

# “弹药战斗部工程设计方法”案例式教学设计与探索

安丰江，马天宝，廖莎莎

(北京理工大学 爆炸科学与技术国家重点实验室, 北京 100081)

**摘要：**以提高学生在引战配合、威力场指标、工程化实现等多因素条件约束下的战斗部设计能力为教学目标，以应用课程知识点分析典型真实案例为落脚点，探讨“弹药战斗部工程设计方法”课程研究性教学的方法。针对课程专业知识点多、关联性强，军事与技术结合紧密，综合性、工程性、实践性突出的特点，搜集整理近年来国外真实案例，融会贯通到相关教学环节，建立能串联多个章节知识点的教学演示资料、学术讨论话题与半开放性研究性课题。以真实案例为据丰富教学内容、充实讨论环节，可以实现教学中的开放性、学术性、研究性，调动学生的参与度，有利于教学效果的持续改进。

**关键词：**案例式教学；战斗部设计；研究性教学

中图分类号：G642 文献标志码：A 文章编号：1672-8874(2022)04-0099-07

## Design of the Case Teaching of Engineering Design Method of Ammunition Warhead

AN Feng-jiang, MA Tian-bao, LIAO Sha-sha

(State Key Laboratory of Explosion Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

**Abstract:** With the teaching goal of improving students' warhead design ability under the constraints of multi-factor conditions such as the coordination of fuze and warhead, power field indicators, and engineering realization, and with the starting point of analyzing typical real cases based on the application of course knowledge points, the research-based teaching design of the course "Engineering Design Method of Ammunition Warhead" was discussed. This course has the characteristics of rich professional knowledge points with strong correlation, close integration of military affairs and technology, and prominent comprehensiveness, engineering, and practicality. The real foreign cases in recent years were collected and sorted, which were integrated into the teaching links. Teaching demonstration materials, academic discussion topics, and semi-open research topics that can connect multiple chapters of knowledge points were established. The teaching contents and discussion links were enriched based on real cases, which could realize openness, academics, and research in teaching, mobilize students' participation, and facilitate the continuous improvement of the teaching effect.

**Key words:** case teaching; warhead design; research teaching

## 一、引言

“弹药战斗部工程设计方法”是兵器科学与技术学科开设的一门硕士研究生专业课，其教学目标是使学生掌握防空杀爆战斗部、水中爆破战斗部等几类典型战斗部的工程设计方法；结合目标易损性、作战毁伤要求、毁伤效果评估等技战术要求，能够提出战斗部威力设计、结构设计、引战配合设计的综合性解决方案；并具备使用恰当的技术、资源、现代工程工具和信息技术工具，对复杂战斗部涉及的工程问题进行预测与模拟的能力。

本课程具有专业知识点多、关联性强，军事与技术紧密结合，综合性、工程性、实践性突出的特点。它开设于硕士研究生一年级秋季学期，学生正处于从大学专业理论性学习跃升到研究型、创新型、实践型学习的成长过程中。传统上，战斗部设计课程讲授的相关案例主要是教师自身的科研经历累积，具有一定的效果，但由于背景或技术问题的保密性，老师常常不能畅所欲言，同时传统教学案例知识点单一、综合系统化不够的问题也日渐突出。在专业知识传播呈现网络化、公开化、碎片化的时代，以及公开教学、线上教学的趋势下，尤其需要典型性综合教学案例。为了使战斗部设计的相关专业知识“活起来”“动起来”、立体呈现在学生面前，势必进行案例式教学改革，选取具有典型的综合性真实案例作为演示和讨论背景，以案例中的战斗部知识点为“肉”，以授课老师的科研实践心得为“筋”，以学生的多方面参与为“骨”，实现教学效果的提高和学生专业综合实践能力的提升。

## 二、案例式教学目标

案例式教学起源于哈佛大学的情景案例教学课，是指教师根据教学要求，设计相应的教学案例，组织学生针对案例内容，运用所学知识进行思考、分析和讨论，从而提升学生分析问题、解决问题的能力<sup>[1-2]</sup>。

“弹药战斗部工程设计方法”课程在教学内容上，主要涉及战斗部威力设计、结构设计、引战配合设计、毁伤效能评估等专业知识，以及工程计算方法、仿真模拟、试验验证等研究方法与技

