

MT 机械工程导报

Mechanical Engineering Trends

<http://www.cmes.org>

2018 年第 2 期 总第 195 期

工科之“新”的文化高度（上） p01

中国制造的激荡四十年：中国做对了什么 p06

正在进行的“工业革命”：次第与主题之辨 p11

伟大的变革：现代制造业（二） p18

B15 水泵总成自动化生产的研究及应用 p34

微波高温烧结铬铁矿新型工艺装备 p39

目 录

CONTENTS

机械工程师报

MECHANICAL ENGINEERING TRENDS

1998 年创刊
2018 年第 2 期 (总第 195 期)
2018 年 4 月 28 日出版

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: 《机械工程师报》编辑部
发行: 中国机械工程学会工作总部



院士专稿 FEATURE FROM ACADEMICIAN

工科之“新”的文化高度(上) 1



专家视点 EXPERT OPINION

中国制造的激荡四十年: 中国做对了什么 6
正在进行的“工业革命”: 次第与主题之辨 11
伟大的变革: 现代制造业(二) 18



热点关注 CURRENT POINT

B15 水泵总成自动化生产的研究及应用 34
微波高温烧结铬铁矿新型工艺装备 39

工科之“新”的文化高度（上）*

——浅谈工程与技术本身的文化要素



华中科技大学 李培根

【摘要】仅仅停留于常规工程教育方法和手段的改革，不免流于从工具主义、实用主义的角度去观工程教育之“新”。从教育文化的层面去俯视工程教育，当是工科之“新”的关键与高度。文中从存在、时空、互联、去中心化等方面探讨了工程与技术本身所蕴含的文化要素。

【关键词】工科 工程教育 工程教育文化 存在 时空 去中心化

当前教育部正在实施“新工科”计划，相信对于推动我国工程教育在新世纪的大发展具有重要作用。我国的工程教育实际上存在文化缺失，就技术论技术，技术本身既成为学习的目的，又沦为手段和方法。仅仅从专业、技术的角度论“新”，不从文化的高度去认识，“新”的作用和意义恐怕要大为逊色。

一、工科之“新”的关键与高度

人们可从不同的视角去看工科之“新”。如从前沿技术的发

展，可以新增“人工智能”的专业；从技术或学科的交叉融合，可以有“人工智能与类脑科学”、“计算材料科学”等专业；从“用”（产业需求等）的角度，可有“智能制造”等；从综合的角度，可有“工程科学”……还可以从新的教学手段、方法去看工程教育之“新”。所有这些，都有意义。其实，从工程教育发展的历史看，任何时期某一前沿技术的发展趋势也好，学科或技术的交叉也好，自然会引发教育者不断地更新相应的专业教育。也就是说，工科其实一直在“新”。当然，不能否认政府推动的作用可大大加快

“新”的进程。问题是，不管是未来工程师素养的需要看，还是从当前中国工程领域的教育者和管理者对工程教育的理解看，除上述因素之外，是否存在对工程教育影响更全局、更深远的要素？笔者的理解，工程教育文化即是。

对于工科的教师和学生而言，即使对于工程与技术的最基本问题，也不能仅停留于低层面视之。如何看待物理的“产品”或“工程系统”，其实也体现出工程教育的文化高度。“产品”或“工程系统”是工程及技术的产物与载体，那是“器”，但不

*：本文原载于《高等工程教育研究》2018年第2期。

仅仅是器。也就是说，从产品或工程系统的“物理”和“形”的背后还应该看到某种无形的东西，如对人的生存的意义、文化意义、对社会进步的意义等。以器识“器”，器也；以人文识“器”，人也。海德格尔在《存在与时间》中言，在人的在世存在中，技术存在优先于科学理论。他还将现代技术的全球运动看成是“一种力量，它对历史所起的决定性作用怎样强调都不过分。”^[1] 敖德嘉·加塞特这样看技术：“人类心灵生成的最伟大奇迹之一——物理科学，起源于技术。”“技术的最初使命就在于让人‘有空’去‘成为他自己’。”^[2] 这些都可以告诉工程领域的教师和学生，应该从“器”那里看到什么。若从人的意义的高度而非工具意义上去识“器”，传统文化中的“君子不器”一说或许可以成为新时代工程教育领域的新解。否则，若视为君子不能囿于一技之长、不屑于技艺之事，“君子不器”就难有进步意义可言了。

通常，人们对工程教育改革的理解，很容易想到教学手段、方法的变革。然而，即便是方法和手段的改革也需要更深的、文化层次的理解。如在移动互联网纵深发展的今天，越来越多的公

司将客户体验放在首位。体验经济与传统工业经济最大的区别在于，消费者从被动的价值接受者，转为积极参与价值创造的各个环节，成为创造独特体验的参与者。^[3] 这就需要工程师从人的价值的文化层面去理解产品开发，相应地，工程教育应该用何种手段和方法培养学生这方面的能力？又如在当今非常强调互联的世界里，用何种方法让学生理解工程与技术本身的文化内涵？如何用系统、时空的观念去推进交叉？因此，哪怕是某些教育手段、方法上的改革，若欠缺基于文化层次的理解，也可能是失去工程教育灵魂的改革。

故工科之“新”若仅仅停留于前述常规的方法和手段的改革，还是流于从工具主义、实用主义的角度去观工程教育之“新”，尽管那也是有益的，但肯定是浅层次的。因此，教师和学生如何从更高的层面，即教育文化的层面去俯视工程教育，当是工科之“新”的关键与高度。

二、工程与技术本身的文化要素

不难理解，工程能够体现某种文化特性。工程的目的或用途

有时直接表现为人的信仰和文化方面的需求，如埃及金字塔、各种教堂；有些工程则彰显了设计者对人性善的追求，如阿拉维纳设计的供穷人居住的半成品房子（智利建筑师亚历杭德罗·阿拉维纳获2016年普利兹克建筑奖，他引领着能够全面理解建造环境的新一代建筑师，并清晰地展现了自己融合社会责任、经济需求、居住环境和城市设计的能力。其代表作之一乃是为穷人设计的“半成品好房子”^[4]）；工程或产品的形式往往也表现出设计者对美的理解或追求，或则适应工程或产品享用者的文化品味，或则展现设计师自身的文化风格。

然而技术呢？如果说技术本身含有某些文化要素，恐怕很多人不以为然了。人们通常把技术仅仅视作一种手段或工具，工程也不过是技术的产物。我国的传统文化中，技艺多少显得有些“形而下”。子曰：“君子不器”，《易经·系辞》中有：“形而上者谓之道，形而下者谓之器。”类似的传统观念使我国从事工程技术工作的学者、工程师对技术的深层认识不够，也使工程教育工作者缺少对工程教育方法的升华。

欲从文化的高度认识工程教育,首先需要认识工程与技术(尤其是技术)本身所包涵的文化要素。其所涉及的文化元素很多,不妨简单从以下几个方面论之。

1. 存在

存在是哲学的基本问题,此问题恰恰和技术有紧密的关系。敖德嘉·加塞特认为,对人而言,生存就是“使那些尚未存在的东西(即‘他自己’)存在”的努力。他还说,“称作‘技术’的最基本的事实只是起于如下奇怪的、戏剧般的、形而上学的事件:两种完全不同的实在——人和世界——以这样一种方式共存,即二者之一(人)要在另一者(恰恰是‘世界’)中建立‘超世界’的存在。如何实现这一点的问题——类似于工程师的问题——正是‘人的生存’的主题。”^[2]这段话很有意思,它揭示了人对“超世界存在”(尚未存在的存在)的不断追求正是人的本质,也是社会不断进步的动力。而实现这一点,恰恰要依赖技术创新。弗里德里希·德绍尔说,“技术的本质呈现为某种特殊的存在深处。”“创造物的一种新形式,从未包含在创造物中的东西,一个具有单一本性、单一

本质的客体,从来没有过的,现在化为存在了。”^[5]海德格尔在《存在与时间》中言,技术的本质不是技术的东西,是真理的彰显方式,现代科学本质在于现代技术;现代技术是形而上学的完成形态^[1]。这些哲学家、思想家的话让我们相信技术是何等的形而上!不能把技术贬损为人的手段。有学者总结得好,“技术是人类存在的方式,技术是人类自我塑造的方式,技术是世界的建构方式,技术是世界和人的边界划定方式。”^[6]这都说明,技术与人的存在的本质是紧密联系在一起的。

2. 时空

时空观念也是哲学中需要讨论的问题。时间和空间与运动着的物质密切相关。时间的本质是物质,没有物质及其运动就没有时间。空间是物质的广延性或伸张性。显然,任何技术或工程都与物质及其运动有关,要么技术或工程本身的表象就是物质及其运动;要么技术或工程的对象是物质及其运动(如某些信息技术所表现的)。

动物对时空当然也是有感知的,某些动物对时间感知的精确程度可能超过人,对空间的感知能力也令人惊叹。“在建筑角

度来看,底部由相交一点的三个平面构成,对于材料的节省和效率都是有很大的好处的。这些立体几何的原理,似乎也被蜜蜂所熟悉……数学天才麦克劳林在《伦敦皇家学会会报》上曾经写出过这样的算式,他准确地算出了角度,根据数学里面最严谨的求积法,不得不承认,正是蜜蜂巢穴底部巢穴三个平面所呈的角度。”^[7]当然,人与动物在对时空的感知与认识上有本质的区别。尽管动物对时间、空间的感知也令人赞叹,但它们对时空的感知和认识是非常有限的。动物对时间和空间的感知是自然(上帝)赋予的“本质”,而人除了自然赋予的少量“本质”,更多和更重要的是通过技术对时间和空间有丰富得多的特别认识和把握。人正是通过技术设法摆脱时空的限制。

时间和空间是相互联系和相互制约的,这一点对于某些技术尤其重要。如运输调度问题;又如机械中的齿轮加工,在某一个时间点上,不同轴的协同运动使得刀具在希望的空间位置,以获得精确的齿形;哪怕是美国街头的智能垃圾箱,其中也汇聚了物联网、太阳能、高效压缩机等技术,在某个时刻、某个地点已

经装满的垃圾必须尽快运走；至于在企业及其客户、供应商等形成的更大的生态系统中，对很多问题的快速响应，更需要时空观念；足见时间与空间的联系乃至制约。所以工程专业的学生应该善于把时空观念应用于学习以及未来的设计、工艺等技术工作中，那样一定是有利于创新的。

更有意思的是，新技术的发展会不会使虚拟时空和现实时空的界限变得模糊？会不会改变人们的时空观念？如AR（增强现实）技术让人置身的空间是完全虚拟的还是现实的（或者部分现实的）？未来的量子技术是否能够帮助人或物体瞬间改变存在的空间？对类似的与技术相关的文化思考是不是又将反过来促进科技工作者对技术、对“超世界存在”的想象力，从而导致产生伟大的、颠覆性的创新？

3. 系统性

在工程领域，系统的观念非常重要。系统的概念是相对的。一台设备当然是一个系统；若干台设备组成的一个生产线或生产单元是一个系统；一个车间是一个系统；一个企业是一个系统；企业及其供应商、客户等组成更大的企业生态系统。通常而言，从系统的角度、以系统的观念去

分析问题是优秀技术人员和管理人员的基本素养。设计某个系统中的某个单元，一定要考虑此单元与其它单元之间的联系。此道理不难理解，但在具体问题中，常常会出现系统意识不强的情况，以至于导致不合理的设计或者工程问题判断。工程问题中人们对于显性的关联还比较容易想到，有些隐性的关联即使对于有经验的工程技术人员也未必能意识到。所幸现在大数据技术能够帮助人们发现某些隐性的关联，但这仍然需要技术人员良好的系统意识和关联的想象力。如何在教材、教学活动中更好地帮助学生建立系统意识是非常重要的。

4. 开放与分享

现代，尤其是互联网时代，开放与分享逐步成为一种文化。互联网的精神特征之一就是分享。今天，一个具有良好开放与分享文化的企业一定容易可持续发展。

开放与分享不仅仅是一种意识，还需要体现在技术上。美国 John Deere 和爱科公司（AGCO）合作，不仅将农机设备互连，更连接了灌溉、土壤和施肥系统，优化整体效益；飞利浦、GE 都生产医学成像设备，他们本来都能采用封闭系统，但在现实中，两

家的成像系统平台都可以兼容其他制造商的设备；飞利浦照明推出智能彩色灯包含了基本的智能手机 App，允许用户控制灯的颜色和照明强度，他们发布应用开发界面，独立的软件开发者迅速发布了几十款相关应用，增强了智能灯的功能，其技术上的开放让别人分享了他们的成果，同时也提升了飞利浦自身的业绩。^[8]

现在正进入大数据时代，企业之间不仅是物料（包括零部件、设备等）的交易，还需要有数据的交换。这也需要企业持开放的态度。

5. 互联

互联网、物联网、大数据等技术的发展使得工程技术面临一个重要的问题——互联。互联既是一种新的工业文化，同时也是技术。德国工业 4.0 和美国工业互联网都把互联作为新工业革命中的一个基本问题。不管是涉及社会安全、环境、农业、交通……还是工业中的具体技术，都需要互联。现在很多设备制造商都考虑服务制造，即把在用户那里的设备运维问题也承担起来，这就需要在设备上装很多传感器，通过物联网、大数据技术，进行数据分析、诊断。这里互联是基础和关键。

企业活动中,数据、信息的集成与互联非常重要。如财务之重要性对于企业而言是不言而喻的,但很多企业的财务没有起到真正的财务管理的作用,实质上是账务管理。原因是财务信息没有真正与企业的其它业务信息集成和互联,而企业的所有业务都与企业成本有关,因此没能和企业业务系统互联的财务系统就难以有真正的财务管理功能。

6. 去中心化

去中心化也是新工业革命时代的重要特征。互联网就是一个

最大的去中心化系统。如果互联网的运行需要一个“中心”指挥的话,一定是一个极不稳定的系统,也不可能成为如今天的互联网系统。其分布、自治使它更为稳定。工程中很多控制系统、管理系统恐怕都需要去中心化的思想。人工智能技术的发展,如分布智能、群体智能等,也使得去中心化系统能够更有效地运行。

以上仅从几个方面阐述了工程与技术本身所蕴含的文化要素。是否能意识到这一点,对工程教育意义重大。是把工程与技

术贬损为纯粹的工具和手段,还是视之为形而上乃至文化的一部分?这不仅关系到学生对自己专业重要性的认识,也可能影响到学生对专业的兴趣,而且有助于学生从更高的层次和境界理解技术与工程。把这些文化要素(如存在、时空、系统、互联、去中心化等)融入自己的学习过程中,可加深对技术、对工程问题的理解。如果更进一步,把这些意识变成一种自觉,则在专业技术活动中,创新的效果也将大不一样。MT

(未完待续)

参考文献:

- 【1】吴国盛.技术哲学经典读本[M].上海交通大学出版社,2008:8-9.
- 【2】敖德嘉·加塞特.关于技术的思考[M].技术哲学经典读本.高源厚,译.技术哲学经典读本.上海交通大学出版社,2008:289,274-275.
- 【3】王晓红.当科技高歌猛进,我们为什么更需要人文教育? [J].哈佛商业评论,2017-11-02.
- 【4】普利兹克奖得主:他为穷人建造“半栋房子”[EB/OL].[2016-01-15].<http://culture.china.com/art/artist/11170805/20160115/21149823.html>.
- 【5】弗里德里希·德绍尔.技术的恰当领域[M].技术哲学经典读本.张东林,译.上海交通大学出版社,2008:465.
- 【6】吴国盛.技术的本质[R].在中国传媒大学博士生课堂上的演讲.2007-04-09.
- 【7】梅特林克.花的智慧;蚂蚁的生活;白蚁的生活[M].潘灵剑,张念群,范一亭,译.哈尔滨出版社,2004:75.
- 【8】迈克尔·波特,詹姆斯·贺普曼.物联网时代的企业竞争战略(上)[J].安健,译.哈佛商业评论,2014-10-23.

