

轴承智能工厂设计思路与实践

总经理 郝宏伟

中机十院国际工程有限公司

白宇光 叶放

1 智能制造发展概述

1.1 新一轮制造业革命

2020 年对于中国制造而言却是极不寻常。一边是国际疫情持续蔓延，制造企业面临着稳产达产、订单交付等众多考验；另一边是数字化浪潮加速袭来，既是难得机遇也有严峻挑战。在新冠疫情冲击之下，智能化、物联网、大数据、人工智能等智能制造关键技术 in 抗击疫情中展现出逆势增长、化危为机的强大力量。率先践行数字化、智能化转型的制造企业展现出了极高的抗风险能力，在确保防疫安全的基础上，快速实现复工复产，以点带面实现突破，保障了国家整体经济的迅速重启，有序推进。

制造业是国民经济的主体，是立国之本、兴国之器、强国之基。党的十八大以来，习近平总书记在不同时期、不同场合，多次强调制造业的重要作用 and 地位，对“中国制造”转型升级作出重要论述。今年政府工作报告明确提出，推动制造业升级和新兴产业发展；发展工业互联网，推进智能制造；全面推进“互联网+”，打造数字经济新优势。

实体经济是国家经济发展的立身之本，先进制造业是做强实体经济的关键。事实上不仅只有我们将先进制造业看得如此之重，除了我国在大力推行中国制造 2025 国家战略之外，当今世界的工业发达国家无一例外都将智能技术与制造技术的融合发展，确立为提升国家竞争力的手段。例如大家熟知的德国工业 4.0、美国先进制造业，英国工业 2050、日本制造业白皮书和机器人新战略、新工业法国、

韩国制造业创新 3.0 等发展战略，无不凸显出先进制造业在争取国家的未来发展权中所肩负的关键作用。

国家战略	重点内容
德国工业 4.0 战略 德国工业战略 2030	构建以 CPS 为核心的智能工厂、智能车间 改变游戏规则的 突破性创新 、改变世界规则的 创新速度 、监管政策的原则
美国先进制造战略	关注 智能制造 和先进制造材料、生物医药、 纳米基因、清洁能源等新兴技术的研发、应用和产业化
韩国制造业创新 3.0 战略	促进 3D 打印、大数据、物联网等 8 项核心智能制造技术研发，大力发展无人机、智能汽车、机器人、智能可穿戴设备、智能医疗等 13 个新兴动力产业， 打造智能工厂
英国《高价值制造战略》	聚焦 高价值制造 和复合材料、低碳能源、生物制造等新兴技术研发、应用和产业化
日本“未来新工业和新市场的研究计划”及“机器人新战略”	研发智能化、数据终端化、网络化等世界领先机器人，并加以广泛应用；推动 ICT 技术与机器人技术协同，发展 人机共存未来工厂
新工业法国战略	实现工业生产向 数字化、智能制造转型 ，以生产工具的转型升级带动商业模式转型；协助企业进行 3D 打印、物联网（IoT）、增强现实（AR）等新技术研发
智能制造	以 智能制造 为主攻方向，推动中国制造业转型升级

新一轮制造业革命

利用新兴技术对传统制造业进行升级，以创新为驱动力的经济结构改造势在必行。要推动产品的制作精度、可靠性、一致性以及生产效率达到一个新水准，向自动化、数字化、智能化升级既是我国制造业的当务之急，也是先进制造业未来的发展方向。

1.2 中国智能制造发展现状

我国的工业规模早已位居世界之首。近年来，中国的经济发展已由高速增长转入高质量平稳发展阶段。作为中国经济高质量发展的核心支撑力量，我国制造业总体水平仍处于“工业 2.0”（电气化）的后期阶段，质量基础相对薄弱、产业结构不合理、资源利用效率偏低、行业信息化水平不高、劳动力成本提高。相对

