用先进制造工艺生产中速柴油机

中国北车集团大连机车车辆有限公司 （辽宁 116022） 韦 江

中速柴油机主要是指曲轴转速为350～1 000r/min和活塞速度为6～9m/s的柴油机，主要应用于船舶、机车、发电机组等，在对机器重量和尺寸有限制的场合，中速柴油机有非常明显的优势。国外著名的中速柴油机制造厂主要有：德国MAN、芬兰Wartsila、德国MTU、美国Caterpillar、法国SEMT、日本洋马、大发和韩国Hyundai等公司，国内也有近30家制造商，市场竞争十分激烈。中速柴油机发展至今，在性能和可靠性方面有了很大提高，要想在大范围改进原有商品机而形成全新一代的柴油机已经很难，国内柴油机制造商要想获取更大的市场份额，只有运用先进制造技术，学习精益生产理念，提高劳动效率，实现敏捷制造，降低制造成本，提高相关配套产品的制造水平和生产能力，才能获取生存空间。

1. 用先进制造工艺生产中速柴油机

与车用高速柴油机不同，中速柴油机属于中大型设备，生产特点为多品种、中小批量生产，在设备配置上要以柔性制造设备为主，辅以通用设备、专用设备进行合理搭配，用精益生产理念来指导产品制造。当前，除柴油机组装试验能力外，影响中速柴油机生产制造周期和产品产量的主要部件是曲轴，其次为机体、连杆、气缸盖、凸轮轴等部件。下面以中速柴油机上述零部件生产和柴油机组装试验为例，探讨用先进制造技术生产中速柴油机的方法。

2. 曲轴生产工艺的优化

曲轴加工周期最长，是制约柴油机产量和质量的关键零件。目前，国内曲轴专业生产厂家与国外相比存在整体规模小、专业化程度低、企业设备陈旧、工艺落后等差距，是影响柴油机整机适应国内及国际市场能力的重要因素。曲轴的加工工艺主要有以下几个方面：曲轴毛坯制造、曲轴的粗加工、曲轴的表面硬化处理工艺和曲轴精加工。

（1）曲轴毛坯制造 中速柴油机曲轴主要采用全纤维缎锻曲轴，这是在20世纪发展起来的一种新的曲轴毛坯生产技术，其原理为先将金属材料锻造成棒料，然后机械加工成台阶轴状，最后在缎锻专用模具内成形。这种模具有些特别，每次只对一个曲拐进行热变形，而不是像模型锻造那样对整个曲轴进行变形。最先进的工艺是：采用电渣熔铸工艺生产锻造棒料，提高毛坯的致密度；采用TR法全纤维缎锻工艺锻造曲轴，其中缎锻压力发展到万吨级，锻造精度可以做到曲柄斜面不加工。此外，采用毛坯直接调质热处理工艺，这样可以大大提高曲轴加工生产效率。

（2）曲轴的粗加工 曲轴的中心确定方式目前最先进的方式是采用质量定心车床，这样可以保证后续工序加工时工件运转稳定，有利于提高产品质量和减少动平衡的平衡量；曲轴粗加工将广泛采用数控车床、数控内铣床、数控车拉床等先进设备对主轴颈、连杆轴颈进行加工，以有效减少曲轴加工时的变形量。其中曲轴数控

法：第一遍用高电压，大电流快速整平表面，第二遍使用低电压小的进给速度对表面抛光。

（3）磨头运行轨迹宜选用往复运行，行间连接应该选用圆弧连接，连接速度等同于加工速度，凸模下刀点选择在轮廓外侧，凹模选择在内侧。

4. 结语

数控电解修磨抛光技术是数控机床技术和电解抛光技术的有机结合，此工艺方法具有再投资少、自动化程度高、质量稳定、可重复性强的优点，它的使用扩大了数控机床的加工范围，解决了复杂形状模具自动化修磨抛光的难题，在模具的制造中有很高的应用价值。

MW （收稿日期：20101107）

内铣是生产效率最高的，如图1所示。数控曲轴内铣机床具有一次装夹多部位加工的特点，既提高了零件加工精度又可提高工作效率，一根4m钢轴毛坯完成所有外圆粗加工工艺仅需6h，比卧式车床加工效率提高60倍以上。

