INDUSTRIAL BIG DATA

the revolutionary transformation and value creation in INDUSTRY 4.0 Era

工业大数据

工业4.0时代的工业转型与价值创造

〔美〕李杰(Jay Lee)/著 邱伯华等/译





如何以较低成本满足用户定制化的需求? 如何使制造过程的信息透明化、更加高效、提升质量、降低成本和资源消耗、实现更 有效的管理?

如何提供设备全生命周期的信息管理和服 务,使设备的使用更加高效、节能、持久?

如何使人的工作更加简单,甚至部分代 替人的工作,在提高生产效率的同时降低工 作量?

如何实现全产业链的信息整合,使整个 生产系统达到协同优化,生产系统变得更加 动态和灵活,进一步提高生产效率和降低生 产成本?

工业大数据则以分析这些问题为出发点,围绕它能够解决什么样的问题和为用户提供什么样的服务为价值。同时,工业大数据能够通过横向与纵向环节的互联与统一平台的信息共享,将资源利用与分析维度规模化、价值最大化,进而能够最大范围地面向各环节的用户进行应用服务的定制与按需分发,并由此衍生出持续性服务共赢的模式。

INDUSTRIAL BIG DATA

INDUSTRIAL BIG DATA

the revolutionary transformation and value creation in INDUSTRY 4.0 Era

工业大数据

工业4.0时代的工业转型与价值创造

〔美〕李杰(Jay Lee)/著 邱伯华等/译



INDUSTRIAL BIG DATA

the revolutionary transformation and value creation in INDUSTRY 4.0 Era

工业大数据

工业4.0时代的工业转型与价值创造

〔美〕李杰(Jay Lee)/著 邱伯华等/译



工业大数据是未来工业在全球市场竞争中发挥优势的关键。无论是德国工业4.0、美国工业互联网还是《中国制造2025》,各国制造业创新战略的实施基础都是工业大数据的搜集和特征分析,及以此为未来制造系统搭建的无忧环境。本书基于工业4.0的时代背景,通过深入剖析未来工业的商业模式和智能服务体系的创新技术变革,论述如何通过工业大数据的分析和应用去预测需求、预测制造,整合产业链和价值链,发现用户的价值缺口,发现和管理不可见的问题,实现为用户提供定制化的产品和服务。

本书的中文简体字版由机械工业出版社出版,未经出版者书面允许,本书的任何部分不得以任何方式复制或抄袭。

版权所有,翻印必究。

北京市版权局著作权合同登记图字: 01-2015-2049号。

图书在版编目 (CIP) 数据

工业大数据:工业 4.0 时代的工业转型与价值创造/(美)李杰(Lee, J.)著;邱伯华等译.—北京:机械工业出版社,2015.6 (2018.5 重印)

ISBN 978-7-111-50624-9

I.①工… Ⅱ.①李… ②邱… Ⅲ.①制造工业—研究 Ⅳ.①F407.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 121688 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 坚喜斌 责任编辑: 刘林澍 杨 冰

责任校对,郭明磊 版式设计,张文贵

责任印制,常天培

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2018 年 5 月第 1 版·第 15 次印刷

145mm×210mm·7.125 印张·3 插页·128 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-50624-9

定价:39.00元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务 网络服务

服务咨询热线: (010) 88361066 机 工 官 网: www. cmpbook. com

读者购书热线: (010) 68326294 机 工 官 博: weibo. com/cmp1952

(010) 88379203 教育服务网: www. cmpedu. com

封面无防伪标均为盗版 金 书 网: www. golden-book. com

认识工业 4.0 所需要的重要元素与概念

第四次工业革命:由于互联网和计算机技术的高度发展,在与工业系统深度融合过程中引发的生产力、生产关系、生产技术、商业模式以及创新模式等方面的深刻变革,是整个工业系统迈向全面智能化的革命性转变。

工业 4.0: 由德国提出和倡导的,以 Cyber-Physical Production System (CPPS,信息物理生产系统)为核心技术的的制造系统变革。

工业互联网:由美国通用电气公司(GE)提出,代表全球工业系统与智能传感技术、高级计算、大数据分析,以及互联网技术的连接与融合。其核心三要素包括智能设备、先进的数据分析工具,以及人与设备的交互接口。工业互联网是智能制造体系与智能服务体系的深度融合,是工业系统产业链与价值链的整合与外延。

信息物理系统:又译为网络实体系统,英文表述为 Cyber-Physical System (CPS),由美国 NSF (美国国家科学基金会)于 2006年提出。是通过网络虚拟端的数据分析、建模和控制对实体活动内容的深度对称性管理。CPS 是第四次工业革命的核心技术。

物联网 (IoT): 实体之间通过传感器数据与控制信号实现相互索引、相互连接、相互通信和相互协同的集群网络。其主要技术元素包括智能传感网、M2M (机器对机器通信)和云计算与存储技术等。

数据的分析与预测 (Data Predictive Analytics): 从人和设备的各类活动数据中通过统计分析、特征提取、关联挖掘、模式识别和深度学习等智能分析方法,实现对实体活动内容的认知和预测。

互联网 +: 互联网与传统行业相融合的模式,其本质是利用互联网技术颠覆传统行业商业模式和服务模式的经济新形态,是生产系统革命引起生产关系和商业模式变革的必然趋势。

故障诊测与健康管理(Prognostics and Health Management, PHM): 利用工业系统中产生的各类数据,经过信号处理和数据分析等运算手段,实现对复杂工业系统的健康状态进行检测、预测和管理的系统性工程。PHM 技术将设备的健康管理从传统的故障管理转变为衰退管理,通过预测性维护实现设备的零宕机和持续可靠的运行。

推荐序一

工业大数据分析是未来工业在全球市场中发挥竞争优势的 关键领域。随着物联网和信息物理系统时代的来临,更多数据 可以被收集和分析,并用于做出更明智的决策。此外,加深我 们对工业大数据分析的理解和将其应用到未来的工业系统中是 至关重要的。很高兴得知李杰教授正在撰写一本关于未来工业 转型与工业大数据分析的书。

李杰教授是美国国家科学基金会(以下简称 NSF)智能维护系统(以下简称 IMS)产学合作中心的创始人和主任。从2001年起,他和他的团队与来自15个国家的85个团队进行了相关合作,并研发出众所周知的、可应用于众多工业领域的大数据分析工具Watchdog Agent[®]。NSF关注 IMS 在经济上对制造业的高度影响,并一直对其研究进行支持。2012年,NSF开展了一些有关经济影响的研究,IMS 在其中发挥了重大作用,其科研成果在各机构中排名首位,主要效果包括使公司节约成本,并且大幅增加了公司的盈利能力。此外,李杰教授指

导过的学生也都成为了公认的制造业人才。

2012年,李杰教授指导他的学生开办了一家新工业大数据分析公司——Predictronics,这使得工业大数据分析工具在更广阔的工业领域里进一步商业化。同时,李杰教授也是2014年美国国家科学基金会科技创新奖的获得者。

我相信这本书将对制造业企业盈利能力的提升产生有价值的影响。

艾历克斯·施华蔻 (Alex Schwarzkopf) 美国国家科学基金会产学合作中心项目创始人

推荐序二

新工业革命正朝我们迎面扑来,云计算、大数据、互联网常在耳边回响,机器人、物联网、智能化就在我们身边,中国制造业正面临严峻的挑战和难得的机遇。中国制造业就规模和总量而言,已居世界第一,但大而不强。面对资源环境压力加大、劳动力成本上升的现状,中国制造业必须寻求新的发展方式和路径。目前,中国已制订了迈向制造强国的三步走战略,《中国制造 2025》则是第一个十年期行动纲领。在未来的十年里,中国制造业将以两化深度融合为主线、以智能制造为主攻方向。有鉴于中国制造业层次多、差异大的特点,在瞄准世界制造业发展方向不断推进的过程中,中国制造业必须从各方向平衡发展,实行"工业 2.0 补课、工业 3.0 普及、工业 4.0 示范"的并行推进战略。无论是转型升级、两化深度融合,抑或是智能制造,工业大数据分析都是一个不可忽视的工程领域。

工业大数据是以工业系统的数据收集、特征分析为基础, 对设备、装备的质量和生产效率以及产业链进行更有效的优化 管理,并为未来的制造系统搭建无忧的环境。中国制造业推进 智能制造,除了在智能制造装备、自动化智能生产线、数字化车间、智能工厂等各方面推进技术创新和设计外,工业大数据分析也是一个不能忽略的方向,需要予以高度关注。这也是中国迈向制造强国的基础。在迈向制造强国的进程中,能源的有效利用、环境生态的保护、设备可用率的提高、工厂效率的提升、员工权利的保障等都是核心问题,从这些方面入手进行大数据分析,发现问题、寻找规律、进行预测、提出创新点,进而创新商业模式、自主开发出关键性的技术和产品。

《中国制造 2025》的推进实施,需要官产学研各方面更富创新精神的结合,需要重视和开展工业大数据分析,需要培养大批工业大数据分析人才。目前中国的人才教育体系中极度缺乏大数据分析人才,产业界不了解工业大数据分析的工具和方法,不了解大数据分析如何能帮助实现智能转型以及如何为更多客户提供创造价值的服务。产业与教育的结合是必不可少的,教育的专业设置也必须与时俱进。

《工业大数据:工业 4.0 时代的工业转型与价值创造》一 书将向人们揭示工业大数据的分析及其价值。

朱森第

国家信息化专家咨询委员会委员、 中国机械工业联合会特别顾问 2015年6月5日

推荐序三

制造业是一个工业化国家的重要基础。在 2008 ~ 2009 年的世界经济危机之后,许多国家重新认识了制造业的重要性,并且制定了一系列的政策来夯实本国的制造业基础。例如,美国政府推出了"先进制造业伙伴计划",希望重夺制造业全球领导地位;德国政府也启动了"工业 4.0"国家战略,以巩固自身的制造业竞争力。最近,中国政府也颁布了一项意义重大的国家战略——《中国制造 2025》,旨在为中国制造业进一步夯实基础、推进变革。

以上所有国家战略的背后都有一个共同点,那就是对加快发展工业大数据和"信息物理系统"相关技术的重视,并以此作为未来制造业发展的新驱力。这些新驱力将给工业转型带来深刻影响,人们因此将制造业的这一次变革称为"第四次工业革命"。在众多媒体的宣传下,"工业 4.0""信息物理系统""物联网""工业互联网""大数据""智能制造"等新的词汇向大众扑面而来,让人们对这些新名词和新概念的含义及

关联倍感困惑。一时间,大量的文章和图解涌现出来,试图帮助人们更好地理解正在发生的变革,勾勒未来的具体轮廓。

面对这些新概念带来的困惑,本书的出现可谓非常及时。它为这些关键技术的发展提供了非常有见地的论述,并对一些关键概念给予了系统性的定义。这本书的作者李杰教授,是行业内最具权威的知识领袖。我与李杰教授相熟 25 载,并在过去 15 年中一直保持密切的联系与合作,共同建立了美国国家科学基金会产学合作智能维护系统中心,也因此亲眼见证了李杰教授在学术上的积极创新以及他对行业的敏锐洞察力。李杰教授拥有非常独特的经历,曾在政府机构担任制造业研究计划的项目主任,也曾在企业中担任技术研发主管。如今,李杰教授又成为制造行业的学术研究和教育的先驱者。这些丰富的经历使得李杰教授拥有非凡的视角和独到的观点。15 年前,李杰教授重返学界,以基于网络的智能维护系统作为研究切入点,逐渐将传统维护方式从依靠经验的"艺术"转变成为一门精密的"科学"。

李杰教授作为在智能维护、创新战略以及工业大数据分析 方面国际公认的专家,多次受邀出席重大国际会议,并在会上 发表主旨演讲。在他的大力推动下,智能维护系统中心在美 国、欧洲、中国、韩国、日本、巴西、墨西哥、新加坡以及澳 大利亚等地启动了诸多研究项目,内容涉及工业设备的健康管理和预诊断。此外,他还受邀担任多个政府项目的战略顾问,在多个维度为行业发展献计献策。

我因这本书即将问世而感到十分激动,因为它不仅仅阐明 了工业大数据相关的基本概念和工具,还通过李杰教授亲身指 导的案例研究阐述了工业大数据将如何提高产品与服务的质量 与性能。

倪军

美国密歇根大学 S. M Wu 制造科学教授

前言

工业 4.0: 一场不可见世界的竞争

工业 4.0 (Industry 4.0),是德国政府和工业界定义的制造业的未来蓝图。德国人认为,18世纪机械制造设备的引入标志着"工业 1.0"时代,20世纪初的电气化与自动化标志着"工业 2.0"时代,20世纪 70年代兴起的信息化标志着"工业 3.0"时代,现在,人类正进入"工业 4.0"时代,即实体物理世界和虚拟网络世界融合的时代。其中,所谓信息物理系统(Cyber-Physical System, CPS)是新一代工业革命的核心技术。诺伯特·维纳在 1948年就提出的"控制论"(Cybernetics)是 CPS技术的前身,现在为工业界广泛知晓的CPS则是美国国家科学基金会(NSF)在 2006年正式提出的,是 NSF 重点资助的研究方向。德国工业 4.0与美国 CPS,究其核心要义,是传统制造业利用物联网(Internet of Things, IoT)和大数据分析(Big Data Analytics)进行的智能化转型。

然而,我们在谈到工业转型带来的变革时,往往容易看到 其代表性的技术特征,而忽视促使其转型的最原始的驱动力, 即对于新价值创造的永恒追求。如果说前三次工业革命从机械化、规模化、标准化和自动化等方面大幅度地提高了生产力,那么工业 4.0 与前三次工业革命最大的区别就在于:不再以制造端的生产力需求为起点,而是将用户端的价值需求作为整个产业链的出发点;改变以往的工业价值链从生产端向消费端、从上游向下游推动的模式,而是从用户端的价值需求出发提供定制化的产品和服务,并以此作为整个产业链的共同目标,使整个产业链的各个环节实现协同优化:这一切的本质是工业视角的转变。工业 4.0 的概念有三个支撑点:一是制造本身的价值化,不仅仅是做好一个产品,还要将产品生产过程中的浪费降到最低,实现设计、制造过程与用户需求相配合;二是让系统在制造过程中根据产品加工状况的改变自动进行调整,在原有的自动化基础上实现系统的"自省(Self-Aware)"功能;三是在整个制造过程中实现零故障、零隐患、零意外、零污染,这就是制造系统的最高境界。

在现今的制造系统中,存在着许多无法被定量、无法被决策者掌握的不确定因素,这些不确定因素既存在于制造过程中,也存在于制造过程之外的使用过程中。前三次工业革命主要解决的都是可见的问题,如避免产品缺陷、避免加工失效、提升设备效率和可靠性、避免设备故障和安全问题等。这些问题在工业生产中由于可见、可测量,往往比较容易加以避免和解决。

不可见的问题通常表现为设备的性能下降、健康衰退、零部件磨损、运行风险升高等。这些因素由于其很难通过测量被定量化呈现,往往是工业生产中不可控的风险,大部分可见的问题都是这些不可见的因素积累到一定程度后造成的。因此,工业4.0的关注点和竞争点是这些不可见因素的避免和透明呈现。

工业4.0的另一个特点就是制造过程和制造价值向使用过 程的延伸,不仅仅关注将一个产品制造出来,还应该关心如何 去使用好这个产品,实现产品价值的最大化。产品的创新和价 值的创造不再仅仅以满足用户可见的需求为导向,而且要利用 用户的使用数据创建使用情景模拟、从情景模拟中找到用户需 求的缺口(GAP),这些缺口我们称之为"不可见的需求", 对此即便是用户自己都很难意识到。例如, 买汽车的人都会提 出省油的需求,各家汽车制造商因此致力于改进车型和发动机 让汽车更加省油, 却很少去关注用户的驾驶习惯对于油耗的影 响。同时,驾驶习惯对于用户而言也是不可见的,因此不会有 用户要求汽车具备管理驾驶行为的功能。由此可见、工业4.0 时代的市场竞争会从以往满足客户可见的需求向寻找用户需求 的缺口转变。以往我们将产品卖给客户之后就几乎到达了生产 价值链的终点, 然而工业4.0时代将价值链进一步延伸: 以产 品作为服务的载体,以使用数据作为服务的媒介,在使用过程 中不断挖掘用户需求的缺口,并利用数据挖掘所产生的信息为 用户创造价值。

我们不妨以汽车为例做一个大胆的预测,在未来的工业4.0 时代,人们去4S店选车不再仅仅选择车型、颜色和内饰等定制 化特征, 而且用户还可以在一辆布满传感器的车内进行试驾, 当用户坐上驾驶座椅时, 传感器会自动记录整个座椅上的压力 分布. 一款符合用户身形和坐姿习惯的座椅就自动设计完成了: 在用户开车讨程中, 汽车内部的传感器自动记录用户的驾驶动 作,进而预测用户的驾驶习惯,一套兼顾驾驶操作体验和舒适 性的动力系统和控制系统即被自动匹配完成: 在用户驾驶汽车 的过程中, 汽车能够自动识别用户驾驶习惯的改变, 提醒用户 驾驶习惯的变化对于能耗和剩余里程的影响:在上下班高峰期. 汽车能够通过海量的交通数据预测出未来一段时间内可能通过 道路的拥堵情况,并为用户推荐最佳行驶路径,在驾驶过程中 汽车还可以记录路面的平整度,这些数据首先在系统内被分享, 提醒后面的驾驶者减速驶过一段坑洼的路面, 随后被发送给市 政管理部门, 第二天再经过相同路段时发现坑洼的路面已经被 修补好了。用户到家之后,可以通过手机或是网页查看一天的 驾驶记录,不同驾驶模式下的能耗情况一目了然,可以与社区 内的其他用户比一比谁更加节能环保,同时系统还提供了相应 的驾驶习惯改善建议。此外,用户还能查看汽车的健康状态报 告. 各个关键部件的健康状况、衰退情况和故障风险一目了然.

与之相匹配的维护保养建议也被自动提供,网上预约后就可以 到 4S 店进行维护。如果只是简单的更换,还提供视频及文字讲 解的详细步骤说明。至此用户发现虽然去 4S 店的次数和保养维 修的费用明显减少了,但汽车的故障却几乎降到了零。

这个例子离我们并不遥远,也许在未来 5 年甚至更短的时间内就会成为现实。未来工业界卖给用户的不再是产品,而是有价值的能力;对于驾驶者而言,汽车是一个产品,但是更重要的是汽车带来的行动力、时尚感、经济性、舒适性和安全性等一系列能力。这些能力对应的服务也不再像以往那样只提供给用户有限的选择,而是根据用户的使用情况和需求提供定制化的最佳匹配方案,因为每一个用户的使用数据都是定制化的,这使用户不再是统计结果中的一个样本,而是一个丰富的、高度个性化的个体。

再举一个与我们日常生活息息相关的例子。我们大部分人都有去超市买鞋垫和去制衣店量身定制西装的经历。过去我们买鞋垫只会问要买多大的尺码,同一个尺码的所有人得到的鞋垫都是相同的。但是我们每一个人的脚形、体重、站姿、走路习惯、搭配的鞋类都是不同的,因此不可能有一款鞋垫能够同时满足同一尺码每一个人的需求。美国的 Dr. Scholl's 公司在卖鞋垫给用户之前会先让用户站在一个连接传感器的踏板上,系统会记录用户站立时足底的压力分布。随即用户就可以获得一

款定制化的鞋垫。这其实也只是个开端,还有更多的价值空间 可以挖掘, 比如足部压力数据的采集只考虑到了站立时的情况, 走路和跑步时的压力分布同样十分重要,同时还要考虑鞋垫与 不同鞋类的搭配,如运动鞋、高跟鞋、皮鞋等。这些数据还可 以卖给制鞋公司,在买完鞋垫之后向用户推荐一款适合搭配的 鞋。最后,这些数据如果与医学研究相结合,还可以提醒用户 站立姿势和跑步习惯可能造成的足部和膝盖的损伤风险。给用 户提供改善习惯的建议。对于制衣店而言也是一样、大多数制 衣店在给用户量体时都在固定的姿势下进行, 而没有考虑用户 在动态情况下的舒适程度。如果我是一个教师, 会经常抬手在 黑板上写字, 手臂的运动幅度就会很大, 手肘和腋下部分就需 要加大弹性。因此、未来的量体应该是动态的、让用户穿上特 制的衣服之后按照喜好随意活动,衣服上的传感器会自动记录 几个关键位置的应力情况, 根据这些数据为用户制作更加合体 的衣服。这些在过去看来都是天方夜谭的事情,随着智能传感 和 3D 视觉技术的成熟,已经触手可及,这就是科技讲步带动商 业与服务模式创新的良性循环。

从以上两个例子我们不难看出,数据依然是为用户提供定制化产品最重要的媒介,工业4.0时代的制造将通过数据把终端用户与制造系统相连接,这些数据将自动决定生产系统各个环节的决策,实现生产上下游环环相扣的整合,人的工作难度

将被大大降低,在这种模式下工厂的组织构架将趋于扁平,生 产资源的利用也将更加优化。

还有一个例子是最近特别流行的智能手环,佩戴智能手环可以采集睡眠过程中的数据,醒来之后查看数据分析的结果,睡眠质量如何、有多少时间处于深度睡眠状态、深浅睡眠交替的曲线等信息都一目了然。这时我们才发现决定睡眠质量的并不是一共睡了几个小时,而是深度睡眠占整个睡眠时间的比例。白天的精力好坏是我们可见的现象,但睡眠质量是不可见的,智能手环通过睡眠数据的分析将不可见的睡眠质量变成了可见可测的结果,并利用这些信息帮助用户去管理可见的生活。

工业 4.0 并不仅仅是制造业的革命,而是一场更加深刻的变革,创新模式、商业模式、服务模式、产业链和价值链都将产生革命性的变化。制造业的革命只是工业 4.0 实现的基础条件,其最根本的驱动力来自于商业模式与智能服务体系的创新技术变革,这两者才是未来工业界竞争的关键。

事实上,德国对工业 4.0 的定义仅仅体现了制造革命,并非是工业革命。这并不是去否定制造革命的重要性,如果制造系统不产生深刻变革,一切商业模式的创新都无异于空中楼阁。制造系统好比是工业 4.0 的"蛋黄",我们在把"蛋黄"做好的同时也要努力把"蛋白"做大。老子云:"有之以为利,无之以为用",如果拿一个杯子来做比喻,杯子当中看似"无"的空间

才是容纳水的地方,才是价值真正的载体。中国的制造业一定要学会分析和使用杯子里面的价值:制造设备虽然是德国人生产的,但是我们要更懂得如何使用。如果我们的工厂虽然用的是德国人的设备,但是中国企业通过对使用数据的分析能够实现胜过德国工厂的高效、高质量、低成本和低污染,那么德国人就要反过来向中国人学习如何使用设备去创造价值。

发现用户价值的缺口、发现和管理不可见的问题、实现无忧的生产环境,以及为用户提供定制化的产品和服务,这些都离不开对数据的分析挖掘。我相信工业 4.0 的中心将会在中国,因为中国不仅仅是世界第一的制造大国,更是世界第一的使用大国,无论是制造设备还是终端消费品,中国都拥有最庞大的使用数据。然而这些数据并没有被很好地加以分析利用,因此还只是潜力,并没有成为真正的竞争力。

未来工业界的机会空间可以被分为四个部分。第一个部分 是满足用户可见的需求和解决可见的问题,这个空间内依然有 中国制造需要补的课,比如质量、污染和浪费等问题,需要的 是持续的改善与不断完善的标准化。第二个部分在于避免可见 的问题,需要从使用数据中挖掘新的知识为原有生产系统和产 品增加价值。第三个部分在于利用创新的方法与技术去解决未 知的问题,如具有自省能力的设备,以及利用智能手环管理睡 眠质量等例子都是使不可见的问题透明化,进而去加以管理和 解决不可见的问题。第四个部分是寻找和满足不可见的价值缺口,避免不可见因素的影响,这部分需要利用数据分析产生的智能信息去创造新的知识和价值,这也是工业4.0的最终目标。

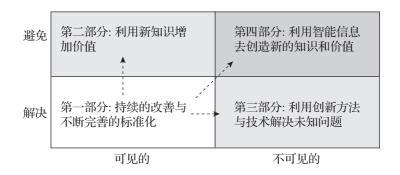


图 0-1 工业 4.0 的机会空间

通过分析数据预测需求、预测制造,利用数据去整合产业链和价值链,这就是工业 4.0 的思维。现在各个领域都在谈大数据,但是大数据本身并不是一个问题,而是一个看待问题的新方式。大数据只是一个现象,其本身并不重要,利用大数据创造价值才是根本目的。工业 4.0 是一场在不可见世界中的战争,而数据分析则是连接可见与不可见世界的桥梁。

李杰教授所带领的美国国家科学基金会(NSF)智能维护系统(IMS)产学合作中心从2000年就开始了工业大数据分析理论和方法的研究,并在大量与企业合作的实践项目中积累

了丰富的经验和系统的方法论。《工业大数据:工业4.0时代 的工业转型与价值创造》是李杰教授在中国出版的第一本书, 系统性地阐述了李杰教授在工业大数据以及商业模式主控式创 新设计方面的思想和研究成果,旨在为读者认识工业4.0提供 一个新的视角,并为工业4.0的实践者们提供方向性的参考。 在李杰教授的指导下, 邱伯华、刘宗长、魏慕恒和董智升翻译 了李杰教授从2001年至今公开发表的文献、研究手稿、在各 种会议上的主题报告以及媒体的相关报道,整理了李教授近两 年在工业4.0 实践设计和"信息物理系统"(CPS)体系设计 的最新研究成果的手稿和口述材料,并结合了在产研合作中的 实践案例完成此书。在第四次工业革命的浪潮中, 各类新的词 汇、概念和技术层出不穷、使人们难免会有雾里看花的感觉。 希望这本书能够为国家政策制定者、企业管理者、技术拓疆者 以及对工业4.0和工业大数据感兴趣的大众读者提供一个更加 清晰的思路, 并根据自己的定位和目标去选择适合自己的实践 道路。《工业大数据:工业4.0时代的工业转型与价值创造》 只是一个开始,接下来李杰教授还将出版与工业4.0、工业大 数据和"信息物理系统"(CPS)相关的一系列书籍,从理念、 体系设计、核心技术和实践等方面为读者带来更为详细的介绍 和更加深刻的启发。

目 录

认识工业4.0 所需要的重要元素与概念

推荐序一

推荐序二

推荐序三

前言 工业 4.0: 一场不可见世界的竞争

第1章 以价值创造为核心的工业转型新思维 / 001

- 1.1 为什么有工业 4.0? / 002
- 1.2 德国工业 4.0 与美国 CPS 战略计划 / 011
- 1.3 以价值为导向的变革新思维 / 019
- 1.4 "有之以为利, 无之以为用" / 022
- 1.5 中国工业 4.0 的竞争力缺口 / 031
- 1.6 探索适合中国工业 4.0 的转型之路 / 039

第2章 工业4.0 环境下的大数据价值创造体系 / 043

- 2.1 工业 4.0 的大数据环境 / 044
- 2.2 工业大数据和互联网大数据 / 053
- 2.3 物联网的潜在危机 / 058
- 2.4 挖掘工业大数据价值的核心技术——CPS / 061
- 2.5 "5C": 以 CPS 为核心的数据价值创造体系架构 / 065
- 2.6 从数据到信息到价值的转化过程 / 067

- 2.7 以数据价值创造为导向的 CPS 技术应用特征 / 069
- 2.8 从 CPS 到工业 4.0. 制造的重新定位与新思维 / 079

第3章 数据价值创造的设计与实践技术 / 085

- 3.1 智能感知层: 建立统一的数据环境(Connection) / 089
- 3.2 信息挖掘层:从数据到信息的分析过程(Conversion) / 096
- 3.3 网络层: 网络化内容管理 (Cyber) / 099
- 3.4 认知层:对信息的识别与决策 (Cognition) / 107
- 3.5 配置层: 系统的弹性和重构 (Configuration) / 110

第4章 价值创造的商业模式设计 / 113

- 4.1 寻找价值的"GAP"/115
- 4.2 从创新到价值创造: 主控式创新思维 / 118
- 4.3 主控式创新工具 / 121
- 4.4 手把手教你如何做"蛋白"/129

第5章 案例与实践 / 139

- 5.1 智能装备 / 140
- 5.2 智能工厂 / 147
- 5.3 智能服务 / 159

第6章 竞争力战略新思维 / 173

结 语 / 191

参考资料 / 196

译者介绍 / 200

美国智能维护系统 (IMS) 产学合作中心简介 / 201

第1章 以价值创造为核心的工业转型 新思维 从本质上看,工业4.0是在国家战略层面上实现工业价值创造的手段。因此,本章从工业4.0与 CPS 等全球性工业变革潮流的起因与根本目标出发,提出以价值为导向的价值创造能力观点,并引出包括"煎蛋模型"、可见与不可见的价值分析模型、创新矩阵等主控式创新方法,以此主控式创新思维重新审视工业4.0,并探索适合中国工业4.0的转型之路。

1.1 为什么有工业 4.0?

工业 4.0 的概念由德国在 2011 年的汉诺威工业博览会上第一次提出,并于 2013 年发布了"工业 4.0 实施建议"(Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRY 4.0),被普遍认为拉开了全球范围内推进第四次工业革命的

序幕。

为什么工业 4.0 会首先诞生在德国?