发达国家普遍已进入“工业 3.0”（信息化）阶段，我国制造业迫切需要实现产业升级以应对高质量发展要求。

自 2015 年国家发布制造强国战略以来，相关部门机构陆续出台政策法规，扶持和推动智能制造产业发展，顶层政策的支撑也成为了我国智能制造发展的最大助力。2015 年起开始的中国智能制造试点示范项目现已公示四批共 307 个项目，2016 年起开始的智能制造综合标准化项目现已公示三批共 509 个项目，两项合计 816 个项目，覆盖近百个行业类别；通过聚焦关键环节、激发企业内生动力、注重标准先行，探索系统解决方案，在促进关键技术领域实现突破、产业协同创新，推动行业转型升级，形成各具特色的区域智能制造发展路径，带动社会投资等方面取得积极成效，成为了带动我国智能制造产业整体发展的排头兵。

巨大的投入带来了巨大收获。虽然在基础研究、先进设备制造、新材料等学科领域和发达国家还有一定差距，但目前我国已具备发展智能制造的基础与条件。一是取得了一大批相关的基础研究成果，掌握了长期制约我国产业发展的部分智能制造技术，如机器人技术、感知技术、复杂制造系统、智能信息处理技术等。以新型传感器、智能控制系统、工业机器人、自动化成套生产线为代表的智能制造装备产业体系初步形成。特别是在对于新工业革命最重要的信息技术领域，中国在人工智能、大数据、云计算、5G 通信和新能源等应用研究上，已经处于全球先进水平。

二是我国制造业数字化程度不断提高。近五年，中国工业企业在研发设计方面，应用数字化工具普及率已经达到 54%；在规模以上的工业企业中，生产线上数控装备比重已经达到 30%。根据德勤在一份面向中等以上规模且资质较好企业的数字化工厂调查中，83%的受访企业表示已打通 ERP 和 MES 的数据流；62% 的企业继续向下打通了 MES 到现场设备的数据流；有 47%的企业打通了产品数据流，44%的企业打通供应链数据流。尽管不同行业因其产业特质、产业集中度和产业

规模的不同，在不同环节的数字化水平各有高低，但是中国企业特别是头部企业的数字化整体水平已经显著提升。

	从生产计划到执行的数据流	设备数据流	产品数据流	供应链数据流
航空航天	● 100%	◐ 38%	◐ 25%	◐ 13%
新材料	● 92%	◐ 54%	◐ 46%	◐ 31%
电子及电器	● 86%	● 81%	● 62%	● 57%
制药	● 83%	◐ 50%	◐ 33%	◐ 50%
汽车及汽车零部件	● 80%	● 67%	◐ 53%	◐ 40%
高端装备制造	● 68%	◐ 53%	● 58%	◐ 47%

* 百分比代表打通数据流企业在本行业的占比

三是我国“智能制造产业带”已初步形成。以北京、上海、苏州、深圳等智能制造中心城市为锚点，随着国家智能制造试点示范项目的不断落地，全国各地各类智能制造产业园区如雨后春笋般不断涌现。据不完全统计，国内涉及“智能制造”的产业园区达到 537 个之多，地域分布覆盖整个沿海经济带以及中西部核心地区。目前已形成以上海、江苏、浙江为核心的长三角地区；以北京、山东为核心的环渤海地区；以广东为核心的珠三角地区；以四川、河南、安徽为核心的中西部地区这四大智能制造产业集聚区，中国“智能制造产业带”已初步形成。产业集群的形成将进一步提升各地区智能制造的发展水平，同时，依托于核心企业所孕育的大批智能制造上下游产业链企业，也必将成为我国智能制造产业发展的宝贵财富。

2 国内轴承行业智能制造发展现状

2.1 轴承行业智能制造整体情况

尽管近年来我国智能制造发展得如火如荼，但是轴承行业的智能制造却发展得较为缓慢。国家智能制造试点示范四期共 307 个项目，轴承行业无一入选；国

家智能制造综合标准化与新模式应用三期共 509 个项目，轴承行业也仅有 4 个入选。这种尴尬局面的出现也并非偶然，一是和轴承工业典型离散型制造的特点有一定关系，和流程工业相比，离散工业产品种类多、产品结构复杂，自动化程度较低，监测方式落后、工艺类型千差万别，没有统一的路径和通用的解决方案，在智能化改造上有着先天的不足；二是和我国轴承行业集中度低、企业大而不强、研发能力薄弱、行业利润率低等轴承行业现实发展状况有着一定的关联。