术的具体应用。各个教学内容和研究方法并非彼此孤立而是相互衔接贯穿，通常解决一个具体战斗部设计问题时需要综合运用多个知识点和研究方法。“弹药战斗部工程设计方法”案例式教学目标是以真实案例为背景，串联多个章节知识点，建立每个知识点的教学演示资料，设置学术讨论话题和半开放性研究性课题，采用“边教边研”的手段使学生从战斗部设计的具体问题研究中掌握相关知识理论的运用，激发学生的探索欲，从而提高学生的专业能力，实现教学效果的改进。

因此，“弹药战斗部工程设计方法”课程的案例式教学需具备以下条件：（1）典型案例的选取原则。可检索的文献资料广泛、丰富，与课程讲授的多个专业知识点紧密相关，具备深入探讨和研究的价值和可能性。（2）知识点的立体呈现。结合案例，呈现碎片化知识点的系统运用，以及可延伸可扩展的优化空间。（3）教学形式的多样化。按照“讲授－调研－讨论－实现－评价”可闭环可考核的教学过程，开展相关活动。

## 三、案例式教学设计

针对“弹药战斗部工程设计方法”课程特点，为了达到教学目的，在授课中主要聚焦两类典型武器平台下的弹药战斗部工程设计方法，以每类武器平台下某种具有代表性的战斗部工程设计为例设计案例教学，以某个重大国际事件典型案例串联战斗部威力设计、结构设计、引战配合设计、毁伤效能评估等多个专业知识，实现内容专业性、案例真实性、课堂趣味性、教学互动的开放性、考核的可控性等多个方面的教学效果，使学生在案例教学中对所学专业技能达到知晓、内化、综合应用的水平。

案例教学以“杀爆战斗部”和“水下爆炸战斗部”为例。杀爆战斗部作为一种基本类型的战斗部在防空反导武器运用中具有其自身的特点，如高速的交会条件、精准的引战配合方式、多效应的目标毁伤耦合等。以2014年马航MH17事件<sup>[3-9]</sup>山毛榉导弹的战斗部“9H314M”作为典型案例，能够应用到战斗部设计、引战配合设计、毁伤效应等多个章节知识点的讲授。反舰反潜是目前国防发展的一个热点，舰船、潜艇目标重要而复杂，水中弹药的设计、威力评估与毁伤效应与其他类型弹药存在显著区别。以2010年韩国天

安舰事件<sup>[10-13]</sup>中的战斗部作为具体案例, 讲授水中弹药战斗部工程设计方法。

课程的整体设计思路包括五大部分: 首先以教学内容为基础, 主要体现专业知识的学习和相关方法技术的应用技巧; 其次, 聚焦工程算法与解决途径; 再选取典型教学案例, 立体生动地展现具体教学内容和工程应用; 同时, 将典型案例融入教学知识点传授、教学形式展现和教学考核等各个环节; 最后, 实现内容专业性、案例真实性、课堂趣味性、教学互动开放性、考核的可控性等多个方面的教学效果提升。整体设计思路如图1所示。

