



《中国工程物理研究院科技丛书》第 032 号

激光干涉测速技术

胡绍楼 著

国防工业出版社

《中国工程物理研究院科技丛书》第 032 号

激光干涉测速技术

Laser Interferometry for Measuring Velocities

胡绍楼 著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

激光干涉测速技术/胡绍楼著. —北京:国防工业出版社,2001.3

(中国工程物理研究院科技丛书)

ISBN 7-118-02437-6

I. 激... II. 胡... III. 激光干涉仪-应用-金属-测速试验 IV. TG113.25

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 59241 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 100044)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 5% 139 千字

2001 年 3 月第 1 版 2001 年 3 月北京第 1 次印刷

印数:1—2000 册 定价:10.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。

2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。

3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。

4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金

评审委员会

国防科技图书出版基金 第三届评审委员会组成人员

名誉主任委员 怀国模

主任委员 黄 宁

副主任委员 殷鹤龄 高景德 陈芳允 曾 铎

秘 书 长 崔士义

委 员 于景元 王小谟 尤子平 冯允成
(以姓氏笔划为序)

刘 仁 朱森元 朵英贤 宋家树

杨星豪 吴有生 何庆芝 何国伟

何新贵 张立同 张汝果 张均武

张涵信 陈火旺 范学虹 柯有安

侯正明 莫梧生 崔尔杰

《中国工程物理研究院科技丛书》

出版说明

中国工程物理研究院建院 40 多年来,坚持理论研究、科学实验和工程设计密切结合的科研方向,完成了国家下达的各项国防科研任务。通过完成任务,在许多专业学科领域里,不论在基础理论方面,还是在实验测试技术和工程应用技术方面,都有重要发展和创新,积累了丰富的知识经验,造就了一大批优秀科技人材。

为了扩大科技交流与合作,促进我院事业的继承与发展,系统地总结我院 40 多年来在各个专业领域里集体积累起来的经验,吸收国内外最新科技成果,形成一套系列科技丛书,无疑是一件十分有意义的事情。

这套丛书将部分地反映中国工程物理研究院科技工作的成果,内容涉及本院过去开设过的 20 几个主要学科。现在和今后开设的新学科,也将编著出书,续入本丛书中。

这套丛书将在今后几年里陆续编辑出版。我院早些年零散编著出版的专业书籍,经编委会审定后,也纳入本丛书系列。

谨以这套丛书献给 40 多年来为我国国防现代化而献身的人们!

《中国工程物理研究院科技丛书》

编审委员会

1999 年 6 月 4 日修改

《中国工程物理研究院科技丛书》

第三届编审委员会名单

主 任 杜祥琬

副主任 彭先觉 章冠人 华欣生

委 员 (以姓氏笔划为序)

王艳秀 邓门才 水鸿寿 田常津 江金生

沈元如 李 凡 李志民 李泽仁 张方晓

张友寿 张富堂 陈银亮 杨本立 郑志坚

罗顺火 竺家亨 周德惠 俞大光 胡三国

贺云汉 黄清南 蒲仁璧

科技丛书编辑部负责人 吴衍斌

本册编辑 吴衍斌

《中国工程物理研究院科技丛书》 已出版书目

- | | | | | |
|-----|---------------|-----------|---------|-------------|
| 001 | 高能炸药及相关物性能 | 董海山、周芬芬主编 | 科学出版社 | 1989 年 11 月 |
| 002 | 光学高速摄影测试技术 | 谭显祥编著 | 科学出版社 | 1990 年 02 月 |
| 003 | 凝聚炸药起爆动力学 | 章冠人等编著 | 国防工业出版社 | 1991 年 09 月 |
| 004 | 线性代数方程组的迭代解法 | 胡家骥编著 | 科学出版社 | 1991 年 12 月 |
| 005 | 映象与混沌 | 陈式刚编著 | 国防工业出版社 | 1992 年 06 月 |
| 006 | 再入遥测技术(上册) | 谢铭勋编著 | 国防工业出版社 | 1992 年 06 月 |
| 007 | 再入遥测技术(下册) | 谢铭勋编著 | 国防工业出版社 | 1992 年 12 月 |
| 008 | 高温辐射物理与量子辐射理论 | 李世昌编著 | 国防工业出版社 | 1992 年 10 月 |
| 009 | 粘性消动法和差分格式粘性 | 郭柏灵著 | 科学出版社 | 1993 年 03 月 |
| 010 | 无损检测技术及其应用 | 张俊哲等著 | 科学出版社 | 1993 年 05 月 |
| 011 | 半导体材料辐射效应 | 曹建中著 | 科学出版社 | 1993 年 05 月 |

