

Mathematical Methods in Defense Analyses

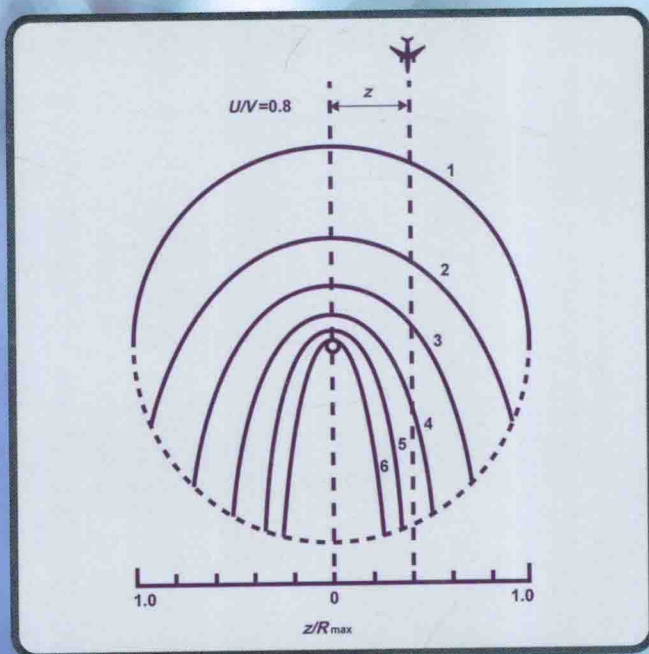
Third Edition

防务分析中的数学方法 (第3版)

(美) J.S. 普尔米尼亚茨基(J.S. Przemieniecki) 主编

张向波 钱润华 王绪智 译

何成铭 译审



航空工业出版社

AIAA EDUCATION SERIES

AIAA 航空航天技术丛书

“十二五”国家重点图书出版规划项目

防务分析中的数学方法

(第3版)

[美] J. S. 普尔米尼亚茨基 (J. S. Przemieniecki) 主编

张向波 钱润华 王绪智 译

何成铭 译审



航空工业出版社

北京

内 容 提 要

掌握武器的运用分析方法是发挥武器效能的必要途径。该书内容涵盖作战指挥、进攻防御、武器运用策略等方面,包括战略、战术高低层次,编撰的思路主要是军事问题描述、战术运用、数学表示、问题求解、结果讨论和说明等。本书共 12 章,主要内容包括:军事运筹方法、武器性能、被动目标、确定性作战模型、概率战斗模型、战略防御、战区导弹防御、不同兵力的战术交战、作战和系统的可靠性、目标探测、优化方法、建模等。

本书可作为国内相关领域的研究生和研究人员的参考书。

图书在版编目 (C I P) 数据

防务分析中的数学方法 : 第 3 版 / (美) 普尔米尼亚茨基 (Przemieniecki, J. S.) 主编; 张向波, 钱润华, 王绪智译. -- 北京 : 航空工业出版社, 2015. 8
(AIAA 航空航天技术丛书)
书名原文: Mathematical Methods in Defense Analyses, Third Edition
ISBN 978 - 7 - 5165 - 0841 - 1

I. ①防… II. ①普… ②张… ③钱… ④王… III.
①数学方法—应用—防空武器—军事技术 IV. ①E926. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 182754 号

北京市版权局著作权合同登记
图字: 01 - 2015 - 2894

Translated from the English language edition: *Mathematical Methods in Defense Analyses, Third Edition* by J. S. Przemieniecki. Originally published by the American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc. ISBN 978 - 1 - 56347 - 397 - 6. Copyright © 2000 by the American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc. All rights reserved.

