

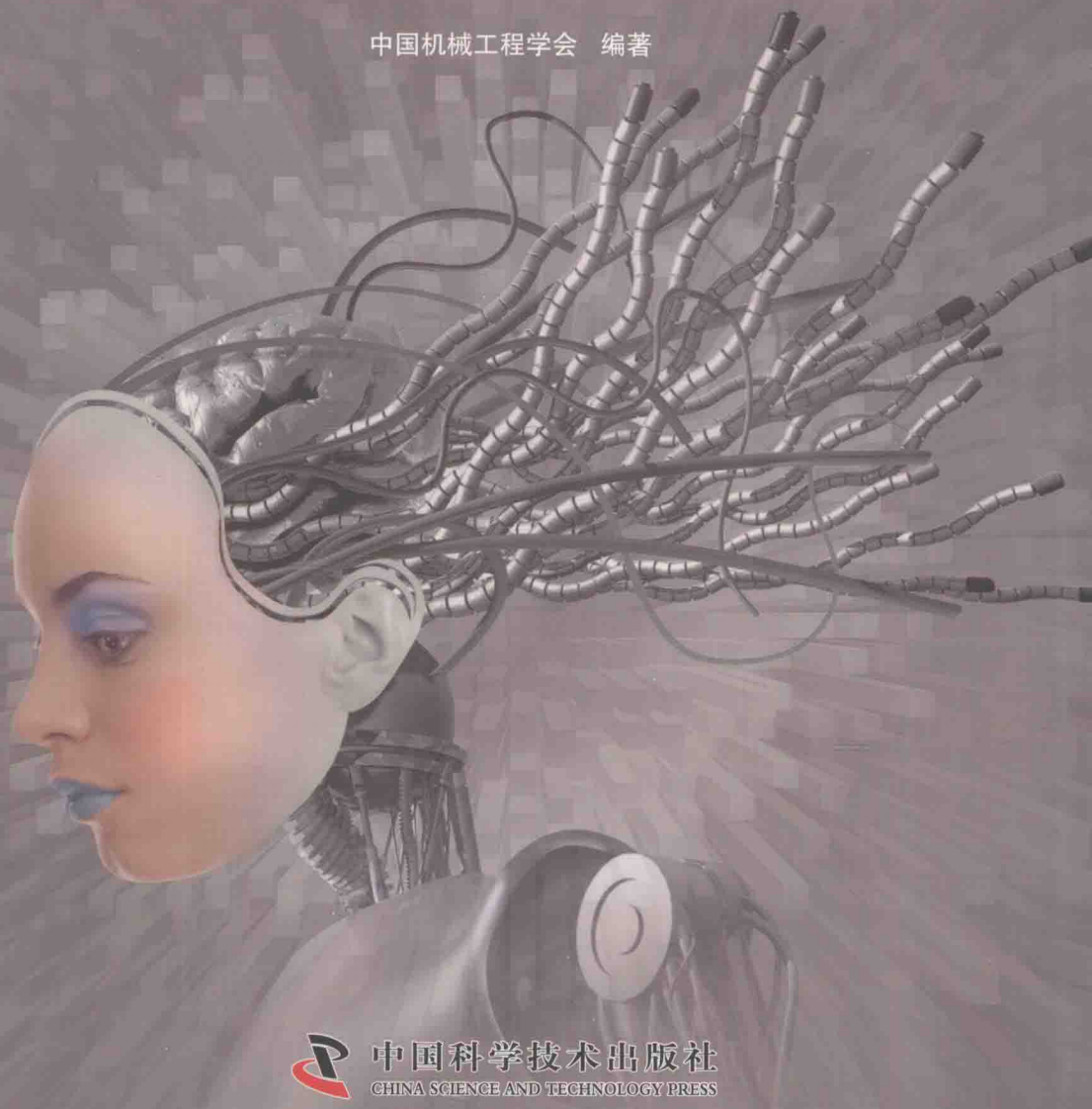
中国科协高端科技创新智库丛书

2049年

中国科技与社会愿景

制造技术与未来工厂

中国机械工程学会 编著



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

中国科协高端科技创新智库丛书

2019年

中国科技与社会愿景

制造技术与未来工厂

中国机械工程学会 编著

中国科学技术出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

制造技术与未来工厂 / 中国机械工程学会编著. —北京: 中国科学技术出版社, 2016.1

(2049年中国科技与社会愿景)

