

大学物理中军事案例教学的设计与探索 ——以枪炮后坐力为例

李春燕¹ 余同普¹ 彭小涓²

(国防科技大学¹理学院;²电子科学学院,湖南 长沙 410073)

摘 要 将军事案例融入课堂教学是军事院校实现“为战育人”人才培养目标的重要方法和手段。本文围绕枪炮后坐力这一具体问题,从题目设计、背景介绍和实际问题解决等多个角度进行分析讨论,探索将普通物理问题转化为贴近军事应用的实际案例的一般方法和途径。从军事元素、实际条件、军事问题、军事需求等方面设计引入军事案例,既可以提高学生学习兴趣,培养专业素养和创新能力,同时,也为大学物理教学中军事案例库建设提供可操作性指导。

关键词 军事案例;大学物理;枪炮后坐力

DESIGN AND EXPLORATION OF MILITARY CASE TEACHING IN COLLEGE PHYSICS —TAKING THE GUN RECOIL AS EXAMPLE

LI Chunyan¹ YU Tongpu¹ PENG Xiaohuan²

(¹ College of Science; ² College of Electronic Science, National University of Defense Technology, Changsha, Hunan 410073)

Abstract Military cases is important for courses of military colleges. This paper takes the gun recoil problem as an example, analyzes and discusses it from the aspects of problem design, background introduction and practical problem solving, and explores the general ways to transform the physics problems into practical military cases. The introduction of military cases from the aspects of military elements, practical conditions, military problems and military needs can not only improve students' interest in learning, cultivate professional quality and innovation ability, but also provide operational guidance for the construction of military case library in college physics teaching.

Key words military cases; college physics; gun recoil

“大学物理”课程是高等院校学生科学素养培养和工程技术学习的重要通识基础课程。它涵盖了人类认识自然、了解世界的智慧结晶,包含的科

学内涵和研究方法是技术创新和进步的源泉,是工程技术类人员未来专业技术工作的基础。在“大学物理”课程教学过程中,案例对于帮助学生

收稿日期: 2022-10-09

基金项目: 湖南省普通高等学校教学改革研究项目(HNJG-2021-0002);高等学校教学研究项目(DWJZW202130zn)。

作者简介: 李春燕,女,副教授,主要从事大学物理教学和量子通信研究工作,lichunyan@nudt.edu.cn。

引文格式: 李春燕,余同普,彭小涓. 大学物理中军事案例教学的设计与探索——以枪炮后坐力为例[J]. 物理与工程, 2023, 33(5): 23-27.

Cite this article: LI C Y, YU T P, PENG X H. Design and exploration of military case teaching in college physics—Taking the gun recoil as example[J]. Physics and Engineering, 2023, 33(5): 23-27. (in Chinese)

建立正确的物理图像,提高学生学习兴趣以及发挥学生创造能力具有重要作用。对于军事院校学员来说,由于其定位的特殊性,“大学物理”教学应该体现军事特色,在教学实践过程中,注重培育学生与其职责和使命要求相适应的意识,努力实现课堂与战场、知识与能力、理论与实践以及平时与战时的“无缝衔接”。习主席关于军事教育曾多次提出部队教育要“面向战场、面向部队、面向未来”。因此,“为战育人”不仅是国防安全的需要,也是学员未来任职岗位的需要。为此,在实际教学中,军事案例的选取和设计中应充分体现“军味”,切实提高学生研究军事科技的兴趣,提升他们的军事科技素养,特别是军事信息素养,培养学生的科学思维能力和创新潜质,增强他们为军服务的使命感和责任感。

本文以“大学物理”力学中一个关于炮弹发射问题的军事案例设计为例,探索大学物理课程教学中军事案例设计的基本方法和原则,开展的途径,从而为军事院校“大学物理”课程军事案例库建设提供可操作性指导。

1 军事案例分析

动量是大学物理课程力学部分重要的基本概念,要求学生不仅能够正确理解其物理图像,还能利用动量定理及动量守恒定律处理一些实际问题。因此,这部分课程内容教学中一般都配以具体例题来进行讲解。其中,有一道涉及军事元素的经典问题描述如下:

一辆停在水平地面上的炮车以仰角 θ 发射炮弹(图 1),炮弹相对于炮车的出膛速度为 u ,炮车和炮弹的质量分别为 M 和 m ,忽略地面摩擦,试求:(a) 炮车的反冲速度大小;(b) 若炮筒长为 l ,在发射炮弹的过程中炮车反冲的距离。