中国制造的激荡四十年：中国做对了什么



天风证券股份有限公司 宋雪涛

一切升级离不开制造，消费升级的高品质需求、服务升级的个性化需求、以及人类活动和制造组织流程的数字化信息化，既依赖于先进制造、高端制造、服务制造、柔性制造等新兴制造业的发展，也给各种传统制造业赋能，通过互联网、物联网、制造业的结合，改造传统制造的组织流程和生产方式。今天对于中国制造来说，新时代的大幕正在展开。

中国具备了大国的规模优势、良好的基础设施、完备的产业链基础（包括产业工人和工程师），以及从终端生产中产生的对技术的掌握能力，并在此基础上创新迭代、自主研发，这些是产生创新的土壤，是中国制造从做到做强，从 copy to China 到 innovation for China，从一个追赶者、后进者逐渐转换为创

新者领先者，并能够为资本市场创造长期价值的内核。

一、中国制造的激荡四十年

今年是中国改革开放的 40 周年。40 年来，中国的名义 GDP 增长了 200 多倍，年均名义 GDP

增速达 15%，差不多每 5 年翻一番，这是一个奇迹。奇迹的背后，实际 GDP 增速却表现出有规律的起伏，每个起伏都是持续大约十年的浪潮和低谷（图 1）。40 年来，我们看到一批又一批中国制造企业和中国品牌，在浪潮来临时站在了浪潮之巅，又在浪潮退去时消失地无影无踪。这奇迹的



图 1：改革开放以来中国实际 GDP 同比增速
资料来源：WIND，天风证券研究所

40 年和规律起伏的四波浪潮，是属于中国制造的激荡四十年。

中国制造的 前两波浪潮（1978-1998），简单说就是神州大地压抑已久之后的原力觉醒。这包括了乡镇企业家的觉醒（比如鲁冠球的万向，刘永好的新希望），对外贸易的觉醒（比如柳传志的联想，张瑞敏的海尔），离开体制下海经商的觉醒（比如李东升的 TCL，宗庆后的娃哈哈，任正非的华为，段永平的小霸王，王文京的用友，冯仑的万通，史玉柱的巨人，求伯君的金山，郭广昌的复星，王传福的比亚迪）和重新打开国门利用外资的觉醒。

贸易开放带来了制造转移，但没有发生技术转移。80-90 年代的大规模技术引进主要是为了满足内需，一些中国人需要的商品，在改革开放初期自己生产不了，就引进整条生产线到中国来生产，比如海尔引进德国的冰箱生产线，彩电引进美国日本 CRT 显像管生产线等。然而这个过程基本上是从终端直接引进生产环节，一旦出现技术升级，在技术匹配的制约下，中国不得不继续引进技术来实现终端产品的国产化。

只有制造转移，没有技术转移，结果是中国制造自主研发核心技术的能力也被挤掉了。中国 CRT 彩电工业一度做到全球第一，但遇到液晶技术替代时被打

得措手不及，原因是 80-90 年代的中国制造与新技术的演进过程基本绝缘，中国彩电工业既不了解液晶技术的进展，也难理解新技术的影响，这也造成了中国电子工业直到今天仍然在一些核心技术领域处于看不到尽头的落后状态。

中国制造的第三波浪潮（1998-2008）是自主化，简单说就是复制—模仿—进口替代，copy to China，美国有的中国也要有，美国日本造的中国都要造。相比 80-90 年代，这一阶段的中国制造已经从集成组装制造中积累了一定的技术基础和劳动力技能，在计算机、手机、汽车制造等领域出现了自主品牌，但核心技术零件、自主研发能力仍然受限技术、设备、材料，技术被卡脖子的情况下，品牌主要靠资本外延扩张吃规模化红利。

1998 年，中国商品房市场开放，城镇化率在之后的 10 年上升了 14%，快速膨胀的城市化需求催生了和基建地产产业链相关的制造业发展（比如梁稳根的三一重工）。2001 年中国加入 WTO，出口额在之后的 10 年间上升了 613%，出口占 GDP 最高达 35%，出口导向型产业在东南沿海地区出现集聚，比如东莞的电子，晋江的体育，绍兴的纺织，义乌的小商品等。20 世纪末，美国的互联网泡沫也催生中国的互联网萌芽，新浪搜狐网易腾讯阿

里百度纷纷登场，真正属于他们的时代还在后面。

中国制造的第四波浪潮（2008-2018）是内需创造，简单说就是美国没有的中国也要有，从 copy to China 转向 innovation for China。这一阶段的中国制造已经具有一定的自主研发实力，并能在一些产业做到创新迭代。尽管中国仍然处在城市化和投资驱动增长的浪潮末端，但风景已经和之前阶段完全不同，产业迭代创新和新经济的萌芽开始出现。在靠近消费端的消费电子、家用电器、汽车等制造业领域，自主品牌出现了明显的研发创新能力和制造升级能力，比如小米大疆、格力美的、吉利比亚迪等。在人工智能、移动互联网、生物科技、新能源等新经济领域，中国制造也开始成为创新引领者（比如科大讯飞，蚂蚁金服，滴滴摩拜，华大基因，旷视商汤等）。

二、中国做对了什么

我们将中国上市公司和全球上市公司做对比，全球市场占有率超过 50% 的中国行业有 14 个，超过 20% 以上的中国行业有 50 个。过去十年，中国制造快速提升的不仅有全球市场占有率（图 2），还有人工智能、信息技术等关键的基础科技。中国拥有世界排名第一和第二的超级计算

机，中国超算神威的计算能力是美国超算泰坦的5倍；中国超算的CPU是上海国家高性能集成电路设计中心研发的SW26010；中国已经建成了世界上第一个量子卫星网络；中国正在人工智能研究关键领域迅速崛起；中国拥有世界上最大的综合孔径射电望远镜，也就是广为人知的“天眼”；中国拥有世界上最有效的物流系统。

中国真正开始出现大量的自主研发和创新迭代也就是最近十年，十年放在产业史上只是一个瞬间，但中国已经在多个行业从追赶者成为领先者，从模仿者成为创新者，并在一些高端制造业开始具备全球竞争力。中国制造在发展中国家里算起步比较晚的，20世纪60-70年代后发展中国家先后出现了拉美奇迹、亚洲四小龙、新四小龙，而今天也只有韩国还在消费电子、精细化工、

汽车等制造业领域还具有全球竞争力。中国制造起步虽晚，但在全球制造业市占率排名和关键基础科技的进步速度上，仅次于美国，而且和美国之间的差距在快速缩小。中国究竟做对了什么？

制造业不是零基础就可以发展起来的，无论是生产要素的比较优势还是市场的规模优势，都不能算作是一国制造业成功的充分必要条件，人类产业史上不缺少要素大国的失败案例，也不乏要素小国的成功案例。以美欧日的成功为例，一国要成为制造大国和制造强国，需要在产业链的上中下游都具备竞争力。今天中国制造正在形成的全产业链优势，主要来自于四个因素：巨国市场的规模效应、良好的基础设施保障、完备的产业链基础（包括高效率的产业工人和受过良好教育的工程师队伍）、共和国前30年技术基础的传承迭代。我们

借用施振荣的“微笑曲线”：市场容量足够大，品牌服务的推广空间足够大，做终端设计、系统集成的国产厂商能够存活；完备的产业链基础、良好的基础设施，给中游制造提供了低成本高效率的保障；技术的传承迭代、很强的政策扶持和政策执行力，驱动产业向上游发展，掌握自主研发能力和专利技术。

1. 巨国市场的规模效应

欧睿信息咨询公司的研究显示，到2020年中国的中产阶层将达到7亿人，相当于欧洲总人口（7.4亿）。庞大的人口规模为中国的创业者提供了巨大的成长红利，这使得每一个产业的进入者都有机会以粗放的方式完成自己的原始积累。严格意义上说，今天常被提起的新四大发明（高铁、支付宝、共享单车、网购）都不算中国首创，但重要的

中药	0.09	多元资本市场	0.10	重型电气设备	0.44	建筑机械与重型卡车	0.39	金属非金属	0.32	互联网零售	0.29	电子设备和仪器	0.26
区域性银行	0.08	家用电器	0.07	基础化工	0.43	水务	0.38	机场服务	0.31	综合性石油天然气	0.28	投资银行与经纪业	0.26
多领域控股	0.08	新能源发电业者	0.05	白酒与葡萄酒	0.43	黄金	0.37	百货商店	0.31	人寿与健康保险	0.28	环境与设施服务	0.26
煤炭与消费用燃料	0.08	纺织品	0.01	电脑与电子产品零售	0.41	白银	0.36	工业机械	0.30	家庭娱乐软件	0.28	燃气	0.26
建筑与工程	0.03	财产与意外伤害保险	0.01	钢铁	0.40	海运	0.35	轮胎与橡胶	0.30	航空货运与物流	0.28	调查和咨询服务	0.25
海港与服务	0.03	化肥与农用化工	0.02	建材	0.40	电气部件与设备	0.35	教育服务	0.29	电子元件	0.27	服装、服饰与奢侈品	0.24
公路与铁路	0.03	铝	0.49	房地产经营公司	0.40	房地产业务	0.34	互联网软件与服务	0.29	电力	0.27	林木产品	0.23
房地产开发	0.03	贸易公司与工业品经销商	0.47	贵金属与矿石	0.39	汽车零售	0.33	消费信贷	0.29	机动车零配件与设备	0.27	家庭装饰品	0.23
广告	0.23	航空	0.21	独立电力生产商与能源贸易商	0.16	金属与玻璃容器	0.13	技术产品经销商	0.10	航空航天与国防	0.07	电脑硬件	0.06
农产品	0.23	摩托车制造	0.20	建筑产品	0.16	其他多元金融服务	0.13	个人用品	0.10	大卖场与超市	0.07	农用农业机械	0.06
出版	0.23	酒店、度假村与豪华游轮	0.19	保健护理产品经销商	0.16	有线和卫星电视	0.12	纸包装	0.10	资产管理与托管银行	0.07	电子制造服务	0.06
石油天然气设备与服务	0.22	特种化工	0.19	休闲用品	0.15	非传统电信运营商	0.12	综合类行业	0.09	电影与娱乐	0.08	摄影用品	0.06
纸制品	0.21	消费品经销商	0.18	半导体产品	0.14	综合电信服务	0.12	鞋类	0.08	啤酒	0.06	多元化银行	0.06
休闲设施	0.21	综合支持服务	0.17	信息科技咨询与其它服务	0.14	消费电子产品	0.11	公路运输	0.08	生物科技	0.06	餐馆	0.05
通信设备	0.21	应用软件	0.17	铁路运输	0.14	商业印刷	0.11	西药	0.08	多元化化工	0.06	多样化房地产活动	0.05
食品加工与肉类	0.21	汽车制造	0.16	石油天然气勘探与生产	0.13	家用器具与特殊消费品	0.10	特殊金融服务	0.08	石油与天然气的炼制和销售	0.06	特殊消费者服务	0.05
医疗保健设备	0.09	家庭用品	0.03	生命科学工具和服务	0.01	石油与天然气的储存和运输	0.01	广播	0.00				
人力资源与就业服务	0.05	半导体设备	0.03	保健护理设施	0.01	医疗保健技术	0.01	多元化保险	0.00				
家庭装饰零售	0.04	复合型公用事业	0.02	专卖店	0.01	软饮料	0.01	家庭装潢零售	0.00				
药品零售	0.04	食品分销商	0.02	电脑存储与外围设备	0.01	住宅建筑	0.00	管理型保健护理	0.00				
办公服务与用品	0.04	保健护理服务	0.02	保险经纪商	0.01	食品零售	0.00	赌场与赌博	0.00				
售货目录零售	0.04	工业气体	0.02	石油天然气钻井	0.01	安全和报警服务	0.00	特种房地产投资信托	0.00				
办公电子设备	0.04	数据处理与外包服务	0.02	系统软件	0.01	服装零售	0.00						
医疗保健用品	0.03	无线电信业务	0.01	综合货品商店	0.01	烟草	0.00						

图2：中国上市公司的全球行业市场占有率
资料来源：WIND，天风证券研究所

是这些技术在中国得到了最成功的应用，都离不开中国市场巨大的规模效应。大市场能够降低和摊薄成本，福耀玻璃到美国设厂的原因是美国汽车市场足够大，当地设厂便于快速到货。借助大国效应的势能，中国企业通过大量的研发投入或海外并购高科技公司，缩小和领先国家的技术差距，并建立核心竞争力，最终以出其不意的方式创造出新的可能性和模式突变。

2. 良好的基础设施

大国制造崛起需要良好的基础设施保障，基础设施和物流效率，决定了能否实现海陆空快速的运输。2010年郑州引进了富士康之后，2012年郑州机场开始二期大扩建，郑州机场的货运量从

2011年的10.3万吨增加到2016年的45.7万吨，2014年郑州机场高速还是四车道，仅仅用两年就全部改成了八车道通行，体现了强大的基础设施保障能力。2017年郑州成为亚马逊在中国中西部的首个直邮口岸，这背后是高效率的运输能力保障。

中国拥有世界上最有效的物流系统，而且基础设施覆盖完整，并不只集中于经济发达的沿海地区，这一点遥遥领先其他发展中国家，而且超过很多发达国家。根据中国铁路总公司的数据，中国高铁营运里程达到2.5万公里，占全球高铁总量的66.3%；中国在修桥、铺路、盖楼、挖港的能力世界领先；中国具有世界领先的高压输电技术和港口机械技术；中国是世界太阳能发电量

和风力发电量最大的国家。

3. 完备的产业链基础

完备的产业链基础既能够降低成本，也能快速高效地解决上下游带来的问题，增强竞争力。打个比方，虽然苹果产业链是苹果扶持起来的，但也具有很强的自主研发能力，一旦未来苹果手机销量不佳，苹果产业链的产品复制能力也能够汽车电子、AR/VR、智慧物流、智能城市等各种新领域复制，这才是驱动中国制造进一步做大和估值提升的核心。在技术密集型行业里，一旦下游（组装生产制造）站稳了中国企业，上游（设备和材料）就会集聚，如果中国企业能够通过技术转移掌握了技术，上游最终也会被中国取代，这就是中国

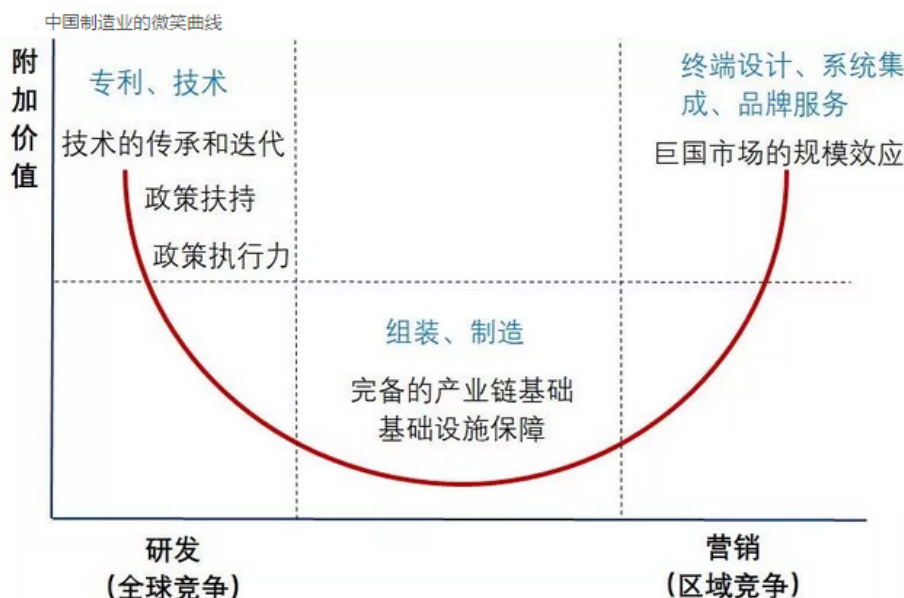


图3：中国制造业的微笑曲线
资料来源：作者绘制，天风证券研究所

制造一步步实现完备产业链的过程。

(1) 高效率的产业工人。

工业产品的价格优势不仅取决于劳动力成本，还取决于劳动生产率，中国劳动力成本上升，但工人的劳动生产率也在提升。曹德旺提到过中国制造的两个优势，一个是人力成本只有美国的八分之一，一个是中国的劳动生产率比美国高。中国工厂和美国工厂的劳动生产率差多少呢？2016年10月CCTV2《中国财经报道》播放了一期关于福耀玻璃的节目，里面给出了答案。2016年，福耀玻璃从国内调集中国工人，在美国工厂和已经上岗了半年多的美国工人进行了一场生产效率比赛，给汽车玻璃压膜。福耀公司制定的生产定额是800片，最终中国工人做到了1011片，超出要求20%，而美国工人平时的工作效率只有500多片，因为比赛激发了竞争意识，才提升到了792片。

(2) 受过良好教育的工程师队伍

中国从1999年开始大学扩招，扩招后大学从每年招生100万到现在每年700万。尽管大学扩招在初期引来一些非议，但之后这种非议逐渐消失了，明眼人都能看出来大学扩招在过去20年为中国的高速发展培养了大量人才，最重要的是储备了工程师人才。十年前我读工科的时候，

“工程师红利”已经是普遍接受的概念。过去十年，中国的“工程师红利”大大提高了中国制造的生产效率，一个互联网企业在北京、上海、深圳、杭州很容易招到合适的程序员，这就是良好的技术环境。

4. 共和国前30年技术基础的传承与迭代

共和国前30年的工业基础可能被低估了，认真了解一下中国的工业史，会发现技术是有传承的，许多今天具有技术能力的中国制造企业，其技术源头可追溯至共和国前20年的自力更生阶段（1950-1970），且在改革开放时期坚持自主开发。

比如，今天被称为“中国工业骄傲”的京东方，可以追溯至1956年建成的北京电子管厂（774厂），这家企业见证了中国电子半导体行业的兴衰。今天被称为“民族企业创新标杆”的华为，其技术基石可以追溯至1991年解放军信息工程学院自主研发的“HJD04”万门数字程控交换机（04机）。今天唯一能和隆基股份一样规模化生产单晶硅片的中环股份，可以追溯至1958年组建的天津半导体材料厂。今天中国商飞的C919大飞机，其技术积累可以追溯至1970-1982年研制的“运-10”。今天中国的核动力和核反应堆技术，可以追溯至1958年开始研发的核潜艇陆

上模式堆。就连公认用市场换技术的中国高铁，其技术根源也来自于中国铁路装备工业在50多年的自主产品开发过程中的技术积累，没有这个，就没有高铁技术引进之后的消化吸收和自主开发的能力基础。

前三个因素为中国制造的“做大”打下坚实基础——巨国市场的规模优势、良好的基础设施、完备的产业链基础（包括产业工人和工程师）。但是中国制造能否“做强”，取决于中国制造是否具有对技术的掌握能力，并在此基础上创新迭代、自主研发。这种能力，既来源于共和国前30年的技术基础的传承和迭代，也来源于共和国后30年从终端生产过程中生成的技术能力，还有政府在新技术上的研发投入和政策扶持。

研究“中国做对了什么”的意义，是为了了解中国制造从何而来，向何处去，从而捕捉中国制造的投资机会，在中国制造“做大”过程中寻找厚厚的雪，在中国制造“做强”过程中寻找长长的坡。中国制造经历了共和国前30年的自力更生艰苦奋斗，后30年的制造转移进口替代，最近十年中国制造开始发生从追赶者后进者到创新者领先者的角色转变，我们相信未来会出现一批坡长雪厚的中国企业，成为重仓中国的核心资产。MT

