


数字化？智能化？ 中国企业智能制造现状究竟如何

 李炳积

中国多数企业机械化阶段已基本完成，所处阶段是自动化和数字化，而智能化则刚刚开始，而且智能制造主要集中在生产过程的首尾两端，很少运用于生产过程。推进智能制造的主要策略是鼓励自动化和数字化的短板补充，侧重于扶持智能化，侧重于扶持核心领域生产过程的优化。



搞“制造”，应精于机械、工艺、产品和自动化等工程问题；而搞“智能”应精于工程建模、机器学习（基于在线数据）和智能系统架构开发。本文从机械化、自动化、数字化和智能化的角度探讨各国智能制造现状，以及中国应有的努力方向。

各国智能制造现状

30年来，在智能制造领域，各国从早期侧重于智能设计的数值模型和离线模型，发展到以智能制造过程优化为目标在线智能系统，从传统行业进军新兴行业。欧美技术基础较好，对高端技术的开发相对容易；但是在中国，因技术基础的薄弱，要达到同样的效果，并不容易。

计算机在制造业的应用始于二十世纪50年代，到二十世纪80年代分化成多级计算机控制，其中的二级系统具备今天智能制造系统的所有功能。

在工厂智能系统开发中，凯斯凯特公司主导开发了金属冶炼的电炉、精炼炉

和连铸三套二级系统（智能系统）；美国俄勒冈公司通过智能系统解决其一系列生产过程优化问题，比如消除次品，成功开发出了结合微观组织模型、智能自学和不断升级的新一代二级系统，将硬而薄产品生产过程中的次品，由原来每天都有次品，优化至半年都不曾有同样的次品。

即使在早先智能制造这一术语尚未在世界范围流行的时期，这些公司就已经在做高端制造业的数据采集、工程建模、机器学习和智能系统架构开发，通过智能软件产生出生产过程的最优参数组合，转给基础自动化执行。

中国自二十世纪90年代起在钢铁业引进了一些智能系统（二级系统）；但是西方在模型方面至今仍对中国禁运（只提供可运行的DLL），导致中国在工程建模方面较弱。8千吨的设备，操作人员看到预报值超过4千吨时便不敢操作了；还有制定生产规程时，会出现以错凑错等问题。笔者参加了二级系统优化项目，期间

李炳积，德国工程和
美国软件双博士，30年欧
美亚各国智能制造经验。

利用本团队的模型优势，将南钢（美国技术）投资一百多亿元的智能产线的投资利用率提高了约 70%。之后进入新兴行业，开发了一系列项目，比如比亚迪锂电池项目。合作之初，比亚迪用极难建模的极片分切毛刺预报模型对模型水平进行严格考察，要求模型命中率 85%，而比亚迪锂电池项目团队达到了 98% 命中率，由此成就了项目二期（毛刺预警）和项目三期（刀豁口测量装置及模型预报），并针对中国制造业数据采集较弱的现状，成功应用行业上难度极高的软测量技术。此间，笔者还完成了一系列其他项目，比如在包括创维、TCL 和广业等十余家企业的电子制造项目。

中国企业的智能制造现状究竟如何？至少在智能制造的核心环节（生产过程的优化），比如工程建模、机器学习和智能系统架构开发方面，情况并不乐观。

现场智能制造项目中，企业完成了项目的工程问题建模和智能系统开发，以

及关键工具参数离线测量和在线软测量，尽管所提供数据基本满足以数据看板为代表的数字化制造，但是现场提供高质量数据并不容易。这样智能系统供货商的成本很大。企业对于现场遗漏数据的问题没有明确的惩罚制度，导致现场数据完整性较差。小企业往往根本无法采集所需要的高质量数据。

中国与欧美在核心领域 智能制造现状对比

暂不作信息技术和数字制造技术等方面的对比，也不谈在工业核心软件方面的差距，仅从智能制造的核心领域——工程建模、机器学习和智能系统架构开发来看，中国企业相对于欧美的现状究竟如何？从机械化、自动化、数字化和智能化四个发展阶段看，中国企业目前还在哪个阶段？

考察智能制造基本要求，从对相关要求的满足程度可以探测出各国智能制造的基本现状。目前机器人是努力方向之

工程建模、机器学习和智能系统架构开发主要功能

功能	详细操作
工程建模	<ol style="list-style-type: none"> 1. 所研究的、通常是有问题的设备参数、工艺参数、材料参数之间的协调 2. 所需参数的计算及相互关联 3. 来料参数和各类工程参数对产品质量的影响
机器学习	<ol style="list-style-type: none"> 1. 用大量在线数据反校工程模型系数 2. 来料变化、工艺变化，设备磨损和持续优化等，导致在线数据持续变化因而模型系数相应变化，由此模型与生产线即时绑定
智能系统架构开发	<ol style="list-style-type: none"> 1. 经机器学习的动态模型（大约 1/3） 2. 各种场景用例（大约 2/3），即工程师们对所有问题解决方案的总和，比如一些产品的独特生产方式 3. 类和模块等大型软件架构，及编程团队软件开发 4. MES、自动化、ERP 和实验室等的接口开发 5. 虽为无人操作，但仍使用操作人员以防万一