众所周知,德国是一个工业产品外向型的国家,由于国内市场较小,自身需求有限,其工业产品几乎全部用于出口,也因此成就了德国机械设备出口第一大国的地位。然而,由于以金砖四国为代表的新兴经济体已基本完成了工业化,东南亚和非洲国家新一轮经济增长的引擎还没有完全开启,导致了德国工业装备的产品需求停滞不前。从2006~2011年德国工业出口总值上来看,5年来几乎没有任何增长,这也在一定程度上影响了德国的经济发展。

由此可见,德国提出工业 4.0 的核心目的主要有两方面: 第一,增强德国制造的竞争力,为德国工业装备的出口开拓新的市场;第二,改变以往只卖设备而服务性收入比重较小的状态,增强德国工业产品的持续盈利能力。

德国结合自身在工业装备上的领先优势,改革和创新的举措主要集中在工厂智能化和生产流程智能化等方面,所提出的发展目标包括定制化和可重构的生产系统、生产流程的透明化、设备状态的可监控、具备自主决策能力的自动化、供应链和市场信息的融合、智能运维排程和企业资产管理等。当前,德国以西门子(SIEMENS)、博世(BOSCH)、SAP等公司作

工业大数据 工业4.0 时代的工业转型与价值创造

为发展工业 4.0 的核心, 也是由于这些公司在工业自动化、设备研发、公司资产管理等方面拥有着突出的优势。

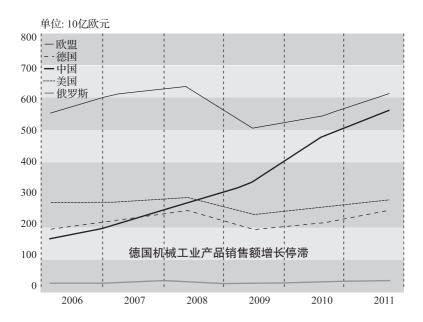


图 1-1 2006—2011 年世界主要经济体工业出口总值, 不包括配套服务和运维服务等费用

来源: VDMA. 2012年12月

从对生产力的需求来看,工业 4.0 的到来也具备一定的主客观必然性。每一次工业革命的发起,其根本原因都是人类相对滞后的生产手段与不断扩大的生产需求间的矛盾,每一次生产力的变革都是缓解这一矛盾的过程。例如,第一次工业革命

第1章

以价值创造为核心的工业转型新思维

中蒸汽机的发明解决了人力的效率低下和动能不足的问题。庞 大的机械设备因此得以被驱动,人力也在很大程度上得到了解 放。第二次工业革命的发生是为了解决规模化和生产成本之间 的矛盾, 在生产流程详细划分, 以及生产活动、原料、部件和 产品标准化的基础上,开创了产品批量生产的新模式,劳动力 的效率得以实现最大化。工业产品开始作为日常消费品走进千 家万户。第三次工业革命以控制技术和信息技术为代表、使得 生产效率进一步提高,自动化的设备取代了人的重复性劳动, 加工精度和产品质量得到了革命性的提升,生产的精细化和复 杂程度得以提高, 人与人之间的交流更加高效, 运维和管理的 成本得以降低, 在进一步解放了人的体力劳动的同时也代替了 一部分脑力劳动。如今, 机械化、规模化、标准化、自动化和 信息化已各自发展到了一定的成熟阶段,人类对生产力的新需 求与现有生产手段之间又产生了一些突出的矛盾, 主要体 现在,

规模化与定制化之间的矛盾:本质上是需求的多样性和敏捷性与解决手段的单一性之间的矛盾,以及个性化服务与大众服务之间的矛盾,其核心是如何低成本地为不同的需求方提供相应的功能和服务。

个性与共性之间的矛盾:一方面要解决大规模生产与定制

工业大数据工业4.0时代的工业转型与价值创造

化生产间巨大成本差异导致的矛盾,另一方面要解决设备和活动的多样性造成技术的普适性与实用性难以兼顾的矛盾,其核心是如何建立一套自成长的平台体系,在应用过程中能实现不断的自我更新。

宏观与微观之间的矛盾:本质上是要让个体的活动目标与 集体的活动目标相匹配,个体利益与集体利益之间实现协调统 一,其核心是实现协同优化。

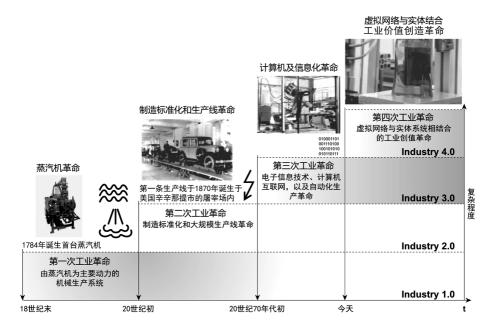


图 1-2 第四次工业革命进程及其特征

来源: 德国"工业4.0 实施建议"

归根结底,第四次工业革命要解决以下问题:生产力的进一步升级和解放导致生产过程和商业活动的复杂性和动态性已经超越了依靠人脑加以分析和优化的能力,因此,需要依靠智能化的技术代替人的智能进行复杂流程的管理、庞大数据的运算、决策过程的优化和行动的快速执行。因此,第四次工业革命的核心在于智能化,其最终目的是实现生产活动的高度整合,使系统像人一样思考和协同工作。

简而言之,第四次工业革命是以智能化为核心的工业价值 创造革命,要解决的问题包括:满足用户定制化需求的生产技术、复杂流程的管理、庞大数据的分析、决策过程的优化和行动的快速执行等。

其中,满足用户定制化需求的生产技术核心是将传统的刚性生产模式转变为柔性生产模式,即改良已有的控制技术。而复杂流程管理、庞大数据的分析、决策过程的优化和行动的快速执行依靠的是以智能分析为核心的信息化技术。

那么,对已有的控制与信息技术进行改良和升级是否可以解决上述问题?答案应该是否定的。首先,传统的控制技术所关注的重点是精确性、快速性、稳定性和应变性,是建立在较为固定和刚性的控制逻辑和规则上的,因此无法满足定制化生

工业大数据 工业4.0 时代的工业转型与价值创造

产过程的柔性要求。此外,已有信息系统的数据分析、管理和决策流程也是按照设计好的过程和手段进行的,无法满足灵活应对外部环境和活动目标变化的要求,且对数据的分析能力还很有限,不能有效地将数据转化成决策需要的信息。最后,当前的控制与信息系统虽然表面上集成在了一起,但是在内部并没有实现信息回路,即从信息到决策再到控制系统的反馈依然无法实时和自动完成。因此,现有的控制与信息系统难以实现智能化的要求。

在工业 4.0 的实践方面,德国根据自身在制造业中的优势,尤其是在装备制造业和生产线自动化方面的优势,从产品的制造端提出了智能化转型方案,其核心是利用物联网和"信息物理系统"(Cyber-Physical Systems, CPS)等技术,为生产过程中的每个环节建立信息化的连接,实现设备、制程、订单、生产计划、设计、排程、人力资源管理、供应链、库存、分销、公司资产管理等一系列环节的整合和信息的高度透明。

在解决前文提到的三大矛盾方面,德国工业 4.0 体系针对 生产过程中的各个环节制定了相应的目标和核心技术,如表 1-1所示。

| 对象 | 客户需求 | 商业流程 | 生产过程 | 产品 | 设备 | 人员 | 供应链 | | | |
|----|----------------------|-----------|-------------------|--------------------|-----------------------------------|-------------------|-----------------|--|--|--|
| 目标 | 定制化、 可重构的 生产线 | 动态快速响应 | 透明化 | 生产全 流程的 可追溯 | 相互连接、监控、自动化 | 高效配置 | 按需配 给、接 近零 库存 | | | |
| 技术 | 3D 打印、 智能加 工设备 | ERP 系统 | 生产线 监控、 可视化 | RFID、 产品数 据库 | 监控系 统、PLC 控制、实 时控制 技术 | 人员追溯 和通信 系统 | 供应链 管理 系统 | | | |

表 1-1 德国工业 4.0 的设计目标和相应技术

在技术研发方面,德国提出了"本地的智能化"和"连接的智能化"协同发展的战略,一方面在设备的智能化、传感技术、通信技术、信息与控制技术等领域加大研发力度,使德国企业成为世界领先的智能设备供应商;另一方面,加快物联网和CPS技术的研发,实现智能设备的整合,并利用CPS平台技术实现设备、人和服务的连接。

在实施方案的规划上,德国提出了"二维战略"的发展思路,从横向和纵向这两个维度推进工业体系的智能化应用进程。纵向的应用指的是企业内部"端到端的信息融合"(End-To-End Digital Integration),实现从最底层的驱动

器和传感器信号到最高层的企业资产管理系统的无缝连接, 其核心是物联网技术和 CPS 技术。横向的应用主要指企业 之间和产业链上下游信息和服务的融合,实现整个产业链 的价值链整合和协同优化,面向全产业的全价值链提供智 能化服务。

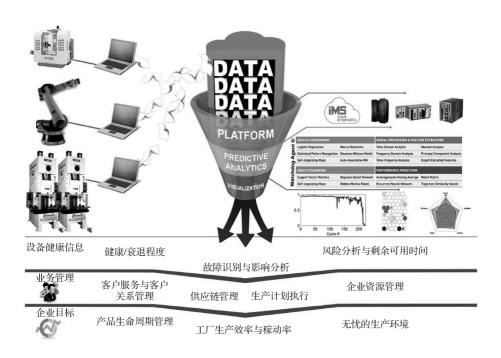


图 1-3 面向企业内部的纵向智能化应用体系

来源: IMS Center

第1章 以价值创造为核心的工业转型新思维

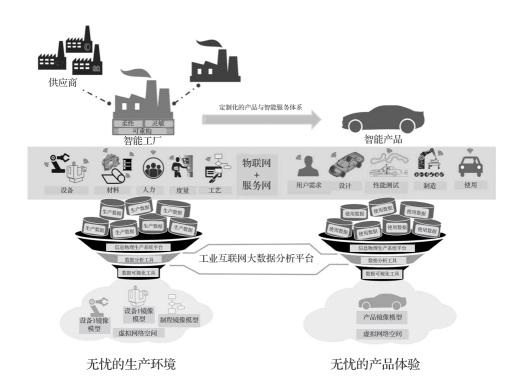


图 1-4 面向全产业价值链的横向智能化应用体系

来源: Jay Lee, Industry 4.0 Manufacturing Leadership Journal, 2015

1.2 德国工业 4.0 与美国 CPS 战略计划

美国早在 2006 年就提出了 Cyber-Physical System (CPS), 也就是"信息物理系统"的概念,并将此项技术体系作为新 一代技术革命的突破点。

对于 CPS 的概念,可以用目常生活中的常见事物来解释。 正如人们在 Facebook (脸书) 或者微信朋友圈里建立的各种关 系, 在物理世界里是不可见的, 但却可以得出这个人的生活社 群、行为习惯、过往经历等等,因此我们的朋友圈就是我们的 "虚拟生活",是每个人的数字化镜像(Digital Twin),是现实生 活的记录和反映。我们生活中的不同时刻在朋友圈中被记录. 其内涵和信息量随着我们的成长不断变得更为丰富。在网络世 界中,我们可以随时随地追溯自己和朋友过去的记忆,时间旅 行在现实生活中或许是天方夜谭,但在网络世界中却可以轻而 易举地实现。除了这些"看得到"的联系,在网络世界中还可 以根据数据建立基于人与人之间关联性和相似性的"看不到的" 联系,我们自动被划分为不同的集群,相同集群内部的人由于 某些特征的相似性,使得其活动具有相互借鉴的意义,从而利 用群体的数据对个体的活动进行精确预测。例如, 谷歌可以从 一个人的搜索记录和浏览记录去预测他是否有犯罪倾向(此计 划已被列为美国国家安全局的重要反恐手段). 淘宝可以根据消 费记录对用户的喜好进行预测并精确推送产品广告。

同样的,任何产品都可以存在于虚拟和实体两个世界。在 虚拟世界中将实体的状态以及实体之间的关系透明化,正是 CPS 技术诞生的目的和意义。基于 CPS 技术的应用,使设备具 备了自省(对自身状态变化的意识, Self-Aware)、自我预测(Self-Predict)、自我比较(Self-Compare)和自我配置(Self-Configure)的能力。

未来的产品例如机床、汽车、飞机、船舶等都应该会由实体价值与虚拟价值相结合,虚拟世界中代表实体状态和相互关系的模型和运算结果能够更加精确地指导实体的活动,使实体的活动相互协同、相互优化,实现价值更加高效、准确的传达。

可以说,这不但与德国工业 4.0 概念的目标相吻合,也是实现工业 4.0 目标的必由之路。这也是为什么德国在"工业 4.0 实施建议"中明确指出,智能化的生产系统和智能化的服务体系,其核心技术为以 CPS 为核心的智能化价值创造技术体系。

美国的 CPS 实践

既然前文提到 CPS 最早由美国提出,其在美国又有哪些 实践?

金融危机后,美国开始意识到"虚拟经济"脱离实体经济所带来的巨大隐患,同时意识到来自以中国为首的新兴经济体工业竞争力的挑战,开始将发展先进制造业提升为国家战略。美国总统奥巴马在2010年签署了《美国制造业促进法案》。提出运用数字制造和人工智能等未来科技重构美国的制

造业竞争优势。

2012年11月,美国通用电气公司(以下简称 GE)发布了《工业互联网——打破智慧与机器的边界》[○]报告,打响了向全世界推广工业互联网模式的第一枪。报告中确定了未来装备制造业智能服务转型的路线图,将"智能设备""智能系统""智能决策"作为工业互联网的关键要素,并组织最顶级的软件工程师在硅谷成立全新的"工业互联网"研发中心,进行工业互联网平台的建立、数据分析算法的研究和应用软件的开发。为了将工业互联网这个全新生态圈的价值最大化,GE与AT&T(美国电话电报公司)、思科(Cisco)、IBM(国际商业机器公司)、英特尔(Intel)已在波士顿宣布成立工业互联网联盟(IIC),以期打破技术壁垒促进实体世界和数字世界的深度融合。

为了给先进制造计划提供强有力的技术支持和创新引擎, 白宫于2012年12月成立了"CPS技术发展顾问委员会",推 动 CPS技术在制造、国防、医疗和公共服务等多个领域的发 展与应用、使得 CPS技术成为美国国家战略中的核心技术。

2013年2月,美国总统执行办公室国家科技委员会发布了"先进制造业国家战略计划"研究报告。该报告从投资、

[○] 该报告由机械工业出版社出版,中英文双语版。

劳动力和创新等方面提出了促进美国先进制造业发展的五大目标及相应的对策措施。这是美国政府在先后发布《重振美国制造业政策框架》《先进制造伙伴(AMP)计划》后,从国家战略层面提出的加快创新、促进美国先进制造业发展的具体建议和措施。

2014年5月,白宫又宣布在芝加哥成立数字化制造与设计创新(DMDI)联盟,这是奥巴马政府继增材制造创新研究所(NAMII)后提出设立的第三个创新研究联盟,围绕核心CPS应用,聚焦先进制造企业、智能机器、先进分析、网络实体安全四项核心技术领域,旨在提升数字化设计、制造能力。

除此之外,美国还根据其在系统工程和互联网方面的竞争 优势,就使用端的智能服务提出了转型方案,使其应用领域不 仅包括制造业,还涵盖了医疗、国防、运输、航空、能源、环 保、社会服务、紧急危机处理等,目的是为了增强其产品的核 心竞争力,为各个产业寻找新的增长动力。因此,CPS 不仅能 在制造系统中得以应用,还可以为产品在使用中提供更为广泛 的增值数据服务。

美德战略对比

在比较德国的工业4.0与美国的CPS战略之前,我们首先

要了解这两个国家提出各自战略时的历史背景。

美国总统奥巴马在第二个任期内提出了美国"制造业回归"的口号,这与十年前美国政府提出的"去工业化"形成了鲜明的对比,背后的原因主要是以下两点:

第一,在十年前美国判断其制造业已经不会有太大的发展,与当时的新兴经济体中国相比,其制造业缺少大的支撑和竞争优势,而虚拟经济和科技领域的优势更加明显,且相比于制造业而言更加有利可图。然而世界金融危机之后美国面临巨大的挑战,德国依靠其实体经济和制造业的优势反而在金融危机中表现强劲,于是美国意识到其经济"空心化"所带来的严重问题,希望通过制造业的回归调整其经济结构,同时解决国内就业等突出问题。

第二,十年前美国去工业化时主要考虑的是其劳动力成本,可是现在的人力成本更加高昂,怎么实现制造业回归?事实上我们忽略了一点,就是美国在过去的20年里并非仅仅热衷于虚拟经济,其国防和航空航天工业积累了大量的科技红利,这些科技红利开始向民用领域转移,于是,美国就利用其在科技方面的优势提出了"先进制造业伙伴计划"(AMP),通过互联网技术和机器人技术,大量代替人的劳动,通过新的制造手段重新建立制造业的优势。经过分析,采用新制造手段

第1章 以价值创造为核心的工业转型新思维

的成本会比中国目前劳动密集型制造的成本还要低30%。

在相似的背景下,欧盟提出了"新工业革命"的口号,这就是德国工业4.0的前身,但是远远没有工业4.0的成体系化和前瞻性,更像是欧洲工业某种大融合。后来,德国利用比较成熟的工业体系,以西门子等在工业配套集成方面占据优势的公司为支撑,比较成体系地定义了工业4.0的内容和目标。

综合比较德国工业 4.0 与美国 CPS 战略计划,两者都涉及了两个方面的变革:一是制造模式的变革,二是装备和产品的智能化。这两者的体现形式分别是智能制造与智能服务这两大主导方向,但又各有侧重。在涉及工业资产全寿命周期的供应链、服务链、产业链各个环节,每家工业企业都能找到自己合适的位置,那么,从实施上到底是选择德国工业 4.0 还是美国 CPS?

要回答这个问题, 我们首先对二者做一简要对比, 如表1-2:

| | 德国 | 美国 |
|----|--|--|
| 目的 | 发挥其传统的装备设计与制造 的国家优势,进一步提升产品市 场适应力与配套服务能力 | 发挥其传统信息产业的国 家优势,进一步提升面向终 端用户的体系性服务能力 |
| 方向 | 注重智能制造 | 注重智能服务 |
| 对象 | 工业装备 | 系统工程、工业互联网 |

表 1-2 德国工业 4.0 与美国 CPS 的发展路径对比

(续)

| | | (次) |
|-------------|---|--|
| | 德国 | 美国 |
| 关 注 点 | 涉及供应链的装备产品制造、销售、售后服务能力提升,即智能化生产制造能力 | 涉及全产业链与生态链的 技术、产品、服务成体系应 用能力提升,即智能化体系 服务能力及顾客价值创造 |
| 手段 | 以 CPPS (Cyber-Physical Production System) 和物联网技术为核心,重点在设备的自动化和生产流程管理等方面 | 以 CPS 和物联网技术为核心, 重点在以智能设备、大数据分析和互联网为基础的智能化服务等方面 |
| 目标 | 实现面向产品制造流程和供应 链的一站式服务 | 实现面向用户服务链与价 值链的一站式创新服务 |
| 典型企业 | 西门子、博世、SAP 等专注工业自动化、制造设备研发、公司资产管理的工业公司 | GE、IBM、Cisco 等专注 供应集成设备服务和系统性 服务解决方案的工业公司或 组织 |
| 借鉴意义 | 纵向智能化与横向的服务相结合,通过全产业链的信息融合实现价值链的协同优化,创造一个高灵敏度、高透明度和高整合度的智能生产系统 | 面向工业应用的工业大数据分析与面向集群/社区网络的传统大数据分析相结合,实现从设备、系统、集群到社区智能化的有效整合,为用户提供全产业、全寿命周期的服务 |

不难看出,虽然从定义与路径上德国与美国各自有所侧重,但两国都根据自身优势定义智能化的思想和体系,根据自身的技术特点制定技术发展路径,并根据自身的战略需求规划

第1章

以价值创造为核心的工业转型新思维

实施方案。这也就决定了工业 4.0 的规划和实施具有很强的针对性。中国实施《中国制造 2025》,加速制造大国向制造强国转变;日本推进"再兴战略",将人工智能作为突破口;韩国制定"新增长动力规划";法国也提出了"新工业法国"计划。各国战略规划各有特色,并没有一个放之四海而皆准的定义和能够解决所有问题的通用技术方案;而从各国工业 4.0 实践案例来看,不同的企业也会根据自身特点选择不同的转型切入点。可以说,一百家企业就有一百种工业 4.0 观点,就有一百种工业 4.0 实施方式。

那么, 抛开这些国家或者企业的工业 4.0 实施差异, 我们能看到什么? 那就是共同的价值创造目标。

1.3 以价值为导向的变革新思维

在以往的工业变革中,以硬实力为代表的技术概念成为价值创造的重要源泉,比如工业 1.0 对应着以蒸汽机为代表的机械化时代、工业 2.0 对应着以生产线为代表的流水线时代,而工业 3.0 则对应着以软硬结合为代表的信息化时代。如今,工业领域的价值源泉正在向软实力偏斜,为什么?

以德国为例,德国制造设备的高质量众所周知,更换的频

率相对偏低,对于此类设备的制造企业而言,可能卖一次产品就只赚一次钱;德国人也发现了这个问题,并意识到仅靠不断改进生产线的硬件并不能从本质上提升持续产生价值的能力。那么,价值创造未来靠什么?

最简单的突破点在供应链。以全球最大的船用低速柴油机制造商德国 MAN 柴油机公司为例,其产品的市场占有率高达80%,除了不断推出电喷机技术以提升柴油机的智能化程度与市场竞争力以外,其盈利比例最高的业务当属包括备品备件、维护保障等在内的售后服务,这正是基于强大软实力的配套服务所带来的应用价值。

然而,提升供应链服务能力的对象也还是自研的产品,怎样才能创造新的价值?这正是以价值为导向的企业转型的 关键。

GE 旗下的飞机发动机公司(GE Aircraft Engine)在 2005 年将公司名称改为"GE 航空"(GE Aviation),这代表着业务 模式的转型。原来的发动机公司只做发动机,而改名后的 GE 航空则提供运维管理、能力保障、运营优化和财务计划的整套 解决方案,还可以提供安全控件、航管控件、排程优化、飞航 信息预测等各类服务,由服务带来的价值空间更大了。

例如, GE 航空提供的"On-Wing Support"服务, 在航

第1章 以价值创造为核心的工业转型新思维

班飞行的过程中监控发动机的健康状态,对可能发生的故障 风险进行预测,在飞机落地前就可以在相应的机场准备好维护所需的备件和技师等资源,从而使发动机的使用率大大提升,同时安全性也得到了很好的保障。这项服务推出后,从 美国芝加哥飞往上海的航班降落后仅需 3 小时的周转时间就可以搭载上海的乘客返回芝加哥,航班的周转率大大提升,为航空公司带来了相当可观的价值增长。有了这些服务之后,GE 卖的已经不是或者不只是发动机,而是航空管理服务。这样,发动机生产商从过去单纯的发动装置提供者转变为如今的航运信息管理服务商。

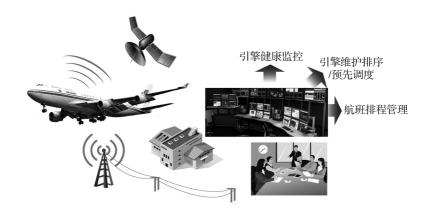


图 1-5 GE 航空服务的价值链延伸分布图

这个案例从一个侧面反映了当今制造业转型的趋势。美国的发动机是产品,只做发动机,卖出后实现的只是一个产品的价值,而加上基于数据分析提供的延伸服务,包括维修、航管等附加服务,方便用户的同时,更得到了持续性服务盈利的能力;同理,德国的柴油机也可以这样做,这也正是在工业4.0背景下如何以软实力的增强提升价值创造能力的关键所在。

那么,如何以创造价值的角度,结合企业的价值创造需求、产品的增值需求和用户的价值需求来制定转型路线并达成持续性的盈利目标?

1.4 "有之以为利,无之以为用"

"有之以为利,无之以为用"出自老子的《道德经》,其中的智慧放在当今工业企业的商业模式和产品设计中依然十分有用。"有"指的是可见的、固定的、有别于其他的实体;"无"则是隐藏的、变化的、发挥效用的无限可能性。"利"代表的是可占有、可收获、可使用的基础条件,而"用"则是可供发挥和可有所作为的空间和方向。

因此,"有之以为利,无之以为用"这句话可以理解为: 一切事物的实体为我们提供可以凭借的、可见的基础条件,而 其中所隐藏的空间和可变化的无限可能才是被我们真正使用并创造价值的所在。

举个例子来说,房子能够为我们遮风挡雨,但是我们真正 使用的并不是构成房子的水泥砖瓦,而是房子内部的空间,在 这空间内发生的喜怒哀乐才被称为生活,相同的房子内住了多 少户人家就会有多少种不同的生活。对于大多数人而言,买房 子本身并不是目的,通过购买房子获得舒适的生活空间和美好 的生活品质才是目的。

简而言之, 商家卖的是产品, 用户看重的是产品带给生活的价值。

现在我们谈创新、谈产业升级、谈工业革命,依然将重点 放在有形的物件上,将重心放在技术的突破和引进上,依然缺 乏这种"无"和"用"的概念。一切技术或产品都只是手段, 其核心目的是在使用中创造价值。

价值创造意味着什么?

那么,价值创造意味着什么?通俗地讲,就意味着用户欣赏你的产品,愿意花钱购买,这样你的未来才是美好的。这里的用户来源既包括内需,又包括全世界的未知市场。

被创造的价值是无边界的,未来整个创新和价值创造的观

念正取决于企业怎么看待一个产品的价值。这里,可以通过一个摊开的手掌做比喻,如果从产品出发,那就只能看到这 5 根手指;但如果从产品的用户价值出发,你就会进而关注手指间的 4 个间隙:这正是用户在使用产品时未被满足的需求,即需求缺口,填补这些需求缺口可以为用户创造价值。

这其中,最重要的是需要改变以往从技术端出发看问题的 思维(有形的手指),反向思考,从用户的价值端寻找潜在的 需求(无形的缺口),学会思维的转变。

煎蛋模型:以价值创造为目标

这种以价值创造为目的产品设计思路可以用"煎蛋模型"来加以分析和说明,一个核心的产品不仅是一种产品(蛋黄:产品本身),还有很多配套的服务(蛋白:服务衍生的价值)。这如同煎熟的蛋,每份的蛋黄其实都差不多,比如普通电视机去掉商标就很难判断是哪个品牌的,但蛋白却大异其趣;也就是说,在产品差异不大的情况下,配套服务的差异才是致胜的关键。

如果我们用煎蛋模型来分析苹果手机就会发现,手机本身只是蛋黄,而其搭载的应用 Apps 所产生的服务就好比是蛋白。

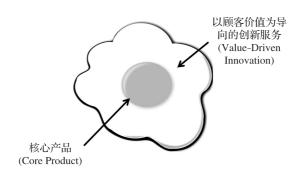


图 1-6 服务创新的新思维, 煎蛋模型

一部苹果手机的成本只有 167.5 美元 (iPhone5, UBM Techinsights),却可以以超过 500 美元的价格出售,且卖给用户之后依然可以通过卖应用持续赚钱,所依靠的就是"蛋白"。围绕苹果手机这个"蛋黄"还衍生出了一个全新的商业领域,那就是目前规模已经达到 2000 亿美元的 App 应用开发产业。苹果通过不断改善手机外观、芯片运算能力、屏幕清晰度、手机的厚度和质量、摄像头的像素、电池续航时间等方式不断把蛋黄做强,而 App Store、iTunes、Siri 以及无数的 App 开发者在不断地帮助苹果把蛋白做大。蛋黄虽然是共性的,但是蛋白却满足了不同用户定制化的需求,使 iPhone 可以满足各类人群的功能需求。甚至可以说,在用户手中很难找到完全相同的两台 iPhone。

反观诺基亚,在 2007 年其市场占有率曾经达到最高的

49.4% (Gartner IDC),却在 2013年以仅仅 37.9亿欧元的价格被微软收购(苹果公司的市值 2014年已超过 7000亿美元,成为世界最有价值的公司),曾经将蛋黄做到极致的手机行业巨头因为在移动智能的浪潮中转型过慢而轰然倒下。



图 1-7 苹果的创新煎蛋模型

新一代智能工业革命: 6M+6C=工业 4.0?

那么我们应该如何利用煎蛋模型来看待第四次工业革命? 本书认为. 智能制造系统中的 6M + 6C 模式就好比蛋黄与

第1章 以价值创造为核心的工业转型新思维

蛋白。

6M+6C 的智能制造系统设计理念,由李杰教授于 2012 年 6 月 12 日在德国梅赛德斯-奔驰 (Mercedes Benz) 博物馆举办的 FORCAM 研讨会上做的主题报告中最早提出,并于 2012 年 8 月 12 日在美国国家科学基金会"未来制造业论坛"上的主题报告中做了系统性的阐述,随后公开发表于 Manufacturing Letters 期刊中。6M+6C 的智能系统设计理念被中国多家媒体和众多学者在不同场合报导和引用,但是大多数人只看到了这个观念表面的新颖性,却并没有非常深入地进行研究和实践。

蛋黄—— "6M"

传统的制造系统在前三次工业革命中主要在其中 5M 的领域进行改善和竞争,包含:

Material——材料,包括特性和功能等;

Machine——机器,包括精度、自动化和生产能力等;

Methods——方法,包括工艺、效率和产能等;

Measurement——测量,包括六西格玛、传感器监测等;

Maintenance——维护,包括使用率、故障率和运维成本等。

传统的制造业向智能化转型的过程中,第六个 M 起到了 至关重要的作用:

Modeling——数据和知识建模,包括监测、预测、优化和 防范等。

未来的制造业产品一定是包含 6M 的。如何利用智能传感与分析技术将 5M 过程中产生的工业数据连接并建立分析模型至关重要。实现了这一点企业即使不做材料也不做设备,依然可以通过使用数据、维护数据等方式实现价值创造。数据能够反映出问题,比如功能特性、生产工艺等 5M 会涉及的各方面问题,假如有一整套建模系统,能够对每个设备过去、当前及未来的性能进行完整的分析,这种分析就能够渗透全寿命周期的决策链与价值链,其能量可想而知。

这是做好蛋黄的一个重要观点,是就如何通过数据的建模与分析反观制造过程的说明,也是对一个国家如何从数据中获取未来竞争力的强调。以中国为例,中国是制造大国,更是使用大国,在船舶、飞机、机车等领域,可能制造能力并不强大,但却有着其他国家所无法比拟的使用数据量,如果能从使用端投入分析力量,则不失为反向突破中国制造的有效途径,这也是中国制造未来走全球化所必不可少的6M模式。

蛋白——"6C"

在工业 4.0 的环境下,如何通过服务做大蛋白,正是获得持续性盈利的关键。美国与德国在战略层面达成的共识就是,如何将先进的计算技术和信息物理系统结合起来,以适应或者利用当前的大数据环境,这正是工业 4.0 给制造业带来的新挑战和新机遇。

随着智能传感器技术,如 RFID 射频识别技术的发展,搜集数据已经变得很简单。但是仍然存在的问题是,这些器件及数据是否在正确的时间、为正确的目的、给正确的人提供了正确的信息?除非数据被处理后可为需要者提供内容和意义,否则这些数据也是无用的。单纯将传感器安装到设备上或者将一台设备与另一台进行连接,是无法给用户提供足以做出更好决策所需的信息的。

可以这么说,传感器只能解决数据来源问题,不对数据加以分析是产生不了价值的。那么,为了使传感器、设备、群体乃至社区网络等之间的连接更有意义,到底该如何获取数据并从数据分析中萃取洞察力和新价值呢?这就离不开"6C",也就是"蛋白".即:

Connection——连接, 涉及传感器和网络、物联网等;

Cloud——云、即在任何时间按需获取的存储和计算能力:

Cyber——虚拟网络,包括模型与记忆等:

Content/Context——数据内容与来源背景,包括相关性、 含义、决策等:

Community——社群,包括交互、分享、协同等;

Customization——定制化,即个性化的服务与价值。

以此,我们可以对工业 4.0 环境下的智能制造与智能系统 开展进一步的强化说明。也就是说,现有的制造系统需要对制 造设备本身的以及制造过程中产生的数据进行更深入的分析, 将数据转化成为能够指导生产活动的信息,再利用信息产生优 化的决策和个性化的服务来创造价值。

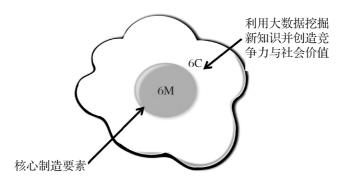


图 1-8 工业 4.0 价值创造的煎蛋模型

第1章

以价值创造为核心的工业转型新思维

这里需要说明的是,"蛋白"一定是从用户而非产品端的 角度思考问题的,它是真正为客户创造价值的创新服务。产品 制造是有限的,但价值创造是无限的,关键是能否在新的工业 变革环境中找到需求的"缺口"。

1.5 中国工业 4.0 的竞争力缺口

近几年来中国一直致力于经济增长模式和产业结构的调整,为的是在未来的世界经济中更加具有竞争力。大如一个国家,小如一家企业,应该如何判断其竞争力的强弱? 我们认为应该从其经济增长的驱动方式来看待。

考验:增长模式的转变

国家竞争力的发展可以分为三个阶段:

第一个阶段是"需求驱动",在这个阶段竞争力的增长主要依靠内部的需求(如基础设施建设、宏观经济、医疗和基本教育等)以及外部的最基本需求(如劳动力、原材料、初加工等)。

第二个阶段是"效率驱动",包括能源的效率、市场的效率、资本的效率、劳动的效率等。在这个阶段国家已经有了自己的经济基础和支柱产业,开始融入国际市场并参与竞争,在

部分红海产业通过自身成本和效率的优势占据更多的份额。

第三个阶段是"创新驱动",是新的技术和新的商业模式的创造,目的是开拓全新的领域,创造全新的机会。创新驱动的空间也就是我们所称的"蓝海",是竞争程度较低但是价值空间最大的地方,在这一阶段国家成长的方式并不是打败了一个竞争对手,而是创造出一个属于自己的领域和未来。

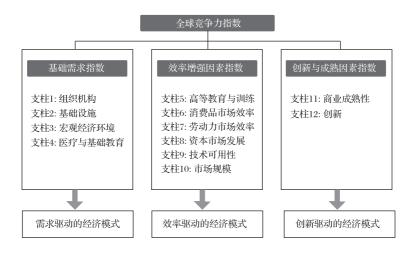


图 1-9 竞争力和增长模式的三个阶段

来源: World Economic Forum, 世界竞争力报告, 2014

对于一个产业而言,这三个发展阶段也同样适用。第一个阶段我们通常认为是供给小于需求的市场,例如 20 世纪 90 年代的家用电器、2008 年左右的光伏行业和 2010 年左右的风电行业。在

