

智能制造的国际实践及中国机会

李洁

电子工业出版社工业技术出版分社

近年来，世界制造业主要国家都陆续发布了智能制造相关的战略和政策，美国再工业化战略的主要方向就是布局智能制造关键技术，推动软件和互联网技术优势反哺制造业，促进制造业智能化和数字化发展。德国则聚焦于制造过程和生产装备的智慧发展，工业 4.0 已经渐渐演变为全球战略，相关的协作框架和技术平台也不断完善。

中国适时推出《中国制造 2025》战略，并将智能制造作为战略的主攻方向，在战略出台后，智能制造专项也快速跟进，成为《中国制造 2025》的第一个落地专项。与此同时，日本、韩国和英国等国家也摩拳擦掌，不甘落后，以期在智能制造价值链上占据有利地位。

除了政府，一些制造业领先企业也纷纷加快转型，力图成为智能制造的主导者，其中实力最雄厚，战线最长的就是通用电气（GE）和西门子（Siemens）两家企业。

这两家企业对智能制造展开了系统性全价值链布局，且都是软件开发和硬件制造兼长。在这一轮变革中它们紧抓智能制造这条主线，致力于主导核心技术标准，构建产业技术生态。

稍有不同的是通用电气仍然代表了美国范式，强调用强大的信息通讯技术反哺制造业，所以工业互联网的概念成为美国智能制造的代表；而西门子则是德国制造的典型，更多聚焦制造环节，所以提到西门子智能制造的典型，关键词更多指向安贝格工厂、成都工厂。

我们也可以看到两家的战略布局有明显的差别，西门子更多的布局是生产端，“偏硬一点”，比如在成都建设的智能工厂，而通用电气的布局更侧重服务端，“偏软一点”，比如在航空领域利用智能产品来提供远程运维等智能服务。

个人认为，智能制造将会被制造业大国所引领、由装备制造业巨头来主导，智能制造的重心落在制造，不掌握核心技术、熟悉制造的过程，智能化则无从谈起，没有强大的制造实体，智能化则是空中楼阁。

有的国家，像韩国和英国，他们最多只能是参加、补充或者是在局部领先，有的国家，像印度等发展中国家，他们只能处于跟随地位，因为产业规模小，水平低。如果不出意外，德国和美国会占据智能制造的引领地位，在技术标准和游戏规则上掌握话语权，最终构建系统性竞争力。日本会力争在

(3) 以上内容是在一定的假设基础上的理论分析研究，对于实际应用中光纤定位精度的提高还需要进行进一步的实验研究。

参考文献

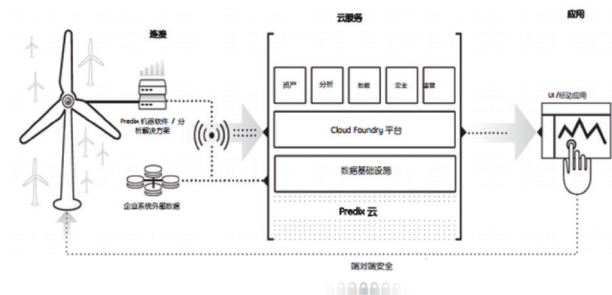
- [1] 邢晓正, 胡红专, 褚家如. LAMOST 光纤定位技术 [J]. 中国科学技术大学学报, 2007, 37(6): 596-600.
- [2] Cui X Q, Zhao Y H, Chu Y Q, et al. The large sky area multi-

object fiber spectroscopic telescope (LAMOST)[J]. Research in Astronomy and Astrophysics, 2012, 12(9): 1197.

- [3] 李为民, 邢晓正, 俞巧云, 等. LAMOST 光纤定位单元定位精度检测技术研究 [J]. 光学技术, 2001, 27(2): 165-166.
- [4] 胡红专, 李为民, 翟超, 等. LAMOST 双回转光纤定位单元的零定位装置 [J]. 机械设计, 2001, 18(12): 24-25.
- [5] 李增刚. ADAMS 入门详解与实例 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2014. 

