决于学生希望用推理来推导答案，而不是纯粹的语法记忆。此外，通过问和答的颠倒，加强了完全替代品和线性无差异曲线之间的联系。

在记忆了上述事实后，学生对完全替代品的概念表现出更高的理解程度，同时在基于数学上相似概念的推导任务中，反应速度也更快。重要的是，推导步骤要足够短，以符合最小突触模式复杂性原则。较长的推导可能会造成记忆刺激不足，尽管它们是很好的解题训练，但其简易度的值可能会使它们变成集合中难以解决的内容，导致学生失去信心，缺乏热情。

类似的情况我们可以从互补产品的定义中看到，可以通过交叉弹性的概念来放大：

问：产品 X 和 Y 的名称是什么，这样增加 X 的购买量就会增加 Y 的购买量？

答：互补产品

问：产品 X 和 Y 的交叉弹性公式是什么？

答： $dX/dP_Y \cdot (P_Y/X)$ （其中  $P_Y$  为 X 的价格）

问：负交叉弹性的产品叫什么？

答：互补产品

在这里，第三项对互补产物和交叉弹性都起到了强化记忆的作用。此外，它还充当了应用导数符号的抽象规则的推导步骤。

最后，我想展示一个微不足道的推导步骤，它可能确实对检索记忆至关重要。请考虑以下问答项：

问：如何从给定点的需求曲线计算出总收入？

答：价格\*数量

那么用一个是其直接的、琐碎的结果来增强上述问答项是否合理？

问：根据需求曲线可以计算出总收入吗？

答：可以

需要注意的是，后一项设置的思维是可行性，而不是程序、算法或实现。可见，一个知道为了得到结果而需要执行的程序的学生，甚至不会因为缺乏可行性信念而去尝试执行！换句话说，人们可能会受到诱惑，永远不会尝试得出解决方案。从可行性的角度思考与从程序的角度思考，给推理提供了两种不同的情境，可能会产生两种不同的输出。上项所介绍的这种细微的记忆联想，综合起来，有助于形成一般所说的解决问题的能力。

## 可选的推理线索、记忆线索、上下文和例证

各项内容应符合最小信息原则，但这并不意味着它们本身不能有任何冗余。重要的是要确保被重复的必修内容不包含多余的内容。除此以外，问答项本身可能包含大量可能对学习有用的辅助材料。这可以包括上下文线索和解释、推理线索、记忆线索、说明性例子，甚至超文本链接等。每次只须明确规定，多余的内容不是强制性的，也不是以任何方式需要的，以取得合格成绩。

众所周知，消费者从若干种商品中获得的总效用不是特定效用的算术和。这一特性来源于产品之间可能会相互增强或抑制效用这一事实。这个事实可以用如下表述的问答项来构成。

问：为什么总效用函数不是特定产品的效用之和？

答：因为产品可以相互增强或抑制它们的效用。

正如我在上一节试图说明的那样，一个简单的推导步骤可能会提高学生对上述知识的推导能力。这可以通过一个简单的问题来实现，比如「效用函数是特定产品的效用之和吗？」。不过，为答案要素提供一些多余的内容（在本例中，答案要素仅仅是「否」）似乎是有用的。

问：总效用函数是否是特定产品效用的总和？

答：不是（因为产品可能会相互增强或抑制其效用）。

似乎，这个问答项成了前面提到的那个问答项的姊妹篇。但是，这两种情况下，为了获得合格成绩而必须回忆的语义联系是不同的。同样，一项是指程序，另一项是指可行性。放在括号里的解释部分绝不是通过复述所需要的，完全是作为强化记忆、推理线索和参考说明。学生可以选择在复读时完全不看解释。但是，如果她或他注意到自己的回答变得自动而非语义，推理线索可以起到恢复正确的语境和答案依据的作用。

前面，我介绍了一个问答项的例子，这个问答项在记忆数字反应时使用了一个记忆栓列表作为支持。放在括号里的记忆线索可能是记忆数字的最好方法；但是，在某些情况下，数字本身很容易粘在记忆中，记忆部分就变得没有必要了。但必须记住的是，为了遵守重复时统一突触刺激的原则，学生应该明确地设定自己的心态，或者使用或忽略记忆线索。