这个阶段,企业用较为粗犷的方式追求产能,投入大量的资金扩张规模,其最主要的特征是只要生产出来就一定会有人买。

第一个阶段终结的标志是市场供应迅速地超过了需求,开始出现较为激烈的竞争,管理粗放和盲目扩张的企业迅速萎缩甚至倒闭,过剩的产能需要较长的时间加以消化。这时,幸存下来的企业会逐步进入第二阶段,开始精益化管理和制造模式升级,努力降低生产成本和提升产品质量,在管理、生产、销售、财务、组织、服务等各个领域提升效率。全世界在第二个阶段做的最好的应该是日本的企业,其中以丰田最具代表性,其建立的"精益模式"在20世纪七八十年代甚至打败了美国制造,直到后来由于硅谷带动美国转型进入了"创新驱动"的时代才重新夺回了优势。

中国企业从 2008 年左右普遍开始了向"效率驱动"模式的转变,从国家层面来讲,不再仅仅关注 GDP 的总量,而是更加看重单位 GDP 的能耗和碳排放等指标。许多企业也开始引进精益管理、六西格玛等先进的管理和制造模式,开始更加关注质量、效率和成本的管理。

到了2010年我们再来看中国的竞争力变化,可以看到中国 在几乎所有指标上都明显优于其他处于第二阶段的经济体,宏 观经济环境、医疗与基础教育和市场规模等指标甚至已经达到 了第三阶段经济体的水平。可见,中国已经处在第二阶段向第

三阶段过渡的状态,这说明中国已经拥有了较好的工业基础。

中国目前的短板主要在创新能力、高等教育、人力效率和基础技术可用性这几个方面。而中国最大的机会在于市场,因为中国的市场不仅够大,而且是弹性增长的,一个产品在中国的受众可以是任何阶层的人,一瓶水从一元人民币到几十元人民币都可以有市场,而在美国一瓶 20 美元的水是不会有人买的。这样富有弹性的市场其实给了中国企业很好的创新环境,因为市场的包容性特别大,中国人对于新鲜事物的接受能力和购买欲望远远高于发达国家的民众。

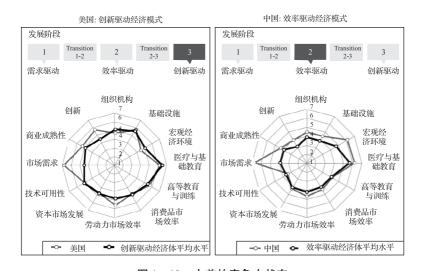


图 1 - 10 中美的竞争力状态

来源: World Economic Forum, 世界竞争力报告, 2014

中国制造在完成了第二阶段的转型之后已经拥有了很好的制造基础,例如,以往外国供应商几十美元一个的汽车配件,如今中国企业能够将成本控制在 10 美元以内,质量上也并不比国外的差,这说明中国制造在工艺、流程、管理、运营等各方面已经做到了高效的极致。但是从另一个方面来看,这也是中国制造的悲哀,因为利润空间被压缩到几乎为零的程度,而发达国家则通过专利转让、配套服务、软件创新等手段舒舒服服地拿走了大部分的利润。以 iPhone 手机为例,整个价值链中美国企业的利润达 321 美金,而中国企业仅有 6.5 美金。

因此,能否借助工业 4.0 这个机遇,推动中国制造的技术创新、模式创新和服务创新,将增长重点从原来的蛋黄转到蛋白上,是中国企业面临的最大挑战。虽然工业 4.0 中的各类核心技术,如传感器技术、物联网、云计算、控制器和 3D 打印等技术都可以找到相应的供应商,但是仅仅引进这些技术还是远远不够的,因为其中最核心的两个部分,智能化的数据分析以及服务和模式的创新是需要修炼的"内功",而这恰恰是中国企业最欠缺的。

工业 4.0 带给中国的机会空间

如果用煎蛋模型来看中国在工业4.0中的机会空间,则中

国在蛋黄部分和蛋白部分都还有很大的增长余地。蛋黄部分要填补中国工业基础技术的缺口,改变核心零部件和先进材料过度依赖进口的现状;努力提高生产效率,从粗放式的生产模式向精益模式转变;重视工艺和制程的研究和生产过程的管理,不断提升产品质量;努力研发核心生产设备和智能设备,并对设备的使用进行精细化和信息化管理。蛋白部分要提升产品的服务能力和可持续盈利能力,以用户端的需求缺口为导向提供智能化服务,利用增值服务提升中国工业产品的核心竞争力;另外还要构建中国自己的工业互联网体系,扶持传感器技术、数据采集设备、运算能力和数据分析能力方面的研发和应用,利用数据挖掘和信息内容管理获取新的知识和技术,并对现有产品进行改进,避免一些不可见因素带来的隐患。还可以用大数据技术对信息进行挖掘,满足用户那些以往"不可见"的需求,提供增值服务。

我们相信工业 4.0 的中心将会在中国,因为工业 4.0 的核心是大数据的价值创造,而中国既是制造大国,同时也是使用大国,大量的数据都在中国得到汇集。如果数据是工业 4.0 时代价值创造的原材料,那么中国无疑是资源最多的国家。然而数据并不会直接创造价值,就好像对于一个企业而言是现金流而非固定资产决定企业的兴衰一样,真正为企业带来价值的是

数据流,是数据经过实时分析后及时地流向决策链的各个环节,成为面向用户,创造价值与服务的内容和依据。中国应该利用好使用数据的资源,不断提升对装备的理解和使用能力,让世界向中国学习使用经验。虽然德国成为了工业 4.0 的发起者,但作为控制器、物联网技术和生产设备的提供者,德国只是基础技术的供应商,直接面向客户的价值创造端却是中国。

机会:从使用端看待制造模式向"预测型制造"的转型

自第二次科技革命以来,制造模式的变革主要经历四个阶段。第一个阶段是利用流水线技术实现了规模化生产,大大降低了生产成本并提升了生产效率。美国成为了此项生产模式的最大受益者,不仅帮助美国赢得了二战,还使美国迅速成为世界第一大经济体和第一大工业制造国。第二个阶段是精益生产,通过在生产管理、流程改善和质量控制等方面的突破,使产品的质量大幅提升,同时也使制造业趋向标准化。在精益生产过程中,首次使用了数据和统计工具对质量进行管理,并为生产线建立了仿真优化模型,生产效率也因此得到大幅提升。精益生产并没有大量的技术突破,其核心是组织管理和企业文化的改变,闭环的和可持续的流程改善是重要的指导思想。精益生产的最大受益者是日本,一时间日本制造的汽车和电子产品被销往全

世界,也使日本成为全球第二大经济体。第三个阶段是柔性生产阶段,其核心技术是 PLC (可编程逻辑控制) 技术和 CNC (数控机床) 的发明,使机器能够生产各类不同形状和规格的产品,解决了需求多样性的问题。在第三个阶段技术较为领先的是德国,使德国成为世界第一的工业装备出口国,也使"德国制造"成为了品质的象征。第四个阶段被称为可重构生产系统,使一条生产线能够同时生产多种产品,生产也由原来的"push"(生产之后想办法卖出去)模式转变成了"pull"(市场下订单后再生产)模式。

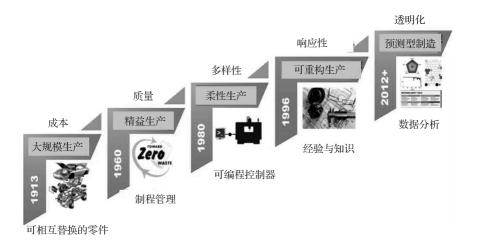


图 1-11 生产模式的发展过程 来源: Jay Lee, Uptime Magazine, 2013

而工业 4.0 的到来将把制造模式转变成为"预测型制造"。预测型制造的概念最早在 2005 年提出,是以监控设备的数据采集为起点的,通过采用合适的传感器装置,各种信号如振动、压力等均可以被采集;另外,历史数据可以被用作进一步的数据挖掘,形成面向不同目标的经验和分析模型;通信协议(如 MTConnect 和 OPC)可以帮助用户记录控制信号;当所有的数据被汇总在一起,就构成了所谓的"大数据"(Big Data)。而信息的转化机制(Transforming Agent)由几个组件构成:整合的平台、预测分析方法和可视化工具。

预测型制造的核心技术是一个包含智能软件进行预测建模的智能计算工具。对设备性能的预测分析和对故障时间的估算,将减少这些不确定因素的影响,并为用户提供预先缓和措施和解决对策,以防止实际运营中生产力和效率的损失。预测型制造可以为用户提供透明化的信息,如实际健康状况、设备的表现或衰退的轨迹、设备或任何组件什么时候失效以及怎样失效等。

1.6 探索适合中国工业 4.0 的转型之路

《中国制造 2025》规划是国家"十三五规划"的重中之

重,是中国对符合自己实际的工业 4.0 道路的探索,目的是改变中国制造"大而不强"的现状,提升中国制造的综合竞争力。解决中国制造"大而不强"的现状应当对症下药,重点解决以下几个方面:改变中国制造质量差、档次低的形象;提升产品的附加值,从价值链的低端环节向高端环节转移;调整制造业的产业结构使之更加合理化;改善中国工业能耗高和对环境污染大的现状,实现绿色制造;提升企业的信息化水平,实现信息化的生产管理和全产业链的互联互通;增强企业自主创新能力,实现创新驱动的增长模式。

《中国制造 2025》规划并不是对德国或是美国模式的照本宣科,而是符合中国现状和自身需求的规划。计划将质量和效率作为重点突破的领域,正体现了以实事求是的态度对因基础技术的不足而落下的差距进行的填补。如果用煎蛋模型去分析中国制造目前的现状,"蛋黄"部分的基础能力依然比较薄弱,因此要从传统制造的 6M 方向不断进行改进,并战略性地完善基础能力与重要零部件的自制能力。与此同时,增强企业的智能化水平,培养企业的创新能力,围绕产品的"蛋黄"构建一套价值创造服务体系,利用大数据实现向预测型制造的转变,是进一步增强中国制造综合竞争力的重要条件。

第1章 以价值创造为核心的工业转型新思维

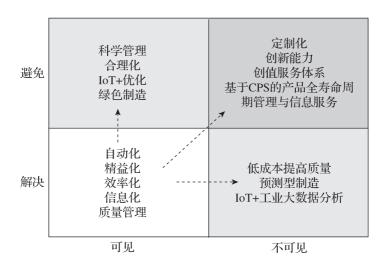


图 1-12 中国工业 4.0 的转型机会空间

目前有一些观点提出,中国提工业 4.0 还为时过早,应该把更多的精力去补工业 2.0 和 3.0 落下的课,对于这种观点我并不认同,我们不妨用 6M 和 6C 的煎蛋模型来深入探讨一下。首先,传统制造的 6M 并不是智能制造 6C 的先决条件,两者的接口在于第六个 M (Modeling,数据和知识建模),这一部分中国的能力还比较薄弱。除此之外,6C 和 6M 间并非此消彼长,而是相辅相成的。6C 是中国制造业的一个机会,一方面可以通过 6C 产生的增值服务去弥补 6M 较为薄弱的竞争力缺口,另一方面还可以利用使用过程中的数据分析,从价

值创造服务的新视角去改善 6M 中的薄弱环节。德国的经验已经告诉我们,"蛋黄"并不是核心竞争力,因此德国提出的工业 4.0 战略是在努力弥补"蛋白"部分的薄弱,这是一个对大家而言都较为陌生的领域,还并没有产生明显的差距,我们恰恰需要以 6M +6C 的观念去布局中国制造业的机会空间,通过在 6C 空间中的服务转型反向弥补原本薄弱的环节,这或许将会为中国提供一个弯道超车的机会。

从"中国制造"的机会空间中不难看出,虽然经历了几十年的跳跃式发展,中国制造业仍然处于自动化的初级阶段,关注点仍然停留在解决可见的问题上(如质量提升与成本控制等),存在着缺乏理念和忽视细节的问题,这是我们都需要正视的现状。中国工业的自动化道路需要遵循科学的规律,继续推进和完善合理化与标准化,同时注重挖掘制造业的意义和价值。工业 4.0 为中国制造业的转型升级带来的契机,其核心并不是实现自动化与信息化,而是关注制造业对用户、社会以及环境的价值,是以零故障保障设备的运行,以零浪费体现对效率的追求,以零意外彰显对生命的尊重,以零污染表达对社会的关切。

第2章 工业4.0环境下的大数据价值创造体系

2.1 工业 4.0 的大数据环境

大数据是工业 4.0 时代的一个重要特征,为什么?在美国和德国的工业 4.0 规划中都提到了大数据,而大数据在工业领域中的兴起主要由以下因素决定:

- 1. 设备自动化过程中,控制器产生了大量的数据,然而 这些数据所蕴藏的信息和价值并没有被充分挖掘;
- 2. 随着传感器技术和通讯技术的发展, 获取实时数据的成本已经不再高昂;
- 3. 嵌入式系统、低耗能半导体、处理器、云计算等技术 的兴起使得设备的运算能力大幅提升,具备了实时处理大数据 的能力:
 - 4. 制造流程和商业活动变得越来越复杂,依靠人的经验

第2章

工业4.0 环境下的大数据价值创造体系

和分析已经无法满足如此复杂的管理和协同优化的需求。

这些正是工业大数据的来源,那么,这样的大数据环境是如何形成的?工业 4.0 的基础特征在于互联与高度融合,互联包括了设备与设备、设备与人、人与人、服务与服务的万物互联(Internet of Everything)趋势,高度融合包括了纵向、横向的"二维"战略;它们的目标都是使设备数据、活动数据、环境数据、服务数据、公司数据、市场数据和上下游产业链数据等能够在统一的平台环境中流通,这些数据将原本孤立的系统相互连接,使设备之间可以通信和交流,也使生产过程变得透明。

从一般意义上讲,普遍认可大数据具有"4V"的特征,即:

Volume——量, 即非结构化数据的超大规模和快速增长;

Velocity——速度,即实时分析而非批量式分析,数据的 产生与采集异常频繁:

Variety---多样性,即大数据的异构与多样;

Veracity——真实性,即避免数据收集和提炼过程中发生的数据质量污染所导致的"虚假"信息。

而在工业 4.0 中,大数据还应该有两个"V",即:

Visibility——可见性,即通过大数据分析使以往不可见的 重要因素和信息变得可见;

Value——价值,即通过大数据分析得到的信息应该被转换成价值。

值得一提的是,前四个"V"表征了大数据的现象,是工业信息化和自动化发展到一定程度的必然。而对于工业 4.0 从设备制造端向用户服务端的转型而言,后两个"V"则代表了工业界对于大数据所追求的目的与意义,这一点,可能比刻意追求和制造大数据的环境更为重要。同时,对于大数据在当前工业环境中的价值,能够体现在如下几个方面:

- 1. 使原本隐性的问题,通过对数据的挖掘变得显性,进 而使以往不可见的风险能够被避免:
- 2. 将大数据与先进的分析工具相结合,实现产品的智能 化升级,利用数据挖掘产生的信息为客户提供全产品生命周期 的增值服务;
 - 3. 利用数据寻找用户价值的缺口,开拓新的商业模式等。 大数据分析主要有三种形式:

Descriptive (描述):基于对数据的统计分析,描述数据表现出的现象与客观规律:

第2章

工业4.0 环境下的大数据价值创造体系

Prescriptive (规定):利用历史数据建立分析模型和规范 化的分析流程,建立数据到信息的输入输出关系,实现对 连续数据流的实时分析:

Predictive (预测):通过对数据的深层挖掘建立预测模型, 实现对不可见因素当前和未来状态的预测。

工业大数据并不是一种新生事物,而是早已有之。我们认为工业大数据及其应用主要经历了以下三个发展阶段:

第一阶段是 1990~2000 年,很多公司开始在产品和设备上 安装传感器和传输设备,用于对设备进行远程状态监控,以便 可以在问题发生后及时响应,帮助用户避免故障造成的损失。

1987年,美国通用汽车(General Motors)收购了休斯电气公司(Hughes Electronics Corporation),应用各自领域的专业技术优势和经验在 1992 年开发出了 OnStar™(国内称为"安吉星")系统。安吉星最初的功能主要是远程监控和危机处理,比如当用户丢失车钥匙时帮助他们远程打开车门、汽车发生问题时进行远程诊断筛选,以及汽车在发生碰撞后提供紧急救援服务。这也是汽车领域利用远程数据采集为用户提供服务的第一次尝试。

另一个代表是 GE Medical Systems (GE Healthcare 的前身)

推出的 InSite 设备网管系统, 能够通过无线系统网络对 GE 的 医疗设备 (如核磁共振仪等) 进行点对点监控。在 InSite 推出 以前, 医疗设备在故障后需要联络现场工程师到现场处理, 从 派遣工程师到维修完毕的平均时间为4个小时,故障后常常告 成顾客长时间的等待和抱怨。InSite 系统可以直接对设备进行 远程监控, 发生故障时远程帮助用户及时找出问题并自行解 决,减少了不必要的到点维修。如果客户无法自行解决,也可 以在远程对设备的故障进行较为详细的诊断, 在到点维修前提 示用户准备好所需的资源和备件。使用 InSite 系统后, 41% 的 故障可以远程排除,平均消耗时间仅为15分钟,而34%的故 障可以进行远程诊断和到点维修准备, 平均故障排除时间降低 到了2小时。在 InSite 的帮助下,GE 大幅削减了售后服务的 成本,而且将设备的停机率缩短至小于1天/年。这个概念也 激发了 GE 为航空发动机开发 On-wing Support™服务的灵感. 为GE第二代远程大数据服务系统打下了基础。

还有一个代表产品是奥蒂斯(OTIS)电梯公司的远程电梯维护系统(Remote Elevator Maintenance, REM^{TM}),早在1995年就利用监控数据对电梯进行远程维护。那个时候电梯最大的问题就是经常打不开门,把乘客关在了电梯里,而维修人员赶到现场进行故障排除需要 1 个小时左右的时间。为了避

免故障的发生,OTIS 有一个庞大的维护人员团队,对每个城市的高层 OTIS 电梯进行定期的巡检,带来了高昂的人力成本。于是 OTIS 通过 REM™监控每一台电梯的平均开门时间和电气设备的重要参数,判断电梯发生故障的风险,为维护团队提供巡检的优先级排序和预防性维护决策支持,在承担较低的人力成本条件下最大限度地避免了电梯的故障。

由此可见,第一阶段的核心技术主要是远程监控和数据的 采集与管理。为客户提供以产品为核心的附加服务,帮助用户 避免产品故障所带来的损失。

第二阶段是 2001~2010 年,一些企业开始建立大数据中心,为客户提供产品使用和管理的解决方案。这时候大数据分析的核心就不再是设备的状态监控,而是以客户产品使用为核心的信息服务。

例如,小松机械(Komatsu)在 2005年推出了康查士(Komtrax™)系统,利用 ICT 技术对车辆进行远程使用管理,将设备的使用数据和各种健康信息及时反馈给客户,帮助客户做好日常保养工作,使设备保持良好的状态。该系统还可以对用户的使用工况进行判断,例如当挖掘机设备在土质松软的海边工作时,由于设备自身无法固定而牢固,常常需要在超负荷的工况下运行。康查士系统就可以提醒用户在该工况下的使用

风险,并给出相应的维护建议。小松曾派工程师于 2005 ~ 2006 年到美国的 IMS 中心合作开发智能维护分析工具,对远程装备管理提供信息服务。

再比如阿尔斯通(Alstom)的 TrackTracer™车载诊断系统,能够在高铁运行时监控车辆关键部件的健康状况,一旦发现异常,TrackTracer™就可以对故障进行远程诊断,并派遣维护人员在车辆的下一个站点进行维修,从而最大限度地保障列车的运行率。TrackTracer™还可以通过车载的振动传感器对铁轨进行监控,避免了以往人工检查的低效和安全隐患。

这些例子还包括 John Deere 的精智农业管理系统 (FarmSight™),通过农机设备采集土壤数据为用户提供精确的土壤管理和作物产量管理的信息服务。以及 GE 航空 (GE Aviation)的 On-wing Support™服务,对航空发动机进行远程监控和运维管理服务。

这时的产品开始有了蛋黄和蛋白的区分,且蛋白所占的价值比重越来越大,各个公司都在思考如何以产品为载体为用户提供服务。商业模式也因此发生了转变,因为企业发现卖设备能够赚到的钱已经很少了,倒不如把设备租给用户从而赚取服务费用,于是就产生了产品的租赁体系和长期服务合同,其代表是 GE 所提出的 Power by the Hour(时间×能力)的盈利模

式,企业卖的不再是设备,而是为客户提供设备使用的能力。

第三阶段就是从 2010 年至今,也就是我们所称的"工业大数据"时代。各个企业的核心开始从"单点对多点"的数据中心模式转变成以用户为核心的平台式服务模式。将用户与数据中心之间的连接变成了用户与用户之间的连接,形成了基于社区的、以用户为核心的服务生态体系。而用户需求的核心也不再是以使用为导向,而是以使用过程中的价值为导向。

比如 Uber,自己并不直接为用户提供驾乘服务,而是把客户联系到了一起。这时候就不是租赁的体系了,而是一个商业的社交网络或是服务网络,这样服务的潜力就可以做到无限大。客户端随时服务的观念 (On-Demand Service) 以及个性化的自服务模式开始兴起,服务和价值的载体开始从产品慢慢转向平台。

在大数据中心无法满足用户高度动态和定制化的服务要求时,数据分析平台就应运而生了,因为它可以同时满足数据分析的规模化和用户功能服务的定制化。目前数据分析平台主要有两种形式:第一种是以工具为主的平台,比如 IMS 与美国 National Instruments (NI) 合作开发的基于 LabVIEW 的 Watchdog Agent[®],不同的使用者可以利用同样的分析工具解决不同的问题;第二种是以解决方案为主的平台(Solution-Based Ecosystem Platform),代表是 GE 的工业互联网 Predix™,将开发者与用户

的需求相连接,可以在平台上按照客户的需求开发定制化的数据分析和应用解决方案。比如一个轴承专家可以为许多公司在平台上提供轴承数据分析软件的开发服务,其基础是统一的数据接口、运行环境和用户接口(可视化工具等)。

表 2-1 工业大数据分析及应用的三个阶段

| | 第一阶段 | 第二阶段 | 第三阶段 |
|---------------------|--|---|---|
| 时间 | 1990 ~ 2000 | 2000 ~ 2010 | 2010 年至今 |
| 核心技术 | 运程监控、数 据采集和管理 | 大数据中心和 数据分析软件 | 数据分析平台与高 级数据分析工具 |
| 问题对象/ | 以产品为核心 的状态监控,问 题发生后的及时 处理,帮助用户 避免故障造成的 损失 | 以使用为核心的信息服务,通过及时维修和预测性维护避免故障发生的风险 | 以用户为中心的平 台式服务,实现了以 社区为基础的用户主 导的服务生态体系 |
| 商业模式 | 产品为主的附加服务 | 产品租赁体系和长期服务合同 | 按需的个性化自服 务模式,分享经济 |
| 代表性企 业和技术 与产品 | GM OnStar [™] , OTIS REM [™] , GE Medical InSite | GE Aviation On- wing Support™,小 松 Komtrax™,阿 尔斯通 TrackTrac- er™,John-Deere FarmSight™等 | IMS NI LabVIEW based Watchdog Agent [®] , GE Predix 平台 |

2.2 工业大数据和互联网大数据

在有关工业 4.0 的规划中,美国和德国同时强调对于工业 大数据进行分析的重要性,实际上,大数据分析技术最早并非 兴起于工业领域,而是互联网中产生的社会和媒体大数据,且 传统的互联网大数据分析手段主要是按照前文所述的"4V" 特性去发展与完善的。

然而,仅仅依靠传统的互联网大数据分析技术,并无法满足工业大数据的分析要求,原因在于**工业大数据具有更强的专业性、关联性、流程性、时序性和解析性等特点**,而这些特点都是传统的互联网大数据处理手段所无法满足的。

因此,有别于互联网大数据,工业大数据的分析技术核心是要解决重要的"3B"问题:

1. Below Surface——隐匿性,即需要洞悉特征背后的意义。

工业环境中的大数据与互联网大数据相比,最重要的不同 在于对数据特征的提取。工业大数据注重特征背后的物理意义 以及特征之间关联性的机理逻辑,而互联网大数据则倾向于仅 仅依赖统计学工具挖掘属性之间的相关性。

2. Broken——碎片化,即需要避免断续、注重时效性。

相对于互联网大数据的"量",工业大数据更注重数据的 "全",即面向应用要求具有尽可能全面的使用样本,以覆盖 工业过程中的各类变化条件,保证从数据中能够提取出反映对 象真实状态的全面性信息。然而,从大数据环境的产生端来 看,感知源的多样性与相对异步性或无序性,导致能够获得的 工业数据尽管量大,但在分析过程中,针对数据特征或变化要 素却仍然呈现出遗漏、分散、断续等特点,这也是为什么大量 数据分析师 90% 以上的工作时间都会被贡献给不良数据的 "清洗"。因此,工业大数据一方面需要在后端的分析方法上 克服数据碎片化带来的困难,利用特征提取等手段将这些数据 转化为有用的信息,另一方面更需要从前端的数据获取上以价 值需求为导向制定数据标准,进而在数据与信息流通的平台中 构建统一的数据环境。

与此同时,工业大数据的价值又具有很强的实效性,即当前时刻产生的数据如果不迅速转变为可以支持决策的信息,其价值就会随时间流逝而迅速衰退。这也就要求工业大数据的处理手段具有很高的实时性,对数据流需要按照设定好的逻辑进行流水线式的处理。

3. Bad Quality——低质性,即需要提高数据质量、满足低

容错性。

数据碎片化缺陷来源的另一方面也显示出对于数据质量的担忧,即数据的"量"并无法保障数据的"质",这就可能导致数据的低可用率,因为低质量的数据可能直接影响到分析过程而导致结果无法利用。但互联网大数据则不同,其可以只针对数据本身进行挖掘和关联而不考虑数据本身的意义,挖掘到什么结果就是什么结果,最典型的例子就是对超市购物习惯的数据进行挖掘后,啤酒货架就可以摆放在尿不湿货架的对面,而不用考虑它们之间有什么机理性的逻辑关系。

换句话说,相比于互联网大数据通常并不要求有多么精准的结果推送,工业大数据对预测和分析结果的容错率远远比互联网大数据低得多。互联网大数据在进行预测和决策时,考虑的仅仅是两个属性之间的关联是否具有统计显著性,其中的噪声和个体之间的差异在样本量足够大时都可以被忽略,这样给出的预测结果的准确性就会大打折扣。比如,当我觉得有70%的显著性应该给某个用户推荐 A 类电影,即使该用户并非真正喜欢这类电影也不会造成太严重的后果。但是在工业环境中,如果仅仅通过统计的显著性给出分析结果,哪怕仅仅一次的失误都可能造成严重的后果。

表 2-2 互联网大数据与工业大数据的对比分析

| | 互联网大数据 | 工业大数据 |
|----------------|---|---|
| 数据量需求 | 大量样本数 | 尽可能全面地使用样本 |
| 数据质量 要求 | 较低 | 较高,需要对数据质量进 行预判和修复 |
| 对数据属性 意义的解读 | 不考虑属性的意义, 只分析统计显著性 | 强调特征之间的物理关联 |
| 分析手段 | 以统计分析为主, 通过挖掘样本中各个 属性之间的相关性进 行预测 | 具有一定逻辑的流水线式 数据流分析手段。强调跨学 科技术的融合,包括数学、 物理、机器学习、控制、人 工智能等 |
| 分析结果 准确性要求 | 较低 | 较高 |

因此,简单地照搬互联网大数据的分析手段,或是仅仅依靠数据工程师,解决的只是算法工具和模型的建立,还无法满足工业大数据的分析要求。工业大数据分析并不仅仅依靠算法工具,而是更加注重逻辑清晰的分析流程和与分析流程相匹配的技术体系。这就好比一个很聪明的年轻人如果没有成体系的思想和逻辑思维方式的培养,很难成功完成一件复杂度很高的工作。然而很多专业领域的技术人员,由于接受了大量与其工作相关的思维流程训练,具备了清晰的条理思考能力及完善的

执行流程,往往更能胜任复杂度较高的工作。

工业大数据的价值

虽然美德两国对工业 4.0 的定义和实施重点方面有所差异,但相同的是对基于工业大数据的价值创造体系目标和价值的认同。

从技术端来看,工业大数据分析的价值在于它能够解决什么样的问题,能为用户提供什么样的服务。同时,这个过程强调的是,工业大数据能够通过在横向与纵向环节的互联实现在统一平台的信息共享,由此将资源利用与分析维度规模化、价值最大化,进而能够最大范围地面向各环节的用户进行应用服务的定制与按需分发,由此又可衍生出持续性服务共赢的模式。

从应用端来看,大数据环境能够为工业界带来的价值主要体现在以下几个方面:

- 1. 以较低成本满足用户定制化的需求;
- 2. 使制造过程的信息透明化,提升效率、提升质量、降低成本和资源消耗,实现更有效的管理;
- 3. 提供设备全生命周期的信息管理和服务,使设备的使用更加高效、节能、持久:减少运维环节中的浪费和成本,提

高设备的可用率;

- 4. 使人的工作更加简单,甚至部分代替人的工作,在提高生产效率的同时降低工作量;
- 5. 实现全产业链的信息整合,使整个生产系统协同优化, 让生产系统变得更加动态和灵活,进一步提高生产效率并降低 生产成本。

对于工业 4.0 的智能制造转型而言,工业大数据的核心价值目标,正在于将:

- 1. 定制化与规模化结合:
- 2. 个性化与普适化结合:
- 3. 微观与宏观结合;
- 4. 当前与未来结合。

2.3 物联网的潜在危机

说到工业大数据环境的产生,毋庸置疑,物联网(Internet of Things, IoT)是现今大家公认的工业智能化的重要基础手段。然而,我们在实践中经常遇到很多公司提出这样的困惑:我已经投入了大量的人、财、物去建立物联网,现在也有了物联网,产生了这么多数据,那你帮我分析分析、挖掘挖掘,怎

么就实现不了我想要的这些功能呢?

这其实是一种误区,换句话说,有了物联网是不是就意味着一定能够产生有价值的数据?或者,已经建立起来的物联网是不是万能的?一定能满足面向智能化应用的要求?

要回答这些问题,我们可以从前文对工业大数据与互联网大数据进行的对比来分析:互联网大数据可以从数据端出发看问题,但是工业大数据则应该从价值和功能端思考。也就是说,物联网建设的时候如果只是强调数据获取的途径、量级,没有考虑到数据的具体分析和利用以及相应的功能与目标,很可能就会造成许多数据采集回来之后没用,而一些关键数据反而没有采集的情况。

在国内实践中我们就遇到了这样一个典型案例,国内某家大型重工设备企业早在十年前就开始推动企业内的物联网建立,即在试点的六百台设备上布满了传感器,所有传感器采集的信息通过网络远程传回总部数据中心。但在数据中心正式运营时发现,这些数据传回来之后并不知道该如何使用,没有对这些数据进行有效挖掘,只能放在总部占用各类资源,反而造成了更大的经济负担。近年来,该企业再从数据应用的功能设计倒推发现,实际上大部分传感器采集的数据都是无用的、最后仅仅保留了原来5%的测点信号传输:

而这些数据的利用不仅能够满足企业内改进设备与优化使用 的需要,甚至还能够实现向产生链上游提供需求预测的信息 服务。

这也从实践角度给出了一个思考方向,那就是物联网所产生的工业大数据该如何挖掘?并不是盲目地为了物联网的数据挖掘而挖掘,而是必须要有明确的挖掘目标,针对应用的功能,在此基础上逐步扩展挖掘的方向。

因此,工业大数据的挖掘也应该有"二维"方向。

首先是纵向的价值挖掘,需要使用工业大数据思维,从面向应用价值的功能与目标出发,反推需要分析与利用的数据要求,进而设计满足要求的物联网数据环境与数据标准,这是前提(比如前文企业中自身发展的价值应用要求)。

其次是横向的价值挖掘,可以使用互联网大数据思维,从数据端出发,利用数据本身的统计特性挖掘关联特征,这个是发散的、无确定性的,由此也可能获得业务领域外的新价值(比如 GE 的航空信息服务)。

也就是说,物联网应该与务联网(服务互联网, Service Network)相配合才能够创造价值,因此在构建物联网的同时需要相应地构建一套与之对应的服务体系,这样物联网该连接哪些对象、该采集哪些数据等就可以按照服 务体系的要求加以确定。物联网与务联网中间的接口是智能数据分析,这样才能构建用物联网进行数据采集、用智能分析模块将数据变成信息、再通过务联网将信息按照功能进行服务推送的完整数据的价值创造过程,这三者是缺一不可的。物联网的核心是智能传感和通讯网络,智能分析的核心是数据模型和智能算法工具,务联网的核心是业务运营网络与客户体验。

2. 4 挖掘工业大数据价值的核心技术——CPS

无论是德国工业 4.0 战略还是美国 CPS 计划,都将 CPS 作为实施的核心技术,并据此设定各自的战略转型目标。那么,从技术概念上来说, CPS 是什么?

