



加工基准的选择对曲轴的制造质量及整车性能至关重要，必须严格监控制造工艺过程，预防质量风险，避免质量缺陷逃逸到终端客户。曲轴外形是不规则的，对设备的选择和工艺的设计要求非常高，一个好的工艺设计可以消除很多质量风险，能做到防患于未然。

□ 上汽通用五菱汽车股份有限公司 覃建方

曲轴加工工艺基准的选择及工艺顺序的安排



AI 汽车网 - 动力总成制造

曲轴生产线及设备概况

曲轴生产线一般分为自动化和半自动化，纯自动的生产线已经非常少见。产品类型较少但产能要求较高的情况下，例如只生产 2 ~ 3 种类型的产品，但年产能要求 30 万件以上，一般采用自动化的生产线。自动化生产线的柔性（多种零件类型共线生产的能力）较低，改造成本较高，但加工质量稳定，且效率很高，多适用于各大汽车主机厂的加工制造。相反，若产品类型较多但产能需求较少的情况下，例如共线生产 5 ~ 7 种类型的产品，但年产能仅需 15 万件左右，且产品类型随时需要调整的，一般采用半自动的生产线。半自动的生产线柔性好，改造成本低，但受工人技术水平的影响，质量不稳定，效率也很低，多适用于专门给各大汽车主机厂提供曲轴产品的企业。

曲轴外形尺寸不规则，大都采用专用设备加工制造。粗加工工艺主要包括预钻中心孔、车-车-拉、外圆铣、钻油孔、淬火、滚压和清洗等，对应的设备有 CNC 加工中心、车车拉机床、外圆铣床、钻床、淬火线、滚压机和清洗机等。精加工工艺主要包括两端孔系加工、车削、磨削、动平衡、抛光和清洗等，对应的设备有高精度 CNC 加工中心、转塔车床、随动磨床和角度磨床、动平衡机、抛光机和清洗机等。

曲轴制造工艺基准的选择

曲轴的基准主要分为设计基准、加工基准（工艺基准）、装配基准，最理想的是三个基准始终保持一致，这样加工制造的产品一致性最好，精度最

高，但受技术水平的影响及成本的限制，三个基准也会有不一致的情况。曲轴的制造过程中，各个工位的加工基准也有不一致的情况，做工艺设计时需考虑基准转换造成的定位误差的影响。

粗加工基准用于粗加工过程的定位，其定位点、定位面都处于毛坯状态，毛坯的制造质量直接影响到定位的精度及稳定性，粗加工基准一般都会在毛坯图样上标注，以便毛坯供应商识别并采取相应的技术方案保证基准的制造质量。曲轴的粗加工基准如图 1 所示，轴向定位最外侧两个平衡块，径向定位第一连杆颈。

半精加工基准如图 2 所示，轴向定位基准采用两端中心孔，径向定位基准采用第 1 连杆颈，并夹紧第 1、5 主轴颈，半精加工与精加工之间存在基准转换，需考虑基准转换之后的加工去除量足够，以确保产品质量要求。

精加工基准如图 3 所示，轴向定位基准选择止推面，径向定位基准选择第 1 连杆颈，与产品图纸定义的基准位置保持一致，以避免基准再次转换，进而提升加工精度及产品质量。

工艺顺序的安排

工艺顺序的安排将影响到产品质量，工艺顺序设计不合理，后工序加工过程中影响到前工序已经最终成品的尺寸或几何公差时，将造成无法挽救的质量问题，因此设计曲轴的工艺顺序时，需了解各工序的加工原理、定位夹紧的方式、加工过程对工件产生的不良影响，在项目前期把工艺风险控制住，以提升产品质量。