正在进行的“工业革命”：次第与主题之辨^{*}



西北大学 李尧远

2011年9月，美国著名的未来学家杰里米·里夫金撰写的《第三次工业革命：新经济革命如何改变世界》出版，2012年4月，英国著名经济学杂志《经济学人》发表了《第三次工业革命：制造业与创新》的专题报道，两者都言明：“人类已进入第三次工业革命时代。”而自2015年起，德国的工业4.0专家乌尔里希·森德勒主编的《工业4.0：即将来袭的第四次工业革命》（2015年1月），日本学者藤原洋的《精益制造030：第四次工业革命》（2015年10月），世界经济论坛（也叫“达沃斯论坛”）创始人兼执行主席、德国学者克劳斯·施瓦布的《第四次工业革命：转型的力量》（2016年6月），《日经商务周刊》编撰的《第四次工业革命》（2016年9月）等

著作也相继问世，它们却在宣示着“第四次工业革命”正在发生。另一方面，不论是在新闻媒体上，还是在学术刊物上，近些年的诸多文献都以“第三次工业革命”或“第四次工业革命”为背景或内容进行报道或者研究。甚至在2013年，《新工业革命》一书的作者英国人彼得·马什还提出了“第五次工业革命”的观点。这种大相径庭的表述说明工业革命的次第和主题出现了紊乱：当前正在科技和工业领域发生的深刻变革能否被称为“工业革命”？如果是“工业革命”，究竟是“第三次”还是“第四次”抑或“第五次”？各自的主题又是什么？

一、界定工业革命的标准

什么样的变化才能被称为“工业革命”，需要设定一定的评判标准，标准的缺失与错乱，是人们“自言自语”或各执一词的原因。在学术范畴里，人们通常把“工业革命”与“第一次工业革命”等同起来。虽然不同的学者对工业革命有着不同的解释，甚至至今没有达成共识，但工业革命的研究者舒小昀认为，对工业革命的解读越来越趋向于综合性的定义，即，将对工业革命进行阐释的各类学派观点的核心要素综合起来，构成一个工业革命评价或定义的集合体系，以此作为界定工业革命的标准。

以不同学派对工业革命的内涵研究为依据，可以勾勒出界定工业革命的基本条件：

社会变革学派——政治、经济、社会、文化全面的巨大变革；

^{*}：本文原载于《读书》2018年3期

工业组织学派——能够影响整个经济和社会的生产组织形式的变化；

宏观经济学派——投资率的大幅提高、经济结构的变化和由政治、社会结构的优化而带来的可持续的增长；

技术学派——新技术的出现及其持续性创新是工业革命的核心；

能源学派——工业革命根本上改变了人们获取能源的方式，从而满足了以能量需求为核心的人的物质需求，新能源的利用或能源获取及使用方式的变化是工业革命的核心指标；

消费学派——日益扩大的供

求缺口即消费需求的生产推动了工业革命的发生。

综上所述，判断一场变革是不是工业革命，大概需要如下四个条件：一是能够深刻影响生产生活尤其是生产组织形式变化的非传统核心技术体系革新，二是生产效率的提升和经济社会的快速持续发展，三是政治、经济、社会、文化等领域的系统性变革，四是新能源的出现或能源利用方式的变化。只有上述四个条件同时具备才能被称为工业革命，其中一个或两个领域的变化不能以“工业革命”相称，这正是科技革命的次数多于工业革命次数的原因。

第一次和第二次工业革命都符合上述标准，而且关于这两次工业革命的时间、主题，人们基本已经达成共识：第一次工业革命被称为“蒸汽革命”，时间是从18世纪60年代到19世纪40年代，蒸汽机动力技术的深刻变革不仅使工业工厂代替了手工劳动，也促进了英国经济的持续快速发展，使自耕农阶级的消失和工业资产阶级的壮大，深刻地影响了英国的经济、政治和社会，为英国成为资本主义强国奠定了基础。第二次工业革命被称为“电气革命”，时间是从19世纪70年代到20世纪初，电力技术的革命带动了化工、能源、机器制造、交通运输等行业的全面发展，新技术的广泛应用不仅极大促进了生产力的进步，而且加快了资本主义的社会化趋势，催生了垄断组织，垄断资本家为了攫取更多的超额利润开始更加肆无忌惮地干预国家的经济和政治，甚至走出国门，制造国际垄断组织，推动美、英、法等资本主义国家进入帝国主义阶段。

二、当前工业革命次第和主题的争议

关于第三次工业革命的争



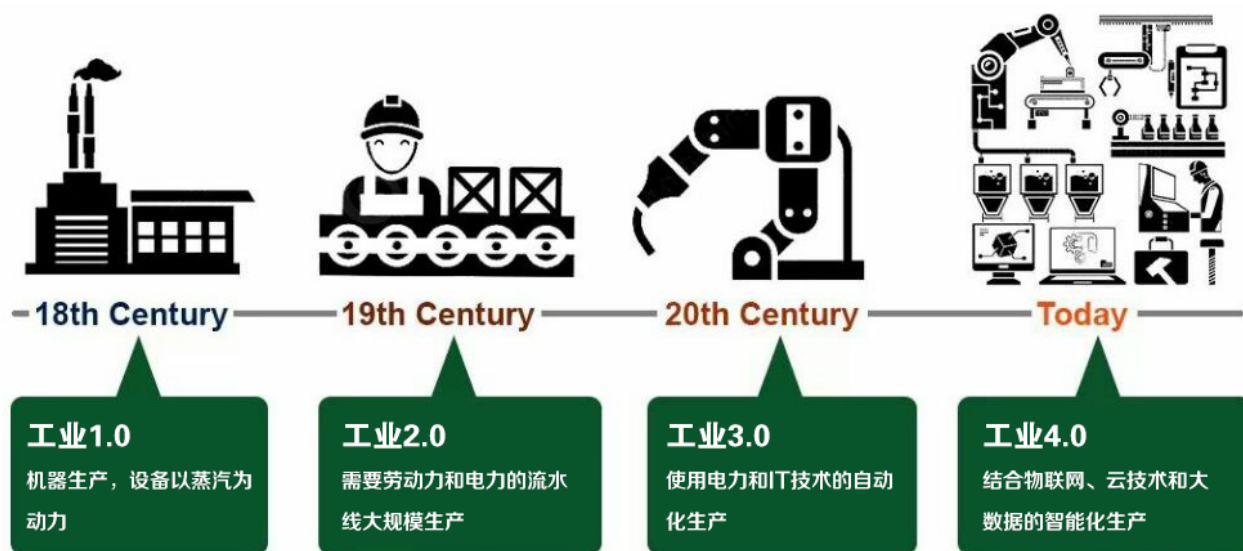
1938年8月，一位女骑手与卡莱尔快车（Carlisle Express）“竞技”（Photo by Fox Photos/Getty Images）

论。工业革命是一个漫长的过程，人们置身其中时常常不能感知，多数是一种事后的评价和界定，摩根认为：“工业革命的影响是相对的，只有在进行回顾的时候才显示它的意义。”在第二次工业革命发生以后，也有人根据经验去研判和预测某些领域的技术变革可能给社会带来的巨大变化，关于第三次工业革命的预言可以追溯到 20 世纪的 80 年代。第一种观点认为，计算机技术或信息技术的创新和应用带来的系统性变革是第三次工业革命的核心内涵。1986 年，美国新泽西理工学院的经济学家教授罗伊·赫尔夫戈特看到以中央计算机为核心的柔性制造系统控制下的机器人劳动对于提升生产效率和降低成

本的巨大作用，并预测这种技术同时也将对以等级和分工为依据的组织管理带来冲击，由此做出美国正在发生第三次工业革命的判断。1988 年，印度经济学家罗哈特·奈比·柯汉指出，计算机和通信技术的相互融合及其在金融、商业、管理、工业、科学研究、天气预报等领域的广泛应用必将带来第三次工业革命。1988 年，日本日立公司的科技研发经理武田认为由晶体管、计算机、火箭等技术发明为核心的工业革命是“2.5 次工业革命”，而日本东京大学的后藤教授研究的磁性量子参数器将能够彻底优化“信息处理装置的存储单元和逻辑单元”，从而将世界带进第三次工业革命时代。可见，武田的“第

三次工业革命”的支撑技术仍然是信息技术。

2000 年，阿格内斯·巴尔顿总结了联合国教科文组织于 1999 年 6 月召集的由世界知识界领袖参加的“全球化与第三次工业革命”的圆桌会议的主要观点，其中来自耶鲁大学的保罗·肯尼迪教授指出由计算机和互联网技术主导的第三次工业革命将扩大发达国家与发展中国家的差距。为讨论方便，我们将这种观点定义为“第三次工业革命的信息技术学派”。第二种观点认为，可再生能源技术是第三次工业革命的技术支点。2010 年，能源工程学家贝拉·利普塔克强调在其《后化石能源时代》一书中设计的过程控制技术把太阳能发电推向世



四次工业革命的特征



3D 技术打印出的尤达模型 [图片来自技术贴《为什么 3D 打印被炒作过度?》(“Why 3D Printing Is Overhyped”)]

界,它将推动全球在 20-50 年后实现清洁能源对化石能源的替代,从而实现工业领域的革命。第二位支持可再生能源技术是工业革命的推进剂的学者便是杰里米·里夫金,他在《第三次工业革命》一书中指出:“互联网信息技术与可再生能源的出现让我们迎来了第三次工业革命。”我们把这种观点定义为“第三次工业革命的新能源学派”。第三种观点认为,新材料和智能制造是第三次工业革命的主题。持这种观点的是《经济学人》杂志,它在《第三次工业革命:制造业与创新》中指出,3D 打印技术、纳

米等新材料、产业集群、新一代机器人、高度的数字化等元素的创新与融合将成为第三次工业革命的导火索。我们把这种观点定义为“第三次工业革命的智能制造学派”。第四种观点认为,纳米技术“点燃了第三次工业革命的曙光”。斯路阳在总结 1993 年第二次国际纳米技术研讨会成果的基础上,得出纳米技术发展“可引起电子学、计算机技术、生物学和医学的质的飞跃,产生一次新的工业革命”的结论。我们把这种观点定义为“第三次工业革命的纳米技术学派”。

关于第四次工业革命的研究

有两次高潮,一次是在 1983 年到 1984 年左右,1983 年 10 月,欧洲经济共同体为了改变在信息技术领域的研究落后于美国和日本状况,10 个国家的工业部长在希腊雅典制订了“欧洲信息技术研究发展战略计划”,人们以为第四次工业革命即将来临;另一次是在 2013 年,德国政府在汉诺威工业博览会上提出“工业 4.0”战略后,又引起了产业界、新闻界和学术界关于“第四次工业革命”的热烈讨论。而这些关于“第四次工业革命”的内容或主题的提法都不尽相同。第一种观点认为第四次工业革命是以电

子、信息、新材料等技术的使用为动力而产生的一系列变革。这种看法是1983年左右学术界和新闻界关于第四次工业革命讨论的主题：1983年，《芝加哥论坛报》科学撰稿人罗纳德·科图拉克引用时任环球石油公司（UOP）副总裁玛丽·古德的看法，认为以计算机、遗传工程、新材料和新能源的发明和使用为代表的“第四次工业革命”已初露端倪。1983年，著名经济学家华·惠·罗斯托把电子、通信、机器人、新材料等技术发明与应用称为“尚处于起步阶段的第四次工业革命”。1984年，在欧共体工业部长的“雅典会议”之后，英、法、意大利、联邦德国等国家的主要报刊都对“第四次工业革命”进行了讨论，普遍认为新的电子和信息技术将会对职业结构、生产

效率、社会形态带来深刻影响。我们把这种观点定义为“第四次工业革命的信息技术学派”。第二种观点认为以信息技术为基础的智能制造将成为第四次工业革命的驱动力。施瓦布认为人工智能、可植入技术、纳米技术、3D打印、万物互联等二十三项技术的全面革新将成为第四次工业革命的主要内容。《日经商务周刊》通过对西门子、通用电气、博世、日立、罗兰贝格等世界知名公司领导者的采访，汇集了他们对第四次工业革命的看法，这些公司领导基本上将第四次工业革命与德国的“工业4.0”等同起来，认为“关联工业”（相连接的工业）、“智能工业”（会思考的工业）是第四次工业革命的着力点。森德勒整理了电子、自动化、机械工程、汽车制造等诸多领域专家

的观点，认为“生产高度数字化、网络化和机器自组织”是第四次工业革命的主体意涵。我们把这种观点定义为“第四次工业革命的智能制造学派”。第三种观点认为绿色能源革命是第四次工业革命的重心。2009年1月，许明等人提出新能源、新材料、新环境科技和新生物技术将成为第四次工业革命的核心。藤原洋认为自己在2010年就率先提出了第四次工业革命的概念，以信息技术不断革新为基础的太阳能经济、新智能电网等应成为第四次工业革命的核心要素。清华大学的胡鞍钢认为要中断18世纪中叶以来的“黑色发展轨迹”，让人类步入绿色发展时代，绿色能源革命或环境革命将是第四次工业革命的主线。我们把这种观点定义为“第四次工业革命的新能源学派”。

关于第五次工业革命的争论。藤原洋在展望工业的未来发展趋势时，认为机器人革命将是第五次工业革命的主要篇章。彼得·马什认为技术的交叉融合、智能化支持的个性定制与生产、高度专业化、环境保护压力与责任、特立独行的制造商、新的世界政治经济格局等组成了第五次工业革命的关键要素。



计算机的演变简要示意图

三、当前工业革命的次第与主题辨析

1983年到1984年,关于“第四次工业革命”的讨论之所以认为工业领域将要发生的变革是“第四次”是因为当时学术界对于工业革命的次第划分本身就在争论当中,古德、罗斯托、马什等都认为在目前我们已经达成共识的第一次的“蒸汽革命”和第二次的“电力革命”之间还有一次“工业革命”,即铁路和轮船的发明和使用在19世纪30到40年代先后为英国、美国和德国带来了繁荣,是“第二次工业革命”,这就是1983年左右那次关于工业革命的讨论会被定义为“第四次”的原因。但是,后来学者们认为铁路、轮船的使用不过是“蒸汽革命”的继续,所以,应当被归入“第一次工业革命”的范畴,也就是说,基于后来对第一次工业革命和第二次工业革命达成的共识,1983年那次讨论中认为将要发生的“第四次工业革命”实际上应该是“第三次”,其内容是以信息技术为核心的一系列技术革新带来的系统性变化。因此,马什所认为的“第五次工业革命”应该叫做“第四次工业革命”,依此类推,马什关于工业革命的

观点便又和施瓦布等人的“第四次工业革命的智能制造学派”回到了同一起跑线上。

当前,对“第三次工业革命”的定义占主流的仍然是赫尔夫戈特、柯汉、武田、巴尔顿、肯尼迪等人的“信息技术学派”的观点,即电子信息技术的使用及其给整个世界带来的巨大影响是第三次工业革命的主题和内容,根据上面的分析,该观点的支持者还可以包括罗斯托、古德和马什,还有后来提出“第四次工业革命”观点的施瓦布、森德勒等人。我们依据衡量工业革命的四个方面的标准来判断“第三次工业革命的信息技术学派”的观点。第一,以某一核心技术为支点的非传统的技术体系的革新。信息技术是本次变革的核心技术,且它与第一次的蒸汽机技术和第二次的电力技术在本质上存在区别,同时,以信息技术为支点,它带动了原子能技术、空间技术、生物技术、能源技术、海洋技术、材料技术等一系列技术的发展。第二,生产效率大幅提升和经济社会发展。20世纪70年代第四代大规模集成电路在计算机上的运用揭开了计算机在生产生活领域运用的新篇章,从1970到2001年,世界经济经

历了长达32年的持续增长,平均增长率为3.7%。周勤等人的研究发现:“信息技术的应用发展以网络形成与扩展为载体,不仅能够改进交易效率,促进分工水平提升和报酬递增,而且又可以以生产性产业的身份直接促进经济增长,另外,信息技术的进步能够使市场大小和分工程度相互依赖,从而产生报酬递增的良性机制并促进经济持续增长。”第三,导致政治、经济、社会、文化的系统性变革。信息技术尤其是互联网技术的快速发展和广泛使用,加快了信息传递的速度和效率,使传统的“官僚制”模式受到挑战,产生了组织扁平化的趋势;它使各类资源信息的聚集与共享成为可能,催生了电子商务、分享经济;它建造了虚拟的网络世界和新型媒体,加速了文化、思想的传播和碰撞,软化了传统的权威力量,推进了社会的多元化进程,信息技术立体地影响和改变着整个社会。以上可以证明,以信息技术为核心的技术体系的进步是第三次工业革命的标志,在这一点上,“第三次工业革命的信息技术学派”“第四次工业革命的智能制造学派”“第四次工业革命的新能源学派”的观点是一致的,也可以说人们在

“第三次工业革命是信息技术革命”这一点上共识是非常广泛的。

里夫金和施瓦布等人定义的“新工业革命”实质上只是第三次工业革命的“新浪潮”而非“新革命”。首先,辨析“第三次工业革命的新能源学派”的观点。里夫金认为,可再生能源的转变、分散式生产、氢存储技术、能源互联网实现分配和零排放的交通方式是第三次工业革命的五大支柱,他对第一次和第二次工业革命的次第与主题定义是认同的,但他否认“第三次工业革命信息技术学派”的观点,认为第三次工业革命是“互联网技术和可再生能源的融合”,所以,上海交通大学的陈宪教授认为里夫金是“重新定义了第三次工业革命”。从里夫金对第三次工业革命五大支柱的厘定中可以看到,太阳能发电、垃圾发电、风能发电等可再生能源技术已经日趋成熟,它们或许会促进经济社会的发展,也会引起政治、文化等领域的部分变化,但这种影响与信息技术带来的影响相比是微不足道的,而且关键的是这些仅仅存在于能源领域的技术无法引起整个社会技术体系的革新,因此,它无法被称为新的“工业革命”,但恰恰相反,如果没有互联网技术,

