

国外青少年科学推理能力研究综述

严文法 胡卫平

摘要：科学推理是科学思维的一种高级形式，是科学教育的重要组成部分。青少年正处于科学推理思维能力发展的关键时期，西方一些研究者已对其做了探讨。本文主要从科学推理的概念、研究的知识领域、能力发展及测量工具四方面对国外已有研究进行梳理，以期对我国的科学教育提供一定的启示和帮助。

关键词：国外；青少年；科学推理能力

作者简介：严文法/山西师范大学教育科学研究院讲师（太原 041004）

胡卫平/山西师范大学教育科学研究院教授（太原 041004）

科学思维能力是能力的核心，是创造力的基础，研究青少年科学思维能力的发展与培养对创新人才的培养具有重大的意义，而科学推理是人类的一种高级科学思维形式，在人类认知世界的过程中起着重要作用。皮亚杰在其认知发展理论中首次提出了科学推理(scientific reasoning)的概念。自二十世纪六十年代以来，科学推理已成为国外心理学研究的一个重要研究领域，这些研究一般把科学推理按照推理的材料分为控制变量、组合推理、比例推理、关系推理、概率推理等五种推理类型，而根据儿童认知发展水平又将各子推理类型的发展分为具体运算、过渡阶段和形式运算等水平。本文将对国外青少年科学推理能力的研究进展进行探讨。

一、科学推理概念的研究

科学推理的概念是皮亚杰在其认知发展理论中首次提出的，在皮亚杰看来，科学推理是认知发展进行到形式操作阶段之后儿童或成人具有的推理类型。Kwen在对科学进行定义的基础上对科学推理作了如下定义：科学推理包含有归纳推理和演绎推理，它既包含对自然现象进行归纳形成概念、原理、概括、理论、模型等的归纳过程，又包含通过使用这些基本的概念、概括、原理、理论或模型对自然现象作出假设的演绎过程。Lederman^[1]定义科学推理为归纳思维（概念获

得、概念形成、概念图式）和演绎思维（基于创造力、观察、模型建构以及根据经验证据的评价）。Stuessy^[2]认为科学推理是个体在科学探究过程中用以提出所观察到的现象之间的关系、设计检验所提出的关系的实验并决定所有可能可供选择的方法与结果；考虑现象出现的概率并预言逻辑推论、权衡证据并使用一定量的证据来证明一个特定的结论的合理性的内在逻辑思维形式。Klahr^[3]和Dunbar^[4]则把科学推理视为问题解决。

综上所述，尽管不同的研究者对科学推理的概念界定还存在一定的分歧，但对科学推理的基本内涵中外研究者的看法还是大致相同的。人们基本认同：科学推理是个体思维能力发展到一定高度之后具有的推理类型；在个体进行科学推理时一般采用的推理类型是归纳推理和演绎推理；个体应用科学推理进行假设检验或问题解决。

二、科学推理在不同知识领域的研究

科学研究最主要的目的是扩展人类对世界的认识。“科学”是用来描述知识本体和提升这些知识的活动，研究者既对个体掌握的科学概念知识感兴趣（产品）又对培养知识获得的活动感兴趣（过程）。科学还包括对规则、规律、一般法则（以假说或理论的形式）的发现以及对这些假说的验证。也就是说，研究者除了对科学知识本身以及知识获得的活动感兴趣之外还对包含在假

说产生过程中的归纳过程和检验假说中所使用的演绎过程感兴趣。科学研究被泛化定义为诸如：提问、假设、设计实验、使用装置、观察、测量、预言、记录和整合数据、评价事实、执行统计计算、做出推论和形成理论或模型等活动。^{[5][6][7]}正因为科学研究如此复杂，传统的研究者在进行科学推理研究时往往把他们的研究范围局限在研究科学概念的获得和研究科学推理的程序上。也就是说，早期科学推理研究的要点集中在两种主要知识类型的获得和发展上：即特殊知识领域和一般知识领域策略。正如前述，科学既可以产品为依据来进行分类，也可根据过程来进行分类。所以Klahr和Dunbar认为产品（概念形成或知识获得）和过程（实验设计和事实评价技巧）同样重要，并开发出一个包含在科学活动认知过程中的整合模型——SDDS。

