

SIEMENS
Ingenuity for life

数字化企业与数据增值服务

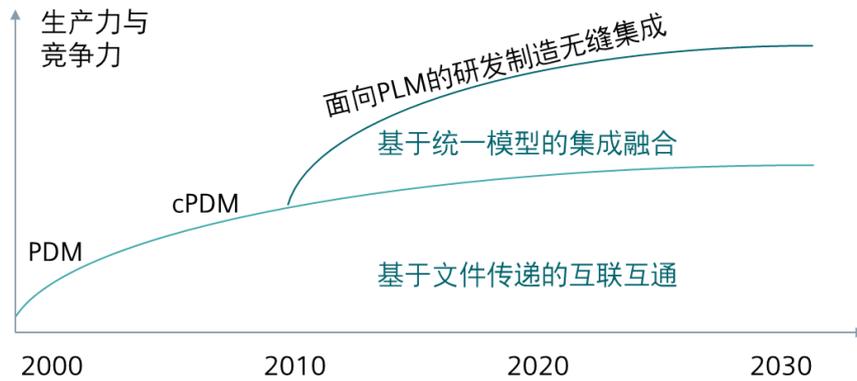
凡是过往 皆为序章

离散行业数字化转型白皮书

siemens.com.cn/digital-enterprise

摘要

数字化的核心价值在于利用虚拟世界中运转的数据赋能各级决策，以在市场竞争和不确定环境下敏捷应变。快速有效的决策将在需求微粒化的时代带来更快的交付速度、更好的质量、以及更低的成本。这将成为提升客户满意度、市场占有率以及盈利能力的重要手段。当您在虚拟世界中高速准确地开发、预测、改进、执行时，您的对手依然在文件的传递中空耗着时间和成本，他们将无法和您竞争同一市场。



摆在您面前的核心挑战来自复杂性，即大规模异构软硬件系统建设和集成（详见第二章）。您必须有合理的思路管理复杂度、降低投资风险，并确保相关方的沟通 and 理解。这意味着先行者必须拥有多种措施传承行业经验和先进技术（详见第三章），并在大量实践中持续迭代，提炼面向工业的数字化转型项目的关键指导框架和最佳实践（详见第四章）。

在这一背景下，远见卓识的行业精英不再满足于基于自动化和信息化的单点改善，而是从跨价值链的顶层规划开始，布局分阶段的建设任务，并在企业运营中利用数据持续改进。所以数字化服务团队必须集成咨询、实施、优化三类服务能力（详见第五章），全程陪伴您的企业完成数字化转型和相关能力建设。

作为工业数字化时代的引领者，西门子理应做出更大的贡献，并坚持知识的民主性。因此我们贡献本白皮书引领全行业的数字化转型。鉴于数字化转型的复杂性，行文疏漏在所难免，西门子愿以开放的心态接受客户、同行及监管部门的检阅。

目录

1	思考工业的未来	1
2	困惑和难题	2
2.1.	符合性：决策环境.....	2
2.2.	系统性：取舍之间.....	2
2.3.	易变性：技术变革.....	2
2.4.	隐匿性：大规模集成	3
3	数字化转型核心方法	4
3.1.	系统工程	4
3.2.	企业架构	5
3.3.	项目管理	6
3.4.	客户价值共创	7
4	数字化转型参考框架	8
4.1.	智能制造标准体系.....	8
4.2.	业务流程框架	8
4.3.	信息物理系统	9
4.4.	数字化双胞胎	10
5	数字化转型必备服务条件.....	12
5.1.	咨询	13
5.1.1.	数字化成熟度评估.....	13
5.1.2.	可行性研究报告及评审.....	14
5.1.3.	企业架构分析	14
5.1.4.	路线图和建设任务.....	15
5.1.5.	详细规格	15
5.1.6.	人员能力培养	16
5.2.	实施	16
5.2.1.	数字化工厂	17
5.2.2.	数字化车间.....	17
5.2.3.	数字化集成服务	17
5.2.4.	数字化验证平台	17
5.2.5.	虚拟调试	17
5.3.	优化	18

5.3.1. 数据洞察和透明化.....	18
5.3.2. 闭环分析	19
6 成功案例介绍及启发	20
6.1. 西门子成都工厂	20
6.2. 航天电器智能制造样板间	20
6.3. 航空行业的数字化企业案例.....	21
6.4. 西门子数字化示范线	22
6.5. 数据增值服务在德国安倍格.....	23
6.6. 数据增值服务在水泥行业	23
缩写名词解释.....	25
关于作者.....	26

1 思考工业的未来

今天，消费者对品质、安全性、个性化、交付速度的要求越来越苛刻，这为制造厂商及其供应链带来了全新机遇和挑战。有效快速的决策和应变能力将成为市场竞争力的源泉，传统管理方法不断被挑战。行业的出路在何方？

新的机会已在眼前。让我们把时钟拨回 2016 年 3 月 14 日夜，人机对弈中扳回一局的李世石带着疲惫睡去，而 AlphaGo 在虚拟世界中又和自己下了一百万盘棋。第二天清晨，李世石还是那个李世石，AlphaGo 已是另一个存在。人类再也无法在这个项目战胜机器。人工智能、增材制造、自治系统等数字化技术的潜力有目共睹：

- 计算速度：电脑快于人脑
- 决策能力：逻辑强于经验
- 试错成本：模型低于实体

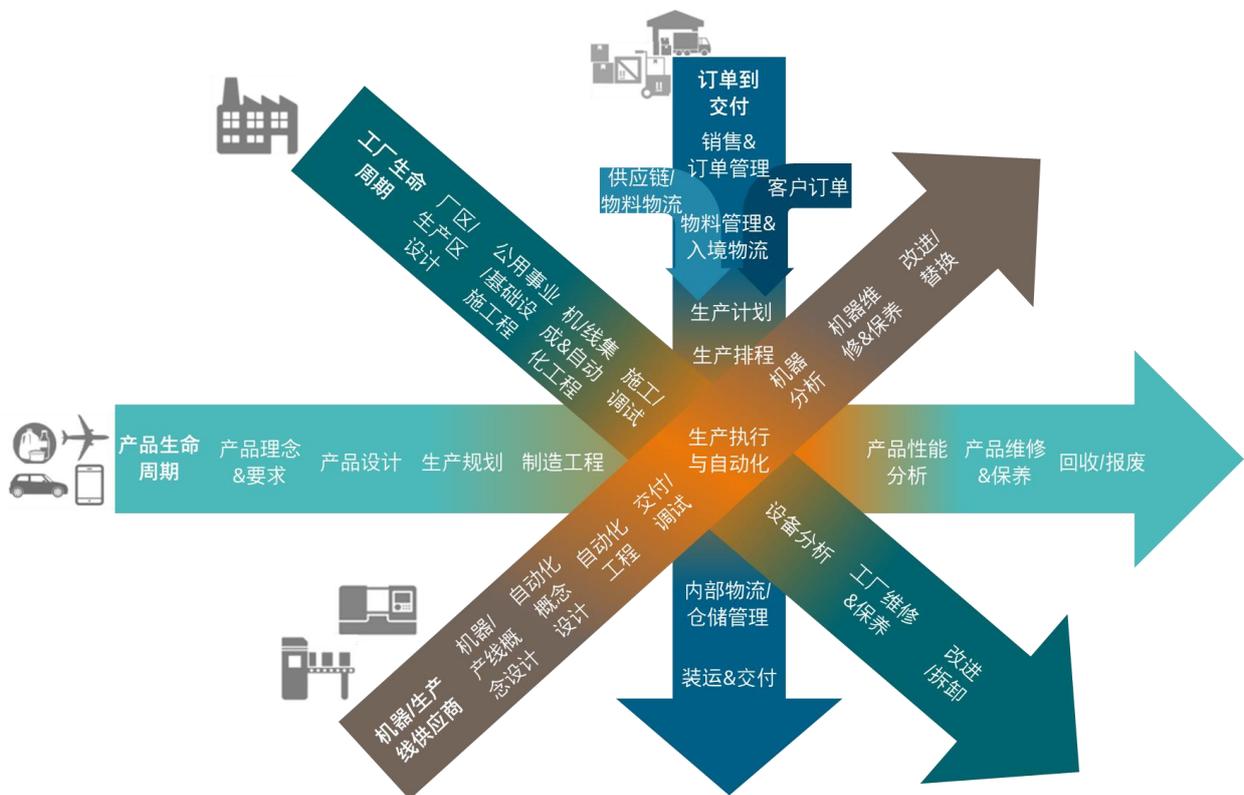
为了在制造业兑现数字化的潜力，同样是 2016 年，西门子在中国组建数字化企业部门。它的基本使命是以数字化技术革新业务模式，重新定义制造业。在汹涌的市场竞争中，数字化将帮助企业，高效灵活地以最优方式响应甚至拥抱变动性。

这意味着企业将摆脱在产量、成本、质量、多样性等多个 KPI 之间的艰难权衡。您可以利用模型快速低成本地将不断发生的技术突破、需求起伏、供应链波动、资源变动提炼为虚实结合、可执行、可预测的产品定义和生产过程。当实际生产发生在物理世界时，您也可以利用虚拟世界监控变动性，通过实时感知、模拟选优实现敏捷响应乃至持续改进。唯有如此，大规模定制、个性化交付、闭环优化、端到端追溯等概念才成为可能。

然而，数字化企业的建设复杂度和范围已经超越了传统的软硬件系统或自动化系统，您需要通过整体的转型规划确保新的企业级能力可以在组织内部落地生根。

商业转载请联系西门子获得授权，非商业转载请注明出处。

Siemens Ltd. Digital Industry



图表 1-1 制造业数字化企业的业务内涵

2 困惑和难题

以数字化企业为代表的大规模软硬件系统集成是人类有史以来构建的最复杂的结构之一。百万量级的代码行数、数万服务列表可能运行在成千上万台计算机中。摆在数字化实践者面前的实质问题¹与四千年前胡夫金字塔建设者并无二致：

- 符合性：如何贯彻各层级业务目标？
- 系统性：如何管理各模块的建设和使用以产生合力？
- 易变性：如何管理变更、并配合业务进化和技术演进？
- 隐匿性：如何满足相关方的关注点并使各方互相理解？

请不要畏惧这些难题，战胜它们将使您在市场竞争中领先同侪并获得优势。

2.1. 符合性：决策环境

为了满足各层业务目标，决策将在各级运营活动中出现，战略级的决策频率也许以年单位；而在车间层面，控制级的决策则可能在分秒中发生（图表 2-1）。这些决策以配置资源的形式响应复杂的外部环境。例如响应商品本体的个性化需求或者服务场景的延伸迭代。此外，墨菲定律²告诉我们，不确定性总会来袭，而且不止一次，例如全球疫情、技术更新、设备停机、工程变更、监管增强、贸易摩擦。这些不确定性也是企业更新市场地位的黄金机会。我们一直在思考，怎样的运营体系和 IT/OT 系统可以确保企业沉着应变、更好更快的判断和执行？

¹ Brooks, F. P. (1987). No silver bullet: Essence and accidents of software engineering. IEEE computer, 20(4), 10-19.