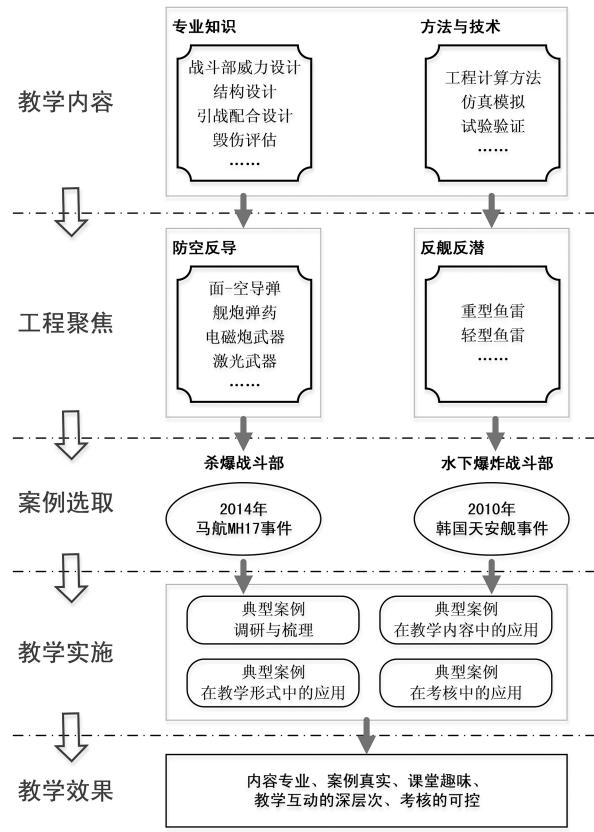


图1 课程的整体设计思路

“弹药战斗部工程设计方法”案例式教学实施难点在于如何以一个真实的综合案例为背景, 将一个具体战斗部设计的各个环节的理论研究和工程方法形成一个有机整体。需要结合教学内容, 将理论知识点、工程方法和技术进行串联教学以及综合闭环运用, 这样才能使学生对所学专业技能达到知晓、内化、综合应用的水平。教学各个环节的设计流程框架如图2所示。

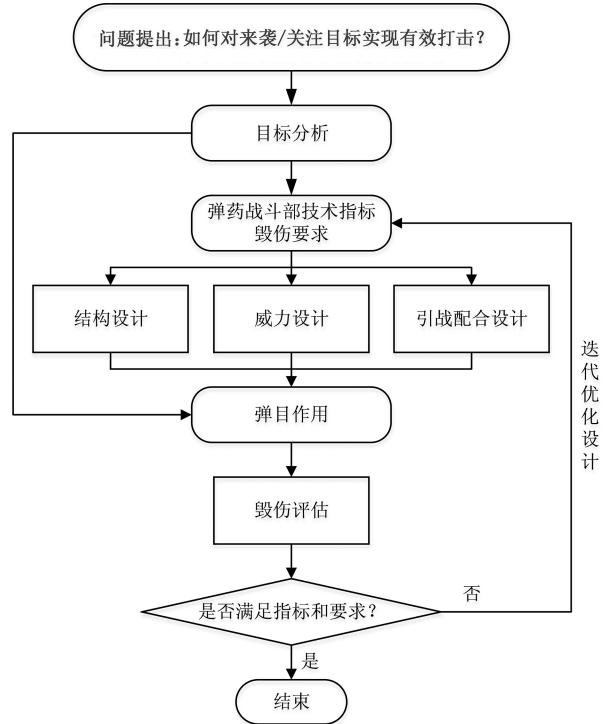


图2 教学各个环节的设计流程框架

设计弹药战斗部的目的是为了有效毁伤命中条件下的指定目标, 因此首先需要对指定目标进行目标特性和易损性分析, 基于分析数据提出弹药设计的具体技术指标和相应的毁伤要求; 依据相应的指标和要求完成战斗部的结构设计、威力设计、引战配合设计等环节; 接着将初步设计的战斗部与指定目标在作战场景下进行弹目作用, 进而完成毁伤评估分析; 最后根据毁伤结果评判该战斗部对目标的打击效果是否满足指标和毁伤要求。当满足要求时, 则完成战斗部的设计过程; 否则, 返回战斗部设计指标对战斗部设计的各个环节进行迭代优化设计, 直至符合毁伤打击要求。

本文以防空“杀爆战斗部”设计的教学内容为例, 选取适合的教学案例, 完成案例式教学中各个教学环节的设计, 将教学知识点和案例内容一一对应, 基于案例具体的调研资料, 运用理论工程解算、学术研讨、弹目作用模拟等开放性探讨教学形式, 开展相关设计理论和方法的学习。同时, 结合杀爆战斗部设计理论及流程, 指导学生完成不同杀爆战斗部形式对特定空中目标毁伤评估和设计方案优选的工程实践, 如表1所示。

