



国防科技著作精品译丛

Ballistics:

Theory and Design of Guns and Ammunition

(Second Edition)

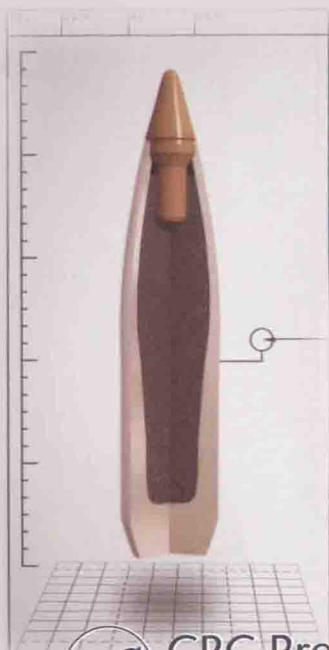
弹道学

—枪炮弹药的理论与设计

(第2版)

【美】 Donald E. Carlucci Sidney S. Jacobson 著

韩珺礼 译



CRC Press
Taylor & Francis Group



国防工业出版社
National Defense Industry Press

弹道学

——枪炮弹药的理论与设计（第2版）

**Ballistics: Theory and Design of Guns and Ammunition
Second Edition**

[美] Donald E. Carlucci 著
Sidney S. Jacobson 著
韩珺礼 译

著作权合同登记 图字: 军 -2012 -063 号

图书在版编目 (CIP) 数据

弹道学: 枪炮弹药的理论与设计: 第 2 版/ (美) 卡卢奇 (Carlucci, D. E.),
(美) 雅各布森 (Jacobson, S. S.) 著; 韩珺礼译.

— 北京: 国防工业出版社, 2014.12

(国防科技著作精品译丛)

书名原文: Ballistics: theory and design of guns and ammunition second edition

ISBN 978-7-118-09088-8

I. ①弹… II. ①卡… ②雅… ③韩… III. ①枪弹—弹道学

②炮弹—弹道学 IV. ①TJ012

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 276813 号

弹道学——枪炮弹药的理论与设计 (第 2 版)

[美] Donald E. Carlucci Sidney S. Jacobson 著 韩珺礼 译

出版发行 国防工业出版社

地址邮编 北京市海淀区紫竹院南路 23 号 100048

经 售 新华书店

印 刷 北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

开 本 700 × 1000 1/16

印 张 33

字 数 572 千字

版 印 次 2014 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

印 数 1—2500 册

定 价 168.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 88540777 发行邮购: (010) 88540776

发行传真: (010) 88540755 发行业务: (010) 88540717

声明

枪炮、弹药及炸药的设计、制造与使用按其本性而言是极其危险的。任何没有受过正规训练及认证的人都不应该利用本书提出的技术、理论及程序。在编辑和检查这些技术、理论及程序的过程中，尽可能确定其潜在的危险步骤，并且在恰当位置插入安全预先警告。然而，这些技术、理论及步骤必须在一定危险性下执行。无论从表面还是暗含，作者本人、出版社及其子公司、经销商没有责任也无法保证和承诺，本书内容及在书中说明的信息、方法或者产品的准确性。作者、出版社及其子公司、经销商对于使用本书的信息、方法或者产品而产生的破坏和费用不承担任何法律责任。

译者序

本书是美国的一本涵盖内弹道、外弹道和终点弹道的综合性弹道学书籍,由位于美国新泽西州的皮卡汀尼兵工厂的技术首席唐纳德·卡卢奇和发展实验室副主任西德尼·雅各布森著述。

本书是一部鸿篇巨著,涵盖内容极其广泛,从枪炮弹药的内弹道设计、外弹道理论,到弹药的终点毁伤和创伤弹道学,著者都作了详尽的论述。译者初见到此书时,第一感觉是该书内容丰富知识浩渺,乍读即被书中内容所吸引,如书中的空气动力学、弹道稳定性的非线性计算分析和弹药设计等一系列新颖的理论和算法,对金属、土壤、陶瓷、混凝土和复合材料的毁伤理论等内容,是我国弹道学领域的研究热点和难点,因此,本书将对我国的弹道学相关研究和发展起到巨大的推动作用。基于此,译者认为很有必要翻译此书。