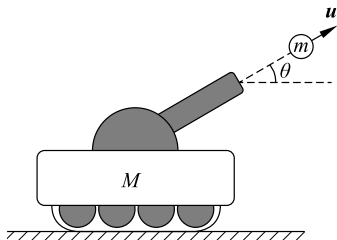


图 1 炮车发射炮弹示意图

1.1 基本问题分析

该问题忽略地面摩擦力,从炮车发射炮弹这一军事相关案例中提炼出利用水平方向动量守恒解决炮车反冲速度和反冲距离这一重要的实际问题,所以成为力学中的一道经典例题。

解:(a)以炮车和炮弹组成的系统为研究对象,选地面为参考系。由于忽略地面摩擦,系统水平方向受合力为 0,因此水平方向动量守恒

$$Mv_{\text{车地}} + mv_{\text{弹地水平}} = 0 \quad (1)$$

根据伽利略速度变换关系

$$v_{\text{弹地}} = v_{\text{弹车}} + v_{\text{车地}} \quad (2)$$

水平方向分量为

$$v_{\text{弹地水平}} = v_{\text{弹车水平}} + v_{\text{车地}} \quad (3)$$

其中, $v_{\text{弹车水平}} = u \cos \theta$,代入方程(1)和(3)得

炮车的反冲速度大小为

$$v_{\text{车地}} = -\frac{m}{m+M}u \cos \theta \quad (4)$$

(b)在发射炮弹的过程中,假设 t 时刻炮弹相对于炮车的出膛速度大小为 $u(t)$,则炮车的反冲速度大小为

$$v_{\text{车地}}(t) = -\frac{m}{m+M}u(t) \cos \theta \quad (5)$$

整个发射过程中炮车反冲距离为

$$\Delta x = \int_0^t v_{\text{车地}}(t) dt = -\frac{m \cos \theta}{m+M} \int_0^t u(t) dt \quad (6)$$

其中, $\int_0^t u(t) dt$ 为炮弹出膛前相对炮车运动的距离,即炮筒的长度 l ,代入式(6)得发射炮弹的过程中炮车反冲的距离为

$$\Delta x = -\frac{ml \cos \theta}{m+M} \quad (7)$$

分析:根据结果可以得出,减少反冲速度的方法为:(1)减小炮弹出射速度。炮弹出射速度一般取决于需要,这种方法可行性不大。(2)减小炮弹和炮车的质量比。炮弹质量与内含火药量有关,火药量确定的情况下是确定的,所以一般通过增加炮车质量来实现。(3)增大仰角,尤其仰角为 90° 时,反冲速度为 0。但这个结果意味着对天开炮,并无实际意义,究其原因是在该问题中忽略地面摩擦。第二个问题考查炮弹发射过程中的炮身移动距离,这个问题考查位移是速度对时间的积分,以及炮弹速度对时间积分正好是炮筒长度,这对学生掌握相关知识点有帮助。然而,这道题目对于军事院校的学生来说,一方面假设的是地面无摩

擦的理想情况,跟实际情况相距较远;另一方面,讨论中反冲速度是个直观概念,如果进一步转化为后坐力这个专业军事术语进行讨论,对学生更有吸引力。考虑到这两方面问题和学生的特点,该题可做如下拓展和讨论。

1.2 问题拓展

问题:一辆停在水平地面上的炮车以仰角 θ 发射炮弹,炮弹相对于炮车的出膛速度为 u ,炮车和炮弹的质量分别为 M 和 m ,炮车与地面之间摩擦系数为 μ ,试求炮车的反冲速度,并分析减少后坐力的方法。

解:这时动量守恒的条件不再满足,需要利用动量定理进行求解,相比较忽略摩擦的情况,难度上有不小提升。另外,考虑实际类似爆炸问题中内力远大于重力,处理中忽略重力这一常用方法。通过类似前面的计算得到炮车的反冲速度大小为

$$v = \frac{mu(\cos\theta - \mu\sin\theta)}{M + m} \quad (8)$$

分析:从结果可以看出,影响反冲速度的因素除了同前面(1)和(2)一样的条件外,当摩擦系数和仰角满足关系 $\mu = \cot\theta$ 时,反冲速度为 0,与炮弹和炮车质量以及炮弹出射速度无关。炮弹靠巨大的推力发射出去,而炮身并未移动,这是一种摩擦自锁现象,在工程技术和日常生活中都有很多重要应用。另一方面,根据冲量定理,炮车所受后坐力为 0。对于军事院校学生来说,不仅熟悉后坐力这个名词,并在训练中对后坐力有直观的感受,感官上非常理解减小后坐力对于军事训练的重要性。相比较摩擦自锁现象,后坐力讨论对学生来说具有更强的吸引力。因此,我们在具体教学中,选择得到结果后进一步讨论后坐力及减少后坐力的可行方法。

