

# 智能制造—— 跨入精益管理新时代

敖方、孙凌志、王林 | 文

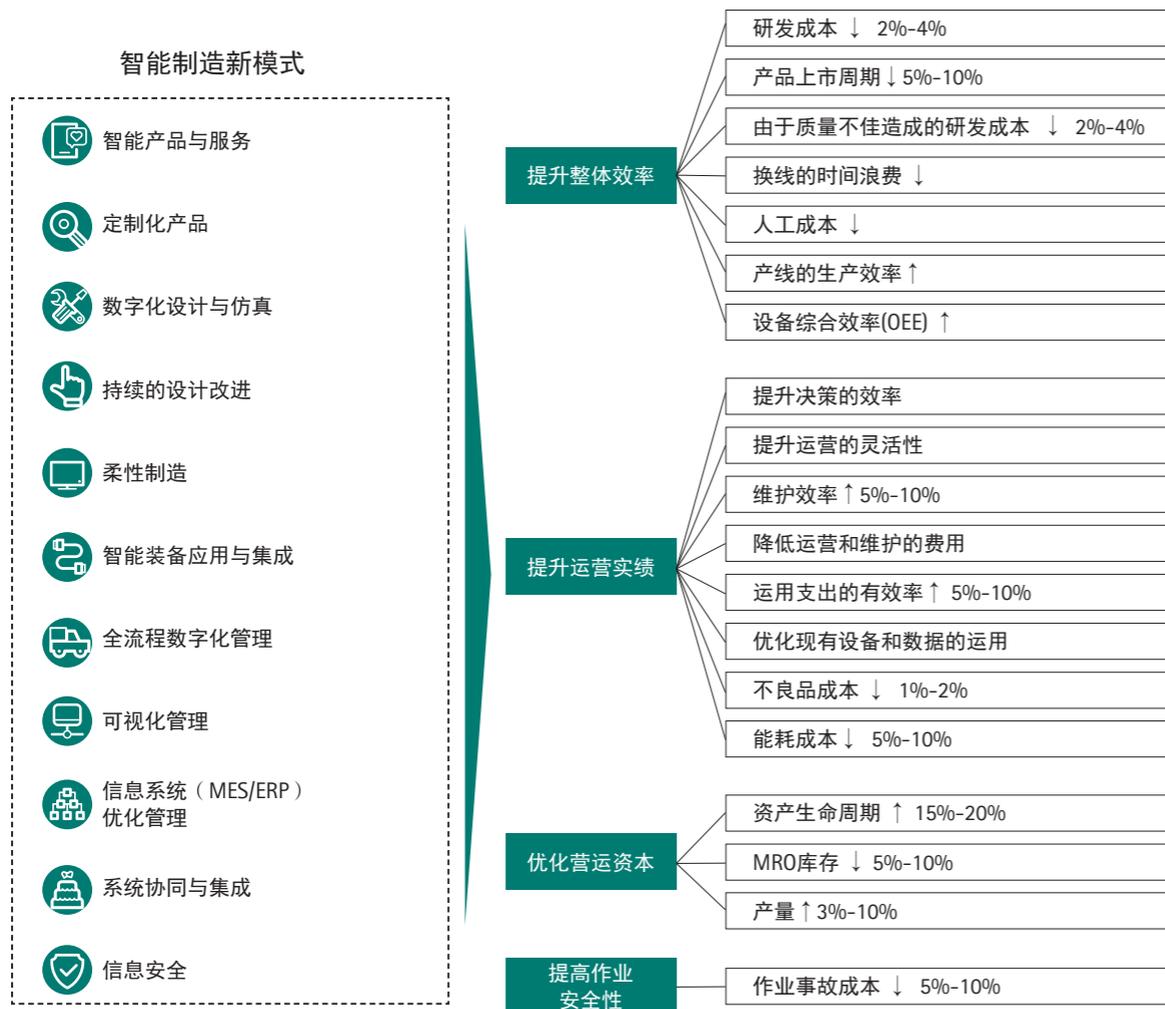
中国制造业总量和规模已跃居世界第一，但制造业竞争力仅排世界第七，中国亟需借助从“制造”向“智造”转变的契机，实现从“制造大国”到“制造强国”转型。