ISBN 978-7-5046-6948-3

I. ①制… II. ①中… III. ①机械制造工艺—研究 IV. ①TH16

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第137390号

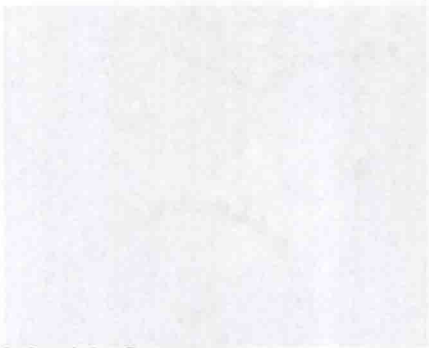
策划编辑 王晓义
责任编辑 王晓义
责任校对 何士如
责任印制 张建农
封面设计 周新河
版式设计 北京潘通印艺文化传媒·ARTSUN

出 版 中国科学技术出版社
发 行 科学普及出版社发行部
地 址 北京市海淀区中关村南大街16号
邮 编 100081
发行电话 010-62103130
传 真 010-62179148
投稿电话 010-62176522
网 址 <http://www.cspbooks.com.cn>

开 本 720mm×1000mm 1/16
字 数 270千字
印 张 17.25
印 数 1—3000册
版 次 2016年第1版
印 次 2016年1月第1次印刷
印 刷 北京盛通印刷股份有限公司

书 号 ISBN 978-7-5046-6948-3/TH·62
定 价 98.00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)



2016 年中国科技与社会愿景

丛书策划组

策 划 罗 晖 苏小军 陈 光

执 行 周大亚 朱忠军 孙新平 齐志红 马晓琨

薛 静 徐 琳 张海波 侯米兰 马骁骁



2016年中国科技与社会愿景

制造技术与未来工厂

主 编 张彦敏

执行主编 田利芳

编 委 (按姓氏笔画排序)

王从军 王华明 王晓浩 尤 政 叶 猛

田小永 田利芳 史玉升 孙立宁 孙容磊

杜洪敏 李涤尘 李敏贤 杨永强 杨青海

连 芩 张小明 张小栋 张 旻 张 婷

陈超志 苑伟政 林 峰 屈贤明 贺健康

顾新建 郭 超 黄运保 黄博豪 雷源忠

蔡 军

总序

科技改变生活，科技创造未来，科技进步的根本特征就在于不断打破经济社会发展的既有均衡，给生产开拓无尽的空间，给生活带来无限便捷，并在这个基础上创造新的均衡。当今世界，新一轮科技革命和产业革命正在兴起，从后工业时代到智能时代的转变已经成为浩浩荡荡的世界潮流，以现代科技发展为基础的重大科学发现、技术发明及其广泛应用，推动着世界范围内生产力、生产方式、生活方式和经济社会发生前所未有的变化，科学技术越来越深刻地给这个急剧变革的时代打上自己的烙印。作为世界最大的发展中国家和世界第二大经济体，中国受科技革命的影响似乎更深刻、更广泛一些，科技创新的步伐越来越快，新技术的广泛应用不断创造新的奇迹，智能制造、互联网+、新材料、3D打印、大数据、云计算、物联网等新的科技产业形态令人目不暇接，让生产更有效率，让人们的生活更加便捷。

按照邓小平同志确定的我国经济社会发展三步走的战略目标，2049年新中国成立100周年时我国将进入世界中等发达国家行列，建成社会主义现代化强国。这将是全面建成小康社会之后在民族复兴之路上攀上的又一个新的高峰，也是习近平总书记提出的实现中华民族伟大复兴中国

梦的关键节点。为了实现这一宏伟目标，党中央始终坚持科学技术是第一生产力的科学论断，把科技创新作为国家发展的根本动力，全面实施创新驱动发展战略。特别是在刚刚闭幕的十八届五中全会上，以习近平同志为总书记的党中央提出了创新、协调、绿色、开放、共享五大发展理念，强调创新是引领发展的第一动力，人才是支撑发展的第一资源，要把创新摆在国家发展全局的核心位置，以此引领中国跨越“中等收入陷阱”，进入发展新境界。那么，科学技术将如何支撑和引领未来经济社会发展的方向？又会以何种方式改变中国人的生产生活图景？我们未来的生产生活将会呈现出怎样的面貌？为回答这样一些问题，中国科协调研宣传部于2011年启动“2049年的中国：科技与社会愿景展望”系列研究，旨在充分发挥学会组织优势、人才优势和专业优势，依靠专家智慧，科学、严谨地描绘出科技创新未来的生产生活全景，展望科技给未来生产生活带来的巨大变化，展现科技给未来中国带来的发展前景。