里夫金所说的能源供应方式的革命便不会发生,所以支撑里夫金关于第三次工业革命的不可或缺的技术依然是以互联网为表现形式的信息技术,里夫金所说的“第三次工业革命”不过是信息技术在新能源领域的运用,依然是信息革命的继续,他所提出的“革命”的最大缘由与20世纪后期以来日益紧张的化石能源的供给、全球污染和气候变暖有关。同理,“第四次工业革命的新能源学派”的观点也应当看作信息技术运用领域的拓展,而不是“革命”。其次,辨析“第四次工业革命的智能制造学派”的观点。以施瓦布为代表的“第四次工业革命的智能制造学派”其核心名词是“智能制造”,而智能制造也是信息技术在生产领域运用的新形式,其并没有产生“不同于传统的核心技术”,所以,它也不能被称为“工业革命”,不过,它在很多生产领域已经变为现实,从目前的发展趋势来看,它比里夫金认为的“互联网与新能源的结合”来得要快要早。如此,“第三次工业革命的智能化学派”、藤原洋和马什的“第五次工业革命”与“第四次工业革命的智能制造学派”的观点也就殊途同归了:都是第三次工业革命的延续。最后,

结合界定工业革命的标准,可以看到纳米技术虽然是一项不同于传统的新技术,但它并没有引发不同生产领域的技术体系的变化,也没有对政治、经济和社会造成系统性影响,目前来看也不具备被称为“工业革命”的条件。

工业革命界定标准的不统一性、对已有共识的排斥以及认知起点的差异造成了工业革命次第和主题定义的分歧,通过以上分析可知,争议最大的“第三次工业革命的新能源学派”“第三次工业革命的智能制造学派”“第四次工业革命的新能源学派”“第四次工业革命的智能制造学派”等四个学派所定义的“新革命”不过是信息技术运用的“新领域”。我们可以把互联网的诞生看作以信息技术为核心和标志的“第三次工业革命的第一次浪潮”,把以信息技术为支撑的智能制造看作“第三次工业革命的第二次浪潮”,把互联网与可再生能源的结合看作“第三次工业革命的第三次浪潮”,而且“第二次浪潮”和“第三次浪潮”融合的趋势已经出现。至于信息技术是我们会带来更多的创新性浪潮,还是未来会有颠覆信息技术的新技术带来真正的“第四次工业革命”,我们还须拭目以待。MT

伟大的变革：现代制造业（二）

（接上期）

在机器时代优化生产

作者：Alan Osan and Ken Somers

导语：随着机器在生产中越来越重要，企业需要更智能、更全面的方式优化绩效。

在许多方面，人类进步的标志就是使用日益复杂的机器，从简单的杠杆到蒸汽机，从电动机到最复杂的机器人。今天，我们大多数人都被机器包围着，依靠复杂的网络为我们供应日用食品、产品和实用工具。通过改变和增加材料、能源和信息的价值，

发达经济体靠机器创造了 85% 左右的 GDP。

机器不仅越来越普及，也越来越聪明，人类使用机器的方式也有了根本性变革。从传统意义——即使在今天——很大程度上机器的性能与操作人员的能力息息相关，有赖于操作人员发现问题或机会，对机器进行必要的修补和调整。现在，机器诊断自身性能和运行状况的能力越来越

强，并具备自行处理信息的能力，并且将信息明确传达给操作员和其他机器。

总之，这些变化意味着，提高质量和灵活性，提高产量，减少能源和其他投入的消耗，让机器充分发挥自身的价值已成为所有企业的重要价值驱动因素。我们相信，机器全面智能的时代优化绩效的五项基本原则如下（图 1）：

1. 精益思维	2. 极限思维	3. 利润/小时思维	4. 全面思维	5. 循环思维
将机器性能改善建立在精益原则和设计上，提升可靠性	运用理论极限概念和高标准设计，提升期望值	把利润作为最终决策的首要因素	整个企业全面参与持续变革	延长机器寿命并优化资产利用
延长机器生命周期并优化资产生产率	运用理论极限概念树立宏伟目标，形成创造性思维，产生突破性影响	了解生产能力、产量、能源和环境之间的关系，推动长期盈利	改进和调整管理系统、思维方式和行为，提升技术水平，创造更丰厚的经济效益	优化产品和服务周期，增加商业机会和竞争优势

图 1 发挥机器最优性能的五种基本方式

一、精益思维

精益方法曾极大地改变人类工作绩效。现在该把相同重心转到机器上了。和传统精益一样，其核心是识别影响运营绩效和效率的根本损失来源（灵活性、误差和浪费），并将其影响降到最低。

精益思维在机器上的应用需要转变思维，然而，这需要考虑机器特定属性（如能耗、产量和可靠性）的损耗。例如，操作人员在工作前不得等待原料供给，则每位人员的损失都大致相当。在同样的情况下，机器造成的损失可能大不相同。有的机器可能按需完全关闭，有的机器可能会继续消耗能源和资源，而有的机器可能因中断后过程受控而产生大量废品。

1. 非变通性

人类工作者本质灵活变通。这种灵活性必须被明确地建立或编写到机器中。例如，在冬季降低机械冷水机组的冷凝器压力，意味着在环境温度较低时将消耗更少的能量。燃气锅炉的效率可由检测燃烧室中的氧气水平并根据所需输出进行调整得以优化。如果不规定总输出功率，定速泵将额外耗能；在定速泵的电机上安装一个变速驱动器可以减少损耗，使其符合所需输出功率，并且能量消耗精确地按需变化。设

计容易调整的设备，令其各种操作范围内有效且可靠地运行或适用于各种类型的产品，可让生产在短期内实现成本效益，并有望延缓或消除未来的资本支出。

2. 可变因素

精益企业在努力克服影响产品质量和生产效率的可变因素。例如，它们尽量使原材料质量一致，并统一工作流程。最佳的机器性能也需要严格控制可变因素，包括机器设计和控制系统。它们能长期提供所需输出，补偿运行条件（如温度或湿度变化）的短期变化和本身的长期影响（如磨损）。

过去，控制机器可变因素的传统机制依赖严格流程来识别产量偏差，并以技能过硬的操作人员干预来弥补。然而，随着机器变得更加智能，适应性也更强，可以更多使用闭环控制系统自动执行此项流程，以确保内外部条件在变化中一致。即使在轧机等非常成熟的技术中，最新的智能控制系统也能提前识别和预测维护问题，实现快速维修，使机器性能比对手高出 2% 至 3%。这一优势大大增加企业年产量，令企业额外盈利数百万美元，相关成本降低 30% 至 50%。

3. 废物

传统精益思维中的八种浪费来源同样适用于机器。例如，过度生产包括选择产能显著过剩的机器，或者在仅有一个或甚至没

有计划带来成本效益的情况下开展多个维护活动计划。

基于已知或预期的故障来优化预防性和预测性维护活动计划有助于确保其只有在需要时才正确进行。机器可靠性差造成的库存浪费可能包括过多工具和备件库存。

其他来源对机器环境要求更为严格，包括使用更耗能或可靠性更差的过时设备，或未采用标准化设备导致繁杂的培训流程、支持要求，以及大量的备件库存（图 2）。同样，资产的预期绩效和周期特征需要与更广泛的生产系统特征保持平衡。如果一个工厂的其他生产线每三年进行一次周转维护，那么增加投资可以正常运转十年的资产就几无意义。

企业越来越倾向于使用从设计到价值的技术，包括对可靠性和可维护性进行的设计，以根据所需的操作特性和维护要求来优化机器周期成本。例如，在整个周期，简单泵的动能成本和维护成本可十倍于最初购买成本，而效率更高、整修间隔更长的泵可以节省数倍于购买价格的维修成本。

二、极限思维

企业今天考虑机器性能，通常会关注目前运营情况，并寻找可能的改进方法。这可以理

典型的各类废物		资源浪费等值
	定义	实例
1. 过度生产	■ 产能过多	■ 压缩空气通风口
2. 等待	■ 在生产停止时仍消耗能量	■ 碎煤机空机运转 ■ 停机期间高能耗
3. 运输	■ 运输能源效率低下	■ 压缩空气网络泄漏
4. 过度处理	■ 设计耗能高于实际所需的能源	■ 机器运行温度高于实际所需
5. 库存	■ 需要能量或损耗能量的库存	■ 库存两个流程间隔冷却
6. 废品返工	■ 返工耗能或生产废品导致的资源浪费	■ 重磨煤
7. 运动（低效流程）	■ 使用资源低效的流程	■ 蒸汽锅炉中过量氧气
8. 员工潜力	■ 未能利用员工潜力来识别和防止能源浪费	■ 未参与节能项目的员工
特定资源废物		
	定义	实例
9. 设备效率	■ 使用低效率设备	■ 运行低效锅炉 ■ 超大泵
10. 系统集成	■ 未能充分整合利用能源	■ 较差的热能或压力整合

图2 图中十个能源实例显示了如何减少浪费

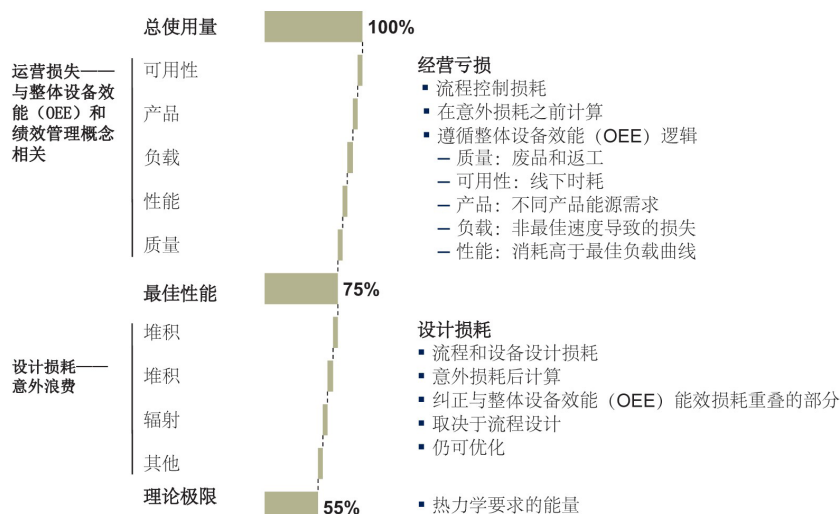


图3 对比实际机器性能和理论最佳值，把握提升机遇

解，但并非万全之策。一个更有效的方法是从机器的理论极限着手——在没有机械消耗、非标准流程、原材料缺陷或其他来源的理想状态下如何运转？现实中，没有一台机器能实现最佳理论性能，但是对比当前性能和理论上理想状态的差距，企业可以确定当前生产系统何处损失最大，并着重对其进行改进。

由理论极限方法确定的损耗分为两类：设计损耗（由机器的物理特性决定），以及运行损耗（由机器运行和维护决定）（图3）。由于后者往往可以无任何花费或投入极少资本得到解决，其应该成为所有改善措施的首要重点。

三、利润 / 小时思维

将重点放在提高关键机器的可用性还是提高产量方面更有效率？企业思考这类问题，苦苦追寻提高机器效能之道，却往往发现答非所问。如果平衡生产系统没有良策，他们就会冒险投资较劣选择。而更糟糕的是进行本地化改动，降低整个设备的性能。

然而，为制造业内外所熟知的唯一决定性的指标就是利润。在生产系统内具体运用该指标一直有一个难点，那就是月度或季度利润汇报太过粗略。今天，随着海量的即时数据时代的来临，企业拥有了新的可靠性能指标：利润 / 小时。

机器性能每个方面都会对小时利润造成影响。过度能源消耗增加了成本，降低了利润。产量提高则降低了投入成本，提升了利润。缩短停机时间，减少意外故障，意味着将更多的时间用在生产上而成本更低——平均小时利润更高。这些复杂的元素整合成单一指标，本身就适用于不同运营战略。

采用利润/小时方法，企业即使在高精度的制造操作中也能发现潜在的改进机会。对于一些企业来说，这是整体性能大大改善的关键。例如，一家钢铁厂将其作为其整个运营的主要绩效指标。六周后，从生产运营商到首席执行官全面引入这一指标。在接下来的几个月中，该工厂的盈利能力上升，其影响更为显著——与此同时，在全球钢铁价格大幅下滑的背景下，许多钢铁企业不是被迫减产就是濒临破产。

四、全局思维

迄今为止我们介绍的方法只是冰山一角。打造发挥设备最佳性能的企业，与变革管理密不可分。企业需要改变员工的基本思维，从全局出发了解机器性能。作为新的管理基础一部分，他们还要支持新思路，改进指标，就性能开展更加频繁的对话。这同样重要。

机器性能不仅仅包含生产、维护或工程功能。制造企业内所有职能部门都将发挥关键作用，所有部门必须达到业绩预期。

杜绝机器停机和提高性能的重要因素之一是机器操作员的思维和行为。直接操作设备的员工最适合持续监测设备性能和状况。例如，操作员可承担简单的维护任务，但更复杂的预防和检修任务还有赖于维护技术人员来完成。

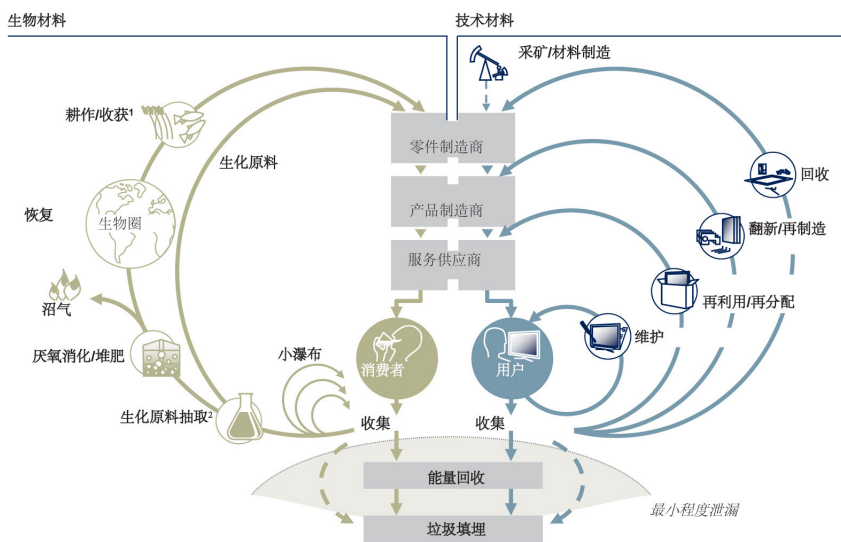
企业寻求发挥机器最佳性能的最终——也是越来越关键的要素——便是分析技能。随着机器自身记录和存储的详细数据日益增加，先进的分析技术在性能优化中越发重要。利用这些资源要求新型基础设施和人力资源，包括：存储和管理数据所需的软硬

件和流程，从业者从中获得有用信息的能力，将信息持续转化为改进效能的措施。

五、循环思维

生物系统已能有效利用稀缺资源。有机体能自我修复，并适应不断变化的环境。它们产生的废物在其他流程是宝贵的原料。循环思维旨在运用相同原则大幅提高人造系统资源效率和生产率，其目标是在生产系统的整个周期内节约资源甚至杜绝浪费(图4)。

企业可以多种方式对机器应用循环原则，设计出效率更高、运行更可靠的机器，以降低能源、水资源或其他投入消耗。它们可专注于提高产量，确保更多投入



1 搜寻和完成
2 可将完工废物和消费后废物作为原料
来源：麦克阿瑟基金会；麦肯锡分析

图4 循环思维可延长机器寿命，生产更多价值

材料转换成有价值的产品。而且也可以探索使用替代原料的机会，以再循环原材料取代原始原料。

这种方法也延长了机器的寿

命。通过设计重用或更新，相同的基础平台可以生产多代产品，从而降低成本，提高机器回报企业的价值。精心设计的完整周期方法意味着机器能更长久地为企

业创造价值。传感器和控制系统可升级，例如磨损零件翻新或重造，旧的机器有新用途，如为成本敏感的新兴市场制造更简单的产品。

质量的演变：事半功倍

作者：Adriana Aragon, Evgeniya Makarova, Alessandro Faure Ragani, and Paul Rutten

导语：优质并不等于高成本——事实上，其往往意味着低召回率和低保修成本的良好企业文化。

灾难能吸引大众眼球。豪华汽车、非处方药、医疗设备或手机电池的大规模召回和诉讼，可说是质量滑坡的标志。而对于任何领域的制造商，随着供应链日渐复杂和媒体范围不断拓展，质量下滑导致的重创将前所未有。

但这些事件带来的不止恶劣影响。事实上，尽管尽力避免很重要，但过多关注灾难本身也会影响企业正确理解质量意义。根本上，质量要达到甚至超出客户期望：每一天，每一次出货，乃至年复一年如此，才是真正的价值所在。它不仅仅从更高的客户满意度带来的可观收益来衡量，还依靠产量和创新水平提高——甚至是员工敬业度。

然而，种种限制横亘眼前。加大的利润率压力，特别是在以

消费者为导向的行业，如快速消费品和医疗产品，限制了企业在质量管理方面的投入。因此，企业不仅要追求优质，还需要运用策略。

为了实现良好平衡，企业必须学会系统思考质量问题。质量意识最初形成时，企业稳定运营系统，提高质量问题的透明度，也开始更加关注客户诉求（详见下页“岂止于达标”）。随着这些实践走向成熟，下一个成熟阶段将围绕跨职能部门问责和质量合作展开——例如制定新的绩效标准令产品设计和供应合同管理都有据可循。

在第三阶段，质量决定企业主要决策，深深融入企业的命脉，成为企业文化的重要组成部分，对企业的价值主张至关重要。最后，在实力遥遥领先的少数企业中，质量已成为企业的信誉之本。这些卓越企业将业务推向新领域，进行行为研究和流程分析，

开发更好的解决方案，与客户建立更紧密的关系，从而拓宽对质量的理解，解决客户问题。

实现这些需要投资。但好消息是，质量把控最精细的企业往往在质量方面投入并不是最高的。然而，这些领先的企业以质量为先，所以它们在质量上的投资非常有效。走向成熟的每一步都在不断体现优势：从一无所有到打下根基，到平均水平，再到先进水平，最终到行业领先水平。

