

基于问题解决的物理创造性思维教学模式研究

谭志中¹ 陆建隆²

(1. 南通大学 理学院, 江苏 南通 226019;

2. 南京师范大学 教师教育学院, 江苏 南京 210097)

[摘要] 问题的解决过程是一种能力和智慧的生成的过程。从教育心理学的视角出发, 分析了较为典型的物理问题解决的认知模式, 探讨了物理学科的特点与创造性思维培养的关联, 构建了基于问题解决的物理创造性思维教学模式。该教学模式体现了科学探究教学思想与研究型学习理念, 揭示了人类创造性思维教学活动的动态过程, 满足了不同个体在同一问题解决教学过程中存在的认知差异, 能够适用于多种层次的基础物理教学和大学物理课堂教学活动, 并应用该教学模式对2个创新教学案例进行了有效的诠释。

[关键词] 物理创新教学; 问题解决; 创新思维; 教学模式; 案例诠释

[中图分类号] G642.0 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-4634(2015)05-0029-06

0 引言

人类社会已进入依靠新发现、发明和创新的
知识经济时代。一个没有创新能力的民族很难屹
立于世界民族之林。能否培养出大批创造型人才
关系到中华民族的兴衰存亡。2005年钱学森教授
曾发问^[1]: 为什么我们的学校总是培养不出杰出
人才? “钱学森之问”成为中国教育界有识之士关
注的焦点, 是关于中国教育事业发展的深刻
命题, 需要教育界乃至社会各界共同破解。笔者
认为培养杰出人才的关键是培养人的创造性思
维。创造性思维是人类智慧的源泉, 是宇宙中高
级生命的主要特征。所以, 培养创新型人才, 首要
是要培养人的创新思维。

比较典型和实用的教学理论由十九世纪德国
教育家赫尔巴特提出^[2], 他“明了、联想、系统和
方法”的教学程序体现了心理学中的思维过程, 由
此发展为后来的各种教学法。另外, 由于研究者
对教育的认知差异, 不少教育家提出了不同的教
育思想与教学方式。如杜威提出了以学生发展为
中心的“从做中学”等教学思想, 布鲁纳提出了认
知结构理论并且提出了“发现教学法”^[3,4]。进入
21世纪, 基于认知心理学的教学理论丰富多彩, 已
经没有哪种教学理论能够独霸天下。目前为止,
关于创造性思维的研究通常还停留在理论探讨的

层面, 空洞的说教难以产生实际的应用效果。实
现中华民族的伟大复兴需要培养大批创造型人
才, 这就需要探索出一种具体的培养创造型人才
的具有实际应用价值的教学模式。

1 物理创造性思维分析

1.1 思维与问题解决

思维是人脑所具有的一种特有机能, 是人脑
对客观事物的本质属性和事物之间内在联系的规
律性所做出的概括与间接的反映, 思维是内化的
动作(区别于外在的行为动作)。思维的基本方式
包括: 分析与综合, 比较与分类, 抽象与概括, 归
纳与演绎, 类比等等。依据思维材料(即思维加工
的对象)不同以及脑区域活动不同, 一般认为, 人
类思维的基本形式只有三种^[5]: 形象思维、直觉
思维、抽象思维, 而创造性思维则蕴含于三种基
本形式之中。依据研究需要及不同分类方法也可
将思维分类为常规思维和创造性思维等, 创造性
思维是感性与理性的融合。

由于思维是内化的动作, 这种内化动作的操
作需要依赖于具体的对象—问题, 没有具体的问
题就不能为思维提供操作对象, 只有产生了问题
才会激发思维过程。所以, 思维发端于问题, 行
进于问题, 终止于问题。因此, 培养创新思维必
须基于

[收稿日期] 2015-01-09 **[基金项目]** 江苏省教育科学“十二五”规划2013年度立项课题(D/2013/01/048); 南通大学教学改革研究项目(2014B9)

[作者简介] 谭志中(1965-), 男, 江苏兴化人。教授, 硕士, 主要研究方向为物理教育心理学及物理教学论。

问题与问题解决的研究与创新。

众所周知,物理学是一切自然科学的基础,是一门将观察、实验和物理思维相结合的科学,同时又是一门有着严密的理论、带有方法论性质的科学。物理学在长期的发展过程中,形成了一整套研究问题和解决问题的方法,影响着人们的思想、观点和方法。从物理学科及物理思维的特点可以看出物理学科蕴含着创造性思维培养的有利因素。因此,基于物理问题解决培养学生的创造性思维能力是一个比较理想的途径与策略。通过问题的解决,不仅可以帮助学生建构知识网络,而且能够帮助学生获得解决问题的过程与方法,体验积极的情感态度与价值观,培养物理问题的解决能力和科学兴趣的形成。