1、科学推理在专门知识领域的研究

专门知识领域的科学推理研究的主要内容是儿童和成人如何掌握不同科学领域的概念，比如生物学、^{[8][9]}物理学^{[10][11][12][13]}等。研究的重点集中在确定儿童和成人所掌握的关于科学现象的未经检验的心理模型以及经过检验（或者是教学）后这些模型的改变进程上。从历史的角度来说，这种研究途径起源于皮亚杰的早期著作，在其早期著作中，皮亚杰对儿童在诸如时间、数字、空间、运动和速度等的发展上表现出了极大的兴趣。个体建构他们自己对自然和社会现象的直觉理论，而这些质朴的直觉理论可能不符合大家一般所接受的、对那些同样的现象所做的科学解释。人们感兴趣的是这些质朴理论的内容和结构，可能是错误概念、概念转变和对直觉理论与科学解释一致性时的解释。^{[14][15]}科学推理在专门知识领域中的研究经常采用一些典型的科学推理任务，这些科学推理任务通常是由一些关于特定科学现象的概念化知识所构成的问题或难题来组成的。

2、科学推理在一般知识领域的研究

有关科学推理在一般知识领域的研究其内容主要集中于发现和修正一般推理和问题解决的策略，这些策略蕴涵于实验设计和证据评价的一般

技巧中。科学思维在这类研究中的含义包含推理或问题解决条件下的科学调查的方法或原理的应用。^[16]相对于概念发展研究，被试主要从事设计实验^[17]或检查、评价从模拟实验中得到的发现。^[18]

科学推理在一般知识领域的研究根植于实验心理学对推理和问题解决的研究。早期对科学推理研究的尝试主要集中在简单的知识倾向问题上，比如Wason^[19]的四卡片选择任务。而当前科学推理在一般知识领域的研究已经转移到了研究被试进行实验测验的条件和影响不同策略使用的条件上来。^{[20][21][22][23][24]}

3、综合专门知识领域与一般知识领域的研究

以上两个领域的研究使用了要么强调概念知识要么强调实验策略的不同类型的任务。Klahr和Dunbar承认产品（概念形成或知识获得）和过程（实验设计和事实评价技巧）的重要性，并开发出了一个科学活动中的认知过程整合模型——SDDS。SDDS模型受到了Simon和他的同事们的研究和假设的影响，认为科学发现是一种问题解决活动，这一活动需要使用已经在其他的问题解决背景中得以确认的认知加工机制来完成，而研究者一般认为科学发现过程应同时包含问题解决和科学推理两方面。^{[25][26]}

SDDS模型整合了一般知识领域策略和专门知识领域的策略，描绘了包含在科学发现活动中不同阶段的主要认知过程类型，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：(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)证据评价：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。

三、科学推理能力发展研究

1、科学推理能力整体发展水平研究

Karplus 等人^[27]在丹麦、瑞典、意大利、美国、澳大利亚、德国和大不列颠等七个国家对总共3,600名13-15岁的学生进行了科学推理能力发展水平的研究，在该研究中Karplus等人设计了两个任务来评价学生的比例推理和控制变量推理能力，结果表明只有25%的学生处于形式推理阶段，大约32%的学生处于过渡水平，15%的学生处于具体运算水平，还有28%的学生处于直觉水平。Bitner, Betty L^[28]对6-10年级学生的各科学推理类型的发展进行了跨度为20个月的研究，在1986年的秋季、1987年的秋季以及1988年的春季期间，使用GALT测量了比例推理、变量控制、概率推理、关系推理和组合推理等科学推理能力类型，研究发现样本的主体没有达到形式操作推理的水平。Shemesh, Michal^[29]等人的研究表明：从7-11年级，尽管具有科学推理形式运算能力的样本比例与年龄俱增，但还是有半数的样本处于具体运算推理阶段。Shemesh, Micha&Eckstein, S. F等人^[30]的研究发现，只有50%的7-12年级的学生达到了科学推理能力的形式运算推理阶段。Vass, E等人^[31]的研究则表明即使是大学毕业生也有很多被试达不到比例推理、概率推理和关系推理等科学推理类型的形式运算水平。

2、科学推理各子推理类型的发展平衡性研究

Han, Jong-Ha^[32]研究了韩国初中生科学推理发

展水平，在研究中研究者把科学推理分成了顺序排列、组合、比例、控制变量，概率和命题等逻辑类型，该研究试图确定韩国的初中生在什么时期开始使用科学推理进行问题解决，并试图从皮亚杰理论的角度来分析学生的智力发展水平达到了什么阶段，研究结果表明组合和关系推理的形式运算水平发展得相对较早，而比例推理和概率推理的形式运算水平发展得相对较晚。Bitner, Betty L^[33]的研究发现关系推理对样本总体来讲是最难的。而Bitner, Betty L的另一项研究结果^[34]则表明关系推理和概率推理对学生们来说都是最难的。