CPS 不是一项简单的技术,而是一个具有清晰架构和使用流程的技术体系。它能够实现对数据进行收集、汇总、解析、排序、分析、预测、决策、分发的整个处理流程,具有对工业数据进行流水线式实时分析的能力,并在分析过程中充分考虑机理逻辑、流程关系、活动目标、商业活动等特征和要求。因此、CPS 是工业大数据分析中智能化体系的核心。

在这里,我们给出以下几个概念:

CPS 的定义

Cyber-Physical System, 在众多翻译中, 我们认为较为合理的是"信息物理系统"或"网络实体系统",即:从实体空间的对象、环境、活动中进行大数据的采集、存储、建模、分析、挖掘、评估、预测、优化、协同, 并与对象的设计、测试和运行性能表征相结合, 产生与实体空间深度融合、实时交互、互相耦合、互相更新的网络空间(包括机理空间、环境空间与群体空间的结合);进而,通过自感知、自记忆、自认知、自决策、自重构和智能支持促进工业资产的全面智能化。

CPS 的内涵

CPS 实质上是一种多维度的智能技术体系,以大数据、网络与海量计算为依托,通过核心的智能感知、分析、挖掘、评估、预测、优化、协同等技术手段,使计算、通信、控制(Computing、Communication、Control, 3C)实现有机融合与深度协作,做到涉及对象机理、环境、群体的网络空间与实体空间的深度融合。

"实体空间"和"网络空间"

实体空间是构成真实世界的各类要素和活动个体,包括环境、设备、系统、集群、社区、人员活动等。而网络空间是上述要素和个体的精确同步和建模,通过模型模拟个体之间与环境之间的关系,记录实体空间跟随时间的变化,并可以对实体空间的活动进行模拟和预测。网络空间的成长需要依靠实体空间活动所产生的大量数据,在 CPS 的自成长体系下,网络空间的价值和能力将不断得到提升。因此,实体空间和网络空间的关系是相互指导和相互映射的关系。

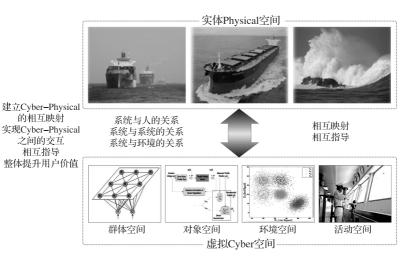


图 2-1 CPS 空间关系示意图

CPS 的特征

以 CPS 为核心的智能化体系,正是根据工业大数据环境中的分析和决策要求所设计的,其特征主要体现在以下几个方面:

- 1. 智能的感知: 从信息来源、采集方式和管理方式上保证了数据的质量和全面性, 建立支持 CPS 上层建筑的数据环境基础;
- 2. 数据到信息的转化:可以对数据进行特征提取、筛选、 分类和优先级排列,保证了数据的可解读性;
- 3. 网络的融合:将机理、环境与群体有机结合,构建能够指导实体空间的网络环境,包括精确同步、关联建模、变化记录、分析预测等;
- 4. 自我的认知:将机理模型和数据驱动模型相结合,保证数据的解读符合客观的物理规律,并从机理上反映对象的状态变化。同时结合数据可视化工具和决策优化算法工具为用户提供面向其活动目标的决策支持:
- 5. 自由的配置:根据活动目标进行优化,进而通过执行优化后的决策实现价值的应用。

2.5 "5C":以 CPS 为核心的数据价值创造体系架构

根据 CPS 为达成智能化所应该具有的特征,我们在这里给出一个在工业 4.0 环境下的 CPS 技术体系架构,包括了 5 个层次的构建模式:

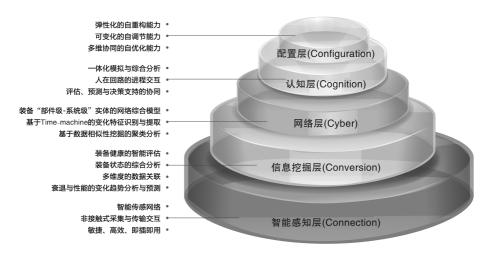


图 2-2 CPS 的 5C 架构

1. Smart Connection Level——智能感知层。

在机器或部件层面,第一件事是如何以高效和可靠的方式 采集数据。它可能包括一个本地代理(用于数据记录、缓存

和精简),用来发送来自本地计算机系统数据到远程中央服务器的通信协议。基于众所周知的舒服、自由的通讯方式,包括ZigBee(紫蜂)蓝牙、WiFi、UWB等,以前的研究已经设计并实践了诸多可靠的工厂网络方案来实现机器系统的互联,因此,数据的透明性绝对是第一步。

2. Data-to-information Conversion Level——数据到信息转换层,也就是信息挖掘层。

在工业环境中,数据可能来自不同的资源,包括控制器、传感器、制造系统(ERP、MES、SCM和CRM系统)、维修记录等。这些数据或信号代表所监控机器的运行状况,但是,该数据必须被转换成用于一个应用程序的有意义并实际的信息,包括健康评估和故障诊断。

- 3. Cyber Level——网络层,即网络化的内容管理。
- 一旦我们能够从机械系统获取信息,如何利用它就成为下一个挑战。从被监控的系统中提取的信息可表示在该时间点的系统条件。如果它能够与其他类似的机器或在不同的时间历程进行比较,用户就能够更深入地获得对系统的变化信息和任务状态的预测。这就是所谓的网络层。
 - 4. Cognition Level——认知层,也就是识别与决策层。 通过 CPS 的网络认知、并据此提供解决方案、将机器信号转

换为健康信息,并且与其他资料进行比较。在认知层面上,机器本身应该利用这种在线监测系统的优势,提前确诊潜在的故障,并给出可能的解决方式。根据健康评估的历史性分析,系统利用特定的算法预测潜在的故障,并评测到达故障程度的时间。

5. Configuration Level——配置层,也就是执行层。

由于可以在网上追踪机器的健康状况, CPS 可以提供早期 故障检测,并将检测的健康信息反馈给业务管理系统,使操作 员和工厂管理人员可以基于以上信息做出正确的决定。同时, 可以减少机器故障,降低损失,并最终实现利用系统弹性调整 机器工作负荷或生产计划时间表。

在这个架构中, CPS 从最底层的物理连接到数据至信息的 转化,通过增加先进的分析和弹性调整功能,最终实现被管理 系统的自我配置、自我调整和自我优化的能力。

2.6 从数据到信息到价值的转化过程

一个重要的概念:数据≠信息≠价值!

整个 CPS 的 5C 体系所要传递的概念就是如何从工业大数据中创造面向客户的价值。

第一,先进的传感器技术、通信技术、物联网技术等使得

大量原始数据的获取并非难事,然而,有了数据并不代表一定就能产生价值。一方面取决于数据的利用程度,比如,虽然很多运营型企业会存储大量的设备使用数据,但只有当设备出现问题时才会从历史数据中寻找问题的原因、并且只处理当前的问题,这样,大量的使用数据并没有及时地产生有价值的信息。实际上,如果能通过一个统一的平台分析、预测数据的关联,可能就会避免不必要的问题或浪费;另一方面取决于数据的可用程度,即有可能我们采集到的数据 90% 以上都是无用的数据,而技术人员却为此需要花去大量的时间进行数据处理,因此,这对感知数据的采集与存储提出了新的要求。

第二,就算有了可利用的数据,也必须能够转化为有用的信息。这种信息的转化,类似于人的记忆过程,即人之所以有记忆,并非单纯感知到实体世界的数据存储,或者是实体世界镜像的映射,而是通过筛选、存储、关联、融合、索引、调用等形式将数据变为对人有用的信息,这是人类思维与行为的基础。因此,在 CPS 的框架下,能够按照信息分析的频度和重点重新进行自适应的、动态的"数据——信息"转换,并解决海量信息的持续存储、多层挖掘、层次化聚类调用,进而达到从数据到信息的智能筛选、存储、融合、关联、调用,这样才是有效的信息提取过程。

第三,就是如何能够从信息当中产生价值。单一信息源产生单一价值,这是过去的概念。如今的工业 4.0 时代核心需要解决的是,关注在实时的动态过程中,多源数据的多维度关联、评估及预测,实现多问题、多环节乃至全产业链的协同优化。由此才能解决针对用户需求的规模化与定制化矛盾,进而创造更多的应用价值。

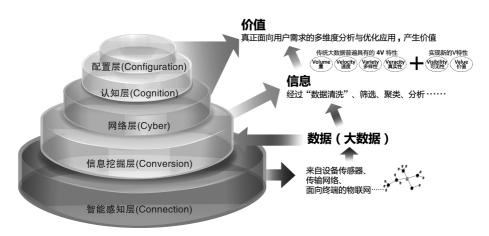


图 2-3 CPS 的 5C 框架下: 从数据到信息再到价值的创造过程

2.7 以数据价值创造为导向的 CPS 技术 应用特征

从 CPS 技术体系来看,核心在于以数据分析的能力创造

新的价值,因此,这也决定了 CPS 技术的高移植性、高通用性,应用范围可以涉及工厂车间、运输系统、能源等各个行业。

从德国工业 4.0 的战略设计来看,德国更多的关注于制造领域的价值创造与智能转型,即注重以 CPS 中的 CPPS (信息物理生产系统)为主导的智能制造,对于整个工业应用链的价值辐射面具有一定的局限性。

而实际上,以 CPS 为核心的数据价值创造体系应用于工业 4.0,同样需要"二维"应用战略:

三个横向的应用基础:一是平台基础,即智能数据收集与平台运用;二是分析手段,即智能化的数据分析、管理、优化工具与软件应用;三是商业模式内核,即智能管理及服务体系的设计与应用。

三个纵向的应用扩展:一是基础的部件级应用;二是系统的装备级应用:三是成体系的应用链设计。

而上述二维应用战略可以用树木与树根的可见与不可见的 关系来示意:

纵向应用: 基础的部件级应用→系统的装备级应用→成体系的应用链设计

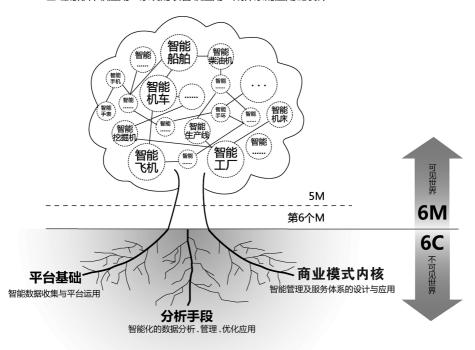


图 2-4 CPS 二维应用关系图

我们可以分别以智能装备、智能工厂与智能服务这三个方向来阐述 CPS 的应用过程:

1. 智能装备——实现自省性、自比较性

对于智能装备的 CPS 应用设计, 我们可以在网络层面上

通过机器网络接口(CPI)进行网络健康分析的交互连接,这个从概念上类似于社交网络。一旦网络级基础设施到位,机器就可以注册到网络,通过网络接口交换信息。在这一点上,可以通过已经建立的一套算法跟踪机器状态的变化,从历史信息推断额外知识,应用对等比较,并将信息输出传递到下一层。这样,就必须制定新的方法来执行这些操作并产生相应的结果。这里引入"时间机器"的设计在网络层面执行分析,通过三个步骤实现一个智能装备的应用设计:

(1)数据切片管理:如图 2-5 所示,信息不断地从机器中输入网络空间,快照收集的任务就是以有效的方式管理输入数据,存储信息。基本上,机器的快照性能,是通过利用历史记录和维护记录来减少需要的硬盘空间和处理能力。一旦监测机器的状态发生重要变化时,这些快照才出现。这些变化可以定义为机器健康值的偶然变化,维护行为或者工作制度的改变。在机器的整个生命周期里,这些快照将被收集并用于构造特定状态点的时间机器的历史。这个当前的时间机器记录将被用来进行优点之间的对等比较。一旦这个优点失效或者被替代,其相关的时间机器记录将改变状态,从当前变为历史,并将用作相似性的识别和合成的参考。

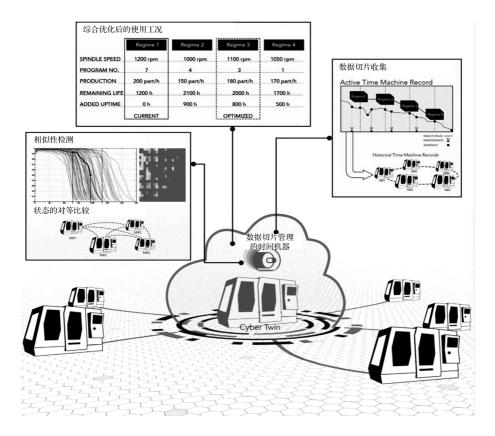


图 2-5 以数控机床为例的智能装备数据切片收集过程示意图来源: IMS Center

(2) 相似识别:在网络层面,对设备自身(以及相同设备)在不同运行模式和健康模式下的历史数据进行特征提取和建模,再利用该模型与当前状态产生的数据进行比较,就可

以自动识别设备当前的健康状态,进而对设备进行风险评估和故障诊断。除此之外,单个设备还可以与设备集群中的同类设备进行比较,自动识别与自己工况模式相似的其他设备并进行聚类,在工况模式相同的条件下比较自身的性能与其他设备的差异性,这种自比较和自省性的能力是以往"机器对机器(Machine-to-Machine)"概念中所没有的。通过对当前设备运行的模式匹配以及健康模式随时间的变化轨迹分析,就能够更加准确地预测设备未来状态的变化,实现设备自预测性的能力。

(3) 执行决策的优化: 当设备具备了自省性、自比较性、和自预测性的能力时,就可以对自己当前和未来的性能进行预测。单个设备作为复杂工业系统中的一份子,承担着该系统某个环节的任务要求。智能设备能够结合当前自身的性能与任务要求,自动预测自身性能与任务需求在当前和未来的匹配性,并制定最优化的执行策略。执行策略优化的表现是,在满足任务要求的前提下,使用资源最少、对自身的健康损害最小以及在最优的维护时机进行状态恢复。执行决策的优化需要设备对自己在整个系统中的角色有较为清晰的认知,并能够预测自身的活动对系统整体表现的影响,是设备从自省性到自认知能力的进一步智能化。

2. 智能工厂——实现无忧生产

评价生产系统性能的关键指标是产量、质量、成本和零部件 的精度,利用数据去分析和了解影响生产系统的上述关键指标的 因素,并对可能出现的风险进行预测和管控,是能否实现预测型 制造的关键。今天大多数工厂的生产系统较为普遍地运用商业化 的管理软件辅助工厂管理者去获取整体设备效率 (OEE) 等信息. 从而对生产系统中可见的影响因素和产生的结果进行及时的堂握 和应对。然而生产系统中更多的是不可见因素的影响,比如设备 性能的衰退、精度的缺失、资源的浪费等。而可见的影响因素 往往是不可见因素积累到一定程度所引起的, 比如设备的衰退 最终导致停机、精度的缺失最终导致质量偏差等。因此对这些 不可见因素进行预测和管理是避免可见因素影响的关键。在工 业 4.0 的工厂中,自省(Self - Aware)和自我预测(Self - Predict) 的功能成为监测和控制系统的新功能, 这些新功能可以帮助用 户夫了解机器的健康退化、剩余可用时间、精度的缺失以及各 类因素对质量和成本的影响。此外, 机器的健康还可以通过零 部件的健康状况的融合和同类机器的对比 (peer-to-peer) 来预 测。这种预测能力使得工厂可以采取及时的维护措施从而提高 管理效率,并最终优化机器的正常运行。最后,历史健康信息 也可以反馈到机器设备设计部门,从而形成闭环的生命周期更

新设计,最终实现无忧生产 (worry-free production)。

这种预测分析方法可以使产品和制造系统都具备自我意识和自我维护的功能。产品预测服务系统可以使得产品在其功能退化的过程中产生主动触发的服务请求并进一步预测和预防潜在的故障。预测及制造融合了来自生产制造系统的信息和来自供应链系统的信息。传统意义上,制造商通过供应链系统做出决策,这种方法利用物流、同步化供给与需求,以及全球化性能测试来实现优化成本的目标。

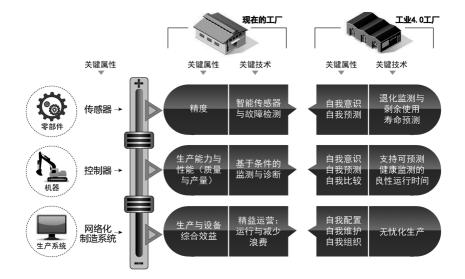


图 2-6 传统工厂与未来工业 4.0 工厂的对比图 来源:工业经济论坛 2014 年第 4 期对李杰教授的采访, 标题为:"工业 4.0 时代:制造重新定位与新思维"

工业 4.0 实现自我意识、自我预测和自我重新配置的能力所需的核心技术是利用智能预诊断工具和解析工具来实现预测分析。智能预诊断工具主要涉及信号采集、数据存储、同步、合成与服务。解析工具主要涉及信息转化的四个子工具:信号处理和特征提取、健康评估、性能预测以及故障诊断。图2-6展示的就是传统工厂与未来工业 4.0 工厂的差别。

3. 智能服务——实现全产业链协同优化

工业 4.0 时代的智能信息服务已经不再是传统意义上远程 人工在线的应答式和售后产品服务的模式,而是更注重利用全 产业链形成的大数据进行综合的数据分析与挖掘,针对全产业 链各个环节的各级用户,面向其具体的活动需求提供定制化 的,可以辅助其具体活动决策的信息。

不同层级的用户对于信息的要求是不同的,对于数据量和种类的要求也是有差距的。执行层更关心具体设备控制活动的实时性和精确性,因此,要求的数据种类不多,但是每个类别的数据量要求很大;管理层关心活动组织的合理性和高效性,因此,对数据种类要求更全,但每类的数据量要求呈指数下降;决策层关心活动方向的正确性和前瞻性,于是,对数据种类的要求最全,对于每类数据量的要求最小,对于数据价值的

要求最高。

这种不同层级的用户对于数据有不同程度的要求并对数据 分析有层次化的需求,如果不加选择地将所有数据汇聚到一 起,在一个所谓的数据中心进行数据分析与挖掘,将是一个灾 难性的工作,因此,必须将数据的采集与分析层次化进行,才 具有工程的实际意义。

同时,正如德国对于工业 4.0 分析中指出的那样,只有建立起"二维战略"的智能信息体系,才能真正发挥数据对于实体活动最大的价值。这是因为,在微观与宏观、产业上下游活动中所有活动都是相互影响和相互作用的,将自身活动产生的数据都当作自身的核心秘密,敝帚自珍,互相就各自的数据进行分析与挖掘,效率比是极其差的。其实,企业核心竞争力并不是数据的拥有,而是数据信息化后的利用能力!

所以,如果产业链相关企业能够建立一个智能信息同盟,将各自数据交由一个熟悉产业链各环节的机构。该机构并不参与产业链各环节的实体活动,只是专门进行智能信息服务体系的建设。由这个机构在基于产业链数据的基础上,按需为各级各类用户提供各自需要的定制化信息服务,这是可分享的;而各个企业以此为基础开展满足各自企业发展目标的信息价值化利用,这是不共享的。

这样,既发挥了工业大数据最大的作用,又在最大程度上保护甚至提高了各个企业的核心竞争能力。或许,这是在智能时代的制造业和现代工业的一种新模式。

2.8 从 CPS 到工业 4.0 . 制造的重新定位 与新思维

工业4.0对未来工厂的透明化——突破制造业中的不确定性

在制造业中,有很多可能无法量化甚至决策者也无法知晓的不确定性,这使决策者对他们资产的有效运作和使用情况无法形成合理的判断和结论。这些不确定性存在于工厂的内部和外部。内部的不确定性因素包括加工过程中的精度缺失造成的质量变化,以及由于部件磨损和衰退的积累造成的设备故障。由于不一致的操作,系统意外停机、生产资源的浪费、残品的存在和返工事件所引起的生产周期变化等都可能导致在生产计划与调度(系统或生产工艺)上出现困难。与此同时,外部不确定因素所产生的阻碍作用通常会从产品开发延续到供应链环节,可表现为:不可靠的下游产能、原材料或部件运输、数量和质量的不可预测性:市场和客户的需求波动:由于生产和

使用过程中缺乏对产品状态的准确评估而导致的不完整的产品设计;随机保修索赔和更换要求等。

内部制造的问题可以进一步映射到两个领域:有形问题和 无形问题。有形问题的例子包括机器故障、产品缺陷、不良循 环时间、较长的延误时间、整体设备效率 (OEE)降低等, 而这些都是从事后分析中可以得出的非常明显的情况和信息。 另一方面,无形的问题包括机器衰退、部件磨损等,如果没有 审慎的预测分析和控制策略,这些不确定因素可能会对生产经 营产生不利影响。

在每一个领域,问题都会以可见性和不可见性两种形态出现。对于可见性的问题,通常利用最佳做法和标准工作组成的工具来系统地处理。对于一个潜在的对策,公司与设备供应商合作,运用新知识和技术从内部解决问题,并将这些技术整合到他们的设备中作为增值改进。同时,要对不可见的问题尽量做到避免,比如利用故障诊测与健康管理(PHM)技术,使用先进的预测分析方法和在故障早期阶段发现并避免问题等。因此,未满足的需要就是对可见空间成果的复制,并进一步明确从解决问题层面到规避问题层面是怎样处理的。利用预测工具和技术将展观出更多的新价值创造机会,这些机会都将利用新的信息(未知的知识)。

工业 4.0 所需要的就是可以提供具有透明度的工具和技术,这些工具和技术具有拆解和量化不确定性的能力,从而可以客观地估计制造能力和可用性。之前描述的制造策略假定设备的连续可用性及其在每一个使用过程中保持最佳性能,但这样的假设在一个真正的工厂中是不成立的。为了实现工厂透明化,制造业需要大量投入以转型为预测生产。这种革新需要使用先进的预测工具和方法,实现将工厂不断产生的数据系统地加工成有用的信息。这些信息可以帮助解释不确定性,从而使得资产管理者和过程监管者做出更"知情"的决策。

在制造业中积极采用"物联网"的思想为预测生产奠定了智能传感网络和智能机器的基础。在不同的细分市场中利用先进的预测工具已经变得越来越流行了。故障诊测与健康管理就是一个能够充分运用此类预测分析的领域。故障诊测与健康管理涉及制造状况的评估、早期故障的诊断以及未来失效时间推断,主动维护活动因此得以实现,并可以避免灾难性的、代价高昂的机器损坏。

工业 4.0 需要预测式制造系统

可预测制造业的概念由李杰教授在 2005 年提出。它是以对监控机器设备的数据采集为起点的,通过采用合适的传感器

装置,各种信号如振动、压力等可以被撷取,另外,历史数据也可以被用作进一步的数据挖掘。通讯协议,如 MTConnect 和OPC,可以帮助用户记录控制信号;当所有的数据被汇总在一起,就构成了所谓的"大数据"(Big Data)。而信息的转化机制(Transforming Agent)由几个组件构成:整合的平台、预测分析方法和可视化工具。Watchdog Agent[®]中的算法可分为四个部分:信号处理和特征提取、健康评估、性能预测和故障诊断。通过可视化工具,健康信息(如当前情况、剩余使用寿命、故障模式等)可以有效地以雷达图、故障图、风险分析以及健康的衰退曲线等形式表现出来。预测制造系统赋予设备和系统"自我意识"的能力,从而为用户提供更大的透明度,并最终避免了涉及生产力、效率和安全性的潜在问题。

预测制造系统的核心技术是一个包含智能软件来实现预测 建模功能的智能计算工具。对设备性能的预测分析和对故障时 间的估算将减少不确定性的影响,并为用户提供预先缓和措施 和解决对策,以防止生产运营中产能与效率的损失。

预测制造系统为用户提供透明化信息,如实际健康状况、 设备的表现或衰退的轨迹、设备或任何组件什么时候失效以及 怎样失效等。

一个精心设计和开发的预测制造系统具有以下好处:

第2章 工业4.0环境下的大数据价值创造体系

降低成本——通过了解生产资产的实际状况,维护工作可以在一个更合适的条件下实施(不是在故障发生后才更换损坏的部件或太早将一个完好的部件进行不必要的更换)。这也被称为及时维护。

提升运营效率——当知晓何时设备很可能会失效时,生产和维修主管就能够审慎地安排相关活动,从而最大限度地提高设备的可用性和正常运行时间。

提高产品质量——衰退模式和近乎实时的设备状态估计可 以与过程控制结合起来,以实现在设备或系统表现随时间 变化同时产品质量的稳定。

随着制造业透明化的发展,工厂管理以准确的信息为基础确定工厂范围内的整体设备效率(OEE)。基于对设备的可预测能力,可以实现有效的管理维护从而降低管理成本。最后,历史健康信息也可以反馈到机器设备的设计部门从而形成闭环的生命周期更新设计。

制造业中的核心是人与设备,随着设备的自动化水平不断提高,人在制造过程中的参与也在不断减少,因此设备在制造过程中的重要性也在不断提升。工业 4.0 时代要求设备不仅仅具备自动化,还应当具备感知外部环境和自身变化的自省能力,与其他设备进行交流、比较和配合的自协调能力,根据自身运行状态和活动目标进行诊断和优化的自认知能力,以及按照分析结果通过控制器自动调节运行状态的自重构能力。

工业 4.0 的核心并不在于进一步提高设备的效率和精度, 而是更加合理化和智能化地使用设备,通过智能运维实现制造 业的价值最大化。

当前的设备无论可靠性和自动化程度有多高,都会出现性能衰退和故障。制造业中的设备一旦发生故障和失效等问题,将严重影响企业的市场竞争力。主要表现在以下几点:

- 1.制造企业设备故障的突然发生,不仅会增加企业的维护成本,而且会严重影响企业的生产效率,使企业蒙受巨大损失。据调查,设备60%的维护费用是由突然的故障停机引起的,即使在技术极为发达的美国,每年也要支付2000亿美金来对设备进行维护,而设备停机所带来的间接生产损失则更为巨大。
- 2. 进口设备的维护问题则更为复杂和困难。目前所采用的应激性维修, (Fly And Fix, FAF) 方式既费时又昂贵, 在大大增加企业运营成本的同时, 也严重影响了企业的生产效率。
- 3. 在"用户至上"理念普及的今天,制造企业必须为用户提供产品的完整服务解决方案。由于产品出现问题的不可预知性,企业无法预先制定服务和维护计划。为了提高企业的服务效率和服务质量,制造业企业必须维持一支规模庞大的服务队伍,其日常支出是非常巨大的。

因此,如何对设备的健康状况进行精确的定量分析和管控,通过对设备状态的预测性分析制定合理的维护计划,防止设备和产品因故障而失效,已成为制造企业降低运维成本、提

高成产效率、保障产品质量和提高市场综合竞争力的重要手段。

随着制造过程中数据的积累,物联网、云计算和智能算法 等技术的发展和普及, 生产环境已经慢慢具备了大数据环境的 基础, 在这样的基础上引入以工业4.0时代为背景的 CPS 技术 能够使设备实现与自身状态的相互比较、数据和经验模型的共 享、故障的协同诊断,进而建立具备自学习和自成长能力的智 慧生态系统。在这样的智慧生态系统中,每一个设备不再是一 个独立的运行个体,通过一个信息网络系统(Cyber端)对整 个制造系统内所有设备进行分析,将使每一个设备能够了解其 他设备的状态和运行能力。在信息网络系统根据生产目标进行优 化决策分析后对每一个设备下达精确的指令,将使设备之间能够 相互配合实现真正的目标最优化运行。制造业也将进入到"积极 性维护"的时代,不仅能够对设备的衰退和故障进行预测,还能 够通过数据分析挖掘造成衰退和故障的根本原因,这些信息在转 化为控制模型后反馈到控制器,从而在运行过程中主动避免故障 和延缓设备衰退。此外, 生产过程中大数据挖掘的信息还可以反 馈到设计端,帮助设计者了解设备的性能缺陷和主要风险,从而 在设计端加以避免。这样产品全生命周期的信息、闭环即可被打通, 智能使用带动智能制造的良性循环也就实现了。

在以 CPS 为核心的智能系统构架方面,可以使用前文所论述的 5C 技术体系,包括智能感知层(Connection)、信息挖掘层(Conversion)、网络层(Cyber)、认知层(Cognition)、和配置层(Configuration)。本章将对每一层的含义和实施方法做详细的论述。

3.1 智能感知层:建立统一的数据环境 (Connection)

智能感知层是工业智能系统的基础,其设计的好坏将直接影响到智能系统的数据分析能力和效率。智能感知层并不是简单的数据采集,而是一个多数据融合的数据环境,使产品全生命周期的各类要素信息能实现同步采集、管理和调用。除了传感器、数据采集设备、带宽、数据库等基础条件保障外,应该采集哪些信息和该如何采集信息,数据安全和数据质量如何保障等才是决定数据可用性的因素。在以往的数据采集中,人们往往只注重采集设备的状态数据,比如传感器数据和控制器数据等,因为这些数据是直接被用来分析设备性能和健康状态的依据。然而许多重要的信息,如设备使用时的环境数据、维修保养记录、操作记录等信息往往使用独立的系统进行记录、这

使得数据的调用和相互对照变得十分不便。

智能感知层核心功能之一:尽可能全地采集设备全生命周期各类要素相关的数据和信息,打破以往设备独立感知和信息 孤岛的壁垒,建立一个统一的数据环境。

- 一个设备的全生命周期信息主要可以分为以下几大类:
- 1. 设备运行的状态参数:主要指从传感器(感知振动、温度等指标)和控制器中取得的能够反应设备运行工况和健康状态的数据,也就是传统意义上的监控数据。此类数据的采样频率往往很高,采集的变量也最繁杂。
- 2. 设备运行的工况数据:主要指设备的负载、转速、运行模式等工作条件的设定信息,此类数据往往能够从控制器内获得。设备的工况数据对于分析设备的运行状态参数有十分重要的意义,因为只有在相同的工况下对设备状态参数进行比较和分析才能反映出设备健康状况和性能的变化。
- 3. 设备使用过程中的环境参数:指所有可能影响设备性能和运行状态的环境信息,如温度、风速、天气状态等。例如船舶在海上航行时,浪高、洋流、风速、风向等环境数据对于分析船舶的经济性有十分重要的作用。采集环境参数信息能够帮助我们更好地理解设备运行受环境影响的规律,帮助我们将由于设备状态和环境变化引起的性能变化区分开来。

第3章

数据价值创造的设计与实践技术

- 4. 设备的维护保养记录:设备全生命周期内的所有点检、维护、维修和保养更换记录。这些数据可以作为设备状态更新的参照,与设备的状态数据相互对照,既可以作为设备状态的更新节点来更新设备的健康预测模型,也可以利用设备状态参数在维护前后的变化来判断维护工作的效果。此类数据的长期积累还有助于统计出设备关键部件的平均故障间隔时间,以此作为设计改进和安全备件数量判断的依据。这些数据通常可以从 ERP、EAM、BOM 等系统中接入获取。
- 5. 绩效类数据:与设备运行相关的绩效以及对设备运行 状态进行判断的指标类数据。对于制造设备包括稼动率、能 耗、生产质量、加工精度等,对于其他装备则可以根据其工作 的目标制定相应的绩效指标。绩效指标的核心作用是帮助我们 了解目前设备所处的性能状态,帮助我们给不同时间段的数据 贴上健康、亚健康或是故障的标签。

建立互联互通的数据环境最重要的价值在于提高了数据使 用和管理的效率,解决了数据接口的标准化问题,使所有上层 建筑的功能层能够在一个统一的平台上运行,使新功能的开发 和部署更加低成本和高效,为系统提供良好的成长性基础。

