

未来的制造

超自动化工厂蓝图

大中华区业务联系人

余鸿彪

埃森哲大中华区工业X事业部总裁
hongbiao.yu@accenture.cn

作者

帕特里克·沃尔默 (Patrick Vollmer)

埃森哲资深董事总经理，全球工业行业主管

恩诺·丹凯 (Enno Danke)

埃森哲工业X事业部董事总经理，奥地利、瑞士和德国生产与运营，能力与交付部门主管

斯特凡·哈图拉 (Stefan Hattula)

埃森哲商业研究院总监，全球汽车与移动出行行业研究主管

马蒂亚斯·瓦伦多夫 (Matthias Wahrendorff)

埃森哲商业研究院总监，全球工业、运输及物流行业研究主管

杰夫·惠利斯 (Jeff Wheless)

埃森哲商业研究院高级总监，全球工业行业与工业X研究主管



目录

4

引言：
把握当下机遇，重塑
制造业未来

13

当务之急：
实现自动化，大力提升
效率和精准度

24

结语：
实现从管理到协同
运作的转变

5

2040年愿景：
超自动化工厂

16

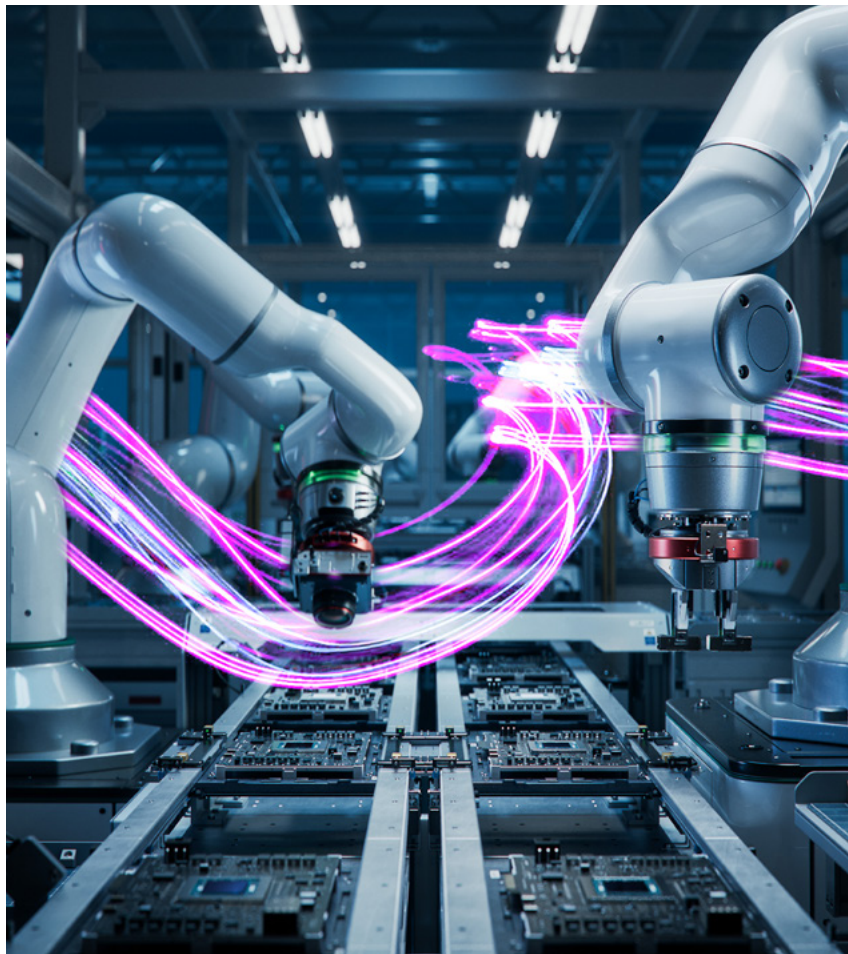
当务之急：
利用AI优化，实现从
辅助到自主的跃升

8

当务之急：
劳动力转型，夯实和强化
关键知识技能

19

当务之急：
数字化铸就未来工厂



把握当下机遇，重塑制造业未来

2040年最具竞争力的工厂会是什么样子？答案不仅仅是成本效率与质量。事实上，当下这两项高标准已然成为工厂保持竞争优势的“标配”。真正的差异化优势在于弹性、可持续性与智能化水平——这些能力将决定工厂是否能超越传统自动化，实现先进机器人、数据、AI和数字化工具的无缝集成。

我们称这一愿景为“超自动化”。埃森哲近期在全球开展了一项深度调研，参与调研的552名工厂管理者表示，超自动化不仅是一个可实现的目标，更是工厂确立竞争优势的必由之路（参见“调研方法”）。不过，实现这一目标并非易事。因为大多数工厂都面临着一系列挑战，包括劳动力短缺、复杂的既有环境以及缓慢的AI流程部署。

为勾勒出未来最理想的发展路径，我们将调研结果及埃森哲自身的客户服务经验相结合。在我们调研的行业中，工厂的规划期通常为五到七年，超出此期限范围的普遍被视为“愿景”。因此，我们以本次调研受访者所描绘的2040年愿景作为出发点，致力于弥合其未来五到七年的规划与更长远的规划及行动之间的差距。

本报告依照此结构展开。第一章节阐述了2040年愿景——未来工厂将是怎样一番景象。随后概述了指导原则，为工厂管理者需要在以下四个领域采取的行动提供了指引：**劳动力、自动化、AI优化和数字化**。对每个领域而言，关键在于平衡好短期举措与打造未来工厂的根本需求。

调研方法

2024年8月至12月期间，埃森哲对552位经验丰富的工厂管理者进行了调研，并与15位生产负责人开展了深入的定性访谈。本次调研的参与者包括汽车制造商、汽车供应商、工业机械制造商、工业设备制造商、电气设备制造商、重型设备制造商、商用航空航天制造商及商用航空航天供应商。调研覆盖了来自美国、欧洲、中国、印度和日本的不同规模的工厂，受调工厂的员工数从100人到逾5000人不等。

我们在调研中重点关注了工厂管理者，因为他们具有独特的视角，并且他们是决定未来愿景能否实现的关键群体。这些管理者承担着为公司战略决策提供参考，并将决策转化为实际运作的责任。

