

科学发现学习的新近研究

张建伟 清华大学电教中心、现代教育技术研究所（北京 100084）

陈琦 北京师范大学心理学系（北京 100875）

论著选摘

【摘要】 随着建构主义学习理论的发展及计算机模拟等技术在教育中的广泛应用，发现学习受到了越来越多的重视，且研究的重点从概念发现学习转向了科学发现学习。该文综述了有关科学发现学习的认知过程及机制的新近研究，包括双重搜索模型、科学推理研究等。

【关键词】 科学发现学习，双重搜索模型，发现学习

1 发现学习研究简要回顾

发现学习是指学生在学习情境中通过自己的探索寻找来获得问题答案的学习方式，其主要特点是学习的主要内容必须由学生自我发现。主张学生通过自己的发现而学习的教育家可以追溯到18世纪的第斯多惠和卢梭以及后来的斯宾塞、杜威等。在美国的进步教育运动中，发现法与活动课程被联系在了一起，成了倍受重视的教育方法。这与当时的两种重要观念密切相关：其一是对形式、机械、无效的传统教育的强烈不满，其二是对儿童中心论的提倡。另外，这也与教育目标的新倾向有关，即强调使每个儿童都成为有判断力和创造性的思考者^[i]。然而进步教育渐渐暴露出了诸多弊端，以失败告终。20世纪50年代，苏联的卫星发射震惊了美国朝野，引起了美国人对教育的不满。布鲁纳等领导了这次教学改革运动，发现学习成了教学改革的重要内容，发现学习的方法曾在实际教学中以各种形式得以较广泛的采用。但是发现学习也因种种局限而受到了一定批评，比如，花费时间多；适合于自然科学的学习，而不适合于艺术科学的学习；主要对优等生有利，等等。20世纪80、90年代，传统教育的机械、被动和无效再次受到人们的批判。在建构主义学习理论的影响下，以学习者为中心，以问题解决为基础来改革教学，这些思想又成了众多教学改革模式的基本思路，发现学习又得到越来越多的关注。与以往不同的是，研究者已不再把哪一种学习方式奉为唯一合理的学习方式，而是承认每种学习方式的合理之处，实现各种方式在教学和课程中的整合。在研究中，研究者不再只是对比发现学习与传统教学孰是孰非、孰优孰劣，而是对发现学习本身的过程、机制做了更深入的研究，探讨如何发挥发现学习的优势，促进这种学习的效果和效率。另外，当代信息技术、尤其是计算机模拟技术为发现学习的实施提供了有力的支持。计算机模拟可以很方便地为学习者提供有效的探索情境，而且可以同时为他们提供必要的学习支持，以引导、帮助学习者完成发现任务。计算机模拟环境下的发现学习成了发现学习研究的热点问题^{[ii][iii]}。

2 概念发现学习与科学发现学习

布鲁纳等人曾对发现学习做了大量的实验研究，探讨这种学习活动的过程、机制和策略。但是，在实验研究中，布鲁纳所针对的主要是“概念发现学习”（concept discovery learning），即在概念形成过程中，学习者不断形成自己的假设，并从所给的实例中选取适当的实例来检验自己的假设，直到发现概念的所有关键特征。当时，其他的研究者也多采用了这种以“概念形成”为中心的研究思路。近十多年来，发现学习的研究者开始更多地关注科学发现学习（scientific discovery learning）。科学发现学习也以假设的形成和检验为基本特征，它的不同特征主要体现为^[iv]：（1）在科学发现学习过程中，为检验假设，学习者不是选取现成的实例，而是必须通过设计实验来“制造”用以检验假设的事实资料（实例）。通过设计科学实验来完成发现，这是科学发现学习的首要特征。（2）作为实例的实验与假设之间并没有一目了然的对应关系。而在概念发现学习中，描述实例特征的词语