防务分析中的数学方法 (第 3 版)
Fangwu Fenxi Zhong De Shuxue Fangfa (Di 3 Ban)

航空工业出版社出版发行

(北京市朝阳区北苑 2 号院 100012)

发行部电话: 010 - 84936597 010 - 84936343

三河市华骏印务包装有限公司印刷

全国各地新华书店经售

2015 年 8 月第 1 版

2015 年 8 月第 1 次印刷

开本: 710 × 1000 1/16

印张: 23.25

字数: 467 千字

印数: 1—2000

定价: 120.00 元

《AIAA 航空航天技术丛书》审委会

顾问：(按姓氏笔画排列)

尹泽勇	石屏	冯培德	刘大响	关桥	杨凤田	李天
李明	宋文骢	张彦仲	陈一坚	陈祥宝	赵振业	唐长红
顾诵芬	曹春晓	颜鸣皋				

主任：林左鸣

副主任：谭瑞松 顾惠忠 吴献东 张新国

委员：(按姓氏笔画排列)

王坚	王之林	王向阳	王英杰	王润孝	卢广山	曲景文
华俊	刘选民	刘春晖	杨圣军	李晓红	吴松	汪亚卫
陈元先	陈灌军	庞为	郭恩明	都本正	彭卫东	葛子干
蔡毅	魏金钟					

《AIAA 航空航天技术丛书》编委会

主任：张新国

副主任：王英杰 魏金钟

委员：(按姓氏笔画排列)

丁文强	丁全心	王永庆	王永明	王明皓	王聪梅	车宏
牛文生	邓景辉	尹红顺	艾俊强	帅朝林	田泽	白晓东
冯子明	巩水利	朱知寿	朱荣刚	刘永泉	江和甫	孙聪
杨伟	杨旭	杨超	杨朝旭	苏炳君	李文正	李东杰
李孝堂	李宏新	李周复	严成忠	吴希明	吴良斌	吴学仁
何胜强	沈锡钢	宋笔锋	张弘	张波	张明习	张继高
陆志东	陆虎敏	陈聪慧	范彦铭	欧阳绍修	罗安阳	周自全
赵霞	侯敏杰	姚华	袁立	聂海涛	徐华胜	郭德伦
益小苏	陶春虎	桑建华	黄佑	黄传跃	曹奇凯	章怡宁
梁相文	梁晓庚	董建鸿	强宝平	童明波	曾军	曾元松
蒲小勃	褚林塘	臧军	廖志忠	樊会涛		

编委会办公室

主任：刘鑫

副主任：史晋蕾 李苏楠

成员：(按姓氏笔画排列)

安玉彦 李金梅 郭玮 郭倩旒

丛书序（一）

中国航空工业要融入世界航空产业链，进行国际化开拓，参与国际合作和竞争，与世界航空航天企业共谋发展，需要的是强大的技术支撑。构建先进的技术研发平台，加速推进前沿科学技术的研究，加速推进航空发动机技术和航空先进材料技术领域的基础及应用技术研究、新产品研发与技术创新，关键是要有一批具有高水平、高素质的航空航天专业人才。而人才的培养离不开知识的传承，这套《AIAA 航空航天技术丛书》就为我们提供了一个很好的资源。

习人之长，补己之短，正视不足，奋发崛起，社会发展规律普遍如此。从这套书中，我们不仅能读到长久以来人类在探索天空的过程中积跬步而形成的基础的、科学的、先进的专业知识和技术，以及崭新的思维方式和解决问题的技巧及方法，更重要的是能在学习这些成功经验的同时，多注意看看前车之鉴，避开陷阱。在这里我想要与大家共勉的是，即使是在百科全书中也不能找到所有问题的答案，科学发展永无止境，航空航天业的进步带动着社会高精尖技术的发展，其中还有很多领域及问题需要我们去探索 and 解决，因此，我们要抱着虚心的态度去学习，勇于探索的态度去思考，用好这些书，读好这些书。

科技的进步是整个社会的进步。愿我们的科技工作者、科研管理人员和广大的院校师生，既能够从中学习到知识、寻找到答案，更能够汲取精华，并能积极探索，与自身的知识、技术和经验相结合，在中国航空工业整翼飞升之时，迸发出更加绚丽的思想火花。



