



面向2030

中国机械工程技术路线图丛书

中国机械工程学会 主编

塑性 成形

技术路线图

PLASTICITY FORMING TECHNOLOGY ROADMAPS

中国机械工程学会塑性工程分会 编著



中国科学技术出版社
CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS



面向 203

中国机械工程技术路线图丛书

中国机械工程学会 主编

塑性 成形

技术路线图

PLASTICITY FORMING TECHNOLOGY ROADMAPS

中国机械工程学会塑性工程分会 编著

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

塑性成形技术路线图 / 中国机械工程学会塑性工程
分会编著. —北京: 中国科学技术出版社, 2016.11

(中国机械工程技术路线图丛书)

ISBN 978-7-5046-7264-3

I. ①塑… II. ①中… III. ①金属压力加工—塑性变
形—技术发展—研究报告—中国 IV. ①TG3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 253722 号

策划编辑	吕建华 赵 晖
责任编辑	夏凤金 赵 佳
装帧设计	中文天地
责任校对	刘洪岩
责任印制	张建农

出 版	中国科学技术出版社
发 行	中国科学技术出版社发行部
地 址	北京市海淀区中关村南大街16号
邮 编	100081
发行电话	010-62173865
传 真	010-62179148
网 址	http://www.cspbooks.com.cn

开 本	787mm × 1092mm 1/16
字 数	210千字
印 张	10.75
版 次	2016年11月第1版
印 次	2016年11月第1次印刷
印 刷	北京盛通印刷股份有限公司
书 号	ISBN 978-7-5046-7264-3 / TG·22
定 价	58.00元

(凡购买本社图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换)

丛书编委会

荣誉主任 路甬祥

主 任 周 济

副 主 任 张彦敏

委 员 (按姓氏笔画排序)

王玉明	王立鼎	王至尧	王国彪	王麟书	尤 政
卢 刚	卢秉恒	田利芳	包起帆	冯培恩	邢 敏
朱 胜	朱 荻	朱森第	任洪斌	任露泉	刘艳秋
关 桥	孙守迁	孙智慧	苏仕方	李元元	李圣怡
李晓延	李培根	李敏贤	李新亚	杨申仲	杨明忠
杨海成	吴国凯	吴锡兴	何加群	沙宝森	沈功田
宋天虎	陆 辛	陆大明	陈 钢	陈 强	陈超志
苑世剑	林尚扬	林忠钦	周 云	周 宇	屈贤明
赵有斌	胡正寰	柳百成	钟 掘	钟永刚	钟志华
钟群鹏	娄延春	徐小力	徐永昌	徐均良	徐志磊
徐滨士	高金吉	郭东明	黄卫东	葛晨光	曾广商
雷源忠	蔡惟慈	谭建荣	熊有伦	黎 明	潘云鹤
潘健生					

责任编辑 刘艳秋 钟永刚 田利芳

本书编委会

主 任 杨 合 苑世剑

副主任（按姓氏笔画排序）

华 林 李明哲 李建军 陆 辛 谢 谈

委 员（按姓氏笔画排序）

王国峰 计亚平 卢 振 华 林 刘 刚 李永革

李明哲 李建军 李继贞 李落星 杨 合 张凯锋

张治民 陆 辛 苑世剑 金 红 单忠德 单德斌

赵升吨 钟志平 夏汉关 蒋 鹏 蒋少松

秘 书 郭端路

参加编写单位

(按拼音排序)

北京机电研究所

重庆江东机械厂

哈尔滨工业大学

航空工艺研究院

湖南大学

华中科技大学

机械科学研究院

机械科学研究院浙江分院

吉林大学

江苏太平洋精锻科技股份有限公司

太原理工大学

武汉理工大学

西安交通大学

西北工业大学

中北大学

总 序

当今世界，科技创新日新月异，信息化、知识化、现代化、全球化发展势不可挡，新兴发展中国家快速崛起，国际经济和制造产业格局正面临新的大发展、大调整、大变革。我国制造业也将迎来新的发展战略机遇和挑战。

