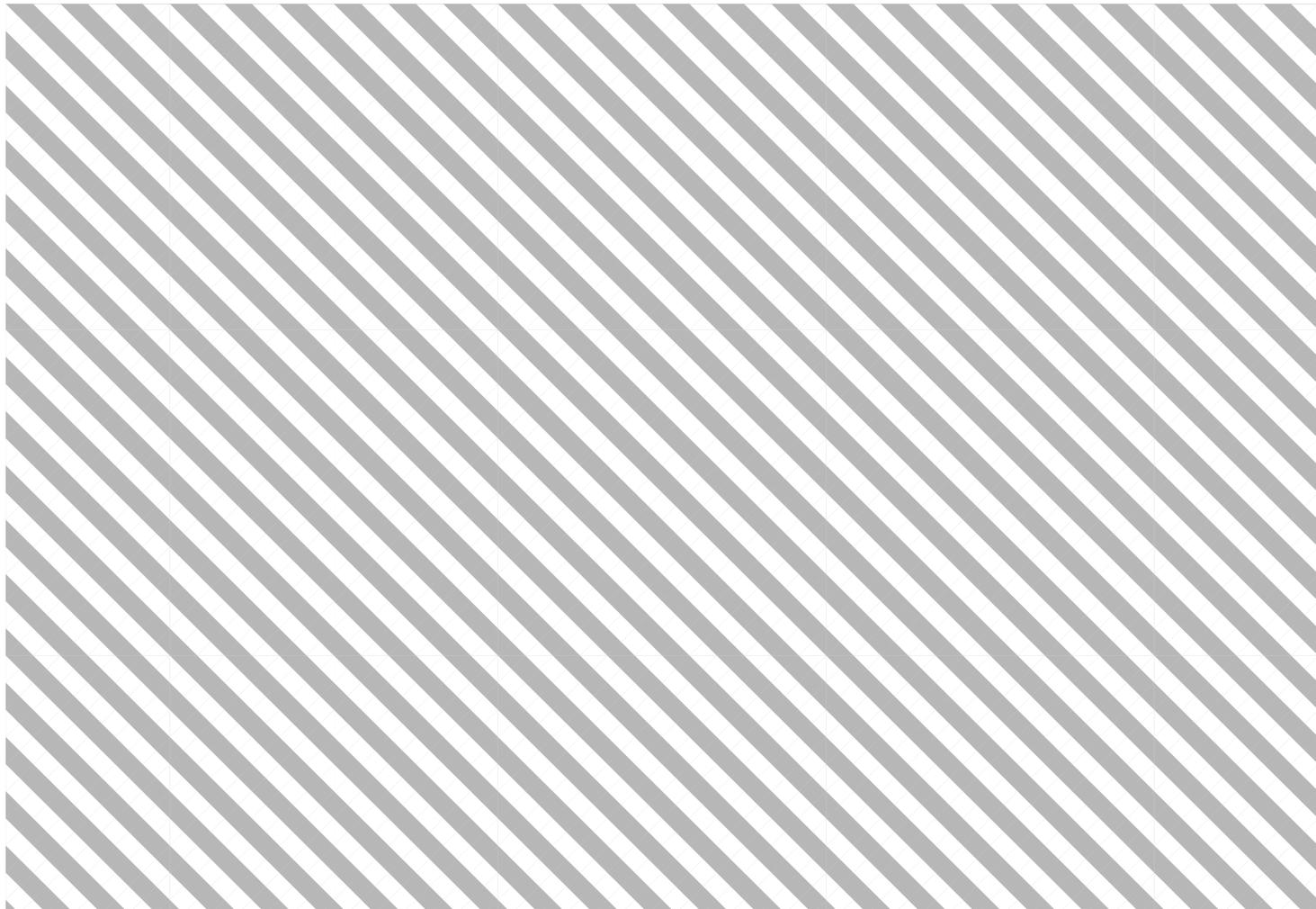


白皮书

全球“灯塔工厂”网络： 来自第四次工业革命前沿的 最新洞见

与麦肯锡公司合作撰写

2019年12月



世界经济论坛

地址：91-93 route de la Capite
CH-1223 Cologny/Geneva
Switzerland (瑞士日内瓦)
电话：+41 (0) 22 869 1212
传真：+41 (0) 22 786 2744
邮箱：contact@weforum.org
网址：www.weforum.org

© 2019 世界经济论坛。保留所有权利。本出版物的任何部分不准以任何形式或手段复制或传播，包括翻印、录音，或存储于任何其他信息存储和检索系统中。

本白皮书由世界经济论坛出版，致力于推动某一项目、某一领域洞见或某种互动的发展。报告中的发现、诠释和结论均在世界经济论坛的促进和支持下合作完成，但未必代表世界经济论坛或人员全部成员、合作伙伴及其他利益相关方（包括审核人员）的观点。

目录

前言	4	第四部分：以人为本的未来生产	24
执行摘要	5	“灯塔工厂”为第四次工业革命转型做好人才准备	24
第一部分：第四次工业革命前沿洞见	6	利用技术和数据，增强一线员工的创新能力	25
第四次工业革命方兴未艾，却未成星火燎原之势	6	积极主动建立技术能力和软实力，培养管理人才	25
领军企业与其他制造商之间的差距日益拉大	6	调整组织架构，促进第四次工业革命的转型	26
全球“灯塔工厂”网络——第四次工业革命转型的指路明灯	6	实施新的工作方式，如敏捷工作方式和提高透明度	26
第四次工业革命：进程评估	6	通过自动化和数字化技术改进日常装配和操作任务	27
第二部分：快速获得规模效应的秘诀	15	提高一线解决问题和协同合作的水平	27
采用全新方式运营的“灯塔工厂”	15	第五部分：行动呼吁	28
规模化扩展的核心推动因素是成功的关键	15	到 2025 年实现生产制造碳中和	28
敏捷工作方式支持持续迭代	15	在生产网络中推广技术并惠及中小企业	28
技术生态系统带来更大程度的协作	15	投资于能力建设和终身学习	28
工业物联网学院提升员工技能	15	升级监管、政策和工业发展战略	28
选择可扩展的工业物联网 / 数据基础架构	15	附件：从内部视角一窥全球“灯塔工厂”	29
敏捷数字工作室激发创意	17	爱科 / 芬特：生产高复杂度、低批产量产品	29
转型办公室支持整个企业的变革	17	福特奥特桑：领导者和推广者驱动的数字数字化转型	29
“灯塔工厂”案例分析	17	汉高：高质量、低成本的可持续发展	30
Fast Radius：集成工业物联网的数字化后台办公	17	强生：缩短上市时间、改善客户体验	31
联合利华的敏捷冲刺团队	17	Petrosea：弥补高技能劳动力短缺	31
工业物联网学院推动 Petkim 的第四次工业革命转型	17	雷诺集团：从一个工厂到多个工厂的跨越生产网络的规模化转型	32
第三部分：深入解读端到端“灯塔工厂”	19	上汽大通：C2B 大规模个性化定制和商业模式创新	33
端到端“灯塔工厂”的三种价值驱动方式	19	潍柴：优化端到端产品开发	33
“灯塔工厂”案例分析	20	Zymergen：利用第四次工业革命改造生物技术的数字化原生企业	34
海尔：将客户作为产品生态系统的核心，重塑客户关系	20	贡献者	36
上汽大通：让客户参与产品配置	21	项目团队	37
Phoenix Contact：提升数据透明度以创造更大价值	22	尾注	38
施耐德电气：要跨职能协作，不要部门隔阂	23		
点亮制造业的未来	23		

前言



Francisco Betti
“塑造先进制造与生产的未来”项目负责人



Enno de Boer
麦肯锡全球董事合伙人，
制造业项目全球负责人

在人类进程的鸿篇巨制中，第四次工业革命这一新篇章定将浓墨重彩。创新技术所蕴含的深刻变革力量，正推动着可观的经济发展和进步。到 2025 年，第四次工业革命预计将创造高达 3.7 万亿美元的价值¹。

2017 年，世界经济论坛意识到先进制造技术的无穷潜力。随着企业开展技术试点并取得一定成功，世界经济论坛最初筛选出 40 项先进制造用例。2018 年，世界经济论坛对 1000 多家工厂进行了全面筛选。在第四次工业革命的大背景下，有 16 家工厂在运营和业绩上实现了质的双飞跃，因而被评为先进制造领域的领跑者²。他们成功跨越试点阶段，一举斩获先进制造领域的“灯塔工厂”殊荣。

2019 年，全球“灯塔工厂”网络新添 28 名成员。在这一网络中，企业不仅能够相互学习与协作，还能为全球制造业共同设定新基准。在这 28 个新成员中，有 14 家被视为打通端到端价值链的“灯塔工厂”（以下或简称端到端“灯塔工厂”）。他们实现了从供应商到客户的全流程创新，所获价值远超实体工厂范畴。

这些领跑第四次工业革命的“灯塔工厂”分布于全球各地的各个行业，他们通过优化业务流程，改变了生产部门员工的工作方式和使用技术方式，实现了运营系统的创新，为日后建立企业层面的现代化运营系统提供了成功范例。因此，如何扩大规模和吸引员工参与成为了两大焦点。

不少制造商正向着技术转型大步迈进。不过，大多数企业还是受困于“试点困境”，无法充分发挥技术转型的全部潜力³。鉴于领跑者与其他制造商之间的绩效差距日益拉大，对该运营系统进行有效部署，并善用这些价值驱动因素的重要性可见一斑。此外，所有“灯塔工厂”都十分清楚，以人为本才是核心。通过充分赋能员工，他们能够有效发挥技术的全部潜力。

过去几年，我们与部分先进制造商展开了密切合作，找到了其他制造商之所以落后于领跑者的关键原因。本报告对这些原因进行了详细阐述。对那些身处“试点困境”的组织而言，紧跟领跑者至关重要。稍不留神，他们就会在第四次工业革命的浪潮中落于人后。

执行摘要

过去三年，一批领先制造商在第四次工业革命技术的应用上进展瞩目，因而荣登“灯塔工厂”之榜。纵观“灯塔工厂”的发展脉络，不难看出，他们的数字化旅程都始于运营系统的转型。随后，依托物联网集成与员工技能重塑等驱动因素，数字技术得以实现规模化发展。“灯塔工厂”愈发耀眼，但其他制造商对领军企业的追赶却日渐乏力。

“灯塔工厂”不仅数量与日俱增，发展态势也如火如荼。所有“灯塔工厂”都已在工厂层面成功转型。不过，14家“灯塔工厂”异军突起，打通了端到端价值链，将第四次工业革命的创新旅程拓展到实体工厂范畴之外。这些端到端“灯塔工厂”证明，若是突破实体工厂的局限，创新思维的广泛应用将带来巨大潜力。

对端到端“灯塔工厂”进行深入剖析后，我们发现，无论是生产效率、运营成本还是上市速度，均实现了可观的改善。在提升企业价值的方法上，有三点尤为值得关注：1) 以客户为中心进行流程设计；2) 实现跨职能的无缝连接；3) 在组织间，甚至是供应链层面打造持续连接。这些价值驱动因素虽半新不旧，但从组织的应用角度而言，第四次工业革命带来的广度可谓史无前例。效率提升后，资源浪费、材料消耗和废弃物排放都相应减少，为环境的可持续发展增砖添瓦。

对制造商而言，实现从采购到交付的全过程转型绝非易事。毕竟，大范围的数字连接会牵扯到很多复杂的因素，利益相关方也可能各自为政。因此，企业必须打破“部门孤岛”，与外部利益相关方共享数据，并积极进行能力建设。上述措施都彰显了人在技术应用中的重要性。

转变人员的合作方式至关重要。“灯塔工厂”多管齐下，采用多种举措支持其员工。企业与技术联手，在能力建设、组织结构调整、新型工作方式开发方面大力投资。员工的职责与技能需求瞬息万变，有鉴于此，“灯塔工厂”在技能培训上展开了深思熟虑的投资。他们与多家大学和其他教育机构建立了合作关系，从外部获取知识和人才。“灯塔工厂”坚持以人为本，通过赋能充分实现员工潜力，并让技术物尽其用。这也充分证明，第四次工业革命是一项关乎人的创新革命，其核心是以人为本。

全球“灯塔工厂”网络⁴提供了一片独特的空间，让所有企业都能通过部署技术，重塑劳动力，摆脱“试点困境”来分享和学习最佳实践，培养新型合作关系，并加速向未来制造转型。

第一部分： 第四次工业革命前沿最新洞见

第四次工业革命方兴未艾，却未成星火燎原之势

制造业的第四次工业革命如火如荼，受其影响的组织数量日渐增多。借助先发优势，不少企业成功抢占先机。自 2016 年以来，世界经济论坛就与麦肯锡公司展开合作，共同追踪世界范围内的先进制造进程，识别其他制造商之所以落后于“灯塔工厂”的关键原因。

领军企业与其他制造商之间的差距日益拉大

不少制造商正向着技术转型大步迈进。不过，多达 70% 的企业还是陷第四次工业革命的“试点困境”：他们努力应用先进制造技术，却难以收获理想的投资回报，运营方面的关键绩效指标（key performance indicator，简称 KPI）也不见改善⁵。

绩效方面的巨大鸿沟已日渐明显：在生产率、效率和增速方面，领军企业与其他制造商之间的差距日益拉大；也许，整个行业很快就会陷入“非赢即输”的两极分化局面。第四次工业革命转型已经刻不容缓。企业若想保持竞争力，就必须拥抱变革。

全球“灯塔工厂”网络 —— 第四次工业革命转型的指路明灯

为了缩小领跑者与落后者之间的差距，并加快先进制造技术的普及，世界经济论坛于 2018 年携手麦肯锡启动了全球“灯塔工厂”网络项目⁶。在使用第四次工业革命技术推动工厂、价值链和商业模式的转型方面，该网络中的制造商均展现出了卓越的领导力。他们也因此斩获了业绩、运营和环保方面的傲人回报。

世界经济论坛在识别“灯塔工厂”的过程中运用了综合全面的筛选流程。基于切实可行的成果和用例，全球多个行业的 1000 多家公司得到了评估。评选结果被提交至由世界领先的第四次工业革命专家组成的独立委员会，进行最终甄选。

如今，“灯塔工厂”网络的成员正在积极开展跨行业学习，生成和分享有关最佳用例、路线图和组织做法的洞见，以便在大规模部署先进技术的同时，向着以人为本、兼收并蓄、可持续发展的制造业转型。

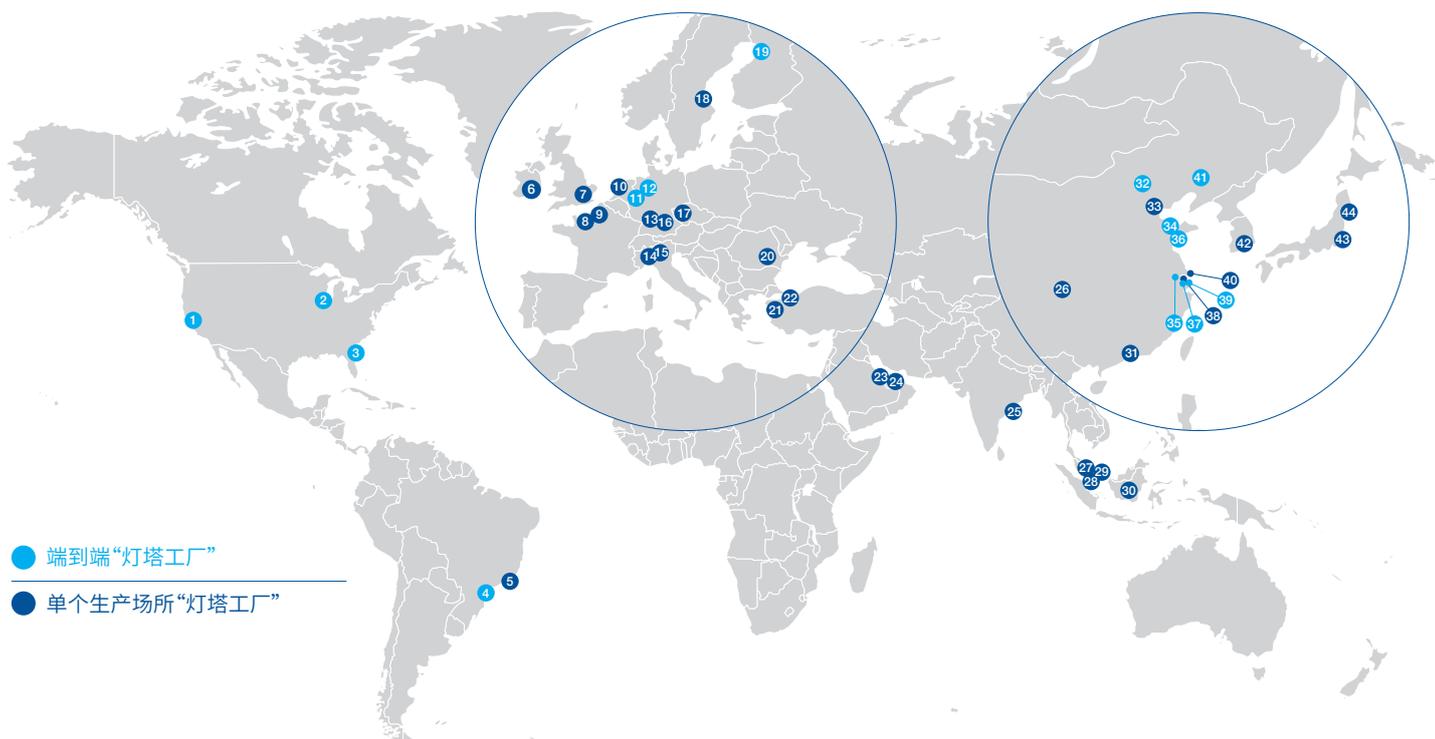
第四次工业革命：进程评估

2019 年，全球“灯塔工厂”网络新添 28 名成员，总数升至 44 家。这些工厂正在引领第四次工业革命技术的普及，包括数字化、自动化、高级分析和预见性分析、虚拟现实和增强现实以及工业物联网 (IIoT) 等。从新增的“灯塔工厂”中我们发现，他们尤其关注打通端到端价值链。同时我们还发现，一些企业开始将其“灯塔工厂”的创新运营系统推广到其他制造工厂中。他们也在最大化地利用技术进步，期望重塑整个客户旅程。

