

可以为用户提供问题答案，为决策提供支持，改善客户体验等。这些功能使他们悄悄地成为企业的“新领”。

在某些岗位上，有了“数字员工”，人类工程师是否就无所作为呢？这不应该是我们所希望的。设想有一个具备一定创新设计能力的、基于类似TRIZ（前苏联根里奇·阿奇舒勒提出，基于知识的、面向发明问题解决理论的方法）的数字设计师。他含有大量创新设计的案例，可与人类工程师交互，能在相当程度上明白人的意图。人类设计师的介入可以弥补数字设计师的不足，且能够使数字设计师的智能增强。总之，人类设计师和数字设计师的作用可以互补，而且能互相学习，相互智能增强，不断提升设计水准。

3 未来制造的数字空间之灵

制造，无论如何离不开物理实体。制造中最重要的物理实体是产品和制造设备，最典型的物理实体莫过于各种装备。传统时代的装备和产品就是普通的物理实体，哪怕是一些看起来自动化程度很高的装备，也没有自感知、自适应、与外界自联结的能力。未来智能时代的智能装备或智能产品则不同，他们应该具有自感知、自适应、自联结，乃至一定程度的“自我意识”的能力。笔者称之为“物理生命体”。^[8]我们甚至可以把未来更加智能的装备或制造系统（一个制造企业，甚至其企业生态系统都可视为一个制造系统）看成“智能制造生命体”。

与传统制造系统相比，未来的智能制造生命体自然是更富活力、更有灵性的系统。那么其活力的驱动要素是什么？生命体的灵性何在？

数据是流淌在智能制造生命体中

的血液，它赋予智能制造系统生命力。非但如此，数据还是点燃智能制造生命体灵性之光的燃料。

虽然今天人们已经认识到数据的重要性，但无论是数据的使用量、数据内容、数据工具、数据使用的形式都不能适应未来“智能制造生命体”的需求。

今天的数据已经呈现爆炸性的增长，过去，数据都以关系型数据的形式存储在数据库、核心信息系统中。如今数据已经不只是在核心数据库、业务系统中，而是无时无刻不在制造环境中产生。工业互联网和协作网络以及各类联网智能设备都带来海量的数据，这些都是新时代的数据来源，如图5。如今，企业需要有从海量数据来源中获取有价值信息的能力。^[9]



图5 数据的多样性^[9]

未来的智能化公司与客户的关系会在售出产品后还会不断深化。利用技术和数据完善现有产品和服务，不断满足个性化的需求，并创造新的服务。重型商用车生产商戴姆勒卡车北美公司正在转型成为一家以数据为关键资产的智能化公司。从工厂车间驶出的每一辆戴姆勒卡车都是一项新的数字资产。一系列车载传感器和其他技术持续监控车辆的性能，生成数据，提供对卡车状况的实时诊断。通

过对车辆的性能数据进行分析，预测零部件何时可能发生故障，而不再是简单地向车主提供车辆状况报告。在紧急情况下，可指引车主前往附近的维修点，维修人员将被提前告知车辆问题并将确认所需零件的库存，立即协助解决车辆问题。

掌握设备或制造系统的运行状况，传统关系型数据库就有很大局限性。未来时序数据库的应用会越来越多。关系数据库将每次数据更改都记录为更新，与此不同的是，时序数据库会跟踪并记录数据变更以及变更的特定时间，并将每次变更的数据作为唯一值插入。数据集中来自IoT（物联网）和监控技术的临时数据规模呈爆炸式增长，在这一背景下，无论是历史分析还是预测分析都越来越依赖于查询某个时点的数值，并能持续精准和高效跟踪该数值的能力。^[10]

在产品开发中，数据有着特别的作用。有一种基于溯因逻辑（abductive logic）的创新思维模式。人们熟知的逻辑方式只有两种：演绎和归纳，前者是从一般推导到特殊，后者是从特殊推导到一般。这两种逻辑都是陈述式的（declarative logic），而溯因逻辑是发问式的，具有推测性的特征。设计师们经常采用溯因逻辑，他们积极寻找新的数据，不断挑战已被大众认可的规则和解释，努力推演和创造新的可能性。在设计师们基于溯因推理而得到的创意构想中，挑选出最有可能成功的构想，然后进行下一步设计，如此反复，为原型制作提供较为可靠的基础。^[11]需要指出，这种创新思维方式基于丰富的数据，因为大数据使得原型产生和迭代都能变得更加高效。可见，数据能使设计师更富有灵性。

