

高供油速率凸轮轴精密磨削工艺研究与验证

王连宏, 张雪冬, 尹艳亮, 郭巨寿, 张 芳, 吴 鑫, 刘瑛杰

(北方通用动力集团有限公司, 山西 大同 037036)

摘 要: 针对某型号柴油机高供油速率凸轮轴结构与加工精度要求高的特点, 对工艺装置进行改进设计, 并对工艺参数进行了优化。在多轮次工艺试验验证的基础上, 总结形成了高供油速率凸轮轴精密磨削工艺规范, 解决了凸轮高精度磨削问题, 满足了该柴油机高供油速率凸轮轴的研制要求。

关键词: 高供油速率; 凸轮轴; 工装; 加工参数

中图分类号: TK423.4⁺1; TK426 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2017)02-0047-04

Research and Verification of Precision Grinding Process of High Fuel-Supply Rate Camshaft

Wang Lianhong, Zhang Xuedong, Yin Yanliang, Guo Jushou, Zhang Fang, Wu Xin, Liu Yingjie

(North General Power Group Co., Ltd., Shanxi Datong 037036)

Abstract: Aiming at the high requirements of a diesel engine's high fuel-supply rate camshaft with respect to its structure and machining accuracy, the machining installations were improved, and the technological parameters were optimized. Based on several rounds of processing tests verification, the process specification for precision grinding of high fuel-supply rate camshaft was concluded, and the high-accuracy grinding problem was solved, and the development requirements for the diesel engine's high fuel-supply rate camshaft were satisfied.

Key words: high fuel-supply rate; camshaft; machining installation; machining parameter

0 引 言

电控单体泵是近年柴油机上采用的一种先进供油系统技术。单体泵的主要特点是: 每缸构成一个单元, 柱塞副与出油阀部分的结构和工作原理与直列式喷油泵基本相同, 但单体泵本身不带凸轮, 挺柱与凸轮由柴油机配气凸轮轴上的油泵凸轮驱动。凸轮轴不像直列泵那样装在泵体内, 而是装在柴油机上, 这样不仅驱动系统的刚性较好, 而且较大幅度地提高了喷油泵和凸轮轴在布置上的灵活性。电控单体泵系统的凸轮轴为关键件, 其主要作用是驱动挺柱滚轮和柱塞, 在高速电磁阀作用下, 实现在柱塞顶部空间建立高压及喷油。因此, 高供油速率

凸轮轴的凸轮升程精度和表面质量直接影响燃油喷射系统的性能和柴油机的可靠性。某型号柴油机高供油凸轮轴与在研在制的凸轮轴相比, 最大的区别是轴颈较大, 凸轮平行度和表面光洁度精度要求高。其凸轮结构的改变和整体轴重量增加致使原有的工艺和工装无法满足加工要求, 制约了型号的研制。为此, 开展高供油速率凸轮轴的凸轮精密磨削工艺技术研究, 对提高喷射系统供油性能和柴油机可靠性具有重要意义。

1 工艺分析

1.1 凸轮轴结构特点分析

某型号凸轮轴凸轮设计如图 1 所示。凸轮轴总

收稿日期: 2016-07-19; 修回日期: 2016-11-14

作者简介: 王连宏(1964-), 男, 高级工程师, 主要研究方向为发动机先进制造技术, E-mail: sxdtwanglianhong@163.com。

长 636.5 mm, 工作轴颈直径 $\Phi 112h6(^0_{-0.022})$ mm, 非工作轴颈直径 $\Phi 74$ mm; 凸轮高度 92 mm, 平行度 0.008 mm, 表面粗糙度 $Ra0.2 \mu m$, 凸轮每 1° 升程偏差 <0.01 mm。

凸轮平行度 0.008 mm 和表面粗糙度 $Ra0.2 \mu m$ 的设计要求, 已达到了精密级, 该设计要求是否能达到是影响供油性能的关键要素。但目前的磨削工艺较难达到该加工精度, 须开展砂轮的优化和光整技术应用研究。

