DOI：10.19789/j.1004-9398.2022.06.014
文献引用：童大振，潘苏东，包雷．“功和机械能”前概念研究进展[J]．首都师范大学学报（自然科学版），2022，43（6）：89-96. TONG D Z，PAN S D，BAO L. A review of the preconceptions of “work and mechanical energy”[J]. Journal of Capital Normal University（Natural Science Edition），2022，43（6）：89-96.

“功和机械能”前概念研究进展*

童大振[1,2]，潘苏东[1]，包　雷[2**]

（1. 华东师范大学教师教育学院，上海　200062；2. 美国俄亥俄州立大学物理学院，俄亥俄州 哥伦布　43210）

摘要：在建构主义教学视角下，前概念作为新知识的建构基础，具有举足轻重的作用，受到了国际科学教育界的持续关注．从前概念、测评工具以及概念转变的教学策略3个方面对功和机械能概念的研究进行梳理．研究显示，学生关于功和机械能前概念的理解主要集中在基本定义、大小、正负（方向）和变化量等方面．为了测量功和能量的前概念，研究者开发了能量和动量概念调查表、能量概念清单和能量概念评估表等测评工具；针对学生的前概念，主要有认知冲突型和脚手架型2种建构主义教学策略来促进学生的概念转变．通过对功和机械能前概念的系统梳理，能够为该主题和其他前概念的深入研究提供借鉴，从而为素养时代物理观念的培养带来有益启示．

关键词：功；机械能；前概念；建构主义；物理观念
中图分类号：G633.7

A review of the preconceptions of “work and mechanical energy”*

TONG Dazhen[1,2]，PAN Sudong[1]，BAO Lei[2**]

（1. College of Teacher Education，East China Normal University，Shanghai　200062；
2. Department of Physics，Ohio State University，Columbus Ohio　43210）

Abstract：From the perspective of constructivism teaching，preconceptions play an important role and have attracted the continuous attention of the international science education community as the construction basis of new knowledge. The research on the preconceptions of work and mechanical energy is reviewed and summarized in three main areas，including preconceptions，evaluation tools and teaching strategies of concept transformation. It is found that students’ understanding of preconceptions of work and mechanical energy has commonly existing difficulties among on the basic definition，size，positive and negative（direction）and variation. For effective measurement of these preconceptions for work and energy，researchers developed a variety of assessment tools such as energy and momentum concept survey，energy concept inventory，energy concept assessment. For students’ preconcepts，there are mainly two constructivist teaching strategies with emphasis on cognitive conflict and scaffolding to promote students’ concept transformation. Through the systematic combing of the preconcepts of work and mechanical energy，it can provide references for in-depth research on this topic and other preconcepts，so as to bring beneficial enlightenment to the cultivation of physical concepts under the

收稿日期：2021-12-27
* 国家留学基金委2021年度国家建设高水平大学公派研究生项目（留金选[2021]70）
** 通信作者：bao.15@osu.edu

current emphasis of science literacy.

Keywords: work; mechanical energy; preconceptions; constructivism; physical concepts
CLC: G633.7

0 引 言

建构主义知识观、学习观和教学观作为重要的课程教学理念,是当今被广泛接受的重要学习模型,其以人类历史的长时间视点和人类实践的宽维度关照阐述了知识和学习的建构性特点,并解释了知识的生产和学习何以可能[1].建构主义认为,学习不是由教师把知识简单地传递给学生,而是由学生主动对已有知识体系不断进行再创造、再加工,以获得新的理解和意义的过程.由此可知,建构必须以学生原有的知识和经验为基础,将其作为知识的生长点,通过新旧经验的相互作用生长出新知识.所以,为了促进学生进行深度学习,教师需要了解学生把什么知识带入课堂,在此基础上,教师需要从学生的视角来理解学生的学习困难,这样才能有助于有效教学的实现.

在国际科学教育领域,通常将学生在进入教室前已具备的解释客观现象的经验和知识称为"前概念".由于直接经验、日常生活语言和隐喻、同伴文化以及传播媒体等因素的影响,学生的前概念中有些是与科学概念大体一致的,而有些则与科学概念相悖,这些与科学理解相悖的前概念通常称为"迷思概念"[2-5].由于迷思概念具有情境依赖性和碎片化等特点,所以迷思概念的转变并非只是科学概念的简单替代,相反,要使学生对科学概念产生深刻理解,必须将学习植根于其生活经验之上[6].因此,对学生迷思概念的系统研究可以为理解学生生活经验特性、追求科学概念个人意义提供重要信息[7].