1.3 后坐力问题讨论

在前面问题基础上,可作如下讨论。

1.3.1 后坐力介绍

在武器发射弹药时,膛内瞬间爆发的火药产生高压气体推动弹药发射,同时由牛顿第三定律,高压气体会作用于弹膛底部,产生驱动武器向后运动的作用力,这个作用力就是后坐力。后坐力在枪炮武器的设计与使用过程中是一个至关重要的参数,它不仅使武器发射时枪身或炮身运动的速度和幅度加大,从而影响射击精度,而且使武器

的瞬时荷载加大,降低武器支撑体的耐久性,给武器造成较大的机械损伤^[1]。因此,解决如何降低后坐力的问题对于武器设计、研制有着重要意义。

1.3.2 无后坐力炮

对于减少后坐力的思考从达芬奇时代就有了,达芬奇设计了双头炮,向前开炮的同时向后发射炮弹,利用动量守恒定理保证炮身不受到向后的作用力,思想虽然简单,甚至今天看来有些可笑,但这奠定了无后坐力炮的雏形。1914 年,美军少校戴维斯设计了借用后喷物质与前射弹丸动量平衡,炮身不产生后坐力,成为正式用于战场的无后坐力炮。之后随着技术进步,这种炮进行了不断改良和发展,譬如将后喷物质由弹丸变为气体物质。但是由于后喷物质具有较高温度,容易被发现,限制这种方法的使用范围。

现今无后坐力炮主要利用以上方法实现,是否可以像我们的题目中利用摩擦自锁现象设计无后坐力炮呢?经过讨论我们可以发现,这种方法要在实战中命中目标,要求初始速度可调,虽然在现有条件下一般的枪炮初始速度固定,但是像电磁轨道炮等发射装置是可以设置发射速度的,甚至在未来炮弹发射速度精确可调也是完全由可能实现的。因此,在此基础上可以让学生根据目标位置建立模型求初始速度,如果结合数学仿真软件,可以对考虑空气阻力的情况做进一步深入探讨和设计。

1.3.3 减小后坐力方法

完全做到无后坐力受实际条件的限制,但是对于一般枪炮器械来说,如何减少后坐力是一个重要问题。从这个简单模型我们可以得到减小炮弹出射速度和减小炮弹与炮车的质量比这两种方法均可以减小后坐力。一般来说,增加炮身质量是灵活度要求不高的坦克、火炮中常采用的方法,而灵敏度要求较高的枪械,尤其单兵作战器械来说,操作性十分有限,这时常采用降低炮弹出射速度或减小弹丸质量的方法。缩短枪管长度或减少弹药装药量都可以实现目标,缩短枪管长度可以减少子弹加速时间,减少弹壳中药量可以减小爆炸时产生对子弹的推力。同样,减少子弹出膛速度同时也会减弱对目标的杀伤力,因此这两种方法也受限于实际作战环境。从简单的物理规律出发,可以得到现今采用的减少后坐力的方法,可以根据实际需求采用合适的方法,以达到最佳的目

的。除了这些方法还有其它方法吗?可以进一步引导学生思索和创新。

虽然减少实际后坐力的方法受限于式(8),但是还可以从减轻感受到的后坐力的思路出发,通过机械设计来减少后坐力。譬如,通过加装制退器^[2]或补偿器改变枪口结构,让推动子弹前进的气流扩散出去,而非全部导向枪膛底端以减少枪体受到的向后冲力(动量守恒),或者增加弹簧吸收转化的向后动能(简谐振动),或者通过枪后托增加作用时间减少肩部收到的冲力(冲量定理)等等。这些方法都是学生在学习了大学物理相关知识后可以深入理解并容易掌握的,既可以结合课程内容融入每个知识点,也可以作为专题讨论,让学生思考问题、寻求解决方法,充分调动学生的学习兴趣和积极性。

