

# 国内外内燃机曲轴制造技术现状及发展趋势

Present Situation and Developing Trends of Crankshaft Manufacturing  
Technology for Diesel at Home and Abroad

李海国

(山东滨州海得曲轴有限责任公司)

**摘 要:**文章从曲轴毛坯的铸造技术、锻压技术、机械加工技术、热处理和表面强化技术等几个方面,综合论述了国内外内燃机曲轴制造技术现状及发展趋势。

**关键词:**曲轴 铸造工艺 数控技术 机加工 热处理 圆角滚压强化

曲轴是内燃机中承受冲击载荷传递动力的关键零件,也是在内燃机 5 大件(机体、缸盖、曲轴、连杆、凸轮轴)中最难以保证加工质量的零件。由于曲轴工况条件恶劣,因此对曲轴的材质、毛坯加工技术、精度、表面粗糙度、热处理和表面强化、动平衡等要求都十分严格。其中任何一个环节的质量对曲轴的寿命和整机的可靠性都具有很大的影响。因此世界各国对曲轴的加工都十分重视,不断地改进曲轴加工工艺,最大可能地提高曲轴寿命。

曲轴质量(指轻重)约占内燃机质量的 10%,成本约占整机的 10%~12%,其材质大体可分 2 类:一类是锻钢,一类是球墨铸铁。由于采用铸造方法可获得较为理想的结构形状,从而减轻质量,且机加工余量随铸造工艺水平的提高而减小,目前国外球铁铸造曲轴的单边加工余量可达 2~3 mm。另外球墨铸铁的切削性能良好,并可通过各种热处理和表面强化处理来提高曲轴的抗疲劳强度、硬度和耐磨性。球铁中的内摩擦所耗功比钢大,减小了工作时的扭转振动的振幅和应力,应力集中也没有钢质曲轴敏感。所以球墨铸铁曲轴在国内外得到了广泛的应用。

近年来,我国内燃机曲轴专业生产厂家通过引进技术消化吸收和自行开发,总体水平有了较大的提高,但是我国距世界先进水平仍相差很远,甚至于还满足不了我国内燃机工业技术发展的要求。我国曲轴专业生产厂家不是很多,且整体规模小、专业化程度低、企业设备陈旧、产品设计和工艺落后、性能寿命和可靠性差、品种杂乱和“三化”程度低,这些都影响了整机适应国内及国际市场的能力。随着我国加入 WTO,内燃机零部件行业将面临更加激烈的市场竞争,也将迎来新的发展机遇。我们只有充分了解国内外内燃机曲轴制造技术现状及发展趋势,及时改进和提高曲轴制造

技术水平,才能制造出具有世界一流水平的内燃机曲轴,以实力参与市场竞争。

## 1 国内外内燃机曲轴制造技术现状

### 1.1 毛坯的铸造技术

我国球铁曲轴的生产继 QT600-2、QT700-2 之后,现已能稳定地生产 QT800-2、QT900-2 等几种牌号,目前已能大批量生产 QT800-6 球铁曲轴。但从整体水平来看,存在生产效率低,工艺装备落后,毛坯机械性能不稳定、精度低、废品率高等问题。

(1)熔炼方面 高温低硫纯净铁水的获得是生产高质量球铁的关键所在。经大量分析研究表明,国外球铁中硫、磷、镁及稀土元素含量明显低于国产件,且金相组织中的石墨圆整均匀。究其原因,主要是国内生产设备以冲天炉为主,铁水未进行预脱硫处理;其次是高纯生铁少、焦炭质量差。为获得高温低硫磷的铁水,可采用双联外加预脱硫的熔炼方法,即用冲天炉熔化铁水,经炉外脱硫(把硫降到 0.01% 以下),然后在感应电炉中升温并调整成分。炉前铁水成分的检测国内已普遍采用真空直读光谱仪来进行,真空直读光谱仪使用的多为日本、美国、英国等国的检测设备。

