

电子书

工业4.0与人工智能： 向领军者学习

Jeff Winter
战略顾问



Critical
manufacturing
an ASMP company

目录

1	2025年制造商现状	3	10	AI应用:传统机器学习	16
2	工业4.0实施方法	4	11	AI应用:生成式AI与Copilot	17
3	领军企业与标杆管理	5	12	AI应用:自主智能体AI	19
4	工业4.0的应用实践	8	13	当前重点工作	20
5	工业4.0面临的挑战	10	14	制造商进展总结	21
6	IT/OT长期割裂问题	11	15	主持人笔记	22
7	衡量工业4.0成功的标准	12	16	研讨会与调研背景	23
8	IT基础设施	13	17	参考文献	24
9	数据采集与管理	14			

1

2025年制造商现状

如何有效地相互学习，加速工业4.0和人工智能的应用进程？在2025年6月举办的旗舰MES与工业4.0峰会上，我们专门设计了一个研讨会，旨在衡量参与者的进展并促进相互学习。研讨会圆满成功，本文将把会议成果与更广泛的读者分享，会议内容也为整个峰会奠定了基调。

本报告基于参与研讨会的受访者调查。凯睿德制造战略顾问Jeff Winter主导了整个研讨会，并借助AI辅助设计了研讨会及分组讨论环节。AI还帮助汇总、归纳和解读调查数据，从而深入呈现受访者在工业4.0旅程中的进展情况。

尽管样本量有限，但我们认为本报告准确反映了领先制造商的进展情况及尚存的挑战。希望这些企业的实践经验能帮助您了解自身所处的阶段，并获得优先推进事项或与团队探讨方向的新思路。



2

工业4.0实施方法

正如我们多年来所强调的，工业4.0是一段持续的旅程，涉及范围广泛，各项目必须相互衔接。因此，不同企业可能采取截然不同的路径来实现各自的愿景。在很多情况下，企业对工业4.0缺乏明确的定义，许多企业以“数字化转型”或公司特定的愿景来指代这一概念。

调查问题为：“贵公司如何定义工业4.0，其正式程度如何，是否已有文档记录和对外传达？”在受访者中，约有一半拥有文档化的工业4.0战略，但其中许多战略尚不完整。另一半则没有明确战略，尽管许多企业已经具备数字化意识或正在推进数字化工作。我们认为，工业4.0战略最好作为整体业务战略的一部分加以推进。

受访者的回答涵盖各种情形：

“这是一整套记录完善的战略，通过多年期项目进行管理。”

“工业4.0本身并未被明确定义；我们有关于制造数字化的定义和文档，相关内容已记录在集中管理工具中，涵盖治理规范、指令和准则。”

“我们有较为松散的文档记录，但是不够正式。我们正在推进数字化转型进程。”

“该战略尚未正式文档化，主要由C级高管以口头方式传达给项目管理层。”

大多数制造商正在投资工业4.0，且投资规模与以前持平或有所增加。根据一项研究，超过四分之三的企业计划将至少20%的预算投入智能制造领域。这些举措可能以现代化、优化或转型等形式呈现。



3

领军企业与标杆管理

无论工业4.0战略是否经过正式定义和建档，企业内部总有人在积极推动相关举措。约三分之一的受访企业由跨职能团队主导这一工作；近四分之一的企业由C级高管主导工业4.0项目。约13%的企业由IT领导层主导，另有约10%的企业由运营技术（OT）或自动化负责人担任主要推动者。仅有10%的企业设有专职的工业4.0负责人。

德勤的一项研究显示，领导者往往倾向于由运营高管主导，其次是IT相关职能。跨职能团队模式在职责清晰界定的前提下可发挥重要作用。我们同样认为，让运营部门在推动工业4.0进程中发挥核心作用至关重要。

我们还询问了受访者：“贵公司目前采用哪些工业4.0标杆管理方式？”标杆管理已是普遍做法，约四分之三的受访企业以某种形式开展了标杆分析。方式多样，包括正式框架（如SIRI、SEMI）、外部同行或行业活动标杆对比，以及内部标杆、供应商/客户/学术机构标杆等。