行业标准正随着更多“灯塔工厂”的加入水涨船高。与此同时，这也验证了一点：第四次工业革命技术的普及能够带来诸多效益。数字技术的应用若能突破实体工厂的范畴，进而在整个价值链发力，那么企业的敏捷度和产品上市速度将得到极大提升，大规模个性化定制机遇也将不胜枚举。此外，这些用例还有效地证明：即便没有大量持续的资本投入，数字化转型仍旧可以实现。

图 1：全球“灯塔工厂”网络

截至 2020 年 1 月 10 日，全球“灯塔工厂”网络成员增至 44 位



- 端到端“灯塔工厂”
- 单个生产场所“灯塔工厂”

1
Zymergen 生物科技公司
生物技术, 美国

2
UPS 参股的 Fast Radius
增材制造, 美国

3
强生视力健
医疗设备, 美国

4
雷诺集团
汽车, 巴西

5
MODEC
油气, 巴西

6
强生 DePuy Synthes
医疗设备, 爱尔兰

7
葛兰素史克
制药, 英国

8
施耐德电气
电子元件, 法国

9
雷诺集团
汽车, 法国

10
塔塔钢铁
钢铁制品, 荷兰

11
汉高
消费品, 德国

12
Phoenix Contact
工业自动化, 德国

13
爱科
农业设备, 德国

14
Rold
电子元件, 意大利

15
拜耳
制药部门, 意大利

16
宝马集团
汽车, 德国

17
宝洁
消费品, 捷克

18
Sandvik Coromant
工业设备, 瑞典

19
诺基亚
电子设备, 芬兰

20
Arçelik A.Ş.
家用电器, 罗马尼亚

21
Petkim
化学品, 土耳其

22
福特奥特桑
汽车, 土耳其

23
沙特阿美
天然气处理, 沙特阿拉伯

24
联合利华
消费品, 阿联酋

25
塔塔钢铁
钢铁制品, 印度

26
西门子
工业自动化产品, 中国

27
英飞凌
半导体, 新加坡

28
施耐德电气
电子元件, 印度尼西亚

29
美光
半导体, 新加坡

30
Petrosea
采矿, 印度尼西亚

31
富士康工业互联网
电子设备, 中国

32
福田康明斯
汽车, 中国

33
丹佛斯
工业设备, 中国

34
潍柴
工业机械, 中国

35
上汽大通
汽车, 中国

36
海尔
家用电器, 中国

37
强生 DePuy Synthes
医疗设备, 中国

38
博世
汽车, 中国

39
宝洁
消费品, 中国

40
宝山钢铁
钢铁制品, 中国

41
海尔
电器, 中国

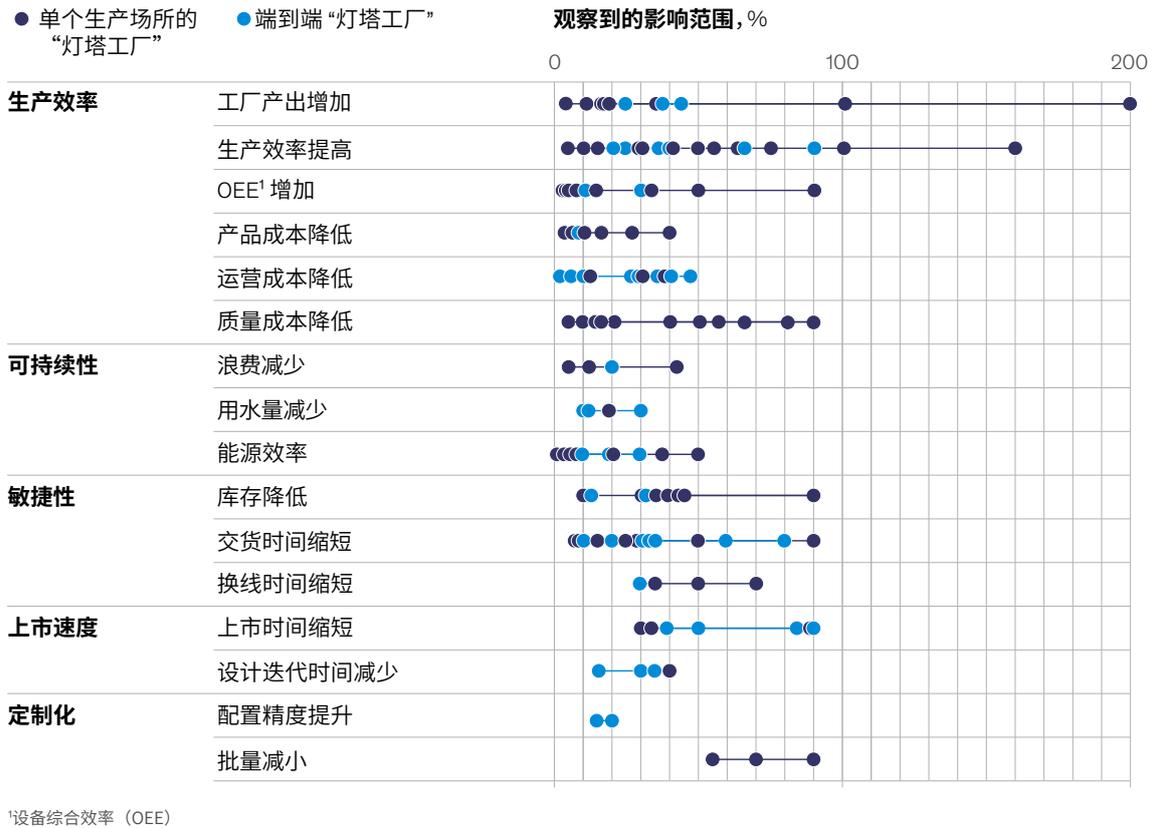
42
浦项制铁
钢铁制品, 韩国

43
通用电气医疗
医疗, 日本

44
日立
工业设备, 日本

图 2：“灯塔工厂”正在重设行业基准

关键绩效指标改进效果



资料来源：麦肯锡公司

上图总结了“灯塔工厂”或端到端“灯塔工厂”在业绩和运营方面受到的影响范围(百分比)。所有数据点都取自 44 家“灯塔工厂”中的一家或几家。

通过数字连接，端到端“灯塔工厂”能打通整个价值链，消除各职能间的壁垒，并拓展工厂内的数字化运营规模。端到端“灯塔工厂”在最大化地利用技术进步，不断突破实体工厂的范畴，重塑整个客户旅程。

对全球“灯塔工厂”网络中企业实施的解决方案稍作甄选，便可形成一个工具箱。在整个端到端的价值链中，全球“灯塔工厂”网络的最佳数字化用例已经达到 92 个之多，囊括了供应网络对接、端到端产品开发、端到端规划、端到端交付、客户对接，以及可持续性等方面。随着第四次工业革命的进一步成熟，工具箱的内容也会日渐丰富。此外，“灯塔工厂”创建的全新运营系统可在最短的时间内以最小的成本添加更多数字化用例，与采用传统运营系统的企业相比，他们拥有更高的投资回报率 (return on investment, 简称 ROI)，因此竞争优势也更为明显。

图 3：工具箱 – 贯穿端到端价值链的 92 个第四次工业革命数字化用例（包括制造环节）

制造环节

数字装配与加工



用于制造关键零件的实时定位系统 (RTLS)	通过混合现实实现数字标准工作和培训	人工智能引导的机器性能优化
通过对线路 PLC 进行大数据分析来优化周期时间	应用于流程优化的高阶工业物联网	数字化赋能的可变生产节拍时间
指示灯引导组装顺序	人工智能驱动的过程控制	数字化赋能的模块化生产配置
	数字精益工具（例如，电子看板、电子安灯、电子 Spaghetti）	

数字设备维护



通过传感器分析实现操作的成本优化	基于历史和传感器数据的预见性维护数据整合	使用增强现实来进行远程支持
机器报警集成，实现报警的优先级判定和根因分析来支持解决问题	基于边缘传感器的实时综合成本优化	用于根本原因波动识别的高阶分析平台

数字绩效管理



用于远程生产优化的高阶分析平台	将机器数据与企业软件连接的集成平台	专为车间设计的数字化招聘平台
用于监控 OEE 的数字仪表盘	实时资产性能监控和可视化	可持续性的数字孪生
用于远程生产优化的数字孪生	基于传感器的生产 KPI 报告	数字化赋能的人机匹配
企业生产智能系统升级进行运营管理	数字工具来增强员工之间的互联	

数字质量管理



扫描以替换并提高高成本三坐标测量仪的性能	数字化具有集成工作流的生产线操作的标准程序	物联网赋能的制造质量管理
自动在线光学检测来取代最终产品手动检测	混合现实眼镜来指导操作员进行在线检查	数字质量审核
数字化的工作指导和质量功能	现场质量问题整合，实现优先级判定和根因分析来支持解决问题	通过预测分析实现质量提升

数字化可持续发展



通过预测分析实现能源优化	工业物联网实时能源数据整合和报告仪表盘	基于传感器的数据收集用来进行能源管理
--------------	---------------------	--------------------

端到端价值链

供应网络连接性



通过端到端供应链网络整合需求

对应该成本进行建模，以支持自产与购买决策

由支出智能和自动支出多维数据集支持的高阶分析型采购

端到端实时供应链可视化平台

供应商和材料质量跟踪

基于数字化标签的表面扫描来实现零件可追溯性

数字供应商绩效管理

人工智能加速工厂间的数字应用推广

与设备供应商进行联合数据分析来实现流程优化

端到端产品开发



3D 打印用于快速样品设计

用于产品设计和测试的 3D 仿真 / 数字孪生

测试自动化

利用高阶分析对从创意到上市全过程的绩效管理

使用机器人进行产品开发

大数据 / 人工智能赋能的产品设计和测试

虚拟现实支持样品设计

通过产品全生命周期实施数字线程

快速外包样品设计

众包与竞争来开发数字解决方案

端到端规划



需求预测

实时 S&OP

实时库存管理（内部 / 外部）

使用数字孪生进行动态生产计划安排

动态网络优化

预见性库存补货

利用分析进行动态仓库资源规划和调度

动态仿真用于仓储设计

无人工介入主生产计划（分配给工厂）

数字化综合业务规划

闭环规划

端到端实时供应链可视平台

利用高级分析优化制造和分销布局

利用高级分析优化生产计划

端到端交付



动态交货优化

机器人技术促进物流运营

数字跟踪和追溯

物流的资产利用和堆场管理

无人工介入全自动订单管理

数字化拣货和运输

车队资产的预见性维护

运输“滴滴化”

基于实时约束条件的先进运输计划

数字物流控制中心

客户连接性



互联设备跟踪和衡量消费者行为

大规模定制和 B2C 在线订购

通过新的交付解决方案实现向各地的客户配送

用最终用户界面来配置和订购产品，同时跟踪配送

智能包装

RFID 支持的客户分析

通过在线社区获取客户洞见

基于 GPS 的地图和客户定位

3D 打印

互联设备跟踪和衡量产品性能

客户系统的数字孪生

图 4：28 家新增“灯塔工厂”走在第四次工业革命最前沿

工厂	革新故事	五大用例	影响
爱科， 德国马克拖波道夫	数字化解决方案与智能生产线设计相结合后，仅需一条生产线，爱科旗下芬特公司 (Fendt) 就可以生产 9 个系列的拖拉机，他们大小相同，马力却从 72 到 500 不等。这使其生产效率提高了 24%，生产周期缩短了 60%。	数字化赋能的可变生产节拍时间	↓ 60% 生产周期
		针对制造和生产线平衡进行虚拟设计	↑ 24% 生产效率
		智能交通管理系统	↓ 28% 交通运输成本
		利用高级分析进行质量监控	↓ 30% 确定现场质量问题用时
		数字化供应绩效管理	↑ 25% 按时交付
Arçelik AŞ， 罗马尼亚乌尔米	Arçelik 用例实验室下的新工厂拥有前代工厂两倍的反应速度。自投产以来，低价值任务的自动化已使工厂运营成本下降了 11%。	智能工厂 – 从概念到实现	↓ 45% 工厂设计时间
		全自动进货物流	↓ 29% 单个产品的间接劳动力
		数字化的在线视觉化质检	↓ 17% 单个产品的间接劳动力
		制程连接和追溯	↓ 100% 消除材料使用错误
		智能人员匹配	↑ 3% OEE
宝山钢铁， 中国上海	这家拥有 40 年历史的工厂是数字化的先行者。鉴于其工厂对人工智能和高级分析技术的广泛部署，宝山钢铁在数字时代仍保持强劲的工业竞争力，并一举创造出 5000 万美元的价值。	基于高级分析技术的生产规划	↑ 83% 规划效率
		用先进的工业物联网技术优化流程	↓ 1500 万美元 材料和质量成本
		预见性维护汇总设备和流程数据	↑ 30% 工具寿命
		基于人工智能的视觉检测	↑ 70% 劳动效率
		基于实时追踪、无人操作和自动规划的物流	↓ 2700 万美元 物流成本
福特奥特桑， 土耳其科贾埃利省	利用数字化制造和先进自动化，该工厂突破了精益生产，在不增加资本支出的情况下，将产量提升了 6%，员工参与度提高了 45%。	数字化工具和模具	↓ 47% 模具制造时间
		在生产和维护过程中使用实时数字化绩效管理系统	↑ 6% 产量和员工参与度
		机器人运行数据分析	↓ 9% 每年机器人故障
		实时数字化能源管理	↓ 耗电量
		对关键电机进行预见性维护	10 万美元 成本节约
福田康明斯， 中国北京	福田康明斯横跨设计、生产和售后服务等各个阶段，在其端到端产品生命周期中自主部署物联网和人工智能。该方法助其将产品质量和客户满意度提升了 40%。	基于车联网的车队绩效管理	↑ 10% 正常运行时间
		数字化作业平台	↑ 15% 生产效率
		基于人工智能的视觉检测	↓ 100% 瑕疵率
		基于物联网的制造质量管理	↓ 90% 生产质量瑕疵诊断时间
		高级分析技术减少质量保证	↓ 80% 每千辆汽车事件数量
通用电气医疗， 日本日野	这家通用电气工厂拥有 30 多年的精益生产历史，借助第四次工业革命技术，它成功转型为数字化精益生产。这一转型带来了绩效的大幅提升——如成本降低 30%，生产周期缩短 46%。	在生产线上使用 eAndon	↑ 30% 效率
		对操作员进行生物识别认证	↑ 21% 效率
		对生产过程进行实时监控与可视化	↑ 40% 效率
		基于 RFID 的物料拉动系统 (eKanban)	↓ 33% 劳动力
		eSpaghetti 步行路线优化示意图	↓ 43% 取料总步行路程
雷诺集团， 法国克里昂	这家雷诺工厂应用了多项第四次工业革命技术 (协作机器人、虚拟现实等)，这带来了效率的提升、浪费的消除、能耗的减少，和重复性工作的自动化。	数字化服务培训	↓ 20% 成本 50% 安全事件
		通过员工互联提升绩效	↓ 13% 消除浪费
		通过数字化优化流程	↑ 10% 生产效率
		自动调度工厂内的卡车流	↓ 成本
		数字化和物联网能源管理系统	↓ 能耗和成本