文中未标明出处企业示例则源自埃森哲的客户服务经验。

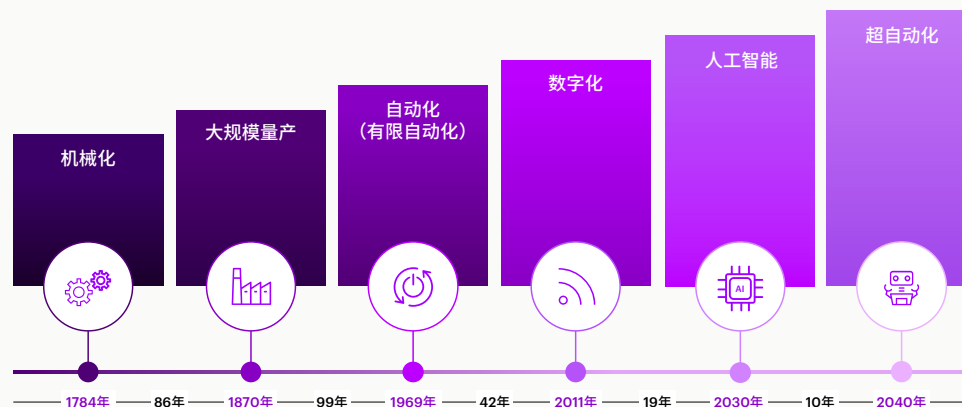
2040年愿景：超自动化工厂

制造业格局的转型肇始于200多年前的机械化时代。技术进步是当之无愧的驱动力。在这方面，一切都未曾改变：从大规模量产、自动化（现在称之为“有限自动化”）、数字化，再到如今的AI（人工智能），技术始终是革命性变革背后的驱动力。

如今的不同之处在于，变革的速度更甚以往。当下，企业在纷纷尝试引进和部署AI，探索如何借力AI实现现有工厂的竞争优势，与此同时更须前瞻布局下一场已初现端倪的革命（见图1）。这意味着企业必须规划并处理所有相关事项，涵盖了技术与人才投入，以及数字核心，即推动持续革新的关键技术能力。这既是支撑工厂未来五年运营的必要条件，也是为后续十五年发展打下根基的关键所在。

图1:

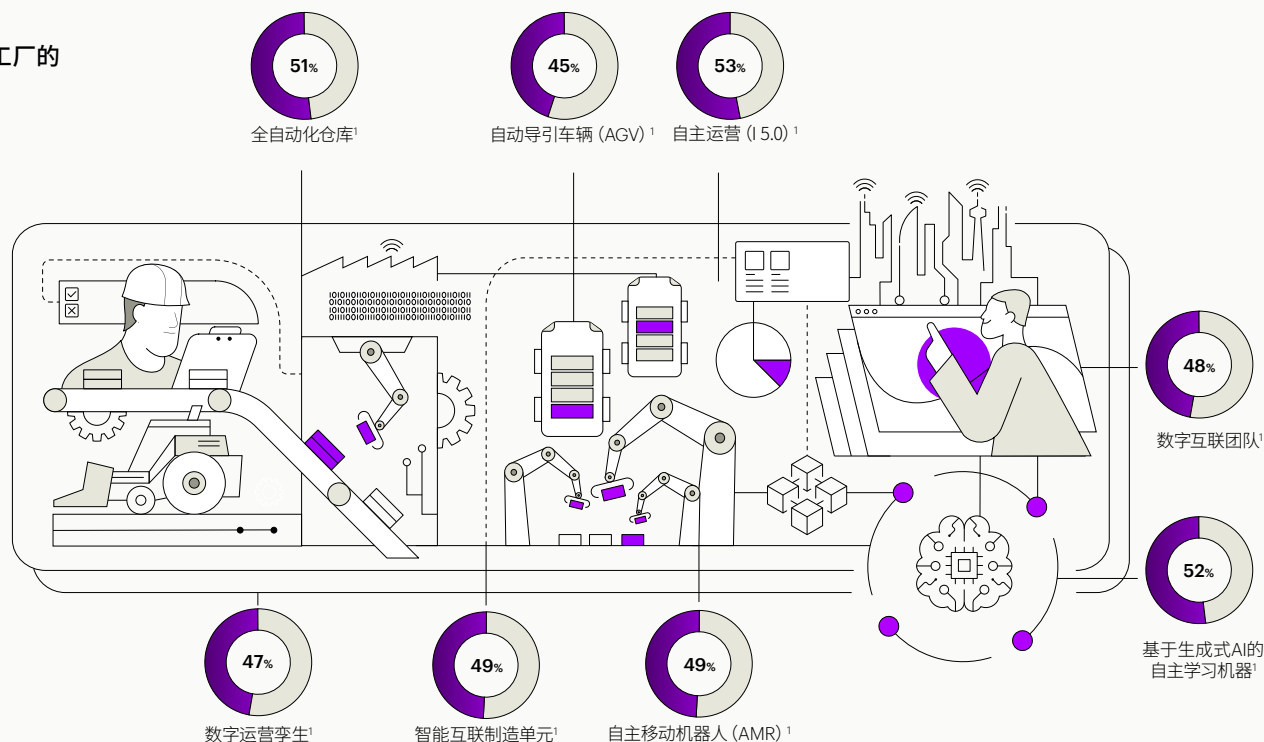
得益于生成式AI的初步应用，在当前制造业革命初具规模之际，新一轮工厂技术革新的浪潮已然兴起



资料来源：埃森哲

如果企业能够身体力行地采取这些行动，那么到2040年，其工厂的格局将焕然一新，与今日大相径庭。他们的工厂将具备自我优化的能力并由AI赋能，并且将机器人、数字孪生和人工监督无缝融入一个智能化、**超自动化的**制造生态体系。这样的制造生态体系将远不只是能够规模化执行流程，更能实时预见潜在干扰、灵活应变并优化生产，实现实时高度自主的运行状态（见图2）。

图2：
超自动化工厂的关键要素



备注1：工厂管理者评分在“8、9或10分”的百分比，其认为将在2040年前实现这些关键要素的可能性。评分采用1到10分制，其中1分代表“可能性极低”，10分代表“可能性极高”。

