

卡特彼勒供应链数字化转型——对工业互联网的启示

卡特彼勒作为全球工程机械行业的领先企业，其数字化战略的推行从上世纪 90 年代中期使用 Telematics 连接出厂设备开始，就一直没有停下脚步。20 多年之后的今天，市场上连接的卡特彼勒设备数量已经达到了 56 万台。无疑，卡特彼勒是全球工程机械领域里实践工业互联网的鼻祖。

卡特彼勒的数字化战略是“以客户为中心 (Customer Centric)”，它的数字化愿景是“从数字获取洞察，由洞察驱动行动”。这两句话看起来十分常见，但卡特彼勒用坚实的脚步，一步一步地按计划践行，取得了扎实的效果。

数字化转型的第一步：面向客户的 CAT Connect

卡特彼勒数字化转型的第一步，正是遵循“以客户为中心”的客户优先战略，建立了 CAT Connect（官方翻译为“卡特智能”）系统。它通过在出厂设备上安装传感器，采集设备数据，智能地运用各种技术与服务来监控、管理和加强设备的运行状况，从而让客户更好更深入地控制现场作业，提高生产效率、降低成本、增强安全性，实现更加绿色和可持续性的业务。

CAT Connect 不是一个封闭的系统，它甚至可以连接和管理其他厂家的工程机械设备。举例来说，卡特彼勒在北美的一个客户，拥有大约一万台设备，其中只有三分之一来自卡特彼勒。这家客户希望由一家企业将所有设备连接起来，用一个屏幕来管理它们的使用情况。卡特彼勒通过自己的硬件，使用了其他设备厂家的 API，加上自己的 Telematics 技术，

在一年之内，实现了客户的目标，将设备的整体使用率提高了 15%。对于这种规模体量的客户来说，这是一个非常显著的管理提升。

从 2017 年开始，卡特彼勒开始使用 AT&T 的物联网 4G 服务，将 CAT Connect 这套服务推广到 155 个国家。它可以给卡特彼勒、经销商和客户提供近乎实时的关于设备在工作现场的性能信息。

尽管 CAT Connect 在帮助客户提高设备管理水平上发挥重要的作用，但这并不意味着卡特彼勒的 186 家经销商被排除在这场数字化转型之外。事实上，在经过数字化技术改造过的服务流程中，经销商发挥着更加重要的作用。通过物联网，将数据从分散的设备采集并集中到一个地点之后，就可以获得大量的洞察，例如对设备故障进行预测分析，从而为客户提供更多有价值的服务，改变了经销商过去“等服务上门”的业务模式。

卡特彼勒将这些服务包含在了移动 App 中，建立了卡特彼勒、经销商和客户的协同工作方式。并且，针对不同的行业，这套移动 App 对应不同的解决方案。卡特彼勒开发了 10 个行业方案，以便更加贴切不同行业客户的需求。

在客户端，卡特彼勒在接下来的 3~4 年里，计划将 AR/VR 技术引入到服务和销售环节。AR 技术不仅可以在客户使用设备的环节，以及保养和维修的环节发挥作用，还可以用在销售环节中。试想经销商如果可以使用 VR 技术来向客户展示设备，可以节省大量的展示设备的库存资金。

通过 10 余年以来不断打造 CAT Connect，卡特彼勒在客户和经销商端实现了数字化转型。那么，下一步继续前进的方向在哪里呢？

数字化转型的第二步：数字化业务经营系统

作为一家制造业公司，企业自身的数字化建设永远是数字化转型的主要阵地。卡特彼勒作为全球工程机械行业的龙头，经历了太多次全球经济的起起伏伏。每一次的起伏，都会直接反映到工程机械市场以及卡特彼勒的业务上来。数字化技术为卡特彼勒提供了一个重要的手段，就是可以实时地对整个价值链进行监控和管理，从上游供应网络的每一个成员，到制造工厂的每一台机器，再到每一个经销商，以及每一个客户和每一台销售出去的设备，都可以连接起来，从管理的视角进行数字化映射，从而确保对每个最小单元进行有效的管理。通过这种更为精细化的管理方式，使得企业的盈利能力不会因为外部市场环境的变化而波动。

举一个例子。在建筑机械行业大幅滑坡的 2016 年，卡特彼勒在建筑行业的收入从 2015 年的 178 亿美元下滑到 2016 年的 156 亿，跌去了 12%；利润也同步从 18.7 亿下滑到 16.5 亿，同样也跌去了 12%。换个角度说，就是卡特彼勒的利润率，并没有随着销量的下滑而有任何变化。无疑，这才是一个成熟的全球化企业经营实力的表现。