² 墨菲定律：事情往往会向不好的方向发展，只要有这个可能性。



图表 2-1 企业决策层级及发生频率

2.2. 系统性：取舍之间

企业的本质是以系统性的资源配置策略对抗不确定性，并赢得市场竞争。企业竞争力的重要衡量指标是盈利能力。在传统的制造条件和管理手段下，企业为了提高盈利能力，通常需要在多目标之间进行痛苦的权衡和取舍。例如，为了满足交付速度很可能需要牺牲库存和设备利用率，这最终导致了制造成本的压力。在另一个例子，企业为了满足个性化的需求而接受大量的变动性，这将给其他指标带来负面影响：如产出率、原料库存、质量，最终影响的是制造成本和客户满意度。多（品类）、快（上市）、好（质量）、省（资源）是否有可能兼得？

2.3. 易变性：技术变革

近现代产业进化深受技术变革影响。数字化转型即是一个典型的例子。数字化转型的本质是经济实体在信息技术革命成熟期³的必经之路。本次技术革命引爆于 1971 年 Intel 发布微处理器，经由个人计算机、远程通讯、人工智能、高速物流系统、因特网等创新，逐渐成为全球经济增长的主要动力。这场变革正在不同领域影响企业的运作逻辑（如图表 2-2）。企业家需要在波澜壮阔的技术浪潮中寻找自身的技术能力定位：领跑还是防

³ Perez, C. (2010). Technological revolutions and techno-economic paradigms. Cambridge journal of economics, 34(1), 185-202.

商业转载请联系西门子获得授权，非商业转载请注明出处。

新技术正在改变产品的设计方式 新技术正在改变产品的实现方式 新技术正在改变产品的应用环境



图表 2-2 技术变革驱动业务进化的典型案例

守？创新还是跟随？最重要的是，在层出不穷的新技术面前，企业该如何从科技爆炸时代的混沌中找到清晰的脉络以服务于竞争力和生产力的提升？

2.4. 隐匿性：大规模集成

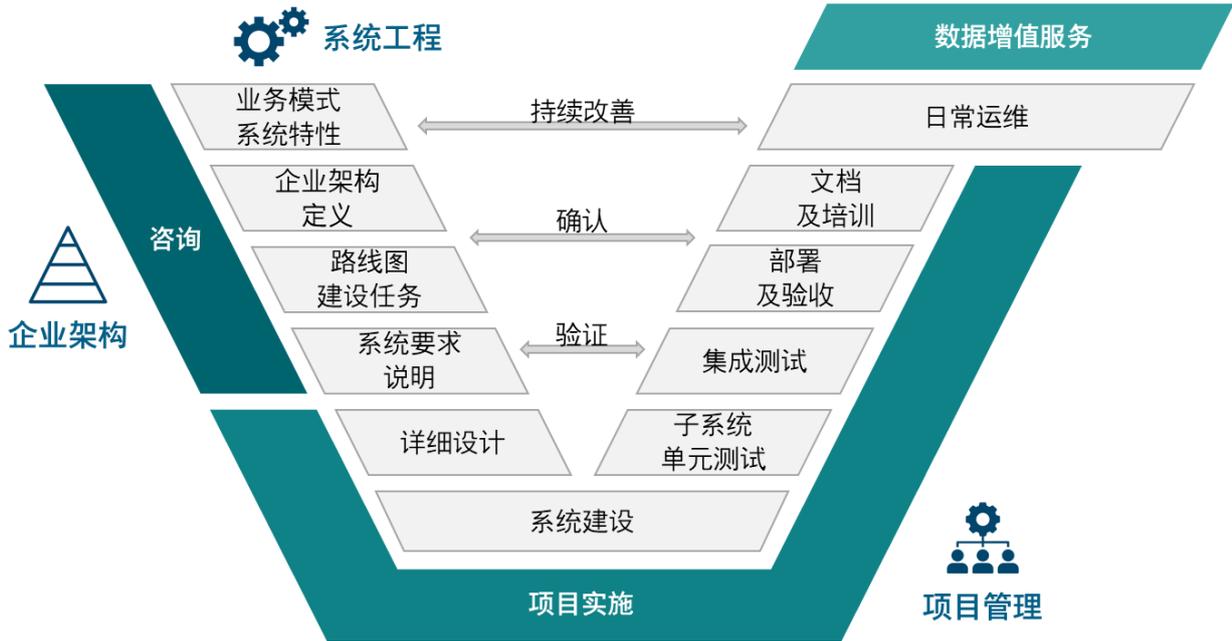
企业进行数字化转型的题中之义本是聚焦增值主业，轻装上阵。但这一系统工程意味着大量的规划、建设、优化工作。对于很多相关方来说，其中的复杂度永远隐匿于抽象概念之下，而无法为投资决策带来足够的安全感。这对企业自身能力提出了新要求。例如，一个中型乘用车主机厂会有数以千计的三级业务活动¹模块完成企业的运营，而这就意味着万级的信息化和自动化系统服务模块。这种新能力可以被总结为：对大规模集成的系统工程项目进行全周期规划和精细化管理。

这项系统工程让企业的相关部门发现他们暴露于一系列复杂课题之下：先进行业对标、业务综合改善、大批量异构系统集成、实施项目群规划、数据治理、网络攻击对抗、系统演进、两化融合项目集管理²。为了应对这

些课题，您需要建立并管理的项目团队将由不同学科的专家组成：工业工程、系统工程、自动化、电子电气工程、软件工程、计算机科学、管理科学、网络安全、用户体验设计、企业架构师、及行业专家。从试点灯塔到规模复制，您必须逐渐建设团队力量，并确保投资安全。

¹ 在不同的参考框架标准中对业务活动的分级可能有分歧，其大致的标准是：一级为企业级活动、二级为跨领域级活动、三级为领域内活动。

² 其难点在于让信息化专家和工业领域专家互相理解并产生正向的化学反应。



图表 2-3 数字化转型周期

3 数字化转型核心方法

机遇是困难的另一面。作为先行者，我们认识到无法摆脱客观存在的困难，也不存在单独可理解的解法。但是可以利用一系列相互关联的方法完整支持数字化企业的规划、建设和运作，并为企业带来新的竞争优势。近十年来，西门子在全球数百个研发中心和制造基地的转型实践中经历了您将遇到的各种情形。我们集成先进行业之共性精粹和自有标杆基地的建设运营经验，提炼了一套经过大量内外部实践验证的方法来支持制造业的数字化转型。

在接下来的介绍中，我们将聚焦于四种数字化转型关键方法（见图表 2-3）。其中，系统工程是贯穿企业转型的线索；一个企业、一个车间、甚至一个工站，都将在数字化转型中经历系统工程的完整过程。在

系统工程前期，企业架构将有助于您进行转

型的顶层规划并规避投资风险。在中后期，项目管理将帮助您组织资源，在时间成本的约束下完成转型落地。在数字化企业的日常运维中，大量的数据将成为您最重要的资产以完成您的战略目标，并帮助您和您的同事探索各级运营活动的持续改进；所以，在这一阶段，在数据中利用客户价值共创的方法，寻找价值并进行探索将成为您业务创新的重要手段。

3.1. 系统工程

系统工程是从总体出发，运行和革新一个大规模复杂系统所需思想、理论、方法、方法论与技术的总称，属于一门综合性的工程技术。它采用现代信息技术等技术手段，对系统的结构和行为特点等进行分析，最终达到合理开发、科学管理、持续改进、协调发展的目的¹。

¹ 汪应洛 (2019). 系统工程. 北京：机械工业出版社.

商业转载请联系西门子获得授权，非商业转载请注明出处。

数字化企业的发展而衍生的庞大数据量为系统工程活动的管理维护带来诸多严峻问题，以文档为核心的传统系统工程已经无法有效的满足企业需求，此类管理方式带来的典型问题主要体现在：

- 众多信息分散于各个文档，难以保证完整性与一致性；
- 缺乏对象之间的多方位描述；
- 工程细节难以维护和跟进；
- 难以实现垂直集成。

国际系统工程学会在系统工程的远景规划中提出从过去以文档为中心的方法向未来基于模型的方法发展，即基于模型的系统工程（Mode-Based Systems Engineering，MBSE）。

基于模型的系统工程专注于在开发周期的早期阶段，就定义客户需求与所要求的功能，将需求记录整理起来；然后通过统一模型完整考虑多个视角，进行设计综合和系统确认。以满足用户需求的高质量产品为目的，兼顾所有用户的业务和技术需求¹。相比传统系统工程，MBSE 利用模型描述系统，从而充分发挥模型优势，提升了系统全周期信息表述的一致性，增强了先期验证和多学科协同优化设计能力。

但是，落地实施 MBSE 面临着协调范围广、学习曲线陡、筑基工作多等挑战。因此，实践 MBSE 应当以终为始，推进方法标准化和各方人员能力提升，推动 MBSE 的落地实施²。

建设数字化企业，需要在正确的策略指导下，围绕产品生命周期管理、制造运营管理、全集成自动化等方面展开，应用系统工程方法技术，实现研发、制造、服务、管理的一体化提升。

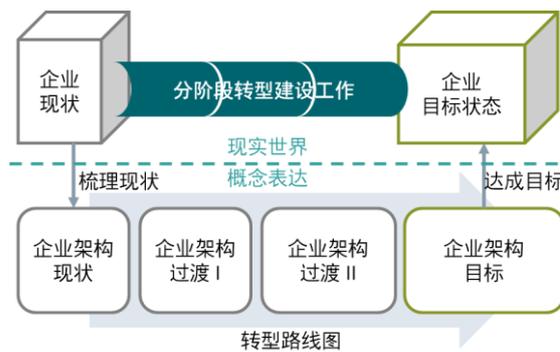
¹ 李伟. (2016). 基于系统工程的航空发动机标准体系建设研究. 航空标准化与质量, (6), 10-13.

² 邓昱晨, 毛寅轩, 卢志昂, & 夏倩雯. (2019). 基于模型的系统工程的应用及发展. 科技导报, 37(7), 49-54.

3.2. 企业架构

企业架构是用于分析、设计、实施、改善企业的实践，以自洽³的方式指导企业的变革。在数字化转型的旅途中，业务专家需要思考如何让人们理解企业的运作方式、表达企业的结构和动态行为、分析转型的机会和路线图；技术专家需要思考如何设计符合业务逻辑的信息系统或者符合工艺、质量和设备管理的自动化产线。此外，您的组织可能还会关注多种质量属性，如可访问性、灵活性、弹性、安全、合规、可用性等等。所以各相关方都会提出基于自身顾虑的诉求，并期望在前期得到解决以确保成功转型并放心地支持投资决策。

这些交织在一起的诉求都可以用企业架构来解决。企业架构兼顾企业内部不同干系人的关注点，以不同粒度和不同形式的视图表达一个企业的现状和转型目标⁴。此外，转型的漫长过程要求企业需要区分轻重缓急，有计划地分步完成相关建设任务。因此您可以在目标和现状之间定义若干过渡架构，表达转型路线上的关键节点状态（如图表 3-1）。



图表 3-1 企业架构全面支持规划活动

³ 例如：以多维视角向不同专业人士解释同一模型，并且保证该模型和其不同视图可以在项目全周期能被统一管理 and 更新。

⁴ 例如，关于研发制造的业务流程集成，销售工程师、质量工程师、车间主任关注的粒度和范围会有很大不同。

<p>方案建议 </p> <ul style="list-style-type: none"> • 定义项目目标 • 确认业务环境 • 定义业务需求 • 建议整体方案 • 确认变革范围 	<p>评估计划 </p> <ul style="list-style-type: none"> • 评估IT环境 • 评估业务环境 • 确认方案范围 • 细化需求 • 定义解决方案 	<p>概念设计 </p> <ul style="list-style-type: none"> • 应用模型概要 • 系统架构概要 • 方案概要 • 培训计划 • 用户支持规划 • 基建规划 	<p>初步设计 </p> <ul style="list-style-type: none"> • 细化应用模型 • 细化系统架构 • 设计用户界面 • 建立开发环境 • 建立系统原型 • 规划测试
<p>详细设计 </p> <ul style="list-style-type: none"> • 定义详细需求 • 详设系统 • 详设用户界面 • 详细审核 • 基建详设 	<p>系统开发 </p> <ul style="list-style-type: none"> • 准备测试 • 系统编程 • 开发测试 • 系统测试 • 集成设计建设 	<p>验收试点 </p> <ul style="list-style-type: none"> • 组织变革建议 • 投产计划 • 集成测试 • 用户验收 • 流程变革管理 • 培训及支持 	<p>投产推广 </p> <ul style="list-style-type: none"> • 细化培训 • 安装系统 • 管理流程变革 • 切换系统 • 投产后支持