与陈述假设的词语则是相同的（比如，红色的三角形），所以实例与假设之间的对应关系更为明确。（3）从实验中所得到的反馈信息可以有多种理解方式，而不是非此即彼的，它是否证实或证伪某个假设，这并不能非常直接地看出来。（4）假设的生成和修改与知识背景密切相关，而不是排除掉知识的影响。可以说，与概念发现学习的研究相比，科学发现学习研究更好地反映了自然的科学发现和科学探索的过程。

3 科学发现学习的认知过程与机制

3.1 科学发现的双重搜索模型（SDDS）

布鲁纳等认知心理学家主要从概念形成的角度来解释发现过程，而近期的研究者则主要从问题解决的角度来理解科学发现，用问题解决的研究思路和概念来研究科学发现过程。Simon & Lea^[v]曾对从实例中归纳规则的信息加工过程做了分析。与一般的问题解决过程不同，规则归纳任务需要同时搜索两个问题空间：规则空间和实例空间，或者说要同时解决两个相互关联的问题：如何发现规则，如何用实例来检验规则。在规则归纳任务中，学习者需要提出可能的规则，而规则是否正确无法直接检验，而是需要把所提出的规则应用到实例中去，看这种规则能否导致正确的结果，以此来检验规则正确与否。人通过对规则空间的搜索来提出和修改规则，通过对实例空间的搜索来选取可以证实或证伪规则的实例。这两个空间之间存在一定的交互作用，所提出的规则会影响到对实例的选取，而对实例的分类方式会影响到规则的修改。一些研究对Simon等人的上述信息加工观点做了检验，研究者按照这种理论编制了用以模拟科学发现过程的计算机程序，结果表明，这种由计算机模拟的发现行为与人的发现行为之间具有一致性^[vi]。

Klahr & Dunbar^[4]认为，Simon & Lea的上述观点既适用于概念发现，也适用于科学发现，但要想更好地解释实际的科学发现活动，解释更为复杂的、受一定背景知识影响的科学发现活动，该理论还需要有所发展。他们在上述观点的基础上提出了科学发现的双重搜索模型（Scientific Discovery as Dual Search, 简称SDDS），其基本假设是：科学发现是对假设空间和实验空间的双重搜索。假设空间是由发现者发现活动中所提出的各种不同假设构成的，“假设”与内容明确、高度限定的“规则”有所不同，这更能说明假设的复杂性。实验空间是由所有可能构造成的实验组成的，“实验”是由发现者设计出来的，发现者需要用实验来获得用以检验假设的“实例”。整个发现过程主要包括以下三个密切相关的过程^[vii]：（1）搜索假设空间：即提出假设，这可以借助于先前知识，也可以凭借对实验的概括。提出假设的策略包括记忆搜索、类比映射、提示、发现有效的表征方式等。一旦形成了假设，发现者会用自己的知识背景对假设的合理程度做初步评价；（2）检验假设：设计一个合适的实验来检验当前的假设，按照假设对实验结果作出预测，而后实际运行实验，观察实验结果。好的实验设计要能够产生可理解的、能说明问题的结果。在设计实验时，发现者需要提前考虑实验可能导致什么结果，什么样的结果会支持当前的假设，什么结果会否定当前的假设。（3）证据评估：看实际实验结果是否符合自己按照当前假设所做的预测，看实验所积累的证据是否足以让自己接受或拒绝当前的假设。如果当前假设被拒绝，发现者则需要重新搜索假设空间，如果当前实验结果还没有得到确定性的结论，那就要继续设计实验来进一步检验假设。Klahr & Dunbar利用一个可以通过编写程序来控制的机器人（Big Track）对大学生的科学发现的过程做了口语报告研究，被试的任务是发现机器人上一个按钮（REPEAT）的功能，为此，他们要形成关于这个按钮的功能的种种假设，通过编写程序来看机器人会作出何种行为，以此来检验自己的假设。

3.2 对双重搜索模型的扩充和发展

Joolingen & Jong^[viii]对科学发现的双重搜索模型做了进一步充实和发展，详细解释了假设空间和实验空间的具体结构，对这两个空间的搜索方式以及发现过程中的知识状态做了具体分析。