以制造业为核心的实体经济是保持国家竞争力和经济健康发展的基础，中国制造业总量和规模已跃居世界第一，但制造业竞争力仅排世界第七，中国亟需借助从“制造”向“智造”转变的契机，实现从“传统模式下的业务提升”到“创新模式下的业务变革”的跨越，完成从“制造大国”到“制造强国”转型的目标。

随着信息化水平的不断发展，以智能制造为主导的第四次工业革命正掀起变革浪潮，中国政府也提出“中国制造2025”理念，新一代信息技术与制造业的深度融合正在引发生产方式、产业形态、商业模式和经济增长点变革，同时也对中国制造业向以“提质、降本、增效”为根本要求的精益管理转型升级指明了新的路径和方向。

图一 智能制造新模式协助企业实现业绩提升



资料来源：埃森哲研究报告

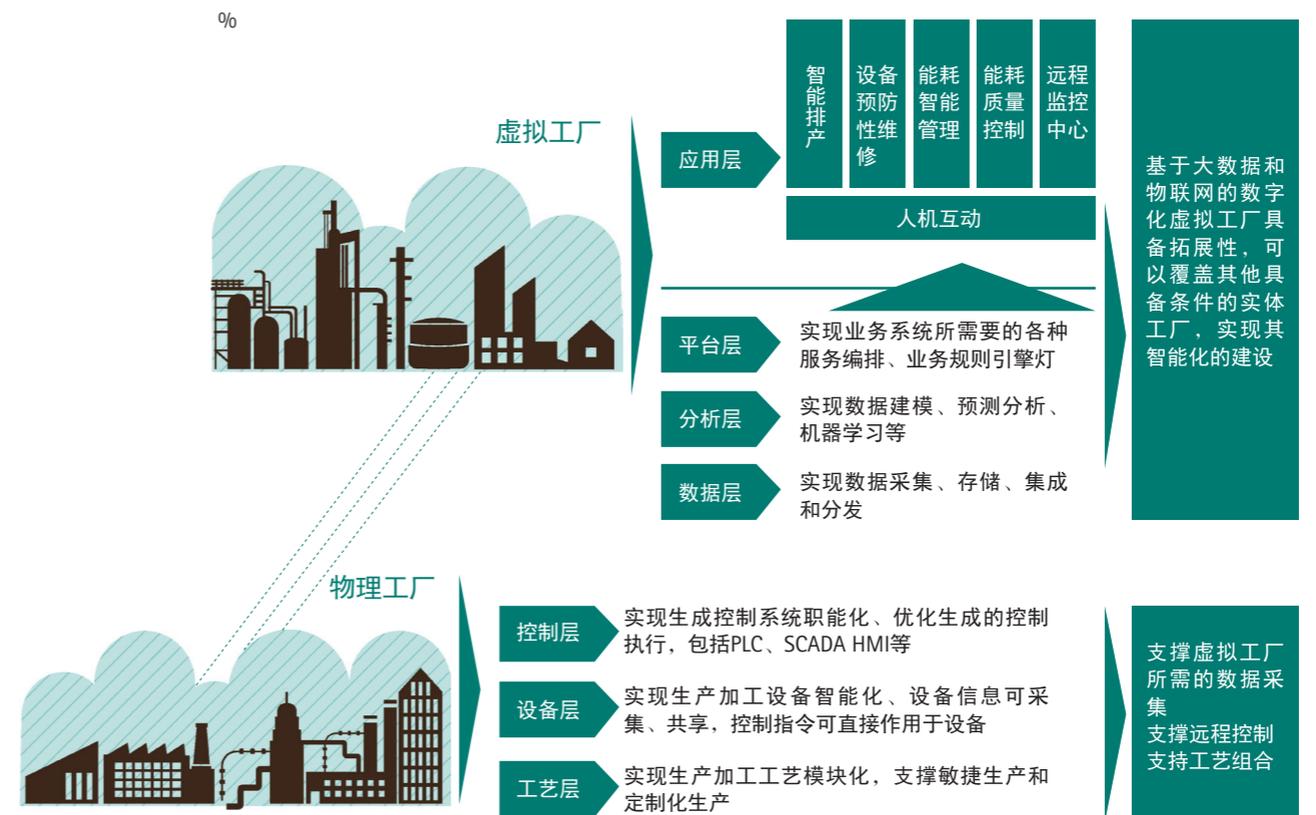
## 何为智能制造？

智能制造是指将物联网、大数据、云计算等新一代信息技术，与设计、生产、管理、服务等制造活动的各个环节融合起来的先进制造过程、系统与模式的总称，智能制造关注信息技术与制造技术的融合。智能制造以智能工厂为载体，智能工厂就是“物理工厂+虚拟工厂”（见

图二），依靠自动化生产设备构建而成的物理工厂是智能制造的基础，也是绝大多数中国制造业现阶段转型提升的重点，即实现生产自动化。

在生产自动化的基础上，通过应用物联网和大数据，以端到端数据流为基础，以互联互通为支撑，构建高度灵活的个性化和数字化智能制造模式，实现信息深度自感知、智慧优化自决策、精准控制自执

图二 智能制造建设新模式：物理工厂 + 虚拟工厂



行，这是虚拟工厂建设的重点，也是制造行业在生产自动化程度已经达到较高水平后，将装备优势转化为产品和市场优势、实现升级转型和赶超世界先进水平的重点路径。

