

CAILIAO HE JIEGOU DE
DONGTAI XIANGYING

材料和结构的 动态响应

主 编 白以龙

副主编 黄筑平 虞吉林 陈大年

中国科学技术大学出版社

材料和结构的动态响应

主 编 白以龙
副主编 黄筑平
虞吉林
陈大年

中国科学技术大学出版社
合 肥

内 容 简 介

本书是我国爆炸力学、冲击动力学领域的专家、教授、学者们为祝贺爆炸力学、冲击动力学专家王礼立教授七十华诞而撰写的一部学术著作,从不同的角度展示了我国乃至国际上近年来在该领域所取得的知识创新成果及学科发展动向,为促进爆炸力学、冲击动力学的理论创新和科技进步,造福人类,做出积极努力。

图书在版编目(CIP)数据

材料和结构的动态响应/白以龙主编. —合肥:中国科学技术大学出版社,2005. 12
ISBN 7-312-01859-9

I. 材… II. 白… III. 材料力学—研究 IV. TB301—53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 135100 号

书 名:材料和结构的动态响应

著作责任者:白以龙

责 任 编 辑:张善金

标 准 书 号:ISBN 7-312-01859-9/O · 320

出 版 者:中国科学技术大学出版社

地 址:合肥市金寨路 96 号 邮编:230026

网 址:<http://www.press.ustc.edu.cn>

电 话:发行部 0551-3602905 邮购部 3602906 编辑部 3602910

电 子 信 箱:press@ustc.edu.cn

印 刷 者:中国科学技术大学印刷厂

发 行 者:中国科学技术大学出版社