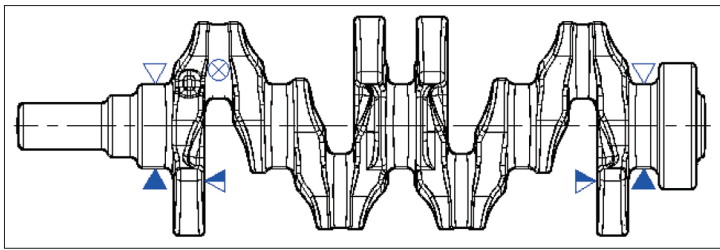


图 1 曲轴粗加工定位夹紧方式

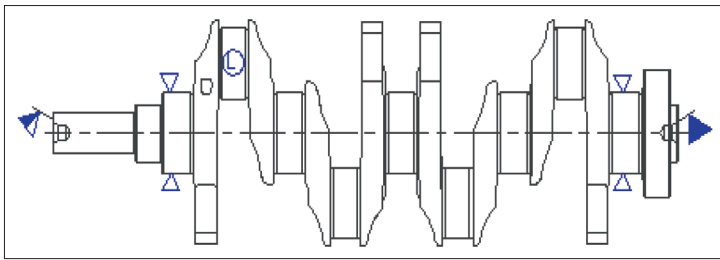


图 2 曲轴半精加工定位夹紧方式

1. 淬火与滚压的顺序

曲轴轴颈表面淬火的目的是将轴颈表面组织转化为硬度较高的马氏体组织，进而提高轴颈表面硬度以提升工件的耐磨性，同时轴颈内部材料的组织形态不变，保持较好的韧性。根据铁碳相图，曲轴材料中铁元素的含量为 0.4%，淬火需把工件加热到 850℃ 以上，然后快速冷却才能获得马氏体组织，同时轴颈芯部的温度不能太高以免造成材料组织转变而导致韧性降低的问题。一般采用交流电进行感应加热，在交流电的集肤效应作用下，使得工件表面温度快速提高而芯部温度上升不明显。

滚压工艺在球墨铸铁和锻钢材料的曲轴中都有应用，滚压

位置是曲轴主轴颈和连杆颈的沟槽。滚压是一种冷作硬化的工艺方法，如图 4 所示，它不对工件产生任何去除量，通过滚压轮挤压轴颈的沟槽，使沟槽表面产生冷作硬化，改善微观形貌缺陷，并在沟槽处产生压应力，该压应力刚好与发动机正常工作时对曲轴产生的拉应力相互抵消，从而提高曲轴的疲劳强度。滚压力是一个关键的工艺参数，一般在 6 000 ~ 7 000 N 之间。据统计，未经滚压的曲轴疲劳试验都是失败的，球磨铸铁材料的曲轴滚压加工后，疲劳寿命能提高 120% ~ 230%，锻钢材料的曲轴滚压加工后，疲劳寿命能提高 70% ~ 130%，提升幅度非常明显。

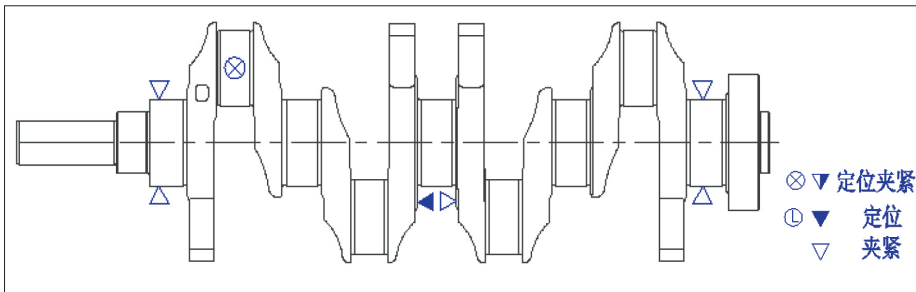


图 3 曲轴精加工定位夹紧方式

由以上分析可知，淬火工艺和滚压工艺都会对曲轴的性能产生很大的影响，一般先淬火后滚压，两种工艺的先后顺序不能随意调换，因为轴颈表面与沟槽相邻，如图 5 所示，淬火的能量很快就会传到沟槽，如果采用先滚压后淬火的顺序，则淬火产生的能量将破坏滚压产生的塑性变形，进而影响工件的疲劳寿命。

2. 止推面精车与主轴颈磨削的顺序

曲轴止推面在发动机中与止推片存在相对运动，加工精度要求较高，其宽度的公差带是 0.05 mm，垂直度公差是 0.02 mm，一般采用精车或精磨的方式加工保证尺寸及几何公差，加工止推面会产生一定的切削力，该切削力足以使曲轴产生一定的弯曲变形，进而改变主轴颈的跳动状态。

曲轴主轴颈在发动机中与轴瓦配合，相互之间存在相对运动，其加工精度要求很高，直径径向公差是 0.012 mm，圆跳动公差是 0.03 mm，主要靠磨削保证尺寸及几何公差。曲轴的主轴颈经过磨削之后其形位公差基本就确定了，虽然后工序还对主轴颈进行抛光，但抛光去除量非常小，只有 0.005 mm，无法改善几何公差，因此对主轴颈径向圆跳动影响较大的工序应该放到主轴颈