目前，我国制造业的规模和总量都已经进入世界前列，成为全球制造大国，但是发展模式仍比较粗放，技术创新能力薄弱，产品附加值低，总体上大而不强，进一步的发展面临能源、资源和环境等诸多压力。到 2020 年，我国将实现全面建设小康社会、基本建成创新型国家的目标，进而向建成富强、民主、文明、和谐的社会主义现代化国家的宏伟目标迈进。在人类历史上，大凡知识和技术创新，只有通过制造形成新装备才能转变为先进生产力。许多技术和管理创新也是围绕与制造相关的材料、工艺、装备和经营服务进行的。可以预计，未来 20 年，我国制造业仍将保持强劲发展的势头，将更加注重提高基础、关键、核心技术的自主创新能力，提高重大装备集成创新能力，提高产品和服务的质量、效益和水平，进一步优化产业结构，转变发展方式，提升全球竞争力，基本实现由制造大国向制造强国的历史性转变。

机械制造是制造业最重要、最基本的组成部分。在信息化时代，与电子信息等技术融合的机械制造业，仍然是国民经济发展的基础性、战略性支柱产业。工业、农业、能源、交通、信息、水利、城乡建设等国民经济中各行业的发展，都有赖于机械制造业为其提供装备。机械制造业始终是国防工业的基石。现代服务业也需要机械制造业提供各种基础设备。因此，实现由制造大国向制造强国的历史性转变，机械制造必须要先行，必须从模仿走向创新、从跟踪走向引领，必须科学前瞻、登高望远、规划长远发展。

中国机械工程学会是机械工程技术领域重要的科技社团，宗旨是引领学科发展、推动技术创新、促进产业进步。研究与编写中国机械工程技术路线图，是历史赋予学会的光荣使命。一段时间以来，机械工程学会依靠人才优势，集中专家智慧，充分发扬民主，认真分析我国经济社会发展、世界机械工程技术和相关科学技术发展的态势，深入研究我国机械行业发展的实际和面临的任务及挑战，形成了《中国机械工程技术路线图》。

《中国机械工程技术路线图》是面向 2030 年我国机械制造技术如何实现自主创新、重点跨越、支撑发展、引领未来的战略路线图。路线图力求引领我国机械工程技术产业的创新发展，进而为我国建设创新型国家，实现由制造大国向制造强国的跨越，提升综合国力和国际竞争力发挥积极作用。

路线图的编写努力坚持科学性、前瞻性、创造性和引导性。科学性就是以科学发展观为指导，立足于科学技术的基础，符合科学技术和产业发展的大趋势。路线图不是理想主义的畅想曲，而是经过努力可以实现、经得起实践和历史检验的科学预测。前瞻性就是用发展的眼光看问题，不仅着眼于当前，而要看到 10 年、20 年后甚至更长远的发展。我们今天所面临的挑战和问题，很多都不是短期能够解决的，而是需要经过 10 年、20 年，甚至更长时间的持续努力才能根本化解。我们不仅要立足我国的发展，也要放眼世界的发展，对可能出现的科技创新突破、全球产业结构和发展方式的变革要有所估计。我们不仅要考虑已有的科学技术，还要考虑未来的科技进步与突破，如物理、化学、生物、信息、材料、纳米等技术的新发展，考虑它们对制造业可能产生的影响和可能带来的变化。对一些重要领域和发展方向、发展趋势要有一个比较准确的把握和判断。创造性就是根据我国国情进行自主思考和创新。路线图的编写是一个学习过程、研究过程、创造过程。我们既要学习借鉴国外的技术路线图，学习借鉴国外的成功经验和先进技术，又不完全照搬、不全盘模仿。路线图不仅要符合世界发展的大趋势，更要符合中国的实际国情。引导性就是要对机械制造技术和产业发展起引领和指导作用。路线图不是百科全书，也不同于一般的技术前沿导论，它是未来创新发展的行动纲领。路线图既要有清晰的基础共性、关键核心技术的提炼，同时也要有代表重大创新集成能力的主导性产业和产品目标，要适应企业行业的整体协调发展。路线图最终衡量的标准是先进技术是否能够转变成产业，是否能够占领市场。