企业	项目名称
湖北新火炬	高端汽车轮毂轴承智能制造新模式
瓦轴集团	新一代先进轨道交通轴承智能制造新模式
洛阳轴研所	数控机床及机器人精密轴承数字化车间互连互通互操作标准研究与试验验证
	精密轴承数字化车间标准研究与试验验证

国家智能制造综合标准化与新模式应用项目入选名单

按照《中国制造 2025》的总体部署和我国轴承行业的实际情况，我国轴承行业推进智能制造的技术路线是：首先是推广数字化，进而推进网络化，最终实现智能化。然而目前我国轴承行业推进智能制造，无论是在观念上还是在作为上，都与《中国制造 2025》的要求有很大差距。全行业总体上还处在数字化刚刚入门的阶段，大多数企业正在进行单项数字化技术的应用，少数优势企业进入了单项数字化技术的综合集成。

2.2 大型轴承企业智能制造发展介绍

事实上，我国许多大型轴承企业都在积极尝试智能制造转型升级。尽管没有成为试点示范项目，但是通过智能化改造，很多企业都收获了超出预期的回报，发展智能制造已成为所有轴承企业的共识。

人本集团

人本集团先后投入 6000 多万元建立产品信息和管理信息统一平台，实现 MES 和 ERP 的高效协同与集成。基于自动化程度的提升和系统数据协同的改善，车间人员数量减少 50%，生产效率提升近一倍，设备运行率由 74.47% 提高到 95.31%，产品质量显著提高。人本集团在工厂智能化、装备智能化、产品智能化、服务智能化和管理智能化等“智造”上的高投入，也带来了巨大的回报。近五年来，新产品销售收入以年均 30% 的速度递增，人本集团正着力实施基于“IEM 系统”终端的数字化工厂，重磅打造工业 4.0 时代中国的智能制造企业，引领中国轴承企业转型升级，助推中国轴承制造业从世界大国向世界强国跨越。