- 012 炸药热分析**
楚士晋编著 科学出版社 1994 年 12 月
- 013 脉冲辐射场诊断技术**
刘庆兆主编 科学出版社 1994 年 12 月
- 014 放射性核素活度的测量方法和技术**
古当长编著 科学出版社 1994 年 12 月
- 015 二维非定常流和激波**
王继海编著 科学出版社 1994 年 12 月
- 016 抛物型方程差分方法引论**
李德元 陈光南著 科学出版社 1995 年 12 月
- 017 特种结构分析**
刘新民 韦日演主编 国防工业出版社 1995 年 12 月
- 018 理论爆炸物理**
孙锦山 朱建士著 国防工业出版社 1995 年 12 月
- 019 可靠性维修性可用性评估手册**
潘吉安编著 国防工业出版社 1995 年 12 月
- 020 脉冲辐射场测量数据处理与误差分析**
陈元金编著 国防工业出版社 1997 年 01 月
- 021 近代成像技术与图像处理**
吴世法著 国防工业出版社 1997 年 03 月
- 022 一维流体力学差分方法**
水鸿寿著 国防工业出版社 1998 年 02 月
- 023 抗辐射电子学—辐射效应及加固原理**
赖祖武等著 国防工业出版社 1998 年 07 月
- 024 金属的环境氢脆及其试验技术**
周德惠 谭云编著 国防工业出版社 1998 年 12 月
- 025 试验核物理测量中的粒子分辨**
段绍节编著 国防工业出版社 1999 年 06 月
- 026 实验物态方程导引(第二版)**
经福谦著 科学出版社 1999 年 09 月

027 无穷维动力系统

郭柏灵著

国防工业出版社 2000 年 01 月

028 真空吸取器设计及应用技术

单景德编著

国防工业出版社 2000 年 01 月

029 再入飞行器天线

金显盛编著

国防工业出版社 2000 年 03 月

030 应用爆轰物理

孙承纬著

国防工业出版社 2000 年 12 月

031 混沌的控制、同步与利用

陈式刚等著

国防工业出版社 2000 年 12 月

032 激光干涉测速技术

胡绍楼著

国防工业出版社 2001 年 3 月

前 言

激光干涉测速技术,特别是其中的 VISAR(Velocity Interferometer System for Any Reflector)和法布里—珀罗干涉仪是近三十年发展起来的最重要的波剖面测试技术,主要用来测试在冲击波作用下各种材料样品的自由面速度或内部粒子速度(加窗干涉仪)随时间变化的过程。由于它是一种非接触测试技术,能够连续监测自由面速度变化过程;是一种直接测量速度—时间变化过程,而不是先测量和计算位移—时间曲线再拟合函数后进行微分得到速度曲线的技术,并且速度和时间分辨本领高、测试动态范围大,所以已逐渐发展成为冲击波物理和爆轰物理研究领域内的标准测试技术。激光干涉测速技术在武器设计,新材料科学,地球和行星内部的地球物理学等多个学科都有应用前景。

在激光干涉测速仪的研制和开发应用过程中,接触到不少从事爆轰物理和冲击波物理研究的专家和技术人员,他们需要了解激光干涉技术的基本知识,以便应用这种技术去完成自己的研究课题,因此希望有一本比较全面地介绍激光干涉测速技术原理和发展现状的书籍。作为多年从事激光干涉测速技术研究的科技人员,也有必要将这方面的经验教训总结出来,为后来者借鉴参考。这便是编写本书的目的。

但是如何编著这样一本书,确有诸多困难。这是因为从原理上说激光干涉测速技术中发生的干涉不是纯单色的初相位一致的光波干涉,而是由多种频率成分组成的初相位不同的光波之间的干涉,是统计意义上的干涉,要完全论述清楚,在理论上要花较大篇幅。激光干涉测速系统组成也比较复杂,除主机之外,还包括激光光源,光电检测器件(如光电倍增管);记录设备(如数字化示波

器,变像管相机);以及光电开关,触发同步系统等。涉及面较宽,每一方面都可以单独成书,不便全面介绍。

因此本书仅从自己点滴工作经验入手,介绍激光干涉测速仪器及相关测试技术的基本知识,对密切相关的多普勒效应、差拍检测原理及主要外围设备作了简单介绍,希望能作为激光干涉测速技术的一本入门小册子。

本书的重点是第三章、第四章,这两章分别介绍了 VISAR 和法一珀干涉测速仪,希望对有关人员选择方案和测试仪器有所帮助。激光干涉测速仪器在冲击波物理和爆轰物理领域虽然有很多应用实例,适应于多种加载方法和压力范围,测试过多种材料,不过应用方式主要有三种:测试样品的自由面速度、内部粒子速度和飞片(弹丸)速度。所以本书只在最后一章从测试技术角度对激光干涉仪的应用作了简单介绍,而没有涉及具体的测试方案以及它与各知识领域相关的物理模型及测试结果分析。

