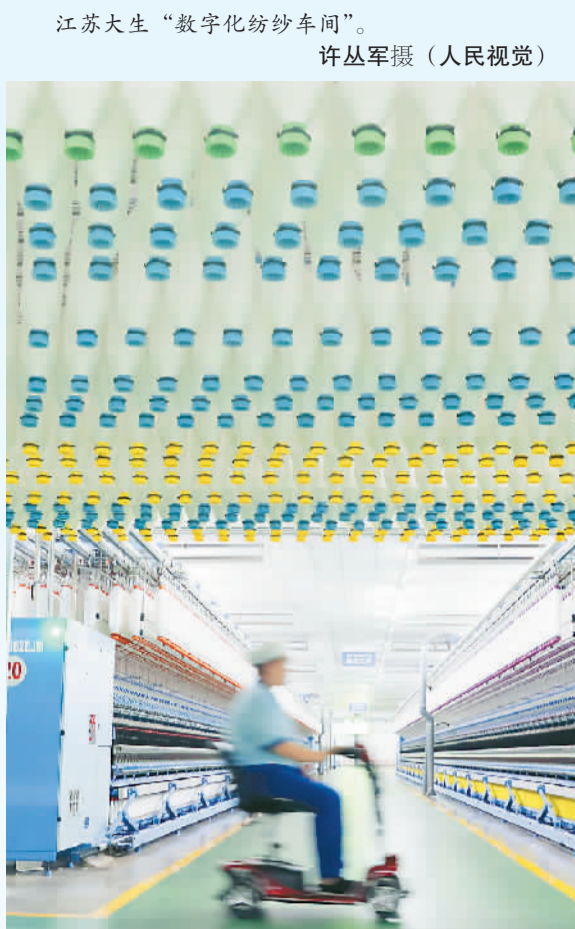




三一重工“灯塔工厂”。 三一重工供图



江苏大生“数字化纺纱车间”。
许从军摄（人民视觉）



江西省赣州市会昌县加大对智能制造项目的奖励和支持力度，助推县域经济高质量发展。图为正在建设中的会昌县氟硅化工产业基地。
朱海鹏摄（人民视觉）



10月25日，第十七届中国（玉环）国际机床展上，客商在观看工业机器人。
段俊利摄（人民视觉）

新业态新模式之新观察⑥

小订单也能生产 个性化更有市场 柔性制造 中国智造

本报记者 叶晓楠

今年9月，在湖南长沙的工程机械企业三一重工的国际营销公司收到一个来自海外的特殊订单，对上装主动力、前支腿、底盘、控制系统以及着色都有特殊制造要求，而且这样的泵车，对方只订了一台。
这样的单子接不接？现有的生产线，能不能满足这种特殊要求的泵车生产要求？

“当然接啊！仅仅17天，符合客户需求的泵车便顺利下线。”三一重工泵送事业部智能制造所所长饶有福告诉本报记者。
原来，三一重工的秘诀就是今年投入使用的长沙18号智能工厂的柔性生产线。“原来的制造周期需要28天左右，通过对生产线的柔性化改造后，制造周期缩短了近40%。”饶有福笑呵呵地说。

柔性制造，对于普通大众而言，可能还是个有些陌生的词汇。但是，近年来，“柔性化生产”“柔性制造”一直备受关注，除了大批量的刚性生产产品外，多品种、小批量的柔性制造产品方兴未艾，众多企业纷纷尝试柔性制造。
柔性制造魅力何在？如何看待柔性制造的发展前景。对此，本报记者进行了采访。

满足差异化消费需求

在吉利马来西亚宝腾工厂，广州明珞装备股份有限公司承接的线体中，包括了70余台机器人，自动化程度达80%以上。在这个项目中，明珞总拼系统可以满足7个车型共线随机生产。

多个车型共线随机生产意味着什么呢？
明珞装备董事长姚维兵向本报记者介绍说，经过明珞的柔性总拼系统改造后，多个车型都能从一条生产线下线，而最多的时候，他们的柔性生产线，能满足生产11个车型的要求。