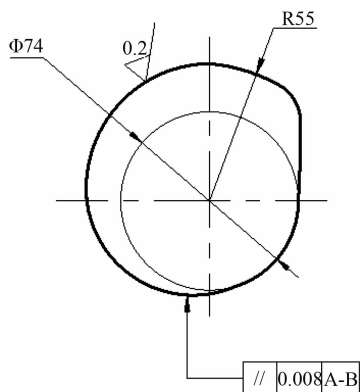


图 1 凸轮设计示意图

1.2 工艺难点分析

从零件设计结构和精度要求分析, 加工有两个难点。一是该凸轮轴属于细长轴, 且中间钻有 $\Phi 42$ mm 的深孔, 磨削过程中由于砂轮进给磨削力的作用, 极易造成凸轮轴振动而导致变形, 严重影响到凸轮升程精度; 二是凸轮轴重量较大, 因磨削力作用, 凸轮轴容易甩出, 有可能造成不可估量的安全事故。为此, 在磨削凸轮型面时必须采用两端顶尖定位, 中心架有效支撑, 以解决凸轮轴振动、变形问题, 消除安全隐患, 保证凸轮轴高精度加工要求。

2 工艺技术方案

通过以上分析, 制定出精密磨削技术方案, 如图 2 所示。

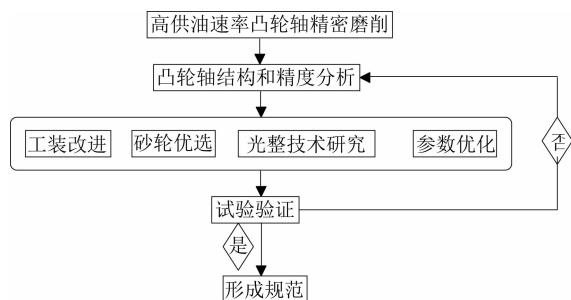


图 2 高供油速率凸轮轴精密磨削技术方案

3 工艺研究与验证

3.1 夹具研究

3.1.1 工艺螺堵设计与验证

通过以上工艺分析, 选择进口高精度凸轮磨床加工, 凸轮轴轴颈和凸轮磨削采用顶尖装夹定位。而目前所用的顶尖外圆最大直径只有 $\Phi 30$ mm, 且顶尖的合金头锥面太小, 最大仅能达到 $\Phi 20$ mm, 无法匹配凸轮轴中孔 $\Phi 40$ mm 的定位装夹尺寸。若重新购置匹配尺寸的顶尖, 则供货周期长、制造成本较高, 严重影响新产品研发进度要求。为了确保轴颈和凸轮磨削及中心孔修研等工序的加工要求, 对凸轮轴两端的中孔结构进行改进, 如图 3 所示; 并研制了 $M64 \times 1.5 - 6 h$ 的右旋工艺螺堵, 如图 4 所示。

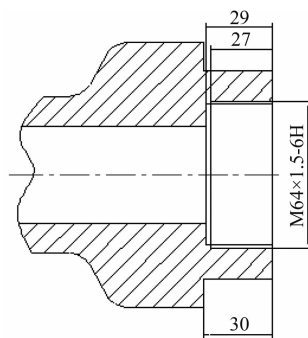


图 3 两端中孔结构改进示意图

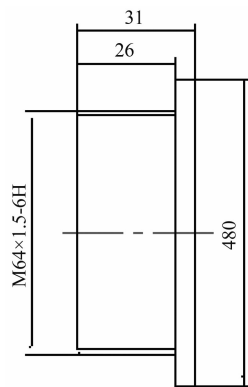


图 4 工艺螺堵示意图

在旋入凸轮轴的工艺螺堵上钻中心孔 A5/10.6, 满足了凸轮轴高精度加工工序的装夹和质量要求。凸轮轴所有工序加工完成后, 切除工艺螺堵部位。

3.1.2 中心架设计与验证

高精度中心架的配置在磨削凸轮型面时起到举足轻重的作用。现有高精度凸轮轴型面磨床配置的自定心液压中心架, 最大夹持直径为 $\Phi 60$ mm, 无法满足非工作轴颈 $\Phi 67$ mm 的支撑。在时间紧、

任务急的情况下，采用购置中心架的方案已不现实。

通过分析研究，利用报废的自定心液压中心架进行改进。一是对安装在中心架上的合金定位块进行分解、计算、改制；二是采用增加垫片的方法进行调整并测量。在多轮次工艺试验验证基础上，改进后的自定心液压中心架能够达到最佳的夹持效果，满足了磨削精度要求。如图 5 所示。



