



国防科技著作精品译丛

Military Laser Technology for Defense
Technology for Revolutionizing 21st Century Warfare

军用激光防御技术

——变革21世纪战争的技术

【美】Alastair D. McAulay 著 叶锡生 陶蒙蒙 何中敏 译

WILEY | 北

国防工业出版社
National Defense Industry Press



装备科技译著出版基金

军用激光防御技术

——变革21世纪战争的技术

**Military Laser Technology for Defense:
Technology for Revolutionizing 21st Century Warfare**

[美] Alastair D. McAulay 著
叶锡生 陶蒙蒙 何中敏 译



国防工业出版社

National Defense Industry Press

著作权合同登记 图字: 军-2011-115 号

图书在版编目 (CIP) 数据

军用激光防御技术: 变革21世纪战争的技术/ (美) 麦考利 (McAulay, A. D.) 著; 叶锡生, 陶蒙蒙, 何中敏译. — 北京: 国防工业出版社, 2013.10
(国防科技著作精品译丛)

书名原文: Military laser technology for defense: technology for revolutionizing 21st century warfare
ISBN 978-7-118-08915-8

I. ①军… II. ①麦… ②叶… ③陶… ④何… III.
①激光应用—军事技术—防御 IV. ①E919

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第140604号

Translation from the English language edition:

Military Laser Technology for Defense: Technology for Revolutionizing 21st Century Warfare
by Alastair D. McAulay.

Copyright © 2011 by John Wiley & Sons, Inc.

All Rights Reserved. This translation published under license.

本书简体中文版由 John Wiley & Sons, Inc. 授权国防工业出版社独家出版发行。
版权所有, 侵权必究。

军用激光防御技术——变革21世纪战争的技术

[美] Alastair D. McAulay 著 叶锡生 陶蒙蒙 何中敏 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公司印刷

开 本 700 × 1000 1/16

印 张 20

字 数 307 千字

版 印 次 2013 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

印 数 1—3000 册

定 价 89.00 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

序

激光以光速传播,在用作武器时绝大多数对抗措施将来不及响应,因而它已成为现代防御武器的理想手段。在快速变化的现代战争中,激光技术日益受到重视。在迫切需求的牵引之下,目前军用激光防御技术已经并正在得到世界上越来越多重要国家的强力支持,呈现出迅猛发展的势头。

美国理海大学阿拉斯泰尔 D. 麦考利教授所著 “*Military Laser Technology for Defense: Technology for Revolutionizing 21st Century Warfare*” 一书,对于军用激光系统所涉及的技术及其发展现状,进行了系统介绍与评述。该书包括“防御系统的光学技术”、“防御系统的激光器技术”、“对抗军事威胁的防御应用”3部分共17章。作者基于非密或已解密信息,着重介绍了如何降低导弹、未来核武器、定向能武器、生化袭击、恐怖分子、恶劣天气影响成像等最为紧迫的六大军事威胁的技术,展示了将激光用于变革21世纪战争的前景与潜力。

西北核技术研究所激光与物质相互作用国家重点实验室叶锡生研究员主持对本书进行了精细的翻译。此中译本的出版,必将起到协助我国更多有关人士进一步理解军用激光防御技术原理、方法和发展动态的重要作用。

本书可在了解军用激光技术发展现状、进行新型激光系统设计研发和开展有关战略规划等方面,给科学家、工程师、军事规划者、学术研究者以及研究生、大学生提供参考。

赵伊灵

2013年3月于北京

译者序

本书由美国理海大学阿拉斯泰尔 D. 麦考利 (Alastair D. McAulay) 教授基于非密信息或已解密信息所著, 分为“用于防御系统的光学技术”、“用于防御系统的激光器技术”和“防御军事威胁的应用”3 大部分内容共 17 章: 光学射线、高斯光束与偏振、光学衍射、衍射光学元件、传输和大气湍流补偿、光学干涉仪与谐振腔、束缚电子态激光器原理、高功率激光器、高峰值功率脉冲激光器、超高功率回旋加速型微波激射器和激光器、自由电子激光器/微波激射器、对导弹的激光防御、用于寻求新型核武器威胁的激光器、保护物资装备免遭定向能激光攻击、防御化学/生物武器的激光雷达、在恶劣天气下对目标探测/跟踪/识别的 94GHz 雷达、利用 W 波段防御恐怖分子。

