

脉冲激光近场 目标探测理论与技术

张 合 张祥金 著



科学出版社

013027665

TN248

39

脉冲激光近场目标探测理论与技术

张 合 张祥金 著



科学出版社

北京



北航

C1637274

TN248
39

内 容 简 介

本书以作者十余年的科研成果为基础,介绍了激光近炸引信的脉冲激光近场目标探测的理论、方法和应用技术。全书共 11 章,系统地介绍了脉冲激光近场探测的理论基础,构建了脉冲激光探测系统模型,给出了各阶段脉冲激光探测系统的试验方法。同时,针对脉冲激光对近场目标距离与方位探测的问题,分别阐述了脉冲激光定距探测和方位探测的抗干扰作用体制与理论。此外,建立了 LD 激光发射系统模型,给出了驱动电路以及激光接收系统、信号处理与发火控制电路的设计方法;推导了超音速下激波对激光光束传输特性的影响,给出了激波的风洞模拟试验方法;对光学透镜材料及性能进行了分析,提出了抗冲击的缓冲方法与抗阳光的树脂镜片镀膜技术。

本书结构合理、模块化分解,可满足激光近炸引信与武器系统等相关学科和领域的科学工作者和工程技术人员的实际需要,也可供高等院校相关专业的研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

脉冲激光近场目标探测理论与技术/张合,张祥金著. —北京:科学出版社,2013

ISBN 978-7-03-036773-0

I. ①脉… II. ①张… ②张… III. ①脉冲激光-近场目标探测
IV. ①E87②TN248

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 036672 号

责任编辑:顾 艳 王晓丽 / 责任校对:朱光兰
责任印制:赵德静 / 封面设计:许 瑞

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 2 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2013 年 2 月第一次印刷 印张:15 3/4

字数:300 000

定价:58.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

2011年金秋十月，张合教授从南京理工大学打来电话，说他正在撰写一本关于激光引信探测技术方面的书，待初稿完成之后请我多提宝贵意见。2012年阳春三月，张合教授赴京，亲自将《脉冲激光近场目标探测理论与技术》书稿交到我手上，谦和地请我审阅，并希望我能为该书作序。张合教授言辞朴实，却也蕴涵着同仁之间的信任与真情。

说起我与张合教授的交往，可以回溯到20世纪90年代。1994年以来，在国防科技引信专业预研工作中，我多次与张合教授接触。此前，对张合教授这位南京理工大学引信专业的后起之秀，同时也是国内引信专业杰出的青年专家，我已早有耳闻。20世纪90年代中期，由于国防科技预研工作的需要，总装备部引信专业组需作适度扩充。总装备部机关征求多方意见，经综合论证后决定增选南京理工大学一名机电引信专家为总装备部引信专业组的新成员。此后，我与张合教授的交往日益增多。张合教授作为新生力量，为引信专业技术的科研工作增添了活力；同时，引信专业组的运行也为他的科研工作提供了广阔的平台。张合教授为人正直、谦和诚信；他的学术思想活跃、科研工作严谨。多年来，他在科研领域躬耕不辍、无怨无悔、历经艰辛、孜孜以求，在引信专业技术研究和工程化方面，攻克道道难关，踏出条条新路，取得累累硕果，同时也带出了一支科研团队。该书就是张合教授及其合作者取得的科研成果的结晶。

武器装备的使用价值主要表现在末端毁伤效应。现代引信的正常工作是实施末端毁伤效应的基本保障；同时，为提高末端毁伤效果，弹目信息探测、融合分析、起爆控制等环节也必须准确完成。就常规弹药而言，承担此项任务非引信莫属。在引信发展的历史长河中，每当有相关的新技术特别是新型探测技术出现，便很快被应用于引信开发，成为推动引信技术发展的技术之源。纵观引信的历史，一个个里程碑式的引信无不如此，其中无线电引信就是最好的实例。当前，激光引信的出现，自然源于激光技术的发展。

