

汽车发动机关键零部件加工中 先进工艺的采用

广州东风日产发动机分公司 (广东 510800) 李 林 刘昌宏



东风日产发动机分公司制造一部加工科科长李林

入世后，中国汽车市场空前活跃，汽车行业得到了前所未有的跨越式发展。面对日新月异、动态变化的中国汽车市场，中国汽车业面临着诸多挑战，必须采取有效措施予以应对，以保证中国汽车产业实现可持续发展。

有人对世界汽车巨头瓜分中国市场提出了自己的忧虑，认为中国汽车若不能独立发展，而只是企图以市场换技术，最后只能沦为世界汽车巨头的加工厂，永远不可能在世界市场上与其并驾齐驱。更严重的是，以低廉的劳动力换来的投资，必将不会长久，一旦出现劳动力成本更低的市场，跨国巨头马上就会进行产业转移，那时，中国汽车业就会被抽空，拉美国家的今天就是中国的未来，这种担忧并不是

没有道理。因此，先进工艺的采用是提升先进制造技术并摆脱目前困境的唯一选择。

1. 工艺规划能力

国内各大乘用车公司都有国际知名汽车公司合资的背景，零部件生产线在前期规划时，为了缩短生产准备周期，基本上会按合资方成熟的工艺方案来规划。如发动机的缸体、缸盖等关键零部件生产线的工艺规划，从设备和工装方面，国内装备厂家很少能拿出整体解决方案，关键设备和工具还是依赖进口，这对国内乘用车制造业的自主化是不利的，对国内装备行业的快速发展也有很大障碍。工艺规划能力提升，达到具备提供整体解决方案的能力是当前乘用车制造业首先要提升的能力，必须真正实现自

主化。

2. 持续创新能力

中国乘用车客户越来越成熟，对汽车的品质要求越来越高；各大乘用车公司为抢占市场，价格竞争越来越激烈。为满足市场需求，乘用车制造公司既要制造出高品质的车，又要不断降低制造成本。在劳动力成本和原材料成本不断上涨的当前形势下，要做到这一点并不容易，靠降低品质和减配肯定不会长久，企业只有靠持续的创新改善能力，深入制造的各个环节，挖掘课题，不断提升生产效率，不断降低各种浪费。不断提升管理水平，精益生产，不断追求与客户同步，这样才能满足市场需求，立于不败之地。

3. 低成本自动化和国产设备可靠性提升

低成本自动化和国产设备可靠性提升是当前国产汽车关键零部件制造业尤其突出的两个课题。中国汽车制造业前期投产的生产线，为降低投资成本，利用廉价劳动力优势，自动化程度并不高，当前形势下，劳动力成本越来越高，优势逐渐丧失，导致制造成本降低的压力巨大，只有不断改善，导入低成本自动化装置或设备，不断提升人工

效率，才能使人工成本不至于恶化，控制在合理的水平。各大汽车制造公司，为降低生产线投资，往往粗加工的设备和辅助设备采用国产设备，但在批量生产阶段，国产设备较进口设备可靠性不高，这些设备成为整条生产的瓶颈，影响到整条生产线的OEE（设备综合效率），这是一个突出矛盾。因此要想持续提高整条线的OEE，必须不断改善来提升这些设备的可靠性。

先进加工工艺在东风日产发动机生产线中应用

目前已具备100万台发动机年制造能力，生产VQ、MR、HR三大系列发动机，排量有1.6L、1.8L、2.0L、2.5L和3.5L5个级别。制造工艺包括铸造、锻造、机加工、热处理和装配，生产的主要零部件有：发动机的缸体、缸盖、曲轴、凸轮轴、连杆和缸套；变速箱的壳体、轴和齿轮。东风日产发动机分公司是国内乘用车发动机制造行业单一制造工厂产能最大、生产工艺最齐全的制造工厂之一。下面重点对东风日产1.6L发动机机加工缸体生产线的新工艺新设备使用情况进行总结。



