

## 大中衔接

基于 ETA 物理认知模型的物理解题法的应用  
——以一道力学竞赛题为例

王 珍 吴晓明 陶文焕 李梦丽

(合肥市第一中学, 安徽 合肥 230000)

**摘 要** 应试教育中的机械刷题训练了学生的应用的能力,但是缺乏对探索能力的训练。基于 ETA 物理认知模型上的 ETA 物理解题法将题目变成了一个可以研究的课题,解题的过程也是科研的过程,能够同时训练科学认知、科学方法、科学精神,真正实现了教、学、考、研的统一。本文通过以 ETA 物理解题法分析一道力学竞赛题来说明 ETA 物理认知模型在物理解题方面的优势。为学生将来更好地将 ETA 应用于科学研究、人工智能等其他领域做铺垫。

**关键词** ETA; 物理认知模型; 解题法; 力学

**DOI:** 10.27024/j.wlygc.2025.08.30.04

APPLICATION OF PHYSICS PROBLEM SOLVING METHOD BASED ON  
ETA PHYSICAL COGNITIVE MODEL: TAKING A  
MECHANICS COMPETITION QUESTION AS AN EXAMPLE

WANG Zhen WU Xiaoming TAO Wenhuan LI Mengli

(Hefei No. 1 High School, Hefei, Anhui 230000)

**Abstract** Mechanical problem-solving training in exam-oriented education cultivates students' application abilities but lacks training in exploration skills. The ETA Physics Problem-Solving Method, based on the ETA Physics Cognitive Model, transforms problems into research topics. The process of solving problems is also a scientific research process, which can simultaneously train scientific cognition, scientific methods, and scientific spirit, truly achieving the unification of teaching, learning, examination, and research. This paper illustrates the advantages of the ETA Physics Cognitive Model in problem-solving by analyzing a mechanics competition problem using the ETA Physics Problem-Solving Method, laying the foundation for students to better apply ETA in scientific research, artificial intelligence, and other fields in the future.

**Key words** ETA; physical cognitive model; problem-solving method; mechanics

收稿日期: 2025-08-30; 修回日期: 2025-09-10; 出版日期: 2026-05-20

基金项目: 合肥市教育科学规划课题“科学教育视域下高中物理拔尖创新人才培养的实践研究”(课题立项编号: HJG25246); 安徽省高等学校省级质量工程项目大中小学课程思政一体化示范课程“热学-高中物理”(课题立项编号: 2024dzxkc073); 2025 年教育部高等学校物理课程教学指导委员会大中物理教育衔接委员会教学研究课题(项目编号: WX202542)。

通信作者: 王珍, 328589794@qq.com。

引文格式: 王珍, 吴晓明, 陶文焕, 等. 基于 ETA 物理认知模型的物理解题法的应用——以一道力学竞赛题为例[J]. 物理与工程, 2026, 36(3): 245-249, 256.

Cite this article: WANG Z, WU X M, TAO W H, et al. Application of physics problem solving method based on ETA physical cognitive model: Taking a mechanics competition question as an example[J]. Physics and Engineering, 2026, 36(3): 245-249, 256. (in Chinese)

## 1 ETA 物理认知模型简介

ETA 物理认知模型,是用来描述与指导物理认知过程的一种模型,由北京大学穆良柱教授提出<sup>[1-3]</sup>。该模型把完整的物理认知过程精准地划分为三个依次递进又相互关联的认知层次。整个认知模型的框架如图 1 所示。