激光技术自问世以来发展迅速、应用广泛，到20世纪70年代，已形成庞大的高技术群体，并在国防科技研究领域及武器装备等应用领域均取得丰硕成果。脉冲激光因其探测功能的优越性一直被引信专家所青睐，然而，由于弹载环境的制约，激光引信的研制起步较晚。经过多年的探索，我国激光引信于20世纪90年代步入研制阶段，为大型火箭武器系统研发了相关的激光引信，并取得显著成

果；为多种常规弹药配置了激光引信，满足了我国武器装备发展的现实需求。但是，针对常规弹药研制激光引信遇到很多技术难题，其中最突出的难题就是必须面对发射过程的高冲击过载和弹道飞行段出现的环境干扰及系统噪声。以大口径火炮为例，在弹药发射瞬间，弹体处于高过载、高膛压及多种冲击振动等恶劣的热力学状态中，对于以光学元器件为核心的激光引信系统，这是难以逾越的屏障；弹体飞行时，以太阳光为主的光波干扰也是难以克服的技术瓶颈。20世纪90年代研发弹载光学测试技术时，消除光波随机干扰成为关键技术。慑于这些技术障碍，不少引信科技工作者视激光引信研制之路为畏途，望而却步。

为适应国家武器装备发展要求，张合教授迎难而上、下定决心，于1997年勇敢地承担起为常规弹药研制激光引信的重任，踏上了相关技术研究的荆棘之路。张合教授及其合作者，栉风沐雨、殚精竭虑，深陷探索的迷茫，尝尽失败的苦涩，凭借毅力和智慧，历经十余寒暑，终于走出困境，迎来激光引信研制工作的曙光，感受到成功的喜悦！这就是张合教授撰写该书的工程背景。

张合教授突破激光引信研发的诸多难点，取得了一系列创新性成果，依我管窥所及，略举于后。

为使激光引信光学系统具有抗高冲击过载的性能，光学镜片的选材与安装成为技术关键。张合教授团队经反复验证分析，选取具有优越抗冲击性能的聚碳酸酯作为光学系统镜片的材料；为防止光学镜片在冲击下碎裂，选用适度的介质材料固封光学镜片，以消除间隙，减缓冲击，并确保在高达50 000g冲击过载的条件下镜片光学性能不变。张合教授团队经研究验证，采用窄带滤波技术，滤除激光系统工作波长以外的光波，能有效地解决太阳光等光波随机干扰的技术难题；设计电磁屏蔽，开发多重软件滤波方法，可消除高频电磁干扰和系统噪声，确保系统工作稳定。为提高激光引信定距精度，张合教授深入研究弹药发射过程和弹体后续飞行对光学系统焦距以及相关阈值的影响规律，研发了相应的自适应调制技术，为排除误动作、提高距离探测精度奠定了基础。由于引信受到体积限制和系统噪声的影响，张合教授成功地设定电源功率、工作频率以及管理方法，满足了激光引信小型化、低功耗的要求。以上这些创新技术成果构成了该书的核心内容。

该书是一本论述激光引信技术的专著，书中汇集了张合教授多年的研究成果和工程实践，同时也反映了国内外相关领域取得的重要进展。书中系统地阐述了脉冲激光的基本理论，并结合激光引信运行的技术环境，研究脉冲激光的传播性能，其中包括激光目标的反射特性、弹体超音速飞行时产生的弹头激波对激光形成的影响等重要问题；并以此作为全书主要的理论基础，为激光引信系统的光学设计和定距精度分析提供了技术依据。书中详细论述了脉冲激光定距的四种体制，即几何截断定距体制、脉冲激光测距机定距体制、距离门选通定距体制和脉

冲鉴相定距体制的探测原理及应用范围；脉冲激光方位探测的四种方案，即多辐射方案、分区方案、分区扫描方案和同步扫描方案的结构组成、技术性能及使用实例；建立了脉冲激光探测的目标捕获率模型和弹目交会模型及误差分析，为提高弹药系统的引战配合效率、实现最佳延时和最佳方位角控制提供了技术基础；给出了脉冲激光发射系统、目标反射激光接收系统及其信号处理系统的设计原理及技术结构。值得一提的是，书中还阐述了一系列仿真技术，为基础论证、系统分析和性能检测等环节提供了有效的技术手段；展示了脉冲激光方位探测系统原理样机及相关的实验检测技术，将其作为该书理论与技术应用的实例呈现给读者。此外，在技术层面，该书在总体思想、实施路线、系统结构乃至电路设计、材料选择、工艺程序等诸多方面，均有深入研究，并在表述上详略有致、精当得体、操作可行、便于阅读。

