



“十二五”国家重点出版规划项目

现代激光技术及应用丛书

中红外激光器

沈德元 范滇元 编著

Mid-infrared lasers



国防工业出版社
National Defense Industry Press



“十二五”国家重点出版规划项目

/现代激光技术及应用丛书/

中红外激光器

沈德元 范滇元 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

由于在国防、医疗、工业以及科研工作等领域的重要应用,中红外波段激光已成为国内外激光技术领域研究热点之一。本书以最前沿的科研成果为题材,系统阐述了中红外激光的产生技术与发展现状。书中重点介绍了中红外固体激光器和光纤激光器,内容包括掺铥激光器、掺钕激光器、掺铒激光器、基于非线性技术的中红外激光器以及中红外超连续谱等7章。全书内容丰富、层次分明,结合激光领域的新成果、新问题将中红外激光技术进行了透彻翔实的分析与呈现。

本书可供从事激光技术研究的科研工作者和工程技术人员参考;同时,对于物理学、光学、电子技术等专业的本科生、硕士以及博士研究生来说,也是一本非常有价值的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

中红外激光器 / 沈德元, 范滇元编著. —北京:
国防工业出版社, 2015. 12
(现代激光技术及应用丛书)
ISBN 978 - 7 - 118 - 10095 - 2

I. ①中… II. ①沈… ②范… III. ①红外激
光器—研究 IV. ①TN248

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 145618 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司印刷

新华书店经售

*

开本 710 × 1000 1/16 印张 17 字数 330 千字

2015 年 12 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 78.00 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

丛书学术委员会 (按姓氏拼音排序)

主 任	金国藩	周炳琨		
副主任	范滇元	龚知本	姜文汉	吕跃广
	桑凤亭	王立军	徐滨士	许祖彦
	赵伊君	周寿桓		
委 员	何文忠	李儒新	刘泽金	唐 淳
	王清月	王英俭	张雨东	赵 卫

丛书编辑委员会 (按姓氏拼音排序)

主 任	周寿桓			
副主任	何文忠	李儒新	刘泽金	王清月
	王英俭	虞 钢	张雨东	赵 卫
委 员	陈卫标	冯国英	高春清	郭 弘
	陆启生	马 晶	沈德元	谭峭峰
	邢海鹰	阎吉祥	曾志男	张 凯
	赵长明			

世界上第一台激光器于1960年诞生在美国,紧接着我国也于1961年研制出第一台国产激光器。激光的重要特性(亮度高、方向性强、单色性好、相干性好)决定了它五十多年来在技术与应用方面迅猛发展,并与多个学科相结合形成多个应用技术领域,比如光电技术、激光医疗与光子生物学、激光制造技术、激光检测与计量技术、激光全息技术、激光光谱分析技术、非线性光学、超快激光学、激光化学、量子光学、激光雷达、激光制导、激光同位素分离、激光可控核聚变、激光武器等。这些交叉技术与新的学科的出现,大大推动了传统产业和新兴产业的发展。可以说,激光技术是20世纪最具革命性的科技成果之一。我国也非常重视激光技术的发展,在《国家中长期科学与技术发展规划纲要(2006—2020年)》中,激光技术被列为八大前沿技术之一。

近些年来,我国在激光技术理论创新和学科发展方面取得了很多进展,在激光技术相关前沿领域取得了丰硕的科研成果,在激光技术应用方面取得了长足的进步。为了更好地推动激光技术的进一步发展,促进激光技术的应用,国防工业出版社策划组织编写出版了这套丛书。策划伊始,定位即非常明确,要“凝聚原创成果,体现国家水平”。为此,专门组织成立了丛书的编辑委员会,为确保丛书的学术质量,又成立了丛书的学术委员会,这两个委员会的成员有所交叉,一部分人是几十年在激光技术领域从事研究与教学的老专家,一部分是长期在一线从事激光技术与应用研究的中年专家;编辑委员会成员主要以丛书各分册的第一作者为主。周寿桓院士为编辑委员会主任,我们两位被聘为学术委员会主任。为达到丛书的出版目的,2012年2月23日两个委员会一起在成都召开了工作会议,绝大部分委员都参加了会议。会上大家进行了充分讨论,确定丛书目、丛书特色、丛书架构、内容选取、作者选定、写作与出版计划等等,丛书的编写工作从那时就正式地开展起来了。

