CMES 中国机械工程学会

MT 机械工程导报

Mechanical Engineering Trends

http://www.cmes.org

2018 年第 5 期 总第 198 期

国家的较量 p01

智能制造根源：“四难一希望” p09

2040 年的增材制造：强大的使能技术与破坏性威胁 p19

中国科协智能制造学会联合体发布“2018 智能制造十大科技进展” p33

2018 智能制造十大科技进展 p35

“2018 智能制造十大科技进展”入选企业高端对话 p45

中国机械行业卓越工程师教育联盟 2018 年理事大会在天津举行 p49

目 录

CONTENTS

机械工程导报

MECHANICAL ENGINEERING TRENDS

1998 年创刊
2018 年第 5 期（总第 198 期）
2018 年 10 月 28 日出版

专家视点 EXPERT OPINION

国家的较量 1

智能制造根源：“四难一希望” 9

热点关注 CURRENT POINT

2040 年的增材制造：强大的使能技术与破坏性威胁 19

学会资讯 CMES INFORMATION

中国科协智能制造学会联合体发布“2018 智能制造十大科技进展” 33

2018 智能制造十大科技进展 35

“2018 智能制造十大科技进展”入选企业高端对话 45

中国机械行业卓越工程师教育联盟 2018 年理事大会在天津举行 49

主办：中国机械工程学会工作总部
地址：北京市海淀区首体南路9号
主语国际4号楼11层
邮编：100048
电话：010-68799036（编辑部）
传真：010-68799050
E-mail：zhongyg@cmes.org
网址：www.cmes.org
主编：陈超志
责任编辑：钟永刚
出版：《机械工程导报》编辑部
发行：中国机械工程学会工作总部

国家的较量*

世界经济论坛发布
——《2018年“制造业的未来”准备状况报告》评估100个国家和经济体对制造业未来的准备程度

《中国经济周刊》记者 张璐晶

9月18日至20日，世界经济论坛第12届新领军者年会在中国天津召开，本届年会是迄今为止规模最大的以第四次工业革命为主题的世界经济论坛峰会。

本届年会的主题是“在第四次工业革命中打造创新型社会”，首要议题是探讨由人工智能、物联网和基因编辑等新兴技术驱动的第四次工业革命对经济、社会以及地缘政治格局的影响。

随着第四次工业革命的兴起，公共和私营部门的决策者们在制造业领域面临着一系列新的不确定因素。物联网、人工智能、可穿戴设备、机器人技术和增材制造等迅速涌现的技术正在推动新生产技术和商业模式的发展，而这些技术和商业模式将从根本上改变全球制造业。

世界经济论坛创始人兼执行主席克劳斯·施瓦布教授指出：“目前，世界正经历着人类历史上影响最为深远的变革，这一变革对我们的生活、工作乃至整个世界都有着深刻的影响。这场变革才刚刚开始，但我们深知，它不仅蕴含着无限可能，也会催生巨大挑战。”

面对新的无限可能，各国准备好了吗？近期，世界经济论坛与科尔尼管理咨询公司共同推出了《2018年“制造业的未来”准备状况报告》以帮助各国了解其目前对塑造制造业的未来的准备程度及相应机遇和挑战。作为世界经济论坛的媒体合作伙伴，《中国经济周刊》现摘录报告的部分精彩内容以飨读者。

如何评估一个国家制造业准备状况？

59个指标、4种典型国家分类

新兴技术正在推动新生产技术和商业模式的发展，这些技术和商业模式将从根本上颠覆制造业。在这种情况下试图通过低成本制造业出口模式实现经济增长与发展的策略在近期技术变革的

*注：本文转载自《中国经济周刊》2018年第37期

冲击下显得岌岌可危。

《2018 年“制造业的未来”准备状况报告》（以下简称《准备报告》）以数据为基础分析了各国在多大程度上做好了准备，以及有多大的能力可以重塑制造业并从其持续变化的特性中得益。具体来说，国家对于塑造制造业的未来的准备程度体现了该国把握未来制造业机遇、降低风险、应对挑战的能力。

《准备报告》由两部分组成：制造业结构（即该国当前的制造业基准）和制造业驱动力（即利用第四次工业革命推动制造业体系转型的关键因素）（表 1）。《准备报告》对 100 个国家和经济体进行了评估。该评估测试由 59 个指标组成，基本涵盖制造业驱动因素及要素结构。

表 1 准备状况诊断模型框架

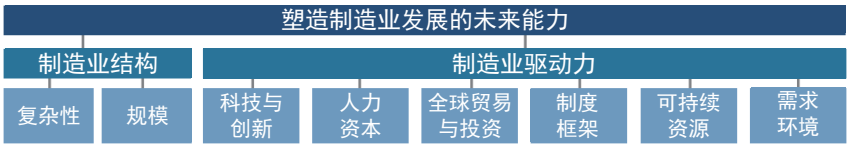
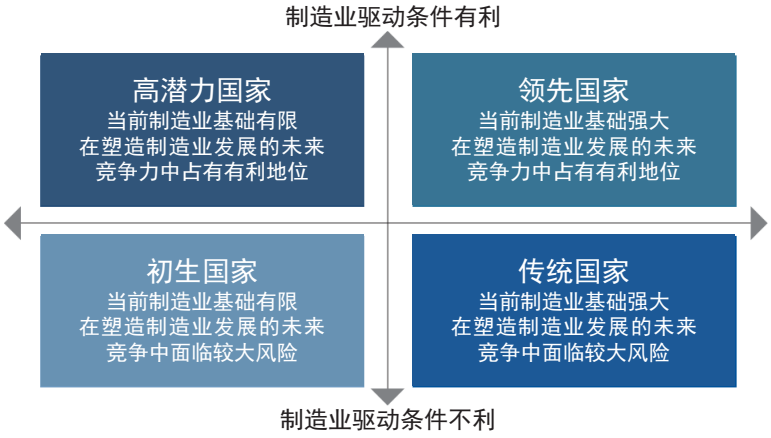


表 2 准备状况评估工作加权方案

制造业驱动因素	权重
科技与创新	20%
人力资本	20%
全球贸易与投资	20%
制度框架	20%
需求环境	15%
可持续资源	5%

制造业结构	权重
复杂性	60%
规模	40%

表 3 四种典型国家



资料来源：世界经济论坛《2018“制造业的未来”准备状况报告》
制表：《中国经济周刊》采制中心

《准备报告》根据驱动因素对于经济复杂性的重要性，给予了不同权重（表 2）。

鉴于每个国家都有独特的制造业及经济发展目标和战略，《准备报告》没有制定各国全球排名，而是根据各国制造业结构与驱动因素加权得分将所有国家分成 4 种典型：

领先国家：目前拥有强大制造业基础，在制造业驱动因素方面表现强劲，对制造业的未来准备程度高。同时，领先国家面临未来冲击风险的经济价值最大。

传统国家：目前拥有强大制造业基础，但在制造业驱动因素方面表现不佳，存在未来发展风险。

高潜力国家：目前制造业基础有限，在制造业驱动因素方面得分较高，表明其存在制造业发展潜力，但取决于国民经济优先发展次序。

初生国家：目前制造业基础有限，但在制造业驱动因素方面表现不佳，对制造业的未来准备程度比较低。

未来全球制造业发展差距将进一步扩大

25 个领先国家占据全球制造业增加值 3/4 以上

2018 年“制造业的未来”准备状况的评估结果

制造业结构			制造业驱动因素	
国家	评分	排名	评分	排名
领先国家				
奥地利	7.46	9	6.79	18
比利时	6.51	24	6.80	17
加拿大	5.81	33	7.54	7
中国	8.25	5	6.14	25
捷克共和国	7.94	6	6.01	26
丹麦	6.29	27	7.20	10
爱沙尼亚	5.75	34	6.00	27
芬兰	7.00	14	7.16	11
法国	6.87	18	6.89	14
德国	8.68	3	7.56	6
爱尔兰	7.34	10	6.85	15
以色列	6.43	25	6.24	23
意大利	6.99	15	5.90	30
日本	8.99	1	6.82	19
韩国	8.85	2	6.51	21
马来西亚	6.81	20	6.51	22
荷兰	6.32	26	7.75	5
波兰	6.83	19	5.83	31
新加坡	7.28	11	7.96	2
斯洛文尼亚	6.80	21	5.71	32
西班牙	6.05	29	6.23	24
瑞典	7.46	8	7.40	9
瑞士	8.39	4	7.92	3
英国	7.05	13	7.84	4
美国	7.78	7	8.16	1
传统国家				
匈牙利	6.96	17	5.30	42
印度	5.99	30	5.24	44
立陶宛	5.92	31	5.42	37
墨西哥	6.74	22	5.04	46
菲律宾	6.12	28	4.51	66
罗马尼亚	6.61	23	4.93	52
俄罗斯	5.71	35	5.30	43
斯洛伐克	6.98	19	5.33	40
泰国	7.13	12	5.45	35
土耳其	5.87	32	4.90	57
高潜力国家				
澳大利亚	4.26	61	7.14	12
新西兰	4.79	53	6.73	20
挪威	5.65	36	7.07	13
葡萄牙	5.36	39	5.99	28
卡塔尔	3.89	72	5.96	29
阿拉伯联合酋长国	4.53	57	6.76	19
初生国家				
阿尔巴尼亚	2.73	91	4.07	78
阿尔及利亚	2.83	90	3.70	87
阿根廷	4.91	50	4.25	75
阿美尼亚	4.10	65	4.43	70
阿塞拜疆	2.16	95	4.69	62
巴林	4.78	54	5.31	41

资料来源：世界经济论坛《2018“制造业的未来”准备状况报告》
制表：《中国经济周刊》采制中心

《准备报告》从制造业驱动因素与组成结构两个维度，以 0（最低分）至 10 分（最高分）制评估了 100 个国家与经济体的制造业的未来准备状况。

从全球结果概述看，在受评估的 100 个国家和经济体中，有 25 个领先国家、10 个传统国家、7 个高潜力国家 / 经济体和 58 个初生国家。评估结果显示，所有国家在塑造制造业的未来范式的准备与塑造方面均大有可为。比方说，无论是在制造业驱动因素还是组成结构方面，没有哪个领先国家达到了满分标准。

此外，这项评估强调了各国之间差距扩大的可能性，凸显了靠制造业单打独斗实现包容性增长将会遇到的种种阻碍。在比较不同地理区域和经济收入群体准备程度时，这一点表现得尤为明显。

对塑造制造业的未来准备程度最高的国家集中在欧洲、北美和东亚。20 个领先国家位于欧洲和北美洲，5 个在东亚。除了中国和马来西亚以外，所有领先国家都是高收入国家。这是因为相较于低收入国家而言，高收入国家的劳动力属于相对重要的一项生产成本，高收入国家更有可能

利用新兴技术获得更大的生产力收益。总体而言，25 个领先国家已占全球制造业增加值的四分之三以上，并有望在未来继续保持出色表现。而这可能会导致全球制造业发展差距进一步拉大。

17 个国家的制造业转型解剖

对于不同国家来说，每个国家的制造业结构和推动其本国制造业发展的驱动因素都有着自身的特点。《准备报告》选取了其中的 17 个国家进行了具体的分析。

中国

在 2010 年超越美国之后，中国成长为全球头号制造业大国。中国 2010 年的制造业增加值总额接近 3 万亿美元，约占全球制造业增加值的四分之一。尽管中国拥有庞大的制造业基础规模，但在制造业复杂性方面仍有改善空间。中国经济的复杂性在全球排名第 26 位。

在过去的 20 年里，中国已经踏上了低成本产品到高端产品的升级之路。然而，由于中国的体量问题，其制造业不同部门的现代化水平差别显著，部分优秀制造商与低端制造商之间的差异更是惊人，因而拉低了整个国家准备程度。

就制造业驱动因素而言，中国在需求环境与全球贸易和投资驱动方面表现尤为突出。中国在技术创新与人力资本方面排名前三，但仍有必要继续提升劳动力能力，培养未来行业所需技能，还需要提高企业内部的创新水平。

体制框架和可持续资源是中国面临的最大挑战。身为世界上最大的碳排放国，中国已经承诺在未来继续节能减排，坚持走可持续发展之路。而新兴技术的应用有助于该目标的加速实现。

法国

法国制造业在全球排名第八位，2016 年制造业增加值总额超过 2800 亿美元。

和其他发达国家一样，法国制造业对于国内生产总值的贡献有所减少，与 1970 年相比减少一半，目前约占国内生产总值的 10%。法国在所有制造业驱动因素方面表现良好，每一个驱动因素的国家排名都位于前四分之一，在全球贸易和投资、需求环境和可持续资源方面表现尤为出色。

法国面临的主要挑战是：如何通过准备工作和既有能力实现制造业结构的强化。2015 年法国推出了“工业新面貌（The New Face of Industry）”计划，跟随欧洲其他国家的脚步启动了加速工业复兴的新战略。

德国

德国拥有全球第四大制造业，2016 年的制造业增加值总额达到 7750 亿美元，经济复杂程度在全球排名第三。德国拥有全球闻名的优质制造业传统，超过一半的制造业产出出口海外。德国在综合制造业驱动因素中排名第一，在技术和创新、人力资本、全球贸易和投资以及需求环境驱动因素方面排名前十。德国教育成果突出，技术培训项目领先，劳动力素质高，创新能力强。

随着 2011 年“工业 4.0”计划的推出，德国致力于实现产品、价值链与商业模式的数字化与互联互通，大力推动数字化制造业的发展，成为该领域的先行国家之一。全球公认德国是第四次工业革命的先驱之一，在制定全球工业新标准和规范方面发挥着主导作用。

日本

目前，日本拥有世界上第三大制造业，2016 年的制造业增加值总额超过 1 万亿美元，占全球制造业增加值近 9%。中国、美国和日本三国的总额占全球制造业增加值近一半。

自 1984 年以来，日本一直是世界上最复杂的经济体。在制造业驱动因素方面，日本在需求环境方面表现特别突出，拥有成熟的消费基础、强劲的企业活动和巨大的市场规模。日本在技术创新和制度框架方面排名居前 20 位。在 2016 年，日本政府推出了“社会 5.0”战略，旨在通过新兴技术推动制造业转型，乃至实现整个社会的变革。

此外，日本政府还在 2017 年提出了“联结的产业社会（Connected Industries）”计划，支持日本制造业等产业通过资源、人员、技术、组织和其他社会元素的联结，创造新价值。

日本所面临的挑战主要与人力资本有关，包括人口老龄化、人口萎缩以及移民数量低于同类可比国家的问题。另外，日本在可持续资源驱动因素方面也存在着改进空间。

韩国

在过去的几十年里，韩国经历了显著的经济增长，从上世纪 60 年代的落后农业社会发展成了如今的制造业强国。韩国目前拥有全球第六大制造业，2016 年制造业增加值总额超过 3800 亿美元，经济复杂性全球排名第四。除了在可持续资源表现欠佳以外，韩国在其他制造业驱动因素方面普遍表现良好。韩国在技术和创新方面尤为强大，在研发支出和每百万人专利申请量方面排名前五。出色的创新能力为韩国历史性崛起贡献了一臂之力，也将助力韩国引领下一代生产模式发展。为了加强对塑造制造业的未来的准备工作，韩国需要继续提升劳动力能力，特别是在培养批判性思维技能、数字化技能，倡导知识密集型就业方面。此外，打造健全、透明和可信的机构组织有助于为韩国塑造制造业的未来愿景提供指引，建立全球互联互通所需的信任关系。

新加坡

新加坡制造业对国内生产总值的贡献从 1960 年的 11% 左右增至 2000 年的 28% 左右，目前又回落至 20%。新加坡制造业在多年来取得了长足的进步，在研发和产品设计等高价值制造领域具有强大的竞争力。新加坡在经济复杂性方面排名前 20，在除了可持续资源之外的其他生产驱动因素方面表现良好。

新加坡是全球贸易和投资驱动因素领域的领导者，堪称世界上最开放、最友好的国家之一。强有力的制度框架帮助新加坡在许多领域取得成功，制造业也不会例外。新加坡政府始终以塑造制造业的未来发展为导向，并且在近期公布了新加坡智能工业成熟度指数（Singapore Smart Industry Readiness Index）。该工具旨在帮助制造业企业进一步挖掘第四次工业革命的全部潜能。另外，新加坡的碳排放量低于其他领先国家，但在基线水资源供应和替代性能源领域面临着一定挑战。

英国

英国是第一次工业革命的诞生地，制造业历史悠久，可以追溯到 18 世纪晚期。然而，近几十年来，制造业在英国经济中的比重一直在稳步减少，从 20 世纪 70 年代的 25% 降至如今不足 10%。尽管英国制造业

仍然拥有超过270万从业人口，但英国制造业设施、产能、实力和就业机会正随着制造业经济占比的下滑而萎缩。虽然英国制造业结构逊色于类似的领先国家，但在所有制造业驱动因素方面都表现良好。英国强大的技术平台和创新能力使其能够有效专注于航天和制药等高科技制造业。英国在整体教育成果方面表现稳健，技术培训仍有进一步提升空间。

虽然英国拥有强有力的制度框架，但从历史上看，政府对工业发展的干预较少。不过，在2017年底，英国政府启动了一项以公私合作模式为基础的新产业战略。

美国

美国拥有全球第二大制造业，2016年的制造业增加值规模接近2万亿美元，约占全球制造业增加值的16%，占美国国内生产总值的12%。美国是世界第八复杂经济体。然而，在过去20年里，美国本土产品竞争力下滑，作为制造目的地的吸引力遭受了严峻挑战。美国在塑造制造业的未来竞争中占据了有利地位，取得了制造业驱动因素最高加权评分，在除可持续资源和制度框架之外的其他驱动因素上得分排名居于前五位。

美国的创新能力也是全球闻名，在第四次工业革命新兴技术重大发展的前沿领域据有一席之地。此外，杰出的高等教育机构为美国培养、吸引和留住高级人力资源提供了有力支持。值得注意的是，美国目前正在努力重振制造业。2017年底的税制改革中，美国将企业税率从35%下调至21%，令企业将部分生产转移到美国的意愿有所增强。

然而，与移民和自由贸易协定相关的政策和监管不确定性仍然存在。作为世界上最大的碳排放国之一，美国有必要优先解决能源方面的效率和可持续问题。

印度

印度是世界第五大制造国，2016 年制造业增加值总额达到4200亿美元，经济复杂性排名第45位。在过去的30年里，印度制造业平均每年增长率超过7%，平均产值占国内生产总值的16%至20%。印度是世界第二大人口大国，也是全球增长最快的经济体之一，市场对印度工业品的需求正处于上升阶段。

除了需求环境排名前五之外，印度在其他制造业驱动因素方面还有不少改进空间。人力资本和可持续资源是印度面临的两大关键挑战。印度劳动力相对年轻，增长迅速，但劳动力素质有待进一步提升。印度应当注意采取升级教育课程、改进职业培训计划、增强劳动力数字化技能等措施。

此外，随着制造业不断扩张，印度还需要继续拓宽能源获取渠道，减少排放。2014年，印度政府启动了“印度制造”计划，主要目标是让印度成为全球制造业中心。印度政府目前正在大力推进关键因素的改善工作，积极朝着互联互通经济目标前进，最近还公布了一项2017年590亿美元基础设施投资计划。

墨西哥

墨西哥拥有世界第12大制造业，在经济复杂性方面排名第24。墨西哥制造业不同部门、地区和公司规模之间的实力差异悬殊。墨西哥在数个制造业驱动因素方面的表现有待改进，尤其是在技术和创新、人力资本和制度框架领域。墨西哥需要打造一个更加强大的技术平台来推动互联

互通建设工作，还需要加强工业和研究活动以便为创新提供动力。

人力资本是墨西哥最紧迫的挑战之一，有必要调整教育课程，培养塑造制造业的未来所需技能，对当前劳动力也需要进行未来关键技能再培训。提高机构组织的透明度、效率，改善问责制度有助于墨西哥进一步加强准备工作。此外，为基础设施提供投资，为中小型企业融入全球价值链提供针对性帮助，制定多部门合作计划也应当成为墨西哥政府的优先事项。鉴于墨西哥是绿地投资（Greenfield Investment）的首选目的地，墨西哥应积极利用其全球关系网，推动知识和技术转让进程。

俄罗斯

俄罗斯拥有世界第 13 大制造业，但制造业在国民生产总值中所占的比重在过去 10 年中有所下降。这一现象对俄罗斯生产结构的规模和复杂性造成了阻碍。俄罗斯在各个制造业因素上的表现好坏参半。其中，人力资本和需求环境是俄罗斯最大的优势，俄罗斯拥有一批受过高等教育的劳动力，且其教育体系十分重视科学、技术、工程和数学学科。