数字化技术在帮助卡特彼勒建设这样一个业务经营系统的过程中扮演了重要的角色。最重要的环节，就是打造一个将卡特彼勒整个价值链上的各个业务要素和业务单元进行快速连接和精准管理的数字化经营系统，包括了三大基石：

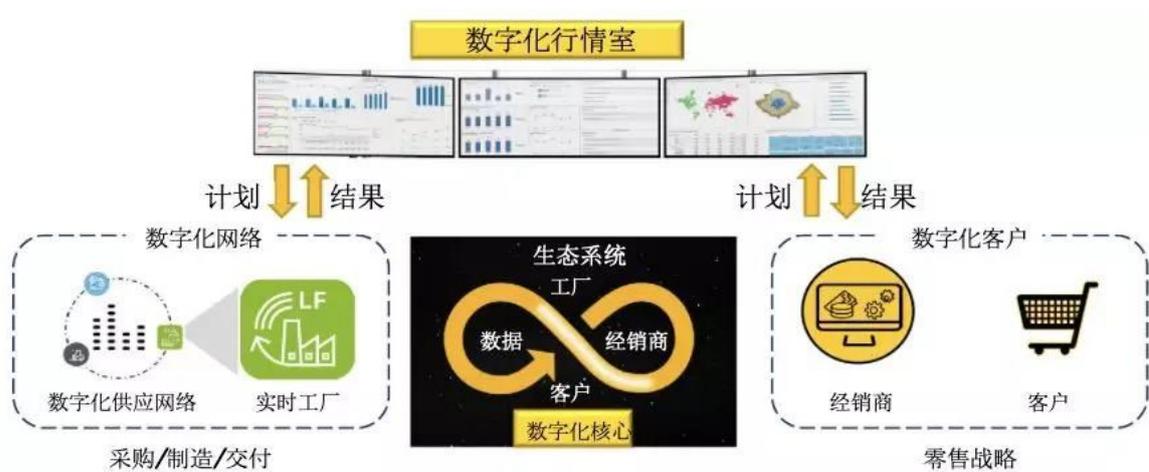
一是神经——基于物联网技术，连接所有的产品和设备。无论这些产品和设备的地点是在上游的供应链，还是在企业的工厂，或是下游的渠道

和客户，卡特彼勒将感知的触角延伸到企业上下游的每一个角落，让企业拥有四通八达的神经系统。

二是骨骼和肌肉——基于支撑大数据的商业应用系统，吸纳来自数字神经系统的的数据，推动上下游的业务流程的运转，让卡特彼勒拥有高效敏捷的骨骼和肌肉。

三是大脑——在上述两项基石的基础上，建立起集产品数据、设备数据和业务数据（包括客户数据在内）于一体的经营驾驶舱——这里称之为“数字化行情室（Digital Board Room）”，从而让企业拥有可以快速决策的大脑。

如下图所示，这样的一个数字化业务经营系统，在最上端包括了一个“数字化行情室”，在“数字化核心”打造的数字化运营基础上，通过“数字化供应网络”和“数字化客户”源源不断地导入客户和供应网络的数据，从而建立起更大范围的数字化生态系统，并在“数字化行情室”中展示、分析和决策。



卡特彼勒的数字化经营系统

实时工厂 Live Factory 的 IT 系统

上图中的“数字化供应网络”，其核心无疑是卡特彼勒打造的“实时工厂”（Live Factory）。实时工厂的设计思想，同样遵循了卡特彼勒数字化业务经营系统的“神经+骨骼和肌肉+大脑”理念，将基于 OT 的应用打造的神经系统、基于 IT 的系统打造的骨骼和肌肉，以及基于数字化行情室打造的大脑，完美地结合在了一起。

让我们首先来介绍一下卡特彼勒实时工厂的 IT 系统。像卡特彼勒这样规模的全球化生产制造企业，其 IT 系统的核心，是其全球化的生产计划与调度体系。卡特彼勒按照计划覆盖的时间周期长短，将其生产计划体系分为四个层面的内容，它们分别是：

全球生产网络流程 GPNP（Global Production Network Process）：确保 5 到 10 年内最优的制造网络规划。GPNP 主要包括三大目标：加强与预期销量的配合、提高与生产相关的资产的回报、提高企业内部不同地区和部门之间的协同。从 2005 年开始，该系统开始投入使用。