1.2 物理创造性思维

创新思维是一种在现有知识的基础上,通过改变事物原有结构或将已有观念应用于新事物的思维能力。在学校教育中培养学生的创造性思维能力是教育工作者追求的目标。

物理创造性思维是指物理思维结果具有新奇性、独创性、目的性和价值性的物理思维活动^[5]。首先,思维的产品必须是新奇的和有独创的。当然,新奇、独创的标准是相对的,对于成人和儿童不同,对于学习物理者和研究物理者也不同;其次,思维的产品必须符合物理思维的目的和具有一定的价值。物理创造性思维包括两方面内容:一是重新安排、组合已有的物理知识,创造出新的知识和形象;二是突破已有的物理知识,提出崭新的见解、设想、思路、观点等^[5]。

物理问题处在物理学科背景中,与大量专门知识相联系,属于知识丰富领域问题^[6-9],这有许多与知识贫乏领域的问题解决有着不同的规律。随着物理学科问题解决的心理学研究不断深入,物理问题解决认知模式的研究已经取得了比较理想的结果。文献[9]基于现代认知心理学并兼顾传统心理学的合理因素构建了物理问题解决的认知模式,该模式体现了较强的操作性,能够有效地应用于研究型课堂教学活动。另外,创造性思维能力培养与学生个性培养是紧密相联的,文献[1]基于学生个性发展的教学理念提出了发展学术健全个性的弹性教学模式。本研究将基于以上研究成果构建一种新的物理创造性思维教学模式,为物理教师开展创造性思维教学活动提供理论与实

践依据,同时为学生开展创新实践活动提供理论指导。

1.3 物理创造性思维历史考察

历史上关于创造性思维的研究一直比较含糊与混乱,直到1945年,德国心理学家韦索默(Wertheimer)出版了名为《创造性思维》的专著,明确地提出了“创造性思维”这一概念,提出了格式塔的“结构说”及顿悟思想。1967年,美国心理学家吉尔福特(J P Guilford)提出了“智力三维结构”模型,认为创造性思维的核心是“发散思维”并由此应用于教学实践。1988年,美国耶鲁大学教授斯滕伯格运用创造力内隐理论分析法,提出了一种“创造力三维模型理论”。2000年,我国学者何克抗教授出版了《创造性思维理论—DC模型的建构与论证》,从本质上回答了一些模糊的问题。

另外,再有2012年王如平著的《创造性思维的开发与培养》,2006年胡珍生与刘奎林合著的《创造性思维学概论》等。但是,专门研究物理创造性思维的文献不多,主要有1996年田世昆与胡卫平合著的《物理思维论》,2011年祝娅著的《物理发现中的哲学和创造性思维》,这些理论研究对推动物理创造性思维教学研究发挥了积极作用。然而,物理创造性思维在教学实践中还需要澄清一些认识上的错误,基于问题解决的物理创造性思维教学模式在理论和实践方面的研究还不太理想,还需要与时俱进地构建新的理论指导实践应用。

2 物理问题解决的认知模式

所有的认识都可用过程与状态这一对范畴来描述^[9,10],即:状态1→过程→状态2,状态是指个体的认知图式(已有的知识水平与技能)。这只是对事物认识过程的宏观描述,然而对不同事物的认识却有着不同的微观过程,人们所要揭示的正是具体问题解决的复杂多变的微观过程。文献[9]基于认知心理学理论构建了适合于物理问题解决的认知模式,如图1所示。该模式结构递进,层次分明,各阶段处于动态联结之中,满足了不同认知水平的问题解决过程的实际需要,易于实际教学操作。笔者在研究型教学活动中应用该模式已经取得了不少研究成果^[11-16]。

该认知模式考虑到了物理问题解决过程的非线性特点,构造了问题解决过程的循环和交替变

化的流程,使得个体解决问题的阶段性具有渐进性和突变性。由于物理问题都是与大量专门物理和数学知识相联系的,物理问题解决通常不是简单的线性关系,有时存在顿悟情形而产生跳跃,有时存在图式激活^[9]情形而使思路清晰。显而易见,物理问题解决过程具有非线性和突变性,其所经历的阶段不是固定的。图1所示的认知模式兼容了不同个体(新手和专家)关于物理问题解决的认知过程:对专家而言通常是“有图式激活”,过程,其步骤往往是跨越式的,问题解决比较顺畅;对于新手而言通常会会出现“无图式激活”^[9]情形,需要探索“寻求解答”,问题解决过程往往经过循环反复,出现渐进性和突变性,寻求问题解答的过程呈现动态生成性。