工厂	革新故事	五大用例	影响
雷诺集团， 巴西库里提巴	在推行第四次工业革命的过程中，雷诺库里提巴工厂重点突出。该工厂专注于改善员工问责制和端到端连接、调动员工积极性，并在包括经销商、客户和工人在内的价值链参与者之间建立一个互联互通的生态系统。这一做法成效显著：在没有大幅资金投入的情况下，工厂的生产效率就提升了 18%。	客户对接：B2C 电子商务平台	↑ 10% 单款车型销量
		通过员工互联提升绩效	↓ 19% 非增值活动
		通过自动导引车和协作机器人实现灵活的自动化	↓ 10% 单位成本
		端到端车辆交付追踪	↓ 30% 发货交付周期
		针对生产车间定制数字化招聘平台	↓ 20% 蓝领职位招聘周期
葛兰素史克， 英国韦尔	该制药工厂将第四次工业革命技术嵌入制造流程中，不断探索高级分析和神经网络等技术 在现有数据库中的应用。生产线速度因此提高 21%，停机时间大幅减少，良品率上升，OEE 增加 10%。	用先进数据分析提高机器性能	↑ 10% OEE
		用深度学习图像识别探测质量瑕疵	↑ ... 成本规避
		用人工智能引导机器性能优化	↑ 21% 产量
		数字孪生规划	↑ 13% 产能
		生产周期监控和可视化数字工具	↓ 9% 生产周期
海尔， 中国沈阳	沈阳海尔电冰箱厂是以用户为中心，奉行大规模定制模式的典范。通过部署一个可扩展的数字化平台，该工厂实现了整个价值链的端到端连接，使直接劳动生产效率提高 28%。	大规模定制和 B2C 在线订购	↑ 44% 营收
		用 3D 数字孪生来开发和测试产品	↓ 30% 新产品开发时间
		与供应商相连的数字化平台	↑ 100% 按时交付
		数字化劳动系统和车间自动化	↑ 79% 生产效率
		数字化质量管理	↓ 59% 产品不合格率
汉高， 德国杜塞尔多夫	汉高开发了一个独一无二的云端数据平台，可以实时连接 30 多家工厂和 10 几个分销中心。该平台不仅能够满足客户与消费者对服务和可持续性 与日俱增的期望值，还能同时实现两位数的成本与库存削减。	数字化赋能的实时全球 OEE 提升平台	↑ 30% 设备综合效率 (OEE)
		数字集成式端到端需求感知	↑ 20% 预测精确度
		可持续发展的数字孪生	↓ 38% 能源
		数字化端到端调度和 GPS 追踪	↓ 12% 物流成本
		用数字化技术控制仓库灯光	↓ 10% 加工成本
日立， 日本日立	将一系列工业物联网技术和数据分析应用于工程、生产和维护中后，日立奥米卡工厂在不影响质量的情况下，将核心产品的交付周期缩短了 50%。	利用数字化技术进行操作员绩效管理	↓ 50% 生产周期
		利用数字化技术进行设备性能管理	↑ 30% 产能
		控制系统的物联网基础设施	4000+ 从铁路交通管理到钢厂流程控制等各种应用程序
		用数字孪生模拟客户系统	↑ 70% 检验效率
		能源管理系统	↓ 16% 二氧化碳排放
英飞凌， 新加坡	借助数字化后台办公和人才发展战略，英飞凌将数据、高级分析和自动化技术嵌入其制造工厂及供应链网络中，将直接劳动力成本减少 30%，资本效率提高 15%。	基于物联网的制造系统	↓ 10% 材料成本
		材料处理和流程自动化	↑ 40% 操作员效率
		利用高级分析技术调度和派遣	↑ 50% 人员效率
		生产控制中心	↓ 100% 返工
		生产网络（包括代工厂商）的实时可视化	↓ 50% 材料隔离时间
强生 DePuy Synthes， 中国苏州	这家工厂成功扩展了其他强生工厂所开发的标准化数字解决方案，绩效由此得以提升，生产效率也提高了 15%。	端到端供应链可视化平台	↑ 6% 客户服务水平
		基于虚拟现实的培训模拟器	↑ 5 倍 安全培训保留
		用数字看板来监控 OEE 绩效	↑ 20% 资产利用率
		数字化工艺配方管理	↑ 15% 运营效率
		自动光学检测	↑ 85% 效率

工厂

革新故事

五大用例

影响

强生视力健，
美国杰克逊维尔

视力健打通了端到端价值链，确保了从供应商到消费者的连接。通过实施可重构制造，实现两位数的成本降低和销售增长。

数字化客户协作

↑ 两位数 客户转化率

通过模块化平台快速实现生产线的重新配置

↓ 30% 开发和发布时间表

基于工业物联网的先进流程自动化

↓ 两位数 成本

端到端供应链可视化平台

↓ 13% 库存水平

视觉引导机器人订单履行

↓ 不 FTE

美光，
新加坡

该半导体制造工厂将大数据基础设施与工业物联网相结合，以落实人工智能和数据科学解决方案。由此，产品质量标准得到大幅提升，新产品的推出速度也翻了一倍。

生产和维护自动化

↑ 4% 工具可用性

基于工业物联网的智能工厂

↓ 22% 报废

与 OEM 进行高级分析来优化流程

↓ 50% 上市时间

深度学习光学瑕疵检测

↑ 2% 良品率

集成式偏差管理平台

↓ 50% 解决质量问题时间

MODEC，
巴西里约热内卢

借助一系列第四次工业革命技术，这家海上工厂成功将停机时间减少 65%，一举成为行业领袖。它将高级分析运用于预见性维护，将数字孪生运用于冶炼工厂，借助专有数据平台加速开发，并在油船上大举利用新算法。

数字孪生

↑ 65% 运营第一年的停机时间

机器学习预见性维护

↓ 10% 整个生命周期的停机时间

用人工智能加快整个船队规模化实施数字化的速度

↓ 60 倍 生产效率

利用数字技术进行人员绩效管理

↑ 20% 组织健康

利用高级分析开发流程监控系统

↓ 95% 停工风险

诺基亚，
芬兰曲阜

诺基亚的这家 5G 工厂已经实现了 100% 的数字化，它致力于结合设计和生产来推出新产品。基于无线专网，该工厂部署了一系列第四次工业革命解决方案，成功将生产效率提高 30%，并将产品上市速度提升 50%。

在新产品引入 (NPI) 中运用虚拟化技术

↓ 50% 原型制作周期和 70% 的 EMS 转移时间

柔性机器人确保高生产效率
敏捷工作方式确保合格产品的不断推出

↓ 60% 交付时间和在制品缓冲减少

利用私有无线网络加快新产品产线
布局调整

↑ 40% 移动机器人效率和可靠性

利用云端数字化数据控制实现实时流程管理

↓ 50% 流程缺陷

通过互联互通的移动机器人实现无人工干预的内部
物流自动化

↑ 100% 生产效率

宝洁，
中国太仓

利用第四次工业革命技术，宝洁在中国太仓建立了亚洲第一家自动化工厂，成功实现端到端供应链的互联互通。它将生产效率提高了 2.5 倍，促进了由敏捷生产带来的电子商务增长，员工满意度也随之提升。

端到端同步供应链规划

↓ 两位数 产品转化成本

端到端一体化供应链数字情报中心

↑ 2.5 倍 生产效率

制造流程的自动化

↑ 4 倍 生产效率

机器学习 3D 质检

↓ 60% 客户投诉

分布式安全系统

↓ 98% 供应链造假事件

Petkim，
土耳其伊兹密尔

这家拥有 35 年历史的石化工厂以价值创造为本，开启了一段数字化旅程。在分析了数十亿个生产场景后，该工厂自研的人工智能算法成功优化了流程和产品定价，将息税前利润提升了 20% 以上。

使用工业物联网和高级分析提升良品率和产量

↑ 4% 良品率

通过预见性分析优化能源

↓ 2%-7% 能源 (燃气、蒸汽)

采用预见性分析提高质量

↑ 2% 息税前利润

基于虚拟现实的 HSE 培训

↓ 90% LTIR¹

数字化维护

↑ 1% 息税前利润

Petrosea，
印度尼西亚塔邦

由于位置偏远，这家采矿服务供应商采用了多项第四次工业革命技术 (如优化卡车调度、实时监测和无人机勘察等)，在短短 6 个月内将矿井扭亏为盈。

数字化调度 (矿井的大脑)

↓ 10% 卡车数量

实时人员管理应用

↑ 32% 产量

预见性分析技术支持的数字化维护系统

↑ 组件寿命

数字化作业矿井规划

↓ -95% 调查及计划编制时间

数字化控制中心

↓ 95% 报告生成时间

1.LTIR：损失工时工伤事故率 (Lost time incident rate)

工厂	革新故事	五大用例	影响
浦项制铁， 韩国浦项	这家工厂将人工智能技术引入钢铁行业，成功提升了生产效率和产品质量。目前，浦项制铁正与当地学术界、中小企业和初创企业携手合作，打造自有的智能工厂平台。	机器视觉和深度学习	↑ 4% 产量
		视觉化和数字化	↑ 产量
		基于人工智能的 BOF 温度控制	↓ 成本
		机器学习控制碾压力	↑ 5% 生产效率
		基于人工智能的自动化控制	↓ 60% 质量偏差
上汽大通， 中国南京	面对竞争激烈的市场环境，南京上汽大通针对大规模定制化展开了新模式。利用一体化数字主线，该工厂对客户到供应商的端到端价值链实行数字化，在提高销售量的同时降低了成本。	数字化销售：在线大规模定制	↑ 销售增长（整个市场下行 24%）
		数字化质量管理	↑ 30% 生产效率和零质量逃逸
		生产中使用数字孪生	↓ 35% 筹备周期
		数字化供应链	↑ 20% 生产效率
		智能工艺研发设计	↓ 15% 配置精确度
施耐德电气， 印度尼西亚巴淡岛	作为施耐德电气的 9 家智能工厂之一，该生产基地自己研发了一整套第四次工业革命技术解决方案（如物联网平台），并与包括客户和合作伙伴在内的整个施耐德社区共享。因此，整个生态系统的运营状况都得到提升。	维护 4.0	↓ 44% 机器停机时间
		数字化绩效管理工具	↑ 12% 运营效率和 5% 的员工参与度
		用质量 4.0 减少瑕疵	↓ 40% 报废成本
		用质量 4.0 进行追溯	↓ 24% 客户投诉
		一体化供应链	↑ 70% 供应商服务率
塔塔钢铁， 印度卡林加纳加	这家新建钢铁厂在极短的时间内实现大规模量产，已然树立起行业速度新标杆。通过对数字化和高级分析的巨大投资，塔塔钢铁成功将产品上市时间缩短了 50%。此外，由于积极开展了能力提升计划，其原本相对年轻且经验不足的团队也大力提升了其数字技能。	对熔炉内的软熔带形状进行可视化处理	↑ 7% 产量
		用人工智能模型预测和控制硅	↓ 33% 质量变动
		部署 AA 驱动的动态流程控制模型	↑ 10% 产量
		用控制系统来规划和安排整个生产流程	↓ 50% 客户交付周期
		部署预见性维护	↓ 非计划停机
联合利华， 阿联酋迪拜	为了提高成本竞争力，当地的一支创业团队建立了一个工厂数据湖，并就第四次工业革命用例进行了大规模的开发和部署。仅用较少的投资和较短的时间，联合利华迪拜个人护理工厂就削减了 25% 以上的成本。	用数字看板来监控 OEE 绩效	↑ 15% OEE
		通过高级分析进行质量预测	↓ 15% 生产周期
		数字化端到端质量管理	↓ 42% 材料浪费
		机器人流程自动化	↓ ... FTEs
		智能设备维护管理系统	0 美元 资本开支
潍柴， 中国潍坊	潍柴推行了端到端价值链的数字化转型，以精确识别客户需求并降低成本。受人工智能和车联网技术驱动，它的研发周期缩短了 20%，运营成本提高了 35%。	数字化产品开发	↓ 20% 研发周期
		以客户为中心的车联网	↓ 20% 故障率
		对设备性能进行实时监控	↓ 10% 维护成本
		自动化仓库	↓ ... 成本
		数字化供应商质量管理	↑ 30% 供应商质量
Zymergen， 美国加州艾莫利维尔	作为一家数字化原生工厂，Zymergen 正在改进长期高度依赖人力劳动的生产流程，大力提升机器人和人工智能技术的采用率，从而将创新速度提高了一倍。	传感器网络和数据架构	↓ 报废
		可重构模块化	↓ 生产线设计和重构时间从几周缩短到几分钟
		动态的数字化作业指令	↑ 40% 产量提升
		实时流程监控	↓ 20% 生产周期
		基于动态仿真的实时生产调度	↓ 50% 劳动力

第二部分： 快速获得规模效应的秘诀

采用全新方式运营的“灯塔工厂”

位于第四次工业革命最前沿的“灯塔工厂”能够带来宝贵洞见。对落于人后的组织而言，认真分析领先企业在第四次工业革命转型中的经验，学习如何突破“试点困境”，并取得规模效益，将是制胜关键。“灯塔工厂”的创新始于运营方式的改变。在整个创新过程中，他们逐步增加数字化工具，由此产生一加一大于二的效果。“灯塔工厂”同时在业务流程、管理系统、人员系统，和工业物联网及数据系统四个方面发力，旨在对运营系统进行更深入的创新。这一模式便于企业在整个生产网络中推广“灯塔工厂”经验。

“灯塔工厂”规模化扩展的秘诀在于，他们的创新运营系统为日后建立企业层面的现代化运营系统提供了成功范例。结合运营系统与规模化扩展的6大推动因素，并将其置于数字化转型的核心地位之后，企业便能成功摆脱“试点困境”。

规模化扩展的核心推动因素是成功的关键

虽然“灯塔工厂”的转型方法各不相同，但他们的经验都证明，六大核心推动因素在创新运营系统的规模化发展中功不可没。这些推动因素既有技术层面，又有人为层面；事实上，如果6大推动因素共同发力，就能让组织清晰地看到，以人为本将使技术和创新基础设施带来的效益最大化。虽然所有“灯塔工厂”都具备这些推动因素，但端到端“灯塔工厂”还将这6大推动因素广泛应用于全价值链。

敏捷工作方式支持持续迭代

基于敏捷原则，企业以迭代的方式展开创新和转型，以期实现规模化发展⁷。敏捷工作方式能使组织持续展开协作并管理变革；他们能够预判技术局限，并在局限发生时从容打破瓶颈。对“灯塔工厂”而言，这意味着快速迭代、快速失败和持续学习。他们要在两周的冲刺内创建最小可行产品（minimum viable product，简称 MVP），并针对多轮快速转型捆绑用例（每轮快速转型都会持续几个月）。如果为了追求完美，花一年甚至数年进行试点，往往试点刚完成技术就已过时。敏捷工作方式可有效解决这一难题。

技术生态系统带来更大程度的协作

技术生态系统由一系列受技术支持的各种关系组成——也就是说，包括数据共享在内的新型协作均建立在数字化基础设施之上。领先组织正在增加合作伙伴数量，为自身注入更多能力⁸。这些关系之所以独一无二，是因为企业能以交换海量数据，并在技术平台上展开协作的方式来促进交换和消费。相较于将技术解决方案和数据作为竞争优势的传统观念，这种转变可谓可圈可点。“灯塔工厂”与供应商和各行各业的合作伙伴都展开了这种合作。开放式协作与使用最佳可用技术是保持领先的关键。“灯塔工厂”深知网络效应的益处，也明白孤军奋战会使自己很快就落于人后。

工业物联网学院提升员工技能

第四次工业革命领跑者正在利用内外部专业知识，为转型团队提供再培训和资源，帮助员工提升能力、获取指导及相关技能，以适应不断变化的工作的需求。鉴于组织对新技能的紧迫需求，提升员工和管理层的技能是必然之举⁹。为了在员工间展开大规模的再培训以提升技能，发展专注于技术的有效学习方法变得至关重要。这包括游戏化、数字化的学习途径，虚拟现实和增强现实学习工具，以及定制和实时的、基于增强现实和数字化的作业指导。

选择可扩展的工业物联网 / 数据基础架构

“灯塔工厂”正准备将现有的 IT 系统重新设计并更新新一代技术功能，确保所选的工业物联网架构具有足够的适应性并能经得起未来的考验。虽然早期用例仍可应用于传统的 IT 基础设施上，但大多数老旧设施并不能满足高级用例对延迟性、数据流和安全能力的要求。许多企业纷纷表示，他们本身就没有准备好迎接更为高级的用例，推迟 IT 与数据架构的现代化进程似乎也无妨。“灯塔工厂”则采取了不同方法。他们深知速度的重要性，也明白打破耗时较长项目带来的技术隔阂，为员工提供几周之内就能完成创新的基础设施至关重要。雄心勃勃的首席信息官们已将技术发布的数量和速度提高了 10 倍。企业应在构建工业物联网架构的同时避免遭遇技术局限。在数字化转型的早期阶段（甚至在数字化转型之前）就部署了这种架构的企业，最有能力在整个组织中实现指数级扩展。

图 5：“灯塔工厂” 成为企业大规模部署数字化的先行示范者

规模化架构

“灯塔工厂”是企业大规模部署数字化的先行示范者，他们创建了适用于整个企业的单一运营系统，涵盖了几十个用例和几百项部署。

一个

企业运营系统

一个适用于整个企业的全新、统一工作方式，覆盖整条价值链、员工、资产和生产工厂

几个

“灯塔工厂”