鉴于前概念是学生理解新知识的起点,是重要的教学、教师培训资源,所以开展前概念研究对学生成长和教师发展均有促进作用.自20世纪70年代,国际科学教育领域开始关注学生的前概念研究.就物理教育而言,主要涉及力学[8]、电磁学[9]、光学[10]、热学[11]、波和声[12]等主题的前概念研究.对每个主题前概念的研究往往围绕3个相互关联的研究方向展开:识别和分析学生的概念理解困难,如对简单电路迷思概念的梳理[13];开发评估前概念的工具,如能量和动量概念调查表[14];发展概念转变教学策略,如使用桥梁类比和锚定直觉来转变学生的前概念[15].由于在国内高中物理教育中,功和机械能是学习的重点、难点,在高中物理课程中具有重要地位.因此,本研究选取国际物理教育界对"功和机械能"前概念的研究进行综述,希望能够厘清功和机械能的迷思概念,为该主题及其他主题的教学、评估和概念转变提供启示,从而为素养时代物理观念的培养助力.

1 功和机械能的前概念

功和机械能的前概念主要可归纳为对基本定义、大小、正负或方向、变化量等方面的理解.由于机械能是一个复合概念,为了较为透彻地梳理功和机械能主题下的前概念,本文将从功、势能、动能和机械能4个维度进行逐一分析.

1.1 功的前概念

首先,在功的基本定义方面,从其定义式$W=\boldsymbol{F}\cdot\boldsymbol{S}$出发,可以归纳为3种误解.(1)做功过程中"力"的误解.功定义式中的力必须为恒力,在变力情境下不能直接带入公式计算.学生在解题时常常不区分恒力和变力情况,均直接用功的定义式进行计算[16].(2)做功过程中"位移"的误解.此处的"位移"是指力的作用点的位移,而非物体质心的位移[17].当物体可以看成质点时,二者在数值上是相等的;而当物体不可以看成质点时(如发生形变的物体),学生仍然将质心的位移带入求功,就会导致错误.(3)做功过程中"夹角"的误解.学生容易直接套公式进行计算,忽略力与位移夹角的影响[18].如Singh和Rosengrant[14]对3 000余名学习基于微积分物理和代数物理的大学生进行前后测试,并对部分参加测试的学生志愿者进行访谈,对于题目:一颗卫星绕地球做匀速圆周运动,卫星仅受地球的引力.请问当卫星在轨道上从A点运动到B点(非同一点)时,地球引力对卫星做的功为多少.有部分同学因没意识到力和位移之间的夹角是90°,得出了做功为非零的错误答案.

其次,在做功路径与力的种类关系上学生也存在误解.摩擦力等非保守力做功与路径有关;重力、弹力、电场力和磁场力等保守力(又称为守恒力)做功与路径无关.有些学生不能正确区分非保守力和

保守力,而错误地认为二者做功均与运动路径有关,或者做功均与运动路径无关.如Demirci等[19]对土耳其巴尔克西尔市7所高中的284名11年级学生进行调查表明:学生认为运动路径越长,保守力做过的功也越多,物体所获得的动能就越大.

最后,在做功正负(方向)方面,可将学生的前概念按照做功过程中力的大小分为2种情境.第一,单力做功的情境.学生在判断做功正负时,会认为摩擦力方向与运动方向相反,所以摩擦力总是做负功[20].另外,学生会被坐标系误导,认为重力总是沿着Y轴的负方向运动,因此重力总是做负功.Loverude等[21]调查显示,在判断功的正负号时,学生有依赖坐标系的倾向.有的同学甚至认为:“实际上不存在负功,因为用来计算功的位移取决于选择放置坐标轴的位置.” Tanel(Z)和Tanel(R)[22]的研究也证明了这一点,在学生的认知中,物体在重力的作用下位移方向总是沿着Y轴的负方向,所以认为重力总是做负功.第二,多力做功的情境.学生会误认为由于力和位移都是矢量,其乘积——功也是矢量.所以,多力做功之和等于各力所做功的矢量和.

1.2 势能的前概念

在运动学中,势能主要研究重力势能和弹性势能,其前概念涉及基本定义、大小、正负和变化量4个方面.

