

从电装的“领先工厂”看日本汽车零部件制造技术发展

□ 中国汽车工程学会装备部/胡志强



从丰田汽车公司独立出来的电装公司“领先工厂”正是基于生产的产品批量减少而成本不变的思想提出的，融合了精益生产和大规模定制生产方式。

概述

“领先工厂”是日本电装公司在前不久举办的2015年东京车展上提出的一个概念。电装公司是日本汽车产业最大的系统零部件制造商，同时也是全球最大的汽车系统零部件制造商之一。电装公司是日本丰田汽车旗下的零部件制造企业，1949年从丰田汽车公司独立出来后，完全继承了丰田汽车公司两个优秀的企业传统，一个是众人皆

知的精益生产，另一个是汽车生产工艺及装备的独立自主研发与制造。

精益生产有广泛的内容和深厚的理论，已经发展成为了一门科学。其核心特征与大规模定制一样，都强调“多品种”、“小批量”、“低成本”。

与精益生产的区别在于，当前提出的大规模定制生产过程加入了现代化的信息技术。大规模定制要

通过产品结构和制造流程的重构，运用现代化的信息技术、新材料技术、柔性制造技术等一系列高新技术，把产品生产全部或者部分转化为批量生产，以大规模生产的成本和速度，为单个客户或小批量多品种市场定制任意数量的产品。

从丰田汽车公司独立出来的电装公司“领先工厂”正是基于产品批量减少而成本不变的思想提出的，融合了精益生产和大规模定制

生产方式。其具体做法是先对生产流程和制造设备进行改造，将原有生产工艺上的装备缩小并集中到最终的组装车间安放，在改造的过程中实现设备自动化和生产流程标准化，同时在装备与装备之间、生产车间与生产车间实现信息互联，最后实现工厂与工厂信息互联。电装公司“领先工厂”架构如图1所示。

1/N倍变革

1.变革方式

为了实现整车制造厂的本地化采购，同众多汽车零部件制造商一样，日本电装公司也跟随整车制造企业的步伐走向世界各地。目前，电装公司在全球38个国家和地区拥有130个工厂，2 500条生产线。但这130个工厂中即使生产同类产品的生产线生产的产品批量也是不一样的。在新开发的市场，产品批量是日本本土工厂或是成熟市场工厂的1/2或是1/3，甚至更少。

为了使小批量生产产品的单件成本保持不变，在日本本土工厂，电装公司对生产设备进行缩小改造，在保证最低限度的加工能力基础上，将生产单位缩减到原来的1/N，加工装备缩小，占用面积减少，缩短加工时间，降低库存数量。为了减少物流时间和成本，将在不同生产车间的加工装备缩小后集中到最终的组装车间，完成成品装配。日本电装公司1/N倍变革方式如图2所示，最终通过合并生产线，实现同步一体化生产。

2.变革实例

电装公司尾西工厂生产发动

机系统零部件，包括可变气门正时系统、控制阀、火花塞、传感器外壳、A/B传感器、喷油管及起动机等。在工厂里设有专门的部品工程部，负责生产技术开发、设备改造、新设备试验和磨合以及工艺输出等。

电装公司的部品工程部分为职能部和事业部两大部分。职能部细分为领先部，负责生产系统研究；生研部，负责加工技术开发；材技部，负责材料开发；测量部，负责测量技术开发；工机部，负责设备内制；试制部，负责设备的改造和试制。事业部有16个制造部。另外，工厂里还有工场推进部，负责建立生产线、通过实际生产提高生产线完成度，进行工艺标准化和示范推广。

为了追求生产技术和设备的高效率、高品质，电装公司1955年成立了工机（设备内制）部门，该部门与产品研发部门一起参与产品开发与设计。可以说，在产品研发的最开始阶段，设备制造部门就已经介入了，并根据产品的设计要求设计制造专用设备，降低生产成本，保持技术领先优势。因为，电装公司自己制造的专用设备是市场上买不到的，从制造上设置了技术壁垒，其他公司很难进行仿制。

电装公司的这一传统来源于丰田汽车公司。从1937年丰田汽车公司成立时起，自己的设备制造部就伴随着丰田汽车公司一起成长，到1941年，丰田汽车公司的设备制造部也独立出来变为丰田机工公司，后并入捷太格特公司。时至今日，