激光干涉测速技术本身及很多光电元器件,仍处在发展之中,对其原理的认识仍在深化,新技术也在不断开发,鉴于编著者水平所限,成书时间又较仓促,书中错误实难避免,诚恳接收批评指正。

本书编著过程中,田清政先生和杨成龙先生曾给予极大帮助,很多观点都得益于和他们的讨论。于泊洋、彭其先和马云等同志帮助打印并绘制插图,在此表示感谢。

著 者

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 引言	1
1.2 激光干涉测速技术的发展	4
1.3 LDA,LDV 及其与 VISAR 的区别	6
第 2 章 多普勒频移及检测方法	8
2.1 光学多普勒频移	8
2.2 检测多普勒频移的光谱方法	11
2.3 混频技术	12
2.4 位移干涉仪	16
2.5 差分混频技术	20
2.6 速度干涉仪	22
第 3 章 VISAR—可测量任意反射表面的速度干涉仪	27
3.1 仪器原理	27
3.1.1 输入系统	29
3.1.2 广角迈克尔逊干涉仪 WAMI 和模拟零程差条件	30
3.1.3 正交编码信号	33
3.1.4 公式修正	36
3.2 VISAR 的主要改进	38
3.2.1 四探头系统(推—挽干涉仪)	38
3.2.2 宽量程干涉仪,宽量程推—挽干涉仪	40
3.2.3 条纹丢失问题,双灵敏度测试技术	45
3.2.4 记录系统改进	47
3.2.5 偏振系统改进	50
3.2.6 输入系统改进,光纤传输	52
3.2.7 仪器结构改进	55

3.3 仪器性能	56
3.3.1 速度灵敏度和速度分辨本领	57
3.3.2 测速误差和测速范围	60
3.3.3 时间分辨本领	62
3.4 VISAR 技术的最新发展	64
3.4.1 线成像干涉仪	64
3.4.2 光纤速度干涉仪	67
第 4 章 法—珀测速系统	69
4.1 仪器原理和法—珀标准具性能	69
4.1.1 干涉场上的光强分布	71
4.1.2 相干光束数有限时干涉场上的光通量密度	78
4.1.3 条纹对比度	79
4.1.4 条纹锐度	81
4.1.5 反射次数 N 及楔板直径	85
4.1.6 标准具设计参数选择	88
4.1.7 柱面镜的效益	92
4.2 法—珀测速仪性能	95
4.2.1 样品速度和环纹直径的关系,速度灵敏度	95
4.2.2 速度分辨本领	100
4.2.3 时间分辨本领	102
4.2.4 法—珀测速仪和 VISAR	103
4.3 近期主要发展及其讨论	107
4.3.1 多谱线激光多普勒测速仪	107
4.3.2 裸带型法—珀测速仪	109
4.3.3 多光束法—珀测速仪	112
4.3.4 全场法—珀干涉仪	113
第 5 章 相关仪器设备和技術	117
5.1 光电倍增管	117
5.1.1 信号分析和管型选择	117
5.1.2 分压器	118
5.1.3 光电倍增管信噪比和用于激光干涉仪时需要的最小光功率	120

5.2	光源	122
5.3	变像管相机(电子相机)	124
5.4	光电开关	126
第 6 章	激光干涉仪数据处理技术	130
6.1	VISAR 数据处理	131
6.1.1	原始记录缺陷	131
6.1.2	VISAR88 数据处理软件	135
6.1.3	实用数据处理软件	137
6.1.4	借助利萨如图形判别原始记录缺陷并处理数据	142
6.2	法—珀测速仪数据处理技术	147
第 7 章	激光速度干涉仪的几种应用方式	149
7.1	应用领域及其局限性	149
7.2	冲击波作用下的自由面速度和粒子速度测量	151
7.3	弹丸速度测量,内弹道测试技术	155
	参考文献	157

CONTENTS

Chapter 1 Conspectus	1
1.1 Introduction	1
1.2 Development of Laser Interferometry Technique for Measuring Velocity	4
1.3 Difference in LDA, LDV and VISAR	6
Chapter 2 Doppler-shifted Frequency and Tests	8
2.1 Doppler-Shifted Light	8
2.2 Spectroscopy for Detecting Doppler-Shifted Light	11
2.3 Optical Mixing Techniques	12
2.4 Displacement Interferometer	16
2.5 Heterodyne Techniques	20
2.6 Velocity Interferometer	22
Chapter 3 VISAR—Velocity Interferometer System for Any Reflector	27
3.1 Instrument Principle	27
3.1.1 Input System	29
3.1.2 Wide-Angle Michelson Interferometer (WAMI) and Quasi-Zero Path Difference	30
3.1.3 Quadrature Code Signal Recording	33
3.1.4 Equation Correction	36
3.2 Major Modification of VISAR	38
3.2.1 Four-Detector System(Push-Pull Interferometer)	38
3.2.2 Wide-Range Interferometer, Wide-Range Push-Pull Interferometer	40