经 销 者:全国新华书店

开 本:787mm×1092mm 1/16 印张:17.25 彩插:2 页 字数:436 千

版 次:2005 年 12 月第 1 版 2005 年 12 月第 1 次印刷

定 价:48.00 元

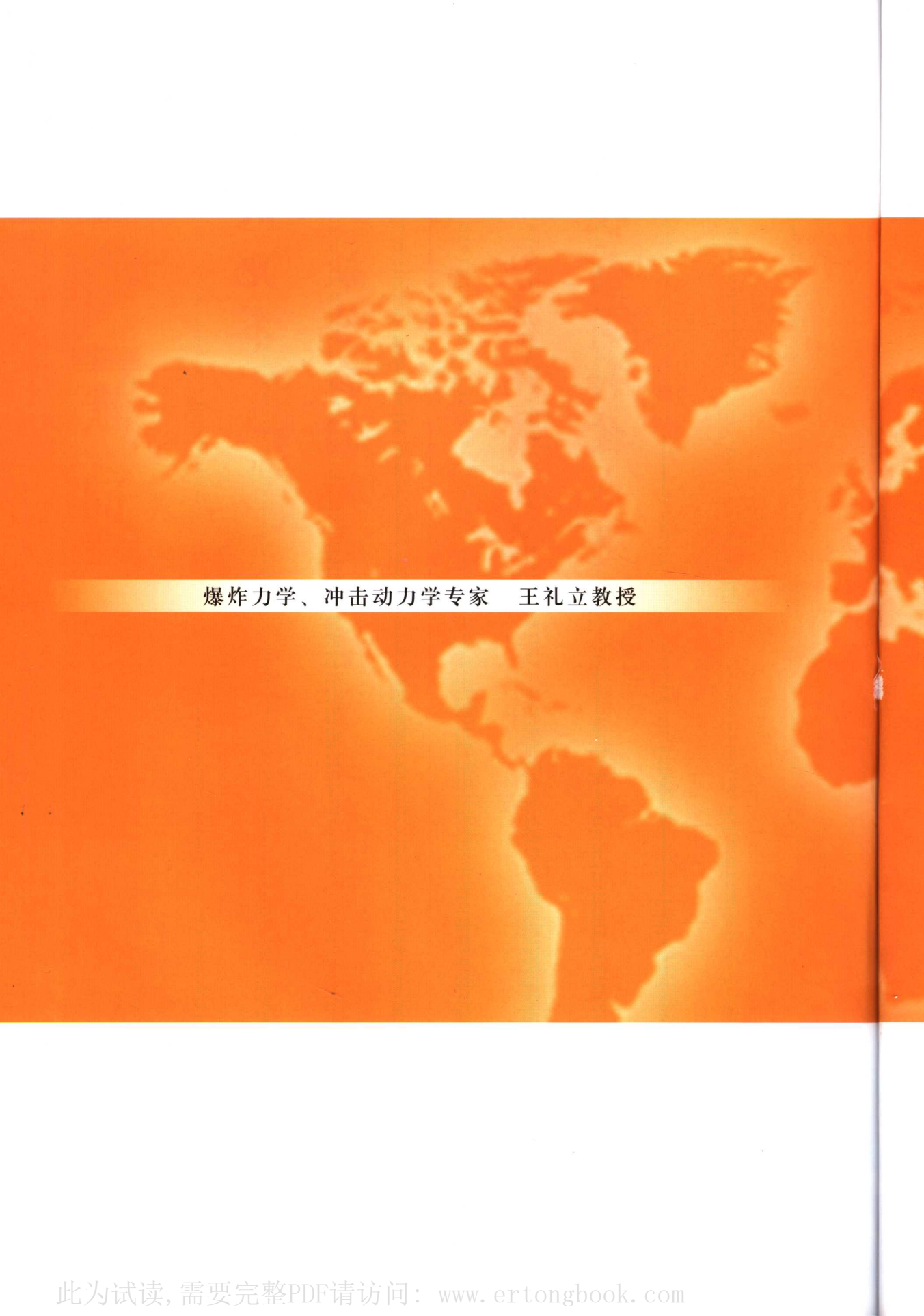
献词

谨以此书

献给我们的老师王礼立教授，以此恭祝
他七十华诞！

献给所有正在为爆炸力学、冲击动力学
知识创新和技术进步做出贡献的朋友们！

编者



爆炸力学、冲击动力学专家 王礼立教授





祝贺郑哲敏院士八十寿辰(左起：邵丙璜、谭庆明、卢凤才、郑哲敏、王礼立、高举贤和邵曼君)



王礼立和白以龙院士在印度参加国际学术会议



王礼立和杨黎明博士论文答辩委员会主席王仁院士及其他委员们合影（左起：胡时胜、周光泉、蔡泗维、朱兆祥、黄茂光、王仁、王礼立、李永池、杨黎明）



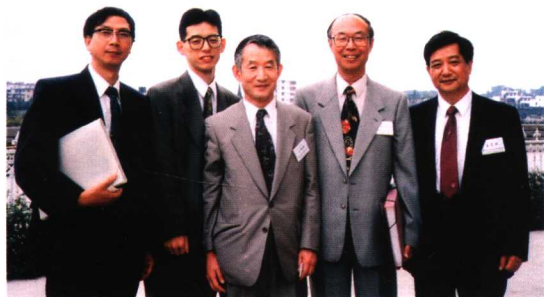
1986年，王礼立教授(左8)在宁波大学开学典礼上与包玉刚爵士(左6)和夫人及其家族成员、耿典华市长(右4)、朱兆祥校长(左5)、张永祥书记(右1)合影



王礼立主持中法双边动态断裂学术研讨会与法方主席 G. Pluvinaud(左7)、法国驻沪总领事馆科技参赞 Y. Gousty(左10)、学术委员会委员黄筑平(左3)、A. Nait(左6)、Z. Azari(左8)、张宝平(右2)、虞吉林(右4)、段祝平(右5)、杨继林(右6)、J.L. Lataillade(右8)以及组织委员会主席陈大年(左1)、副主席牛丽莎(左5)、秘书长董新龙(右3)等合影