不过，俄罗斯还应在此基础上注重进一步培养劳动力的软性技能和创造性技能。要将这些优势转化为长期利益，俄罗斯需要采取各种措施，通过更高层次的竞争不断增强国家创新能力；加强政府、工业和教育领域之间的合作；推动区域创新和研发中心的发展。

澳大利亚

与大多数高收入经济体相比，澳大利亚的生产结构有明显的不足，主要局限于服务业和开采业。服务业占澳大利亚国内生产总值的 70% 以上，澳大利亚还是自然资源、能源和食品主要出口国之一。

澳大利亚制造业占国内生产总值的比重不到 7%，对全球制造业增加值的贡献约为 0.8%。虽然澳大利亚经济复杂性在全球排名第 65 位，但在总共 31 个生产驱动因素上普遍表现良好，生产基础发展潜力较大。澳大利亚在技术和创新、人力资本、全球贸易和投资以及制度框架等因素评分上取得了排名前 15 位的良好成绩。拥抱数字化发展浪潮是澳大利亚的一大重要政策议程。

2017 年，澳大利亚总理提出本国的“工业 4.0”计划，并与德国的“平台工业 4.0”签署合作协议。根据特别工作组的建议，政府主导的“澳大利亚测试场（Testlabs for Australia）”倡议小组将在特定教育机构中建立 5 个新的工业 4.0 测试场。在 2018 年，澳大利亚将发布“数字经济战略（Digital Economy Strategy）”。这是一项前瞻性计划，旨在充分挖掘数字技术潜力，增强澳大利亚的生产力和竞争力。

阿拉伯联合酋长国

阿联酋目前制造业结构比较单一，但是政府已经开始着手在石油和天然气之外发展多元化经济，计划到 2025 年将制造业占国内生产总值的比例提高到 25%。阿联酋在除了可持续资源之外的其他制造业驱动因素上排名属于前四分位，在塑造制造业的未来发展中占据了有利地位。

在今后，阿联酋有必要将重点放在改善可持续发展实践上，并且继续投资于全体制造业驱动因素。鉴于阿联酋当前制造业从业人口相对较少，因此开发一系列合适的劳动力技能，充分利用制造业转型中的机遇对于阿联酋而言显得尤为重要。

印度尼西亚

印尼拥有世界第 11 大制造业，占国民生产总值的 20% 以上。矿产品和农产品在印度尼西亚出口中占较大份额，国家制造业结构复杂性相对较低。除了在需求环境方面取得前 20 排名之外，印尼在其他制造业驱动因素上大有改进空间。

印尼拥有 2.6 亿多人口，国内外工业制品市场巨大。然而，对印尼而言，人力资本既是优势也是挑战。随着制造业从劳动密集型转向知识密集型，印尼面临的最大挑战之一是：如何在现有劳动力的基础上开发合适的技能。为了进一步促进新兴技术在生产体系中的应用，印尼有必要优先采取针对性措施，通过增加研发支出、扩大互联网覆盖面、加强网络安全保护等手段增强本国创新能力。

印尼的外国直接投资水平相对较高，但落后的基础设施和贸易开放程度的不足可能会对制造业转型造成阻碍。此外，印尼有必要重视强有力的制度框架和有效治理因素建设。

巴西

巴西制造业全球排名第 9 位，约占国内生产总值的 10%，几乎不足二十世纪八十年代（超过 30%）的三分之一。巴西制造业结构复杂性相对较低，在制造业驱动因素方面表现好坏参半，可持续资源和需求环境是巴西排名最高的两个领域。

制度框架是巴西面临的主要挑战之一，监管效率和面向塑造制造业的未来的治理方式应当成为巴西政府的重点工作。巴西拥有全球第五大规模的人口，人力资源丰富，但劳动力在数字化技能、工程、批判性思维等对于塑造制造业的未来发展十分关键的领域上显得比较落后。2017 年，巴西通过了新的劳动法，力求打造更加灵活的制度体系，加强法治建设。

沙特阿拉伯

在过去的几十年里，沙特阿拉伯制造业占国内生产总值的比重从不到 5% 增加到 12% 左右（截至 2016 年）。作为世界上最大的石油出口国，沙特阿拉伯的经济结构高度集中化，石油和天然气占国内生产总值的 50% 以上。发展制造业和工业部门对于沙特阿拉伯实现经济多元化、摆脱对石油生产的高度依赖具有重要意义。

沙特在需求环境驱动因素方面表现强劲，但在其他制造业驱动力方面仍有改进空间。沙特阿拉伯应当把握战略机会，改善制造业表现，增强在塑造制造业的未来中的竞争力。目前，沙特阿拉伯执行了一些有利于改善经济关键因素的改革措施，作为“沙特愿景 2030”和“国家转型计划”的一部分予以执行。

南非

自 20 世纪 90 年代初以来，随着服务业的扩张，南非制造业占国内生产总值的比例已经下降到大约 12%。但南非仍拥有全非洲最强大的制造业结构。在制造业驱动要素方面，南非的表现好坏参半。一方面，创新能力是南非最大的优势之一， 因为该国拥有强大的创新文化，而且创业活动得到了成熟金融部门的支持。另一方面，人力资本仍然是南非塑造制造业的未来准备工作所面临的最紧迫挑战，原因在于南非缺乏工程师和科学家群体，数字化技能薄弱。此外改善制度框架有效应对变化冲突、提供稳定的政策环境，鼓励直接创新对南非也十分重要。MT

智能制造根源：“四难一希望”

北京兰光创新科技有限公司 朱铎先 走向智能研究院 赵敏

现在，越来越多的地方政府和制造企业将智能制造确定为重要的战略发展机遇，积极规划与实施智能制造工程，一些地区还开展了声势浩大的“机器换人”与工业互联网实施计划，智能制造正在神州大地如火如荼地推进着。

笔者认为，重视并积极推进智能制造战略，促进制造业的智能化转型升级，这是非常值得肯定的事情。但在这个过程中，很多企业对智能制造的认识并不清晰，不能够深刻地理解智能制造的背景、意义及路径，有些企业是为了智能制造而智能制造，还停留在购买高档机床、工业机器人以及 MES 软件这些硬软件工具上，过于表面化与工具化，盲目性很大，实质上就是一种跟风行为。这种做法除了透支企业有限的财力之外，并不能显著地提升企业竞争力，不能有效促进企业的转型升级，甚至是与智能制造战略的初衷背道而驰的。

古人云：善弈者谋势，不善弈者谋子。

在本轮智能制造热潮中，除了德国“工业 4.0”、美国的“先进制造业国家战略计划”、“中国制造 2025”、日本“机器人新战略”等大家耳熟能详的国家级战略以外，英国、法国、韩国、印度、俄罗斯等众多国家也推出了一系列战略，虽然名称、时间点、侧重点各不同，但智能制造是这些国家战略的共同核心，各国都期望借助于自动化、数字化、网络化、智能化手段，减少对人的依赖，实现各自国家向高质、高效、高端、绿色、高竞争力方向的发展。

值得我们思考的是，为什么全球这么多国家都不约而同地制订类似战略，为什么无论国内央企还是民企都对智能制造寄以厚望？热闹的背后蕴藏着什么规律性问题？智能制造真正的动力来自哪里？我们面临着哪些共同问题？解决思路与突破口又在哪里？这些都是我们在实施智能制造之前需要搞清楚的问题。

经过近五年的研究与思考，笔者认为，本次智能制造热潮并非简单地来自所谓的人工智能、机器人、MES 等具体的智能化使能技术，智能化转型升级是一种大势，而大势的根源可以归结为“四难一希望”。

一、全球制造业面临四个难题

1. 难以提升的经济增长

近些年来，世界经济陷入低迷，老牌工业国家一蹶不振，被寄以厚望的新兴工业国家发展速度也开始放缓，全球经济很难找到有效的快速发展途径，萎靡不振的经济给人们带来了很大的经济与心理压力。

图 1 是世界银行于 2013 年发布的 1960-2011 年世界发展指标，从中可以看到，无论是发达经济体还是全球经济，发展速度都趋向放缓。

被称为“金砖四国”的中国、印度、巴西、俄罗斯，曾是拉动与支撑世界经济增长的中流砥柱，为世界经济起到了巨大的支撑作用。但近些年来，“金砖四国”逐渐分化成了两个阵营，失去光芒的俄罗斯、巴西这对难兄难弟，GDP 增速已呈现负增长。作为世界人口第一、第二大国的中国与印度表现还算不错，但也逐渐下降到了 6% 左右的中速发展水平。如图 2 所示。

2008 年金融危机以来，中国经济也遇到了很大的下行压力，特别是制造业，一直苦苦挣扎在盈亏之间。尽管如此，中国的发展速度仍然远远领先于世界经济的平均发展速度，被很多国家所羡慕，由此，我们可想象到世界经济的低迷。

世界著名投资大师吉姆·罗杰斯在 2011 年曾说：“从美国、欧洲，还有亚洲的两个大国中国和印度的情况看，世界经济普遍存在问题。毫无疑问，世界经济已进入了全球低增长时期，目前正处于全球经济放缓的周期循环之中。”

在 2016 年中国世界经济学会年会上，500 位专家与学者经过交流研讨，对世界经济未来走势达成了共识：世界经济已经陷入了结构性、持续性的低迷，寻求世界经济增长的新动力至关重要。

近些年来，经济复苏乏力、增长动力不足、贸易投资低迷等问题，是众多工业国家必须面对的困难，也是“寻求世界经济增长的新动力”、推动全球智能制造浪潮的一个大背景。

2. 难以消化的全球产能

从全球视角来看，一方面，经济增长乏力，但另一方面，产能严重过剩。

说起产能过剩，大家可能马上想到钢铁、水泥等传统行业，特别是钢铁行业的产能已经成了一个典型。

图 3 是世界钢铁协会统计的中国在全球钢铁生产的占比情况，中国钢铁在 2000 年以后，产能如脱缰野马，一路狂奔，直线上升，即便是 2009 年金融危机后，产能也是在持续增长。在中国耀眼的光芒下，老牌工业国家英国的产能在一路走低，形成了鲜明的对比。

产能过剩的结果必然是价格的直线下降，这让钢铁企业叫苦

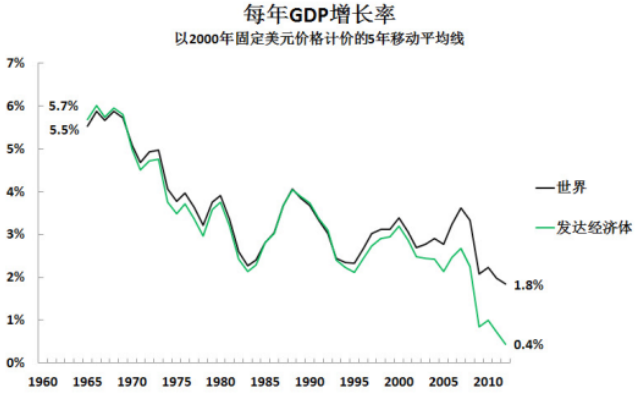


图 1 1960-2011 年世界发展指标（来源：世界银行）

图 2 金砖四国 GDP 增长率（来源：BMI 的研究数据）

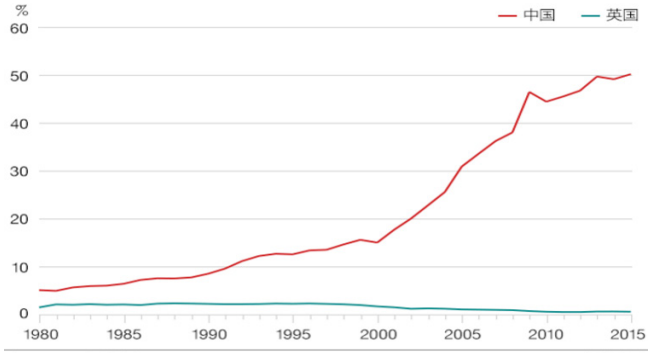


图 3 中国在全球钢铁生产占比 （来源：世界钢铁协会）

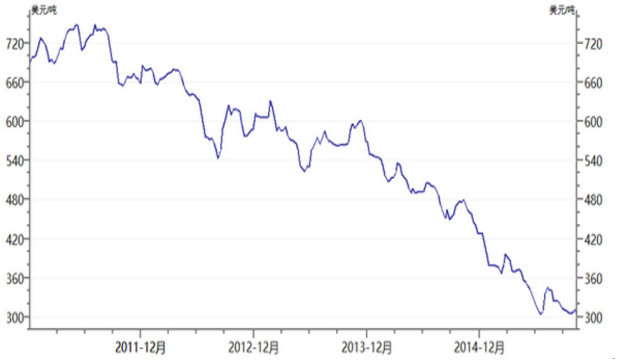


图 4 中国螺纹钢市场价格走势图 （来源：Wind 资讯）

不迭，整个行业进入了恶性竞争的低迷期。请见图 4。

也许有人会说，我知道钢铁的事情，那是个别行业。但笔者说，错，产能过剩是个普遍的问题，是绝大部分企业正在面临或即将面临的问题，请看法国第二大银行 Natixis 的统计。从图 5 中，我们可以看到，尽管生产有波动，但全球制造业产能几乎是在直线上升，特别是 2009 年金融危机之时，产生了产能与实际生产有史以来最大的落差，让全球感受了经济危机的残酷。自 2009 年以后，产能与实际生产的差距一直很大，这就意味着很多企业产品卖不出去，生产设备不能满负荷生产，市场竞争越来越激烈，制造业的利润越来越低，全球制造企业的生存与发展都面临着极大的压力。

实际上，多年以前，著名管理大师德鲁克就指出：“二十世纪人类的主要贡献是使手工工作者的劳动生产率提高了 50 倍。”杰里米·里夫金在《零边际成本社会》一书中以纺织工人的效率为例，认为与 50 年前相比，每名工人的产出增至以前的 120 倍。即便是按照德鲁克的 50 倍计算，再加上产业工人人数的增加，全球产能最少增加了 100 倍，绝大部分产业早已远远超过了人类自身需求的问题，将来供过于求是常态。

自进入 20 世纪以来，人类的生产能力指数型增加，图 6 中的图例也验证了德鲁克和里夫金的说法。

将来制造业中的绝大部分企业，将面临着产能过剩，并且会越来越严重，这是一种“新常态”，

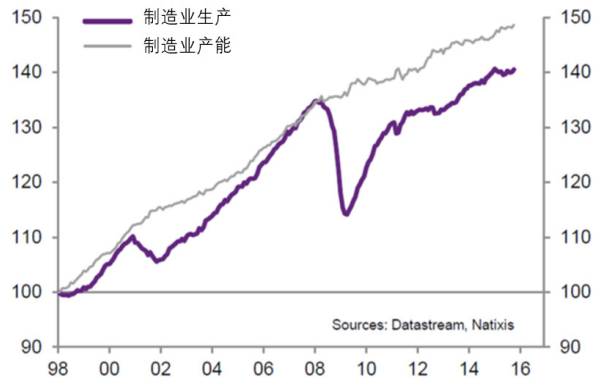


图 5 制造业实际生产与产能的对比图（来源：Datastream,Natixis）

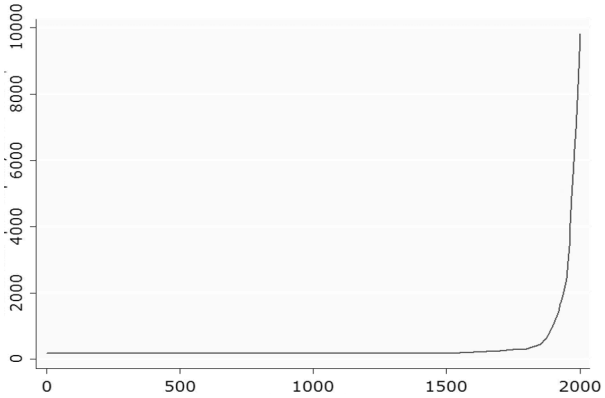


图 6 世界 GDP 估算值的变化趋势 （来源：BEA,Delong）

这是我们企业在制订相关经营战略时不得不考虑的另一大背景。

3. 难以逆转的老龄化趋势

困扰当今经济的另外一大因素就是全球老龄化趋势进一步凸显。我们正感受到企业招人难，用工难，中国制造业的人口红利在逐渐丧失，实际上，这才刚刚开始，很多国家已经被这个问题困扰很长时间了。

根据联合国的定义：65 岁以上老年人口比例达到 7% 的人口结构称为老龄化社会，当 65 岁以上人口比例超过了 14% 的时候，这种更严重的老龄化社会叫“老龄社会”。

作为世界老龄化最严重的日本，1970 年进入老龄化社会，1994 年进入老龄社会。现在，日本年满 65 岁者占人口总数四分之一以上，老龄化形势非常严峻。据日本国土交通省预计，到 2050 年，日本老龄化情况将更加严重，近 40% 的人口将在 65 岁以上。

人口少，老龄化严重，这就是日本积极开展《新机器人战略》的重要原因。日本是全球采用工业机器人数量最多的国家，全球有超过 60% 的工业机器人在日本。

截止至 2010 年，在德国 8,180 万居民中，65 岁以上老年人口占总人口的 20.4%，仅次于日本的 22.7%，均远远超过 14% 的老龄社会标准。

现在，尽管德国有大量移民，包括难民涌入，但德国人口总数依然会持续下降，到 2030 年将少于 8000 万。德国将面临着人口数量减少，老龄化愈发严重的尴尬局面，极大地制约着德国经济的发展。

美国面临的老龄化虽不像德国、日本那样严重，但在美国社会中，65 岁以上老龄人口占比 14%，也进入了老龄化社会。预计到 2050 年，美国 65 岁人口的比重会上升至 20.7%，将进入老龄社会。

这些国家不仅是面临着严重的老龄化，而且还面临着生育率下降，人口总量减少的问题。图 7 是美国、英国、德国、法国、日本、意大利等主要工业发达国家人口增长率的统计与预测，从中可以看到，人口下降的趋势非常明显，这对于这些国家未来经济发展来说，可谓雪上加霜。

德鲁克在《创新与企业家精神》一书中指出，创新的来源主要有七个，而人口数量、年龄分布等人口结构变化是促进创新的一大重要来源。

在《21 世纪的管理挑战》中，德鲁克进一步强调：“在所有发达国家，所有机构的战略从现在起必须更多地建立在完全不同的假设的基础上，即人口不断萎缩，特别是年轻人口。”

今天，严峻的老龄化与低生育率已经导致了人口结构的重大变化，在客观上倒逼着社会的变革，包括制造业新战略的制订与推出，这也是这些国家制订智能制造战略的另一个重要原因。

4. 难觅世外的全球化竞争

自 20 世纪 90 年代以来，随着互联网技术的迅猛发展，经济突破了国界，世界经济越来越融为一体，逐渐形成了市场、信息、货币、物流、研发、生产、服务等多方位的全球化，全球化为广大企业提供了更宽广的舞台，但也进一步加剧了市场的竞争。以前是区域性经济，竞争者多为区

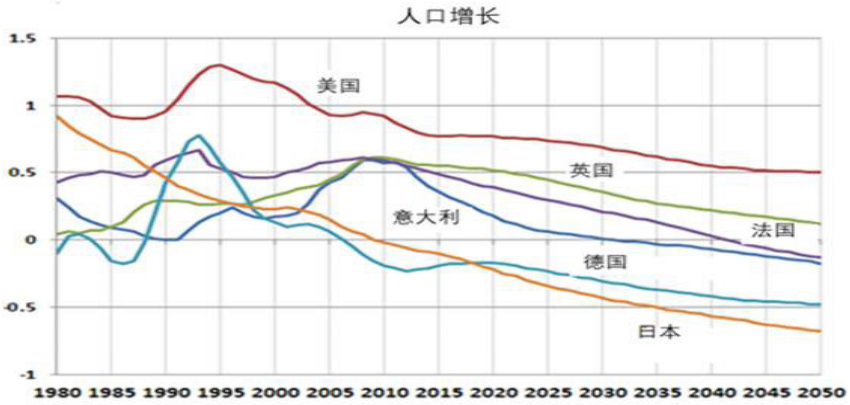


图 7 主要工业国家人口增长率 （来源：美国 Census Bureau）

域性同行，只要产品还可以，企业的日子就能过得有滋有味。但现在市场是全球的，信息是全球的，消费者不需两分钟，就能搜集到不计其数的国外内相关产品或服务信息，以前小富即安，悠哉悠哉的日子已经一去不复返了。赫尔曼·西蒙教授在《隐形冠军》一书中写道："今天的国际货物交换量几乎是100多年前的2,000倍。"全球化竞争可谓越来越明显。