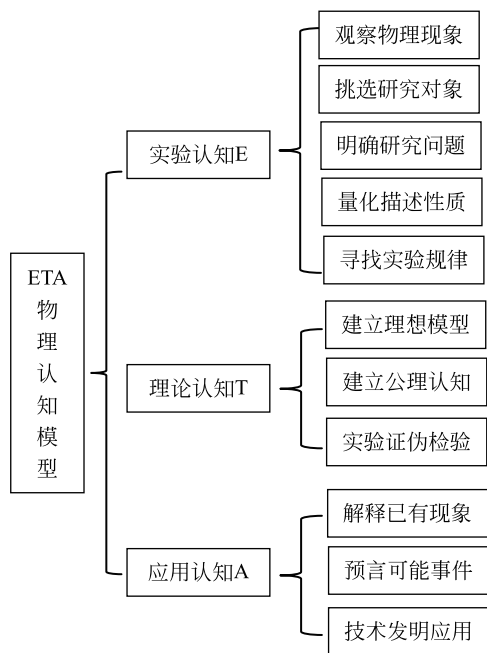


图 1 ETA 物理认知模型框架图

## 2 ETA 物理解题法

建立在 ETA 物理认知模型基础上的一种解题方法便称之为 ETA 物理解题法。该方法不同于一般的解题方法,一般解题将各种题型分成若干个模块,然后分门别类依次掌握,需要大量不一样的套路去解决各式各样的问题,总的来说具体问题具体对待。耗时间、耗精力,且效率低下。ETA 物理解题的优势点在于通过构建各个物理概念间的关系网络,可以更加高效、精确地处理各种物理问题。一方面不仅可以实现教、学、考的一致性,另一方面还可以克服“应试教育”带来的一些弊端,在帮助学生取得更好的考试成绩的同时,也会使他们在接触 ETA 模型过程中被潜移默化。学生长期接触 ETA 物理解题模式后,就可以从被迫接受形成主动的自我生成模式。

## 3 ETA 物理解题法具体流程

### 3.1 观察物理现象

学生对于描述的现象有一个初步的认识,在脑海中形成一张图片,观察到的现象根据问题的描述也许还在不断变化,需要观察者能不断调整,将观察到的现象根据描述场景的变换而逐渐形成一幅幅关键的画面,然后把这些画面像播放电影一样形成物理现象,例如叠放在一起的平衡的小球、匀变速直线运动的汽车、斜抛出去的炮弹、在弹簧弹力和滑动摩擦力双重作用下而逐渐停下来的小滑块等等。

### 3.2 挑选研究对象

物理现象一定是由单个或者多个研究对象组成的,清晰挑选所需要的研究对象十分重要。对象即主角,描述的主角是一个人、一根绳、还是一颗子弹亦或者一个神奇的小物块、带电体等等。尤其是出现多个对象时,可能需要随着研究问题的变化而不断切换研究对象。研究对象选的不好,会使得问题的解决变得繁琐不堪甚至直接解决不了所要研究的问题。

### 3.3 明确研究问题

观察者敏锐地将观察到的现象具体分类,是力学、电磁学、热学、光学、原子物理等哪一个模块的内容,对于具体的一个物理题目来说,需要具体研究该分支是哪一方面甚至是哪一个点的问题。这一部分是有一定困难的,因为这个过程其实是将已有的问题现象和自己已经掌握的数据库进行匹配,这一步想要完善,需要不断的全面的学习每一块知识,并且要将自己储备的数据库不断丰富、更新,这样才能真正地明确问题的研究。

### 3.4 量化描述性质

物理的学习首先从物理概念和物理量的认识开始,所以对于量化描述性质需要分两步完成,第一步将题目给出的物理量进行量化描述,例如质量多少、时间长短、加速度的大小、力的作用大小以及力的变化情况等这些在题目中已经明确给出的量化描述。第二步,初步思考为了解决问题还要量化哪些性质的物理量,也就是需要自己挖掘的量化物理量,这一部分根据题目设置的难度而有所不同,如果情境问题设置的比较简单的话,再挖掘少数几个物理量即可,但是情境问题如果设

置比较复杂的话,往往要设置十多个量化的物理量,而且这些物理量可能还是递进关系被逐步引出来的。所以,量化描述性质的第二步是灵活多变的,简单的题目可以直接在第一步完成后给出,复杂的题目可以边思考边给出缺乏的量化描述。

### 3.5 寻找实验规律

尽管通过题目的梳理可以确定到某一个较小范围的实验规律,例如刚体力学之平面平行运动、电磁学之高斯定理求电场强度等。看似轻松,实则变化多端,因为对于初等问题来说,实验规律寥寥几个,解决问题比较简单。而随着学习的深入,难度的增加,实验规律往往呈现出多模块相交叉,例如带电体的简谐振动,基于相对论的电磁学规律等。所以实验规律越是全面,问题的解决越是方便。

