

# 柴油机关键零部件的加工及其设备

南车戚墅堰机车有限公司 (江苏常州 213102)

虞行国 许亚英 谭晓丽



虞行国

柴油机在现阶段各个领域都在广泛地应用,例如船舶、铁路、工程机械及电力等,在遇到战争和突发的灾害时期柴油机更能发挥其优势和作用。由于电力机车的发展,铁路系统

对柴油机车需求有所下降,因此,原来生产机车柴油机的厂家纷纷转型生产船用发动机。

在技术进步和绿色环保的今天,用户对柴油发动机使用的输出功率、油耗、噪声、机破等指标有更高的要求。这就要求设计人员具有符合国际标准的设计思路,制造厂商有先进的制造工艺和先进高端的加工制造设备来迎合市场的需求。

柴油发动机总成后会由上千个零件所组成,但是关键还是五大件,即机体、曲轴、凸轮轴、连杆和缸头等。以铁路内燃机车柴油机为例,图1是生产线上即将装车的铁路内燃机车柴油发动机现场的总成外形图。



图1 柴油机发动机机体总成

## 机体加工难点和加工设备

柴油机机体是一个典型复杂的箱体零件,是装配各个零部件的基础件,目前大体有整体铸造和板材焊接件两种。各端面上大约有大小螺栓孔上千个。而V型柴油机机体主要精度尺寸体现在三孔即主轴承孔、二侧凸轮轴孔、气缸孔和这三孔的空间相交尺寸。这些孔径的精度尺寸直接影响到柴油机的使用寿命和机破事件发生的几率。对柴油机机体主轴承孔和凸轮轴孔的精度有着较高的精度要求,在5m长9挡孔径上主轴承孔直线度误差要控制在0.08mm,相邻误差要控制在0.035mm,同样凸轮轴孔直线度误差要控制在0.10mm,相邻误差要控制在0.035mm的精度,因此要严格控制机体本身的变形、加工时的工件压装和对机床本身的加工精度。图2所示是在加工主轴承孔和凸轮轴孔。

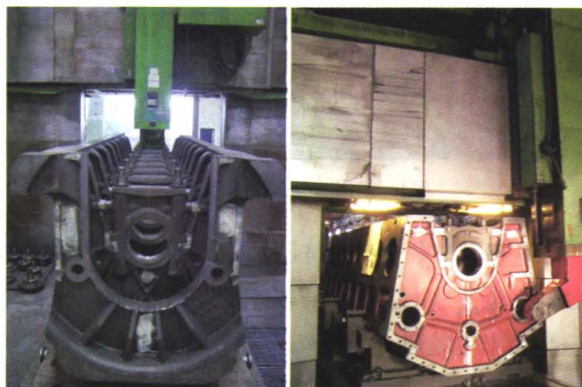


图2 加工主轴承孔和凸轮轴孔

加工机体时,加工难点就在设备本身X轴的直线度是否达到工艺要求,以及Y轴和Z轴运行插补程序时各轴的重复定位精度指标。因为在加工主轴承孔和凸轮轴孔时,都是通过附件铣头一挡一挡地进行加工的,同时附件铣头也有两项精度会影响柴油

机机体的加工精度。附件铣头的主轴中心线与滑枕主轴中心线的中心偏置以及附件铣头180°回转中心的偏置精度都应该小于0.015mm，所以对附件铣头重复定位精度指标要求比较高，如图3所示。目前，国产大型龙门加工中心大部分承担柴油机机体的粗加工和半精加工，精加工工序全被德国、日本等国际品牌进口设备所垄断，代表性的有瓦得里希科堡、黑根里斯特等品牌。

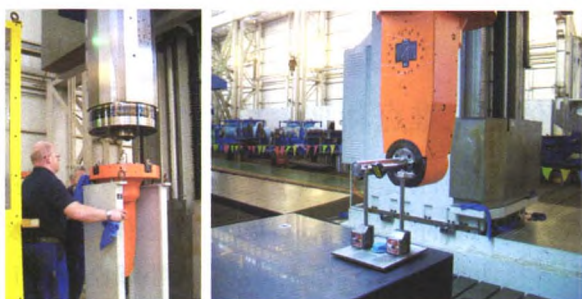


图3 附件铣头主轴与滑枕主轴的安装及附件铣头的精度测量

## 曲轴加工难点和加工设备

曲轴（见图4）是发动机中承受冲击载荷、传递动力的重要零件，在工作中它要承受交变载荷、弯曲和剪切应力，对疲劳、耐磨和强度等性能指标都有较高的要求，同时对材质的毛坯、热处理工艺等都有严格的要求。