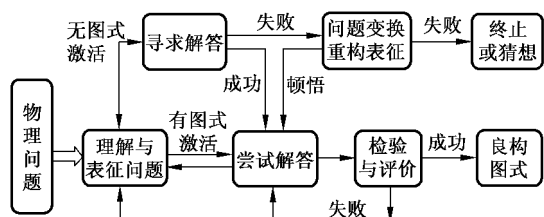


图1 物理问题解决的认知模式

有图式激活情形下的问题解决往往采用常规思维方法,因为该情形下的解题过程中使用的知识基本上是书本上给出的基础知识,可以根据已有的样例(例题)提供的步骤直接给出问题的解答。无图式激活情形下的问题解决往往需要采用创新思维,因为在该情形下书本上没有提供现成的样例,之前学习的基础知识不能直接用来解决问题,必须采用不同思路或方法。研究表明开展无图式激活情形下的问题解决教学是实现创新思维能力培养的基本手段。

3 物理创造性思维教学模式构建

所有的教学皆可用“教学准备—教学过程—教学评价”来描述。教学准备主要是明确教学目标,了解学生状况(原有的认知图式),进而创设问题情境,为教学过程做准备。教学过程可以用“状态与过程”这一对范畴来描述,而过程随不同教师的教学风格不同而不同。这些只是对教学的宏观描述,然而对不同内容的教学却有着不同的微观过程。事实上,培养学生创新思维的教学应该是一种弹性教学^[1],教学过程有弹性才有利于适应不同的教学内容与学习个体。一个好的教学模式在

于其灵活性和易于操作。

基于上述分析研究,笔者认为培养物理创新思维能力的教学主要是基于问题解决与创新。根据一般认识论的“过程论”,笔者构建了物理创新思维能力培养的教学操作流程,如图2所示。

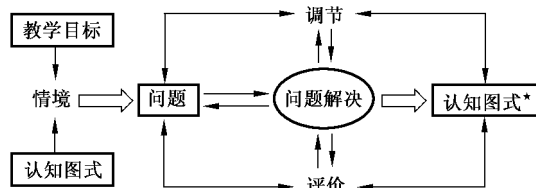


图2 创新思维能力培养的教学操作流程

物理创新思维能力培养的教学操作流程之核心要素是问题解决,其认知过程可以用图1的模式来表征,其具有非线性、多样性、灵活性、动态生成性。该教学操作流程包含了6个基本要素:教学目标、认知图式、情境、问题、问题解决、评价与调节。其中右边的认知图式*是在左边认知图式基础上的发展与进化。对这6个基本要素的理解是实施物理创造性思维能力教学活动的关键(限于篇幅,此处不再展开论述)。

4 基于教学模式的实践案例

作为对所建构的物理创造性思维教学模式的理解与应用,这里拟给出2个具体的教学实践案例。这其实是用本文构建的模式对过去创造性思维教学的案例诠释。限于篇幅所限,下列案例中笔者仅仅着重于创新思维过程的教学分析研究而略去详细的教学过程。

4.1 案例1: 大摆角单摆运动周期的创新思维教学

教学问题: 探究无阻尼单摆的动力学方程及大摆角单摆运动周期。基本条件是已知摆长为 L ,最大摆角为 θ_0 的单摆作无阻尼运动。

对于大学生而言,单摆问题已经在中学时就有了初步的认识,而之前学习的转动定理为学生推导无阻尼单摆的动力学方程奠定了理论基础。

1) 问题1的解决(推导单摆的动力学方程)。单摆受力分析如图3所示。摆球(质点)受重力 G 和细绳张力 F 作用,以悬点 O 为转动轴,单摆受到的力矩为(属于有图式激活):

$$M = -mgL\sin\theta$$

根据转动定理 $M = I\beta$ 可得到单摆的动力学方程

(化简之后):

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{g}{L}\sin\theta \quad (1)$$