第一,势能的基本定义方面.关于重力势能的定义,学生仅仅从“重力”的字面意思考虑,认为有重力就有重力势能,重力越大则重力势能也越大[23];另外,学生把动能和重力势能混淆,认为速度越大重力势能也越大.至于弹性势能,学生会错误地认为弹性势能是弹簧特有的,其他物体不具有弹性势能.

第二,势能的大小方面.对于重力势能的大小,学生会错误地认为重力势能仅取决于物体所处的高度或者物体的质量,是一个固定值.而对于弹性势能大小,学生会错误地认为弹性势能的大小是由弹簧的长度决定的,弹簧越长弹性势能越大.如Liu和Fang[23]通过课堂观察,学生总是错误地认为:弹簧的弹力总是做负功,弹簧的弹性势能是由弹簧的长度决定的.对此进行原因分析,造成这些前概念的部分源头在于美国现行的第14版物理教科书中将有关弹性势能的表达式写成:$U_{1-2}=-(\frac{1}{2}ks_2^2-\frac{1}{2}ks_1^2)$,该式中的负号和形变位置($s$),学生误认为是弹簧长度,对学生正确理解弹性势能产生了较大干扰.

第三,势能的正负方面.关于重力势能的正负,学生会误认为重力势能是一种能量,不可能<0.产生这种误解的原因在于学生没能理解重力势能的大小、正负与参考面的选取有关,具有相对性.如许桂清和Bao[24]对中国212名高一学生和美国97名大学一年级学生调查显示:有近半数的中美学生均认为重力势能是一种能量,不可能<0;另外,36%的中国学生和24%的美国学生认为重力势能大小与参考面的选择无关.至于弹性势能的正负,学生会错误地认为弹簧在拉伸时的弹性势能为正,在压缩时弹性势能为负,或者与之相反的前概念.

第四,势能的变化量方面.对于重力势能的增减,学生会误认为物体运动的路径越长,重力势能变化的也越多[14].产生这种误解的原因在于学生没能理解重力是保守力,其做功多少与运动路径无关.关于弹性势能的增减,学生存在2种误解:忽略弹簧弹力为变力,不能直接用做功公式进行计算,因此,误认为物体对弹簧做的功与弹簧的压缩量成正比;不清楚弹簧的弹性势能改变量与运动过程无关,只与初末位置有关.

1.3 动能的前概念

动能的前概念涉及基本定义、大小、方向和变化量4个方面,其中有关动能大小的前概念研究较多且深入.

在动能的基本定义方面,学生有时将动能与速度、机械能概念等同.对于动能的方向问题,由于速度是矢量,学生错误地认为动能也是矢量,既有大小,又有方向[22].而关于动能的变化量,学生主要存在2种误解:一种是误认为物体运动的路径越长,获得的动能越大[19];另一种是混淆动量守恒和动能不变的条件,认为动量守恒,动能也不变[25].

在动能的大小方面,在比较物体的动能大小时,学生会错误地用“补偿论证”,即物体的质量小,如果其速度比较大的话,那么动能也较大,这是因为速度是以平方的形式在动能表达式中出现的,而质量是一次方的形式出现的.因此,学生会误认为速度对动能大小的影响起决定性作用.在该主题下,Mcdermott[25-26]团队做的研究影响较广.研究者设计了如下题目:2个质量不同的冰球静止于光滑水平面上的同一水平线上,现用相同的力分别对每个冰球作用相等的距离,请学生比较2个冰球的最

终动量和动能大小.利用该题目对华盛顿大学的学生进行访谈:在判断动能变化时,学生的知识是碎片化的,仅就动能表达式$1/2mv^2$讨论其变化,不能通过功能原理建立做功与动能变化的联系.另外,对于给出错误答案的同学,"补偿论证"思想对学生的误导普遍存在.即在比较动能大小时,速度比质量更为重要,这是因为速度在动能表达式中是以二次方的形式出现的,而质量是线性的.以Mcdermott题目为原型,其他研究者编制了类似的选择题,对学生进行测量也发现了类似结果[14,27-28].