每个“灯塔工厂”整合了至少 20 个用例，促进价值链或工厂创新，形成了规模化的基础架构

逾50个

用例

开展数字化创新，改变业务流程方式

逾500个

部署

通过本地化转型，改变企业员工的工作方式

规模化单元

“灯塔工厂”创建了整个企业工业物联网运营系统的最小可行产品，可复制推广到整个企业。

人员系统

通过工业物联网学院提升员工技能，为他们未来开展工作做好准备。敏捷数字工作室促进敏捷运营模式

业务流程

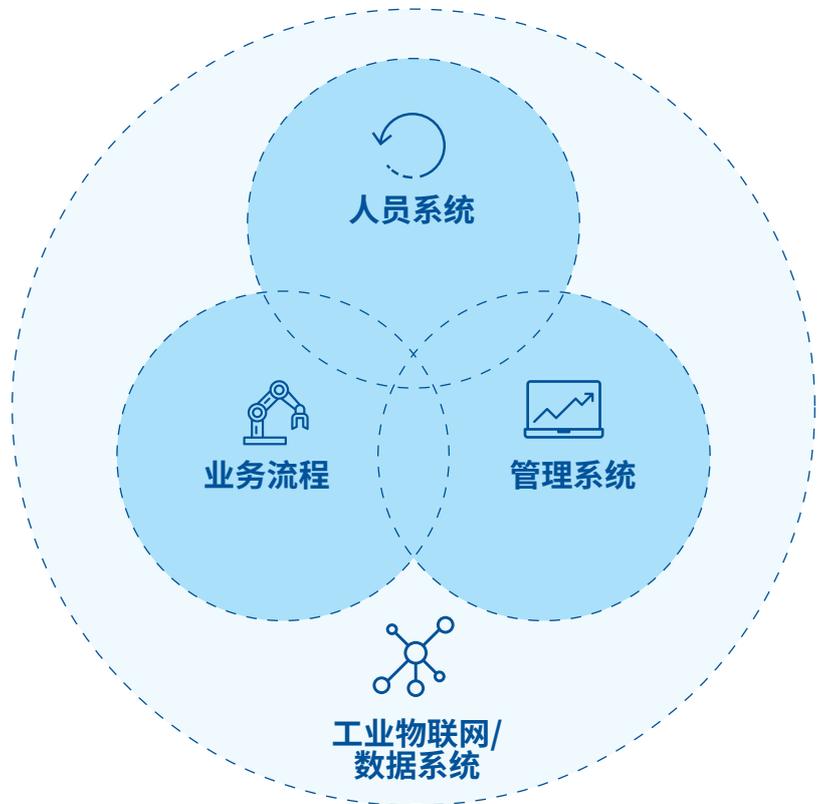
利用数字孪生仿真和改进“增强型一线员工”（augmented operator）¹、机器人，以及精简的自动化流程

管理系统

通过数字绩效管理（整合了人工智能、个性化数字看板和报警）创建一个真实的数据来源，去除决策中的多余步骤

工业物联网/数据系统

现代化的工业物联网基础架构和数据模型有助于实现现实世界（如生产车间传感器）与IT系统间的网络连接，其带来的敏捷度可在几周内添加用例（技术民主化）



规模化推动因素

六大推动因素在先进制造用例的规模化扩展中功不可没

敏捷工作方式

工业物联网基础架构

工业物联网学院

敏捷数字工作室

技术生态系统

转型办公室

1. 一线员工通过人工智能、增强现实、协作机器人或虚拟现实强化自身工作

敏捷数字工作室激发创意

领先组织专注于为开发团队创建空间，让其能基于敏捷工作方式进行管理和运营。这种氛围能够广纳员工参与，并为企业内部所有层级的创新提供支持。让转译员、数据工程师、ERP 系统工程师、工业物联网架构师和数据科学家共处一室是保持敏捷的必要条件，产品经理和敏捷导师的指导同样必不可少。这种搭配能够快速交付结果，并实现快速迭代。

转型办公室支持整个企业的变革

端到端领跑者证明，拥有明确的治理模式，为企业层面的项目提供价值保障是成功的必要条件。在实体工厂和整个端到端价值链都实现规模化的“灯塔工厂”建立了治理模型，支持最佳实践的交流和优先级划分，聚焦成效和解决方案，而不是主要专注在技术上。成功的转型办公室将从三个方面推动结果¹⁰：

- 建立重点明确的治理结构，定期召开以行动为导向的会议，以此加快变革速度
- 通过计分制和问责制来增加透明度和影响力
- 与组织各级人员公开进行互动与沟通，定期表彰优秀员工，以强化变革管理目标

“灯塔工厂”案例分析

Fast Radius：集成工业物联网的数字化后台办公

Fast Radius 是一家美国增材制造公司，它将强大的数字化后台办公与数字规划相结合，在各职能部门之间打造信息透明，从而解决效率低下的问题。

该分析平台能够收集整个制造过程的数据信息，并利用多种机器学习算法来为价值链的所有环节提供特定反馈，这样就能寻找并解决不同职能部门的根源问题。该平台十分灵活，通过所有工厂传感器之间的开放通信协议和中央云数据存储来实现。

这种数据反馈回路能够促进设计方案的改进，进而逐步减少质量问题和返工次数。此外，数字孪生技术的使用让远程生产成为现实，其覆盖面已经扩展到所有工厂。这有助于为特定的工厂分配特定的任务，同时优化物流和产能。自实施以来，Fast Radius 的库存下降了 36%，产品上市时间缩短了 90%。

联合利华的敏捷冲刺团队

联合利华迪拜个人护理工厂（Unilever Dubai Personal Care Site，简称 DPC）通过改善成本和客户响应能力，明确了自身的竞争优势。DPC 深知，若想实现飞速发展，保持创新和冒险精神必不可少。因此，在第四次工业革命旅程中引入新的工作方式至关重要。该工厂致力于打造一个动态结构，以期在极短的时间内创造价值。上述举措在帮助 DPC 发掘增长潜力的同时，改善了成本和客户响应能力。与此同时，它还促进了工作流程的重组，使其重点关注赋能、可持续性，以及与业绩直接相关的价值创造。

工厂管理层意识到，部署众多第三方解决方案将带来诸多挑战，企业成本也会承压。因此，他们很快就组建了一个内部团队。团队人员深知任务艰巨，但仍对开发数字解决方案充满热情。一名前工艺工程师被任命为数字项目负责人，团队成员包括一组工程师和技术人员，他们会在继续履行原有职责的同时参与这些项目。团队开发和交付的众多应用程序能够左右工厂操作员的日常安排，因而在此过程中，整个团队都严格遵循下述原则：所有应用程序都基于共享的数据湖；使用开源平台设计；提供直观的用户界面；并且尽可能采用移动技术进行开发。

在这一过程中，DPC 还与一些初创企业建立了合作关系。作为 DPC 的后勤部队，这些初创企业会根据工厂的需求灵活调整解决方案。比如，该工厂的运维团队就与一家初创企业合作，打造了一个易于使用但功能强大的云端运维管理系统。这套软件的部署成本不高，且订购成本极低。

究其根本，在 DPC 的数字化历程中发力的推动因素都无需大幅资金投入，如对接合适的资源、直面日常挑战、部署和维护大量内部解决方案等。相反，真正的投入来源于员工。他们满怀激情，齐心协力，共同致力于创新解决方案的开发。

工业物联网学院推动 Petkim 的第四次工业革命转型

Petkim 是土耳其第一家，也是唯一一家综合性石化公司。同时，它也是该行业重要的原材料供应商。它在企业内部开发了数个用例，由一线员工组成的跨职能团队负责交付。这些用例的重点都是对公司的影响，以及能为公司创造的价值。重点推动因素包括数字学院、价值创造激励机制，以及敏捷工作方式。得益于这些措施，Petkim 成功提高了良品率、产量、能源效率以及产品质量。Petkim 的数字化转型总共创造了 5190 万美元的经济效益，体量甚至超过其 2018 年息税前利润的 20%。

为了打造这个价值创造项目，Petkim 专门建立了一个数字化转型部门。通过绘制一个影响和可行性矩阵，并就这两个指标对各大用例进行评分，Petkim 可决定所有用例的优先次序，生成数字化转型路线图的初始项目列表。根据用例的优先次序明确对人才的需求后，Petkim 还建立了一个数字化转型团队和一个数字化学院，旨在提高员工的数字化技能。这些方法使数字化纳入日常工作之中。鼓励数字化和运营团队采用敏捷工作方式后，该公司收获了若干益处。

组织上下对此都有充分的了解。员工们逐渐认识到，高级分析工具在改进流程数据方面扮演着重要角色。借助人工智能技术和高级分析工具，工厂显著提高了良品率和产量。除去

财务影响最为显著的用例外，公司还针对许多其他数字化推动因素部署了项目，包括虚拟现实 HSE 培训和评估项目，以及使用第四次工业革命技术开展的维护作业。

Petkim 的高层表示，Petkim 数字化学院是加强公司内部数字化意识和能力的关键。

第三部分：

深入解读端到端“灯塔工厂”

我们发现，端到端“灯塔工厂”的一大关键特点是，他们正与价值链的不同利益相关方开展合作，共同重塑客户体验。在数字化技术的帮助下，这些组织能够按需批量生产定制产品，并与供应商实时共享数据，快速应对需求波动。此外，通过与供应商共享数据和利用预见性分析，整个流程也能得到优化。

这种价值链的互联互通也使智能出货成为现实。“智能价值链”的最终结果，是从下单到交付的一整套客户体验的变革。

端到端“灯塔工厂”的三种价值驱动方式

在这些第四次工业革命领跑者的背后，有一系列最重要价值驱动因素。在这些因素的驱动下，“灯塔工厂”已在生产效率、敏捷度和大规模个性化个性化定制方面取得显著提升。具体来看，端到端“灯塔工厂”采用了三种独特的价值创造方式：

1. **以客户为中心**：端到端“灯塔工厂”正在改变与客户的互动方式。他们将客户作为流程设计和运营的核心，改善了客户的购买体验和使用体验。
2. **跨职能的无缝连接**：跨职能的无缝连接促进了更高效的决策，减少了多余的沟通。
3. **组织间的持续连接**：第四次工业革命技术正以前所未有的方式进行数据收集、交换和处理，帮助企业创建新的制造生态系统。

“灯塔工厂” 案例分析

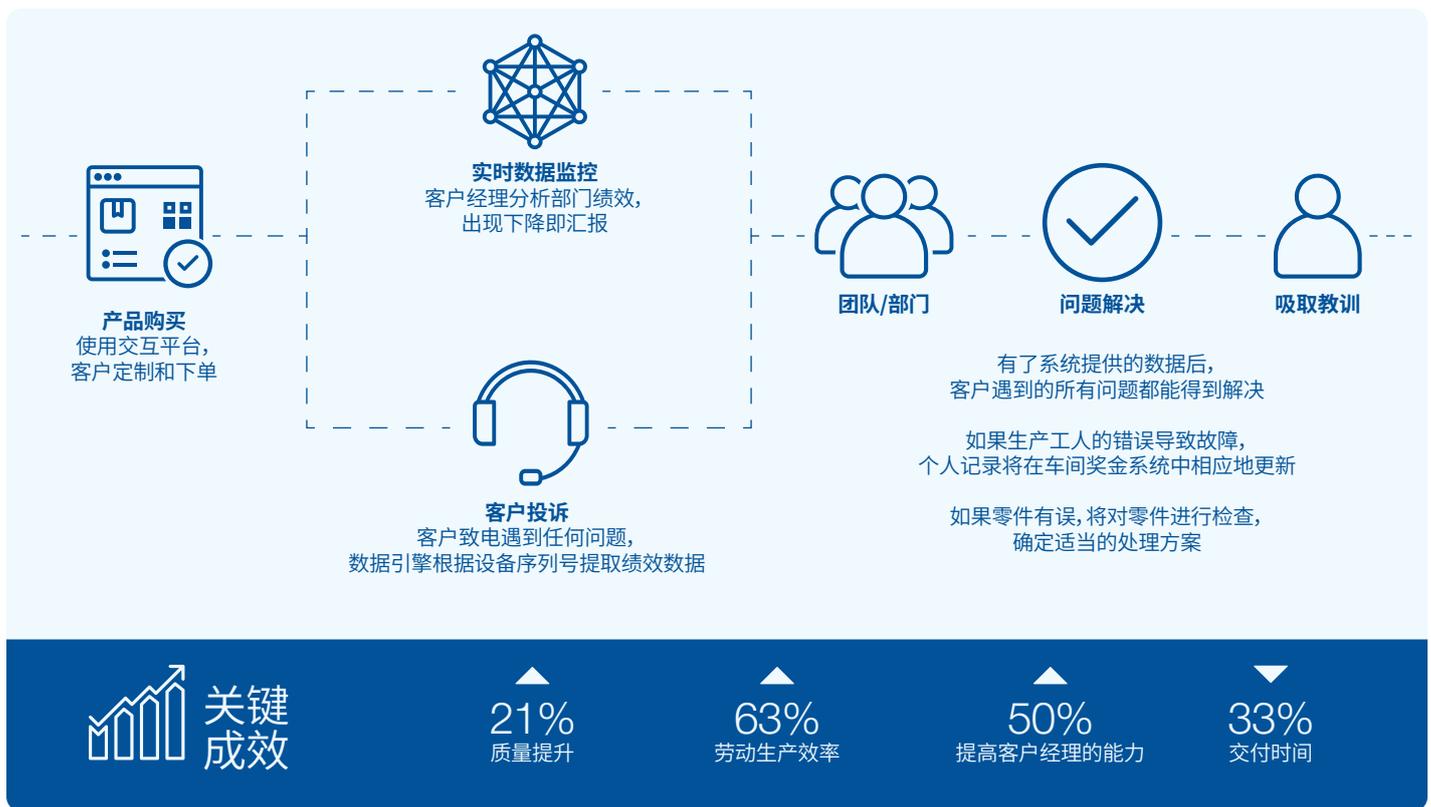
海尔：将客户作为产品生态系统的核心，重塑客户关系

端到端领导者将客户体验置于战略核心地位，并借助技术将其与绩效管理紧密相连。借助数字化技术，中国家电制造商海尔的空调部门将用户体验与日常运营紧密连接，实现了从一次性客户思维到终身用户思维的转型目标。海尔模式成效显著，比方说，产品质量提高了 21%，劳动生产力提高了 63%，交付周期缩短了 33%，员工对客户绩效的监控能力提升到了 50%。

该公司开发了一个交互平台，使消费者能够设计和订购一款量身定制的产品。客户绩效监控器采用实时监控数据的方式来分析产品绩效，并向制造商上报所有恶化信号。如果有客户就产品问题联系海尔，数据引擎会从客户的产品序列号中检索性能数据。然后海尔会确定导致该问题的根本原因，并采取正确的行动方案。这套系统有助于追踪责任。如果是车间工人的失误导致故障，车间奖金系统则会加入这项个人记录。如果是零件故障，则会检查组件性能，以确定合适的解决方案，防止后续问题的发生。

图 6：海尔空调部门借助数字化技术使客户与运营团队紧密相连

借助数字化技术，**海尔的空调部门**将客户体验与日常运营紧密连接，实现了从**一次性客户思维**到**终身用户思维**的转型目标



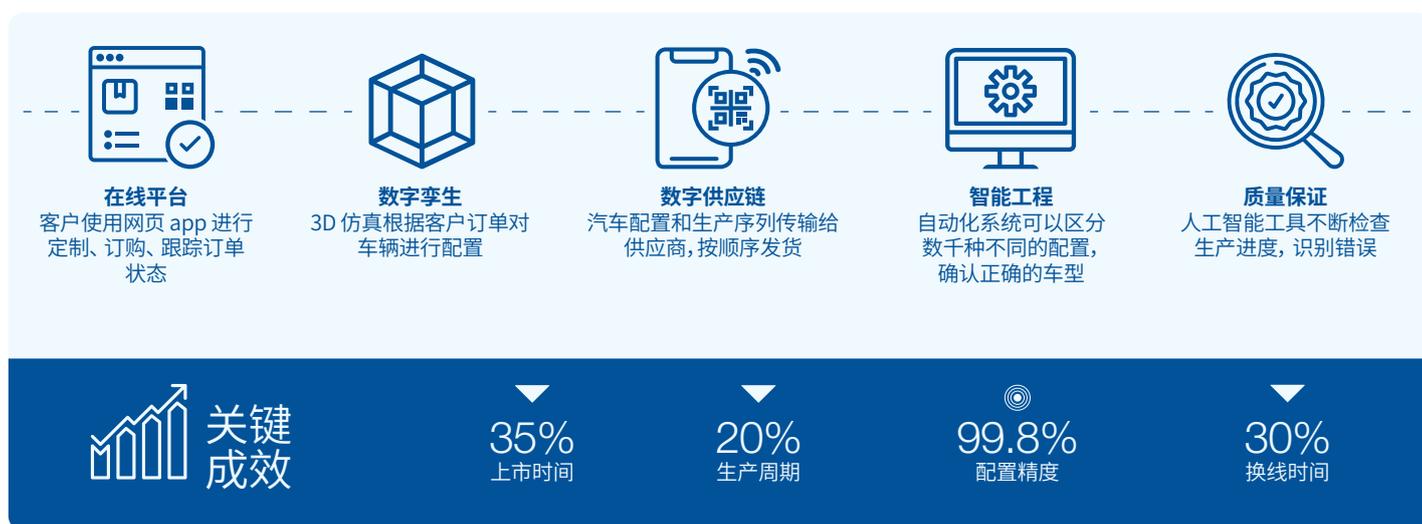
上汽大通：让客户参与产品配置

端到端“灯塔工厂”开发了各种解决方案来创造以客户为中心的差异化体验，所获价值远超实体工厂范畴。中国汽车公司上汽大通使用数字化解决方案，极大地促进了定制汽车的批量生产，显著提高了客户服务水平——从下单到交货只需不到 4 周的时间。由此产生的影响包括：减少 35% 的上市时间，缩短产品交付周期达 20%，实现 99.8% 的配置精确度，缩短 30% 的加工及换线时间。