式(1)就是无阻尼单摆的动力学方程。问题1得到解决。

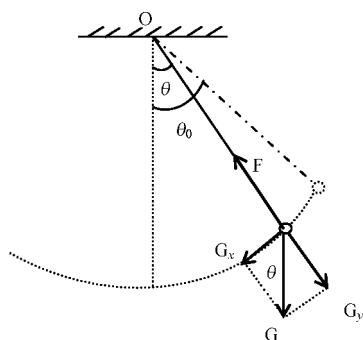


图3 单摆及其受力分析

分析: 依据图1的物理问题解决的认知模式不难发现,问题1的解决基本属于有图式激活,因为方程(1)的推导都是依据之前学习过的知识(受力分析,转动定理)。一般学生都能够回忆起这些知识(称之为有图式激活)并加以应用。

老师点拨提示,告诉学生式(1)不是一个简单的微分方程,而是一个非线性微分方程^[12],它能产生“混沌”现象,建议有兴趣的同学课后可以查阅“混沌”问题的资料。

2) 问题2的解决(推导大摆角单摆运动周期)。首先,探讨小摆角情形下单摆的运动规律。科学的近似方法。当单摆摆角比较小($\theta_0 < 5^\circ$)时,对式(1)中取近似值 $\sin\theta \approx \theta$ (属于有图式激活,属于数学上的常用方法)得

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\omega_0^2\theta \quad (\text{其中 } \omega_0 = \sqrt{g/L}) \quad (2)$$

显然式(2)是一个简单的二阶线性微分方程,由式(2)可以解得单摆的运动学方程(属于有图式激活)

$$\theta = \theta_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (3)$$

其中的幅角 θ_0 和初相位 φ_0 由初始条件确定。所以,当 $\theta_0 < 5^\circ$ 时,其相应的运动周期公式为:

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (4)$$

分析: 依据图1的认知模式不难发现,公式(3)和(4)的获得基本属于有图式激活,因为由方程(2)推导出(3)和(4)都是依据之前学习过的知识,一般学生都是能够激活原有的认知图式并加以应用。

其次探究大摆角情形下的单摆周期。为了节省课堂教学时间,老师可以直接给出一个已有的结论(不是教学的主要内容),即当单摆摆角比较大时,人们曾经得到^[12]

$$T = \frac{2T_0}{\pi} \int_0^{\pi/2} \frac{d\varphi}{\sqrt{1 - \sin^2(\theta_0/2) \cdot \sin^2\varphi}} \quad (5)$$

这是任意摆角情形下的单摆运动周期,但这一公式是用第一类椭圆积分表示的,过于繁杂不利于实际应用。一些文献将(5)采用级数展开的方法得到近似周期公式

$$T = T_0(1 + 0.25k^2) \quad (6)$$

虽然公式(6)比较简单,但是研究表明当摆角比较大时公式(6)的精确度不高。能否有比较精确的简洁的周期公式? 该问题基本属于无图式激活的问题,无图式激活的问题必然会激发思维的创新。

老师点评与调节: 为什么方程(2)的解比较简单? 能否将(1)近似为(2)但又包含最大摆角这个参数? 依据图1的认知模式,必须重新寻求解答,如果失败了就必须采用问题变换并重构表征。

引导启发,创新思维。从推导 $\sin\theta$ 的近似值入手,构建“局部常化”方法^[12]。从纯数学的角度应用二倍角公式并将其“局部常化”而推导出 $\sin\theta$ 的近似值

$$\sin\theta = 2\sin(\theta/2) \cos(\theta/2) \approx \theta \cos(\mu\theta_0) \quad (7)$$

此处取近似值 $2\sin(\theta/2) \approx \theta$,同时将变量 $\cos(\theta/2)$ 视为常量 $\cos(\mu\theta_0)$ (属于无图式激活,问题变换与重构表征)。其中 μ 是待修正的常数。将(7)代入(1)得

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\omega_0^2\theta, (\omega = \omega_0 \sqrt{\cos\mu\theta_0}) \quad (8)$$

其中 $\omega_0 = \sqrt{g/L}$,式(8)即是对动力学方程(1)的一种修正,因为式(8)同样是一个简单的二阶线性微分方程,由式(8)很容易解得单摆的周期公式

$$T_1 = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g\cos(\mu\theta_0)}} = \frac{T_0}{\sqrt{\cos(\mu\theta_0)}} \quad (9)$$

采用计算机对(9)与(5)进行曲线拟合,取得修正常数值为 $\mu = 0.496$ 。文献[12]的研究结果表明公式(9)在 $0 < \theta_0 \leq 90^\circ$ 范围内有很高的精确度。