该书的成书，除张合教授自身的努力，还蕴涵着其带领的科技创新团队的智慧和汗水。这个团队经过多年的打造和洗礼，具有深厚的理论基础、丰富的实践经验和克敌制胜的科技攻关能力。团队成员直面激光引信研究遇到的技术挑战，以研究工作的需要为己任，团结合作、协力攻关、不计功名、勇于奉献。书中记录着他们辛勤耕耘的科技成果，凝聚着共同铸就的团队精神。除了主体因素，多种外部环境的支持也是该书得以问世的重要条件，其中包括一些单位和专家提供的真诚帮助、有益建议和技术支持。当今，重要的科技成果尤其是工程技术领域重要成果的获得，都是多方合作、协同攻关的集成。该书的成书也为此提供了一个有力的例证。

该书虽非鸿篇巨制，但内容丰富，填补了国内激光引信著作方面的空白。该书的出版犹如春风化雨，必将为脉冲激光引信技术以及脉冲激光近场定距与方位探测技术的研究带来勃勃生机。

“路漫漫其修远兮”，脉冲激光目标探测理论与技术领域，尚有很多待解决的问题，这里需要的是探索与创新、智慧与汗水、决心和勇气。

我坦然写下以上言辞，是我阅读该书原稿的体会和拙见，也是对张合教授及其团队成员多年辛勤工作的祝福与希望，但愿也能为读者阅读该书提供一些背景材料和有益的引导。是为序。

马殿荣

2012年3月于北京

前 言

脉冲激光近场目标探测方法是近炸引信技术迫切需求的一门理论与技术。它是光机电技术融为一体的集中体现，由于涉及学科门类众多，也是现代武器系统高效毁伤与精确打击的主要瓶颈技术之一。随着新军事变革的深入发展，常规弹药在提高毁伤效能方面从控制轴向起爆朝定向起爆发展，打击精度从弹道修正朝简易制导化改造方向发展。弹药与战斗部技术的发展对引信技术的发展起到了极大的推动作用，特别是对于防空反导弹药，要求引信在战斗部接近目标时必须具有精确定距与方位探测的功能。脉冲激光目标探测理论与技术正是在这一背景下发展起来的。

本书从理论研究途径的探索、实验方法的建立、原理样机电路与结构的仿真、动态靶场试验的验证等多方面进行了探讨。

全书共分 11 章。第 1 章为绪论，介绍了脉冲激光目标探测的地位与定义、军事需求以及脉冲激光定距与方位探测系统相关技术的进展；第 2 章为激光基础理论及目标反射特性，介绍了激光特性、激光传播特性和目标反射特性；第 3 章为脉冲激光定距与方位探测体制与理论，建立了脉冲激光定距探测的作用体制与理论以及方位探测的作用体制与理论；第 4 章为脉冲激光方位探测类型及发射系统设计，建立了 LD 激光发射系统模型，给出了驱动电路的实现方法，介绍了激光照射到目标产生的反射特性；第 5 章为激光接收系统与信号处理系统，给出了激光接收系统、信号处理与发火控制电路的设计方法，介绍了系统的低功耗设计与软件抗干扰措施；第 6 章为超音速下激波对激光光束传输特性的影响，介绍了激波的形成与特点，推导了超音速下激波对激光光束传输特性的影响，给出了激波的风洞模拟试验方法；第 7 章介绍了光敏管、光学透镜及镀膜技术，进行了激光接收用光敏管特性分析，给出了光学透镜材料及性能，介绍了抗阳光窄带镀膜技术；第 8 章建立了脉冲激光目标方位探测捕获率模型及弹目交会模型；第 9 章为单脉冲激光全向动态扫描技术，介绍了单脉冲激光全向扫描光路的设计方法，给出了高速动态条件光学模块抗高过载技术；第 10 章为脉冲激光方位探测系统设计，给出了脉冲激光自调节 APD 驱动电源技术、基于数字电位器的自动增益控制技术、针对发射与接收模块的抗电磁干扰技术；第 11 章为脉冲激光探测系统实验，通过对设计的原理样机的简介，提出了静态模拟实验、发射接收模块电磁干扰抑制实验、激光在降雨中的传输特性实验等。