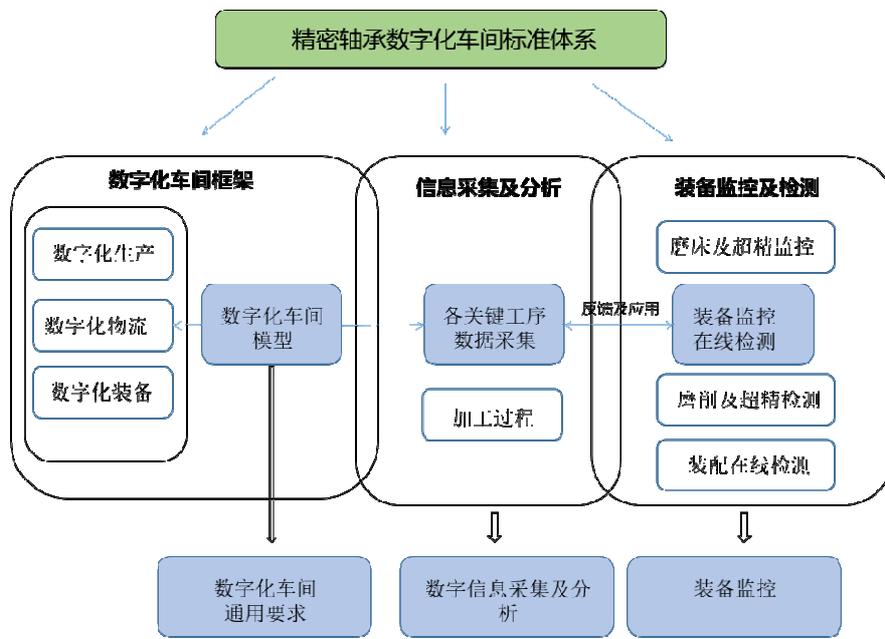
瓦轴集团

瓦轴集团《新一代先进轨道交通轴承智能制造新模式》项目重点通过“1 条主线-3 条辅助线-3 个智能化管控平台”内容的研究，实现贯穿设备层、单元层、车间层、工厂层的纵向集成，以及跨资源要素、互联互通、融合共享等横向集成，推动高端装备基础零部件离散制造领域的技术进步。项目目前已实现在线加工、检测、装备的全过程自动化，并与西门子签署战略协议，以“轨道交通轴承数字化产线项目”为起点，共同推进瓦轴智能化、数字化建设的实施和落地。

轴研所

轴研所《精密轴承数字化车间标准研究与试验验证》项目计划通编制《精密（高端）轴承数字化车间通用要求》、《精密（高端）轴承数字化车间数据采集及分析》和《精密（高端）轴承数字化生产过程装备监控与在线检测》三项标准，

制定出数字化车间信息数字化模型所采用的总体系统架构、应用场景、实现架构等系统级技术架构；在对车间软硬件系统信息建模的方法体系进行规范的基础上，构建数据采集关键工序及采集类型，并通过 MES 执行系统集成；基于 MES 信息集成，对数字化车间各工序生产运行装备及在线检测过程的管控研究，体现轴承产品工厂全生命周期数字化，能够实时对各过程状态、数据状态等进行分析及处理；继而构建实体和虚拟试验验证平台，对标准草案进行验证和优化；最终在 3 个精密（高端）轴承领域生产企业进行标准验证和首批滚动轴承产业联盟内 42 家高端轴承企业内推广，通过标准化方式带动高端轴承企业数字化车间建设，提升传统制造模式，提升轴承行业高端轴承产品品质和核心市场竞争力。



精密轴承数字化车间标准体系

哈轴集团

哈轴集团与沈机股份合作携手共建智慧工厂，沈机股份将帮助哈轴汽车轴承分厂进行数字化、智能化管理提升改造，在现有车间自动化生产线基础上，打造全过程透明、可控的数字化工厂，并搭建 WIS 智能化车间管理系统。

慈兴集团

慈兴集团从 2013 年起便开始实施 MES 和 ERP 两大信息化平台的建设,其“轴承制造车间数字化改造提升试点项目”与中科院合作,引进国内外专家和技术骨干 10 人,在装备自动化和信息化平台的基础上,研制智能化设备和软件体系,建立云平台,以数据规划、数据分析驱动车间数字化改造。目前试点车间共有 3 条智能化装配线,热处理车间已实现智能化无人操作,整体完成后人员可减少 30% 左右。

除此之外,像新火炬、襄轴、大冶轴、西北轴等很多有实力的轴承企业也都基本完成了自动化产线、MES 和 ERP 等信息化系统建设,个别企业已经打通了从生产计划到执行的数据流,向着数字化工厂和智能工厂稳步推进。

2.3 中小企业智能制造发展案例

大型企业唱戏,中小企业围观。这是几乎是所有制造业企业智能化进程中所出现的尴尬局面。基于成本、质量、环保等各方压力,中小企业对智能化的转型升级也有着迫切需求,但面临更大的试错成本和风险,稍有不慎就会落入到“转型就死”的境地。在中国,中小企业数量占到企业总数的 97.4%,绝大多数中小企业的自动化、数字化都处在非常低的水平。可以说,只要解决了中小企业高质量发展问题,就可以顺利解决中国制造业高质量发展的问题。

在这种情况下,“新昌模式”直击企业痛点,运用互联网思维,灵活运用物联网和云平台等工业互联网新技术,采用低成本、模块化的设备完成了中小企业的智能化基础改造;通过政府、企业、平台服务供应商、智库、金融等各主体紧密合作,成功开启了在中小企业成批推广智能制造方式的新局面。这种模式不仅在轴承行业取得了成功,也必将带动其他相类似行业加快智能化改造的步伐,为全国的智能制造提供可借鉴的样板。