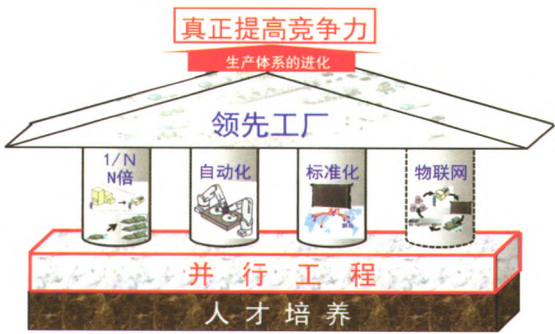


图1 电装公司“领先工厂”架构

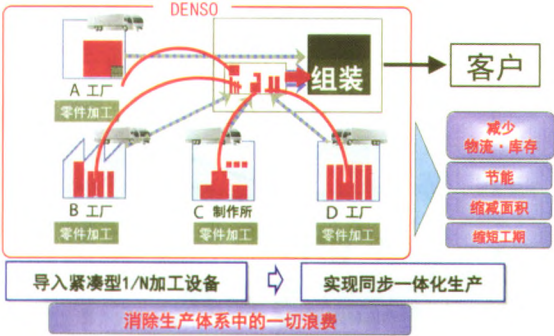


图2 日本电装公司1/N倍变革方式

捷太格特旗下的丰田机工是丰田汽车公司设备研发与采购的首选合作伙伴，双方保持着非常紧密的合作。这一优良传统在日本电装公司得到了发扬，1969年，电装公司进行机器人内制化生产。在2015年上海工博会上，电装（中国）投资有限公司参展，推出了10余款工业用机器人、多款控制器和控制软件。

在尾西工厂，部品工程部部长600多人，约占全厂总人数的9%。该部门技术人员从2001年起开始实施1/N变革，到2014年，已经完成并向全球展示了小型电动压铸机、分时锻造机、小型高速插入成形机、小型低压复动冲压机等改造项目。图3是小型电动压铸机的1/N改造项目。

小型电动压铸机用于可变气门正时零部件的制造，原来生产工艺采用8m高的热熔炉和4m高的大型液压压铸机，然后再通过大型热处理设备进行热处理。三类设备距离较远，占地面积大，一个批量（20个零部件左右）完成全部工序要20h。改造后，三类设备高度全部降到2m以内，集中安放，实现了数控自动化生产，连续作业。与原来相比，全部设备占有的总面积只有原来的1/6。

分时锻造机用于制造火花塞、传感器外壳，改造后设备所占面积是原来的1/6，设备费用减少2/3，生产线缩短一半。小型高速插入成形机用于加工A/B传感器、喷油管路等，采用立式侧面射出技术，并实现电动化、自动化控制，生产线缩短为原来的1/3，库存天数为原来的1/12，该项目获得日本2008年精密工学会技术奖。小型低压复动冲

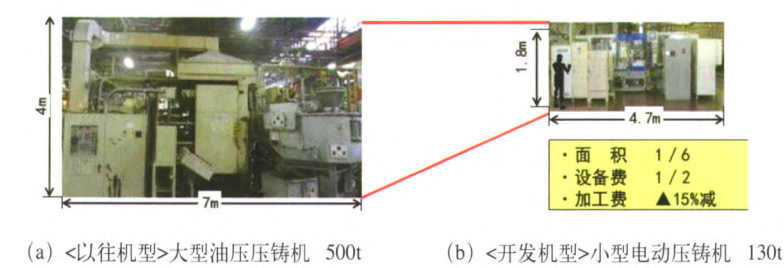


图3 小型电动压铸机改造项目

压机加工起动机、ADS等产品，采用低压成形技术，进行工程分割，生产线缩短为原来的1/3，设备费是原来的1/10，设备所占面积是原来的1/12，生产工期缩短为原来的1/5。

小型电动压铸机案例分析

该生产工艺及装备改造之前采用8m高的热熔炉，将铝锭加热到800℃液化。每炉液化的铝水通过物流小车送到分布在不同地点的20台4m高的大型液压压铸机，压铸机通过模具压铸铝液成型，然后取出压铸好的铝制产品送到热处理车间进行热处理。

