



数字化精益： 破解系统性浪费困局

文 张思民

提要

传统精益制造管理 (LEAN) 聚焦于消除车间生产执行过程中出现的单点、微观、工步级别的浪费。通过引入工业物联网、运营数字孪生和AI等技术，数字化精益致力于识别并消除生产运营管理中由于分析决策延迟和系统性因素引发的更深层次、更隐蔽，但影响更为广泛的系统性浪费。

在互联网行业，创新往往由企业的核心能力驱动，技术突破或商业模式创新是成就巨头的主要动力，时代往往由成功者定义。然而，制造业的生存法则截然不同，其核心是对短板的极致把控——每一件产品的质量缺陷、每一分成本的超支，或每一次交期的延迟，都可能引发连锁反应。对于制造业从业者而言，技术的更新迭代能否作用于工业制造的关键目标，帮助企业解决切实的痛点问题，才是核心要义。

精益制造管理 (LEAN) 正是这种理念的产物。自20世纪中叶被提出以来，它已广泛应用于全球制造企业，在降低浪费、提升效率和优化流程方面取得了显著成效。然而，随着全球制造业步入工业4.0时代，企业所面临的环境正发生深刻变化。市场需求日益多样化和个性化，客户要求更快的交付速度、更高的质量以及更具性价比的产品。同时，企业还要应对原材料波动、能源成本上升、劳动力短缺等多重挑战。

在此背景下，传统精益的实践模式正面临前所未有的挑战。如何突破传统精益的边界，借助数字技术实现精益管理的进化，成为制造企业转型升级的关键命题。

传统精益管理的瓶颈

虽然“消除浪费、持续改善、以客户为中心”的理念依然适用，但传统精益在实际应用中的工具与机制，已难以满足现代制造对实时性、柔性化、系统协同的更高要求，其局限性日益凸显，主要体现在以下四个方面：

一、多变量问题难以解决

在制造和供应链管理中，许多关键绩效指标 (KPI) 背后都受到多个因素的共同影响。例如，首次通过率 (Right First Time, RFT) 衡量产品在不返工的情况下一次性合格的能力，这一指标会受到人员技能、设备状况、原料质量、操作方法和现场环境等多个变量的共同影响。面对如此多变量彼此交织的问题，仅靠人脑难以进行全面判断或快速决策。为了解决这类复杂问题，传统企业普遍采用一种金字塔结构，自上而下对生产任务进行分解：上层决策、中层分析、车间执行。然而这种“分而治之”的方式也存在两个难以克服的结构性瓶颈，一是响应速度慢

且滞后，企业难以及时预警和主动应对问题；二是局部最优难以带来整体最优，因为每个层级、每个部门通常只对自己负责的部分进行优化。

二、SOP偏差响应延迟

在制造系统中，标准操作程序（SOP）偏差是造成损失的主要原因之一。当操作人员未能严格按照SOP执行，或者SOP本身存在设计缺陷时，就可能引发一系列问题，比如产品质量缺陷、生产中断、效率下降、原料浪费，甚至造成不必要的库存积压。处理这类SOP偏差，通常需要经历SADE步骤，即感知（Sensing）、分析（Analysis）、决策（Decision）和执行（Execution）。然而，在工业3.0阶段，这四个环节大多依赖人力完成。员工需要花费时间收集信息、沟通情况、判断原因并制定对策，这在面对多变量、复杂问题或数据不透明的情况下尤为困难。特别是当人员经验不足或反应迟缓时，问题处理往往滞后，从而导致损失的不断累积，影响生产的稳定性和企业的盈利能力。