以一家典型中小型企业为例,利用微智造系统改造后的生产线,工人从 350 人减少到 110 人,设备平均综合利用率从 50%上升到 75%,产量提升了 47.5%,单

位用工成本下降 82%、单位耗材成本下降 32%。最终体现在企业的综合效益上——2016 年产值 3200 万元，2017 年接近 5300 万元，2018 年突破 8000 万元。而更让人意想不到的是企业所投入的智能化改造成本仅仅需要几万元。

为了在中小企业中探索推广智能制造，2017 年下半年起，新昌以中小企业集中的轴承行业为切入口，开展智能制造“百企提升行动”，计划实施三期，最终实现地方 300 家以上轴承企业覆盖。同时由“陀曼智造”牵头创建的行业云平台——“轴承云”正在不断优化中，将系统解决轴承企业智能生产线的设备检测难、故障预防难等单一企业难以解决的问题。

新昌在轴承行业进行智能化改造，吸引了国际轴承生产巨头 SKF 集团前来落户。SKF 集团的负责人坦言，在对全国多个地方进行考察和比较后，他们认为新昌轴承产业链配套齐全，特别是先在轴承行业批量推广以智能制造促转型升级的举措，非常契合 SKF 集团对产业发展环境的要求。SKF 集团将在新昌投资超 1 亿美元建设占地 200 亩的球轴承生产基地，并将位于法国和中国上海的球轴承全球研发中心搬至新昌。

3 轴承智能工厂设计思路与实践

今天，我们处在物联网、大数据、工业互联网、智能制造等种种“新概念雾霭”之中，企业的数字化转型面临着各种各样的问题。那么我们能不能尝试把所有的问题都归纳为一个根本的问题？能不能找到这个根本问题背后最基本的矛盾？

一个最基本的矛盾，就是我们企业全局优化的需求和碎片化供给之间的矛盾。企业的竞争是资源优化配置效率的竞争，而这样的一个竞争需要在更大的范围、更广的领域，全流程、全生命周期、全场景的数字化转型。只有全局的优化，才能创造更多的价值。但是今天我们的智能化供给还是一个碎片化的，最典型的例子就是 OT（操作技术）和 IT（信息技术）的脱节，使得很多企业在通往智能化

的道路上陷入了集成应用困境。

那么如何处理好全局优化需求和碎片化供给之间的矛盾呢？我认为基于全局的智能工厂顶层设计是解决基本矛盾的第一步。

中机十院作为轴承工厂设计院，主要任务在于前期轴承园区的总体规划、工艺方案的制定，厂房、办公楼等建筑施工图纸的绘制。看似和前述的产线智能化改造升级没有什么关系，其实不然。从因果关系上来说，园区的规划要依据各个车间的规模；车间的规模要依据产线的布置；产线的布置要依据生产的工艺。可以看到，不论是企业的生产还是我们的设计，工艺都是处于最优先的地位，而基于数字技术的工艺仿真优化也正是我们为企业进行数字化智能化服务的最佳切入点。以工艺为起点的顶层设计能够让智能车间不仅仅局限于模型和数据的虚拟展示，而是真正充分挖掘出车间最大的效率和价值，得到资源优化配置最优解。

十院在轴承智能工厂设计转型中的两个关键词，就是数字孪生和企业中台。

3.1 数字孪生

数字孪生并不是一个新生事物。根据广泛采用的定义，数字孪生是物理实体的数字化镜像。研究机构 Gartner 已经连续 3 年将其评为全球十大科技趋势之一；另一家研究公司 Markets & Markets 则预测认为，由其所撬动的市场，有可能呈现指数级增长，在未来 5 年增长 10 倍，从每年的 38 亿美元增长到 358 亿美元。