优势领域不掉队，在机器人和机床关键等智能装备方面保持领先。而中国通过将智能制造和产业升级充分结合，构建完整的新工业生态，则有很大的机会实现并行乃至超越式发展。

智能制造是两个 IT 的融合



GE 的工业互联网平台 Predix 试图打通一直分道扬镳的硬件和软件系统

虽然主要制造业国家智能制造发展的路径有所不同，但其在方向和内涵上却有相通的地方，有人把智能制造概括为工业技术（industry technology）和信息技术（information technology）的深入融合，即两个 IT 的融合，不仅仅是叠加，而且要有乘数关系，是两个 IT 的平方。

我更赞成对智能制造进行广义理解，可以看到，当前这种融合产生于价值链上的研发、设计、制造、销售和服务等各个环节，通过数字基础设施的铺设，最终打通各个环节，形成虚实合一的生产系统。但普遍来看，制造是最难且最关键的一环，它以经验为主，有自己的话语体系，依赖于技术工人的经验，隐含太多的隐性知识，难以被“编码化”，如果没有深度理解产业知识，仅仅对表层数据进行收集分析，效果不大，盲目使用这些低质量数据来指导生产更有可能造成“内息走岔”。

纵观全球主要工业企业，能做到两类技术兼容并蓄的企业不多，这类企业往往需要有长度、有宽度、有高度、有深度。有长度是指发展时间长，熟知产业链的构成和特点，好比在一条复杂的公路上行驶，企业能知道在哪个直道可以加速，在哪个弯道应该减速。有高度是指企业占据产业链高端，掌握核心技术，再推进两个 IT 融合的时候能够找得准、捆的牢；有深度是指企业，充分了解行业中关键的隐性知识，能有效将智能技术和装备导入到生产环节，实现深层次的两个 IT 的融合。

近两年国际和国内上均出现一批智能制造典型企业，这些企业往往都是行业中的领先企业，掌握了行业内的核心技术，积累了充足的“隐性知识”，具有实施智能制造的“先发优势”。

智能制造的起点在工厂和车间

对于智能制造，各类观察者有着不同的视角，有的侧重于政策，有的侧重于企业战略，有的侧重于新的技术，而我认为可以选取一个更微观的视角——车间。

车间是劳动者、工业设备、生产技术以及原材料最终汇合的场所，纵观历史上英国、美国、德国和日本制造业的崛起，都是突出表现在它们从车间生产中获取了竞争优势。我们不得不去观察车间里发生的变化，生产要素的融合发生在车间，价值源泉是来自于车间，未来制造业的革命也将首先发生在车间中。

德国企业对于这一点是更加笃信不疑，其智能制造战略所考量的点也是围绕着工厂里的生产设备和生产方式的变化。工业 4.0 的主题也正是智能工厂和智能制造。

如果你参观过西门子成都工厂，站在二楼的通道里俯瞰整个车间，你也许会发现车间的布置和其他工厂并无什么不同，甚至在部分环节仍存留不少人工，但如果你了解智能制造的内涵，在解说以及想象力的帮助下，或许有可能“看到”生产线下源源不断的数据流。



西门子成都工厂生产线

西门子成都工厂不仅搭建了先进的生产设施，还构建了高效的数字化基础设施，这包括工业网络、数字化软硬件、数据库、智能技术等关键共性技术，所以工厂里不仅存在着我们能轻易看到的生产自动化、物流自动化，还广泛存在我们不易察觉的数据采集的自动化、管理的自动化，数字不仅

仅是生产过程中产生的结果，更是引导生产、优化生产的主要依据，制造业变成数据驱动型的制造，工人、装备和产品之间实现了互联互通，数据流和物质流以及价值流实现了有机统一，车间由“黑箱”走向了透明，这是革命性的变化。