图表 3-2 项目管理工作包简介

数字化转型实践者的另一长期诉求是支持跨项目甚至跨行业的经验复用并满足不同层次的保密性要求。这需要从基础技术原则、关键技术领域集成、行业特性、组织特征四个层面逐级具体化，提炼分属不同抽象层的架构元素定义。在企业架构中，这种实践思路被称为企业连续统一体 (Enterprise Continuum)¹。

企业架构本质是一种数据化和可视化的验证平台，是您的企业管理业务变革、复杂系统规划、数字化投资的关键手段。它将以闭环的方式确保数字化项目进展与企业发展战略的一致性，降低数字化转型的投资风险。此外，作为一种模型，它也是技术专家和业务人员信息共享的关键渠道。

3.3. 项目管理

经过企业级的规划之后，您的企业必须通过一系列数字化项目的实施才能将数字化企业的概念变成现实。

项目是为创造独特的产品、服务或成果而进行的临时性工作²。项目管理是指：在项目活动中运用专门的知识、技能、工具和方法，使项目能够在有限资源限定条件下，实现或超过设定的需求和期望的过程。

在工业领域的数字化转型，由于项目涉及独特的行业特征和技术，需要总结专业的项目管理手段。例如 PM@Siemens 源于西门子在全球数字化企业项目中积累的丰富经验。这是专业的执行团队和软硬件产品结合而成的传承，并在不同地域根据当地文化和产业状态不断更新。它从质量、周期、成本、风险等方面为成功的实施数字化项目提供了强有力的保障。

PM@Siemens 将项目的实施全过程置于严格的项目管理及监控之下，通过项目管理，实现对项目实施过程中各个阶段的控制、交付件的处理以及实施过程中异常情况的处理。从项目的实施过程来看，一个完整的系统实施过程应包括八个阶段的工作包（如图表

¹ Weisman, R. (2011). An overview of TOGAF version 9.1. Publ. by Open Gr, 43.

² PMI, A. (2013). Guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide). In Project Management Institute (Vol. 5).

3-2)。这是数字化项目实施的一个完整而全面的过程。针对不同的项目背景以及实施要求，会对图表 3-2 的实施方法作适当调整和裁剪。

3.4. 客户价值共创

当您通过数字化企业的建设获得了新能力之后，兑现能力创造价值、应对模糊复杂的世界会成为您的关注点。技术专家可能在这种环境下对您的焦虑和期望缺少理解而提供缺少价值的方案或产品。而您需要的是共鸣和信赖。因此，关注客户价值的客户价值共创（CVCC, Customer Value Co-Creation）方法应运而生。

的开发交付当中——这可能让真正的问题无法被交付解决。因此，秉承用户思维的专家将会优先思考最大化用户价值（可能的思考角度：价值流、场景、业务约束、假设、对话、异常状况等等），然后再思考如何应用技术和商业模式支持对用户价值的实现。这一方法将为您降低机会成本，并提高实施项目的整体速度和成功率。



图表 3-3 CVCC 五阶段

CVCC 共分五个阶段（见图表 3-3），它衍生于流行的设计思维。这一理念要求设计人员以用户为中心，在开发之前详尽探索“隐藏”的用户需求。设计思维具有两个明显的思维模式：



图表 3-4 设计思维流程

技术人员被要求在这两个空间中进行，在开发方案之前彻底地理解用户的问题。而不是基于自身的经验和专长“一头扎进”技术方案

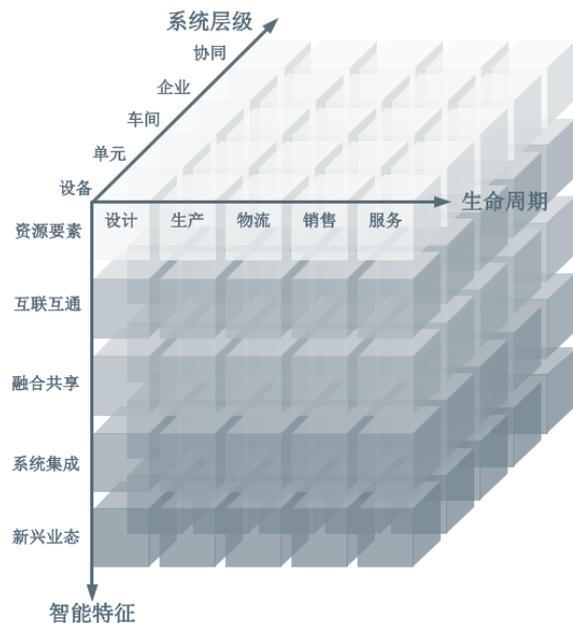
商业转载请联系西门子获得授权，非商业转载请注明出处。

4 数字化转型参考框架

上一章理清了数字化转型的关键方法，但制造业企业可能仍然对数字化这一源于信息技术的概念存在疑虑。尤其是在方案制定的过程中，对制造业传统增值模式的理解至关重要。本章从制造业行业特性的角度，提炼了对数字化转型至关重要的参考框架。本章内容力图为制造业数字化转型实践者提供关键的知识体系，以保证转型方案的正义性和完整性。

4.1. 智能制造标准体系

本行业最受关注的参考框架是由我国工信部和标准化委员会共同制定的《国家智能制造标准体系建设指南》，为我国智能制造的发展及两化融合项目提供标准化的理论依据。



图表 4-1 《国家智能制造标准体系建设指南》
智能制造系统架构

我国制造业正处于走向高质量发展的关键时期，全行业的发展水平层次不齐。因此，《指南》从三个维度为制造业全行业提供了全面的概念视角：系统层次、生命周期、智能特征。各企业的转型路径、转型目标、转

型范围都可以在这些视角中找到它们的立足点，并获取相关的共性标准化知识。

传统的信息化、自动化系统建设侧重于根据来自业务方的需求，追求单点改善。这种“头痛医头脚痛医脚”最终可能导致信息孤岛林立的窘境。因此，企业需要提前考虑跨组织、跨系统的标准化工作方式、语义定义、数据治理。这也是本体系所强调的互通、融合、集成等特征的题中之意。

综上所述，这一标准体系主要解决两大关键问题：体系化和标准化。无论是制造业企业还是第三方服务单位，都可以使用这一体系进行准确的项目定位，并从国家标准或对应的国际标准找到共性的设计及工程依据。

4.2. 业务流程框架

正如 3.1 所述，企业架构通过确认现状和目标来定义建设方向和分阶段的建设任务。绝大多数数字化转型项目都需要从业务入手，理解企业的能力域并发现不足。但由于缺少具有行业特色的对标模型，您可能无法确认差距在哪里。这时，基于行业经验和知识的技术流程框架是您最重要的助手。

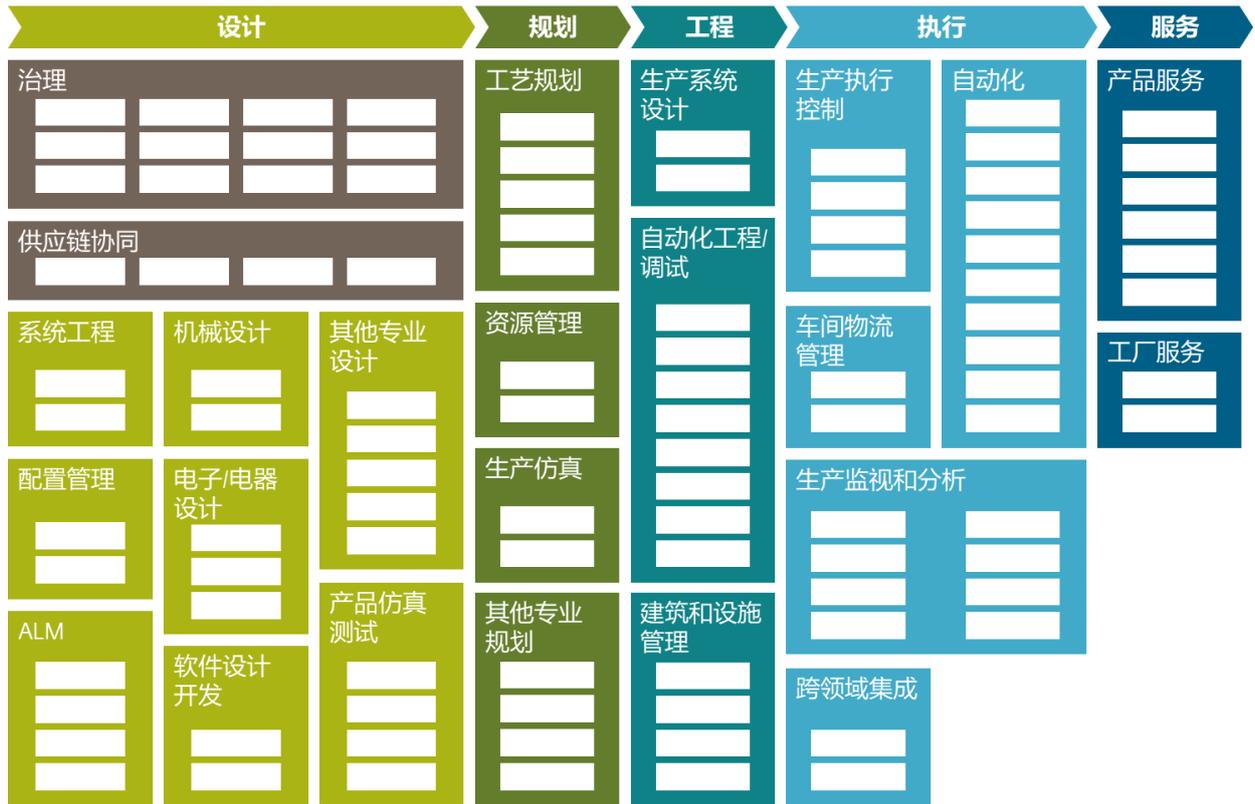
业务流程框架 (Business Process Framework) 是支持业务流程描述、评估、优化的参考模型¹。业界常常以三到四个层级对流程进行分类。例如，拆分到第二层的某行业产品生命周期业务流程框架如图表 4-2。您可以将它作为参考对您的流程进行分类，并且对标优秀的流程和行业特定绩效来思考如何提升。

因此，优秀的业务流程框架都需要兼具技术领先和行业特色。以达到下述的效果：

- 标准化的流程发现方法；
- 面向行业的绩效考核方法和对标；

¹ Weillkiens, T., Weiss, C., Grass, A., & Duggen, K. N. (2016). OCEB 2 Certification Guide: Business Process Management-Fundamental Level. Morgan Kaufmann.