同样，以前发达国家靠高质、高价、高利润，将低端产品和工作转移到低收入国家，他们的工人不紧不慢，不用加班，经常享受着蓝天白云、阳光沙滩，这种优越而洒脱的日子，随着全球化的发展将面临着极大的挑战。

在中国等新兴工业国家，勤劳的人们为解决温饱问题，数以亿计的农民从农村进入城市，成为产业工人的一份子，他们不畏艰辛，任劳任怨，加班加点，在恶劣的工作环境中年复一年，日复一日地努力地工作着。随着时间的推移，随着产品质量的提升，在满足本国市场需求的情况下，新兴工业国家的产品走向了世界，逐渐替代了发达国家的产品。与西方发达国家以中小企业居多的情况不同，新兴工业国家动辄数千人甚至数万人的工厂规模，形成了庞大的生态化生产模式。更让发达国家谈虎色变的是，一旦新兴工业国家掌握了关键技术，突破了质量问题，接下来就是巨大的产量以及匪夷所思的低价，产品将以排山倒海之势席卷全球，华为、海尔等国际性品牌也从中诞生，成为西方强劲的竞争对手。于是，西方国家以前看不上眼的低端市场被占领，庞大的中端市场也不再是他们的天下，富有上进心的新兴工业国家开始进军中高端市场。处于金字塔顶端的西方发达国家蓦然发现，市场已经被颠覆了。

美国波士顿咨询公司的一篇报告就警告道："欧洲机械制造商必须意识到，竞争环境已经改变，必须对越发明显的威胁做出反应，否则他们将被来自中国的咄咄逼人的挑战者打倒。"

自八十年代后期，德国、美国、日本、法国这些发达国家出口在全球的份额，从整体上呈现下降态势，与之形成鲜明对比的是，中国则是在快速增长，特别是2000年以后，一直处于高速增长中，请见图8。

随着2008金融危机爆发，美国率先意识到实体空心化带来的危害，启动了"再工业化"战略，企图将高端制造业吸引回美国。

随后，日本等国也认识到制造业形势的巨变。日本经济学家野口悠纪雄在其著作《日本的反省：制造业毁灭日本》一书中写道："在世界经济这场游戏中，由于中国的加入，游戏条件发生了很大的变化。在价格竞争这场对抗中，日本终究没有胜算。因此，日本应该做的不是和中国扭打在一起，而是应当将注意力集中在智慧的比拼上。"

因此，如果我们站在工业发达国家的角度看，在全球经济一体化进程中，不只是中国制造业，德国、美国、日本等发达工业国家也都面临着很大的全球化竞争压力。

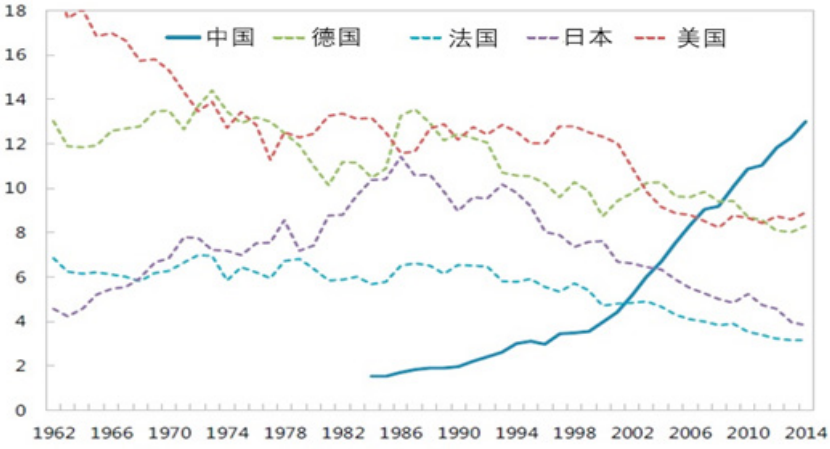


图8 主要工业国家出口在全球中的比重（来源：联合国和国际货币基金组织）

二、寄希望于新技术体系

面对低迷的经济、老龄化严重的现实以及中国等新兴工业国家的竞争，如何重振昔日雄风，至少保证目前状况不再进一步“恶化”，德国、美国、日本等各国都需要制订相应战略，以应对当前的困局。

由俭入奢易，由奢入俭难。习惯了高收入、高品质生活的发达国家的人们，不可能和勤劳的中国人一样，无怨无悔地加班加点，也不可能牺牲环境和身体健康而从事有污染的工作，他们希望在不增加额外劳动的情况下，企业更有竞争力。

劳动人口少，老龄化严重，人工成本高，环境要求苛刻……还要维持工作的轻松，生活的高品质，社会的高福利，国家的高竞争力，维持在世界上“白富美”的形象，坐享“高富帅”的生活，做不到不劳而获，最起码也想来个“少劳而多获”。发达国家遇到了史上最大的难题……怨天尤人解决不了问题，靠天靠地不如靠自己。经过苦思冥想，这些国家最终不约而同地把目光聚焦在了新技术上。

随着物联网、云计算、3D 打印、移动互联、机器人、大数据、人工智能等新技术的发展与应用，可以衍生出更多的商业模式，使得商业、生产、服务更加智能、更有效率，通过工业互联网等新理念打造智能制造的生态圈，重新定义制造业，占据制造业的制高点，甚至形成颠覆式的竞争力。

以机器人为代表的自动化，可以很大程度地减少对人的依赖，将人们从重复、枯燥的生产中解放出来，人们可以从事更有价值的工作，明显提升人们的工作品质与生活质量。

通过数控机床、机器人等自动化，使人的体力得到解放；通过数字化、网络化、智能化，使人的脑力得到解放，并明显提升生产、服务效率与质量，提升企业乃至国家的竞争力。

古人说：“穷则思变，困则谋通。”

于是，这些富有忧患意识，富有前瞻性的国家先后启动了相应的国家战略。

2011 年 6 月，美国启动“先进制造伙伴关系”（AMP）计划，将聚合工业界、高校和联邦政府，为可创造高品质制造业工作机会以及提高美国全球竞争力的新兴技术进行投资，这些技术将帮助美国的制造商降低成本、提高品质、加快产品研发速度，以及提供更多的就业机会。

2013 年 4 月，德国政府正式推出“工业 4.0”战略，德国希望通过工业 4.0 革命性的变革，升级国内的工业体系、保持其在全球的领先地位。

2015 年 1 月，日本政府发布了《机器人新战略》。日本希望保持“机器人大国”的优势地位，在各个领域推进机器人，大幅度提高作业效率和质量，增强日本制造业、服务业等竞争力，解决“少人化和老龄化”带来的一系列问题。

当然，这些国家的相应战略与措施很多，限于篇幅，笔者只挑选了几个最具有代表性的战略。

分析到这里，大家就应该能够深刻地理解这些国家推出以上战略的背景及决心了。

三、新常态下的中国制造

相对这些传统工业国家，中国似乎处于比较看好的上升通道。中国人有着勤劳敬业的光荣传统、庞大的消费市场、全球最完善的工业体系，以及相对丰富的土地资源、生产资源、人力资源与强有力的政府等等，这些是很多国家不具备的。

但是，中国制造业也正面临着巨大的压力。对外，面临着高端制造业回归美国等发达国家，低端制造业向东南亚等低成本国

家转移的“双重挤压”。对内，面临着人力成本快速上升，人口红利逐渐消失、产业结构不合理以及粗放型发展模式不可持续等问题。中国以往高速增长的三驾马车：投资、内需与外贸，也都面临着严峻的问题，概括起来就是内需不振、外贸低迷、投资谨慎。经济下行压力非常大，中国进入了一个由高速发展到中低速发展的“新常态”。

近些年来，随着中国人力成本的快速增长，与其他工业国家与地区相比，中国的成本优势几乎不复存在。从图 9 可以看到，近十年来，中国劳动力成本在翻番地增加，而美国基本没有变化。牛津经济研究院经过评估后认为，在单位劳动力成本方面，中国只比美国微弱领先 4%。

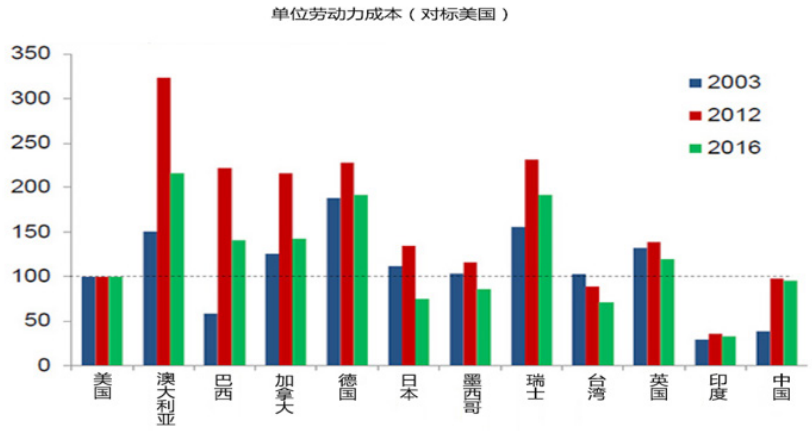


图 9 单位人力成本与美国的比较（来源：牛津经济研究院）

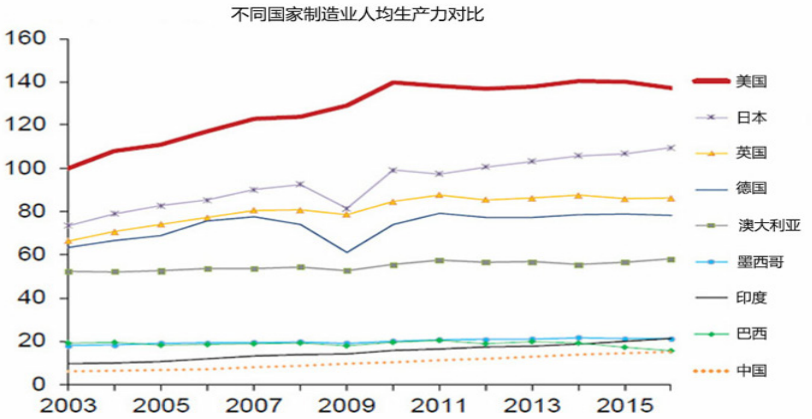


图 10 制造业人均产出（来源：牛津经济研究院）

让中国制造企业倍感苦恼的是，一方面中国人工成本快速提升，但另一方面，在人均产出上却远低于美国、日本、德国等发达国家，甚至低于巴西、印度等发展中国家，请见图 10。两者形成利润剪刀差，严重地挤压了中国制造业的发展空间，这也是近些年来，很多中国制造企业一直苦苦挣扎在生死线上的一个重要原因。

与工业发达国家相比，中国制造业成本优势正在逐渐丧失，而与泰国、印尼、菲律宾等东南亚国家相比，人工成本已经成了制约中国制造业发展一个不利因素。近些年，很多制造业纷纷向这些低成本国家转移。请见图 11。

据中国财政科学研究院发布的《降成本：2017 年的调查与分析》报告显示，在调查的 14,709 家样本企业中，这些企业近三年总成本费用占营业收入的比重超过 100%，这表明企业成本已经超过收入，利润空间已经被挤压到极限，企业经营状况堪忧。

在老龄化方面，这个问题也将在我国进一步凸显。2014 年，中国 65 岁及以上人口数为 1.37 亿人，占比 10.1%，据世界卫生组织预测，到 2050 年，中国将有 35% 的人口超过 60 岁，成为世界上老龄化最严重的国家。中国的老龄化将拥有两个世界第一，第一个是老龄人口数量世界第一，第二个是老龄化速度世界第一。这对以劳动密集型产业为

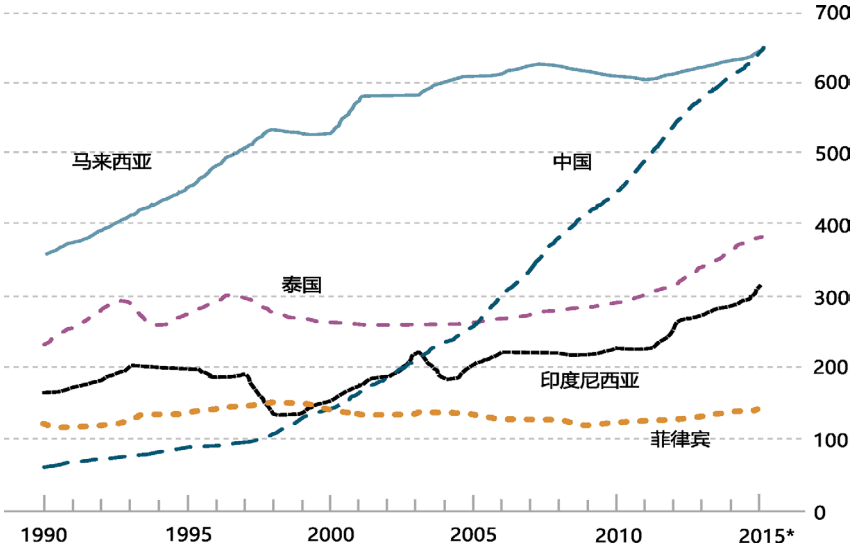


图 11 制造业人均月工资（来源：路透社经济情报部）

主的中国制造业，是非常不利的因素。

中国经济面临着巨大的压力，寻找经济发展新动能，实现新旧动能转换，实现传统制造业转型升级，是中国经济迫在眉睫的大事，是事关国计民生的大事。

四、数字经济扛鼎新动能

经济发展的新动能在哪里？一些权威研究机构的经济研究报告给出了答案。

中国信息通信研究院在《中国数字经济发展白皮书（2017）》中给出了如下定义：数字经济是以数字化的知识和信息为关键生产要素，以数字技术创新为核心驱动力，以现代信息网络为重要载体，通过数字技术与实体经济深度融合，不断提高传统产业数字化、智能化水平，加速重构经济发展与政府治理模式的新型经济形态，数字经济是继农业经济、工业经济之后的更高级经济阶段。

中国信息化百人会发布的《2017 中国数字经济发展报告》认为，在全球信息化进入全面渗透、跨界融合、加速创新、引领发展新阶段的大背景下，数字经济长足发展，正成为创新经济增长方式的强大动能。并举例说，2016 年全球发达国家（美、日、德、英）数字经济占 GDP 比重在 50% 左右，美国数字经济规模排在全球首位，已超 10 万亿美元，占 GDP 比重超 58%。

随着近些年来信息通讯等技术，特别是互联网和物联网的快速发展，数据呈现爆发式增长，每年增长 50%，海量的数据已成为社会基础性战略资源，为经济发展带来了巨大的新动能。联合国贸发会议秘书长基图伊指出：“数字经济以超出我们预测的速度呈指数比例地在扩张，仅在 2012 到 2015 年之间，数字经济的规模从 1.6 万亿美元增长到 2.5 万亿美元。”2016 年 9 月，杭州 G20 峰会通过《二十国集团数字经济发展与合作倡议》，将“数字经济”列为创新增长蓝图的一项重要议题。

现在，各国普遍认为数字经济是世界经济的未来，大力发展数字经济成为共识，并在积极推动数字经济建设。主要工业国家数字经济增长趋势请见图 12，各国均呈明显的增长趋势，与前面所描述疲软的 GDP 增长形成明显的对比。

十八大以来，我国高度重视数字经济发展，数字经济已经逐渐上升为国家战略。2016 年 10 月，在中央政治局第三十六次集体学习上，习近平总书记指出，要做大做强数字经济，拓展经济发展新空间。2018 年 4 月，习近平总书记在“全国网络安全和信息化工作会议”上再次强调：“要发展数字经济，加快推动数字产业化，依靠信息技术创新驱动，不断催生新产业新业态新模式，用新动能推动新发展。”

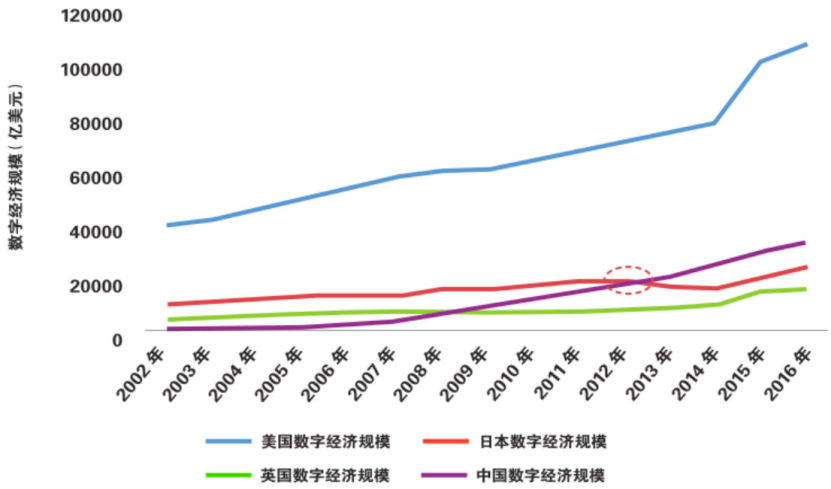


图 12 主要工业国家数字经济增长趋势 （来源：中国信息化百人会）

在国家大力推动与企业积极努力下，中国数字经济也得到了快速发展，2017 年中国数字经济名义同比增长超过 20.3%，占 GDP 的 32.9%，总额达到 27.2 万亿人民币，数字经济已成为我国经济发展的重要引擎，有力地提升了国民生产与服务效率与质量，优化了产业结构，对我国经济健康发展起到了积极的推动作用。

据麦肯锡研究院在 2017 年发布的《中国数字经济如何引领全球新趋势》报告，过去十年来，中国已在多个领域成为了全球数字经济引领者。以电子商务为例，十年前中国的电商交易额还不到全球总额的 1%，如今占比已超过 40%，据估算已超过英、美、日、法、德五国的总和。2016 年，中国与个人消费相关的移动支付交易额高达 7,900 亿美元，相当于美国的 11 倍。中国 2016 年互联网用户已达 7.31 亿，超过了欧盟和美国的总和。中国还拥有 6.95 亿移动互联网用户，远超欧盟的 3.43 亿以及美国的 2.62 亿。中国现在每年毕业 800 万高校毕业生，也成为支撑数字经济的重要基础。

虽然中国在数字经济方面进步很大，但相比一些发达国家，数字经济无论是在 GDP 中的占比还是绝对总量，仍然存在比较大的差距。

2016 年，美国、德国、英国数字经济占 GDP 比重均超过 50%，日本、韩国数字经济占 GDP 比重也超过 40%，中国仅是 GDP 的 30.3%。请见图 13。

从经济规模上看，2016 年美国数字经济规模高达 10.8 万亿美元，遥遥领先其他国家，是中国的 3.2 倍（中国在 2016 年是 22.6 万亿人民币），日本的 4.7 倍，德国的 5.3 倍，英国的 7.1 倍，法国的 11.3 倍。

从以上数字来看，尽管中国数字经济近些年来增长迅速，但仍与全球第二大经济体的地位不匹配，也说明了中国数字经济的发展潜力巨大。

数字经济具有与传统经济范式不同的特点，具有信息的零边际生成成本、复制无差异性、实

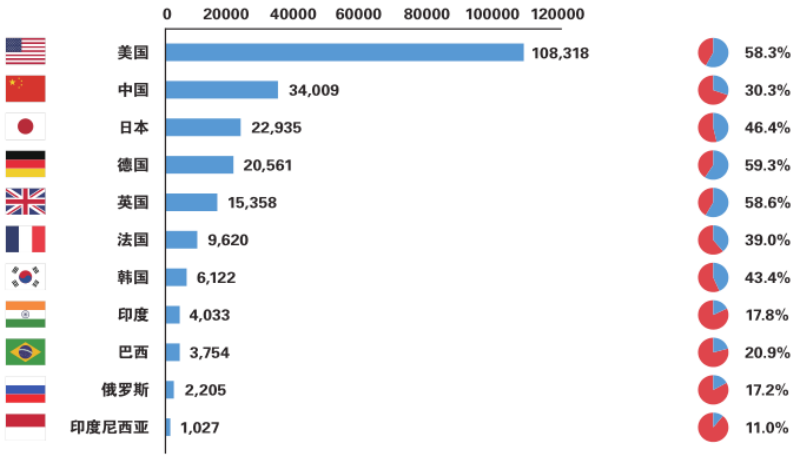


图 13 2016年主要国家数字经济规模及占比（来源:《2017 中国数字经济发展报告》）

时性强等特征，颠覆了农业经济和工业经济中物质、能量要素的独占性、排他性。未来在制造业中，通过无所不在的连接，无所不在的数据，无所不在的信息，无所不在的软件，带来了无所不在的智能，实现研发、装备、生产、产品、服务、管理的泛在连接、全局最优，从而不断优化资源的配置效率，提升生产率，培育基于数据驱动的经济发展新动能。