2 案例设计的方法和原则总结

在前面案例的分析中,我们从《大学物理》力学部分动量这一知识点出发,从军事元素、实际情境、军事需求、技术方法等角度设计军事案例,通过习题、介绍、研讨等方式开展教学活动,结合实际需求和学生反馈对这些实施过程进行评价和筛选,最后形成完善的案例加入案例库。这个过程可用图2中的流程图来表示。在前面详细的分析过程中我们看到,将普通物理案例拓展为具有一定军事应用背景的军事案例,可以大致遵循以下几条基本原则。

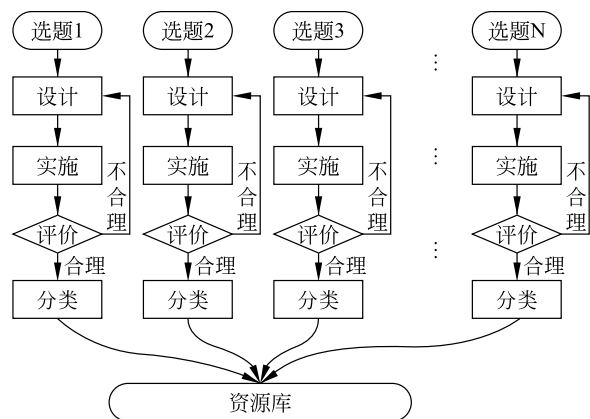


图2 形成军事化案例库流程图

2.1 融入军事元素,提高学习兴趣

军事元素可以是枪炮等军事器械,也可以是

作战情境或新闻动态,还可以是真实战争中发生的事情。在前面的案例中,更为一般的问题是在运动小车上向前抛出物体,利用动量守恒定律或动量定理讨论抛出物体后小车的运动,当改为炮车发射炮弹这个包含作战器械的军事元素情景后,军事院校的学生自然感到亲切,更容易融入课堂,并结合个人体验进行深入思考。另外,位矢概念融入侦察机对地面坦克定位,受阻力的自由落体问题可以转化为伞兵跳伞的问题^[3],光学仪器分辨率问题与飞机发现地面坦克相结合,陀螺的进动问题和军事导航,波的叠加和相控阵雷达等等,这些问题与具体军事应用情境相结合,可以极大地提高学生学以致用、知识点融会贯通的能力。最近,福建舰下海的新闻让大家热血沸腾,而其中解决短程加速飞机问题采用的方法正是电磁轨道炮的原理,在讲解安培力时我们可以融入电磁轨道炮及福建舰加速飞机等新技术,更容易让学生对所学知识加深印象并产生浓厚学习兴趣。“大学物理”中还有很多知识点可能涉及真实的作战案例,譬如海湾战争中美国攻击伊拉克的时间往往发生在凌晨,这段时间伊拉克军事基地和沙漠的温差最大,最容易被热像仪发现;电视剧《士兵突击》主人公手中舍不得吃的“热鸡蛋”,最后因为热辐射被“敌机”轻而易举地发现而暴露我方目标等等,都可以作为热辐射部分的案例帮助学生理解热辐射及其应用。以习题、背景、应用等方式,将涉及军事应用的元素融入普通的物理问题和原理教学中,这是最简单最直接最有效的军事案例库设计方法。

2.2 考虑实际情况,增加课堂难度

从无摩擦地面到考虑炮身与地面之间的摩擦力,这跟实际情况更加接近,同时也自然增加了问题的难度。除了考虑摩擦力、空气阻力、能量消耗等实际因素,还可以结合作战场景构建问题。例如,在讨论利用摩擦自锁设计无后坐力炮时,让学生根据目标位置确定发射速度,并进行计算,不仅结合了战争场景,还增加了问题的难度。另外,巷战中在遮蔽物后方如何投掷手雷^[3],如何利用我方潜艇的声呐探测敌潜艇速度,如何利用旋进现象设计来复线等问题,与可能的军事应用场景相结合,设计更贴近实战情景的案例,让学生对所学知识的理解和应用更直接、更深入,让他们身临其境、感同身受,切实激起学生的学习热情和主动

性,同时增加了课堂知识的难度和高度。当然,这也对老师提出了更高的要求,需要他们在具体教学中注重军事元素的发掘,案例需要更加贴近战场,老师也需要亲临一线,面向部队搞教学,真正做到“以战领教、为战育人”。

