谈“工业4.0”对中国汽车制造业发展的启示和指导作用

上海大众动力总成有限公司汽车检测专家　朱正德

作为第四次工业革命表征的“工业4.0”，通过其鲜明的特征体现出对现代先进制造业、尤其是汽车工业的启示和指导作用。文章通过剖析国内汽车制造业近年的一些发展情况，提出了既需要巩固已有的良好基础，又必须树立工业4.0的高标准，这样才能真正地提升自身的发展水平。

关于“工业4.0”

“工业4.0”是德国学术界和产业界于2013年推出的一项振兴工业的国家级战略，但之后迅速获得了世界范围内的响应，被认为是第四次工业革命的标志。而对“工业4.0”提出的以智能化制造为主导、通过充分利用信息化技术和网络空间系统等手段，将制造业向智能化转型的革命性的生产方法，中国的最高领导则给予了极大的关注和重视。在2014年习主席和李总理先后访问德国时，都曾明确表示了两国将开展“工业4.0”方面的合作，有望成为中德两国未来产业合作的新方向。

再联系到近一年来，从中央到地方各级政府都在反复强调夯实实体经济，在这样的大背景下，先进制造业作为实体经济的主要组成之一，受到了相关行业和各级政府的很大关注和重视，尤其是对于汽车制造业这一最具有代表性的行业。而在改革开放的大环境下，实际情况是自21世纪初以来，融入了众多先进技术的“智能化制造”，已逐渐为越来越多的企业所接受并予以实践，此时所追求的已并非只是减轻劳动强度、提高生产效率等目标，而是出于最大程度地适应、满足不断变化的市场和消费者的需求。

现今，“工业4.0”进一步为现代制造业勾勒出了更清晰、更完整的一幅发展路线图。无疑，这会大大地促进中国汽车制造业这个既得到国家的有力支持，又已经有了相当基础的支柱产业的茁壮成长。

“工业4.0”与现代先进制造业

互联网的深度参与生产过程，将制造业对劳动力的依赖和生产成本的优化带到一个新高度。众所周知，之前经历的几次工业革命，一个主要标志就是实现了单机设备的机械化和自动化，以及推进智能化水平的提高和应用的普及。而工业4.0的核心是单机智能设备的互联，把不同类型和功能的单机的互联组成智能生产线，由不同的智能生产线间的互联组成智能车间，再由智能车间的互联组成智能工厂，而不同地域、行业和企业的智慧工厂的互联，组成

一个制造能力无所不在的智能制造系统，这些单机智能设备、智能生产线、智能车间及智能工厂可以通过自由动态地组合，以满足不断变化的制造需求，这是工业4.0的重要特征，也是与前三次工业革命的最大区别。

因此，以“工业4.0”为标志的第四次工业革命的进步性，绝不只是技术层面的一次跃迁，还突出地反映在另一些重要的特性上，主要包含有这样几个方面：

（1）工业4.0强调了对企业运行全过程的服务功能利用服务物联网，系统可对整个工厂运行过程中的各个环节提供相应的服务，因为它包括了智能化制造、智慧工厂和智能化物流这样三个主题。

（2）显然在“工业4.0”以上的的三大主题中，核心还是智能化制造，毕竟这是任何一个企业的本职所在。而企业还必须按多品种、中小批量和高品质个性化智能产品的模式来组织生产（见图1）。

（3）企业在具体实施时，还必须执行绿色生产的原则，遵循可持续发展的道路。因此，任何工厂在制定新规划时，就必然会采用一系列的新工艺及相应的制造设备，以适应这个需要（见图1）。

（4）由于由物联网加以控制的智慧工厂的制造流程完全可以由电脑来加以整合，使企业的生产组织不但变得极为高效，而且新工艺、新设备的应用也使整个工厂变得既有效、清洁又十分紧凑。这就导致昔日的制造型企业从城市迁往郊外的态势将会发生逆转，现实和今后的预测都表明，智慧型企业建在城区会逐步形成趋势（见图1）。