1. 设计理念

1.6L生产线的基本设计理念是：在保证产品品质稳定性、设备生产运行的低费用及劳动强度适中的前提下，实现投资的最小化。从Q（品质）、C（成本）、D（交货期）、S/M（安全/士气）及T（新技术采用）等各方面综合考虑，建成一条综合效益力争达到国际先进水平的加工生产线。

Q领域：达到和超越日产爱知机械1.6L缸体加工品质质量，并针对爱知机械生产品质不具合格的项目，在工艺设计阶段提出解决方案。加工品质目标如附表。

时期	最初	3个月	6个月	12个月
流出不良(%)	0.18	0.10	0.025	0.025
加工不良(%)	0.60	0.40	0.30	0.15
工程能力	SOP后Cpk 1.3 3以上			

C领域：中间清洗机以前的粗加工及半精加工，尽可能采用手动搬送结合低成本自动化装置，以实现低劳动力成本的有效利用，但也要考虑人员动作最简化以提高人员效率；对后半段的精加工部分，为保证精度和防止工件划伤，采用高精度的自动搬送的加工自动线。

D领域：尽可能使用柔性设备，如：加工中心等，整线以加工中心台数的增减来实现生产能力的变更。布局力求紧凑，保证较低的工程内在库，尽量提升设备的综合效

率（要求90%以上）。

S/M领域：生产线设备要求操作简便，安全联锁和防错能力完备，操作人员劳动强度适中，15kg以上的工件搬送均有助力装置协助完成。

T领域：尽可能采用最高效率低运行成本的先进加工工艺，通过在线检测系统和防错系统保证质量，通过对线内物流的设计和低成本自动化的设计，同国内竞争对手相比，力争在质量保证和人员效率上取得一定优势，建设成一条高品质、高效益及低成本的加工生产线。

2. 产品特点

该1.6L发动机是日产几十年技术积累水平的提炼，是1台达到赛车要求水平的高性能发动机。作为这台发动机基体的缸体，有自己的很多特点。

(1) 为了提升发动机的升功率和质效比，发动机缸体在满足强度要求的前提下，尽量降低了缸体的质量。作为铝缸体，除非强度有特别要求的部位，缸体的一般壁厚仅2.5mm，这就要求在工艺设计阶段充分考虑缸体的受力情况，合理选择夹紧位置和辅助支撑的位置。

(2) 作为一款高性能的发动机，对影响发动机性能的关键尺寸有很高的精度要求。如缸体缸孔直径、圆度、圆柱度及曲轴孔直径、圆度、分级精度的要求都是代表国内最高水平的加工精度要求之一。这些高精度的要求在工艺设计时必须充分考虑。

3. 设计方案

(1) 总体要求：为了建成一条综合效益达到国际先进水平的加工生产线，在规划设计初期，对生产

线的QCTMS各项指标提出了严格的要求。

(2) 生产线概况。平面布局：1.6L生产线总体上呈一个U字型设计，布局紧凑，占地面积小，物流顺畅。含浸设备与中间试漏机并列布置，中间试漏后待含浸工件从试漏机下料滚道排出，直接放置在含浸设备的上料端，含浸完毕后的工件恰好放置于中间试漏机的再投入滚道旁，含浸工件的物流实现了最捷径化。

设备概况。1.6L缸体加工生产共有设备31台，其中国产设备24台，设备国产化率达到77%。缸体粗加工和半精加工主要采用了YNC YN4H7系列高速加工中心及YNX062/063自动线，精加工采用了日本远州曲轴孔精加工自动线、Horkos各面精加工自动线、东洋缸孔精加工线等国内外先进的加工设备，辅助机床则采取大连智云试漏设备、压装设备、保证工件清洁度的日本杉野清洗机、太阳铁工的工艺缸盖拧紧和拆解机以及对小泄漏缸体进行渗补的含浸机等设备。