在这一过程中，立下大功的，就是明珞依托数字化技术手段和信息化管理体系，所提出的柔性化、智能化生产，走向以共性技术、共性管理方式为制造业转型赋能，从汽车装备业的改造，迈向更广阔的大装备行业的应用。

和明珞一样，实现柔性制造，满足更多个性化生产需求，是不少制造业企业的愿望。那么，什么是柔性制造呢？

国际生产工程研究协会指出，柔性制造系统是一个自动化的生产制造系统，在最少的干预下，能够生产任何范围的产品族，系统的柔性通常受到系统设计时所考虑的产品族的限制。

与之相对应的，刚性生产通常体现在产品的规模化生产方面，满足的是社会对大量工业品的需求。而伴随着消费结构升级，买方市场和消费者个性化、定制化、时效性要求的增多，满足“多样化、小规模、周期可控”的柔性化生产、柔性制造，市场需求日渐旺盛。

为什么柔性制造的市场需求在增大？
商业发展到如今，市场差异化的要求，对生产线的要求越来越高。在工业化时代，定制经济存在着很大的瓶颈，那就是没法上规模。工业化流程讲究的是效率和批量化，但要满足个性化需要，就要靠柔性生产线。

姚维兵进一步解释，除了用户需求不一样之外，从供给端来说，柔性制造同样很有市场，因为如果为了满足每一个产品，尤其是小众需求，就去做一种模具，做一条生产线的话，投入成本是很高的，如果需求量达不到一定程度的话，从商业上来讲很不值当。因此，在满足一定产能的前提下，企业会希望尽可能实现生产的柔性化，让多种产品能在同一套生产体系、同一条生产

线上进行，这样可以分散和降低投资风险和制造成本。这就是柔性制造的价值所在。

去年9月，工业和信息化部出台的《关于促进制造业产品和服务质量提升的实施意见》指出，鼓励企业技术创新，开展个性化定制、柔性生产，丰富产品种类，满足差异化消费需求。

去年11月，国家发改委等15部门联合印发《关于推动先进制造业和现代服务业深度融合发展的实施意见》，其中要求推广柔性化定制。通过体验互动、在线设计等方式，增强定制设计能力，加强零件标准化、配件精细化、部件模块化管理，实现以用户为中心的定制和按需灵活生产。

事实上，消费需求的变化正在倒逼生产商和服务商改变传统模式，逐渐走向以消费者为导向的创新型道路，柔性、快速反应的供应链正在成为企业竞争力之一。

柔性生产 个性多元

作为国家首批智能制造试点示范企业之一，三一重工位于长沙的“18号工厂”，其智能化制造车间实现了生产中、设备、物料、工艺等各要素的柔性融合。两条总装配线，可以实现69种产品的混装柔性生产；在10万平方米的车间里，每一条生产线可以同时混装生产30多种机械设备，马力全开可支撑300亿元的产值。

按照传统生产模式，一条生产线只能生产一个或几个规格的产品，而在智能生产线上，可根据订单要求的不同，同时上线生产不同的产品。那么，这些传统生产模式难以做到的事，智能柔性的生产线又是如何完成的？“18号工厂”给出了答案。

厂房的整个柔性制造生产系统包含了大量数据信息，包括用户需求、产品信息、设备信息及生产计划，依托工业互联网将这些大数据联结起来并通过三一的MOM（制造运营管理）系统处理，制定最合适的生产方案，最优地分配各种制造资源。

今年3月，三一重工的智能制造部门接到一项新要求：随着公司订单的增大，用于生产泵车的焊接转塔作业岛，产能需要提升8-12台套/天，这意味着原来的6个工作岛现在不够用了，需要马上增加到8个工作岛。

放在过去，增加工作岛可能需要对生产线进行重新布局改造，怎么着也得花上半年时间。好在采用了柔性化布局方式，从机器人采购到后期安装调试，只用了45天就完成了生产线的柔性化改造。

