

塑性成形理论与
实践中的创新

王仲仁文选

王仲仁 何祝斌 主编



科学出版社
www.sciencep.com

内 容 简 介

本书是王仲仁教授及其学生们的研究成果汇编。第一篇为塑性成形理论与实践方面的创新,主要包括:首次给出的塑性加工中三向受力各工序在 Mises 屈服柱面上的定位及平面应力各工序沿屈服椭圆的加载轨迹与尺寸变化趋势的预报、所发明的无模液压胀形与多点三明治成形及其在工程项目中的应用、内高压成形及黏性介质压力成型的应用,也包括对上述新加工方法的有限元模拟。第二篇为业内专家回顾和总结王仲仁教授在塑性加工领域多方面贡献的学术论文。第三篇为王仲仁教授关于创新与创业、科学研究、教书育人等方面的文章。第四篇为王仲仁教授的相关报道。第五篇为附录,包括王仲仁教授获奖成果目录、学术论文目录、主编书籍目录及所指导的博士生论文题录等。

本书可供从事塑性理论研究人员、塑性加工领域技术人员、大学教师和研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

塑性成形理论与实践中的创新:王仲仁文选/王仲仁,何祝斌主编.
—北京:科学出版社,2007
ISBN 978-7-03-019604-0

I. 塑… II. ①王…②何… III. 金属-塑性变形-文集 IV. TG111.7-53
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 123903 号

责任编辑:耿建业/责任校对:钟 洋

责任印制:刘士平/封面设计:王 浩

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>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007年8月第 一 版 开本:787×1092 1/16
2007年8月第一次印刷 印张:56 插页:2
印数:1—1 000 字数:1 298 000

定价:100.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(科印))



王仲仁教授



王仲仁与师昌绪院士在哈尔滨工业大学校园内，1997年



王仲仁在北京奥林匹克体育中心艺术钢球前，1990年



在第三届国际塑性加工会议宴会上作为下届会议主席，王仲仁致词欢迎同行国际朋友参加1993年在北京召开的第四届国际会议，1990年



王仲仁在世界上首台用无模胀形法制成的液化气储罐前（容积 200m^3 ，直径 7.1m ，厚 24mm ），1992年



王仲仁在青岛五四广场艺术造型前（内球直径 7m ），2001年



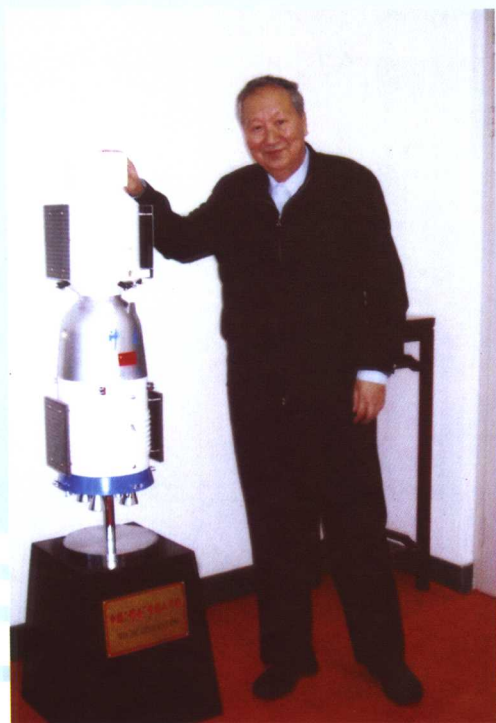
王仲仁教授及其学生们在日本横滨 ICTP 会上，2002



王仲仁在载人航空间环境模拟器 KM6 前，2003 年



王仲仁在神舟四号飞船返回舱前，2003 年



王仲仁在神舟五号飞船模型前，2003 年



王仲仁在哈尔滨工业大学校园内尤里卡球前，
2004 年

大自然有很多潜在的规律和待揭示的发明，应该认识和利用它，我们来造福人类。要做到这一点，关键在于要有深层次的思考，勇于且善于提出新见解和新方案，积极组织高效团队，充满激情且务实的工作。