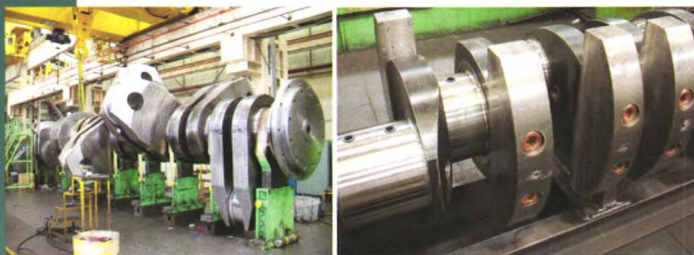


图4 船用曲轴和机车用曲轴

一根5t左右全纤维挤压曲轴的毛坯到成品需要经过多道工序，工艺为：粗车主轴颈→粗车连杆颈→半精车主轴颈→半精车连杆颈→精车主轴颈→精车连杆颈→粗磨主轴颈→粗磨连杆颈→精磨连杆颈→精磨主轴颈等热处理、检查、化验近40道子工序。这种轴类工件在现有的设备一次加工成形是困难的，因为带有偏心，所以必须有两种设备分别来加工主轴颈和连杆颈（见图5）。

针对主轴颈直径、连杆颈直径、连杆颈平行度、圆柱度、表面粗糙度、主轴颈跳动等这么多的



图5 主轴颈和连杆颈的车加工

精度要求，制造质量和制造周期满足不了高速发展的铁路和船舶业，为此一般都选用进口的一次夹装、一次加工成形的车铣复合数控设备，代表设备有奥地利WFL等。现代工业发达的国家都把制造高速、高精、车铣复合加工机床作为其重要的发展目标，此类机床的生产能力和技术水平已经成为衡量一个国家制造业水平的重要标志，而且能够加工出形状复杂精度要求的产品（见图6）。



图6 数控车铣复合机床

在选择同样采用台阶切入形式磨削时，虽然这种磨床设备经过两种形式的改进（见图7），还是解决不了一次夹装同时磨削主轴颈和连杆颈问题，需多次调整偏心距和分度角度才能完成对连杆颈的磨削加工。图7a是早期形式的磨床头尾架通过机械同步轴传动进行工作，图7b是数控形式的磨床头尾架达到同步轴进行工作的。但是，要使主轴颈和连杆颈的精度达到0.03mm，特别是对多缸机的多拐连杆颈相互平行度的精度达到0.02mm是很难保证的。

为了要一次夹装同时磨削主轴颈和连杆颈又保证磨削精度，目前在进口大型磨床设备上也采用了新的磨削工艺即随动磨削或者叫跟踪磨削。代表设备制造厂为EMG公司。为提高大型曲轴切点跟踪磨削的工件轮廓精度为目标，克服曲轴扭转变形对



图 7

连杆颈形位精度的影响、高精度高响应特性的砂轮架进给系统以及切点跟踪磨削运动轨迹误差控制，砂轮架进给系统是切点跟踪磨削的关键部件，它对保证连杆颈磨削的轮廓精度起着至关重要的作用。这也是考核设备好坏的关键项（见图8）。

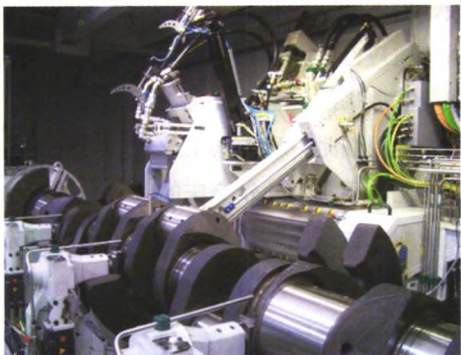


图8 数控随动跟踪磨床

大型曲轴质量大，具有很大的转动惯量，故其回转运动时需要很大的驱动力矩；另一方面大型曲轴长径比大，曲拐的空间分布情况复杂，曲轴整体抗扭刚度较低，因此曲轴回转运动时易产生较大的扭转变形，切点跟踪磨削中曲轴的扭转变形会对连杆颈造成形位误差，这就需要设备的头架尾架在同步上下功夫，做到旋转运动分度上分秒不差。所以头架和尾架的同步技术水平决定曲轴回转运动时的扭转变形以及影响各连杆颈平行度的精度，砂轮架进给系统以及切点跟踪磨削运动轨迹误差决定主轴颈和连杆颈圆度精度。

## 连杆加工难点和加工设备

柴油机作作的力就是通过连杆传递到曲轴上，连杆是联接活塞与曲轴的关键零件，两头有大小孔之分，小孔联接活塞，大孔通过哈夫设计组成连杆体和连杆盖联接安装在曲轴连杆颈上（见图9）。

连杆在工作时工况是十分恶劣的，特别是联接曲轴的大孔部分的连杆体和连杆盖要承受曲轴360°旋转时对它们的拉力和推力，在这两个作用



图9 柴油机连杆

力下，会造成除了4个连杆螺栓通过扭力扳手的压紧外，还会造成连杆体与连杆盖的轴向以及径向的连接平面位移。这种现象会产生孔与轴配合间隙的变化，导致连杆粘瓦形成机破事故。为此它们的联接在平面内除了有定位销钉及连杆螺栓外径和连杆有配合公差克服轴向位移外，在克服径向位移上也采取一定的安装工艺，一种是采用凹凸槽相配的办法，另一种是采用鼠牙齿结构的形式（见图10）。鼠牙齿的形状是通过磨床加工而得到的，这些具有代表性的设备有保宁、法力图、ELB的机床。这种紧密结合就很好地解决了位移的产生。