三、微观最优与宏观最优的冲突

在典型的制造系统中，优化工作往往集中在某个具体流程或工艺步骤上，例如，缩短某台设备的换线时间、降低某道工序的报废率，或提高单机的开机利用率。这种以局部环节为目标的改进，被称为“微观最优”，其目的在于提升单点效率。然而，制造系统并非由若干独立的节点组成，而是一个环环相扣、动态耦合的整体网络。在这个系统中，每一个环节的状态都会影响上下游流程，稍有不当就可能引发连锁反应。例如，如果盲目提高某个瓶颈工序的生产节奏，却没有同步调整上下游的节拍与产能，就可能在后续环节形成大量堆积，导致在制品（WIP）激增，反而降低整体流动效率。在这个层面上，精益管理真正的挑战在于：如何在全流程范围内，从客户下单到产品交付，实现整体资源配置、节奏控制与价值流动的系统最优。

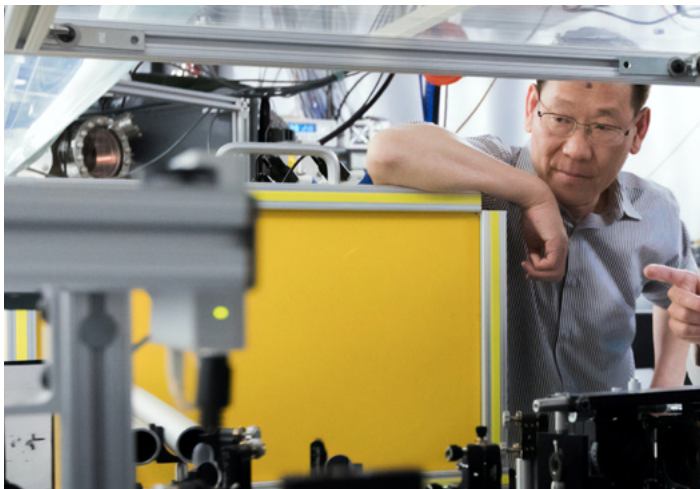
四、对经验工人的高度依赖

在传统精益管理实践中，制造企业高度依赖一线经验工人的知识与判断力。然而，随着劳动力市场和产业环境的变化，这种对关键经验人员的依赖正面临严峻挑战，包括员工高流动性削弱了经验积累，培训成本高且周期长，学习曲线陡峭等。因此，这种对少数关键人员的过度依赖，严重制约了精益管理的可持续性、可复制性与组织扩展性。当这些关键人员离开或换岗时，企业往往会面临知识断层、效率下滑或改善停滞等风险。

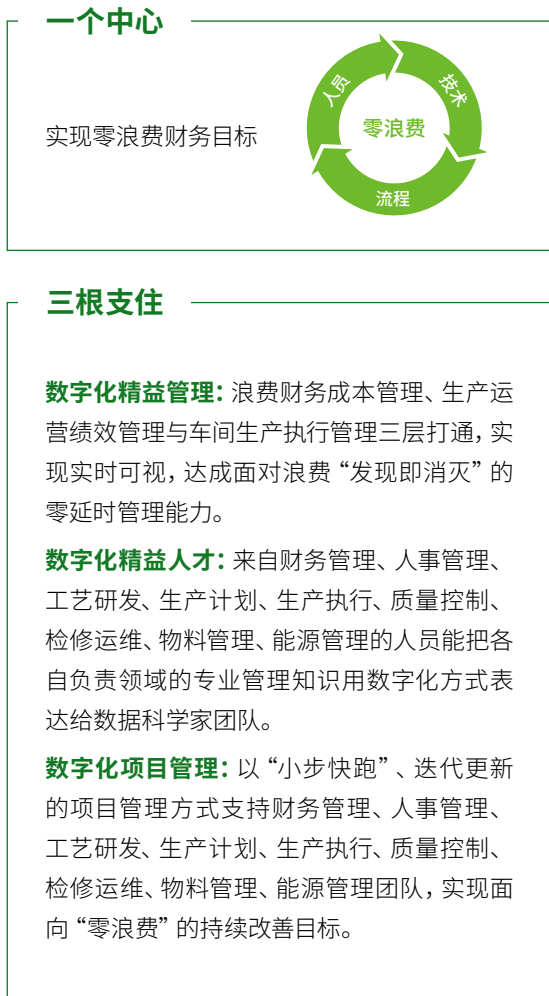
数字化精益管理解决制造企业痛点

随着工业物联网、运营数字孪生以及AI等技术的出现，生产运营决策能力发生了根本改变。以此为驱动的新一轮工业革命，有望彻底解决上述问题，从而为制造企业的降本增效开辟全新道路。例如，工业AI可以解决宏观层面优化的多变量、多目标、多约束问题，满足“既要又要”的高要求；工业物联网技术的加入，使得工业AI能够实时感知甚至超前预判所发生的事情，并且缩短决策链路，实现高效执行。