图1 曲轴数控内铣

（3）曲轴的表面硬化处理工艺 曲轴的表面硬化处理技术主要有氮化、感应淬火、滚压和喷丸。氮化技术由单一的气体氮化发展到软氮化、气体二段式氮化和离子氮化工艺；感应淬火采用了大功率IGBT技术，不但能轴颈淬火，而且能够进行圆角淬火，硬化层深度可以大于4mm；先进的滚压机床不仅应用了变压力滚压技术而且可以对曲轴进行校直；抛丸强化技术的应用可有效改善曲轴抗疲劳寿命，先进、精密的带电脑程控技术的喷丸设备能够对喷丸流程进行严密监控，以确保喷丸质量的恒定性。将圆角滚压、轴颈表面淬火、喷丸等技术复合应用是将来发展的趋势。此外，产业规划时将曲轴热处理工序布置在机加工生产线上，可以最大的提高曲轴生产效率。

（4）曲轴精加工 曲轴精加工最先进的技术是数控随动曲轴磨床，图2是曲轴数控随动曲轴磨床示意图。该设备是一次装夹，半自动磨削大型曲轴主轴颈和连杆轴颈的机床，该机床应用了当今最先进的磨削中型和重型曲轴的技术和工艺，机床设计理念和结构采用很高的数控辅助技术，它不单单体现在磨削过程中，还充分体现在曲轴装夹和初始调整阶段。磨削过程由几个自动磨削循环分段组成，连杆轴颈的磨削采用数控随动磨削原理，即连杆轴颈围绕主轴颈正常旋转，运用砂轮头架与工件头架旋转轴联动数控差补运动完成，该方法模拟了曲轴实际使用时的运动状态，可以获得很高的尺寸精度和几何精度。曲轴的抛光除采用传统的砂带抛光和手工抛光外，可以采用振动磨料光整技术设备，一次装夹完成所有部位的抛光，表面粗糙度值达到 $R_a=0.20\mu m$ 以下，保证柴油机运行可靠。

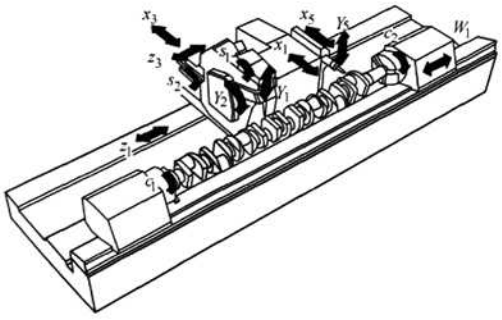

图2 曲轴数控随动磨床

3. 机体生产工艺的优化

机体同样也是制约柴油机产量和质量的关键零件，是柴油机制造商必须牢牢抓住自制生产的零件，机体生产的主要发展方向是数控柔性加工单元和专用群组孔加工设备的有机结合。例如：机体的柔性加工单元，加工机体各面及曲轴孔、凸轮轴孔、气缸孔，主要配置龙门数控加工中心，可以是工作台移动式的，也可以是龙门移动式的，最好是采用型号相同且配置交换工作台的龙门加工中心设备并列布置，曲轴孔、气缸孔等重要工序完成后可以直接进入大型三坐标检测室检测，这样能确保该工序合格后再流入下道工序；机体各面的其他孔加工，主要采用数控镗铣床和数控钻床等设备进行，为了提高加工效率，可以针对气缸螺栓孔、主轴承螺栓孔、观察窗孔等群组分布的孔系，制造专机，这种相结合的生产模式，比单一依赖加工中心的柔性制造系统生产效率要提高两倍以上。此外，制造专用的高压机体清洗设备，配合先进的刀具技术，建成具有高效率、高质量、高柔性的中速柴油机机体生产线是可行的。

4. 连杆、气缸盖生产工艺的优化

目前国内外柴油机连杆均向精锻连杆方向发展，外形和杆身不进行加工。这样不仅可以获得紧密的连杆组织，而且可以省去连杆的粗加工工序，简化了连杆的工艺流程，降低生产成本。此外，连杆盖连杆体整体锻造剖分工艺、枪钻钻孔加工工艺和喷丸强化技术均是连杆制造的发展方向。提高毛坯精度，减少加工余量，是提高气缸盖加工效率的重要措施。采用气阀座面与导管孔同轴加工工艺，采用高耐磨的CBN刀具加工阀座面技术以及难加工材料的低温冷却技术是气缸盖加工技术发展