《中国机械工程技术路线图》对未来 20 年机械工程技术发展进行了预测和展望。明确、清晰地提出了面向 2030 年机械工程技术发展的五大趋势和八大技术。五大趋

势归纳为绿色、智能、超常、融合和服务，我认为是比较准确的。这 10 个字不仅着眼于中国机械工程技术发展的实际，也体现了世界机械工程技术发展的大趋势，应该能够经得起时间的考验。八大技术问题是从小机械工程 11 个技术领域凝练出来的，是对未来制造业发展有重大影响的技术问题，即复杂系统的创意、建模、优化设计技术，零件精确成形技术，大型结构件成形技术，高速精密加工技术，微纳器件与系统（MEMS），智能制造装备，智能化集成化传动技术，数字化工厂。这些技术的突破，将提升我国重大装备发展的基础、关键、核心技术创新和重大集成创新能力，提升我国制造业的国际竞争力以及在国际分工中的地位，将深刻影响我国制造业未来的发展。

编写路线图，还要考虑如何为路线图的实施创造条件。如果没有政府的理解 and 政策环境的支持，没有企业积极主动的参与和有关部门的紧密合作，如果不通过扩大开放，改革体制，创新机制，为人才育成和技术创新创造良好的环境，促进企业为主体、以市场为导向、产学研用结合的技术创新体系的形成，如果没有一系列有力举措和实际行动，路线图所描绘和规划的目标就可能只是寓于心中的美好愿望和一幅美丽的图景。我认为，创新、人才、体系、机制、开放，是路线图成功实施的关键要素。

尤其值得关注的是，国际金融危机后，发达国家重视和重归发展制造业的势头强劲。2011 年 6 月美国总统科技顾问委员会（PCAST）向奥巴马总统提交的《确保美国在先进制造业中的领导地位》报告，就如何振兴美国在先进制造业中的领导地位提出了战略目标和政策的建议，建议联邦政府启动实施一项先进制造计划（AMI）。AMI 所建议的项目实施经费由商务部、国防部和能源部共同分担。项目基金最初每年 5 亿美元，四年后提高到每年 10 亿美元，并将在未来的 10 年里，实现美国国家科学基金委员会、能源部科学办公室和国家标准与技术院等三个关键科学机构的研究预算增倍计划，实现研发投入占 GDP3% 的目标。着力为先进制造技术创新和产业的振兴提供更有吸引力的税收政策，建设可共享的技术基础设施和示范工厂等，加强对基础、共性、关键技术创新的支持，吸引和培养先进制造的创造人才，培育支持中小制造企业创新和发展等。

政府在推动机械工业发展中具有关键作用。政府的政策支持是机械工程技术路线图顺利实施的重要保障。路线图向政府及各有关部门提出了一些具体建议，包括制订中国未来 20 年先进制造发展规划、设立科技专项、创新科研体制机制、改进税收政策和投融资等，希望得到各方面的理解和支持，共同为我国实现制造强国的目标而努力。

人才是实现制造强国之本，教育是育才成才之源。在通向路线图目标的种种技术路径上，既需要从事基础前沿研究的科学家，也需要从事技术创新的工程师，还需要更多的优秀技师、高级技工等高技能人才。我们不仅要提高人才培养的质量，更要注重优化人才结构，发展终身继续教育。

对于中国机械工程学会而言，组织编写完成《中国机械工程技术路线图》只是迈出了第一步。只有路线图的研究成果得到政府和社会的大力支持，只有吸引企业和广大科技工作者的积极参与，路线图的实施才能成为广泛、深入、创造性的实践，路线图的目标才可能实现。因此，宣传普及、推介实施路线图是学会下一步更加重要而紧迫的任务。此外，路线图的持续研究、及时补充完善与修改，要成为学会今后长期、持续性的工作，成为学会建设国家科技思想库的重要组成部分。

期望《中国机械工程技术路线图》经得起实践检验，期望中国机械工程技术取得创新突破，期望中国机械工业由大变强，期望中国尽快成为制造强国乃至创造强国！

是为序。



2011年8月

摘 要

《塑性成形技术路线图》面向 2030 年，重点分析了塑性成形技术与装备面临的机遇与挑战、发展趋势，提出影响塑性成形未来发展的关键技术。对主要技术领域（包括特种成形技术、内高压成形技术、特种轧制成形技术、精密锻造成形技术、多点成形技术、旋压成形技术、大锻件成形技术、锻压设备技术、冲压成形技术、挤压成形以及锻压模具技术等）进行深入分析，从技术角度阐述其应用前景、面临的技术壁垒，按照时间序列给出了不同时间节点的发展重点与路径，并预测可达成的目标。