岂止是产品的开发设计和生产过程运行,企业的战略与宏观经济密不可分。我国在相当长一段时间实行过计划经济,其思维方式的影响至今还存在。早在20世纪40年代,哈耶克就指出,经济社会的首要问题,是利用好分散在个人手中的信息的问题。这是因为我们在决策场景中所必需的知识,从来不是以整体的方式存在,而是以不完整、甚至经常矛盾的方式散落在不同个体手中。他认为像计划经济那样的“运算方法之出发点的‘数据’或‘基据’(datum),就整个社会而言,对于一个能够计算其结果的单一心智来说,从来就不是‘给定的’,而且也绝不可能是如此给定的。”“我们必须运用的有关各种情势的知识(the knowledge of the circumstances),从来就不是以一种集中的且整合的形式存在的,而仅仅是作为所有彼此独立的个人所掌握的不完全的而且还常常是相互矛盾的分散知识而存在的。”当我读到哈耶克的观点,真的惊叹他的伟大,那可是在20世纪40年代!

处在世界经济洪流中的企业,选择航道的出发点不能基于“给定的”数据,只能基于从宏观经济及自己相关的生态系统中挖掘和整合出的数据。只有在数字空间企业才有可能洞见行业趋势、宏观经济的走向及自身的竞争策略,否则企业不会有未来。

数据只是智能制造生命体的血液,要真正释放数据的力量,还需要一个魂。那么魂是什么?笔者曾经提到,数字孪生是智能装备的魂^[8]。对于更大概念的智能制造系统而言,数字孪生同样是它的魂,制造系统的数字空

间也因为数字孪生的存在而显现灵性之光。

为了从数字世界中获得对物理世界的洞察并提升敏捷性,企业首先要为数字孪生创建强大而全面的数据基础。当数字孪生连接到物理世界时,可将数据有效转化为可执行的洞察决策。但是,不完整或不正确的数据将导致错误的决策。除了历史数据之外,企业需要制定实时数据收集策略,发挥数字孪生提供的实时分析能力。企业可以根据实时数据构建数字孪生,以爱立信(Ericsson)和沃达丰(Vodafone)为例,他们正在与电动汽车公司合作开发未来工厂。该工厂基于互联机器和5G专用网络,每台机器收集并处理数据后,将其发送到公司的“大脑”——网络运营中心。这些数据为整个工厂的数字孪生提供动力:了解每个组件、组件到达时间以及组件组装和拆卸说明。新部件可以在需要的时候准时到达。人类员工使用的工具是互联智能的,可以根据当前数据和规格自动进行调整。^[13]

需要特别注意的是,数字孪生的概念不限于企业内部,应该适合于企业的整个生态系统。也就是说,作为智能制造生命体之魂,数字孪生贯穿在整个供应链系统,贯穿在产品的全生命周期。最初应用的数字孪生主要限于设备或产品,随着工业互联网、大数据、人工智能等技术的发展,孪生模型不仅拓展到生产的运行控制,而且进一步扩展到整个供应链系统。已有领军企业正在构建跨越组织全要素的智能化数字孪生,借助该技术创造与现实世界的工厂、供应链、产品全生命周期一致的数字镜像模

型,从而连接起一个更为庞大的实体网络。保时捷与材料供应商北欧化工(Borealis)、科思创(Covestro)和Domo Chemicals以及区块链供应商Circularise合作,在整个供应链中使用数字孪生,确保保时捷汽车的生产使用可持续材料。通过创建材料的数字孪生,Circularise在整个供应链中建立了数字线程,从而实现了材料的可追溯性并追踪了其他可持续性指标,如碳足迹和节水情况。在整个供应链中,各方均可更新数字孪生以反映产品制造流程和生命周期,从而为保时捷及其客户提高了透明度。

物流是供应链中的重要环节,供应链的数字孪生自然少不了物流的数字孪生。2020年7月,鹿特丹港与韩国大宇造船和海洋工程公司(DSME)签署了一项协议,要在智慧港口和智慧船只之间构建数字孪生接口。^[13]预计不久的将来,构建数字孪生的企业就能在港口环境中顺畅交接,而没有构建数字孪生的企业则徒有焦急等待,甚至望洋兴叹。

制造系统的物理空间和数字孪生空间,看似两个平行的世界,其实交汇于人的存在。无论怎么说,制造的数字空间之灵就是人类之灵的反映和进化。

本文所述及的三个方面均是技术的综合,总体上涉及众多的单元数字技术,如大数据、物联网、VR/AR、仿真、人工智能等。三个方面都是技术意识,企业管理者和技术人员把握这些意识,在未来的数字化转型中尤为重要。