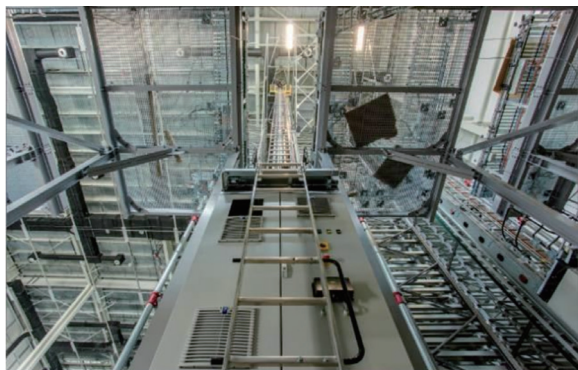
智能制造是 Evolution（进化）不是 Revolution（革命）

智能制造不是一个发展目标，它其实是一种工具和手段，或者可以理解成一种解决问题的方式。一些研究机构指出，“工业 4.0”不是一次 Revolution，而是一个较长时期的 Evolution。

企业实施智能制造，可以放眼长远，但同时也需做到脚踏实地，这既是一些业内专家所总结的发展智能制造要做到“眼高手低”。企业要结合自己在两个 IT 上的发展水平，即用数字化和信息化手段来一步步走向“更高、更快、更强”。

智能制造的发展需要用两条腿走路，一条腿是企业对工艺技术和产品技术的开发能力；一条腿是企业对信息化技术的应用能力，两个方面是相辅相成的，制造技术的推进会促进智能技术应用的深化，智能技术的导入也会在一定程度上助推企业生产水平的提升，这是一个动态联动的过程，任何一条腿有短板都会让企业走不快、走不远。

有的企业仅仅在用一条腿走路，且走的不是很稳，有的企业刚长出信息化的腿，正在蹒跚摸索，有些企业早已动身，现在大步前行，即使这样，他们还在不断学习完善，例如西门子德国安贝格工厂，它已用 20 多年的时间来发展智能制造，被业界称为“最接近工业 4.0 的工厂”，但它仍然有改进和优化的空间，而成都工厂在建设的时候也给未来的升级留下了足够的“扩展槽”和“接口”，比如它的立体仓库



西门子变频器堆取立体仓库

目前是 3 个货架，而设计容量则达到了 7 个，最有趣的是它的车间的布置，一楼布置电气和控制设施，二楼布置执行设备，二楼的地板上留下了许多圆孔，以便于后期设备的增添和调整。

今年 7 月，西门子成都工厂决定扩大成都“数字化工程”的规模，已建设完成的西门子一期项目以及正在建设的二期项目总投资将超过 10 亿元人民币，建筑面积将达到约 5.1 万平方米。

智能制造三要素

智能制造的形式和手段多种多样，行业之间和企业之间的差别很大，即使同一行业中相似的企业，也有可能从不同的环节开始，使用不同的技术手段，从完整系统角度来剖析具体行业或企业的智能制造，有三个要素是最基本的，它也是企业管理者在实施智能制造项目时必须思考的三个问题：生产什么？用什么设备？怎么生产？

第一个是：生产什么？（Product）

是指企业生产的产品。一般来说，制造业的智能制造可分为流程行业的智能制造和离散行业的智能制造，不同的产品，其智能制造的环节和模式有所不同，而且，在当前的技术条件下，并非所有的行业都适合发展智能制造。因此，我们在对两个工厂智能制造水平进行比较的时候，如果他们不是同一行业，同类产品，则对比的意义不大。

一般来说，流程行业总体的自动化、智能化水平要高于离散行业，而在离散行业内，产品的价值越高、产量越大、标准化程度越高、生产自动化水平越高、模块化程度越高、产品自身智能化水平越高的领域就越适合上智能制造。

以西门子成都工厂为例，它主要生产 PLC、HMI 和 IPC 设备，属于离散行业，简单地理解就是把各类零部件组装成各类工业电子产品。这些产品多是模块化产品，组装工艺标准化程度高，一些特殊复杂工艺环节已经实现了机械化和自动化，具有向智能制造进一步升级的基础。