3、性别对科学推理能力发展水平的影响研究

Bitner, Betty L^[35]的研究结果表明：虽然男女生被试在整体上没有显著性差异，但是在比例推理上男生要优于女生。Shemesh, Michal& Lazarowitz, Reuven^[36]的研究表明男生形式推理能力显著高于女生。Boucher, Elizabeth F& Fletcher, Richard K., Jr^[37]的研究表明男生的形式推理水平要显著高于女生；Valanides等人^[38]研究7-9年级学生认知能力的发展，研究结果表明男生在比例、概率和关系推理方面要比女生做得好，并且高年级学生做得都要比低年级好。Iqbal与Shayer^[39]在巴基斯坦通过使用CASE课程研究发现，男生的认知发展要优于女生。但是Piburn^[40]在新西兰的研究表明，男生只在一个科学推理任务上显著高于女生，而在其他的任务上没有显著差异。Ehinder^[41]的研究更发现男女生在科学推理任务上的成绩没有显著差异。

4、科学推理能力发展水平的影响因素研究

除了性别和年龄因素对科学推理能力的发展水平有影响以外，研究者还发现其他一些因素也对科学推理能力的发展水平有影响。Han, Jong-Ha的研究发现学生的科学推理水平与学生所处的地理位置和社会经济地位等因素相关。Zeitoun, Hassan Hussein等人^{[42][43][44]}的研究表明科学推理能力与学习成绩成中度相关。此外，有研究还表明，前知识、^[45]信息加工能力、^[46]认知风格、^[47]智商、^[48]文化背景、^[49]个体能力、^[50]个性因素^[51]

等同样也会影响科学推理能力的发展。

四、科学推理能力测量工具的研究

有关科学推理能力的测量工具主要有ACT(The American College Testing)、SRLT(Science Reasoning Level Test)、GALT(Group Assessment of Logical Thinking)、TOLT(Test of Logical Thinking)、SRTS(Science Reasoning Task)等。下面分别对这些测量工具进行简单的介绍。

1、ACT

ACT是美国中西部各州用来测验大学新生推理能力的测验工具,而SAT(Scholastic Achievement Test)是东北部、东部和西海岸所选择的测验工具。尽管现在美国大多数学校两个测验都采用,但越来越多的学校开始采用ACT。SAT与ACT的区别之一就在于它虽然也测验推理能力,但其中没有科学推理能力的测验。ACT由英语(45分钟)、数学(45分钟)、阅读(60分钟)、科学推理(35分钟)四部分组成。

2、SRLT

SRLT是针对美国和波兰两个国家的小学生而开发的科学推理能力测试工具。目的是为了证明基于皮亚杰思维过程模型的多项选择测验是否可以用于研究科学推理的发展。Duszynska, Anna用该测验比较了两个国家小学生推理与学业成绩的关系以及思维过程类型的发展状况。通过对波兰171名3-5年级学生和70名美国4-6年级学生进行测试,结果表明在SRLT与科学和阅读理解成绩之间具有正相关,在美国与波兰儿童之间没有显著差异。

3、GALT

GALT是Roadrangka等人在1982年开发的测量逻辑思维能力的工具,由12个题目组成,主要包含六种推理能力:(1)守恒推理。(2)比例推理。(3)控制变量推理。(4)组合推理。(5)概率推理。(6)相关推理。

4、TOLT

TOLT包含了五种科学推理类型:比例推理、控制变量推理、组合推理、几率推理、相关推理。每一种类型包含有两个测验。Tobin, Kenneth G.; Capie, William的研究证明了TOLT是一种鉴别

学生不同形式推理水平的良好测验工具。

5、SRTS

SRTS是评价儿童和成人使用具体的或形式的推理策略能力的有效测验工具。它的任务来源是皮亚杰的《逻辑思维的发展》、《儿童的空间概念》和《儿童数量的建构》,在修改的过程中尽可能修正了一些不合理的部分,保留了皮亚杰临床个案访谈的特征。总共包括七个实验任务,要求学生在实验室进行实验操作,依据实验现象和所得到的实验数据做出推理。

五、讨论

研究青少年思维能力的发展与培养对创新人才的培养具有重要意义,而推理是人类的一种高级思维形式,所以加强对青少年科学推理能力的研究同样具有非常重要的意义。科学推理研究的一个新趋向是与科学教育交叉。Strauss^[52]认为在认知心理学家与科学教育工作者之间缺乏必要的交流,即便是在两者目的和利益之间出现交叉时也是这样。Strauss解释出现交流鸿沟的一个原因是“发展心理学家经常忽视了儿童在学校里所学习的科学概念的理解的发展”。Strauss给出了发展心理学家与科学教育研究者将来所研究的共同内容的两个基本原则:研究的内容应该来自专门的典型的科学领域的概念(如:物理中的温度和热,生物学中的光合作用);这些内容应该贯穿科学领域的一般特征(例如评价事实和对理论进行讨论)。目前,认知发展心理学家和科学教育研究者已经在这两个领域中进行了研究,但是这些研究只研究了少数存在于普通领域的科学推理技巧。因此,认知发展心理学者与科学教育研究者应该携手对两个方面进行进一步深入的交叉研究并尝试把对科学推理的发展研究应用到科学教育的教学工作中去。