简评: 周期公式 T_1 形式简洁, T_1 随 θ_0 的增大而增大,物理意义明确,是一种理论上的创新。该问题的思维创新点是(7)的推导。经过对该问题的研究型教学活动之后,学生从上课之前的原有认知图式经过问题解决的思维创新过程之后获得

了新的认知图式,这就是“局部常化”方法改进了学生原有的认知图式。

拓展:只要掌握了“局部常化”方法就能够开展更广范围的大摆角单摆周期的研究,如采用局部常化三倍角的方法^[13]、采用局部常化万能公式的方法^[14]等等都可以创造性地研究大摆角单摆周期。

4.2 案例2 计算等效电阻的创新思维教学

教学问题:计算图4中的三角形电阻网络的等效电阻 R_{AO} 、 R_{BC} 。

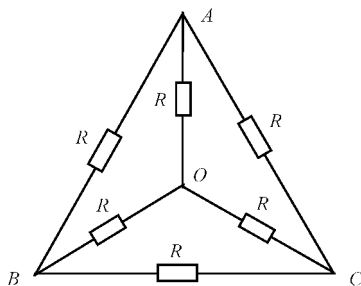


图4 一个三角形电阻网络

大学生已经学习过电阻的串联与并联及基尔霍夫定律,如果采用基尔霍夫定律(节点电流定律和回路电压定律)可以给出问题的答案,但是计算过程需要建立比较多的方程组,计算过程比较复杂,即该问题不适宜采用基尔霍夫定律。能否有比较简单的创新方法是本节课要回答的问题。

首先,考虑等效电阻 R_{AO} 的计算。

分析:依据图1的认知模式不难发现,计算等效电阻 R_{AO} 及 R_{BC} 虽然属于有图式激活(用基尔霍夫定律),但是如果要求用简单的巧妙方法计算,对于多数学生而言基本属于无图式激活情形。

在无图式激活的情形下,依据图1的认知模式去寻求解答,如果失败了就采用问题变换并且重构表征。采用问题变换与重构表征的方法,假设有恒定电流 I 从 A 点输入并且从 O 点输出,根据电路的对称性不难发现节点 B 与 C 的电位相等,所以 BC 边上的电阻中无电流通过,则可以去掉 BC 边上的电阻,因此图4可以等效为图5,由此容易计算得到 $R_{AO} = \frac{1}{2}R$ 。

其次,考虑等效电阻 R_{BC} 的计算。

相似地,在无图式激活的情形下,采用问题变换与重构表征的方法可以将图4可以等效为图6,由此容易计算得到 $R_{BC} = \frac{1}{2}R$ 。这些结论可以由文献[11]得到验证。

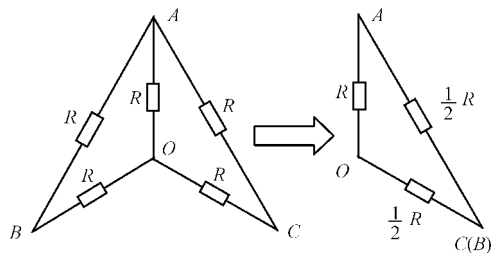


图5 三角形电阻网络的等效模型

简评:依据电路的对称性得到对称节点的电位相等,从而可以将2个等电位节点断开或者短路,都可以使问题简化。以上这些等效变换思维就是一种创新思维。这种等效变换的思维方法被纳入到学生的原有认知图式之中而使学生的认知图式获得了生长,这不仅培养了学生的创造性思维能力而且同时培养了教师的创造性思维能力。

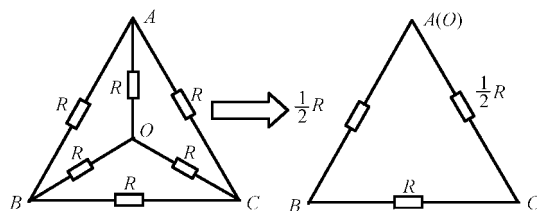


图6 三角形电阻网络的等效模型

5 总结与简评

在教学过程中,笔者通常采用常规思维开展教学活动,有利于基础知识的传授与普及,但是如果教学始终停留在常规思维中,那么学生们必然缺乏创新思维。如果一个学生始终没有体验过创新思维的过程,必然不能形成创新思维认知。所以,在正常的课堂教学活动中,教师也应该经常开展一些研究型教学活动,通过一些典型问题的解决让学生体验创新思维活动过程,从而潜移默化地获得创新能力。