1.4 机械能的前概念

(1)在机械能守恒条件的理解方面,可以梳理出3种前概念.第1种,机械能守恒基本条件的误解.如物体所受合力为0或做匀速直线运动,则机械能守恒.Singh和Rosengrant[14]通过测量工具对学生进行测试表明,对于题目:甲、乙和丙3位同学各自骑1辆自行车以相同的速度在水平路面上行驶,当前方出现斜坡时,3人采用了不同上坡方式:甲同学在斜坡下停止踩踏板,其自行车沿着斜坡滑行;乙同学继续踩踏板,使自行车以恒定的速度上坡;丙同学用力踩踏板,使自行车加速上坡.若忽略斜坡的摩擦力,请问在上坡过程中,人和自行车组成的系统机械能守恒的有哪些?研究结果显示,有许多学生选择了乙同学.这表明,学生混淆动能和机械能的概念,且没有深入理解机械能守恒的条件.第2种,机械能守恒条件与动量守恒条件混淆.学生误认为如果动量守恒时,则机械能也守恒[29].Lawson和Mcdermott[25]的研究表明只有不到1/3的本科生能够区分机械能守恒和动量守恒.第3种,多物体系统和单个物体机械能守恒的困惑.由多物体组成的系统,往往整个系统的机械能守恒而对于单个物体机械能不守恒.学生由于缺乏系统思维,判断不同研究对象的机械能是否守恒时存在困难.

(2)在机械能大小方面[30].学生往往忽视计算机械能时需要先确定零势能面,不知道选取哪个位置计算机械能合适.如对于题目:桌面高为h,一个质量为m、初速度为0的小球从离桌面高H处自由下落,不计空气阻力,以桌面为零势能面,则小球落到地面之前瞬间的机械能大小为多少?一部分同学受定向思维,仍以地面为零势能面,得出错误答案$mg(H+h)$.

(3)在机械能变化量方面有2种前概念.第1种,机械能守恒的理解.把"守恒"理解成单纯的"不变".如刘楚良[31]揭示了学生不能区别"机械能守恒"和"机械能不变",且进一步指出:"机械能守恒对系统内是动态的,对系统外是静态的,即与外界无能量转化,其与系统机械能的'总量不变'不同,'总量不变'只是机械能这个状态量的数值大小不发生变化,甚至仅仅是一个过程的始、末2个状态的机械能相等而已.因此,'守恒'和'不变'二者有本质的区别."第2种,机械能守恒中弹力做功的误解.学生会误认为只有弹力做功机械能就守恒,其实出现研究系统内部弹力做功且有弹性势能转化时,机械能守恒才成立.

2 功和机械能前概念测评工具

前概念研究的几十年间,研究者针对不同领域和主题下的前概念开发了多种多样的测评工具.仅测量工程动力学中功和能量前概念的工具就多达十几个[23].聚焦于本研究功和机械能的前概念测量,与此有关的测评工具主要有3个.

2.1 能量和动量概念调查表

能量和动量概念调查表(energy and momentum concept survey,EMCS)是由Singh和Rosengran[14,32]在1999—2003年开发的,用于测量学生对能量和动量概念理解的工具.该工具由25道单项选择题(每道题有5个选项)构成,涉及能量和动量2个方面的内容.其中,能量的概念包括功能原理、机械能守恒、重力和摩擦力做功,该主题下共13道测试题.

关于EMCS的用途与使用方法,开发者在对外公布该量表时就做了明确说明.EMCS可以被用作前测,以发现教学开始前学生存在的认知困难,也可以被用作后测,以检验教学干预的效果或调查学生在完成学习后仍存在的困惑.对于使用方法,作者指出使用单项选择题是可以对学生的理解进行有效探索,其优点是简单、经济、客观并且便于对成绩进行统计与分析,但仅有选择题的缺点是,研究者无法全面了解学生解题的思维过程,所以,EMCS纸笔测试与学生个人访谈相结合能够起到更好的测试效果.然而,一旦将访谈法引入测评就必然会带来测试成本增加、样本数骤减等问题.为了优化测量方式,有研究者对EMCS进行了改造.如利用4层级诊断测试,即把每一道题分为答案—对答案是否确信—推理—对推理是否确信4个层级,这样既能通过大样本测出学生的前概念也能呈现出学生的思维过程[33].

2.2　能量概念清单

能量概念清单(energy concept inventory,ECI)是由Swackhamer和Hestenes[27]在2005年开发,用于检测学生对能量概念理解的工具.该工具共有35道单项选择题组成,每道题都有5个备选项.与EMCS中对能量概念的界定不同,ECI中的能量除了机械能外,还包括生命科学、化学以及电学、热学等能量,其中对机械能进行考察的题目仅有7道,占总题数的1/5.