除了可以极大地促进经济发展，推进供给侧结构性改革以外，数字经济在提供就业、提升就业品质方面也具有重大的意义。

据中国信息通信研究院的测算，2017 年，我国数字经济领域就业人数达到 1.71 亿人，占总就业人数的 22.1%，其中当年数字经济新增就业人数为 552 万人，占新增就业的 40.9%，数字经济已经成为当前吸纳就业的主动力。

作为数字经济的重要组成部分，数字化转型对制造企业的转型升级尤为重要。

2017 年，普华永道思略特德国公司对 200 位来自德国大型工业及制造业领域内的企业高管进行了市场调研，调查结果显示，91% 的工业企业正投资数字化工厂，98% 的受访者认为投资数字化工厂可以提升生产效率。

通过实施数字化转型，很多企业已经取得了很好的成效。2017 年，Gartner 公司（中文为：高德纳）对 388 位 CEO 调研后发现，有 56% 的受访 CEO 表示，他们已经在数字化方面进行了改进并取得了提升利润的效果。有 22% 的 CEO 表示，支撑他们产品、服务和业务的数字化已经变成他们的核心竞争力，并成为新的商业模式。

《福布斯》和麻省理工学院对全球 400 多家大型主流企业的调研表明，实施数字化转型的企业比传统企业具有更大的优势，数字化转型企业盈利能力比行业平均水平高出 26%，并且效率更高。

数字化转型对制造企业而言，并不仅仅是应用新的 IT 技术，而是代表着打造更能盈利、更有价值的商业模式。Gartner 的专家预言：“数字化商业竞争力的缺乏将导致 25% 的企业失去竞争力。”

相对美国、德国等发达国家的企业，我国制造企业在对数字化转型认识及行动方面仍然有比较大的差距。

麦肯锡的一次调查结果显示，尽管中国企业对工业 4.0 抱有极大的热情和期望，但只有 6% 的中国企业制订了明确的实施路径，远低于美国的 22%、德国的 22% 和日本的 31%。当前，我国经济已由高速增长阶段转向高质量发展阶段，正处在转变发展方式、优化经济结构、转换增长动力的攻关期，通过数字化转型，抓住数字经济发展机遇，以提质增效为中心，紧紧围绕创新驱动、智能转型、绿色发展，全面推进实施制造强国战略，促进企业的智能化转型升级，提升企业效率与竞争力，实现制造业由大变强的历史跨越，是当前中国制造业转型升级的必由之路。

通过以上分析，我们就大概清楚了，为什么近些年来德、美、中、日等国都不约而同地提出了相近的国家战略，掀起全球史上最大的智能制造浪潮。这并非是因为突然有什么颠覆性的技术突破，而是基于当前全球制造业严峻形势下，即前面提到的“四难”（难以提升的经济增长、难以消化的全球产能、难以逆转的老龄化趋势与难觅世外的全球化竞争），各国结合自身问题及特点，在快速增长的数字经济发展进程中（即“一希望”：以数字经济为方向的新技术体系），希望借助自动化、数字化、网络化、智能化等新技术寻求突破口，解决存在的实际问题，提升制造业竞争力，推动本国制造业的发展。这才是各国政府、广大制造企业不遗余力大力推进智能制造的源动力，而不是简单的智能技术的带动。

动力来源于压力，以新技术、新模式解决现存的问题，这才是智能制造正确的打开方式。MT

2040 年的增材制造：强大的使能技术与破坏性威胁

TREVOR JOHNSTON TROY D. SMITH J. LUKE IRWIN

编者按：本报告由兰德公司 2018 年 5 月发布，分析了增材制造（AM）技术对 2040 年环境安全的重要影响。报告指出，在 AM 技术成熟发展并与人工智能（AI）技术进行整合后，AM 可能会降低雇佣率、改变发达国家和发展中国家的力量平衡并重塑全球贸易。AM 在对社会经济带来挑战的同时，也会造成新型安全威胁。

增材制造（AM）是指将塑料、金属、聚合物等可由喷管喷射或在容器内聚合的材料制成三维结构的各类高端制造。这些构成物基于数字设计，实时层层增加。增材制造机器构造简单，成本低廉，制造范围广泛，有望深刻改变全球和地方经济，并影响国际安全。以下的猜测性描述指出了这一新兴技术的潜在安全隐患。

2039 年 8 月，一个来自南亚某大都市激进团体的美国基层小组酝酿了一个计划，欲迫使美国关注他们的困境。该南亚国家曾是廉价制造中心。数十年来，由于其劳动力成本极低，海洋位置又颇为有利，备受西方和中国公司青睐。就在该国不断制造最便宜的服装，批量生产商品的时候，其制造业的失业率却飙升到 55%，因为在此前出口这些商品的市场上，组装更专业商品的工厂已被增材制造打印商所取代。与此同时，多年来海平面上升使得四周地势低洼的土地被洪水淹没，威胁着 1200 万困于该城市的居民的生活。美国和欧洲拒绝接受每周不断乘船涌入的移民。美国最近重新启用移民和难民设施，并且大量扩大设施规模。基地位于洛杉矶的激进小组领导人孤注一掷，决定袭击阻拦其同胞登陆的美国海岸巡防队和海军军舰。他们通过大型打印机和从暗网上购买的先进设计模板，制造数十个携带简易炸药的航空和水下无人机。获取的部分所需材料有一定难度，但他们不缺少技术专家：许多在大都市的人现在都加入了增材制造行业，这一行业制造内容广泛，从电路、小型电子设备到假肢定制甚至人体器官，应有尽有。第一把枪在 2013 年打印成功；到 2017 年 5 月，美国陆军武器研究发展工程中心的研究员就成功设计、打印并发射了一个枪榴弹发射器。只要从网络上下载一个免费的设计，恐怖分子就可以打印制造大量无人机。

这种令人沮丧的未来设想不

一定会发生在2040年，却阐明了随着深入接触增材制造以及这一技术能力的不断提高，现行国家体系和国际秩序很可能会遭到极大的破坏。增材制造可能对世界造成的转变，可与18世纪出现的工业革命及19世纪的规模经济造成的震动效应相提并论。这些制造业早期出现的变革步入了新的经济时代，并推动了军事工业化，在人类付出了灾难性代价后改变了战争，同时带来了极大的利益。增材制造技术一旦成熟，将会同人工智能（AI）和自动化相结合，减少就业，改变发达和发展中国家的力量均衡，重塑国际贸易。这不仅会加剧许多当今时代最紧迫的社会经济挑战，还会造成新的安全威胁。

一些安全隐患是不难想象的。随着打印武器更加容易、成本更低后，动力攻击（即运用致命武器的暴力行为）的威胁会显著增加。外国恐怖分子和其他暴力极端分子通过网络，可以随时获得更危险的新型武器的打印设计。有了增材制造技术，本国不同政见主张者和“独行者”可以在一些地点（如学校、政府大楼、机场）快速打印武器，而在以前他们在这些场合是不可能接触到武器的。如果一个人想发动袭击，只要他能接触到增材制造打印机并且有网络的话，连这些安全地点都会受到内部威胁而变得不堪一击。

其他安全威胁更为分散，也更加难以监控和有效应对。例如，增材制造和互联网之间的潜在关系。2017年，小范围和非国家的网络攻击就是典型的非动力事件（例如，入侵网上供应商的客户敏感信息）。窃取的信息会出售以获利或用于实施诈骗。但有了增材制造技术，网络战的风险会增加。黑客可能不会满足于窃取个人或金融信息，他们进而会盗取敏感技术的设计。通过使用打印机，黑客可以在家中实现干扰技术，破坏监控，加剧网络破坏的威胁。如果黑客能够入侵打印机或破坏数字设计，将设计缺陷植入到关键部件（如飞机机身或自动驾驶汽车）中，这一威胁则尤为严重。随着越来越多的实物中含有数字设计，这些攻击会不只局限于数字空间，对现实世界也会造成影响。而且动力威胁和非动力威胁之间的界限也会变得模糊不清。

伴随武器扩散和网络战争，增材制造可能会破坏经济和现行国际秩序。正如此前工业革命带来的震动效应，增材制造可以颠覆传统的规模经济，同时为消费者广泛提供高度可定制和复杂的产品。非国家行动者还可以开发一些具备专业知识和工业能力才能生产出的产品，这些知识和能力在以前为更先进的国家所独有。在未来，虽然还不确定有多少或哪些类型的商品会使用增材制造技术生产出来，但增材制造机器的激增，可轻易获得的原材料以及数字规划的自由流通——与自动化和人工智能相结合——会深刻改变全球经济、国际安全和社会结构。

通过分散制造业，个人和企业可能会选择在本地生产，削弱了消费和全球化之间的联系，而现在是通过复杂的多国供应链连接到全球各地。数字技术、服务产业和知识产权（IP）资源会愈加重要，在越来越多的行业中取代传统制造和劳动力。尤其是快速原型制造和非常专业的技术部件制造（如航空加工机械或车镜配件），在速度上比传统制造方法快了几个数量级，价格上也极具优势。许多专家相信这些力量会对现有经济秩序造成严重破坏。例如，为世界经济论坛撰文的奥利弗·卡恩（Oliver Cann）估计，在未来五年内，由于“第四次工业革命”（包括人工智能、机器学习、机器人学、纳米技术、增材制造、遗传学和生物技术），15个主要的发达国家和新兴经济体内会净损失500万个工作岗位。据荷兰国际集团（ING）的国际贸易分析主管拉乌尔·莱林(Raoul Leering）预测，到了2060年，增材制造的破坏性会更强，并暗示那时单是这一项技术就会消灭四分之一的跨境贸易。

尽管过去三十年，增材制造在技术方面进展缓慢，但打印武

器的发展和增材制造技术的广泛商业化，都预示着潜在的安全威胁。这项技术在提高效率、增加产品定制和减少浪费方面有着很大潜力。已有很多文章阐述了增材制造的前景，以及它将带来的社会收益。然而，和其他技术变革一样，一定要慎重考虑增材制造技术造成危害的潜力，尽量减轻或避免这种危害。鉴于人们对增材制造破坏潜能的兴趣逐渐浓厚，本前瞻性文章以2040年的安全问题为重点，探讨了这一技术可能造成的负面影响。

为了更好的预测未来并告知当今的政策制定者，文章重点讨论增材制造技术对21世纪安全最深远的影响。我们探索到2040年的威胁环境，并提出了两个基本问题。

1. 这些潜在的未来可能对个人安全、国内稳定和国际秩序造成什么不同的影响？

2. 当今的政策制定者们可采取什么策略来影响未来轨迹？

根据增材制造的破坏程度，我们确认出了将会面临最大安全挑战的行业，这可能会帮助政策制定者把控新政策和管控领域。

为了深入了解这两个问题，我们结合了多学科的分析技术和观点。首先研究了现有的增材制造的文献，包括当今和未来趋势。然后采访了增材制造各个行业和相关研究领域的顶级专家和行业领导者。我们开发了一个可通过面对面、电话和邮件来进行采访的半结构式访谈协议。我们通过网络搜索和商业出版物来确定访谈主题，并利用滚雪球抽样技术扩大范围。这些采访不仅帮我们认识到这一领域内的新趋势，还了解到了行业领导者的态度、信念和看法。采访过程中，我们就一般行业问题等采访主题进行提问，并由此来推测2040年增材制造的安全隐患。自2017年的3月到8月，共计进行了11次访谈。

为探讨这些问题，随后举办了由25位各领域专家参与的研讨会——包括行业代表、美国政府和军方人士，以及兰德国家安全调查员。此次研讨会于2017年5月举办，探讨2040年存在的安全威胁，以及减少威胁的策略。专家四到五人为一组，讨论不同的潜在威胁。每个小组都要求针对不同的未来设定，确定假设前提、事件和必要条件，以及这些未来设定可能导致的不同安全威胁。专家们还需针对不同的未来设定，提出早期预警信号指导行动，随之政策制定者需进行防范和修正来限制未来安全造成的影响。

下文中，我们首先简要概述了增材制造的现有趋势，以及该技术可能的未来发展轨迹。基于此背景，我们接下来确定出受增材制造冲击最严重的一些行业。这一技术的扩增，对一些公司和部门造成的破坏将尤为严重，对生产商和消费者都会造成重要影响。衡量出商业破坏的程度后，我们开始讨论增材制造会如何带来新的威胁和安全挑战。通过采访和专家研讨会，我们确定了需要政策制定者特别注意的两个方面：（1）武器扩张和（2）经济混乱。我们描述了增材制造将如何对未来造成威胁，并讨论了政策制定者将采取哪些具体措施来防范和减少这些威胁。最后，我们认为公众和政策制定者必须认识到这些威胁不可能完全规避。增材制造的扩张既会带来巨大利益也会带来新的风险。

一、增材制造的未来

对增材制造的简要概述和对其未来轨迹的讨论，为后续部分内容提供了基本背景。就这一点而论，本文并非意在包罗万象。

1. 增材制造的历史

增材制造始于20世纪80年代，最近引起了各个领域的广泛关注。近期增材制造的应用领域包括服装、医药、生物医学技术、大型工程、电子、计算机、食物、武器以及军工产品等。从增材制造生产的阿迪达斯鞋底，到核武器和国际空间站的替换零件，涉及的应用十分广泛。增材制造机器简易，成本逐渐降低，潜在制造范围广泛，这些优点都让这一技术成为许多行业的实用工具。这些机器或其产品是否会出现以

及何时会出现在大多数家庭中，并成为日常生活的一部分，还有待进一步观察。

增材制造用不同的材料制造三维结构产品，其过程也不同。在 2009 年以前，大多数增材制造打印机都用于工业。然而过去十年里，该技术的许多关键零件的专利已经过期。一旦价格开始下跌，这些机器会扩散到各个行业，用途各异。增材制造机器还在艺术家和创意者中广受欢迎。大城市中兴起“微观装配实验室”（Fablab）和“创客空间（Maker-space）”，为个人提供实际地点和机器，让他们用增材制造和其他先进技术进行创造。从 2006 年到 2016 年，其数量在全球增长到了约 1400 个，翻了 14 倍。

行业专家经常引用传真机和平面打印机的市场发展过程——从工业用途到附近商店的使用，最后走入千家万户——他们认为这也是增材制造打印机的市场演变模式。专家们指出，如今每个家庭中有一台增材制造打印机，就像 20 世纪 80 年代中期每家拥有一台平面喷墨打印机一样，非常可能实现。其他专家则持怀疑态度，认为增材制造打印机可能会用于附近的创客空间，但却不会有大量消费者购入。还有一种可能，个人会购买较便宜的增材制造打印机和少量原材料进行相对简单的工作，而对于更加复杂的项目，他们会去社区中心使用更加先进的机器。

在传统制造业中，物体外形越复杂，生产成本越高。但如果用增材制造打印机，产品复杂与否，其生产成本都大致相同。一旦完成了数字设计，制造外形更加华丽复杂的产品并不比打印一块简单的积木需要更多的时间、技巧或成本。业内人士将这一现象称为获得“免费的复杂性”。此外，增材制造可以制造无法使用传统方法制造的物体。通过数字设计和层叠建造法，打印某种材质的固体块的输入要求，基本上同打印一个复杂的分形结构一样，而这种分形结构根本无法通过传统制造或“减材制造”的方式制造出来。

正如我们进一步讨论的那样，有 RepRap 和 Fab@home 这样的组织提供制造必要零件的免费开源示意图，增材制造机器很快就可以复制自身。此后只要有足够的原材料，一台机器就可以生产无数个其他机器，这些机器又可以无限次修复。

2015 年，增材制造行业在财政收入方面增长了近 26 个百分点，到 2016 年超 51 亿美元大关。和其他更加成熟的领域相比——诸如生物技术领域，2015 年仅增长了 5%——增材制造尚未成熟，增长势头仍旧迅猛。2015 年，在一份在线调查中，120 个美国制造专业人士中有 71% 称其会在生产中使用增材制造技术，用于产品的原型设计或最终确定。此外，52% 的生产商预测在未来三到五年内，增材制造会用于“大量生产”。其中有一位受访者表示，“全球每家大企业都已投资（增材制造）。我们将看到巨大的干扰。汽车行业已经受到扰乱。3D 打印完全是用电脑完成的——老方法无法制造出同样的几何形状……3D 打印可以制造出其他任何方法都制造不出来的东西。”尽管这看起来很乐观，但一些行业或领域会受到更大的冲击。探析未来趋势，我们希望能更深入了解行业间的变化以及安全威胁带来的隐患。

2. 当前及未来趋势

传统行业开始采用增材制造，转变了一些生产活动并创造了新业务。包括美国、德国、中国、印度、南非、伊朗和中国台湾在内的世界许多国家和地区都存在增材制造技术和相关专业技能。未来几十年内这一行业无疑会在全球继续发展，未来的打印能力无可限量，非现在可以完全预测和想象。尽管有这样的潜力，但目前还不清楚有多少商品会由增材制造生产的产品所取代。新兴趋势表明，增材制造对传统供应链的依赖程度可能与减材制造不同。其他趋势还包括：打印机可以利用从当地可用资源中得到材料——包括从牛奶纸盒等物品中回收塑料，最终到使用月壤（亦

称“月球尘土”）——这表明最少的初始投资几乎可以让个人完全具有自主性。

目前增材制造的许多趋势会影响这一技术的未来，也将决定到2040年哪些方面会对制造业、经济以及全球安全造成最具破坏力的影响。我们简要探析这些趋势并推测其未来轨迹。

3. 多种材料打印

过去，增材制造机器一次只能打印一种材料。这限制了可以生产的产品类型。多种材料构成的物体需要花费更多的时间和精力组装。然而，新型机器能够同时打印多种材料。这让打印机能够更快地生产多种复杂的复合产品。从短期来看，这些产品将逐渐包括电路，可以让设备一经打印完成就立即投入使用——这一能力目前正在研发中。科学家们还在进一步开发打印人体组织，有望打印出复杂的定制器官，这种定制器官在移植后排斥风险更低。

我们采访的一位行业专家描述，在20年内，他的组织将如何“生产分级材料产品，即可以从一种材料变为另一种材料。我们将能够将正常情况下不相容的两种材料组装到一起。”这位专家接着强调了使用这些混合材料生产各类产品是可行的。“我们可以在不降级的情况下一起打印电子器件、绝缘体、导体、塑料基底。我们可以把设备和结构融为一体。”这种混合材料产品应用在可穿戴生物医学技术等领域对人们日常生活有益，但也存在安全隐患——举例来说，功能更多的非金属聚合物及生物结构可以帮助隐藏武器，使识别和探测威胁变得更加困难。

4. 自我复制

最近，围绕增材制造开始出现了开源社区，开发出的打印机可以生产用于复制自身的几乎所有必要零件。虽然目前增材制造还不能生产所有的零件，但在自制电子产品和发动机生产方面已经取得了显著的进步。一旦这些零部件可以复制并且发烧友可以轻松获取后，销售终端控制器将无法限制（甚至无法掌控）增材制造打印机的激增。这种控制器广泛用于控制危险或有风险的商品（如枪支、肥料和一些药物），但对于可复制的打印机，这些控制器效用甚微。目前，这些打印机的自我复制能力仍有限，复制需求也不高。然而，这样的能力可能带来的后果不应被低估，尤其是因为当前的一些技术难题已经被攻克。

随着复制成本的降低，印刷机可能随处可见。获得原料、能源和设计蓝图将是制造业创造的唯一限制因素。自我复制将极大地增加增材制造的可得性和范围，增加黑市及其他零件市场（即二级市场）的交易机会。随着自我制造能力增加，在丛林里打印救生医疗设备将变得更加容易，但在国家和其他监控机构监管之外生产大量私藏武器也将会轻而易举。

5. 大小和规模

如今，大多数增材制造打印机仅仅可制造小型实物。虽然工业打印机体形大，但大多数家用机器体型小巧，可安装在写字桌上。分块制造大型实物的缺点在于接口和粘合处会降低整个实物的承受力和耐用性。设计并生产制造大型打印机正是为了克服这一短板。2017年3月旧金山的一家公司在24小时内生产了一台家用打印机。同月，迪拜的一家建筑公司宣布，计划利用增材制造技术建造一栋摩天大楼。生产规模如此之大也会给恐怖分子可乘之机，帮助非国家行为体生产大型武器（如：飞机、导弹），而此前只有先进国家才能拥有这些武器的专业技能和工业生产能力。