商业转载请联系西门子获得授权，非商业转载请注明出处。



图表 4-2 PLM 业务流程框架样例

- 从工作方法、组织、技术等方面提炼的最佳实践。

业务流程框架为您提供了一个标准化的参考模型，可以帮助您的信息化团队快速开展流程发现工作，为不同部门之间的沟通提供共同语境以避免误解。更重要的是，业务流程框架的应用结果为数字化项目的规划和实施提供了关键的事实依据。确保整套数字化技术落地符合复杂的业务需要。

4.3. 信息物理系统

信息物理系统 (CPS, Cyber Physical System) 本质上是对传统的生产控制系统的网络化升级。随着第四次工业革命的到来，设计数据、工艺数据、生产数据等资源已经成为影响一个制造企业成功与否的重要因素。这就对制造业的控制系统提出了非常高的要求。现有生产控制系统基本是封闭的系统，即便其中一些工控应用网络也具有联网和通信的功能，但其工控网络内部总线大都使用的都是工业

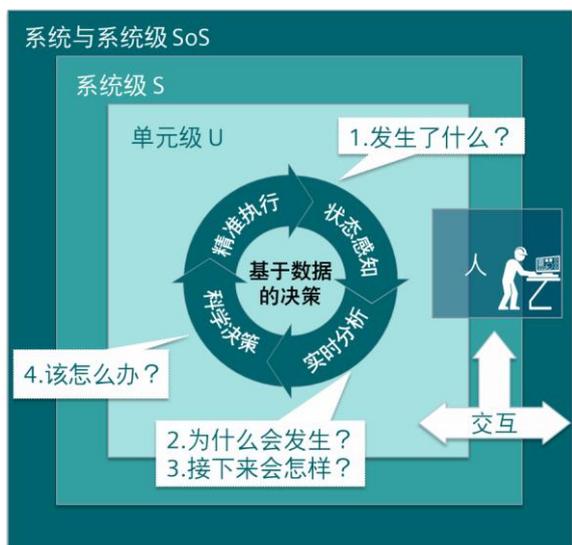
控制总线，网络内部各个独立的子系统难以互联，通信的功能比较弱。因此现有制造业的生产网络模式制约着制造业企业向数字化、智能化方向发展。物理信息系统这一概念的产生也显得水到渠成。

CPS 于 2006 年在美国首次提出，随着 CPS 的广泛应用和发展，CPS 的定义逐渐出现分歧。例如，CPS 是计算和物理过程的集成，嵌入式计算机和网络，监控和控制物理过程，通常与反馈物理过程影响计算的循环，反之亦然。换句话说，CPS 将计算和通信深深地嵌入到物理世界的过程中，并与物理世界进行交互，从而为物理世界添加新的能力。CPS 具备与传统嵌入式系统不同的特征，它必须存在与物理世界输入和输出交互的元素组成的网络，这需要网络化的传感器系统支持。在过去的五年中，CPS 技术的发展取得了巨大的进步。新的智能 CPS 将推动各个领域的创新和竞争，例如航空、汽车、化工、

商业转载请联系西门子获得授权，非商业转载请注明出处。

民用基础设施、能源、医疗、制造业，运输业等等。

与传统控制系统相比，CPS 在对网络内部设备的远程协调能力、自治能力、控制对象的种类和数量上远远超过现有的工控网络。因此，您可以利用 CPS 实现计算、通信与物理系统的一体化设计，可使系统更加可靠、高效、实时协同，这具有重要而广泛的应用前景。



图表 4-3 CPS 系统层级及概念

在概念层面，CPS 的应用场景涵盖单元级、系统级、系统之系统级（如图表 4-3）。它打通状态感知、实施分析、科学决策、精准执行 4 个环节，连接了现实世界和虚拟世界，构筑起数据自动流动的闭环赋能体系。您的企业可以获益于隐形数据显性化、隐形知识显性化，实现数据转化为信息、信息提炼成知识、知识转化为决策。在这一过程中 CPS 为您解决了物理世界 4 个基本问题：首先是描述物理世界发生了什么；其次是诊断为什么会发生；再次预测接下来会怎样；最后是决策应该怎么办。决策完成之后就可以驱动物理世界执行，最终实现制造资源优化配置，提升企业竞争力。

4.4. 数字化双胞胎

CPS 从系统层面解释了数字化转型的理想状态，达成这一理想离不开对数据的综合应用。为了建成具备状态感知、实时分析、科学决策、精准执行的 CPS 系统，数字化企业需要在虚拟世界建立对现实世界的表达，所以人们提出了“数字化双胞胎” (Digital Twin) 的概念。“数字化双胞胎”指利用数字化技术营造的描述现实世界的数字镜像。您可以将现实世界中复杂的产品研发，生产制造和运营维护转换成在虚拟世界相对低成本的数字化信息进行协同及模型优化，并给予现实世界多种方案和选择。

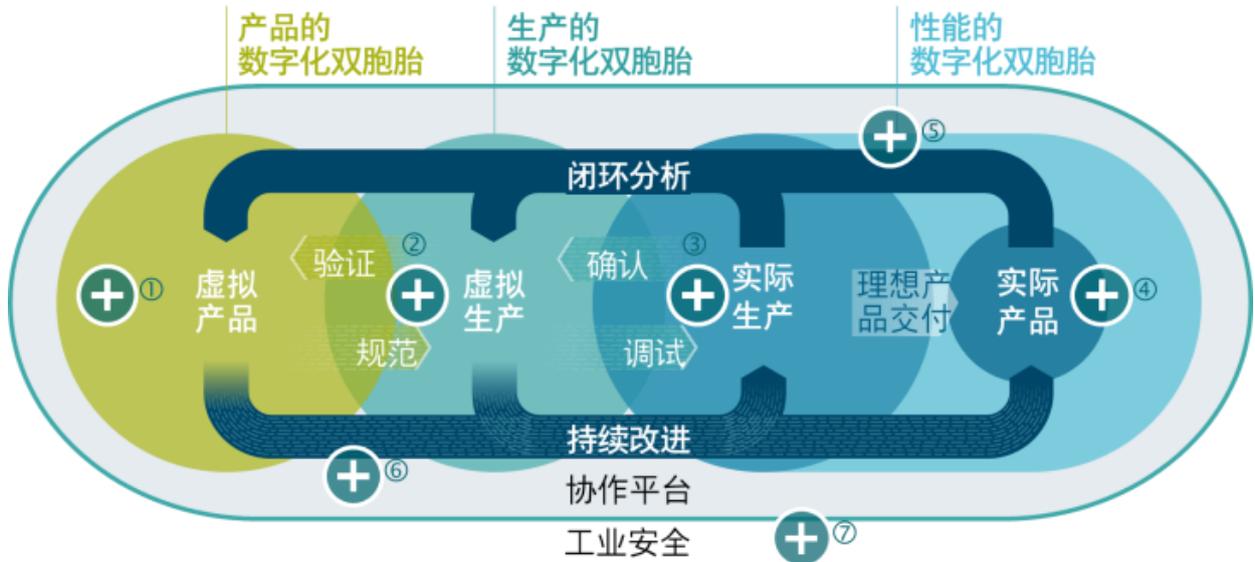
数字化双胞胎的应用场景非常多样。例如，面向产品的双胞胎可以为测试环节节约大量成本和时间。传统企业在研发过程中往往会花费巨资验证各个不同的实体样品性能，企业需要耗费大量成本和时间建造足够的试验样品以应对验证过程中的损坏和迭代。而利用产品的数字化双胞胎，您可以在虚拟世界中高速低成本地进行无数次试验。您的企业可以提升产品上市速度、降低整体成本，这可以带来巨大的市场竞争力提升。

研发速度和成本的改善对于很多高度定制化的行业来说可能是性命攸关的，例如造船、航天、专用设备。这些行业的研发人员并没有多少余地利用实际样品来测试。数字化双胞胎将是工程师验证产品性能和可制造性的唯一出路。



图表 4-4 虚实结合提升企业决策和应变能力

商业转载请联系西门子获得授权，非商业转载请注明出处。



图表 4-5 数字化双胞胎

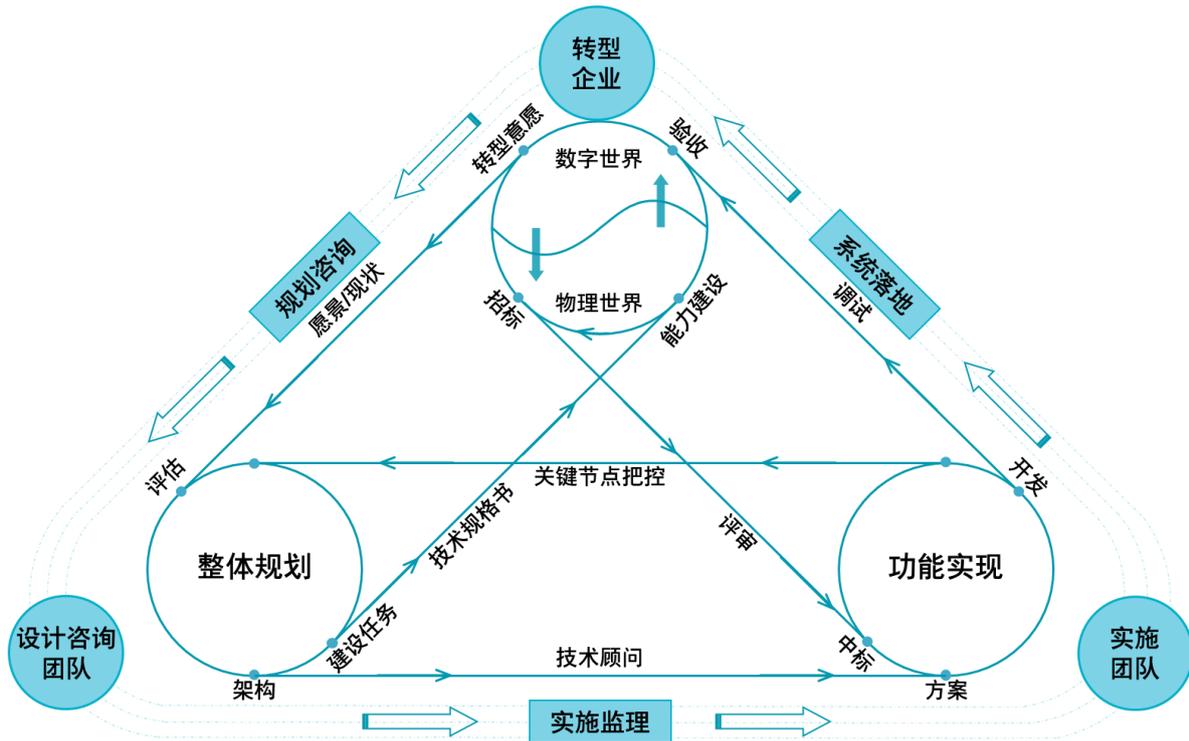
在企业运营中会出现三对分别描述虚拟和现实的双胞胎，即“产品双胞胎”、“生产双胞胎”和“性能双胞胎”。他们都有各自的“数字化双胞胎”作为在虚拟世界的镜像。

根据上图，您可以利用“数字化双胞胎”直接支持下述以下几个关键环节：

- ①虚拟产品，虚拟数字化产品模型，对其进行仿真测试和验证，以便降低验证成本和缩短上市时间；
- ②虚拟生产，利用虚拟生产模拟生产流程，从而识别生产瓶颈、分析问题根本原因，进而缩短调试时间、优化生产；
- ③实际生产，通过基于连接和数据分析的人工智能驱动端到端流程优化服务，提高性能；
- ④实际产品，使用数据增值服务将设计和行为数据反馈到虚拟产品中以进行持续优化；
- ⑤工业物联网，开发边缘和物联网应用程序，将设备和数据从现场无缝集成到云端；
- ⑥持续改进，上至企业级的 OEE 数据透明使机器和设备能够持续改进；
- ⑦工业安全，使用防御策略保护知识产权和生产力，以抵御所有潜在威胁。

“数字化双胞胎”帮助企业在实际投入生产之前即能在虚拟环境中优化、仿真和测试，在

生产过程中也可同步优化整个企业流程，最终实现高效的柔性生产、实现快速创新上市，锻造企业持久竞争力。



图表 5-1 咨询和实施的无缝衔接是完整落地的保障

5 数字化转型必备服务条件

上一章以面向工业的参考框架全面连贯地探讨跨增值链的多元复杂系统集成落地。此时，您对转型项目的基本要求已经逐渐明晰：全面覆盖、面向行业、可落地。这要求实践者具备精英级的数字化技术知识和全面深入的行业经验。如此，才能高效、快速、优质地完成经得起时间考验的转型任务。