历时四年至今日,丛书已大部分编写完成。其间两个委员会做了大量的工作,又召开了多次会议,对部分书目及作者进行了调整。组织两个委员会的委员对编写大纲和书稿进行了多次审查,聘请专家对每一本书稿进行了审稿。

总体来说,丛书达到了预期的目的。丛书先后被评为国家“十二五”重点出

版规划项目和国家出版基金资助项目。丛书本身具有鲜明特色:一)丛书在内容上分三个部分,激光器、激光传输与控制、激光技术的应用,整体内容的选取侧重高功率高能激光技术及其应用;二)丛书的写法注重了系统性,为方便读者阅读,采用了理论—技术—应用的编写体系;三)丛书的成书基础好,是相关专家研究成果的总结和提炼,包括国家的各类基金项目,如973项目、863项目、国家自然科学基金项目、国防重点工程和预研项目等,书中介绍的很多理论成果、仪器设备、技术应用获得了国家发明奖和国家科技进步奖等众多奖项;四)丛书作者均来自于国内具有代表性的从事激光技术研究的科研院所和高等院校,包括国家、中科院、教育部的重点实验室以及创新团队等,这些单位承担了我国激光技术研究领域的绝大部分重大的科研项目,取得了丰硕的成果,有的成果创造了多项国际纪录,有的属国际首创,发表了大量高水平的具有国际影响力的学术论文,代表了国内激光技术研究的最高水平。特别是这些作者本身大都从事研究工作几十年,积累了丰富的研究经验,从书中不仅有科研成果的凝练升华,还有着大量作者科研工作的方法、思路和心得体会。

综上所述,相信丛书的出版会对今后激光技术的研究和应用产生积极的重要作用。

感谢丛书两个委员会的各位委员、各位作者对丛书出版所做的奉献,同时也感谢多位院士在丛书策划、立项、审稿过程中给予的支持和帮助!

丛书起点高、内容新、覆盖面广、写作要求严,编写及组织工作难度大,作为丛书的学术委员会主任,很高兴看到丛书的出版,欣然写下这段文字,是为序,亦为总的前言。

金国藩 周如强

2015年3月

前言

随着激光技术的不断发展及其在国防、工业、医疗等方面的重要应用,中红外激光器已经成为国内外科学研究的重中之重。本书旨在从目前中红外激光的产生技术出发,比较系统、前沿、翔实地说明各类中红外激光器的技术原理与发展现状。希望本书的出版能对中红外激光的研究人员有所帮助,对中红外激光的发展和应用有一定的推动作用。

尽管从激光器发明后不久人们就成功获得了中红外波段激光,但在激光材料、功率输出水平、激光效率以及中红外光学器件发展水平等方面都与 $1\mu\text{m}$ 波段近红外激光有较大差距,难以满足日益增长的实际应用需求。目前产生中红外激光的技术方案主要有掺杂离子直接发射、非线性频率转换、半导体激光、量子级联激光、气体激光、自由电子激光以及随机激光和色心激光等。由于每一项技术方案都有很强的专业性,且中红外激光技术常涉及多个学科,如材料科学、激光工程、非线性光学、半导体物理、光谱学等,这也增加了技术的复杂性,对学习和研究中红外激光及相关技术造成了极大困扰和严重阻碍。目前,国内外只有少量关于中红外激光方面的文章综述,相关工作多散见于各种研究论文中,文献资料缺乏系统性。近年来,随着中红外激光技术的迅速发展和应用的日趋广泛,迫切需要一本系统总结最新发展成果并能反映中红外激光技术未来发展趋势的书籍。

本书正是在这种背景下编纂成文,从激光技术角度对中红外激光器进行高度的总结与概述。全书内容共分为7章:第1章中红外激光概述,对中红外激光的概念与特性及其重要应用做整体介绍,重点概述各种产生中红外激光的技术路线以及各类中红外激光材料的发展现状。第2章首先对掺铥激光器的泵浦方式中的共振泵浦技术进行了重点介绍;然后分别从高功率、窄线宽、纳秒脉冲和超短脉冲四个方面对掺铥激光器进行了全面阐述。第3章从铈的能级系统出发对掺铈激光器及其应用进行说明,接下来分别详细讲述 $2\mu\text{m}$ 波段掺铈激光晶