增材制造机器也可制造缩小版的自身部件，由此生产出的小型打印机精度更高。现如今分辨率精度最高的打印机可精确至0.01毫米或10微米。未来的打印机也许有助于制造小型电子产品、电路和精密器械，并探索其他微型领域。这些进步对下一代计算机有重要意义。

6. 获取原料

随着打印机变得愈加灵活，复制能力更强，增材制造也显示

出其潜力。如果以现今趋势继续发展，几十年后，如今的技术限制将不复存在。同样的，增材制造材料限制因素也将随着时间推移而变得微不足道。现今的增材制造技术中使用的原材料价格昂贵，获取原材料仍然是增材制造技术不断研究和发展的焦点。一些研究者致力于利用当地供货源或回收材料来大幅降低成本---重复利用回收的废弃塑料进行实验研究；利用植物纤维素生产塑料；用沙子、玻璃和泥土等原料进行打印。若从当地获取材料制造物品，就会减少对当前供货链的依赖性。

当然，一些稀有的、无代替品的矿物依然需要运输，这会继续推动未来成本。随着对原材料种类限制的减少，更多产品可在本地生产制造，这导致人们不再去集中市场购买日常用品，从而破坏传统经济力量。无可否认的是，从运输成本历来下降的趋势来看，并非所有的产品都会在当地生产。除非能源造价大幅上涨，否则大多数商品产品依然会在外地生产然后运输至消费市场。但当地生产的增材制造产品总体趋势很可能会上涨。

在当地供货生产会给暴力极端组织（VEO）带来益处，这点要尤其注意。诸如“基地”组织这样的暴力极端组织会在国家机关管辖范围外的偏远区域进行运作。这样的位置虽隐蔽，却会提高交易成本，使其难以维持供应或加强自身能力。而从当地获取原材料则可以改变这种情况，削弱传统国家安全部队在抵御暴力极端组织所拥有的少许优势。尽管获得稀有原材料（例如：放射性元素）仍旧困难，但是制造大多数武器并不需要此种特殊材料。

7. 破坏程度及行业影响

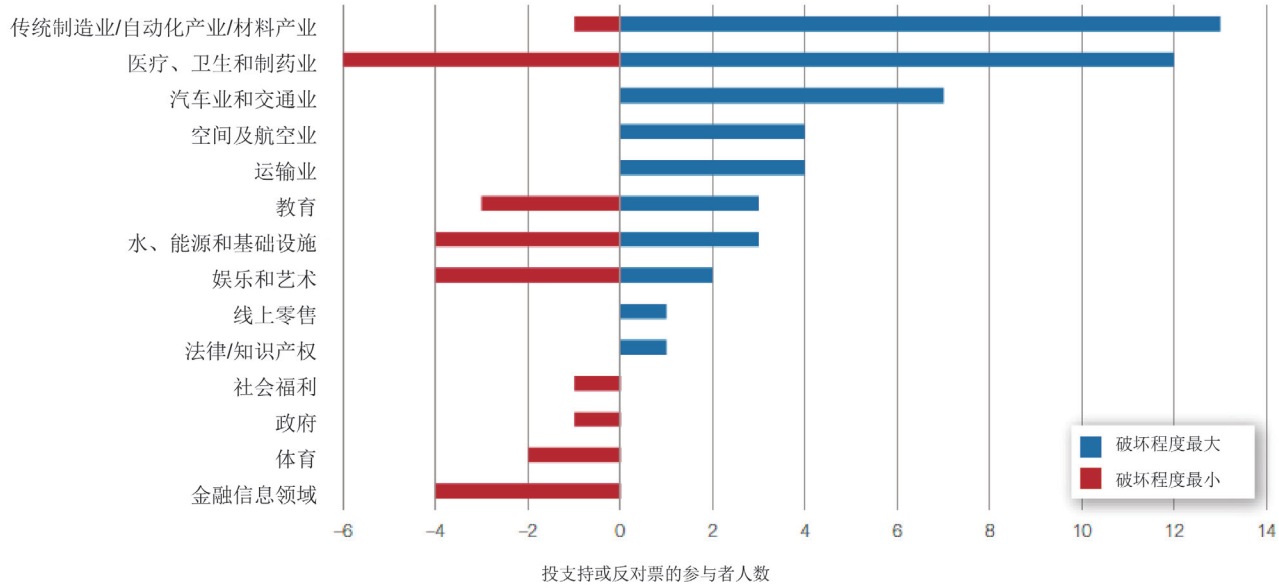
近些年增材制造技术在传统制造业和越来越多的利基应用等许多产业领域中增长势头迅猛。但不同的产业和产品影响效果不同。一些乐观人士预计增材制造技术将在未来普及，但实际上这项技术的效益和成本因领域而异。结果是有些产品可完全通过增材制造进行生产，相关产业也因此彻底转型，而另外一些产业会因传统制造方式在价格和质量方面占主导优势而稳定发展。

此种不确定性在我们的专家研讨会上表现明显。我们让研讨会参与者列出他们所预测的受增材制造技术破坏影响最小和最大的产业，答案各不相同，见图 1。但有些产业或领域还是获得了较为一致的认可（例如：制造业、运输业和空间领域受增材制造技术破坏的风险较高），而其它产业和领域则争议较大。

例如，卫生领域较为复杂。研讨会上一些参与者强调增材制造技术也许将会对定制医疗设备、生物组织或其它医疗产品有着深远的影响。此类观点在一些专家采访中也有所体现。有一位专家说：“增材制造技术将改变我们对待疾病的态度。取出和移植人体器官将成为易事——这也会改变我们现在的治疗方式……医学领域将发生巨大变革……我们将有能力制造肝脏，或者我们可以在心脏手术中制造多条动脉……这在前线战场上非常有帮助，可以挽救生命。”然而其它专家和研讨会参与者则十分关注基本的医患关系等医疗卫生服务，他们认为增材制造的出现对于医疗保健领域影响甚微。

与医疗保健领域类似，食品生产和消费也备受争议。许多专家认为增材制造不大可能改变人们的饮食方式。但其他人认为此项技术将是变革性的。其中一位专家表示：“食品生产方式将有所改变——我们可以为人类制造蛋白质来源，畜牧业将消失。我们可以直接制造蛋白质，不必花一年多的时间去饲养动物……接下的 30 年没有人吃家畜我也不会感到惊讶。从人们的精力角度来看，花这么多精力去获取一磅肉没有任何意义。”

总之，参与者预测，由人际关系主导的服务型产业（例如：社会福利，部分医疗保健产业，教育服务和教学工作）和增材制造毫无瓜葛，并不会受其破坏。依赖人际交流的产业和艺术娱乐产业与传统制造业及其分支领域



来源：兰德研讨会投票结果

图 1　专家有关增材制造技术对于不同产业的破坏的看法

（例如：运输业）都不会受到增材制造技术的影响。然而，除了整体趋势外参与者明确了几种模式来帮助我们清晰地认识增材制造对哪些产业影响尤深。

参与讨论的各个产业的专家们对于增材制造的破坏力及对各个领域的影响程度意见不一。在我们的采访中，这些专家对于十年后利用增材制造生产的货物商品所占比例有着很大的分歧。一些人认为仅有百分之五的货物通过增材制造生产，暗含着很少领域受到增材制造的大幅度影响，而另一些人则预计此数字为近百分之五十。如果我们将时间推至二十年后，这一数字波动幅度更大，从百分之五至百分之九十不等。荷兰国际集团（ING）的莱林（Leering）表示：“很难定义 3D 打印技术具体的潜力，但是一些专家预计，在未来的二十年里 3D 打印技术将在制造业占比百分之五十。”各个产业预计的结果也表明了这项新兴技术的发展充满变数，就连专家也很难把握。

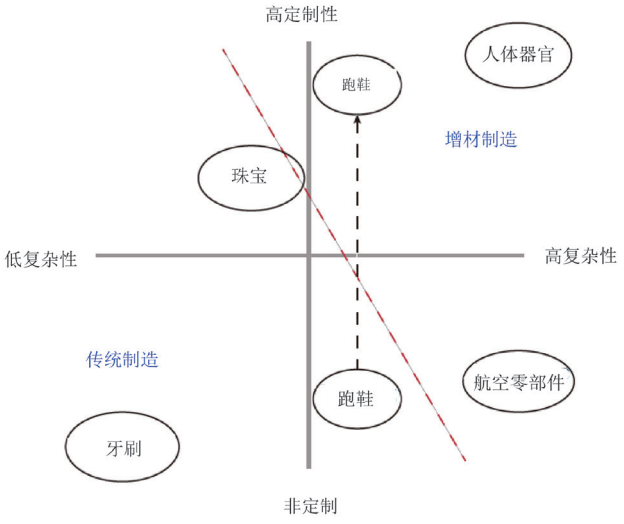
为了真正了解增材制造可能造成的颠覆性影响，关键在于我们要充分了解各个行业或领域或多或少使用增材制造技术的条件。任何给定的产品（从广义范围）是否会转型为增材制造生产，很大程度上取决于该产品的以下两个基本特性：（1）复杂性和（2）定制性或延展性。偏远地区需求的复杂产品，和 / 或高度定制的产品将随着科技的进步，最有可能通过增材制造技术生产。并且这些特征将帮助我们了解在特定产业中增材制造可在多大程度上改进传统制造方法，同时帮助我们确定增材制造对于此产业的颠覆程度。

除了这两个主要颠覆因素，我们还探索出相关的第三方面：可及性（或者说距离远近）。同样，增材制造带来的好处也取决于保护产品或零件的成本，该成本因地区远近不同而有显著差异。如果一个新产品或者其部件可以就近获得，那么用增材制造技术打印这种产品就没有什么意义了。但是当获取材料受限时，增材制造就体现出了价值。例如，美国宇航局曾使用 3D 打印技术制造的产品在太空中做过实验，因为

“根据发射补给计划，将设备运送到太空用于勘探任务的时间从几个月到几年不等。地球补给不太可能。”美国宇航局正在研究在接下来补给更加困难的火星探索任务中使用 3D 打印机。同样，3D 打印机在传统供应链不支持的环境中方面大有裨益；拥有多种原材料的 3D 打印机，人们不再需要大量储存零部件。

图 2 阐述了两个基本特性（复杂性和定制性）的概念关系，并举了一些产品例子。其中虚线表示增材制造技术前沿（例如：目前的工艺水平），仅仅是从理论上来说明。虚线右侧代表易受（或已受）增材制造技术破坏的产业或产品。而虚线左侧代表传统减材制造的领域。实践中，直到今天我们也不能明确此虚线的准确位置；从理论上，此图可以帮助我们想象这一技术在不同领域的未来发展轨迹。

利用当前科学技术，传统制造业价格相对低廉，并且依然是多数产品最为有效的生产方式。因此传统制造业属于图 2 中增材制造技术前沿左侧，此类商品包括简易廉价的商品，如牙刷。然而随着科技的发展和原材料成本的降低，此线条将向左移动，使得增材制造在越来越多的行业中成为成本划算和吸引人的技术。例如，家庭用户将可以制造更加精细的定制版珠宝，这将使一部分奢侈品市场瓦解。当今典型的非定制产品，如跑鞋，可通过增材制造而变得容易定制。如图 2 所示的这种潜在转变，定制跑鞋将变得更为普遍，最终跨越技术前沿，步入增材制造生产的产品之列。



来源：兰德研讨会采访及讨论结果

图 2 破坏因素

随着时间的流逝，技术进步带来新的机遇，各个行业本身也将随之发生改变。诸如生产人体器官这类至今还未出现的商业机遇也会随着增材制造逐渐成熟而显现。因此，随着技术前沿本身也在不断进步，产品或是整个行业也将在图中的不同位置变换。

增材制造将逐渐制造出更为复杂的产品。F-18 喷气式战斗机中环境控制体系管就是一个例子。十六个部件精简至一个：“鉴于传统生产组装有其专属设计，设计要与生产零部件机床性能相适应，所以增材制造零部件精确制造来满足其功能”。这种趋势证明了“免费获得复杂事物”的概念，这使得实物生产简易化，增材制造技术无需其它附加装置或组装便能够生产任何构架的实物。对于更加复杂的加工性产品，传统制造通常只会分解生产各个零部件，这时增材制造将更有优势。

以大规模生产的产品（如 T 恤、餐具、非定制子弹）为基础的行业受增材制造的影响更小，因为传统制造商仍然可以继续以低廉成本生产高质量产品。简单来说，随着现代运输业以及未来物流与装运（例如：无人驾驶车辆）的发展，耐用消费品可大规模生产并且运易于投放市场。也许最初消费者对于定制性牙刷或是其他日用品有着新鲜感，但消费者的兴趣很快就会消失，或者

逐渐成为业余爱好者的小众活动。若在性能、成本、或者是功能方面没有大幅的提高，这些产品很有可能在未来继续维持传统制造的方式。

相比之下，利用增材制造快速定制设计时间线更适合小规模生产的可定制产品。其优势可在通过增材制造快速发展的原型制作中体现。此过程对于检测和重复性设计大有帮助，因为它不再以高成本、耗时的资源来生产物体，从而降低成本投资失败的概率。增材制造仅仅适用于这些过程中的部分区间。

同样，为特定使用者定制的产品是应用增材制造的最佳对象。例如，根据不同人设计不同大小的跑鞋，珠宝，或是其他需要定制的产品。传统制造中，对于个人定制设计很难实行。但是随着增材制造成本的降低，可定制产品的规模将会扩大，让消费者在大规模生产的商品和定制商品中有可选择的余地。这种选择性的扩大对于生物医学设备及药物有着重要的意义。我们已经看到增材制造技术已经应用于制造假肢，这项应用将随着个人基因医用治疗的进步而在用途、范围等方面迅速发展。

这种定制优势同样也表明了在过时的管理方面存在小众角色。若一种产品停止生产，就很难找到或根本找不到代替品。通过三维扫描和增材制造，可以在没有原始制造商的情况下，制造单个的零件来维持大型、昂贵的设备运营。例如，许多公司在原始制造商停业后，利用增材制造为停止生产的零部件制造替代品。此种应用在管理遗留系统和武器方面十分关键。

传统制造过程中，复杂性高、定制产品、或难获得的产品造价高，这为精简设计复杂性和完善运营供应链的发展提供了动机。

二、增材制造与未来安全风险

我们已经讨论过决定各个行业或领域因增材制造技术的出现，对其破坏力最大的一些先决条件，现在我们来谈一谈安全隐患问题。我们基于采访和专家研讨会，明确了两个决策者应尤为注意的方面：（1）动能武器和非动能武器的扩散及（2）经济混乱。增材制造技术有许多潜在性安全隐患，最具破坏力的是这两个方面。

1. 武器扩散

增材制造技术的发展将有潜在安全隐患，对国家和非国家行为者的战略、能力方面产生一定的影响。美国军方已经探索了一系列融合增材制造技术的应用，下至简化运输上至促进供应链，为快速发展的原型制作解决领域技术问题。这些发展表明增材制造前沿不断探索，美国军方不断在这项技术上加大投资。在美国国防部新型增材制造技术路线图中，增材制造是长期军事现代化和未来军事冲突中最重要的一部分。

显然，美国军方和相关国防工业已经意识到增材制造技术给战争和情报收集所带来的益处。但不幸的是，美国不是这一技术的唯一追求者。据报道，中国对增材制造在军事国防上的用途也颇感兴趣。国外军方和世界其它发展中国家及发达国家的军队也已经着手开发或即将开发此项技术。随着我们探讨的深入，数字世界在实物的具体化，传统非扩散措施（例如：出口管制）已经无法控制此项技术的传播。

增材制造的发展和传播加速了武器扩散，并对国际冲突、暴力极端主义甚至犯罪率造成显著影响。从国内层面来说，定点销售将不再是政府控制危险品（如枪械、无人机）的途径了。国家主权是以武力垄断为基础的，至少要具有控制武器的能力。增材制造会降低管控力度，公民将拥有更大获得杀伤性武器和其他暴力工具的机会。从抗议者到网络犯罪成员，其中的每一个人都有能力快速生产此类武器，国家将面临不断增长的公共秩序威胁。在专家研讨会上，一个前情报分析专家将这种潜在武器发展称为“自带武器”。自带武器一旦实现，将进一步加剧抗议或其他公开异

议行为的威胁和风险。

从国家层面来说，增材制造将有潜力在竞争对手之间建立公平的竞争环境，并削弱一些国家（如美国）目前享有的不对称优势。二战后，国与国之间战争的可能性急剧降低。在某种程度上，这种趋势受贸易往来增加和国际组织网络复杂化的影响。对于国际社会最具挑战性的问题，制裁提供了一种强制性的工具来阻止国家间的战争。但由于增材制造扩散，出口管制和制裁都不再有效。尤其削弱了对限制技术和武器转让的制裁：一个国家通过使用 3D 打印机、原材料和定制设计，可以更容易克服这种限制的困难。事与愿违的是，增材制造间接支持了朝鲜这样的国家的生存和崛起，它们将不再遭受退出国际社会所付出的代价。

此外，增材制造技术在过时管理方面的价值，将使敌对国家即使在面对更严厉的制裁或出口管制时，能够随着时间流逝更好地维持国家运转。例如，美国与伊朗之间的 2015 年联合综合行动计划核协议规定了对伊朗的各种形式的制裁救济。2017 年 1 月一架空客 A321 的交付引人注目：这是伊朗几十年来第一次使用西方制造的新飞机，过去由于老化的机群只能使用“走私或临时部件”飞行，国内航线因坠毁而臭名昭著，因此 A321 的交付代表了伊朗国内航线发展的新起点。将来诸如此类的困难因增材制造技术愈加容易克服，并且以削弱制裁的有效性为代价增材制造技术将降低事故发生的概率，这是应对地缘政治挑战的一个基本工具。

但是增材制造技术的威胁远不止国家间的安全威胁。暴力极端组织在某种意义上代表着当今社会中最大的安全威胁，并且随着增材制造的扩散它们会变得更加危险。正如其中一位受访人所言：“武器管制十分困难。决策者们十分忧虑，过去生产珠宝的技术同样可以用于制造枪支和火箭发动机零部件。将机器运往俄罗斯中部十分容易。你也可以无需专家的帮助而制造出十分复杂的部件。这也是制造导弹的一个巨大动力。”随着增材制造打印机和设计的增加，非国家暴力的威胁和代价可能会急剧上升。即使在相对稳定的国家中，通过增材制造技术生产的武器和其它产品将占据黑市，为犯罪网提供一个新的收入来源。

追踪暴力极端组织及了解他们扩张的范围难度越来越大。威胁评估和其他安全分析往往依赖于武器销售和其他材料采购的信息。追踪这些渠道，为执法部门和情报机构提供了评估暴力极端组织威胁、绘制犯罪网的重要途径。如果暴力极端组织能够通过增材制造来生产他们所需要的大部分东西，那么察觉或破坏他们的活动就变得更加困难，发现时为时已晚。由于非法运输和走私路线减少，很难对其拦截和追踪，突然袭击可能是暴力极端组织拥有的新型先进手段的首要特征。增材制造可使此类袭击更为致命，或更为常见。

这种监测问题可能会变得极具挑战性，因为它为这些极端组织提供了新的手段来抵消美国及其合作伙伴目前所享有的优势。研讨会中，几位安全分析师提出了通信情报（SIGINT）新对策的可能性。同样，传统武器也将更难追踪和发现，电子武器更是如此。简易的诱饵和其他干扰设备使得暴力极端组织通过非动能手段干扰通信情报收集。将来，能在任何地方制造，可随意处理、难以追踪的通信系统会使得反恐更加困难。

最后，如果个人已经有机会接触到增材制造打印机，那么独行者的恐怖袭击就会变得更加致命。甚至在像美国这样半自动武器随处可得的国家，增材制造会将增加大规模谋杀的风险。独行者将能够利用网上的大量资源来制造其所需武器。增材制造技术将扩大其选择范围，使其能够访

问更多外来武器系统（例如，生物恐怖传递系统），并增加袭击的潜在杀伤力。

公共空间易受侵犯，已经采取各种措施来减少公共空间受到侵犯的严重程度，如果没有效果，将尤其注意降低私人空间（例如：体育馆、办公楼）中枪击和其他袭击的严重性。但是增材制造将有可能威胁到这些相对安全的空间。如果内部人员获得了增材制造打印机，一些最安全的地点都可能会受到影响。其中一位受访人描述了这种威胁，并指出“一些枪支文件几年前已经对外公布并且已有破千次的下载量……操作 3D 打印机绝非难事。你可以将文件分解成几份，在不同地方制造零部件。”一旦通过机场或其他安全场所的身体扫描仪和金属探测器，计划袭击者只需要现场有一家打印店和通畅的网络就能制造破坏。