N=552；完整假设公式详见第27页。

资料来源：埃森哲商业研究院分析

大体而言，实现超自动化工厂的驱动因素可以分为四个领域：**劳动力、自动化、AI驱动优化和数字化**。工厂管理者深知这些因素的重要性。挑战在于，如何将这种理解转化为切实有效的行动，既能应对当前环境，又能为长期愿景提供支持，尤其考虑到2040年的波动性与不确定性必将日益严峻。为此，需要企业深刻反思工厂的运营模式、技术应用的部署以及人机协同的工作方式。而这就需要企业拿出魄力，立即采取行动，重塑员工技能、推广智能自动化应用、将AI融入决策过程，并彻底拥抱数字化，使之成为现代制造业的中流砥柱。



当务之急： 劳动力转型， 夯实和强化关键 知识技能

高达七成的受访工厂管理者认为，劳动力转型是推动企业成功的最关键因素。他们的判断是正确的。制造业正面临人才断层的双重挑战：一方面，资深技术工人退休潮来临；另一方面，受人口结构变迁及年轻群体职业偏好变化的影响，新生代劳动力的补充持续乏力，导致劳动力供给急剧萎缩。仅以美国为例，分析师估计到2033年，美国制造业的技能缺口将达到380万个工作岗位。¹

鉴于此，工厂管理者将知识管理、数据分析融入日常工作流程，以及实现数据驱动的决策列为重中之重，这毫不意外。

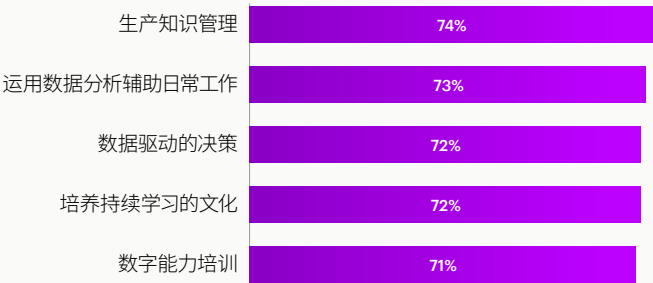
这些行动目前已成为AI驱动的变革的关键，其对于实现2040年愿景亦将颇为重要。然而，将行动付诸实践却极具挑战。问题之一在于培训成本，近半数（49%）的受访者认为培训投入是一个主要障碍。但是，投资于人才培养是充分实现技术效益的唯一途径。

另一个问题是员工参与度。埃森哲2024年全球变革调研发现，70%的员工在组织变革中缺乏参与感。² 部分原因在于，他们不了解自身的工作能为未来做出哪些贡献。另外这也反映出一种担忧，担心帮助公司实施新技术是在“砸自己的饭碗”。尽管技能缺口问题日益严峻，但近一半（46%）受访者表示，工人们担心随着自动化的普及，他们的生产线岗位将被淘汰。图3展示了工厂管理者为在近期（未来五年）取得成功所制定的优先任务，以及所面临的主要障碍。企业必须立即着手克服这些障碍，这不仅关乎短期成效，更是为实现2040年愿景奠定基础。尽管未来工厂的技能需求将发生根本性改变，但对高素质人才的需求始终不变。

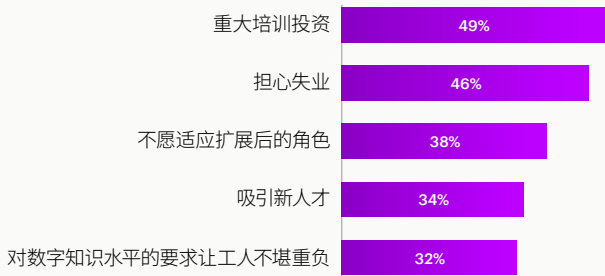
所以，企业当下亟需明确未来的职业机遇，并为员工提供相应的职业发展通道。此外，企业还需建立新型人才发展模式，支持持续且实时的技能培训。未来的大部分工厂职工将从直接生产转向间接生产，这意味着他们将从体力劳动转向流程监管、决策和优化等职能。随着工作性质的演变，这些人还需要融入一个人机互动与共进的循环：既要向AI学习、与AI共同进步，也要训练AI。他们需要适应与AI协作、操作自主系统及监督复杂的自动化流程的工作常态。

图3：
工厂管理者在劳动力转型方面的近期要务和制约因素

劳动力转型前五大要务¹



劳动力转型前五大制约因素²



备注1: 将相关要素的重要性评为“8、9或10分”的工厂管理者百分比。评分采用1到10分制，其中1分代表“完全不重要”，10分代表“极其重要”，N=552。

备注2: 选择特定制约因素的工厂管理者百分比。

资料来源: 埃森哲商业研究院分析

以生产运营为例，未来的工作岗位或将包含超自动化系统集成师和数字化流程协作师。从业人员需要监督去中心化的AI驱动的生产网络、优化实时工艺流程，并解决各类集成问题。另一个新兴职位是AI辅助的机器人工程师，其职责为设计和维护AI驱动的机器人设备及装配线。

在质控与质检领域，未来可能会出现智能质量专家岗位，该职位需融合AI分析、物联网传感器和实时监控技术，确保产品完整性、合规性以及流程优化。图4展示了我们目前设想的这些新兴岗位和职责范围，以及维护、修理和大修领域的各种职位与职责。

此外，一系列物流与供应链、战略管理及IT集成方面的职位同样不可或缺，其所需技能涵盖战略规划、AI优化、区块链、实时数据分析、网络协调、网络安全和数字化转型等。这些职位未来也将持续发展变化。

许多公司在实现2040年愿景方面展现出了颇具洞见性的前瞻思维。总部位于英国的汽车制造商捷豹路虎（JLR）就是其中之一。JLR承诺每年投入2500万美元专项资金，帮助生产岗位上的员工掌握必要的新技术技能和能力，从而适应未来新角色。³

