

# 发动机组合式凸轮轴装配装置的研制

孙京博<sup>1</sup>, 张英<sup>2</sup>, 王喜高<sup>1</sup>, 王祎堃<sup>3</sup>

1. 淄柴机器有限公司, 山东 淄博 255000; 2. 淄柴动力有限公司, 山东 淄博 255000;

3. 大连海事大学船舶电气工程学院, 辽宁 大连 116026

**摘要:**为提高发动机组合式凸轮轴装配精度,保证组合式凸轮轴各缸同名凸轮相位角的精确度,设计制作操作方便的组合式凸轮轴装配装置,并进行实际应用。应用结果表明:该装配装置可以快速、精准地装配凸轮轴;各缸相位角调整操作简单、方便、快捷,准确度高,使用该装配装置调整的各缸同名进、排气凸轮相位角满足使用要求,凸轮轴装机后,发动机性能稳定、可靠。

**关键词:**凸轮轴;相位角;同轴度;径向跳动

**中图分类号:**TK426

**文献标志码:**A

**文章编号:**1673-6397(2024)04-0096-05

**引用格式:**孙京博,张英,王喜高,等. 发动机组合式凸轮轴装配装置的研制[J]. 内燃机与动力装置,2024,41(4):96-100.

SUN Jingbo, ZHANG Ying, WANG Xigao, et al. Development of assembly device for engine combined camshaft [J]. Internal Combustion Engine & Powerplant, 2024,41(4):96-100.

## 0 引言

凸轮轴是发动机的重要部件,控制气门的开启和闭合,直接影响发动机的进气过程和燃烧过程<sup>[1]</sup>。发动机凸轮轴分为整体式和组合式,目前国内车用汽油机、缸径小于200 mm的船用柴油机凸轮轴一般采用整体浇铸工艺制作,极易出现胀砂、缩孔、缩松等生产缺陷,使得整体式凸轮轴产品合格率不高<sup>[2-4]</sup>;缸径大于200 mm的大功率柴油机凸轮轴多为多段分离式组合结构,每缸一节,每节配置进气凸轮、排气凸轮、喷油凸轮,结构灵活,可针对实际应用进行个性化设计加工<sup>[5-7]</sup>。

组合式凸轮轴的分体部件装配应保证各缸同名凸轮的相位角符合发动机的点火顺序和点火间隔时间的要求<sup>[8]</sup>。目前,国内组合式凸轮轴装配装置的研究大多针对分段凸轮轴的压装,而且多为对车用汽油机凸轮轴分体部件组合结构的研究<sup>[9]</sup>。针对将每缸为一节的凸轮轴组装成整体的组合安装凸轮轴工艺的研究较少。本文中开发一种能够提高装配质量且操作方便的组合式凸轮轴装配装置,保证各缸凸轮轴的相对位置,提高装配效率。

## 1 发动机组合式凸轮轴装配存在的问题

在装配凸轮轴时,轴承间隙非常重要,间隙过大,凸轮轴磨损加快,严重时损坏凸轮轴;间隙过小,阻碍凸轮轴的正常旋转,导致发动机失效<sup>[10-11]</sup>。应严格按照图纸技术要求选择适宜的轴承间隙,凸轮安装时需正确测量公差。

装配组合式凸轮轴时应保证合适的同名凸轮相位角,凸轮相位角直接影响气门的开启和关闭时刻,

收稿日期:2024-04-25

基金项目:山东省企业技术创新项目(202360003003)

第一作者简介:孙京博(1976—),女,山东淄博人,工程师,主要研究方向为柴油机设计制造,E-mail:sunjingbo123456789@163.com。

进而影响到燃烧室的进气和排气效果,影响发动机的燃油消耗率和烟度等参数<sup>[12-14]</sup>。

以某船用6缸柴油机为例,凸轮轴箱口的长为290 mm,宽为130 mm,纵深为230 mm,单节凸轮轴的长为353 mm,直径为65 mm,质量大,手工作业时费力且很容易脱手造成凸轮磕碰。各节凸轮轴之间通过螺栓连接,由于各螺栓连接处空间较小,即使将力矩扳手伸进去也无法转动,只能使用普通扳手装配,无法控制力矩,导致螺栓受力不均匀、紧固螺栓错位等现象,影响凸轮轴的同轴度;该机各节凸轮轴连接后,要求凸轮轴承的径向跳动不超过0.08 mm,凸轮轴箱体内空间狭小,无法进行轴承径向跳动检测。如果将凸轮轴进行预装配,由于螺栓与螺栓孔之间的间隙,使用力矩扳手紧固过程容易出现错位,造成各缸凸轮相位角出现,不能保证凸轮轴的装配质量。

## 2 发动机组合式凸轮轴安装要求

同名凸轮的相位角由发动机的转向及发火顺序确定,以某6缸四冲程发动机为例,相邻2个气缸的凸轮之间的夹角为60°,因此,为检测凸轮相位角,在装配线上应配置在360°转角内旋转的装置。

各节凸轮轴应装配到凸轮轴箱的轴承孔内,使各节之间的同轴度、径向跳动满足技术要求。单节凸轮轴外型精度要求如图1所示。由图1可知:单节凸轮轴径的最大径向跳动为0.03 mm(以凸轮轴两端外圆直径组成的公共轴线A、B的中心线为基准),加工粗糙度为0.8 μm,最大端面跳动为0.03 mm、最大圆跳动为0.03 mm。相邻2节凸轮轴之间采取止口定位方式连接,定位止口过渡配合间隙为0.004~0.017 mm。2节凸轮轴装配后的精度要求如图2所示。由图2可知:装配后凸轮轴的径向同轴度不大于0.08 mm。