2. 多极化格局下经济不安全，贸易和紊乱

随着制造业越来越本土化，全球化与经济繁荣可能会“脱钩”。如果增材制造的发展能够与自动化、人工智能、机器人以及其他颠覆性的新兴技术并驾齐驱，那么在二十年后，劳动力将会与现在大不相同。大量产品本地化生产会削弱国家间的相互依赖。前面提到了一位专家预测到 2060 年，增材制造业的发展会减少全球 25% 的贸易。谈及未来，一位心态乐观受访者表示：传送数据远比运输货物容易得多。这会影响到政策。当你需要做的只是打印一份文件时，关税和产品都将失去效力。劳动力套利……也会消失。产品在哪生产不再重要。世界各地的船舶运输也不再收取额外费用。廉价劳动力成本拉动制造业增长的优势也会消失。只有数据传输的能量成本会影响到最终产品成本。

诚然，这种观点未必被所有人接受。在我们的研讨会上，一些经济学家和行业学者表达了更为冷静的看法，他们认为未来会与现在相差无几。这些更加保守的预测一方面源自于历来交易成本（即洲际运输）都在下降，另一方面来自于劳动密集型制造业的持续萎缩，这二者都重塑了贸易动态。

目前，向增材制造的过渡需要类似数量的员工维护机器，构建产品，完成收尾工作。然而，增材制造技术更加精确与多样化。随着技术的进步，生产相同数目的产品可能只需极少的员工就可完成。一个持不同意见的人解释道，这可能是盒子里的工厂。伴随设计环节简化，将不会有复杂程序的负担，也不需要操作熟练的劳动力。有了打印机，就不再需要大量的专业技能。但完全摆脱科学这一要素是不可能的，仍旧需要专业能力。如果只是生产零部件，就必然有待组装。这就需要一个熟练的或半熟练的工人来完成。你不可能只是点击打印按钮，就得到一个内燃机。增材制造会简化步骤，减少零部件数量，但仍旧需要工人进行组装。将人工智能、机器人、AR/VR（增强现实 / 虚拟现实）组合起来，可能会助力该项技术实现。

与传统制造业中使用大量非技术人员相比，使用增材制造的企业往往需要训练有素、技艺精湛的劳动力。一位专家表示，“国家工业生产所需的劳动力数量会大大减少，因为不需要人们在 100 万台机器前工作了。”增材制造可能会加剧中低技能劳动者的失业率、孤立感和疏离感，导致发达以及发展中国家的社会动荡。大量失业的、无依无靠的工人可能造成极大的安全隐患。此外，自动化增材制造业产生的丰厚资本回报，会进一步加重经济不平等，使过去三十年的趋势进一步恶化，导致社会不稳定。因此，对于美国的决策者而言，批判性地看待这些问题，持续推动并逐渐部署增材制造，使其利益最大化是至关重要的。

发展中国家经济不断独立，打乱当前世界秩序，其结果有利

又有弊。最不发达国家可以用最小的资本投资进行生产，而不是向拥有广泛生产能力的发达国家出口原材料。这会减少很多领域的援助需求，但同时也会拉大某些领域经济差距。而国家间以及人员流动性的增长可能取决于流动之初某些管理机构的决定和投资。

随着发展中国家不断增强增材制造能力，原材料出口可能会随之减少，尤其是对于某些高度依赖出口的国家，如中国。在一次采访中，一位专家解释“国家将有更多自主权为本国人民生产自己的产品。交易将更加昂贵。地理决定资源的所属，也许会成为一个新的现实。”随着增材制造出现，某些稀缺或地方性原材料、电子产品以及知识产权拥有量可能会决定未来国家的繁荣。

三、缓和策略与政策建议

在上述章节，我们介绍了增材制造的颠覆性潜能以及未来可能引发的安全威胁。然而，这一未来并非不可避免。今天国内和国际政策都有可能对未来产生巨大影响，因此在该项技术未成形前，现在我们有责任着手解决这些难题。未来威胁的相对风险和成本将取决于增材制造硬件（即打印机）、原材料、软件（即知识产权）的发展和规定。这三个因素代表增材制造的核心推动力量，而缺乏对任一要素的理解都无法化解增材制造的潜在威胁。

在最后一节中，我们会讨论解决增材制造安全威胁的三个一般策略：预防威胁、降低成本、归因和问责。在每一个策略中，我们都会讨论影响增材制造发展和扩张的政策选择问题。

1. 预防威胁

最佳的首要解决方案是防止分裂和攻击，在研讨会上我们讨论了多种实施的可行性。不幸的是，预防并非总是可行的，尤其是当美国是众多研发此项技术的国家之一。增材制造公司已经遍布世界各地，所以任何单方面的措施都将是无效的。在核技术出现早期，美国能够单方面采取措施有效限制其发展与扩散。但是当一项技术已经广泛应用或发展（如超音速武器），那么多边力量（如有关出口管制的多边协议）就十分必要。一项全面的监管措施必须有国内和国际的参与，以及公共和私营部门。增材制造可军民两用，如果不减少它的某些优点，则无法限制该项技术的传播。

鉴于这些条件，几乎没有什么措施能够真正防止武器的扩散。在硬件方面，国内能够通过后期检查和其他限制法规限制打印机的购买。在零售层面，这种管控能够阻止（或至少减缓）增材制造向暴力极端组织的传播。然而，随着增材制造进一步发展其自我复制能力，此类检查将会无效。这些规定将会阻碍该行业的发展，延缓增材制造巨大的正面效益的到来。此外，美国法规可以将该技术前沿推广至其他国家，如中国和俄罗斯，他们在未来可能会限制美国在该领域的竞争力。如果以更有针对性的方式专注物质控制，威胁预防可能会更有效。通过限制稀有或危险原材料的供应，监管者至少可以确保一些最具杀伤性的武器（如核或脏弹）不会轻易被暴力极端组织获得。虽然我们不能阻止那些别有用心的参与者利用增材制造生产复杂的爆炸装备，但决策者至少可以保护那些可以增强武器杀伤力的原材料不会落入他们手中。

同样，执法部门也可以通过监管线上社区减少这些致命发明的数字交易。随着实物管制不再那么奏效，警察和情报机构必须更加努力维护数字边界。一个心怀恶意的行动者既拥有打印机，又享有充足的原材料，要想制造危险武器，还需持有先进的软件以及数字设计。不幸的是，国内法规在该领域的努力是无效

的。毕竟，无论出口管制如何阻碍打印机和原材料的流动，信息交流还是很难控制的。正如一位专家所说："虽然使用3D技术很容易设计出产品，知识产权和计算机辅助设计文件的分配还是一个很大的难题。必须使增材制造具备快速复制并且进行轻微编辑的能力，以免违背专利法。"即使政策制定者能够加强专利立法，控制他们认为危险的思想的传播，线上社区、黑市和其他交易场所也能够制定任意数量的计划和方案设计将其传播到世界各地——盗版电影和音乐就是一个现成的例子。这个通信大道有一定的经济成本支持，更易窃取设计、复制一些先进的技术——再一次削弱出口管制的效益。此外，对于很多制造危险的人来说，违反专利法的诉讼威胁根本不会起到威慑作用。

2. 降低成本

多数情况下，这些预防措施不会阻止增材制造产生消极后果。监管、出口管制、条约、立法几乎不能组织一个有动机、财力雄厚、有组织的行动者最终获得该项技术。因此，决策制定者应当着重关注降低未来威胁成本的措施。

就硬件而言，有一种可能是要求新的或更加先进的设备进行联网打印机注册。防故障措施可能会限制某些未注册的打印机的功能。需要进行定期的互联网更新，否则，打印机将无法运行或失去某项功能。这些措施显然会面临来自打印机拥有者和运营商的不断挑战（如黑客袭击），他们可能会抵制此类监管和控制。生产者也有动机规避此类限制的动机。当用户找到规避或使此类措施无效的方法时，他们的有效性会随着时间的推移不断减弱。

或者，执法者可以利用增材制造软件来主动破坏潜在攻击或者限制其毁灭性后果。正如黑客可能利用网络战威胁安全和贸易，执法和情报机构也可采取类似的应对措施，破坏敌人的机器来减轻攻击的成本。通过渗透增材制造系统，敌人的打印机可能被破坏，软件崩溃，数字计划失效。每一项措施都会有助于降低增材制造产品的质量和杀伤力。然而，这些渗透措施也会引发一系列隐私和道德问题，波及范围是今天人类难以想象的。如果认为这种激进的措施是必要的，那么政策制定者在思考如何限制警察和情报机构采用网络设施保护个人隐私权方面必须格外小心。

关于经济错位，应当制定新的培训和教育战略为未来产业不断改变的技能需求做准备。在短期内，则需要技术人员和其他高度专业化、训练有素的个人生产和操纵这些增材制造产品。从长远看，重视人际互动的领域，如艺术、教育、服务业，可能会成为最不受干扰的行业，并且在未来的就业和职业技能培训中受到重视。

此类项目应当不仅提供基本的生活必需品和社会福利，也应当为受增材制造影响的失业人员和其他人口挽回尊严。这些项目可以通过增加自动化产业的税收得到资助，帮助重新分配增材制造产业的收益，同时抵消受该技术影响的某些社会群体的损失。在过渡到增材制造和自动化之前，必须充分考虑受科技进步取代引发的社会不安等危险隐患。对就业、移民和社会不满的比例和模式进行坚持不懈的调查将会使得公共和私营部门能够预测并减轻经济混乱造成的影响。

3. 归因和问责

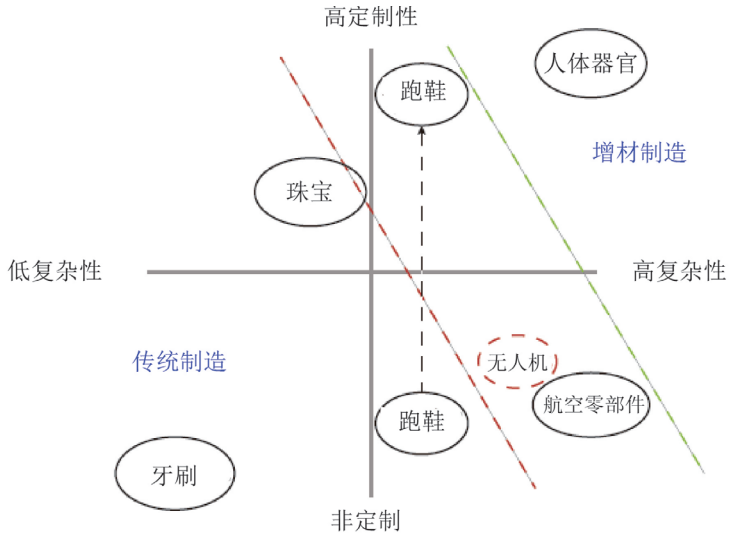
不幸的是，在某些情况下，降低成本是不可能的。对于无法阻止甚至破坏攻击的国家机构而言，归因和问责仍然是最后一根救命稻草。在一次和增材制造有关的攻击后，执法部门在追踪并追究肇事者责任方面将会面临新的挑战。决策者应当找出新的方案来支持该进程。举例来说，监管标准可能要求打印人员在其商品上打印特殊的标识码，方便归因。一位产业专家提出进行基因

标识打码，无法篡改或消除。对于材料的控制更加严格，尤其是使用稀有材料攻击后将更加有助于归因。

很多归因技术仍然处于发展初期，其可行性也有待考量。然而，考虑到预防和成本降低困难，归因和问责威胁有可能成为决策者最有望投入的领域。

4. 结论

为了更好地展现在监管干预中固有的复杂的权衡，我们重新以概念框架形式展现干扰的维度。图 3 类似于图 2，但新增了第二技术前沿（即绿线），代表一些拟定法规的潜在影响力。举例来说，假如决策者担心军用无人机在不加监管情况下，用家用打印机即可复制（即红线处）。对于零售打印机的尺寸和精密程度有了新的规定，决策者可以将技术前沿转换至右边。尽管这些新规可以解决无人机问题，但也可能会引发意想不到的后果。航空领域也可能会受增材制造的新规影响。新规对于其他领域也可能产生外溢效应（如制鞋业）。此外，这一政策方案也不会无限期保持下去。随着技术的发展，家庭使用者也可能会发现变通方法，从而使监管无效。尽管这个假设性例子过于简化，但它仍然把握住了新规的潜在紧张关系。决策者必须在面对风险无动于衷和干预成本间做出艰难的抉择。



来源：兰德研讨会采访及讨论结果

图 3　破坏的规模以及政策调控

最后，需要保持高度警惕心理。如果增材制造持续保持现有趋势发展，则很有可能对个人和社会造成巨大的安全威胁。然而，即便出台新规，仍然要面对无法预知的后果，进行复杂的权衡。举例来说，过度调节知识产权，决策者可能无意间限制了创新。虽然这些新规降低了暴力极端组织研发精密武器的可能性，但同时也减少了增材制造带来的潜在优势。而且，通过禁用某些原材料，政府可能无意间刺激了危险黑市的产生与扩张。完全预测个人和组织如何回应政策变动是不可能的。要想做到正确的权衡需要意识到这些潜在的问题，进行持续研究，听取相关行业和安全专家的见解。

任何一项新技术在带来好处的同时，也隐藏着潜在危险。在风险遍布的情况下，决策者必须开始应对增材制造引起的严峻的安全问题。今天所做的决定可以影响未来可能面临的各种机遇与威胁。虽然这篇简短的文章概述了增材制造可能带来的安全隐患，但仍然有待进行更多的研究。现在是时候开始思考这项强大的新技术令人惊叹的潜力以及可能带来的消极影响。MT

中国科协智能制造学会联合体发布“2018 智能制造十大科技进展”

2018 年 10 月 11 日下午，在 2018 世界智能制造大会“智领全球发布会”上，中国科协智能制造学会联合体主席团副主席、中国汽车工程学会理事长、中国工程院李骏院士代表中国科协智能制造学会联合体，隆重发布了 2018“世界智能制造十大科技进展”、“中国智能制造十大科技进展”（以下简称智能制造“双十”科技进展）。

发布会由中国科协智能制造学会联合体秘书长、中国机械工程学会常务副理事长张彦敏主持。南京市人民政府副市长蒋跃建，中国科协智能制造学会联合体主席团副主席、中国光学工程学会理事长、中国工程院院士、东南大学校长张广军，以及入选“双十”科技进展的企业代表、行业专家学者共 150 余人参加了此次发布会。我会作为中国科协智能制造学会联合体的秘书处挂靠单位，全程组织实施了“双十”科技进展的评选及此次发布会。

智能制造“双十”科技进展以智能制造技术及装备、智能化车间 / 工厂、智能制造基础、标准、新模式等作为维度，研究分析不同行业、不同企业推进智能制造的实践案例。从创新性、应用性、引领性、未来预期等方面考虑，在智能制造方面具有新颖

中国机械工程学会常务副理事长张彦敏主持发布会

李骏院士发布 2018 智能制造“双十”科技进展

2018 智能制造“双十”科技进展发布会现场

李骏院士和蒋跃建副市长为入选“2018 世界智能制造十大科技进展”的企业颁发证书

张广军院士和蒋跃建副市长为入选“2018 中国智能制造十大科技进展”的企业颁发证书

性或实质性的突破、改进；解决智能制造领域技术难点或行业热点问题；在劳动生产率、投资回报率、对生态环境和生活环境改善的贡献程度；以及对行业创新能力和竞争力提升有一定贡献。

入选的智能制造“双十”科技进展在科技和应用意义上不一定是最先进、最前沿的，主要反映了行业及专家关注的、对智能制造发展影响深刻的科技成果，旨在把握智能制造发展趋势，引导我国智能制造发展。

发布会上，李骏院士、张广军院士、蒋跃建副市长分别为入选 2018 智能制造“双十”科技进展的企业代表颁发了证书。

发布会最后，2 位院士与 5 家入选“双十”科技进展的企业代表，围绕对智能制造的理解、智能制造在制造业领域的突出作用、企业实施智能制造的过程中存在的困惑及相应解决方案等方面进行高端对话，与到会专家学者、企业家们一起展开思想的交流与碰撞。中国科协智能制造学会联合体常务副秘书长、中国仪器仪表学会名誉副理事长吴幼华主持高端对话。

2018 智能制造“双十”科技进展的发布与交流展现了制造业不同领域实施智能制造的典型案例与应用效果，更好地引导我国制造企业通过智能制造的实践实现转型升级，推动我国智能制造产业发展。MT

2018 智能制造十大科技进展

2018 年，中国科协智能制造学会联合体开展“智能制造科技进展”研究，以智能制造技术及装备、智能化车间 / 工厂、智能制造基础、标准、新模式等作为维度，持续跟踪发展与应用趋势，研究分析不同行业、企业推进智能制造的实践案例，依托 13 家成员学会及其专家研究、推荐，遴选出“世界智能制造十大科技进展”、“中国智能制造十大科技进展”（简称“双十”）。

评选出的科技进展在科技和应用意义上不一定是最先进、最前沿的，主要反映了行业及专家关注的、对智能制造发展影响深刻的科技成果，旨在把握智能制造发展趋势，引导我国智能制造发展。

13 家成员学会分别为：中国机械工程学会、中国仪器仪表学会、中国汽车工程学会、中国电工技术学会、中国电子学会、中国自动化学会、中国农业机械学会、中国人工智能学会、中国微米纳米技术学会、中国纺织工程学会、中国造船工程学会、中国宇航学会、中国光学工程学会。

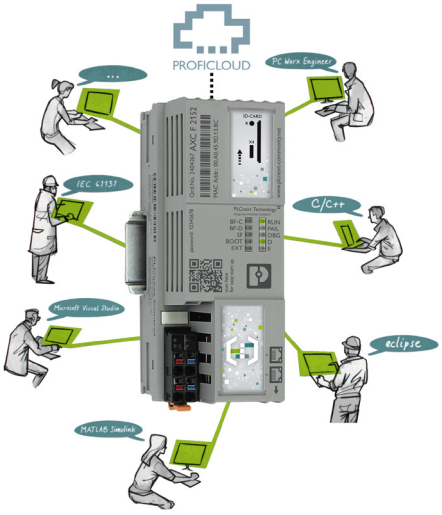
在此，中国科协智能制造学会联合体对参与评选的成员学会及其专家表示衷心感谢！

世界智能制造十大科技进展
（排名不分先后）

PLCnext 开放式控制平台
PLCnext--Brand New Open Control Platform

入选理由：

菲尼克斯 PLCnext 是面向先进制造的开放式控制平台。通过开放、灵活和社区化方式，以正向设计的思维，助力智能制造的实现。以 Linux 为操作系统，支持多种通信协议、编程语言，结合传统 PLC 优势，固化智能制造所需要的各种复杂技术，为企业留下快速自主开发的空间。包含：用于调度和协调管理多编程语言开发的功能函数 EMS 技术；用于保证并行函数间数据通讯的全局数据空间 GDS 技术。PLCnext 通过云互连，使跨国公司、跨地区公司工厂间的集中管理与监控变得简单；PLCnext 易于联调、节省成本，有效避免编程错误，可为调试节省至少 20% 的时间。



关键词：PLCnext；功能函数 EMS 技术；全局数据空间 GDS 技术

Q-DAS 智能质量大数据系统

Q-DAS Smart Data Quality System

入选理由：

海克斯康 Q-DAS 智能质量大数据系统的主要功能模块包括质量大数据、大数据建模、机器自学习及质量云平台。通过大数据分析理论、机器自学习等技术，实现以数据感知、数据处理分析、制造过程决策与支持、数据可视化技术为核心的智慧工厂全生命周期质量管理平台，加速数字工厂向智慧工厂的转型。包括：提供先进的统计过程控制理论及方法，减小生产过程中的变差；质量数据的可视化及实现更好的人机交互；对测量系统分析、加工及装配设备验收、过程能力评定提供一致的统计分析评价策略；提供质量大数据归档全面解决方案；实现全工厂质量数据的集中储存、管理及分析。

关键词：质量大数据；大数据分析；质量管理平台

Transparent Factory 数字化解决方案

Transparent Factory Digital Solutions

入选理由：

施耐德 Transparent Factory 数字化解决方案致力于生产制造企业实现端到端的透明化，通过 OT 技术与 IT 技术的深度融合，实现从数据收集、整理、分析到决策的闭环运营管理，解决传统制造业现场管理“黑匣子”的问题。解决方案基于 Ecotruxure 架构，数据总线承载数据间交换和业务的快速融合，通过业务模型库的驱动实现从数字化到运营能力的快速升级、快速部署，打造面向制造业多种生产模式的运营转型数字化平台。采用了平台 + 服务组件的架构模式，平台实现基础模型和服务的整体认证管理，通过服务组件与平台的即插即用，实现功能的快速部署以及平台功能的无限扩展。