埃森哲将这种全新的模式称为“数字化精益制造运营管理”（Digital Lean）（见图一）。它在保留精益核心的基础上，通过数字技术的加持，突破了传统精益在数据获取、响应速度、系统协同等方面的局限，使改善变得更及时、更深入、更广泛。



图一 数字化精益制造运营管理



与其说Digital LEAN是“用数字工具做精益”，不如说它在价值逻辑、组织方式与工作方法上实现了深层革新，主要体现在以下三方面：

一、从“局部最优”走向“系统最优”

传统精益关注某条产线或某个工序的效率提升；而Digital LEAN基于全流程数据和AI分析，定位系统瓶颈、优化整体协同路径，真正实现从客户下单到产品交付全过程的价值最大化。

二、从“事后响应”转向“实时响应”甚至“预判式响应”

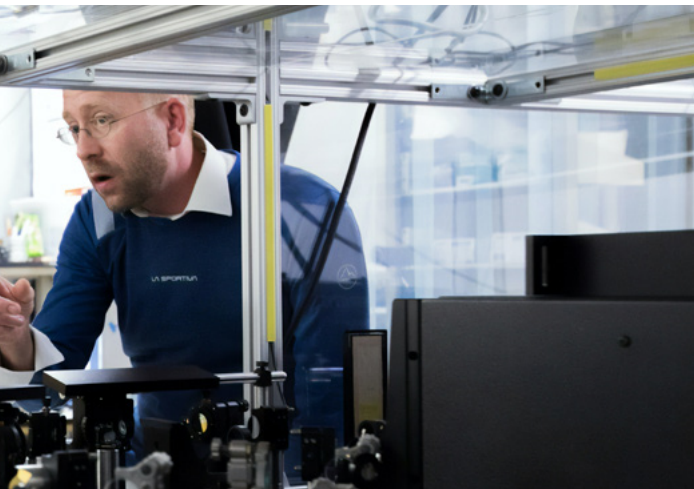
传统精益需等问题出现后再由人工分析解决，响应滞后；而Digital LEAN借助工业互联网与AI，实现实时监测与快速应对，甚至能在问题发生前进行预测和预防，大幅减少波动与损失。

三、从“管理现场”转向“感知客户”

传统精益强调现场（Gemba）管理，着眼于生产流程；而Digital LEAN借助互联技术与客户数据，打通从市场到车间的信息链，实现以客户需求为导向的动态计划和敏捷执行，真正做到了“以客户为中心”。

案例研究

数字化精益管理是贯穿某全球头部食品生产企业生产运营全过程的核心理念。在该企业的认知中，任何不产生客户价值的生产运营活动都属于浪费，必须被识别并消除。为了实现这一目标，该企业与埃森哲合作，启动了覆盖财务、组织和人才、运营管理流程，以及设计、开发、运行等端到端全流程的数字化精益项目，推动生产运营团队跳出被动接受数字化应用的思维模式，培育数字化“自我造血”能力，让企业原有的精益制造DNA演化为数字化精益制造DNA。



数字化精益管理下的 数据和人才重塑

过去数十年，人们见证了数字网络从一个巨大的数据积累器，转变为能够实现惊人商业成功的数字化平台。这种转变如此彻底和全面，以至于让人们习以为常，形成了“数据创造价值、大数据创造大价值”的普遍观念。