例如，一家处于初期阶段的跨国工业制造商将非质量成本（如保修索赔、废料和返工）降低了约 30%。一家中级生物制药企业将产品偏差减少了 50% 以上，废料降低了四分之三，同时从质量把控队伍中抽调了 25% 以上的员工，重新分配到其他岗位。而在一家最顶尖的医疗器械企业，推进力度更大，废料和返工成本仅为中等企业的五分之一。在制药企业中，最顶级生产企业的成本

仅相当于中等企业成本的十四分之一（图1）。因此，在各个阶段，各行各业都在以有竞争力的成本生产出高质量的产品，加强能力，为未来质量提升打下基础。

岂止于达标

特别是受到严格监管的企业（如医药或金融服务领域），企业往往主要以达标来评判质量。这自有道理：产品日渐复杂，达标和质量开始重叠，一些标准明确纳入了最低质量目标。例如，医疗设备制造商面临审查的挑战，既要通过产品的初始监管批准，还要占有市场份额。人寿保险企业情况类似。

然而，即使是最复杂的标准，也未必完全包含客户的“合格标准”。相反，监管机构一直针对最关键的变量，通常以安全为重点：医疗设备检查和保险财务检查。

尽管一些监管机构在拓宽对质量的理解——例如基于整体健康或寿命而非仅仅症状调节评估新药——但企业要增强对质量的理解，满足客户的质量要求，并不断改进，仍任重道远。这就是企业走向质量成熟阶段打下的坚实基础。

一、质量“成熟”的四个发展阶段

评估企业的质量实践，我们

关注质量的三个基本要素。

首先是操作系统——例如汽车制造商的生产过程或零售银行的服务操作——衡量其对质量的贡献。其次是质量体系本身，包括企业级别能力（如测量优质产出），或将质量标准纳入产品和流程设计。第三个要素是质量的文化维度——员工如何看待其对质量的贡献，以及如何保证质量。

企业在这三个领域的表现决定了其所处的成熟阶段（图2）。尽管不同阶段无明显划分，但每个阶段都有一些重要的特征。

从企业投资质量的经验角度，几个广泛的经验教训最为显著。最重要的是，从零阶段（当一个企业质量把控制很低时）到第四阶段（重新定义质量的龙头企业），投资能在任何可能的起点得到回报。

另一个相关的教训是，质量

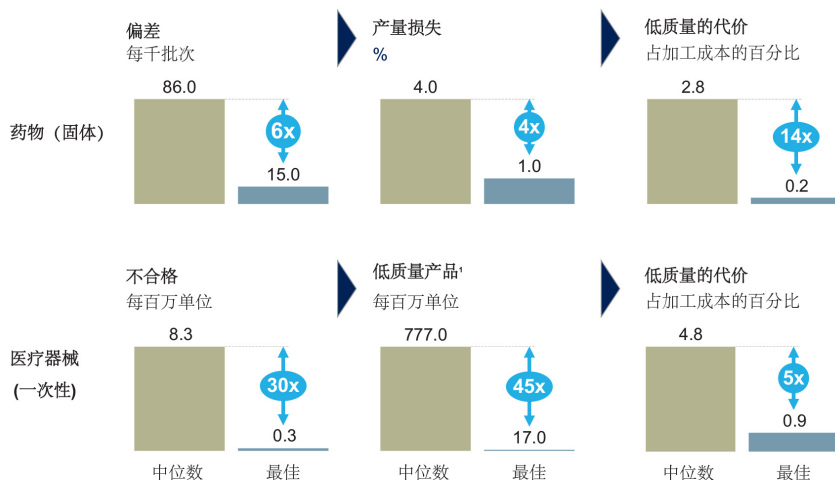
投资的影响往往随企业质量成熟而增加。部分原因在于规模：随着企业成熟，会越来越注重质量。而且质量日益强调战略，其影响更广泛持久。

然而，最后的教训是，从企业情况来看，各阶段发展既非平稳，也非自然而然——甚至并非必然。相反，即使各企业具体情形不同，发展契机也有共同特点。

二、建立消费焦点、透明度和稳定性的基础

企业认识到简单回应质量问题不再奏效时，通常会迎来第一次契机。这往往代价颇高——产品召回、保修费用和声誉损失。这个教训同样适用于关注增长的创业企业，免受市场需求影响的国有企业和高需求行业的企业。

跨国工业制造商正是如此。



1 产品被投诉或召回
来源：POBOS质量

图1 最好的医疗产品工厂以较低成本生产高质量产品

全球需求大幅下滑，该领域巨头竞争力突然大大提高。领导层认识到，在行业低迷期生存，质量强化必不可少。目前的质量难以符合客户的期望。仅在一家工厂，十分之一以上产品存在一定缺陷。交货也通常延迟，导致企业在重要客户群体中信誉受损。索赔成本也高居不下。

企业发现根本问题是人们认为质量应由质控部门把控，与他人无关。

为了改变久已有之的思维定势，企业开始更加关注客户的诉

求。部分结果是，最重要的绩效指标从“生产单位”改变为“质量生产单位”，大大提高了整个企业的质量透明度。同样重要的是，一个由最高管理层领导，包括业务部门和职能部门负责人的新的质量委员会每周进行一小时例会，讨论质量提升，定下基调。有了基本的精益管理结构，一系列相似会议从企业各个级别（从工厂总经理到每位工作人员每日十分钟质量研讨）传递质量信息。

结果如何呢？制造环境更加稳定，客户投诉和质量相关成本

下降四分之一以上。

三、加强合作文化

一旦企业的质量更加透明和稳定，经常有新的机会提高质量价值和降低成本。我们最新的研究证实，绩效较高的机械制造企业在文化因素上比同类企业得分更高（图3）。因此，在这个阶段，目标是整个企业合作更紧密，使质量融入文化。这种合作也延伸到企业之外，包括合作伙伴和监管机构等利益相关方。可以用两家制药企业展示这个阶段的演变。一位无商标制药生产商正面临合规问题，需要在工厂车间建立更好的质量操作流程。另一家是全球最大的品牌医药制造商之一，反思其已经非常丰富的合规经验，进一步改善质量结果和风险状况，同时降低成本。

为了加强质量的跨职能性质，两家企业都扩大使用广泛绩效衡量标准，如无差错或首次（RFT）生产和准时足量交付。在整个生产基地团队，两家企业专注于每日跟踪和讨论新指标。另外，这些共享指标与年度奖金挂钩，提高每个人对质量的重视。这不仅仅限于特定的职能部门或运营单位，还可以跨企业。

随着这些新做法的实施，无商标制药生产商的生产率增长值超过15个百分点，端对端的RFT比例从83%上升至92%以上。

成熟阶段	操作系统	质量系统	文化
0. 起步期	制造业绩不一致	被动低效的合规	对质量关注有限
典型发展契机：降低质量成本（如财务、声誉），减少合规要求的机会			
1. 可重复、标准化制造的基础进展	朝着可重复标准化制造迈进	个体质量质量流程发展	提高产品质量透明度
		建立基本合规性标准	重视提高合规性
		启动单独质量功能	
契机：令质量创造正面价值并减少暴露质量风险和失败成本的机会			
2. 强化	健全的制造体系以及若干改善之处	所有职能部门均建立质量体系 更好的跨职能问责制 积极解决质量问题	以质量为消费者价值 重视降低质量成本
契机：质量从“赌注”提升到价值主张的重要部分的机会			
3. 嵌入式	持续改进制造周期	质量和客户满意度推动产品设计、解决方案及战略决策	质量是企业运作之道 专注于预测客户需求并持续改进
契机：重新定义质量的机会			
4. 标准设置	采用先进制造技术、控制技术以及分析方法，为新产品和流程设计提供信息	采用先进制造技术、控制技术以及分析方法，为新产品和流程设计提供信息	质量是最有价值的企业属性之一，应专注于突破陈规的解决方案

图2 “契机”推动企业质量成熟走向全新阶段

个别网站开始更加自信地应对监管检查，没有任何明显合规问题或监管意见。对于品牌药物来说，这种变化既减少了质量事件，又降低了低质量的成本，提高了风险水平，同时又不增加对信息技术、资本或其他资源的投入。

四、把质量转化为核心价值

第三次转型只有成为企业核心价值后，才能使质量文化扎根更深。实际上，质量不再主要决定底线储蓄，而决定着一线收入。在战术上，这一阶段需要对人力和数字能力再投资，以便企业可以整合所有可用客户数据——来自每个内部接触点以及外部的数据——以确定新的方向。

全球物流企业质量方法的深刻变革说明了要求。此前，企业重点是快速交货，这已经基本达成。但是，客户越发关注其他因素，比如准确预测交货时间——如果在客户准备好接收货物前交

货，交货速度并不太重要。此外，数字经济的兴起意味着交货更加复杂：交付给仓库和零售店大宗货物降低，而且送至住宅地址的小货物交付量十分庞大。

新世界不仅要求高质量，而且要求高质量的领导层。整个组织从管理阶层到穿制服的司机都投身于能力建设，以了解更高质量的竞争力以及对日常工作的影响。更深入的解决方法使人们能够找到新的方式服务客户。而新技术细致处理路线数据，可以对交货全面重组，最大限度减少错误几率。其结果是客户满意度大幅增加，带来新的增长。

五、用最新分析和技术设定新标准

最后一个阶段采用更广泛的测量和分析技术来开发解决方案，它们大大提升了企业预测客户紧急需求的传统业务能力，即有时先于客户预测其需求。商用车制造就是早期例子。历史上，

制造商可以赚取的价值大部分来自最初销售。但是现在，一家大型商用车生产商在车辆上安装了100多个独立的性能指标检测仪。基于先进的车载故障检测仪，企业能发生故障前安排维修人员上门服务，降低维护成本的同时，提高车辆使用率，并快速提升服务水平。

对于个体制造商，高级分析技术将增加产量，减少浪费。一家乘用车制造商已经将制造设备的停机时间从数天缩短为数小时。在化学品方面，精密的能源投入和需求建模能将能源使用量至少减少5%。一家电器制造商使用云数据库来存储多个信息来源（例如维修技术人员笔记、保修索赔数据、呼叫中心记录、产品信息和制造数据），预测分析，预警问题，并允许其对现有产品和未来产品改进设计流程。在不到两年的时间里，生物制药生产基地通过高级分析更好地了解重要流程变量，以最少的额外流程投资让产量和RFT水平翻了一番以上，并改进了流程规格。

小结

并不是每个组织都需要达到最高水平的质量成熟，当然也非一劳永逸。但是，所有企业都应该认识到，当契机发生时，质量能力投资往往会为竞争优势开辟新的重大机遇。

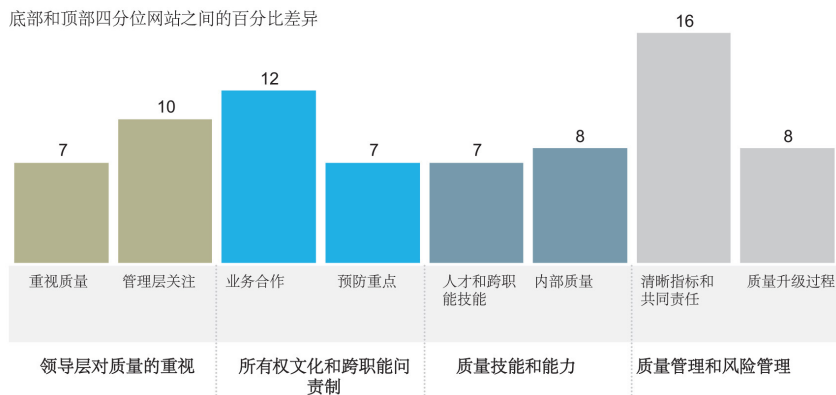


图3 高绩效者在文化因素方面表现不俗

把分析转化为成果的七条规则

作者：Richard Kelly, Subu Narayanan, and Mark Patel

导语：虽然物联网的高级分析对制造商来说可能价值数万亿，但将见解转化为成果需要的不仅仅是正确的技术。

制造业可能产生大量数据，但是企业使用这些数据来推动绩效改进只是表面功夫。现在，低成本的传感、更好的连接和不断增长的计算能力正使分析和智能有更多可能性，远远超出过去。

目前挑战是如何开始以及如何实现可衡量的持续影响。我们与世界各地的机械制造商的合作表明，遵循下列七项黄金准则，企业能更快速获得支持物联网高级分析的优势，为持续改进打下坚实基础。

规则 1：从现有简单数据开始

随着物联网（IoT）在制造业影响日益增强，许多企业都乐于在运营中部署数千个低成本传感器。我们认为这个想法凸现了价值，但是经验表明，目前正在生成的大部分数据都是未经使用的（图 1）。简单的分析、正确的做法以及现有的数据库能在短期内为制造商带来巨大价值。这些早期成就不但有利于形成数据导向决策文化，在商业案例中进行更多先进分析投资，还有助于赢得一线员工支持，树立信念。

例如，数字化性能管理（例如人工绩效和机器性能实时数据可视化）需要最少的资源，因为它依赖于简单、快速部署的解决方案。但其易于量化的结果能成为快速改善和管理层购入的依据。

如一家机械制造商运营良好，其实施精益管理已十分成熟，且有发达的解决问题的文化。然而，由于尚有提升空间，该制造商设立了一个分析解决方案，将复杂的实时分析应用到现有（但以前未曾使用的）数据上，产生用户友好的可视化效果。在产能有限的工厂里，设备几个星期持续运转，该系统提供了前所未有的细节信息用于解决日常故障和操作员操作失误，找出了若干以前不明原因的低速运转和小型停机的根由。对于最重要的瓶颈问题，其带来的变化将整体设备效率提高了 50%。

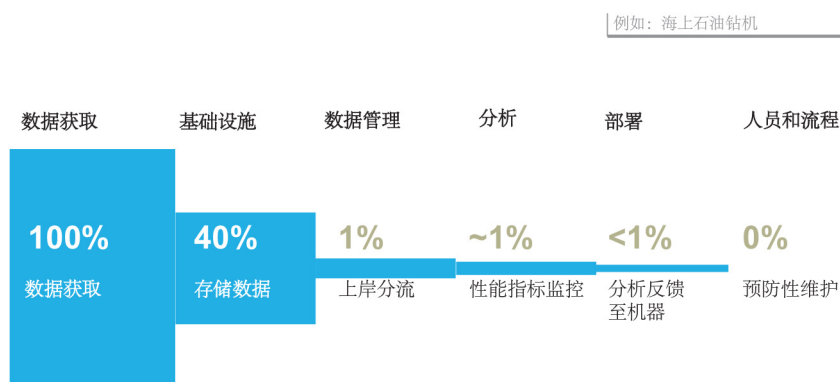


图 1 大多数真实数据尚未使用

规则 2：获取正确的数据，而不仅仅是更多的数据

拥有正确数据比拥有大量数据更重要。一家基础材料企业斥

资数百万美元，安装了一个“智能”制造系统，追踪了一百多万个变量。然而，当企业分析系统中特定分析用例的 500 个数据标签时，其中一半提供的信息有限或重复。另外 25% 的数据被流程专家和数据科学家丢弃不用，因为对分析问题毫无用处。进入深层分析阶段后，企业发现了 20 个关键变量——包括一个未被测量到的关键因变量，使精确预测分析毫无可能。因此工厂有针对性地安置新型传感器，而该企业使用分析方法为流程工程师提供了关键的决策支持工具，向提高 1% 产量迈出第一步。

规则 3：不要让长期完美阻碍短期利益

数据丢失对分析项目造成威胁，这些项目需要多年进行数据架构转型。我们承认，获取物联网高级分析的全部价值需要投资技术堆栈。但企业不必因长期 IT 项目的挑战停滞不前。小投资往往能带来大收益。

一个良策就是开发“数据湖”——整合企业数据并克服简仓数据管理局限，十分灵活，不需完全集中数据。虽然其需要强有力的管理、数据定义和质量问责，但能使数据访问民主化。通常，数据湖通过允许访问原始数据或通过数据精馏向不同用户群

体提供数据，从而实现对预定义数据结构的访问。

实施分析所需的开发方法有助于替代 IT 架构。分析性实验和探索需要迅捷的软件开发方法，以日或周为周期。对于已有的 IT 流程和数据基础架构，这种快节奏常常有挑战性。解决方案建立平行的“快速”IT 和数据基础架构，通常为云系统，提供一系列部署环境和量身定制的数据库。

数据湖和云解决方案让企业的分析工作更快开始，使它们能够快速开发、测试和实施新的用例。这有助于在广泛推出新解决方案前进行必要的概念验证。随着人们习惯使用分析法，以新方式工作和决策，这对构建企业分析能力也颇有价值。

规则 4：注重结果，而非技术

盲目投资数字产品和解决方案，而不知道它们将产生何种积极的影响，与领导者的讨论将收效甚微。基于用例的一个方法可以起到帮助作用（请参阅下页“成功分析用例”）。在定义用例时，一定要回答四个基本问题和后续问题：

■什么是理想的业务成果？这是一个新的商机，一个降低成本的机会，还是能增加创新能力？

■什么是价值杠杆？重点应

放在节能，高效的维护，提高资产利用率，降低库存，还是增强生产能力？

■所提出的方法必须满足哪些技术要求才能在整个企业大范围执行？需要新的数据源吗？该解决方案如何与传统 IT 系统集成？我们如何安全地处理大量数据？将使用哪些分析技术？需要什么样的新型仪表板？

■该方法如何融入我们现有的流程？谁将使用新系统？哪些行为和决策制定流程必须改变，从而将分析见解转化为业务成果？

规则 5：在活动内外寻找价值

虽然先进分析方法已经非常成功地应用于机械制造工厂内许多特定活动，但是数字化的很大一部分价值在于企业简仓间的空白——通过缩小设计与制造、制造和供应网络之间的差距，最终连接到最终用户。一家高度专业化的设备制造商最近进行了一项“数字线程诊断”，确定了 3 亿多美元的可行性生产力改进方案，在设计、制造、实时绩效管理和其他杠杆活动的使用更好的数据流。