体、陶瓷和光纤以及 $3\mu\text{m}$ 波段掺铥光纤的激光技术特性。第 4 章首先介绍掺铥激光材料及其光谱等性质;然后对 $1.5 \sim 1.6\mu\text{m}$ 这一产生中红外激光的重要光源做详细的讨论,包括铥镱共掺激光器以及掺铥固体激光器;最后一节重点讲述产生 $3\mu\text{m}$ 激光的各种技术路线,并对掺铥单晶材料、陶瓷材料及 Er:ZBLAN 光纤材料的 $3\mu\text{m}$ 激光输出分别进行了介绍。第 5 章首先分析 Cr^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Pr^{3+} 、 Dy^{3+} 等激活离子的光谱性质及其产生中红外激光的输出性质;然后简明分析其他中红外激光技术,包括半导体激光器、量子级联激光器、气体激光器、自由电子激光器以及随机激光器的基本原理与发展现状,使读者对整个中红外激光领域有更全面的认识。第 6 章首先总结各种非线性光学材料并详细介绍非线性光学增益的原理,重点讲述差频方式产生中红外激光、中红外参量振荡激光以及中红外拉曼技术。第 7 章详细描述中红外超连续激光的产生原理,深入介绍中红外超连续谱并重点介绍基于波导和光纤结构的超连续激光器的最新进展。

本书是在范滇元院士的指导下,由江苏师范大学沈德元团队撰写统稿完成。由于作者水平有限,加之整理时间仓促,书中难免会存在一些不妥之处,殷切希望广大读者批评指正。

作者
2015 年 1 月

第1章 中红外激光概述

1.1 中红外激光简介	1
1.1.1 中红外激光的定义及其特性	1
1.1.2 中红外激光的应用	4
1.2 中红外激光产生技术	9
1.2.1 掺杂离子的直接发射	9
1.2.2 非线性频率转换技术	10
1.2.3 其他中红外产生技术	11
1.3 中红外激光材料	12
1.3.1 中红外激光晶体	12
1.3.2 中红外激光陶瓷	18
1.3.3 中红外玻璃与光纤材料	19
参考文献	22

第2章 掺铥激光器

2.1 掺铥固体激光器的泵浦方式	25
2.1.1 800nm 波段半导体激光泵浦技术	26
2.1.2 1.5~1.6 μm 波段共振泵浦技术	27
2.2 高功率掺铥激光器	28
2.2.1 高功率掺铥体块固体激光器	28
2.2.2 高功率掺铥光纤激光器	30
2.2.3 掺铥光纤宽带超荧光光源	36
2.3 窄线宽铥光纤激光器	43
2.3.1 VBG 窄线宽激光输出	44
2.3.2 单频掺铥光纤激光器	56
2.4 纳秒脉冲掺铥激光器	62
2.4.1 调Q 掺铥激光器	63
2.4.2 增益开关掺铥光纤激光器	65

2.5 超短脉冲掺铥激光器	73
2.5.1 超短脉冲光纤激光器	74
2.5.2 超短脉冲固体激光器	78
参考文献	79

第3章 掺钬激光器

3.1 掺钬激光系统	81
3.1.1 钬离子的能级结构	82
3.1.2 掺钬激光系统的共振泵浦技术	84
3.1.3 掺钬激光器的应用	85
3.2 高功率掺钬固体激光器	88
3.2.1 掺铥固体激光器泵浦的钬激光器	88
3.2.2 掺铥光纤激光器泵浦的钬激光器	92
3.2.3 半导体泵浦的钬固体激光器	95
3.2.4 单纵模钬激光器	96
3.3 脉冲掺钬固体激光器	98
3.3.1 主动调Q掺钬固体激光器	98
3.3.2 被动调Q掺钬固体激光器	101
3.3.3 超短脉冲固体激光器	105
3.4 掺钬光纤激光器	107
3.4.1 2 μm 波段的掺钬光纤激光器	107
3.4.2 3 μm 波段的掺钬光纤激光器	113
参考文献	117

第4章 掺铒激光器

4.1 概述	119
4.1.1 掺铒激光材料	119
4.1.2 掺铒激光器应用	122
4.2 1.5 μm 铒镱共掺光纤激光器	123
4.2.1 铒镱共掺光纤激光器发展现状	123
4.2.2 温度抑制铒镱共掺光纤激光器中1 μm 寄生振荡理论	126
4.2.3 典型铒、镱共掺光纤激光器分析	130
4.3 1.6 μm 掺铒固体激光器	138
4.3.1 掺铒固体激光器发展现状	138