### 3.6 建立理想模型

物理学在解决问题过程中,抓住主要因素,忽略次要因素,从而构建出解决问题的理想模型,这为解决带来方便,然而随着研究问题的深入,理想模型也会随之变得复杂,例如力学部分一开始建立质点模型,因为物体的形状和大小对所研究的问题的影响可以忽略。然而随着学习的不断深入,我们发现,对于某些问题,物体的形状不可忽略,所以建立了比质点稍微复杂的理想模型——刚体。再如一开始接触电场中的库仑定律等内容建立类似于质点的点电荷概念。然而学习到电场的高斯定理时又需要考虑带电物体本身形状对场的影响,从而建立的理想模型如均匀带电球,无限大均匀带电板等。再如简谐振动这一理想模型在形式上简单明了,但有些问题需要在此基础上研究线性阻尼振动以及受迫振动这些更为复杂的理想模型。需要注意,尽管随着研究问题的深入,理想模型也会变得更加复杂,但仍然需要我们建立理想模型,因为这些模型和实际的物理现象还是会或多或少有一定的出入。我们的周边充满着空气,抽气机也无法完全抽成绝对的真空,所以在一定问题情境下建立合适的理想模型显得尤为重要。

### 3.7 建立公理认知

这一部分至关重要,这是对前面所有信息的一个整合与延伸,有着承前启后的作用,这个过程可能会有多条途径将问题解决,到了这一步,就到了问题解决的核心步骤,利用已有的概念规律推

导需要的结果,有时还需要结合微积分、矩阵等复杂的数学知识才能顺利解决问题,需要较强的综合能力。

### 3.8 实验证伪检验

这一步是对前文的检查,这种实验可以是真实的实验,也可以是脑海中的理想实验,用到的方法也比较广泛,例如量纲分析结果正确的可能性,极限法或者举例特殊值法的应用对于结果某一个特定的情境进行实验证伪。总之,这一部分也是相当重要的。因为实验是检验真理的一个标准。只有理论这只脚往前走往往是不稳的。

### 3.9 解释已有现象

如果后续解题需要用到之前已经出现过的解题思路,可以进行简述、跳跃甚至直接同理可得,这样做可以大大节省了相似问题的重复叙述,以便于更快地解答问题。

### 3.10 预言可能事件

如果现实中有不一样但可能相关联的问题,可以尝试采用现有的理论体系去预测可能发生的事件。

### 3.11 技术发明应用

如果题目的理论与相应的技术发明相关,可以结合实际情况,采用理论分析或者实验操作去得到相应的技术发明应用。

以上便是利用 ETA 解决物理问题的较为重要的理论框架,ETA 不仅在解题方面优势突出,在分析其他问题上也有着明显的优势,这种比较完善的分析方法对于人的培养是很有帮助的。

## 4 ETA 物理解题法展示

为了将 ETA 在解题方面的优势体现清楚,本文以第 35 届全国物理竞赛的一道复赛题的前两问为例,来看看其具体应用。

如图 2 所示,一质量为  $M$ 、长为  $l$  的匀质细杆  $AB$  自由悬挂于通过坐标原点  $O$  点的水平光滑转轴上(此时,杆的上端  $A$  未在图中标出,可视为与  $O$  点重合),杆可绕通过  $O$  点的轴在竖直平面(即  $x$ - $y$  平面,  $x$  轴正方向水平向右)内转动; $O$  点相对于地面足够高,初始时杆自然下垂;一质量为  $m$  的弹丸以大小为  $v_0$  的水平速度撞击杆的打击中心(打击过程中轴对杆的水平作用力为零)并很快嵌入杆中。在杆转半圈至竖直状态时立即撤除转