规则 6：打破试点陷阱

试点项目是证明高级分析价值、建立动力和鼓励买入的有用而重要的方式。但是，获取价值意味着在整个企业推广。这很难达到，推广失败会很快将支持变成批评。因此，领导者必须思考一个完整流程，推广值得注意的案例。以下是一些常见的陷阱：

■ 专注于技术或方法，而非真正的价值来源。在定义用例时，重要的是从真正的价值来源出发，通常是用户或客户需求。软件工具并非万能；此外，正确技术的选择取决于一个企业想要利用的用例体系。

成功的分析用例

以下四种用例分别在工厂各个方面得到应用，为多个行业的企业带来了巨大价值。

实时绩效追踪：从最基本的层面，制造商只需实时追踪关键指标，应用简单分析和可视化方法，并将结果嵌入常规根本问题解决流程中即可看到改进效果。随着解决方案实施，工厂内各个层面都会建立起以数据为导向的决策文化。

多变量流程优化：几家企业采用综合方法，优化流程产量、能源使用和生产能力，从而实现每小时利润的最大化，并且已经证明比替代方案更简单、更有效。例如，一家欧洲化学品生产商发现，它所安装的专业系统在稳定流程和降低能耗方面作用甚微。原因是系统太复杂，无法使用。然后，企业转而

采用工厂级盈利能力优化方案，使用高级分析工具和神经网络模式来模拟流程，并将每小时的利润作为主要的绩效指标。最终分析表明，实时优化一些重要参数能将能源成本降低4%到5%。更喜人的是，这种方案实施只需少量修正，耗时和投资也大幅下降。

预测性维护：主动性和预防性维护并非新概念，但通过精细分析技术管理大量数据可以显著提升故障预测能力和资产正常运行时间。例如，一家资源企业发现，尽管针对其重型卡车车队采取了预防性维护策略，但许多关键组件（如变速箱）还是无法持续一个完整的计划维护周期。结果，企业四分之三的维护工作为纠偏。先进的分析技术表明，单个简单的测量操作特性是发展传输问题的一个很好的指标。通过实时监测该特征变化，企业可以提前数天提醒操作员，准确度高于80%。在化工、半导体、交通、石油、天然气等其他行业也有类似结果。

劳动生产率：高级分析方法同样适用于提高人工生产力，这一点在企业工程人员中充分体现。这种方法从广泛的来源中获取数据，如项目记录（日常项目计划和时间表）、产品周期管理系统（物料清单和文件版本控制条目）、知识管理系统管理数据库（维基和讨论论坛）、供应商数据（供应商数据、建议书和报价请求）以及元数据（例如电子邮件、日历条目和员工人口

统计数据）。使用机器学习工具处理这些信息，揭示了许多违反直觉的见解，并量化了其他“已知的事实”。例如，项目启动和停止损耗8%的生产力。每10%的利用率增长超七成，观察到生产力损耗7%，另外超过7个工程师的项目，每个工程师生产率下降7%。分析确定了总生产力——提高潜力在15%至25%之间。

■ 一次解决一个用例：过于关注单个用例会限制以后可扩展性选择。实现规模的重要技术要求包括高级操作和分析数据架构，如数据湖和数据搜索层，以及物联网平台、数字化和分析工具，及建模工具和技术库。

在工厂设置中，正确的物联网平台有助于分析许多功能，无论具体应用程序如何，从而一次扩展多种用例。无论企业试图优化产量还是预测关键设备故障，基本技术需求本质相同。物联网平台可以为计算、存储或安全性提供通用功能，同时降低开发和维护应用程序的成本。

评估物联网平台需求时，企业应考虑五个因素：应用环境和提议的平台与现有IT基础设施的连接性；该平台能在为数据提供环境的同时高速提取各种数据流；它兼容更广泛的企业云战略；数据主权和安全问题；边缘处理和控制能力——能接近来源处理和存储数据，而不仅是集中处理。

■ 过早庆祝成功：企业应

在整个端到端过程中考虑，超越单一的概念验证思考所需技术要素外的其他要素以实现规模。数据管理问题（如域、关键数据元素、问责模式和角色定义）可能会带来棘手的组织和人员问题，特别是可能需要新的分析和技术职位。而且分析生成的见解必须整合到现有工作流程，通常伴随着业务流程的变化。

■关注技术解决方案，却忘记了人：技术虽好——但掌握其影响的还是人。虽然分析可以指出正确的答案，但人们必须分工把握影响。把握数字机遇是团队行动，需要密切的跨职能合作。具有深厚的流程知识、分析能力和 IT 经验的团队必须共同努力，攻坚克难，将业务问题转化为分析问题，并从 IT 角度定义正确的系统和技术要求。将分析输出转换成可用于前线的形式，并改变前线行为以充分利用这些新信息，需要对人为因素的了解、有说服力的设计和管理经验变更。一些企业发现在流程知识、数据科学和 IT 的交叉点创建一个新

的角色——数字转换器非常有用，能集中所需的跨职能团队，并将分析工作从概念转向底线影响。

为避免这些缺陷，企业需要结构化的方法管理分析工作，例如识别和管理用例管道，并构建正确的技术堆栈。选择用例后，企业需要大规模变更管理和建设能力，系统地规划，试点，扩展，将分析嵌入日常流程。

规则 7：建立你的能力

大规模分析的应用也需要改变组织。例如，随着新的角色和职业道路出现，企业需要确定其人才战略。数据科学家、敏捷的 IT 团队和用户体验（UX）设计师要在支持实际分析运用方面发挥关键作用。介入前线创建的有说服力的设计常常是分析解决方案采用率高的法门。因此，一旦开始设计用例，UX 专业人员就应该参与其中，而不是在解决方案已经基本完成之后才被要求应用可视化界面。

另外，一家企业需要“翻译人员”——能够掌握端对端流程的多面手。翻译人员需具有深厚商业知识，并且能参与运营和维护团队的工作流程。他们必须精通分析，能挑战数据科学家。他们必须了解 IT 系统和设计思维。他们必须要在领导团队中拥有话语权。这样的技术通才千金难得。

除了这些内部职能，明确的合作战略也很重要。具备独特物联网功能的大企业和初创企业都在爆炸式增长。成功的企业将很快回归其独特的价值主张，领域内的合作也能帮助加强他们的能力。

小结

物联网驱动的高级分析的潜在影响不断变化。虽然企业很容易上手并在董事会小有胜利，但在整个企业扩大规模并产生统一的底线影响困难得多。最成功的组织思考全面，投资技术和人才，建立明智的合作伙伴关系，并有足够的领导力坚持。

增材制造：制造商的长期游戏颠覆者

作者：Jörg Bromberger and Richard Kelly

为充分利用增材制造，企业需要超越样机，了解技术对于生产的意义。

增材制造（AM）——逐层制造产品而不使用传统成形或减成法已经成为制造业中最具革命性

的技术应用之一。其通常被称为 3D 打印，当今倚靠材料最著名的形式有：塑料中的 SLS（选择性

激光烧结），SLA（立体光固化成形）和FDM（熔融沉积造型），以及金属中的DMLS（金属直接激光烧结）和LMD（激光金属沉积）。

AM过去只被用于样机制造，现在却更广泛用于零配件、小批量生产和模具制造。对于金属制造，能使用现有材料（如钢、铝或Inconel等高温合金）显著简化了运用AM的流程。

同时，AM能处理的材料数量不断扩大。各种各样的新型塑料已经开发，以及用于陶瓷、玻璃、纸张、木材、水泥、石墨烯甚至活细胞打印的工艺和机器。航空航天、汽车、消费品（包括食品）、医疗保健（使用AM生产人造人体组织）都得到了广泛应用（图1）。

一、增材优势

与传统生产方法相比，AM具有巨大优势，包括更少的硬模具和装配。长远来看，AM能彻底改变产品设计和制造方式，根本上改变发送、销售和服务（图2）。

应用AM的程度最高的行业，其产生的巨大价值大大高于其昂贵成本：它在产品功能、生产效率、定制程度、较短上市时间（即服务水平的提高），淘汰过时设备（特别是在重资产行业）等方面都取得了长足进步。航空航天、汽车和医疗等工程密集型企业能加速样品设计，从而探索全新设

计特性或创造出完全个性化的产品（无需投入额外成本）。高价值/低产量的企业具有以下优势：制造流程更快、更灵活，使用零件更少，浪费的材料更少，复杂组件的组装时间更短，甚至能创造出具有全新属性的材料。维护、维修和大修等领域的零部件密集型企业能淘汰过时的零部件，加

快产品上市，提供更多本地化和按需生产机会，并且独立于传统供应商。

二、机械制造市场潜力

一些分析师报告保守预测，截至2020年，AM的直接市场将

航天	工业	医疗
- 飞机引擎燃料喷嘴 - 耐用度提升5倍，重量减轻25%	- 燃气轮机燃烧器头修理 - 修复时间从44周减少到4周	- 助听器 - 高度定制零件批量生产
航天火箭发动机的推力室更可靠、更强劲、更高效	- 印刷工业过滤器几何优化 - 泵能量降低15%	- 为肿瘤手术提供帮助 - 减少手术时间和并发症
- 用于AM的金属托架 - 重量减轻50%，节约原料	- 通过特殊设计提高机器零件性能 - 将生产时间从数天缩短到数小时	- 在2周内制造出假肢，取代左腿的下半部分 - 保持人工器件与身体的审美要求

图1 增材制造已应用于多个行业



图2 增材制造的重大益处

增长到 200 亿美元，这仅代表了整个模具市场冰山一角。然而，我们认为 AM 产生的整体经济影响可能会更大，如果行业间的采用率保持在今天的水平，截至 2025 年，将达到 1000 亿到 2500 亿美元。在很大程度上，航空和国防、汽车、医疗和消费品行业将迸发大部分市场潜力。

同时，各利益方在不断加快建设 AM 整体市场。大型原始设备制造商在研发和建设内部能力中心在显著加大投资，而诸如惠普的其他大型企业正在从传统印刷企业向新型市场转型。主要政府机构在设立研发基金，包括欧盟“地平线 2020 计划”，或者针对本企业员工启动能力建设计划，韩国即一例。

大学正与制造商的研究中心合作，创建应用研发创新中心，例如新加坡先进再制造与科技中心和德国亚琛工业大学 / 弗劳恩霍夫生产技术研究院。最后，由

于现有 AM 技术的大部分专利已耗尽，为各行各业的新成员（以及已有成员）留出了进入价值链各环节的空间，所以出现了一个充满活力的创业现象：新设计层出不穷，服务型企 业 崛 地 而 起，新 技 术（如 BigRep 和 Carbon3D）不断开发。

三、AM 的局限

尽管大家对 AM 前景态度乐观，但实现真正的大范围应用之前，还需克服诸多挑战（图 3）。

■ 缺乏设计知识。AM 产品设计上，全球技能差距较为显著。获取技术全部潜力通常需要在全新角度反思产品设计，因为 AM 具有巨大的自由想象空间：可以校准产品设计，免去不必要的耗材，并且可以结合内部或有机结构，克服传统铣削或注射成型的局限性。我们认为，企业目前只抓住了表面的潜在属性。

■ 生产成本低。这是广泛使用 AM 的主要障碍。尽管 AM 避免了传统工艺（如注塑成型）所需的高昂前期模具成本，但是随着产量增加，这些优势也会迅速消失。然而，通过应用塑料技术，AM 产量门槛优势正在升高。一家 AM 企业声称已将销售目标定在 5000 台，这还只是一个小目标。但是，由于多种被低估的相互关联的因素——材料成本上升速度慢、加工时间长、能耗高、后处理成本高等因素，即使低产量，金属 AM 与传统制造方法相比，也更加昂贵。

■ 生产规模有限。由于目前大多数 AM 机器用于样品制造而不是批量生产，所以大规模生产还难以实现。下一代机器要不断降低生产成本，同时加强工业生产能力的建设，例如：流程稳定性管理、流程质量控制、加快转换、提高可靠性以及简化维护和修理。

■ 网络安全和知识产权保护受限。目前的 AM 机械很容易受两个特别重要的安全问题的影响。首先是对原始设计的保护，包括部件识别——特别是部件的设计方式在产品在售售后能复制的情况。其次是保护数据免受网络攻击，随着与供应商和客户合作不断深入，网络攻击风险不断加大。

但是，AM 机械制造商正在着手解决这些局限，成果颇丰。专



图 3 尽管增材制造具有诸多好处，但仍需克服各种技术局限

业的AM服务企业，以及工程和咨询企业，正在缩小设计技能差距。此外，地方政府正在资助应用性研发AM重点生产集群。一些分析师预测，由于专利到期和后处理需求减少等因素，下一代机器将大大降低当前AM生产成本。低成本国家的规模经济和采购机会不断扩大，机械制造商也从中受益。

AM机床制造商正优化流程控制、先进质量诊断和用于验证的整个生产流程的数据存储。包括Materialise和Stratasys在内的大型AM制造商表明，AM可以在塑料和金属材料上实现与传统制造技术相媲美的材料属性。

不逊于甚至优于现代材料属性的实用性材料也不断走入我们的视野。这些材料包括尼龙、PEEK和ULTEM等聚合物，这些聚合物更耐热，应用领域广泛，金属和合金与类似材料的标准更加贴近：如钢、铝、钛和铬镍铁合金等的工业金属；如金银等贵金属；以及包括无定形非晶金属在内的新材料。

四、AM价值链——企业和商业模式

AM前景无比广阔。在塑料印刷市场上，规模较大的综合企业覆盖了整个价值链，从供应材料到制造打印机，再到提供打印服务。有几家通过针对性收购扩大

了服务领域。大企业也热衷于在特定行业创造新用例，提高设备在各部门的应用水平，刺激设备销售量增长。相对而言，在金属打印市场，较小的企业更关注价值链的某些部分，如打印设备或打印服务。

鉴于开发下一代机器需要投资，许多小型企业正在寻找资本。因此，市场整合已经开始。尽管AM的障碍难以技术改进克服，但最终赢家难以确定，将改变这个行业的面貌，给制造商投资设备带来一定风险。

同时，除了传统的材料、打印和服务业务外，成长速度较快的利基型企业也相继出现。这些企业立足AM完整业务模式，结合数字销售和服务模式整合型思维。艾利科技企业（Align Technology）凭借其Invisalign产品，提供了一种金属牙套替代性选择；类似案例还有从Sonova集团推出的入耳式助听器，Mykita推出的眼镜，以及Shapeways以大众为目标群体设计的消费产品

新的竞争对手也正在进入原始设备制造商市场。像Stratasys和3D Systems这样的大企业正认证采用新开发材料来生产医疗零件的端到端流程，它们使用自己的打印技术，并向医院（以前从原始设备制造商（OEM）购买）等客户提供打印服务。

由于成本、材料和表面光洁

度（现有的技术服务于不同的目的）等变动性因素，我们很少看到单一技术竞赛。为了探索AM的潜力，制造商需要频繁使用多种技术，他们通过所有关键技术的专业服务提供商获得这些技术。然而，如果新入行企业以改进现有技术或创造全新技术来大幅度提高绩效，可能就不再是这样的情况了。

1.AM对价值链和传统企业职能的颠覆性潜力

人们容易高估技术的短期影响，却大大低估长期影响。然而，AM对传统价值链的长期影响目前仍十分不确定。但我们能明白，物流企业等其他传统企业首当其冲，政府为应对眼前变革也将该问题提上日程，为制造业系统和工人早作准备。

传统的服务市场方式将如何变化，对传统的工厂设置和价值链有什么影响？就生产和分配，一些事项已经明朗。低成本国家生产优势可能减少。以客户为中心的新型工厂将出现，可以根据当地需求对产品进行精加工，并逐渐解决成品长途运输问题。我们也会看到新的生产网络模式，例如在低成本国家生产半成品，最后的成品工序则根据本地化、季节化和类似因素的需求在靠近客户的地方完成。

生产力的变化使企业职能发生重大转变，其意义不啻于企业职能转变，而价值链上的相对重

要性也将发生巨大变化。完全定制产品，有助于转变企业思维的，从“什么可行？”的传统思维转移到“什么可能？”的思维上来，因此设计能力将成为更重要的战略资产。

今天的企业功能也发生改变。例如，精通某一道生产线的操作员需要操作生产大量产品的新 AM 生产线时，传统工程师需要在 AM 设计方面接受培训。同时，市场营销和销售将学习如何营销在世界任何角落生产的个性化产品。

五、对制造商的建议

尽管 AM 对制造业未来的影响尚未确定，但制造商现在能采取措施，为未来可能出现的情况未雨绸缪。以下是四个建议：

1. 选择性引入技术

初始阶段，制造商能生产几个组件。我们建议根据三个标准用 AM 选择制造零件。首先重新设计，使用更少的材料，改善定制或添加新功能，从而发现更好性能或客户价值的机会。其次，尽可能降低成本，例如用更低价的备件或工具。最后，由于可用材料扩大，设计的可行性更优。

制造商往往只专注批量生产，但不应该盲目地局限 AM 的用途。加强样机设计和 AM 使用（例如，用于装配中的夹具和固定装置，或者用于小批量的模具）具

有巨大的潜力，并且易成为良好商业案例。其能很快见到成果，让企业接受并乐于使用 AM。

2. 与时俱进，建立新的组织能力

与大学、研究联盟或相关服务提供商等机构建立伙伴关系有助于确保获得最新技术。企业也需要通过招聘或培训，在 AM 设计、工程和生产等领域投资新的技术技能。新的内部流程和组织结构对于质量保证和供应链敏捷性等目的是必要的。而且，持续支持改进、培训、知识共享、测试和专家支持的能力中心也需要资源。

3. 准备广泛推广技术

随着 AM 牵引能力不断增强，这些变化只会加速。为助力 AM 生产，制造商需要加强相关基础设施和能力建设，特别是在诸如质量管控的 IT 和数据智能部门。严格的技术启动流程有助于确保产品、供应商和工厂有备无患。他们要将 AM 有效地整合到现有的制造基础设施，例如在一个大型工厂设计一个小型 AM 设施。