创新思维能力培养研究的文章比较多,尤其是那些长期研究教育学的专家和学者对人类创造性思维能力的培养的理论研究产生了积极影响。需要指出的是,创新思维能力培养的研究应该注重理论与实践的结合,尤其需要研究者亲自经历实践创新过程,只有这样才能让学生的创造性思维教学发挥真正的应用效果。事实上,如果一个教师从来没有亲自获得过物理问题解决的创新研究成果,他给出的任何物理创新理论都将显得苍白无力。因此,只有在实践中揭示了创新思维过程

的本质,不断取得创新解题的研究成果,这样的理论才是真正有效的。本文的研究成果正是基于长期的教学实践创新研究以及创新思维理论研究而得到的总结与概括。例如,笔者在创新思维教学实践中将教学内容拓展到了科学研究之中,取得了一些比较有意义的创新研究成果^[11-16]。

事实上,本文基于物理问题解决的物理创造性思维教学模式的建构,不仅能够让教师掌握创造性思维教学的基本策略,而且为师生开展研究型教学与学习提供了理论指导,并能够对人类历史上更多的创造性物理问题解决的案例进行诠释,重演人类历史上探索科学问题的认知过程,对人类探索各种物理问题提供方法论意义。

参考文献

- [1] 谭志中. 发展学生健全个性的弹性教学模式[J]. 教学研究, 2012, 35(1): 109-122.
- [2] 叶澜, 丁证霖. 新编教育学教程[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1999: 9-10.
- [3] 钟启泉, 汪霞, 王文静. 课程与教学论[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2008: 18-20.
- [4] 陈琦, 刘儒德. 当代教育心理学[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2007: 156-176.
- [5] 田世昆, 胡卫平. 物理思维论[M]. 南宁: 广西教育出版社, 1996: 3-6.
- [6] 邢红军. 自组织表征理论: 一种物理问题解决的新理论[J]. 课程·教材·教法, 2009, 29(4): 60-64.
- [7] S 罗伯逊. 问题解决心理学[M]. 张奇, 等译. 北京: 中国轻工业出版社, 2004: 25-87.
- [8] 袁维新. 国外关于问题解决的研究及其教学意义[J]. 心里科学, 2011, 34(3): 636-641.
- [9] 谭志中, 陆建隆. 物理问题解决的认知模式构建[J]. 高等理科教育, 2011, 99(5): 7-13.
- [10] 查有梁, 谢仁根, 等. 物理教学论[M]. 南宁: 广西教育出版社, 1996: 6-7.
- [11] 谭志中, 电阻网络模型[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2011: 6-216.
- [12] 谭志中, 求大摆角单摆周期近似解的“局部常化”方法[J]. 大学物理, 2005, 24(12): 14-17.
- [13] 谭志中, 用局部常化三倍角公式研究单摆周期[J]. 大学物理, 2005: 26(11): 25-33.
- [14] 谭志中, 杨建华. 局部常化三角函数的万能公式研究单摆周期[J]. 南通大学学报, 2013, 12(6): 90-94.
- [15] Tan Zhi-zhong, Zhou Ling, Yang Jian-hua. The equivalent resistance of a $3 \times n$ cobweb network and its conjecture of an $m \times n$ cobweb network [J]. Journal of Physics A: Mathematical and theoretical, 2013, 46: 1-12.
- [16] Tan Zhi-zhong, J W Essam, F Y Wu. Two-point resistance of a resistor network embedded on a globe [J]. Physical Review E, 2014, 90: 1-7.

Constructing a teaching mode of creative thinking based on solving physical problems

TAN Zhi-zhong¹, LU Jian-long²

(1. Department of Physics, Nantong University, Nantong, Jiangsu 226019, China

2. College of Teacher Education, Nanjing Normal University, Nanjing, Jiangsu 210097, China)

Abstract The solving process is a generative process of ability and intelligence. From the view of educational psychology, this paper analyzes the typical cognitive model of physical problem solving process, discusses the relationship between the physical characteristics and the creative thinking training, constructs a creative thinking mode in physics teaching based on problem solving. The teaching mode embodies the concept of scientific inquiry teaching and research study, actually reveals the dynamic process of human creative thinking teaching via solving problem and satisfies the cognitive difference existed in the teaching process of different individuals solving the same problems, can be applied to a variety of levels of college physics classroom teaching. We annotates two cases of innovative teaching by the innovative teaching mode.

Key words physical teaching; problems solving; creative thinking; teaching mode; cases annotation