由于ECI测量的能量概念具有跨学科性,所以将其专门用于物理教育的研究较少.值得一提的是,ECI题目考查的知识点较为综合,在仅有的测量机械能的7道题目中,却包含了势能的理解、动能与势能的转化、系统机械能守恒和机械能与内能的转化4个知识维度的考察.以其中1道题为例,如图1所示.放置在水平冰面上的冰块通过弹簧与墙面连接,弹簧在外力的作用下处于压缩状态,撤去外力后,弹簧将推动冰块运动.如果你只有这一个弹簧,但是有多个质量不同的冰块,怎么能使冰块获得更多的能量呢?(1)用一个质量更小的冰块;(2)用一个质量更大的冰块;(3)使弹簧的压缩量变大.A.只有(1);B.只有(2);C.只有(3);D.只有(1)和(3);E.只有(2)和(3).这道题较为全面地考察了学生对势能和功能转化的理解.



图1　能量概念清单样题

2.3　能量概念评估表

能量概念评估表(energy concept assessment,ECA)是由Ding[28]在其2007年提交的博士毕业论文中开发的,旨在测量学生应用能量基本概念和基本定理能力的工具.具体而言,ECA的测量内容主要涉及功能原理的应用、各种形式能量的测定、能量系统的说明、功和热的区分以及吸收或发射谱的计算5个方面.该套试题共有33道单项选择题组合而成,备选项的数目上并非全部一致,有8道试题为4个选项,19道试题为5个选项,4道试题为6个选项,2道试题为7个选项.全套试题中测量功和机械能的试题共计有29道,所占比例高达87.88%.

相较于EMCS和ECI,ECA在内容和认知层面的难度都较大.在内容层面上,其试题情境不仅涉及到弹簧和木块等能量领域常见物理模型,还包括电子和行星等不常见模型;在认知层面上,ECA将试题分为3个推理层次,即零阶推理、一阶推理和二阶推理.另外,ECA在题目设置上也有所突破,主要表现为试题中大量采用能量图、模型图和情景图.如在1道考察做功的题目中,呈现的是一次汽车碰撞的实验,如图2所示.一辆原长度为L的汽车撞到一堵混凝土墙后完全停止,失事的汽车被压扁且没有反弹.问:墙对汽车做了多少功? 这样的题目情境贴近现实,能够考察出学生解决真实问题的能力.

3　功和机械能概念转变教学策略

Scott等[34]通过对“为概念转变而教”的教学策略研究文献进行梳理,最终将指向概念转变的教学策略归为2类:第1类是建立在认知冲突和解决冲突基础上的教学策略;第2类以学习者原有的观念为基础,利用比喻和类比的方法将其扩展到新的领域.在功和机械能主题下的概念转变教学策略研究中也可以分为类似的2类.

3.1　“认知冲突型”概念转变教学策略

“认知冲突型”教学策略的理论基础来源于皮亚杰的个人建构主义理论,认为学习的核心是学习者积极参与对知识的重组.此类教学策略对已具备较为牢固基础知识的学生更有效.

例如,针对学生在判断动量、动能变化时,不能建立与动量定理、功能原理的联系,仅仅就动量mv、动能$1/2mv^2$讨论变化.Lawson和Mcdermott[25]提出使用对话法、讨论法激发学生的认知冲突,能够帮助学生建立这些概念的联系.另外,Mcdermott[35]总结出“引出-面对-解决(elicit-confront-resolve,ECR)”的教学策略来实现学生概念转变.具体实施