表1 “杀爆战斗部”设计案例教学环节设计方案

教学知识点	具体内容	对应案例资料 (马航 MH17 事件)	战斗部设计工程实践 (虚拟战斗部对 E-2C 毁伤)
目标分析	1. 目标具体化 2. 目标模型 3. 目标基本特性	1. 空中目标马航 MH17 2. 模型及尺寸数据具备 3. 基本结构布局、材料特性明确	1. 空中目标预警机 E-2C 2. 模型及尺寸数据具备 3. 基本结构布局、材料特性明确
战斗部指标 毁伤要求	1. 杀爆战斗部指标 战斗部整体数据：结构外形参数、质量、起爆类型；装药数据：装药类型、质量、装填系数；破片数据：破片类型、质量、尺寸、材料、数量等；威力数据：破片速度分布、飞散特性、侵彻特性等；引信数据：探测参数、时间参数等 2. 毁伤要求：根据作战任务确定	1. 战斗部类型：毛榉导弹战斗部“9H314M”采用飞散+聚焦的结构方案，运用三种大小破片双层组合的方式 2. 战斗部质量，破片类型、质量、尺寸等基本数据明确 3. 战斗部装药外表面形状、装填比等不明确，破片威力参数、杀伤区具备探讨空间 4. 引战配合分析数据丰富，可以直观展现引战配合技术对战斗部性能的影响 5. 毁伤效果明确，可以依次逆向推测弹目交会状态、战斗部的杀伤区、起爆时机等研究	1. 战斗部类型：多种明确的杀爆战斗部形式，包括不同的结构类型、起爆方式、破片排布等 2. 威力特性明确 3. 引战配合：明确最优延时起爆 4. 毁伤要求和效果不明确，具备探讨和研究空间，为优选战斗部提供研究思路
结构设计	1. 战斗部结构尺寸和布局 2. 战斗部模型	参数明确 模型具备	参数明确 模型具备
威力设计	1. 静态/动态杀伤区 2. 侵彻性能	1. 静态/动态杀伤区不明确，具备探讨空间 2. 侵彻威力初步确定	1. 设计方案确定，则静态/动态杀伤区明确 2. 设计方案确定，则侵彻性能明确
引战配合	1. 弹目交会 2. 探测距离，延时起爆	1. 具备一定弹目交会数据 2. 具备一定的起爆空间数据，具备探讨和推测空间	1. 典型弹目交会场景 2. 最优延时起爆算法
毁伤评估	1. 目标毁伤结果 2. 毁伤数据分析	具备明确的毁伤结果，同时能够展现试验验证的关键环节、实施流程、数据收集和处理等技术	毁伤结果不明确，为战斗部性能评估和设计方案优选提供探讨实践空间

### (一) 典型案例调研与梳理

结合教学目的，通过广泛的文献情报调研，确定代表性的国外典型案例，并尽可能获取情报资料，包括事故调查报告、学术论文等，汇总多方面的信息。然后，进行分类整理，形成专业知识点资料和研究方法资料。在专业知识点方面，包括与技术指标、战斗部结构、性能相关的资料，与引战配合相关的资料，与威力、毁伤评估相关的资料；在研究方法方面，包括与工程性算法有关的资料，与仿真模拟有关的资料，与试验有关的资料。

依据调研和梳理结果，确定某类战斗部相关具体参数信息、交会情况和毁伤情况。一方面，可以用来作为战斗部威力设计、结构设计、引战配合设计、毁伤效能评估等专业知识讲解中的示

例，实现一个案例能和多个知识点相关联；另一方面，调研资料中的信息可为学术讨论话题和研究性课题提供项目背景和输入条件；同时，能够结合某个具体武器，运用作战条件实现战斗部工程设计实践。例如，2014年马航 MH17 事件中的山毛榉导弹战斗部，通过资料调研与梳理能帮助我们确定战斗部质量、破片类型、质量、尺寸等，但仍有一些参数是难以确定的，例如战斗部装药外表面形状、装填比等。这些确定和不确定的信息就为破片初速、飞散角的确定带来了一定的变数，从而为杀爆战斗部的具体设计问题提供了探讨和研究空间。

### (二) 典型案例在教学内容中的应用

确定案例之后，如何把案例和专业知识点有

机结合起来是典型案例在教学内容中需要解决的问题, 即根据教学内容梳理出关键的知识点, 从案例中寻找契合的支撑点和演示资料。因此, 研究的重点是梳理专业知识点和用好案例具体技术材料, 在每个重要知识点都能有真实案例数据作为演示教学。以杀爆战斗部设计为例, 梳理部分知识点, 结合山毛榉导弹战斗部“9H314M”案例材料支撑演示教学。