本书详尽而系统地阐述了内弹道学、外弹道学和终点弹道学的基本理论与应用,在结构上分为三篇:第一篇内弹道学,从内弹道的物理原理和解析计算,到弹药和枪炮的设计理论作了详尽的描述;第二篇外弹道学,系统研究了六自由度刚体动力学方程,俯仰、偏航和陀螺运动稳定性的线型和非线性理论;第三篇终点弹道学,细致研究了金属、土壤、陶瓷、混凝土和复合材料等多类材料的侵彻与穿透毁伤机理,弹丸的冲击与爆炸效应以及创伤弹道学。在内容体系上,本书将内、外弹道和终点弹道相融合,工程技术和理论相结合,涵盖了美国弹道学研究领域的最新研究成果,适合枪炮弹药的设计需要,本书代表了美国当前在弹道学研究领域的研究水平。

由于本书涉及的内容多、范围宽,专业性和理论性都非常强,其译著过程中存在巨大的挑战,一方面,译者时间和精力有限,挤出时间投入翻译工作难度相当大;另一方面,限于译者的专业学识水平,完美翻译此书难度很大。在各级机关和同事的关怀帮助下,译者克服诸多巨大困难,完成了一部鸿篇巨著的翻译。在此,感谢熊星明处长,在他的精心安排下,译者才有机会首先学习和翻译此书;感谢王雪松总工、薛昇炜高工和总装备部某研究所各位领导,在他们的领导和大力支持下,译者得以全身心投入;感谢总装备部某科研创新团队的诸位同事,他们不但分担了译者的其他大量事务性工作,而且为翻译工作提供了大量无私帮助,使得译者能够安心地进行翻译工作,他们是邵凤昌研究员、刘长顺高工、蒙上阳博士、杨晓红博士、游宁博士、刘志明博士、胡光宇高工、李荣博士、秦高林博士、马幸工程师和施锦丹工程师等;蒙上阳博士还翻译了第三篇第14章、第15章,杨晓红博士翻译了第三篇第17章~第19章;特别感谢国防工业出版社崔晓莉编辑,由于她的努力,使得译著顺利出版。宋春雳博士担任本书主审,在百忙中审阅了全部书稿;赵玉玲高工校对了本书的部分章节。弹道国防重点实验室陈志华教授作为最终校对者,校对了全部译稿。在译著完成时,掩卷沉想,感触颇多,原著者精益求精的科研品质、严谨的著述风格跃然纸上,译者受益匪浅,也值得广大读者一读,必将收获颇丰。限于译者学识有限,尚存问题在所难免,请读者不吝赐教。

本书具有很强的实践性、理论性、系统性和实用性,可供从事兵器科学技术领域的科研人员、工程技术人员、试验测试人员和高等院校相关专业的师生参考。

译者

2014. 10. 21

前言

此书是位于新泽西州皮卡汀尼兵工厂的作者在史蒂文斯技术学院教授的一门研究生课程的结晶。该兵工厂的工程师和科学工作者长期渴望充实关于基础物理、化学、电子学方面的知识，以在提供军事装备服务满足各项需要和要求时得到应用，使其设计任务完成得更好。史蒂文斯技术学院几十年来一直与该兵工厂保持密切联系，并为在那里工作的许多工程师和科学工作者提供研究生课程与高级学位。本书已被确定作为将来的课程教材和作为武器研究发展的日常工作中的工具书。

弹道学已经拥有很长的历史。从 1000 年前中国最先发明火药的那一天起，武器研究者们就迫切想知道枪炮是如何工作的，以及为什么能工作，怎样预测枪炮发射时弹丸的速度及射程，怎样设计才能使这些弹丸在发射时保持最佳状态飞向目标，并产生预期的毁伤效果。

经过几百年的研究，人们将这一学科分成了三个自然领域：内弹道学，是指当弹丸底部的发射药被点燃到弹丸从身管中射出的瞬间，在极短时间所发生的一切现象；外弹道学，是指从弹丸射出身管后飞向目标的运动过程和运动规律；终点弹道学，是指弹丸在目标附近运动规律、对目标的作用机理和威力效应。

那些对弹道学造诣很深的弹道学家们，通常只致力于其中一个领域。然而，枪炮弹药设计师们若想成功地设计出能满足军事需求和性能要求的野战武器，就必须对三个领域都全面精通。本书出版有两个意图，首先，对弹道学每个领域的理论以循序渐进的方式逐步展开，从而使初级工程师对

该学科及相关术语有一个初步的感性认识,然后再对内容进行深入理解;其次,对每个领域的设计实践进行具体的说明。武器设计的许多知识都是以学徒的方式由经验丰富的设计师传授给新的工程师。本书就是为这些工程师出版的,希望能使他们的工作更容易,设计的产品更出色。