更重要的是，这仅仅是对生产线进行了柔性化改造，没有增加一条生产线，就实现了产能提高。而且，如果今后需要做调整，把工作岛直接挪走就可以了，方便快捷。

像三一重工一样，随着“互联网+”给供应链管理带来巨大变革，个性化定制、柔性化生产正源源不断深入制造业。

今年初，受新冠肺炎疫情冲击，口罩、防护服、护目镜等防护用品缺口大，考验着供应链的应变能力，众多工厂借力大数据与物联网，快速完成产线切换，转产口罩和防护服等抗疫物资，柔性制造再次成为行业关注的热点。

这些亮眼成绩的背后，除了原有厂家密集排产之外，通过柔性方式实现跨界转产的力量贡献很大。

事实上，疫情冲击下能够快速完成产线切换，或者快速调整战略的企业，大多拥有先进的自动化、数字化、智能化水平，其背后都蕴藏了“柔性生产”的能力。“疫情防控背景下，具备柔性化生产特质的智能制造让企业可以在短期内重建一条个性化生产线，推动产品快速更新迭代。智能制造将发挥巨大作用。”中国工程院院士王耀南说。

王耀南举例说，“疫情防控期间，我们团队研制了医用紫外线消毒机器人、医用物资配送机器人等系列防疫机器人，免费赠送医院使用。从过去面向生产线的物流机器人到防疫机器人，仅一个月不到的时间便可实现‘变身’。”

再如在服装行业，随着人们生活水平的提高，对个性化定制，柔性化生产有着强烈的需求，一批个性化定制平台随即出现。

北京机械工业自动化研究所有限公司首席专家蒋明伟向本报记者举例说，上海纺织集团和上海工程技术大学联合研发的“服装智能定制1.0”，采用多视图融合技术和穹顶设计，通过体感采集器、网络集线器，仅需5秒完成数据采集，运用点云数据网格化算法和基于点云拟合的围度参数修正算法，形成全彩3D可360度旋转的人体模型，同时计算出人体各部位的尺寸，形成基本服装生产所需数据。该数据30秒即可传送到制作间，客户通过移动端下单，2小时可实现快速成衣定制。

刚柔相济 智能制造

业内人士指出，实现柔性制造，考验的绝不仅是企

业的技术能力，还有管理等各方面的软实力，不是依靠引入一两项先进设备就能解决的，不能仅仅局限于对生产层面的关注，更需要全面开发上下游产业的柔性。

姚维兵认为，广州明珞持续践行的智能制造“六化”路径（即自动化基础上的精益化+柔性化+标准化+数字化+智能化）是实现智能化生产的关键一步。

精益生产能够让资产、设备、投资发挥最大的作用。柔性化则是将专用资产更加通用化，进一步将产品的粗略折旧变成生命周期的精准折旧计算。在智能化发展的拐点，以非标准化（即非标准化设备/工艺/流程/产线等的标准化成果）作为底层支持，进一步优化质量、生产效率。数字化，能够大幅缩短产品交付周期，新产品质量提前得到验证，稳定快速上市，使投资迅速产出价值。

饶有福认为，未来，柔性制造的扩展过程中，将面临两个方面的难点，首先是软硬结合的问题，柔性制造核心的一点是要靠软件系统识别与调度，要把新产品的要求变成程序指令，这里面，柔性程序要直接应用到生产线上，就需要对原有生产方式进行调整；其次是数字化储备问题。客户需求变化是很快的，但是要把需求快速地变成产品时，就需要生产者具有快速协调能力，其设计和制造能力要达到快速交付的要求，从而满足市场需求，而这一点，需要实现数据的横向打通与自动化生产、智能化分析。