4.3.2 谐振泵浦掺铒陶瓷激光器 141

4.3.3 共振泵浦掺铒晶体激光器 143

4.4 3μm 掺铒激光器 148

4.4.1 掺铒 3μm 固体激光器 148

4.4.2 Er:ZBLAN 3μm 光纤激光器 152

参考文献 156

第5章 其他直接产生中红外激光技术

5.1 过渡金属元素铬铁掺杂固体激光 158

5.2 稀土离子镨镱掺杂中红外激光器 162

5.3 中红外半导体激光器 164

5.3.1 半导体激光器工作原理 164

5.3.2 中红外半导体激光器历史与发展现状 166

5.4 其他直接发射中红外激光器 168

5.4.1 中红外气体激光器 168

5.4.2 自由电子激光器 169

5.4.3 中红外随机激光器 171

参考文献 173

第6章 基于非线性技术的中红外激光器

6.1 概述 174

6.1.1 非线性光学增益 174

6.1.2 非线性光学晶体 182

6.2 中红外差频产生 186

6.2.1 差频产生原理 186

6.2.2 差频激光光源 186

6.3 中红外光参量振荡激光 190

6.3.1 光参量振荡原理 190

6.3.2 中红外光参量振荡激光光源 193

6.3.3 中红外参量放大技术 206

6.4 中红外拉曼激光器 208

6.4.1 受激拉曼散射 209

6.4.2 中红外气体拉曼激光 211

6.4.3 中红外固体拉曼激光 213

6.4.4 中红外光纤拉曼激光	216
参考文献	227

第7章 中红外超连续谱

7.1 概述	229
7.1.1 超连续激光理论	230
7.1.2 超连续谱激光应用	235
7.2 中红外超连续谱	237
7.3 中红外超连续激光器	241
参考文献	243

1.1 中红外激光简介

1.1.1 中红外激光的定义及其特性

在空间中传播的交变电磁场即为电磁波。依照波长的不同,电磁波谱可大致分为无线电波(波长为 $1 \sim 100000\text{m}$)、微波(波长为 $0.001 \sim 1\text{m}$)、红外线(波长为 $0.76 \sim 1000\mu\text{m}$)、可见光(波长为 $390 \sim 760\text{nm}$)、紫外线(波长为 $10 \sim 390\text{nm}$)、X射线(波长为 $0.01 \sim 10\text{nm}$)、伽马射线(波长为 $10^{-5} \sim 0.01\text{nm}$)。中红外波段是指处于红外线波长范围内的某一波段,由于应用需求存在差别,不同领域对中红外波长范围有着不同的定义。国际照明协会把中红外定义为 $3 \sim 1000\mu\text{m}$ 波段;军事上则一般限定 $3 \sim 5\mu\text{m}$ 为中红外, $5 \sim 10\mu\text{m}$ 为远红外;天文学意义上的中红外为 $5 \sim 40\mu\text{m}$ 。在激光技术领域,一般将中红外定义为 $2 \sim 5\mu\text{m}$ 波段。由于本书的主体内容为阐述中红外波段的激光技术,所以采用 $2 \sim 5\mu\text{m}$ 波段的中红外激光定义。与此同时, $1.5\mu\text{m}$ 波段激光与中红外波段激光有着密不可分的联系。利用非线性频率转换技术, $1.5\mu\text{m}$ 波段的激光作为泵浦源可以轻易产生中红外激光,因此对于 $1.5\mu\text{m}$ 波段激光技术的深入了解有利于读者对中红外波段激光技术的全面把握。在本书中也涵盖了一部分 $1.5\mu\text{m}$ 波段激光技术的内容,为统一描述,在后文中不再对中红外波段和 $1.5\mu\text{m}$ 波段做出特别区分。

传统意义上的中红外波段具有三大特性:位于大气的吸收窗口、热辐射的能量主要集中在此区域、中红外波段的水吸收比较强烈。下面对这三大特性做出详细介绍。

1. 大气的吸收窗口

当电磁辐射在大气中传播时,由于大气中的各种粒子对辐射的吸收和反射,不同波长区域的电磁辐射会经历不同程度的衰减。只有某些波段范围内的电磁辐射才具有较高的透过率。通常把大气中电磁辐射透过率较高的光谱段称为大气窗口。一般来讲,位于大气窗口的光谱段主要有:微波波段($0.8 \sim 2.5\text{cm}$),远