麦肯锡和世界经济论坛的研究表明，工业4.0举措能带来显著收益。鉴于此，开展标杆管理以确保企业与市场保持同步是合理之举。

工业4.0的主要推动者

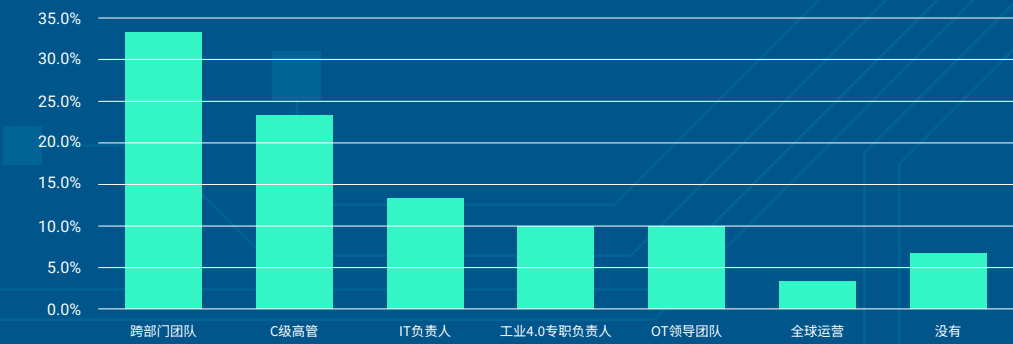


图1: 工业4.0的主要推动者

部分受访者的具体回答如下：

“我们尝试使用SIRI成熟度评估模型，旨在对知识水平、技术准备度和管理层意识进行标杆对比。”

“我们在行业展会上对核心生产流程进行标杆分析，并在本地区开展参考访问，标杆工作由内部自主完成。”

“没有使用任何工具或框架。我们是务实的实干者，深入了解自身的流程及差距所在。”



工业 4.0 试点与投产应用案例

● 试点中 ● 已投产

44 66		52 65		123 129		45 53		57 60		83 132		105 114		42 60		32 40	
供应链管理		设计与工程		制造与生产		维护保养		安全		质量		信息系统与网络安全		仓库与库存		售后 / 客户服务	
15 16	端到端供应链可见性	3 5	生成式设计 (使用 AI)	10 12	协作机器人	12 10	异常检测	4 5	带实时警报的可穿戴安全设备	19 18	自动在线质量检测	6 8	AI 驱动的威胁检测与响应	18 18	实时库存监控	3 4	售后预测性维护
4 6	供应链数字孪生	11 13	基于数字孪生的 3D 建模与仿真	22 23	实时生产监控	9 14	资产健康监测	1 1	基于 AI 的视频摄像头危险检测	15 17	实时统计过程控制 (SPC)	8 10	零信任安全框架	2 2	AI 驱动的库存优化	3 4	AI 驱动的客服知识库支持
- 1	用于追踪与溯源的区块链	9 12	增材制造 / 3D 打印	- 3	AI 驱动的流程优化	3 5	AI 驱动的预测性维护	16 14	数字安全检查表与事故报告	4 6	AI 驱动的缺陷模式分析	13 13	网络韧性与备份系统	7 11	自主车辆交付	4 8	用于支持的 AI 聊天机器人
4 5	替代组件优化	3 3	用于设计审查的 AR/VR/XR	2 3	AI 驱动的生产计划优化	2 2	AI 驱动的根本原因分析	7 13	环境监测	4 14	闭环质量控制反馈	5 6	安全信息与事件管理 (SIEM)	- -	AI 驱动的动态负载匹配	2 4	用于远程服务协助的 AR/VR/XR
1 3	AI 驱动的路由优化	- 4	AI 驱动的失效模式预测	- 1	AI 驱动的能源优化	2 1	AI 驱动的维护计划	5 4	邻近检测与防撞系统	3 1	AI 驱动的过程参数优化	17 11	安全远程访问解决方案	2 7	仓库运营数字孪生	- -	AI 驱动的保修索赔优化
- -	AI 驱动的入库延迟预测	7 5	自动物料清单生成	- 1	AI 驱动的生产线平衡	- -	AI 驱动的备品备件库存优化	6 4	通过 AR/VR/XR 进行安全培训	2 2	供应商质量协作平台	8 6	补丁与漏洞管理自动化	- -	智能位次与布局优化	10 9	联网产品反馈环
3 5	智能供应商选择	3 9	贯穿产品生命周期的数字线程	1 1	AI 驱动的动态排程	2 8	情境化预测性维护	4 3	基于行为的安全分析	4 9	自动化不合格管理	6 6	DataOps 与流水线协调	- -	订单处理聊天机器人	7 6	远程资产监控与诊断
2 2	AI 驱动的原材料成本估算	7 4	AI 驱动的代码编写	9 9	自主移动机器人 (AMR)	14 13	自动化工单生成	9 11	安全趋势分析	2 1	客户反馈分析整合	7 10	OT 资产盘点与风险管理	3 6	预测性库存补货	3 5	IoT 驱动的服务规划使用分析
1 2	AI 驱动的原材料优化	8 9	产品数字孪生	19 20	数字工作指令与标准作业程序 (SOP)			1 1	带合规监控的联网个人防护装备 (PPE)	4 5	预测性质量	4 5	统一命名空间 (UNS)	8 15	仓库自动化		
4 4	通过预测分析进行供应商风险监控			7 10	闭环生产反馈系统			3 4	实时风险评分	9 15	机器视觉异常检测	9 10	工业数据湖 / 数据织网	2 1	预测性库存损耗预估		
6 5	连接供应商门户			22 21	数字化绩效仪表盘					13 21	在线质量分析	1 2	语义数据建模				
3 3	碳足迹追踪			9 6	工厂、生产线或设备的数字孪生							1 5	用于预处理与局部自主的边缘架构				
												6 2	低代码/无代码集成层				
												4 2	联邦数据治理框架				