本书可给相关领域的科学家、工程师、军事规划者、学术研究者 and 学生提供全面的参考。

本书的翻译工作分为三个阶段。第一阶段为形成译文初稿, 由陶蒙蒙负责第 2 章、第 4 章、第 6 章、第 8 章、第 9 章、第 10 章、第 12 章、第 13 章、第 14 章、第 17 章, 由叶锡生和何中敏负责第 1 章、第 3 章、第 5 章、第 7 章、第 11 章、第 15 章、第 16 章, 并由何中敏负责对各章中有英文标注的图片进行初步处理。第二阶段为校核, 先由陶蒙蒙和何中敏分别进行初步互校, 再由叶锡生负责对全部译文初稿进行逐字逐句的校核, 对误译或漏译的内容进行更正和补充翻译, 对不太符合中文表达习惯或表达方式的语句进行了修改。第三阶段为统稿, 由叶锡生负责。

中国工程院院士赵伊君教授在翻译过程中进行了指导和帮助,并于百忙中为本书作序,在此表示衷心感谢。

因译者水平所限,不妥之处在所难免。如发现错漏之处,敬请指出,我们将不胜感激。

叶锡生

2013年8月于西安

前言

早在 1832 年,德国人卡尔·冯·克劳塞维茨就写到^[22]:“战争是政治的延续。”在历史上,当一些利益集团不能采用政治途径解决其冲突时,就会爆发战争。因此,针对一些潜在的威胁,每一个集团都必须准备进行自卫。

对防御现代化武器而言,激光技术是很理想的手段,这是因为激光束可在数微秒之内将能量投射到数千米以外,其速度之快足以淘汰绝大部分对抗措施。本书仅仅涉及非密的或脱密的信息,且集中于包括经由大气传输的军事应用。第 1~6 章提供光学技术方面的背景资料;第 7~11 章介绍激光器技术,包括对未来战争将有重大影响的超高功率高效激光器件,比如自由电子激光;第 12~17 章则说明激光技术如何能有效地降低 21 世纪最紧迫的六种军事威胁,包括使用激光器件防御导弹、未来核武器、定向束武器、生化武器、恐怖分子以及克服在恶劣天气条件下进行成像的难题。

了解上述这些威胁及其相关的激光防御系统对合理分配资源十分关键,这是因为在维持强劲的经济、有效的基础设施和有力的军事防御之间需要建立一个平衡。强有力的防御会吓阻攻击者,而且常常最终会比其他一些选择更为划算。我相信,激光技术将变革 21 世纪的战争。

阿拉斯泰尔 D. 麦考利
于理海大学 (美国宾夕法尼亚州伯利恒市)

致谢

感谢我妻子卡罗尔·朱莉娅在本书写作过程中所给予的耐心和帮助，也感谢我的儿子亚历山大和他的妻子伊丽莎白。还希望感谢本研究领域中被我引用过其文献或与之进行过讨论的多得不便一一列举的学者。对国际光学工程学会 (SPIE)、美国光学学会 (OSA)、电气和电子工程师协会 (IEEE) 以及为我写作此书提供环境条件的理海大学也表示感谢。

著者简介

阿拉斯泰尔 D. 麦考利在剑桥大学获机械科学专业学士和硕士学位, 在卡耐基·梅隆大学获电气工程专业博士学位。1992 年, 他成为理海大学电子与计算机工程系教授; 从 1992 年到 1997 年担任钱德勒·韦弗讲席教授和电子工程与计算机科学 (EECS) 教授, 从 1987 年至 1992 年担任莱特州立大学 NCR 特聘教授和 CSE 教授。之前, 他在德州仪器公司社团实验室工作了 8 年, 其间他是美国国防部高级研究计划局 (DARPA) 光学数据流计算机的项目主管, 该计算机在其著作 “*Optical Computer Architectures*” (约翰威立父子出版公司 1991 年出版) 中得到过描述。再之前, 他曾经从事过 “先进轻型鱼雷” (后成为 Mk-50 鱼雷) 等国防工业项目的工作。通过 Linked In 网站可与麦考利博士联系。

目录

第 1 部分 用于防御系统的光学技术

第 1 章 光学射线	2
1.1 傍轴光学	2
1.2 几何光学或光线光学	4
1.2.1 费马原理	4
1.2.2 用费马原理证明斯涅耳折射定律	4
1.2.3 几何光学或光线理论的极限	5
1.2.4 费马原理推导光线方程	6
1.2.5 光线方程的有效应用	7
1.2.6 几何光学的矩阵表示法	8
1.3 发射和接收光束的光学	9
1.3.1 单一薄透镜成像	10
1.3.2 扩束器	12
1.3.3 缩束器	13
1.3.4 望远镜	14
1.3.5 显微镜	17
1.3.6 空间滤波器	18

