

未来轴承智能制造的几点思考

北京发那科机电有限公司总经理 景喜瑞

20 世纪 90 年代美国陆军战争学院发明了一个词——VUCA，代表不稳定（Volatility）、不确定（Uncertainty）、复杂（Complexity）和模糊（Ambiguity）。他们在 20 年前用这个词展望冷战结束后的世界，而 20 年后的今天，毫无疑问我们就生活在这样一个 VUCA 世界。在这样一个不稳定的商业环境、竞争激烈并且变化多端的市场下，传统的商业模式和标准流程已经不再是盈利的同义词，甚至连公司的生存都很难保证。

今天，客户希望以更低的价格订制产品。因此，制造业就需要能快速调整以适应市场变化的生产方式——高柔性大规模生产。而智能制造可以实现这一需求。从 2011 年德国提出的工业 4.0 开始，数字化、信息化、更短的产品生命周期和高柔性这些概念在全世界变化着名字：在美国和英国叫“先进制造（advanced manufacturing）”，在法国叫“未来工厂（les usines du futur）”，在比利时叫“改变——未来工厂（made different - factories of the future）”，在荷兰叫“智慧制造业（smart industries）”，在中国是“中国制造 2025”。而不论名字如何，它们都意味着要将人、设备和资源互相通讯、连接起来。现在，如何在这种互联互通的方式下创新地思考和行动是所有企业管理者最应关心的问题。

今天，智能制造已经不再仅仅是一个远景，它将真切地在未来 20 年改变我们的世界。要实现智能制造，作为世界制造业大国的中国应该走什么样的道路？轴承行业作为制造业的基础行业，未来又将会面临怎样的挑战？下面就这些话题和大家做一个简单的探讨。

1. 中国实现智能制造的思考

随着德国“工业 4.0”战略的提出，美国和中国等主要工业大国也相继出台了各自的制造业国家战略，形成了事实上的新一代全球化工业革命。

在这一制造业发生深刻变革的关键时期，中国企业到底应该如何才能把握住本次工业革命的机遇，制订出正确的实施战略，这是事关企业能否健康发展、乃至能否生存的关键，也是当前很多企业非常关心的问题。而通过分析中、德、美三国制造业战略的异同，就能帮助中国企业发现实现新一代工业革命的最佳突破口。下面就与大家分享一下这三个战略的基本情况，以及对其异同的探究。

2. 自上而下的美国模式

在 2008 年金融危机之后，美国政府意识到了工业在国家经济中的重要性，认为工业是国家竞争力最重要的组成部分，于是出台了一系列国家计划，如 2009 年 12 月，公布了《重振美国制造业框架》，2011 年 6 月和 2012 年 2 月，相继启动《先进制造业伙伴计划》和《先进制造业国家战略计划》，以实现“再工业化”国家战略。

在此情况下，作为美国制造业先锋的通用电气（GE）公司率先提出了“工业互联网”概念，希望生产设备与 IT 相融合。目标是通过高性能设备、低成本传感器、互联网、大数据收集及分析技术等组合，大幅提高现有产业的效率并创造新产业。随后 GE、IBM、思科、英特尔和 AT&T 等 5 家行业龙头企业联手组建了工业互联网联盟（IIC），将这一概念大力推广开来，以期打破技术壁垒，形成跨产业界的联动，通过促进物理世界和数字世界的融合，而释放所有工业领域的商业价值。“其目的旨在加快互联机器与设备的开发、采集和广泛使用，促进智能分析，并为工作者提供帮助”。现在，工业互联网联盟成员已超过 240 家。

可见，美国的“工业互联网”概念更加注重软件、网络、大数据等“软”对于工业生产与服务领域的颠覆。“工业互联网”是美国重塑其制造业全球竞争优势的重大战略部署，依托 GE、苹果等制造业巨头和 Google、IBM 等 IT 明星，借助互联网带动制造业的重构。

在典型的工厂网络层级结构中，ERP、MES 等企业软件信息层处于上层，而 CNC、PLC、机器人等设备层处于下层。因此，美国的工业互联网是典型的自上而下的战略，即从互联网下延至设备层，从信息化下延至工业化。美国作为互联网的发源地，期望凭借强大的互联网优势，以革命性的方式带动制造业技术、产品、服务的全方位创新