中国航空工业集团公司董事长

丛书序（二）

航空航天业是关系国家安全和国民经济命脉的战略性新兴产业，是高投入、高附加值的技术密集型产业。由于其技术含量高、产业链长、带动性强，其发展对我国经济结构调整、实现产业优化升级、提高综合国力具有重要意义。金融危机之后，全球对于实体经济的认识回归到正确的轨道上来，重振制造业已成大家共识。而依靠高新技术和高产品附加值的高端制造业，被认为是推进工业转型升级的突破口。航空航天业作为高端制造业的重中之重，如何发挥其“火车头”作用引领制造业拥有强大竞争优势，成为当务之急。而解决这一问题的关键，就是突破核心技术，加强自主创新。

相比欧美等发达国家，我国并没有系统地经历科学革命和工业革命的洗礼。科学技术和工业基础落后，是导致我们高端制造业发展缓慢的原因之一。科学技术的进步非一朝一夕之力。通常来讲，一个产业发展所依托的先进技术至少需要10~20年的储备周期。以前的飞机材料都是单一金属的，现在随着材料技术、制造技术的进步，发展到铝合金、铝镁合金、钛合金以及碳纤维材料。这种科学技术的进步改进了飞机的性能和功能，包括后期出现的预警机、加油机、空天飞机等，其背后凭借的也是飞机的电子设备、任务系统、功能系统等的不断升级，依靠的是一系列科学技术的积累。

夯实技术基础并谋求创新，除了依靠自身积极探索、不断积累技术成果，还要吸纳国外先进的技术成果和经验，建立开放式的科学技术发展架构。

着眼于此，中航出版传媒有限责任公司（航空工业出版社）从美国航空航天学会（AIAA）的专业出版物中选择优秀图书引进翻译出版为中文版，推出了这套《AIAA 航空航天技术丛书》。熟悉 AIAA 的同行们都知道，AIAA 的出版物专注于航空航天领域，包括专业图书、期刊、会议论文和标准等，是为航空航天业提供信息服务的重要组成部分。AIAA 的图书工作委员会及其严格的审查制度保证了其图书具有较高的学术水平和技术含量。

这套中文版的《AIAA 航空航天技术丛书》涵盖飞行器的结构技术、材料技术、制造技术、气动技术、推进技术、试验技术、控制技术、航电系统和武器系统等方面，是对国内有关专业领域的有益补充。这次引进翻译出版工作所涉及的专业领域较多，工作繁杂，难度很大，需要协调的事情也很多，衷心希望最终能够达到预期目的，真正为促进国际化的交流与合作、为培养高素质的航空航天专业人才、为前沿科学技术的探索和创新起到应有的作用。



中国航空工业集团公司副总经理

给 AIAA 中文版丛书的序言

美国航空航天学会 (AIAA) 由成立于 1930 年的美国火箭协会和成立于 1932 年的美国航空科学学会于 1963 年合并而成。自此, AIAA 就作为最早的平台服务于美国及全球航空航天技术的创新者、卓越者和引领人。广为人们所熟悉的奥维尔·莱特, 尼尔·阿姆斯特朗, 弗兰克·惠特尔, 凯利·约翰逊, 西奥多·冯·卡门和沃纳·冯·布朗都是 AIAA 的会员, 而每 6 名 AIAA 的会员中就有超过 1 名会员来自美国以外的国家或地区。

这套中文版的《AIAA 航空航天技术丛书》是 AIAA 和中航出版传媒有限责任公司 (航空工业出版社) 良好合作的硕果。这种合作关系使得 AIAA 与中国航空学会之间以及 AIAA 与中国宇航学会之间的合作相得益彰。作为世界上最大的服务于航空航天业的技术学会, 由我们来推进 AIAA 图书中文版及双语版的出版和促成我们会员之间的交流是极为恰当之事。

我们的合作最早是由中航出版传媒有限责任公司所提出的, 最初主要关注在对 AIAA 技术图书的翻译上, 采用译注的形式使得英文技术词汇有限的学生能够掌握图书阐述的概念。正如你们所看到的这套丛书, 现在它已不仅限于最初的目的和形式。我们不会忘记我们的宗旨, 而当我们展望未来时, 我们感到非常高兴的是这套 AIAA 中文版图书包含了 AIAA 所出版的所有类别的图书: 教育系列 (大学教材)、航空航天进展系列 (科技) 以及飞行图书馆系列 (大众爱好)。