当下，我们亟需以全新的视角来审视未来工作模式与劳动力的发展。



图4：
超自动化工厂所需的部分职位简介与关键技能示例

类别	生产运营	质控与质检	维护、修理、大修	物流与供应链	管理与IT集成
未来工作职位简介	超自动化系统集成师和数字化流程协作师： 监督由AI驱动的去中心化生产网络、优化实时性能，并解决各类集成问题。	智能质量专家： 运用AI驱动的分析、IoT传感器和实时监控技术，确保产品完整合规及流程优化。	智能维护专家： 利用实时IoT数据和预测性诊断，管理系统运行状况并防范问题。	数字化物流专家： 管理自主仓储、AI驱动型供应链和区块链优化型配送。	数字化转型高管： 推动超自动化、IT整合、网络安全和持续创新。
	AI赋能型机器人工程师： 设计并维护AI驱动型机器人设备和组装产线。	信息物理融合系统专家： 集成传感器网络、数字孪生和基于AI的决策，实现产线质量控制自动化。	信息物理融合系统专家： 为工业自动化开发预测性维护系统。	自主物流协调员： 优化自动驾驶工厂物流和仓库自动化。	工厂网络安全专家： 确保工厂数据网络安全，为自动化基础设施实施网络安全防护。
	信息物理融合系统专家： 集成并管理智慧工厂IoT和数字孪生。	自主质量控制检查员： 管理AI赋能型机器视觉系统，极快速检测产品的微小缺陷。	增强现实（AR）维护技师： 执行虚拟故障排查和基于机器学习的维护。		全息界面设计师： 创建用于生产监测的全息控制面板，开发实时交互式工厂控制系统。
	人机协同经理： 为人机协同工作环境制定规则。	质量预测分析师： 开发和实施预测性分析模型，提前预防潜在故障，杜绝缺陷产品。			实时生产优化工程师： 负责持续监测和改进自动化生产过程，最大限度提高效率、减少浪费并提高设备综合效能（OEE）。
	仿生增强专家： 开发AI动力外骨骼以提升工人作业能力。				
	AI赋能型生产规划员： 利用融合AI技术的生产调度与实时优化，确保无缝协调制造流程。				
关键技能和驱动因素	• 基于AI的流程优化 • 机器人集成 • 实时监测 • 系统问题排查	• 高级分析 • IoT传感器集成 • 质量预测控制 • 审计管理	• 预测性MRO分析 • IoT诊断 • 远程监测 • 自动化问题排查	• 自主物流 • AI优化 • 区块链 • 实时数据分析 • 网络协调	• 战略领导能力 • IT集成 • 网络安全 • 数字化转型 • 创新管理

资料来源：埃森哲商业研究院分析



某全球食品饮料企业以“人才+流程+技术”三位一体战略，推动智能制造规模化落地

任何先进技术，如果没有与之匹配的人才和流程，都会因现有生产运营体系的排异效应而困在技术验证（POC，Proof of Concept）阶段，难以实现规模化落地。该食品企业在推进全球智能制造战略的过程中，在完成POC技术验证阶段后，制定了“未来人才（Future Workforce）”、“未来工作模式（Future Way of Work）”和“数字化技术（Digital Technology）”三者合一的战略。在埃森哲工业X团队的支持下，该企业重点从以下几个方面推进“未来人才”培养与“未来工作模式”转型计划：

- 强化精益制造管理目标：利用数字化技术推动精益，持续识别和消除物料、能源、人工和产能损失。
- 构建“未来人才”能力体系
 - a) 在数字化技术的加持下，将总部、工厂及车间人员从各种报告、联络和商议（报联商）等非增值活动中释放，推动从“流程导向（Process-oriented）”向“结果导向（Outcome-oriented）”的思维转型；
 - b) 培养工艺研发和生产车间人员运用数字化分析工具，如决策模型、知识图谱等，实现精准的问题描述和根因分析；
 - c) 培养总部、工厂和车间人员学会与智能体（agent）合作，高效完成复杂任务。
- 向“未来工作模式”转型
 - a) 工厂车间运营管理从“事后统计”向“事中干预”和“事先预防”模式转型；
 - b) 工艺研发从“一次性工艺发布”的传统模式，转向建立“研发与生产持续交互与改善”的闭环反馈机制，实现持续协同优化。

当务之急： 实现自动化， 大力提升效率和 精准度

高达63%的受访工厂管理者将自动化作为中期优先要务。考虑到自动化所蕴含的降本增效机遇，这并不令人意外。然而，仅有60%的工厂管理者同时也在优先考虑实现2040年愿景所需的关键创新，例如正在变革内部物流和物料搬运的自动导引车（AGVs），以及自主移动机器人（AMRs）。实际上，尽管管理者们展望了2040年的宏伟蓝图，但在规划新生产单元时，只有38%的受访管理者将超自动化工厂视为理想模式。绝大多数管理者的目光仍聚焦于相对初级的目标，比如实现仓库自动化，以及与生产过程实时同步。综合来看，当前的发展重点与2040年的竞争需求之间存在着显著冲突。

图5展示了这一差距。图中从左到右展示了在传统工厂，工厂管理者通过专注于近期获益可以实现的目标，以及两类超自动化工厂：既有工厂和新建工厂。先进程度越高，工厂在未来就越能确保生产的韧性、可持续性和盈利能力。图中使用加号（+）表示绩效水平，从基本（+）一直到卓越（++++），卓越代表为迎接未来做好了准备。

图5:
超自动化进阶

KPI	传统工厂	优化型人机协同工厂	超自动化既有工厂	超自动化新建工厂
描述	这种生产模式仍以人工为主, 仅少量整合自动化系统。日常运营依靠人工操作, 由工人完成各项生产任务。	采用混合模式, 将自动化技术融入工作流程, 辅助人工。大多数重复性任务均由系统自动完成, 人员负责监管和复杂的决策。	引入AI和人形机器人, 实现现有工厂的升级改造。在原有设施基础上部署自动化技术, 将传统系统与现代科技有机结合。	工厂/产线专为超自动化打造, 搭载先进AI系统。整体方案遵循可制造性设计原则, 所有流程均实现自主化运营优化。
自动化水平	10% - 30%	50% - 70%	最高可达100%	最高可达100%
弹性	++++	++	+++	++++
生产力	+	++	+++	++++
质量	+	++	+++	++++
成本效益	+	++	++++	++++
投资	\$	\$	\$	\$

资料来源: 埃森哲商业研究院

企业的当今要务是将愿景落实到行动上, 而首先必须更细致地规划迈向未来工厂的路线图。在这方面, 我们确定了可作为超自动化工厂基础的五种重要模型:

大规模量产工厂: 全自动化、全数字化产线, 能够大规模量产高度标准化的产品, 且几乎无差异。

模块化工厂: 装配独立可互换AMR模块的柔性生产线, 可无缝适配高效制造部分定制化产品, 并实现最大产能。

矩阵式工厂: 生产在灵活、独立的单元中进行, 支持多种生产路径, 不局限于固定顺序。这能减少瓶颈, 支持在不重新设计工厂的情况下也能生产定制产品。

机器直出产品型工厂: 这种模型与大尺寸产品高度相关, 在这里, 专用AMR与人形机器人协同工作, 现场组装单一产品。

车间工厂: 以小批量甚至单件生产高度定制化的产品, 其特点是通过先进的自动化和人形机器人加速的灵活、车间式的生产流程。

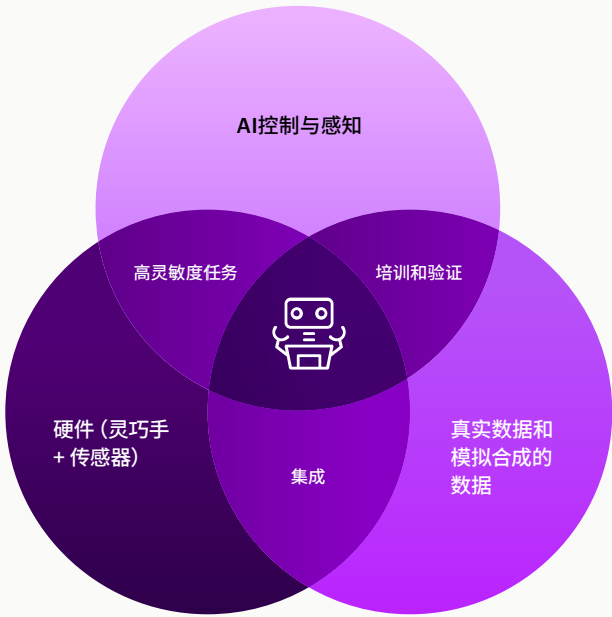
归根结底，产品的性质和可变性以及定制程度将决定公司选择的模式。无论在何种情况下，若要选对路径，则首先需确定改造既有设施还是投资新建工厂，以选取最为经济可行的方案。在所有情况下，工厂车间都可以完全自动化，但在协同、监督、支持和维护自动化运营方面，人类依然发挥着至关重要的作用，且这一作用正日益凸显。

值得注意的是：相较于从零打造全新生产线，借助AI和人形机器人对现有的设备完善、基础设施良好的生产基地进行智能化改造，往往更具成本效益。目前，汽车行业的先行者已率先开展人形机器人应用测试，并取得了显著成效。多家中国整车厂已借助人形机器人实现车身车间近全自动化生产。蔚来⁴ 配置300台机器人，仅需12名工人即可实现每小时20台车的产能。小鹏汽车⁵ 的264台智能工业机器人覆盖冲压、焊接、喷涂、总装及电池包生产全流程，实现了完全自主作业。

与此同时，宝马 (BMW) ⁶ 在斯巴达堡工厂投入使用Figure 02人形机器人后，生产效率提升了四倍。舍弗勒集团 (Schaeffler) ⁷ 投资了Agility Robotics公司，预计到2030年，将在其全球100家工厂组成的生产网络中应用Digit人形机器人，用于替代人力完成高强度、重复性或危险工作 (图6展示了人形机器人不断提升的能力)。

速度、成本和系统集成复杂度等难题仍未解决。目前，仅有43%的受访者认为，人形机器人能成为高性价比的组装“标配”。但在来自大型工厂的受访者中，持这一观点的受访者比例升至58%。值得注意的是，这些观点呈现出明显的地域差异：在认为人形机器人对装配线具有重要价值的受访者中，印度、中国和日本的管理者占比分别为63%、65%和72%；相比之下，美国的比例仅为35%，在欧洲更是只有21%。人形机器人最终有望成为制造业的主流标配。

图6：
人形机器人持续提升的能力



资料来源：埃森哲

当务之急： 利用AI优化， 实现从辅助到 自主的跃升

高达62%的受访工厂管理者认为，AI是推进工厂运营全方位发展的关键因素。然而在短期内，多数管理者优先考虑的是维护、修理和大修（MRO）流程、物流优化及生产效率提升（见图7）。这种思路不无道理——但前提是企業只需確保工廠在未來幾年保持繁榮發展。採用AI的預測性維護可在故障發生前消除設備隱患、優化MRO排程以減少生產中斷，同時延長設備的使用壽命。AI驅動型物流解決方案能幫助製造商預測需求波動、避免供應鏈中斷並優化庫存管理。

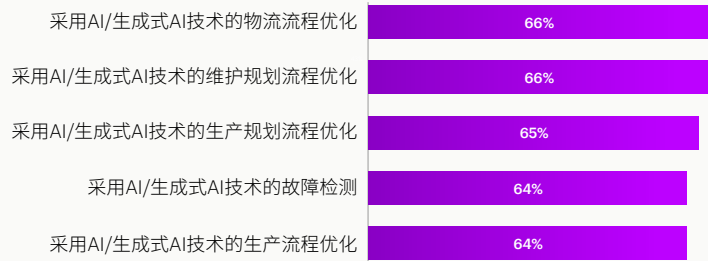
但很快，工廠運營便將全面圍繞彈性、敏捷性和適應速度以及效率展開。這就要求AI自主連接設備、智能分配任務以平衡工作負荷，並優化作業順序。工廠中基於預測性分析流程的運營體系通過实时监控传感器和视觉数据，提前检测或预测设备故障和产品缺陷，实现维护排程和质量检测的自动化。

要实现这样的跃升，工厂管理者必须加快AI的应用步伐。然而，38%的工厂管理者仍对在工厂内部署生成式AI技术犹豫不决。究其原因，既有长期以来对技术的不信任，也有对其在制造业的应用效果的认知局限。但最关键的障碍在于数据质量低下并且参差不齐。