图 2:工业 4.0 试点与投产应用案例

4

工业4.0的应用实践

无论企业所处工业4.0旅程的哪个阶段，大多数企业已经实施并使用了若干技术。针对工业4.0的核心应用领域，我们请受访者选择所有“已投入生产使用的场景”，同时询问哪些处于试点阶段。

制造与生产

实时生产监控和数字化绩效仪表盘在超过三分之二的受访企业中已投入使用；超过一半的企业还在使用数字化作业指导书和标准操作规程(SOP)。MES通常涵盖上述所有功能；凯睿德制造 MES还包含工厂可视化数字孪生，约三分之一的受访企业表示已在使用这一技术。当前生产中应用最广泛的工业4.0技术是机器人，具体包括协作机器人和自主移动机器人 (AMR)。

当前在生产过程中采用的工业4.0技术

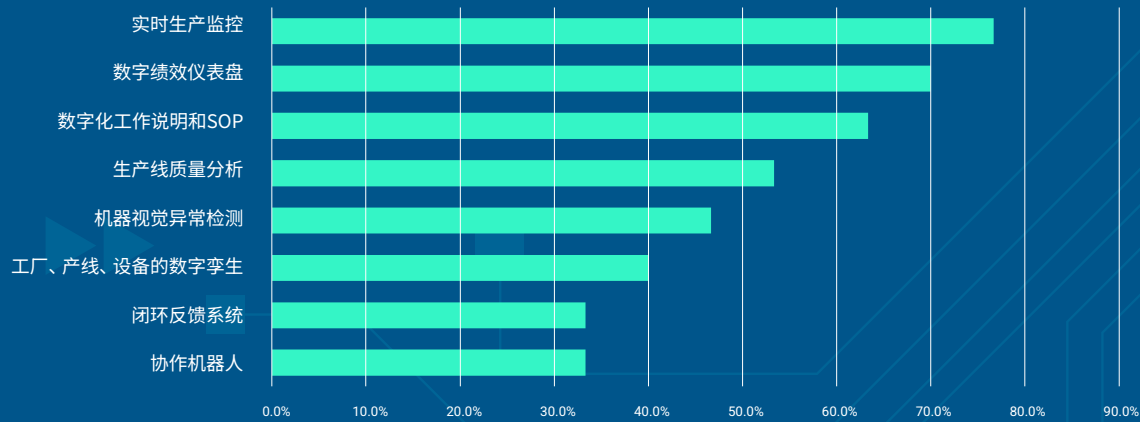


图3: 当前在生产过程中采用的工业4.0技术

MES 也可能涵盖质量、维护和库存管理。

- **质量管理:** 近三分之二的受访企业表示正在使用自动化在线检测；约一半使用实时统计过程控制 (SPC)；近一半使用在线质量分析。同样，众多企业正在试点各种质量管理体系，涵盖上述所有类别。
- **设备维护:** 近一半的企业已实现工单自动化生成，其次是异常检测，近三分之一的企业拥有资产健康监控系统，少数企业还在使用情境化预测维护。这些技术也大多处于试点阶段。
- **仓储与库存:** 60%的受访企业具备实时库存监控能力。超过四分之一使用仓库自动化，接近这一比例的企业也在使用自动驾驶配送车辆。
- **供应链管理:** 一半的研讨会参与者表示具备端到端供应链可视化能力。近四分之一的企业已接入供应商协同门户。六分之一的企业拥有供应链数字孪生，同样比例的企业表示正在使用替代零部件优化方案。
- **设计与工程:** 40%的企业使用某种形式的产品数字孪生，近三分之一使用增材制造或3D数字打印；近四分之一声称已实现BOM自动生成，同样比例的企业在整个产品生命周期建立了数字主线。
- **售后与客户服务:** 超过三分之一的企业利用互联产品反馈回路，四分之一还采用远程资产监控与诊断。少数参与者使用AI驱动的聊天机器人提供支持。