(2)造型方面 气流冲击造型工艺明显优于粘土砂造型工艺,可获得高精度的曲轴铸件。该工艺制作的砂型具有无反弹变形量的特点,这对于多拐曲轴尤为重要。目前国内一些厂家的造型设备主要从瑞士、德国、意大利、西班牙等国进口。在国外,曲轴造型多采用壳形工艺,其中酚醛树脂砂热固化壳形工艺是比较成熟的一种。利用这种工艺及其配套设备可制取高强度的铸型壳,从而确保铸件的高精度、较低的表面粗糙度值和致密的金相组织。目前国内极少数厂家已进口了整条生产线。

(3)砂处理和清理 型砂质量是确保铸件质量的重要条件,在高效混砂和旧砂冷却方面是我国的薄弱环节。因此国内部分厂家从德国、日本、瑞士、美国进口了混砂机和旧砂冷却装置,以及大容量的滚筒筛、斗式提升机、砂型水分检测控制仪等。铸件的清理使用吊链式抛丸室和铸件水平旋转鼠笼式抛丸机。

国外砂处理系统和单元多为自动化微机管理,型砂中水分和有效粘土含量及煤粉含量实行自动检测和控制,型砂运输系统多为自动化控制。铸件清理全部在专机自动线上进行,大部分操作由机械手和机器人完成。

### 1.2 毛坯的锻造技术

目前,国内虽已有一批先进的锻造设备,但由于数量少,加之模具制造技术和其他一些设施跟不上,使一部分先进设备未充分发挥应有的作用。但从总体上来讲,需改造的和更新的陈旧普通锻造设备多,落后的工艺和设备占主导地位,先进的技术有所应用但还不普遍,检测手段以手工测量为主,锻件质量不稳定,加工余量偏大、材料利用率偏低、能耗高、噪声、振动和烟尘治理差,劳动强度大、生产效率低。

### 1.3 机械加工技术

国内大部分专业厂家普遍采用普通机床和专用组合机床组成的流水线生产,生产效率、自动化程度较低。粗加工设备多采用 S1-206A、S1-217 或 S1-130 曲轴车床加工主轴颈及连杆颈,工序质量稳定性较差,且容易产生较大的内部应力,难以达到合理的加工余量。外圆的磨削余量一般单边留 0.5~0.8 mm;止推面单边余量一般留 0.3~0.4 mm,为保证成品尺寸,采用多次磨削方式。一般精加工采用 MQ8260 曲轴磨床粗磨-半精磨-精磨-抛光。通常靠手工操作,加工质量不稳定,废品率较高。“八五”期间,部分企业曾先后进口铣曲轴主轴颈和连杆曲颈的数控内铣床、数控磨床、数控砂带抛光机等先进设备,使曲轴机加工水平提高,但整体工艺水平仍很低。

国外在曲轴机加工方面广泛采用数控技术及自动线。生产线一般由几段独立的自动化生产单元组成,具有很高的灵活性和适应性。采用龙门式自动上下料,集放式机动滚道传输,切削液分粗加工和精加工两段集中供应和回收处理。曲轴中心孔一般采用质量定心加工方式,这样可保证后续工序加工时工件运转稳定,有利于提高产品质量。另外,在曲轴动平衡工序中,不平衡量很小,有利于改善曲轴的内部质量补偿。轴颈的粗加工一般采用数控铣削或车拉工艺。工序质

量可达到国内粗磨后的水平,且切削变形小、效率高。铣削和车拉是曲轴粗加工的发展方向。油孔的加工采用鼓轮钻床和自动线。近几年来,随着枪钻的应用,油孔的加工多已采用枪钻自动线钻孔-修缘-抛光。

曲轴的磨削则多采用数控磨床,具有自动进给、自动修正砂轮、自动补偿和自动分度等功能,使曲轴的磨削精度和效率显著提高。主轴颈一般采用多砂轮磨削,连杆轴颈一般采用双砂轮磨削。抛光则采用 CNC 控制的砂带抛光机,所有轴颈一次抛光只需 20 多秒,粗糙度值可达  $R_a 0.4 \mu\text{m}$  以下,大大缩短了发动机的磨合期。