4. 反思制造战略，探索新商业模式

为充分利用新技术，领导者必须探索产品研发新模式，充分利用一切设计和定制的机遇，不仅包括缩短产品上市时间，还有让客户参与 AM 样机开发来挖掘第一手设计创意。分销战略越发需要和潜在因素有机结合（如按

当地需求进行生产），新的利润池将出现并逐渐扩大，例如从重新配置的制造足迹节省进口税和关税。

小结

我们相信，AM 为制造商提供了巨大的潜力，通过全新的产品或商业模式，显著改善商品制造并创造更多商业机会。目前主要问题是如何快速开发 AM。AM 领域的市场机会显著，制造商应该在 AM 市场开始行动。但是，掌握行动速度如何，却很难断言。使用当今 AM 建立起有效相关能力需要大量时间，没有企业能在竞争对手中迅速脱颖而出。如果更多行业转向，尤其是熟练掌握 AM 的工程师，这种能力将很快十分稀缺。此外，鉴于政府和大型原始设备制造商在研发的投资，以及初创企业可能想出更有效的新型解决方案或技术，加快向 AM 转变，那么变革速度会超过预期。

面对这样的不确定性，我们作出如上建议，虽然起步阶段较慢，但见效快，建立更广泛的 AM 基础设施和能力，反思战略和商业模式，以及开发新的组织能力，为制造商当前措施开展以及应对技术和市场发展提供思路和方法，时刻未雨绸缪。MT

（未完待续）

B15 水泵总成自动化生产的研究及应用



郑州飞龙汽车部件有限公司

摘要: B15 水泵总成自动化生产技术本身是对水泵总成的加工及装配进行自动化生产, 均采用 U 形布局的自动生产线, 设计了专用输送托盘配合机械手完成工件的中转移位及安装; 研发了采用浮动机构的泵体加工定位装置, 首次采用机器人一次抓取三个工件安装, 两次共抓取六个工件同时加工; 加工与装配工序应用了多级传感定位及检测判别等多种防错措施, 有效地保证了产品质量, 大幅度提高了生产效率。

一、导语

B15 水泵总成的主要工艺是泵体的机加工及总成的装配, 国内行业均采用泵体的普通加工线及总成的普通装配线。泵体普通生产线主要由全机能数控、钻削中心及清洗机组成。采用普通工艺生产的水泵总成存在以下几个问题:

(1) 人力成本偏高: 普通生产线共需要 27 名操作工才能满足产能需求, 按人均工资 4500 元来算, 每月工资支出为 12.15 万元。

(2) 生产效率低: B15 水泵总成月需求量为 75000 台, 共需要 2 条普通加工线三班制及 1 条普通装配线三班制生产才能满足

要求。

(3) 产品质量不稳定: 由于普通线生产的产品质量与操作工直接相关, 产品经常出现漏装、错装、反装甚至多装零件等质量问题, 严重影响产品的质量声誉。

针对以上问题, 公司从 2013 年 9 月 12 日开始策划研究 B15 水泵总成自动化生产工艺, 于 2015 年 3 月份开始正式投入使用, 自动生产线的应用有以下优势:

(1) 人力成本降低: B15 水泵总成月需求量为 75000 台, 自动加工线及自动装配线三班制可满足产能要求, 自动生产线每班共需 5 名操作工, 三班制共需 15 名操作工即可满足产能需求, 而普通生产线共需 27 名操作工, 人力成本降低 44%。

(2) 生产效率提升: 泵体自动加工线生产节拍为 28.8s, 而普通生产线的生产节拍 57.6s, 生产效率提升 100%; 总成自动装配线生产节拍为 21s, 普通装配线的生产节拍 24s, 生产效率提升 14%。

(3) 质量稳定性提升: 泵体普通加工线及总成普通装配线由于设备精度所限, 过程能力指数 C_{pk} 介于 1.33 与 1.67 之间, 很难满足主机厂的要求; 泵体自动加工线采用加工中心及专用 PCD 刀, 自动装配线采用电子压机代替气液增压机, 尺寸稳定性提升, 加工的内孔尺寸 (关键特性) 公差要求是 0.015mm, 实际可以控制在 0.001mm 范围内, 总成水封高度尺寸要求 $\pm 0.1\text{mm}$,

实际能够保证在 $\pm 0.02\text{mm}$, 关键特性过程能力指数完全满足 $C_{pk} \geq 1.67$ 。

B15 水泵总成自动化生产线于 2015 年 3 月份开始正式投产使用, 2015 年实现 4123 万元的销售收入, 实现利润 400 万元。该自动生产线的成功应用, 为水泵总成的研制积累了丰富的经验, 技术上取得了重大突破, 提高了企业的技术水平和竞争优势, 对公司的长远发展具有十分重要的意义, 同时带动了当地的经济发展。

二、自动化生产制造与工艺

1. 设计思路

泵体自动加工线方案, 设备采用高速加工中心, 采用专用 PCD 刀具代替 5 把标准刀具, 降低生产节拍, 自动加工线三班制生产代替 2 条普通生产线; 采用 U 形线布局保证上料口与下料口在同一方向上, 最大限度地减少操作工人数; 工序间实现全自动生产, 增加气检防错及传感器防错措施, 人工只负责首末工序上下料; 内孔尺寸关键特性过程能力指数 $C_{pk} \geq 1.67$ 。

水泵总成装配线自动装配方案, 压装设备尽量采用普通线已验证过的德国压机技术, 各压装工序采用电子压机提高压装稳定性; 采用 U 形线布局减少操作

工人数, 各压装工序间采用全自动装配, 人工只负责首末件工序上下料; 尽量采用自动测量技术及防错技术, 生产效率不低于原生产线; 关键特性过程能力指数 $C_{pk} \geq 1.67$ 。

2. 工艺流程

泵体自动加工线: OP10 人工上料 → 机器人取件 → OP20 自动加工泵体各部 OP25 涮洗 → OP26 工件中转 → OP30 铣 $\phi 18$ 和 $\phi 28$ 面 → OP40 清洗 → 人工下料。

总成自动装配线: OP10 人工上料 → OP20 自动工件检测 → OP30 自动涂胶 → OP40 自动压轴承 → OP50 自动压堵盖 → OP60 自动压水封 → OP70 水封工作高度及端面跳动自动检测 → OP80 自动压法兰 → OP90 自动压叶轮 → OP100 自动总成校验 → OP110 自动激光打标 → OP120 人工下料、擦洗检验。

3. 技术先进性

国外发达国家正从工业 3.0 时代逐步进入工业 4.0 智能制造时代, 国外制造业向智能化、网络化、虚拟化、敏捷化、清洁化和集成化等方向发展; 我国随着国家《中国制造 2025》战略的出台, 制造业大规模的产业升级将成为发展趋势, 而自动生产线的应用能够减少流水线管理成本以及提高企业的管理和生产效率, 不仅具备精准、高效、可适应恶

劣生产环境等优势, 而且可以给制造业带来“高水平制造工艺”和“制造高水平产品”。目前国内制造业自动化程度普遍较低, 产品附加值不高, 汽车水泵的加工及装配均采用普通线工艺。

为了提高生产效率、节约人力成本、稳定产品质量, 并不断提高产品在国际上的竞争力, 我司率先针对 B15 水泵研发并应用自动加工及自动装配工艺, 该技术国内领先。

三、关键技术及创新点

1. 自动加工线

(1) 研究开发 B15 水泵体机器人自动加工 U 形生产线工艺。该自动生产线中的设备主要由两个上料道、两台机器人、1 台涮洗箱、两台加工中心、1 个中转台及一台通过式清洗机, 设备采用 U 形布置, 上料与下料口平行布置, 便于减少人工操作。设备布置如图 1 所示。

(2) 双上料道布置接近式传感器感应毛坯大面, 防止毛坯摆放不到位; 料道两侧布置光电传感器, 机器人 1 不抓料时上料架停止运行, 无料或缺料时, 机器人不抓取工件。

(3) 机器人手爪每次抓取 3 个零件, 两次共抓取 6 个零件, 此技术对机器人手爪精度要求更高, 增加机器人抓取工件时缺件

及抓取力过大防错功能，该技术国内领先（见图2）。

（4）水泵体自动加工线的工装定位均采用浮动定位销定

位，满足了机器人手爪一次抓取3个工件，且有气检防错防止泵体装不到位（见图3）。

（5）泵体粗加工刀具采用

一把PCD复合镗刀，可以代替5把标准刀具，提高生产效率。

（6）清洗设备采用通过式清洗机，可一次同时清洗多个件，

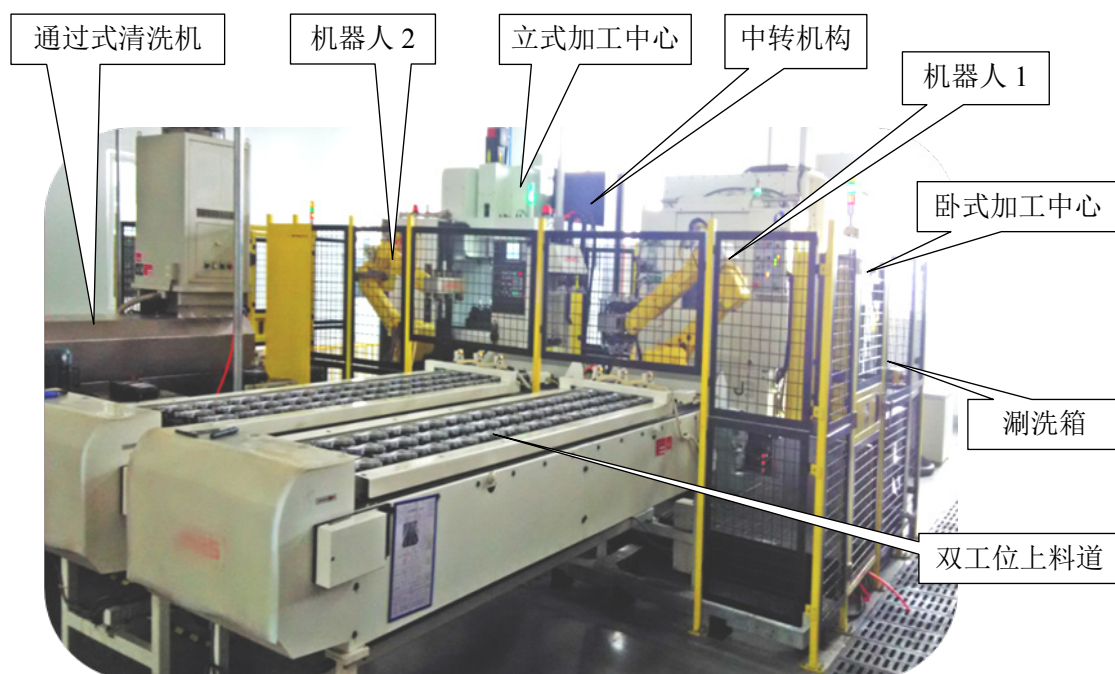


图1 泵体自动加工线



图2 机械手抓取装置

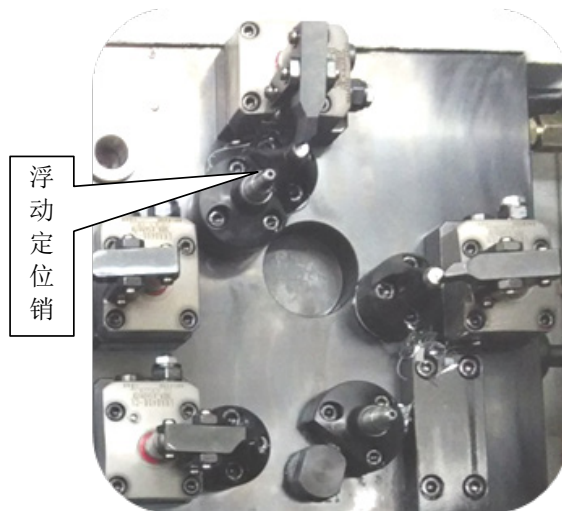


图3 浮动定位销装置

且在清洗机进口和出口处增加防错功能,可防止泵体在进口处堆积,在出口处跌落。

(7) 泵体关键特性为轴承内孔尺寸及表面粗糙度 $R_a 1.6$, 因采用 PCD 刀具, 表面粗糙度数值完全可以保证在 $R_a 0.8$ 以内, 远高于要求; 内孔尺寸公差要求为 0.015, 实际可以控制在 0.001 以内, 采用专业的软件可自动在线测算 C_{pk} 值, 完全满足

$C_{pk} \geq 1.67$ 的要求。

2. 自动装配线

(1) 水泵的自动装配线采用 U 形生产线。水泵的装配采用水封下置的压力装置及使用该压力装置的压装装置, 采用压装法兰时用浮动工装及硬支撑代替传统的固定工装及楔块支撑。设备布置如图 4 所示。

(2) 增加工件自动影像检

测, 避免了漏装、错装及反装、多装的问题, 提高质量稳定性(见图 5)。

(3) 主要压装设备均切换为电子压机, 压装尺寸更加稳定; 工序间的操作均由机械手完成, 工件采用自动线输送, 减少人工干预, 装配稳定性及压装质量提高; 各压装工位均设置有光电传感器, 防止各工序漏装工件; 压叶轮及压法兰工位有气检防错

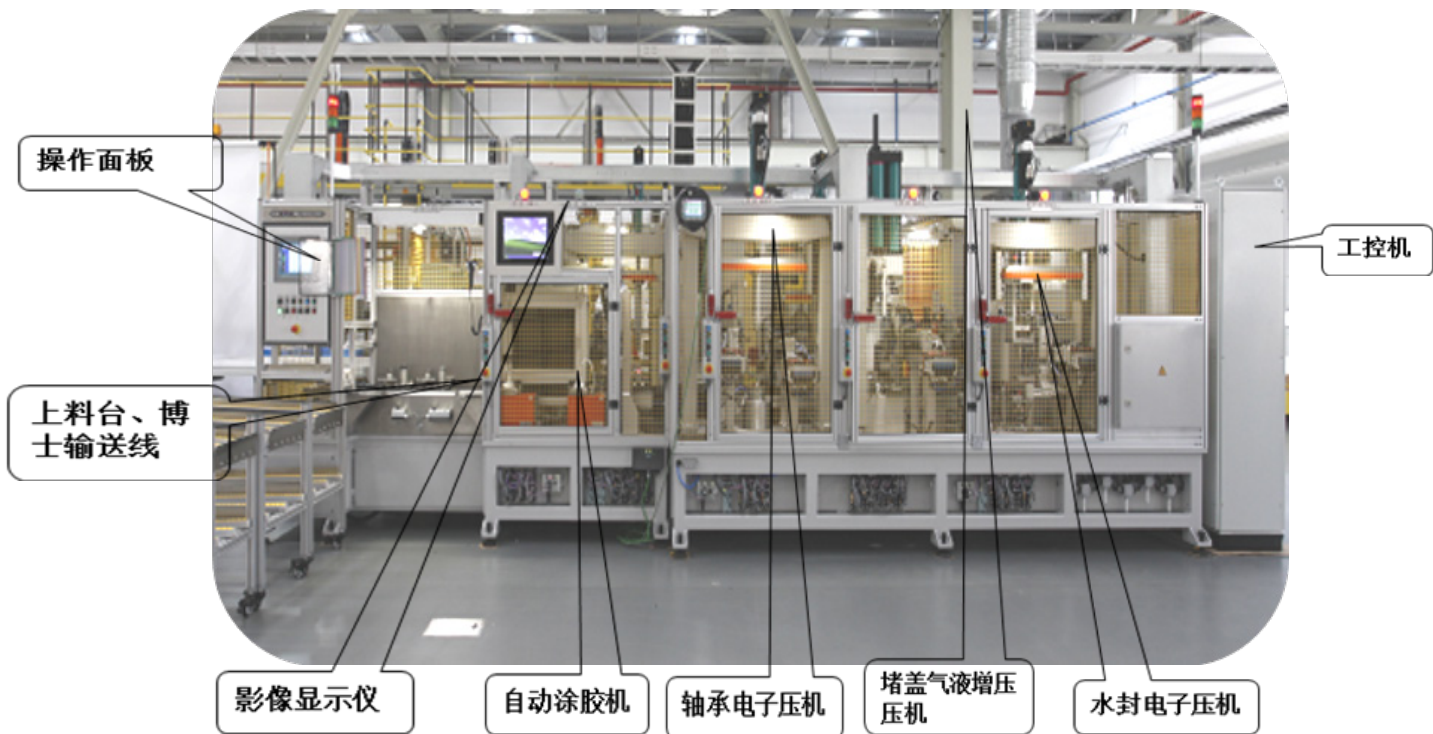


图4 泵体自动装配线



图5 影像检测



图6 防错装置

(见图6)。

(4) 各工位增加气吹机构，保证定位面清洁度，防止工件因铝屑垫伤。

(5) 装配后的不合格品与合格品用机械手自动分开，避免不合格品混入，且料道出口有光电传感器防止工件掉落。

(6) 由气动打标切换为激光打标，外购件批次信息、各压装工位的压装力与位移数据自动上传工控机，实现了自动质量追溯。

四、主要研究成果

该自动化生产工艺共申请8项专利，已授权专利6个，其中发明专利4项，获得实用新型证

书的4项，通过河南省科学技术成果鉴定1项。

五、存在的问题与展望

目前，应用该自动化生产后，仍存在两个方面的关键技术问题：一方面是自动加工线同时加工6个泵体，机器人的定位精度及重复精度无法满足要求，为避免此问题，工装采用浮动定位销，但机器人手爪运行一段时间后仍存在上工件不到位，需要人工调试后才能解决；另一方面是为了提高生产效率，采用专用PCD刀具，但该刀具在高速切削时寿命不稳定，影响生产效率。