轴。重力加速度大小为  $g$ 。

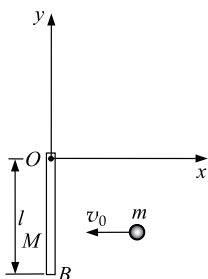


图2 例题示意图

(1) 求杆的打击中心到  $O$  点的距离；

(2) 求撤除转轴前，杆被撞击后转过  $\theta$  ( $0 \leq \theta < \pi$ ) 角时转轴对杆的作用力；

按照 ETA 物理解题模式分析如下。

#### 4.1 观察物理现象

本题是弹丸水平撞击杆后一起绕轴转动的问题，本质上是力学中的一个比较重要的模型——刚体。一方面涉及完全非弹性碰撞，隶属于动量守恒模块，另一方面杆摆起来的过程来源于生活中的荡秋千模型，给秋千上的人一个初速度，该情境和舒幼生《力学》<sup>[4]</sup>第166页例12，一匀质细杆可绕端点自由摆动，从水平位置静止释放，当摆动角度为  $\theta$  时转轴提供的支持力，有着相似的物理情境。本质上均属于刚体定轴转动模块。

#### 4.2 挑选研究对象

从现象的描述可以明显地看到研究对象是匀质细杆、弹丸、转轴，因是在竖直面内的转动问题，所以地球也应作为研究对象考虑进去。

#### 4.3 明确研究问题

从已给两个问题中看出需要研究刚体力学以及运动学问题，显然这两问是递进式问法，为了简单起见，先明确研究(1)中的力学问题，找到距离后再研究(2)中的刚体定轴转动的动力学问题。

#### 4.4 量化描述性质

题中已经给出一些物理量进行量化，例如匀质细杆的质量  $M$ ，长度  $l$ ，弹丸质量为  $m$ ，初速度为  $v_0$ ，还需要假设打击中心位置距转轴距离为  $L$ ，水平外力  $F$  作用于打击中心后杆的角加速度为  $\beta$ ，杆的质心加速度的水平分量为  $a_x = \frac{l}{2}\beta = \frac{3FL}{2Ml}$ ，碰撞后带弹丸的杆的质心位置与  $O$  点的距离为  $L_c$ ，在碰撞后的瞬间，杆转动的角速度为  $\omega_0$ ，

带弹丸的杆的转动惯量为  $I$ ，杆被撞击后转过  $\theta$  角时，角速度为  $\omega$ ，转轴对杆的作用力的  $x$  分量和  $y$  分量分别为  $N_x$  和  $N_y$ ，以及质心加速度的  $x$  分量  $a_{cx}$  和  $y$  分量  $a_{cy}$ 。

#### 4.5 寻找实验规律

质心运动定理

$$F_{\text{合外}} = ma_c \quad (1)$$

刚体定轴转动定理

$$M = I\beta \quad (2)$$

机械能守恒定律

$$E_1 = E_2 \quad (3)$$

#### 4.6 建立理想模型

弹丸因其大小和形状对研究问题的影响可以忽略而看成了质点，匀质细杆因有一定形状但形变忽略不计而看成刚体。光滑转轴为后续机械能守恒做铺垫。这正是因为研究问题的需要而针对不同对象建立了理想化模型。

#### 4.7 建立公理认知

第(1)问公理认知过程如下：

刚体定轴转动定理

$$FL = \frac{1}{3}Ml^2\beta \quad (4)$$

得

$$\beta = \frac{3FL}{Ml^2} \quad (5)$$

在弹丸撞击杆后的瞬间，杆的质心加速度的水平分量为

$$a_x = \frac{l}{2}\beta = \frac{3FL}{2Ml} \quad (6)$$

由质心运动定理有

$$F = Ma_x \quad (7)$$

由此得，杆的打击中心到  $O$  点的距离为

$$L = \frac{2}{3}l \quad (8)$$

第(2)问公理认知过程如下：

弹丸与杆的碰撞过程满足动量守恒

$$mv_0 = (M + m)v \quad (9)$$

解得

$$v = \frac{mv_0}{M + m} \quad (10)$$

又由于

$$(M + m)L_c = \frac{1}{2}Ml + mL \quad (11)$$

即

$$L_c = \frac{4m + 3M}{6(M + m)}l \quad (12)$$

在碰撞后的瞬间,杆转动的角速度为

$$\omega_0 = \frac{v}{L_c} = \frac{6mv_0}{(4m + 3M)l} \quad (13)$$

带弹丸的杆的转动惯量为

$$I = \frac{1}{3}Ml^2 + m\left(\frac{2}{3}l\right)^2 = \frac{1}{9}(3M + 4m)l^2 \quad (14)$$