压铸机是该工序的关键设备，由于压铸过程中需要较大的压力才

能将半固化的铝液压入模具中，因此，工厂采用了500t的液压压铸机，如图4所示。经过分析，技术人员认为，造成铝液灌入模具时产生压力的原因主要来自3个方面：一是半固化的铝液压入模具本身就需要强大的压力；二是要将模具里的空气压缩或压出；三是模具表面脱粒剂的汽化产生了一部分气压。鉴于此，技术人员对设备进行了三方面革新：一是保持铝液的温度，减少固化，当然，从加热炉到压铸机的距离越短越容易保持铝液的温度；二是在浇注铝液前模具抽真空，减少空气的压强；三是采用粉状脱粒剂，减轻汽化程度。采用以上3项措施后，铝液浇注模具里的压力大幅减少，现在采用130t压力的小型电动压铸机，即可实现生

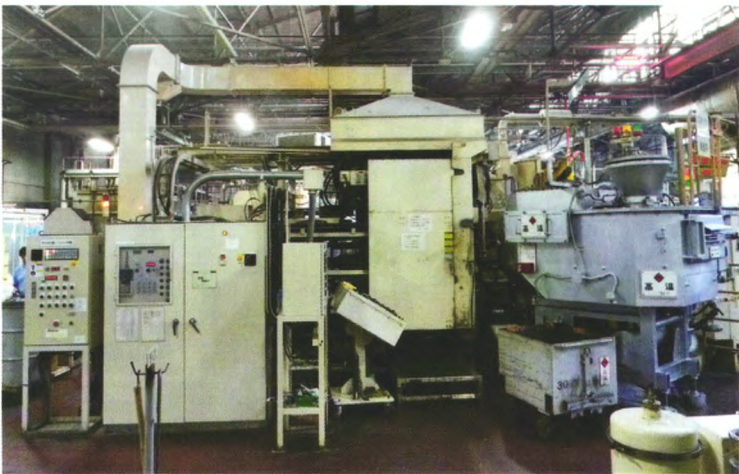


图4 500t的液压压铸机

产，不仅实现了自动化控制，而且压铸机的高度也降低到了2m以内，如图5所示。

改变压铸机的同时，对热熔炉进行小型化改造。原来的大型热熔炉每炉的加热铝液量比较大，所需能耗非常高。现在经过精密计算，将每炉的加热铝液量减少到刚够一台小型压铸机加工所需铝液量，铝锭投入热熔炉之前进行分割处理，裁成小的铝块放入热熔炉，减少熔化时间。同时，压铸成形后的浇注口铝件被分离后立刻投入到热熔炉内，以减少热熔过程。改造后，热熔炉由原来的8m高降低到2m高，外形尺寸大幅减少，如图6所示。

改造后热熔炉和压铸机串联起来，形成了连续流生产，缩短了物流距离，减少了等待时间。为了将

连续流做得更好，技术人员对热处理设备进行了小型化改造和技术革新。小型化的热处理炉内部采用螺旋盘式结构，压铸后的铝件在热处理炉内沿螺旋盘平稳移动1h，从入口运动到出口，完成热处理过程。热处理炉接在压铸机的后端，与前端的热熔炉一起形成连续流生产线，一个产品从投入铝锭到热熔炉里再到热处理完成刚好2h，单件生产时间缩短1/10。图7所示为改造前后的热处理装备对比。

形成连续流的三台加工装备再加上辅助生产系统总共占地30m²，就如普通家庭的一间客厅大小，由1~2名工作人员操作即可。整条生产流水线全自动化控制，产品的搬运都是通过电装自己研发制造的机器人来完成。操作人员可通过自动



图7 改造前（上）后（下）的热处理装备对比



图5 130t小型电动压铸机



图6 小型热熔炉

化设备的数据平台检测产品生产情况。

另外，经过模具管线归纳后半自动连接，采用推入顶出设计，操作过程增加力量辅助装置（如摇臂）等技术创新，压铸机的换模时间由10min减少到30s，由力量较小的女员工即可完成模具更换动作。

电装公司小型电动压铸机项目从2001年开始设立，2004年开始改造。从项目规划开始历时7年，于2008年完成。2010年，该项目获得了日本2010年度经济产业大臣省奖。2012年，该生产工艺装备被引入电装（中国）投资有限公司位于广州南沙的工厂，一直使用，效率很高。2014年，该项目成为电装推广示范项目，开始向全球展示。