王仲仁

序

我国正处在提倡创新，特别是鼓励自主创新的时期。在这个时候，《塑性成形理论与实践中的创新——王仲仁文选》的出版是材料加工界的一件很有意义的事。

王仲仁教授发明了无模液压胀形新技术，这是一个不用压力机、不用模具的成形新方法。对此，著名力学专家、中国科学院院士王仁教授生前曾经评价为：“无模胀球工艺可以说是压力加工和板壳理论结合的一个很好的典范，王仲仁同志在这里表现为深刻理解了塑性变形理论，能够灵活加以利用，为国民经济做出了有价值的贡献”。由于此项技术属原始创新，于1992年获国家发明四等奖。后来，在球形水塔、球形液化气储罐，特别是在大尺寸球形装饰方面得到大量应用，于2004年获国家科技进步二等奖。

王仲仁教授作为大型空间环境模拟器 KM6 制造项目总工程师，与项目组成员一起创造性地解决了世界第三大、亚洲第一大空间环境模拟器大法兰制造等一系列难题。该容器为神舟号所有系列飞船升空前进行性能测试，合格后方可放行升空，该项目获2001年国家科技进步二等奖。

此后，王仲仁教授作为制造项目总工程师又承担了某大型风洞的研制任务，其间，创造性地提出用一套离散式模具的“三明治”成形方法成功地解决了该风洞收缩形体290种型板成形任务，该方法已获国家发明专利。

王仲仁教授长期从事塑性加工力学方面的教学工作，他把塑性力学的基本理论创造性地用于解决塑性加工的变形分析问题，提出了应力应变顺序对应规律，首次将屈服图形与各工序工件中的不同部位尺寸变化趋势给出统一的解答。这些工作清华大学徐秉业教授及武汉理工大学姜奎华教授都有专文论述。

素有塑性加工界的奥林匹克之称的国际塑性加工会议（ICTP）是塑性加工方面的顶级盛会，至今已开了八届，王仲仁是第四届会议的主席和该会议的 Standing Advisory Board 中唯一的中国理事。此外，他还创建了国际成形新技术会议（ICNFT），至今已成为一个跨学科的一系列性国际会议。因此，可以说王仲仁教授不但在塑性加工理论与实践做出了重要贡献，在塑性加工国际交流方面也起到带头作用。

总之，王仲仁教授学术论著颇多，在塑性加工力学中有不少创新，更难能可贵的是攻克了不少意义重大的工程项目，这在大学教授中是不多见的。值此《塑性成形理论与实践中的创新——王仲仁文选》出版之际，特作此序表示祝贺。

中国科学院院士、中国工程院院士

师昌绪

2007.1

前 言

这本文选涵盖了近半个世纪以来本人及同事,更主要是与我不同年代的学生们所共同从事的科研工作的主要成果,不仅历史跨度大而且涉及课题较多,所以概括为《塑性成形理论与实践中的创新》。它记录了师生们在探索未知时的足迹,是整个团队研究工作的结晶。这次收集文稿时得到广大合作者的积极响应,从这个意义上说,这本文集也是所有合作者们共同编写而成,本人仅起领军作用。

考虑到论文数目较多,文集中仅全文发表不到百篇,其余以题录形式列入第五篇,一是可以了解全貌,二是便于检索。

在整理稿件的过程中我充满着丰收的喜悦,仿佛又回到那充满激情的岁月。当世界上第一个用无模液压胀形法制造直径 600mm 球成功时,参加该课题的硕士生方漪(现为青岛大学软件学院院长,教授)等四处奔走相告,连相邻的焊接专业也作为重要新闻相互转告。这表明从事科研工作的人对发明的热情与尊重,在年轻人身上表现得更为单纯。但事情并非一番风顺,后来在牡丹江做球失利,接着背水一战做北京奥林匹克体育中心亚运会用球时的压力是可以想象的,由锻压学会主编的《我与锻压》一书中有我写的《球迷与无模胀形成球》文章,该文反映了当时的背景。此后,由于苑世剑等众多博士们在多方面的深入研究和推广应用,“大型封闭壳体内压成形技术”获 2004 年度国家科技进步二等奖,本人代表课题组出席在北京人民大会堂召开的颁奖大会,受到党和国家领导人的接见。会上温家宝总理所讲的“创新是支撑一个民族崛起的脊梁”,至今一直在鞭策着我们在理论与实践中的创新。