5

工业4.0面临的挑战

每段旅程都会遇到障碍。我们询问了受访者：“阻碍贵公司工业4.0进展的主要挑战是什么？”我们预计会出现一些共性挑战，包括数据与系统的复杂性、ROI不明确、文化变革阻力、内部专业人才匮乏、预算限制以及不知从何入手等。此外，受访者还提出了建立稳健数据基础、时间与资源制约，以及协调与标准化问题。

在另一个问题中，我们进一步询问：“贵公司目前在工业4.0哪些方面面临最大困难？”我们将回复归纳为六大主题：

- **战略与优先级：** 这些问题涵盖项目优先级排序、确定起点以及识别AI应用场景。
- **商业论证与财务：** 部分企业难以识别价值所在、明确投资驱动因素，或无法获得预算及资源支持。
- **组织与文化：** 这些问题包括推行集中化或企业级管理方法、协调各方努力、跨职能协作，以及建立信任或克服变革阻力。
- **数据：** 部分问题包括从设备中提取数据、从数据中获取价值、确保数据在整个企业内流通、处理手动数据输入以及实现统一数据模型。
- **技术与IT/OT：** 这些挑战主要集中在网络安全、机器连接性、自动化复杂性、流程数字化等方面。
- **综合问题：** 部分挑战可能涉及流程、技术和组织等多个层面，例如MES部署推广、标准化，以及从试点扩展至全面生产应用。

这与其他研究所揭示的工业4.0进展障碍高度吻合。我们的经验表明，表现最佳的企业拥有坚定的管理层支持与理解，从而能够在培训、IT和自动化方面做出恰当的投资决策。

参与者就这一话题分享了他们的看法：

“我们正在努力从基础数字集成向智能化、自适应运营迈进。”

“机器连接性和机器统一数据模型问题尚待解决，缺少MES与SCADA层。”

“自动化的复杂性；向30多家工厂推广MES的复杂性；从定制开发程序迁移至企业平台。”

6

IT/OT长期割裂问题

大多数企业的困境可能还有另一个根源：IT与OT并未形成共识。调查问题为：“贵公司的IT与OT团队在数字化举措上是否保持一致？”没有任何受访者表示已建立完全整合的数字化IT/OT团队。仅约三分之一的企业拥有具备联合目标的强对齐IT与OT团队。近一半的企业正在开展部分共同项目，但约四分之一的企业刚刚开始协作，或仍处于各自为政的状态。

我们预计，在IT与OT团队及其数据真正顺畅整合之前，另外三分之二的企业将持续面临工业4.0推进难题。

IT/OT团队数字化举措一致性调查结果

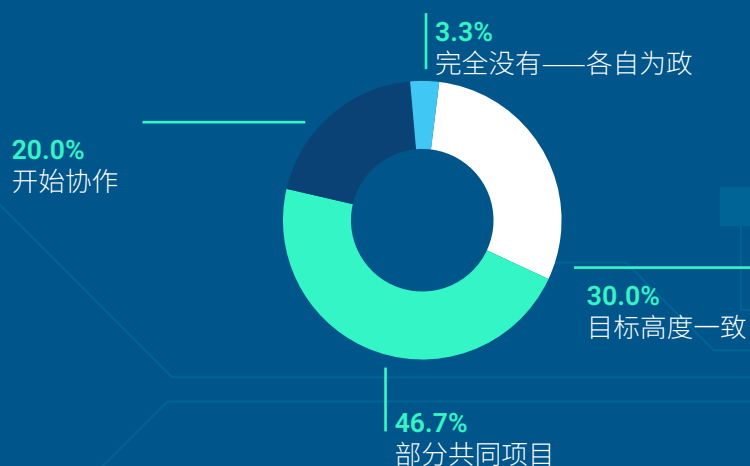


图4: IT与OT团队在数字化举措上的一致性



7

衡量工业4.0成功的标准

工业4.0对于企业而言是一段复杂的旅程，衡量成功的方式多种多样。调查问题为：“贵公司主要通过哪些方式衡量工业4.0工作的成效？”

按使用频率排序，受访企业依次采用战略价值、运营指标和财务影响来衡量成功。部分企业综合运用多类成效衡量方式，也有少数企业使用项目级指标或采纳率。此外，还有一部分企业仍在摸索合适的衡量方式。

虽然指标本身看似并不重要，但坚持持续衡量工业4.0进展往往能为企业带来显著收益。每家企业的衡量方式都会与自身的其他指标和方法相匹配。不同的衡量方式可能驱动不同的行为、优先级和成果，因此理想情况下应确保指标与业务战略相一致。

一位与会者指出：

“通常，我们通过多个KPI (如废品率、交货可靠性、设备综合效率、ROI等) 的改进程度来衡量工业4.0的成效。毋庸置疑，财务影响是最核心的衡量标准。”