这样的感知层是否能够称之为智能?怎样才算真正的智能 感知?回答这个问题前我们可以首先联想一下作为智慧生物的

人是如何感知的。

我们在日常生活中无时无刻不在接收和处理着信息,大脑所处理的图像、文字、声音、气味、触觉等信息可以用海量来形容。然而我们的大脑并非对所有的信息都会有反应和记忆,而是会对三类信息有较为明显的反应:第一类是与活动目的直接相关的信息,比如当我们想要找一家餐厅的时候,会自动过滤掉周围的电影院和洗发店,这样在很大程度上提高了信息检索的效率;第二类是发生变化的信息,比如当我们见到一个久别重逢的朋友时,首先注意到的是他发生变化的地方,比如发型和体型的改变,或是佩戴了一个特别精致的配饰,而这些信息的获取可以帮助我们更新对事物的印象;第三类是与我们的健康和安全相关的信息,比如在我们身处一个比较危险的环境时,会对周边的事物反应非常敏锐、当我们生病时也会对环境温度的变化更加敏感。

与之相比,工业界中的数据往往采用固定的和无差别的采集 策略,这造成了消耗大部分时间采集许多无用的信息的情况。而 在面临特殊的分析需求时,往往又无法满足数据采集的要求。

智能感知层的核心功能之二:按照活动目标和信息分析的需求进行选择性和有所侧重的数据采集,实现以分析目标为导向的柔性采集策略。

与传统的传感体系有本质不同的是,在 CPS 体系中对于物

第3章

数据价值创造的设计与实践技术

的自我感知能够改变现有被动式的传感与诵信技术。实现按需 进行数据的搜集与传送,即在相同的传感与传输条件下针对日 常监控、状态变化、决策需求变化以及相关活动目标和分析需 求, 自主调整数据采集与传输的数量、频次等属性, 从而实现 主动式、应激式传感与传输模式,提高数据感知的效率、质量、 敏捷度, 达成对于实体空间对象、环境、活动的全面智能感知, 形成"自感知"能力,其核心是数据采集的自适应管理与控制; 自主式和应激式的传感主要体现在三个方面,以事件为导向的 采集策略、以活动目的为导向的采集策略和以设备健康为导向 的采集策略。在智能感知系统的构架中最核心的部分是"数据 采集管理控制系统", 其功能是根据事件信息、活动目标和设备 状态自动产生符合信息分析需求的数据采样控制信号。此外, 对于监控系统和中央管理系统这一类具有自身固定采样规则的 集成系统,从其数据库中按照需求调取所需数据。为了实现这 一功能, 需要建立一套兼顾运算逻辑、机理模型、操作原理、 运行目的和信号处理等要求的控制逻辑和控制模型。

在感知层的建立过程中需要解决的最后一个问题是,应该对哪些数据进行采集和如何对数据进行分类和优先级排序。过去在制定数据采集对象和策略的时候,会习惯性地从数据端去思考问题,往往忽视了为什么要采集这个数据。在决定数据采

集的策略前,应当反过来从功能和应用端思考,这样对数据的选择、分类和优先级排序才会更加合理和高效。在对设备进行数据采集优先级和维护策略设定的时候,可以使用四象限图工具进行辅助分析。如果用四象限图来决定对关键部件的维护策略和数据采集的优先级,那么横坐标可以表示为该部件损坏所造成的影响(如停机时间、维修费用、安全风险等),纵坐标则是该部件损坏发生的频率。如果我们分别在横纵坐标上设定一个控制目标线,那么坐标系就被分成了四个象限,各关键部件按照其故障发生频率和影响分别坐落在不同的象限内,每一个象限都对应不同的数据采集策略和维护策略:

第1象限:落在第1象限的设备或部件同时具有很高的故障发生率和故障影响,一个设计完善的系统不应该有任何的部件落在第1象限,否则应该对系统进行设计改进。

第2象限:第2象限的部件虽然有较高的故障发生频率,但是故障发生所造成的影响较小。针对此类设备可以选择"状态监控维护"(CBM)的维护策略,所采集的数据包括预警信号或几个能够反映部件故障状态的参数即可。

第3象限:落在第3象限的部件为稳定性较高或工作负载较小的部件,此类部件故障发生的频率较低,故障发生时的影响比较小,因此可以采用巡检或是即时更换的维护模式。这类

部件通常不需要进行监控和数据采集,只要按照其设计平均寿命进行预防性更换即可。

第4象限:落在第4象限的部件虽然发生故障的频率较低,但是故障发生时造成的影响巨大,这类部件符合二八法则的规律,即虽然只有一小部分部件,但是却造成了绝大部分的停机时间和维护费用。对于这一类设备我们通常要进行非常详细的 FMEA 分析(故障模式和影响分析),根据 FMEA 的分析结果决定数据采集的对象和策略,并且对较为严重的几类故障模式进行预测性维护和风险管理。

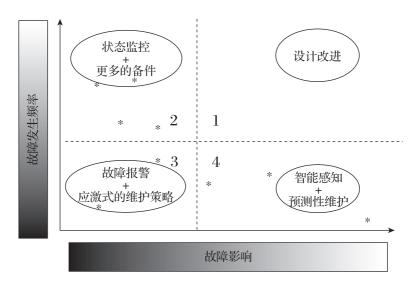


图 3-1 数据采集与维护策略的四象限图

3.2 信息挖掘层:从数据到信息的分析 过程(Conversion)

前文在对社会大数据和工业大数据进行对比时曾经提到工业大数据的"3B"特征,即隐匿性(Below Surface)、碎片化(Broken)和低质性(Bad Quality)。工业大数据的"3B"特性与工业应用中低容错性之间的矛盾是工业大数据分析所要解决的最主要矛盾。因此在对工业大数据进行挖掘之前,首先应该经过工程数据分析的流程将数据转化成高质量和高价值密度的信息。

从数据中获取的信息主要包括两个部分:

内容 (Content):包括设备的信号处理结果、监控参数特征、性能曲线、健康状态、报警信息、特征参数相关性、衰退评估、故障风险、剩余寿命等。

情景 (Context):设备的运行工况、维护保养记录、操作指令、任务目标、机理描述等。

我们可以通过语音情绪识别的例子来理解数据内容和情景之间的关系:语音情绪识别是根据大量声音数据利用机器学习的方法建立的一个自动识别说话人情绪状态的系统,那么声音

数据中的音调、音量、平稳性等信息就是声音数据中所蕴含的内容;而此人在说话时的语言情景、身体状态、外部环境等信息就是情景。在对说话内容进行分类、识别和预测之前,我们应该首先确定情景信息,比如说话地点如果是在嘈杂的户外,那么说话的音量较高就是情理之中的。

在对工业大数据的分析中,内容与情景都十分重要,因为情景决定了对数据的分析方式和解析标准。例如,在分析设备衰退情况时,除了分析设备的监控参数之外,我们还要分析设备的运行工况等信息,因为这些信息直接决定了我们应该选择哪些参数、提取哪些特征以及使用什么样的模型去分析这些特征。只有这样去做所分析结果的准确性和可用性才可以得到保障。

数据到信息的分析过程是针对单个设备的纵向数据分析过程, 计算过程并不像大数据分析那么复杂, 可以通过设备的智能软件来实现。

工业数据分析的核心是故障诊测与健康管理(Prognostics and Health Management, PHM)技术,也是智能算法工具在工业领域中最早的应用,美国国家科学基金会的智能维护系统(Intelligent Maintenance Systems, IMS)产学合作中心是该领域学术和应用的领导者之一。IMS 在过去 15 年的研究中,从超

讨 100 个工业应用项目中总结形成了一套工业大数据分析流程 的方法论和算法工具包 (Watchdog Agent®)。一般来说,智能 维护系统采用了如图 3-2 所示的预测和诊断框架,主要包括 五个主要步骤,数据采集、信号处理、特征提取、健康评估、 健康预测以及可视化。可用数据包括了传感器信号、状态监控 数据、维护历史记录等。这些数据可以用特征提取的方法进行 处理来得到衰退性的特征。基于性能特征, 机器的健康状况就 可以通过健康置信值 (Confidence Value) 来评估和量化。另 外,可以在时域内预测特征在将来的值,从而可以预测性能的 衰退趋势和机器的有效剩余寿命。最后,诊断方法可以用来进 行故障诊断和原因分析。智能维护系统的范例已经被广泛地应 用. 从简单的机械元件(如轴承)到复杂的工程系统(如发 动机),从机械设备到结构,从单个机器到生产线,从制造产 业到半导体产业。不论各个应用区别如何,它们都有一个共同 的特征,那就是都通过算法或技术在关键步骤上获取信息并传 输信息。即使对于同一个应用领域,也要根据不同的应用的实 际情况(如稳态或瞬态信号、数据维度、有无足够样本等) 来选择算法工具。因此,IMS 提出并发展了针对故障预测与健 康管理的工具包,将广泛使用的智能维护算法整合在一起,并 目评估每一个算法在不用情况下的优势和劣势, 采用一种系统

化的方法来对每个算法的适用度进行优先级排序,从而减少了 实际预诊断应用中反复试验的次数。

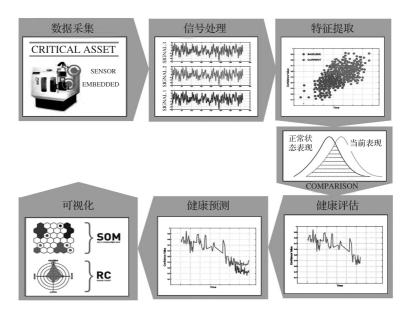


图 3-2 以 PHM 技术为核心的工程数据分析流程

3.3 网络层: 网络化内容管理 (Cyber)

CPS 的信息挖掘(Conversion)层实现了数据信息化的功能,是面向单个设备的纵向数据分析,而网络层(Cyber)则是面向设备集群和整个公司运维与运营活动的横向数据挖掘。

CPS 的信息挖掘层对于数据的信息分析过程主要包括内容化(Content)和情景化(Context)两个方面,而 Cyber 层在这两者的基础上增加了信息逻辑的要求,主要体现在大数据分析流程、数据相关性解析、利用数据建立设备镜像模型(Twin Model),以及利用所建立的模型进行数据分析的触发机制等。

Cyber 层的主要功能包括:

- 1. Communication (通信):定义统一的数据存储格式和标准,建立互联互通的数据平台,实现在任何地点和任何时间对信息的调用,并按照不同用户的活动需求按需进行信息分发与推送。
- 2. Computation (计算): 对设备集群和运营活动信息进行 横向的数据挖掘,利用 Cyber 层集成模块化的大数据 分析工具,实现对数据分析能力的随时随地调用。
- 3. Comparison (比较):在 Cyber 端建立能够反映设备运行能力和健康状态的镜像模型 (Twin Model),并通过集群建模和比较的方法判断设备群体中的差异性,利用集群经验预测单个设备的运行与健康状态。

Cyber 最早的雏形叫做 Cybernetics, 最早的应用领域是航

空与核工业,被用于分析不同运行环境和状态参数下的核反应 状态,并根据仿真模拟的预测结果对核反应参数进行控制。后 来 Cybernetics 被广泛应用于美国的国防工业,用于作战指挥系 统的仿真、训练与模拟,这就是最早的 Cyber-Physical System 的雏形,即用于大型复杂系统的计算、仿真与控制。2006 年美 国国家科学基金会对 Cyber-Physical System 给出了更加广泛的 定义: Physical 代表自然界中或是人类创造的实体系统,依照 物理法则在连续的时间中运行; Cyber 则是利用计算、网络和 控制系统对实体系统进行分布化、离散化和逻辑化的管理; Cyber-Physical System 是虚拟网络与实体系统结合的接口系统, 实体系统产生的数据可由虚拟网络系统做对称性的深入管理。 由此可见 Cyber 层是整个 Cyber-Physical System 的中枢神经, 是人对实体系统进行精确信息化管理的接口。

Cyber-Physical System 的核心在于对实体系统进行对称性的管理,即在虚拟网络空间构建实体系统的映射,使实体系统的信息被量化和透明化。在构建完成这种映射后,大量的运算、仿真和信息交换都可以在网络空间快速进行,产生的计算结果可以指导实体系统的运行。这种从实体系统到虚拟网络系统的对称性映射主要可以从以下四个方面着手:

1. 对实体状态信息的切片化管理

苹果公司于 2012 年推出了数据备份解决方案"时间胶囊(Time Capsule)",这款产品除了能够非常高效地备份系统内的所有文件之外,与其他备份应用软件的最大不同在于它不仅能够备份,还能够记住系统在任意一天的状态,因此可以重新回到过去某个时段的状态。不仅如此,它还可以针对某一个文件夹进行状态的恢复,使用户在做备份恢复的时候不必改变其他文件的状态。"时间胶囊"之所以能够做到这一点,主要得益与其在每一个备份点上只备份变化了的状态,而非整个系统。在对系统进行初始化的备份之后,在每一个备份时间点上只记录系统变化的部分,这样就在时间轴上获得了系统在每一个时刻的状态切片。当系统想要恢复到某一个时间的状态时,只需要以该时刻的状态切片为起点向时间的原点(备份初始化的时刻)进行"压缩",就可以获得该时刻的完整系统备份。

CPS 中的实体信息管理也是相似的概念,虽然设备的运行和产生的数据是连续的,但是设备的状态却是离散化的。CPS 的 Conversion 层从对原始数据的分析中得到设备的状态信息,当设备的工况发生改变时,Cyber 层就会自动记录设备的新状

态数据,并贴上新的状态标签进行存储。这样就实现了对连续数据流的离散化管理,建立简洁而又全面的产品全生命信息 库,并且能够按照状态→特征信息→数据的快速索引。

2. 建立与实体系统相互映射的镜像模型(Twin Model)

镜像模型是利用实体系统产生的数据所建立的反映实体系统 状态的数学模型,是将实体系统"不可见因素"进行预测和透明 化的过程。Twin Model 有两个重要的作用,一个是对实体系统状 态的量化表达,另一个是建立输入→输出的预测传递系统。

以电池为例,我们可以测量的数据包括电池的电流、电压和温度数据,而电池的内部特性参数,如剩余电量、内阻、衰退电量、安全风险等信息都是不可以直接测量的。当电池在被使用时,Cyber 空间内的 Twin Model 会显示这些不可测量参数的信息,这些信息被发送到移动端或是车载电脑展现给用户。同时,这些状态参数会被用于电池物理模型逻辑表达式的参数,Twin Model 就具备了根据输入预测输出的能力,当用户输入未来一段时间内的功率需求时,Twin Model 就会预测出在此功率需求下的电压曲线、电量消耗曲线、温度曲线和安全风险。

理论上来说, Cyber 层中的每一个状态信息切片都可以被用于建立一个 Twin Model, 可以被用于预测该状态下的不可见因素。

3. 利用信息内容对实体进行对称的关系管理

大家在使用领英(LinkedIn)时会发现它的一个非常好的功能,就是它能够按照用户的资料去挖掘你与另一个用户可能存在的关系,然后提醒你或许认识这个客户,是否要与他建立关联(Connection)。而当与你建立关联的用户的状态发生变化时,比如升迁或是换了工作,它会及时提醒你去关注他的变化。所以 LinkedIn 给客户带来的重要价值是帮助用户管理自己的职场关系(Relationship),这种关系的管理在现实生活中可以非常复杂,但是在网络端却变得快速和高效。另一个例子是非常有名的 Uber,它会根据客户和司机的位置自动对他们建立连接,实现供求关系的最优化配置。因此 Cyber 端不仅仅对实体的信息内容进行管理,而且还通过实体之间的关联关系进行信息的推送,利用信息作为桥梁去建立和管理实体之间的关系。

4. 集群分析与大数据挖掘

在对实体系统的状态切片建立了 Twin Model 之后, Cyber 空间内就有了不同实体在不同时间内的大量状态样本,每一个样本中都记录了实体系统的工况状态和健康状态。这样我们就可以按照状态参数的相似性对这些 Twin Model 进行聚类分析,随后就可以对不同聚类中的 Twin Model 进行横向和纵向的比

较。横向的比较是指在相同时间和相同运行条件下的状态参数 比较,这样可以帮助我们了解同一个集群内设备的差异性,并 迅速判断哪一个设备处于异常的运行状态。另一个维度是纵向 的比较,即 Twin Model 在时间轴上的相互比较,对于同一个 设备我们根据其当前状态与历史状态的差异量化它的状态衰 退。对于同类设备在相同运行环境下的纵向比较,我们就可以 通过一个设备与另一个设备历史状态的相似性来判断它目前所 处的生命周期。

 比较对象
 比较维度
 目的

 自身
 时间轴纵向
 健康衰退和差异评估

 集群
 时间轴横向
 差异性比较和异常检测

 集群
 时间轴纵向
 预测所处的生命周期阶段、输入→输出性能预测

表 3-1 设备状态量化差异系统

以风力发电机为例,同一个风场内的风机可以根据其型号和所处位置的风速曲线的相似性进行聚类,再对同一个集群内的风机发电能力进行比较,通过对每个风机与集群的差异就可以判断其是否处于异常状态。

Cyber 给用户带来的价值主要体现在以下几个方面:

第一个是功能的柔性 (Flexible Function) 和定制化开发,

对于同一个实体系统可以根据不同的用户需求或是不同的使用 角色提供不同的功能服务。例如船舶的智能运行监控系统,轮 机长关心的是设备安全和经济性、船长关心的是航程规划和准 时,而工程师关心的则是某个具体设备的运行状态和故障恢复 情况,这些功能都要在同一个平台上实现。我们使用 iPhone 时 也是如此,我们会根据功能需求在不同的 App 之间进行切换。

第二个是通过 Cyber 端的功能服务给用户提供真切的信息感受 (Feeling),使实体系统通过 Cyber 层与人互动。例如,使用滴滴打车时看到手机地图上自己叫的车离自己越来越近,这对缓解用户的焦急情绪有十分重要的作用。我们也可以通过数据融合的分析方式对风机的全局健康状态进行评估,计算出由于风机健康衰退造成了多少的发电量损失,这能够让风场运营商直接体会到风机衰退所带来的经济损失。

第三个是信息和服务的快速送达,大大减少了信息在整个决策链上的传递时间,使决策链上的各个环节能够无时差地获取决策相关的信息。例如,以往对设备的故障管理,往往是靠操作工来实现,当操作工发现设备出现了异常时,他需要通知生产部门调整生产计划,同时通知工程师进行检查和诊断。待工程师确定故障原因后,需要通知设备的供应商,从备件仓库中调取合适的备件。然后预约维修和更换时间,最后物资管理

部门还需要进入采购环节进行备件的补充。然而,在 Cyber端,通过对数据的分析和挖掘后能够预测设备故障的前兆,这可以帮助生产部门制定新的生产计划,将故障诊断结果和相应的监测数据发送给维护工程师,同时自动通知物资部门准备所需的备件,并在平台上向供应商下维修单和采购单。与以前相比决策链的响应速度得到了大幅提升。

3.4 认知层:对信息的识别与决策(Cognition)

CPS的认知层(Cognation)在对数据内容化(Content)、情景化(Context)和逻辑化(Logic)的基础上加入了人的职责与活动目标(Role/Goal)的因素,因此认知层的核心在于将数据分析的结果按照不同人员的职能和活动目标的需求进行最直观的表达,其核心是帮助用户制定最优的决策。认知层应该具备以下几个方面的能力。

1. 支持多平台的远程数据可视化工具

Cyber 层的一个重要功能是使用户能够在任何时间和地点 获取数据的分析结果,这些信息并不是用列表的形式展现给用 户,而是通过更加生动和直观的数据可视化工具使用户迅速获 取信息中的含义。事实证明,生动的数据可视化方式的价值与

信息本身的价值同样重要,因为这决定了用户去理解这些信息 的意愿和效率,也会直接影响用户的决策质量。在一个生产系 统中,用户需要对不同层次对象的信息进行解读并给出相应的 决策,包括部件级、设备级和系统级。

- 对于部件或是设备的健康衰退评估可以用 CV 值 (Confidence Value)来表达: CV 是一个 0~1 之间的无量纲, 0 代表衰退到不可接受的状态, 1 代表健康状态 (又称健康基线状态)。需要注意的是,健康基线状态是人为定义的健康初始状态,这个状态并不一定是设备崭新时候的状态,只要认为设备的运行状态正常,且输出的各项指标都在正常范围内,就可以将设备的任意生命周期阶段作为健康基线,那么 CV 值 0~1 之间的数值则代表的就是当前状态与定义的健康状态起点之间的差异性。这样就可以使那些原本没有进行状态监控的设备从任意一个阶段开始建立生命周期管理档案。
- 对健康模式的识别可以用健康地图来表达:健康地图是一个由许多节点组成的网格图,上面的每一个区域分别对应了一种故障模式。根据健康特征的相似性可以将对象当前的状态投射在健康地图上。该区域的标

签就表示对象当前的健康模式。健康地图还可以显示 监控对象从一种模式到另一种模式的过渡路径,这对 于判断故障的根源有很好的表达效果。

对设备或系统的风险分布可以用风险雷达图表达:风险雷达图上的每一个轴代表同一个系统中的各个组成部分,每一个轴都是0~1之间的CV值,各个组成部分所在的CV值连线就构成了风险雷达图。风险雷达图可以帮助用户迅速定位目前系统中的薄弱环节,并制定相应的维护优先级排序。

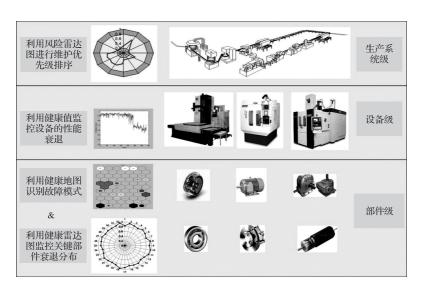


图 3-3 多级远程数据可视化工具

2. 基于 Twin Model 的多智能体仿真与推理

利用 Cyber 层建立的能够反应实体系统状态的 Twin Model,以及实体系统中每一个实体之间的相互影响关系和层次关系。Cognition 层能够对整个实体系统的运行进行仿真和推理,模拟不同决策下的系统整体输出和对单个实体的影响情况。比如,对于一个生产系统,我们可以根据生产系统上下游的布局和环节之间的缓冲库存情况,判断对一个设备进行维护时对整个生产系统总输出的影响,进而判断这个设备在不影响总输出的前提下的维护机会窗(Maintenance Opportunity Window,MOW)的大小。

3. 决策的协同优化分析

在基于多智能体系统的仿真与推理基础上,设定整个系统的优化目标和限制条件之后,认知层会通过智能优化算法找到系统最佳的匹配和决策。这样就可以改变以往各个部门由于对彼此职能和目标的不清晰造成的决策偏向性,从各个环节的独立决策或是会商性决策转变为自动协同决策的机制,实现从局部优化到全局优化的目标。

3.5 配置层:系统的弹性和重构(Configuration)

CPS 的配置层 (Configuration) 在前四层的基础上又加入

了管理与控制 (Management & Control) 功能,从而实现了一个闭环的信息流和智能系统的搭建,其目标是能够达成整个体系的自重构能力。

自重构从两个层面进行:一个方面是公司的生产与运营管理,将原来按照规章制度和 KPI (关键绩效指标)考核的静态管理模式转变成为自动根据公司运营与生产目标进行资源配置、设备和人员调度以及产业链上下游协同,实现目标、公司资源、生产活动的弹性最优配置。另一个方面是对设备的精确管理与控制,将原有的固定控制逻辑转变成柔性的控制策略。

弹性系统的自重构主要有以下几种形式:

- 根据状态偏差的自我调节:这一类的调节主要面向的是设备层面的自重构,当设备的健康状态出现衰退,造成了输出的偏差风险时,设备的控制系统就可以根据健康的偏差进行调节,使设备的输出维持在目标区间内。例如,当加工机床道具出现磨损状况时,控制系统可以相应增加切削压力和润滑液的流量保证加工精度不受影响,这样可以在保证质量的前提下延长道具的使用寿命。
- 具备自我配置能力的弹性系统:这一类的调节主要面向 设备集群或系统级的自重构,当一个设备集群中的一个 设备健康状态或性能下降时,集群中的其他设备改变相

应的运行状态,使整个系统的输出保持不变。例如,对于一个风场而言,运营者关注的是整个风场的发电量与电网需求的匹配,即最大限度地发满电网匹配的额度。这时,如果一个风机处于亚健康状态或是发电能力发生衰退时,风场的其他风机就可以相应调节变浆控制策略,让健康状态和发电能力好的风机承担更多的发电负载.这样就可以保证整个风场的发电能力不变。

面向设备层和系统层的自重构体系可以参照 Realtime Control System (实时控制系统) 的构架。

对抗扰动的动态优化配置:这一类的调节主要体现了设备或是系统对于外界因素扰动的抗干扰能力。例如船舶的纵倾优化受到洋流和浪高的影响非常大,当外部环境变化时原有的优化结果就不再是最优状态了,系统需要根据外部环境变化调整优化的结果。对于生产系统而言,扰动包括订单变化、市场波动、原材料价格变化等因素,这些变化有可能会引起优化策略中权重的变化,因此会更加直接地影响决策。当出现这些波动时生产系统应该迅速提醒决策者原有生产计划的风险影响,并给出新的优化策略和决策建议。

第4章 价值创造的商业模式设计

众多管理学书籍中均有对于商业模式的研究,通俗点说,商业模式就是企业以什么样的途径或者方法赚钱。好的商业模式应该能够回答管理大师彼得·德鲁克的几个经典问题: 谁是我们的客户? 客户认为什么对他们最有价值? 我们在这个生意中如何赚钱? 我们如何才能以合适的成本为客户提供价值? 商业模式的创新就是要对现有商业模式的要素成功地加以改变,最终提高企业在为用户提供价值方面有更好的业绩表现。因此,这种创新的目标是能够创造出新的价值。

在这里,我们谈到主控式创新(Dominant Innovation),旨 在给出一种用于价值创造的商业模式设计新思路。为什么叫 "主控式"?它的原则就是要为用户的最终价值去创新,而不 是单纯为一个产品或者产业去创新。

4.1 寻找价值的"GAP"

根据第1章提出的"煎蛋模型"理论,"蛋黄"是核心产品,而"蛋白"则是真正为客户创造价值的创新服务,是能让企业持续性盈利的关键,而如何找到价值的"GAP"(即需求缺口)正是企业引导创新、做大"蛋白"的核心切入点。

企业的创新模式

通常来说创新分三种:

(1) 持续性创新 (Continuous Innovation): 大多数的创新活动是连续的,是在现有产品或服务中,针对"明确的用户需求"而做的修改。



图 4-1 持续性创新模式

这通常是指企业经常性地改进产品,把产品改得更受用户 喜欢,可以是单一特定功能的提升,如磁盘片的尺寸不变,但 容量增加。

(2) 跨越性创新 (Discontinuous Innovation): 当产品或服务发展到一定程度,往往需要创新的思维,停止企业对单一技术的不停追逐竞争,因而被新的突破式创新技术所取代。

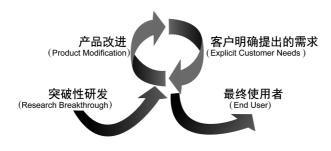


图 4-2 跨越性创新模式

这通常是所谓的研发,即一种新技术采用后,可以引出多项发明,从而改变了整个产品,目前大部分产业研究院都在做这种事情。

(3) 主控式创新 (Dominant Innovation): 此种形态不直接 检视消费者的需求,而是以情境模拟的方式,思考该赋予新产 品哪些功能,并以突破性的创新研发技术完成该项新产品雏型,接着才将之推到消费市场。



图 4-3 主控式创新模式

在情景模拟中发现产品的新功能,我们称之为发现"GAP"。

在发现 GAP 的过程中创新

通过发现 GAP 来推动的创新与其他几种创新模式是不一样的。这种方式不是以人(消费者)的需要为出发点的,也不是都听客户的。客户一般都是追求更大的蛋黄,很少告诉企业潜在的、外围的需求,很可能他们还没有这种意识或根本就不知道。

举个简单的例子——洗衣机,涉及三种关系,即洗衣机、客户和衣服。从生产商来看,客户对于洗衣机直接的需求就是需要更节能、更省水、更快速、更安静……这就是更好的洗衣机:但对于模拟客户的反向使用情景来看,从客户衣服的角

度,洗衣机可能只解决了衣服脏的问题,但干净却有味道的问题呢?这个问题可能不需要水、不需要洗也可以除掉,这里的GAP不是洗衣机本身,而是衣服的要求。能不能在普通洗衣机中开发出一个模块,客户不需要改变穿着衣服的类型,当客户从KTV、酒吧、医院等地方归来,把衣服放进去,三分钟就能穿起来,不需要洗。

再比如汽车,买汽车的人更关心的是耗油情况,但很少人知道司机开车的习惯可能影响 20% 的油费。所以这里的 GAP 不是车,而是司机的开车习惯。如果仅仅按照客户的直观需求来做车,那制造商会努力生产更省油的汽车、更舒适的汽车,在过去的汽车技术上不断精进。这是一种传统工业时代的思维方式。而采用GAP 式创新,则是通过数据来模拟情景,不断发现客户根本没有注意到的产品新功能。这是一种新工业时代的思维转变。

4.2 从创新到价值创造, 主控式创新思维

我们在前文中提到了三种创新,从过往的案例分析来看, 若采用第一种模式,则企业必须要抢得先机,因为其他企业无 技术障碍;若采用第二种模式,企业仍需迅速将技术商品化, 以确保该消费市场不会被其他新产品所满足,但其他企业因技 术障碍,不易迅速进入该市场;若采用第三种模式,即主控式创新,企业将可能推出多功能性的产品,因情境思考所做出的产品功能定位,较不易受外界市场环境变化影响,而失去商机,时间急迫性较第一种模式为轻,又因具备技术障碍,使其他企业快速进入市场的机率降低。

主控式创新思维的核心就在于从注重产品技术开发到注重用户价值创造的思维转变过程,实现从创新到价值创造(Value Creation)的转变,其过程在于:以自己现有的核心产品与技术为中心,向外延伸相关配套服务;从用户的立场思考,发掘用户对现有产品尚未满足的需求(GAPs),把单纯的以产品为导向进行设计及制造的企业转型为融合产品创新及服务增值的新型企业。

因此,主控式创新的关键在于,企业需要思考一个问题: 怎样才是具有优势的产品与服务?