本人有幸作为载人航天大型空间环境模拟器 KM6 制造项目总工程师,与项目组成员一起创造性的解决了世界第三大、亚洲第一大空间环境模拟器大法兰制造成套技术等一系列难题。该容器为神舟号系列所有飞船及大型航天器升空前进行性能测试,合格后方可放行升空。工作中的压力及宇航员杨利伟胜利返回地球后的复杂心情在我写的《重访 KM6》中可以看出。

多年来我们中间的很多人对于国外的设备与理论接受得很快甚至不去思索其中有无欠妥或需改进之处,但是一旦国内的人提出什么理论,所遭到反对的程度往往超过平心气和的学术争论。这对当事人来说会感到始料未及,有一个接受过程。我所提出的“应力应变顺序对应规律”在全国塑性理论界引起一场争论。读者可从姜奎华教授的文章“应力应变顺序对应规律及其学术意义”(第二篇)了解这场争论的始末。我的体会是理论需要,也能够创新,争论有助于完善新的理论,但有针对性的实验验证是最有说服力的,目前上述规律已写入全国统编教材之中。

非常感谢胡锦涛教授作为《塑性工程学报》编委会主编在该刊 2004 年第 2 期特意组织系列稿件,由业内专家,如清华大学徐秉业教授、武汉理工大学姜奎华教授等对本人在塑性理论与工程实践中的创新给予评述,这些文章也收录在第二篇中。

还应感谢张凯锋及苑世剑两位教授编写了《王仲仁及其科技贡献》(哈尔滨工业大

学出版社, 2004)。该书包含了我的朋友和弟子们满含深情写的我们合作时的情景, 限于篇幅, 本文集仅刊出文章题录和张凯锋教授写的前言。

特别感谢英国 F. W. Travis 教授, *Journal of Materials Processing Technology* 创始人兼主编, 为本人 70 岁生日出版了专辑 (Vol. 151, 2004), 国际塑性加工会议的 Standing Advisory Board 中有 5 名理事及海内外同行及本人很多学生发表了文章。感谢中国机械工程学会塑性加工分会理事长周贤宾教授为该专辑写了前言, 该前言及该期题录也列在本文集第四篇中。所以说, 这本文集不同于纯技术论文选集, 除了技术论文以外还有业内专家的综合评述论文, 还包括本人在教学、科研方法方面的体会以及一些背景材料, 综合性强。

本人深感荣幸的是中国科学院院士、中国工程院院士师昌绪教授在百忙中为本文选写了序。师先生的爱国热情、远见卓识、敢于创新、善于解决实际问题和对晚辈的关怀一直是学习的榜样。借此机会, 仅向师先生表示崇高的敬意与衷心的感谢。

最后, 我还要特别感谢为文集提供文章目录的作者们, 由于他们的大力协同为本文集奠定了坚实的基础, 更应感谢何祝斌博士为本文集的出版所做的大量、卓有成效的工作和所付出的辛勤劳动。