至此，在基于“工业4.0”战略的基础上，现代先进制造业的内涵和外延的概况已较全面地勾勒出来了。

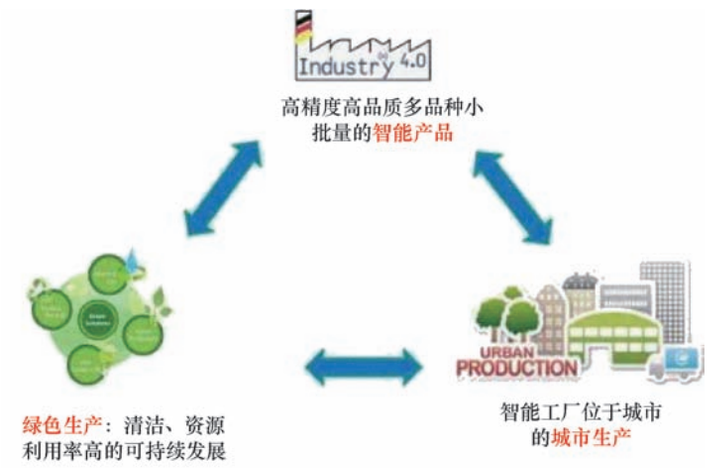

图1　工业4.0的几个典型特征及相互关联示意图

制造过程的信息化提高了企业整体的运行质量

事实上这些年来“智能化制造”已逐渐为越来越多的企业所接受并予以实践，而提高企业运行过程中的数字化、信息化水平就是一个重要内容。以下从两个方面予以简单说明：

自20世纪90年代初起，应用数理统计方法对制造过程进行监测和分析，使之处于可接受并且稳定的水平的统计过程控制（SPC）在以批量生产为特征的汽车行业得到迅速的推广。尤其是进入新世纪以来，又有越来越多的企业应用互联网技术，把SPC数据分析系统经拓展后，形成了富有特色的产品制造质量信息数据网络，进一步提高了对生产过程的实时监控能力。图2是一个选用（德）Q_DAS公司企业版qs-STAT统计分析软件后建立的系统实例，应用在某先进的汽车发动机厂。

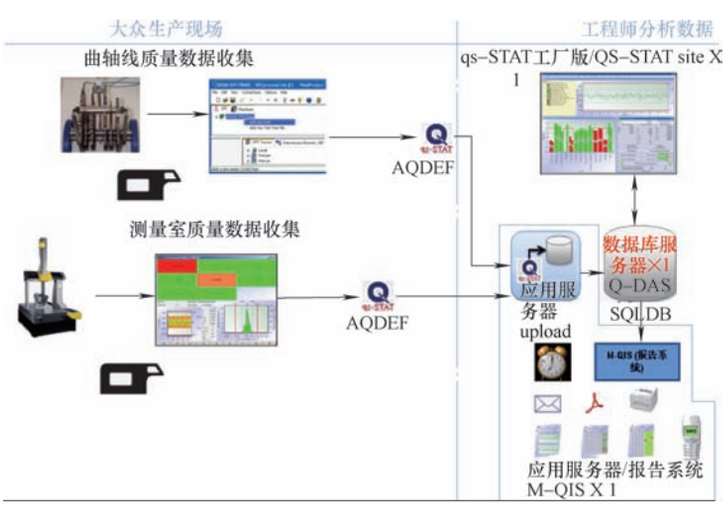

图2　经拓展后的制造质量信息数据分析系统示意图

但事实上，近年来企业也已日益深刻地认识到，决定产品最终质量和产品质量成本的，并不仅局限在上述SPC所关注的现场采集的质量信息，还取决于来自生产、物流等整个制造过程的相关信息。尤其在当前，众多汽车厂都面临着为了应对日趋激烈的市场竞争和满足消费者不同的需求，而必须彻底地从已习惯的大批量生产方式，转变为按多品种、中小批量的柔性化模式来组织生产。显然，相比前者，此时的企业结构和对产品质量的影响因素较之过去更多、更复杂，例如：如何实现面向订单生产，缩短交付周期？为适应柔性化生产，提高操作和生产灵活性，以及生产数据可靠、完整且易于实时监控，该采取什么措施？为提高设备维护的可预见性，减少可预见的停线时间，提高生产开动率，又需要怎样做？进而，为了增强零件的可追溯性，减少产品质量风险，必须加强过程管理，杜绝生产过程缺陷和一次下线合格率（FFT），又得执行哪些有效措施？怎样加强质量问题的现场控制，充分利用SPC 分析手段。当一旦出现召回要求时，能从容应对，降低品牌风险。制造执行系统（MES）也正是在这种大背景下才日益被国内车厂看好，并在近几年获得了相当可观的应用。图3是一个具体案例，从图中可见该系统几乎覆盖了或涉及到整个制造过程的全部核心环节。