动平衡一般采用 CNC 控制的综合平衡机,测量、修正一次完成。检测一般在生产线上配备 MARPOSS 或 HOMWORK 综合检测机,实现在线检测,对曲轴的几乎所有机加工项目均可一次完成检测、显示、打印。曲轴的清洗采用专用精洗机定点定位清洗,能有效保证曲轴的清洁度要求。另外还广泛采用轴颈过渡圆角滚压技术。专用圆角滚压机自动控制,对所有轴颈圆角进行一次滚压,而且滚压力和滚压角度自动调节,使圆角处产生最佳的残余压应力,提高了曲轴的疲劳强度。

### 1.4 热处理和表面强化处理技术

曲轴的热处理关键技术是表面强化处理。曲轴一般均采用正火处理,为表面处理做好组织准备。国内在正火工艺方面进行了大量的探索和创新。例如国内有的厂家试验成功了用铸造余热进行正火热处理的工艺,具有明显的节能降耗效果,值得推广应用。

表面强化处理一般采用感应淬火或氮化工艺,少数厂家还引进了圆角淬火技术和设备。“八五”期间我国从德国、美国、意大利等国家引进了多套曲轴淬火和气体氮化设备,近年来还从德国引进了曲轴软液软氮化和气体二段式氮化技术以及离子氮化工艺,使我国的曲轴表面强化处理水平达到或接近国际先进水平。

据国外资料介绍,球墨铸铁曲轴采用圆角滚压工艺与离子氮化结合使用进行复合强化,可使整条曲轴的抗疲劳强度提高 130% 以上。东风汽车公司工艺研究所的“曲轴圆角滚压强化与液压校直技术研究开发及应用”解决了国内企业花巨资引进国外技术的问题,该课题获得了国家机械工业局科技进步二等奖。

## 2 中国内燃机曲轴制造技术发展趋势

### 2.1 铸造技术

(1) 熔化方面 对于高牌号铸铁的熔化,将采用大容量中频炉进行熔炼或变频中频炉熔炼,对于普通铸铁的熔化,采用双联熔炼工艺。熔化过程的各参数实现微机控制和屏幕显示,采用自动和半自动浇注机进行浇注,减少操作人员。

(2) 造型和制芯 消失模铸造将进一步发展和推广。在砂型铸造中,无箱射压造型和挤压造型将受到重视并继续在新建厂或改建厂中推广应用。原有的高压造型线将继续使用并且其中部分关键元件将得到改进,实现自动组芯和下芯。自动快换型板及模具可适应不同产品的更换交替。在制芯工艺上,新型冷芯盒或新型温芯盒制芯设备将出现,组合射芯将在新型设备上进一步推广和应用。Pepsset 砂的造型和制芯工艺将进一步推广。

(3) 砂处理和清理 砂处理系统和单元将实现微机化管理,型砂中水分和有效粘土含量及煤粉含量将实现自动检测和控制,型砂运输系统将实现自动化程序控制。铸件清理将全部在专机上进行,主要是机器人操作,在清理自动线上实现荒加工和质量检测。

## 2.2 锻造技术

(1) 计算机技术的应用 计算机将广泛应用于生产过程的自动化控制,实现锻造温度控制、过热和欠热棒料的自动化分选、润滑油点油温监控、设备公称力显示、自动喷雾冷却模具、设备操纵系统控制、故障自动诊断、报警、工艺编程、模具设计与制造,规范工艺过程管理、促进曲轴乃至内燃机锻造行业的生产技术进步。

(2) 形成柔性制造系统 以热模锻压力机、电液锤为主机的自动线是今后生产曲轴的发展方向。这些生产线将普遍采用精密剪切下料、辊锻(楔横轧)制坯、中频感应加热、精整液压机精压等先进工艺,同时配有机械手、输送带、带回转台的换模装置等辅机,形成柔性制造系统,实现工件和模具的自动更换以及参数的自动调节,在工作过程中不断测量。显示和记录锻件厚度和最大压力等数据并与定值比较,选择最佳变形量以获得优质产品。由中央控制室监控整个系统,实现无人化操作。