### 智能制造的两个主角——“物联网”和“大数据”

物联网的核心价值，是运用新一代信息和通信技术，把传感器、感应器等智能装置（信息系统）嵌入到电网、交通、建筑、工厂、货物等各种物体和环境（物理系统）中，通过有线和无线网络加以连接形成物联网，再通过网络和云计算将物联网和互联网整合起来，将物体接入信息网络，通过人、生产与产品的实时联通与有效沟通，实现对实体世界的

洞察和控制。

大数据分析应用是指，通过将企业内部全流程运营数据和外部移动互联端、社交媒体端、社会化物联网端，以及延伸到消费者的智慧化物联网数据，纳入到完整的“洞察 - 响应 - 提升”闭环式精益管理中来，帮助企业充分发挥大数据分析的辅助决策作用。

制造型工厂以提升质量、降低成本、提高效率为根本目标，聚焦产品的生产能力和保障能力。应用物联网技术，在生产设备自动化的基础上，让制造过程中的各种数据源互联互通，实现信息流的自动化，使整个制造链条全程可视化，通过大数据分析将海量的隐形数据转化为显性数据，并将信息及决策建议实时提供给生产一线操作工人、主管和高级管理人员，帮助企业增强制造洞察力，

提高IT灵活性，帮助工厂达成最具挑战的运营目标：①生产柔性②质量优质③设备稳定④成本控制⑤能耗寻优，从而确保制造过程与商业目标一致。

**生产柔性：**当今市场瞬息万变，为了能够应对与日俱增的市场竞争压力，更好地满足市场需求，企业生产模式也由以往的大规模生产向大规模定制和更高级的个性化定制转变，这就要求工厂的生产线具备模块组合能力；在模块组合生产中，借助于物联网技术，对生产模块中混线生产的个性化定制半成品、成品进行实时追踪与组合配置与调度，实现工厂的柔性化生产，并解决大规模生产向定制化生产转型带来的不确定性、多样性和复杂性问题。

海尔集团沈阳冰箱厂通过物联网技术，通过布设在门体、U壳等各模块和总装线之间的数百个RFID和数千个传感器，实现各模块生产与总装线互联。在接收消费者个性化需求订单预定后，各模块按照消费者个性化需求生产出相应部件，在总装线混线装配中根据订单及产出的各部件关联的消费者信息进行零误差装配，结果在生产周期缩短50%的同时，也让消费者体验到从“购买者”到“参与者”的角色转变。