作者简介

唐纳德·卡卢奇,自1989年5月以来,曾任美国陆军装备,研究、发展和工程中心及皮卡汀尼兵工厂的工程师。现为皮卡汀尼兵工厂的分析与评估技术部首席、引信和精确武器技术理事,负责对加农炮发射弹药方案进行建模和评估,并且是研制XM982“神剑”制导炮弹的主要科学家。卡卢奇博士先前曾担任“萨达姆”反装甲子母弹药开发计划的总工程师。在受雇于皮卡汀尼之前,曾是一名位于新泽西州费尔菲尔德区的钛工厂的设计工程师。

卡卢奇博士曾任新泽西州恩格尔伍德区的霍伊特公司的总工程师、质量保证经理和采购经理。他是新泽西州和纽约州认证的专业工程师,1987年,获得位于新泽西州纽华克的新泽西理工大学的机械工程学士学位。并获得位于新泽西州霍伯肯的史蒂文斯技术学院授予的工程学硕士学位(机械)(1995年)和机械工程的博士学位(2002年)。

卡卢奇博士是史蒂文斯技术学院的兼职教授,主要讲授内弹道学、外弹道学及终点弹道学等研究生课程,此外,还教授本科生的工程设计课程。

西德尼·雅各布森,曾任新泽西州美国陆军皮卡汀尼兵工厂的弹药与武器研究员、设计师和开发专家达35年。他在该兵工厂的研究与发展实验室从初级工程师径过8个专业级别升为该实验室的副主任。他职业生涯的大部分时间都是专注于大口径坦克弹药及火炮的发展。其中很多武器已成为美军的制式装备,如长杆式动能穿甲弹(尾翼稳定脱壳穿甲弹系列)、采用加农炮发射的聚能装药弹(空心装药破甲弹系列)。因为这些成果,1983

年获得了军队的奖励,获陆军公民服务奖章;1972年获皮卡汀尼兵工厂的教育奖学金。他1951年毕业于布鲁克林大学获得数学学士学位,于1958年在史蒂文斯技术学院获得应用力学硕士学位,随后在普林斯顿大学获得连续介质力学第二个硕士学位。

他于1986年退休,但仍通过教学、作顾问及演讲工作保持着对该领域的兴趣。他在新泽西州拥有两项专利,并且是认证的专业工程师。

致谢

在撰写这本书的 4 年中, 许多人以不同的方式给与了我们很大的帮助。因此, 感觉致谢这部分最难写, 由于担心忽略了帮助过我们的朋友, 不得不写。

西德尼·雅各布森在这里首先要感谢从 50 年代就激发我们对于这一学科产生热情的几位前辈, 如: 罗伯特·施瓦茨, 280 毫米原子炮弹的设计者, 并出版了第一本关于弹药设计的专著。艾尔弗雷德·洛布, 空气弹道学家同时也是我的朋友。拉尔夫·坎波利是一位无与伦比的弹药设计者也是我的老朋友。在专业、教学和工作经验方面我们与各位专家属于不同的年代, 但对于这一学科却拥有相同的热情。

唐纳德·卡卢奇要特别感谢给我们很多鼓励和许多指导的: 迈克尔·迪飞因、威廉·德马斯、詹姆斯·普里查德、霍华德·布伦沃尔、温森特·马奇斯、罗伯特·赖斯曼、丹尼尔·皮拉斯博士、唐纳德·赖巴克、戴尔·康佩斯、安东尼·费比恩奥、卡迈因·斯彼内利、斯蒂芬·皮尔西、阿米·弗雷德曼、沃尔特·凯尼格、皮特·普罗斯汀斯博士和威廉·史密斯, 所有这些人对我们的事业发展作了很大贡献, 因而才有这本书的最终出版。

必须感谢作为我们的导师, 良师益友和行为榜样的维克托·林德纳, 一位武器界公认的领导者, 也是一位工作了数十载的专家。

在总的创新及技术方面, 我们衷心感谢保罗·库珀与约翰·祖卡斯博士, 由于他们的耐心指导和不断的鼓励使项目得以顺利进行。我们要感谢丹·潘伯斯在技术上给与的大力支持, 允许我们采用他的锯齿螺纹计算方