在讲解战斗部总体技术方案时, 可以结合“9H314M”设计特点, 采用飞散+聚焦的结构方案, 运用三种大小破片双层组合的方式, 实现对飞机类目标、导弹类目标的毁伤, 体现防空反导杀爆战斗部的技术特点。图3展现了“9H314M”部分结构信息, 如结构类型、破片排布形式、安装特点等。一方面, 能够直观地体现出防空反导杀爆战斗部的传统特点; 另一方面, 又表现出一些不同于常规手法的巧妙设计, 这为战斗部威力模型的重构奠定了基础。

在讲解战斗部动态杀伤区的计算时, 可以结合“9H314M”杀伤区分析方法, 立体呈现杀伤区计算关键技术对目标的毁伤影响。图4为马航杀伤区案例, 该示意图可以立体呈现出战斗部静杰/动

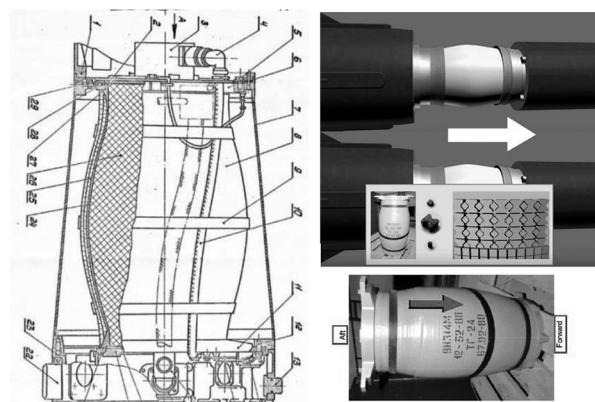


图3 案例在战斗部总体设计方案中的应用

态杀伤区, 得到破片的速度梯度。同时, 可以根据MH17事件调查研究人员构建的二维“9H314M”, 运用获取的战斗部结构、弹目作用等碎片信息, 不断修正模型以提高威力杀伤的可信度, 从而为毁伤结果的产生提供更多细节数据。

在讲述引战配合设计、最佳延迟时间等知识点时, 结合山毛榉导弹战斗部拦截MH17引战配合分析数据, 突出引战配合技术对战斗部性能的影响。图5为马航MH17事件调查研究人员构建的三维引战配合计算模拟, 它立体呈现出指定弹目交会

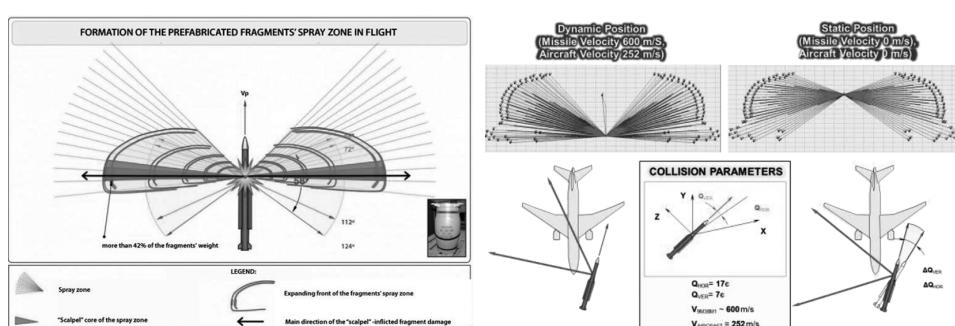


图4 案例在战斗部静态/动态杀伤区计算中的应用

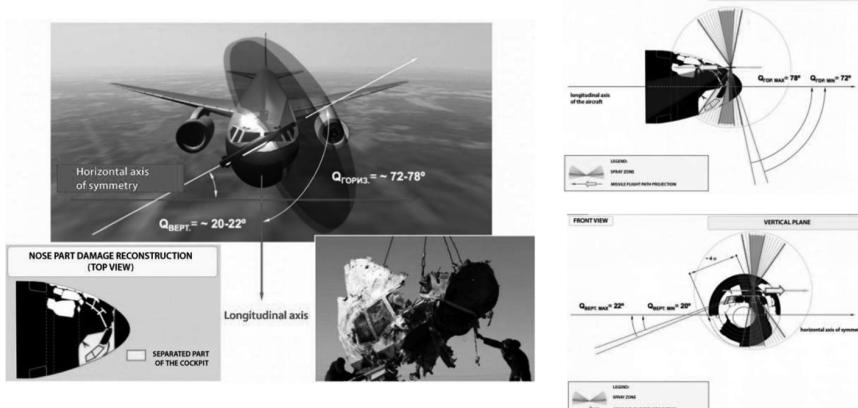


图5 案例在引战配合计算中的应用

条件下引战配合参数对毁伤效果的直观影响,表明了引战配合技术在防空反导战斗部设计中的重要性。

在讲述毁伤试验时,结合案例中相关试验验证手段、方法、实现条件等,展现试验验证的关键环节、实施流程、数据收集和处理等技术。图6为收集到的“9H314M”对飞机舱段的地面静爆毁伤试验的资料。