全书共十二章，第一章分析了塑性成形技术发展的国内外需求环境和中国塑性成形存在的问题及挑战；第二章至第十二章确定了 11 个塑性成形关键领域的技术路线图，内容包含了每个领域的概况、发展现状和问题以及未来发展的路线图；最后附有一张塑性成形技术路线发展简图，供广大技术人员、规划人员以及管理人员在进行技术方向的把握、规划时参考。

行业 50 多位专家、学者和企业家参与本书的编写，并广泛征求了各方面专家的意见和建议，使本技术路线图更具影响力和指导性。

本书可为企业制定发展规划和政府决策提供依据，亦可为人才培养提供技术指导。

Abstract

The Plasticity Forming Technology Roadmap for 2030, focuses on analysis of the opportunities, challenges and development trend of the plasticity forming technology and equipments, and puts forward the common key technologies that will affect the future development of the plasticity forming. The roadmap attaches importance on the research of the key fields of plasticity forming technology, explains the application prospect and technical barriers from a technical point of view, points out the developing priorities and development paths according to different nodes in time sequence, and predicts the goals that can be reached.

The roadmaps consist of twelve chapters. The first chapter analyses the market needs home and abroad during the development of the plasticity forming, and the problems and challenges for Chinese plasticity forming; Chapter two to twelve introduce the abstract, current situation and problem, technology roadmap of these key fields of the plasticity forming technology.

Nearly 30 industry experts and scholars and entrepreneurs have participated in writing this book, and a wide range of views and suggestions from various experts have been considered, so that the technology roadmap can be more influential and instructive.

This book can be of basis for enterprises to make development planning and for government to make decision. It can also provide technical guidance for talent training.

目 录

引 言	1
第一章 塑性成形技术的战略需求	3
一、塑性成形技术在国民经济中的作用	3
二、塑性加工技术在重点领域中的需求	4
第二章 特种塑性成形技术	19
一、微细晶粒超塑成形	19
二、微成形	24
三、粉体成形	27
四、电塑成形	29
第三章 内高压成形技术	33
一、概论	33
二、现状与问题	34
三、发展方向及技术路线	40
第四章 特种轧制成形技术	44
一、径向锻造技术	44
二、轧环与复合轧环技术	47
三、摆动碾压技术	50
四、楔横轧与斜轧技术	54
第五章 精密锻造成形技术	57
一、温 / 热精锻技术	59
二、冷精锻技术	64

第六章	多点成形技术	70
一、	概论	70
二、	现状与问题	71
三、	发展方向及技术路线	75
第七章	旋压成形技术	80
一、	概论	80
二、	现状与问题	82
三、	发展方向及技术路线	84
第八章	大锻件成形技术	86
一、	概论	86
二、	现状与问题	87
三、	发展方向及技术路线	97
第九章	锻压设备技术	101
一、	概论	101
二、	现状与问题	101
三、	发展方向及技术路线	108
第十章	冲压成形技术	113
一、	概论	113
二、	现状与问题	113
三、	发展方向及技术路线	115
第十一章	挤压成形技术	118
一、	概论	118
二、	现状与问题	119
三、	发展方向及技术路线	121
第十二章	锻压模具技术	126
一、	概论	126
二、	现状与问题	126
三、	发展方向及技术路线	133
附录一	塑性成形技术路线图	137
索 引		155
后 记		157

引 言

塑性成形是机械工程学科制造学科领域的一个重要分支。塑性成形是利用材料的塑性，一般通过模具施加作用力，使材料产生塑性变形，成形出所要求的具有一定尺寸与形状的零件毛坯或零件的成形制造方法。由于塑性成形不但能够制造出各种不同尺寸不同形状的工件，而且通过塑性变形使材料组织改善性能提高，即具有“成形与改性”的双重作用，因而成为一种重要零件毛坯或零件的成形制造方法。