客户可以使用网络应用程序定制和下单，随后便可追踪生产状态。该公司会根据客户订单需求，使用 3D 仿真和数字孪生技术来实现汽车的定制化。借助高效的数字化供应链，每辆车的配置和生产队列会实时发送给供应商，启动准时化顺序供应（just-in-sequence）发货。自动化智能工程系统能够鉴别数千种配置，以得出最终方案。而人工智能质量保证工具则会持续检查构建进度，以识别错误。

图 7：上汽大通使用数字化解决方案改进定制汽车的批量生产

上汽大通使用数字化解决方案来颠覆大规模定制汽车的批量生产，为客户提供前所未有的服务



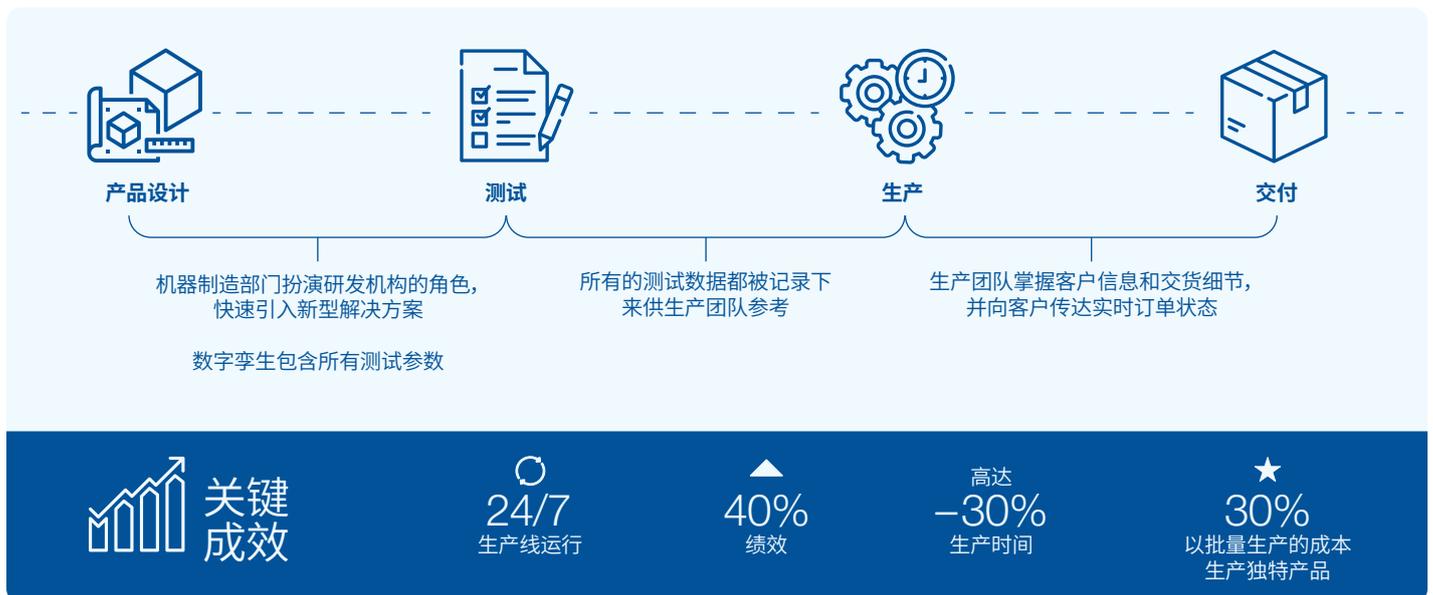
Phoenix Contact : 提升数据透明以创造更大价值

Phoenix Contact 是一家德国制造商，专门提供工业自动化解决方案。它在最大程度上实现了数据的互联互通，并提升了数据的透明度。因此，它所创造的价值要远高于价值链上每个步骤创造的价值总和。Phoenix Contact 借助多个 RFID 标签收集信息，确保数据在流程所有阶段都保持透明可见且易于获取。这种互通性确保了生产线的全天候运转，不仅提升了 40% 的绩效，还将生产时间缩短了 30%。最终，Phoenix Contact 以批量生产的成本实现了定制化产品的生产。

Phoenix Contact 的成功转型要归功于其集成式研发模式 (R&D)。也就是说，机器制造部门同时需要兼顾研发职责。这就使得新型解决方案的快速引入成为可能。比如说，它能批量生产 1000 多种不同设备版本的隔离放大器。该公司有效利用了数字化测试和数据共享。数字孪生包含所有测试参数，所有测试数据也都会被记录下来，供生产团队参考。此外，生产团队也能直接对接客户。他们可以获取客户信息，向客户实时传达订单状态和交付细节。

图 8 : Phoenix Contact 使用 RFID 标签来确保数据透明且易于访问

Phoenix Contacts 利用 RFID 信息标签，确保数据在流程所有步骤中透明、可访问



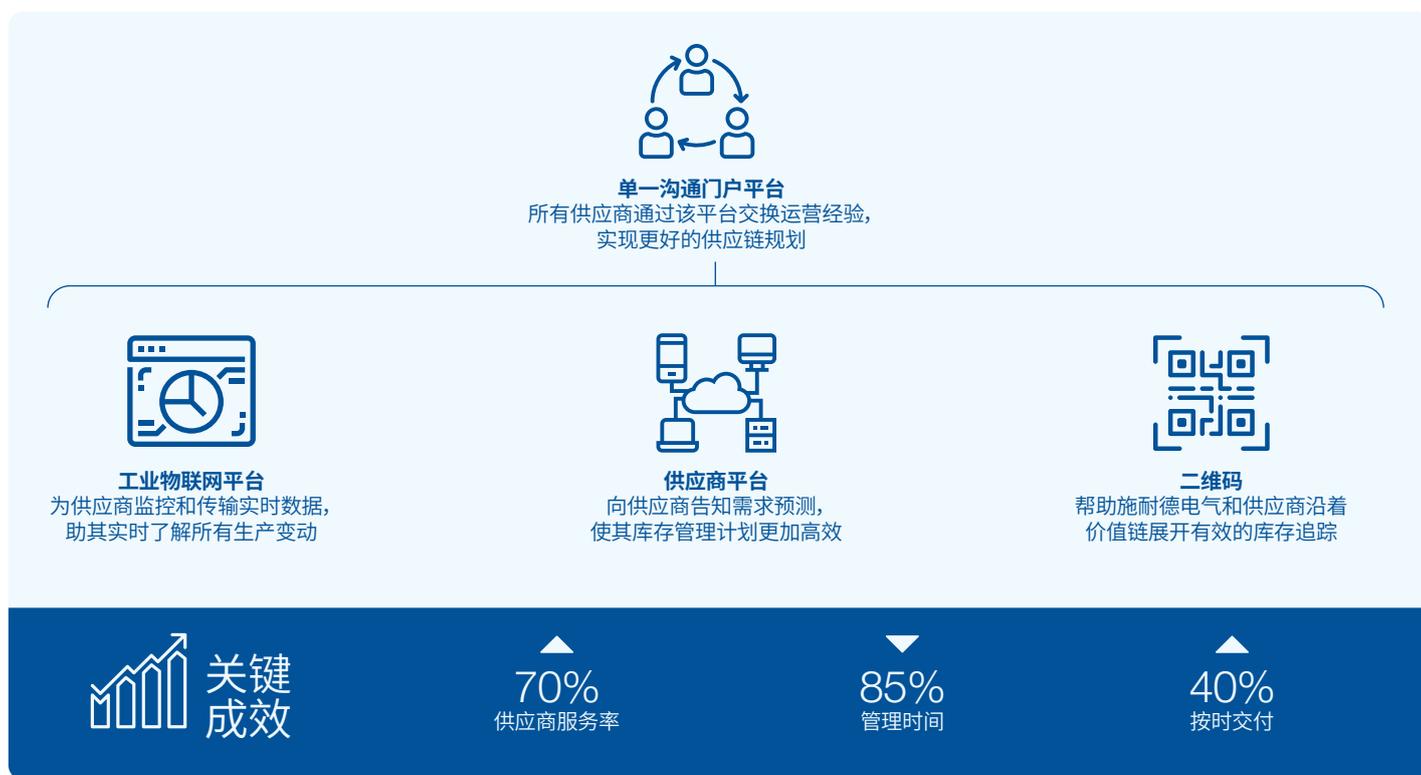
施耐德电气：要跨职能协作，不要部门隔阂

一条始于原料采购，终于产品交付的价值链是 21 世纪制造业的根基，它的各个环节极其复杂。任何一点异常和中断都可能会对其他环节产生负面影响，若能最小化这种影响，便可实现效率的最大化。由于数字化技术加强了整个价值链的互通性，各大组织能够共享信息，最小化生产偏差产生的影响。位于印尼巴淡岛的施耐德电气创建了一个平台，供利益相关方监控和应对制造流程中的异常情况。

施耐德设立了一个单一的通信门户平台，供各大供应商交换运营经验，从而实现更好的供应链规划。由于上述举措，其总体管理时间减少了 85%。该平台的成功得益于几项关键特性。工业物联网平台能为供应商监控和传输实时数据，助其实时了解所有生产变动。此平台能提供实时需求预测，帮助供应商实现高效的智能库存管理，供应商的服务率也因此提高了 70%。最后，该公司还采用基于二维码的智能跟踪系统，高效地跟踪整个价值链中的库存，使准时交货率提高了 40%。

图 9：施耐德电气的平台能够监控和应对异常情况

施耐德电气在巴淡岛的工厂建立了一个平台，供利益相关方监控和应对制造流程中的异常情况



点亮制造业的未来

随着业务流程、管理系统和人员系统不断融入第四次工业革命的数字化系统，我们将在未来看到更多演变。真正的第四次工业革命领跑者已经成功实现系统、文化和员工的转型，所获价值贯穿整条价值链。

不少用例都已证明，即便是很小的投资，也能为组织斩获极大的效益；不过，想要成功实现第四次工业革命转型，雄心和毅力才是关键。远见至关重要。领导层既要有超越传统部门局限，并打破部门隔阂的魄力，也要有善于发现外部伙伴关系潜力的眼光。

这些领跑者一直重点关注核心员工，大力投资技能培训，帮助他们从容面对不断涌现的革命性技术。事实上，这些“灯塔工厂”已然成为指路明灯，为制造生态系统点亮前方的道路。

第四部分： 以人为本的未来生产

“灯塔工厂”为第四次工业革命转型做好人才准备

“灯塔工厂”聚焦了一批规模、行业和地理位置都各异的企业，指明了他们在第四次工业革命转型过程中提高生产效率、绩效和员工参与度的宝贵做法。第四次工业革命技术的采用极大地影响了人员工作。第四次工业革命领跑者实施了6项常见举措，最大限度地发挥了员工潜力，以在应对变化时从容不迫。

“灯塔工厂”支持其员工的共同行动包括：

- 利用技术和数据，增强一线员工的创新能力

- 积极主动建立技术能力和软实力，培养管理人才
- 调整组织架构，促进第四次工业革命的转型
- 实施新的工作方式，如敏捷工作方式、提高透明度
- 通过自动化和数字化技术改进日常装配和操作任务
- 提高一线解决问题和协同合作的水平

以下“前后对比图”直观地展现了一线员工职位因上述举措而发生的巨大改变。在下述章节，我们将借助对部分“灯塔工厂”案例的深入分析来详述这些措施。

图 10：“灯塔工厂”多管齐下，采取多种措施支持其员工（1/2）

	“灯塔工厂”举例	之前	之后
利用技术和数据，增强一线员工的创新能力		<p>生产线的创新来自最高管理层</p> <p>我要花时间来确认数据是否准确，然后输入到各种报告模板中</p>	<p>员工负责生产线的创新——人人出谋划策</p> <p>几百个数据源帮助我自动追踪数据，并实时录入记分卡</p>
积极主动建立技术能力和软实力，培养管理人才		<p>我掌握了基本的工作技能，但发展其他技能的机会却有限</p> <p>我的公司依靠内部知识与经验培训团队，并且入职培训只历时一周</p>	<p>我有一个定制的再培训项目，它会根据我的能力进行调整，教我掌握数字技能，做到“技多不压身”</p> <p>与大学及其他公司的合作能够带来新的学习机会，这是线上个人培训旅程的一部分</p>
调整组织架构，促进第四次工业革命的转型		<p>人才管理系统“一刀切”，依赖专业知识</p> <p>我看到IT和运营之间各自为政</p> <p>我们只是生产人员——只专注于操作设备</p>	<p>企业使用创新的外部方法提供培训，整合在职辅导、轮岗、增强现实、虚拟工作站、数字学习中心</p> <p>我们有全新的跨职能团队专注于数字化落地</p> <p>我的团队将生产和维护合并在一起，和技术人员、一线员工一起进行自动化操作</p>

图 10：“灯塔工厂”在做人才准备时采取的常见措施（2/2）

“灯塔工厂”举例		之前	之后
实施新的工作方式，如敏捷工作方式、提高透明度		在测试之前，解决方案与运营脱轨	为了开发适用产品，敏捷团队通过迭代产品检查，让我们在早期就参与到最小可行产品的开发中
通过自动化和数字化技术改进日常装配和操作任务		<p>我与上级的讨论是基于过去一小时或一天中的有限数据，并不能帮助我们解决问题——因此，大多数时候讨论只是一次回顾</p> <p>我有 90% 以上的日常任务都是重复性手工劳动</p> <p>我的支持工具很少，主要是纸质的标准操作流程 (SOP)</p> <p>我只管理几台机器，它们常常出故障。我不得不根据自己的专业知识来进行调整</p>	<p>我与上级的讨论使用了与问题相关的实时数据，因此我们可以诊断出根本原因并快速做出决策</p> <p>自动化和协作机器人能帮助我完成基础性工作</p> <p>数字化工具（电子 SOP、增强现实）可以实时为我提供帮助</p> <p>我的机器具有中心线管控以及其他设置，可以自我学习，能消除大多数故障，这样我就能同时跟踪更多台机器</p>
提高一线解决问题的和协同合作的水平		<p>收集数据占用了我绝大部分时间，但大多数任务都缺少相关数据</p> <p>生产线上的决策一般基于经验，而非数据</p>	<p>我的数据都集中在一个数据库中，按需使用</p> <p>我们团队利用自我诊断的机器数据来做出决定</p>

利用技术和数据，增强一线员工的创新能力

企业文化若是注重一线员工的参与，将有助于技术的成功落实和持续采用。我们就“灯塔工厂”员工展开了一项满意度调查后发现，参与文化其实不可或缺。在这项调查中，受访者给出的平均评分是 8 分（分值范围是 1–10 分，10 分代表“一线员工对第四次工业革命转型感到满意并积极拥抱转型”）。受企业文化的影响，这些员工对转型的接受度也更高。因此在多数工厂中，员工都习惯于思考如何进行创新，并亲眼见证变化的发生。

正如宝洁捷克工厂的一位操作员所说，定期召开会议探讨问题的解决方案有助于识别损失的来源，还能制定有助于避免损失发生的数字化解决方案。如果损失的源头处于帕累托曲线顶端，则该损失会得到优先处理，企业也会投入相关数字资源。之后，数据科学家会与操作员合作，找出问题的原因并设计解决方案。数据科学家将使用敏捷工作方式快速构建最小可行产品，并与操作人员一起评估初步输出结果。在对最小可行产品进行测试，并且确认损失来源已经消除前，这种状态将一直持续下去。

福特奥特桑利打造了一支人才发展敏捷团队，结合人力资源、生产过程和职业技能培训，帮助员工培养创新、数据利用和创新等第四次工业革命技能。“过去只负责衡量业务的团队现已转变任务，开始分析自动生成的数据。”福特奥特桑的一位主管评论道，“在这款工具的帮助下，我可以完成所有行政任务、获取指标，并且提交新想法。”从新技术的

评估和选择，再到与工程师和专家合作，对新技术进行开发，每一个步骤都有员工的倾情参与。

在“数字周”活动中，施耐德电气会举办“黑客马拉松”来激发新想法。一位主管解释道，“这项活动前前后后已经吸引了 50 多名员工的参与。提出新想法业已成为了员工的新常态。”