本书对脉冲激光目标近场定距与方位探测的理论、设计方法、结构仿真、试验技术等方面进行了比较系统和详细的研究,可满足激光近炸引信与武器系统等相关学科和领域的科学工作者和工程技术人员的实际需要,也可供高等院校相关专业的研究生参考。

中国工程院院士刘怡昕教授和马殿荣将军审阅了本书全稿,提出了修改意见,并给予了悉心的指导。参与本书成稿工作的还有甘霖、李豪杰、丁立波、陈炳林、纪铁钢、冯颖、郭婧、许敬、查冰婷等博士,特别需提出的是甘霖博士为全书的文字校核和成稿付出了辛勤的劳动,在此一并表示衷心的感谢。

鉴于国内尚无脉冲激光近场目标探测方面的著作,本书将填补这一空白。由于书中部分器件属于合作单位的知识产权,因而有关系统结构与尺寸方面的数据不便给出,敬请谅解。若需进一步深入探讨,可联系作者。

由于书中涉及知识面广、作者水平有限,难免有许多不足之处,欢迎广大读者多提宝贵意见,在此致谢。

张 合

2012年7月28日于南京

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 脉冲激光引信目标探测的地位与定义	1
1.2 脉冲激光目标探测技术的军事需求	3
1.2.1 反坦克弹药的军事需求	3
1.2.2 常规弹药的军事需求	4
1.2.3 防空反导的军事需求	5
1.3 脉冲激光定距与方位探测系统相关技术	5
1.3.1 脉冲鉴相体制的定距技术	6
1.3.2 基于 FPGA 的高频计数器脉冲激光测距技术	6
1.3.3 窄脉宽大功率半导体脉冲激光电源技术	7
1.3.4 光学系统抗冲击技术	8
1.3.5 小型化、低功耗技术	9
第 2 章 激光基础理论及目标反射特性	10
2.1 受激辐射	10
2.2 激光的特性	11
2.2.1 激光的空间相干性和方向性	11
2.2.2 时间相干性和单色性	12
2.2.3 激光的高亮度(强相干光)	13
2.3 激光的大气传输特性	14
2.3.1 概述	14
2.3.2 大气吸收的基本性质	16
2.3.3 大气散射	16
2.3.4 大气湍流对激光传输的影响	21
2.4 脉冲激光在雨滴中的光散射模型及传输衰减	23
2.4.1 近似椭球雨滴的光散射特性	24

2.4.2	激光在降雨中传输的能量衰减·····	32
2.5	激光目标反射特性·····	43
2.5.1	光滑表面·····	43
2.5.2	粗糙表面·····	45
2.5.3	定距与方位探测时目标反射特性的影响分析·····	46
第3章	脉冲激光定距与方位探测体制与理论 ·····	49
3.1	半导体激光器的工作原理及工艺·····	49
3.1.1	半导体激光器的工作原理·····	49
3.1.2	半导体激光器的工艺·····	53
3.1.3	典型PIN、雪崩光电二极管工作原理·····	54
3.2	脉冲激光定距探测的作用体制与理论·····	56
3.2.1	几何截断定距体制·····	56
3.2.2	脉冲激光测距机定距体制·····	58
3.2.3	距离选通定距体制·····	59
3.2.4	脉冲鉴相定距体制·····	60
3.2.5	几种作用体制的比较·····	62
3.3	脉冲激光方位探测的作用体制与理论·····	63
3.3.1	多辐射方位探测体制·····	63
3.3.2	分区探测体制·····	64
3.3.3	旋转扫描探测体制·····	65
第4章	脉冲激光方位探测类型及发射系统设计 ·····	67
4.1	激光方位探测类型·····	67
4.1.1	多窗口探测型·····	67
4.1.2	成像型·····	68
4.1.3	掩模型·····	70
4.1.4	相干型·····	72
4.2	LD激光发射系统模型·····	74
4.2.1	模型结构·····	74
4.2.2	模型PSpice分析·····	75
4.3	LD驱动电路的实现·····	76
4.3.1	LD物理结构与特性·····	76
4.3.2	定距用LD激光器种类分析·····	77
4.3.3	窄脉冲大电流LD电源驱动电路技术·····	78