3. 自下而上的德国模式

“工业 4.0”是德国政府 2011 年 11 月公布的《高技术战略 2020》中的一项战略。2013 年 4 月，德国机械及制造商协会、德国信息技术、通讯与新媒体协会、德国电子电气制造商协会合作设立了“工业 4.0 平台”，并向德国政府提交了平台工作组的最终报告——《保障德国制造业的未来——关于实施工业 4.0 战略的建议》。报告提出，德国向工业 4.0 转变需要采取双重策略，即德国要成为智能制造技术的主要供应商和 CPS（信息物理系统）技术及产品的领先市场。

动态配置的生产方式是工业 4.0 的核心之一，主要是指从事作业的工作站能够通过网络实时访问所有有关信息，并根据信息内容，自主切换生产方式以及更换生产材料，从而调整成为最匹配模式的生产作业。动态配置的生产方式能够实现为每个客户、每个

产品进行不同的设计、零部件构成、产品订单、生产计划、生产制造、物流配送，杜绝整个链条中的浪费环节。与传统生产方式不同，动态配置的生产方式在生产之前或者生产过程中，都能够随时变更最初的设计方案。

总的来看，工业 4.0 战略的关键就是通过 CPS（信息物理系统）网络实现人、设备与产品的实时连通、相互识别和有效交流，从而构建一个高度灵活的个性化和数字化的智能制造模式。在这种模式下，生产由集中向分散转变，规模效应不再是工业生产的关键因素；产品由趋同向个性转变，未来产品都将完全按照个人意愿进行生产，极端情况下将成为自动化、个性化的单件制造；用户由部分参与向全程参与转变，用户不仅出现在生产流程的两端，而且广泛、实时参与生产和价值创造的全过程。德国是雄冠全球的制造业强国，期望借助“工业 4.0”进一步提高制造业的自动化和信息化水平，继续领跑全球制造业。

可见，相比美国工业互联网的“软”，德国的工业 4.0 则是凭借国家强大的制造业“硬”实力，在这一基础之上，最大限度地应用 IT（信息技术），从而实现自下而上的产业革新。

4. 上下融合的中国模式

作为制造大国，在这种国际大背景以及国内“三期交叠”（即经济增速换挡期、结构调整阵痛期、前期刺激政策消化期）的严峻形势下，中国政府高瞻远瞩，经李克强总理签批，由国务院于 2015 年 5 月 8 日公布了《中国制造 2025》制造战略规划。规划提出了中国制造强国建设三个十年的“三步走”战略，同时也是第一个十年的行动纲领。希望借鉴德国工业 4.0 的思路，制订适合中国国情的国家发展战略，实现中国制造由大到强的战略转变。

在“中国制造 2025”的指导思想中，高屋建瓴地概括了规划的内容：全面贯彻党的十八大和十八届二中、三中、四中全会精神，坚持走中国特色新型工业化道路，以促进制造业创新发展为主题，以提质增效为中心，以加快新一代信息技术与制造业深度融合为主线，以推进智能制造为主攻方向，以满足经济社会发展和国防建设对重大技术装备的需求为目标，强化工业基础能力，提高综合集成水平，完善多层次多类型人才培养体系，促进产业转型升级，培育有中国特色的制造文化，实现制造业由大变强的历史跨越。

从指导思想中可以看出，我国制造业普遍存在创新能力、产品质量、可持续发展、产业结构和人才队伍方面的问题。相比德国，我国制造业的基础和实力还有很大差距。而我国的 IT 产业，近年来虽然涌现出了一些像百度、腾讯、阿里巴巴和华为这样的跨国 IT 型 IT 企业，整体发展水平相比制造业在一些方面站在了世界前列。但是，这些企

业和美国 IT 企业相比还是非常年轻，其业务聚焦在制造业的比重也不大，因此并不太具备用来改善制造业的技术经验。

综上所述，在实现制造业跨越发展的模式选择上，中国既无法选择像美国一样自上而下的模式，也无法选择像德国一样的自下而上的模式。中国必须走出一条具有自己特色的上下融合之路，即“中国制造 2025”中提出的“两化深度融合”。需要特别注意的是，在融合发展过程中，“信息化”和“工业化”同样重要。只单独发展“信息化”或只单独发展“工业化”均无法使国内企业真正实现智能制造。