工艺设计：为了避免因基准转换及粗基准的精度不稳定性造成缸体加工精度不稳定的产生，我们在

工艺设计时第一步就用毛坯粗基准定位直接完成精基准（缸体底平面和2个定位销孔）的加工。在后续的所有加工中，除非产品有特别要求外，其他的所有加工定位全部统一为一面2销的基准，对于产品设计有特别要求的如缸盖安装面与曲轴孔中心线的平行度、缸体前后端面相对曲轴孔中心线的垂直度以及与止推面的距离等，为了保证产品的精度，精加工就直接使用#1、#5号曲轴孔以及止推面直接定位加工。1.6L缸体是薄壁工件，毛坯生产采用了相对低压铸造有更高生产效率和尺寸精度的高压铸造工艺，高压铸造时快速冷却在缸体内部形成的气孔和砂眼，在加工生产线中间试漏后会由于微孔（0.25mm以下）泄漏而不合格。为了挽救这部分缸体，降低成本，引入了含浸工艺，对小泄漏的工件进行渗补后再次试漏。

4. 工艺创新点

(1) 采用高速加工中心实现柔性化生产。1.6L缸体的粗加工和半精加工，除了由于产品原因无法用加工中心加工的个别部位以及为确保精度的定位面孔的加工外，全部采用了高速加工中心等柔性化生产

设备进行加工。在这些柔性加工设备上，为了保证加工质量，与其他公司相比，我们采用了许多新技术。

(2) 刀柄跳动检测装置。随着现代设备技术的发展，为了防止加工中心在更换刀具时在刀柄和内锥孔之间夹入铝屑等杂质，现代加工中心采取了诸如换刀时主轴内锥孔高压气吹等多种对策，能有效地降低了夹屑的产生，但还是不能100%地完全避免。为了100%防止换刀时可能发生的刀柄夹屑导致加工不良品的产生，在此次工艺设计时，针对铰刀和镗刀等加工精度要求高的加工内容，当新刀具换入加工中心主轴后进行加工前，先对刀柄在主轴上的跳动进行检测，若跳动合格则继续加工，若跳动不合格，则说明在换入刀具时可能有夹屑或其他原因使得跳动超差，设备马上报警停机，这样就确保了加工的每一个缸体的加工品质。

(3) 刀库刀具折断自动检测装置。加工中心在自动加工过程中，由于某些原因导致刀具发生折断，若不能及时发现，则有可能造成大批量的缸体报废或不良品流出。为了防止这种现象的产生，加工中心采用了刀具折断自动检测装置。当刀具完成加工内容返回刀库对应刀位前，刀具折断检测装置对此刀具进行检测，若检测到刀具异常时，马上报警停机，这样就有效地避免了由于刀具折断造成的批量工废的产生。

(4) 刀具ID码装置。加工中心刀库装有多把刀具，不同的刀具使用寿命一般都不一致，在更换加工中心刀库中的刀具时，可能出现误装刀具、刀具在刀库中刀号混乱和加工中心不能正常加工的现象。为



为了避免这种刀具更换产生的人为错误,引入了刀具ID技术。专用的调刀仪读取ID编号,并调出相应刀具的参数,可以迅速准确地完成刀具的调整。

(5) 自动测量补偿技术。对于加工中心,设备本身的精度和稳定性都很好,对于缸体的粗加工和半精加工的质量应该是能很好的保证。但是,对于极个别的加工尺寸,由于尺寸精度要求高,且设计基准与夹具基准不一致时,我们在加工中心上引入了工件重定位系统,根据测定的数值重新修正工件坐标系,保证加工精度。如缸体上的缸盖的定位环孔,这是整个发动机的设计基准,也是发动机的装配基准,位置和间距等尺寸精度都要求高。对这样的加工内容,随着环境温度等外部条件的变化,夹具和设备滚珠丝杆由于热胀冷缩变形会对加工精度产生影响。工件重定位系统就是在设备的夹具体上有固定的标准块,设备在加工前对标准块的位置进行测量,将测量的位置与设备设定值相比较,如果不一致则进行修正。根据修正后的位置才开始加工,这样就确保了缸体的加工精度。

(6) 通过搬送托盘实现缸体的不规则面搬送。1.6L缸体上下前后面都是在一个平面上,可以作为输送面。其中下平面是定位基准面,又是精加工面,为了防止工件搬送过程中对工件造成磕碰伤,我们不选择使用下平面搬送。在卧式加工中心上要实现上下前后面的加工,如果采用上面、前面和后端面进行输送,工件一般至少要有几次的姿势变更才能完成加工。而缸体的左右面是一个不规则面,如果用左右