第 5 章 激光接收系统与信号处理系统	86
5.1 激光接收系统	86
5.1.1 光电放大电路理论分析与设计	87
5.1.2 视频放大电路理论分析	91
5.2 系统用信号处理及发火控制电路设计	95
5.2.1 脉冲鉴相体制下的以 MCU+DSP 为核心的方案设计	95
5.2.2 脉冲测距机体制下的以 FPGA 为核心的方案设计	102
5.2.3 发火控制电路	105
5.3 系统的低功耗设计与软件抗干扰	106
5.3.1 系统的低功耗设计	106
5.3.2 软件抗干扰	106
第 6 章 超音速下激波对激光光束传输特性的影响	108
6.1 激波的形成与特点	108
6.1.1 超音速下激波的形成机理	108
6.1.2 弹头激波的数值仿真	110
6.2 超音速下激波对激光光束传输特性的影响	111
6.2.1 超音速下激波的光学特性	111
6.2.2 激波对激光定距系统光程影响的计算模型	113
6.3 激波的风洞模拟试验	117
6.3.1 试验方法	117
6.3.2 试验数据分析	118
第 7 章 光敏管、光学透镜及镀膜技术	120
7.1 激光接收用光敏管特性分析	120
7.1.1 电磁波谱分析	120
7.1.2 光敏器件主要性能参数	121
7.1.3 某系列光敏管特性分析	123
7.2 光学透镜材料	126
7.2.1 常用光学透镜材料	127
7.2.2 树脂光学透镜材料特性	128
7.3 镀膜技术	132
7.3.1 镀膜相关技术与实现方法	132
7.3.2 薄膜的光学性质	134
7.3.3 薄膜在脉冲激光探测上的光学应用	136

第 8 章	脉冲激光目标方位探测捕获率模型及弹目交会模型 ·····	139
8.1	坐标系选择与转换·····	139
8.2	脉冲激光目标方位探测及目标捕获率模型·····	141
8.2.1	脉冲激光目标方位探测目标捕获率模型·····	141
8.2.2	电动机转速、脉冲激光发射频率最佳匹配研究·····	144
8.2.3	典型目标被捕获情况仿真分析·····	146
8.2.4	目标捕获率误差分析·····	149
8.3	攻击典型目标弹目交会模型·····	153
8.3.1	攻击典型目标的最佳起爆延时间和最佳起爆方位角模型·····	153
8.3.2	典型目标弹目交会仿真分析·····	158
第 9 章	单脉冲激光全向动态扫描技术 ·····	164
9.1	单脉冲激光全向扫描光路技术·····	164
9.1.1	高强度单级非球面透镜半导体激光束准直整形技术·····	164
9.1.2	高强度单级非球面透镜接收光束聚焦技术·····	171
9.1.3	发射、接收通道共用激光全向扫描技术·····	174
9.1.4	单脉冲激光全向动态扫描光路激光传输模型·····	179
9.2	高速动态条件下光学模块抗高过载技术·····	180
9.2.1	弹丸发射高速动态条件引信零件载荷特性分析·····	180
9.2.2	非线性有限元动力学分析方法·····	182
9.2.3	光学模块各元件材料参数·····	182
9.2.4	激光发射模块抗高过载性能分析·····	183
9.2.5	激光接收模块抗高过载性能分析·····	189
第 10 章	脉冲激光方位探测系统设计 ·····	201
10.1	脉冲激光自调节 APD 驱动电源技术·····	201
10.1.1	APD 驱动电源工作原理·····	202
10.1.2	非隔离反激式 DC-DC 电源建模分析·····	202
10.1.3	驱动电源设计实现·····	205
10.2	基于数字电位器的自动增益控制技术·····	206
10.2.1	自动增益控制原理分析·····	206
10.2.2	自动增益控制的实现·····	207
10.2.3	自动增益效果分析·····	209
10.3	发射、接收模块抗电磁干扰技术·····	209
10.3.1	电磁干扰机理分析·····	209