机械化、自动化、数字化和智能化操作涉及内容

阶段	主要内容
机械化	<ol style="list-style-type: none"> 1. 机械设备功能是否正常? 2. 物料质量能否达标, 是否稳定? 3. 工艺是否正确、工艺参数是否稳定?
自动化	<ol style="list-style-type: none"> 1. 自动化程度如何? 自动化过程是否正常、是否优化? 2. 机器人
数字化	<ol style="list-style-type: none"> 1. 基于高质量数据, 可得出上述问题的答案 2. IT (信息技术)+OT (运营技术) 为 IT 行业思维, 将所有工程问题统称为 OT, 适用于数字化 3. 数据看板可以展示很多问题, 但使用者必须有自己在生产线的智能
智能化	<ol style="list-style-type: none"> 1. 生产的工艺、设备、来料、产品和自动化方面深层的工程技术背景 2. 模型开发和为了模型自学优化而确定所需采集的数据, 数据准确性和可采集性等 3. 软件工程的机器学习、场景和用例整理; 智能系统架构 (数据结构、函数、类、模块和数据库等); 软件开发等

中国和欧美国家所处的机械化、自动化、数字化和智能化阶段

国别	现状水平
中国	<ol style="list-style-type: none"> 1. 机械化完成, 自动化和数字化正在全力推进中 2. 自动化和数字化注重补课 3. 不重视数据, 对数据丢失或错误惩罚力度不够 4. 智能化刚开始, 多在生产的首尾, 很少在生产过程
欧美国家	<ol style="list-style-type: none"> 1. 机械化和自动化早已完成, 数字化基本完成 2. 随着来料的变化、工艺的变化, 设备的磨损和持续优化等等, 在线数据随之变化, 自学后模型系数跟着变化, 因此在线模型与生产线充分绑定 3. 在基于在线模型和数据建立智能系统以优化生产方面, 多数企业都在尝试, 企业的水平决定了智能系统的水平 4. 生产线的核心是计算机系统 (智能系统), 无法接入计算机核心系统的设备很难使用

一, 但这只是在自动化层面上。要实现最优化的机器人, 首先必须对工程问题和工程参数进行建模, 然后利用所采集到的

高质量数据进行模型的机器学习; 此后的模型则与机械设备和生产现状深度绑定。基于这些可以开发出智能系统, 继而产

生出即时可变的、一直是最优化的生产参数，交给基础自动化执行。这最优化的机器人正是智能制造。这些，中国目前还不多，主要存在于一些平台商。

在欧美技术基础上做的大量优化与扩展（比如开发了新一代二级系统），因系统之庞大（常有百万行源程序）和逻辑之复杂，在开发中国项目时，主要是基于已有源程序改写。西方的智能系统通常都经历过几十年的技术积累，中国在此领域有待于提高。

当生产过程不够优化时，首先在无自动化的情况下进行诊断分析；这可以认为是在机械化层面。直到相关的问题都解决了，才对自动化问题进行审核。所有这一切都可以通过数字化加以快速诊断和总体确认，即当现场采集到高质量数据时，可以通过数据鉴别出哪个环节是弱点。现在市面上有一种“IT+OT 技术”（信息技术+运营技术），在数字化阶段将所有工程问题简化成 OT（尽管这对智能制造有些过于简化）。通过数据看板，确实可以看出很多问题，但是数据看板的使用者必须对生产过程有足够的理解。如果生产线只有数字制造，而没有智能制造，必须要有工程师对现场的指导，因为操作工人很难从数据上看出很多问题，更难根据复杂的数据找出解决方案。

中国在推进智能制造中鼓励自动化和数字化的短板补充，但也会由此导致对智能制造的误解而造成较大损失。比如在建智能产线时，因为不明确什么是智能制造，而将只建成了具有基础自动化、MES 和 ERP 的产线，误认为是智能产线。此类产线缺乏的正是智能制造的核心：智能系统。这类只有数据看板的产线只有工程师可以运行，问题较多，甚至出现了对此类智能产线投入则“快

死”，不投入则“慢死”的两难境地。

机械化确保产品能生产出来，自动化使得产品能自动生产出来（机器人），数字化以大量数据便于审核，以确保机械化和自动化的实现，而智能化确保最优化和无人操作（最优化的机器人）。