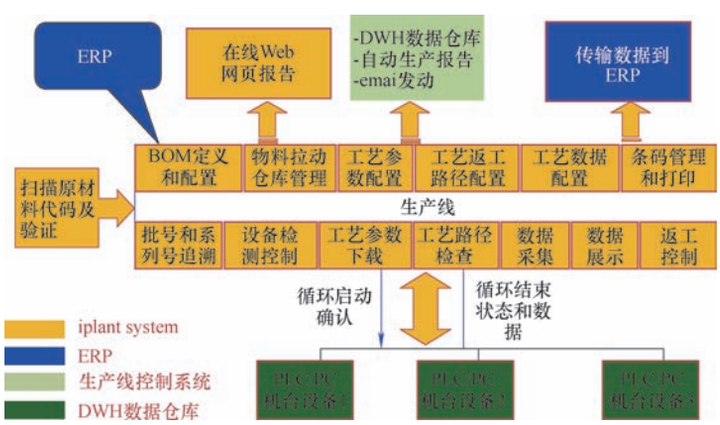

图3　一个几乎涉及到制造过程全部核心环节的MES系统

企业生产自动化模式的演变及实施

1. 当今先进汽车制造业的二个鲜明特征

（1） 高柔性、高效能的自动化加工手段已渐渐占据主流地位，如对于箱体类等零部件，广泛采用了加工中心；而对于轴类零件，则越来越多地应用了先进的CBN砂轮随动/跟踪磨削技术。

（2）基于现代质量理念的生产现场在线检测规划思路，导致了所采用方式和具体在线检具配置上的变化。

2. 适应轿车制造发展趋势的生产规划思路

采取多品种柔性化生产方式已成为现今多数企业运行的主流，而在那些发动机厂里，在生产箱体类零件时，主要就体现在以多轴加工中心组成的全柔性生产线，而在平面布置上则由传统生产线的“串行”方式转变为“并行”。再以曲轴为例，所呈现出的发展趋势主要反映在以下三个方面：①生产线的工艺布局采用鱼骨形，一改之前L形或U形布置；②在粗加工阶段，加工深孔用了采用了高速深孔钻方式，并利MQL微量润滑技术。③工件的主轴颈和连杆轴颈的精加工采取了高速高效随动/跟踪磨削技术，选用了高性能的曲轴磨床。值得指出的一点是，不久前知名的上海机床厂也已开发出了性能不亚于国外同类产品的高效、精密曲轴磨床，且首台就将提供给具有很大影响力的上海通用发动机厂使用。

3. 在线检测出智能化、在线检具简约化和柔性化趋势

与此同时，现代质量理念的演变，也体现在线检测的工艺规划中和在线检具具体配置的变化趋势上。在线监测呈现出智能化的趋势，而在线检具则出现了简约化和柔性化的倾向。通过曲轴这一实例即可清楚地认识到这一点。此时，在生产线的磨削工序，主轴颈和连杆轴颈均采取了高速高效随动跟踪磨削技术，只需经过一次装夹就可完成全部的磨削加工。采用砂轮能够实现随动、跟踪的CNC磨床是曲轴精加工技术一次很大的突破，一方面通过对CNC控制程序的调整，可以灵活地应用于不同类型工件的加工，即具有很好的柔性，而且由于执行了一次装夹即能完成全部主轴颈、连杆颈的工艺，有效地降低加工误差，提高精度。另

外，因为采用了CBN砂轮后，大大地增加了砂轮的耐用度，又提升了生产率。尤其是通过将先进的随机测量技术和数据处理系统相结合，能进一步改善、提高工件的尺寸和形状精度。一般采用以下这两种方式：

（1）藉助设置于车间现场的生产测量室中的Adcole1200仪器对工件轴颈的圆度测得的数据，在输出磨床的控制系统之后，通过修正、补偿，即得以有效地改善轴颈的制造质量。

（2）利用挂钩式外径主动测量仪来完成对被磨削轴颈轮廓的随机测量（见图4左），并根据自动检测的结果，进而通过即时的数据反馈修正，以实现对被加工轴颈轮廓的控制（见图4右）。