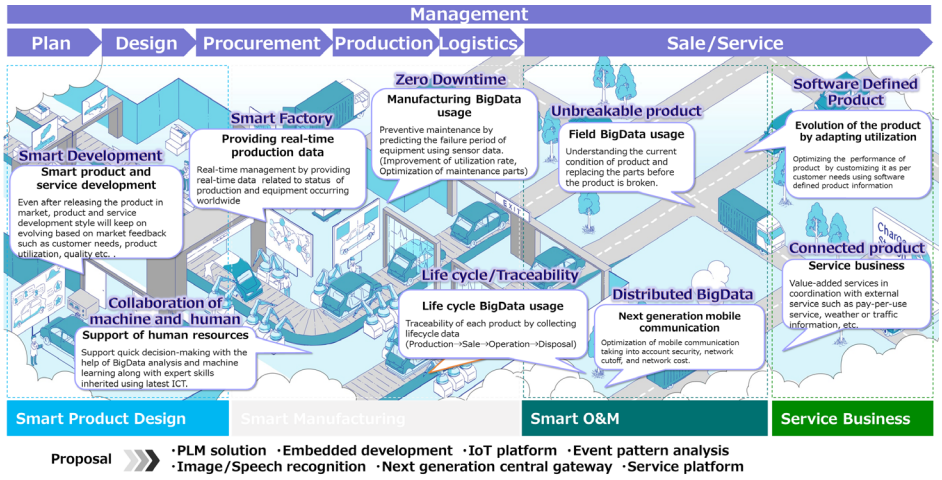
关键词：Ecotruxure 架构；闭环运营；管理数字化平台

支持物联网应用的实时数据平台

Data Connecting Platform for Manufacturing

入选理由：

东芝制造业物联网解决方案Meister系列，采用区分边缘（Edge）端与服务器（Fog/Cloud）端的构架，解决制造现场实时数据的完整收集问题，实现现场设备的实时控制与高效的数据传输；东芝自行开发的高扩张性NoSQL型数据管理系统GridDB，解决数据高速写入的难题；以高度通用性的数据模型为核心，提供物联网专用的信息平台Meister DigitalTwin，实现各类数据自动按照数据模型在保持关联性的状态下，以时间序列方式被存储，保证数据的可用性。



关键词：物联网；Meister；数据关联

人工智能技术在工厂运营中的应用

Application of AI Technology in Factory Operation

入选理由：

NEC结合先进的AI/IoT技术，提出新时代制造解决方案——“NEC DX Factory”，涵盖物料管理、生产/品质管理到整体运营管理等多个管理领域，针对物、人等制造要素形成：物体识别追踪、人脸识别考勤/监控、感情识别的作业人员行为分析、作业指导（声音识别）、AI外观检查等解决方案。NEC的人工智能产品群将适合制造领域的AI技术群精炼后，分为可视化、分析和对策三大体系，共22大类AI技术。NEC DX Factory解决方案可应对复杂多变的市场环境、劳动力问题以及更高的生产/品质要求。

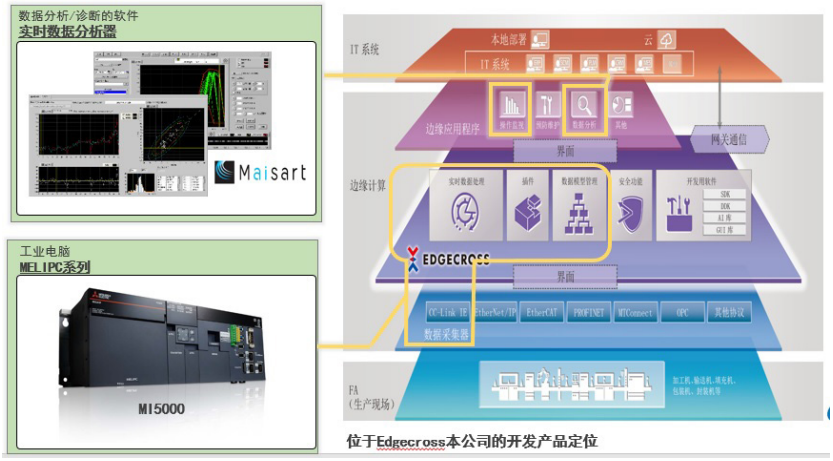
关键词：AI/IoT技术；人工智能产品群

人工智能与边缘计算技术的集成应用

The Integrate of Edge Computing and AI

入选理由：

三菱电机将人工智能技术 Maisart 和开放式边缘计算平台 Edgecross 融入 e-F@ctory 解决方案中，实现智能制造系统感知理解、分析预测、决策优化等应用。三菱电机开发的数据采集软件和边缘数据分析软件，对现场不同厂家、不同协议的设备数据进行高速采集、筛选分析后，应用于现场产品品质的判定、设备的预测性维护，及时将分析诊断结果反馈到现场，同时将需要的数据上传到服务器 / 云平台。边缘计算通过对客户生产工艺数据与产品成膜质量的多元回归分析，确立了预测成膜质量的公式，成膜工序前通过预测成膜质量，抑制不良品的发生。



位于Edgecross本公司的开发产品定位

关键词：人工智能技术 Maisart；边缘计算平台 Edgecross

Co-act JL1 人机协作机械手

Co-act JL1 Gripper for Human/Robot Collaboration

入选理由：

雄克新型抓取技术 Co-actJL1 协作机械手利用各种传感器来记录、评估和传达情景、环境和运行条件，并向控制和生产系统传输所有相关过程数据，着眼于物料智能流转、过程优化和连续记录，实现与人类的直接互动。其典型特点在于抓取力限制，在意外接触人体时会立即启用。在手指上安装测力爪，可自主判断接触物体是工件还是人体部位，实时调整机械手的行为方式。机械手将各种系统功能组合成一个智能系统，实现用户直观操作。

关键词：人机协作；机械手；三维空间检测

TSN+OPC UA 开放互联网络

TSN+OPC UA Industrial Network

入选理由：

TSN+OPC UA 网络打破了“信息孤岛”和各种垂直技术壁垒，促进产业上下游、跨领域的广泛互联互通，推动智能制造实现架构解耦和分布式计算。华为联合 AII、ECC、Avnu 联盟、沈阳自动化研究所、施耐德电气、英特尔等产业组织 / 伙伴，共同打造 TSN+OPC UA 开放互联网络，可实现：支持统一的 SDN 管理；支持实时软件容器环境和高精度时钟，实现微秒级低时延和纳秒级抖动；支持 1G 带宽，并支持向 10G/100GbpsTSN 演进；实现 OPC UA Pub/Sub 低时延轻量级协议栈，满足实时控制通讯的交互要求；根据准确时刻进行优先级排序，进行实时和非实时数据一致传输，真正实现机器、人、物联接的“一网到底”。

关键词：架构解耦；分布式计算；轻量级协议栈

铝轮毂全流程柔性智能制造

Integrated, Intelligent and Flexible Manufacturing Technology for Aluminum Hubs

入选理由：

万丰集团的铝轮毂混线柔性化智能工厂，全面集成多种自动化和信息化系统，实现数据自由流通、打破信息孤岛。通过工艺装备的数字化、管控的集成化和生产决策的智能化，实现了铝轮毂全流程的数字化集成，包括：基于车间物联、业务流拉动，实现各应用系统平台间的无缝整合；开发机器人柔性智能加工线，构建包括铸造、热处理、机加工、打磨抛光、喷涂等环节的柔性自动化智能加工单元智能物料输送与缓存系统；实现异地协同设计、产线仿真优化生产调度体系、人工智能技术与应用场景结合。最终形成铝合金车轮离散型智能工厂的标准。

关键词：铝轮毂；数字化；柔性；智能生产线

中国智能制造十大科技进展

（排名不分先后）

筒子纱自动化染色智能制造技术与装备

Intelligent Technology and Equipment For Automatic Cone Yarn Dyeing

入选理由：

传统筒子纱染色存在用工密集、生产效率低、染色质量稳定性差、能耗高废水排放量大等问题，山东康平纳集团有限公司与机械科学研究总院集团协同研发筒子纱自动化染色智能制造技术与装备。包括：研发筒子纱数字化自动染色工艺、生产流程自动化成套装备、生产全过程自动控制系统；建立筒子纱智能染色工厂。实现筒子纱染色从原纱到成品的全过程数字化自动生产，完成从手工机械化、局部自动化到全流程数字化、自动化染色的跨越。纱线染色一次合格率提高至 98% 以上，减少用工 80%，生产效率提高 28%，能源利用率提高 25%，节约染料 5%-10%。

关键词：全流程数字化；自动化染色智能工厂

船海工程机电设备智能制造系统集成

Marine &Offshore Equipment Intelligent Manufacturing System Integration

入选理由：

针对船海工程机电设备大型、成套、非标及单件小批量、个性化定制的特点，武汉船用机械有限责任公司以“全面数字化、核心智能化”为目标，建立船海工程机电设备智能制造系统集成方案。重点开发：具有刀具磨损监测与实时调整功能的智能加工单元；具有防呆防错功能的智能装配单元；以大型焊接机器人为核心的高精度复杂构件智能焊接单元。该集成方案应用于调距桨、起重机、货油泵等典型船海工程机电设备的制造过程中，实现产品升级周期缩短 30% 以上，产品不良品率降低 20% 以上，生产效率提高 20% 以上，运营成本降低 20% 以上，能源利用率提高 10% 以上。

关键词：防呆防错功能；智能装配；智能焊接

多机型发动机混线柔性制造

Flexible Manufacturing for Multi-type Automotive Engines

入选理由：

宝沃汽车基于制造业本质——“质量、效率、成本”，打造高质量、高效率、高柔性多机型发动机智能制造生产线。科学合理地布置传感器、PLC、RFID、机器人及其他智能设备，建立工厂制造全流程全要素的泛在感知；构建兼容多种通讯协议的车间级工业互联网架构，实现人、机、物互联互通；构建集团级互联网体系，实现全业务的横向集成和智能管理；打造工厂层级工业互联网平台，实现 IT 和 OT 的纵向集成；结合精益制造理念和智能制造使能技术，对能源进行精益化管理。该生产线实现 2 个平台、4 种排量、8 个品种、超过 30 款汽车发动机的共线生产。

关键词：工业互联网架构；泛在感知；共线生产

家电行业全流程数字化协同制造

Whole Process Digital Collaborative Manufacturing in Electrical Appliance Industry

入选理由：

格力电器以基于模型 MBD 技术为主线，打造家电行业统一的智能制造示范平台。以统一的智能制造平台为基础，实现基于模型 MBE、数据驱动，打造数字化连续的智能制造业务模式。包括：实现数据驱动的虚实结合技术；基于模型的产品全生命周期研发设计管理；基于模型、数据联动的工艺仿真管理；车间现场工业互联的智能制造；按需拉动式智能物流管理；可视化、智能化车间现场协同管理，建立家电行业智能制造示范工厂。可使产品研制周期缩短 30.3%，生产运营成本降低 36.2%，生产效率提升 20.7%，产品不良品率降低 10% 以上。

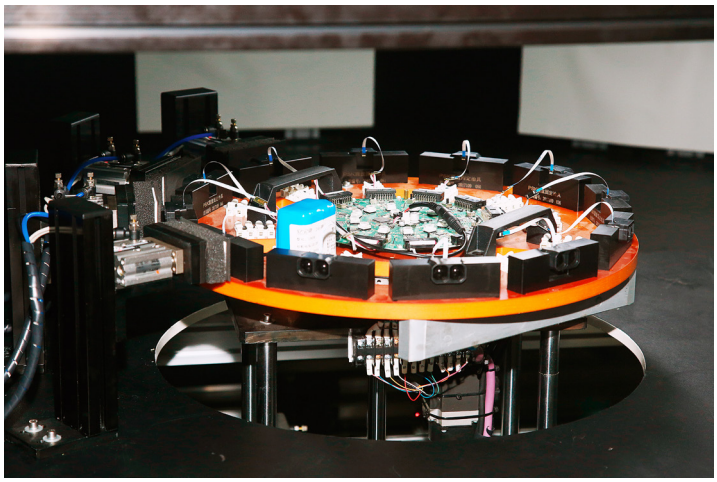
关键词：全流程协同；MBD 技术 ；模型 MBE

传感器产品和工艺数字化设计平台

Sensor Developing and Production Planning Digital Platform

入选理由：

上海兰宝传感科技为适应传感器行业多品种小批量的特点，围绕主流产品建设智能传感器数字化制造车间，包括 6 条智能传感器生产线。重点开发 SimuLab 数字化平台，在整合先进虚拟仿真等“硬技术”基础上，注入传感器设计开发工程师的“软技术”，在产品初始设计阶段快速构建电磁学、光学传感物理仿真模型；在生产设计规划中将工厂、工段、工序、工位各要素全面建模，并进行过程的沙盘推演。实现传感器生产的产品虚拟设计、工艺布局动态仿真。极大提升产品研发向生产转换的成功率和设计规划方案的可行性。在精密仪器、智能仪表、精密零部件、智能装备制造等行业有较好的应用前景。



关键词：SimuLab 数字化平台；智能传感器

农业全程机械化云管理服务平台

Agricultural Machinery Management &Service Cloud Platform

入选理由：

针对农机可靠性和安全性低、作业过程粗放、全程作业服务管理缺乏等问题，中国农业机械化科学研究院重点突破农机耕、种、管、收全程精准测控技术，构建具备信息收集与发布、农机定位与作业检测与监管、农机调度与运维、农事决策管理、数据分析与作业结算等功能的农业全程机械化云管理服务平台以及手机 APP，形成农机作业质量在线检测、作业数量远程监管和作业补贴在线发放的“吉林模式”。目前，已在吉林、内蒙等 22 省开通服务，作业面积 2600 余万亩，管理补贴资金超过 2.8 亿元，生成有效作业数据 12T，农业生产管理效率提升 50% 以上。

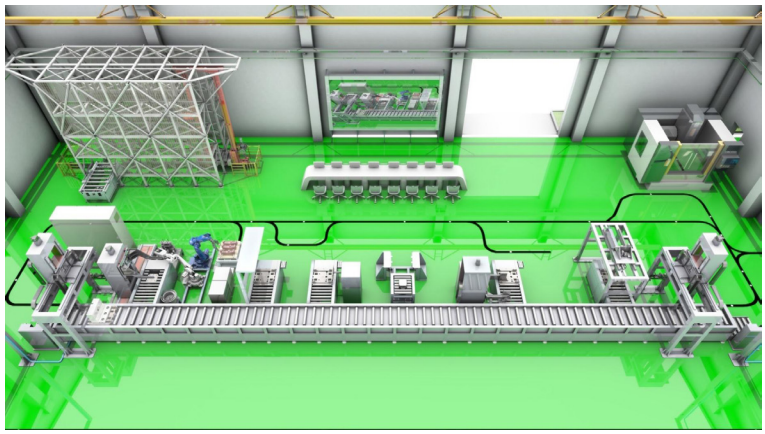
关键词：农机全程作业；精准测控；云管理；服务平台

中低压输配电装备智能工厂

Smart Factory of Middle and Low Voltage Transmission and Distribution Equipment

入选理由：

西电集团提出具有行业特征的智能化工厂体系架构模型，定义智能化工厂功能框架及信息流，纵向打通“ERP-MES- 设备监控 - 生产线控制”，横向打通“设计 - 工艺 - 制造 - 试验”的主线，将数字化模型贯穿于产品全生命周期。通过虚拟仿真分析指导实际生产优化运行；利用车间实时数据驱动虚拟模型实现生产现场的三维可视化监控；构建符合行业的智能化工厂评价指标体系，从制造维和智能维提出明确的评价方法；构建行业智能化工厂示范平台，将智能化示范产线与智能制造系统结合，模拟完整的智能化工厂，通过系统集成实现工厂的互联互通，为智能化工厂在行业的应用提供示范。



关键词：功能框架；三维可视化监控

大型构件多机器人智能磨抛加工技术

Multi-robot Based Intelligent Grinding Technology for Large-scale Components

入选理由：

大型构件多机器人智能磨抛加工技术与装备，攻克了“手 - 眼”快速标定、三维匹配与视觉定位、离线编程、型面误差检测、在线检测软件、磨抛工艺机理等多项关键技术；准确获取构件在机器人系统坐标系下的空间位置，并实时反馈构件运动信息，保证大型复杂构件型面局部位置精度控制在 0.5mm 以内；有效规避机器人运动干涉，实时反馈系统故障，保障机器人在复杂约束下作业安全性。依托研究成果，无锡中车时代实现了大型构件，即总长超过 59.5m 的大型风电叶片高可靠、低成本、高效率、高柔性智能化磨抛。

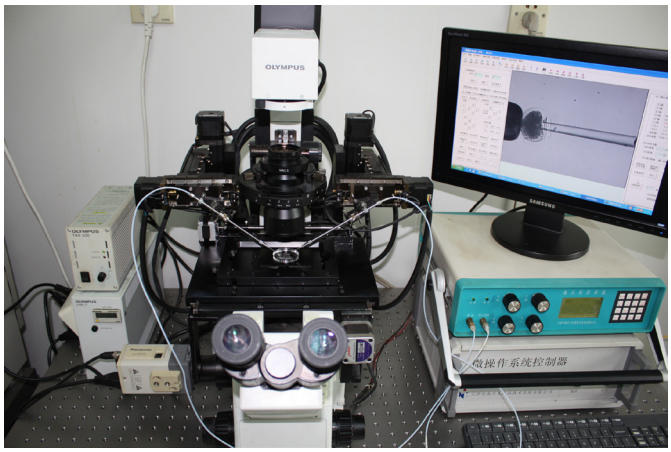
关键词：“手 - 眼”快速标定；型面误差检测；三维匹配；视觉定位

面向生命科学的原位显微分析与操作仪

Life Science Oriented In-situ Micro Inspection and Manipulation System

入选理由：

南开大学研制的面向生命科学的原位显微分析与操作仪，具有可视化、微创化、定点化、定量化功能，集检测分析与操作于一体等特点，是微操作机器人技术领域的一项突破。该成果将操作者从繁重的手工细胞操作中解放出来，解决了广泛应用克隆技术的瓶颈问题。创新点在于：建立面向细胞级操作的原位显微分析与操作系统；建立面向组织发育的数学生物学仿真平台。面向生命科学的原位显微分析与操作仪，实现数千例机器人化细胞核移植的全流程操作，将标志克隆成功的囊胚率从手动 10% 提高到 21%。将 510 个重构胚移植到 6 头代孕母猪中，其中 2 头怀孕，诞生了世界首批机器人操作的 13 头克隆猪。



关键词：微创化；定点化；数学生物学仿真平台

数控机床在机测量与智能修正技术

On-machine Measurement and Intelligent Modification Technology for CNC Machine Tools

入选理由：

北京精雕研发的数控机床在机测量与智能修正技术，通过精准测量和过程管控，替代传统的离线检测方式，实现了制检合一的制造模式，促进工厂检验向智能化转变。该技术保证了数控机床测量精度的准确度和稳定性，助力切削工艺的智能化，大幅提升生产良率和品质管控效率。从粗活精做、零点快换夹具、多轴组合加工、数字孪生技术和计算仿真分析等方面出发，挖掘数控机床的智能加工功能，标准化客户生产工艺制程，降低辅助工作量，提升实际产能；量化环境要素与品质之间的关系，协助客户改善生产环境。该技术应用于精雕自产的高速加工中心、雕刻中心等系列机床产品及其制造过程，其客户群体超过 1 万家。

关键词：生产工艺制程；标准化；智能修正；制检合一 MT

“2018 智能制造十大科技进展”入选企业高端对话

为把握智能制造使能技术在全球的发展前沿和应用趋势，借鉴和深入剖析国内外智能制造解决方案的案例和实践经验，共享全球智能制造的成功案例和应用成果，积极引入能推动智能制造发展的最新成果、领先技术和高端产品，在世界智能制造大会“智领全球发布会”上，特意邀请入选 2018 智能制造十大科技进展的企业代表、行业内的院士举办了一场高端对话，与到会专家学者、企业家们一起展开思想的交流与碰撞。中国科协智能制造学会联合体常务副秘书长、中国仪器仪表学会名誉副理事长吴幼华先生主持了此次高端对话。

议题一：对智能制造的理解

彭晓伟（菲尼克斯（中国）投资有限公司行业发展与自动化副总裁及总经理）：智能制造是针对生产制造过程，第一是精益化，第二是自动化，第三是数字化，第四是云端的信息化，这些都是通过 IT、OT，大数据以及云计算技术的集成，得以实现整个生产过程的智能制造。近两年来，还有一个趋势就是，随着人工智能的蓬勃发展，人工智能现在也逐渐融入智能制造，我们原来谈