第 2 章 高斯光束与偏振	19
2.1 高斯光束	19
2.1.1 高斯光束的描述	20
2.1.2 服从 $ABCD$ 定律的高斯光束	23
2.1.3 利用透镜产生和接收高斯光束	25
2.2 偏振	28
2.2.1 波片或相位延迟器	29
2.2.2 斯托克斯参量	32
2.2.3 邦加球	33
2.2.4 邦加球上点的识别和椭圆偏振的斯托克斯参量表示	34
2.2.5 偏振控制	35
第 3 章 光学衍射	37
3.1 衍射导论	37
3.1.1 衍射的描述	37
3.1.2 傅里叶变换的回顾	39
3.2 傅里叶变换的测不准原理	41
3.2.1 时域傅里叶变换的测不准原理	41
3.2.2 空域傅里叶变换的测不准原理	44
3.3 标量衍射	46
3.3.1 预备知识: 格林函数和定理	47
3.3.2 由边界场决定的点场	47
3.3.3 孔径的衍射	49
3.3.4 菲涅耳近似	51
3.3.5 夫琅和费近似	53
3.3.6 数值计算的作用	55
3.4 衍射极限成像	55
3.4.1 孔径在成像系统中的直观影响	55
3.4.2 透镜孔径对成像的衍射效应计算	56
第 4 章 衍射光学元件	60
4.1 衍射光学元件的应用	60

4.2	衍射光栅	61
4.2.1	衍射光栅光路偏折及光栅公式	62
4.2.2	余弦光栅	63
4.2.3	光栅性能	65
4.3	波带片设计及模拟	66
4.3.1	波带片外观及聚焦	66
4.3.2	波带片设计及模拟的计算	68
4.4	用于衍射光学元件设计的格希伯格 - 萨克斯顿算法	72
4.4.1	格希伯格 - 萨克斯顿算法的目标	72
4.4.2	衍射光学元件的逆问题	73
4.4.3	前向格希伯格 - 萨克斯顿算法	74
4.4.4	格希伯格 - 萨克斯顿反向算法设计纯相位滤波器或衍射光学元件	74
第 5 章 传输和大气湍流补偿		76
5.1	相关的统计学知识	77
5.1.1	各态历经	78
5.1.2	局部均匀随机场的结构函数	78
5.1.3	结构函数的空间功率谱	79
5.2	大气中的光学湍流	81
5.2.1	柯尔莫果洛夫能量级联理论	82
5.2.2	光学湍流中折射率的功率谱模型	84
5.2.3	大气瞬态统计学	85
5.2.4	长程湍流模型	85
5.3	自适应光学	85
5.3.1	自适应光学的装置和系统	85
5.4	对穿过大气湍流的激光的计算	88
5.4.1	穿过大气湍流传输的分层模型	89
5.4.2	柯尔莫果洛夫相位屏的波谱法生成	91
5.4.3	柯尔莫果洛夫相位屏的结构函数协方差法生成	93

第 6 章 光学干涉仪与谐振腔	98
6.1 光学干涉仪	98
6.1.1 迈克尔逊干涉仪	100
6.1.2 马赫 - 曾德尔干涉仪	103
6.1.3 光纤萨格纳克干涉仪	107
6.2 法布里 - 珀罗谐振腔	109
6.2.1 法布里 - 珀罗原理及公式	109
6.2.2 法布里 - 珀罗公式	109
6.2.3 法布里 - 珀罗腔调谐器的压电调谐	115
6.3 薄膜干涉滤波器与介质镜	116
6.3.1 薄膜的应用领域	116
6.3.2 薄膜层前向计算的矩阵方法	118
6.3.3 薄膜层参数计算的反向问题	122

第 2 部分 用于防御系统的激光器技术

第 7 章 束缚电子态激光器原理	125
7.1 束缚电子态相干辐射的激光产生	126
7.1.1 激光器中相干光的优势	126
7.1.2 用于相干光产生的光与物质相互作用基本理论	127
7.2 半导体激光二极管	130
7.2.1 p-n 结	131
7.2.2 半导体激光二极管增益	134
7.2.3 半导体激光器动力学	137
7.2.4 用于高功率的半导体阵列	138
7.3 半导体光放大器	138
第 8 章 高功率激光器	141
8.1 高功率激光器的特征	142
8.1.1 波长	142
8.1.2 光束质量	142
8.1.3 功率	143
8.1.4 泵浦方式	145