语境线索和符号惯例可能有助于确保建立的记忆链接不会在时间上变得毫无意义，或者最糟糕的是，与错误的语境相关联。

用数学术语表达的边际收入概念比其口头对应物更容易理解和保留在记忆中。然而，在这里，我们强烈建议在公式中使用的所有符号都要在解释说明中进行解释，它不参与学习过程本身，只是作为一种验证手段，以防使用的符号随着重复间隔时间的增加而开始失去意义。

问：边际收益的公式是什么？

答： $MR=dTR/dQ$ （ $dTR$ ——总收入的变化， $dQ$ ——销售数量的变化）。

最后，对于高度关联的知识，额外的解释性链接，甚至超文本链接，可能有助于保持整体知识结构的完整性。

例如，理解了拉弗曲线的含义，并不一定就能回忆起它的形状。自然，所有独立的知识都应该放在独立的问答项中；但是，确保每次拉弗曲线出现时，它的形状出现在学生的想象中也是合理的（甚至不需要借助图片）：

问：拉弗曲线表达了什么？

答：税收收入对税率的依赖性（极高和极低税率的最低收入）。

## 措辞的复杂性与理解力的关系

问答项措辞的简单性不一定等同于最小信息原则。后者强调的是知识在学生记忆中所表现的最小复杂性。问答项在集合中的文字或图片表现本身并不一定要复杂。毕竟，一些非常简单的概念可能需要相当多的文字来口头描述。但是，可以证明，集合中所表示的问答项过于复杂可能会对学习过程产生负面影响。主要的问题是在误解和混淆不同的问答项，通过阅读，自然倾向于快速，当学生面对大量的重复每个学习环节。很多时候，哪怕是单纯的选词，也会影响理解。如前所述，也是在这种情况下，最好的补救措施是集合作者自己在记忆相关集合的基础上，逐一消除可能的卡壳。诸如将一个词组移到单独的一行，这样的小因素可能会大大有助于保持较高的简易度。

## 问答项中封装的其他功能

最后，我想指出的是，用于学习的集合除了用于获取知识外，还可以而且通常还用于其他目的。这些目的可能包括归档和检索目的、出版物参考的文献来源、在时间上迅速变化的事实的日期标记、个别记忆线索（即严格与某一学生的知识或生活相关的线索）、领域标签、用于集合排序的序号，等等。

政府的预算几乎和政府本身一样经常变化。因此，在下面的问题中，似乎有必要提供日期戳：

问：日本研发经费占 GDP 的比例是多少（1990 年）？

答：2.9%

只要集合中只有一个与日本研发预算有关的问答项，括号中的日期对学习过程没有影响。但是，当学生在一段时间后认为有必要更新数字时，它可能会显得很有用，因为它变得非常过时。

在下面的例子中，我们可以看到一个更广泛的标记。

销售额的多少比例最终成为税后利润并没有规定。但是，通过全球经济分析，可以确定一个普通公司的大概数字。这里的主要问题是，最终的数值可能在很大程度上取决于特定国家当前的经济形势，以及分析中所应用的方法。在下面的例子中，该问答项提供了用于估计净利润率的信息来源。

问：销售额中最终成为税后利润的平均比例是多少（根据会计学对利润的定义）？

答：4–6%（《总统经济报告》，1988 年 2 月，第 352–353 页）

显然，只有税后利润的数字是可以学习的。为了存档或出版的目的（例如，如果学生希望在他或她的出版物中引用这一数字），还提供了来源说明。

## 学习中的知识表述问题总结

- 最大限度降低学习中突触模式复杂性的主要关注点是：
  - 确保充分理解孤立的知识问答项
  - 执行最小信息原则
  - 通过例子缩小信息内容，减少问答项的复杂性
  - 通过运用记忆、类比、生动和图像的方法，利用人类大脑的视觉能力
  - 应用严格的枚举技巧（如挖空、分组等）
  - 遵守单义性原则
- 就有计划的冗余而言，最重要的原则是：
  - 采用被动和主动相结合的方法回忆信息；
  - 应用完整的推导方法（即学习断言的推导步骤，而不是仅仅学习断言）；
  - 提供推理、记忆和上下文线索。

[url=https%3A%2F%2Fwww.yuque.com%2Fsupermemo%2Farticles%2F20rules\\_base&pic=null&title=](https%3A%2F%2Fwww.yuque.com%2Fsupermemo%2Farticles%2F20rules_base&pic=null&title=)