参考文献:

[1]Morrell, P. D. & Lederman, N. G. 1998. Students' attitudes toward school and classroom science: Are they different phenomena? School Science and Mathematics, 1998, 98 (2):76-83.

[2]Stuessy, C. Path Analysis: A Model for the

Development of Scientific Reasoning Abilities in Adolescents. *Journal of Research in Science Teaching*, 1984, 26(1):41-53

[3]Klahr, D., & Dunbar, K. Dual search space during scientific reasoning. *Cognitive Science*, 1988, 12:1-48.

[4]Klahr, D. Exploring science: The cognition and development of discovery processes. Cambridge: MA: MIT Press, 2000.

[5]Keys, C. W. The Development of Scientific Reasoning Skills in Conjunction with Collaborative Writing Assignments: An Interpretive Study of Six Ninth-Grade Students. *Journal of Research in Science Teaching*, 1994, 31(9):1003-1022.

[6] Schauble, L., Glaser, R., Duschl, R. A., & Schulze, S. Students' understanding of the objectives and procedures of experimentation in the science classroom. *Journal of the Learning Sciences*, 1995, 4:131-166.

[7]Slowiaczek, L. M., Klayman, J., Sherman, S. J., Skov, R. B. information selection and use in hypothesis testing: What is a good question, and what is a good answer? *Memory and Cognition*, 1992, 20(4):392-405.

[8]Hatano, G., & Inagaki, K. Young children's naive theory of biology. *Cognition*, 1994, 56:171-188.

[9]Miller, J. L., & Bartsch, K. The development of biological explanation: Are children vitalists? *Developmental Psychology*, 1997, 33:156-164.

[10]Hood, B. M. Gravity does rule for falling events. *Developmental Science*, 1998, 1:59-63.

[11]Levin, I., Siegler, R. S., & Druyan, S. Misconceptions about motion: Development and training effects. *Child Development*, 1990, 61:1544-1557.

[12]Pauen, S. Children's reasoning about the interaction of forces. *Child Development*, 1996, 7:2728-2742.

[13]Spelke, E. S., Phillips, A., & Woodward, A. L. Infants' knowledge of object motion and human action. In D. Sperber, D. Premack, & A. J. Premack (Eds.), *Causal cognition: A multidisciplinary debate* (pp. 44-78). Oxford: Clarendon Press, 1995.

[14]Samarapungavan, A., & Wiers, R. W. Children's thoughts on the origin of species: A study of explanatory coherence. *Cognitive Science*, 1997, 21:147-177.

[15][17]Schauble, L. The development of scientific reasoning in knowledge-rich contexts. *Developmental Psychology*, 1996, 32:102-119.

[16]Koslowski, B. Theory and evidence: The development of scientific reasoning. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1996.

[18]Kuhn, D., Amsel, E., & O'Loughlin, M. The development of scientific thinking skills. Orlando, FL: Academic Press, 1988.

[19]Wason, P. C. Reasoning about a rule. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 1968, 20: 63-71.

[20]Farris, H. H., & Revlin, R. Sensible reasoning in two tasks: Rule discovery and hypothesis. *Memory and Cognition*, 1989, 17: 221-232.

[21]Kareev, Y., & Halberstadt, N. Evaluating negative tests and refutations in a rule discovery. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 1993, 46A:715-727.

[22]Klayman, J., & Ha, Y. Hypothesis testing in rule discovery: Strategy, structure, and content. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 1989, 15:596-604.

[23]Penner, D. E., & Klahr, D. When to trust the data: Further investigations of system error in a scientific reasoning task. *Memory & Cognition*, 1996, 24: 655-668.

[24]Wharton, C. M., Cheng, P. W., & Wickens, T. D. Hypothesis-testing strategies: Why two goals are better than one. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 1993, 46A:743-758.

[25]Copi, I. M. *Introduction to logic* (7th ed.). New York: Macmillan, 1986.

[26]Giere, R. N. *Understanding scientific reasoning*. New York: Holt, Rinehart & Winston, 1979.

[27]Karplus, R., Karplus, E., Formasino, & Paulsen, C. M. A survey of proportional reasoning and control of variables in seven countries. *Journal of Research in Science Teaching*, 1977, 14(5): 411-417.

