

# 科学发明创造思维过程中的原型启发效应

朱丹, 罗俊龙, 朱海雪, 邱江, 张庆林

(西南大学 心理学院, 重庆市 400715)

**摘要:**创造性思维是人的创造性得以发挥和创造成果得以形成的决定性因素。本研究采用科学发明创造中的实际问题作为实验材料,对创造性思维中的原型启发效应进行了探讨。研究结果显示,原型对科学发明创造的思维过程具有明显的启发效应,建立的拥有多项指标的《科学发明创造实验问题材料库》是有效的。本研究为进一步深入研究创造性思维过程的认知机制和脑机制提供了有效的研究范式和研究工具。

**关键词:**发明创造;创造性思维;原型启发;激活

**中图分类号:**B842.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-9841(2011)05-0144-06

## 一、引言

创造性思维活动是人的创造性得以发挥和创造成果得以形成的决定性因素。可以说,创造性思维是创造性的核心<sup>[1]</sup>。对创造性思维的探讨一般有广义和狭义之分,广义上,创造性思维是在已有经验的基础上,通过多角度产生出新颖独特的和具有社会价值的产品的思维过程;狭义上,凡是针对某一具体的思维主体而言,具有新颖、独特意义的任何思维,都可称之为创造性思维<sup>[2]</sup>。当然,无论从哪个层面上进行考察,“新颖性”和“适用性”被认为是创造性思维的两个关键特征<sup>[3-4]</sup>。由于创造性思维的这两个特征,就要求人们在面临创造性问题时,需要打破常规和惯例,突破陈腐的观点和观念,克服思维上的重重障碍,以前所未有的、新异的方式解决当前问题,而在这个过程中往往需要直觉或灵感参与。

那么灵感从何而来?根据对创造性思维所进行的深入研究和思考,张庆林等人<sup>[5]</sup>基于现实生活中的发明创造的思维机制提出了创造性问题解决的“原型激活”理论。所谓“原型”,是指能对目前的创造性思维起到启发作用的认知事件,例如,类比迁移中能用于靶问题(target problem)解决的源问题(base problem)。这里所说的“激活”,是指将原型事件(及其关键性启发信息)与当前问题形成联系,并指引当前问题空间的启发式搜索,从而促使当前顿悟问题的顺利解决。这一理论更符合现实生活中的创造性思维本质,因为现实思维中的顿悟、灵感、直觉的发生大多离不开“原型启发”。创造性问题解决的“原型激活”理论自提出以后,先后得到了一系列实验的初步检验和证实。如张庆林和邱江<sup>[6]</sup>对“九点问题”的研究;任国防等<sup>[7]</sup>对中国古典的“装缸问题”的研究;曹贵康<sup>[8]</sup>对“农场四等分问题”的研究;邱江等<sup>[9]</sup>采用“学习一个原型字谜——测试一个靶字谜”的两阶段实验范式对中国传统字谜的研究;吴真真等<sup>[10]</sup>采用“多个原型字谜学习——多个目标字谜测试”的两阶段实验范式进一步对中国传统字谜的研究。

然而,对于以上研究中所使用到的创造性问题,以及经典的实验室条件下所使用的其他创造性思维

\* 收稿日期:2010-09-18

**作者简介:**朱丹(1986-),女,四川简阳人,西南大学心理学院,硕士研究生,主要研究创造性思维。

通讯作者:张庆林,教授,博士生导师;邱江,教授,硕士生导师。

**基金项目:**国家重点学科基础心理学科研基金项目“再探顿悟问题解决中原型激活的脑机制:fMRI研究”(NSKD06002),项目负责人:张庆林;国家自然科学基金项目“顿悟问题解决中原型激活的认知神经机制”(30800293),项目负责人:邱江。

问题(如火柴问题、蜡烛问题、双绳问题等)都为数不多,并且这些问题的性质、特征、复杂程度等也都各不相同,不具备等值性,而且这些材料都属人工性的问题。利用人工问题虽然能在实验室的条件下对高级认知活动进行研究,也能对额外变量进行很好的控制,但其生态效度往往不高。作为与现实生活密切相关的创造性思维的产生更是不能脱离对实际问题的研究。因此,创造性思维认知机制的研究需要在实验材料上打破人工性的限制,向更为符合创造性思维产生过程的科学性实际问题探索。

据此,本研究以“原型激活”理论为依据,从“新颖性”和“适用性”的角度出发,采用科学实际问题作为实验材料有步骤地对创造性思维产生的认知机制进行探讨,并建立了一个拥有多项指标的可用于创造性思维认知机制研究的《科学发明创造实验问题材料库》,以期从认知机制和脑机制的角度对创造性思维的研究提供有效的研究工具,为培养和激发创新思维能力提供研究基础。