您主要如何衡量工业 4.0 项目的成功？

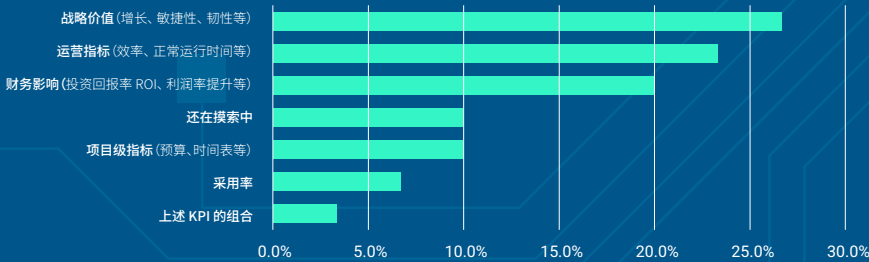


图5: 您主要如何衡量工业 4.0 项目的成功？

8

IT基础设施

IT基础设施和基础要素对工业4.0项目的成功至关重要，同样也是AI成功的关键前提。调查问题为：“请列举信息系统与网络安全领域已投入生产使用的场景。”

超过60%的受访企业已部署安全远程访问解决方案。超过三分之一拥有OT资产清单与风险管理系统。其次，近三分之一的企业已建立工业数据湖或数据架构，部署低代码/无代码集成层，以及补丁与漏洞管理自动化系统。超过四分之一的企业已使用安全信息与事件管理。

约五分之一的企业拥有数据运营和流水线编排能力。拥有网络弹性与备份系统、联邦数据治理框架、统一命名空间(UNS)或零信任安全框架的企业比例更低，但上述每项技术均有超过十分之一的企业已部署到位。

系统环境的复杂性给这些基础设施建设带来了相当难度，对于棕地工厂和拥有众多生产基地的大型企业尤为如此。制造业仍是网络安全攻击的首要目标行业，加强安全防护对于风险管理很关键。

我们建议向解决方案提供商深入了解其系统架构，并要求他们详细说明如何在当下及未来满足贵公司的网络安全、风险管理和集成需求。在选择新供应商时，优先考虑在持续满足工业IT演进需求方面拥有成熟经验的解决方案。

目前在生产中使用的工业 4.0 IT 与网络安全领域

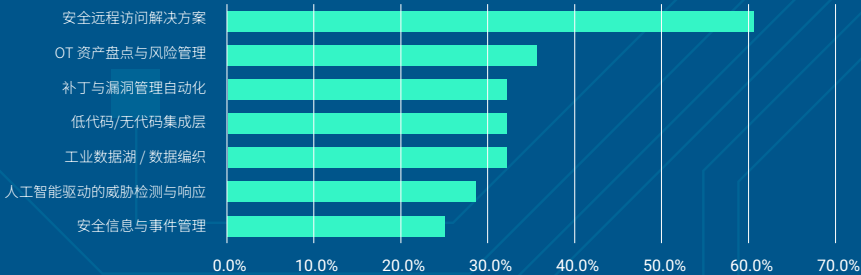


图6: 目前在生产中使用的工业 4.0 IT 与网络安全领域

9

数据采集与管理

数据是工业4.0数字化、自动化和分析工作的根本基础。数据的采集、治理和存储方式对其可用性至关重要。调查问题为：“贵公司如何开展数据采集、集中化和情境化工作，以支持分析应用？”

受访企业在数据采集、集中化和情境化方面未呈现出主导性方案。按频率排序，主要采用以下方式：

- 针对多职能场景建立结构化摄取流水线的企业级数据湖战略
- 混合架构，或正从遗留系统向新架构过渡

- 以MES为核心，结合Power BI
- 通过数据中枢或UNS实现OT与IT的集成
- 仍有约八分之一的企业沿用以Excel为核心的传统方式
- 少数企业认为自身已具备成熟的先进架构，并支持事件流处理
- 少数企业尚无企业级战略，仅有局部性解决方案

工业4.0的挑战之一在于，制造商理想中需要关联并置于情境下的数据格式多样——部分是结构化的，但大量数据是半结构化或非结构化的。

我们建议对数据结构进行审慎规划。除采用现代化实时数据采集方案外，还需要能确保数据完整采集、并在持续推进前强制验证数据有效性的系统。此外，理想的系统还应能将数据置于有价值的情境中，实现便捷而安全的集成访问，确保健全的数据治理，并提供完整的数据溯源视图。

企业报告的进展程度各有不同：

“我们利用AWS进行数据摄取，并通过Power BI对来自财务、销售、生产和质量等各系统的数据进行可视化展示。我们的策略是建立统一、自动化、标准化的数据框架，确保数据准确、受控且易于获取。”