让我们在数字空间一瞥未来制造闪现的灵光。7

(下转第09页)

陈学东院士：工业强基的国际经验与建议

陈学东

中国工程院院士、国家产业基础专家委员会主任委员

未来15年是我国制造业由大变强的关键时期。从制造大国向制造强国迈进，我们必须提升产业基础、做好质量和品牌建设。

工业基础薄弱是我国制造强国、质量强国、品牌中国建设的核心问题，也是制约我国制造业高质量发展的关键问题，为此我们需要从体制机制创新、研发机构建设、优秀人才培养等方面协同发力，不断增强企业自主创新能力，促进工业强基与质量品牌建设。

——陈学东 中国工程院院士、国家产业基础专家委员会主任委员

以下为陈学东在11月27日《财经》年会2022：预测与战略”上发言，全文如下：

今天给大家做一个“提升企业自主产业创新能力，推进工业强基和质量品牌建设”的报告。

报告分为五个方面。首先，十八大以来，以习近平同志为核心的党中央高度重视制造业发展，提出2035年我国制造业整体要达到世界制造强国阵营中等水平，十九大上又明确提出要加快建设制造强国、加快发展先进制造业。制造强国是我们国家实现第二个百年中国梦的重要指标之一，其内涵有六个方面，一是自主创新能力要



进一步提升，二是产业结构要进一步优化，三是制造业产品质量和品牌要进一步提升，四是要用绿色化、智能化的生产方式，五是供应链能够实现自主可控，六是体制机制得到进一步优化。

未来15年，我国面临的国内外形势比较复杂，一方面一些西方发达国家在高端产品对我们压制，另一方面一些发展中国家同我们争夺中低端市场，我国制造业面临双向受压的局面。新冠肺炎疫情爆发后，全球产业链供应链也出现了变化，纵向缩短，横向趋于区域化，我国制造业面临的机遇和挑战并存。

我们目前是制造大国，制造业增加值连续11年位居全球第一，2020年达到26.6万亿元，但大而不强，整体处于全球价值链中低端。2019年工程院组织专家对26类代表性制造业进行比较分析，结果表明，11类产业世界领先或先进，15类产业与世界制造强国差距大或巨大。

从制造大国迈向制造强国、质量强国、品牌中国的必由之路是工业强基。工业基础包括核心基础零部件/元器件、关键基础材料、重要基础工艺、工业软件、质量技术基础。工业基础是制造业产品质量性能的重要标志，是我国制造业核心竞争力的重要体

现。只有工业强基，我们国家的制造强国目标才能实现。总书记在2019年中央第五次财经工作会议上明确提出要发挥两个优势，实现产业基础高级化和产业链现代化。今年3月份，我国发布十四五规划和2035远景目标纲要，提出将科技自立自强作为国家发展的战略支撑，并对推进产业基础高级化和产业链现代化、保持制造业比重基本稳定、推动制造业优化升级以及落实双碳目标、持续改善环境质量等做出了部署。

我国的制造业目前大而不强，主要表现在四个方面：

一是自主创新能力弱、研发投入少，科技创新对国家经济发展的贡献率低，关键核心技术对外依存度高。二是工业基础薄弱，一些重要领域的高端基础件依赖进口，比如大型盾构机主轴轴承，电动汽车电液转向架；部分产品的一致性、稳定性、寿命和可靠性不高，寿命大概只有发达国家最好水平的30%，短板问题突出；质量效益指数低，缺乏国际知名品牌。三是资源能源利用率低。制造业单位GDP能耗是发达国家的2.6倍，与发达国家有很大差距。四是数字化、网络化、智能化技术水平亟待提升，部分企业仍在进行数字化“补课”，数字化、网络化制造尚处在初级阶段；数字化、网络化、智能化制造还在刚刚开始探索。

我国制造业之所以存在上述不足，我们分析大概有几个原因：

第一，我们科技创新长期以来处于跟踪模仿，自立自强不够，自然科学领域很少提出重大科学问题，技术领域原创性重大技术成果和变革性成果不多，企业自主创新能力弱，产学研



融合机制还没真正形成。第二，缺少顶层设计，工业基础研究重视不足，产业链发展不协调，整机、系统、成套设备与工业基础发展相脱节。第三，工业基础研究前期积累不够、后期投入不足，不能满足制造业高质量发展需要。第四，产业基础共性技术研究不够，科技与经济融合不足。全世界技术创新活动一般遵循三个阶段，一旦从基础研究到产品实现之间的中间环节弱化，技术创新链条就会发生断裂，科技经济两张皮就会出现。1999年以后，我国工业部门科研院所转制，大多无力从事行业关键共性技术研究，导致技术创新链条一定程度出现断裂。第五，企业自主创新能力不强，尚未成为技术创新主体。我国企业开展共性技术研究的基础条件差，制约了基础条件改善和创新能力提升；技术创新动力后天失调，不愿也不敢在高风险的长线研发项目中投入过高；企业核心技术与知识产权保护欠缺，侵权成本过低、追责门槛过高；企业技术人员待遇偏低，造成我国企业难以聚集高层次人才；质量技术基础投入不足，缺乏质量人才。第六，高校对科技经济融合、企业技术创新能力提升支撑不足。