图6 案例在地面毁伤试验中的应用

### (三) 典型案例在教学形式中的应用

案例式教学为教学形式带来了更多的可能性,以传统的授课模式为主,融合文献调研、学术探讨、优化研究设计等方式来解决工程设计中遇到的具体问题,从而调动学生更多的主动性、激发学生探索欲,形成与老师更深层次的交流互动。

典型案例的来源是公开的、多源的,又是散落的、需要挖掘的;信息量是丰富的、多角度的,但又是不充分的、可供探讨的。授课老师在相关知识点着重讲解后,可以设置讨论主题,把部分内容留给学生自己检索学习,并在后续课堂上互动,进行深入讨论。这既能使学生的学习研究具有一定的挑战性,又能保证在比较自由的师生探讨空间下研究方向的收敛性。例如,在马航M17调查事件中,主要是通过事后调查和仿真再现,由破片的毁伤特征确定战斗部参数,从而推测导弹型号。调查过程中的研究技术和方法给战斗部设计的相关人员带来了很多启发。马航MH17事故调查报告着重分析了破片的毁伤问题,那为什么不讨论冲击波毁伤呢?这些真实事件暴露出来的工程问题,加上老师的引导,能够更加锤炼学生对复杂战斗部工程问题进行预测与模拟的能力。

### (四) 典型案例在考核中的应用

从典型案例中挖掘题材,设计多个与战斗部设计、毁伤评估有关的半开放性大作业题目,并

适当增加分值比重,可以更好地考查学生的学习效果。另外,在一定程度上可以对教学形成反馈,有利于改进教学。在知识点讲授、话题讨论的基础上,真实事件留给我们的这些悬而未决的问题或者未被揭秘的地方,可以用来设置半开放性大作业题目。以杀爆战斗部工程设计方法学习为例,还原“9H314M”战斗部或类似战斗部,作业要求如下。

(1) 通过文献调研等方式,了解防空武器战斗部的设计特点,包括毁伤元设计(如惰性、含能破片、破片的质量大小、形状、材料等)和结构设计(如定向、飞散+聚焦、速度梯度控制、大小破片组合等)。

(2) 根据“9H314M”几何尺寸、结构特点、威力性能,设计类似的防空用杀爆战斗部,给出设计方案、结构设计图、关键设计参数等。

(3) 在结构设计方案基础上,采用ANSYS/LS-DYNA、AUTODYN等专业有限元工具,进行战斗部起爆过程、爆轰及爆轰产物驱动下的破片初速形成过程、破片飞散过程的仿真模拟,详细给出有限元模型、计算条件、仿真结果等。

(4) 在仿真结果基础上,统计并给出战斗部的破片初速、破片飞散角、破片密度等主要威力性能参数,并与工程算法、试验等相对比,简要分析仿真结果的准确性。

(5) 根据仿真结果,讨论、研究起爆方式、装药形状、破片参数等设计参数对战斗部威力性能的影响。

(6) 在战斗部设计方案形成、威力性能与毁伤能力验证、优化设计等过程中,注意考虑工程管理、经济决策等因素,提出有利于缩短研制周期与控制成本的具体研究方案、技术途径、实验方案等。

## 四、结语

本文针对“弹药战斗部工程设计方法”现有教学的不足和双一流学科研究生课程建设的需求,进行了案例式教学探索。通过选取更具典型性的典型案例,贯穿“讲授-调研-讨论-实现-评价”教与学的过程,着重战斗部设计相关知识的研究与应用,培养大胆假设、仔细求证、不断完善、攻坚克难、追求真理的科学思维与科研素养,提升学生对复杂战斗部工程问题进行预测与模拟的能力,为学生走向相关工作岗位奠定专业技术基础。