## 二、研究一:科学发明创造实验问题的初步编写

### (一)目的

初步收集发明创造领域内的科学问题,用于研究现实生活中创造性问题解决以及创造性思维的产生机制。

### (二)方法

被试:西南大学在校生 36 人,其中男女各半,平均年龄为 22.3 岁,视力或矫正视力正常。

材料:该研究在各个学科领域内收集最新的科学发明创造实例。按照三个标准从中筛选材料:(1)启发式思维,科学家受某种原型的启发而解决发明创造问题的实例;(2)新颖性,常识性的实例(如鲁班受带齿边的茅草的启发而发明锯子)不予选取;(3)通俗易懂,不涉及太专业性的知识。经过预实验多次反复地筛选,最终收集到 36 个科学发明创造实验问题进行实验。每个题目均包含一个科学问题、一个原型材料和一个参考答案。下面是一个题目的科学问题和原型材料的实例:

科学问题:中国神六航天飞机上天之前,科学家们被宇航服的设计难住了。宇航员出舱时候穿的宇航服,既要有一定的坚硬度能够承受气压,又要能够弯曲,便于宇航员出舱操作。怎样使宇航服既有硬度又能自由弯曲呢?

原型:煮熟的虾子,其身体部分的外壳,既坚硬又可以弯曲。

参考答案:将宇航服需要自由弯曲的部位做成虾子外壳的样子。

实验设计与程序:实验采取个别施测,设置了有原型学习组和无原型学习组两个实验组,并对 36 个发明创造问题的分配以及有、无原型学习组的实验顺序分别进行了平衡抵消设计。具体做法为:先将 36 个问题随机分成前后各 18 个题目,一半的被试以前 18 个题目作为无原型题目(后 18 个题目作为有原型题目),另一半被试的测试则相反;一半被试按“无原型—有原型”实验顺序,另一半按“有原型—无原型”实验顺序进行实验。有、无原型测试之间被试可适当地休息。

无原型学习组的实验程序:先呈现 1s 的注视点“+”,接着呈现一个科学问题,被试迅速理解问题并想出解决问题的方法,想到答案则迅速按空格键并报告结果(思考时限为 90s,90s 还未想到答案自动进入下一题);主试判断结果是否合理正确,按 0(不正确)或 1(激活了原型并答案正确)记分方式打分。实验流程如图 1 所示。

有原型学习组的实验程序:先呈现 1s 的注视点“+”,接着呈现一个原型,被试理解后迅速按空格键,此时记录原型阅读的反应时(原型呈现时限为 60s,60s 还未理解自动进入下一步);接着呈现一个科学问题,被试迅速理解问题并想出解决问题的方法,想到办法迅速按空格键报告结果(思考时限为 90s,90s 还未想到答案自动进入下一题);主试判断结果并打分(方法同上)。实验流程如图 2 所示。



图 1 无原型学习组实验流程图

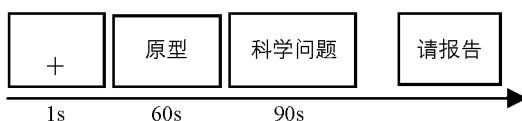


图 2 有原型学习组实验流程图

### (三) 结果

比较了 36 个发明创造问题在有、无原型学习两种条件下问题解答的正确率和反应时,见表 1。结果发现:无原型学习组问题解答的平均正确率=0.28,平均反应时=73.40s;有原型学习组问题解答的平均正确率=0.82,平均反应时=41.81s;无原型学习组和有原型学习组问题解答的正确率差异显著( $t_{(35)} = -13.296, p < 0.001$ ),反应时差异显著( $t_{(35)} = 12.184, p < 0.001$ )。结果表明:原型材料的学习促进了发明创造问题的解决,出现了显著的原型启发效应。证明自编的发明创造问题和原型启发的实验范式能够有效地测量到原型启发的思维过程。

表 1 36 个发明创造问题在有、无原型学习条件下的正确率与反应时比较

	组别	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
正确率	无原型组	36	0.28	-13.296***	0.000
正确率	有原型组	36	0.82		
反应时 (s)	无原型组	36	73.40	12.184***	0.000
反应时 (s)	有原型组	36	41.81		