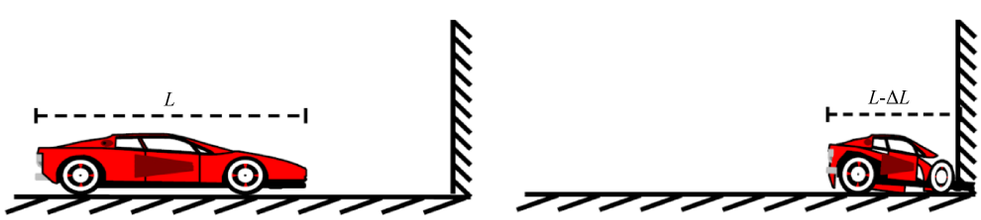


图2　能量概念评估表样题

步骤为:首先,设计相关练习题引发潜藏在学生头脑中的前概念;其次,呈现出2名观点不同学生的对话,要求学生选择一种自己认可的观点并说明理由;最后,通过对话使每位学生将自己置于争论的一方后,让学生通过实验检验自己的观点.在ECR的基础上,Nalkiran和Karamustafaoğlu[36]利用"预测-观察-解释(prediction-observation-explanation,POE)"教学策略对功、能量和功率的教学进行干预,取得了很好的教学效果.POE也分为3个阶段:在预测阶段,要求学生就教师所提出的概念或事件的可能结果进行合理的预测,通过这种方式激活预学习,同时也可以获得学生的前概念;在观察阶段,向学生展示有关事件或概念的演示和实验,从而产生与预测阶段的认知矛盾;在解释阶段,教师根据预测和观察阶段的发现对事件或概念进行解释.

3.2 "脚手架型"概念转变教学策略

"脚手架型"教学策略的理论基础为维果茨基的最近发展区理论,属于一种社会建构主义视角下的教学策略,其重点不在于学习者的主动调适,而是侧重于教师的适当干预,为新的思维方式提供"脚手架"[37].该类教学策略适用于新课教学或基础知识较为薄弱学生的辅导.

例如,Lindsey等[38]通过测试表明,学生对功的定义和功能转化的理解存在困难,针对这些困难,设计了2种教学片段,功及其变化和能量守恒.在这2个教学片段中,教师通过讲座、教科书和实验来补充教学,取得了较好的教学效果;Nordine等[39]使用基于项目的教学法设计了能源单元教学,通过使用驱动性问题和情境化教学,从而搭建了一个有意义的语境,为了充分解决这些问题,学生必须学习各种类型的能量(如动能、化学能和电能)、能量转换和守恒、能量耗散和能源资源;Van Heuvelen和Zou[40]研究显示,利用多种表征(文字、示意图、能量柱状图和数学公式),尤其是利用能量柱状图的教学能够帮助学生定性理解功与能的关系,提升学生问题解决能力,促进学生由新手向专家过渡.

4 结 论

通过对功和机械能概念的前概念、测评工具以及概念转变教学策略的研究进行系统梳理表明,学生对功、动能、势能和机械能等概念存在大量的与科学概念不一致的前概念.为了测量功和机械能的前概念,研究者开发了EMCS、ECI和ECA 3种测评工具.针对学生的前概念,主要有适用于已具备较为牢固基础知识学生的认知冲突型概念转变教学策略和适用于基础知识较为薄弱学生的脚手架型概念转变教学策略来促进概念的融合理解.

在建构主义指导下,国际研究者对功和机械能的前概念形成了由发现、诊断到转变的系列研究.而在国内,对于该主题的研究大多关注于发现和诊断阶段,而对前概念转变研究不足,这是值得物理教育研究者反思的.另外,自2018年中国普通高中物理新课程标准公布以来,能量观作为一种物理观念被重视.此后围绕能量观进行教研的文章不断增加,而对能量概念理解的研究则在逐渐减少.应该注意的是,观念的建立是以概念的充分理解为基础,没有概念的观念是空洞的.因此,在素养时代,功和机械能前概念的研究是能量观培养的前提,其他学科观念维度的培养亦是如此,应给予前概念研究应有的关注.

参 考 文 献

[1] 高文,徐斌艳,吴刚.建构主义教育研究[M].北京:教育科学出版社,2008:1-2.

[2] HEAD J. Research into 'Alternative Frameworks': promise and problems [J]. Research in Science and Technological Education,1986,4(2):203-211.

[3] DUIT R, TREAGUST D F. Conceptual change: a powerful framework for improving science teaching and learning[J]. International Journal of Science Education, 2003,25(6):671-688.

[4] 李雁冰,刁彭成.科学教育中"迷思概念"初探[J].全球教育展望,2006,35(5):65-68.

[5] WANDERSEE J H, MINTZES J J, NOVAK J D. Research on alternative conceptions in science [J]. Handbook of Research on Science Teaching and Learning,1994,177:210.

[6] BAO L,KOENIG K. Physics education research for 21st century learning [J]. Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research,2019,1(1):1-12.

[7] 蔡铁权.概念转变的科学教学[M].北京:教育科学出版社,2009:59.

[8] BLANDIN B, POUTOT G. Exploration of students' misconceptions in mechanics using the FCI [J]. American Journal of Educational Research,2015,3(2): 116-120.