2007 年元旦

目 录

序 前言

第一篇 王仲仁教授的学术论文文选

塑性理论

20 世纪 50 年代初期中国的固体强度理论在金属塑性成形中的重要应用成果	5
试论塑性加工的实质是“力处理”	17
论塑性加工中应变应力顺序对应规律——兼评古布金的最小阻力定律	23
论应力偏量及应力张量第三不变量的物理意义及其在主应力空间中的几何意义	34
广义屈服准则	41
一点的三维剪应力图及其与金属变形类型的对应关系	48
主剪应力法及其在锥模薄管拉拔与缩颈中的应用	54
内压椭球壳塑性变形的发生部位与扩展过程分析	63
三向应力 Mohr 圆的真实构成及剪应力作用方向的确定	67
偏应力张量第二及第三不变量在塑性加工中的作用	74
Hencky 应力方程与主剪应力迹线上正应力方程的比较	83
三维最大剪应力迹线上的正应力变化规律	89
板料变形受压失稳临界条件分析	94
用嵌入螺柱法研究金属塑性应变分布	100
A Consistent Relationship Between the Stress-and Strain-components and its Application for Analyzing the Plane-stress Forming Process	108
A New Method to Prove the Rule of Change of Normal Stress Along a Slip Line	114
Principal Shearing Stress Locus Theory of Axisymmetrically Plastic Flow	120
The Application of Strength Theories and Yield-criteria in Engineering	126
The Method of the Principal Shear Stress Tracing Line and its Application in the Flaring and Expanding of a Thin-walled Tube with a Conical Punch	133
Three-dimensional Representation of Normal Stress Magnitude with Applications to Hydrobulge Forming	144
Multiple-factor Dependence of the Yielding Behavior to Isotropic Ductile Materials	153
Graphical Methods of Representing the Stress Components on Different Inclined Planes at One Point	175
Comprehensive Analysis of Stress-Strain in Typical Metal Forming Processes	184
液力成形	
椭球壳体液压成形的塑性变形规律的研究	195

无模胀球的原理与研究进展·····	201
单曲率多面壳体液压胀球工艺·····	206
应力莫尔圆变化分析及其在典型液力塑性成形中的应用·····	210
内高压成形起皱行为的研究·····	221
Experimental Research and Finite-element Simulation of Plates Hydrobulging in Pairs ·····	230
Progress in Shell Hydroforming ·····	237
Numerical Simulation of Plastic Deformation of Pressurized Oblate Spheroid- Inscribed Single-Curvature Shells ·····	248
Theoretical Analysis and Experimental Research into the Integral Hydro-bulge Forming of Oblate Shells ·····	265
Hydroforming of Typical Hollow Components ·····	275
The Integrally Hydro-forming Process of Pipe Elbows ·····	283
Safety Analysis of 200m ³ LPG Spherical Tank Manufactured by the Dieless Hydro- bulging Technology ·····	288
Research on the Integral Hydrobulge Forming of Ellipsoidal Shells ·····	296
Research into the Dieless Hydro-forming of Nonuniform Thickness Spherical Vessels ···	303
Experiment and Numerical Simulation of Hydro-forming Toroidal Shells with Different Initial Structure ·····	312
Analysis of the Internal Pressure in Tube Hydroforming and Its Experimental Investigation ·····	318
Effect of the Initial Structure on the Hydro-forming of Toroidal Shells ·····	328
新成形技术	
多点“三明治”成形及其在风洞收缩段形体制造中的应用·····	337
板材数控增量成形过程的研究·····	344
粘性介质压力成形的应用研究·····	352
管件电磁成形研究·····	359
等径侧向挤压应变分析·····	367
Al-Li2091 合金超塑成形/扩散连接工艺研究 ·····	371
钛合金半球件超塑成形的数值模拟与实验研究·····	378
用大尺寸粉末颗粒材料制备 PM-SiC _p /LY12 及其超塑性研究 ·····	382
静液压力下 7075 铝合金圆环压缩试验研究 ·····	392
曲轴 RR 法锻锻成形的数值模拟与缺陷预测 ·····	398
胀形法加工聚碳酸酯板材制品的工艺参数研究·····	403
马鞍形板材件多点“三明治”成形实验研究·····	408
Multi Point Sandwich Forming ·····	415
Spinning Conical Workpiece without Mandrel ·····	421
Analysis of Blanking Vibration with Consideration of the Break-through State ···	428
Research into the Properties and Microstructure of ZA13 Alloy Tubes Formed by	