“通过多层次、多方式采集数据(含IoT)，结合事件流处理(Kafka)和数据平台(规范化对象)。”

“对新机器/装配线，我们投资于机器级(PLC、网关)软件和标准化；对遗留系统，则投资中间件以实现数据采集和数据协调。”

“战略目标是将所有数据汇入云端数据湖，构建情境化层，然后向终端用户开放数据消费。”

“制造业数字孪生架构，用于在线计量与测试的良率管理系统。”

“我们正处于主动过渡阶段。数据采集目前通过PLC接口、凯睿德MES和SAP ECC的ERP的混合方式处理。我们的架构正向OpenShift容器化、ClickHouse高容量分析、MES作为结构化数据采集层等方向演进。这是一场仍在推进中的战略演变。”



10

AI应用：传统机器学习

在当今任何数字化讨论中，人工智能都是最热门的话题，制造业也不例外。然而，并非所有AI都是新兴技术——制造商使用机器学习（ML）已有相当长的历史。ML是一种从数据中学习（而非依赖显式编程）的AI形式，能够识别规律、做出预测并随时间持续改进系统性能。

调查问题为：“迄今为止，贵公司在哪些领域的传统AI/机器学习应用中取得了最大成功？”最大比例的受访者表示，其公司在生产运营中对机器学习或任何形式AI的应用极为有限。这可能是由于大量ML能力已内嵌于现有系统中。

ML最常见的应用场景是机器视觉或光学检测，近四分之一的受访者表示已在使用。少数受访者还表示，其公司将ML用于废品率降低和返工优化。这与其他行业研究结论一致——制造业中AI和ML的应用最常集中于质量控制、网络安全和流程优化领域。

受访者还表示，其公司正将ML用于流程优化、生成用于优化的合成数据、流程自动化、OEE管理以及生产调度。在预测分析领域，我们经常看到ML模式识别带来显著收益。

ML在生产中极具价值，尤其擅长处理需要模式识别、预测和自适应的复杂、数据密集型问题。如果您不确定自身对ML和传统AI的使用情况，建议向解决方案提供商确认其软件中是否内置了这些能力。

各组织所处阶段不尽相同

“针对具体应用场景实施AI和机器学习项目，项目可以是规模较小、聚焦明确的，往往能获得最高的ROI。”

“目前我们尚未将任何AI解决方案集成到流程中；尽管如此，我们已利用AI生成合成数据进行流程优化。”

“已建立试点项目，利用AI为生产中的返工操作提供支持。”



11

AI应用：生成式AI与Copilot

过去一两年中，大语言模型（LLM）和生成式AI（GenAI）异军突起，影响深远。GenAI是一种从海量现有信息数据集中学习的AI类型，能够生成摘要、文本、图像、音频和视频等全新原创内容。尽管基于互联网的通用模型已被广泛使用，但制造商通常更倾向于仅基于企业自身数据训练模型，以同时保障安全性并将获取错误或无关数据的风险降至最低。

调查问题为：“贵公司是否开发了基于企业数据的专属GenAI工具或Copilot界面？如果是，它们被应用在哪些领域，访问的是哪些数据？”

一家半导体公司和一家电子已在全企业范围内部署了 GenAI Copilot，但这属于例外情况。其他几家受访企业给出了肯定回答，但未作详细说明。

GenAI成功应用的具体领域包括：制造设备和工艺参数值分析，以及由此实现的设备自动调整、制造工程和支持职能。

对于拥有软件开发业务的企业，GenAI被用于自动化生成用户故事和测试脚本，以及其他代码生成任务。其中一家制造商正在试点将GenAI用于MES现场文档管理和决策支持。

大多数使用Copilot的企业似乎主要将其用于办公职能，而非制造或生产相关任务。部分企业拥有自己的GenAI工具，另一些则使用通用工具，如Microsoft Copilot或企业版ChatGPT。

如计划使用GenAI和Copilot，务必对其训练和响应所使用的数据集加以限制，以获得更好的性能并降低风险。部分软件供应商已将这些功能以针对工业数据集及其特殊需求专门优化的方式集成到其系统中。



企业分享了他们的实践经验：

“是的，部分示例包括：制造设备和工艺参数值分析及由此实现的设备自动调整，或对行政流程的分析。”

“确实在使用。在我的具体工作领域，我们主要将其用于自动化创建用户故事、测试脚本等。”

“我们正在积极探索内部GenAI应用场景——尤其是文档生成、知识库汇总和系统交互助手等方向，但尚未部署任何专属公司的工具。”

“尚未集成任何AI解决方案，但传统解决方案（建模和报价）使用了公司数据（手动输入）。”