红外波段(8~14 μm),中红外波段(2~2.6 μm ,3~4 μm ,4.5~5.5 μm),近紫外、可见光和近红外波段(0.3~1.3 μm ,1.5~1.8 μm)。0.3~15 μm 波段的大气透过率谱及相应的吸收分子如图1-1所示。由图1-1可以看到,在中红外波段,大部分波长的透射率都在60%以上,只有小部分波长由于 H_2O 、 CO_2 、 O_3 等分子的吸收,透过率极低。因此,中红外波段的激光可以实现在大气中的远距离传输,在遥感、探测等领域具有重要的应用价值。

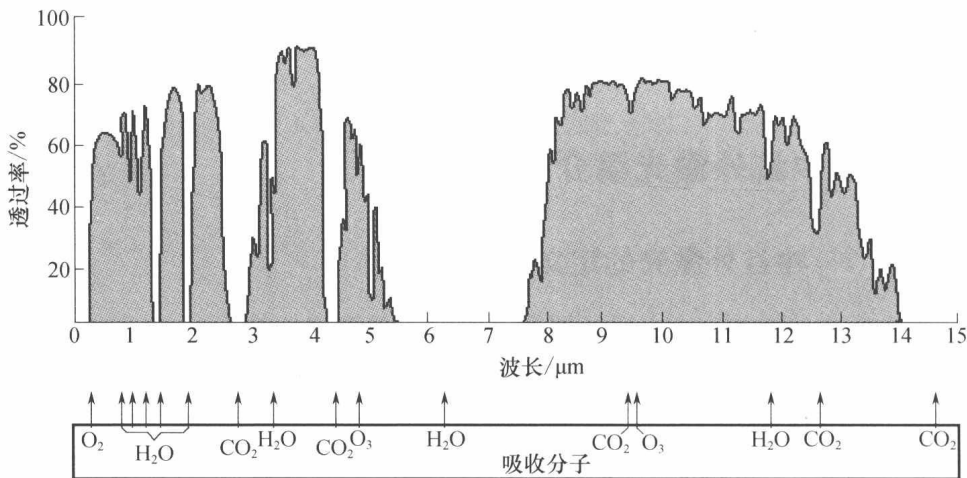


图1-1 0.3~15 μm 大气透过率谱^[1-5]

2. 热辐射能量的集中区域

任何物体都在不断地吸收、发射电磁波。辐射出去的电磁波的谱分布与物体本身的特性及其温度有关,因而称为热辐射。根据普朗克黑体辐射定律,单位面积、单位时间内物体的辐射功率与温度的四次方成正比。其谱分布遵循如下公式:

$$I(\lambda, T) = \frac{2h c^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \quad (1-1)$$

式中: I 为辐射强度; λ 为辐射波长; T 为物体的温度;普朗克常数 $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$;玻耳兹曼常数 $k = 1.380 \times 10^{-23} \text{J/K}$ 。

图1-2给出了物体温度分别为300K、700K和1000K时的黑体辐射谱。

在室温下,黑体辐射主要集中在4~20 μm 的范围内,峰值位于10 μm 附近。而当温度升高时,黑体辐射的能量逐渐向中红外波段集中。大规模杀伤性武器,尤其是导弹,在飞行过程中由于大气的摩擦以及工作部件的产热,整体的工作温度大约位于1000K,此时热辐射主要集中于中红外波段。这就使得中红外波段黑体辐射的探测成为导弹防御体系中的首选探测手段。同时,对于导弹本身来讲,中红外波段的探测制导技术又可以广泛应用于导弹的寻的制导。因此,中红外激光器在军事方面的应用在近年来取得了突飞猛进的发展。