首先，Joolingen & Jong认为，在更为复杂的情境中，发现者要发现的规则可能不限于一条，而是若干变量之间的关系，而且对变量关系的表述可以有不同的精确水平，所以有必要对假设空间做进一步分析。他们提出，假

设在形式上是对两个或多个变量之间的某种关系的描述，这意味着假设空间包括两个子空间：变量空间和关系空间。变量是假设的基本构成要素，比如物体的运动速度、物体的质量、物体所受的力等。变量有不同的概括水平，比如力可以是最一般意义上的力，可以是某种力、作用在某类物体上的力、或者在某个特定物体上的某个特定的力。因此，变量空间具有层次性结构的特征，上层的变量比底层的变量具有更高的概括水平。相应地，以概括性变量所表达的假设也具有更高的概括水平，它适用于更低层次上的变量关系。在关系空间中，对变量关系的表述可以有不同的精确水平，从一般的定性关系到精确的定量关系，比如，我们可以说“A与B有关”，也可能说“B随着A的增加而增加”，在更精确的水平上，我们说明它们之间的数学关系，比如 $B=c*A$ ，或 $B=\exp(A)$ 。一个假设所表述的关系越精确，它的可检验性就越高，但对一个领域中的变量关系的定性分析有利于学习者形成对这个领域的理解。

其次，Joolingen & Jong认为，实验空间是由一系列的数值组合(value-tuples)构成的，比如时间=50秒，速度=10米/秒，路程=500米。一个实验设计就是一个数值组合，其中由学习者操纵的变量的值已经确定，而其余变量的值可以通过运行实验来获得。

再次，Joolingen & Jong详细解释了实验空间和假设空间的搜索方式。在搜索实验空间时，学习者需要确定操纵哪些变量，明确实验的输出变量（因变量）。而后，学习者要决定如何操纵这些变量，即给每个操纵变量赋值。在运行实验后，实验的输出变量也获得了一个值，一个新的数值组合就形成了。在对假设空间进行搜索时，学习者一方面要搜索变量子空间，确定假设所要涉及的变量，另一方面要搜索关系子空间，来确定这些变量之间的关系。对假设空间的搜索主要包括以下三类操作：对变量子空间的搜索操作、对关系子空间的搜索操作和改变整个假设的搜索操作。对变量空间的搜索操作包括假设的概括化、具体化和变量的更换等，对关系空间的搜索操作包括具体化、抽象化、增加新关系、除掉某个关系、明确参数、对假设做限定或推广、以及完全更换为新关系等等。在整个假设水平上的操作包括在原有的一套假设中增添一条新假设、或者从中去掉一条假设、把一个假设分解为两个假设（比如从“若A增加，C也随之增加” $(M+(A, C))$ ，分解为 $M+(A, B)$ 和 $M+(B, C)$ ）或者把两个假设合并为一个假设，等等。

最后，为具体说明科学发现过程中学习者的领域知识的变化，Joolingen & Jong从知识表征的角度对假设空间做了进一步分析。假设空间可以分为不同意义上的子空间，“最一般的假设空间”包括一个领域中的所有可能的假设，不管其正确与否、合理与否，它与学习者的知识经验和学习者的判断无关；“学习者的假设空间”是学习者知识范围内的变量及其关系的可能组合，是学习者有能力直接搜索的范围，它仍然独立于学习者对假设的可能性及合理性的判断；“有效的学习者搜索空间”是由学习者认为值得检验的假设构成的，学习者可能认为有些假设是不必去尝试的。在发现过程中，学习者的知识状态在不断变化，而其假设空间也处在动态变化之中，比如搜索空间可能会扩大。