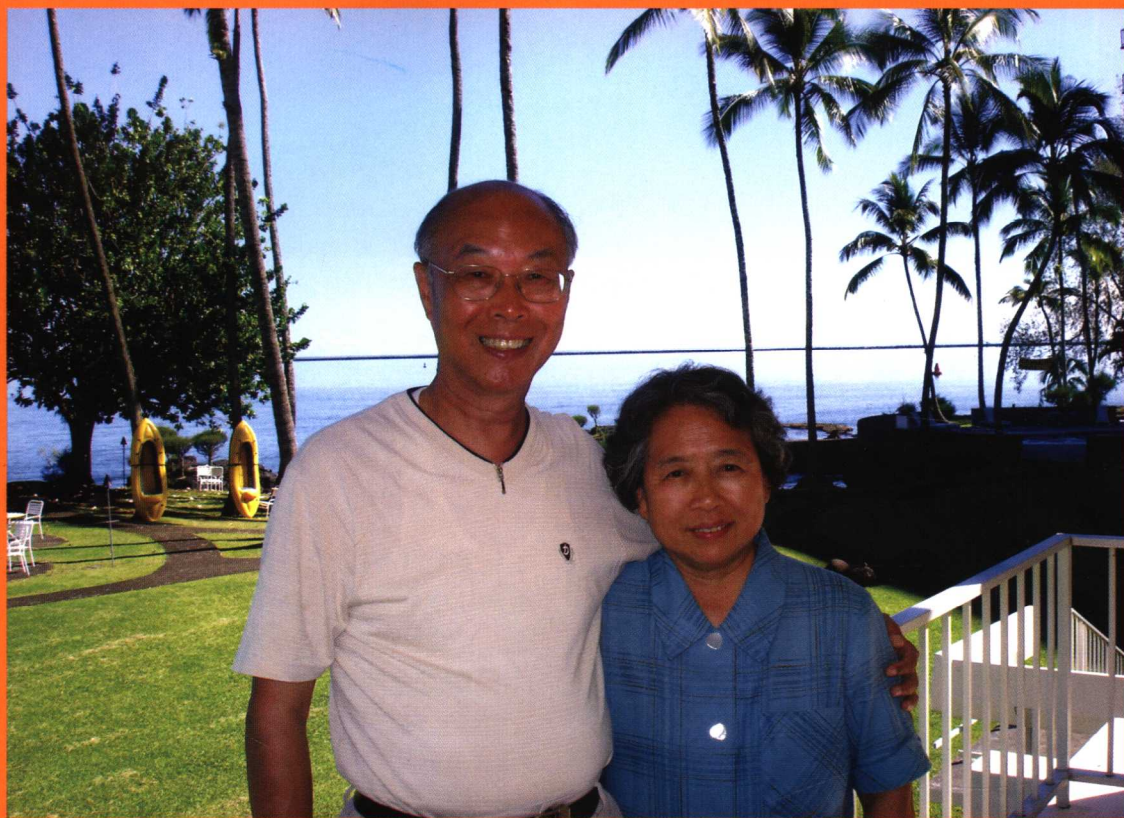
王礼立在“应力波理论及应用研究”鉴定会上向黄克智院士(右3)、经福谦院士(右2)、周丰峻院士(右1)、朱位秋院士(右4)、委员谈庆明(右5)、黄筑平和虞吉林等专家报告研究成果



王礼立主持中日双边“固体动态变形和断裂的研究和应用”学术交流会与日方主席、日本工程院院士小林昭(中)，王肖钧(右一)和唐志平(左一)等合影



王礼立和宁波大学工程力学学科部分教师合影(前排左起: 陈建康、施绍裘、王骥、陈大年、王礼立、蔡泽伟、王新堂、杨黎明)