**质量优质：**为更好地响应市场需求，追求成本最优，绝大多数公司会设立多家自有工厂或者使用代工厂。因此虽然是同样的制造工艺及生产流程，但不同供应商存在原材料差异，且生产工艺易受气候、温湿度等众多因素困扰，在这种情况下，如何确保在任何工厂或同一工厂的任何时间，按照同样生产工艺流程制造出来的产品保持同一、优质的产品特性，成为摆在质量工程师和工艺工

程师面前的一道难题。

借助物联网技术，对全生产过程的数据打上批次烙印，从原材料供应、生产的各个工艺环节直至成品最终送达消费者手中，整个链条每个环节彼此建立关联关系，并记录每个环节的关键参数，如关键工艺参数、设备参数、操作情况等。在任意环节出现质量异常时，可精确追溯前段任意工艺环节，对各环节当时的参数进行获取和分析，确定异常产生的原因，运用大数据分析工具建立质量预测分析模型，通过主动分析原材辅料质量检验数据、设备工艺参数变化等，发现潜在质量问题，及早做出预警，及时解决，从而实现产品质量的同一化与优质化（下一页图四）。

在确保产品质量优质方面，厦门烟草的企业实践颇值得借鉴。该公司借助物联网及大数据分析技术对卷烟生产物料、半成品、成品进行全程追踪，并建立数据关联分析模型对全过程质量数据进行关联分析，以提高整体质量管控精细度及质量稳定性（详见文末边栏）。

**设备稳定：**为适应客户的不同需求，现在越来越多的制造业工厂同时拥有面向大批量生产的连续型流水线工艺设备、面向定制化需求的离散型多机台工艺设备，以及管线型值守动力设备、区域型值守物流设备等。对于不同的设备类型，如何建立差异化的运维与保障策略，实现对生产工艺、产品质量的有效保障，已经成为大型生产制造企业普遍面临的难题。