这就必须做到"至少要让用户感受到这是一项不同的东西、不同的价值、不同的产品及服务",至于如何找到客户的潜在需求,需要建立自己的创新产品主题,开发具有关键技术核心的产品,以建立其他业者难以模仿的且具市场区隔的产品及服务,进而提升自己的竞争力。

从这个角度出发,做大"蛋白"的持续性服务创新应该

满足以下特点:

- 1. 服务是一种用户密集性 (Customer-Intensive) 系统;
- 2. 服务会搭配智能的系统工具 (System Instrumentation, Smart Agent);
 - 3. 服务需通过智能的运行分析 (Smart Operation Analytics);
 - 4. 服务是一种知识管理:
 - 5. 服务可以为客户免除潜在问题的困扰。



图 4-4 主控式创新设计思路

同时,我们也给出一种用于主控式创新的设计流程思路供读者参考:

- 1. 新想法搜集。对新想法所在的专业领域和相关技术领域进行资料搜集和查询,利用头脑风暴(Brainstorm)、互联网知识库、专利数据库等工具挖掘和深化技术创新点;
- 2. 专业领域功能分析。对讨论所得的新想法和技术创新点 归类,进行现状分析,利用信息和专利检索工具过滤已被开发

的想法,利用功能量化评估工具(QFD)、鱼骨图(Fishbone)等工具对有开发价值的新技术进行量化功能分析;

- 3. 产权分析和创新设计。产权分析,对将要开发的新技术想法进一步进行专利战略分析和市场分析,使得新技术的开发不仅不与其他专利冲突,而且还能寻找并瞄准未来广阔的增值市场。创新设计,利用创新矩阵对产品和服务分别进行设计,这将在下一节进行详细介绍;
- 4. 知识产权主控布局和技术开发、价值创造。知识产权主控布局,将相关领域的专利归纳为红海和蓝海市场,并积极地将新技术开发定位于蓝海市场,采用着眼未来长远发展的战略布局新专利。

技术开发价值创造,当新技术的增值市场空间确认后,产 权的战略布局在专利审查的等待过程中,同时启动技术开发, 实质性地进入到价值创造阶段。

4.3 主控式创新工具

对于如何圈选目标客群及挖掘该类客群真正的需求,我们 设计了一系列创新工具,企业可对照自身现状进行分析,方法 介绍如下。

工具一: 创新矩阵 (Innovation Matrix)

创新矩阵如图 4-5 所示,是一个 3×3 的九宫格矩阵,分别由不同的用户情况(即市场)和不同的需求情况(即产品和服务)所组成,例如:用户对产品和服务的需求有些是明确的,有些是不明确的,有些是现在已经被满足的,有些则是尚未被满足的;同样的,市场上的情况可分为已提供或尚未提供,以及已预见或尚未被预见的商机。

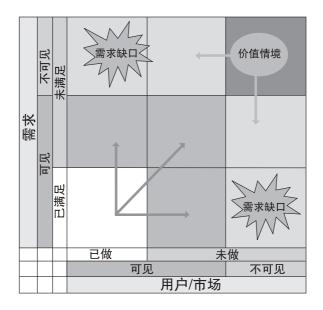


图 4-5 创新矩阵

来源: Jay Lee, www. DominantInnovation. com

主控式创新的矩阵就是要从可以看得见的市场和用户的需求出发,通过创新服务的情景假设,寻找尚未被发现的用户的潜在需求,同时挖掘出市场的潜在商机,并通过专利的布局和保护,成功跳出商家竞争激烈的"红海",到达蕴藏无穷商机的"蓝海"。

简单来说,需要以下几个步骤:

步骤一: 定义看得见的、已被服务的需求与商机

根据"已被服务的市场和需求"的定位,明确目前市面上已推出的产品和已被满足的用户需求,并填入创新矩阵左下角的一格,作为创新矩阵情景模拟的出发点。从已满足的用户需求和市场出发,描述在目前看得见的市场和用户需求方面,商家的主要竞争领域、主要开发的产品和技术及抢夺的市场商机。

步骤二:讨论服务创新的情境

在找出竞争激烈的红海后,从用户的需求出发,去思考如何服务创新,体会用户真正的需要是什么,并由此假设创新的目标和情景,创新情境可以是多个。研发团队的脑力激荡的过程与结论,是该步骤的重要内容,建议可以先预设一些情境背景或以企业成功的案例为参考,进行创意构思,会较容易聚焦

与收敛,也可避免淹没于满坑满谷的创意产品中。有时也可以将利用创新矩阵找到的用户需求进行 QFD 分析,以明确要做的创新开发。

使用QFD明确要做的正确事情 MOH HOW M 65 Gap1 5 Н L L Gap2 45 5 Η Gap3 21 3 M M L 36 Gap4 4 Η M 8 Gap5 2 L 52 Gap6 4 M L Н 4 M Gap7 L 1 57 41 48 13 50 6 21

相关的

对用户的价值

图 4-6 用户需求鸿沟与 QFD 组合分析

来源: Jay Lee, www. DominantInnovation. com

步骤三:明确需求缺口并进行 IP (知识产权) 布局及保护

在制订出新的产品及服务情境后,针对服务情境进行需求

构思。思考创新服务情景下,目前有哪些需求缺口,并结合现 实情况选择最优先考虑的需求缺口。

这些缺口就是新产品所要去解决的问题。满足情境的新产品可能会有很多种形态,其在设计、生产等阶段或许使用到的技术可能是普遍见于该产业的,也可能是需要再研发的创新技术,从操作层面明确出相关的技术及服务后,需要对此进行IP的布局及保护。

步骤四:明确市场和服务缺口并进行 IP 布局及保护

当有了明确的需求缺口后,再去思考我们要提供哪些服务 机能来满足这些需求缺口,并利用这些服务机能在市场轴上挖 掘、发散和延伸机遇,同时对此进行 IP 的布局及保护,保障竞争优势及利益。

这样的途径被称作"创新之路"(见图 4-7 所示)。实现 所需条件有以下几点:

- 1. 参考其他国家和地区的前瞻计划,参考企业的前瞻计划;
- 2. 参考本地社会、经济、政策、技术、环境等各领域官 产学研用专家的意见和建议:
- 3. 利用情景专家座谈会、头脑风暴、Delphi (德尔菲) 法进行情景模拟和情景设想:

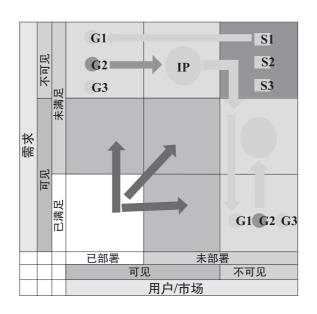


图 4-7 创新之路——创新矩阵的运用

来源: Jay Lee, www. DominantInnovation. com

4. 利用使用者、产品和服务三角关系图和应用地图等工具寻找用户需求 (GAP)。

工具二:用户一产品一服务价值三角关系图

(Relationship Map)

在应用主控式创新的理念进行服务创新构思、寻求需求缺口和市场缺口时,可以应用"用户—产品—服务价值三角关

系图"这个工具。其功能主要是在服务发想的阶段,运用产品、使用者、服务(或资讯)价值三方的角色互换,勾勒出用户、产品与服务三者之间的新关系,以图像化的方式构想创新服务转变的机会。

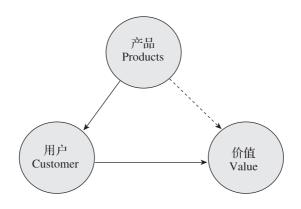


图 4-8 用户—产品—服务价值三角关系图

来源: Jay Lee, www. DominantInnovation. com

工具三: 应用地图 (Application Space Mapping)

在大致完成了一项创新产品或服务的目标市场定位、预期 要解决使用者的哪些问题、须具备的主要功能后,为使该产品 及服务更加完善,可以使用"应用地图"工具进一步理清客 户潜在需求与规划服务,进行更细致的实施规划,如图 4-9 所示。

| 产品及服务1 | Gap 1 | | | | |
|--------|-------|-------|-------|------|------|
| 产品及服务2 | | Gap 3 | | | |
| 产品及服务3 | Gap 2 | | | | |
| 产品及服务4 | | | Gap 4 | | |
| | 使用场合 | 使用场合 | 使用场合 | 使用场合 | 使用场合 |
| | A | В | C | D | E |

图 4-9 应用地图

来源: Jay Lee, www. DominantInnovation. com

应用地图可以让我们将上述创新矩阵的构思结果更清楚地列举出来,进行更细部的沙盘推演,避免该产品及服务可能出现的重大过失。当我们从创新矩阵中找到了很多缺口(Gap1、Gap2等)可介入,并规划出多种可提供产品(产品及服务1、产品及服务2等)时,我们还需要将目标用户可能会在哪些地方或场合使用一并纳入考虑。例如,达芬奇发明了一个太阳能手电筒,目的在于解决要使用手电筒时,才发现电池没电的窘境,但是却没发现该太阳能手电筒若没有有效的电力储存功能,天黑后只能用另一只有电的手电筒作为光源,启动此太阳能手电筒,或是在大白天使用之。虽然该产品功能符合了其预设情境目标,但事实上却不具有使用意义,这正是因为达芬奇没将使用场合纳入考虑而造成了设计上的重大讨失。

在此阶段中,我们应该再次辨识在预设情境目标下所讨论 出来的缺口有哪些,再思考要制作满足该缺口的产品所需要的 相关技术有哪些、其关键技术是什么、可能会被应用于哪些场 合或国家、在不同场合或国家中使用时产品及服务的设计是否 需要调整等细部规划。

4.4 手把手教你如何做"蛋白"

前面我们已经强调过,创新不仅止于产品的升级,还应该包括提供绑在一起的增值服务,以提高该产品(及企业)的价值与竞争力。为了让读者能确实了解这样的观点转变,更好地设计并做出符合自身企业特点的"蛋白",我们以 GE 医疗企业(GE Medical)为例,来做简单的主控式创新设计练习。

GE 医疗企业原为一家医疗仪器制造商,产品的主要用户为医院或医生,但自2004年改名为"GE 卫生保健技术"(GE Healthcare Technologies),这意味着 GE 在目标用户群与提供产品服务项目的改变,具体包括下列几项变革做法:将数据(Data)转化为信息(Information)、将物品资产转化为功能资产、将商品服务转化为客户服务、将智能硬件转化为智能软件。简单而言,便是其经营理念从"提供一项好用的医疗仪

器设备"转型为"提供用户所需要的医疗服务与建议"。因此,你可以猜得出来,现在 GE 将主要用户群定位为患者,唯有了解患者才能找到问题的所在,若此方案运作情况良好,未来甚至可以将市场延伸至年长者等高危人群。

这样的转变在创新矩阵中是如何呈现出来的呢,如图 4-10所示。

| | 未被看见的 | 肯足的 | 象限三: 预防 性照护 | 象限三: 药物 分子化 (Molecular Medicine) | 假设情境: 提 供精致的健康 照护 | |
|---|-------|------------|----------------|---|-------------------------|--|
| 半 | 助 | 未被满 | 象限二: 信息 中心 | 象限二: 以习 惯为基础的服 务 | 象限三: 健康 风险分析 | |
| | 看见的 | 4〕 已满足的 | 象限一: 医疗 设备 | 象限二: 医疗 信息、医院自 动化系统 | 象限三: 定制 化药物 | |
| | | | 已服务的未被朋 | | | |
| | | | 看见 | 未被看见的 | | |
| | | | 消费者/市场 | | | |

图 4-10 GE 卫生保健技术的创新矩阵

来源: Jay Lee, "利用优势创新提升产品与服务转型—台湾下 一步竞争优势", 2009 年产业科技创新国际研讨会会议资料, 中国台湾

1. 步骤一

GE 先定出期许自己朝向"提供精致的健康照护"的目标前进,以此作为该创新矩阵的预设情境,并定出目标用户群为"患者";接着在象限一中,填入目前所能提供的产品或服务,也就是"医疗设备",GE 以此为核心产品,尝试以此为发展基础,多方思考构想,提供患者符合目标的套装产品服务。

2. 步骤二

在这样的目标情境下,试着找出目标用户群"尚未被满足的需求"和"尚未被提供的产品或服务"为何,并依其特性填入象限二。例如,信息中心(iCenter)、以习惯为基础的服务(Usagebased Service)、医疗信息及医院自动化系统。但这些都是同行间皆大致可预测出来的发展方向,可能在相关医学会议或学术期刊,已有相当深入的讨论,竞争对手甚至可能已着手进行类似的产品及服务规划,因此,象限二所提出的产品及服务仅是短期计划,用以引导我们作更深入、更长期性的发展规划。

3. 步骤三

此时,我们已经确定了 GE 的发展目标为"提供用户所需要的医疗服务与建议",目标用户群为"患者",目前拥有的

核心产品是"医疗器材",近期可朝向"信息中心""以习惯为基础的服务"及"医疗信息和医院自动化"的方向深入发展。我们依循着象限二的这三项产业近期发展趋势,与 GE 发展目标作一比对,厘清在此目标下,以"信息中心""以习惯为基础的服务"及"医疗信息和医院自动化"这三项为发展过程的产品及服务可以是什么?以之为附加服务的套装产品及服务应该是一个什么样的东西?而且是目前市场上尚未被清楚提到的商机、目标客户群尚未发现的需求。GE 提出了两个可以达成目标的作为,分别是"健康风险分析"和"药物分子化",因此,将用户需求产品缺口定为"预防性照护",而消费市场的缺口则是"定制化药物"。

4. 步骤四

GE 再运用"应用地图"和"质量功能展开表",在精致的健康照护的总目标下,规划符合"预防性照护"和"定制化药物"特性的产品及服务,以及开发此类产品及服务可能需要的核心技术等。

最后 GE 以"健康照护管理系统"(见图 4-11)的建立来响应此阶段的产品及服务规划,主要适用对象是患者,患者可通过此产品服务随时了解自己的健康情况并记录下来,这些长期记录

的数据对药厂和保险公司是重要的,一旦找到了患者的问题, 药厂便可马上进行新药品研发或建议使用药品的生产,对保险 公司而言,若能于早期发现癌症,保险公司便有获利空间。

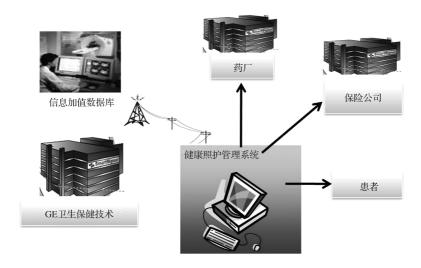


图 4-11 GE 卫生保健技术的"健康照护管理系统"概念

来源: Jay Lee, "利用优势创新提升产品与服务转型—台湾下 一步竞争优势", 2009 年产业科技创新国际研讨会会议资料, 中国台湾

值得注意的是,患者之所以愿意使用该系统的主要原因在于:患者可藉此获得健康管理上的信息和建议,而非单纯的测量数据。例如,X光可以让我们早期检查出骨质疏松的状况,但是患者需要的则是在此之后他该如何做,有什么建议,提供用户想要的信息,才是此系统销售的价值。

在国内利用主控式创新思想实现转型的一个成功案例是尚品宅配,也是国内第一家采用数码科技为用户提供定制化家居服务的公司。对于一家宅配公司而言,要卖给用户家具。可是从顾客端思考,其真正的价值需求却并不是家具,而是家具所带来的居家生活的感受与品味。宜家应该是最早意识到这一点的企业之一,所以他们的口号是"生活,从家开始",可见是把家所带来的生活哲学放在第一位的。于是宜家把家具卖场设计成家里房间的样子,使顾客在购买家具的时候仿佛置身于自己未来的家中,如此,宜家展示给用户的和卖给用户的就不再是家具,而是家居的体验。但是宜家这样的方式依然不是完全的定

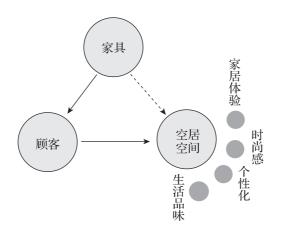


图 4-12 家具产品的价值关系图

制化:首先,展示的空间并不与顾客的居家空间完全契合;其次,在卖场的有限空间里给顾客展示的设计也很有限。因此,很多人到朋友家做客的时候会发现朋友家的家具样式和摆设非常熟悉,因为他们刚好参照了相同的宜家展示方案,所以同质化比较严重。

尚品宅配将实体的卖场搬到了网上,并且通过数码技术将 顾客家的空间也搬到了网上,用户可以在高度仿真的 3D 成像 技术的帮助下选择不同的家具摆放在"虚拟的家"中,挑选 符合自己生活哲学和品味的搭配风格。为用户提供服务的方式 也是多种多样的。第一种方案是用户在网上预约,由服务人员 上门量尺寸并设计解决方案。随后设计人员会根据量尺寸中所 采集的数据建立房屋空间的立体模型。顾客随后可以到体验门 店在自己的房屋模型中放入虚拟的家具,从而感受不同风格和 不同布置下的效果, 顾客也可以选择由设计师推荐的设计方 案。在完成在线的设计后,顾客可以立即在系统上下单,订单 立刻传送到工厂开始生产,用户还可以在线跟踪生产进度和修 改订单,真正做到从测量、设计、生产到布置的完全定制化解 决方案。第二种方案是用户可以下载"我家我设计"App, 利 用手机测量房间尺寸后快速绘制出自家的平面户型图, 软件随 后自动生成家居的三维立体环境。用户可以轻松洗用海量家具

建材在立体环境中进行虚拟装修和在线下单。如果还想偷懒,尚品宅配还提供上百个房间的经典户型图供用户选择。第三种方案是在线寻找设计师帮用户完成新家的定制,在报名成功后将自动生成需求贴,用户可以解说需要的设计要求并上传户型图,随后设计师会在线与顾客沟通共同制定设计方案,三个工作日后一个完整的方案就会提供给用户,待用户确认后即可由设计师完成网上下单。

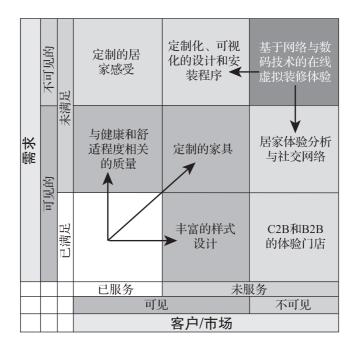


图 4-13 尚品宅配的创新矩阵

使用这样的方式,尚品宅配削减掉了昂贵的卖场租赁和管理费用,将库存基本降到了零,用最小的成本为用户提供了居家体验,并且最大限度地满足了用户定制化的需求。除此之外,每一个用户都为尚品宅配贡献了一份设计方案和数据,从这些数据中进行深度的挖掘,就可以更好地了解不同用户人群的不同需求,从而为未来的用户提供更加精确的服务。

主动式创新工具应用总结

从冰山理论来看,产品所创造出来的商机,其实只是浮出水面的冰山一角而已,潜藏在水面下的、来自服务所带来的商机才是无穷庞大的。过去制造业习惯以制造导向看市场变化,现在必须要反过来,制造出以服务为导向的产品,才能支配市场;未来谁能从硬件转移至软件、将数据转化成信息、将销售产品转换成销售服务,谁就会是下一波市场兴起的赢家。

对企业而言,转型提供服务化产品不是凭空跳跃的改变,而是以自己现有的核心产品与技术为中心,向外延伸相关配套服务。这些产品和服务必须以顾客的立场思考,才能设计出具

有商业价值的产品及服务;同时为了提高同行的进入障碍,创新技术与企业管理的规划亦不可省略或忽略。随着科技的快速发展,企业及社会整体已从机械化、自动化的年代进入机电整合的时代,不久的将来将全面进入信息与机电整合的时代,企业所提供的产品亦将不再是一个单纯的、单向的商品,而是会与外部相关信息连结的产品及服务组合。

第5章 案例与实践

结合前几章的理论体系与技术思路,本章给出一些利用工业大数据进行价值创造的典型实践案例,包括以智能机床为代表的智能装备应用,以丰田、富士康生产线为代表的智能工厂应用,以工业大数据环境下的 GE、中国船舶工业集团公司为代表的智能服务应用。

5.1 智能装备

John Deere 农业信息化服务与精细管理

John Deere 是美国一家传统的农用机械制造企业,中国、 巴西等国的低价农业机械进入美国后对他们造成了很大的冲 击。但是他们在琢磨的是农业机械和农作物等选项里农夫真正 的价值是什么?可能大家会想农夫需要的是农业机械,这是我 们的传统思维,但是如果从农夫的角度去思考就会发现,农夫所需要的并不是农业机械,而是对土壤质量和农作物产量的管理,农业机械只是农夫去实现这些需求的手段。在理解用户真正的需求之后,John Deere 开始分析用户需求的缺口,于是他们发现,农夫对土壤进行松土、灌溉和施肥的过程中主要依靠的是教程和经验,却并不了解土壤真实的成分状态,因此对于整片土地都采用无差别的管理和培育方式。在意识到用户真正的需求缺口之后,John Deere 的思维就从以前的"卖给农夫农用机械"转变成了"帮助农夫提高收成"。

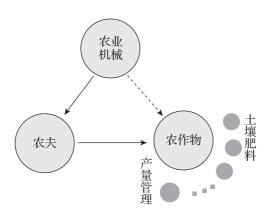


图 5-1 农业精细管理

来源: Jay Lee, www. Dominantlnnovation. com

那么农夫不可见的价值 GAP 在什么地方?农作物需要土壤、水、湿度、肥料等,但是土壤的状况、环境状况、水和肥

料的最佳匹配等都是农夫不可见的需求,能够为农夫提供这些信息就自然竞争力大了。于是 John Deere 在农机上安装上了GPS 和测试土壤成分的传感器,在种植前可以就每一块土地的成分进行监测分析,这些数据通过无线网路传输到云端,计算出每一块土地中各类肥料的成分,用户可以通过 APEXTM Farm Management (农业管理)平台上获得土壤状态分析的报告以及对种植不同农作物的适用程度,然后再根据农夫计划种植的农作物提供需要施加的肥料类型和数量,并把化肥厂商的信息告诉农夫帮助他们在线下单。这样在提高了产品竞争力的同时,还可以向化肥厂商收取了中介费,以及从农夫手中收取农作物



图 5-2 John Deere 的"精智"农机服务体系

产值的管理费用。于是 John Deere 从一家卖农机的公司变成了一家卖农作物生长管理服务的公司。中国和巴西等国的农机依然在红海内依靠价格拼杀,但是 John Deere 已经在蓝海中赚取提供服务的钱了。

具有自省性的加工机床——高圣 (Cosen) 带锯机床

高圣是一家生产带锯机床的中国台湾公司,所生产的带锯 机床产品主要用于对金属物料的粗加工切削,为接下来的精加 工做准备。机床的核心部件是用来进行切削的带锯,在加工过 程中带锯会随着切削体积的增加而逐渐磨损,将会造成加工效 率和质量的下降,在磨损到一定程度之后就要进行更换。使用 带锯机床的客户工厂往往要管理上百台的机床,需要大量的工 人时刻检查机床的加工状态和带锯的磨损情况,根据经验判断 更换带锯的时间。带锯寿命的管理具有很大的不确定性,加工 参数、工件材料、工件形状、润滑情况等一系列原因都会对带 锯的磨耗速度产生影响,因此很难利用经验去预测带锯的使用 寿命。切削质量也受到许多因素的影响,除了材料与加工参数 的合理匹配之外,带锯的磨耗也是影响切削质量的重要因素。 由于不同的加工任务对质量的要求不同,且对质量的影响要素 无法实现透明化、因此在使用过程中会保守地提前终止使用依

然健康的带锯。

因此高圣意识到,客户所需要的并不是机床,而是机床所带来的切削能力,其核心是使用最少的费用实现最优的切削质量。于是高圣开始从机床的 PLC 控制器和外部传感器收集加工过程中的数据,并开发了带锯寿命衰退分析与预测算法模块,实现了带锯机床的智能化升级,为客户提供机床生产力管理服务。

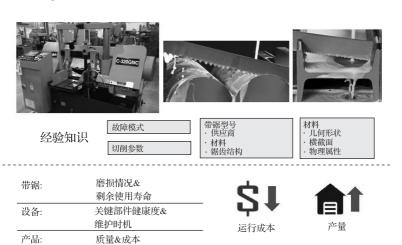


图 5-3 带锯机床智能维护的关注问题

在加工过程中,智能带锯机床能够对产生的数据进行实时分析:首先识别当前的工件信息和工况参数,随后对振动信号和监控参数进行健康特征提取,依据工况状态对健康特征进行

归一化处理后,将当前的健康特征映射到代表当前健康阶段的特征地图上的相应区域,就能够将带锯的磨损状态进行量化和透明化。分析后的信息随后被存储到数据库内建立带锯使用的全生命信息档案,这些信息被分为三类:工况类信息,记录工件信息和加工参数;特征类信息,记录从振动信号和控制器监控参数里提取的表征健康状态的特征值;状态类信息,记录分

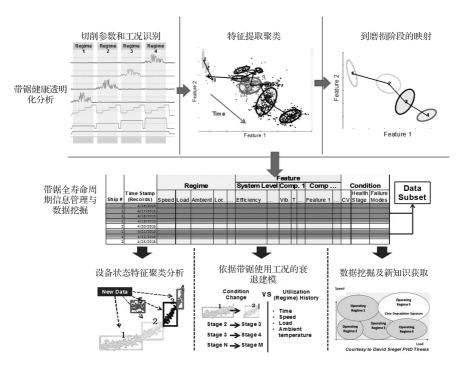


图 5-4 带锯机床智能管理

析的健康状态结果、故障模式和质量参数。大量带锯的全生命信息档案形成了一个庞大的数据库,可以使用大数据分析的方法对其进行数据挖掘,例如通过数据挖掘找到健康特征、工艺参数和加工质量之间的关系,建立不同健康状态下的动态最佳工艺参数模型,在保障加工质量的前提下延长带锯使用的寿命。

在实现锯机床"自省性"智能化升级的同时,高圣开发了智慧云服务平台为用户提供"定"制化的机床健康与生产力管理服务,机床采集的状态信息被传到云端进行分析后,机床各个关键部件的健康状态、带锯衰退情况、加工参数匹配性和质量风险等信息都可以通过手机或PC端的用户界面获得,每一个机床的运行状态都变得透明化。用户还可以用这个平台管理自己的生产计划,根据生产任务的不同要求匹配适合的机床和能够达到要求的带锯,当带锯磨损到无法满足加工质量要求时,系统会自动提醒用户去更换据带,并从物料管理系统中自动补充一个带锯的订单。于是用户的人力的使用效率得到了巨大提升,并且避免了凭借人的经验进行管理带来的不确定性。带锯的使用寿命也得以提升,同时质量也被定量化和透明化地管理了起来。

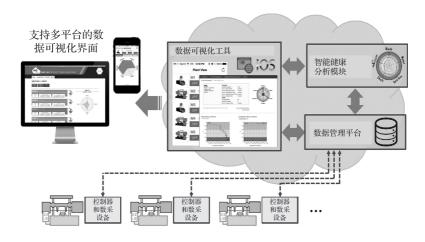


图 5-5 高圣带锯机床智慧云服务

高圣的智慧带锯机床和智能云服务在 2014 年的芝加哥国际机床技术展 (IMTS) 上推出后赢得强烈反响,被认为是智能化设备的杰出示范,赢得了广大客户的欢迎和青睐。

5.2 智能工厂

自省性的生产系统对生产效率带来的巨大提升——某 纸尿裤生产线

某世界500强的生活消费品公司每年在纸尿裤市场占据超

过100亿美元的市场份额,在纸尿裤的生产过程中曾经遇到过令人十分头痛的问题:在完成纸尿裤生产线从原材料到成品的全自动一体化升级后,生产线的生产速度得到了大幅提升,每秒钟能够生产近百米的纸尿裤成品。然而新的生产线建成后一直没有办法发挥最大的产能,因为在高速生产过程中某一个工序一旦出现错误,生产线会进行报警并造成整条生产线的停机,随后由现场的工人将生产错误的部分切除后再重新让生产线运转,这样做的原因是一旦某一片纸尿裤的生产发生问题会使随后的所有产品都受到影响,因此不得不将残次部分剔除后重新开机。

为了提升生产线的生产效率,这家公司与 IMS 合作对纸 尿裤生产线的监控和控制系统进行了升级。我们首先从控制器中采集了每一个工序的控制信号和状态监控参数,从这些信号中寻找出现生产偏差时的数据特征,并利用数据挖掘的分析方法找到正常生产状态和偏差生产状态下的序列特征。随后用机器学习的方法记录下这些特征,建立判断生产状态正常和异常的健康评估模型。在利用历史数据进行模型评价的过程中,该健康模型能够识别出所有生产异常的样本,并用 0~1 之间的数字作为当前状态即时动态监控指标。于是

在生产过程中的每一个纸尿裤都会被赋予一个0~1的健康值,当系统识别出某一个纸尿裤的生产出现异常时,生产系统将在维持原有生产速度的状态下自动将这一产品从生产线上分离出来,且不会影响到其他产品的生产和整条生产线的运转。

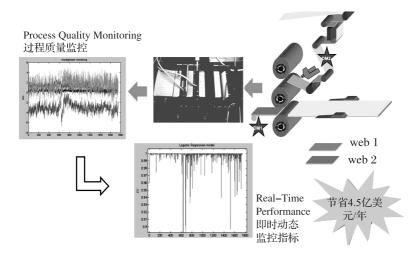


图 5-6 过程质量监控体系

这项技术后来被纸尿裤生产公司集成到了控制器当中,升级后的生产线实现了近乎于零的停机时间,也使生产线实现了无人化操作,每年由于生产效率提升所带来的直接经济价值就高达4.5亿美元。

从精益工厂到智能工厂——丰田、NISSAN 机器人生产 线管理

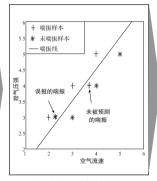
以丰田和 NISSAN 为代表的日本汽车制造企业是精益制造 的典范, 在生产过程管理和设备使用维护方面具有严格的执行 规范和持续改进的文化机制,并且在生产流程监控和质量管理 方面使用了大量的统计工具,确保在质量发生偏差时能够及时 地进行纠正。这些方法在使用初期很快显示出了巨大的价值, 使产品质量和生产过程中的浪费得到了极大的改善. 也帮助日 本汽车在美国市场占据了半壁江山。然而在精益制造推行到一 定程度之后,这些企业开始发现提升的空间越来越小,一些设 备的停机和产品的质量问题无论如何进行持续改善都无法完全 消除,即使严格按照操作规范、每天对设备进行点检,定期对 设备进行预防性维护,依然避免不了设备故障停机的现象。这 是因为精益管理所解决的只是可见的问题和浪费, 在问题发生 时及时地发现和解决,却无法去预测和管理不可见因素造成的 影响。于是这些企业纷纷意识到大型制造系统及设备须更好地 应对动态的、变化的生产环境和客户需求,将固有的静态六西 格玛管理模型改进为动态预测模型,从而将简单的生产制造偏 差评估转化为预测型衰退评估,开发了许多可大规模应用的在 线预测分析工具。

以丰田公司的空气压缩机智能化升级为例,为了改进离 线空气压缩机激流现象规避控制的准确度和效率,使用数据 驱动的工具为激流曲线进行建模,为入口导流叶片设计反馈 控制,在避免压缩机激流现象发生的同时尽可能靠近最佳效 率区间。然而由于许多变量都与产生激流现象有关. 激流曲 线的确切位置很难被准确定位,因此在实际操作过程中大多 选择保守的做法, 使空气压缩机的运行参数尽量远离激流曲 线,但这却造成了压缩机能耗的增加。为了有效解决这个问 题、丰田公司引入了 IMS 的数据驱动建模方法、采集了在激 流和非激流状态下的分类控制和监控参数,利用主成分分析 方法将复杂多维的数据在保留最大方差的基础上进行了降 维。随后利用支持向量机对激流和非激流状态的数据主成分 建立了分类模型。分类模型的边界确保了激流和非激流状态 的参数之间的距离最远,因此可以作为最佳激流曲线的边 界。最终,通过验证的预测分析工具被集成到了压缩机的控 制系统中,实现了具有在线激流监控和优化控制能力的智能 压缩机设备。

| 有/无喘振现象数据 | | | | |
|------------|-----------|-------------|--|--|
| | 8月8日第一组测试 | | | |
| | 无喘振 | 有喘振 | | |
| 时间(s) | 2.2-13.2 | 14.2-19.854 | | |
| IGV反馈(%) | 23.7297 | 22.6394 | | |
| 压力1(psig) | 15.2714 | 15.258 | | |
| 压力2(psig) | 49.5846 | 49.3911 | | |
| 压力3(psig) | 123.5615 | 123.3989 | | |
| 空气流量(scfm) | 4720.3 | 4618.2 | | |
| 电流(A) | 150.765 | 148.9399 | | |
| IGV指令(%) | 21.5355 | 20.5417 | | |
| BOV(%) | 99.8637 | 99.8637 | | |
| 湿度(RH) | 54.1564 | 54.3121 | | |
| 温度1(F) | 279.2926 | 279.4476 | | |
| 温度2(F) | 255.841 | 256.3763 | | |

输入数据

| | | 变量 特征值 | 356.35 | 109.67 | 69.37 | 31.90 | | 特征值 0.0004 |
|-------|----------|-----------|-------------------------|--------|---------|--------|------|---------------|
| 显著性变量 | ^ | IGV状态 | -0.093 | -0.277 | -0.090 | 0.509 | 特征向量 | 0.0006 |
| | | 压力1 | -0.011 | -0.022 | -0.012 | 0.088 | | 0.0017 |
| | П | 压力2 | -0.048 | -0.009 | -0.070 | 0.209 | | 0.0062 |
| | П | 压力3 | -0.021 | 0.0364 | -0.043 | 0.164 | | 0.0075 |
| | П | 流速 | -0.004 | -0.007 | -0.012 | 0.032 | | 0.5198 |
| | → | 引擎电流 | -0.086 | -0.103 | -0.278 | 0.704 | | 1.2336 |
| サ | → | 湿度 | 0.921 | -0.377 | 0.043 | 0.050 | | 3.5897 |
| | → | 温度1 | -0.340 | -0.764 | 0.470 | -0.117 | | 4.7192 |
| | , | 温度2 | -0.022 | 0.109 | 0.332 | 0.151 | | 7.9533 |
| | | 温度3 | 0.126 0.394 0.754 0.345 | | 31.9019 | | | |
| | | IGV输入压强 | -0.003 | 0.001 | -0.001 | -0.004 | | 69.3744 |
| | | 进气温度 | -0.042 | -0.133 | 0.078 | 0.086 | | 109.6697 |
| | [| IGV进出口压力差 | 0.004 | 0.015 | -0.001 | -0.021 | | 356.3415 |