注:\*\*\*表示在.001水平上显著。

## 三、研究二:科学发明创造实验问题的有效性检验

### (一) 目的

运用“威廉姆斯创造性倾向测验”来检验科学发明创造实验问题作为创造性研究工具的有效性程度。

### (二) 方法

被试:西南大学在校生 54 人,其中男女各半,平均年龄为 21.8 岁,视力或矫正视力正常。

材料:该研究选取了与研究一中相同的 36 个发明创造问题进行实验。同时采用了“威廉姆斯创造性倾向测验”(参见网址 <http://210.36.18.48/gxujingpin/dxsxljkjy/5/1%20gexingceping/changzao-ceshi.asp>)来测量被试的创造性倾向。该测验包括 50 个题目,包括冒险性、好奇心、想象力、挑战性 4 项。该量表广泛地用于测量个体创造性倾向,具有较好的信效度。

程序:被试先完成“威廉姆斯创造性倾向测验”,然后在主试指导下完成 36 个发明创造问题,实验流程同研究一中的有原型学习组的实验流程。

### (三) 结果

将 36 个发明创造问题解决得分与创造性倾向各项分数之间进行相关分析,见表 2。结果发现:问题解决得分与创造性倾向测验总分以及冒险性、好奇心、挑战性 3 个因子得分相关显著;其中问题解决得分与创造性倾向、冒险性、好奇性的相关在 0.01 水平上显著,问题解决得分与挑战性的相关在 0.05 水平上显著。问题解决得分与“创造性倾向”的测验分数之间呈显著正相关,证明发明创造问题和原型启发的实验范式能够有效地测量到被试的创造性高低。

表 2 发明创造问题解决得分与创造性倾向得分之间的相关系数

	总分	冒险性	好奇心	想象力	挑战性	
<i>r</i>	0.42**	0.41**	0.43**	0.20	0.31*	
发明创造问题解决得分	<i>p</i>	0.002	0.002	0.001	0.14	0.02
	<i>N</i>	54	54	54	54	54

注:\*表示在 0.05 水平上显著,\*\*表示在 0.01 水平上显著。

## 四、研究三:“科学发明创造实验问题材料库”的建立

### (一) 目的

进一步发展完善实验材料,建立一个拥有多项指标的用于创造性思维研究的“科学发明创造实验问题材料库”,以下简称“科学问题库”。

## (二)方法

被试:选取西南大学在校文理科学生共 162 人,平均年龄为 22.6 岁,视力或矫正视力正常。被试被随机分为 3 组,每组 54 人。

材料:按照研究一的方法收集更多相关的科学发明创造实验问题,并按照研究一选材的 3 个标准和小规模的预测,从中选取了 84 个问题进行预实验。

实验设计与程序:84 个问题被随机分为 3 组(每组 28 个题目),3 组题目随机分配给 3 组被试完成。对每组 28 个问题的分配以及有、无原型学习组的实验顺序分别进行了平衡抵消设计(方法同研究一)。有、无原型学习组的实验程序同研究一。

## (三)结果

“科学问题库”编制过程中对每个题目都进行了一系列测试,其中每个题目的正确率和反应时指标有两个:正确率 1(指只呈现问题时的问题解答正确率),它对应的反应时为反应时 1;正确率 2(学习原型后再呈现问题时的问题解答正确率),它对应的反应时为反应时 2。运用这两个指标可以计算“原型启发量”,原型启发量=(正确率 2-正确率 1)×100;另外,每个题目的“难度系数”的计算公式为:难度系数=100-正确率 1×100。这些指标对《科学问题库》中的每个题目的各项特性作了量化,便于今后的研究者根据不同的实验目的及实验条件来选取实验材料。

《科学问题库》中所有 84 个问题解答的平均正确率 1=0.26,平均正确率 2=0.78,平均反应时 1=74.04s,平均反应时 2=45.70s;84 个原型的平均原型启发量=52.07;84 个问题的平均难度系数=73.88。

表 3 84 个发明创造问题在有无原型学习条件下的正确率与反应时比较

	组别	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
正确率 1	无原型组	84	0.26	-23.058***	0.000
正确率 2	有原型组	84	0.78		
反应时 1 (s)	无原型组	84	74.04	15.906***	0.000
反应时 2 (s)	有原型组	84	45.70		

注:\*\*\*表示在.001 水平上显著

比较了 84 个发明创造问题在有、无原型学习两种条件下问题解答的正确率和反应时,见表 3。结果发现:无原型学习组和有原型学习组问题解答的正确率差异显著( $t_{(83)} = -23.058, p < 0.001$ ),反应时差异显著( $t_{(83)} = 15.906, p < 0.001$ )。结果表明:原型材料的学习促进了发明创造问题的解决,出现了显著的原型启发效应,证明“科学问题库”可以用于今后的科学发明创造问题解决的原型启发的思维机制研究。