3.3 其它有关观点

与双重搜索模型相类似，Kuhn等^{[[ix]]} ^{[[x]]}提出，科学推理(scientific reasoning)是原有理论与新事实之间的相互协调。在科学探索的开始，学习者带有关于当前内容领域的某些理论知识或信念，比如哪些因素有影响、哪些因素没有影响。而后学习者展开探索活动，以获得各种事实信息，这可能会导致原有理论的调整。Kuhn et al. 很强调原有理论与新事实之间的协调。协调意味着它们之间的交互矫正，事实是评价、调整原有理论的基础，而原有理论又决定了事实探索的形式和方向。理论与事实间的成功的协调依赖于两种基本能力。首先，学习者要能够反思自己原有的理论，把原有的理论作为认知对象，并乐于接受它为错的可能性；其次，学习者要能够辨认出否认这一理论的事实证据，即知道什么样的事实会否定自己的理论。研究表明，专家型的学习者能更成功地在理论与事实之间进行协调，他们能对自己的理论进行反思，并把理论和事实区分开，用事实来评价理论的真实性。在童年中期以前，儿童已具有从现象中确定因果关系的意识，但他们对因果关系的认识基本受他们的理论信念的支配，而对有关的事实信息很不敏感。当然，对于这些儿童进行一段时间的训练，可以提高他们用事实来检验自己的理论的

能力。Kuhn等认为，科学探索中的典型活动是推理，而推理有两种重要的方式：排除(exclusion)与包含(inclusion)。所谓排除，即在非共变性事实的基础上推断某种因果关系不存在。所谓包含即在共变性事实的基础上推断某种因果关系的存在。在这两种方式上，学习者都常常会表现出某些错误倾向，比如儿童经常错误地将时间先后关系确认为因果关系(Inhelder 和Piaget称之为“false inclusion”)，另外，他们往往在探索中忽略那些自己认为无关的因素的影响，这常常会漏掉那些可能会否定自己的理论的事实信息。

此外，在皮亚杰理论的基础上，Lawson^[xi]将科学探索分为两类：描述性探索和理论创造与检验。这两种探索都会经历观察、提出因果性问题、形成不同假设、检验假设、观察结果、得出结论等环节。描述性探索主要是通过经验—归纳推理来形成有关现象特征的描述性知识，这与具体运算推理是对应的。而理论创造与检验则主要是通过假设—演绎推理来创立和检验假设性解释，它是与形式运算推理相对应的。这种通过假设—演绎推理而进行的理论创造和检验在科学探索中具有重要意义。面对某种因果性问题，学习者首先提出不同的可能的解释（假设），而后用实验来检验这些解释，按照自己的假设对结果作出预测，并通过对照实际结果和自己的预测，来确定实际结果是否支持自己的假设。

Jong & Njoo^[xii]曾把科学发现学习称为“探索性学习”(exploratory learning)，并对这种学习的过程做了具体分析，他们把这种学习活动分为两类过程：转化性过程和监控性过程。转化性过程包括：(1)分析：包括寻找有关这一领域的信息；明确模型中的变量参数及其关系，确定模型的整体特点。(2)形成假设：提出变量（自变量、因变量）及参数的关系式，以便进行检验。(3)检验：通过设计实验来获得数据资料，利用这些数据资料来确定是否应该接受或拒绝一个新的假设，或者建立另外一个假设。这一过程包括设计实验、做出预测、实际操作、解释数据等。(4)评价：这包括对自己的活动（如，我是否该做这个实验？）及其结果做评价，以及把自己的活动及其结果概括到更一般的背景中，作为关于学习过程的技能或关于该领域的概括性知识。监控性过程包括自我计划、自我确认(verify)及自我监视等。应该说，上述环节并没有严格的顺序，不同的学习任务、不同的学习策略都可能导致不同的学习过程。

4 简要评析

双重搜索模型等对科学发现这种特殊的问题解决过程做了分析，对问题空间及其搜索方式做了具体描述。但是，双重搜索模型主要是为了解释一般的科学发现过程，解释人的科学推理过程。对于学生而言，科学发现学习是为了充实、丰富或改组学习者的认知结构，而这种学习目的是通过类似于科学发现的形式来实现的。这两种认知活动的过程和机制并不完全相同。而且，双重搜索模型等理论是以信息加工论为基础的，它基本属于人工智能和机器学习的研究，而不是以学生学习为落脚点的，因此它不能完全说明学生的科学发现学习的过程和机制。