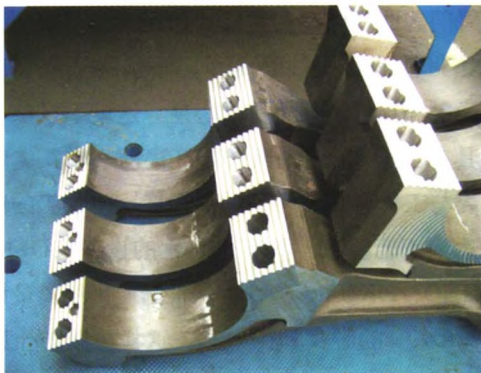


图10 鼠牙齿结构联接的连杆

该结构的连杆对加工设备有较高的要求，方法属于大磨削量缓进给蠕动加工，砂轮的修正采用整体的金刚石滚轮修正器，修正器本身的精度决定砂轮的精度也最终决定产品的精度，设备如图11所示。

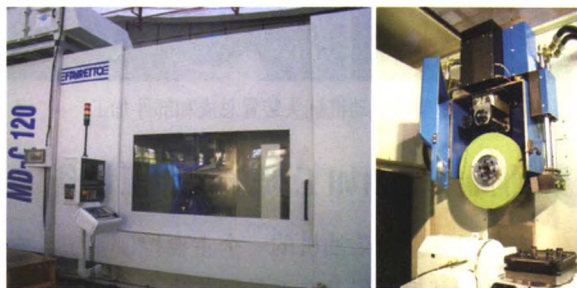


图11 带顶置式金刚石滚轮修正器的结构和设备

连杆在磨削前端面是平面形状，在专用夹具的夹持下，经过二次磨削即成形（见图12）。



图12 未磨削前的连杆和连杆夹具

这种大磨削量缓进给磨削方法容易产生鼠牙齿表面的烧伤以及裂纹，为了防止不良现象的产生可以使用大流量冷却泵来带走热量和冲洗工件以及砂轮表面，同时为提高表面粗糙度就需要选择合适的切削液和加工参数。

## 缸头加工难点和加工设备

柴油发动机缸头是典型的箱体零件，在这种型号缸头里装有4个阀门，即进排气门（见图13）。要求气门芯即气阀在凸轮轴的作用下阀门阀面开启关闭密封性能及接触面良好，而且阀杆孔长度较长，又要与阀杆阀门保持同心度，这就要求加工的设备具有：工作台B轴回转精度误差 $<6s$ ，主轴中心线要与工作台保持较好的平行度，使加工的产品能够达到工艺要求。具有代表性的设备有DMG、MAKINO、OKUMA品牌等。根据使用经验最好选用正T形床身的卧式加工中心，这样可以防止因立柱长时间作Y轴向运行造成主轴中心线变化而影响同轴度，发生密封性能差和阀杆断裂的现象，降低了燃烧室的爆发力和柴油机的功率。



图13 柴油发动机缸头装置总成和部件加工

## 柴油机凸轮轴加工难点和加工设备

凸轮轴装置是柴油机的一个主要控制系统，它对凸轮的曲线升程以及各凸轮间的夹角都有严格的数值要求（见图14）。



图14 凸轮轴磨床在加工产品

凸轮轴磨床也随着产品精度要求的提高而不断地升级，而不是采用靠模来控制头尾架的转速。从数控系统适应凸轮轴加工的特性、机械传动链的优化都颠覆了原来的设计以及加工手法和工艺。特别是磨削凸轮曲面时，砂轮与工件的切点随着凸轮曲面直径变化，要求凸轮轴磨床的头尾架转速与砂轮线速度匹配，达到表面粗糙度一致。磨削的方法是采用随动跟踪磨削（见图15）。

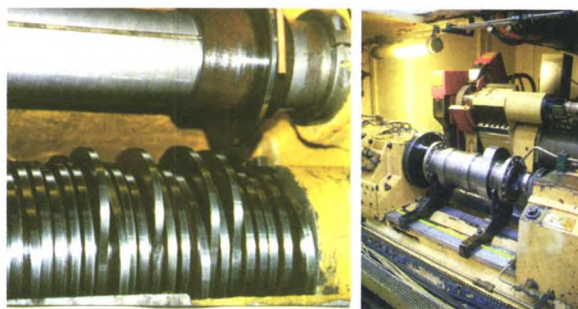


图15 凸轮轴磨床的靠模

全数控凸轮轴磨床具有代表性的机床厂有斯来福旗下的磨床制造厂。

## 结语

柴油机车在铁路运输中正逐渐被电力机车代替，为了生存，企业应该积极转型。2013年8月，国务院下发了《船舶工业加快结构调整促进转型升级实施方案（2013~2015年）》，我国要大力培育中高速柴油机、小缸径低速柴油机、甲板机械等优势产品自有品牌，这给生产大型柴油机的机车厂带来了机遇。机车厂有生产中高速柴油机的技术和经验，有先进的生产设备，积极介入船舶中高速柴油机市场，一定会有很大的收获。MW

（收稿日期：20131110）