[9] MISHCHENKO M I, TISHKOVETS V P, TRAVIS L D, et al. Electromagnetic scattering by a morphologically complex object: fundamental concepts and common misconceptions [J]. Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, 2011, 112(4): 671-692.

[10] KAEWKHONG K, MAZZOLINI A, EMARAT N, et al. Thai high-school students' misconceptions about and models of light refraction through a planar surface[J]. Physics Education, 2010, 45(1): 97.

[11] LEINONEN R, ASIKAINEN M A, HIRVONEN P E. Overcoming students' misconceptions concerning thermal physics with the aid of hints and peer interaction during a lecture course [J]. Physical Review Special Topics-Physics Education Research, 2013, 9(2): 020112.

[12] MCDERMOTT L C, REDISH E F. Resource letter: PER-1: physics education research [J]. American Journal of Physics, 1999, 67(9): 755-767.

[13] KÜÇÜKÖZER H, SABRI K. Secondary school students' misconceptions about simple electric circuits [J]. Journal of Turkish Science Education, 2007, 4(1): 101-115.

[14] SINGH C, ROSENGRANT D. Multiple-choice test of energy and momentum concepts [J]. American Journal of Physics, 2003, 71(6): 607-617.

[15] CLEMENT J. Using bridging analogies and anchoring intuitions to deal with students' preconceptions in physics [J]. Journal of Research in Science Teaching, 1993, 30(10): 1241-1257.

[16] 赵晨.高中生物理迷思概念及其形成机制[D].曲阜:曲阜师范大学,2019.

[17] SHERWOOD B A. Pseudowork and real work [J]. American Journal of Physics, 1983, 51(7): 597-602.

[18] DE BERG K C. The development of the concept of work: a case where history can inform pedagogy [J]. Science and Education, 1997, 6(5): 511-527.

[19] DEMIRCI N, DALAKLIOĞLU S, SEKERCIOGLU A G. Eleventh grade students' difficulties and misconceptions about energy and momentum concepts [J]. International Journal of New Trends in Education and Their Implications, 2015, 6(1): 13-21.

[20] JEWETT J J W. Energy and the confused student I: work [J]. The Physics Teacher, 2008, 46(1): 38-43.

[21] LOVERUDE M E, KAUTZ C H, HERON P R. Student understanding of the first law of thermodynamics: relating work to the adiabatic compression of an ideal gas [J]. American Journal of Physics, 2002, 70(2): 137-148.

[22] TANEL Z, TANEL R. Determining the misconceptions and learning difficulties of undergraduate level students on topics of energy and momentum[J]. Balkan Physics Letters, 2010, 18: 108-117.

[23] LIU G, FANG N. Student misconceptions of work and energy in engineering dynamics [C]// GRECO M, JOHNSON M, SHARPE R, et al. Proceedings of the 2017 ASEE Gulf-southwest section annual conference. Dallas: University of Texas, 2017.

[24] 许桂清,BAO L.中美学生关于力学功和能迷思概念的测试研究与思考[J].物理教学,2019(9):73-75+15.

[25] LAWSON R A, MCDERMOTT L C. Student understanding of the work-energy and impulse-momentum theorems[J]. American Journal of Physics, 1987, 55(9): 811-817.

[26] PRIDE T O B, MCDERMOTT L C, VOKOS S. The challenge of matching learning assessments to teaching goals: an example from the work-energy and impulse-momentum theorems[J]. American Journal of Physics, 1998, 66(2): 147-157.

[27] SWACKHAMER G, HESTENES D. An energy concept inventory[M]. Phoenix: Arizona State University, 2005.

[28] DING L. Designing an energy assessment to evaluate student understanding of energy topics [D]. North Carolina: North Carolina State University, 2007.

[29] ERDAL T, OKTAY M. Students' misunderstandings about the energy conservation principle: a general view to studies in literature [J]. International Journal of Environmental and Science Education, 2007, 2(3): 79-81.

[30] 张军朋,段志英.国外学生对能量概念理解的研究概述[J].中学物理教学参考,2004,33(1):55-57.

[31] 刘楚良.机械能守恒定律的几个常见的理解误区[J].中学物理,2016,34(2):88-89.

[32] SINGH C, ROSENGRAN D. Students' conceptual knowledge of energy and momentum[C]// FRANKLIN S V, CUMMINGS K, MARX J.2001 Physics Education Research Conference Proceedings. New York: Physics Education Research Topical Group (PERTG) and the American Association of Physics Teachers (AAPT), 2001: 123-126.