(3) 发展电液锤锻造生产线 随着市场竞争愈加激烈,质量价格在市场中的作用日显重要,电液对击锤也就应运而生了,出现了以行程、打击能量、速度可控与预铄的电液锤为主机的曲轴现代化生产线。由于电液锤锻造生产线投资小,技术水平高,适应性强,所以 21 世纪电液锤与热模锻压力机将同时得到发展。

## 2.3 机械加工技术

曲轴粗加工将广泛采用数控车床、CNC 数控内铣床、CNC 车削、拉削机床等先进设备以有效地减小曲轴加工的变形量。精加工将广泛采用 CNC 控制的曲轴磨床。此种磨床将配备砂轮自动平衡装置、中心架自动跟踪装置、自动测量、自动补偿装置、砂轮自动修整、恒线速度等功能,以保证磨削质量的稳定。超精加工将广泛采用砂带抛光机,以改善曲轴表面粗糙度和提高曲轴抗疲劳强度。

工件的输送,将广泛采用带自动编码识码的机动滚道,由龙门式机械手上下工件,减少输送中人为碰撞,实现曲轴的自动加工。

## 2.4 热处理技术和表面强化技术

(1) 曲轴中频感应淬火 将采用微机监控闭环中频感应加热装置,能动态显示系统工况,具有多任务、多窗口及动态数据交换等功能,能以动态图像实时显示中频设备运行过程中各重要参数状态、各点温控监控画面,具有显示曲轴多点温度、时间等情况及根据不同直径、材质选用加热温度的功能。能记录实时及历史趋势曲线,记录打印装置运行过程中或某一范围内的各项参数,具有报警功能,当某项关键参数达到相应极限值时自动报警。

(2) 曲轴软氮化 采用微机控制的氮基气氛气体软氮化生产线,以提高产品质量。

(3) 曲轴表面强化技术 采用圆角滚压强化技术及轴颈表面淬火等复合强化工艺,提高曲轴的抗疲劳强度。

## 3 国外内燃机曲轴制造技术发展趋势

### 3.1 铸造技术

采用先进工艺、提高机械化自动化水平、大力扩展计算机的应用范围,优质、高效地生产出轻量化、精密化的铸造毛坯,是国外铸造行业发展的总趋势。

(1) 轻量化 采用高强度、高韧性材质以减小壁厚和断面尺寸;壳形铸造、复砂造型生产曲轴毛坯,减少毛坯的加工余量。

(2) 熔化 冲天炉继续朝着大容量、连续化、高温热风方向发展,同时,在精确配料、炉况检测、故障诊断、自动控制等方面进一步实现计算机化。球铁熔炼工艺将得到进一步发展。变频电炉同时用于熔化、保温的双炉体交替生产的范围将得到发展。

(3) 造型 冷壳型将逐步替代覆膜砂壳型铸造,发展冷芯工艺以及多功能、多用途制芯设备,制芯中心化。



(4)砂处理和清理 重点发展采用计算机控制砂处理系统乃至全过程,用计算机进行预测、诊断、控制型砂性能。使用机械手或机器人对铸件进行抛丸、打磨和切割。

### 3.2 锻造技术

广泛采用 CAD/CAM 技术,引入管理信息系统和集成生产系统,以实现锻造生产从原材料、工艺和工艺装备最佳方案的选择和整个过程的控制,推动锻造生产向合理化、自动化方向发展。

### 3.3 机加工技术

曲轴粗加工主要采用数控内铣和车拉,磨削则广泛采用全数控、全封闭自动线。使用圆角滚压工艺强化圆角,用 CNC 砂带抛光机进行抛光。曲轴动平衡自动线,使用计算机控制,实现自动测量和修正。采用在线自动检测和终检相结合的方式,连续监控加工精度,提高生产率,保证产品质量。

### 3.4 热处理技术

进一步发展表面强化技术,开发新的材质。广泛使用非调质钢、微量合金钢、高强度贝氏体铸铁等材料。

采用中频圆角—轴颈淬火提高曲轴的耐磨性和疲劳强度;采用二段式气体软氮化法(Deganit 法)进行表面热处理,得到单相  $\epsilon$  化合物层,大大提高产品的质量和性能。