王礼立和夫人卢维娴合影

序

我是王礼立教授最早的学生之一。那时，我还在中国科学技术大学读书，他也才二十几岁。但是，他已经是我们的“塑性动力学”的主讲教师了。当时的他，风华正茂，热情洋溢。每一节课都让你跟着他兴奋起来，课后复习讲义又觉得回味无穷。大家公认，他的课讲得好，讲义写得好！

“塑性动力学”主要是在第二次世界大战期间才由泰勒、拉赫马杜林和冯·卡门等人发展起来的一门新学科。所以，到我们上课时，国际上还没有一本书门的教科书或专著，（考尔斯基的《固体中的应力波》大多是讲弹性波）。王礼立老师硬是靠他自己的钻研和智慧，将文献去粗取精，去伪存真，为我们写了讲义。这个讲义比起后来见到的拉赫马杜林的书写得更好、更清晰。老实讲，如果按拉赫马杜林的书上课，可能我们得多花几倍的努力，也难于把握住“塑性动力学”的主要发展线索。可惜，限于当时的情况，王老师的讲课只留下了油印的讲义。

我再次见到王老师时，已经是在文革之后了。在这期间，他被迫远离了北京，远离了科研，使他最富创造性的年华蹉跎而过。但是，他对科研的热情不但没有减退，反而意志弥坚。重返中国科学技术大学之后，一手执教鞭，一手抓科研。不久，他的大作《应力波基础》就问世了，此书后来成了学生们进入材料动力学的基本工具书。另一方面，王老师兼长材料科学和力学，这在科技界是极为难得的。他充分发挥了这个优势，在绝热剪切带、高聚物的动态本构关系等许多交叉学科前沿，不仅有效地解决了一批国家亟需的问题，还不断地有具有国际影响的学术论文问世，为中国科学赢得了世界性的地位。

1985年，王老师做了另一次重大的战略转移：转战宁波，配合朱兆祥先生创建宁波大学。我于1985年秋到过宁波，亲眼目睹了他们从无到有地创建一所大

学的艰辛。王老师以其充沛的热情和杰出的组织能力投入建校工作。特别是，他从对高等教育的深入的思考和独特的见解出发，坚持追求真理，不盲从，不武断的态度，使宁波大学的学术建设从一开始就立于一个高起点上，朝气蓬勃、富于科学和民主精神，被人称为“中国高校的黑马”。他提携年轻人才，呕心沥血，不遗余力，二十年来，处处可见王老师汗水和结晶。

转眼间，王老师 70 岁了。我国冲击动力学领域的专家、学者们撰文祝贺王礼立教授宝刀不老，青春常在。这也是我作为王老师的开门学生的衷心祝愿。是为序。

白以龙

2005 年 8 月

王礼立教授传略

王礼立, 1934 年 7 月 31 日生于上海, 浙江宁波人, 1946 年~1952 年就读于上海麦伦中学 (今继光中学), 曾考获专门资助成绩优异之清寒学生的叔荪奖学金 (第 19 期 972 号)。

1952 年考入清华大学, 1956 年以全优成绩毕业于北京钢铁学院压力加工专业本科。在毕业论文中因创造性地完成北京建国轧钢厂改建设计并获现厂采用, 可提高产量数倍。北京日报曾以“工厂和学校合作的一个榜样”, 于 1956 年 7 月 3 日、7 月 25 日和 1957 年 5 月 22 日三次加以报导。

1956 年大学毕业后, 被选送到由钱学森先生回国后刚创建的中国科学院力学研究所工作。先后师从李敏华先生、朱兆祥先生和郑哲敏先生等, 从事过塑性力学、流体力学和爆炸力学等方面的研究; 并兼任中国科学技术大学近代力学系讲师, 为我国第一届爆炸力学专业学生主讲“金属材料力学性能”和“塑性动力学”。

1963 年~1978 年任化工部化工机械研究所 (院) 工程师, 从事化工设备强度、工程塑料应用和工程断裂力学等研究。科研成果“硬聚氯乙烯塑料制硝酸吸收塔”获全国科技大会奖, “聚丙烯管道研制及应用”获省科技成果奖。“工程断裂力学在化工容器的安全分析中的应用研究”获兰州化学工业公司科技成果奖。