下面我介绍一下日本、德国等工业发达国家在工业强基方面的经验做法。一是国家层面高度重视工业基础，制定专门的法律法规保护本国制造业；二是重视科研与产业的紧密结合，建立弗朗霍夫研究院等共性技术研发机构，加强行业共性技术供给，确保工业基础的可持续发展；三是政府、金融机构、行业协会合力支持中小企业的发展；四是重视多学科交叉融合、协同攻关；五是重视生产工艺的创新，工艺创新对产品创新的研究经费占比较高；六是重视质量基础设施建设，把质量基础设施建设上升为国家战略，加大计量、标准、检验检测、认证认可投入，占领质量品牌竞争制高点；七是重视整机企业与零部件、基础材料、先进工艺研发生产企业稳定的供需关系；八是建立全面系统的职业教育体系，为制造业产业升级输送大量具有工匠精神的高素质劳动力。

我来自于中国机械工业集团，我们集团有四支力量，一是包括30家转制院所的突出研发优势，二是拥有11家设计院的勘察设计能力，三是包括中国一拖、中国二重、中国恒天在内的重大装备研发制造基地，四是丰富的国际化经验，服务全球160多个国

家。我们集团的战略定位是锻造国机所长、服务国家所需。多年来，我们集团在企业技术创新能力提升、促进工业强基和质量品牌建设方面进行着不断探索，有以下几方面经验和大家分享：

一是重视产业技术基础能力提升，不断加大研发投入，着力解决重大装备基础领域的短板弱项，服务国家重大工程。二是重视转制院所行业引领作用，持续稳定支持转制院所开展行业关键共性技术开发，促进基础研究和产品实现有效衔接，勇做原创技术“策源地”；三是重视企业技术创新能力提升，鼓励有条件的龙头企业成为产业链“链主”，集聚高端生产要素，带动中小企业发展，驱动产业链转型升级；四是重视质量基础设施建设，深入实施精品工程，大力弘扬工匠精神和科学家精神；重视企业科技创新团队建设，在技术高地上构筑高峰，在优秀团队中产生领军人才。

未来15年是我国制造业由大变强的关键时期。从制造大国向制造强国迈进，我们必须提升产业基础、做好质量和品牌建设。下面我从体制机制创新、研发机构建设、优秀人才培养等方面提几点建议。

体制机制创新方面，一是要加强顶层设计、分类施策，形成可持续推进机制。二是进一步创新机制，激发企业自主创新活力。包括：提升企业技术创新话语权，发挥转制院所作用打造原创技术策源地，鼓励龙头企业成为产业链主、带动中小企业发展，鼓励企业加强应用基础研究，国家给予经费支持或税收优惠，加强对中小企业的支持力度、培养一批“专精特新”隐性冠军，进一步完善知识产权保护制度，



打造重点领域特色产业集群等。这是最近11月份国务院刚刚出台的《提升中小企业竞争力若干措施》，相信在不远的将来，我们国家中小企业创新活力会进一步提升，在我们国家产业基础提升和产业链现代化过程中发挥重要力量。三是对标世界一流、加强国家质量基础设施建设，加大研发投入，开发极端条件、高精度、高稳定性、可靠性计量与检验检测技术，健全国际、国家、团体标准体系，建立质量分级制度，开展高端品质认证，加快中国标准“走出去”，培育检验检测认证知名品牌。

研发机构建设方面，要围绕产业链布局创新链，围绕创新链布局未来产业链，建立健全共性技术研发机构。鼓励转制院所回归公益，成为原创技术“策源地”，为国家在解决关键问题上发挥重要作用。鼓励大型企业集团组建重大装备创新联合体，联合高校、院所、主机和零部件企业，形成上中下游、大中小企业融通创新良好生态。发挥高校在国家创新体系中的作用，支撑企业技术创新，参与企业项目凝练，帮助企业分析问题背后的科学技术问题，并结合自身优势，开展理论和应用基础研究。

(下转第14页)