## 参考文献:

- [1] 曾素珍. 浅谈案例教学法的教学实践[J]. 电气电子教学学报 2001(5):111-112,117.
- [2] 万猛, 李晓辉. 问解案例教学法[J]. 中国大学教学, 2014(3):73-79.
- [3] Wikipedia. Malaysia airlines flight 17 [EB/OL]. (2014) [2022-02-28]. [https://en.wikipedia.org/wiki/Malaysia\\_Airlines\\_Flight\\_17](https://en.wikipedia.org/wiki/Malaysia_Airlines_Flight_17).
- [4] HERMSEN M. MH17 crash [EB/OL]. (2015) [2022-02-28]. <https://libraryonline.erau.edu/online-full-text/ntsb/miscellaneous-reports/mh17-crash-en.pdf>.
- [5] Pivopotam. MH17 was shot down by ukranian missile—scientific proof [J/OL]. (2015) [2022-02-28]. <https://hellenruss.livejournal.com/73129.html>.
- [6] JASIUK E, KONERT A, DETYNIECKA A, et al. The responsibility of a state in the shooting down of malaysian airlines flight MH17 [J]. Transportation research procedia, 2019, 43:113-118.
- [7] BALL R E. The fundamentals of aircraft combat survivability analysis and design[J]. Aerospace America, 2004(1):1.
- [8] BOARD S. Preliminary report crash involving malaysian airlines boeing 777 - 200 flight MH17 [R]. The Hague: Dutch Safety Board, 2014:1-34.
- [9] Damage reconstruction due to impact of high-energetic particles on malaysian airlines flight MH17 (U) [EB/OL]. (2015) [2022-02-28]. <http://publications.tno.nl/publication/34619034/unoX4w/TNO2015M11094.pdf>.
- [10] Civilian-military joint investigation mission. Joint investigation report on the attack against rok ship cheonan [EB/OL]. (2012) [2022-02-28]. <https://capricciosoassai.blog.fc2.com>.
- [11] Civilian-Military Joint Investigation Group. Joint investigation report: on the attack against rok ship cheonan [R]. Korea: Ministry of National Defense, 2010.
- [12] KIM H S, CARESTA M. What really caused the roks cheonan warship sinking? [J]. Advances in Acoustics and Vibration, 2014(14):1-10.
- [13] KIM S G. Forensic seismology and boundary element method application vis-à-vis roks Cheonan underwater explosion [J]. Journal of Marine Science and Application, 2013(12):422-433.

(责任编辑: 邢云燕)

## 征稿启事

《高等教育研究学报》是军队院校唯一面向国内外公开出版发行的教育类期刊 (CN43-1330/G4、ISSN1672-8874)。本刊 2009 年获“中国学术期刊检索与评价数据规范 (CAJ-CD) 执行优秀期刊奖”, 2012 年获评“中国国际影响力优秀学术期刊”, 2018 年入选“中国人文社会科学期刊AMI综合评价”A 刊扩展版。本刊开设教育理论、教育管理、比较教育、大家研究、名师论教、教师发展、教育史苑、教学论坛、课程思政、在线教育、专题研究等栏目。本刊用稿格式详见《高等教育研究学报》网站 (国防科技大学官网有链接)。篇幅 (含图、表) 8000 字左右为宜, 军内作者投稿时请同时提交论文保密审查证明。《高等教育研究学报》每期定价 15 元, 全年 80 元 (含邮资)。

欢迎订阅与投稿!

本刊投稿方式如下:

网 址: <http://gdjyyjxb.nudt.edu.cn> (互联网) <http://gdjyyjxb.gfkd.mtn> (军网)

Email: [gdjyyjxb@nudt.edu.cn](mailto:gdjyyjxb@nudt.edu.cn) (互联网) [gdjyyjxb@gfkd.mtn](mailto:gdjyyjxb@gfkd.mtn) (军网)

地 址: 湖南省长沙市开福区德雅路 109 号国防科技大学《高等教育研究学报》编辑部  
(邮编: 410073)

联系电话: 0731-87006152 (地方线) 0731-506152 (军线)  
0731-87006151 (地方线) 0731-506151 (军线)

联 系 人: 毛鸽枝