2.3 结合军事问题,开放学生思维

在枪炮后坐力的问题中,在解决具体习题的基础上进一步探讨如何减少甚至消除后坐力这一军事问题。讨论了无后坐力的解决方法,利用摩擦自锁设计无后坐力炮的困难和简单解决办法,减少后坐力的思路和方法。这些讨论既涉及在基本物理规律基础上对解决问题方法的深入探讨,又涉及实际解决问题时思路和方法的拓展。学生可以从不同的角度、不同的思路出发,围绕后坐力这一重要军事课题展开思考,并将科学思路和现有的措施,比如制退器、补偿器,具体枪械后坐设计等相结合,让他们亲眼看到科学原理如何转化为实际应用,再基于物理原理思考解决问题的途径和技术手段,并进行实践,这对培养学生的创造性思维至关重要。我们近年来在国防科技大学物理学“强基班”和“拔尖基地班”学生中开展了很好的实践,取得了明显成效,但是这也要求老师不仅对军事应用有较为深入的了解,还要熟悉前沿科技特别是近年来制约我国国防科技发展的一些的卡脖子问题,并能从这些重大问题中提炼出适合课程教学并与物理原理密切相关的军事案例,因此对施教者是一个较大考验。

2.4 了解军事需求,提高学生格局

前面介绍的军事应用案例主要立足“大学物理”的基本知识点,并巧妙地与军事案例有机融合。长期以来,在基础研究的过程中大部分科学研究领域来源于人类对自然的好奇和探索,但是国防和军事需求也是推动基础科学不断发展和进步的重要力量,尤其是“二战”之后。譬如,由雷达发展引发激光及超强激光等技术进步,进一步催生出非线性光学,量子光学,激光等离子体物理,高能量密度物理等新的基础研究领域^[4]。在多普勒效应课程中加入雷达研究背景、与日常生活的关系,以及它催生的新的基础研究领域介绍,不仅可以拓展学生视野,了解高新技术前世今生,接触前沿研究领域,还可以让学生站在人类对自然认

识轨迹的高度看待科学技术的发展,对提高学生格局具有重要的作用。这类案例要求老师对科学的发展历史以及前沿技术领域有所了解,在介绍的过程中突出军事需求对基础研究领域的推动作用。如果涉及的前沿内容可以和老师的研究课题相关,则必将对具有更强的吸引力。

3 结语

本文从“大学物理”力学中的一个具体案例出发,探讨设计与基本知识密切相关的军事应用案例的方法和原则。从具体问题中,我们提炼科学问题,可深化,可拓展,增加难度,多角度多层次地分析问题,以求培养学员的创新能力和创造思维。在具体教学过程中,我们既要主动将所教知识点跟军事应用案例密切结合,又要体现物理原理的基本规律,能够让学生在掌握基本原理的基础上运用所学知识来解决更深层次的问题,这对老师和学生都提出了更高要求,对于培养高层次、复合型人才具有借鉴意义。

参 考 文 献

- [1] 姚养无. 武器后坐的系统评价方法研究[J]. 中北大学学报(自然科学版), 2012, 33(4): 387-391, 407.
YAO Y W. Research on System Evaluation Method of Weapon Recoil[J]. Journal of North University of China (Natural Science Edition), 2012, 33(4): 387-391, 407. (in Chinese)
- [2] 周子杰. 你不知道的枪械后坐力大解析[J]. 轻兵器, 2020(7): 43-47.
ZHOU Z J. What you don't know about gun recoil[J]. Small Arms, 2020(7): 43-47. (in Chinese)
- [3] 刘协权, 倪新华. 军队院校大学物理教学突出“军味”的案例剖析[J]. 物理与工程, 2019, 29(4): 35-38, 42.
LIU X Q, NI X H. The military case analysis of the physics courses in army academies[J]. Physics and Engineering, 2019, 29(4): 35-38, 42. (in Chinese)
- [4] 王旭, 孙昌璞. 雷达启发的强激光啁啾脉冲技术——军事需求催生基础研究的一个典型案例[J]. 物理, 2019, 48(1): 1-8.
WANG X, SUN C P. Radar-inspired chirped pulse amplification technique of intense lasers—A standard case of military needs spawning fundamental research[J]. Physics, 2019, 48(1): 1-8. (in Chinese)