数字孪生通过将物体、系统、流程的信息，利用数字技术实时映射在数字化系统中，对产品、制造过程乃至整个工厂进行虚拟仿真，从而让企业实时了解资产的状态、响应变化，改善业务运营，创造新的价值。

数位孪生是推动产品创新与性能提升的底层逻辑和强大支撑。用好数字孪生这个工具，可以缩短产品的研发周期、降低产品的试错成本、加速实现高度定制化的生产模式、精准的制定生产与测试环节、掌控产品的生命周期、提前拟定产品故障的应对措施、延长产品寿命，甚至改变商业模式。

现阶段，很多企业在构建数字化工厂的过程中，都已经应用到数字孪生技术，模型和数据呈现是最直观的，也是最为显而易见的表面价值。许多企业在完成初步的数据呈现之后，就止步不前，停止了对于数字孪生的探索。

其实，数字孪生的价值恰恰在于不可见的部分。从本源上来说，数字孪生的价值在于带来 APM（资产绩效管理）的提升，改进设备的性能。数字孪生的价值在于创建物理模型和数字世界之间的连接性，进一步分析各种要素之间的隐含关系，再通过一连串的处理、分析、判断之后，对物理模型产生反馈，改进和优化其价值。数字孪生的运用，有助于不仅联接“看得见、摸得着、想得清”的已知工业要素，还在于发现和联接那些“看不见、摸不着、想不清”的工业要素，建立这些要素之间的关联关系。

十院在智能工厂数字孪生方面的应用主要分为三个层级。

1) 轴承设备模型数据库建设

数字建模是实现数字化工厂的核心步骤，也是第一步要完成的工作，这个模型是承载未来所有数据，进行动态模拟展示和数字孪生的重要载体。在国家出台的智能制造试点示范项目的要素条件中，第一项内容就是车间/工厂的总体设计、工艺流程及布局均已建立数字化模型，对于智能工厂项目设计来说数字建模是先决和必要条件。

三维模型对智能工厂设计及运维的作用是决定性的，是传统二维设计无法比拟的。传统二维设计的输出结果是一张图纸，而各种数据管理和控制系统是无法从平面图纸文件中读取模型和生产数据的。只有将所有内容转化成三维模型，并针对不同模型赋予其不同的变量特征，才能够支撑整个数字化工厂的设计和仿真运维。

目前我们已经开始和轴承专用设备生产企业进行合作，使用三维建模软件建立轴承生产设备和输送系统组件的可变参数化三维模型。同时，我们也根据轴承

产品类别，将单机设备和输送系统模型进行组合，形成适合不同种类轴承加工的整条生产线的数字模型。

另外我们还对设备模型进行分类和索引，建立轴承生产设备数字化模型资源库，包括零件、部件、整机、线体等多个层级。在进行轴承工厂三维设计时只需从库中选取相应设备和产线进行调用，可以大大缩短三维工厂设计周期，简化设计过程。

2) 基于数字精益的工艺仿真

精益生产所追求的“创造价值，消除浪费”，也是企业最本质的追求。中国工程院院士谭建荣曾在多个场合强调：“精益生产既是智能制造的基础，又是智能制造的目标。”实现精益才是企业的最终目标，而智能化是为了更好实现精益的先进手段。随着数字化技术的发展，精益管理很多理念得以用数字化来实现，使得传统精益不断向数字化精益过渡，体现出了新的精益管理特征。

企业应该明确，智能制造不可能建立在无梳理、无优化、无精益的低效的生产模式之上，精益是必须要走的第一步，而且是投资回报最高的一条路径。因为精益几乎不需要企业做出额外的投资，只是在现有基础上重新配置生产资源就可以获得超出想象的回报。

我们数字化精益仿真的过程，主要分为三步。第一步，是以价值流分析与改善作为核心，利用机器人、智能检测、智能仓储、ERP、MOM、PLM等智能制造手段，对物料流和信息流的进行流程再造、体系重构和精益化设计；第二步，通过三维可视化仿真来进行验证、改进和迭代优化；第三步，以此为结果，指导智能工厂总体规划设计。将精益和智能有机融合，提升企业持续竞争优势，打造实用增值型智能工厂。