传统的设备运维策略通常依据设备在生产系统中的重要程度、检修时的复杂和精密程度、有无备用设备或采购的难易程度等，按照关键设备、重要设备

图三 物联网和大数据在制造型工厂应用重点



图四 全供应链批次追踪

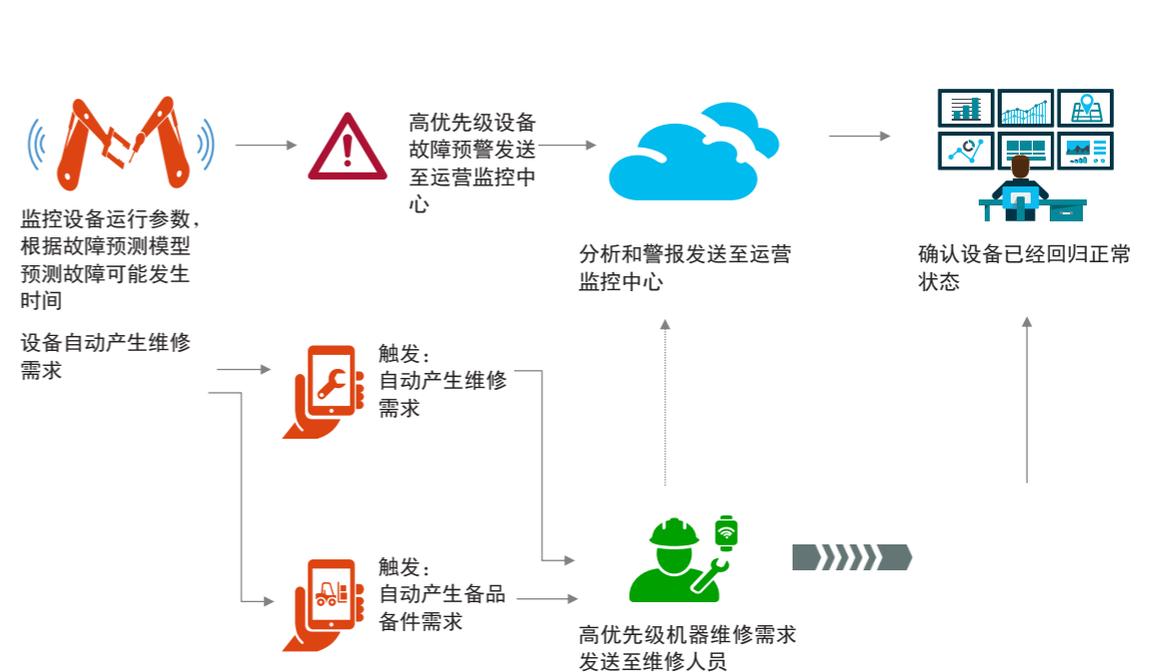


和一般设备三大类进行划分和制定，并按照事后维修、计划性维修、预防性维护进行维修策略制定。埃森哲认为该种分类分级方式只是从设备本身出发，并未考虑设备特性及设备对业务的影响程度及维修成本，很难制定高效的设备运维策略，设备状态参数的微小变动都可能是设备故障的前兆或带来不易察觉的质量隐患，而只在设备出现故障后，简单的依据设备重要性采取分类分级维修保养策略，并不能有效提高设备管理效率，也不能保证生产系统的连续稳定，可能在故障发生时已有大批存在潜在质量风险的产品已经产出，精细化运维管理程度仍然不足。

力拓集团 (RIO TINTO) 是全球最大

的资源开采和矿产品供应商之一，是世界第二大铁矿石生产商。如何降低价值昂贵的矿山开采设备故障率，增加设备在线时间，是提高矿石开采产量和开采效率的关键。力拓集团携手埃森哲，通过对设备历史故障几率、维修成本、业务影响程度进行分析，并结合设备属性，对设备进行分类排序；根据设备历史故障大数据分析，建立设备预知性模型，包括性能退化模型、可靠性模型、早期预警模型等，通过接收设备传感器数据，实时监控设备运行状态变化，利用预知性模型分析数据，对运行状态进行分类，进行设备健康性实时分析，对设备故障出现概率进行分析，提前预知设备故障出现的时间和影响，安排检修计划，

图五 借助物联网和大数据实施设备预测性维修



减少设备故障率，增加设备的在线时间，避免计划外的设备故障停机检修造成的损失。设备预知性平台上线后，设备非计划停工时间最大减少至 75%，设备生产效率提升 5% 到 25%，设备总体成本降低至 15% 至 30%，项目投资回报率超过 10 倍（见图五）。

**成本控制：**成本管理是企业管理的核心和重点，成本控制也是智能制造的重要维度之一，决定着企业的生存与发展。通过把精益管理思想与成本管理思想相结合，按照财务维度逐层从车间、工段、一直明细到机台和生产线，明确各层级岗位对应的可控成本费用范围及成本目标。按照业务维度结合生产计划和物料清单将成本目标分解到各产品规格，结合各

产品的生产工艺，制定工序成本定额标准体系，输出产品各工序定额成本，建立产品的目标成本；最终形成岗位成本自我改善目标，使企业获得较强的竞争优势。

埃森哲与厦门烟草联手，将制造工厂成本管理责任单元分为部门(车间)、区域、生产线(工段)、机台 4 个层级，逐级控制、层层负责，高一级别不仅对归属于本级的可控直接成本负责，在一定程度上对下一级的可控成本负有一定的间接管理责任；每一层级制定相关的指标和参数，准确及时地反映整个成本管理过程中可能存在的问题，将成本管理的事后控制转变为过程控制，使管理层能及时采取相关措施对暴露问题进行解决，从而有效地降低成本，提高利润率，实现成本管理上的精细