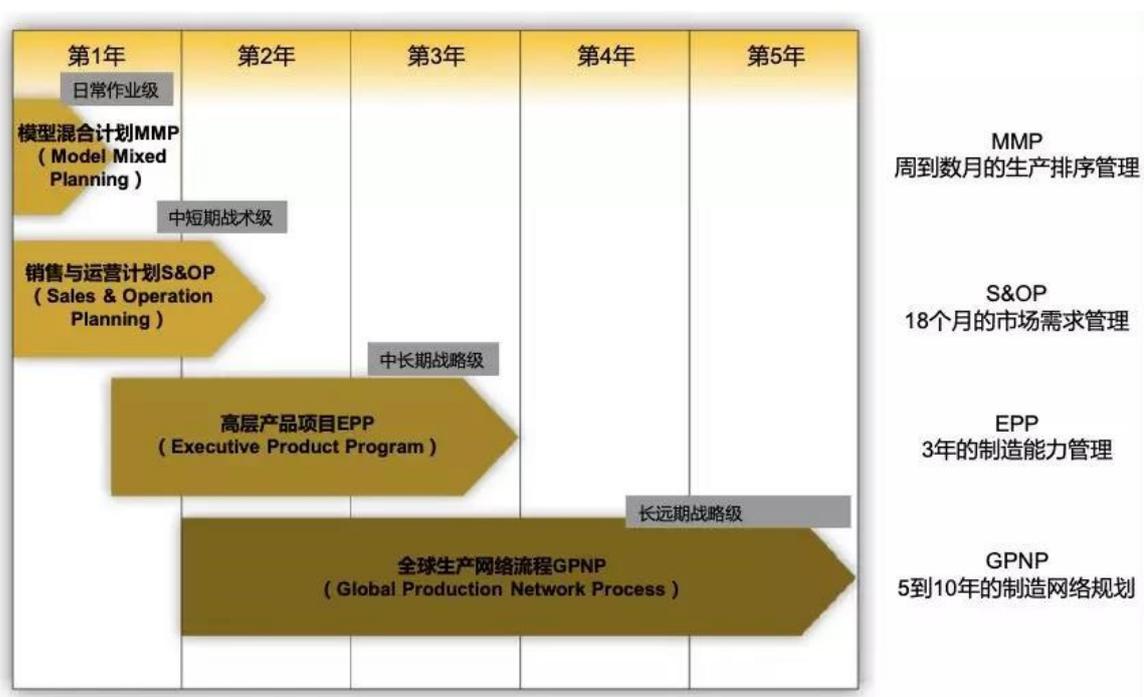
高层产品项目 EPP（Executive Product Program）：这是一个对 3 年内的制造资产进行投资、建设或购买及采购进行决策的能力计划。在实际运行过程中，EPP 也会被分为短期决策和长期决策，长期增加产能的决策会让企业在市场竞争中处于有利地位，但是从短期来看会对企业的现金流带来约束。

销售与运营计划 S&OP（Sales & Operation Planning）：这是对 18 个月的市场需求进行管理的系统。一方面，卡特彼勒需要对市场销售做出预

测；另一方面，预测的结果也需要在生产、物流等部门进行协调和修改。

SAP 的集成业务计划 IBP (Integrated Business Planning) 系统在这里发挥了重要的作用。

模型混合计划 MMP (Model Mixed Planning)：基于 SAP 的高级排产与优化 APO (Advanced Planning & Optimization) 系统，卡特彼勒实现了从周到数月的生产排序管理，将客户订单、销售预测、库存和生产结合起来，以最优的方式组织工厂进行生产。



卡特彼勒的生产计划的四个层次

在卡特彼勒的实时工厂，众多互联的自动设备组成了多产品混线生产的自动线。承接模型混合计划 MMP 所生成的生产定单的，是 SAP 的制造执行 ME (Manufacturing Execution) 系统，它会根据不同产品的生产定单进行信息配置与传达，指导工人进行对应操作或指挥设备自动执行操作。通过这套系统，工厂极大提高了生产线的自动化率，有效实现了无纸