积极主动建立技术能力和软实力，培养管理人才

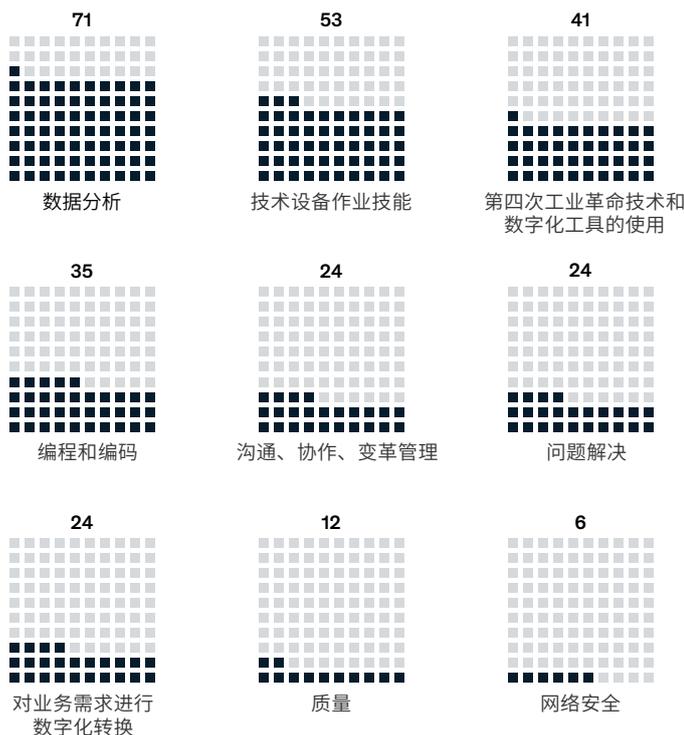
过去，虽说操作员会学习与工作直接相关的基本技能，但发展其他技能的机会却很少。现在，基于员工对数字化技术的熟悉程度，企业能为他们量身定制再培训项目。这能从多个维度培养员工技能，让他们在拓展兴趣爱好的同时，以全新的方式为组织做贡献。

同样，企业的技能培养项目也不再只是在职培训这么简单。新的技能培养项目会利用轮岗、临时任务、交流和实习等手段来帮助员工习得技能。宝洁的一位人力资源经理评论道，“采用技术手段后，我们的实习和轮岗项目帮助我们吸引了不少新人才，尤其是国际人才。”采用了高效动态的内容交付模式后，在职培训将纳入增强现实、虚拟现实和数字化学习中心等新方法。Petrosea 的一名操作员发表了自己对游戏化技能培训的看法：“一开始引入游戏化培训时，我十分怀疑，但当我意识到它能让数字化学习变得如此迅速与简单之时，我又非常兴奋。”

“灯塔工厂”的再培训项目重点关注与数据及第四次工业革命密切相关的技能，如面对激增的数据使用量而亟待开发的技能，以及工厂特有的一系列技术（如下图所示）。

图 11：“灯塔工厂”通过再培训来对新旧职位提供支持

第四次工业革命培训亟需的技能，提及相应技能的“灯塔工厂”比例



资料来源：麦肯锡公司

值得注意的是，没有一家“灯塔工厂”是靠孤军奋战完成第四次工业革命转型的。所有工厂都依靠了合作关系来获取或共同开发新知识。2019 年的一项调查显示，55% 的“灯塔工厂”都在与大学或其他教育机构合作，以便获取知识和人才。此外，有 71% 的“灯塔工厂”都在打造内部学院和能力中心来进行能力建设。

调整组织架构，促进第四次工业革命的转型

职位组合正在发生变化，传统职位现在包含了不同以往的数据型任务，同时企业也新设了职位，以满足数据、编程和数字化方面日益增加的需求。有些新职位设在工厂层面，有些则设在企业中央层面，重点关注“灯塔工厂”。总的来说，有 71% 的企业正以一种或多种方式调整组织结构，大力推动第四次工业革命转型。

企业一改 IT 与运营各自为政的旧有组织结构模型，建立了专注于数字化部署的跨职能团队。按照以前的惯例，中央团队所临时建立的试点项目几乎不会涉及生产车间，但现在，数据科学家和数据工程师与一线员工密切配合的模式正在崛起。意大利拜耳(Bayer)制药的一位数字化项目经理表示：“我们聘请了数据科学家帮助我们在现场推动高级分析用例并对其业务需求进行翻译。”下文列举了一些工厂和中央层面新设立的数字化职位。

数字化制造经理 (DMM)：在 Arçelik, DMM 直接向首席数字官汇报工作，有助于获得管理层的更大支持。该模式能够整合 IT 与生产，让 DMM 帮助工厂经理实现与质量和产量相关的生产 KPI。这样一来，生产和 IT 之间的隔阂就得以消除。

数字化转型部门：位于印尼巴淡岛的施耐德电气新设了一个数字化转型部门，旨在简化项目经理的轮岗流程。项目经理通常可以在岗一年，但时间灵活可调。该职位的宗旨，是关注路线图中选定的数字化转型项目。与相关领域的中小企业、生产线领导、管理者等共同开发解决方案也是其重点关注范畴。

企业层面项目：博世在企业层面开展的项目侧重于促进数字化转型，方法（敏捷工作方式、转型领导力等）和技术（IT、数据分析等）两者兼顾。

小型专家团队：诺基亚创建了一个由 10 人组成的小型专家团队，负责新技术的开发与实施。与工程团队类似，它致力于通过交叉职能来促进第四次工业革命创新和大规模部署。

实施新的工作方式，如敏捷工作方式和提高透明度

技术为工厂带来了敏捷工作方式，不仅支持短时间内工具和应用程序的开发，同时还能广纳各级员工的观点；这就为一线员工和管理团队带来了更高的透明度和新的沟通工具。

在第四次工业革命用例、研发和 IT 项目中，“灯塔工厂”最常采用的就是敏捷工作方式。有三分之二的“灯塔工厂”都表明，它们曾或多或少将敏捷工作方式用于应用程序的开发与计算机编程中。上文提到的诺基亚专家团队就使用了敏捷工作方式。Arçelik 也在项目管理中应用了敏捷工作方式，以便执行第四次工业革命用例，并管理其研发和 IT 项目。根据项目需求，Arçelik 组建了一支敏捷团队，成员来自生产、维护、工程和质量各部门。虽然一线员工并不会与敏捷工作方式展开日常接触，但公司会定期向他们展示 MVP，并咨询他们的建议。同样，许多“灯塔工厂”也在“放宽”以投资回报率为中心的项目审批流程，以避免为第四次工业革命的创新设置障碍。

随着智能手机应用的普及，以及数据的实时获取，工厂内部的沟通已变得更加高效和透明。以前，操作员和主管之间的沟通基本都围绕最后一天或最后一小时的工作情况，数据十分有限，而现在，他们可以利用实时数据和事实来做出决断，并迅速制定出明智的决定。

智能手机上的应用程序推送和状态信息提供了多模和多回合的点到点通信，比如，信息可从生产线经理发送到质量工程师，再发送给值班的生产线经理。福特奥特桑定制了一款多功能移动应用程序，其中包含了一个可以查看所有 KPI 的仪表盘。监管人员能在应用程序中提出和批准投资请求，并提交和管理各种想法。博世打造了一个内部通信平台，员工能够通过聊天和视频应用程序进行互动。智能手机应用程序能够在线共享数据、生产通知及其他类型的通信信息。这种沟通效率使得一线主管有更多的时间来与团队面对面解决问题。

通过自动化和数字化技术改进日常装配和操作任务

虽然各大企业多年来一直致力于推动基础任务的自动化，但有些组装线上的任务较为复杂，并不能完全由机器取代。所以，如今它们都在集中精力减除无法带来附加价值的生产时间，并通过电子标准操作程序（electronic standard operating procedure，简称 eSOP）和增强现实等数字化工具简化操作员的工作。以前，企业都不太依靠支持性工具，最常使用的是纸质标准操作规程（standard operating procedure，简称 SOP）；现在，自动化数据收集技术可以改进对生产和质量的追踪。数字化协助工具已经取代了纸质文档和质量指导手册，让员工能够投入更多的时间去解决问题，并将精力用于基本的机器维护。在第四次工业革命转型中，“灯塔工厂”已经实现了 90% 以上重复性手工任务的自动化和半自动化。

就丹佛斯团队展开的采访显示，数字化“防错”工具和动态 eSOP 的优势在于，它们能够详细追踪每一个步骤的质量。Phoenix Contact 开发了一种应用程序，不仅能为操作员提供详尽的指导，还能追踪任务的完成情况，助力员工的职业

生涯发展。该公司称，所有与第四次工业革命机器合作的操作员都更倾向于这种模式。一名操作员评论道，“第四次工业革命机器让我学到了很多新技能，也让我有了更多时间去维护设备和排除故障。”意大利的拜耳则是使用可穿戴设备来改进纸质 SOP，并进行数字化转化，从而减少了换线时间。

提高一线解决问题和协同合作的水平

随着工厂上下逐渐转向唯一可信数据来源的使用，员工解决问题的方式也发生了变化。其频率变得愈加频繁，关注点变得更有针对性，整个过程也变得更加高效。以前，员工会在收集数据上花费大量时间，并且常常面临数据短缺的问题。现在，所有数据都集中在一个数据库中，按需使用。过去，生产线上的决策通常都基于历史经验，而现在则可以依赖机器收集的自诊断数据。在深入反思这种变化后，富士康的一名机器操作员对此做了一番评论：“我的职责已从装载和其他手工任务，转变成了监控、诊断和解决问题。”

由于无需花费太多时间去收集数据和制作报告，车间主管将有更多时间与团队并肩作战。鉴于上述情况，企业的中层管理人员等于摇身一变，成了一线员工的导师。他们态度积极，与员工齐心协力寻找问题的解决方案。Arçelik 的主管们称，他们会花一整天在车间里指导操作人员使用新系统，帮助他们认识新产品，并帮助他们灵活应对不断增加的新变量。正如其中一位主管所称：“机器帮我节省下了大量时间，让我能够更加关注车间问题的解决，并对我的团队成员提供指导。”

通过落实“从基层到高层”的实时数字化绩效追踪，位于印尼巴淡岛的施耐德电气成功实现效率提升，并能在出现质量问题时及时关停生产线。技术的出现提升了员工反应和决策速度，一方面，员工参与度得到提高，另一方面，运营效率也出现了极大的改进。数据透明也带来了企业文化的改变。出于对数字工具的信任，员工之间的信任度也大幅提升。企业采取的多种手段都提升了组织效率，包括转向无纸化流程和减少非正式沟通（利用电话和社交媒体聊天应用程序），同时，也避免了向人员索要数据而带来的时间浪费。

第五部分： 行动呼吁

本章将阐述全球“灯塔工厂”拓展其影响规模的4大机遇。我们还针对各项机遇提出了挑战，呼吁全球“灯塔工厂”网络奋勇向前，迎难而上。

到 2025 年实现生产制造碳中和

制造业约占全球能源消耗的 54%¹¹，占全球二氧化碳排放的 20%¹²。虽然行业领导者都知道改变迫在眉睫，但至今仍没有清晰的商业案例来指导行动，引导投资走向碳足迹的减少。不过，有些“灯塔工厂”已然走在环保道路的前列。部分制造企业将技术创新与新兴商业模式相结合，在提高竞争力与推动业绩增长的同时，积极打造一个碳中和的制造生态系统。

– 挑战：所有“灯塔工厂”都承诺到 2025 年实现碳中和。

在生产网络中推广技术并惠及中小企业

只有推动价值链和生产系统的全面转型，并将中小企业都纳入其中，才能实现第四次工业革命的全部效益。“灯塔工厂”应以排头兵的姿态和先行者的担当，主动支持第四次工业革命技术在整个生产网络中的扩散，并确保所有供应商的参与。这不仅能够带来整体效果和技术投资回报的改善，还能确保知识的公平传播，从而加快创新进程。

– 挑战：于 2020 年提名首批全公司层面数字化转型成功的“灯塔工厂”，认可他们在整个生产网络中扩展第四次工业革命技术的努力。

– 挑战：为每家“灯塔工厂”制定一项培训计划，让它们支持和资助其价值链中选定的一组中小企业，加速它们的转型。目标是让这些中小企业到 2022 年也被确认为“灯塔”。

投资于能力建设和终身学习

公共和私营组织、学术机构及公民社会必须齐心协力，帮助企业员工向着制造业的未来转型。这就需要改革教育系统，投资大规模的再培训和技能提升举措，打造有利于终生学习的有利环境，使员工能够不断适应外界变化。这有利于员工增加晋升机会，并帮助企业填补现有技能缺口，而技能缺口正是阻碍“灯塔工厂”用例扩展的一大障碍。

– 挑战：让“灯塔工厂”组成一个联盟，就哪项技能对制造业的未来最关键这一点上达成共识，并据此制定新的培训课程。

– 挑战：让“灯塔工厂”签署《支持先进制造业发展的终身学习和员工参与全球标准》（*Global Standard for Lifelong Learning and Worker Engagement to Support Advanced Manufacturing*）¹³。

升级监管、政策和工业发展战略

各国政府可以采取一系列措施积极支持和加速当前转型，如制定旨在推广技术应用的新战略、新倡议和新项目。一些国家/地区已经投资打造了国家级政府和社会资本合作平台，希望提高对制造业第四次工业革命的重视，支持新用例的开发，并促进研究机构与企业之间的协作。

– 挑战：召集全球“灯塔工厂”网络，为政策制定者设计一系列活动和学习机会，促进政府与民间的对话，为法规、政策和战略的制定建言献策。

附件：从内部视角一窥全球“灯塔工厂”

爱科 / 芬特：生产高复杂度、低批产量产品

爱科 / 芬特 (AGCO/Fendt)，德国马克托波道夫 (Marktoberdorf)

随着全球人口日益增长，农民需要先进的农业技术来满足庞大的粮食需求。作为全球知名拖拉机和农机制造商，需求的增长，促使了爱科 / 芬特扩大自身产品组合，并开发新技术。要满足高涨的需求，用户需要多种多样的产品，而产品的多样性又需要制造的灵活性。爱科 / 芬特通过数字化解决方案和智能生产线实现了制造的灵活性：在一条组装线上高效、灵活地生产 9 个系列的拖拉机（每批 1 台，从 72 ~ 517 马力不等，包括市面上最大的标准拖拉机）。因此，一年内生产的芬特拖拉机 95% 都有独特的配置。

对于行业挑战，拖拉机业务总监 Peter Bebersdorf 简述到：“现在，全球市场中的不确定性增加，客户中心论日益盛行，颠覆性创新不断兴起，制造业不得不‘对冲’这些趋势，让组装生产更加灵活。通过第四次工业革命中的方法，我们更能应对新挑战，提高了制造生产的灵活性、质量、效率，以及员工满意度。”可以说，数字化已成为制造高复杂度、小批产量产品的关键。为了应对制造业的挑战，数字化可分为三大要素：数字一致性、数字孪生和数字技术。数字一致性指的是系统设计的统一性，是所有数字化解决方案（包括软硬件）的基础。数字孪生又进一步细分为产品、工艺和系统孪生。三者的智能结合，便能提供必要的仿真洞见，为剪度高、批产量低的生产线带来生产工艺、材料和产品流的优化。数字技术是产品线解决方案的基础，例如可变节拍时间解决方案、虚拟制造和高级数据分析。

在一条组装线上管理多款复杂产品，可变的节拍时间解决方案是关键用例。通过物联网和整体制造执行系统 (MES)，每个特定生产节拍可独立于其他产品，避免因调整节拍造成干扰。在多种元素的共同作用下，爱科 / 芬特的生产周期缩短了 69%，产量增加了 37%。上游产品开发创新也有助于剪度高、批量小的产品制造。高级数据分析在质量监控上尤其有效，缩短了现场故障检测响应时间和解决方案的部

署周期，节省了 30% 的质量问题识别时间。即使批产量低，现场的质量瑕疵也在早期被发现。这其中有多关键推动因素：联通各系统的数据平台、制造创新专项团队、工厂车间试点展示以及第四次工业革命生态系统（连接高校与初创公司）等等。对于这种“全覆盖型”的包容方法，爱科 / 芬特的制造与质量副总裁 Ekkehart Gläser 评价道：“我们‘芬特 2020 战略’实施了数字化举措，并在从一线员工到总经理的组织上下都宣贯了这些举措的重要性。而这些举措的落地需要跨职能的统一协作。”

爱科 / 芬特全球质量总监 Volker Kurfess 解释了数字化可如何帮助公司应对剪度高、批产量低的制造：“在很多工作的前期阶段，往往需要跨职能协作才能进一步优化工作成效，这时数字化便能提供有力且有效的帮助。例如，在现场故障的早期检测中，高级数据分析和智能算法自动化可帮助企业建立警报库。这样，跨职能专家团队可集中精力解决问题，不必花大量时间在问题识别上。在以上例子中，团队接受了新的工作方式，实效卓越，也拉动了利润。”