化；通过构建统一的成本数据应用平台，实现成本数据与业务现场数据的集成，使用大数据分析手段全面支持业务运作、成本管控和决策分析，实现岗位成本自我改善，帮助决策层更准确地评估企业成本状况，以大大提高企业决策的成功率。

能耗寻优：提高能源效率是节能减排、降本增效的主要手段。而企业的现实情况是，能效管理往往停留在统计报告、性能试验、设备改造等环节，缺乏有效的能源计量；无法在线检测整个企业的生产能耗动态过程，数据严重滞后，无法及时准确地发现用能过程存在的问题；大量能耗数据分散于各个车间、部门，无法实现整体管控，缺乏完整性、可靠性和连续性；在用能过程中，较大的能源浪费及其他损失无法及时发现和处理，导致能源浪费较为严重，缺乏持续的管理。

埃森哲认为，在设备的设计和建造阶段虽然已经确定基本能耗范围，但借助物联网对能耗进行监控，运用大数据分析技术建立多维数据分析模型，通过关联更多的维度和数据项，例如班组、人员等信息，揭示人因与能效控制目标的偏差程度，对设备运行参数和能耗历史数据进行分析，及时发现能耗偏离计划目标的情况，整合相关数据进行分析，挖掘能耗异常的根本原因，指导设备进行自适应调整、生产工艺优化、节能管理措施实施等，不断改进能耗表现。

华谊集团在化工生产过程中结合设备工艺数据，对蒸汽、燃料油、电及水等大量分散的能耗数据进行收集和大数据分析，帮助能源管理人员找到影响设备能耗的因素，通过物联网对能源管网实行动态监测，在线检测整个企业的生

产能耗动态过程，使整个能源消耗过程信息化、可视化，实现用能从粗放式到精细化管理的转变；同时根据监测状况，对出现的能耗异常进行报警以及预处理及实时调整，实现对能源进行平衡、调度与优化，避免造成大的能源浪费及其他损失，从整体上提高能效水平和能源管理效率，实现持续节能。