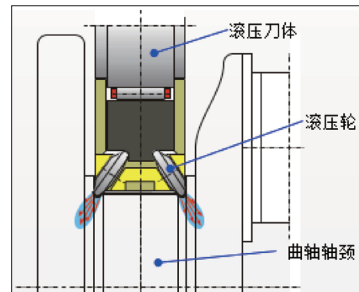


图 4 曲轴沟槽滚压示意

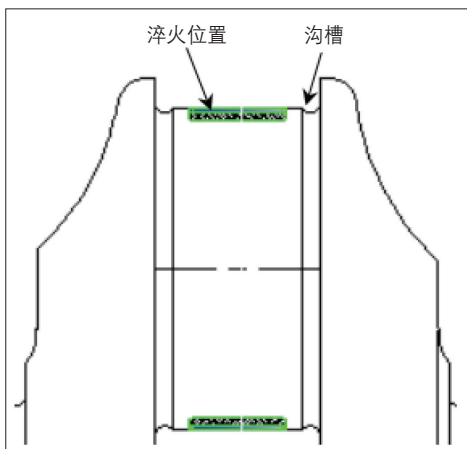


图5 淬火位置与沟槽很近

磨削之前进行，可避免磨削后工件径向圆跳动变化较大而无法校正的问题。

根据以上分析可知，曲轴止推面精车需放在主轴颈磨削之前进行，这样精车止推面对轴颈径向圆跳动的影响可以在后工序的磨削中消除，图6、图7是止推

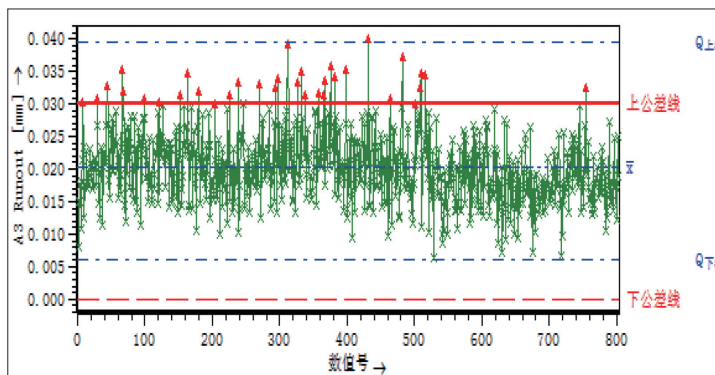


图6 先磨主轴颈再车止推面的成品轴颈径向圆跳动

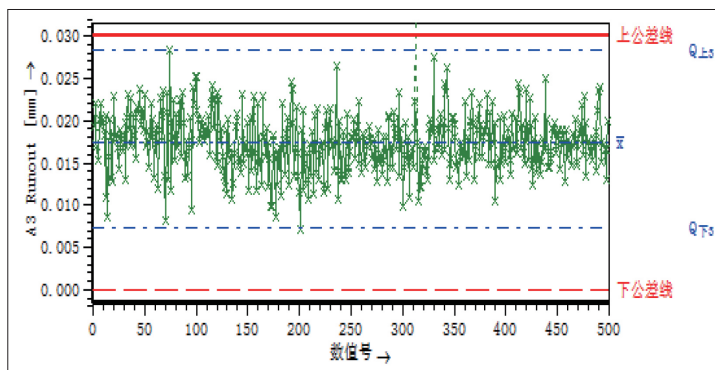


图7 先车止推面再磨主轴颈的成品轴颈径向圆跳动

温泽测量仪器（上海）有限公司

WM | MMA 系列便携式 7 轴关节臂

该便携式 7 轴关节臂具有很好的灵活性，可用于生产进程和对质量保证有要求的工作场景。自动按钮识别，温度补偿，静止位置稳定通过将 7 轴关节臂与一台高分辨率线性扫描仪结合，可以在无接触的情况下捕捉到每个细节，对于经典的坐标测量系统是一项很有帮助的补充。

便携式关节臂采用最新材料制成，其自重轻，可在移动应用中获得高精度和可重复的测量结果。具有阻尼元件，内部重量补偿。关节臂可直接用于部件上，可配备光学测头和接触式测头，省去了预热时间，无需在部件上粘贴标志点。所得测量结果随后通过 WiFi 接口进行传输，以供日后使用。

温泽便携式 7 轴关节臂可应用于测量室、汽车生产线的在线检测、重要部位安装位置的检测、逆向扫描、整车及其零部件外形尺寸的检测（如车身、座椅和车轮等），能够灵活地用于各种复杂的生产环境。



E2-B101



德国索菲纳

超精研磨机床 RaceNeo

柔性化、可靠性、安全性和最高加工精度一直是德国索菲纳超精研磨机床 Race、RacePro 和 RaceFlex 等机型的价值所在。

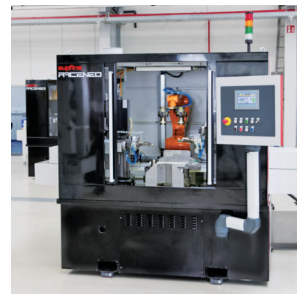
创新研发的 RaceNeo 超精机将这些理念和对最高加工精度的追求相结合，同时在批量生产中达到用户对最佳经济效益的要求，为超精研磨滚珠轴承内圈和外圈设立了新的标准。

该机配备紧凑式床身设计，占地面积小；集成机械手完成自动上下料，可配置油石和砂带进行超精研磨，工件夹持系统为模块化设计；A 型最大工件直径 100 mm，B 型最大工件直径 200 mm；可以非常简便地集成到自动化生产线中。