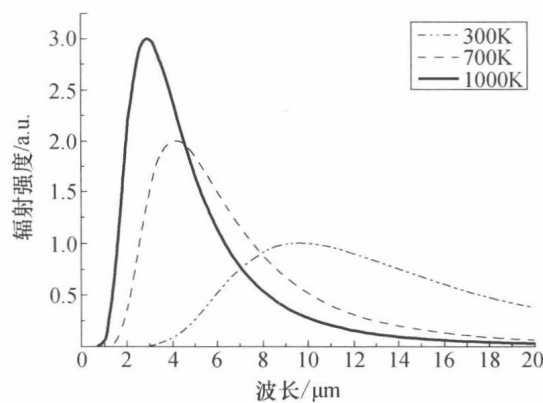


图 1-2 物体温度为 300K、700K 和 1000K 时的黑体辐射谱

3. 水吸收比较强烈

由于人体组织的 70% 由水分组成,因此在医学领域中较为关注的一点是激光的水吸收特性。水的吸收谱如图 1-3 所示^[6]。水分子在 3μm 附近存在一个较为强烈的吸收峰。相比于 1μm 波段,中红外波段的水吸收平均高几个数量级。因此,中红外波段的激光在医学上有许多重要的应用。同时,对于人眼来说,由于角膜组织对 2μm 附近的光存在强烈吸收,对视网膜起到了很好的保护作用,因此 2μm 附近的激光位于“眼安全波段”,在工业加工、遥感测距等方面都有着较为广泛的应用。

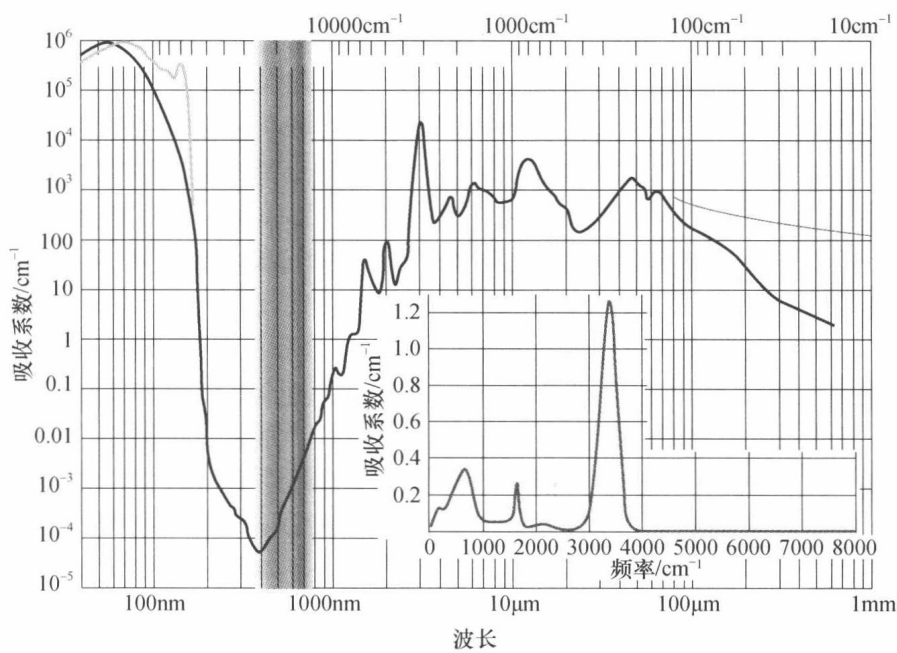


图 1-3 水的吸收谱^[6]

1.1.2 中红外激光的应用

以 $1\mu\text{m}$ 激光为代表的近红外激光技术已经相当成熟,广泛应用于国民经济各个领域;而中远红外激光从激光的产生,到激光的探测,以及激光的应用技术都远远落后于 $1\mu\text{m}$ 激光。位于 $2\sim 5\mu\text{m}$ 的中红外波段激光在国防、医疗、通信方面有着特殊应用,本节将分别从科学前沿、光电对抗、医疗、材料加工、环境监测等领域进行详细的阐述,以期让读者对中红外激光的意义有更深入的了解。

1. 科学前沿

强场物理是当今物理学研究的重要前沿领域,强光场中原子、分子的电离动力学研究则是强场物理领域的基础与研究热点。长期以来,因现有超快激光增益介质(如钛宝石)等的限制,事实上绝大多数强场电离物理的实验研究都局限于 800nm 附近的可见光至近红外波段,或者是经倍频后波长进一步缩短至其二次谐波波段。近年来,可调谐中红外新波段强场超快激光的出现与迅速发展,促使强场光电离研究深入到隧穿电离甚至深隧穿电离的参数空间,从而将已有数十年历史的强场原子分子物理研究领域推进到一个崭新阶段。