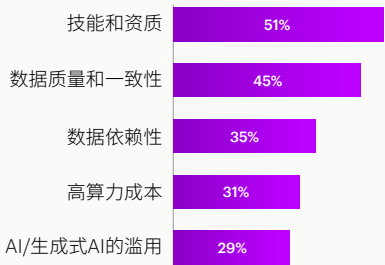
实时分析与AI驱动的洞察有赖于可靠的数据支撑；如果数据质量不达标，工厂就难以实现主动管理。因此，若要建设面向2040的强大工厂，工厂管理者当前需要专注于提升数据能力。企业需要加强数字核心，以支持更优的数据采集、整合和利用。例如，企业需要确保能够部署边缘计算和工业物联网（IIoT），以实现在工厂直接就地处理数据，以便即时进行流程调整，从而预防质量缺陷、优化工作流程并缩短工作周期。⁸

图7：
工厂管理者在AI/生成式AI方面的近期要务和制约因素

AI/生成式AI转型前五大要务¹



AI/生成式AI转型前五大制约因素²



备注1: 将相关要素的重要性评为“8、9或10分”的工厂管理者百分比。评分采用1到10分制，其中1分代表“完全不重要”，10分代表“极其重要”，N=552。

备注2: 选择特定制约因素的工厂管理者百分比。

资料来源: 埃森哲商业研究院分析

影响：AI驱动模拟模型可预测需求波动、瓶颈或延误等风险，支持企业相应调整产能并协同供应链。目前已有超过半数(53%)的工厂管理者预见到这一变革，当下的关键在于如何落地。

多家制造业龙头企业已率先布局。以[凯傲集团 \(KION\)](#)⁹为例，他们联合埃森哲与英伟达 (NVIDIA)，通过融合先进AI、机器人及数字孪生技术优化供应链效率，不但能确定新仓库的理想配置，又可持续强化现有工厂。这一转型的关键在于物理AI技术，它通过模拟现实行为来改进智能仓库的绩效，此类仓库在运营中运用自动叉车、智能摄像头及先进自动化和机器人解决方案。借助英伟达Omniverse的大规模工业数字孪生蓝图Mega，凯傲集团能够创建虚拟仓库模型，在实施实体改造前对车队配置、自动化策略及工作流程优化方案进行模拟验证。

这一系统不仅是模拟工具，更能训练仓储机器人应对需求波动、库存变化及布局调整。下一阶段将整合视觉语言AI技术，通过摄像头与传感器提供实时分析，从而减少瓶颈、提升安全性并优化整体效率。

这种系统预示着更广泛的变革：AI不再只是自动化的辅助工具，而是正在成为主导工业运营的智能决策层。针对每个生产环节，企业都将依靠专业的智能助手，这些智能体将分管工厂的特定职能：有的负责质量控制，可即时识别产品缺陷；有的则负责供应链协调，确保物料准时送达。

这些AI智能体依托工业“大脑”获取洞察。工业“大脑”是一种知识中枢，整合了工厂内部数据与市场需求、供应商中断等实时外部洞察，充分诠释了埃森哲《技术展望2025》提出的“认知数字大脑”理念：即通过AI赋能的智能技术重构决策与运营。¹⁰

随着工厂采用这种多智能体模式，管理者需要协调整合各类智能体，这实际上将成为工厂管理者及员工的核心技能。同时，企业还需构建多智能体AI架构，让执行常规高频任务的“基础智能体”与整合多重功能的“超级智能体”协同完成特定生产作业，¹¹并通过AI协同模型确保这些智能助手协作并共享关键洞见。

为此，企业需要训练AI模型，使其能够整合内部数据与外部洞察。方法之一就是重新定义岗位职责并提升工人技能，使其从手动操作转向监督AI智能体、排查系统低效问题，并优化AI驱动的工作流程。

归根结底，企业需要确保AI、数字基础设施和熟练劳动力能够作为统一体系发挥作用，使实时数据能够在机械、AI助手和人类监管员之间畅通无阻地流动。

当务之急： 数字化铸就 未来工厂

数字化是打造超自动化工厂的基石。然而，我们的调研显示，大多数工厂管理者仍在关注那些本应早已到位的数字化措施。就目前而言，优先级最高的是网络安全措施（77%），其次是制造执行系统（70%）和云平台的实施，这反映出制造业整体数字化成熟度仍处于较低水平。

令人担忧的是，近半数受访工厂管理者并未对数字孪生、工业物联网乃至边缘计算等未来工厂的关键能力给予足够重视。然而，这些技术恰恰构成了现代工厂的数字化基石，它们能在虚拟环境中模拟、分析和优化生产系统。这些技术的缺失会导致信息孤岛，造成设计与生产环节脱节，并制约基于模拟的决策与生产敏捷性。

因此，工厂管理者首先应当着力打造强大的数字核心，以支撑数字孪生、工业物联网和边缘计算等关键技术。唯有依靠更强大的数字核心，企业方能成功消除信息孤岛，提升面向制造的设计（DfM）能力，从而在产品的设计阶段更全面地融入制造考量，降低复杂度、减少浪费并节约生产成本（见图8）。

此外，从预测型生产规划转向需求驱动型制造，将成为工厂动态适应需求波动、供应链中断和运营约束的关键。超过半数的受访管理者认同这一趋势，他们相信需求驱动型制造将取代传统的预测型生产规划；而在大型工厂代表中，这一比例更升至62%。对企业而言，向能持续优化运营的动态事件驱动系统转型将大有裨益，但首要任务仍是夯实企业的数字核心。

图8：
DfM指导准则



资料来源：埃森哲

最终, 要实现这种实时适应能力, 必须从根本上重新审视制造系统的架构与集成方式。当今的传统单体式制造执行系统 (MES) 已难以适应这种高速多变的生产环境。这些旧有系统专为线性生产模式设计, 无法满足需要动态调整配置的工厂需求。

由于需求驱动型制造的成效取决于其支持系统, 企业需要采用事件溯源微服务架构——这种模块化、可扩展的软件架构将制造运营工作拆分为多个独立的小型服务单元, 这些服务单元既能相互通信又可协同运作。该架构使生产线能够实时响应需求变化与供应链波动。