科学发现学习作为一种建构性学习活动，它是通过新、旧知识经验之间的双向的相互作用而实现的。科学发现学习的进行总是以原有的知识经验为背景（基础）的，同时，发现学习的结果会在一定程度上对原有知识起到调整、改造作用。在发现学习过程中，学习者在问题情境面前激活了相关的知识经验，把这些知识映射到问题情境中，生成对问题情境及其内部关系的理解，建立起关于变量关系的假设，形成对活动结果的预期。这些想法和假设又会在之后的实际结果中得到检验。如果实际结果支持了自己的理解，原有的假设以及作为原有假设的基础的思路和相关知识就可以保留下来，充实、丰富现有的知识结构，而如果实际结果否定了自己的假设，那学习者就需要重新审视假设的思路及其相关理解，作出相应的调整和改变。新、旧知识经验之间的双向的相互作用是科学发现学习的核心线索。双重搜索模型等在用信息加工的思路来解释科学发现学习时，对其中的科学推理操作做了充分解释，但新、旧知识经验相互作用这一线索却被“隐藏”到了背后。因此，科学发现学习的研究需要同时关注原有知识是怎样起作用的，以及活动的结果是如何导致原有知识的改变的，更好地说明“有意义的”发现学习的机制问题。

参考文献

- [[i]] 奥苏贝尔等著, 余星南等译. 教育心理学——认知观点. 北京: 人民教育出版社, 1994, p. 637-641.
- [[ii]] Jong T De, Joolingen W R Van. Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of Educational Research*, 1998, 68: 179-201.
- [[iii]] Jong T de, Martin E, Zamarro J, et al. The integration of computer simulation and learning support: An example from physics domain of collisions. *Journal of Research in Science Teaching*, 1999, 36: 597-615.
- [[iv]] Klahr D, Dunbar K. Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive Science*, 1988, 12: 1-48.
- [[v]] Simon H A, Lea G. Problem solving and rule induction: A unified view. In L W Gregg (Ed.), *Knowledge and cognition*. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1974.
- [[vi]] Qin Y, Simon H A. Laboratory replication of scientific discovery process. *Cognitive Science*, 1990, 14: 281-312.
- [[vii]] Klahr D, Fay A L, Dunbar K. Heuristics for scientific experimentation: A developmental study. *Cognitive Psychology*, 1993, 25: 111-146.
- [[viii]] Joolingen W R von, Jong T de. An extended dual search space model of scientific discovery learning. *Instructional Science*, 1997, 25: 307-346.
- [[ix]] Kuhn D, Amsel E, O' Loughlin M. *The development of scientific thinking skills*. San Diego: Academic, 1988.
- [[x]] Kuhn D, Schauble L, Garcia-Mila M. Cross-domain development of scientific reasoning. *Cognition and Instruction*, 1992, 9: 285-327.
- [[xi]] Lawson A E. *Science teaching and development of thinking*. Belmont, CA: Wadsworth, 1995.
- [[xii]] Jong T De, Njoo M. Learning and instruction with computer simulations: Learning processes involved. In E D Corte, M C Linn, H Mandl et al. (Eds.), *Computer-based learning environments and problem solving* (pp.411-427). Berlin: Springer-Verlag, 1992.

英文题目:

An Updated Review on the Research of Scientific Discovery Learning

Zhang Jianwei, Chen Qi

文章选自《心理学动态》2001年第3期。

 [返回主页](#)



版权信息:

本主页版权所有: 北京师范大学现代教育技术研究所; 管理员信箱: ysq@elec.bnu.edu.cn; 电话: 010-62206922。要获取最佳浏览效果, 请使用800*600分辨率模式。