另外, 最近几年里, AIAA 的所有图书、期刊文章和技术会议论文都已进行电子版存档, 我们也希望我们的国际会员和合作伙伴能够很方便地访问这个强大的航空航天信息图书馆。

由最初在出版上的合作开始, AIAA 已增强了其与中国的合作关系, 包括代表团互访和交流等活动。这些互惠活动使美国和中国的航空航天团体之间的联系纽带更加牢固, 也使双方收获了重要的友谊。各种开拓性的互动将使我们的国家间拥有更好的相互理解与合作关系。AIAA 非常感谢中国航空工业集团公司的张新国副总经理、中航工业经济技术研究院王英杰院长、中航出版传媒有限责任公司的刘鑫总经理和李苏楠主任为此次合作所做出的努力。

AIAA 致力于服务广大会员和航空航天业。如今, AIAA 有许多来自中国的会员, 随着更多的学生和专业人士通过这套丛书、AIAA 的其他出版物和直接的交流而对 AIAA 有更多的了解, 我们希望来自中国的会员数量将会不断增多。而对于如何改善我们的服务, 我们认为最好的想法是来自于我们的读者和会员。欢迎你们提出建议, 并且我相信中航出版传媒有限责任公司会将你们提出的建议转达给 AIAA。

我们期待着未来长期且富有成效的合作。



罗伯特·迪克曼
美国航空航天学会主席

谨以此书献给全世界的自由战士和为了自由与
人权而做出最终牺牲的人们。

原 版 序

约翰·普尔米尼亚茨基 (John Przemieniecki) 出版的《防务分析中的数学方法 (第3版)》一书在美国航空航天学会教育系列丛书中是一个重大的贡献, 标志着数学科学方法应用在防务分析中的显著进步。该书编写的最初动力可以追溯到第二次世界大战中运筹学研究成功的著名案例。到现在, 虽然许多相关技术都相继得到了发展, 但由于各种原因, 还没有达到最初的愿望和方便应用的目标, 尤其是对于刚刚开始学习的学生。该书可以很好地填补这一鸿沟。

作为空军技术学院的资深院长和本书主编, 普尔米尼亚茨基博士具有充分的资格将他的专业知识转化为一本优秀的教材, 用他自己的开拓性工作帮助学生。该书给出了可靠性和许多不同作战过程, 例如搜索、探测、目标分配、耗损等的应用分析方法。为了测试它们的效能, 学生们已经使用了教材中的一些草图。

读者将会发现最后一章建模部分值得阅读, 表现在用词上也相当重要。它特别提醒我们, 并不是所有的问题进行数学处理都是有用的, 也不是所有的模型都能很好地表现现实。另外, 关于作战, 还有许多重要的方面, 我们的理解是不充分的。因此, 普尔米尼亚茨基博士在最后一章强调了模型的验证和确认。

克莱顿·J. 托马斯 (Clayton J. Thomas)
美国空军司令部研究分析首席科学家
华盛顿, 1990 年

第3版前言

“如果你想要和平，准备战争。”这句拉丁谚语很早就成为国家防务的基本理念。200多年前，乔治·华盛顿在他的著名宣言中再次指出，“做好战争准备是保持和平的最有效手段之一。”这一论断今天仍然适用。维护和平，维护我们珍视的价值观，保持我们的生活方式都需要一个强大的国防去阻止任何潜在的侵略者。

强大的国防需要掌握己方和潜在对手双方的国防能力。国防能力的各种分析技术和建模方法显然有助于以上认识，并且可以提出现有国防力量部署和使用的一个合理依据。《防务分析中的数学方法》收集了军事运筹研究中的各种数学方法。它提供了军事建模中的各种分析工具的一个合理的开发方法。本书的目的并不是成为一本运筹学研究的书籍，这类书已经有很多。本书的主要目的是介绍各种技术方法，并且不是一般的、单一的进行讨论研究。该教材已经应用于战略战术学专业的研究生课程中。本书的大部分材料来源于公开出版物，一些新的材料是为书稿而撰写的。