2. 军事中的光电对抗

1) 中波红外制导技术

在上一节中已经提到,任何物体都会无时无刻地在发射热辐射。当今红外技术的重要军事应用之一——红外制导导弹,利用了红外探测器捕获和跟踪目标自身热辐射的能量,从而实现寻的制导,是非常有效的精确制导打击力量。由于红外制导导弹不要求发射平台装备专门的火控系统、不需要来自目标的特殊射频辐射以及能截获足够远的目标等优点,在现代化的军队和军事行动中正占据越来越重的分量。

一般来讲,飞机、坦克、导弹的红外辐射波长主要在中红外波段,而舰船、自然景物等相对低温的物体其红外辐射波长主要集中在远红外波段。同时,在高湿热条件下,大气对远红外波段辐射的吸收大于中红外波段。由于我国东南沿海处于亚热带气候区,大力发展中波红外制导技术有着极其重大的军事和国防意义。

红外制导导弹的组成如图 1-4 所示。其工作原理是:来自目标的红外辐射透过弹头前端的整流罩,由光学系统会聚及调制后投射到红外探测器上。调制后的红外辐射信号中包含目标的位置、方向、速度等信息。红外探测器将红外辐射由光信号转变为电信号后,再经电子线路和误差鉴别装置形成作用于舵机的实时控制信号,使导弹自动瞄准、跟踪和命中目标。红外制导导弹从出现至今已经历了四代技术变革。其中,前三代属于第一阶段,为点源寻的制导导弹,即把探测目标作为点光源处理,利用空间滤波等背景鉴别技术识别并跟踪目标。其

主要的发展时间段是从20世纪40年代中期至70年代中期。而从70年代中期开始发展的第四代红外凝视成像技术,带来了红外制导导弹的变革^[7]。红外凝视成像技术中将热目标作为扩展源处理,摄取目标及背景的红外图像并进行预处理,得到数字化图像。经图像处理和图像识别后,区分出目标、背景信息,识别出要攻击的目标并抑制噪声信号,然后将信息反馈给控制系统,由伺服控制系统控制导弹的飞行姿态,使导弹飞向选定的目标。

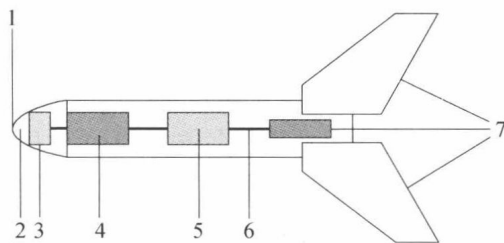


图1-4 红外制导导弹的组成示意图^[7]

1—整流罩;2—光学系统;3—红外探测器;4—电子线路;
5—误差鉴别装置;6—飞行控制信号;7—舵机。

第一代红外点源寻的导弹技术主要在20世纪40年代到1955年间被军队广泛应用,其工作波段为 $1 \sim 3\mu\text{m}$,采用非制冷型硫化铅探测器。代表武器为美国研制的“响尾蛇”AM-9B系列空空导弹。但由于其作用距离很近,导引头只能探测飞机的喷气式发动机尾喷管的红外辐射,且受背景和气象条件的影响较大,在应用中受到了很大限制。

第二代的红外点源寻的导弹(1957—1966年),工作波段延伸至 $3 \sim 5\mu\text{m}$,探测器采用制冷型碲化铋探测器。此种导弹导引头可以同时探测喷气式发动机喷管和发动机排出的 CO_2 废气的红外辐射,甚至可以探测到机体蒙皮温度升高产生的红外辐射。由于工作波段向中波方向伸展,有效地减小了阳光辐射的干扰,整个制导系统抗背景辐射干扰的能力得到了大幅度提高。典型代表有英国的“红头”(Red Top)导弹、美国的“响尾蛇”AM-9D导弹和法国的“马特拉”R-530导弹。

第三代红外点源寻的导弹(1967年以后)为近距格斗导弹,其红外制导系统普遍采用了高灵敏度的制冷碲化铋光敏元件,并且改变了以往光信号的调制方式,极大地扩大了探测范围和角速度跟踪能力。其典型代表有美国的“毒刺”导弹和“响尾蛇”AM-9L/M导弹、法国的“魔术”R-550导弹,苏联的P-73导弹和以色列的“怪蛇”-3空空导弹。

前三代的红外点源寻的导弹受其成像方式的限制,具有以下缺陷:

(1) 由于采用以调制盘为调制基础的信息处理,无法排除张角较小的点源红外干扰及复杂的背景干扰。

(2) 容易被曳光弹、红外诱饵及其他热源干扰而偏离甚至丢失目标。