面直接进行搬送,则设备之间的输送滚道和设备夹具都会变得复杂起来。针对这个问题,我们采用了搬送托盘结构,实现用缸体的左面来实现输送。

缸体下面支架及底板部分就是搬送托盘,托盘通过支撑销和限位块将缸体固定住,托盘底板带着缸体在设备和滚道间进行输送。托盘只作为缸体的搬送使用,当缸体送入设备进行加工夹紧时,缸体会脱离托盘,直接使用缸体下平面和定位销基准定位,保证了缸体的加工精度;也免除了用托盘定位造成的基准转换及托盘循环使用变形造成的加工精度恶化的倾向,在国内发动机箱类零件的加工中是一种首创。再次,缸体用托盘搬送时,设备的夹具采用了立式结构,这样能有效地避免切屑在夹具上和定面销上的堆积,不仅有效地保证了工件的良好定位和稳定的加工品质,而且也降低了操作工对切屑的清理时间,有效地提高了设备的开动率。另外,缸体采用这种姿势加工,加工中心上下行程较小,减少了加工中心立柱导轨热变形的误差对加工精度的影响。

(7) 为保证产品质量在精加工部分引进了曲轴孔精加工的自动测量自动刀具补偿技术和前后面、缸盖接合面精加工夹具用曲轴孔和止推面定位的技术。为了保证加工精度,引进了有着丰富的曲轴孔加工经验设备制造技术的日本远州机床有限公司的曲轴孔精加工专用设备。设备带有自动测量装置,对精加工后的曲轴孔各档的孔径和圆度进行测量,根据测量数据对曲轴孔各档进行分级和刻印;若测量数据不合格则报警停机。而且,自动测

量装置系统还带有补正功能,自动测量装置将测量的数据进行分析,若某档曲轴孔的加工精度超过1/2公差时,则将差值计算出来并作为补偿值自动反馈。设备的精镗刀具就会根据补偿值的要求,自动对对应档曲轴孔加工的刀具进行调整,自动调整的最小值可达1 μ m。

根据1.6L产品设计的要求,缸体的前后端面与曲轴孔中心线的垂直度及曲轴止推面的距离都有严格的要求,而缸盖安装面与曲轴孔中心线的平行度也有很高的要求。为了确保加工品质,并防止工件加工时进行基准转换对加工品质可能带来的影响,对缸体的前后端面、上平面进行精加工的工位,直接采用了#1、#5档曲轴孔以及止推面进行定位加工,从加工工艺上确保了加工质量。

(8) 采用了具有更好的含浸品质的二次真空加压含浸工艺。日产含浸采用了常压真空含浸,一次含浸成功率98%左右,部分工件需要进行2次,最多3次含浸。在对日本、欧洲和北美的含浸工艺进行调查以后,采用了德国二次真空加压含浸工艺。

(9) 为了达成环境友好目的,体现良好的社会公民责任,采用了水基珩磨技术、合成切削液集中冷却系统和集中油雾处理系统。缸孔珩磨加工时,珩磨条和缸孔之间有很大的磨削力,珩磨加工后缸孔加工质量的好坏,珩磨液的润滑效果有很大影响,基于以上考虑,一直以来珩磨加工都采用有更好的润滑效果的油性珩磨液。使用油性珩磨液的许多缺点特别是环境破坏一直为人们所诟病。首先,油性珩磨液都具有一定的挥发性,对设备操作

人员的身体健康是一种威胁，同时也影响整个车间及周围的环境。其次，油性珩磨液的粘性相对一般水性切削液要高，珩磨后产生的大量铁屑和磨粒油泥的分离很困难，过滤效果不好，珩磨液的更换频繁，不仅使得使用成本较高，而且废珩磨液的处理也是一道难题。再次，油性珩磨液一般不仅易挥发，而且都具有可燃性，为了防止潜在发生的火灾安全事故，珩磨设备投入的同时会配套相关消防设备，增大了投资成本。近年来，随着材料科学和化学合成技术的发展，水性珩磨技术也得到了很大的发展，水性珩磨液不仅具有跟油性珩磨液相近的润滑性能，而且有更好的冷却作用和冲洗性，水性珩磨技术在欧洲和日本等国家和地区都得到了更广泛地认可和更多地采用。调查了解了国外水性珩磨的现状以后，我们于国内率先引进了缸孔生产的水性珩磨技术。此加工工艺从运行一年多生产了近20万台发动机缸体的实绩来看，不仅保证了良好的加工精度，而且具有更低的使用成本和更好的环保性能，实现了经济效益和社会效益的双丰收。