本书第2版包括另外一些材料。它包括优化方法，如线性规划的几个典型应用的例子，还有AIAA教育系列以前单独出版的一些子程序。这些子程序可用于计算教材中推导的公式或数表的数值。每一个子程序提供有公式的详细参考文献，来保证公式的假设、推导、应用相一致。求解说明书可以直接从作者（e-mail: jprzemie@msn.com）那里获取。

在第3版，新的第7章“战区导弹防御”将反洲际弹道导弹的分层防御的概念扩展到作战区域或陆/空战斗中的近程导弹或巡航导弹作战。分层防御是美国国家弹道导弹防御（NBMD）和区域导弹防御（TMD）设计用于分别拦截远程、中程到短程导弹的基础。这新的一章详细分析了三种目标分配方式下的系统性能。

在完成书稿的艰辛过程中，作者得到了许多人的支持。尤其需要特别感谢的是艾伯特·H. 穆尔（Albert H. Moore）博士、詹姆斯·N. 贝克斯菲尔德（James N. Bexfield）和克莱顿·J. 托马斯，他们阅读了书稿，提出了有价值的意见。格伦·A. 肯特（Glenn A. Kent）和弗兰克·S. 古德爾（Frank S. Goodell）提出了有价值的改进建议，海伦娜·查尔内基（Helena Czarnecki）提供了第7章的绘图。对他们的帮助表示真诚的感谢。

J. S. 普尔米尼亚茨基

空军技术学院

赖特-帕特森空军基地，俄亥俄州

2000年5月

译者序

《防务分析中的数学方法》(第3版)是由赖特-帕特森空军基地的美国空军技术学院退休院长约翰·S. 普尔米尼亚茨基博士任主编,马里兰大学、美国空军学会、防务学院、海军研究生院、波音公司等多所大学、研究机构和公司的知名专家学者任编委,美国航空航天学会(AIAA)出版公司于2000年出版的一本教育系列图书,主要供战略战术学专业研究生使用的军事学和数学建模类教材。

诚如编者所言,该书的目的是成为一本运筹学方面的书籍。该书内容涵盖作战指挥、进攻防御、武器运用策略等方面,包括战略、战术高低层次,研究的思路主要是军事问题描述、战术运用、数学表示、问题求解、结果讨论和说明。

考虑到该书的适用对象是研究生以上层次人员,并具有一定的军事基础知识和较丰富的专业知识,因此,本书在翻译过程中,对一些过时的背景信息进行了简要概括或删减,对一些较为抽象的求解方法进行了直观的描述和说明,对作者个别笔误的地方进行了修正,以便于国内读者学习和掌握。书中所要求的数字解用到的计算机程序参见 <http://www.aviationnow.com.cn/Page/AcaColDownloadAttache.aspx>。

相信本书对国内军事领域的研究生和专业研究人员会有较高的参考价值。

感谢军队“2110工程”的支持;感谢梅国建教授、宋海涛主任、赵中凯副主任的关心和支持;感谢航空工业出版社李苏楠主任、吴敏编辑、李金梅编辑等人的倾力帮助和辛苦工作,他们的严谨作风和工作热情令人钦佩。

译者

北京 卢沟桥畔

2014年8月

目 录

第 1 章 军事运筹方法	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 数学方法	(4)
1.3 定量能力	(7)
参考文献	(7)
习题 1	(9)
第 2 章 武器性能	(10)
2.1 武器性能数据	(10)
2.2 经验平均值	(13)
2.3 离散或离差	(14)
2.4 弹着点的均值：系统误差	(16)
习题 2	(17)
第 3 章 被动目标	(18)
3.1 二项分布	(18)
3.2 正态（高斯）分布	(21)
3.3 泊松分布	(22)
3.4 概率密度分布：线性误差概率（LEP）	(24)
3.5 对矩形目标单发击中的概率	(26)
3.6 多发击中（杀伤）目标的概率	(27)
3.7 点目标摧毁的概率：圆误差概率	(29)
3.8 矩形目标击中概率：Polya – Williams（P – W）近似	(36)
3.9 方差不相等时椭圆形目标的击中概率	(38)
3.10 空间中点状目标的击毁概率	(39)
3.11 线形、圆形和球形误差概率	(41)
3.12 均匀目标的期望损伤	(43)
3.13 平面上点状目标的损伤函数	(47)