10.3.2	辐射干扰抑制	211
10.3.3	传导干扰抑制	212
第 11 章	脉冲激光探测系统实验	217
11.1	原理样机简介	217
11.2	静态模拟实验	217
11.2.1	APD 驱动电源电压自动调节效果实验	217
11.2.2	数字电位器自动增益控制效果实验	219
11.3	发射、接收模块电磁干扰抑制实验	220
11.4	发射模块准直光斑观测实验	221
11.5	方位角磁电检测精度实验	222
11.6	方位角检测准动态模拟实验	224
11.7	激光在降雨中的传输特性实验	225
11.7.1	水滴及模拟降雨发生装置	225
11.7.2	模拟雨滴的激光衰减仿真与实验测试	227
11.7.3	模拟降雨下的激光传输特性实验	234
参考文献		237

第 1 章 绪 论

1.1 脉冲激光引信目标探测的地位与定义

脉冲激光目标探测属于近炸引信的范畴。近炸引信起源于 20 世纪 30 年代,它的出现大大提高了弹药的毁伤效能,普遍应用于现代各种弹药系统。1943 年无线电近炸引信开始装备部队,在以后的较长时间内,无线电波成为近炸引信的主要探测手段,并得到广泛应用^[1]。科技的飞速发展使得各种探测手段的理论与技术逐渐成熟,这为应用新的近炸探测技术奠定了坚实的基础。目前应用于近炸引信的探测技术主要包括无线电探测技术,声探测技术,磁探测技术,红外探测技术,激光探测技术,热辐射探测技术,静电探测技术,电感、电容探测技术及以上各种探测技术组合使用的复合探测技术。现代的战环境复杂多变,对各种近炸引信的性能提出了越来越高的要求,除定距,还要求能够对目标精确定位,选择最佳起爆位置与起爆方向,具备较强的识别能力、抵抗自然干扰和人为干扰的能力等。然而由于各种弹药配用的近炸引信的作用环境、作用对象及要求近炸引信提供的目标与环境信息的内容等各不相同,因而,目前的近炸探测方式难以满足大量不同常规弹药的战术技术要求,或难以得到较优的性能指标。

由于无线电近炸引信的工作波长较长、无线电波束的旁瓣较宽,因而其抵抗地、海杂波的能力较弱,角度和距离分辨率较低,并存在着较大的固有近程探测盲区。现今战场电磁环境的恶劣化程度加深,特别是人为电磁干扰使无线电近炸引信的可靠作用能力受到极大的威胁。为解决抗干扰问题而提出了新的无线电探测体制,如跳频无线电体制、频率捷变体制、伪随机编码体制等都是以增加复杂性和成本为代价的。因此,在一些场合常规弹药用无线电引信无法满足系统工作要求,不得不采用新的探测手段。

激光作为一种探测手段由于其发射波束窄,发射信号不易被敌方接收;接收视场有限,使人干扰困难;发射峰值功率较大、方向性好,使激光探测作用距离较远;工作于光频段,波长极短,使其角度和距离分辨率极高;发射波束旁瓣小,对地、海杂波的干扰抵抗能力较强,以上优点弥补了无线电探测的不足。因而,应用激光作为探测手段的各种新系统在探测精度、探测距离、分辨率、抵抗自然和人为电磁干扰能力等方面均比无线电探测体制有较大幅度提高。当然,激光探测技术也有其自身的不足。

与无线电和毫米波探测相比,激光探测技术的主要缺点是穿透大气的能力不够。大气对激光的吸收和散射要比微波和毫米波大得多,因此,激光探测的性能对天气较敏感。另外,使用光学器件导致抗冲击能力差。但主动激光探测比被动光学探测系统的全天候能力好,因为主动激光探测技术可以通过距离或速度的选通、其他微弱信号探测和信号处理技术来拒绝接收已经被确定为杂乱波干扰的回波信号^[2]。