[33] AFIF N F, NUGRAHA M G, SAMSUDIN A. Developing energy and momentum conceptual survey (EMCS) with four-tier diagnostic test items [C]// HIDAYAT T, NANDIYANTO A B D, JUPRI A, et al. AIP Conference Proceedings 1848. Bandung: AIP Publishing Center, 2017: 050010.

[34] SCOTT P H, ASOKO H M, DRIVER R H.“为概念转变而教”策略综述[J].郭玉英,卢俊梅,译.物理教师,2003,24(5):1-3+8.

[35] MCDERMOTT L C. Millikan lecture 1990: what we teach and what is learned-closing the gap[J]. American Journal of Physics, 1991, 59(4): 301-315.
[36] NALKIRAN T, KARAMUSTAFAOĞLU S. Prediction-observation-explanation (POE) method and its efficiency in teaching "work, energy, power" concepts [J]. International Journal of Assessment Tools in Education, 2020, 7(3): 497-521.
[37] VAN DER STUYF R R. Scaffolding as a teaching strategy [J]. Adolescent Learning and Development, 2002, 52(3): 5-18.
[38] LINDSEY B A, HERON P R, SHAFFER P S. Student ability to apply the concepts of work and energy to extended systems [J]. American Journal of Physics, 2009, 77(11): 999-1009.
[39] NORDINE J, KRAJCIK J, FORTUS D. Transforming energy instruction in middle school to support integrated understanding and future learning [J]. Science Education, 2011, 95(4): 670-699.
[40] VAN HEUVELEN A, ZOU X L. Multiple representations of work-energy processes[J]. American Journal of Physics, 2001, 69(2): 184-194.

(责任编辑:兰丽丽)

(上接第88页)

参 考 文 献

[1] 张凯,艾尔西丁·伊明,许善洋,等.植物地理学理论与实践教学探讨[J].高师理科学刊,2017,37(7):100-102+110.
[2] 曾小敏.地理科学专业植物地理学课程教学改革的探索:以陕西师范大学为例[J].教育现代化,2020,7(38):30-33.
[3] 孙士高.重视学生课堂参与,尊重学生主体地位[J].考试周刊,2017(5):62.
[4] 胡翠华,李庆凤,吴世祥,等.植物地理学实习教学改革与创新初探[J].教育教学论坛,2019(38):133-134.
[5] 王宁.植物地理学实习教学存在问题和对策[J].教育教学论坛,2016(10):128-130.
[6] 董进国,蒋庆丰,韩宇捷.自然地理野外实践教学模式改革与探索[J].内蒙古师范大学学报(教育科学版),2016,29(4):162-164.
[7] 刘永林,杨前进.地理科学专业地质学基础课程实习性教学:以重庆师范大学为例[J].科技视界,2020(18):33-34.
[8] 高翔,高超,王腊春.在自然地理实习教学中实施通识教育[J].中国大学教学,2014(1):81-83.
[9] DAI L, XU G F.Exploration of botany teaching reform in higher agricultural colleges [J]. Science and Education Wenhui (Late Journal), 2017(2): 12-13.
[10] 江砥,汪卫民.《乡土地理调查实践》课程教学创新再思考[J].地理教学,2021(21):53-55.
[11] ZHAO L P. The practice and application of the three-segment teaching model in the field practice teaching of biology [J]. Education Teaching Forum, 2016 (49): 12-13.
[12] 李文军,袁晓玲,彭保发,等.植物地理学课程教学方法改革[J].科教导刊(中旬刊),2015(11):76-77.
[13] 隋振民,王宇,冯君,等.地质地貌学实习教学体系的建设[J].中国农业教育,2012(1):77-80.
[14] 战赤嘉,谢红虹.地质地貌学野外实习的实践与探索[J].高教学刊,2020(16):179-182.
[15] 李晓刚,王鹏.地方本科院校地质地貌学"四位一体"实习教学体系的构建[J].高师理科学刊,2019,39(4):102-105.
[16] 阮宇.浅谈植物地理教学的发展方向[J].云南地理环境研究,2014,26(2):75-78.
[17] 谷莘.建设教学实习基地培养创新型人才[J].实验室科学,2009(2):4-7.

(责任编辑:李拓宇)