通过数字化解决方案、智能生产线设计和高级数据分析的有机结合，爱科 / 芬特实现了制造的高度联通，使其能够以可行、高效的方式生产各种剪度高、低批产量的农用机械。

福特奥特桑：领导者和推广者驱动的数字数字化转型

福特奥特桑 (Ford Otosan)，土耳其格尔居克 (Gölcük)

2015 年，福特奥特桑修订了企业愿景，从此开启变革。公司将创新和参与第四次工业革命定为战略支柱，并为此改变了公司的组织结构和重心。经过近一年的调研与对标，福特发现第四次工业革命并未在汽车行业全面铺开。虽然已经有用例，但往往太宽泛，不够精准。由于一些成功的用例也并不适用，企业的设计方法开始以“问题为导向”。这种方法成效卓著，在不增加机器人或人力的情况下，整体产出增加了 6%、模具制造时间减少了 47%、产能增加了 31%。

与多数汽车厂商一样，福特奥特桑在踏上“革命”之旅时，比其他行业的企业更具优势，其产品的自动化系统高度集

成，也配备了车联网功能。但福特奥特桑的汽车缺失了两大重要元素：一是有利于数据收集和分析的框架系统；二是思维方式的改变。当投资回报率不确定，公司受到挑战，新的思维方式有利于项目的初始评估。而有了框架系统，项目可收获两倍的预期投资回报率。又比如，机器人故障占总故障的49%，通过实时收集和分析机器人数据，每年的故障率降低了8.7%。结合自动化瓶颈分析工具和生产周期管理系统，工厂的总产量增长了6%。维护技师 Nurullah Com 解释了其中的好处：“有了更好的数据解决方案，我们的改进效果更好，感觉自己能管控生产线、做决策，不会被不确定性牵着鼻子走。”

公司会依据风险和成本对问题进行分类登记。为了确保稀缺资源的合理使用，公司采用了敏捷工作法，让IT和工厂团队联合组成跨职能小组，共同分析和解决问题。福特奥特桑在没有大量投资，却利用这一变革同时提高了效率、产能和员工参与度。与此同时，福特奥特桑团队还采取了自下而上、包容性的方法：让所有团队成员参与转型，并授权车间管理团队负责制定解决方案。随着实施时间逐渐缩短，这种方法让组织能快速内化变革内容，提高项目实效。

在几个项目取得成功之后，奥特桑上下都接受了这种方法，并开始将更多的资源投入第四次工业革命项目，项目的成功又进一步促进变革，由此形成“组织内的良性循环”。工厂变得更具包容性，领导和一线员工都能带头启动项目，一其中一些项目甚至扩展到集团内的其他单位。公司还与当地院校合作，扩展知识，加强实践，进一步深化了这种包容性。此外，福特奥特桑还在当地捐建了一所职业高中，校内设有多个生产站点和一个第四次工业革命实验室（可演示8种汽车生产用例）。这让学生能在毕业前受到应有的培训，也能帮助福特奥特桑的员工提升技能。通过这种方法，员工参与度在三年内提高了45%，再次说明员工对随之而来的思维与文化变化高度接受。

任务和工作也因第四次工业革命开始转变。福特奥特桑车身车间生产经理 Alper Özçift 解释道：“借助新的车间信息系统，我们的工作内容有了很大变化。我们有三个人分析能力很强的团队成员，他们针对每类衍生品分析了每个工作站的生产周期数据。有了这些数据，公司就能开发各种服务工具，检查违规行为，并即时提醒。过去专职进行生产周期测量的员工现在可转岗成为数据分析师，找到改进点，创造远高以往的价值。”

运营助理总经理 Güven Özyurt 对此次转型进行了反思：“福特奥特桑在市场上很有竞争力，似乎没有理由再做这么大的变革。大多数公司都是在受困时才求变。但我们认为，过去

的成就不代表未来的成功，所以我们决定百尺竿头，最大程度地挖掘潜力。这种自下而上的方法最初难推进，但整个组织都齐心协力，朝着共同目标迈进。我们不仅要为设施和员工未雨绸缪，还要考虑整个价值链，以最好的方式为客户带去利好。”

汉高：高质量、低成本的可持续发展

汉高洗涤剂及家用护理 (Henkel Laundry and Home Care), 德国 (Germany)

汉高主营三大业务：粘合剂技术、化妆品/美容用品、洗涤剂及家用护理。汉高制定了“气候友好”型可持续发展目标：到2030年将与环境足迹相关的价值创造增加两倍。通过“洗涤剂数据中心” (Laundry Data Foundation)，汉高利用了数据驱动型战略来实现目标。汉高洗涤剂及家用护理高级副总裁兼首席全球供应链官 Dirk Holbach 说：“汉高洗涤剂数字化后台办公 (Henkel Laundry Digital Backbone) 是一个基于先进云技术的数字化端到端平台。它能实时连接世界各地的数据，形成生态系统，为我们的数字化转型赋予了优势。”目前汉高已经通过转型提高了工厂的一体化、成本效益、可持续性和效率。据估计，汉高的数字化举措减少了36%的环境足迹，相当于节省了40万人的能源消耗。与此同时，汉高还降低了10%的加工成本以及25%的物流成本。

汉高在2013年奠定了数据中心的框架，通过数字化后台办公，将所有工厂的数据与中央数据库相连接，实时输入能耗数据。其背后的动力与灵感源自新的ISO 50.001能源管理标准认证，在认证期间，审核人员要求进一步了解汉高在全球范的具体能耗状况。此后，汉高便构建了全球33个工厂和10个分销中心的“数字影子” (digital shadow)，并以此形成了一个独特、可扩展、实时在线的平台。对该后台的发展，数字化转型高级经理 Johannes Holtbruegge 说：“公司数字化后台办公的发展非常令人振奋，2013年第一批屏幕投入使用时，还只能展示简单的线图，到2019年已经拥有实时分析、基准测试和机器学习的功能了。”

在整合数据评估和优化工具时，汉高也对数据采集进行了扩充。他们先小规模试点数据评估和优化工具，然后迅速铺开，推广至全球生产网络，确保了KPI考评和计算的标准化。考评的主要抓手包括了可持续发展计分卡、单个工艺的在线实时计量、在线基准测试和月度报告。在数字化后台办公的支持下，汉高得以对全球数据进行收集、存储和虚拟化，同时打通单一数据源与各现有系统的接口，让全部6500名员工能分享跨领域的知识信息。此外，汉高大约有3500个

相互关联的传感器，用于测量电力、化石燃料、水、压缩空气和蒸汽的消耗，其标准化设备则将测量结果对标全球能源消耗，并识别参数偏差限额。通过这套机制，汉高降低了38%的能耗以及28%的耗水量，但其洗涤剂的市场份额仍在增加。

数据透明也是汉高成功的关键要素。汉高数据中心拥有1800多名各级内部用户，他们可随时查看调取全球任一工厂、流程或传感器的数据信息。对于汉高的转型动力与变化的劳动力需求，全球供应链与工程和数字化转型负责人Wolfgang Weber说道：“我们在全球的工厂都对数字化工具和流程饶有兴趣。我们每天从10亿余个数据点收集相关数据，且数据点的数量还在不断增加。我们需要懂新技能、有资质的人才，比如熟悉数字技术的工程师、数据分析师、数据科学家以及工业物联网专家。”

通过第五代云计算和系统化的数字技能提升计划，汉高成功实施了数据驱动的第四次工业革命，实现了高质量、低成本的可持续发展。除了传统产品产量及市场份额的增加，汉高还在提升工厂安全性与成本效益的同时，减少了能耗、水耗以及废物量。

强生：缩短上市时间、改善客户体验

强生视力健 (Johnson & Johnson Vision Care)，美国佛罗里达州杰克逊维尔 (Jacksonville, Florida)

2014年以来，全球隐形眼镜市场年增长超过5%。虽身为市场领跑者，强生视力健一直致力于新产品开发，吸引新用户，因此缩短新产品的生产周期至关重要。强生历来重技术，这是其关键优势。为了应对挑战、快速出新，强生利用优势，开发了自适应柔性模块化平台 (Flexible Modular Platform, 简称FMP)。该平台包括：可互换的模块，用于快速配置生产线；先进仿真，用于生产提速；模块化软件平台，用于生产线产品的无缝鉴定。综合而言，新品上市时间加快了30%。

为了增加产能、加快产品开发以及应对生产爬坡，强生用第四次工业革命技术对生产线进行了升级。相关技术包括基于工业物联网的生产闭环 (已验证)、自适应工艺控制、先进机器人以及智能材料处理等。这些技术应用最大限度地提高了良品率，减少了停机时间，并使设备综合效率 (OEE) 提高了11%，还将新产品的全球上市时间减少了50%。

为了改善病人体验，加快新品上市，强生还对整体规划、供应链和最终交付上进行了创新。视力健每天提供1.2万个性化交付服务，能让新产品快速进入这条复杂的价值链，靠

的是价值链的可视化联网控制中心。控制中心能为所有职能 (仓储、生产、规划、销售) 提供实时数据，使之快速有效地制定决策，并通过纯太阳能3D视觉引导机器人提高制造效率、库存和服务水平。视力健客户和物流服务总监Michael Mullaney对下游受到的影响评论道：“这些技术现在贯穿我们供应链和商务团队的所有业务，团队现在不用再处理事务性工作，可以专注客户，进行个性化交互，同时在产品组合快速拓展期间，保证服务和交付质量，满足更多客户需求。”

除了及时推新，改善优化客户体验，才能确保市场渗透率和用户忠诚度。为此，强生视力健开发了增强现实 (AR) 工具来测试产品舒适度，同时开发了一个移动/网络平台，通过高级数据分析，汇集、连接了制造商、客户、专业验光师和零售商。在上述优化下，视力健的消费者转化率呈两位数的增长，进而促使其全球销售额在5年内实现了两位数的增长。

强生视力健还通过与学术机构、内部卓越中心、行业合作伙伴以及政府进行合作，打造了新的解决方案和更好的客户体验。有关如何通过加快产品上市和供应链速度为客户提供更好的服务，制造副总裁Barry O' Sullivan总结道：“自2014年以来，我们甄选了一些用户主导的分析项目，并配置了相应的资源。这使项目让我们能对目标进行重新定位，优化供应链，并更好地支持销售增长。这些项目由最接近客户的人领导，包括计划人员、质量团队、交付团队、制造工程师和工厂运营管理人员。每位最接近客户的人员都最接近挑战，在这些优化项目的支持下，他们的决策更明智、更迅速，既考虑了当下，也考虑了更长远的未来。最重要的是，这能提高我们所有人的工作满意度！”

Petrosea：弥补高技能劳动力短缺

Petrosea 采矿，印度尼西亚加里曼丹 (Kalimantan)

采矿业面临诸多挑战，不确定性充斥大宗商品市场，高技能劳动力短缺，投入成本不断上升。Petrosea采矿位于印度尼西亚加里曼丹的偏远地区，周边人口稀少，高等院校资源匮乏，进一步加剧了挑战。为了应对现状，Petrosea以创新项目为平台，对员工展开技能培训，利用新的数字化工具，线上分享知识，提高员工的工作热情和能力，同时优化偏远工厂的日常运营。

采矿与矿业服务总经理Iman Darus Hikhman以高管视角解读了这段经历：“长期以来，我们一直都把采矿当做传统业务来运营，虽然不断改进，但缺乏‘质变’式的创新……

我们要么变量太多，要分析的数据量太大；要么完全没有数据；要么数据没有整合，无法从中获取洞见，进而无法支持计划制定。”然而，数字化为 Petrosea 带来了“质变”，使公司能够利用数据和网联彻底转型。Petrosea 的目标是精简组织，同时培养员工的必需技能，适应第四次工业革命，所以公司将技术与商业技能培训、领导力与品性提升放在了首位。

为了提高技术能力，Petrosea 对车间操作员和采矿主管实施了强化培训。培训人员每周都会向主管传授有效采矿方法和新技术工具相关知识，还会支持新方法的落地，避免实施过程对日常业务造成不良影响。与此同时，数千名一线员工接受了新型数字工具的培训。Petrosea 推出了一款技术培训移动 app，学习流程数字化，并融入了流行的游戏化元素，宣扬学习文化，令员工时刻保持学习热情，坚持学习。现在，员工可随时随地关注自己感兴趣的培训话题，并与同事“比赛”学习。它鼓励员工阅读标准操作程序（standard operating procedures，简称 SOP），以便更好地理解 and 执行这些程序。在旧系统中，SOP 由多个数字化文档组成，文字内容较多，只能在公司内网访问。重新设计后，员工可通过 Minerva 移动应用程序阅读 SOP，内容上减少了文字，突出视觉化内容和动画，增强学习效果。为了在阅读和理解过程中提升趣味性，让员工真正遵守操作程序，员工需要回答 3000 多个相关问题，成绩会计入测验排行榜，按名次划为相应级别，最低级别是“士兵”，最高级别是“将军”。这种趣味学校不仅将“遵守程序”的合规性提升到历史新高，还营造了积极的安全文化。

此外，游戏化元素也为公司领导层提供了有价值的洞见，使之能够了解员工对 SOP 的理解。“Minerva 采矿作业数字化令我既激动又高兴。” Tabang 项目副经理 H. Katimin 说，“现在，我们能随时获取生产、设备、生产效率和绩效的相关信息。我们可以快速识别问题，并立即采取措施，也能根据员工的操作行为，培训他们的特定技能。” Petrosea 还挑选了 20 ~ 30 名表现最好的员工和未来领袖作为变革推动者。他们接受了为期 6 个月的特别培训，重点发展领导技能和个人品行，课程涵盖了问题解决、团队合作、沟通和人际关系等主题，并配合在职实践，确保这些技能与日常工作挂钩。

最后，Petrosea 启动了一个再培训项目，计划让员工赶上“数字化和数据分析”的新世界。Petrosea 成立了数字化训练营，传授敏捷工作法、大数据、IT 安全和数字化分析等知识。员工掌握新技能后，便可填补数据分析师、系统开发人员和数字化产品经理等新职位的空缺。采矿与矿业服务总经理 Iman Darus Hikhman 对 Petrosea 的数字化转型

成果发表了自己的看法：“这些项目不仅让团队反应速度更快，还能预测下一次会发生什么。在 6 个月里，我们发现员工的绩效有所提高，士气也更加高昂。现在面临挑战时，员工充满活力，十分乐观。数字化给予了我们丰硕的成果，不仅增加了产量，还降低了成本，也不仅提高了绩效，还转变了思维。”

雷诺集团：转型项目的规模化

雷诺集团 (Groupe Renault), 巴西库里蒂巴工厂 (Curitiba) 和法国克里昂工厂 (Cléon)

汽车市场的迅猛发展为整个行业带来了前所未有的挑战。为了应对日益复杂的消费者需求、新兴的出行服务以及无人驾驶 / 智能网联等新技术，雷诺集团于 2016 年开始了数字化转型。法国雷诺集团旗下的克里昂和库里蒂巴工厂走到了这场转型的前沿，推出了独特的数字化项目，随后又将其扩展到其他工厂。

法国克里昂工厂已有 60 年的历史，通过智能自动化解决方案和数字化技术，以及与初创公司、大学的合作，工厂成功将生产效率提高了 45%，并将保修成本降低了 20%。为了优化工厂流程、缩短了生产周期，雷诺还引进了协作机器人 (cobot) 和自动导引车 (AGV)。数字化工具让工作人员相互连接，加快了决策和协作速度，还将车间运营效率提升了 12.5%。全数字化能源管理系统在部署后的一年内将能耗降低了 5.8%。

巴西库里蒂巴工厂改进了生产指标，用端到端的方式将供应链与客户连接起来。工厂使用射频识别 (RFID) 追踪每年 29 万辆车的交付过程，运输时间因此减少了 30%，准时交付率提高至 95.4%。此外，工厂的在线数字销售平台实现了 1 万多台的销量，订单数据与采供和生产部门实时共享。在流程自动化方面，在自动导引车和协作机器人的支持下，每单位转换成本降低了 30%，使库里蒂巴工厂三年内的内部绩效排名提高了 10 位。

有了两个工厂的成功试点，雷诺集团面对的难题是如何在其全球制造网络中实施同样的转型，涉及 16 个国家 / 地区的 40 家工厂和 13 个物流点的约 7.3 万名员工。拉美区工业 4.0 负责人 Giuliano Eichmann 对数字化转型的影响如是说：“我们现在有大量可用数据，挑战是如何将数据转换为与用户相关的有用信息。我们计划借助敏捷工作方式，发挥高级数据分析的全部潜力，而且必须‘以数字化为导向’进行组织变革。”此外，全球数字化治理在每个工厂的“本土化”（变为局部数字化治理）以及技术基础的“可复制性”也至关重

要。公司成立了“互联工厂”小组，专项部署 IT 基础设施，在超过 4900 公顷的建筑、60 个本地数据服务器和雷诺所有工厂的 LoRa 网络上安装 Wi-Fi。雷诺从 2018 年开始在所有制造工厂和整条供应链上部署数字化技术，基本避免了概念验证阶段的困境。