5. 未来轴承制造的两个挑战

在全球一体化的压力下，制造业在一段时期内将遭遇一些挑战，主要包括：更短的产品生命周期、高度定制化的产品需求、以及来自全球不同市场的激烈竞争。这些挑战已经在手机市场得到了证实：在手机的功能性和复杂性日渐提升的同时，其产品生命周期已经降低到了 6~9 个月。汽车行业也同样发生着类似的变化。在这种产品越来越复杂但产品生命周期日益受限的情况下，计算机辅助（CAx）技术在产能爬坡优化和加速阶段的重要性越来越高。虽然近十年来通过应用 CAx，产品在设计和规划阶段的柔性得到了提高，但是在产品实际生产阶段依然需要一个突破。更高的产品多样性和更短的产品生命周期需要一种更灵活和柔性的生产结构，在这种结构下可快速根据新产品的需求重新配置生产方式。在当前传统的自动化生产方式下肯定无法达到这样的柔性程度。取而代之的是，作为物联网（IoT）的一部分，由智能设备组成的模块化工厂结构将是实现可调整生产场景并克服现有挑战的关键因素。

轴承行业作为制造业的一个基础行业，也会面临一系列的挑战。这里举两个例子与大家共同分析探讨。

6. 高柔性大规模生产

现代轴承行业的制造生产，特别是中小型轴承的制造生产，其产品基本上具有少品种大批量的特点。因此，此类大批量轴承的生产线自动化程度很高，生产效率和设备利用率也很高。但只能加工生产线设计时对应的一种或几种非常相似的产品。随着如今产品的高速更新换代，客户需求的不断精细甚至定制，市场对多品种小批量轴承产品（10~1,000 件/批次）的需求越来越多。面对这样的情况，这种“刚性”或低柔性的生产线要么无能为力，要么调整成本过高。因此，提升生产线的柔性，并保持大规模生产一样的低成本——即高柔性大规模生产是未来轴承智能制造的一个重要挑战。

要实现高柔性大规模生产，可以从如下几个方面着手。

1) CNC 替换 PLC。在轴承生产中使用了大量的磨削机床。因一些低柔性生产线中的磨床

生产工艺比较单一，因此其控制系统并未使用专门用于机床控制的数控系统(CNC)，而是使用了可编程逻辑控制器（PLC）。PLC 与 CNC 在机床控制方面一个重要的差异就是加工程序的编写和修改方法。PLC 只能通过编写 PLC 程序的方式来编写加工程序，而 PLC 程序的编写和修改都需要在专门的 PC 软件中完成，无法方便地在人机界面（HMI）中进行。每次编写或修改后都需要经过专用软件编译，下载到 PLC 控制器中方能使用。而 CNC 作为专门的数控机床控制器，可以方便地在 HMI 中通过标准 G 代码编写和修改加工程序。因此，应用在机床上时生产柔性明显高于 PLC。

- 2) 增加机器人的应用。在当前少品种大批量轴承的生产线中，因为产品类型比较单一，所以产品在生产线的运输、以及在各个设备上的装卸往往都是通过传送带、滚道或专用装置完成的。很少引入机器人参与生产加工。因为在单一品种大批量生产的情况下，这种方式的效率较高，而将机器人引入的话，反而会降低整条生产线的效率。但是，这样的生产线要么几乎无法换型，要么一旦换型，所耗费的时间和人工精力也将是巨大的。而机器人天生就具有高柔性的特点，比如发那科的智能机器人，具有类似于眼睛的视觉传感器和类似于触觉的力传感器，可以根据现场和工件的具体情况自主地完成所需工作。如果应用得当，则完全可以在满足效率要求的前提下，大幅提高生产线的加工柔性。
- 3) 减少生产操作人员。虽然人是柔性最高的生产参与者，但是与机器相比人同样具有生产效率较低和自由散漫的特性。因此，如果只追求高柔性生产，当然由全人工组成的生产线最合适。但是，如果追求的是高柔性大规模生产，那么在生产操作部分减少生产效率较低、且可能带来不可控因素的操作人员应该是更好的选择。何况，中国的用工成本逐年递增的趋势愈来愈明显。在市场竞争和波动加剧的今天，人员流动的风险和企业对用工需求调整的难度也越来越高。未来，以合理的成本雇佣合格的生产操作人员将越来越困难。因此，企业应未雨绸缪，为应对这些变化早做准备。
- 4) 发展通用工装。目前在轴承生产线上使用得大多是根据产品类型制作的专用工装，价格昂贵，用途单一，生产换型时也需要更换。当产品品种增加时，工装的种类和数量也得相应增加。因此，发展通用乃至万用工装是提高生产柔性的必备条件。
- 5) 以物联网为核心的智能工厂。正如德国工业 4.0 报告中描述的那样，未来工厂中的产品、设备、资源和人将通过物联网（CPS）有机地结合在一起，智能产品根据各自的工艺需求自主地在模块化结构的工厂中移动，实现高柔性高效率的制造。当然，工业 4.0 的这个描述是制造业的一个长期目标，一个远景，无法在短期内实现。企业可以先将比较容易接入物联网的节点连接起来，将物联网的架构搭建起来，再慢