Liquid Extrusion	436
An Experimental Study of the Roll-bending of Double-curvature Workpieces	443
Hot Hydrostatic Extrusion and Microstructures of Mechanically Alloyed Al- 4. 9Fe-4. 9Ni Alloy	452
Development of the Technique of Extrusion Directly Following Infiltration for the Manufacturing of Metal-matrix Composites	461
An Advanced Superplastic Sheet-forming Machine Controlled by Microcomputer	469
A Comparison of the Mesomechanism of Dynamic Deformation between Copper and Aluminum	476
Viscous Pressure Forming (VPF) of Corrugated Thin-walled Sheet Part with Small Radius	481
Numerical and Experimental Research of the Cold Upsetting-extruding of uhbe Flanges	491
Sheet Bulging Experiment with a Viscous Pressure-carrying Medium	502
Flexible Bending of Aluminum Profiles with Polyurethane Pad	510
塑性成形中的有限元模拟	
基于映射法的三维有限元网格自动划分.....	521
几种典型件成形过程的弹塑性有限元数值模拟.....	526
板材超塑成形/扩散连接过程的三维有限元模拟	531
对圆柱体镦粗过程中塑性变形发生和发展的探讨.....	538
塑料板材热成形过程三维温度场的有限元分析.....	543
有限元六面体网格的典型生成方法及发展趋势.....	553
Simulation of Superplastic Sheet Forming and Bulk Forming	562
FEM Analysis of Axisymmetrical Superplastic Piercing Process	568
Analysis of the Conventional Spinning Process by FEM	573
Numerical Simulation of the Integral Hydro-bulge Forming of Non-clearance Double- layer Spherical Vessels; Analysis of the Stress State	579
A Preform Design Method for Sheet Superplastic Bulging with Finite Element Modeling	592
Recent Development in the Mechanics of Superplasticity and its Applications	601
Numerical Simulations for Extrusion and Ironing and Die-angle Optimization	613
Stress Analysis of Approximately Ellipsoidal Cold-spun Tri-arc Tank Head and Parameter Optimization	621
Finite Element Simulation of a New Deformation Type Occurring in Changing- channel Extrusion	629
A New Contact Judgement Method for Sheet Metal Forming Simulation	633
Finite Element Simulation of Rotary Forging	639
Explanation of the Mushroom Effect in the Rotary Forging of a Cylinder	646
Applications of Numerical Simulation to the Analysis of Bulk-forming Processes-	

case Studies	654
Numerical Simulation and Experimental Study on the Multi-step Upsetting of a Thick and Wide Flange on the End of a Pipe	664
Numerical Simulation of Deformation in Multi-point Sandwich Forming	673

第二篇 业内专家对王仲仁教授学术贡献的评价

结合塑性加工发展塑性力学——王仲仁教授在塑性理论方面的贡献	689
应力应变顺序对应规律及其学术意义	703
超塑成形理论与实践——王仲仁教授在超塑性研究领域的贡献	713
无模液压胀形技术——王仲仁教授的一项发明	724
粘性介质压力成形技术 (VPF) 研究——王仲仁教授指导的学术新方向	737
Uniform Principle on Stress, Strain and Yield Locus for Analysing Metal Forming Processes; The Contribution of Prof. Z. R. Wang	755
Progress in Large Vessel Forming: Introduction of Some Innovations of Prof. Z. R. Wang	764

第三篇 王仲仁教授在创新与创业、科学研究及 教书育人等方面的部分文章

中国人要自尊自强	775
院士首先应在本领域做出贡献	777
谈创新与创业	779
球迷与无模胀球技术	781
从无模胀球技术的应用看科技成果商品化	784
读一点《论语》	787
关于研究方法	789
试谈导师如何对研究生“导”与“引”	793
试谈科研选题的辩证关系	797
谈博士论文的规格及选题	799
重访 KM6	802
综合素质决定一个人的发展——由“铁匠”变成航天光学院士的启示	807

第四篇 王仲仁教授相关报道

“球迷”教授站在国际讲坛上	811
记无模胀球技术发明人王仲仁教授	812
“小太空”圆国人飞天梦——访神五 KM6 工程总工程师王仲仁	816
他为“神五”做出贡献——记“KM6 工程”总工程师王仲仁教授	819
王仲仁：哈工大的一位快乐老“先生”	823
Journal of Materials Processing Technology 专辑前言及目录	827
《塑性工程学报》专集贺词	832

《王仲仁教授及其科技贡献》前言及文章题录	834
----------------------------	-----

第五篇 附 录

王仲仁教授简历	839
王仲仁教授获奖成果目录	840
王仲仁教授发表的主要学术论文目录	841
王仲仁教授主编书籍目录	870
王仲仁教授指导和合作指导博士生的论文题录	871
王仲仁教授作为合作导师培养的博士后	873
后记	874