传统的精益需要通过不断的试错，而且提升效果难以量化，这也是很多企业精益化无法坚持贯彻的原因；而数字化精益通过仿真，可以迅速的找出问题并迭

代解决，各个环节都可以直观的通过数字量化提升结果，从而很容易计算出节省了多少成本。就是数字化带来的优势。

“多品种小批量”、“专、精、特、新”是当前轴承行业一个重要的发展趋势，但是很多产品没有通用的自动生产线，产品型号的增多，产品批量的不确定性，对企业的生产组织都提出了极大的挑战。我们十院也一直在思考如何为这些特色企业提供服务。而数字精益仿真就是我们目前探索出的一条行之有效的解决方案。通过数字化手段来评估任何一种形式产线的效率，这可以让你发现各个环节是不是真的紧扣资产利用率，员工利用率是不是最优？效率能不能提升？不用改变任何的商业模式，任何企业都可以通过建模、数字化仿真，都能找出提升的空间。我们也希望利用这项数字化、精益化、智能化的技术来为广大特色企业和中小企业高效赋能。

3) 打造“一体两面”的数字孪生工厂

当我们完成上述建模、数字精益工厂仿真设计，打造出虚拟的数字工厂之后，可以通过数字工厂指导物理工厂建设。当物理工厂顺利运营投产后，再将即时采集的生产数据反向定义虚拟工厂中的设备、产线，通过虚拟工厂实时展现物理工厂的生产运行状况，打造“一体两面”的数字孪生工厂。

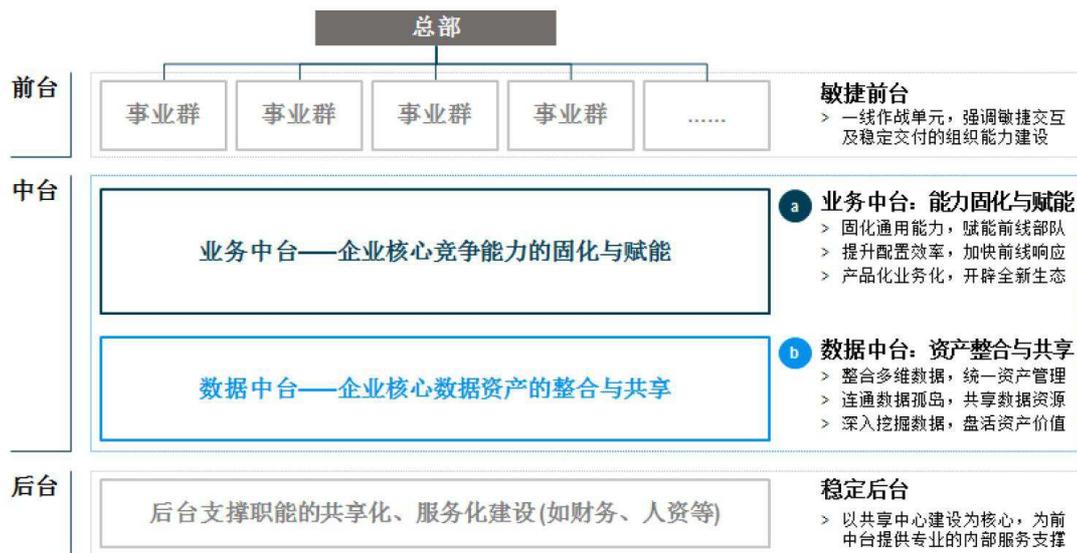
最终，我们再将前面所说的物联网平台、云平台应用、大数据和人工智能优化等技术数字孪生工厂基础上进行逐步叠加，便能走出一条完整的智能工厂设计、建设、运营的全生命周期流程。我们十院现在所做的建模和数字仿真规划，便是帮企业从顶层规划设计入手，夯实智能工厂整体规划设计的根基，让企业在智能化的进程中走得更为顺畅。