但并不是所有生产工业电子产品的企业都实现了自动化，笔者曾经参观过几家技术水平相对落后的电子企业，这些企业所生产的产品档次较低，生产规模较小，而且制造装配环节多以工人的手工操作为主，整体处于 1.0 ~ 2.0 之间，这样的企业并不具备发展智能制造的条件，它首要的考虑是先做自动化的改造。

当然，对于生产什么，还可以做更深一步的理解，就是企业要想实施智能制造，必须对于他所生产的产品有本质上的理解，我们有时候去看一些智能制造做的比较好的企业，都是规模较大的企业，比如国内的海尔、蒙牛或者国外的西门子、宝马，我们总会想当然的把智能制造理解为一种投入，因为企业需要购买许多先进的设备，要对生产工艺进行彻底的改造，这些企业是行业内的龙头，它们财力雄厚，所以走在了前面。

其实智能制造不止是钱的问题，规模大仅是表面原因，最根本的优势是这些企业掌握了产品的核心技术，看透了产品的本质，摸清了生产工艺的特点。我们为西门子成都工厂每百万产品仅为 9.4 的出错率感到吃惊，但耀眼成绩的背后是工厂的智能制造系统覆盖了超过 1000 个测量点，企业知道哪些因素会影响到产品质量。这种能力是通过长期学习而来的，企业生产的越多，就理解的越多，正如庖丁解牛一般，企业可以做到“目无全牛”，它们看到的是牛的内部机理筋骨，然后就可以做到“以无厚入有间”，最后推行智能制造，自然可以走得快一点。



西门子成都工厂员工工作台

第二是：用什么生产？（Productivity）

这个主要考虑到机器、机器人和人三者之间的关系。

不同行业的生产能力构成是不一样的，比如在汽车制造行业，我们看到了大量的机器人替代了人，支撑了制造流，但是在芯片制造行业、饮料制造行业，机器人不多，但是生产的自动化程度也挺高，这就是专用设备在发生作用。

在许多地方我们还能看到大量的工厂是人海战术，比如笔者曾去过的贵州一家知名的辣酱工厂，大量的工人组成了生产线，企业也做了许多尝试，希望用智能机器和机器人替

代人力，但由于工艺上难以满足，至今没有取得太大进展。

我认为智能制造并非是用机器人去替代人，而是根据市场需求和生产需要做到最优配置，在组合中实现人尽其才、物尽其用，从这个角度来看，我们不能简单地用一个工厂的机器人数量或者工厂的无人化程度来判断它的智能水平，而是应该看工厂内人和机器人的协同程度。

即使是比成都工厂智能化水平更高的德国安贝格工厂，其自动化率也只是 75%，仍有为数不少的人在发挥着作用。来到成都西门子工厂，我们看到并非是带有科幻味道的无人工厂，虽然在物流、配送及检测等环节主要由智能装备来完成，但在组装、包装等工序上仍然存在许多技术工人，但在有人的环节也会通过智能化的辅助装备来规避人在能力上的短板，有效实现了效率、灵活性和可靠性的兼得。

比如在装配线上，我们看到有许多人工操作环节，自动小车运送过来将需要加工的零件运送到组工人的工位，这时候工作人员通过显示在电脑上的任务单，完成装配。生产中，生产订单由 MES 系统统一下达，并与 ERP 系统相集成，完成数据的实时传送，当产品要到达下一个工序前要通过严格的检验，整个生产过程中有 20 多个质量控制点，以保证产品的质量。在质量检测环节，也专门开发了视觉检测装备，它用相机拍照下产品的图像，与 Teamcenter 数据平台中的正确图像进行比对，瑕疵品将被挑出，这相比传统生产中的人工抽检要可靠和快速得多。