## 4 结束语

纵观国内外内燃机曲轴制造技术的现状及发展趋势,可以看出目前国内曲轴制造技术与国外先进技术有相当的差距。虽然国内部分骨干企业从发达国家引进了不少先进设备,但整体技术水平仍比较低。我们

只有借鉴国外的先进经验,立足本国现实,既要引进先进技术,又必须进行消化、吸收,才能全面提高我国曲轴制造技术水平。

### 参考文献

- 1 中国内燃机工业年鉴编委会. 中国内燃机工业年鉴. 上海:上海交通大学出版社,1995-2000.
- 2 王一治. 介绍几种曲轴制造先进技术. 机械制造,1996(11)
- 3 王一治. 国内外曲轴制造工艺综述. 山东农机,2001(5)
- 4 钟喜圣. 国内外曲轴磨床及磨削生产线. 机械工艺师,1992(9)
- 5 戴枝荣. 工程材料及机械制造基础(I)-工程材料. 北京:高等教育出版社,1992.
- 6 余先涛等. 曲轴圆角滚压强化系统设计. 机械制造,2001(10)
- 7 郑明新. 工程材料. 北京:清华大学出版社,1991.
- 8 李厚生. 内燃机制造工艺学. 北京:中国农业机械出版社,1992.
- 9 刘长吉. 当代曲轴机械加工工艺探讨. 机械工业部第三设计院,1995.
- 10 吴恒文. 工程材料及机械制造基础(III)-机械加工工艺学. 北京:高等教育出版社,1992.
- 11 顾卫星. 铸造高新技术的发展与应用. 机械工艺师,1995(4)
- 12 吴湘柠. 我国 CBN 刀具材料的现状及发展趋势. 机械制造,1992(5)
- 13 张万昌. 工程材料及机械制造基础(III)-热加工工艺基础. 北京:高等教育出版社,1992.
- 14 陈英莫. 当前机械制造业的发展趋势. 机械制造,1996(9)
- 15 刘承尧. 合成树脂砂综述. 机械工艺师,1991(10,11)
- 16 宋贵亮等. 高效深磨的最新发展及技术分析. 机械制造,1996(9)
- 17 戴曙. 金属切削机床设计. 北京:机械工业出版社,1992.
- 18 蔡光起. 超高速磨削工艺技术. 机械工艺师,1995(9)

作者:李海国,山东省滨州市渤海五路702号,山东滨州海得曲轴有限责任公司技术开发中心,邮编:256615,电话:(0543)3373044-8013

(编辑 符祚钢)

(收稿日期:2002-06-11)

### · 二手设备 ·

1. CAK6150 × 1500 数控车床,沈一,2000 年,原箱,10.5 万元,2 台。
2. CK5112G 数控立车,齐一,1989 年,少用,30 万元,1 台。
3. XYH714 立式加工中心,北京,1995 年,未用,28 万元,1 台。
4. MVC-20 立式加工中心,北京,1993 年,未用,38 万元,1 台。
5. MKC-500 卧式加工中心,意大利,1995 年,未用,85 万元,1 台。
6. PSGS-3060AH 高精度平面磨,德国 ELB,1991 年,未用,75 万元,1 台。
7. MM7132 × 1600 高精度平面磨,杭州,1981 年,少用,8 万元,1 台。
8. HYDROPT1C-6A 坐标镗,瑞士西普,1969 年,少用,面议,1

台。

9. NZA330 × 6m 蜗杆砂轮磨齿机,瑞士来斯豪尔,1970 年,8 成,70 万元,1 台。
10. TCQ2025 数控步冲压力机,齐二,1993 年,少用,18 万元,1 台。
11. YT5120 插齿机,天津,1998 年,未用,19 万元,2 台。

### 北京市鸿森佳科贸有限公司

地址:北京广渠东路1号,邮编:100022

联系人:贾洪森

电话:(010)67797338,传真:(010)67797338

手机:13051270920,13901074072

E-mail:hongsen-jia@263.net