慢实现将产品等现阶段不容易接入的节点连接到网络中。

发那科在今年 4 月联合思科、罗克韦尔和 PFN 公司共同发布的 FIELD (Fanuc Intelligent Edge Link & Drive) 系统就是一个专业的工业物联网平台。这个系统可以接入数控机床、机器人、PLC 以及传感器等众多现场设备（不局限于发那科品牌）。在现在非常热的“云计算”之外，FIELD 系统更强调离用户现场更近的“雾层”的应用。因为“云”服务通常都部署在远离用户现场的地方，甚至是其他国家。在应用时，如此长距离的大数据传输就有数据通讯和数据安全方面的风险。而且，很多时候对大数据的处理无需发送到“云端”。在离用户现场更近的“雾层”通过合适的应用软件就能完成数据的分析处理。另外，FIELD 系统是一个开放的平台，它就好比是智能手机的 iOS 或者安卓操作系统，允许第三方公司在其上开发应用软件（APP），满足多种多样的智能制造需求。比如，发那科的 SCADA 软件 Link-i 和 ZDT 就可以视为 FIELD 系统上的 APP。同时，FIELD 系统还支持 PFN 公司开发的人工智能应用，将机器学习和深度学习应用到工厂的实际生产中。

7. 更好的质量一致性

随着我国轴承行业的发展，我国生产的轴承产品逐渐进入了国内外一些非常注重产品质量的用户的采购范围。不过这些客户不仅重视产品的质量等级，更看重产品的质量一致性。比如美国通用汽车公司，如果产品能满足其 GMW14840 和 GMW16311 轴承检测标准，则意味着有很高的质量水平。不过，一旦有一件产品被通用汽车发现质量问题，则供应商就会面临极大的换货成本压力。做一件高质量的产品不难，难的是高质量地生产每件产品。而未来，将有越来越多的客户注重这方面的要求。

另外，轴承套圈和滚动体的精密磨削工艺是一个经过了多年应用、实验和分析的，非常成熟的工艺过程。到目前为止，很多应用磨削工艺的公司都认为这一技术已经接近顶峰，几乎没有什么新的或重大的技术发展空间了。然而一台典型的轴承磨床生产的套圈和滚动体的质量，会随着砂轮的磨损而发生恶化。随着砂轮的磨损，被磨削工件的表面质量的变化将会增加。对于轴承套圈和滚动体来说就意味着表面粗糙度、工件直径和锥度的变化。而且，这些质量不一致的零件在装配后又将导致更大的偏差。

可见，实现更好的产品质量一致性是轴承行业未来的一个挑战。要克服这一挑战，可以从如下几个方面着手。

- 1) 改善磨削加工的一致性。现在的数控系统已经具备智能机床控制的一些功能，可以通过在磨床上增加一些过程传感器和测量设备，来获取一些信息。比如声发射、磨削功率和模型力等。再将这些信息发送到数控系统控制器，以便持续评估每一个砂

轮的过程状态，并自动且及时地调整机床设定。当然，如何调整机床设定需要轴承企业总结多年的制造经验。如果设置得当，即意味着每一个零件都有自己独特的磨削参数，从而使每一个零件达到完全一致的表面质量。

- 2) 提高产品检测的自动化程度。检测是保证产品质量一致性的重要手段，而首先要实现的应该是对产品在生产过程中 100%检测。如果 100%检测对生产效率产生了影响，则应考虑改善检测的方式，提高检测的自动化程度。另外更为关键的是，不论是自动检测还是人工检测，都应尽早实现将检测设备接入物联网，使检测结果实时上传、保存，以便减少人工检测的人为干扰因素，实现产品质量追溯管理。
- 3) 最佳实践的总结与推广。在物联网的帮助下，企业可以从各地工厂的大数据中总结获得更好质量一致性的生产工艺、生产管理、运营方式等最佳实践。同时也可以通过网络，将这些最佳实践迅速推广到各个工厂中，形成新的标准体系。从而确保各个工厂生产的一致性。