3.14	弹片的损失函数	(51)
3.15	对面目标的武器有效半径 R_w	(54)
3.16	武器对空间目标的有效半径 R_w	(57)
	参考文献	(58)
	习题3	(59)
第4章 确定性作战模型		(60)
4.1	有效射击率：耗损率	(60)
4.2	马尔可夫耗损率：概率值	(61)
4.3	兰切斯特直射模型：平方律	(65)
4.4	兰切斯特面射击模型：线性率	(69)
4.5	游击战模型：混合律	(72)
4.6	自主射击模型：对数律	(75)
4.7	几何平均模型：线性律	(76)
4.8	海尔姆博尔德模型：规模效应	(77)
4.9	自主/直射模型	(79)
4.10	兵力均势	(80)
4.11	战斗撤出：兵力中止点	(80)
4.12	可变耗损系数：机动攻击模型	(81)
4.13	战斗中的兵力增援	(84)
4.14	混合模型	(87)
4.15	琉黄岛战役	(88)
4.16	伤亡交换比率	(90)
	参考文献	(93)
	习题4	(94)
第5章 概率战斗模型		(96)
5.1	序贯战斗：独立于时间的战斗	(96)
5.2	连续战斗：依赖时间的战斗	(99)
5.3	连续战斗状态：直射模型	(102)
5.4	连续战斗状态：面射击模型	(108)
5.5	多对多交战	(114)
	参考文献	(120)
	习题5	(120)

第 6 章 战略防御	(122)
6.1 战略防御倡议：分层防御	(122)
6.2 多层防御反多弹头攻击	(127)
6.3 反弹道导弹防御：博弈论	(129)
6.4 穿过防空区域的优化路径：威胁函数	(139)
6.5 突防飞机的防御	(143)
6.6 战略力量充足模型	(149)
参考文献	(152)
习题 6	(153)
第 7 章 战区导弹防御	(155)
7.1 战区导弹防御概念	(155)
7.2 导弹（或坦克）突破的概率	(157)
7.3 零个导弹突防的概率	(162)
参考文献	(165)
习题 7	(165)
第 8 章 不同兵力的战术交战	(166)
8.1 直射“多对多”交战：数字解法	(166)
8.2 聚合兵力	(168)
8.3 优势参数	(168)
8.4 聚合兵力求解	(171)
8.5 数值求解例子：一对二交战	(172)
8.6 直射求解评论	(174)
8.7 面射击的“多对多”交战	(175)
8.8 游击战的“多对多”交战	(177)
8.9 防御兵力的部署	(179)
参考文献	(187)
习题 8	(188)
第 9 章 作战和系统的可靠性	(191)
9.1 连续作战的可靠性	(191)
9.2 并行（冗余）作战的可靠性	(192)

9.3	混合（串联和并联）行动可靠性	(194)
9.4	空对空交战情形	(195)
9.5	可靠性随时间的变化	(195)
9.6	由概率得出的可靠性推导	(204)
9.7	风险函数 $h(t)$	(206)
9.8	可靠性函数的试验计算	(208)
9.9	武器系统的维修性	(210)
9.10	系统的可用性	(211)
	参考文献	(211)
	习题 9	(212)
第 10 章 目标探测		(214)
10.1	间歇扫视	(214)
10.2	连续搜寻	(216)
10.3	运用距离的探测比率变化：探测的平方反比率和立方反比率	(218)
10.4	给定区域搜索发现的概率	(220)
10.5	一维搜索	(224)
10.6	固定速率目标	(225)
10.7	目标电磁辐射的探测	(228)
	参考文献	(230)
	习题 10	(230)
第 11 章 优化方法		(232)
11.1	数学优化	(232)
11.2	拉格朗日乘子法应用：一次集群投弹	(238)
11.3	线形规划的例子	(240)
	参考文献	(243)
	习题 11	(244)
第 12 章 建模		(246)
12.1	模型	(246)
12.2	军事作战建模	(248)
	参考文献	(253)