然而，当这种“以数据为中心”的模式应用于制造业时，大数据的魔力却突然消失了。制造商在数据收集和存储方面的投资，不但没有创造价值，反而变成了成本高昂且回报微薄的努力。

近年来，制造行业的高管们开始意识到，在这一特殊领域，没有工程知识支撑的数据只会徒增收集和存储的成本。相反，能够被AI“看”得懂的、数字化表达的工程领域知识才是关键。

此外，面向未来的高复合型人才将成为核心资源。他们需要同时具备工程知识（如供应链运营、生产运营、产品生命周期端到端工程）、数字化能力与财务敏锐度，而不仅仅是工艺设计、生产执行或成本控制等单一领域的专家。他们能够以知识图谱的方式表达问题与工程知识，以消除浪费为财务目标，利用数字化技术以“小步快跑”的方式持续改善生产运营效率。

数字化精益的演进路径

企业推行数字化精益，通常会经历四个阶段（见图二）。这种演进过程并非线性，而是一个不断迭代、螺旋上升的过程。企业应根据自身成熟度与战略目标，制定差异化路径，逐步实现从“精益改善”向“数字精益”的跃迁。

在这个过程中，企业要告别“工具堆砌”的误区。尽管工具能在局部场景带来改进，但长期来看通常会带来数据孤岛、经验难沉淀、复制成本高、流程闭环缺失等问题。要实现可持续、可复制的数字化精益，关键在于平台化思路，即打造一套统一的数字运营平台，借助这样的平台，企业不仅能完成一次改善，更能持续推动改善的发生。这种数字运营平台通常包括以下核心能力：

- 数据统一接入：打通“人、机、料、法、环”各类数据源，构建共享的数据底座；
- 知识模型沉淀：将专家经验和改进方法转化为机器可读的规则与算法，形成可复用的知识资产；
- 跨流程协同：统一计划、质量、设备、生产等模块，形成闭环执行与联动响应；
- 自学习与持续优化机制：AI模型在运行中自动迭代，持续提升异常预测和决策准确度；
- 可扩展架构：支持从单条产线到多工厂、跨地域的快速复制与推广。



图二 数字化精益的演进路径

	阶段	目标	核心能力	典型成果
01	数字透明化	让问题看得见	- 统一数据采集与可视化 - 实时监控和偏差预警	- 车间看板上线 - 异常数据实时追溯 - 操作过程数字留痕
02	数字协同化	让流程动起来	- 跨部门、跨层级的闭环问题处理机制 - 从“人工串联”转向“系统协同”	- 响应时间大幅缩短 - 多岗位、多系统联动响应 - 在线PDCA（计划、执行、检查、行动）闭环
03	知识智能化	让经验留得住	- 人工经验结构化 - 构建知识图谱与AI模型，支持智能决策	“数字专家”上线 - 算法驱动异常分析
04	系统自优化	让系统自己改	- 多源数据融合建模 - AI自动瓶颈识别	- 系统自动生成改善建议 - 产线参数自调 - 员工角色由“操作者”转向“优化师”

我们建议企业：

以客户价值为锚点，重构精益逻辑。不再局限于局部效率，而是聚焦于价值链端到端优化，把改善目标锚定在客户体验与经营结果上。

以平台思维为抓手，打造数字化精益操作系统。不再依赖碎片化工具，而是构建具备数据融合、知识沉淀与AI驱动能力的一体化平台，让改善成为系统化能力。

以组织变革为保障，推动能力与机制升级。建立数字素养导向的人才模型，推动“人机共创”的新型工作方式，用机制保障知识传承、共享与持续演进。

数字化精益是一个持续的旅程，制造企业需要紧跟技术的发展步伐，在人员、流程和技术等环节果断进行重塑，以终为始地开展顶层设计，借助数字化精益管理实现真正以客户为中心的生产运营，使其成为企业夯实竞争力的基石。

张思民 (Jason Cheung)
埃森哲大中华区工业X事业部董事总经理
业务垂询: contactus@accenture.com