不过，姚维兵认为，柔性生产的定制性不意味消灭标准化，根据消费者的个性化需求实现定制化固然是趋势，但柔性生产要做的不是无限制定制。“柔性生产也是相对的，我们要做的，是通过智能制造实现整个生产线的精益、柔性、数字、智能。要做好产业协同，在标准结构的基础上根据需求开发不同的产品，同时在制造上实现尽量柔性制造。”

姚维兵认为，还应该从生产前端就引入柔性制造理念，从设计生产线或者设计产品时就要开始考虑到柔性理念，而不是后期再进行柔性改造，这样才能实现降本增效。事实上，柔性制造存在的商业逻辑，不仅仅是柔性的重要性，而是谁又快又好又便宜。

从广义而论，智能制造是一个大概念，柔性制造，是智能制造的重要内容之一。正如王耀南所指出的，智能制造的一大特点是“有柔性”。

姚维兵认为，通过柔性制造在内的智能制造的发展，将给制造业带来革命性的变化，成为制造业未来发展的驱动力。



且柔且创新

蒋明伟

产制造，柔性制造是必然选择。例如深圳市比亚迪电子部件有限公司，与北自所合作构建基于RS10-MES平台的面向多品牌、多品种柔性生产模式，通过动态建模，将各手机品牌个性化的需求，转变为生产数据，从计划、物控、跟踪、检测、设备维护、追溯等各业务领域，构建充分支撑多品种柔性工艺、柔性装备、柔性物流、柔性检测的快速批量或单件柔性流水生产，客户从下单到产品开始交付最短只需要3天。

个性化定制，柔性化生产与传统大批量、刚性生产相比有独特的竞争优势。一方面，生产方式从生产者驱动变为消费者驱动，精准满足客户需求，丰富现有生活方式；另一方面，柔性制造系统解决了传统个性化定制在成本、效率方面的劣势，使得个性化定制的成本下降，降低了个性化消费的门槛。此外，现代个性化定制，要采用大数据、物联网、人工智能、智能装备等技术，这将促进企业数字化、智能化转型，全面提升企业的竞争能力。

在实际生产中，支撑柔性化制造和个性化定制需要一系列相关技术的支撑。首先，应用互联网、大数据、人工智能技术深入挖掘不同客户的需求，为产品设计、精准营销、客户服务提供科学依据；其次，在设计知识库、工艺知识库的支持下，正确应用建模技术、专家系统，根据客户个性化需求，快速进行产品设计和工艺设计、模拟仿真，大幅度缩短产品设计周期，快速响应需求；第三，在一系列智能装备、传感器、物联网的支持下构建柔

性制造系统，进行个性化定制产品的柔性化生产，创造出批量刚性流水线的效率和成本；第四，个性化定制需要建立敏捷的供应链系统，最大限度减少库存；此外，在工业互联网、大数据、专家系统的支持下为客户提供贴心、周到、个性化的服务，提高用户体验。

新一代信息技术与制造业的深度融合，改变着人们的生产方式，引发了制造业的转型升级。制造业必须走智能制造之道，实现产品智能、研发设计智能、经营管理智能、生产制造智能、服务智能，而柔性化制造和个性化生产正是实现智能制造的重要内容和目标。发展柔性制造，实现个性化定制，且柔且创新。

（作者为北京机械工业自动化研究所有限公司首席专家）

随着生产力和科技水平的不断提高以及互联网的普及，消费需求正日益呈现个性化和多元化的趋势，传统的标准化、大批量生产方式受到了挑战。为了实现柔性制造，个性化定制，我们需要从用户的需求定义、产品研发设计、柔性制造、供应链管理、售后服务整个价值链进行重构。

近年来，国内对柔性制造系统进行了大量的创新实践。工信部多年来在全国鼓励产学研结合，开展智能制造、柔性制造、个性化定制的技术攻关和创新实践，取得了一大批创新成果。

比如在手机行业，消费者对尺寸、运行速度、存储空间、显示分辨率、触控、视觉识别等各方面都表达出不同诉求，手机以及零部件生产企业必须满足在产线上用尽可能少的切换时间满足各种要求的生