图7: 凯睿德制造的Analytics Copilot

12

AI应用：自主智能体AI

自主智能体AI (Agentic AI) 是指能够以最少人工监督进行推理、规划和行动的自主性、目标导向型AI系统——它能够访问工具、数据和互联网，以完成复杂的多步骤任务。通常情况下，智能体的聚焦范围非常窄，并与其他可对其进行验证或执行相邻任务的智能体协同使用。

调查问题为：“贵公司是否在使用自主智能体AI？如是，请描述应用场景和方式。”样本中仅有三家企业表示正在使用自主智能体AI：一家用于公司内部的重复性任务；一家正在构建基于智能体的制造框架；另一家未作详细说明。

另有三家企业已实施或计划实施自主智能体AI试点。大多数企业尚未形成正式的自主智能体AI方案。

使用护栏机制、人工介入流程以及部署智能体相互校验等方式，均可有效降低风险。系统所使用数据来源的透明度，以及响应背后推理逻辑的可解释性，也是在工业环境中安全采用的必要条件。需要注意的是，这类系统本质上不具确定性，因此在安全攸关

的场景中，生成式AI和自主智能体AI并非最优选择。

自主智能体AI是一种非常有用的技术，可用于自动化处理对运营和业务风险较低的重复性任务；然而，该技术目前仍处于发展的早期阶段。尽管智能体AI能将自动化水平提升到新的高度，但规避风险的制造商在采用时可能会持谨慎、缓慢的态度。随着应用软件供应商开始将其融入产品中，我们看到了通过“任务特定型智能体” (Task-specific agents) 实现更快速应用和投资回报的契机。

通过使用护栏机制、“人机回环”方法，以及利用智能体去核查其他智能体的工作，都可以降低技术风险。在工业环境下，为了确保安全采用，系统所使用数据源的透明度以及得出结论背后的推理逻辑也至关重要。需要注意的是，由于此类技术具有非确定性，在涉及生命财产安全的场景中，生成式AI和自主智能体AI并不是最优选择。

各组织所处阶段不尽相同：

“是的，我们有一个公司专属的智能助手，用于支持重复性任务。”

“在业务前端有一些试点应用场景。”

“目前尚无正式的自主智能体AI应用。我们处于探索自主决策循环的早期阶段，然而这些目前仍由确定性规则驱动，而非自主智能体。”

“没有，除非您将聊天协作机器人用于自助服务纳入这一定义。如果您所说的是自学习、神经逻辑网络、情境感知和分布式实时……那么答案是否。”

13

当前重点工作

尽管工业4.0是一段多维度的旅程，大多数受访企业在当前都有若干具体的重点方向。调查问题为：“贵公司未来一年在工业4.0方面的最大工作重心是什么？”

位居榜首的是MES相关事项，占比约一半。具体包括：部署、稳定、推广MES，将MES与设备和企业系统集成，以及扩展功能。虽然MES只是工业4.0的一个组成部分，但大多数企业将其视为不可或缺的基础平台——在这里，各类生产数据汇聚成情境，并自动引导、监控和记录生产活动。

数据相关举措也相当普遍，因为这是不可或缺的基础工作。具体重点领域包括：确保数据结构准确性、数据情境化、建立数据可信度，以及为优化应用做好数据准备。所有这些都是关键的数据运营与治理任务，将为工业4.0和AI的成功奠定基础。

机器连接性和IT/OT数据流也是当前相对常见的重点方向。创建有价值、完整数据集需要将IT与OT数据置于统一情境中，对大多数企业而言，这需要付出极大的努力。

尽管AI话题热度居高不下，但将AI项目列为当前优先重点的受访者相对较少。专注于夯实基础，是推进工业4.0和后续AI成功应用的明智之举。总体而言，这一制造商群体的优先级规划是理性且务实的。