法, 布莱恩·奇斯曼博士在复合材料与陶瓷材料的使用方面给与了重要的建议和帮助, 本书的审阅者科斯塔斯·夏萨皮斯博士与西瓦·萨盖姆博士对本书出版给与了大力的支持。在本书撰写期间曾作为教材在史蒂文斯技术学院讲授, 马克·米尼斯、斯坦利·迪费尔、肖恩·斯派克特富尔顿、迈罗斯拉夫·特斯拉、帕特里夏·范戴克、韦詹·苏博士, 尹·陈、约翰·汤姆斯、比尔·德赖斯迪尔博士、比尔·沃尔斯特博士、伊格博尔·梅米达吉克和米利欧·维加作为老师、学生、朋友及同事分别在内容分析、问题检查或手稿修改方面做了大量的工作。

我们俩人为本书出现的所有错误和疏漏负责。

还要感谢我们的高级编辑乔纳森·普兰特博士, 他所展现的极其乐观而自信的态度, 使本书的出版过程变得简单与愉快。我们还要感谢为本书付出辛勤劳动出版编辑塞思亚纳里亚纳穆尔塞·斯瑞哈伦先生的文字编辑, 由于他的努力才使得我们的手稿变成了印刷版。最后, 我们要感谢项目编辑, 理查德·特里希德先生, 他的帮助使这项工作思路清晰, 进展顺利。

目录

第 1 章 概论	2
1.1 弹道学科	3
1.2 术语说明	4
1.3 单位及符号	4
第 2 章 内弹道学的物理基础	5
2.1 理想气体定律	5
2.2 气体的其他定律	12
2.3 热物理学和热化学	13
2.4 热力学	18
2.5 燃烧	23
2.6 固体发射药燃烧	35
2.7 流体力学	45
第 3 章 解析与计算弹道学	67
3.1 计算目标	67
3.2 拉格朗日梯度	68
3.3 坡膛梯度	92
3.4 内弹道学中的数值方法	94

3.5 敏感度和效率	99
第 4 章 弹药设计原则	102
4.1 应力和应变	102
4.2 失效准则	106
4.3 弹药类型	110
4.4 发射药点火	111
4.5 火炮药室	111
4.6 发射药装药结构	112
4.7 发射药的几何结构	113
4.8 弹壳设计	114
4.9 弹丸设计	117
4.10 弹壳结构分析	118
4.11 锯齿螺纹设计	138
4.12 弹托设计	146
扩展阅读	154
第 5 章 武器设计原则	155
5.1 疲劳和耐性	155
5.2 炮管设计	157
5.3 枪械动力学	164
5.4 膛口装置及其相关现象	169
扩展阅读	179
第 6 章 概论	181
扩展阅读	192
第 7 章 动力学回顾	193
扩展阅读	209
第 8 章 弹道轨迹	210
8.1 真空弹道	210
8.2 简单空气弹道 (平射)	217

8.3 简单空气弹道的风效应	226
8.4 广义质点弹道	237
8.5 六自由度弹道	246
8.6 修正的质点轨迹	265
参考文献	277
扩展阅读	277
第 9 章 空气弹道学的线性化	278
9.1 线性化的俯仰和偏航运动	280
9.2 陀螺和动态稳定性	290
9.3 静偏航角	295
9.4 滚转共振	297
参考文献	299
第 10 章 质量非对称	300
参考文献	302
第 11 章 偏流	303
11.1 静不平衡	306
11.2 动不平衡	308
参考文献	312
第 12 章 扰动运动	313
12.1 气动跳变	314
12.2 周向扰动	316
12.3 飘移项	318
参考文献	318
第 13 章 非线性空气弹道学	319
13.1 非线性力和力矩	319
13.2 双线性与三线性力矩	322
参考文献	325

第 14 章 概论	328
第 15 章 侵彻理论	331
15.1 金属的侵彻与穿透	331
15.2 混凝土侵彻与贯穿	348
15.3 土壤的侵彻与贯穿	354
15.4 陶瓷材料的侵彻与贯穿	361
15.5 复合材料的侵彻与贯穿	368
参考文献	371
第 16 章 冲击物理学	372
16.1 冲击 Hugoniot 曲线	372
16.2 稀疏波	389
16.3 固体中的应力波	410
16.4 爆轰物理学	428
参考文献	447
扩展阅读	447
第 17 章 爆炸效应概述	449
17.1 Gurney (格尼) 法	449
17.2 泰勒角	453
17.3 Mott (莫特) 公式	458
参考文献	464
扩展阅读	464
第 18 章 锥形装药	465
18.1 锥形装药射流结构	467
18.2 聚能射流侵彻	476
参考文献	488
扩展阅读	488
第 19 章 创伤弹道学	489
参考文献	495

扩展阅读	495
附录	496
A 词汇表	496
B 材料性质列表	504
扩展阅读	509