随着我国经济的高速发展，GDP 总量持续扩大，金属塑性成形行业快速发展壮大，金属塑性成形技术也相应持续发展进步，锻压件总产量达到 4 千万吨以上，总产值达到 6000 亿元，无论技术与产业规模总体上都达到了国际制造大国的阶段，但还不是制造强国。

《塑性成形技术路线图》是面向 2030 年，基于社会经济发展对塑性成形技术的需求，以及可预见的先进制造技术在塑性成形技术中的应用，分析与判断我国塑性成形技术与装备的发展趋势，提出了未来影响塑性成形技术发展的关键要素和关键技术；选择了塑性成形领域重点领域，包括特种成形技术、内高压成形技术、特种轧制成形技术、精密锻造成形技术、多点成形技术、旋压成形技术、大锻件成形技术、锻压设备技术、冲压成形技术、挤压成形以及锻压模具技术等，从系统发展和迭代升级的角度剖析了面向未来发展的关键技术。《塑性成形技术路线图》在编制过程中遵循以下原则：①立足科学技术，以科学发展观为指导，需求拉动塑性成形技术发展为导向，符合塑性成形技术发展的大趋势；②站在行业高度，以发展的眼光前瞻未来，体现变革、跨越，把握塑性成形技术的发展方向；③结合我国国情，根据不同行业与产业的具体发展情况和塑性成形技术现状，自主思考，力图比较准确地提出一批未来发展的

关键性技术及可能达成的目标。

《中国制造 2025》的出台，为我国塑性成形技术的发展拓展了广阔的空间，同时也对塑性成形技术与装备的创新发展提出了更高要求。《塑性成形技术路线图》的最终目标是希望能够相对准确地指出塑性成形技术未来 15 年的发展趋势，引导企业技术创新开发方向，为行业制定发展规划和政府决策提供依据，为人才培养提供指导。

在《塑性成形技术路线图》的编制过程中，有近 30 位来自本领域的专家、学者和企业家积极参与，并广泛征求了各方面专家的意见和建议，使其更具影响力和指导性。

第一章 塑性成形技术的战略需求

塑性成形是利用材料的塑性,通过模具施加作用力,使材料产生塑性变形,成形出所要求的具有一定尺寸、形状的零件毛坯或零件的制造方法。通过塑性成形不但能够制造出各种不同尺寸、不同形状的工件,而且可使材料组织改善、性能提高,是等材成形不可或缺的成形制造方法。

一、塑性成形技术在国民经济中的作用

塑性成形技术作为现代制造业中金属加工方法的重要手段之一,在国民经济的发展中有着举足轻重的作用。塑性加工的产品在交通运输、航空航天、电子通信、医疗器械、化工业、建筑业、能源工业、军工业以及人民日常生活用品中都有着大量的应用,体现了一个国家的基础制造和先进制造的能力及水平。发展塑性加工技术对增强我国制造业的核心竞争力,保障我国交通、能源、国防安全的发展,促进国民经济的快速发展具有十分重要的作用。对其核心价值的归纳主要体现在以下几点:

(1) 可有效推动先进制造技术的发展。鉴于在 20 世纪 90 年代初,美国将传统制造业视为“夕阳工业”给国民经济带来的负面效应,而重新认识制造业的重要性,并将其视为当代科技发展中最为活跃的领域和国际科技竞争的主战场。我国的“九五”科技发展规划中也制定了先进制造技术的发展战略与策略,认为有必要推动制造技术的快速发展,为高新技术开发及产业化提供支持支撑。其中塑性加工制造技术的发展正在朝着精密化、高效化、强韧化、柔性化、清洁化、自动化、集成化等技术方向前进。

(2) 可增强社会竞争力。许多国家社会经济发展的历史证明,在国际竞争中,各国竞争力的增长或衰退,其原因与是否重视包括材料成形技术在内的加工制造技术有很大关系。一个国家或地区的实力及其发展,最终取决于其加工制造业提供的产品和劳务的竞争力,没有发达的制造业,就不会有国家和地区的繁荣和强大。根据美国国家生产力委员会调查,在企业生产力的构成中,制造技术的作用占 62%。金属材料