工业4.0的重点关注领域

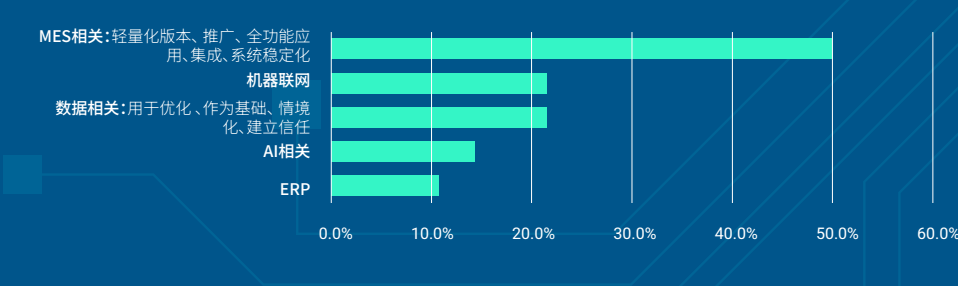


图8: 工业4.0的重点关注领域

14

制造商进展总结

- 工业4.0进程正在推进，尽管仅约半数制造商已制定正式的企业级战略。
- 通常由跨职能团队或C级高管主导工业4.0工作。这两种模式均有望取得成功，因为该项目可能影响企业的每一个职能部门。
- 参与研讨会的企业似乎略领先于大型公开研究的平均水平，但同样面临类似挑战，仍在持续推进中。
- 挑战多元，但IT与OT在数字化举措联合目标上缺乏强力协同，很可能成为大多数企业推进工业4.0的主要阻碍。成熟度的每个维度——流程、技术和组织——都有助于克服这些挑战。
- 企业以不同方式衡量工业4.0的成功。只要进展可见，任何方式都能有效维持旅程的持续动力。
- 工业4.0的IT基础设施建设仍有大量工作有待完成。除远程访问解决方案外，调查中其他现代IT要素均未超过40%的受访企业部署到位。
- 数据管理方式差异较大。制造业数据集的复杂性——涵盖来自多个领域的结构化、半结构化和非结构化数据——使整体数据管理和治理极具挑战。预计制造业数据管理将持续演进。
- 在这一制造商群体中，将任何类型的AI成功应用于生产运营的案例仍属罕见。ML倾向于在质量应用场景中发挥价值。极少数企业在行政任务以外使用了GenAI。自主智能体AI罕见，但部分企业已大规模应用或开展了试点。
- 制造商正在规划和思考与工业4.0和AI相关的众多议题。这批经验丰富的实践者正在展示所涉及问题的广度，以及持续推进工业4.0旅程的必要性。



15

主持人笔记

本次研讨会的主持人Jeff Winter是制造软件和工业4.0市场公认的思想领袖和权威人士。本次活动给他留下了以下深刻感悟：

- 工业4.0仍然是热度不减的话题，每个人都想了解两件事：1) 你能做什么？2) 其他人在做什么？
- 会议座无虚席说明了各界对这一话题的浓厚兴趣。
- 人们普遍愿意在工业4.0旅程中相互帮助——从分组讨论中的协作交流、“能否再多给些讨论时间？”的呼声，到互换名片，这种意愿处处可见。
- 即便是现场最优秀的企业，仍仅使用了全部潜在应用场景中的一小部分，说明仍有相当大的成长空间。
- 每个人都想知道如何运用AI。



16

研讨会与调研背景

第二届MES与工业4.0峰会（MESI 4.0 Summit 2025）是全球规模最大的MES峰会。为帮助我们做好本次活动的准备，我们要求制造业参与者提前完成在线调查，然后对回复进行了分析与讨论。

对制造商工业4.0旅程现状及AI应用情况的深入了解，为整个活动议程的制定奠定了基础。我们使用了ChatGPT协助设计部分问题，这本身也是我们自身使用AI的一次实践展示。

部分问题采用开放式设计，得以获取更多鲜活的反馈，本文全篇引用了这些匿名回答。约有六位参与者还分享了他们的经验与最佳实践。感谢所有参与者，正是大家的贡献使这次活动成为如此丰富的学习体验。



17

参考文献

1. Tech-Clarity:《为何战略对工业4.0成功至关重要》，2020年
2. 德勤:《2025智能制造与运营调研:应对实施挑战》
3. 麦肯锡:《释放工业4.0的真正价值》，2022年4月
4. 世界经济论坛:《全球灯塔网络:推动数字化转型实现影响力与规模化的思维转变》，2025年1月
5. 《基于总体解释结构模型 (TISM) 与模糊MICMAC的解释性分析》，Heliyon 期刊, 2023年11月20日;9(12): e22506DOI: 10.1016/j.heliyon.2023. e22506PMID: 38046174;PMCID: PMC10686847
6. ARC:《通过工业AI举措与技术加速数字化转型》调研
7. 来源:罗克韦尔自动化:《10周年年度报告》
8. Tech-Clarity:《MES采购指南》，2024年





Critical
manufacturing
an ASMPT company

关于 凯睿德制造

凯睿德制造是 ASMPT 的子公司，也是 Gartner® 魔力象限™ 公认的行业领导者。公司提供业界最先进的工业运营平台。我们以制造执行系统为核心，在统一的生态系统中整合了连接性、自动化、数据分析以及值得信赖的人工智能 (AI)。凯睿德制造致力于帮助制造企业构建面向未来的互联智能工厂，实现人与 AI 的无缝协作。

欲了解更多信息，请访问：www.criticalmanufacturing.com