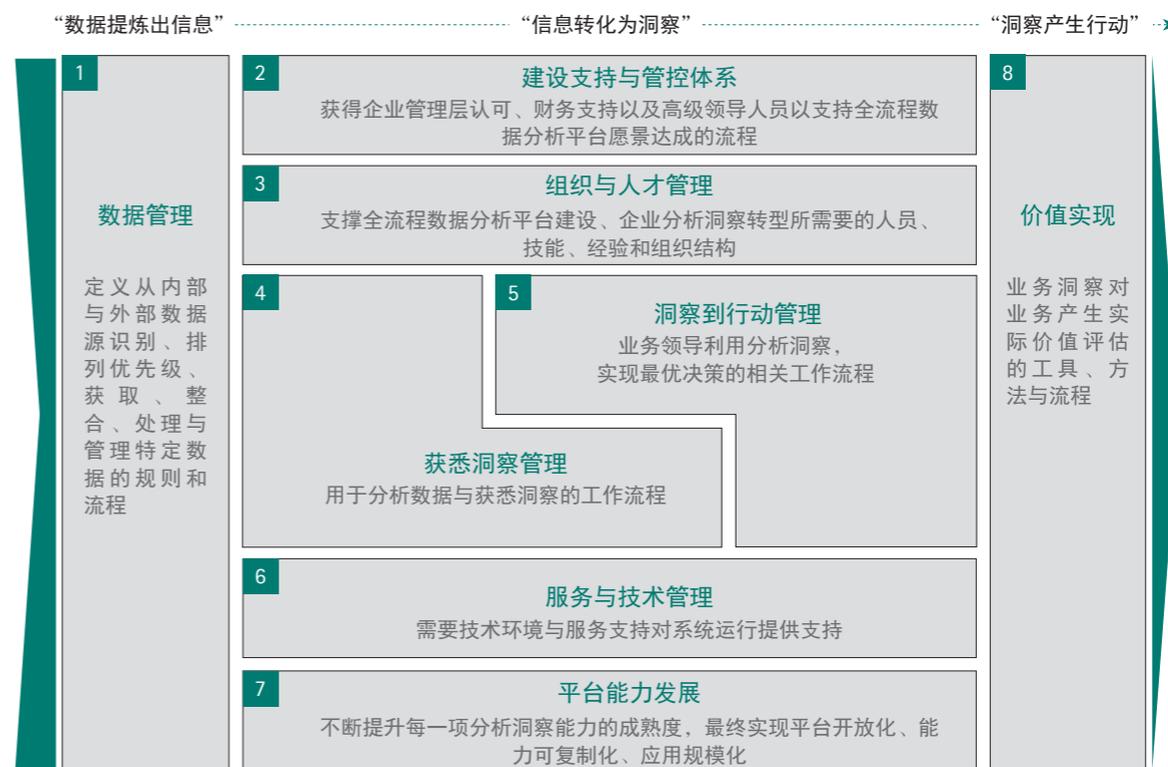
### 赢在智能时代

物联网和大数据分析技术能够帮助制造工厂应对转型挑战，但要想充分发挥其效能，需统一考虑物理层级与虚拟层级的能力建设要求，我们建议按照以下两个方面进行能力建设：

首先推进生产过程数字化及管理流程智能化。在工厂规划设计和技改过程中，通过安装布设和升级传感器、数据采集设备及工控设备，将连续的、没有中断的数据进行集成管理，实现设备的互联互通，提高设备智能化水平。该阶段关注的重点是提升管理及生产效率、产品质量和降低生产成本，在设备数字化的基础上，利用物联网技术和监控技术加强信息管理服务水平，通过与MES和ERP系统等信息系统的融合，提高生产过程可控性，减少生产线人工干预，合理规划排程，初步实现管理流程智能化。

其次进行决策智能化建设。在自动化和设备智能化的基础上构建大数据分析能力，使“数据”转化为“洞察”，再由洞察产生行动，不仅要从技术上提升洞察分析能力，也要从组织、管控、能力角度同步提升，真正实现“感知-洞察-评估-响应”闭环的顺利运作与循环提升。

图六 大数据分析能力构建



埃森哲建议该部分分为三个阶段、八个方面进行实施（见图六）。

第一阶段是数据管理：本阶段聚焦于信息和数据管理，建立数据管理规则，指导海量数据辨识处理与信息提炼。

第二个阶段信息转化为洞察：这一阶段建设重点是通过相应的运行机制、数据分析平台和数据分析手段，利用数据分析挖掘根因，为管理决策提供支持。本阶段需要从6个方面着手进行建设，包括①支持和管控体系建设；②组织和人才管理；③获悉洞察管理；④洞察到行动的管理；⑤服务与技术管理；⑥平台能力发展。

第三个阶段由洞察产生行动：这一阶段通过应用洞察分析结果，确保价值实现。本阶段通过将分析洞察引入业务运营，实现最优决策的相关工作流程及建立相关评价工具、方法与流程，衡量大数据分析带来的业务洞察对业务产生的实际价值。

在设备智能化的基础上应用物联网和大数据分析技术，实现数据洞察驱动业务经营管理全面提升，帮助制造工厂商业实现商业模式创新、生产模式创新、运营模式创新和科学决策能力，以应对不同挑战，从而让企业真正赢在智能时代。



### 智能制造助力厦门烟草“精益管理”

在日趋严峻的社会与经济形势下，烟草行业面临着业务创新与转型发展的迫切需求，该行业近年来也在积极探索与推广精益管理，将精益管理的思想和理念贯穿和渗透到生产运营和企业管理的各个方面，从工作的各个方面提质、降本、增效，向精益要效益，通过精益管理支撑行业从外放式增长向内涵式增长转变。