图 5 改进后的中心架示意图

3.2 砂轮优选

根据零件材料特性和精度指标分析，如使用普通磨料的砂轮，考虑其砂轮外径变化对凸轮轮廓产生的影响，不易保证凸轮的精度；如使用陶瓷 CBN 砂轮磨削，因其具有高的硬度与强度，适应于不同材质工件的磨削，且凸轮表面不易产生烧伤、裂纹等缺陷，磨削质量和生产效率都能得到兼顾。如此选择 CBN 砂轮是适宜的。磨削液应具备冷却和清洗功能，可以采用以无机盐为主的化学合成液作为磨削液。精磨时可加入少量的聚己二醇作润滑剂，可提高工件表面加工质量，并能有效保证加工精度和表面质量稳定性。

3.3 光整技术

凸轮轴加工精度和表面质量对柴油机供油精确性及性能指标具有重大影响，而应用光整加工技术是唯一技术途径。通过研制专用夹具，将凸轮轴水平安装在磨料箱中的专用夹具上，通过机床主轴和料箱的回转运动，使磨料与零件表面产生一定的相对运动，并形成一定的相互作用力。加工过程中，磨料始终处于游离状态，并以一定的压力对零件表面产生碰撞、滚压作用，形成微量磨削模式和过程，从而达到提高零件表面质量完整性的目的。凸轮轴桃形属于非圆性轴类零件，在光整加工过程中，由于磨料流速的不同，易出现凸轮轴桃尖部位偏磨问题。凸轮轴光整分析模型见图 6。解决偏磨

问题须对设备运动参数、磨料选择及磨料装入量、零件在磨料里的深度及光整加工时间的合理匹配和优化组合进行分析。最终形成的工艺参数见表 1。

表 1 光整工艺参数

凸轮轴转速/ ($r \cdot \min^{-1}$)	料箱进给速率/ ($\text{次} \cdot \min^{-1}$)	磨料直径/ mm	磨料装入量/ kg	光整加工 时间/min
130 ~ 160	0.02 ~ 0.06	$\Phi 3$ 和 $\Phi 4$	1 500 ~ 1 800	10 ~ 25

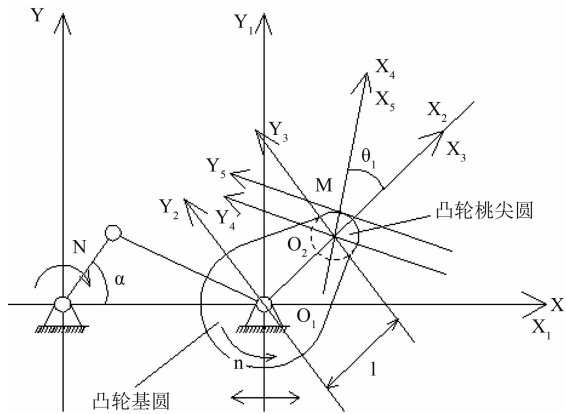


图 6 凸轮轴滚磨加工中任意点相对运动分析模型

3.4 数控程序编制

凸轮加工时既要保证凸轮表面粗糙度，又要保证凸轮型线的升程要求，故设计数控程序必须充分考虑工件转速、凸轮升程角度、型线速度和加速度及进给量等因素对凸轮精度的影响。砂轮对于凸轮部位的升程值比较敏感，其中砂轮速度、主轴的稳定性、进给速度及进给量等参数都对凸轮磨削有影响，易产生较大的升程误差；特别是型线速度的设置还须经过多次工艺试验后，在一定的最低转速，X 轴与 C 轴的加速度等均应在加工过程中做相应的增减及优化。凸轮轨迹如图 7 所示。

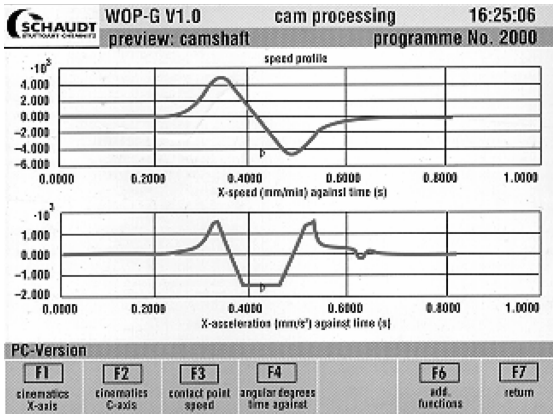


图 7 凸轮轨迹示意图

3.5 精密磨削工艺参数优化

凸轮轴磨削工艺参数的选择是凸轮轴加工工艺中的一个重要环节，选择恰当与否直接影响凸轮加工质

量、生产效率和加工成本等。由于影响磨削工艺参数的因素较多,各影响因素又相互交叉、相互制约,因而最佳磨削工艺参数的确定是通过多轮次工艺试验验证获得的。精密磨削工艺参数如表 2 所示。