化生产信息管理，并大大降低了产品不合格的风险。同时，SAP ME 的数据采集功能实现了生产数据的全程可追溯性，为工艺流程的提高和改善提供了充分的数据依据。

到这里为止，卡特彼勒的整套 IT 系统实现了从长期的制造网络规划一直到排序的生产定单的执行，但卡特彼勒的实时工厂的建设道路到这里还远没有停止。

实时工厂 Live Factory 的 OT 系统

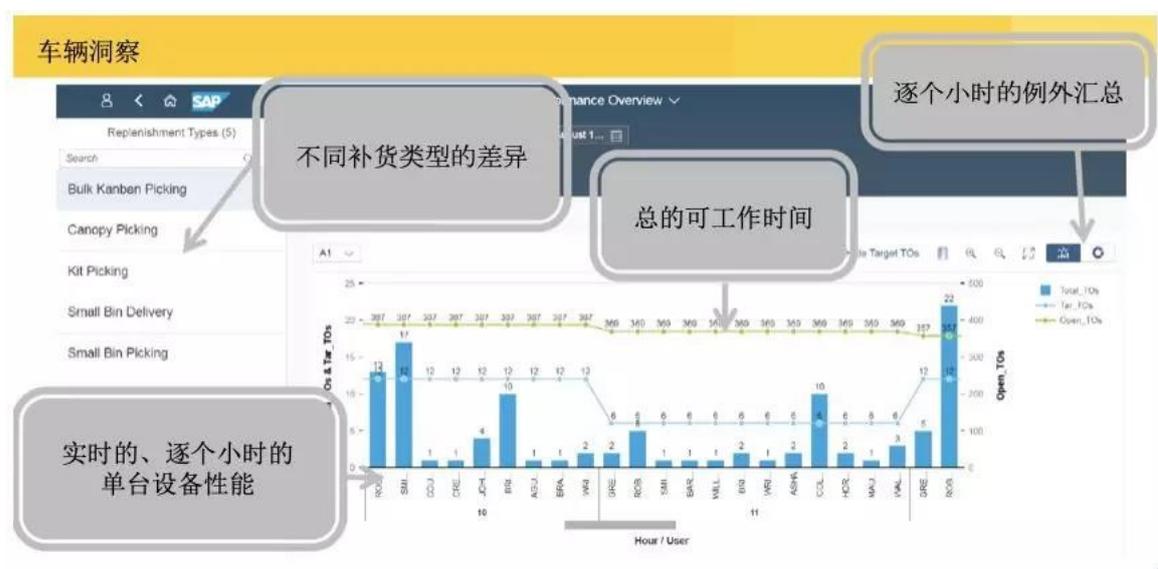
卡特彼勒的实时工厂的 OT 系统，从设备层的数据采集，再到数据分析，以及最上层的“数字化行情室”，不仅体现了“从数据到洞察”的理念，并且与 IT 系统中不同时间跨度和周期的生产计划对应，打通了“从洞察到行动”的闭环，使得这套数字化业务经营系统真正成为企业可以驾驭的“高速列车”。



卡特彼勒的实时工厂的 OT 架构及其与 IT 的闭环

卡特彼勒实时工厂的 OT 系统，采用了大量的 SAP Leonardo 应用，包括：

SAP 车辆洞察 VI (Vehicle Insight)：对现场的物流车辆进行监控和管理。监控的数据不仅包括从车辆传感器采集的设备运行性能数据，还通过与 SAP ERP 中的物流数据进行匹配，不但可以对物流车辆的运行状况进行监控，还可以对业务价值（如不同补货类型下的有效运载距离和时间等）进行全方位的评估，提高整体工作效率，降低成本，实现成本最优的基于地点的自动物料补货机制。



SAP 车辆洞察 VI 实现了对现场物流车辆的监控和管理

SAP 制造集成与智能 MII (Manufacturing Integration & Intelligence)：SAP 的 MII 实现了 SAP ME 与 SAP ERP 之间的集成，并将来自 SAP ME 和 SAP ERP 的数据进行可视化，提供各种类型的 KPI 报表，成为对数字化工厂进行管理的重要工具。



SAP 制造集成与智能 MII 采集来自 ME 和 ERP 的数据，并进行可视化展示和分析

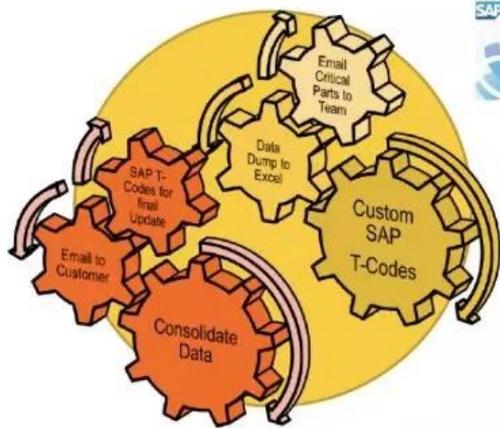
SAP 整体设备效率 OEE (Overall Equipment Effectiveness) : SAP 的 OEE 可以帮助企业实时和充分地掌握设备和整个工厂的效率情况，进行原因分析，并在整个集团内进行跨工厂的分析和比较，从而提高制造设施的生产效率。