1978 年起任中国科学技术大学近代力学系副教授, 教授 (1985 年), 爆炸力学硕士生导师, 固体力学博士生导师 (1986 年), 国家重点学科力学学科学术带头人。历任爆炸力学教研室主任, 系学术委员会副主任, 校学术委员会技术科学组副组长, 中国科学院力学规划组成员等。主讲本科生和研究生课程“应力波”, “固体高压状态方程”, “弹性动力学”, “流变学”, “材料动力学”, “粘弹性力学”和“材料在高应变率下力学性能 (研讨班)”等课。编著《应力波基础》获

校优秀教材一等奖(1985年),《现代材料力学进展》(王礼立,周光泉,李永池)获校优秀教材一等奖(1986年),《材料动力学》(王礼立,胡时胜)获校优秀教材二等奖(1985年)。科研成果“弹塑性波的理论和应用研究”获中国科学院科技进步二等奖(1986年),“SHPB装置及其研究工作”获校科研一等奖(1986年)。

1985年秋参与宁波大学创建,任首届副校长和第二届第一副校长(1986年~1993年),首届校学术委员会主任,首届校学位委员会主任,宁波大学学报(理工版)主编,兼力学和材料科学研究中心主任。当选浙江省第七届人大代表。主讲本科生和研究生课程“材料力学”,“力学在工程中的应用”,“应力波基础”和“材料动力学”等课。科研成果“国产航空材料在冲击条件下材料性能试验研究”获宁波市科技进步二等奖(1991年),“材料在高应变率下的热粘塑性失稳-绝热剪切”获浙江省教委科技进步三等奖(1997年)。1994年创建“波力高新技术工程公司”,以“控爆技术在城建工程中的应用”(列为宁波市城乡建委第一批建设成果论证项目)服务于当地经济建设发展,并于1999年起任宁波市建设集团管理委员会委员。1992年起享受政府特殊津贴。2000年起连续六年获荣华学者奖励计划一级奖。

曾先后任安徽省力学学会理事长(1985年~1989年),浙江省力学学会副理事长(1986年~1994年),中国力学学会理事(1990年~2002年),爆炸力学专业委员会副主任委员(1990年~1994年)和主任委员(1995年~2003年),冲击动力学专业组首任组长,中国化工机械学会理事,宁波市失效分析学会理事长,《爆炸与冲击》副主编(1995年~2004年),《力学学报》编委(1989年~现在),国际学刊 *STRAIN* 编委,受聘“冲击波物理和爆轰物理”国防重点实验室学术委员会委员/顾问,中国岩土工程研究中心专家顾问组顾问,兼浙江大学教授(博士生导师),中国工程物理研究院流体物理研究所博士生导师,中国兵器工业第五二研究所宁波分所研究员等。

二十余次应邀出访国外进行学术交流和合作研究,曾任日本东京大学和东京理科大学、法国梅斯大学、英国剑桥大学 Cavendish 实验室和利物浦大学冲击工程研究中心等客座教授和欧盟 ISPRA 联合研究中心客座研究员。多次主持国际学

术会议, 包括第二届国际冲击工程学术研讨会 (1996 年于北京), 中日双边“固体动态变形和断裂的研究与应用”学术会议 (1997 年于黄山), 中俄双边“动态断裂问题”专题研讨会 (1998 年于圣彼得堡), 中法双边“动态断裂”学术研讨会 (2003 年于宁波) 等。