另一个关键要素则是3D模型, 它能够支持精确自动化、实时自适应及人机无缝协作。这类模型能让机器人按照精确尺寸执行作业, 在部署前优化运动轨迹并模拟工作流程, 从而减少误差和人工再编程。这些模型还能提升质量控制水平、实现自适应生产规划并提高可扩展性, 确保在跨多厂区执行时仅需最小调整即可保持操作一致性。

下一步是将数字孪生技术从孤立试点扩展到整个工厂生态系统。数字孪生通过构建制造环境的实时数字化副本, 将DfM原则从设计阶段延伸至实际生产环节。借助这项技术, 制造商能够模拟、监控和优化工厂运营, 并基于实时数据持续调整生产工作流程。宝马¹² (依托“iFactory”) 和梅赛德斯-奔驰 (Mercedes-Benz)¹³ (凭借“数字优先”计划) 等企业正利用数字孪生技术, 确保生产敏捷性、减少停工时间并优化能效。

在AI赋能的2040年工厂中, 这些技术将不再各自为政, 而是形成无缝互联的生态系统, 使设计、模拟与生产形成持续的闭环反馈机制。



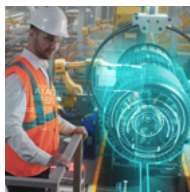
打造全数字化、自适应生态系统的 三项举措

工厂管理者可采用一套结构化的转型路径：首先统筹技术部署与员工团队协作，继而借助虚拟化技术实现实时模拟，最后形成闭环运营，即利用数据持续改进并优化生产流程。



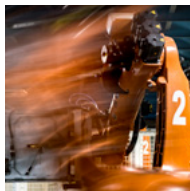
协同运作

随着工厂整合日益复杂的软件、芯片与硬件组合，系统协同能力将成为关键。要应对这种复杂性，既要具备先进的系统，也要确保工程、IT及生产团队之间无缝协作。投资建设跨职能数据平台是实现这一目标的良策，将有助于确保数字化和实体运营之间保持顺畅沟通。



虚拟化

虚拟化将带来更高水平的灵活性。通过构建零部件、系统乃至整条生产线的数字孪生，制造商可以在实际改造前，完成运营的模拟、测试和优化。



闭环

闭环是转型的最后一步。面向未来的工厂不仅能采集数据，更善于利用数据。通过持续将实时洞察反馈到设计、生产和售后环节，制造商能够有效杜绝低效、提升质量并加快创新。打通数据壁垒、实现全周期信息流转是实现自主优化、超高效生产生态系统的关键所在。



雷诺 (Renault) 通过革新生产体系迎接未来挑战

雷诺堪称布局当下、谋定未来的典范。面对亚太车企的强势竞争与成本的持续波动，雷诺制定了雄心勃勃的目标：将生产成本降低30%-50%，¹⁴ 每台车辆的生产能耗降低40%，¹⁵ 并将遗留系统转型为全数据驱动型制造。这家企业致力于到2026年，实现约3亿欧元的成本节降。¹⁶

为此，雷诺制定并实施了制造效率计划。他们计划在其所有工厂中部署工业数字孪生，打造覆盖整个生产生态系统的实时数字副本，包括工作流程、机械设备和物流运营。该计划还引入了AI驱动型运营管控措施、碳足迹追溯能力和质量预测管理。

该举措的效果可谓立竿见影。雷诺已将每辆汽车的生产能耗降低20%。¹⁵ 与此同时，生产时间减少40%，生产效率和响应能力也获得了显著提升。¹⁷

结语：实现从管理到协同运作的转变

到2040年，高度自动化的工厂将不再需要传统的“管理”，而是智能化的“协同运作”。AI将实时管理生产流程，数字孪生将在实际执行每项决策前提供模拟演示，而人形机器人将在无需人工干预的情况下完成适应调整。制造业将从预测驱动型转向完全自主、需求响应型的生态系统。

静态生产线将成为过去。未来工厂将实现自主优化、自主纠错和自主学习，确保整个供应链、生产网络和客户触点之间的无缝协同。自动化、AI或数字化将不再是2040年制造企业争论的焦点，因为这些能力都将成为未来工厂的标配。真正的竞争优势将取决于企业无缝整合这些技术，并将其扩展为一体化智能系统的能力。

这一未来并非臆测，它正在成为现实。未来工厂不再需要等待决策，而是自主做出决策。留给企业的选择题：果敢行动、引领变革，还是被迫适应未来。



参考资料

1. 《研究：美国制造业存在多达380万的工人缺口》，2024年4月3日，美国全国制造商协会（NAM）：
<https://nam.org/study-manufacturing-in-u-s-could-need-up-to-3-8-million-workers-30626/?stream=workforce>
2. 《重塑变革》，2024年7月23日，埃森哲：
<https://www.accenture.com/us-en/insights/consulting/change-reinvented>
3. 《JLR斥资5亿英镑在Merseyside创建未来电动车工厂》，2024年9月26日，Jaguar Land Rover：
<https://media.jaguarlandrover.com/news/2024/09/jlr-invests-ps500-million-creating-ev-factory-future-merseyside>
4. 《蔚来工厂自动化比率达到97.5%》，2020年9月18日，EqualOcean：
<https://equalocean.com/briefing/20200918230003751>
5. Thornton, J., 《这是世界上自动化程度最高的工厂吗？》，2020年7月23日，《机器人与自动化》杂志：
<https://www.roboticsandautomationmagazine.co.uk/features/is-this-the-most-highly-automated-factory-in-the-world.html>
6. Law, M., 《宝马与工业4.0彻底改变汽车制造业》，2024年10月29日，《科技》杂志：
<https://technologymagazine.com/articles/bmw-industry-4-0-revolutionising-automotive-manufacturing>
7. 《Agility Robotics宣布与驱动技术公司舍弗勒集团达成战略投资协议》，2024年11月13日，Businesswire：
<https://www.businesswire.com/news/home/20241113295142/en/Agility-Robotics-Announces-Strategic-Investment-and-Agreement-with-Motion-Technology-Company-Schaeffler-Group>
8. 《构建数字核心，推进全面重塑》，2024年11月6日，埃森哲：
<https://www.accenture.com/us-en/insights/technology/building-reinvention-ready-digital-core>
9. 《凯傲集团携手英伟达和埃森哲，利用AI赋能型机器人和数字孪生优化供应链》，2025年1月6日，埃森哲：
<https://newsroom.accenture.com/news/2025/kion-teams-with-nvidia-and-accenture-to-optimize-supply-chains-with-ai-powered-robots-and-digital-twins>
10. Narain, K., 《技术展望2025》，2024年1月7日，埃森哲：
<https://www.accenture.com/us-en/insights/technology/technology-trends-2025>
11. Azagury, J., Guan, L. 等人, 《利用生成式AI实现真正重塑》，2025年，埃森哲：
<https://www.accenture.com/us-en/insights/consulting/making-reinvention-real-with-gen-ai>
12. Friedrich, J., 《BMW iFactory：精益、环保、数字化——未来总体生产规划》，2022年4月29日，宝马：
<https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0384893EN/bmw-ifactory-lean-green-digital-master-plan-for-the-production-of-the-future?language=en>
13. 《“数字优先”型生产》，2023年9月20日，梅赛德斯-奔驰：
<https://group.mercedes-benz.com/innovation/digitalisation/industry-4-0/digital-first.html>
14. Ozsevim, I., 《雷诺发布雄心勃勃的“再工业化”战略转型蓝图，致力于重构生产体系，从而提升工业敏捷性并加强可持续发展承诺》，2023年12月12日，汽车制造解决方案：
<https://www.automotivemanufacturingsolutions.com/renault/renault-announces-re-industry-roadmap-to-transform-production-base/45018.article>
15. 《工业脱碳：雷诺集团表现突出》，2024年3月26日，雷诺集团：
<https://www.renaultgroup.com/en/magazine/sustainable-development/industry-decarbonization-the-path-is-set>
16. 《雷诺集团推出首个工业多元宇宙》，2022年11月14日，雷诺集团：
<https://media.renaultgroup.com/renault-group-launches-the-first-industrial-metaverse/>
17. 《雷诺集团凭借工业多元宇宙迎接未来》，2024年1月29日，领英：
<https://www.linkedin.com/pulse/renault-group-settles-future-its-industrial-metaverse-renaultgroup-cehie>