“2049年的中国：科技与社会愿景展望”项目是由中国科协学会服务中心负责组织实施的，得到全国学会的积极响应，中国机械工程学会、中国可再生能源学会、中国人工智能学会、中国药学会、中国城市科学研究会、中国可持续发展研究会率先参与，动员260余名专家，多次集中讨论，对报告反复修改，经过将近3年的艰苦努力，终于完成了《制造技术与未来工厂》《生物技术与未来农业》《可再生能源与低碳社会》《生物医药与人类健康》《城市科学与未来城市》5部报告。这5部报告科学描绘了绿色制造、现

代农业、新能源、生物医药、智慧城市以及智慧生活等领域科学技术发展的最新趋势，深刻分析了这些领域最具代表性、可能给人类生产生活带来根本性变化的重大科学技术突破，展望了这样一些科技新突破可能给人类经济社会生活带来的重大影响，并在此基础上提出了推动相关技术发展的政策建议。尽管这样一些预见未必准确，所描绘的图景也未必能够全部实现，我们还是希望通过专家们的理智分析和美好展望鼓励科技界不断奋发前行，为政府提供决策参考，引导培育理性中道的社会心态，让公众了解科技进展、理解科技活动、支持科技发展。

研究与预测未来科学技术的发展及其对人类生活的影响是一项兼具挑战性与争议性的工作，难度很大。在这个过程中，专家们既要从总体上前瞻本领域科技未来发展的基本脉络、主要特点和展示形式，又要对未来社会中科技应用的各种情景做出深入解读与对策分析，并尽可能运用情景分析法把科技发展可能带给人们的美好生活具象地显示出来，其复杂与艰难程度可想而知。尽管如此，站在过去与未来的历史交汇点，我们还是有责任对未来的科技发展及其社会经济影响做出前瞻性思考，并以此为基础科学回答经济建设和科技发展提出的新问题、新挑战。基于这种考虑，“2049年的中国：科技与社会愿景展望”项目还将继续做下去，还将不断拓展预见研究的学科领域，陆续推出新的研究成果，以此进一步凝聚社会各界对科技、对未来生活的美好共识，促进社会对科技活动的理解和支持，把创新驱动发展战略更加深入地贯彻落实下去。

最后，衷心感谢各相关全国学会对这项工作的高度重视和热烈响应，感谢参与课题的各位专家认真负责而又倾心的投入，感谢各有关方面工作人员的协同努力。由于这样那样的原因，这项工作不可避免地会存在诸多不足和瑕疵，真诚欢迎读者批评指正。

中国科协书记处书记 王春法

前言

2049年，恰逢中华人民共和国成立100周年。

届时，中国已经基本实现现代化，建成富强民主文明和谐的社会主义现代化国家，以豪迈的姿态跨入世界发达国家行列。新科技革命带来的重大发现、发明及其广泛的应用，将推动世界范围的生产力、生产方式、生活方式和经济社会发生前所未有的巨变。

制造技术与人类社会的发展相伴而行。制造技术的重大突破和应用往往会为人类带来生产工具的变革、生产能力的提高，更限度地激发人类创造力。同时，制造技术的进展也会诱发生产技术的革命和社会形态的变革。制造技术不仅是人类物质文明的支柱、精神文明的基础，也是国家竞争能力的基础。在人类已跨入信息时代的新世纪，在迎接以知识为基础的经济全球化挑战的今天，展望制造技术的发展具有特殊的意义。

未来，经济的全球化、贸易的自由化以及以知识为基础，以创新为动力的新经济现象将出现。届时，我国制造技术将有什么样的发展，未来工厂将呈现出什么新特点，制造技术与未来工厂又将对人们的生产生活带来什么样的影响，都需要研究。

2011年12月底，中国科协启动了“科技与社会——2049愿景”系列研究项目。“制造技术与未来工厂——2049愿景”是其子课题。该课题科学、大胆地展望与描绘2049年中国制造技术与未来工厂的美好图景，深入分析制