CONTENTS

PART ONE SELECTED ACADEMIC PAPERS OF PROF. Z. R. Wang

THEORY OF PLASTICITY

Important Application of the Early 1950s Chinese Strength Theory of Solid to Plastic Metal Forming of Metals	5
Essence of Metal Plastic Forming is Force Treatment	17
On the Consistent Rule between the Stress Order and Strain Order in the Field of Technology of Plasticity—Comment on Kubkin's 'Minimum Resistance Law'	23
On the Physical Significance of the Third Invariant of Stress Deviator J_3 and the Third Invariant of Stress Tensor I_3 and their Geometric Significance in the Space of Principal Stresses	34
General Yield Criterion	41
3D Figure of Shear Stress at One Point and Its Corresponding Relationships with the Deformation Types	48
The Method of Principal Shear Stress and Its Application in Drawing and Necking of Thin-wall Tube with Conical Die	54
Occurring and Expanding of the Plastic Deformation in Ellipsoidal Shells Subjected to Internal Pressure	63
Construction of Mohr Stress Circle for Three-dimensional Stress and Determination of Shear Stress Direction	67
Effects of the Second and Third Invariants of the Stress Deviator on Metal Forming	74
The Comparison between Hencky Stress Equation and Normal Stress Equation along the Tracing Line of Principal Shear Stress	83
The Changing Rule of the Normal Stress along 3D Maximum Shear Stress Tracing Line	89
Analysis on Critical Buckling Condition on Sheet Metal Deformation under a Pressure Load	94
Screw Method for Measuring Strain Distribution in Metal Plastic Deformation Body	100
A Consistent Relationship Between the Stress-and Strain-components and its Application for Analyzing the Plane-stress Forming Process	108
A New Method to Prove the Rule of Change of Normal Stress along a Slip Line	114
Principal Shearing Stress Locus Theory of Axisymmetrically Plastic Flow	120

The Application of Strength Theories and Yield-criteria in Engineering	126
The Method of the Principal Shear Stress Tracing Line and its Application in the Flaring and Expanding of a Thin-walled Tube with a Conical Punch	133
Three-dimensional Representation of Normal Stress Magnitude with Applications to Hydrobulge Forming	144
Multiple-factor Dependence of the Yielding Behavior to Isotropic Ductile Materials	153
Graphical Methods of Representing the Stress Components on Different Inclined Planes at One Point	175
Comprehensive Analysis of Stress-strain in Typical Metal Forming Processes	184
HYDROFORMING	
The Research on the Plastic Deformation of the Hydrobulge Forming of Ellipsoidal Shells	195
Principle and Research Progress of the Integrated Dieless Hydro-bulging Spherical Vessels	201
Technology of Hydrobulging Single-curvature Polyhedrons into Spherical Vessels	206
Analysis of the Changing of Mohr Circle and Its Application in Typical Hydro Plastic Technology	210
Research on Wrinkling Behavior in Tube Hydroforming	221
Experimental Research and Finite-element Simulation of Plates Hydrobulging in Pairs	230
Progress in Shell Hydroforming	237
Numerical Simulation of Plastic Deformation of Pressurized Oblate Spheroid- inscribed Single-curvature Shells	248
Theoretical Analysis and Experimental Research into the Integral Hydro-bulge Forming of Oblate Shells	265
Hydroforming of Typical Hollow Components	275
The Integrally Hydro-forming Process of Pipe Elbows	283
Safety Analysis of 200m ³ LPG Spherical Tank Manufactured by the Dieless Hydro- bulging Technology	288
Research on the Integral Hydrobulge Forming of Ellipsoidal Shells	296
Research into the Dieless Hydro-forming of Nonuniform Thickness Spherical Vessels	303
Experiment and Numerical Simulation of Hydro-forming Toroidal Shells with Different Initial Structure	312
Analysis of Internal Pressure in Tube Hydroforming and Its Experimental Investiga- tion	318
Effect of the Initial Structure on the Hydro-forming of Toroidal Shells	328
NEW FORMING TECHNOLOGY	
Multi-point Sandwich Forming and Its Applications in Manufacturing Contraction	