数据降维—主成分分析

支持向量机分类 (SVM)

非对称支持向量机 分类(ASVM)

图5-7 压缩机喘振预测分析流程

NISSAN 公司在工业机器人的健康管理方面引进了预测分析模型。由于工业机器人被大量使用,且生产环境十分复杂,因此不适合安装外部传感器,而是使用控制器内的监控参数对其健康进行分析。NISSAN 的工业机器人中有相当一部分是六轴机械臂,任何一个轴发生故障都会造成机械臂的停机。在使用伺服轴的转速信号对机械臂的工况进行区分后,再对每一个工况内的状态参数(如扭矩和温度等)建立健康评估模型,从其分析结果中可以发现在故障发生前的三个星期前就可以预测到早期故障特征。

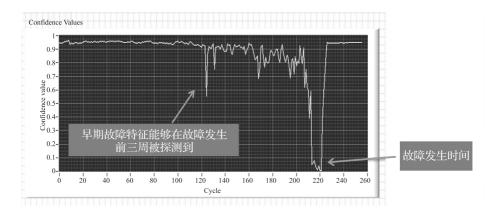


图 5-8 对机械臂进行健康预诊的分析结果

随后 NISSAN 开始在六轴伺服机械臂上推广预测分析模型,在大量机械臂的数据被采集和分析的条件下,对不同种类和运行工况的机械臂进行了聚类分析,形成了一个个机械臂的

"虚拟社区",社区内的机械臂的数据分析采用集群建模的方法,通过比较每一个机械臂与集群的差异性来判断其处于异常的程度,并对集群内所有机械臂的健康状态进行排序。

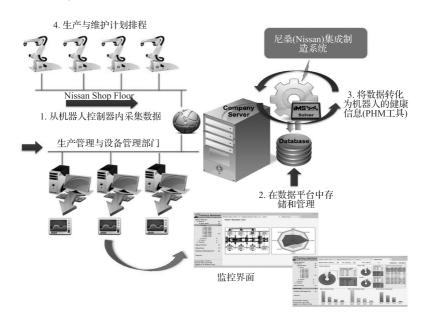


图 5-9 NISSAN 工厂机器人健康预测分析管理系统

在对机械手臂的健康状态进行定量化分析之后,NISSAN对分析结果进行了网络化的内容管理,建立了"虚拟工厂"的在线监控系统。在"虚拟工厂"中,管理者可以从生产系统级、生产线级、工站级、单机级和关键部件级对设备状态进行垂直立体化的管理,根据设备的实时状态进行维护计划和生

产计划的调度。该系统还能够每天生成一份健康报告,对生产线上所有设备的健康状态进行排序和统计分析,向设备管理人员提供每一台设备的健康风险状态和主要风险部位,这样在日常的点检中就可以做到详略得当,既不放过任何一个风险点,也尽可能避免了不必要的检查和维护工作,实现了从预防式维护到预测式维护的转变。

红领集团:从服装厂转型而来的大数据工厂

2014年,红领以零库存实现150%的业绩增长,以大规模定制生产每天完成2000种完全不同的个性化定制产品;公司的核心竞争力是一套大数据信息系统,任何一项数据的变动都能驱动其余9000多项数据的同步变动,真正做到了从用户的个性化设计订单到生产过程的"零时差"连接。

红领走了一条极端的定制路线,生产的每一件衣服从生成订单前就已经销售出去,并且每一件衣服都是由用户亲自完成的设计。这在成本上只比批量制造高 10%,但收益却能达到两倍以上。实现低成本、高定制化生产的背后是一套完整的大数据信息系统,任何一个用户一周内就能够拿到定制的衣服,而传统模式下却需要 3~6 个月。

定制的第一步是用户数据的采集,最重要的数据是用户的量体。量体数据采集的方案主要有四套:第一套方案,用户可

以根据以往在任何一个大品牌服装上体验的自认为最合适的数据,从红领的数据库中自动匹配对应的量体数据;第二套方案,通过 020 平台,在任何地点预约上门量体;第三套方案,用户可以到红领的体验店直接采集量体数据,整个过程只需要5分钟,采集19个部位的数据;第四套方案,用户也可以选择自己的标准号,但是要对自己的选择负责。完成用户的数据采集之后,红领就会形成一个用户的数据档案,在未来用户进行新的定制化设计时可以直接使用以前的数据。

除了量体数据的定制化,最大程度满足西装的合身之外,客户还可以定制衣服的面料、图案、光泽、颜色,甚至是一些极其微小的细节。比如纽扣的形状和排列方式、口袋的样式、里衬的走线纹路,甚至是添加一个水滴形的钢笔口袋,或是印上自己家族的徽章和名字。即使是在如此复杂和高度定制化的情况下,依然可以确保在7天内为用户完成制作并发货。这其中的秘诀依然离不开数据:当客户在网上完成下单之后,这些定制化的设计被转变成数以万计的生产指令数据,并按照工序被记录在数十个磁卡中.形成了一件衣服在制作过程中的"身份证"。

一件定制化西服的生产流程可以简单描述为:工厂的订单信息全程由数据驱动,在信息化处理过程中没有人员参与,无须人工转换与纸质传递,数据完全打通,实时共享传输。所有员工在各自的岗位上接受指令,依照指令进行定制生产,员工

真正实现了"在线"工作而非"在岗"工作。当一件正在制作中的西服到达一个工人面前时,员工可以从互联网云端获取这件西服的制作指令数据,按客户的要求操作,确保了来自全球订单的数据传递零时差、零失误率,用互联网技术实现客户个性化需求与规模化生产制造的无缝对接。

在生产线的智能化升级方面,基于 MES、WMS、APS 等系统的实施,通过信息的读取与交互,与自动化设备相结合,促进制造自动化,流程智能化。通过 AGV 小车、智能分拣配对系统、智能吊挂系统与智能分拣送料系统的导入,加快整个制造流程的物料循环,通过智能摘挂系统、线号识别系统、智能取料系统、智能对格裁剪等系统的导入实现整个制造流程的自动化。除此之外,红领还利用大数据分析解决生产线平衡和瓶颈问题,使之达到产能最大化、排程最优化及库存和成本的最小化。

红领经过10多年的数据累积,建立了个性化产品数据模型以及数据累积管理模型,基于数据模型完善大数据,目前具有千万种服装版型,数万种设计元素,满足用户个性化定制需求,组合出无限的定制可能,目前能满足近100%的个性化设计需求。红领在产品设计方面采用了与传统服装行业不同的三维计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助工艺规划(CAPP)方式,对款式、尺码以及颜色等都进行智能化管理。红领使用大数据技术的最核心价值就是对C2M各生态链上的海量数据

进行收集、存储和分析,构建了以下5个方面的核心能力:

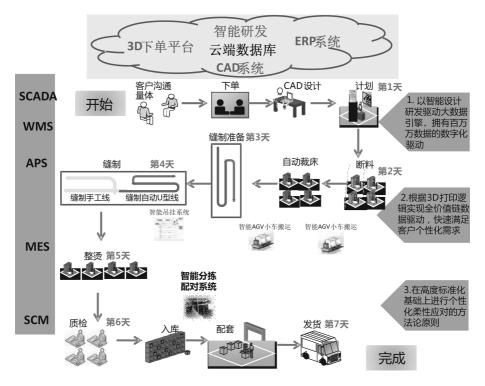


图 5-10 红领智能制造单元的数字化工厂总体设计构架

规模化:将软件、硬件设备资源进行规模化集成,提升设备的计算能力;

可靠性:用分布式数据中心的存储和备份,保证了数据的 容灾性; 虚拟化:将软、硬件相互隔离,虚拟化应用,减少了设备之间的依赖性;

按需服务:建立云端的虚拟资源池,为各模块提供弹性支撑服务;

通用性:不用针对具体的应用,在"云"的支撑下可构造不同的应用。

正是有了这样的一套大数据驱动的生产系统,红领员工才 发出这样的感慨:现在人人都是设计师,每一件西服都是一个 故事,从衣服上可以猜测它背后是什么样的人来穿,甚至以什 么样的心情来穿。

5.3 智能服务

GE 工业互联网

IMS 在 2000 年就率先提出了智能维护系统的观念:利用传感器从设备端采集数据,再利用本地的智能分析软件(由 Watchdog Agent[®]作为驱动内核)进行分析后获得设备当前的健康状态,对设备的健康状态进行预测后采用预测性维护方式,实现设备的零故障运行。同时将设备使用过程中积累的大量数据进行深度挖掘后形成的经验知识反馈到设计端作为改善的依据,从而形成设备闭环的全生命周期信息管理。时至今日,这

样的理念在工业界产生了深刻的影响,开始被越来越多的公司借鉴和实践,成为了工业4.0智能信息服务体系的雏形。

在第四次工业革命的浪潮中,美国 GE 率先提出了"工业互联网"(Industrial Internet)概念,并在硅谷新成立专注于"工业互联网"业务的独立部门(全球软件和分析中心),于2012年11月发布的"工业互联网"项目报告——《工业互联网:打破智慧与机器的边界》,确定了未来装备制造业智能服务转型的路线图,将"智能化设备""基于大数据的智能分析"和"人在回路的智能决策"作为工业互联网的关键要素,并将为工业设备提供面向全寿命周期的产业链信息管理服务,帮助用户更高效、更节能、更持久地使用这些设备。

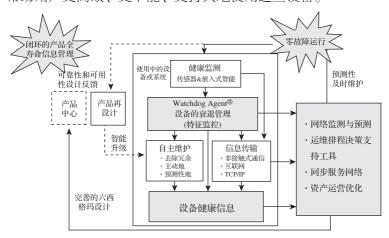


图 5-11 智能维护系统设计构架

来源· IMS Center

1. GE 工业互联网基本要素与应用设计

GE 所设计的工业互联网体系主要有三个基本要素: 智能设备、智能分析和智能决策。

GE 在工业互联网的公开报告当中也指出,工业互联网就是数据流、硬件、软件和智能的交互,而当智能设备、智能分析、智能决策这三大要素与机器、设备、机组和网络整合在一起的时候,工业互联网的全部潜能就会体现出来。生产率提高、成本降低和废物排放的减少所带来的益处将带动整个产业链与工业经济发展。

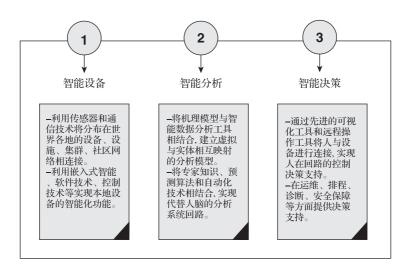


图 5-12 工业互联网的三要素及其含义

2. GE 工业互联网框架设计

在 GE 的工业互联网设计中, 其框架涵盖了 5 个层次: 连接 (connect)、监 控 (monitor)、分 析 (analyze)、预 测 (predict) 和优化 (optimize)。每一层次 GE 都有相应的技术 作为匹配,每一层之间都有标准的信息接口和分析流程,使 GE 能够为客户提供完整的工业互联网价值创造解决方案。更值得关注的是,每一层都有其明确的目标和价值,这样使用户 在技术导入时能够循序渐进和逐渐增长信心。

- ☆ 连接:从资产或生产过程以及数据管理到设备价值的数据采集。GE提供了一些可供使用的硬件采集设备,如工业计算机、控制器、Mark VIeS、I/O接口系统等。
- ☆ 监控: 重点帮助客户了解资产和生产流程的性能以及可视化。可视化使得用户更加清楚地了解机器的操作情况和运行状况。如今的软件可以结合功能强大的操作界面解决方案,对实时决策、高性能和可靠性予以支持。一些可用的软件如 RXi display、Proficy HMI/SCADA-CIMPLICITY 等。
- ☆ 分析: 基于历史和实时数据有助于确定问题的根本原

- 因,从而了解其中的相关系和趋势,并能有效地解决问题。
- ☆ 预测:专注于提供先见之明成为迫在眉睫的问题,这样就可以防患于未然,避免出现问题,推动更宏观的过程的一致性和延长资产的正常运行时间。
- ☆ 优化:最大化资产和流程的性能,以达到所期望的效果,并充分利用工业互联网优势的性能潜力。

在上述核心技术框架中, GE 明确提出了以基于工业大数据分析的智能分析技术为核心、带动实现智能设备与智能决策的技术思路。

同时,GE 也提出了工业互联网的软件技术平台 Predix,其中包括如云计算(Cloud Computing)、可移动性(Mobility)、智慧机器(Intelligent Machine)、现状和位置意识(Presence and Location-Awareness)、协作与社交软件(Collaboration and Social Software)、可穿戴和智能机器人(Wearables and Robotics)等核心技术。GE 同时宣布将自 2015 年向所有企业开放 Predix 操作系统,帮助各行各业的企业创建和开发自己的工业互联网应用,这将极有助于培养工业互联网应用开发生态圈,且更多的应用提供商将刺激这个领域的创新热潮。

3. GE 工业互联网价值分析

从美国 GE 公司工业互联网的实施特点来看,其将工业大数据分析与传统的大数据分析技术充分结合,实现面向工业应用的工程数据分析体系与面向工业对象群体网络的传统大数据分析工具相结合,实现从工业设备到工业系统再到工业群体智能化的有效整合。其面向工业产业链的智能化应用能够带来的价值主要体现在以下几个方面:

- ☆ 以较低成本满足用户定制化的需求。
- ☆ 使制造过程的信息透明化、更加高效、提升质量、降低成本和资源消耗、更有效的管理。
- ☆ 提供设备全生命周期的信息管理和服务,使设备的使用更加高效、节能、持久;减少运维环节中的浪费和成本,提高设备的可用率。
- ☆ 使人的工作更加简单,甚至部分代替人的工作,在提高生产效率的同时降低工作量。
- ☆ 为产品提供增值服务,产生新的营收增长点;提升产品的品质和核心竞争力,增加用户满意度等。

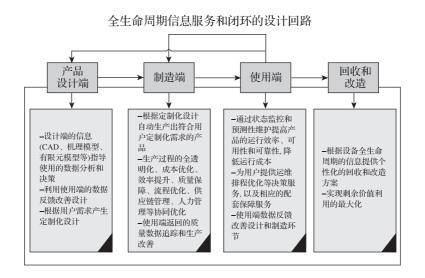


图 5-13 工业互联网在产品不同周期内的价值和服务

GE 公司为工业互联网描绘了很好的未来,并从经济份额、能源消耗以及机械、设施、机群、网络等实物资产这些视角,用一连串的数字量化阐述了工业互联网的巨大潜在规模和价值,并得出结论:"即使是产业层面很小的进步,放大后也会对整个经济系统产生极大益处",并预测到 2025 年由此带动或直接相关的产业产值将约占世界总产值的一半!

中国船舶工业集团公司——"5S"智能信息服务实践

中国目前是世界上的造船大国, 也是航运大国。船舶业作

为中国现代工业体系中不多的拥有完整生态链的行业之一,几十年来,为中国"走出去"的战略发挥了巨大作用,更是国家实施"海洋大国"向"海洋强国"迈进和大力发展海洋经济转变的最重要支撑力量。

在取得了很多巨大的成就同时,也不能回避造船业"船 壳经济"和航运业"海上马车夫"的尴尬现状。如何利用我 国船舶业完整体系下形成的大数据,利用现代物联网的基础, 发挥工业 4.0 时代智能的价值,实现传统制造业和航运业的华 丽转身, 进而发挥船舶业对于整个现代工业的带动效应, 实现 产业升级,中国船舶工业集团公司率先开展了这方面的探索。 该集团下属的中船电子科技有限公司与美国 IMS 中心在 2013 年联合成立了海洋装备信息智能管理与应用技术创新中心,专 注于如何利用产业链各环节的工业大数据与传统大数据的分析 与利用,满足各类用户创造价值的信息需求的研究与应用。这 项工作得到了包括中国远洋运输(集团)公司(COSCO)、招 商局能源运输股份有限公司等多家航运企业, 英国劳氏船级 社、中国船级社等多家第三方组织和上海船舶研究设计院、黄 埔文冲船厂以及中船动力研究院等产业链多家单位的支持与帮 助、目前已经取得了突破性的进展、实现了研究与应用同步发 展的良性循环。

"5S"智能信息服务概念

在新工业趋势下,对于中国船舶工业现状而言,优劣势分析如下:

1. 我们的劣势——"中国制造、外国配套"

在现有大量国外优势船舶配套的市场包围环境下,中国船舶业在船舶装备实体的投入方面经常性地处于研制周期长、但效果不佳的尴尬局面,主流装备与高端配套的核心技术与产品往往掌握在国外企业中;与此同时,从船舶建造本身来讲,中国的制造优势并不强,在趋于同质化的市场竞争中,多数只能靠产能、拼价格的方式获取船舶建造市场的占有率。

2. 我们的优势——"制造大国、航运大国"

中国长期以来占有世界领先的船舶制造、航运市场份额,这从另一方面建立起来中国船舶业在全球市场中的数据优势与体系优势,也就是说,中国拥有着船舶生产与使用的大量数据,也包括有设计、生产、集成、制造、维修、保障、售后、物流等完整的船舶产业链体系。

那么,现在的问题就在于如何利用这些船舶工业大数据来改变这个劣势局面、实现船舶工业的转型升级?即在船舶领域实现"让信息更有价值"的目标。因此,为在船舶领域实现

价值创造,可将目标分解为如下关键要素:

- 1. 海洋 "Sea": 面向用户的环境:
- 2. 船舶 "Ship": 提供信息的立足;
- 3. 系统 "System": 实现应用的表征;
- 4. 智能 "Smart": 达成价值创造的核心:
- 5. 服务 "Service": 体现价值的目标。

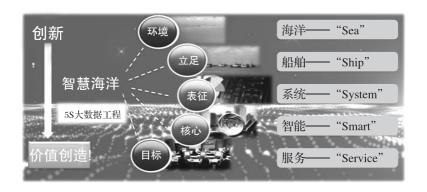


图 5-14 船舶领域"工业 4.0"目标分解示意图

由此,以大数据为基础的五个核心要素可组成"智慧海洋中的5S大数据工程",作为船舶领域的"工业4.0"概念之一进行应用发展。

具体实践:新趋势下我国船舶工业的"价值创造新途径" 在这个面向全产业链的智能船舶服务体系实践中,整个体系 分为了三个主要部分:在船舶上加装的具有自主信息分析与决策 支持功能的智能船舶运行与维护系统(SOMS™系统)、建于北京的智能信息服务主中心和建于各个企业的信息服务分中心。



■ 价值创造新途径

- 以最终用户的价值创造为出发点
- 面向用户价值需求的工业大数据分析能力
- 提供相应的产品与服务
- 实现各类用户新的价值创造
- 进而帮助整个产业升级
- ■核心实践
- 产品:
- 船载智能船舶运行与维护系统SOMS
- 服务: **岸基面向全产业链的智能信息服务中心**

图 5-15 船舶工业 4.0 价值创造途径

船舶上的 $SOMS^{TM}$ 系统与传统系统最大的区别在于:

- 1. 它不是简单的数据采集系统,而是船舶智能分析的运算中心,它按照 CPS 的体系架构,汇集全船数据,面向船上各类活动,自主地开展相应的数据分析和决策支持工作,并按照岸基各类人员的活动需求,进行数据清洗和信息提供。
- 2. 它不再是简单的监控报警和传统的数据分析系统, 突破了传统的阈值报警和穷举式专家知识库的模式, 而是依据各个船舶实际活动产生的数据进行各自独立化的数据分析与利

用,实现了定制化的服务支撑。

3. 构建了一个分布式的具有多智能体特征的 CPS 云,由于每条船舶都有独立的感知与分析体系,其感知与运算能力是可以共享的。一方面体现在将要开始某个具体航线活动的船舶,可以向正在进行该活动的船舶提出信息请求,正在进行该活动的船舶可以利用自身的感知与运算能力帮助前者进行分析运算,将结果告知,这样,前者可以依据这个结果优化航线和活动;另一方面,各个船舶在面向自身活动进行的感知与分析,会不断强化这种数据驱动的自学习体系成长,这种成长会被信息中心发现与整理,并通过卫星通讯等手段实现体系内各个系统的成长。而整个体系间的交互已经不再是原始信号或数据的交互,而是有价值信息的交互,对于通讯的要求与依赖就明显的降低。

岸基智能信息服务主中心与传统远程控制中心、数据中心的最大区别在于:

1. 远程控制并不是智能化,而是利用现代的通讯手段,将船上人的活动转到岸上而已,本质并没有变化;同时,将所有数据不加选择地送回岸基、统一分析与处理,如前所述,是一种数据灾难,而且,一旦这个中心崩溃,整个体系就会崩溃。因此,这个体系中的信息中心并不承担船舶活动的原始数据分析,而是提供船舶之间和船岸之间信息交流的协调和船上

系统成长的远程支持。

- 2. 主中心是整个 CPS 体系建立的枢纽,由于每条船上的 SOMS 系统都是按照 CPS 体系构建的,因此,每条船 Cyber 空间的镜像在主中心都有体现。这样,即使实体消失,在 Cyber 空间该船的知识依然可以帮助体系成长。同时,某个具体船舶的 SOMS 系统崩溃,也可以利用岸基 Cyber 空间的镜像帮助恢复,反之也是一样,一旦主中心崩溃,分布在各个船舶上的 Cyber 空间也可以帮助主中心快速恢复。
- 3. 主中心主要功能还包括面向岸基产业链各环节提供信息服务,所依靠的是船基经过"清洗"和分析后的信息,以及产业链各环节所提供的活动数据(各环节企业并不需要提供自己企业内部活动的全部数据,而是提供影响整个产业链活动相关的数据)。

各个分中心建立在各自企业中,是各自企业活动数据、信息与主中心基于产业链信息分析融合的枢纽。这样,既实现了数据共享所带来的价值最大化,又最大程度地保护了各个企业的核心秘密与竞争力。

由此,以"一个主中心+多个分中心"的形式构建起 "工业大数据分析的协同优化平台+信息服务工作专业化应 用"有效组合的中国船舶信息同盟与协同工作体系。

最终目标是通过国际合作、企业战略合作、集团内部优势资源整合,构建起面向海洋装备全寿命周期、"自主可控"的工业大数据核心分析能力,涵盖海洋装备设计、制造、集成、销售、运营、维护、管理、售后、物流等全产业链的"船载产品——区域服务中心——远程信息支持中心——远程指挥管理中心——船舶造修/配套企业"五位一体的岸海"装备——决策"高端信息与价值创造服务体系和岸海一体的智能信息与价值创造服务体系。

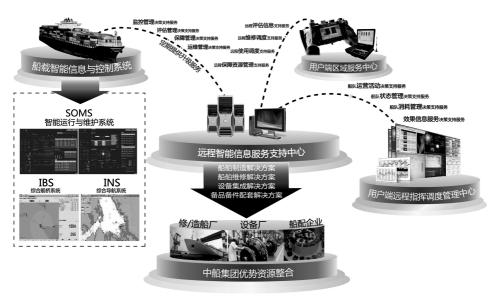


图 5-16 "五位一体"的智能信息服务体系示意图

第6章 竞争力战略新思维

世界金融危机以来,美、德、日等发达国家都将工业的振兴作为恢复本国经济的重大举措,并纳入了国家发展战略。美国与德国分别根据本国的竞争优势出台了《先进制造业国家战略计划》与《高技术战略 2020》,而其中"工业互联网"与"工业 4.0"概念成为了美、德两国新工业战略的典型代表。

2015年6月9日,日本经济产业省公布了《2015年制造自皮书》,强调未来设备应运用效率和价值的 IoT (物联网)和大数据分析作为新的竞争力突破点。与美、德的现状相比,日本虽然在工厂的人力效率、节能效率和生产效率方面具有优势,但很多企业都过于保守,对进一步发展数字化持消极态度。其中亟待改善的问题,当属 IoT 的关键——软件技术和 IT 人才的培养。白皮书中指出:"相对于在德国和美国正在加快的制造业变革,现在还没有(日本)企业表现出重视软件的姿态。"

第6章 竞争力战略新思维

为了赢得新一轮的世界竞争,实现从"制造大国"向"制造强国"的转变,我国也出台了以智能制造为核心的《中国制造 2025》战略规划。那么中国与美、德相比在竞争力基础方面有怎样的差异性?中国在充分理解自身的优劣势的情况下应如何寻找符合自身状况的工业振兴道路?

中、美、徳竞争优劣势分析

World Economic Forum (世界经济论坛) 按照决定国家竞争力的 12 个要素的成熟程度,将国家的发展分为需求驱动、效率驱动和创新驱动三个阶段。美德两国目前处于创新驱动发展阶段,而我国仍处于效率驱动阶段。该论坛发布的 2014—2015 世界竞争力分析报告对各个主要国家的竞争力进行了详细的分析,其中对中、美、德三个国家按照竞争力的主要要素进行了量化评价,接下来我们将对这些数字背后的含义进行详细的分析,并从三国的竞争力战略角度分析其新工业战略的背后意义。

美国工业竞争力分析:

从发展阶段来看,美国目前处于创新驱动阶段,而美国的 基本问题是债务与宏观经济环境。

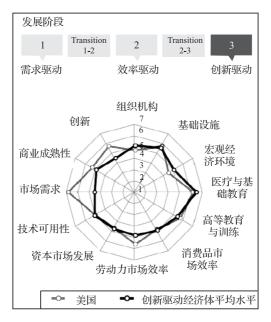


图 6-1 美国竞争力分析图

表面上来看美国推出了一系列举措来改善宏观经济环境, 并于2012年2月出台了《先进制造业国家战略计划》,提出要通过技术创新和智能制造实现高生产率,以弥补其在人力成本方面的劣势,保持在先进制造业领域中的国际领先和主导地位。从2011年开始,美国先后提出了四个国家重大项目,包括增材制造(以3D打印技术为核心)、低耗能半导体、数字化制造与设计创新,以及材料的轻量化。此外,美国GE发布

第6章 竞争力战略新思维

了《工业互联网》白皮书,联合 IBM、思科等 80 多家企业成立了工业互联网联盟,希望依托其互联网和 ICT 技术的绝对优势占领未来产业链的最高端。

然而,美国一系列举措的出发点和支撑点来源于美国制造业最关键的6S工业生态系统,包括:

- ----Space/Aerospace (航天航空)
- ----Semiconductor (半导体)
- ----Shale Gase (页岩气)
- ----Smart ICT Service (智能化信息通信技术服务)
- ---Silicon Valley Spirit (硅谷为代表的创新精神)
- ---Sustainable Talent Pool (可持续人才资源)

美国的航空航天一直是汇聚资金和人才最多的研究领域, 大部分高精尖的技术都是率先在这个领域诞生和实践后逐渐转 移到民用和制造产业的。

半导体是电子产品芯片的基础原料,尤其是低耗能的半导体将会是未来智能硬件的核心,在数据分析规模飞速增长的趋势下,必然将不断挑战芯片的运算能力。

页岩气是未来新能源的代表,目前美国的页岩气产量已占 天然气开采总量的 20%,到 2030 年将达到 50% 以上。页岩气

作为目前储量最大的可替代新能源,将大大改善美国的能源安全战略环境。

信息通讯技术服务一直是美国的优势所在,在传统的信息通讯服务中加入智能数据分析,就可以产生更大的价值。未来的物联网并不是简单地把事物的数据汇集起来,更重要的是挖掘这些数据与价值之间的联系。智能信息通讯技术既可以直接面向用户提供增值服务,又可以面向生产系统提供信息管理,是工业 4.0 最重要的核心竞争力所在。美国在工业大数据分析方面的研究积累远远早于其他国家,从 2008 年开始美国的PHM 学会就开始举办工业数据分析竞赛,数据的贡献者包括美国的企业、高校和研究机构。这个竞赛中所使用的数据可供全世界的研究者下载,比赛的胜出者也会受邀在其期刊中发表论文并共享好的分析方法。IMS 参加了从 2008 年至今的 8 次数据竞赛,获得了其中的 5 次冠军,所贡献的方法在工业界中得到广泛应用。

以硅谷为代表的创新精神、以及可持续的人才资源,都是 美国的技术和产品创新源源不断的保证,硅谷精神与美国梦一 样,都是美国价值观中的重要品质。

分析美国 6S 的生态系统我们不难发现,美国力图在生产系统最基础的原料端(能源和材料)、工业产品的使用

服务端(互联网技术和 ICT 服务)以及不断由创新驱动的商业模式端,牢牢掌握住工业价值链当中价值含量最高的几个部分,这样即便德国的制造设备再先进、中国的制造系统再高效,都可以从源头和价值的投放端确保其竞争力的核心优势。

德国竞争力分析:



图 6-2 德国竞争力分析图

德国为了应对越发激烈的全球竞争,巩固其在制造业的领先地位,从 2013 年开始实施"工业 4.0"计划,这是德国《高技术战略 2020》确定的十大国家未来项目之一。以此来振兴德国制造,成为世界领先的制造市场和提供商。

同样,德国也有鲜为人知的秘密武器帮助德国实现其宏伟目标,那就是以中小企业为核心的隐形冠军企业,以及德国的务实的学徒制双元教育休系,这两者为德国工业提供了扎实的基础,是德国制造难以被撼动的地基。

德国的隐形冠军企业几乎不被外界所关注,他们规模都不大,年收益也少于 50 亿欧元,但却在其领域占领着很高的市场份额,在全球位列前三。这些中小企业占据着德国出口总量的 70%,他们的销售回报率平均超过德国普通企业的两倍,拥有着高水平的研发能力与技术创新能力、注重产品价值与客户的贴合、高质量和高效率的制造能力、精益化和柔性化的全球化高效运营体系,他们中很大一部分企业已经传承了百年。

高素质的技术工人和工程技术专业人才历来被看作是德国 经济发展的支柱,是"德国制造"产品的质量保障。旨在培 养专业技术工人的职业教育在德国社会发展中承担着重要的角 色,并形成了一套相对完备而且不断调整的法规体系,保障了 以双元制为主要特征的职业教育长期稳定的发展。学徒不仅要

第6章 竞争力战略新思维

在生产车间里跟随师傅学习实用技术,还要到学校里学习必要的理论知识。在德国,每年约计 60 万年轻人开始接受双元制职业教育,约占同龄人数的三分之二。

然而德国竞争力的最薄弱环节在于人力资源的低效,德国 学徒制的人才培养模式并不能像美国那样按照统一的标准和流 程大规模培养和引进人才,且德国劳动者的权益意识非常强, 时常发起罢工使得工厂停产。这一点恐怕不仅仅是德国,而是 整个欧洲都存在的问题。这也是为什么德国的装备制造业实力 如此强劲的原因,背后是其由于劳动效率较低而不得不大量使 用自动化的无奈。

中国竞争力分析:

市场规模所带来的商业机会是中国经济的有力推动,使得产业快速崛起。中国的经济来源是在广大民众的庞大消费需求,例如:在 2030 年中国将要购进 2000 架飞机,这直接推动了美国航空业的发达,以至于美国开始了发动机的量产。中国转型方向的重点包括核心零部件技术,如轴承、传感器、控制器、发动机、压缩机等技术。除此之外,自动化程度由于劳动力成本的改变也慢慢变得重要起来,因为很多地方的工厂都出现了招工难的问题。但质量

与效率目前仍然是需要加速改进的环节。

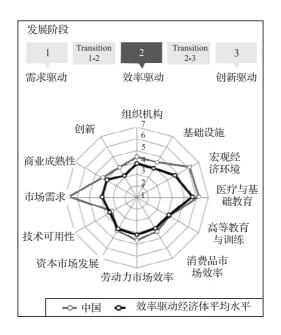


图 6-3 中国竞争力分析图

中国刚刚完成了从要素驱动到效率驱动的阶段,以往是土地红利到人口和资源红利再到市场红利;未来要到从人口红利到人才红利,这样才能产生技术红利。工业4.0不是简单的技术引进,更是人才引进和人才的持续培养。