在卷烟制造领域，中国绝大多数卷烟制造工厂已应用国际先进水平的卷烟生产线，实现了卷烟生产物理层级的高度自动化，为生产制造的精益管理提供了良好的基础，各卷烟制造企业在积极践行精益管理过程中，也多将重点放在组织优化、制度和标准完善及流程再造等生产管理方面，这种做法收到了很大成效，但也遇到了发展的瓶颈，因为将精益管理的重点放在“生产管理”层面，未能建立“生产管理”与“生产执行”

之间的密切联系，难以实现从生产一线到运营决策的融汇贯通和精益管理闭环，这种模式和做法限制了卷烟制造精益化水平的进一步提升。

针对上述情况，厦烟借助智能制造的发展契机，提出“精益化、智能化、协同化”的发展目标，积极探索通过物联网与大数据技术，加强卷烟生产过程中的质量精益化管理水平。

卷烟生产过程具有原辅材料物理形态急剧变化、物料掺杂混合使用并伴随工艺参数、设备参数微小波动的复杂工艺特点，如何确保不同型号的机台，在使用不同产地种植的烟叶时，按照同样的生产工艺及配方保持感官口味一致，并在任何一个工艺环节发现质量异常时，能够快速定位和分析质量异常的原因，是中国卷烟工厂面临的共同挑战。以往只有少数领先的中国卷烟制造工厂实现物料

在生产使用过程的“物”的追溯，而始终没有解决生产过程各个环节质量的“过程”追溯，即质量与物料属性、工艺参数、设备状态、人员操作关联性分析与质量实时预警。

厦烟管理层意识到，沿用传统的质量管理方法对各生产环节质量数据进行统计分析，只能展现各环节已发生的实际情况，不能支持实时全过程的精细化质量管理。只有建立各工艺环节的批次关联关系；对质量历史数据进行分析，确定各环节的质量失效模式与物料属性、工艺参数、设备状态等的关联模型；并对各环节数据进行实时采集与分析；才能在质量异常时快速定位、确定异常产生原因并进行实时干预和调整。

厦烟和埃森哲携手合作，借助于物联网和大数据技术，通过建立质量批次管理机制，实现对卷烟生产全过程的物料使用状况跟踪及全过程质量关联性分析。

这一解决方案的核心模块包括：全过程批次物料追溯以及批次过程质量管控。针对卷烟生产过程使用到的几十个品类、数百种物料，首先对历史质量数据进行分析，确定需要进行追溯的物料清单，对清单中的物料追溯需求和特性定义质量批并建立批次标识，借助RFID、条形码和二维码等追踪工具，在相应环节增

加自动扫码设备，通过物联网采集各环节物料数据，建立各生产环节的物料的批次关联关系，实现对物料全过程的追溯；通过对卷烟生产过程中的300余类质量失效模式的历史数据进行大数据分析，分析质量失效模式与物料参数、工艺参数、设备状态参数、人员操作动作这些工厂的最末端的因素的关联关系，构建质量预测模型，并根据质量预测模型，确定质量关键控制点及控制点数据采集需求分析，完成相应的数据采集设备改造和升级；建立卓越工作场所系统，将质量异常信息和相应操作建议推送至相应岗位；通过对关键点数据实时采集与分析，实现质量预测并及时进行干预，实现过程的质量管控。

借助于这一创新，厦烟能够对全生产过程各环节3000余个关键控制点进行数据实时采集与监控，通过大数据分析，任何一个微小的异常波动都能够快速定位到最末端的控制因素，并通过卓越绩效工作场所系统为一线员工提出操作建议，从而实现整个生产制造链条从企业、职能、部门、操作工、机台对异常事件的快速反应，在业务操作层面实现实时可视化管控和业务预警，在业务分析层面实现根因分析和仿真预测，在管理决策层面实现管理洞察和决策分析。■

#### 作者简介

##### 敖方

埃森哲产品制造行业总监，  
常驻上海  
tony.fang.ao@accenture.com

##### 孙凌志

埃森哲信息技术咨询经理，  
常驻上海  
michael.lingzhi.sun@accenture.com

##### 王林

埃森哲战略咨询供应链经理，  
常驻深圳  
elton.lin.wang@accenture.com