西门子成都工厂的 MES 系统向控制系统下达指令，指挥自动生产

第三个是：怎么生产？（Production）

智能制造是靠数据来驱动的，数据反映生产设备的健康状况，反映产品的质量，管理人员通过可视化的数据信息来优化生产，但这更要求企业掌握核心技术，找到关键的数据关系。

经济上的很多研究是将工厂看作黑箱，因为传统的生产模式主要靠经验，靠规章制度，靠企业文化，难以琢磨总结。但是智能制造模式下要更多的靠数据来组织生产，对于生产控制的决策主要依靠联通的、持续的智能数据，数据在各个层面和各个环节实现了整合，工厂变得越来越透明，设备对产品进行加工，产品在生产线上滚动，工人的一举一动，都在数据仓库中留了可追溯的数据痕迹。帮助管理者搜集信息、整合信息，辅助决策。

笔者曾经调研过一些工厂，他们在实施智能制造项目的时候就很难从经验驱动成功转向数据驱动，多数企业没有能力搜集完整且高质量的数据，但最大的制约是不能理解数据关系，它看不出 99 和 100 之间的差异，不掌握分析和利用数据的知识。

西门子成都工厂某种程度上可以被称之为数据工厂，通过数据的可视化，管理人员可以快速定位问题。在智能数据的帮助下，可以快速清晰地发现效率损失在哪里？质量问题发生在哪个环节？进而突破原有生产方式的极限。据西门子的工作人员介绍，这家员工总数不超过 500 人的工厂，年产自动化产品超过 250 万件，平均每 10 秒生产一件产品，每 100 万件产品中有缺陷的不超过 10 件，达到国际领先水平。这些指标远远优于那些雇佣了大量熟练工人的日本和德国的汽车工厂。

不仅仅生产过程是数字化的，生产工艺也逐渐被拆解，进而转向了数字化，此前生产的组织更多依靠经验型管理，各种规章制度给人的行为建立约束和边界，而未来则会由数据提供引导，每一个岗位都会变得“有据可依”。

例如在西门子成都工厂中的生产环节，由于是混流生产，



西门子成都工厂的自动防呆系统，零件盒的指示灯能够提示工人按需安装

零件盒上的信号灯会指示工作人员所需安装的零件，避免误操作；在包装环节，并没有实现机械自动化，但却实现了信息自动化，信息工作站会确认到达包装环节的产品是否完成了所有测试，与此同时，装箱单会被显示在屏幕上，如果所有的流程和工作步骤都完成了，工作站会把标签打印出来，如果没有通过，这项任务就将被锁住，停止运行，而且标签也不会被打印出来，想想如果没有实现信息自动化，这一环节不仅需要投入大量人力，还会成为最容易出错的一个环节。

中国机会何在

如前文所述，中国是目前最可能做到在智能制造发展上同美国和德国实现并行发展甚至是超越发展的国家，结合上文对智能制造的理解，可以看到中国发展智能制造的主要优势来自制造业内部，是一种内生的、自发的动力。

首先，最主要的优势来自于中国制造业的总体规模优势，目前中国已经是全球制造业第一大国，并且在许多产业已经做到全球第一，中国有大量的车间和工厂，拥有一批经验丰富的技术工人，我们在产业链上一些“点”和局部片段上已具备领先优势，这给制造业的智慧转型尤其是生产环节的智能升级提供了丰富的产业资源和实验空间。

其次，中国的装备制造业也已经是全球最大规模，目前在工业机器人、数控机床、3D 打印等关键智能装备领域形成了一定技术实力，同时中国在 ICT 装备制造商也形成了世界级的竞争力，这给制造业的数字化、网络化和智能化发展提供了强大的技术支撑。

最后，中国制造业的发展迫切需要加快转型升级，大幅度提高生产效率和产品质量，而智能制造正是一条切实可行的道路选择，尤其是各个行业内的领先型企业，市场竞争加剧和产业转型的压力使得他们不得不加快智能转型，而这些企业在重构自己的同时也重新塑造了整个产业。正如西门子成都工厂参观结束后一位记者感叹：“走着走着就上高速了，总不能还骑着自行车吧！”