中国的宏观经济状态和资本市场的活跃是中国竞争力的重要亮点,然而在宏观经济持续升温和资本市场投资投

资总量不断增长的背后,却也有资本效率不足的问题。中国的资本市场效率不足体现在中国目前依然是话题经济和机会导向型的投资方式,即某一段时间由于国家政策或某一行业的利好话题会使资本和人才大量涌入,比如2008年的光伏行业、2010年的风电行业和2005—2012年的房地产行业等。这也导致了中国的新兴行业市场的可持续性较差,其背后反映出来的是资本市场并没有以创新为导向去服务于可持续的创新需求。

中国制造的挑战与转型方向

中国制造目前亟需解决的问题包括:重要零部件和关键材料依然依靠进口;劳动力红利将在未来几年内完全耗尽,并进入人口老龄化和劳动力短缺的时代,因此亟需加速实现自动化;制造质量、效率和污染亟需改善;国内过于情绪化的市场与机会导向的发展模式使行业的发展无法健康和持续进行;知识产权保护的不足严重影响创新的积极性。

因此中国在进行制造业转型的过程中应该首先重点保障以下几点基础条件:

1. 加强对知识产权的保护,在社会上建立鼓励创新的保障机制,培养创新的土壤。

- 2. 扶持中小企业发展,建立一批小而强的中小企业。在 美国小企业是创新的主力军,为大公司提供了源源不断的创新 技术和人才;而在德国,一大批中小企业隐形冠军为德国制造 提供了强有力的基础保障,使德国制造的质量从产业链的最前 端开始就得到了保障。而中国的中小企业还远远没有达到美国 和德国的质量,依然是机会为导向的发展模式,即哪里有了最 新的机会和政策支持就大量涌入,同质化的现象过于严重,创 新性的多样性亟需提高。
- 3. 建立可持续的人才培养模式和人才体系。可持续的人才培养模式不仅包括大学,还包括企业内的人才培养。大学的人才培养需要克服的是创新能力不足和同质化较为严重的问题,而企业应该注重员工专业技能和研发能力的培养。在美国,70%以上的新技术研发在企业完成,而中国的绝大多数企业几乎没有任何研发能力,而是将大部分精力放在了市场与管理方面。在这方面中国也可以借鉴德国的人才培养模式,即高校与企业在人才培养方面的深度合作,在学校学习理论知识的同时通过在企业的技术实习获得实践经验,同时也可以在实践中认识到自己理论知识的不足,回到学校之后能够更有效地进行知识的补充。
- 4. 打破观念的壁垒,建立新的商业模式。产业链和价值链上相关企业之间,信息的共享和活动的协同,实现跨界的融合。在

第四次工业革命的背景下,不同行业的企业之间的界限将越来越 模糊,企业之间通过信息平台建立起连接,使企业之间能够共享 信息资源,并面向消费者的服务开展合作,这将成为许多行业新 的增长点。价值链和产业链的部分企业往往在获取某些数据方面 比上下游企业更具有得天独厚的条件,那么这些数据和信息通过 共享或交易的方式传递到其他企业手中就可以创造巨大价值。例 如美国西南航空飞机的发动机会在高度每变化 1000 英尺 时采集 大气数据,并分析该地区的降水可能性。这些信息对航空公司 而言至关重要,可以根据对天气的预测对航班进行排程优化, 以实现最少的航班延误率。飞机发动机采集的数据往往比气象 中心还要准确, 因为气象中心所进行的定点静态数据采集远远 比不上西南航空所掌握数据的动态性、实时性和密集性。这个 例子告诉我们企业间的信息共享和跨界融合能够带来巨大的价 值,而在这个过程中打破观念的壁垒往往比打破信息的壁垒要 更加困难,企业间的合作模式将决定工业智能化体系的成败。

中国 2015 年推出了《中国制造 2025》的战略规划,作为中国制造业转型的指导性纲领。规划中既提到了对基础能力和技术的发展,也瞄准了 10 个重点领域的实践,这十个领域分别是新一

^{○ 1} 英尺 = 0.3048 米。

代信息技术、高档数控机床和机器人、航天航空装备、海洋工程装备和高技术船舶、先进轨道交通装备、节能与新能源汽车、电力装备、新材料、生物医药及高性能医疗器械和农业机械装备。

首先在制造业的基础能力建设方面,中国制造业转型需要 着重建设以下几个重点领域的竞争能力:

- 1. 在传感器和数据采集设备方面弥补技术的缺失和不足。
- 2. 数据的收集和管理方面,注重数据质量的管理和数据内容的管理(Content + Context),提升在数据智能化分析与应用方面的能力,培养一批具备工业数据分析能力的人才。
- 3. 建设可重组的数据平台,应对不同的控制器、传感器和分析需求的多样性,形成互联互通的工业信息网络。
- 4. 通过数据分析去了解生产过程中的不可见因素,如质量发生异常的原因等,然后再往回看制程、设备和关键部件的存在问题。
- 5. 通过智能软件的开发实现设备的智能化升级, 使设备 具备自省性和自比较的能力。
- 6. 通过对生产系统的透明化管理,实现近乎于零的故障 停机和无忧的生产环境。
 - 7. 鼓励创新,从 Made in China (中国制造)到 Innovated

in China (中国创造)。

8. 建立自己的一套工艺哲学和使用哲学,制造设备虽然是 德国设计和生产出来的,但是中国应该比德国更懂得如何使用。

以上几点建议对于制造业的各个领域均有较好的普适性, 在这些方面的技术进步有助于帮助制造业整体的能力提升。在 十个重点领域的实践方面,**我们可以将其分为离散型制造、连 续型制造、智能装备和智能服务与智能管理四个方面**,对于每 一个领域的具体建议如下:

离散制造:对于小批量、多品种、高价值的离散制造产品,要注重预测型生产,结合智能服务,实现定制化的整套解决方案。根据用户的使用需求,提供定制化的选型、设计和服务方案,并从客户使用数据反推需求,进行定制化的产品改进和提升。对于生产线式的大规模制造系统,要更加节能和高效,通过对制造过程的数据分析实现端对端的透明化,利用数据的预测分析去管理设备和提升质量。

连续型制造:如钢铁冶金行业等连续型流程制造行业,要 注重生产过程中的质量透明化,将产品质量、生产工艺参数和 设备健康三者相结合,实现整个制造过程中的质量风险和成本 风险透明化。

智能装备:利用传感器和智能软件实现设备的自省性。自

省性的设计要以设备自身的任务为出发点,实现设备自身对其 所承担的生产环节和生产任务的自省性和自预测性,并根据自 身的状态差异反馈到控制器端,实现根据状态变化的自我调节。

智能服务与智能管理:要建立中国自己的工业互联网,在工业产品的使用和运维端,尤其是对高铁、船舶和航空航天等重要领域提供智能服务,起到商业模式创新与制造系统创新纽带作用,实现价值的倍增。在智能化管理方面,注重数据的内容化管理,基于数据分析实现公司活动的协同优化,实现资源的高效利用。

工业化与信息化的两化深度融合也是《中国制造 2025》 规划的亮点之一,在通往工业信息化的道路上中国应该在 6S 方向投入更多的资源和精力:

Sensing: 传感器研发

Software Platform:数据分析和功能应用平台,以及专业分析软件的研发

Security: 网络安全

Standard:数据的格式、接口、传输的标准化以及数据可视化的标准化

Speed:数据的分析速度,数据不是单纯靠量,而是要通过数据的 reduction (简缩)来提高数据的分析和应用速度,使数据流迅速运转起来

第6章 竞争力战略新思维

Service: 数据与服务的连接

值得我们欣慰的是, 国内很多企业在工业大数据和工业 4.0 的实践中已经走在了前列,并且越走越快。例如三一集团 在完成了生产线的自动化升级之后正进一步向智能化迈进,在 临港产业园建成了使用智能制造车间系统的挖掘机生产基地: 从 2007 年就开始建设并运行的 ECC 全球企业控制中心、完成 了企业与设备终端的数据连接,并在着手建立大数据分析平台 对设备产生的数据进行实时分析,提供客户服务:这些设备的 使用数据还形成了别具一格的"三一指数",通过对设备的使 用数据来分析各个地区的基础建设投资情况和宏观经济环境, 为客户和国家提供决策支持;此外,通过对客户使用情况的分 析,还可以挖掘哪些是可能再次购买设备的潜在客户,作为指 导销售的依据进行更为精确的营销。从三一集团的智能产业升 级布局来看,可能会成为国内第一家利用产品全寿命周期大数 据将设计、智能制造、智能商务、智能运维和智能服务链条完 全打通的企业。

宝钢集团也在类似的道路上进行着探索。从 2015 年开始 宝钢与 IMS 进行合作,采集和分析制造过程中的监控参数和工 艺参数,并对产品的质量进行预测,在质量风险透明化的保障 下实施预测性的维护和修正,从而大幅提升产品的质量。另外

还在冷轧等关键设备上与 IMS 合作进行智能化升级, 使这些设备具备自省和自我预测性的能力, 对设备衰退造成的故障和质量的隐患实行透明化管理。

上海电气也在与 IMS 进行合作,开发新一代智慧风机和智慧风场运维平台,利用风机产生的数据和集群建模手段(peer-to-peer)实现风场的产能最大化和运维最优化。

国内的几家富士康工厂和海尔模具公司也在与 IMS 合作开 发智能设备和智能工厂的解决方案,使设备能够预测精度的变 化和未来故障的发生时间,以便通过预测性维护和动态的运维 排程保障设备的零故障和零次品运行。

这些企业的积极探索将为中国的工业 4.0 和智能制造的推 广提供很好的样板,并且能够促进新的大数据分析技术、软件 和平台的研发,使未来更多的企业能够从中获益。

结 语

现在我们分析第四次工业革命已经不再是未雨绸缪,因为 这场新的革命已然拉开序幕, 甚至已经开始切实地影响你我的 生活。我们虽然已经感受到新的工业革命到来时的压迫力,但 又无法非常清晰去地定义和了解它。与前三次工业革命相比, 第四次工业革命有一些不同之处:首先,与第一次工业革命对 应蒸汽机、第二次工业革命对应生产线以及第三次工业革命对 应网络信息技术不同,这一次的工业革命并不能用一个明确的 代表性技术来定义: 其次, 与前三次工业革命均由生产端技术 的变革推动不同,第四次工业革命是由客户端的价值需求反向 推动生产技术的变革,这里所说的生产已经不仅仅是传统意义 上的产品制造,还包括以产品为载体去不断地创造服务和价 值:最后,本次工业革命的结果并不是谁将取代谁,而是谁将 依附于谁,产业内部以至于不同产业间将会深度融合,最终以 直接面向用户价值的一方为核心实现生产活动的协同,形成一 种新的生产关系和竞争力格局。

中国显然不想在这次新的变革中落后。在美、德等制造大国推出了新的制造业国家战略之后,中国也推出了《中国制造 2025》作为制造业变革的指导纲领,希望通过更密集的技术创新实现可持续发展的新变革。但我们仍感困惑的是,究竟什么样的技术创新才是在国际竞争中提升竞争力、培养市场领导力的核心?这需要从一个新的视角去重新评估我们的创新周期。过去,制造业一直笃信"技术推动"的理论,认为只要生产出高质量和高技术的产品就会获得顾客的青睐。这种以产品为核心的商业模式在当前的市场框架中已经十分受限。现在的消费者受到无处不在的社交媒体的影响,对产品的创新、质量、品种多样性、定制程度、价格和交货速度的要求正在不断地变化。工业界必须采取更加灵活的创新思维模式来应对更加动态的市场需求,同时需要与顾客和产业链上下游进行更加密切的合作。

制造业是一个高度动态的生态系统,需要不断地创新来维持活力。中国的制造业一直把视野和精力放在解决可见的问题上,包括在生产过程中应对可见的问题和影响因素,以及为满足用户的可见需求而苦苦竞争。但即便在解决这些可见的问题方面有着非同一般的创新能力,所得到的回报却往往微不足道。在第四次工业革命的新环境中,我们更要懂得在不可见世

界中的竞争和创新,包括去发现用户不可见的价值空缺,以及 去管理和避免制造中不可见的影响因素。本书所介绍的"主 控式创新"以及"煎蛋模型"为企业提供了一个新的创新视 角,将产品与服务相结合去满足用户需求的缺口,使产品能够 持续为用户创造价值。基于硬件的产品系统一直是中国制造的 强项,但这些硬件产品的价值是非常有限的,因为它们都是按 照用户明确的功能需求设计的。如果为这些产品加入智能化的 软件和分析服务,使之能够搭载面向不同使用需求的应用软 件,就可以在不改变硬件设计的条件下为客户创造更多的价 值,这种创新模式往往是低成本高回报的。其核心在于从客户 的"不可见需求"出发去创造价值。

物联网(IoT)与务联网(IoS)是第四次工业革命的重要催化剂,它们使制造系统中的5M要素:材料、机器、方法、测量和维护通过互联网紧密相连。工业4.0的目标可以用"智能的工厂生产智能的产品"来概括,这需要利用制造系统中5M要素所产生的数据去建立预测模型,从而对这些要素进行更加精确和透明化的管理。所以智能生产系统在传统生产系统5M的基础上加入建模(Modeling),成为6M的生态系统。为了使6M的生态系统价值最大化,还需要与6C的技术要素相结合,即连接(Connection)、云技术(Cloud)、虚拟网络

(Cyber)、数据内容与来源背景(Content/Context)、社群(Community)和定制化(Customization)。工业 4.0 的制造生态系统可以用 6M + 6C 来定义,这也是中国提出的"互联网+"和"两化融合"的含义。

"信息物理系统 (CPS)"被认为是第四次工业革命最重要 的基础技术,在CPS的框架下,实体设备和产品在使用过程 中产生的数据加以智能预测分析,就可以建立与实体状态相对 应的数字化镜像模型,用于对实体系统信息和状态的深入对称 性管理。如果将 CPS 比作工业4.0 成功的基石,那么智能数据 分析对于 CPS 而言也如是。智能数据分析能够对设备进行故 障诊测与健康管理,这包括了对设备的性能衰退、早期故障、 精度偏差、质量风险和失效模式的预测,将传统的制造系统转 变成为预测型的生产模式,实现对生产过程中不可见因素的透 明化管理和零计划外停机的高效生产状态。智能数据分析的核 心是建立一个按功能划分的标准化和模块化的分析工具库,而 以 Watchdog Agent®为例的分析工具将成为这些模块中的一部 分。这些分析模块在云平台中通过不同的组合方式产生各种功 能模块,每一台设备都可以按照自己的功能需求在云端调用这 些功能模块去分析自己产生的数据,这样的方式既满足了数据 分析规模化的需求. 也以很低的成本完成了分析功能定制化的 需求。

预期在 2030 年,传统的生产系统将转型成为生产智能产品的智慧工厂,未来的工厂将实现具备自省性、自预测性、自比较性和自重构能力的无忧生产环境。然而,在迈向工业 4.0 时代以前,诸多的关键技术需要我们持续不断地研究,现有的生产基础设施也需要不断更新以符合工业 4.0 时代的新标准。"物联网+智能分析平台+务联网"的大数据价值创造体系还需要不断完善,尤其是填补智能分析平台中的技术缺口。构建CPS 系统的工具、技术和方法也需要不断地改进。本书阐述了如何通过捕获智慧工厂和智能产品两方面的大数据,运用先进的大数据分析方法建立实体设备与产品的镜像模型,并利用镜像模型产生的信息对实体进行对称化的内容管理并提供价值创造服务。如果中国制造能够成功运用网络集成的数据分析,实现工业化与信息化的深度融合,将帮助中国提高全球竞争力、开拓全新的市场机遇。

参考资料

世界主要国家的制造业转型战略参考

- US Council of Competitiveness & Deloitte Touche Tohmatsu Ltd (DTTL) Global Manufacturing Group. 2013 Global Manufacturing Competitiveness Index. 2012. http://www.deloitte.com/assets/Dcom-UnitedStates/Local%20Assets/Documents/us_pip_GMCI_11292012.pdf
- Cabinet Secretariat, Japan. The New Growth Strategy: Towards a Radiant Japan. 2009. http://japan.kantei.go.jp/topics/2009/1230strategy_image_e.pdf
- National Policy Unit, Japan. Comprehensive Strategy for the Rebirth of Japan. July 2012. http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/npu/pdf/20120731/20120731_en.pdf
- Office of the Press Secretary, US. President Obama Launches Advanced Manufacturing Partnership. June 24, 2011. http://www.whitehouse.gov/the-press-office/2011/06/24/president-obama-launches-advanced-manufacturing-partnership
- National Science and Technology Council, Committee on Technology (CoT), Interagency Working Group on Advanced Manufacturing. A National Strategic Plan for Advanced Manufacturing. February 2012. http://www.white-house.gov/sites/default/files/microsites/ostp/iam_advancedmanufacturing_strategicplan_2012.pdf
- President's Council of Advisers on Science and Technology. Capturing Domestic Competitive Advantage in Advanced Manufacturing. AMP Steering Commit-

- tee Report. July 2012. http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/pcast_amp_steering_committee_report_final_july_17_2012.pdf
- PricewaterhouseCoopers. Rethinking Innovation in Industrial Manufacturing.

 Are You Up for the Challenge? 2014. http://www.pwc.com/en_ GX/gx/industrial manufacturing/publications/pdf/pwc rethinking innovation in industrial manufacturing are you up for the challenge. pdf
- Federal Ministry of Education and Research, Germany. Securing the Future of German Manufacturing Industry. Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0. Final Report of the Industrie 4.0 Working Group. April 2013. http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Material_fuer_Sonderseiten/Industrie_4.0/Final_report_Industrie_4.0_accessible.pdf
- 中国政府网,"国务院关于印发《中国制造 2025》的通知", http://www.gov.cn/zhengce/content/2015 05/19/content_ 9784. htm
- 《科技日报》,2014年10月20日,特别报道第3版:"船舶工业4.0:— 场浩船业和航运业的智能化革命"。
- 《经济日报》,2014年10月21日,"大数据:开启智能船舶时代"。

李杰教授发表的关于工业大数据分析和智慧工厂概念设计的文章

- Lee J, Yang S, Lapira E, Kao HA, Yen N. A Methodology and System Framework for Cloud based Prognostics and Maintenance for Asset Management. (Keynote Paper) In Proceedings of the 2nd IFAC Workshop on Advanced Maintenance Engineering, Services and Technology. 2012.
- Lee J, Lapira E. Recent Advances and Trends in Predictive Manufacturing in Industry 4.0 Environment. Uptime Magazine. December 2013 – January 2014 Issue.
- Lee J, Lapira E, Bagheri B, Kao H. Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment., SME Journal of Manufactur-

工业大数据

工业4.0时代的工业转型与价值创造

- ing Letter. 2013; 38: 41.
- Lee J, Lapira E. Predictive factories: The next transformation. Manufacturing Leadership Journal. Feb 2013.
- Lee J, Lapira E, Yang S, Kao HA. Predictive manufacturing system trends of next generation production systems. Proceedings of the 11th IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems. 2013; 150 – 156.
- Lee, J., Kao, HA, Industry 4.0 in Big Data Environment, German Harting Magazine 26, 2013, pp. 8 10.

李杰教授发表的关于信息物理系统设计的文章

- Kao, H. A, Jin, Siegel, D., and Lee, J., Cyber Physical Interface for Automation Systems Methodology and Example, Journal of Machines, 2014.
- Yang, S. H., Bagheri, B., Kao, H. A., Lee, J., A Unified Framework and Platform for Designing Cloud – based Machine Health Monitoring and Manufacturing Systems, special issue of Cloud – based Manufacturing, Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2015.
- Birgit Vogel Heuser, Leitao, P, Lee, J., Enabling Cyber Physical Production Systems at Automatisierungstechnik, 2015.
- Lee, J., Bagheri, B., H. A. Kao, Cyber Integrated Big Data Analytics Agent for Industry 4. 0 Applications, Expert Forum on Agent for Industry 4. 0, Munich, Germany, May 7 8, 2014.
- Jay Lee, Behrad Bagheri, H. A. Kao, 'A Cyber Physical Systems architecture for Industry 4.0 - based Manufacturing Systems', Manufacturing Letters, 2015, 18-23.
- 《工业 4.0 时代的制造新思维》, 文汇报, http://whb.news365.com.cn/tp/201405/t20140514_1041892.html.

IMS 发表的关于智能维护系统设计的文章

Jay Lee, Jun Ni, D. Djurdjanovic, H. Qiu, H. Liao, 'Intelligent Prognostics Tools and E - Maintenance', Computers in Industry, 2006, 476 - 489.

- Lee, J., Yan, C., Al Atat, H., and AbuAli, M., and Lapira, E. (2009)
 'A Systematic Approach for Predictive Maintenance Service Design: Methodology and Applications', Int. J. Internet Manufacturing Services (IJIMS).
- LinXia Liao, Jay Lee, 'Design of a Reconfigurable Prognostics Platform for Machine Tools', Expert Systems with Applications, 2010, 240 252.
- Jay Lee, 'Infotronics based Prognostics Technologies and Next Generation Maintenance Systems: Tools for Zero – Breakdown System'.
- K. Johnson, D. Djurdjanovic, J. Ni, J. Lee, 'Integration and Implementation of a Watchdog Agent[™] Toolbox for Performance Assessment of Machinery Systems'.
- D. Siegel, J. Lee, 'Reconfigurable Informatics Platform for Rapid Prognostic Design and Implementation: Tools and Case Studies'.

主控式创新相关参考文献

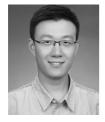
- Dominant Innovation™ 官方页面: http://www.dominantinnovation.com/english/
- Jay Lee, H. A. Kao, 'Dominant Innovation Design for Smart Products Service Systems (PSS) Strategies and Case Studies', IEEE DOI 10.1109/ SRII. 2014.25
- 《第 71 期发展沙龙实录——主控式创新和经济转型》http://wenku.baidu.com/link?url = BuNl0G Tm7auyqJFVAg9YzhtlNU2aHP3atqPhg2XqAOCBrbNpk3ErFce81CT2q9mMN4GsrPQ2X2xEK1IaT7ZO9Fpl-hoiQa_80PIjNwaJRI3
- 文汇报《一种可能会改变产业创新方向的新思维——从创新到创值》。

译者介绍

邱伯华

中国船舶工业系统工程研究院副所长、中国船舶工业集团公司海洋装备信息智能管理与应用技术创新中心副主任,专注以 CPS 为核心的船舶智能化和以工业大数据分析为核心的船舶智能信息服务体系研究与应用工作。





刘宗长

美国辛辛那提大学 NSF 智能维护系统产学合作中心博士生,跟随李杰教授从事工业大数据分析和"信息物理系统"(CPS)构架及核心技术的研究。

魏慕恒

中国船舶工业系统工程研究院、中国船舶工业 集团公司海洋装备信息智能管理与应用技术创新中心工程师,从事以 CPS 为核心的船舶智能化和以工业大数据分析为核心的船舶智能信息服务体系研究与应用工作。





董智升

天津大学 MBA,制造业国际联盟副秘书长,爱波瑞管理咨询集团企划总监,现负责工业大数据与工业4.0 相关的外联合作工作。

美国智能维护系统 (IMS) 产学合作中心简介

·美国智能维护系统 (IMS) 产学合作中心历史

智能维护系统由李杰教授首先提出,是旨在保证设备系统"近零故障"(Near-Zero Breakdown)的理念,推动以工业大数据为基础的预测性维护管理技术应用于工业生产中。在此理念倡导下,2001年美国威斯康星大学和密歇根大学在美国国家科学基金会资助下,联合工业界成立了"智能维护系统(Intelligent Maintenance Systems, IMS)产学合作中心"。

目前,智能维护系统 (IMS) 产学合作中心的研究团队已经发展到由4所大学 (美国辛辛那提大学、密歇根大学、密苏里科技大学、德州大学) 联合组成;其成员企业涵盖15个国家85家企业,其中大多为世界知名企业,如GE、波音(Boeing)、霍尼威尔(Honeywell)、宝洁(P&G)、日本欧姆龙(Omron)、法国阿尔斯通(Alstom)等;智能维护系统(IMS)产学合作中心技术成果的应用领域也由机械设备系统、制造生

产线等扩展到风力发电系统与电动汽车领域。在 2014 年,智能维护系统(IMS)产学合作中心还通过美国国家仪器公司向全球发布了其 Watchdog Agent[®]工具包软件产品。智能维护系统(IMS)产学合作中心已取得多项重要发明专利,涉及机械加工、风力发电、工业制造、电动汽车电池等应用领域。近年来,由李杰教授主创的"主控式创新(Dominant Innovation)"等理论进一步为产业界指出了价值创新的发展方向。

• 智能维护系统产学合作中心技术

智能维护系统的核心技术是对设备和产品性能衰退过程的预测和评估,对设备或产品进行预测维护,提前预测其性能衰退状态。与故障早期诊断不同的是,智能维护侧重于对设备或产品未来性能衰退状态的全程预测,而不是对某个时刻性能状态的诊断;在分析历史数据的同时,智能维护引入了与同类机器进行比较(peer-to-peer),对相应信息的传输频度和数量作及时调整,进行按需分析,取代了传统意义上简单的数据采样信号传输与分析,从而更进一步提高了预测和决策的准确度。

• 成就与影响力

据统计,智能维护技术每年可带动 2.5%~5%的工业运

转能力增长,可减少事故故障率75%,降低设备维护费用 25%~50%。这意味着:在价值2亿美元的设备上应用智能维 护技术、每年就可以创造500万美元的价值。美国智能维护系 统(IMS)产学合作中心为现代工业从传统维护方法转变为预 测及预防性维护开发了众多工具包和相关技术,已成功应用于 汽车引擎、焊接机器人、空调压缩机、机床加工、风力发电 机、电动汽车等系统、并在2001年发布了Watchdog Agent®工 具包软件产品, 为会员公司和研究机构创造价值, 并产生了重 要的影响。正是由于智能维护对世界经济的巨大推动作用, 2002 年智能维护技术被美国《财富》杂志列为当今制造业最 热门的技术之一。经过十多年发展,在全美国自然科学基 金——工业界/院校联合实验室 2012 年的评估中,智能维护系 统 (IMS) 产学合作中心以其 1:270 的投入/产出比位列第一。 由美国国家科学基金会产业创新与合作专家通过对会员公司进 行匿名访谈及详细评估汇总后的结果表明, 智能维护系统 (IMS) 产学合作中心的总投入现值为310万美元,而其收益 现值已达到惊人的 8.467 亿美元。

自 2005 年以来,智能维护系统 (IMS) 产学合作中心的 毕业学生中有 80% 进入会员公司工作,有 20% 进入大学工作, 去向涵盖通用电气 (GE)、博世 (Bosch)、波音 (Boeing)、

通用汽车 (GM)、丰田 (Toyota)、西门子 (Siemens)、伊顿 (Eaton)、派克汉尼汾 (Parker Hannifin)、固特异 (Goodyear)、格罗方德(Global Foundries)、美国联合技术公司(United Technologies)、卡特彼勒(Caterpillar)、康明斯(Cummins) 等著名企业和美国得克萨斯大学奥斯汀分校 (Univ. of Texas-Austin)、美国伊利诺伊大学芝加哥分校 (Univ. of Illinois at Chicago)、上海交通大学、哈尔滨工业大学、清华大学 等知名高校,为会员企业和大学培养了人才。此外,凭借智能 维护系统 (IMS) 产学合作中心所开发的技术,其研究人员在 美国 PHM 学会每年举办的工业数据分析竞赛中连续取得优异 成绩. 如 2008 年以飞机引擎剩余使用寿命预测为主题的 PHM 竞赛中 IMS 夺得第1名和第3名, 2009年齿轮箱关键部件诊 断竞赛中 IMS 包揽前 3 名, 2010 年机械加工刀具磨损预测竞 赛中 IMS 取得第3 名, 2011 年风力发电机传感器健康估计竞 赛中 IMS 夺得第1 名和第3 名, 2014 年 GE 发动机维护数据预 测竞赛中 IMS 再次取得第一名。



李杰 (Jay Lee)

李杰教授现任美国辛辛那提大学(Univ. of Cincinnati) 讲座教授, 美国国家科学基 金会(NSF)智能维护系统(IMS)产学合 作中心主任,目前的研究重点是以工业 大数据分析为主的智能预测技术、产品 及服务的主控式创新设计(Dominant Innovation®)。自2000年起他领导IMS与 全球80多家国际公司(其中包括宝洁、英 特尔、GE航空、波音、丰田、小松、西门 子、阿尔斯通等世界500强公司)进行工业 大数据技术联合研发, 开发了世界领先的 Watchdog Agent®智能维护系统技术, 突 破了传统机械设备故障预测的理论、方法 和技术,被美国《财富》杂志誉为21世纪 全球三大热门技术之一。李杰教授曾在美 国NSF主管先进制造项目, 并在美国联合 技术研究中心(UTRC)担任产品开发与制造 部总监。李杰教授从2013年起担任美国白 宫信息物理系统(CPS)专家组顾问,他 同时也是上海交通大学特聘讲座讲授、先 进产业技术研究院前瞻顾问与国际小母牛 慈善机构国际顾问。

强力推荐



服务咨询热线: 010-88361066 读者购书热线: 010-68326294 010-88379203

为中华崛起传播智慧 机工管阀: www.cmpbook.com 机工管阀: weibo.com/cmp1952 地址:北京市百万庄大街22号 邮政编码:100037 對面无防伤标均多遮板

策划编辑②坚喜斌/封面设计②MX《DESIGN STUDIO jianxibin@163.com 营销编辑 () 核 010-88379451

INDUSTRIAL BIG DATA

the revolutionary transformation and value creation in INDUSTRY 4.0 Eng

工业大数据分析是制造业转型的重要基础。本书集中阐述了企业如何以工业大数据为核心,如何进行大数据的分析,这些内容对于企业转型及客户价值创造都是很有价值的,值得一读。

—— 宝钢集团有限公司党委书记、董事长 徐乐江

工业大数据分析是智能制造的基础,也是支撑未来制造智能化的重要方向。我们需要加强大数据方法论的研究,开发出可以用于制造过程分析的工具和使用软件,才能真正推动制造技术的进步。

——中国工程院院士、上海交通大学常务副校长 林忠钦

人类创新的目的是为了社会更加进步和文明,企业创新的目的是为顾客创造价值。李杰教授主导的 创新思想与工业大数据分析工具,会帮助企业家在互联网大数据时代找到创新的路径和方法。

—— 红领集团董事长 张代理

未来工业大数据的分析是客户定制C2B的基础,也是中国企业实现"互联网+"的重要方向。李杰教授的主控式创新的新思维与工具是企业创新与价值创造的基础,对中国企业是非常好的指引。

—— 尚品宅配董事长 李连柱

李杰教授曾经走进三一集团,与我们共同交流工业4.0的体会,他凭借丰富的经验与实践,提出了以工业大数据为核心的工业价值创造体系,在众多的工业4.0论述中,独辟蹊径,让我们受益良多。

——三一集团总裁 唐修国

智能传感器与大数据分析是制造业要成为世界级领导者的根基。李教授的美国NSF智能维护产学合作中心所开发的工业大数据分析技术是工业4.0的核心技术,企业应努力学习。

——上银科技董事长 卓永财

《中国制造2025》强国梦的实现,必须依靠精益求精的品质与客户价值的创造。工业大数据分析是 企业增强竞争力,使中国转变为"制造强国"的关键要素。

——制造业国际联盟主席 王洪艳

李杰教授提出的"6M+6C"智能体系设计,可以从理论与实践两方面精准地指引企业如何拥抱智能制造的新时代。他的新书将是企业家及各界人士迎接世界新一轮产业革命浪潮的指南。

——中国《福布斯》杂志执行主编 康健

以移动、互联、智能和共享为特征的"工业4.0"标志着制造业新纪元的开启,已成为我国相关产业转型升级、弯道超车的最好机遇,更为充满光明、无限美好的"中国梦"提供了难得的助力。

——中国船舶工业系统工程研究院院长 张宏军



机械工业出版社 微信公众号



新智能时代 微信公众平台





定价: 39.00元