由于战争中常规弹药攻击目标时在空中可能与目标以各种不同的情况遭遇,而且弹目相对运动速度较大,因此,要求激光引信系统必须具有全向探测、快速识别、准确定位、精确控制炸点的功能。要想实现上述功能,需采用大探测视场体制,有效提高光束照射到目标的可能性以及光束对目标的覆盖范围,以保证接收机有足够大的接收信号功率和信噪比。近年来激光技术的快速发展为大探测视场激光引信在军事领域的应用提供了保证。对激光近炸引信在实际应用中的要求,也从提供单纯的精密定距功能控制炸点,发展到利用激光束设定不同的空间布局方式,提供非常精确的目标距离和方位信息,实现全向探测,进而实现定向起爆、发挥弹药对目标的最大毁伤效能。

激光探测分连续激光与脉冲激光两种探测体制。连续激光探测一般是指利用较高频率的三角波或其他波形调制的方法对激光光束的发射功率进行调制,在系统的接收端对包含距离信息的回波能量进行解调,从而得到相应的距离信息,如图 1.1 所示。由于连续激光采用相位调制的方式,因而测量相对静止的目标时,激光光束的回波能量受运动的影响很小,并且可以获得较高的测量精度。但测量运动目标特别是高速运动目标时,目标回波能量受高速运动影响较大,使得相位信息有着较强的运动干扰,因此不能获得较高的测距精度。

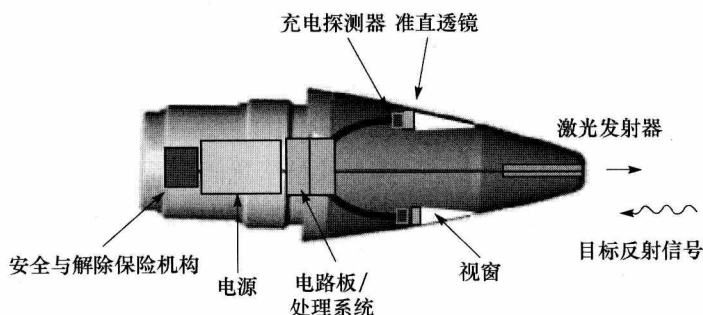


图 1.1 连续激光目标定距原理图

脉冲激光探测目标主要采用定距体制,简单地说就是以脉冲激光技术为探测手段,指示目标是否进入预定距离,即通常所说的“定距”。这种“定距”与通常情况下测距机测距、雷达测距存在明显不同,前者只要求对处于特定空间点(或较小的空间段)上的目标敏感,而与目标在其他空间区域的信息在某种意义上是无关的。

脉冲激光目标方位探测,是以脉冲激光技术为探测手段,在确定目标进入预定距离的基础上,获取目标相对于系统的方向信息,从而控制弹药在最佳炸点定向起爆,从而获得较大的毁伤效能。

1.2 脉冲激光目标探测技术的军事需求

脉冲激光目标探测技术包括目标距离探测和目标方位探测。通过目标距离探测控制炸点已在多型导弹中得到应用,而在常规弹药中,由于发射时会产生高过载(一般在几千到几个重力加速度),光学器件的抗过载能力制约了其发展;另一方面,常规弹药提供给引信的空间有限,更加限制了其发展的速度;再者,脉冲激光目标探测常用于近程探测,信号快速处理技术也是亟需解决的难题。科学技术的发展和高品质弹药、常规弹药、防空反导弹药的需求,共同促进了脉冲激光目标探测系统对抗冲击、小型化和信号快速处理的技术突破,使该技术的应用取得极大进步。脉冲激光目标探测技术的军事需求如 1.2.1 小节~1.2.3 小节所述。