将 84 个发明创造问题的难度系数与原型材料的启发量之间进行 Pearson 积差相关分析发现,问题的难度系数与对应原型启发量之间呈显著正相关( $r = 0.710, p < 0.001$ ),这说明越是困难的题目其原型启发的效应越高,也可以说,越是困难的题目越需要原型启发思维的参与。

## 五、总的讨论

### (一)科学发明创造问题用于创造性研究的有效性探讨

在本研究中,被试的“创造性倾向”是采用量表(自陈式问卷)测得的,属于人格倾向测验。已有许多研究也是采用“创造性倾向测验”来研究个体的创造性高低,已有研究发现创造性人格具有稳定性,即“跨时间的一致性”<sup>[11-12]</sup>。而本研究所采用的科学发明创造问题解决测试是一种认知能力测试,结果发现这种能力测试的得分和“创造性倾向”的问卷测试分数有显著的相关,这在一定程度上可以说明科学发明创造问题的测试能够有效测到个体稳定的创造性人格。所以,可以说,本研究所建立的“科学问题库”不仅可以测量创造性思维能力,也可以测量到创造性人格倾向,所以是科学创造性测量的理想工具。这是“科学问题库”的重大价值所在。

## (二) 发明创造问题解决中的“原型激活”的验证

创造性问题解决是有别于常规问题解决的。常规问题解决的过程只需要记忆和联想参与即可,而创造性问题解决的过程还包含了心理表征的变化,包括问题重构和意义的变化<sup>[4]</sup>。Wallas 提出了创造性思维过程的四阶段论模型。他认为当个体思维进入明朗化阶段后,会突然被某一个特定情景下的启发信息唤醒,产生新奇的想法和意识,使问题得以顺利解决<sup>[13]</sup>。此外,奥尔森提出了“扩散激活”(spreading activation)模型,用于描述创造性问题解决的过程<sup>[14]</sup>;克拉赫等认为创造性问题解决的过程是一个假设检验的过程<sup>[15]</sup>。这些理论虽然都试图解释创造性问题解决的过程和机制,从现象学的角度进行描述,但缺少相关实验数据的支持。

张庆林等人基于现实生活中的发明创造的思维机制提出了创造性问题解决的“原型激活”理论<sup>[6]</sup>。“原型启发”被广泛运用于科学界,特别是仿生学领域。日常生活中,创造性想法的产生总离不开某一个特定情景下的启发信息唤醒,这个启发信息可以是个体已有的知识或经验,也可以是外界突然出现在个体心理视野内的新的认知事件。

在本研究中,研究一和研究三都进行了有原型学习组和无原型学习组的对比研究。结果发现,被试在有、无原型学习两种条件下,发明创造问题解决的正确率和反应时差异均显著,有原型组的被试问题解决的正确率显著高于无原型组,反应时显著快于无原型组。也就是说,“科学问题库”能够有效地引发原型启发的思维过程,可以作为今后进一步研究科学发明创造过程中的原型启发的思维机制和脑机制的有效研究工具。

另外,84 个发明创造问题的难度系数与原型启发量之间的相关分析结果发现,问题的难度系数与原型材料的启发量呈显著正相关,相关系数为 0.710。换句话说,要解决的问题越困难(单凭已有的知识经验很难加以解决),原型启发的作用就越大;越容易的问题越不需要原型启发(单凭已有知识经验就能够解决)。这也证明了原型启发属于创造性思维策略。

## (三)“科学发明创造实验问题材料库”的建立

本研究的其中之一是为后续的创造性思维的脑机制研究创立一种有效的工具。传统的用于创造性思维研究的许多经典问题,例如,火柴问题、蜡烛问题、双绳问题等,不能够重复测量,故无法满足创造性思维脑机制研究的技术层面的需求。虽然我国学者创设的“字谜问题库”和“谜语问题库”能够满足重复测量和脑成像数据的叠加要求,但这些材料都属于非科学发明创造的问题。因此,本研究采用科学发明创造中的实际问题为实验材料,发展出一套具有更高的生态学效度的“科学发明创造实验问题材料库”。

通过严格的实验条件控制以及预实验多次反复地筛选,本研究最终创新性地建立起了一个规范且拥有多项客观指标的“科学发明创造实验问题材料库”。它的建立具有以下意义:首先,指标全面、规范和客观。通过严格地控制无关变量所进行的大规模的施测,得到了每个发明创造问题的各项指标,便于今后的研究者根据不同的实验目的以及实验条件来选取实验材料。其次,材料库有足够多的数量,能够满足脑成像研究的多次重复测量要求,使得未来进一步深入探讨创造性问题解决的大脑机制和认知过程成为了可能。再次,材料是一一配对的,即每个发明创造问题会配对一项原型材料,原型材料中包含了能够用于解决当前问题的原理方法,为以后深入地研究科学发明创造问题解决的原型启发效应机制提供了便利。