具体来说，如轴颈的圆度将由按原磨削工艺生产时只能控制在4～4.5μm，提高到2μm以内。也正因为如此，在采用了柔性化的曲轴加工方式后，整条生产线工序间检测器具的配备也发生了显著的变化，呈现出智能化、简约化和柔性化趋势。原来在整个磨削工段共配置了3台不同检具，分别对应于3台磨床（1台主轴颈和2台连杆轴颈），且均为多参数半自动综合性检具，利用动态（回转）测量方式，不但能测出尺寸参数，还能检查圆度、凸度、锥度和跳动等形位公差。而在采取了新的磨削技术后，由于精度、特别是形位公差基本上都可以由工艺来保证。在这种的状况下，新线配置的检具由原来的动态改为静态，所有的形位公差都不再检测，对轴颈也只需要测量1个截面，而不再是原来的3个。故整个工序仅配置了1台由多个单参数手持式检测装置组成的简单检具（见图5）。两者相比，无论是从先期投入、其后的维修成本，还是在占有工作场地方面都有大幅度的降低。

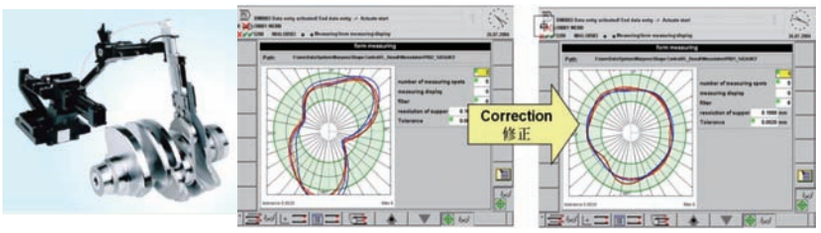

图4　通过修正、补偿方法来提升轴颈圆度的加工质量

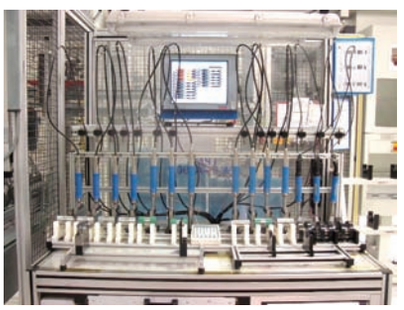

图5　由多个手持式单参数检具组成的智能化检测工位

至于应对箱体类零件时的措施，则出现了越来越多地将三坐标测量机作为在线检测器具，直接配备在车间现场的情况。事实上，随着坐标测量机用于生产现场的技术日臻成熟，越来越多的测量机被置于生产现场作为工序间在线检测的重要手段，甚至串接于生产线中成为一个工位，不过国内外的企业多数还是采取更简单的半开放型式。例如，配备在与前述同一发动机厂的一条新建成的缸盖罩壳生产线旁的三坐标测量机，选用了海克斯康公司的Global这个机型。而在几年前的一条老线边，则是以一台多参数综合检具为主体的检测工位。两者相比较，前者的优势主要是由坐标测量机的通用化、柔性化程度远高于多参数综合检具而带来的，因此它们无疑更适应于当代汽车工业的多品种混线生产方式。

与此同时，另一些颇有特色的柔性化检测设备也发挥了它们专业性强、效率高和适应性好的特点，如以通用性很强的FARO关节臂式测量机为主体的柔性检具，十分适合用于如发动机缸体、缸盖和变速器壳体等箱体类零件的测量。至于另外一类以带有单截面测量卡规的通用机器人为主体的全自动柔性曲轴检测设备，仅需将被测工件支承在托架上，之后只要经过编程，该检具即可方便、自如地完成任何多种曲轴的连杆轴颈、主轴颈的单截面或多截面检测（轴颈直径范围可在40～60mm之间变化）。由于是静态测量，当采用后一种方式时主要是为检验凸度，即人们常称的“巴雷线”。

结语

事实上，无论对于何种经济体制下的何种经济体，“工业4.0”都将是21世纪内制造业发展的必由之路，是未来制造业的又一波“浪潮”，我们期望这也将成为在实现“中国梦”过程中，体现国内现代先进制造业，包括汽车工业发展的一个里程碑。**MW**

（收稿日期：20150415）