1.2.1 反坦克弹药的军事需求

反坦克导弹、破甲弹、穿甲弹是用于击毁坦克和其他装甲目标的主要手段。随着装甲目标表层防护技术的发展,反坦克弹药面临新的困难。新型反应装甲已发展到第五代,严重威胁到反坦克弹药的生存,因此清除装甲目标表层防护是新型反坦克弹药的首要任务。采用何种方式清除表层防护以赋予反坦克弹药新的生命力,是当前各国研究的重要方向。其中一种方法是使用两级串联战斗部,前级战斗部使用近炸引信,探测距离在 1~2m,测距精度控制在 0.1m 以内。前级战斗部击爆反应装甲,在一段时间后,后级战斗部主战斗部随进击毁目标,如图 1.2 所示。近炸引信可采用无线电、电容、激光等方式实现近炸作用,考虑到测距精度,激光探测技术为最佳方案。

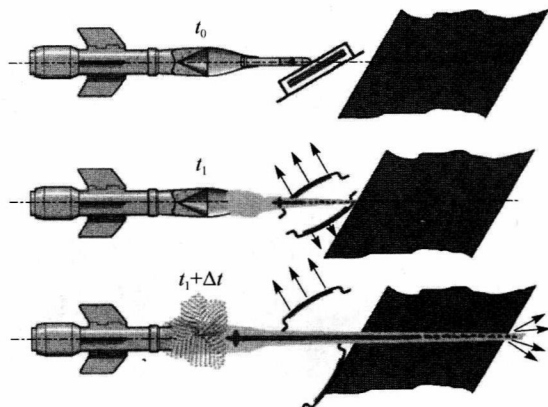


图 1.2 串联战斗部反应装甲示意图

1.2.2 常规弹药的军事需求

常规弹药如迫弹、榴弹、火箭弹、航空炸弹等的合理炸高是对地面有生力量实现最大杀伤的必要条件。目前,常采用的近炸技术有无线电近炸技术、电容近炸技术、探杆式近炸技术、电磁式近炸技术、激光式近炸技术等,以上几种近炸技术各有优缺点,如对地面定高精确起爆,激光式近炸技术应是优选方案。特别是对航空云爆炸弹,炸高控制在1~3m,精度小于0.2m,采用激光定距起爆最佳。对于更大型的各类炸弹,炸高在1~100m,在一般云层之下,可采用激光近炸体制,发射或空投前以快速装定方式完成炸高设定,其精度可保证杀伤效能。

迫弹激光近炸引信是各国发展的重要方向。目前,美国和欧洲的几个国家已开发了迫弹激光近炸引信,如挪威 Noptel 公司研制的 NF2000 为迫弹用多选择激光近炸引信。



图 1.3 PX581 迫弹通用引信激光近程定距系统结构简图

该引信采用测定光脉冲往返时间的脉冲定距体制,脉冲重复频率为500次/s,采用专门的智能判别电路设计,能消除烟、尘、雨、雾等各种干扰作用;其近炸指标为1~10m可选择装定,定距精度为0.5m。由挪威 Noptel 公司与美国 Junghans Feinwerktechnik 公司联合研制的 PX581 迫弹通用激光近炸引信,如图 1.3 所示,其采用主动式的工作方式,可预装定 1m、2m、3m、4m、5m 作用距离,

设计符合 1316D 军标,安全距离 $\geq 100\text{m}$,系统可靠性 $\geq 98\%$,采用侧进气涡轮物理电源,工作环境温度为 $-46\sim +63\text{C}$ 。

国内对激光引信在常规武器弹药引信中的应用研究已开展多年。南京理工大学已开发出多种弹用脉冲激光近炸引信,如作用距离为1~9m可调的通用迫弹近炸引信样机(图 1.4)、高精度破甲弹近炸引信样机(精度优于0.3m,定距距离5~9m,如图 1.5 所示)以及 250kg 航空燃烧弹激光近炸引信样机(图 1.6)。

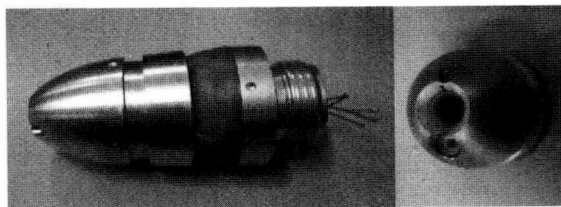


图 1.4 迫弹近炸引信样机