## (四) 未来研究的展望

创造是经济和社会发展的本源动力<sup>[16]</sup>。虽然有关创造性问题解决的研究已颇为丰硕,但是有关科学发明创造领域的创造性问题解决的研究比较少。科学性创造问题的研究能为提高人们实际问题解决能力,为如何培养和改善创新思维能力提供重要参考。

在未来科学发明创造领域的创造性思维的研究中,以该研究创立的“科学问题库”为研究工具,可以尝试以下几个方向的探索:(1)创造性问题解决中“原型事件的激活”和“原型事件中所隐含的启发信息的激活”的加工机制是如何的?(2)原型事件在大脑中是如何表征的?不同的表征方式是否会影响到原型

激活,进而影响创造性问题解决? (3)原型事件学习的数量以及时间对创造性问题解决的影响是怎样的? (4)大脑的不同状态是否会影响创造性问题解决? 如,大脑疲倦程度、入静、气功、饮酒(李白“斗酒诗百篇”)、催眠、服用少量镇静剂等是否会影响人的创造性? (5)情绪、动机等因素对于创造性问题解决又会起着什么样的作用? (6)心理健康状态对于创造性问题解决有怎样的影响? 如,焦虑水平、抑郁水平、紧张水平、孤独感的高低等是否会影响创造性的高低? (7)不同人格倾向的个体在创造性问题解决中的表现会怎样?

以上课题的研究均可从行为层面和脑机制层面展开研究。

## 六、小 结

(1)研究一和研究三的结果都发现,被试在有无原型学习两种条件下,发明创造问题解决的正确率和反应时差异均显著,有原型组的问题解决的正确率显著高于无原型组,反应时显著短于无原型组。原型对科学发明创造的思维过程具有明显的启发效应。

(2)建立起了一个规范且拥有多项客观指标的“科学发明创造实验问题材料库”。

致谢:衷心感谢崔帅、代天恩、龚正霞、李文福、吕慧超、沈承春、田艳等人(按拼音排序)在研究中所给予的帮助。

### 参考文献:

- [1] 张庆林,曹贵康. 创造性心理学[M]. 北京:高等教育出版社,2004:91.
- [2] 刘春雷,王敏,张庆林. 创造性思维的脑机制[J]. 心理科学进展,2009,17(1):106-111.
- [3] Sternberg R J, Amabile T M, Lubart T I, et al. (Eds). Handbook of Creativity[M]. New York: Cambridge University Press,1999.
- [4] 张庆林,Sternberg R J,等. 创造性研究手册[M]. 成都:四川教育出版社,2002:76-78,320-321.
- [5] 张庆林,邱江,曹贵康. 顿悟认知机制的研究述评与理论构想[J]. 心理科学,2004,27(6):1435-1437.
- [6] 张庆林,邱江. 顿悟与原型中启发信息的激活[J]. 心理科学,2005,28(1):6-91.
- [7] 任国防. 顿悟:是进程监控还是表征转换[D]. 重庆:西南师范大学硕士学位论文,2005.
- [8] 曹贵康. 顿悟问题解决的原型事件激活:自动还是控制[J]. 心理科学,2006,29(5):1123-1127.
- [9] 邱江,张庆林. 字谜解决中的“啊哈”效应:来自 ERP 研究的证据[J]. 科学通报,2007,52:1-7.
- [10] 吴真真. 顿悟的原型启发效应机制探索[J]. 心理发展与教育,2008(1):31-35.
- [11] 李小平,张庆林. 中学生创造性倾向发展的初步测试[J]. 西南师范大学学报:人文社会科学版,2005,31(6):65-68.
- [12] 王立永,李小平. 大学生创造性倾向特点的研究[J]. 高校保健医学研究与实践,2006,3(3):14-17.
- [13] Wallas G. The art of thought[M]. New York: Harcourt Brace Jovanovich, 1926:10-11.
- [14] Ohlsson S. Information-Processing Explanations of Insight and Related Phenomena[J]. In M. T. Keane & K. J. Gilhooly(Eds. ). Advances in the Psychology of Thinking. London: Harvester-Wheatsheaf, 1992(1).
- [15] Klahr D et al. Heuristics of Scientific Experimentation: A Development Study[J]. Cognitive Psychology, 1993,25(2):114-156.
- [16] 周泓,张庆林. 创造性生理基础研究[J]. 西南师范大学学报:人文社会科学版,2002,28(1):33-36.

责任编辑 曹 莉