在杆从垂直位置转过  $\theta$  ( $0 \leq \theta < \pi$ ) 角的过程中,系统的机械能守恒,有

$$\frac{1}{2}I\omega_0^2 = \frac{1}{2}I\omega^2 + (M + m)gL_c(1 - \cos\theta) \quad (15)$$

解得

$$\omega^2 = \omega_0^2 - \frac{2(M + m)gL_c(1 - \cos\theta)}{I} \quad (16)$$

代入上式得

$$\omega = \sqrt{\frac{36m^2v_0^2}{(4m + 3M)^2l^2} - \frac{3g}{l}(1 - \cos\theta)} \quad (17)$$

另一方面,杆由初始位置转过  $\theta$  角时,由刚体定轴转动的动力学方程有

$$(M + m)gL_c \sin\theta = I\beta' \quad (18)$$

式中  $\beta'$  是重力矩产生的角加速度。

由此得

$$\beta' = \frac{(M + m)gL_c \sin\theta}{I} = \frac{3g}{2l} \sin\theta \quad (19)$$

此时质心加速度的  $x$  分量  $a_{cx}$  和  $y$  分量  $a_{cy}$  分别为

$$a_{cx} = L_c\beta' \cos\theta + L_c\omega^2 \sin\theta \quad (20)$$

$$a_{cy} = L_c\omega^2 \cos\theta - L_c\beta' \sin\theta \quad (21)$$

由质心运动定理有

$$N_x = (M + m)a_{cx} = (M + m)L_c(\beta' \cos\theta + \omega^2 \sin\theta) \quad (22)$$

$$N_y = (M + m)(g + a_{cy}) = (M + m)[g + L_c(\omega^2 \cos\theta - \beta' \sin\theta)] \quad (23)$$

联立式(12)(17)(19)(22)(23)解得

$$N_x = \frac{(4m + 3M)g}{4}(3\sin\theta \cos\theta - 2\sin\theta) + \frac{6m^2v_0^2}{(4m + 3M)l} \sin\theta \quad (24)$$

$$N_y = (M + m)g + \frac{6m^2v_0^2}{(4m + 3M)l} \cos\theta + \frac{(4m + 3M)g}{4}(3\cos^2\theta - 2\cos\theta - 1) \quad (25)$$

#### 4.8 实验验证检验

第(1)问从结果量纲上看是没有问题的,为了检验中间计算有无问题,在第2问中,弹丸和杆组成的系统碰撞瞬间(选择  $O$  为参考点)角动量守恒,即  $I\omega_0 = \frac{2}{3}mv_0l = mv_0L$  得到  $L = \frac{2}{3}l$ ,与前面一致,说明计算没有问题。第(2)问的结果取  $\theta = 0$ ,代入并可轻松验证没有问题,那么结果的可信度又增加了几分。

#### 4.9 解释已有现象

从求解过程可以看出,由于第(1)问已经给出质心运动定理的表达式,所以第(2)问再次用到该定理时,并没有再给出质心运动定理的方程,而是直接得到应有的结果。

#### 4.10 预言可能事件

生活中的棒球比赛,如果击球位置不合适,手会感觉到比较大的反震力。那么棒球击打在球棒上什么样的合适的位置,手几乎感觉不到反震力呢?通过本道例题的推演,可以预测棒球撞击到球棒上的位置距离握球棒的手大约为棒长的  $2/3$  时,手几乎感觉不到反震力。

### 5 结语

应试教育中为了提高分数,大量的机械刷题训练了学生的应用的能力,但是缺乏探索能力的训练。按照 ETA 解题法,题目就变成了一个可以研究的课题,解题的过程也是科研的过程,能够同时训练科学认知、科学方法、科学精神,真正达到了素质教育的要求,教和学也是培养同样的素质<sup>[5]</sup>。