该机型经过优化，以满足最高的生产力要求，同时实现最佳质量的加工结果，机床调整时间短，实现了优越的加工稳定性和可靠性。



W3-A203



面精车与轴颈磨削采用不同的先后顺序对最终产品的主轴颈跳动的影响数据,先车止推面再磨主轴颈的工件径向圆跳动均值低于0.003 mm,且数值稳定无超差情况。

3. 法兰端螺纹孔加工与油封外圆磨削的先后顺序

法兰端螺纹孔用于安装发动机飞轮,位于油封的圆周里面,距油封外圆只有6 mm,如图8所示。钻削螺纹底孔及攻螺纹,如图9所示,工件材料产生一定的挤压变形,因其与油封距离较近,可导致油封变形,油封的圆度超差,轮廓呈花瓣状,起不到应有的密封作用。油封圆度要求是0.005 mm以内,精度非常高,主要靠磨削来保证,先磨削油封再加工

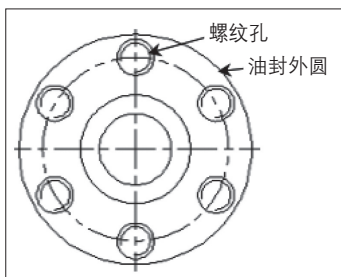


图8 螺纹孔和油封的相对位置

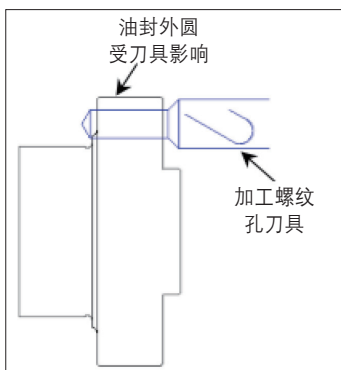


图9 螺纹孔加工示意

法兰端螺纹孔时,加工螺纹孔导致的油封变形将无法在后工

序得到校正,因此必须先加工法兰端螺纹孔再磨削油封,磨削后将不存在油封圆度变差的问题。

结语

在发动机三大件(缸体、缸盖、曲轴)的加工制造中,曲轴的工艺最为复杂,投资成本最高,所用的设备种类繁多,只有少量的通用性加工中心,大多都是技术要求很高的专用设备。曲轴加工的粗加工基准可以根据技术难易程度及成本来选择,精加工基准必须与产品图样要求一致。设计曲轴的工艺顺序时,需了解各工序的加工原理、定位夹紧的方式、加工过程对工件产生的不良影响,在项目前期把工艺风险控制住,以提升产品质量。 AI

格劳博中国

四轴通用加工中心 G640

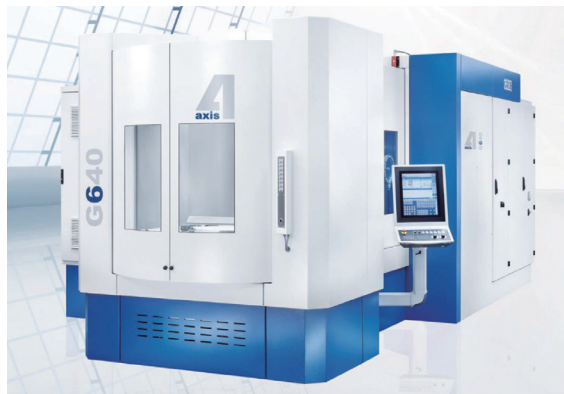
凭借全新的四轴通用加工中心系列,除了原有的五轴市场领域外,格劳博进一步扩大了其产品范围,将能够满足所有不断增长的目标市场需求。G440、G640和G840四轴通用加工中心拥有模块化的机床设计和众多选件,可根据用户的具体要求来进行配置。

同格劳博五轴联动通用加工中心一样,格劳博四轴通用加工中心系列具有紧凑的设计、高生产率以及最大稳定性,完美适用于汽车工业领域。全新的格劳博四轴通用加工中心G640以其卓越的负载重量、推动力及主轴加速能力,在市场中脱颖而出。

G640被设计成刚性床身上带有三个固定点的活动立柱,旋转轴由动态力矩电机驱动,直线轴由滚珠丝杠驱动。对于G840和G640型号而言,工作空间可根据目标领域,以更大的立柱配置来进行扩展,从而满足更高夹紧装置的使用。

除了拥有500 mm、630 mm和800 mm三种设计尺

寸的托盘类型外,G440、G640和G840还提供多种配置的主轴系列,包括适用于HSK、SK、CAT、BT和BIG-PLUS的各种尺寸接口。由格劳博设计制造的主轴能够胜任批量生产与极高精度的动态任务。



W3馆 A205