面对这样的转型挑战，很多企业都需要两大类服务能力：咨询和实施（见图表 5-1）。企业需要引入咨询服务保证整体规划和投资安全（做正确的事），也需要引入实施服务保障平稳落地（正确地做事）。为了规范化这两类服务能力，我国工信部于 2018 年发布《智能制造系统解决方案供应商规范条件》，成为衡量数字化转型服务条件的基本标准。其技术条件总结如图表 5-2。

咨询和设计	实施和交付
建立熟悉行业和项目规划的团队； 提供智能制造项目规划报告； 根据功能和造价确认需求，完成会签； 提供硬件集成方案及仿真分析； 提供软件集成方案及配套部署方案； 根据场景提出软硬件定量技术指标。	建立软硬件实施项目团队； 建立核心工艺库、成功案例库； 拥有发明专利、软件著作权等核心技术； 建立完整项目文档管理制度； 提供全面自动化与工业软件定制； 有经验的项目经理； 提供完整的交付验收和售后体系。

图表 5-2 《智能制造系统解决方案提供商规范条件》的技术条件标准

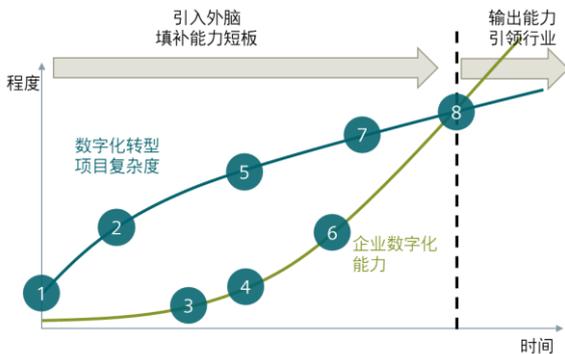
基于以上标准条件，我们结合在全球不同规模项目中遇到的常见需求，将数字化转型服务条件提炼总结为三大领域，以端到端的完整视角覆盖数字化转型的全部阶段：咨询、实施、优化。

商业转载请联系西门子获得授权，非商业转载请注明出处。

5.1. 咨询与设计

在规划及设计阶段，咨询服务将确保您的企业能快速低成本地完成数字化转型。您的企业在这一阶段可能尚无清晰的转型目标或策略，或者缺少足够的资源完成采购前的全部工作。

更为紧迫的矛盾是，您的企业需要时间建设自身能力以应对数字化转型项目的风险，但是竞争压力无法给您充裕的时间。所以在数字化转型的全过程中，企业能力建设可能会不断“追赶”系统建设的各关键阶段（如图表 5-3 所示）：



图表 5-3 企业需要建设能力以应对数字化转型的复杂度

1. 识别现状、愿景、差距
2. 完成路线图和建设任务规划
3. 培养多系统详设工程队伍
4. 建设启动项目组
5. 建设示范系统
6. 建设规模复制能力
7. 规模复制成功经验
8. 完成理想化的系统与组织能力耦合

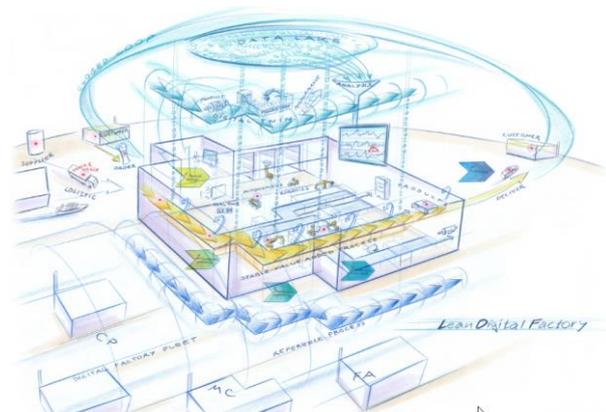
在新的时代，建设组织能力必然充满挑战并将考验管理者的耐心，所以您需要具备行业数字化转型经验的外脑提供阶段性或全过程的智力服务，快速填补企业能力短板，提供经验证的技术和定制化的策略，将数字化理

念转化为可实施的项目组合。而在同一时间，您将有充足的时间建设自身能力，直至外脑功成身退。

5.1.1. 数字化成熟度评估

在建设数字化企业的过程前期中，决策者一方面需要认清自身所处的状态，另一方面也需要和先进企业甚至先进行业对标，找到差距和突破口。此外，信息爆炸会不断让各级从业人员获得形形色色的新概念、新方法、新技术，给制定转型路线和建设任务等工作造成很大的技术难度。在这样的背景下，大部分企业和组织都期望以标准化的方式在前期进行快速自评和对标，避免在初期走错方向，降低整体项目风险。因此，快速客观的数字化成熟度评估服务应运而生。

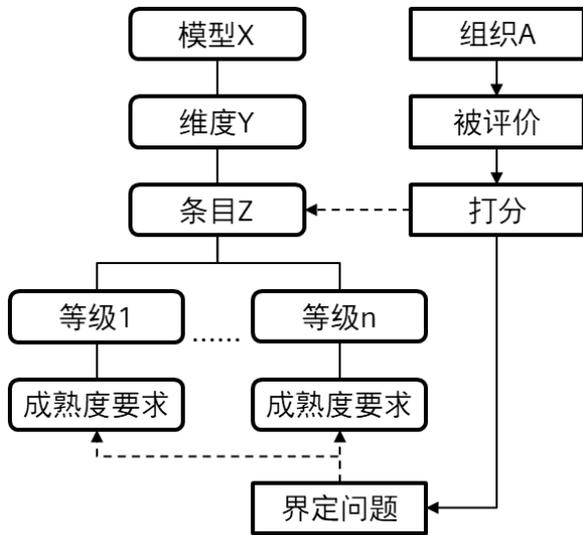
企业对数字化成熟度评估的基本要求应当是深度和广度都完整可靠的评估模型。因此，这类模型必须结合国内外标准、行业项目经验、新兴技术、新型业务模式，并且长期保证足够数量的项目支持模型的持续更新迭代。例如，西门子的《数字化用例评估》便基于自身不断迭代的自有精益数字化生产体系（LDF, Lean Digital Factory）和西门子研发体系（SDS, Siemens Development System），还借鉴了德国机械设备制造业联合会的《工业 4.0 就绪度》和德国国家工程院的《工业 4.0 成熟度指数》。



图表 5-4 西门子精益数字化生产体系
Lean Digital Factory

商业转载请联系西门子获得授权，非商业转载请注明出处。

西门子将《数字化用例评估》引入中国之后，又参照国情和行业基线，对模型进行了针对性调整。例如，考虑到中德典型企业在设备、战略、人力等领域的差距，修改了基准和行业先进水平的定义。



图表 5-5 如何应用成熟度模型进行组织评估

成熟度评估模型的应用一定是面向特定企业的，并且能帮助企业决策层对现状和愿景达成一致完整的认识。所以您既需要精确的模型，也需要正确的评估流程和分析方法。图表 5-5 是一种源于《智能制造能力成熟度模型白皮书》¹的评估方式说明，可以作为基本的成熟度模型应用方法。

但是，在实际应用中，您需要根据企业的特定情况定制应用策略。例如，在评分之后，增加步骤：

- 详细分析暴露出来的业务问题和技术问题；
- 对发现的问题进行综合，并指明改善方向；
- 梳理改善建议清单；
- 定义行动路线图。

虽然在这一时期，我们仍然缺少对业务、组织的高粒度理解²，但企业已经对自身状态有了具象的确认，也对改进的机会和方法有了具体理解。这样的结果将会使您理解数字化的业务影响，也有利于我们在接下来的阶段聚焦重点区域，发掘现象背后的原因。

5.1.2. 可行性研究报告及评审

大多的数字化转型项目在前期都需要进行慎重的投资决策。决策方可能来自企业内部、政府、或金融机构。这类决策需要确认项目目标、效益目标、项目范围、技术方案、建设方案、设备方案、运营方案等。

可行性研究报告（含项目建议书）在我国的审批制、核准制、备案制项目决策程序中均为关键步骤。如有需要，我们建议决策者聘请来自独立机构的专家对投资项目进行分析、研究、评判。这类活动一定要遵循科学、客观、全面的原则。所以，为可行性研究报告及评审所聘请的专家一定要在数字化领域富有相关的能力和信誉。

标准的可行性研究报告内容涉及工程项目的方方面面。为您提供咨询服务的数字化专家应当专注于技术方案、设备方案和工程方案。如有需要，也可为市场、工艺、设备、技术经济等议题提供服务。

全面细致的可行性和评审是建设项目决策分析与评价阶段最重要的工作，它是对项目是否值得投资、建设方案是否合理的论证，为项目决策提供多方面的依据。

5.1.3. 企业架构分析

在咨询阶段，为了帮助企业快速有效的完成数字化转型，最重要的前期任务是完成企业

商业转载请联系西门子获得授权，非商业转载请注明出处。

¹ 中国电子技术标准化研究院 (2016). 智能制造能力成熟度模型白皮书 (1.0 版).

² 成熟度分析将从通用的数字化战略出发，关注运营层面的关键业务场景和技术应用，但是缺少对企业自身战略的定制化理解。

现状和目标的结构化梳理和分析，并在不断迭代中提升企业项目组的能力。如 3.1 所介绍，企业架构是这种结构化思路的具体呈现，对现状、目标、过渡阶段的结构化梳理通常会涉及四大领域的架构：业务、应用、数据、技术，它们共同构成了标准化的企业架构知识领域¹。

咨询活动的效果取决于架构分析人员在这四类领域在不同切分维度的深度理解能力、问题定义能力和改善能力。这些切分维度在很大程度上取决于行业经验，包括：流程体系、组织职能、工厂车间、产品家族等等。例如，流程体系的切分可以参照本书 4.2 所介绍的业务流程框架。此外从这一阶段起，我们注意到两大类被重点关注的项目需求。这两类项目需求可能在同一项目中同时出现，应用于一个组织的不同切分中：

- 关注现状：分析现状，确认问题空间，推荐改善机会。例如很多老厂改造项目，在数十年的发展中，已有的资源、流程、组织已经盘根错节，无法被清晰表达，盲目应用信息化、自动化方案可能造成更大的风险和成本损失。所以，数字化转型的切入点应当是尽快理解现状。
- 关注目标：详细定义理想目标状态，与现状对比，定义建设任务。在这类项目中，项目目标直接被顶层战略驱动，您已经有比较清晰具体的愿景和设想，而且可能非常关注投产周期和投资回报速度。因此，数字化转型的切入点是根据现状和未来的差异，快速定义可执行的建设任务。

综上所述，企业架构分析在表面上基于结构化逻辑，但这一活动存在很大的定制化特性，它的效果将深度依赖于对行业经验、组织需

求的深度理解，并最终作用于下文所述的路线图和建设任务规划。

5.1.4. 路线图和建设任务

在这一阶段，您已经理解了两个重要的企业架构：现状和目标。这二者之间的差距即为我们应当在一定时间内以一定资源完成的建设任务。长期的实践告诉我们，这类大型项目无法一蹴而就，而企业自身又有确保投资安全、业务增长、资金周转的压力。因此，我们必须制定顶层路线图，让早期完工的项目能尽早独立发挥积极影响；而那些周期较长、成本较高的建设任务则承载着您对客户、社会、投资人的长期承诺，应对远方的威胁或机会。

一般而言，我们会从多个维度判断建设任务的优先级，以确定路线图。这些维度包括：

- 业务影响：综合考虑项目的独立影响和多项目的“滚雪球”效应。
- 逻辑顺序：判断项目之间的技术依赖关系和业务能力依赖关系。
- 成本：优先完成投资较小的项目。
- 周期及难度：优先完成难度小、周期短的项目。

对上述各维度的梳理将帮助您从技术、投资回报、非财务收益²等角度梳理项目集的实施优先级和分阶段顺序，以有效完成经优化的过渡企业架构和目标企业架构³，层层递进地实现数字化转型的愿景。

5.1.5. 规格书

在这一阶段，制造业企业的数字化转型将开始关注采购决策以确保转型建设任务的落地和企业自身能力建设。企业将面临业务能力不健全和多项采购评审任务复杂的矛盾。

¹ Hagan, P. J. (2004). Guide to the (evolving) enterprise architecture body of knowledge. MITRE Corporation.