SAP 整体设备效率 OEE 帮助企业提高制造设施效率

SAP 关键零件跟踪 CPT (Critical Parts Tracker) : 零部件是否到位, 是决定工厂的生产能否顺利进行的关键。尽管通过物料需求计划 MRP, 可以对零部件的供应进行计划, 但是实际情况仍然要比系统所能计划的要复杂和动态。通过将零部件分为不同的类型 (缺失件、热点件和短缺件), 并与 ERP、制造执行 ME 和车辆洞察 VI 等系统连接, 可以实时连续地对关键零件生成跟踪仪表盘。

从静态、手工、繁重的数据挖掘流程

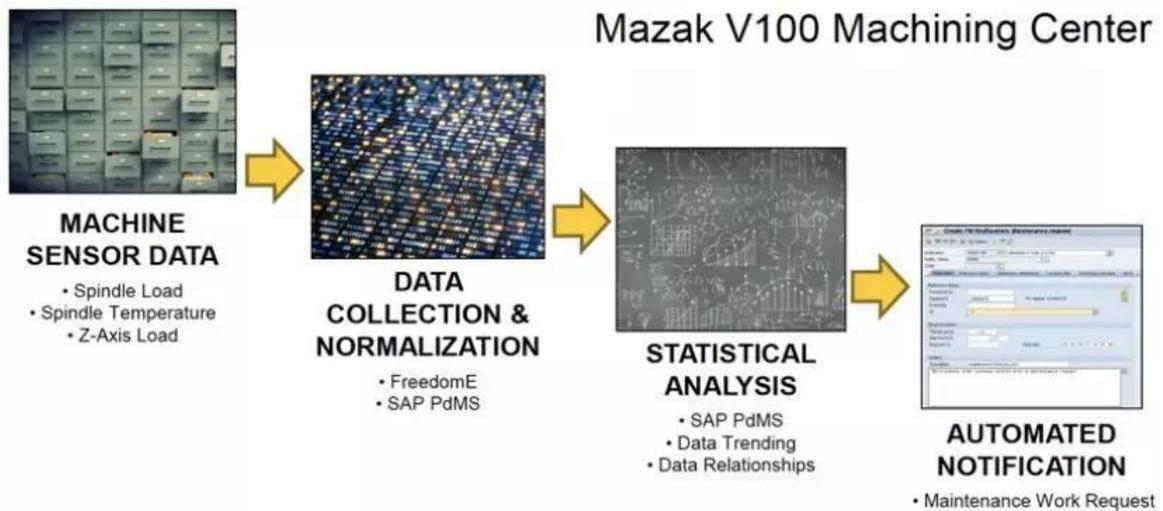


到实时、连续更新的报表和仪表盘



SAP 关键零件跟踪 CPT 实现了对零部件的实时连续跟踪

SAP 预测性维护与服务 PdMS (Predictive Maintenance & Service) : 工厂设备尤其是关键设备的正常稳定的运行, 对于生产计划的完成率和工厂运行效率起到重要的作用。通过采集设备上的传感器数据, 通过一系列的统计算法, 挖掘出数据规律, 根据设定的规则生成相应的维修工单, 从而提高了工厂设备的自动化管理水平, 改善了设备的运行效率, 确保生产计划顺利执行。



SAP 的预测性维护与服务 PdMS 实现了设备的检修工单的自动生成

SAP 设施绩效指标和 SAP 数字化制造洞察：这是一个基于云的应用，提供了一种更为灵活的方式，对来自卡特彼勒各地工厂采集的 OT 数据进行汇总和分析，便于管理层从集团的角度对各地的工厂进行管理，并加强与 IT 系统的互动。



SAP 的设施绩效指标和数字化制造洞察，帮助管理层总体掌握工厂运行情况

上述这些 SAP Leonardo 应用，配合 SAP 制造执行系统，在设备级实现了对生产设备、物流设备以及相关设施的数据采集、监控和分析。在这些设备级 OT 应用的基础上，产生出相应的洞察，交由对应的生产计划和执行系统加以执行，从而实现了“神经+骨骼和肌肉+大脑”的闭环。

小结

制造业的数字化转型是一条漫长的道路。对设备进行智能化改造，通过远程接入来改善客户体验和提高售后服务收入，是工业物联网技术在产品生命周期后半段的应用。这仅仅代表了卡特彼勒在 20 多年以前的实践和认知。而要打造一个真正的工业互联网，更多更难的工作量，体现在打造实时工厂在 IT 层面的生产体系，OT 层面的数据采集与分析，以及 IT 与 OT 的融合以及 OT 对 IT 的决策支持。直到今天，卡特彼勒还在后面的几项工作中进行持续的投入和探索。它代表了美国工程机械的领先企业，对于工业互联网作为企业数字化整体架构的认识和实践，值得我们借鉴和学习。