表 2 磨削工艺参数

工件转速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	进给量/($\text{mm} \cdot \text{r}^{-1}$)	圈数
90 ~ 110	0.03 ~ 0.04	8 ~ 12
90 ~ 110	0.03 ~ 0.04	8 ~ 12
90 ~ 110	0.01 ~ 0.02	12 ~ 18
60 ~ 80	0.005	5 ~ 8
60 ~ 80	0	1

3.6 工艺验证

通过开展高供油速率凸轮轴的凸轮精密磨削工艺技术研究,在多轮次工艺试验验证的基础上,进行了工艺参数的优化,形成了高供油速率凸轮轴精密磨削工艺规范。通过试验验证,最终形成的精密磨削工艺参数见表 3,光整工艺参数见表 4,实际加工的凸轮轴关键数据检测结果见表 5。

表 3 精密磨削工艺参数

工件转速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	进给量/($\text{mm} \cdot \text{r}^{-1}$)	圈数
100	0.04	10
100	0.03	10
100	0.01	15
70	0.005	6
70	0	1

表 4 光整工艺参数

凸轮轴转速/($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	料箱进给速率/($\text{次} \cdot \text{min}^{-1}$)	磨料直径/mm	磨料装入量/kg	光整加工时间/min
150	0.04	$\Phi 3$	1 650	15 ~ 20

表 5 凸轮轴关键数据检测结果

项目	工艺要求	实际检测结果
所有轴颈跳动/mm	0.02	0.015 ~ 0.02
凸轮平行度/mm	0.008	0.005 ~ 0.0075
表面粗糙度/ μm	Ra0.2	Ra0.12 ~ Ra 0.18
凸轮每 1° 升程偏差/mm	< 0.01	0.005 ~ 0.008

4 结 论

通过对专用工装的研究及工艺优化,缩短了凸轮轴加工周期,确保了试制进度,并节约购置工装成本 70 万元。自定心液压中心架的改进,不仅保证了凸轮型面的研制质量,而且其技术成果对于同类科研产品的研发具有一定的借鉴与指导作用。特别是光整加工的新工艺,与传统工艺相比,凸轮轴表面粗糙度 Ra 提高了 0.5 个等级,表面显微硬度 HV 提高了 10.6% 以上,表面轮廓支撑长度率 TP 值最大提高了 52.8%。通过本文的工艺改进,该高供油速率凸轮轴的表面强化和表面质量以及生产效率显著提高,极大地降低了制造成本,提升了凸轮轴装配适宜性和清洁度。

参考文献

- [1] 何荣开. 液压中心架的凸轮曲线设计与加工 [J]. 机械设计与制造, 1999 (4): 46.
- [2] 李勇. 影响数控凸轮轴磨削加工精度若干因素的研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2004.
- [3] 胡建忠, 贾振元. 凸轮轴数控磨削系统的程序实现 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2004 (10): 65-67.

《柴油机》杂志投稿须知

《柴油机》杂志系由中国船舶重工集团公司主管,中国船舶重工集团公司第七一一研究所主办的工程技术类期刊,辟有机型与综述、智能化与控制、性能与排放、结构与可靠性、系统与附件、减振与降噪、工艺与材料、相关技术、使用维修、信息动态、文献题录等栏目。热诚欢迎广大柴油机与相关行业从业人员投稿。

根据有关法规和规定,请作者在投稿前,确认论文不涉及任何国家秘密和商业秘密,未侵犯他人著作权,且不存在一稿多投现象。

投稿经录用刊登后,即表示作者同意将该文的(1)汇编权,(2)翻译权,(3)印刷版和电子版的复制权,(4)网络传播权(包括但不限于国内外文献数据库或检索系统、杂志官网、微信公众号等),(5)发行权等权利在全球范围内无限期转让给《柴油机》编辑部。稿费已涵盖上述版权产生的相关费用。

投稿请以电子邮件的形式发送至 diesengine@sina.com。论文撰写要求和模板可登陆《柴油机》杂志官网查阅,网址为 <http://cyjzz.csic-711.com>。