由于科学认知规律具有系统性与普适性,ETA 物理解题法可以让学生不再花大量时间与精力机械刷题,大大提高了学生的学习效率。ETA 物理解题法真正实现了教、学、考、研的统一。

#### 参 考 文 献

- [1] 穆良柱. 什么是物理与物理的认知过程[J]. 大学物理, 2018, 37(1): 21-24.
- MU L Z. What is physics and the cognitive process of physics[J]. College Physics, 37(1): 21-24. (in Chinese)
- [2] 穆良柱. 什么是 ETA 物理认知模型[J]. 物理与工程, 2020, 30(1): 29-33.

(下转第 256 页)

动势大小由哪些物理量决定。

#### 4.5 教学启示

通过对物理试题的深度教学研究,跳出“就题论题”的窠臼,系统性反思物理教学,培育学生物理学科核心素养。将数值模拟软件融入习题教学,以动态可视化的方式,将抽象的物理公式转化为直观生动的物理图像,从而跨越从抽象思维到具体认知的鸿沟,重塑了学生的认知路径。运用大学物理中的知识、方法来解决问题,有效衔接大、中学物理知识,引导学生从“解题”转向“探究”,为培养创新拔尖人才打下坚实的基础,实现了从知识传授到能力塑造的转变。

#### 参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准日常修订版(2017年版 2025年修订)[S]. 北京:人民教育出版社,2025:53-54.  
Ministry of Education of the People's Republic of China. General High School Physics Curriculum Standard (2017 Edition, Revised 2025) [S]. Beijing: People's Education Press,2025:63-64. (in Chinese)
- [2] 段石峰. 2024年高考湖南省物理卷压轴题“质心法”的研究[J]. 物理教学,2025,47(7):60-63.  
DUAN S F. A study on the “Center of Mass Method” for the final question of the 2024 college entrance examination physics paper in Hunan Province[J]. Physics Teaching, 2025, 47(7): 60-63. (in Chinese)
- [3] 郭威. 探析物理试题价值,追踪科学思维进阶——以2025年T8物理联考选择题第10题为例[J]. 物理教师,2025,46(6):88-91.  
GUO W. Analyzing the value of physics questions and tracing the progression of scientific thinking[J]. Physics Teacher, 2025, 46(6): 88-91. (in Chinese)
- [4] 陈林桥. 基于教材文本“接着讲”,促进学生深度学习[J]. 物理教师,2023,44(12):40-41.  
CHEN L Q. “Carrying On” based on textbook content to promote students' deep learning [J]. Physics Teacher, 2023, 44(12): 40-41. (in Chinese)
- [5] 彭前程,黄恕伯. 普通高中教科书物理选择性必修第一册[M]. 北京:人民教育出版社,2019:13-14.  
PENG Q C, HUANG S B. Physics for general high school textbook: Selective compulsory Volume 1 [M]. Beijing: People's Education Press, 2019: 13-14. (in Chinese)
- [6] 舒幼生. 力学[M]. 北京:北京大学出版社,2005:166-200.
- [7] MU L Z. What is ETA physical cognitive model[J]. Physics and Engineering, 2020, 30(1): 29-33. (in Chinese)
- [8] 穆良柱. 什么是ETA物理教学法[J]. 物理与工程,2020,30(2):32-36.  
MU L Z. What is ETA physics teaching method[J]. Physics and Engineering, 2020, 30(2): 32-36. (in Chinese)
- [9] 舒幼生. 力学[M]. 北京:北京大学出版社,2005:166-200.
- [10] SHU Y S. Mechanics [M]. Beijing: Peking University Press, 2005: 166-200. (in Chinese)
- [11] 穆良柱. 什么是ETA物理解题法——素质与应试的统一[J]. 物理与工程,2024,34(6):5-12.  
MU L Z. What is ETA physics problem-solving method—the unity of quality and test taking[J]. Physics and Engineering, 2024, 34(6): 5-12. (in Chinese)