关于本研究

埃森哲在本次调研中采用了集中式的两阶段研究方法。第一阶段于2024年8月至9月执行，我们对汽车、工业和航空航天领先企业的生产负责人开展了15次深度访谈。在交流中，我们探讨了高管人员如何定义其公司特定制造目标图景，以及支持这些目标的战略支柱。

第二阶段，基于这些洞察，我们在2024年10月至12月发起了一项定量问卷调研，受众覆盖了亚洲（中国、日本、印度）、欧洲（德国、意大利、法国、奥地利、瑞典、丹麦、芬兰和瑞士）和美国的核​​心制造业中心的552名工厂管理者。调研收集了他们对于关键制造原则、转型推动因素、计划实施措施、预期制约因素的观点，以及对2040年制造业未来发展的假设性展望（见下页假设示例）。受访对象涵盖多家规模不一的工厂，其工人数量从100名到超过5000人，涉及汽车、工业机械、电气和重型设备以及商业航空航天等行业。

通过与制造业高管和工厂管理者的交流，我们获得了结合长期愿景与现实运营情况的双重视角，得以窥见制造业未来的发展趋势。

图2的完整假设表述(按照1~10分制评分)：

到2040年，工业5.0将引领数字化制造迈入新阶段，这一阶段将基于场景化的端到端信息、模拟、AI优化和生成式AI，逐步实现自主化运营。

到2040年，我们将全面采用自动导引车（AGV）取代人工物料搬运设备，打造智能化和自主化的入厂物流。

到2040年，我们将建成采用工业机器人和自主移动机器人（AMR）构成的智能车间，通过自主化方式处理大多数制造流程。

到2040年，我们的员工将组成数字互联团队，在工业多元宇宙中实现跨职能无缝协作。

到2040年，生成式AI将在我们的工厂中得到全面应用，支持自主学习型机器、智能人机交互，以及运营效率和劳动力利用的实时优化。

到2040年，我们将实施数字运营孪生，通过整合虚拟与实际制造、融合产品、流程与实时数据，提供具有指导意义的深度洞察。

到2040年，智能互联制造单元将取代大多数传统线性制造流程，以高度灵活、高效的方式实现超定制化产品的工业化生产。

到2040年，我们公司的仓库将全面实现自动化与数字化，成为与制造流程实时同步、在工厂中无缝整合的“黑灯仓库”。

关于埃森哲

埃森哲注册于爱尔兰，是一家全球领先的专业服务公司，致力于帮助世界领先的企业、政府和其他组织构建数字核心、优化运营、加速营收增长、提升社会服务，快速且广泛地创造切实的价值。作为一家以人才和创新驱动的企业，我们拥有约80.1万名员工，为120多个国家的客户提供服务。技术是当今变革的核心，我们依托云、数据和人工智能方面的领先技术优势，凭借翘楚的行业经验、专业技能以及全球交付能力，并通过强大的生态系统关系推动全球技术变革。埃森哲战略&咨询、技术服务、智能运营、工业X和Song事业部拥有广泛的服务能力、解决方案和知识资产，我们基于共享成功的文化和创造360°价值的承诺，帮助客户重塑转型并建立长久互信的关系。我们为客户、员工、股东、合作伙伴以及社会创造360°价值，并以此为衡量自身的标准。

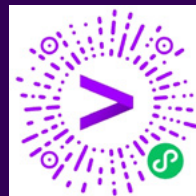
埃森哲在中国市场开展业务近40年，运营和办公地点分布在北京、上海、大连、成都、广州、深圳、杭州、香港和台北等城市。

了解更多，敬请访问埃森哲中文主页[accenture.cn](https://www.accenture.cn)。

关于埃森哲商业研究院

埃森哲商业研究院针对全球企业组织面临的重大问题，洞悉发展趋势，提供基于数据的深入见解。我们的研究团队包括近300名研究员和分析师，分布于全球20个国家，并与世界领先研究机构建立长期合作关系。将创新的研究方法与工具与对客户行业的深刻理解相结合，我们每年发布数以百计的拥有详实的数据支持报告、文章和观点，解构行业与市场趋势，洞察创新方向。

敬请访问埃森哲商业研究院主页www.accenture.com/research。



扫码阅读埃森哲小程序
“智能制造与供应链”系列洞察报告