作为我国开拓、发展应力波和材料动态力学行为研究的学科带头人, 四十余年来致力于从理论和实验相结合, 力学 (宏观) 与材料科学 (微观) 相结合, 教育、科研与工程应用相结合的踏实探索与创新。已发表论著两百余篇 (册), 涉及应力波 (弹塑性波, 粘弹性波等), 结构冲击力学 (弦、梁和球形容器的动态力学响应, 鸟撞飞机, 船撞桥的抗撞防护等), 金属的非线性热粘塑性本构关系, 工程塑料及其复合材料的非线性热粘弹性本构关系, 含损伤脆性材料 (混凝土等) 动态本构关系, 含相变材料动态本构响应 (高应变率下的形状记忆和超弹性效应), 材料的热粘塑性本构失稳 (绝热剪切), 冲蚀 (雨蚀和冰蚀), 材料内部损伤的率相关演化, 动态断裂, 卸载失效, 以及有关的工程应用等。培育了一批从事该领域工作的优秀学生, 恢复学位制后, 又培养了 20 余名硕士和 16 名博士生。

我国爆炸力学和冲击动力学领域的研究, 在上世纪五六十年代尚十分薄弱, 有的甚至是空白。其难点在于必须深入研究固体静力学所忽略的惯性效应 (应力波效应) 和材料的应变率效应 (材料动力学), 而这两者又常是互相依赖与耦合的。作为第一批涉足这一领域的中青年学科带头人之一, 王礼立四十余年来把应力波和材料动态力学行为这两个相互依存的研究方向相结合, 做出了一系列具有创新性和国际水平的成绩。



I. 应力波领域的主要成就



专著《塑性动力学讲义》(1964 年) 和《应力波基础》(1985 年) 均是我国首本此类著作, 曾获中国科学技术大学优秀教材一等奖。1989 年经国家教育委员会高等工业学校工程力学专业教材委员会审定, 被推荐为工程力学专业教学用书。2005 年出版的第二版被教育部学位管理与研究生教育司推荐为全国研究生教

育用书。

研究成果“弹塑性波的理论和应用研究”获中国科学院科技进步二等奖(1986年)。国家科委在《科学技术研究成果公报》总 71 期中公布此成果时指出“该项成果的特点是难度大,内容新,有重要实用价值。它解决了弹塑性界面的处理,二维和三维波传播的解析分析,复合应力波,粘塑性波,冲击波衰减,成坑和撞击的波效应计算以及应力波放大器等,使我国这一领域的水平提高了一步,处于国内领先地位,有的方面超过了世界先进水平”。特别是关于弹塑性边界传播理论的研究(与虞吉林、朱兆祥合作),被国际非线性应力波权威丁启财(T.C.T. Ting)教授评价为“在一维波传播的弹塑性边界上应力和速度间断的系统研究中,最重要、最精采的结果”。

近年来,发展了用弦中纵波与横波来研究材料非线性本构关系的理论和方法(与英国剑桥大学 Field 合作);在 ZWT(朱王唐)方程基础上研究了非线性粘弹性波的传播特性,发现存在一个由非线性粘弹性材料的“高频松弛时间”特征值所决定的“有效传播距离”或“有效传播时间”;又提出了利用波的弥散和衰减特性来研究高聚物动态非线性粘弹性本构方程的新方法(与法国梅斯大学合作成果);与冲蚀研究相结合,首次提出了一种基于 Reyleigh 表面波分析而得到的描述冲蚀表面损伤的形成及演化的无量纲方程(与剑桥大学 Field 合作)。



II. 材料动力学领域的主要成就



以重视宏观与微(细)观相结合,热-力学耦合,实验与理论相结合为特色。几十年来对材料的应变率相关的动态本构关系,动态损伤演化,动态断裂和动态本构失稳等开展了系统的研究:

(1) 热粘塑性本构理论研究:从位错动力学出发,讨论了热激活能与作用应力之间的非线性函数关系,提出了一类基于双曲形热激活垒谱的热粘塑性本构理论,适合于广泛的应变率和温度变化范围,并使既有的理论成为特例。

(2) 热粘塑性本构失稳绝热剪切研究:对于高应变率下材料绝热剪切的发