如今，所有工厂部署的第四次工业革命技术项目超过 70 项。正所谓，创新来自一线，雷诺 80% 的转型项目始于工厂车间或地方物流团队。这方面有很多实例：杜埃工厂（Douai）发起的无纸化项目现在已经推广至所有工厂；莫伯日工厂（Maubeuge）的“求助电话”（Help call）、杜埃工厂的“好的，开始检查”（OK start check）和库里蒂巴工厂的“瑕疵检查指导”（Defect detection guidance）这三个项目最终促成了“操作员”数字化工作站项目；在巴利亚多利德（Valladolid）启动的“给主管配平板电脑”（supervisor tablet）项目现已在所有工厂部署。一线组装线主管 Luis-Javier Fidalgo-Aller 说：“平板电脑就是移动办公室。我们以前大约要花两小时在办公室和工作站或生产线末端之间来回奔波。现在能节约大约 45 分钟，不用再四处走动了。我还能实时查看所有信息，调用摄像头这样的实用功能。平板电脑为我的工作增添了价值，让我能时刻关注现场、检查流程，最终提升绩效。我觉得太棒了，这就是未来工厂！”

雷诺及雷诺联盟工业 4.0 负责人 Eric Marchiol 强调，有力的管理层支持对转型的规模化至关重要：想要在全球推广，思维模式的转变与技术创新同样重要。我们‘教育’管理层积极支持工业 4.0，不再用 PPT 做决策，而是基于实时反馈的数据采取行动……这场革命如今就在我们的先进工厂里发生。用即时数据而非 Excel 报告进行 QRQC（快速响应、快速检查），现在是这些工厂每天的例行工作。革命也发生在供应链团队，他们通过数字化技术，实时追踪交付情况……我们还让管理层更多接触创业环境和科技公司，让他们开启自身的‘学习长征’，为他们领导这场转型注入坚实动力。”

上汽大通：C2B 大规模个性化定制和商业模式创新

上汽大通，江苏南京

过去近 30 年，中国汽车业发展强劲。汽车企业基于 B2C 模式的产品技术和用户服务日趋同质化。为了实现差异化，跻身行业领先地位，车企需要技术创新，并基于 C2B 模式创造更好的用户体验。第四次工业革命中的智能制造和基于云的大数据解决方案，为汽车行业追求大规模个性化定制提供了必要条件。上汽大通总经理王瑞说：“上汽大通正努力

转型为用户导向型公司。这意味着让用户把握主权，与用户建立直接联系。”

通过对 C2B 模式的不断迭代，上汽大通实现了所有系列车型的大规模个性化定制，还通过数字平台打造了价值链（研发、生产、销售）的互联互通。基于互联网和云计算的直接数字化互联（企业、用户和合作伙伴之间）成为了其 C2B 商业模式的核心价值，涉及产品全生命周期中的用户交互（定义、设计、验证、定价、选型和反馈）。用户可积极参与整个价值链的决策过程，与提供个性化产品和服务的公司建立良好的业务关系。

谈到数字化技术的工业生态系统，上汽大通首席数字官兼 C2B 项目团队负责人吴钢说：“为了响应客户需求，我们需要与用户、供应商和经销商实时、全面地分享信息，包括结构化和非结构化数据。”公司重点建立了三个系统：数字化用户运营、数字化市场销售以及数字化研发与制造系统：

- 数字化用户运营：上汽大通的自建平台通过数字化用户运营吸引了近 700 万用户。每项用户活动都会生成相应的标签。基于这些数据，上汽大通能优化营销和售后服务，提供无缝用户体验。
- 数字化市场销售：汽车企业通过数字化平台重构产品定价模式和流程，让消费者参与产品战略、工程设计、营销、制造供应链等业务领域，促进汽车行业的大规模个性化定制。
- 数字化研发和制造：3D 设计平台具有众多优势，包括跨专业实时在线及关联设计、提高设计效率、减少设计等待和数据错误、促进众创模式等等。

为满足个性化定制需求，上汽大通建立了在线流程管理系统，实现了现场的可视化流程指导。同时，虚拟模拟平台提高了制造业务的数字化程度，在工作站内实现了数字化设计和流程验证，减少了实体车辆制造相关问题，由此提高了效率与制造灵活性，加快了交付速度。

C2B 模式需要商业模式的创新。正如总经理王瑞所说：“这需要公司改变原先的组织结构、理念和模式流程，转而以用户为导向。”

潍柴：优化端到端产品开发

潍柴动力，山东潍坊

潍柴动力主要业务板块包括动力系统、商用车及工程机械等，它是一家实现了跨职能技术互通的端到端“灯塔工厂”。

面对日益激烈的市场竞争，潍柴以客户满意度为导向，打造最具成本、核心技术和品质竞争力的产品。公司副总裁兼首席信息官曹志月说：“随着新技术的应用，潍柴逐渐形成了一套智能研发系统、以客户为中心的智能车联网（IoV）、精益智能生产管理方式，以及柔性自动化智能仓储，所有这些共同促使潍柴实现了端到端全价值链的互联互通。”

通过数字化快速建模、虚拟开发仿真、智能工业物联网试验，潍柴搭建了新的端到端产品开发系统，将新产品开发周期从 24 个月缩短至 18 个月。设计师可借助模块化和参数化设计，输入模型参数，随后系统将自动建议最相关的模块或自动生成新的 3D 和 2D 模型。产品设计复用率因此较传统的手工绘制方式提高了 30%。

潍柴的工程师们使用虚拟仿真创建数字原型，以获取产品设计参数。这种仿真能及时发现和处理设计问题，削减了 20% 以上的试验成本。而操作员则可利用更多的传感器（实时采集、上传试验结果）进行试验台升级。潍柴的一款移动 app 可以智能控制运营，减少 75% 的劳动力成本，缩短 20% 以上的研发周期，减少 20% 的设计失败。测试员和调度员张彦鹏（Yanpeng Zhang，音译）说：“我们过去只能监控实验室里的一个试验台，还必须学习使用不同的监控软件，监控参数也只能手动切换。有了这款智能试验 app，我们可以在一个屏上监控和管理多个试验台……系统还可以预测试验台故障，实时将预警推送到我的手机和邮箱，帮助我提前排故。”

为了更好地了解发动机在实际运行过程中的性能指标，潍柴建立了车联网系统，实时收集发动机在各种工况下的转速、油耗和功率数据。在大数据分析支持发动机设计，运用实际用户驾驶习惯、路况和发动机性能等真实数据时，客户的互联互通便与端到端产品开发形成了交互影响。潍柴研究院副院长韩峰对这种影响解释道：“传统上来说，发动机的研发主要依靠设计工程师的个人经验，大家很难完全了解发动机上市后的可靠性。但随着 IT 和数字技术的深入应用，传统的发动机研发方式正在被颠覆。”

潍柴对客户互联互通和端到端产品开发的重视，也反映在其售后服务上。潍柴实施了 4 个互联互通项目来提升服务质量：1) 用基于应用的车联网平台为用户提供高效的服务，包括维修下单、客户支持和满意度报告；2) 建立客户会员管理系统，通过会员制提高忠诚度、明确会员特权，并建立积分商城（含积分和兑换等动态信息）；3) 通过远程维护指导，包括在线故障诊断、现场维修协助，为客户节省时间。发动机维护时间减少 15%，文件审核工作量节省 20%；4)

通过潍柴发动机可视化 AR 模型，支持售前技术交流、发动机装配和售后维护指导。这种 AR 模型不受地理位置或实体机器限制，既可提高公司形象，还能改善培训和现场支持效果。这种端到端连接完美证明了价值链（包括客户）中各职能互联的强大作用力。

Zymergen：利用第四次工业革命改造生物技术的数字化原生企业

Zymergen，美国加州艾莫利维尔（Emeryville, California）

Zymergen 致力于成为新工业革命的催化剂，用生物学创造一个活力四射、可持续的未来。Zymergen 打造了一个专有平台，集成了遗传学、生物信息学、机器学习和先进自动化技术，通过第四次工业革命的创新来改变传统的实验室工作和生产流程（生产速度缓慢、严重依赖人工）。公司创始人兼运营副总裁 Jed Dean 讲述了这种方法的起源：“我们的创业出发点，是以数据和算法为基础，拓展生物研究的边界 ... 我们的机器学习基础设施以自动化和高通量设施为根基，帮助科学家和工程师设计、运行数千项实验。”

Zymergen 把模块自动化、先进传感器网络和共享大数据库相结合，利用数字化互联互通，改变了工厂的运营方式，将劳动效率提高了 46%，良品率提高了 40%，交货周期缩短了 50%。此外，数字化排产系统通过优化产能、库存和人员物流，帮助公司降低了 42% 的运营成本。

Zymergen 的平台建立了数据库和微生物基因组模型，从而不断优化，加速菌株改良，更快发现新分子。与传统的合理化工程相比，由数据科学驱动的自动化实验有助于更快、更一致、更经济的产品开发。Zymergen 目前正在利用这些新方法，满足农业、个护、电子和工业应用等领域的市场需求。

作为数字化原生企业，Zymergen 利用机器学习和自动化技术，提升微生物基因组工程能力。与传统实验室的工作流程相比，灵活、可扩展的自动化平台提高了准确性，减少了人为错误，还加快了实验速度。这些工作流还使用数据科学和机器学习、通过设计 - 构建 - 测试 - 分析 - 学习（design-build-test-analyse-learn，简称 DBTAL）这个迭代过程来改进实验设计。随着时间的推移，机器学习引导的实验数据不断累积，让科学家和工程师在优化基因改造时，能超越纯理性的工作方式，也能克服人类直觉的限制。此外，Zymergen 的基因多样性数据库规模全球首屈一指，数据库也是公司基于机器学习的基因、基因通路和天然产品的搜索平台。自动化平台技术副总监 Will Serber 解释说：“从生物‘噪音’中大规模提取微小的科学信号，需要大量自动化和数据采集。

Zymergen 就是在这个核心前提下建立起来的，我们已经搭建了一个自动化的高通量生物制造系统，它可以在几分钟内重新配置，而且可以扩展到全厂。”

数字化原生让 Zymergen 及其客户可以透过结果，理解自身的兴趣特征和影响这些特征的基因脉络。说到底，Zymergen 希望通过技术释放生物学的力量，建立一个更可持续的未来。公司创始人 Jed Dean 表示：“有了这个平台，我们可以从合理性基因工程（基于员工丰富专业知识）开始，然后转向以机器学习为导向的全基因组调查，从而发现仅通过假设检验永远无法发现的特征。这种结合正在改变我们的科研方式，同时也仍然尊重和需要全世界最优秀的科学家的持续投入。”

贡献者

2019 年期间，项目组与世界经济论坛、“灯塔工厂”代表以及相关专家组密切合作。世界经济论坛谨向以下个人及组织表示感谢。

Mahmoud Abdel-Nab

联合利华迪拜个人护理工厂经理

Murad Abdullaye

Petkim 数字化和技术副首席执行官

Peter Bebersdorf

爱科拖拉机运营总监

曹志月

潍柴副总裁兼首席信息官

Jed Dean

Zymergen 创始人兼运营副总裁

Güner Demirural

福特奥特森技术和创新经理

Giuliano Eichmann

雷诺集团拉美区工业 4.0 负责人

Andreas Frank

爱科制造创新和数字化高级经理

Ekkehart Gläser

爱科制造和质量副总裁

Fadli Hamsani

施耐德电气印尼巴淡岛智能工厂 Ecostruxure 项目负责人

Ivan Hanley

强生视力健 JJPS 部署总监

Iman Darus Hikhman

Petrosea 采矿与矿业服务总经理

Joshua Hoffman

Zymergen 首席执行官兼联合创始人

Dirk Holbach

汉高洗衣和家庭护理高级副总裁兼首席全球供应链官

Johannes Holtbruegge

汉高数字化转型高级经理

H. Katimin

Petrosea 塔邦项目副经理

Volker Kurfess

爱科全球质量总监

李晓亮

上汽大通高级产品经理

Anthony Loy

施耐德电气智能工厂负责人

Eric Marchiol

雷诺集团数字化转型、制造与供应链全球总监

Anja Moldehn

Phoenix Contact 公司营销高级经理

Barry Mu

海尔全球供应链技术经理

Barry O'Sullivan

强生视力健制造副总裁

Alper Özçift

福特奥特桑车体修理生产经理

Güven Özyurt

福特奥特桑运营助理总经理

Loic Regnier

施耐德电气工业事业部战略影响思维负责人

Will Serber

Zymergen 自动化平台技术副总监

Bart Talloen

强生供应链创新和洞见副总裁

唐波

潍柴大数据部副总监

王瑞

上汽大通总经理

Wolfgang Weber

汉高全球供应链部门全球工程和数字化转型负责人

吴钢

上汽大通首席数字官

张乾升

潍柴企业管理与信息化部规划室架构师

项目团队

世界经济论坛

Francisco Betti

“塑造先进制造与生产的未来”项目负责人

Yves Giraud

麦肯锡专家，挂职于世界经济论坛

Franco Manna

强生项目研究员，挂职于世界经济论坛

Federico Torti

先进制造与生产项目主管

麦肯锡公司

Enno de Boer

全球董事合伙人，未来生产项目技术和创新负责人

侯文皓

资深专家

Katy George

全球资深董事合伙人

James Hoch

项目经理

Ingrid Millán

全球副董事合伙人

Julian Salguero

全球董事合伙人

Tyler Smith

咨询顾问

项目团队感谢 Paul Cumbo 为白皮书提供的支持。

尾注

1. “The Next Economic Growth Engine Scaling Fourth Industrial Revolution Technologies in Production”，世界经济论坛，http://www3.weforum.org/docs/WEF_Technology_and_Innovation_The_Next_Economic_Growth_Engine.pdf（访问日期：2019年12月12日）
2. “Fourth Industrial Revolution: Beacons of Technology and Innovation in Manufacturing”，世界经济论坛，http://www3.weforum.org/docs/WEF_4IR_Beacons_of_Technology_and_Innovation_in_Manufacturing_report_2019.pdf（访问日期：2019年12月12日）。
3. Andreas Behrendt、Richard Kelly、Raphael Rettig 和 Sebastian Stoffregen 合著的 “How Digital Manufacturing Can Escape ‘Pilot Purgatory’”，2018年7月，麦肯锡公司，<https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/how-digital-manufacturing-can-escape-pilot-purgatory>（访问日期：2019年12月12日）。
4. 全球“灯塔工厂”网络是世界经济论坛“塑造先进制造与生产的未来”平台的主要项目。
5. Behrendt、Kelly、Rettig 和 Stoffregen 合著的 “How Digital Manufacturing Can Escape ‘Pilot Purgatory’”。
6. “Europe, Asia Lead the Way to the Factories of the Future”，世界经济论坛，<https://www.weforum.org/press/2018/09/europe-asia-lead-the-way-to-the-factories-of-the-future/>（访问日期：2019年12月12日）。
7. Wouter Aghina、Karin Ahlback、Aaron De Smet、Gerald Lackey、Michael Lurie、Monica Murarka 和 Christopher Handscomb 合著的 “The Five Trademarks of Agile Organizations”，2018年1月，麦肯锡公司（访问日期：2019年12月12日）。
8. “Platforms and Ecosystems: Enabling the Digital Economy”，世界经济论坛，<https://www.weforum.org/whitepapers/platforms-and-ecosystems-enabling-the-digital-economy>（访问日期：2019年12月12日）。
9. Pablo Illanes、Susan Lund、Mona Mourshed、Scott Rutherford 和 Magnus Tyreman 合著的 “Retraining and Reskilling Workers in the Age of Automation”，2018年1月，麦肯锡全球研究院，<https://www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-work/retraining-and-reskilling-workers-in-the-age-of-automation>（访问日期：2019年12月12日）。
10. Kurt Chauviere、Ben Maritz 和 Jasper van Halder 合著的 “The Role of the Transformation Office”，2016年11月，麦肯锡公司，<https://www.mckinsey.com/business-functions/rts/our-insights/the-role-of-the-transformation-office>（访问日期：2019年12月12日）。
11. “International Energy Outlook 2016: Industrial Sector Energy Consumption”，2016年，美国能源情报署，<https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/industrial.pdf>（访问日期：2019年12月12日）。
12. “Sources of Greenhouse Gas Emissions”，美国能源情报署，<https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions#industry>（访问日期：2019年12月12日）。
13. “A Global Standard for Lifelong Learning and Worker Engagement to Support Advanced Manufacturing”，世界经济论坛，<https://www.weforum.org/whitepapers/a-global-standard-for-lifelong-learning-and-worker-engagement-to-support-advanced-manufacturing>（访问日期：2019年12月12日）。



COMMITTED TO
IMPROVING THE STATE
OF THE WORLD

世界经济论坛是推动公私合作的国际机构，致力于改善世界状况。

论坛汇聚政界、商界等社会各界重要领袖，共同制定全球、区域和行业议程。

世界经济论坛

地址：91-93 route de la Capite
CH-1223 Cologny/Geneva
Switzerland (瑞士日内瓦)

电话：+41 (0) 22 869 1212

传真：+41 (0) 22 786 2744

邮箱：contact@weforum.org

网址：www.weforum.org