造技术引领和改变生产生活的基本路径，重点揭示制造技术发展在21世纪上半叶对经济社会发展的重大影响，展现科学技术的强大动力，既能激发公众对科技创新的兴趣，也可为我国政府、行业和企业制定发展战略提供依据和参考。

本书共分五章。第一章论述了制造技术与人类社会的关系；第二章展望面向2049年的制造技术，提出未来制造技术的发展趋势为“绿色、智能、超常、融合、服务”，未来制造技术的核心是数字化网络化智能化；第三章论述影响未来人类生产生活的四大技术，即智能制造、增材制造、生物制造、微纳制造，并分析技术发展而催生的典型产品、系统、服务，及其对人类生产生活的影响；第四章阐述了人们对未来工厂的设想及未来工厂的特征，提出未来工厂是如何进行创新，如何实现大批量定制，如何实现环境友好的同时，凝练出未来工厂的13种形态；第五章提出实现美好愿景的策略。

技术创新层出不穷，世界的变化日新月异，预测未来是十分困难的。本书对未来制造技术和工厂的预测，有些可能只是美好的愿景，有些也可能完全出人预料。但无论如何，我们都会怀着对未来的美好憧憬与期望，努力用智慧和勤劳创造美好的明天！

目 录

总 序

前 言

第一章	制造技术与人类社会	1
第一节	制造技术推动人类社会进步	5
第二节	今天的制造技术	10
	一、基础制造工艺与技术	10
	二、先进制造技术	16
第二章	面向2049年的制造技术	19
第一节	需求与环境	21
	一、新工业革命的到来	21
	二、更高更新更个性化的需求	24
	三、各国制造技术发展预测	26
第二节	未来制造技术发展趋势	36
第三节	未来制造技术的核心是 数字化、网络化、智能化	44
第三章	影响未来人类生产 生活的四大技术	51
第一节	概述	53
第二节	智能制造	58
	一、智能制造及其关键技术	59
	二、智能产品与系统	66
	三、智能制造对人类生产生活的影响	76
	四、智能制造技术树状图	84
第三节	增材制造	85
	一、增材制造及其设备	86
	二、增材制造对人类生产生活的影响	91
	三、增材制造技术树状图	110



第四节 生物制造	111
一、生物制造技术及其关键技术	112
二、未来生命健康产品、装备与服务	128
三、未来生命健康产品形态	141
四、生物制造技术树状图	150
第五节 微纳制造	151
一、微纳制造及其关键技术	154
二、微纳制造技术的典型应用	161
三、微纳制造技术对人类生产生活的影响	172
四、微纳制造技术树状图	178

第四章 未来工厂 **179**

第一节 工厂的变迁和发展方向	180
第二节 人们对工厂的设想	187
一、人们对现在工厂的种种设想	187
二、孩子们眼中的未来工厂	195
三、人们对未来工厂的各种比喻	197
第三节 面向2049年的未来工厂	201
一、未来工厂发展的驱动力	201
二、未来工厂所需要的社会形态	204
三、未来工厂的特征	207
第四节 未来工厂情景展现	210
一、未来工厂是如何进行创新的	213
二、未来工厂是如何实现大批量定制的	218
三、未来工厂是如何实现环境友好的	223
四、医院未来也是工厂	238

第五章 实现美好愿景的策略 **253**

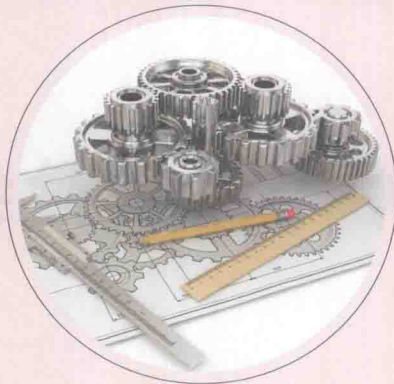
一、开展战略研究	255
二、制定相关政策	256
三、提高创新能力	257
四、重视人才培养	259
五、扩大开放合作	260
六、规范科技行为	262