² 如企业声誉，员工满意度，上市速度，市场占有率，库存周转率等等。

³ 关于过渡和目标企业架构，见 3.1。

因此，企业需要咨询顾问及时提供对招标工作的技术建议和供应商甄选的技术依据。此外，对于制造业企业，有两大类方案需要进行详细设计和集成：信息物理系统方案和智能工厂设计方案，分别对应于虚拟世界和现实世界的建设。而这两大类方案，又需要契合上一阶段定义的数字化转型路线图，以支持企业的整体业务变革。

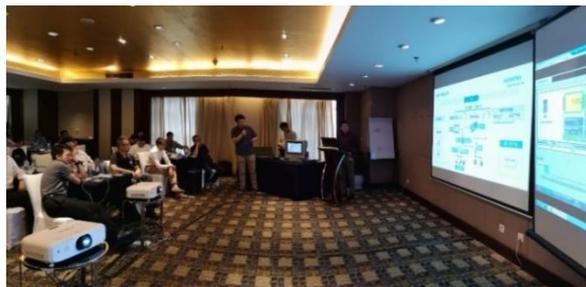
经过对方案的详细定义，您的企业可以有足够自信向供应商澄清需求、审议内容。待审议的内容包括但不限于项目实施的各项指标、约定开发部署运营形式、验收依据、规范的参考标准和术语约定、实施团队素质要求。企业数字化项目组也可以从各维度确认项目范围，包括但不限于系统功能维度、业务组织维度、车间功能维度、数据治理维度、系统硬件维度。

5.1.6. 人员能力培养

正如 5.1 节开头所言，除了项目的成功，建设企业自身能力是您最为关注的课题：

- 管理层需要理解制造业生产系统的基本知识框架和智能制造、数字化相关的基础概念。
- 现场执行者需要深度理解数字化转型在研发、管理、车间等领域的主要表现方式。
- 项目组成员需要有足够的专业知识与系统供应商进行谈判和技术交流。

因此，咨询顾问需要以深入浅出的形式介绍制造业增值链和基本的生产模式种类，并且聚焦于您企业最关注的生产模式，以完整的数字化转型知识体系和实训系统，串讲数字化在各级部门的形态。确保相关人员可以理解数字化转型的必要性、理解制造业的基本规律和数字化为制造业带来的积极影响及作用方式。



图表 5-6 数字化顾问以实际系统演示培训

5.2. 实施

完成咨询规划之后的关键过程是项目的实施。制造业数字化项目的实施特点是基于企业自身的战略方向和行业背景，以数字化转型落地为导向，以信息化、自动化为基础，以集成硬件、软件与尖端技术为手段。您需要全面覆盖研发设计、生产规划、生产工程、生产制造等领域的全面提升，从而缩短产品上市时间，实现智能化、柔性化、敏捷化制造，提高生产质量和效率。

为更好的完成项目落地，实施方除能提供技术与解决方案外，为客户提供被不断验证的产品套件也至关重要，从而简化实施难度、缩短周期、降低试错成本。例如西门子提供产品生命周期管理（PLM）、制造运营管理（MOM）、全集成自动化（TIA）的面向行业的全面集成服务，并以数字化企业套件的形式提供相关软硬件产品组合。这一组合在离散制造业已经被广泛应用并取得了巨大的成功。



图表 5-7 西门子数字化企业套件

数字化转型的实施项目在范围和深度上存在多种可能性，对以下五类项目的支持，是实施服务组织的关键能力。

商业转载请联系西门子获得授权，非商业转载请注明出处。

5.2.1. 数字化工厂

数字化工厂需借助计算机系统、计算机网络、虚拟仿真、快速原型等技术的支持，建设并集成企业 ERP、PLM、MOM、TIA 等系统，联通信息网络与物理设备，完成全价值链的企业数字化转型。从业务视角，数字化工厂项目的内容应当涵盖研发设计、生产规划、生产工程、生产制造及数据增值服务。所以，实施数字化工厂项目的关键是业务与技术的融合，整合企业业务流程，定制企业级数字化升级整体解决方案。如此，方能提升企业的信息化、自动化程度，增强企业持续创新能力与竞争力。

5.2.2. 数字化车间

数字化车间指以数字化手段建设对生产运行过程进行规划、管理、诊断和优化的实施单元¹。数字化车间项目范围涵盖 CAPP、MOM 和 TIA，其中 CAPP 为可选模块，根据企业工艺规划业务现状定制。现代生产车间追求以数字化技术赋能精细化管控。这意味着以生产对象所要求的工艺和设备为基础，以信息化、自动化、测控技术等为手段，用数据连接车间不同单元，对生产运行过程进行规划、管理、诊断和优化。数字化车间的建设效果将体现在持续优化生产工艺和生产计划、统一质量管理，使生产过程更加透明高效。

5.2.3. 数字化集成服务

数字化集成服务旨在企业原有系统架构上，补充和整合新的数字化元素（包括 PLM，MES，QMS，产线或物流仿真，虚拟调试等），并以系统集成方式，加强数据采集、信息化管理，消除信息孤岛，实现生产透明高效。以打造研发制造协同平台为例，建设 PLM 系统，实现对模型、文档、BOM、资源

和流程等内容的管理，完成设计与工艺的协同；建设 MOM 系统，实现生产执行管理、计划调度管理、车间物料管理、设备管理等。通过 PLM 系统与 MOM 系统集成，传递工艺路线等信息，实现从产品设计到工艺规划、生产制造的协同。研发制造协同平台将帮助企业消除信息孤岛，是定制化研发、柔性生产等概念的关键基础。

5.2.4. 数字化验证平台

数字化验证平台支持产品研发、工厂仿真、工艺仿真、生产管理、物料管理、质量管理、能源管理、自动化产线设计、机床联网、刀具管理、IOT 等多方面业务活动的实体验证。作为制造业数字化领军企业，Siemens 已在北京、苏州、成都建立了数字化示范线作为众多国内外数字化企业项目的技术基础，并对外开放接待客户参观。企业可通过数字化验证平台来演示或验证面向自身关键产品族和工段的数字化设想，作为大规模复制的基础。

5.2.5. 虚拟调试

虚拟调试针对工厂建设、工厂改造、产线验证、设备加工等业务活动，为企业定制模拟仿真虚拟调试集成解决方案。此类项目通过智能数据模型，令企业可在虚拟世界中对生产进行模拟、测试、论证和优化，以降低风险、加快产品上市周期。

商业转载请联系西门子获得授权，非商业转载请注明出处。

¹ GB/T 37413-2019 数字化车间 术语和定义



图表 5-8 生产运营优化服务架构

5.3. 优化

数字化转型的最后一个领域是以“大数据+工业互联网”为基础的运营优化。这意味着用云计算、大数据、物联网、人工智能等先进技术将数据转换为有价值的知识，从而为企业持续优化做出正确的决策。具体到生产领域，基于数据分析的优化最终目的是将数据洞察和数据应用和固化到生产运营的持续改进中，实现生产运营的闭环分析（如图表 5-8）。

5.3.1. 数据洞察和透明化

工业数据分析的难点在于工业的复杂性¹，主要有以下三点原因：

- 工业领域实践者对工业过程的认识比较深刻，需要高精度和高可靠性的数据分析结果；
- 工业数据分析需要更多的工业机理知识，因此需要采用数据驱动 + 机理模型的方式，通过数据分析和机理模型的深度融合解决实际的工业问题；

- 工业过程数据的复杂性很高、数据质量参差不齐，建模的困难度往往很大。

因此，数据透明解决的是摆在企业数据分析人员面前的基本要求：保证数据分析的工作效率、减少数据分析的重复工作、明确业务需求。这需要通过增加生产性能透明度，确定生产的瓶颈和问题。其次数据分析师需要和工业领域专家一起进行数据洞察工作，透过数据表面现象洞察问题的本质，挖掘隐藏在数据背后的潜力，为下一步数据分析工作指明方向。

¹ 清华大学 (2019). 工业大数据分析指南. 工业互联网产业联盟.



图表 5-9 从理念到生产部署的项目路径

5.3.2. 闭环分析

闭环分析，即通过数据分析和人工智能在工厂的应用来提高整体设备效率。按照西门子三个“数字化双胞胎”的理念，将闭环分析应用于“性能数字化双胞胎”，通过闭环分析持续优化产品设计、优化生产线性能，实现一个全闭环的生产流程的迭代。

闭环数据分析是为业务需求服务的，是为了创造商业价值，需要一套完整的闭环数据分析技术路径。西门子的闭环数据分析技术路径主要包括三大步骤，如图表 5-9。您的企业可以仰仗闭环数据分析持续优化生产，不断消除生产瓶颈，实现提升产品质量，提高生产效率和灵活性，延长设备寿命，降低运营成本，助力生产运营迈向新台阶。

6 成功案例介绍及启发

6.1. 西门子成都工厂

西门子成都工厂 (SEWC) 每天生产约 3.8 万个工业自动化产品。SEWC 以其对工业 4.0 技术的深入应用闻名于世，并于 2018 年位列世界经济论坛 9 大“灯塔工厂”之一。事实上，在过去数年，SEWC 即作为制造业先进技术投资策略的范本，每年接待上万访客。

SEWC 利用西门子数字化企业套件，成为西门子在中国第一家集研发、制造、质量控制和物流等体系于一身的数字化研发生产基地。数字化企业的理念帮助 SEWC 在白领员工人数不变的情况下，保持着高速增长：

- 年产值提升 4 倍 (2013 ~ 2018 年)
- 蓝领人均产值年增长 20%
- 每年新增 50 种量产产品
- 以 99.5% 的可靠性保证 7x24 小时生产
- 每 2 秒产出一台产品

极高的柔性：

- 总共支持 800 多种产品生产
- 每天发生 160 次换模
- 每条产线可混线生产逾 70 种产品

极致的质量：

- 从产品到零部件，100%透明和追溯
- 每天产生 1 千万比特的结构化数据
- 确保 99.999% 的过程质量

为了同时保持这样的质量和产量，一个典型案例是基于数据增值服务的精智面板生产线的功能检测工站。在这里，将测试每个精智面板的所有功能，包括显示白屏测试、触摸面板测试、接口测试等等。这让功能检测工站成为这条生产线的生产瓶颈。

为了释放这个瓶颈，西门子数据增值服务团队相信可以基于历史测试数据分析优化测试时间。为此，工程师收集了 11000 个测试文件，并对这些测试日志文件进行了数据清理

并使其结构化。然后，工程师对测试数据进行了不同角度的分析，得到了一些清晰的分析结果，例如哪些错误是最常见的错误，哪些测试项目的测试时间最长，哪些错误具有很强的相关性。所有这些透明度帮助我们洞察测试机台性能。在分析结果的基础上，数据分析师提出了参数优化、测试过程优化、预测维护等建议。有了这些建议，每个精智面板的测试时间缩短了约 10%，每年节省的成本约为 30 万元人民币。

为了持续改进，西门子开发了实时分析功能。未来，它将成为一个基于西门子 MindSphere 开放式物联网操作系统的通用工业 APP，让客户享受云端之旅。

6.2. 航天电器智能制造样板间

贵州航天电器股份有限公司隶属航天科工集团第十研究院，主营业务为军民两用连接器、微特电机、继电器、光电模块、电缆组件的生产和研制。为“神舟飞天”“天宫对接”“玉兔漫步”“蛟龙探海”等国家重点工程提供了可靠的连接和驱动；同时也服务于三星、华为、哈里伯顿等国际知名厂商。2017 年销售收入 26.1 亿元，多年来以 20% 的速度持续增长。