的方向。

目前中小零部件生产的主要问题是切削效率低和辅助时间长，导致整体生产效率低。切削效率低是对设备性能缺乏了解，对先进的高速切削技术和刀具技术不敢大胆应用，而且现有设备大多最高转速低于5 000r/min，大部分切削是用1 000r/min以下的工艺参数完成加工。而加工中心主轴高速化发展由20世纪90年代的8 000～12 000r/min到现在的20 000r/min以上，在设备制造商帮助下，大胆应用高速切削技术是提高生产效率非常好的手段。解决辅助时间长问题的最佳方法是由单机或多机配以托盘交换系统组成制造单元即“制造岛”，“制造岛”概念的主要思路是想保持机床主轴的不间断旋转，在加工一个工件的同时装夹另外一个工件，不同工序的工装都设计在各个托盘上，工人操作时只需要把工件装夹到托盘上，看到哪一台加工中心空闲，输入相应的产品和托盘编号送过去就可以了，对操作人员的技术要求低，一个人就能操作多台设备，工件交换时间几乎为零，这种模式非常适合柴油机制造业中连杆和气缸盖的加工。

5. 凸轮轴生产工艺的优化

凸轮轴是柴油机产品加工余量最大的产品之一，凸轮轴桃形加工以铣代车是未来的发展方向，生产效率最高的当属数控车铣加工中心；法兰孔的加工采用高精度卧式加工中心或小型龙门式加工中心；凸轮轴磨削设备最先进的是采用主副磨削动力头数控凸轮磨床，对桃形和主轴颈一次装夹磨削完成，这样可以生产出最好的凸轮轴。此外，CBN高效磨削技术的应用也将大大地提高生产效率，同时凸轮轴的渗碳、淬火和中频淬火热处理也应串联到生产线中，实现封闭生产。

6. 柴油机组装工艺的优化

运用精益生产理念进行柴油机组装线的工艺优化设计，使得企业可以合理使用各种资源，消除生产过程中不必要的浪费，最大限度地缩短产品生产周期，降低库存和在制品资金占用，加强生产计划和控制，降低生产成本，提高企业利润，从根本上提高企业的管理水平与企业的经济效益。先进柴油机组线设计的目标是：保证装配线的平衡，控制产品质量，提升产能，降低生产运营成本，改善物流和现场管理，搭建信息化平台。先进的柴油机组装线必须在以下几个方面加大投入：①按照人机工程原理，采用合理的工作高度，配备方便的吊装设备，降低员工的劳动强度。②对主要工装进行柔性设计，如采用可变距离式的双轴拧紧机，能依据不同发动机螺栓的距离和工艺要求对拧紧轴间距和拧紧程序进行设定，并采用可满足多种发动机的在线装配生产的座架。③发动机所有部件装配螺栓力矩均配备电动、气动定扭矩扳手控制，保证装配过程的拧紧力矩满足产品设计要求，且终端力矩均有数字显示，便于拧紧过程的监控，为保证产品质量提供有力的保障。④采用物料配送方式，制作适宜的配送工装，单台发动机的物料由专人在物料配送区域根据生产线零部件间的装配顺序进行装箱配送。

7. 柴油机试验的优化

柴油机试验是柴油机产品制造最后也是最关键的环节，用先进制造技术提高柴油机试验效率主要体现在两个环节，试验时间和柴油机上下台位的辅助时间。

试验时间方面，目前先进国家的中等功率柴油机出厂试验，一般只在台架上进行短时间的热磨合和负荷试验，试验时间有的不超过30min，特别是在大批量生产时，如Caterpilla公司的3300系列柴油机试验时间为22min。大幅度减少柴油机试验时间，除了在节能上有十分明显的效益外，从根本上也改变了人们的产品质量观念。过去大家总是希望加长试验时间来暴露柴油机的质量隐患，正确的质量控制观念应该是一个全过程控制的思想，由合理的产品设计、合格的毛坯、合理的加工和正确的装配工艺所保证。

辅助时间方面，应解决快速装拆，提高劳动效率的柔性快装台架系统，包括起动装置、主轴对接机构、快速管路对接机构、定位机构、牵引机构、压紧机构、液压系统和测功器，最大地提高试车台位的利用率。同时也应合理选择测试仪表，对所有现场信息进行实时采集和处理，并逐步向自动化试验过渡。

8. 结语

中国北车集团公司“十二五”期间将在旅顺建设世界级、国内最大、技术最先进的轨道交通装备和通用动力机械的研发和制造基地。届时，在旅顺柴油机制造基地建设规划中，先进制造技术理念将融入其中，中国造机工业将向世界造机强国的目标奋进，我国柴油机产品最终将走出中国、走向世界。**MW**

（收稿日期：20101102）

（2010年工艺征文获奖作品选登）