8.1.5 用于高功率激光器的材料	146
8.2 固体激光器	146
8.2.1 固体激光器原理	146
8.2.2 固体激光器中的二倍频	148
8.3 高功率气体激光器	156
8.3.1 高功率气动二氧化碳激光器	156
8.3.2 化学氧碘激光器 (COIL) 系统	159
第 9 章 高峰值功率脉冲激光器	163
9.1 脉冲激光器可以更为优越的一些情况	163
9.2 锁模激光器	165
9.2.1 对激光器的锁模	165
9.2.2 实施锁模的方法	168
9.3 调 Q 的激光器	168
9.4 激光的时间和空间聚焦	169
9.4.1 利用阵列和光束合成实现空间聚焦	169
9.4.2 在时间和空间上将光束同时聚集	171
第 10 章 超高功率回旋加速型微波激射器/激光器	176
10.1 回旋加速型激光器与微波激射器简介	176
10.1.1 电子回旋加速器中的受激辐射过程	177
10.2 陀螺振子型激光器和微波激射器	179
10.2.1 电子回旋加速型振荡器和放大器的原理	179
10.2.2 陀螺振子工作点和结构	181
10.3 虚阴极振荡器脉冲激励源	183
10.3.1 用于分析虚阴极振荡器的基本原理	183
10.3.2 虚阴极振荡器的结构及操作	184
10.3.3 虚阴极振荡器微波辐射的选频	185
10.3.4 Marx 发生器	186
10.3.5 驱动虚阴极振荡器的 Marx 发生器演示装置	187

第 11 章 自由电子激光器/微波激射器	191
11.1 自由电子激光器/微波激射器的重要性和原理	192
11.1.1 自由电子激光器/微波激射器的重要性	192
11.1.2 自由电子激光器/微波激射器的原理	192
11.2 对自由电子激光器运转的解释	193
11.2.1 自由电子激光器的波长通用性	194
11.2.2 自由电子激光器中产生受激发射的电子聚束	197
11.3 高功率和低功率演示的介绍	198
11.3.1 被提议的机载自由电子激光器	198
11.3.2 8 ~ 12 GHz 自由电子微波激射器低功率系统的 演示	199
11.3.3 利用自由电子激光器实现低频	201
11.3.4 调谐范围	202
11.3.5 磁摇摆器的设计	203

第 3 部分 防御军事威胁的应用

第 12 章 对导弹的激光防御	205
12.1 防御导弹和带核弹头的洲际弹道导弹	205
12.1.1 导弹的激光防御	205
12.1.2 防御带核弹头的洲际弹道导弹	207
12.2 防御洲际弹道导弹的机载激光计划	210
12.2.1 机载激光系统中的激光器	211
12.2.2 在机载激光系统中采用自适应光学进行主光束 净化	211
12.2.3 在机载激光系统中采用自适应光学对大气湍流进行 补偿	213
12.2.4 用于选择目标攻击点的照明激光器	213
12.2.5 鼻式炮塔	215
12.2.6 机载激光计划中面临的挑战	215
12.2.7 机载激光系统中自适应光学与跟踪的模拟	217

12.3	对自动寻的导弹的防御	221
12.3.1	自动寻的导弹对飞机的威胁	221
12.3.2	机上激光对抗系统评述	222
12.3.3	对抗子系统的操作	225
12.3.4	保护飞机免受陆基导弹攻击	227
12.4	对导弹的防御	228
第 13 章	用于寻求新型核武器威胁的激光器	230
13.1	核武器威胁的激光解决方案	230
13.1.1	美国和国际社会努力的主要目的	230
13.1.2	大型激光工程的益处	231
13.1.3	关于 NIF 激光器	231
13.2	国家基础激光器介绍	232
13.2.1	NIF 激光器结构	232
第 14 章	保护物资装备免遭定向能激光攻击	236
14.1	利用激光告警装置评估激光特性	237
14.2	激光告警装置	238
14.2.1	用于实时估算方向和频率的光栅	239
14.2.2	用于估算光束方向的透镜	241
14.2.3	菲佐干涉仪	242
14.2.4	用于光谱分析的集成阵列波导光栅光学芯片	244
14.2.5	激光武器用阵列波导光栅的设计	248
第 15 章	防御化学/生物武器的激光雷达	250
15.1	激光雷达及军事应用导论	250
15.1.1	激光雷达的其他军事应用	251
15.2	典型的激光雷达系统描述	252
15.2.1	激光器	252
15.2.2	卡塞格林望远镜的发送/接收天线	253
15.2.3	接收器光学和探测器	253
15.2.4	激光雷达方程	254
15.3	分光仪	257
15.3.1	基于法布里-珀罗腔的实验室光谱分析仪	257