展望未来，为把我国建设成为制造强国，缩短与发达国家在

制造业领域的差距，国家出台并实施了《中国制造2025》的强国战略，制造业大规模的产业升级势在必行。制造业产业升级的内容之一就是生产自动化，生产自动化具有精准、高效、适应性强等优势，生产的产品质量更稳定，能够减少管理成本，提高生产效率，增强盈利能力。B15水泵自动化工艺的成功应用，提升了我国汽车零部件制造企业的技术水平和竞争力，对于整个社会经济发展具有重要的意义，同时也为行业进步和民族汽车工业做出了贡献。然而，由于市场竞争激烈，在产品推广上公司需要持续提升产品的制造能力和品质保证能力，控制好成本，从而达到更好占有市场的能力。MT

微波高温烧结铬铁矿新型工艺装备



河南勃达微波装备股份有限公司

一、导语

微波高温烧结铬铁矿新型工艺装备不仅具有工序少、节省劳动、生产过程中无污染的优点，而且也有利于环保。微波高温烧结铬铁矿关键技术是微波加热，其原理是物质在微波作用下发生界面极化、偶极转向极化、电子极化、原子极化等方式，将微波的电磁能转化为热能，使原料在微波场中整体加热至烧结温度而实现烧结和致密化。这些方面使得微波烧结在金属陶瓷复合材料等领域具有广阔的前景。

河南勃达微波装备股份有限公司自行研制的微波高温烧结铬铁矿新型工艺装备以其独特的加

热特点和烧结机理，控制其工艺过程和物料升温特性。工序少、节能、节省劳动、生产过程中无污染，有利于环保。

二、数控一代微波高温烧结铬铁矿成套设备

1. 同类产品对比

目前，工业上对铬铁矿进行冶炼的方法有多种多样，但从总体情况来看，其典型的冶炼工艺过程是：布料→加热→保温→冷却→卸料。

根据以上工艺过程，生产中常用不同的方法对铬铁矿进行冶炼。目前，我国铬铁矿的冶炼主要为电炉法，其次为金属热还

原法和真空碳还原法及转炉法。电炉法又分为矿热法和精炼电炉法。前者用碳作还原剂，以铬铁矿石、焦炭、硅石为原料生产高碳铬铁，或以硅石、焦炭、高碳铬铁为原料生产硅铬合金；后者用硅石作还原剂，以铬铁矿石、硅铬合金、石灰为原料生产中、低碳铬铁和微碳铬铁。也有用转炉生产中、低碳铬铁。

金属热还原法通常用铝粒作还原剂，使铬的氧化物在短时间内剧烈反应，放出大量热，熔炼出金属铬。

真空碳还原法用高品位铬铁矿石（目前多用氧化焙烧后的高碳铬铁）作氧化剂，与高碳铬铁矿粉成团块，放入真空炉中，在

低于金属熔点的温度下脱碳，生产微碳、超微碳铬铁；或脱碳后通入氮气，生产含氮的铬铁合金。

湿法冶炼目前是用铬矿石和纯碱及白云石或石灰石放入回转窑内氧化焙烧生成铬酸钠，经水浸后加硫化钠或硫磺，使之还原成氢氧化铬沉淀，脱水煅烧获得氧化铬，再用金属热还原法或真空碳还原法及电解法生产金属铬。

除上述冶炼方法外，近年来我国研究了从甘肃金川铜镍尾矿中回收铬的方法，其采用氧化焙烧法制取氢氧化铬，再制成铬铵矾，最后电解出金属铬。中国科学院还研制了一种伯胺萃取提铬新工艺，铬萃取率 98%，反萃取率为 100%。 Cr_2O_3 产品纯度 95% ~ 98%，为综合利用铁矿石中的伴生铬提供了依据。

以上几种加工方法，都可以对铬铁矿进行冶炼，但各种方

法都会不同程度的对环境进行一定的污染，同时在冶炼过程中消耗大量的能量。因此，在生产中具有很大的局限性，为此，寻找一种节能环保的铬铁矿冶炼是铬工业生产中急需解决的一个主要途径。我公司针对铬铁矿冶炼的特点，经过多次试验，探索出一种新的铬铁矿冶炼工艺装备，目前已成功的研制出该工艺装备——微波高温烧结铬铁矿新型工艺装备。

铬铁矿磨细至 160 ~ 200 目球状颗粒，配加纯碱和白云石，于 1050°C ~ 1100°C 下氧化焙烧，氢氧化铬在回转窑中于 1100°C 煅烧分解为三氧化二铬与水，水分随空气排出窑炉外。此法工序少，产品成本低，纯度高。

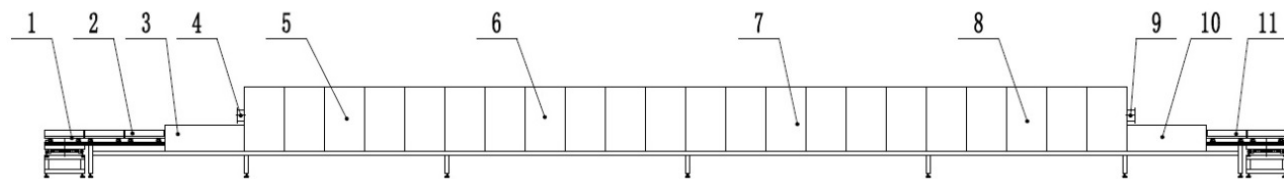
微波烧结技术的关键是微波加热，其原理是物质在微波作用下发生界面极化、偶极转向极化、电子极化、原子极化等方式，将

微波的电磁能转化为热能，使原料在微波场中整体加热至烧结温度而实现烧结和致密化。

2. 整体结构

BDMS-MM-T-1000 微波高温烧结铬铁矿新型工艺装备的基本结构主要由布料系统、微波加热系统、电气操作控制系统等组成。图 1 为其装备结构图。

微波烧结是采用微波直接与物质粒子（分子、离子）相互作用，利用材料的介质损耗使材料直接吸收微波能量从而得以加热烧结。与传统的加热方式相比，由于其对不同的介质的吸收能力不同，有些介质是绝缘的，有些电导率和极化损耗适中的损耗介质，微波既有一定的渗透度，又有相当的吸收可以加热，所以可以选择性的进行加热。微波加热时，微波进入介质内部直接与介质作用，依靠介质损耗吸收微波



1. 顶车机 2. 进料端 3. 进料抑制区 4. 排风口 5. 预热区 6. 升温区 7. 高温区
8. 降温区 9. 进风口 10. 出料抑制区 11. 出料端

图 1 微波高温烧结铬铁矿新型工艺装备结构图

能量而升温,具有体积性加热的特点。而传统的加热方式是由外部热源通过对流、辐射将热量传到样品表面,然后再通过热传导向内部传递热量。微波烧结同常规传导、辐射、对流加热方式相比,具有内外同时加热、升温快、加热具有瞬时性和选择性、节约能源、提高生产效率、符合环保要求等一系列优点,因此,微波烧结的优势逐渐为人们所认可。

微波作用于被加热物体,由于材料电特性使微波产生耗散,于是电磁能转换成为热能。转换的热能相当于一个热源,于是材料的温度会不断升高,温度的变化往往又会影响材料的电特性;电磁特性又会影响温度的分布,温度分布又会影响材料的电特性。这种模型的研究就是电磁场分布与温度分布两个过程。研究微波加热模型和过程对系统结构设计有着重要的意义。

电气操作控制系统包括:电源相序、缺相、过欠电压保护装置;来物料检测装置;自动上料控制装置;自动进料控制装置;自动出料控制装置;自动下料控制装置;微波电源装置;微波源冷却控制装置;微波控制装置和

温度监控装置等。可实现微波状态,物料位置,物料状态的实时监控。

3. 性能指标

电源: 380V;
微波功率: 1000kW;
微波频率: $2450 \pm 30\text{MHz}$;
窑炉方式: 外循环隧道窑;
窑炉外形尺寸(长 $\times$ 宽 $\times$ 高): $88\text{m} \times 8\text{m} \times 2\text{m}$;
生产能力: 6T/H
传动方式: 轨道窑车;
窑车规格(长 $\times$ 宽 $\times$ 高): $1000\text{mm} \times 1000\text{mm} \times 300\text{mm}$;
布料厚度: $\leq 120\text{mm}$;
传动速度: $0.5 \sim 1.1\text{m/min}$ (可调)
控温方式: 红外线测温、热电偶;
冷却方式: 水冷;
微波泄漏量: $\leq 1\text{mW/cm}^2$ (国家标准 $\leq 5\text{mW/cm}^2$)

4. 创新点

(1) 采用微波作为热源,只针对物料加热,热能利用率高。
按照数值计算与模拟,设计箱体的内部结构域空间结构尺寸,使热源分布合理,根据布料的尺寸,确定热源参数与加热范

围,热能利用率高,效果好。

(2) 内外同时加热,加热均匀稳定,提升烧结成品率。

微波烧结技术的关键是微波加热,其原理是物质在微波作用下发生界面极化、偶极转向极化、电子极化、原子极化等方式,将微波的电磁能转化为热能,使原料在微波场中整体加热至烧结温度而实现烧结和致密化。由于极化作用,因此,在加热时,内外同时进行,与普通加热从表面开始,逐步进入到物体内部相比较,其穿透性强,加热均匀稳定,烧结成品率高。

(3) 环保,无三废排放。

采用微波铬铁矿磨细至 $160 \sim 200$ 目球状颗粒,配加纯碱和白云石,于 $1050^\circ\text{C} \sim 1100^\circ\text{C}$ 下氧化焙烧,氢氧化铬在回转窑中于 1100°C 煅烧分解为三氧化二铬与水,水分随空气排出窑炉外。此法工序少,生产过程中无污染,不向外界排放有毒与有危害的气体,有利于环保。

(4) 远程操控方便、简单实用。

采用西门子工业控制PC机和三台S7-200主机搭建的硬件平台和Wincc组态软件,可远程

监控到设备每一处动态。

三、主要成果

1. 微波高温烧结铬铁矿新型工艺装备技术对用户的影响

目前公司生产的微波高温烧结铬铁矿专用生产线设备已经得到广泛应用，特别是在内蒙古等地多家企业长期稳定运行，并且建立了长期合作机制。微波高温烧结铬铁矿新型工艺装备现有客

户有：湖南有色金属股份有限公司黄沙坪矿业分公司等单位进行应用，为企业创造了一定的经济效益与社会效益。微波高温烧结铬铁矿新型工艺装备用户现场如图 2 所示。

微波高温烧结铬铁矿新型工艺装备用户计算机管理系统一组动态画面如图 3 所示。装备工作期间可以监控到设备各个传动部分情况，监控系统可以单独操作。装备电气元件采用水冷和油冷混合冷却技术，所使用的冷却水水

温在 35℃ 以下，并且使用软水，水温过高或不使用软水会造成装备的运行故障并自动停机。

公司对使用勃达微波高温烧结铬铁矿新型工艺装备用户所做调查的部分指标如表 1、2。

2. 微波高温烧结铬铁矿新型工艺装备技术对社会的影响

(1) 采用微波作为热源，只针对物料加热，热能利用率高。

按照数值计算与模拟，设



图 2 微波高温烧结铬铁矿新型工艺装备用户现场

表 1 2014 年企业经济效益

用户名称	湖南有色金属股份有限公司黄沙坪矿业分公司	紫金矿业集团股份有限公司	新疆吐鲁番市七泉湖镇沈宏集团铬盐二厂
经济效益 (2014 年)			
开始应用时间	2014 年 5 月	2014 年 1 月	2014 年 6 月
新增产量 (2014 年)	70 吨	80 吨	100 吨
新增产值 (2014 年)	650 万元	540 万元	840 万元
新增利税 (2014 年)	110 万元	90 万元	140 万元
年增收节支总额 (2014 年)	886 万元	805 万元	905 万元

表 2 2015 年企业经济效益

用户名称	湖南有色金属股份有限公司黄沙坪矿业分公司	紫金矿业集团股份有限公司	新疆吐鲁番市七泉湖镇沈宏集团铬盐二厂
经济效益 (2015 年)			
开始应用时间	2014 年 5 月	2014 年 1 月	2014 年 6 月
新增产量 (2015 年)	110 吨	120 吨	260 吨
新增产值 (2015 年)	1056 万元	830 万元	1602 万元
新增利税 (2015 年)	180 万元	141 万元	270 万元
年增收节支总额 (2015 年)	1350 万元	965 万元	1830 万元

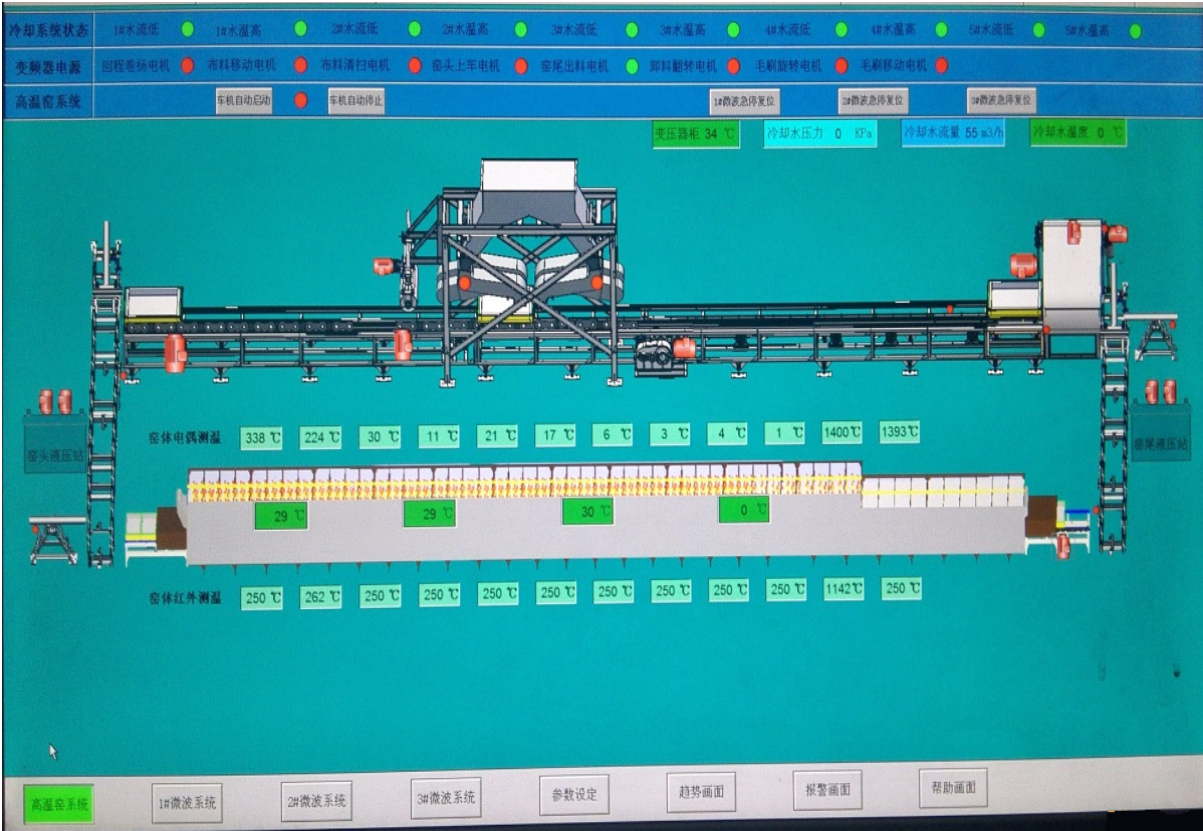


图 3 微波高温烧结铬铁矿新型工艺装备用户计算机管理系统一组动态画面

表 3

序号	专利名称	类别	专利证号	申请时间	备注
1	微波高温连续循环隧道窑	实用新型	ZL201420756781.2	2014 年	已授权
2	微波高温连续循环隧道窑的上料装置	实用新型	ZL201420756805.4	2014 年	已授权
3	微波高温连续循环隧道窑的微波加热窑炉	实用新型	ZL201420756803.5	2014 年	已授权
4	微波高温连续循环隧道窑的循环传动系统	实用新型	ZL201420756800.1	2014 年	已授权
5	微波高温连续循环隧道窑的窑车结构	实用新型	ZL201420756806.9	2014 年	已授权

计箱体的内部结构域空间结构尺寸,使热源分布合理,根据布料的尺寸,确定热源参数与加热范围,热能利用率高,效果好。

(2) 内外同时加热,加热均匀稳定,提升烧结成品率。

微波烧结技术的关键是微波加热,其原理是物质在微波作用下发生界面极化、偶极转向极化、电子极化、原子极化等方式,将微波的电磁能转化为热能,使原料在微波场中整体加热至烧结温度而实现烧结和致密化,由于极化作用,因此,在加热时,内外同时进行,与普通加热从表面开始,逐步进入到物体内部相比较,其穿透性强,加热均匀稳定,烧结成品率高。

(3) 环保无污染。

微波干燥与传统干燥模式相

比,烘干过程中无废气排放,环保无污染。

3. 相关专利

如表 3 所示。

四、展望

微波高温烧结铬铁矿技术的发展已经历了几十年,虽然还有很多不成熟、不完善的地方,它具有常规技术无法比拟的优点,预示了它广阔的发展前景。首先,作为一种省时、节能、节省劳动、无污染的技术,微波高温烧结铬铁矿能满足当今节约能源、保护环境的要求;其次,它所具有的活化烧结的特点有利于获得优良的显微组织,从而提高材料性能。这些优势使得微波高温烧结铬铁

矿在高技术陶瓷及金属陶瓷复合材料制备领域具有广阔的前景。

各种材料的介电损耗特性随频率、温度和杂质含量等的变化而变化,由于自动控制的需要,与此相关的数据库还需要建立。微波烧结的原理也需要进一步研究清楚。由于微波烧结炉对产品的选择性强,不同的产品需要的微波炉的参数有很大差异,因此,微波烧结炉的设备需要投资增大。今后微波烧结设备的方向是用模块化设计与计算机控制相结合。

微波高温烧结技术作为一项高新技术,以其独特的加热特点和烧结机理,不断与其它技术相结合,向着更广更深的方向发展,应用前景十分广阔。MT

BEW2019

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



www.beijing-essen-welding.com

www.埃森焊接展.com