3.2 企业中台

“中台”概念起源于军事范畴，目前已逐步成为领先企业的共同选择。近三年来，代表性的互联网巨头相继按“小前台，大中台”的模式进行组织调整；

事实上，一些传统领域的领导企业亦陆续向打造具有自身特色的中台组织方向演进。

从设计院未来数字化转型来看，未来设计院的数字化转型存在两条路径：一是业务数据化。对成熟的运营场景提供中台化服务，通过成熟的业务来沉淀企业的数字化能力，让业务与技术相互融合，不断扩展业务边界、不断增强支撑创新业务的能力、不断深挖数据价值，将产品（服务）、客户、技术等企业经营核心要素，以场景化的方式沉淀和输出，通过数字化方式交互连接，让企业的运营更加快速、高效。二是数据业务化，抓住数字化转型过程中的新机会，提供新型产品（服务），通过数字化技术和中台共享能力，驱动商业价值的实现，为企业带来新的业务增量。所以设计院的“中台”一定是业务中台和数据中台的双轮驱动。



业务中台与数据中台

依据中台建设的思路，我们正在打造一个“十院绿色智能工厂平台”。和我们合作过的企业都知道，十院做轴承工厂设计，一直以来都是产品和工艺入手，可以说是高度个性化、定制化的为企业量身设计。这就造成了设计周期较长，对设计人员专业水平要求高等问题。那么我们建立这个平台，类似于一个业务中台，将建筑模型、设备模型、产线模型、生产经验数据等绿色智能工厂的设计要素以资源库的形式进行整合，将我们 60 年来积累的轴承工厂设计知识经验和优秀作

品都沉淀到这个中台之中，实现平台共享、快速复用、灵活扩展。再以经验丰富的设计团队作为稳定的后台内部支撑，实现对前台企业客户的不同设计需求做出快速设计响应，或进一步进行精益化深度设计。

将来我们为企业设计轴承工厂，利用这个设计平台，企业可以先选择一个模板，然后根据自身需求在其中进行个性化配置。我们根据配置，输出一个包含厂房和设备的虚拟工厂，然后将我们的生产线经验数据和生产管理系统加载到模型上，在虚拟工厂中模拟生产运行和迭代优化，在企业预期的各项生产指标和绿色指标得到验证后，依据虚拟工厂指导物理工厂建设，输出智能工厂全生命周期数字模型。

企业利用这个模型去建设、调试，就能迅速达产。后期如果有新增产线或设备布局调整，我们将新方案与原方案做仿真对比，立刻可以得出怎样调整效率最大化，为企业提供持续的技术支持服务。这就是我们十院在轴承智能工厂设计方面的转型，也是从单一的施工图产品输出，向“产品+服务”的数字化转型。

4 结语

随着互联网时代的迅猛发展，信息技术已逐步渗透进工业生产领域。数字化、平台化、移动化和物联网已成为制造业的发展趋势。纵观国际先进轴承企业，其高端轴承从研发设计到生产制造都离不开工业化和信息化的深度融合。智能制造是制造强国战略的主攻方向，也是中国轴承工业转型升级、提质增效的必由之路，我国轴承智能工厂和智能制造时代已然到来。

【参考文献】

- [1] 德勤. 2018 中国智能制造报告
- [2] 德勤: 工业 4.0 与数字孪生
- [3] 《2019 年智能制造诊断评估应用实施白皮书-数字化车间》. 机械工业仪器仪表综合技术经济研究所

- [4] 《2019 年中国智能制造发展现状及趋势分析报告》. 前瞻产业研究院
- [5] 彭昭.《大量承载“新基建”的基础设施,共享模式的“数字孪生”来了》
- [6] 安筱鹏.《解构与重组,迈向数字化转型 2.0》
- [7] 梅清晨.《精益智造,让智造回归本质》
- [8] 赵月松.《设计院构建“大中台小前台”模式势在必行》,《中国勘察设计》,2019:11