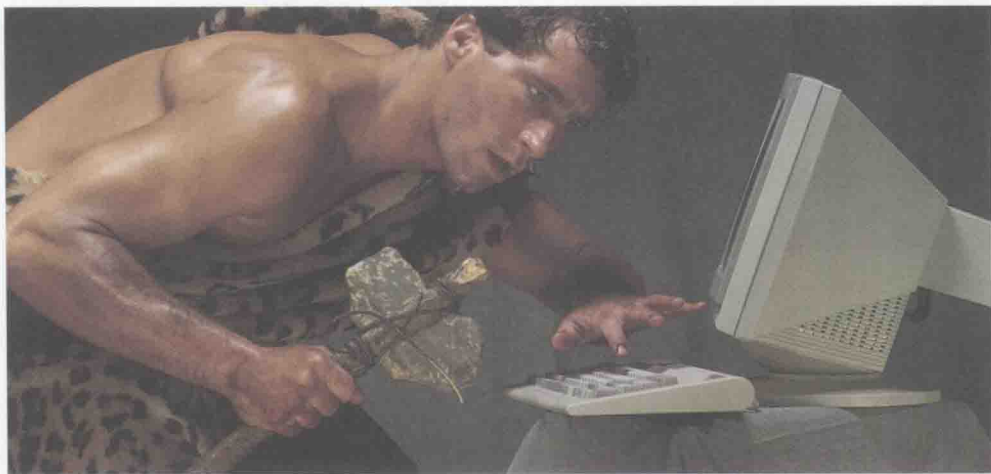
主要参考文献 **263**



第一章

制造技术与人类社会





制造,是指把原材料加工成产品。

杨叔子先生在《智能制造之现代四辩》一文中提到,制造包括了产品的全生命周期。从原始人制造石器的个人全手工劳动,到今天的跨国公司制造高端设备的现代化制造,制造的形式发生了很大的变化,但其本质并未改变,都体现了产品的全生命周期,只是个人全手工劳动制造进步为现代化制造,内涵更丰富、更系统、更深刻。

所谓产品的全生命周期应包含有生产前阶段(或称制造前端)、生产中阶段(或称制造中端)、生产后阶段(或称制造后端)。原始人制造石器(图1-1),前端就是找到合适的石料,思考要加工出什么样的石器;中端就是用手,通过工具,打磨石料,不断打磨,不断修改;后端就是石器制成,付诸使用。





同样，现代化制造前端包括构思、调研、咨询、决策、设计以及相关环节；中端包括加工、装备、检验、包装以及相关环节；后端包括营销、运输、服务、咨询乃至回收以及相关环节。显然，制造的前端、中端、后端都很重要，不仅缺一不可，而且无一跛脚，一定要彼此协调，相互呼应。

制造技术，是为国民经济建设、国防建设、人民生活以及认识和改造自然而生产各种必需物质（包括生产资料和消费品）所使用的一切生产技术的总称，是将原材料和其他生产要素经济合理地转化为可直接使用的具有较高附加价值的成品/半成品和技术服务的技术群。制造技术同样也包含了从产品创意构思、产品开发、工艺设计、生产准备、加工制造、产品检验、售后服务到回收再制造等产品的全生命周期过程。

恩格斯在《自然辩证法》中精辟地指出：“直立与劳动创造了人类，而劳动是从制造工具开始的。”从原料到产品，要靠制造，制造要用相应的工具。人类创造了制造技术和工具，制造技术、工具又推动了人类社会的发展，人类社会的发展过程就是一个持续不断的制造过程。

制造技术的不断进步推动着人类社会的发展，人类社会与制造技术同生同长，相伴前行。在原始社会，人类制造了石器；到了奴隶社会和封建社会，出现了陶器、铜器和铁器；到了资本主义社会，蒸汽机制造技术的问世带来了工业革命和大工业生产，使人类的物质生活和文明有了很大的提高，人类进入工业化时代；内燃机制造技术的出现和发展产生了现代汽车、火车和轮船；喷气涡轮增压发动机制造技术促进了现代喷气客机和超音速飞机的发展；集成电路制造技术的进步左右了现代计算机的水平；纳米技术的出现开创了微型机械的先河；信息技术，尤其是网络技术的发展使全球出现了以“绿色、数字、网络、智能”为特征的新一轮技术创新和新兴产业发展。未来，全球制造业将由需求变化及材料、工艺、信息技术和运营方面的创新来驱动，制造商将有机会设计并制造新型产品，然后为制造业重新注入活力。与此同时，基于大数据背景下的制造将更趋向“全球化”，全球化制造有可能创造出基于新技术和新方法的快速创新时代。