为了实现贵州航天电器股份有限公司成为具有国际竞争力的一流高科技企业的战略目标。2016 年贵州航天电器股份有限公司与西门子合作实施航天电器智能制造样板间项目，期望通过本项目打造一个精密电子元器件行业、基于云平台的智能制造样板间。形成符合精密电连接器“多品种、小批量、定制化”特点，异地协同、柔性生产制造模式。满足精密电子元器件产品设计、工艺、制造、检测、物流等全生命周期的智能化要求。总体居于国际先进水平。

航天电器智能制造样板间项目实施范围包含：系统咨询规划和项目实施两部分。通过系统

咨询规划帮客户梳理清楚整个数字化项目的业务目标、业务范围以及实施步骤等，使客户对本项目有比较清晰的认识，然后通过数字化项目实施使客户的业务目标变为现实。

在这一项目中，西门子数字化企业服务团队全力投入了咨询规划、落地设计、工程实施、验收投产的全部阶段。打造数据驱动的一体化研发制造、及个性化混线柔性生产。系统范围包含全面覆盖西门子数字化企业套件：产品全生命周期管理系统（PLM）、制造运营管理系统(MOM)、数据采集(SCADA)以及自动化集成业务(TIA)。最终圆满完成用户期望，使航天电器获得收益：

- 研发周期缩短 30%
- 生产效率提升 50%
- 产品不良率降低 56%
- 运营成本降低 21%

6.3. 航空行业的数字化企业案例

建设数字化企业是航空行业提高企业效率，提高品质，降低成本的有力手段。航空行业牵涉的零部件种类数量大大多于传统制造型企业，零部件生产模式又是多品种小批量。航空制造业对产品、产线的经济性和可靠性，以及定制化研发制造的交付周期都提出了非常高的要求。

为了平衡交期、成本、质量之间的天然矛盾，欧洲某航空企业在其 ETO（工程到订单）过程中，大规模应用了数字化双胞胎，构建虚实结合的研发制造体系。以数字化技术取得了跨越式的进步。本案中，西门子聚焦于生产准备阶段。这是衔接研发和制造的关键过程，存在大量的返工和沟通不畅问题。通过对企业的调研及业务的梳理，西门子发现企业面临着不少挑战如下：

- 产线设计没有合理的规划，靠经验进行产能计算，工序排布，工站的平衡等，无法合理的进行产线设备投资的预判；

- 自动化设备选型周期长，且在产线设计前期无法验证，可能导致设备购买后并不实用的窘境；
- 各种自动化执行机构，IO 设备，驱动，机器人等，在联合调试的前期验证不充分，导致联合调试周期长；跨学科沟通滞后也会导致频繁的工站修改，又大大增加了工站实施的周期，直接增加投资成本。

因此，为了应对以上的问题，我们在为企业设计数字化企业时，引入数字化双胞胎的概念，利用虚拟世界提前验证和迭代，降低重构制造系统的建设风险。

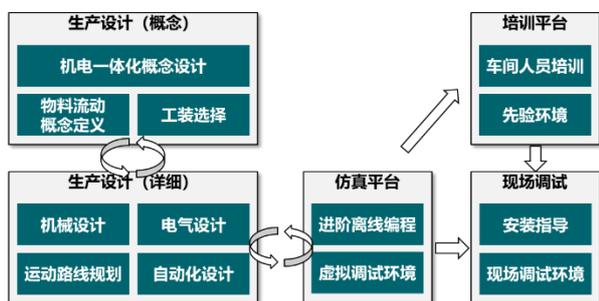
从业务流程来看，西门子指导企业从产线设计时，即开始利用双胞胎启动仿真活动。首先在总体设计阶段，我们进行产线的概念设计和仿真，聚焦于工站间线平衡、计算合理的工时和合理的设备数量。这部分工作跟传统方法的最大不同是模型及其参数均为经过迭代计算的最优解，以数据为基础的决策带来的效果和安全感将大大高于传统企业以经验为依据的方法。

接着，工程师需要定义好各个自动化设备的运动属性及运动序列。特别是在有焊接和组装等工站上使用了大量的机器人，会利用虚拟世界进行机器人离线编程调试，同步验证机器人的运动轨迹等相关参数，及与其他设备的空间干涉。同时，结合其他学科（如电气控制、自动化控制）在虚拟环境下完成所有的验证。最后工程师需要和现场操作人员在虚拟环境下验证各个设备的几何干涉、动作序列、控制逻辑。

为了实现上述的流程，西门子帮助企业搭建数字化平台，如下图所示，包括三大主要功能模块：

- 生产设计平台：电气设计和自动化设计与虚拟调试环境无缝集成；
- 仿真平台：与虚拟调试环境是各学科数据交互的基础；

- 培训和调试：仿真结果可以指导制造部门进行车间培训，并指导最终的安装和调试。



图表 6-1 生产准备验证平台应用架构

综上所述，西门子为企业建立的仿真平台帮助企业研发和制造之间实现数据无缝集成，建立了虚拟调试环境，在虚拟世界完成了各个设备的联动控制，早期即避免了各种干涉、碰撞、互锁失败等问题，缩短了自动化程序的编制和验证的周期。这都帮助企业非常明显的缩短了投产周期，提高了生产准备阶段整体速度及风险、成本控制能力。

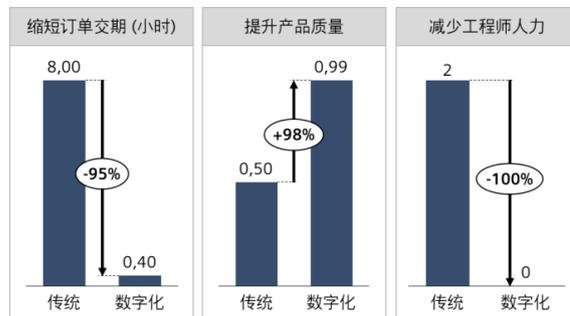
6.4. 西门子数字化示范线

位于苏州的西门子数字化展示中心，以高度定制化的工业按钮为例，全面展示数字化企业各阶段的端到端无缝集成：产品设计、生产规划、生产工程、生产制造、产品服务无缝集成。其中利用“数字化双胞胎”实现大规模定制是一大亮点。

在展示中心的概念设计阶段，笔者曾全程操刀样品测试，数次完成工业按钮的产品定制化设计到交付样品全过程。即使在设备和原材料全部齐备的情况下全过程约耗时 8 小时，需要两位不同知识领域的专业工程师配合。即使如此，仍然出现了由于设计和工程偏差导致的约 50%的次品率。因此，为满足客户的快速定制化需求，摆在我们面前的挑战十分严峻：

- 缩短周期：高度定制需求下，大幅降低约 8 小时的接单到交付时间。

- 提高质量：彻底改善原本约 50%的合格率，并严格检测工艺质量。
- 节约成本：彻底摆脱对专业工程师的依赖。

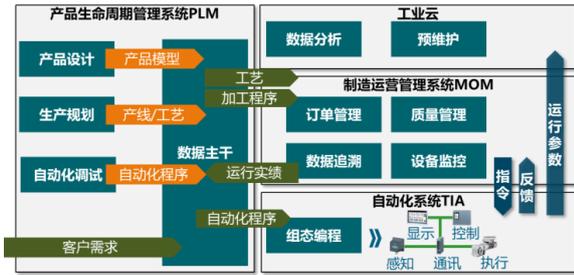


图表 6-2 数字化双胞胎促成的关键指标提升

为此，我们创造性的应用数字化双胞胎进行整厂的研发和制造部门规划，从真实的运营出发，将大规模定制化生产的业务流程嵌入虚拟世界和真实世界的联动运作，设计了整厂的快速无人化运营模式。为了支撑以上业务流程的技术实现，数字化双胞胎技术的应用至少需要以下四个功能模块：

- 产品生命周期管理系统 PLM：产品设计出的产品模型、生产规划的产线/工艺以及自动化调试的程序将同步到数据主干，和客户端的客户需求共同生产加工程序和工艺规划模型。
- 制造运营管理系统 MOM：对 PLM 传来的订单进行生产，并对数据进行实时跟踪和分析。将相应的操作指令下到 TIA，并将运行结果反回到 PLM 中。
- 自动化系统 TIA：通过 PLM 系统传出的自动化程序进行编程后，自动化设备进行相应的显示、控制、感知、通讯和执行。
- 工业云：对于自动化层设备的运行参数进行数据分析，并生成预维护方案。

商业转载请联系西门子获得授权，非商业转载请注明出处。



图表 6-3 数字化展示中心应用架构

经过成功的规划和实施，本项目圆满完成预定目标。时至今日，苏州的西门子数字化展示中心仍然在平稳运营，向来自全国各地的观众展示落地的数字化企业最佳实践。

6.5. 数据增值服务在德国安倍格

西门子德国安倍格工厂每年生产约 600 万台工业自动化产品，是西门子数字化工厂的主要生产基地之一。在 SIMATIC ET200SP 基座单元的产线中，对焊点的 X 光检测是质量检测工艺之一。它耗费人力且检测耗时长，是整个生产流程的瓶颈。在应用人工智能技术之前，用于 ET200SP 基座单元的 PCB 板 100% 都需要进行该项检测。我们考虑是否可以基于对工艺数据的相关性分析，开发出一种算法以减少进行 X 光检测的次数。



图表 6-4 ET200SP 产线

数据分析师通过统计历史数据，确认 SPI 系统的数据和 X 光检测结果的相关性，使用了 SPI 系统中 40 个参数的 9 千万行数据和与其对应的 X 光检测结果的标签(0/1)开发减少进行 X 光检测次数的算法，通过监督式学习，构建 SPI 工艺数据与 X 检测结果之间的多变量依赖模型。目前预计减少 X 光检测次数大于 31%，消除了生产瓶颈。

6.6. 数据增值服务在水泥行业

CRH 是全球领先的建筑材料集团，在全球约 38000 个地点雇佣了 87000 多名员工。Roadstone 有限公司属于 CRH 集团，在爱尔兰拥有 46 个生产混凝土和沥青的生产基地。该公司遇到最大的挑战之一是石材的水分控制问题，石材的水分含量过多或过少都会直接影响到水泥的质量。通常是通过加热的办法降低石材的水分，因此水分对能耗影响很大。



图表 6-5 爱尔兰 Roadstone 公司

为此，西门子的数据服务专家设计了一个基于云的数据分析和可视化平台，该平台具有自动数据采集功能。利用水分探针测量原料水分，并对数据进行分析。因此，上游原材料生产优化降低了能源成本。此外，通过自动数据收集和数据分析，还提高了工厂的 OEE 和可靠性。

缩写名词解释

缩写	英文	中文
APP	Application	应用
BOM	Bill of Material	物料清单
CAD	Computer Aided Design	计算机辅助设计
CAM	Computer Aided Manufacturing	计算机辅助制造
CAPP	Computer Aided Process Planning	计算机辅助工艺规划
cPDM	Collaborative Product Data Management	协同产品生命周期管理
CPS	Cyber-Physical System	信息物理融合系统
CVCC	Customer Value Co-Creation	客户价值共创
ERP	Enterprise Resource Planning	企业资源管理系统
ETO	Engineering To Order	面向订单设计
IO	Input / Output	输入/输出
IoT	Internet of Things	物联网
IT	Information Technology	信息技术
LDF	Lean Digital Factory	西门子精益数字化工厂
MES	Manufacturing Execution System	车间制造执行系统
MOM	Manufacturing Operation Management	生产运营管理
MBSE	Model-Based Systems Engineering	基于模型的系统工程
MVP	Minimal Viable Product	最小可行产品
OEE	Overall Equipment Effectiveness	设备综合效率
OT	Operational Technology	操作技术
OTD	Order To Delivery	接单到交付流程
PDM	Product Data Management	产品数据管理
PLM	Product Lifecycle Management	产品生命周期管理
PM	Project Management	项目管理
QMS	Quality Management System	质量管理体系
RAMI 4.0	Reference Architectural Model Industrie 4.0	工业 4.0 参考架构模型
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition	数据采集与监视控制系统
SCM	Spplly Chain Management	供应链管理
SDS	Siemens Development System	西门子研发体系
SPS	Siemens Production System	西门子生产体系
TIA	Totally Integrated Automation	全集成自动化
xTO	X To Order (ETO/ATO/MTO)	三种接单生产模式总称
UI	User Interface	用户界面