中国和欧美国家所处的机械化、自动化、数字化和智能化阶段目前国内很多较弱的企业仍然在机械化阶段，较好的企业则在机械化、自动化和数字化阶段。虽然通过数据看板能看出很多问题，但这只是在自动化和数字化领域的“补课”。中国企业数据质量是各家的软肋。欧美国家的机器人阶段早已完成，生产线主要依赖于自动化而非人工；而且绝大多数欧美国家数字化的需求已经基本上得到满足。在智能化方面，很多较好的欧美企业有较好的智能系统，稍微差的企业也正在努力尝试智能系统。

目前中国的智能制造主要在制造过程的首尾两端，比如智能仓储、来料及成品的运送等等，而对智能制造的主体过程，比如生产过程的优化，涉及的不是很多。欧美国家正在努力推进智能制造。在智能制造中，大量工作都编入智能系统中了，工程师或技术人员主要在后台持续优化此系统；优化后的系统由现场人员操作以完成生产；同时经理人员注重观察此系统。这样大家劲往一处使，生产持续优化。

政府资金

应扶持数据质量达到要求的企业

在这样的现状下，中国政府应该出台怎样的扶植政策？

两化贯标之后，政府的产业扶持资金更多转移到智能制造领域。政府对智能制造的扶持，应该考虑到下述的几点。

侧重于扶持智能化（对于自动化，数

字化和智能化的扶持加以区别。很多企业在自动化和数字化方面已经尝到了甜头，纵然在这些领域扶持力度不够，他们也会为着自己的利益而努力；但是中国的智能化刚刚开头，智能化的要求除了计算机系统和数据采集之外，更需要很深入的工程背景，所以智能化的难度要比数字化高很多；同时，由于中国技术基础的薄弱，在智能化领域的努力，在短期内投入产出比相对来说比较低，就更需要政府的扶持，否则中国的智能化将发展缓慢。

侧重于扶持核心领域生产过程的优化（有别于外围领域比如智能仓储）。核心领域智能制造技术含量高，作用大，需要的投入巨大，因而目前较少；外围领域比如智能仓储、AGV 小车等，目前已渐成气候，已经可以为企业带来较好利润，纵使不重点扶持，企业也会努力推进此领域。

依据数据满足智能制造高要求的程度进行资金扶持。促使企业注重数据质量：数字化只有在达到智能制造的数据质量要求时才应该得到资金扶持；如果数据不齐全，甚至有假数据等，不应该扶持。

培训资金注重扶持有智能制造经验的培训方。只有做过智能制造的人才会搞智能制造，才可能教会学员智能制造；政府的智能制造培训基金，只应该扶持具有相关培训资质的培训方；不懂智能制造的人，也可以百度出一堆介绍智能制造重要性以及介绍别的公司“做了什么”的素材；要杜绝这方面，使得政府的培训基金真正起作用。

中国应建立严格数据质量奖惩制度

欧美在智能化阶段，中国智能化刚开始。大多数中国企业的机械化阶段已基本完成，正在自动化和数字化阶段。

机器人是典型的自动化。数字化

的数据看板，能够使得机械化和自动化的状况一目了然，因而具有强大的应用前景。欧美国家的机械化和自动化早已完成，因此机器人已不是主要问题。除了极少数企业外，欧美国家的数字化也已经完成。

数字化中，数据质量是关键。中国企业数据质量不足是关键障碍。除了技术之外，管理是阻碍数据质量的主要因素，多数企业对数据丢失没有足够的惩罚力度。智能化是凌驾于机械化、自动化和数字化之上的最高级制造过程，对数据质量的要求远远高于数字化。

首先需要对一系列待研究的工程问题或工程参数建立模型，这就需要对工艺、产品、设备和自动化等工程领域极为熟悉；其次，需要采集高质量的在线数据，并基于此数据对工程模型进行机器学习，使之与生产线充分绑定。然后建立智能系统，将生产线的模型和大量的场景用例结合到智能系统中，并产生出即时可变的最优化的生产参数组合，交给基础自动化执行。

可见，智能制造是最优化的机器人。目前中国只在制造的头尾部分比如智能仓储方面进行了一定的智能制造，而在制造过程甚为稀少，主要是一些平台开发商。欧美国家技术较好的公司已经成功应用了智能制造，而技术一般的公司尚在努力中。

中国推进智能制造的主要策略是在数字化、自动化甚至在机械化方面的补课，鼓励自动化和数字化，同时鼓励智能化的开发与实施。中国各个企业要严格在技术和管理层面重视数据质量，在数据质量方面要有严格的奖惩制度。应该减少智能产线建设中忽视智能系统的行为。中国当前在何为真正的智能制造方面误解颇多，很多作为智能制造必要基础的数字制造甚至自动化制造，被当成了智能制造。❶