日本汽车零部件制造 技术发展及启示

1. 制造技术发展方向

就电装公司的制造技术变革来说，为适应特定市场的小规模产品需求，开发了小批量产品生产制造工艺技术，实现了低成本、定制化生产。小批量整体制造工艺的开发和建立以及标准化不仅对精益生产的内容做了进一步的丰富，而且也用事实证明，用传统的制造工艺和装备也可以实现大规模定制化生产。

在工艺执行层面，项目改造思路是把不同方向的各个小动作合成一个连续的动作，把几道分散的工序合并为一道工序，重新布置工作现场，使物流路线缩短。在项目实际改造过程中，日本电装公司把制造装备进行了小型化改造，改造中装备实现电动化、自动化控制。在制造装备实现小型化之后，多条工序集中安放在组装车间，按照工艺顺序形成连续生产，占地面积小，无需库存。生产过程通过机器人自动卸载和安装，几乎实现了无人操作。

电装公司下一步的目标是实现设备间的互动互联。根据规划，目前工厂里的单一生产线设备之间的信息传输技术正在投入建设。未来，很多生产线信息组合在一起就构成了数字化工厂。从工厂整体管理效益化的角度看，电装公司认为需要运用信息传输、信息管理方面的技术，将来自全球范围内的生产第一线的智慧进行整合，通过信息共享和应用，使技术革新的速度和制造品质快速提升。

2. 启示

“领先工厂”虽然是日本电装公司推出的规划，但其是一个缩影，反映出日本汽车零部件公司正以积极的态度应对世界制造业变革，脚踏实地，未雨绸缪，早早制订计划，并正在按部就班的实施。

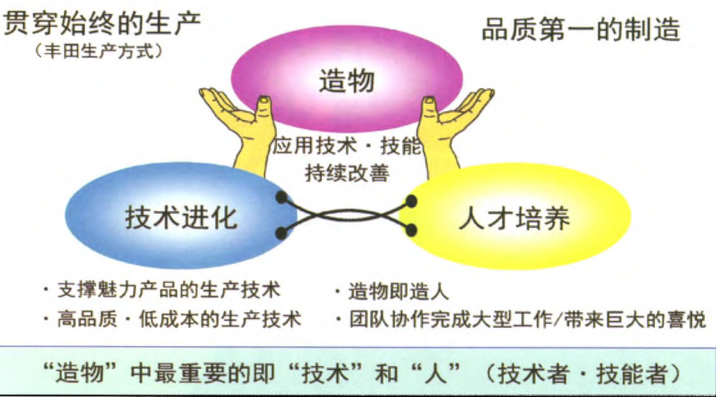
从电装公司的案例可以看出，汽车零部件制造公司的发展离不开装备制造的创新，同样，汽车制造业的发展也是离不开装备制造业的支持。但日本电装公司是独具特色的，或者说日本汽车制造公司是独具特色的，就是汽车产品创新与其制造工艺技术创新并行发展，在汽车及零部件制造公司内部完成，使两部分紧密结合在一起。

形成完整成熟的制造技术及工艺路线后，日本电装公司委托日本

东洋机械金属株式会社完成了金属加工装备的设计与制造，形成“产品-工艺-装备”良性循环，知识产权掌握在自己手中。

面对德国工业4.0和美国工业互联网，日本企业显得不急不躁，闲庭信步。一方面，日本电装公司也在积极投入物联网系统建设，但速度并不快；另一方面，其实也是更主要的，是专注生产制造工艺、装备的研究和革新，追求每天进步一点点，坚持不懈，不断积累，积少成多，积沙成塔。

另外，如图8所示，电装公司在“领先工厂”里强调：生产制造、技术进步和人才培养是最关键的核心。在工厂的建设中，视现场的“人”是最重要的财产，非常重视“人”的作用。



上海交通大学科学技术发展研究院副院长金隼教授指出，我国汽车关键零部件制造的问题是，制造工艺开发能力滞后，技术创新研发投入不足，依赖国外引进的工艺方案与制造标准，导致生产线规划设计、加工装备选型受制于人，盲目追求单台套机床精度和可靠性，无

法形成“产品-工艺-装备”的良性循环，国产装备批量应用困难。解决问题的关键是汽车制造工艺必须自主创新，形成“产品-工艺-装备”的整体方案。那么，谁将作为解决问题的主导者？通过日本电装公司的案例，答案不言而喻，就是汽车及零部件制造商自己。AME