对于加工生产中使用的切削液，考虑到环境保护的要求，我们采用了切削液的集中处理系统。切削液经过集中处理后输送到各加工工位，对缸体的加工进行润滑和冷却，并通过专用的地沟将加工中产生的切屑、废油等杂质带回集中处理系统，集中处理系统再对返回的切削液进行油水分离、过滤等处理后再循环使用，处理过程中产生的大量切屑和废油则集中排放后及时处理。

(10) 1.6L发动机的低摩擦力低油耗主要是缸孔与活塞之间有更好的配合。1.6L发动机活塞的加工采用了赛车加工工艺，缸孔的精加工采用了工艺缸盖加工技术，确保安装上发动机部件以后的缸孔还具有良好的圆度和圆柱度。

(11) 为了响应国家实施的《汽车产品召回实施办法》，缸体生产线全线重要工位全部使用2D码管理技术，将工件加工的信息在电脑中保存起来，以便于跟踪和追溯。

(12) 试漏、装配及工程间搬送等设备与国内厂家进行了多项联合开发，实现了低成本全功能自动化，生产工时降低。

5. 生产线实绩

1.6L缸体加工生产线在设备安装调试期间，对设备的加工精度和工程能力进行了确认。所有加工设备要求的工程能力都达到要求的1.33以上，精加工设备的加工精度基本都达到1.67以上。工程能力的计算全数OK。生产准备按照节点计划顺利完成，生产线各项设计指标都已经达成，生产12个月后OEE达到90%以上，无论是投资额、生产运行费用、单人产值，还是加工品质，都处在国内外本行业较高水平，实现了良好的社会效益和经济效益。

与国内其他竞争对手比较，因缸体的设计不一，不一定有可比性。现与建线方式相近的一个中日合资企业为例比较我们的优缺点。我们都是以国内设备为主、辅以部分关键进口设备自行设计建线的，但两家建线的侧重点和理念是不同的。从两条线的结果比较，我们的

优势如下：

(1) 生产线人员较少，自动化程度较高，约为竞争企业的50%。这是因为我们全线辅机采用了低成本自动化、精加工设备，为避免缸体磕碰采用了全自动化设备。

(2) 加工不良率低，若为竞争企业生产线的1/10，这表明生产线的质量稳定性较好。这是我们在设备式样上采用了多项防错新技术有关；另外，串联工艺设计保证了加工条件的唯一性，每个项次都能呈标准的正态分布。

(3) 生产线物流合理，缸体按设计顺序流动，没有中途下线，杜绝了漏序加工和重复投入；含浸设备也在线内，含浸后能尽快投入，含浸品的物流费用低；固定的物流方式也保证了在制品不会过大。

(4) 员工劳动强度低。夹具及设备的设计使人的动作最少化，操作者无须进行夹具的清扫、缸体姿势的变换、倒铁屑等繁重的工作。

(5) 运行成本低，刀具、直材、辅材消耗处于较低水平。缸体加工成本比竞争对手低25%。

当然，我们的生产线也有需要改进的地方，柔性不足：对同系列发动机有充分的柔性，但对不同系列发动机柔性较低。

本次工艺设计在我公司1.6L的生产中获得成功，随后MR的工艺开发中拷贝了该工艺方案。该生产线的工艺设计也引起了日产其他据点的瞩目，今后日产在新兴市场建设生产线时将，以该线作为标准。国内多个厂家建设新生产线时对我们的方案表示出极大兴趣，纷纷表示要借鉴。**MW**

(收稿日期：20140406)