高端对话嘉宾（左起）：吴幼华（主持人）、戴高敏、曹晓兵、彭晓伟、李骏、张广军、刘琳、严思杰

智能制造是从IA（Industrial Automation）开始，人工智能是AI，有些人理解，IA+AI就是智能制造。现在各种技术的发展使得制造变得越来越聪明。另外，从客户端来讲，随着智能制造的发展，客户体验也是越来越好，从端到端的下单定制，对产品的生产过程，交付到最后的服务，客户有全面清晰的了解。作为制造企业来讲，通过数字化实现产品从设计、生产、交付到最后的维护整个全生命周期的智能管控，这是我对智能制造的理解。

简单提一下PLCnext，这是菲尼克斯在两年前重磅推出的革命性产品，它是一个端对端完全开放的平台，集成了硬件通讯和软件编程的开放性，使得企业的生产过程数据能够从底层直达企业云端，打通了企业的数据链。另外切入了数据安全防护系统，使企业的数据更安全，给企业提供了新的独特的解决方案。

曹晓兵（软通智慧科技有限公司副总裁、边缘计算产业联盟副秘书长）：简单的谈一下粗浅的认识和理解，我认为智能制造可以从狭义和广义两个维度来讲。从狭义角度讲，就像彭总讲的一样，包含了整个设备、产线、厂区的自动化信息化智能化；从广义上来讲，包括了整个的产业链条的信息化、智能化，以及上下游的产业，信息技术、通信技术与制造技术的高度融合，更广泛的说它是一种新的、商业模式的创新，过去是B2C，未来的趋势则一定是基于个性化需求的柔性制造。现在很多企业，如制衣公司、家具公司都已经在尝试。未来的趋势一定是C2B的，消费者提出需求，制造企业提供更多个性化的生产制造能力。

戴高敏（日电信息系统（中国）有限公司制造装置系统事业部总经理）：我想从几个方面谈谈我的理解。

从经济角度讲，现在互联网经济、共享经济的发展促成了新的经济模式的产生，刚才有嘉宾讲到按需生产，为什么呢，消费方式已经发生改变，生产方式不改变肯定是不行的。

从社会角度，大家关注环保、食品安全以及现在劳动力老龄化问题，社会民生问题在中国也比较突出，所以在这种大背景下，从战略上制造业必须要转型，怎么转，往哪个方向转，智能制造就是将来的目标。

针对此目标，从技术角度，要搞清楚自己现有的基础技术条件。人工智能的蓬勃发展为智能制造提供了必要的技术支持，同时在美国、德国等国家的企业提供了很多先进的案例，中国的企业可以学习这些先进的东西，但是大家也知道，实际上中国与这些发达国家也存在着一些更深层次的竞争，逼迫中国制造业必须要转型，这是其一。其二，智能制造的智能化不是一个突然出来的概念，它是信息技术发展到一定阶段必然的产物，尤其是人工智能。国内发布了很多人工智能的规划，因为它实际上已经作为一项技术能够产生一些社会推动作用。日本提出了“社会5.0”的概念，它是基于信息社会提出“社会5.0”，简单讲就是超智能社会，核心就是人工智能。所以，智能化就是一个社会技术发展的必然趋势。

那么如何实施智能制造呢，希望大家能够结合自己的行业特点、自己所处的不同阶段，不要盲目的、非常简单的拿来主义，而是有的放矢、融会贯通的去推行智能化。中国工程院发布的智能制造三步走的战略，数字化、网络化、智能化就非常好。

李骏（中国工程院院士、中国汽车工程学会理事长、清华大学教授）：智能制造是人们一种理想的实现，这是从最广泛的意义上来说的。实际上，智能制造首先第一步是数字化，如果没有数字化，后续工作也无从谈起。如果大家只看到制造的环节去谈论智能制造，这种智能制造就不会是人们理想的这种智能制造，智能制造必须从制造的上游谈起，这个上游就是指设计。如果设计不是数字化，制造的环节就做不

到数字化甚至可不测量，所以对于各行各业来说，智能制造要更加重视制造的上游即设计。智能制造最大的作用在于它能够给人们带来一种创新，我国在创新方面能力不强，在很大程度上就是设计不强导致。所以我个人的感受就是，我们若想在智能制造方面走到世界前沿，要向智能制造的上游出发，从设计出发，这样智能制造才是有源的制造服务。

张广军（中国工程院院士、中国光学工程学会理事长、东南大学校长）：现在全球面临着新一轮的科技革命产业变革，在这个过程当中，智能制造是科技革命与产业变革的核心技术。智能制造和自动化的生产线还是不太一样，前 10 年、前 5 年，我们谈生产线的制造、CIMS 等等，但是智能制造的范围应该更广，它涉及的不仅仅是自动化，还包括自动控制、大数据、云计算甚至人工界面、美学、艺术、服务诸多领域，基于此，智能制造成为工业 4.0 的一个典型领域。个人感觉智能制造涉及很多技术，从整个生产的方向来讲，有一些比较独特的方面：更加的精准、更加的精细、更加的高效、更加的智慧、更加的多领域、更加的跨区域、更加的服务。智能制造不光是一种生产模式，刚才有老总就讲它是一种商业模式，个人觉得它更是一种服务模式，它满足人们对美好生活需求的更加的平衡、更加的充足。而现在，我们所谈论的智能制造在自动化层面更多一点。

智能制造是一种更广义的制造，其前景无限，随着诸多技术的参与，诸多技术的应用，它定能使人们的生活变得更加美好。

议题二：实施智能制造的效果以及企业实施当中的困惑

刘琳（山东康平纳集团有限公司总经理）：个人认为，智能制造在传统行业中最突出的贡献就是，把原来人员密集型的工作转向了技术密集型工作，对于提高产品质量起了很大的作用，并且使得产品更加绿色、更加节能。康平纳在这方面取得非常好的效果，与印染行业传统企业相比较，康平纳现在做到了节省人员 80%，提高效率 35% 以上，节能减排达到 50% 以上，这是非常明显的一种提升。谈到面临的困惑，就是人才团队的建设，管理团队的建设遇到一些困难。传统行业的一些高技术人才，大部分都在一二线城市，且从事实体经济的人才比较少，特别是传统实体经济里人才还是比较少。希望国家能在这方面出台一些好的政策和措施。

我们和机械科学研究总院合作，用了四年的时间，花费了 9.75 亿元经费，一点点从人工工艺改进到自动化工艺，再到数字化工艺一直到目前，做了大量的模块，花费了大量的人力和物力，将传统纺织行业中印染的智能化水平提升到在国际领先的水平。我们在全国建了很多工厂，推行智能制造给我们提供了非常大的便利，可以统一排产、布产、销售视察，直到付款等。

严思杰（无锡中车时代智能装备有限公司总经理）：实施智能制造，对我们这样一家人员比较年轻的、成立时间不长的公司来说，还是比较困难的。主要就是智能制造对人的要求，比如一条生产线涉及结构、电气及整个系统，再比如像风电叶片这种大型构件的质量评估，这些对我们公司而言面临着很大的挑战。对于公司来说，智能制造需要全面的人才队伍，如何培养出适合公司发展的人员，并把他们留下来，这是我们面临的主要问题。

我们通过数字化、智能化技术集成，在一个大的平台上，进行统一的数字计算，把人工的经验转移到机器上，进行生产过程的有效控制，成功实现国内首台套全数字式的机器人打磨，公司现有三条线已经投入使用，效果非常好。同时，我们又将这项技术应用到新能源客车的制造，从一班八个人，干四小时，实现两

台机器人两个小时完成同等工作量，效果同样非常好。军事行业的潜艇打磨也可以使用到这项技术，应用前景宽广。运用这项技术也很好地解决了困扰打磨行业多年的粉尘污染问题。

曹晓兵：实施智能制造，实现保值增产增效，同时通过这几点带来商业的创新、服务的创新、产品的创新。目前，我个人觉得面临的问题或挑战可能有三点：第一点，“智能”一定是要基于很好的发展基础，国内智能制造发展阶段如果说有四个阶段，即自动化、信息化、数字化到最后的智能化，而我个人感觉目前产业发展阶段处于自动化向信息化的阶段，而且相对靠前，如果没有真正实现数字化，也很难实现智能化；第二，我们还没有形成一个标准的“产品”，即能够提供可复制的解决方案还不太多；第三，从商业的分工、商业价值方面，我们没有形成一个很平衡的逻辑，比如，如何通过信息技术、通信技术去支撑制造技术的发展，能够带来更多的效益，在提升效益的同时反哺过来，让信息技术企业、通信技术企业也能从里面分一杯羹，这也是我们面临的一个挑战。

互动环节

李奉珠（北京宝沃发动机厂副厂长）：刚才几位老总提到智能制造的这些理念，宏观上来讲，我们觉得制造是一个大的概念，同时，具体在工艺层面、设计层面、创意式层面等这样一些小的层面也要实现智能制造。同时大的系统也要实现上下游供应链系统，这些环节都要做智能制造方面的工作。想请台上嘉宾分享一下 AI 技术、区块链技术在智能制造造方面的一些应用或者展望，谢谢。

张广军：实施智能制造是个体系建设，不是一个单项技术，不管是 AI 还是区块链，只是提供技术之一，再过五年、十年，大家可能又不太谈这个东西了，智能制造内涵又发生新的变化，所以智能制造是一定要谈体系的，什么体系呢？是一个产品生命全周期的制造、商业和服务模式的体系。比如“中国智能制造十大科技进展”里的“农业全程机械化云管理服务平台”，就有点这个意思，农业机械化的整个过程及其维护，通过信息化手段传输，在云端处理。所以 AI、区块链只是技术之一，随着时间的变化，智能制造可能有新的内涵。总之要将智能制造当作一个体系去建设，同时一定要致力产品全生命周期的制造、服务的模式探索。这才是关键所在。

赵新（南开大学人工智能学院副院长）：诸位企业家能否谈一谈，实施智能制造，对学校有哪些要求。

李骏：正如张广军院士所说，智能制造是一个体系建设，所以就要求从业人员有全流程全系统的知识，要有深度和广度。我们现在非常缺少具有综合性知识、综合素质高的人才，所以现阶段我国智能制造的水平与国际上还是有差距的。刚才有专家谈到数字化，为什么国内企业很多还没有实现数字化呢，不是说企业不想数字化，而是企业不知道该怎么把生产过程数字化，企业没有这方面的知识，因而也就没有实践的机会。作为大学来说，很多高校都在追求发表 SCI、EI 论文的指标，我个人感觉没有必要过分追求这些数据指标，一定程度上追求这些指标对人才培养不利，SCI、EI 论文限制了学生学习知识的广度，只有在某一领域钻研的很深很深，才有可能写出符合 SCI、EI 的论文，学生将大量的时间花在了论文上而失去了实践的机会，从这种意义上讲，我们的教育理念、导向真是到了要改一改的时候了。MT

（注：本文依据现场录音整理，未经本人审定。）

中国机械行业卓越工程师教育联盟 2018 年理事大会在天津举行

10 月 27 日，中国机械行业卓越工程师教育联盟 2018 年理事大会在清华大学天津高端装备研究院举行。本次会议由中国机械行业卓越工程师教育联盟、教育部高等学校机械类专业教学指导委员会、中国机械工程学会主办，清华大学承办，清华大学天津高端装备研究院协办。天津市东丽区区委书记夏新，清华大学校务委员会副主任韩景阳，中国机械工程学会监事长、中国机械行业卓越工程师教育联盟理事长宋天虎，教育部高教司理工处副处长杨秋波，上海交通大学校长林忠钦院士，清华大学机械工程学院院长、清华大学天津高端装备研究院院长雒建斌院士等出席会议。来自全国 132 所高校、全国 33 家企业的 550 余名代表齐聚天津，围绕“工程教育 引领未来”主题，结合联盟发展实践，共议中国高等工程教育发展的新思路、新举措。大会由清华大学教授、联合国教科文组织国际工程教育中心副主任兼秘书长王孙禺，中国机械行业卓越工程师教育联盟秘书长何存富主持。

会议现场

开幕式上，天津市东丽区区委书记夏新致欢迎词，夏新书记表示，清华大学天津高端装备研究院落户东丽后，在高技术研发和高层次人才聚集等方面发挥了重要作用，本次会议也为工程教育搭建交流平台提供方向。

清华大学校务委员会副主任韩景阳代表清华大学致欢迎辞，韩景阳表示，“中国机械行业卓越工程师教育联盟”的成立，是应时代的需求而产生的。“联盟”建立起了企业界和教育界的纽带。2018 年“中国机械行业卓越工程师教育联盟会议”在清华大学天津高端装备研究院召开，有着重要的意义。

中国机械工程学会监事长、中国机械行业卓越工程师教育联盟理事长宋天虎在会上发表了题为“不忘初心 追梦前行”的演讲，回顾了卓工联盟过去一年所做的工作、取得的成绩并提出了卓工联盟轮值工作第三年所需探索的问题。

天津市东丽区区委书记夏新致欢迎词

清华大学校务委员会副主任韩景阳致欢迎词

中国机械工程学会监事长、中国机械行业卓越工程师教育联盟理事长宋天虎发表演讲

教育部高教司理工处杨秋波副处长做了题为“新工科建设与卓越工程师教育培养计划 2.0”的主题报告。在报告中，他结合全国教育大会精神学习，分析了党和国家事业发展对高等教育需要的迫切性前所未有、高等教育所面临的重大机遇前所未有、高等教育内部的巨大变革前所未有、高等教育所积蓄的动能和所蕴含的希望前所未有。新时代呼唤高等教育创新，必须以高等教育创新引领大国崛起。杨秋波副处长还介绍了当前新工科建设的主要进展。最后，他提出要以新工科建设理念为先导凝聚更多共识、以项目群为平台加强交流合作、以统筹内外资源为途径加大支持、以需求为牵引开展多样化探索，加快实施“卓越工程师教育培育计划 2.0”。

清华大学机械工程学院院长、清华大学天津高端装备研究院院长雒建斌院士从 2050 年的主要工程技术、2050 年工程教育的需求及 2050 年工程教育的目标等方面讲解了未来 30 年工程发展与教育之思考，提出了未来引领人才工程教育的“双 T”理念（创新的思想 CreativeThoughts、领先的技术 Leading Technology），以及校企合作“握手区”模式。

西安交通大学校长助理洪军做了联盟第二年工作报告，从联盟的宗旨与工作计划、联盟年度工作汇报及联盟工作推广与成效等方面报告了联盟为我国机械行业新型工程人才培养所做出的贡献。

大连理工大学李志义教授做了题为如何从“形似”到“神似”我国工程教育专业认证的“最后一公里”的报告，从何已“形似”、何未“神似”、何以“神似”3 方面论述了如何做成果导向教育。

中航工业成都飞机工业集团有限责任公司庞剑英从校企协同育人，人才助力企业发展等角度做了报告。

大会现场还颁发了第二届毕业设计大赛优秀组织奖，重庆大学、河北科技大学等 20 所高校

教育部高教司理工处副处长杨秋波做报告

中国机械工程学会常务理事、清华大学机械工程学院院长、清华大学天津高端装备研究院院长雒建斌院士做报告

中国机械工程学会常务理事、西安交通大学校长助理洪军做工作报告

大连理工大学李志义教授做报告

中航工业成都飞机工业集团有限责任公司庞剑英做报告

第二届“恒星杯”毕业设计大赛优秀组织奖

分会场一：校企合作项目对接会

荣获优秀组织奖。

大会报告结束后，与会专家、学者还开展了分会场研讨。

分会场一是校企合作项目对接会。带资毕业设计项目是联盟第三届毕业设计大赛新增的题目类型，清华高端院洛阳基地张妍在会上介绍了带资毕业设计项目管理办法，沈机集团昆明机床股份有限公司等出题企业在会上进行了带资毕设题目发布，随后联盟高校与出题企业就带资毕设进行交流洽谈并初步形成了合作意向。德铁工程与咨询公司的Samjatin先生、北京精雕集团李渊志总裁助理、中车株洲电力机车有限公司基础研究与仿真部蒋忠城部长分别在会上作了报告，分享了企业在校企协同育人方面的经验。会上，联盟、德铁公司分别与清华大学天津高端装备研究院签订了关于共建实训基地的协议，共同探索新模式实践育人。本次校企合作项目对接会，不仅搭建了校企之间的沟通桥梁，也探索了校企协同育人的新模式，为校企共同培养新形势下能够快速适应企业发展的复合型人才奠定了基础。

分会场二在“全国机械制造教学研究会”的组织下，研究会发起人西安交通大学校长助理洪军教授首先阐述了研究会成立来由和未来发展，研究会秘书长西安交通大学张俊教授对过去一年研究会的工作进行了汇报。来自

中国机械行业卓越工程师教育联盟、德铁公司分别与清华大学天津高端装备研究院签订关于共建实训基地的协议

分会场二：机械制造课程教学研讨会

浙江大学、华中科技大学、北京理工大学、西安交通大学等 20 余所高校，40 多位老师和企业代表对研究会组织的前期课程知识点建设、课程的实验教学、课程设计、考试考核环节进行了详细讨论。本次全国机械制造教学研讨会形成了多校联合精品课建设的氛围，对今后机械制造类课程内容的完善和发展起到了指导作用。

分会场三为智能制造专业委员会成立大会暨第一次工作交流会。包括专委会主任委员、副主任委员、企业常务委员、高校常务委员、高校委员以及其他自主参会代表共 150 余人参加了本分会场会议。会议的第一阶段为专委会成立大会，由王树新秘书长主持。会议通过了专委会工作条例和专委会组成机构名单。探讨了专委会工作任务，并对 2018-2019 工作计划进行了安排。会议第二阶段为大会交流，由副主任委员顾佩华教授主持。来自西安交通大学陈雪峰教授、西北工业大学张映锋教授、同济大学陈明教授、汕头大学吴涛副教授、哈尔滨工业大学闫纪红教授和宁夏大学张波教授分别就智能制造技术、智能制造工程专业建设、新工科智能制造项目等问题进行了交流；南京南戈特智能技术有限公司罗峰副总经理就智能制造领域的校企合作模式进行了探讨。最后，中国机械行业卓越工程师教育联盟宋天虎理事长分析了中国智能制造技术现状，并对专委会的下一步工作提出希望。

第四分会场为“专业认证交流研讨会”，由湖南大学实验室建设设备管理处处长、机械类专业认证专家杨旭静教授主持。研讨会上，专家代表就工程教育专业认证工作中的关键问题及各高校在认证中的经验等内容做了主题报告。天津大学胡绳荪教授作了题为“专业认证新要求——基于 OBE 的课程建设”的报告；西安交通大学王永泉研究员结合该

分会场三：智能制造专业委员会成立大会暨第一次工作交流会

分会场四：专业认证交流研讨会

校开展机械工程专业认证的工作实践，分享了认证经验与思考；天津理工大学副校长郑清春教授的报告探讨了学校层面在工程教育专业认证工作中的顶层设计和政策引导作用。大连理工大学孙晶副教授从专业教师的角度，以两次专业认证为时间线，以专业教师的心路历程为空间线，介绍了专业教师认证理念的形成及专业教师认证理念与专业认证状态保持之间的关系。北京工业大学何存富教授从认证专家、校长、院长、教师、学生等角度，全面而客观的分析了工程教育专业认证在不同主体下呈现出的特点。随后，与会者就本专业在工程教育专业认证过程中的难点、问题与专家代表进行了现场交流讨论。

本次大会的圆满召开促进了高校间、校企间的交流与合作，为中国机械行业卓越工程师教育联盟的发展壮大做出了贡献！与会专家、学者就机械行业卓越人才培养模式进行深入研讨，碰撞出了火花，助力机械行业的人才培养和发展！MT

附：第二届毕业设计大赛优秀组织奖获奖高校

重庆大学、河北科技大学、北京工业大学、合肥工业大学、西安理工大学、兰州理工大学、厦门理工大学、北京交通大学、江苏大学、哈尔滨石油学院、上海交通大学、盐城工学院、沈阳工业大学、长江大学、太原理工大学、重庆科技学院、青岛理工大学、河海大学、黑龙江工程学院、浙江大学

第24届北京 · 埃森焊接与切割展览会

THE 24th BEIJING ESSEN WELDING & CUTTING FAIR

2019年6月25-28日
上海新国际博览中心

Shanghai New International Expo Center

June 25-28, 2019

微信二维码

CMES 中国机械工程学会 · 焊接学会 CMES · CWA 焊接设备分会 · DVS German Welding Society · MESSE ESSEN Place of Events

www.beijing-essen-welding.com

www.埃森焊接展.com