关于作者

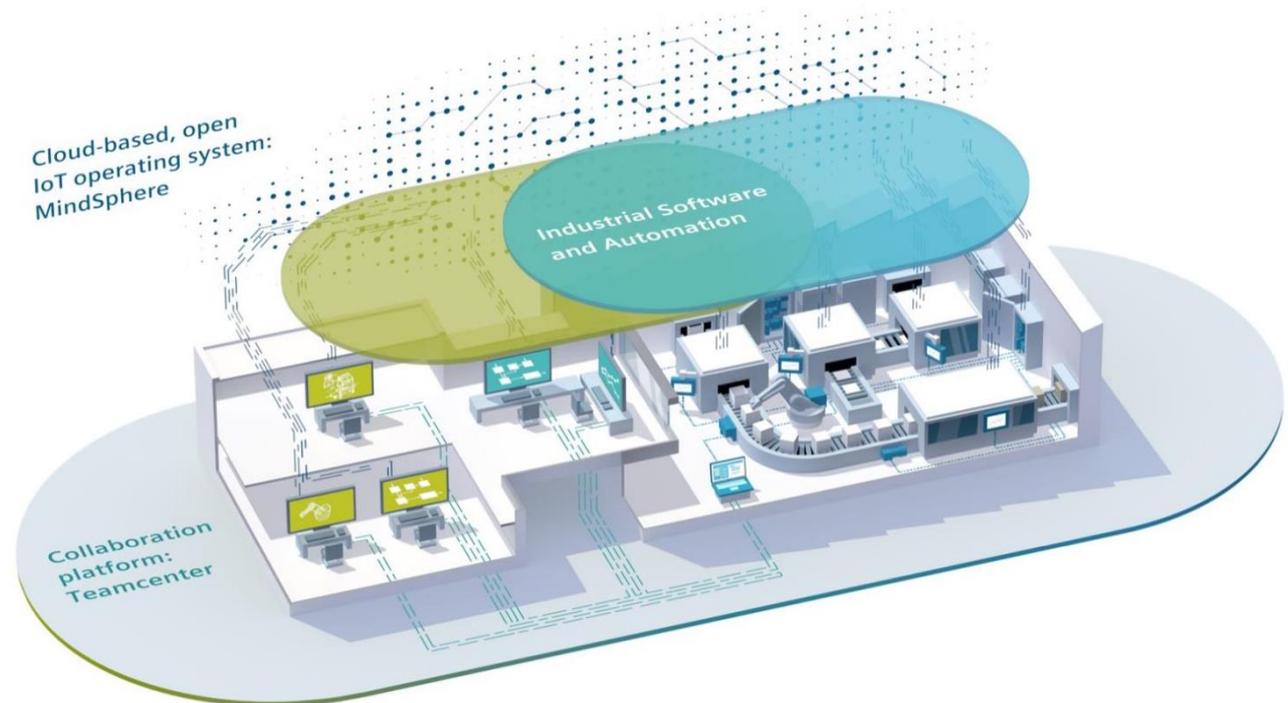
李于江 博士
数字化顾问
数字化企业体系架构

张鹏飞
数字化服务产品经理
数据增值服务

李如林
项目经理
数字化项目实施

杨浩
集成工程师
数字化项目实施

Siemens Ltd. Digital Industry



商业转载请联系西门子获得授权，非商业转载请注明出处。

北方区

北京
北京市朝阳区望京中环南路7号
电话: 400 616 2020

包头
内蒙古自治区包头市昆区钢铁大街74号
财富中心1905室
电话: (0472) 520 8828

济南
山东省济南市舜耕路28号
舜耕山庄商务会所5层
电话: (0531) 8266 6088

青岛
山东省青岛市香港中路76号
颐中假日酒店4楼
电话: (0532) 8573 5888

烟台
山东省烟台市南大街9号
金都大厦16层1606室
电话: (0535) 212 1880

淄博
山东省淄博市张店区中心路177号
淄博饭店7层
电话: (0533) 218 7877

潍坊
山东省潍坊市奎文区四平路31号
舜天大酒店1507房间
电话: (0536) 822 1866

济宁
山东省济宁市市中区太白东路55号
万达写字楼1306室
电话: (0537) 316 6887

天津
天津市和平区南京路189号
津汇广场写字楼1401室
电话: (022) 8319 1666

唐山
河北省唐山市建设北路99号
火炬大厦1308室
电话: (0315) 317 9450/51

石家庄
河北省石家庄市中山东路303号
世贸广场酒店1309号
电话: (0311) 8669 5100

太原
山西省太原市府西街69号
国际贸易中心西塔16层1609B-1610室
电话: (0351) 868 9048

呼和浩特
内蒙古呼和浩特市乌兰察布西路
内蒙古饭店10层1022室
电话: (0471) 620 4133

东北区

沈阳
沈阳市沈河区青年大街1号
市府恒隆广场41层
电话: (024) 8251 8111

大连
辽宁省大连市高新园区
七贤岭广贤路117号
电话: (0411) 8369 9760

长春
吉林省长春市亚泰大街3218号
通钢国际大厦22层
电话: (0431) 8898 1100

哈尔滨
黑龙江省哈尔滨市南岗区红军街15号
奥威斯发展大厦30层A座
电话: (0451) 5300 9933

华西区

成都
四川省成都市高新区拓新东街81号
天府软件园C6栋112楼
电话: (028) 6238 7888

重庆
重庆市渝中区邹容路68号
大都会商厦18层1807-1811
电话: (023) 6382 8919

贵阳
贵州省贵阳市南明区水果园后街
彭家湾E7栋(国际金融街1号)
14楼01&02室
电话: (0851) 8551 0310

昆明
云南昆明市北京路155号
红塔大厦1204室
电话: (0871) 6315 8080

西安
西安市高新区锦业一路11号
西安国家服务外包示范基地一区D座3层
电话: (029) 8831 9898

乌鲁木齐
新疆乌鲁木齐市五一一路160号
新疆福大饭店贵宾楼918室
电话: (0991) 582 1122

银川
银川市北京东路123号
太阳神大酒店A区1507房间
电话: (0951) 786 9866

兰州
甘肃省兰州市东岗西路589号
锦江阳光酒店2206室
电话: (0931) 888 5151

华东区

上海
上海杨浦区大连路500号
西门子上海中心
电话: 400 616 2020

杭州
浙江省杭州市西湖区杭大路15号
嘉华国际商务中心1505室
电话: (0571) 8765 2999

宁波
浙江省宁波市江东区沧海路1926号
上东国际2号楼2511室
电话: (0574) 8785 5377

绍兴
浙江省绍兴市解放北路
玛格丽特商业中心西区2幢
玛格丽特酒店10层1020室
电话: (0575) 8820 1306

温州
浙江省温州市车站大道577号
财富中心1506室
电话: (0577) 8606 7091

南京
江苏省南京市中山路228号
地铁大厦17层
电话: (025) 8456 0550

扬州
江苏省扬州市文昌西路56号
公元国际大厦809室
电话: (0514) 8789 4566

扬中
江苏省扬中市前进北路52号
扬中宾馆明珠楼318室
电话: (0511) 8832 7566

徐州
江苏省徐州市泉山区中山北路29号
国贸大厦7A7室
电话: (0516) 8370 8388

苏州
江苏省苏州市新加坡工业园苏华路2号
国际大厦11层17-19单元
电话: (0512) 6288 8191

无锡
江苏省无锡市县前东街1号
金陵大饭店2401-2402室
电话: (0510) 8273 6868

南通
江苏省南通市崇川区桃园路8号
中南世纪城17栋1104室
电话: (0513) 8102 9880

常州

江苏省常州市关河东路38号
九洲寰宇大厦911室
电话: (0519) 8989 5801

盐城
江苏省盐城市盐都区
华邦国际大厦A区2008室
电话: (0515) 8836 2680

昆山
江苏省昆山市伟业路18号
昆山现代广场A座1019室
电话: (0512) 55118321

华南区

广州
广东省广州市天河区208号
天河城侧粤海天河城大厦8-10层
电话: (020) 3718 2222

佛山
广东省佛山市南海区灯湖东路1号
友邦金融中心2座33楼1单元
电话: (0757) 8232 6710

珠海
广东省珠海市香洲区梅华西路166号
西藏大厦1303A室
电话: (0756) 335 6135

南宁
广西省南宁市金湖路63号
金源现代城9层935室
电话: (0771) 552 0700

深圳
广东省深圳市南山区华侨城
汉唐大厦9楼
电话: (0755) 2693 5188

东莞
广东省东莞市南城区宏远路1号
宏远大厦1510室
电话: (0769) 2240 9881

汕头
广东省汕头市金砂路96号
金海湾大酒店19楼1920室
电话: (0754) 8848 1196

海口
海南省海口市滨海大道69号
宝华海景大酒店803房
电话: (0898) 6678 8038

福州
福建省福州市五四路89号
置地广场11层04、05单元
电话: (0591) 8750 0888

厦门
福建省厦门市厦禾路189号
银行中心21层2111-2112室
电话: (0592) 268 5508

华中区

武汉
湖北省武汉市武昌区中南路99号
武汉保利大厦21楼2102室
电话: (027) 8548 6688

合肥
安徽省合肥市濉溪路278号
财富广场首座27层2701-2702室
电话: (0551) 6568 1299

宜昌
湖北省宜昌市东山大道95号
清江大厦2011室
电话: (0717) 631 9033

长沙
湖南省长沙市天心区湘江中路二段36号
华远国际中心24楼2416室
电话: (0731) 8446 7770

南昌
江西省南昌市北京西路88号
江信国际大厦14楼1403/1405室
电话: (0791) 8630 4866

郑州
河南省郑州市中原区中原中路220号
裕达国贸中心写字楼2506房间
电话: (0371) 6771 9110

洛阳
河南省洛阳市涧西区西苑路6号
友谊宾馆516室
电话: (0379) 6468 3519

技术培训
北京: (010) 6476 8958
上海: (021) 6281 5933
广州: (020) 3718 2012
武汉: (027) 8773 6238/8773 6248-601
沈阳: (024) 8251 8220
重庆: (023) 6381 8887

技术支持与服务热线
电话: 400 810 4288
(010) 6471 9990
E-mail: 4008104288.cn@siemens.com
Web: www.4008104288.com.cn

亚太技术支持(英文服务)及软件授权维修热线
电话: (010) 6475 7575
传真: (010) 6474 7474
Email: support.asia.automation@siemens.com

公司热线
北京: 400 616 2020

扫码关注
西门子中国
官方微信



西门子(中国)有限公司

西门子公司版权所有

本手册中提供的信息只是对产品的一般说明和特性介绍。文中内容可能与实际应用的情况有所出入,并且可能会随着产品的进一步开发而发生变化。仅当相关合同条款中有明确规定时,西门子公司有责任提供文中所述的产品特性。

手册中涉及的所有名称可能是西门子公司或其供应商的商标或产品名称,如果第三方擅自使用,可能会侵犯所有者的权利。