[28][33]Bitner, B. L. Developmental patterns of logical reasoning of students in grades six through ten: Increments and plateaus. Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching. San Francisco, CA. 1989, March.

[29]Shemesh, Michal; Lazarowitz, Reuven. Formal reasoning skills of secondary school students as related to gender, Age, school type and learning abilities ED256568.

[30]Shemesh, M., Eckstein, S. F. & Lazarowitz, R. An experimental study of the development of formal reasoning among secondary school students. *School Science and Mathematics*, 1992, 92:26-30.

[31]Vass, E., Schiller, D. & Nappi, A. J. The effect of instructional on improving proportional, probabilistic, and

correlational reasoning skills among undergraduate education majors. *Journal of Research in Science Teaching*, 2000, 37(9): 981-995.

[32]Han, Jong-Ha. The Cognitive Development of Secondary School Students in the Republic of Korea .ED285759.

[34][35] Bitner, B. L. Thinking processes model: Effect on logical reasoning abilities of students in grades six through twelve. Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Atlanta, GA. 1990, April.

[36]Shemesh, Michal; Lazarowitz, Reuven. Formal reasoning skills of secondary school students as related to gender, Age, school type and learning abilities ED256568.

[37]Boucher, Elizabeth F.; Fletcher, Richard K., Jr. A comparison of levels of cognitive thought determined by the longest test and achievement levels of secondary school science students. Paper presented at the Conference in Educational Research .University of South Carolina, Columbia, SC, 1979.

[38]Valanides, N. & Markoulis, D. The acquisition of formal operational schemata during adolescence: a cross-national comparison. *International Journal of Group Tensions*, 2000, 29: 36-54.

[39]Iqbal, M.H. &Shayer, M. Accelerating the development of formal thinking in Pakistan Secondary School Student. Achievement effects and professional development issues . *Journal of research in science teaching*.2000, 37(3):259-274.

[40]Piburn, M. Spatial reasoning as correlate of formal thought and science achievement for New Zealand student. *Journal of research in Science teaching*.1980, 17(5):443-448.

[41]Ehinder, J.O. Correlates of gender-relates differences in logical reasoning, *Journal of Research in Science Teaching*, 1982, 19(7):553-557.

[42]Zeitoun, Hassan Hussein The relationship between abstract concept achievement and prior knowledge, formal reasoning ability, and gender. *Journal of Research in Science Teaching*, 1989, 20:117-129.

[43]Lawson, Anton E. Sex differences in concrete and formal reasoning ability as measured by manipulative tasks and written tasks. AESOP (Advancement of Education in Science-Oriented Programs) Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching (61st, Lake of the Ozarks, MO, April 10-13, 1988).

[44]Levine, D. I. & Linn, M. C. Scientific reasoning ability

in adolescence: Theoretical viewpoints and educational implications. *Journal of Research in Science Teaching*, 1977, 14: 371-384.

[45]Resnick, L. B. &Gelman, R. Mathematical and Scientific Knowledge: An Overview. Pittsburgh, PA: Pittsburgh University, Learning Research and Development Center, 1985. ED 258 808.

[46]Finegold, M. And Mass, R. Differences in the Processes of Solving Physics Problems Between Good Physics Problem Solvers and Poor Physics Problem Solvers. *Research in Science and Technological Education*, 1985, 3(1):59-67.

[47]Stuessy, C. Correlates of scientific reasoning in adolescents: Experience, locus of control, age, field dependence independence, rigidity/flexibility, IQ, and gender. Columbus, OH: Doctoral dissertation, The Ohio State University, 1984. (ED 244 834).

[48]Lawson, A.E. Formal reasoning, achievement, and intelligence: An issue of importance. *Science Education*, 1982, 66 (1): 77-83.

[49]Cherian, V.I., Kibria, G.F., Kariuki, P.W. and Mwamwenda, T.S. Formal operational reasoning in African university students. *The Journal of Psychology*, 1988, 122(5): 487-498.

[50]Acuna, J.E. Acculturation, Social class and cognitive growth. Quezon city, Philippines: Philippines University, Science Education Center, 1983. ED 239 751.

[51]Owen, D. "The SAT and Social Stratification." In J. W. Noll (Ed.), *Taking Sides: Clashing views on controversial educational issues* (4th ed.). Guilford, CT: The Dushkin Publishing Group, Inc.

[52]Strauss, S. Cognitive development and science education: Toward a middle level model. In W. Damon (Series Ed.), I. E. Sigel, & K. A. Renninger (Vol. Eds.), *Handbook*, 1998.