同轴度

$$\delta = d + l, \quad (1)$$

式中: $d$ 为相邻2节凸轮轴的最大间隙,mm; $l$ 为每节轴承径向最大跳动,mm, $l$ 由加工精度确定。

按照设计要求,本文中 $d = 0.017$  mm, $l = 0.030$  mm。由式(1)可得, $\delta = 0.047$  mm < 0.080 mm,不超过动力总成的径向跳动要求,装配精度满足。

6缸柴油机凸轮轴总成装配后轴向间隙应为0.10~0.20 mm,单节凸轮轴的最大端面跳动为0.03 mm,6节凸轮轴的最大累计跳动为0.18 mm,各节连接后误差积累在轴向允许间隙范围内。

凸轮相位角、组合后的同轴度主要由加工精度确定。实际装配过程中,应满足凸轮相位角不超过 $\pm 2^\circ$ 、同轴度不超过 $\pm 0.03$  mm的技术要求,还应可利用螺栓与孔的间隙进行调整。

组合式凸轮轴是单节顺序相连接,因此,前、后端装置应可移动。设计凸轮轴支撑架直径与凸轮轴直径相同,保证贴合度。为保证操作的方便性、通用性,前端顶尖装置可固定不动,后端顶尖装置可滑动,装配不同长度的凸轮轴时,只需要更换凸轮轴支撑架即可。

## 3 组合式凸轮轴装配装置设计方案

组合式凸轮轴装配装置分为前、后端两部分:1)前端装置主要包括前端顶尖结构、转动盘、支架、刻度

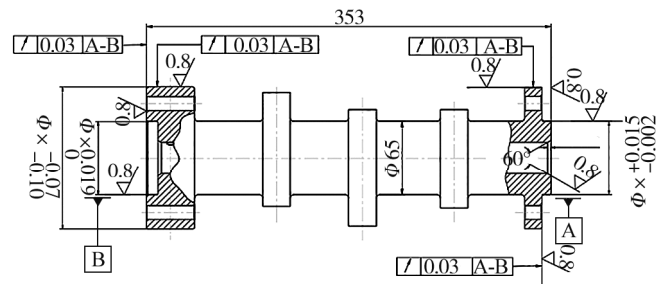


图1 单节凸轮轴外型精度要求

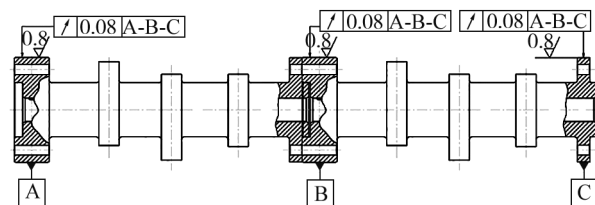


图2 2节凸轮轴装配后精度要求

盘等,前端顶尖外周套装转动盘和连接盘,转动盘外周设置支架,支架安装在工作台上,支架与转动盘之间安装衬套,支架外端安装刻度盘,刻度盘通过半圆键安装在转动盘上。2)后端装置主要包括后端顶尖、顶尖架、底座、后盖、螺杆、手柄等,后端顶尖安装在顶尖架内,顶尖架安装在底座上,顶尖架外端由内向外依次安装后盖和手柄,后盖和手柄均通过螺杆和压板连接后端顶尖,压板安装在后端顶尖内,螺杆与手柄紧固,顶尖架通过底座固定在工作台上。

由于装配后的凸轮轴长度约为3 m,为防止其弯曲变形,在每一节设计凸轮轴支撑架,支撑架为内凹型,内凹设计尺寸与机体上凸轮轴安装孔一致。凸轮轴两端中心孔均为60°锥孔,利用锥面配合的自定心作用,前、后端装置设计为顶尖结构,顶尖夹角设计为60°,表面粗糙度为0.8 μm,与凸轮轴两端定位孔一致,锥面起定心作用,实现前、后凸轮轴单元装配后的定位,前后顶尖角度、加工精度与凸轮轴中心孔设计要求如图3所示。

为保证装配后凸轮轴的同轴度、凸轮的径向跳动满足技术要求,前、后端装置分别布置在工作台的两端,工作台的平面度按文献[15]要求,选择带T型槽的划线平台为工作台,其横剖面及加工要求如图4、5所示,T型槽定形、定位尺寸准确,平面度为0.20 mm,T型槽相对于工作台的垂直度为0.05 mm,加工粗糙度为3.2 μm。前、后端装置应装配到同一个T型槽,采用T型块固定,T型块结构参数如图6所示。

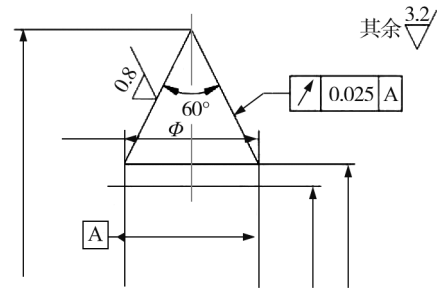


图3 前后顶尖角度、加工精度与凸轮轴中心孔设计对应关系

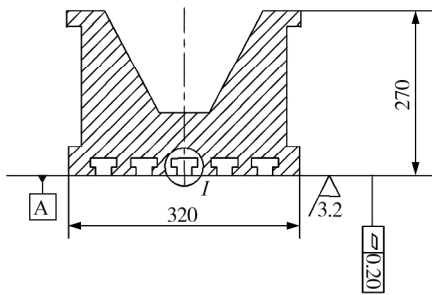


图4 工作台横剖面图

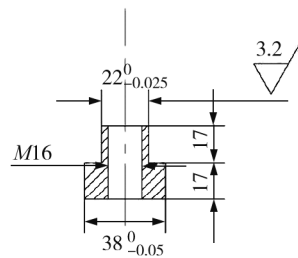


图5 T型槽剖面图

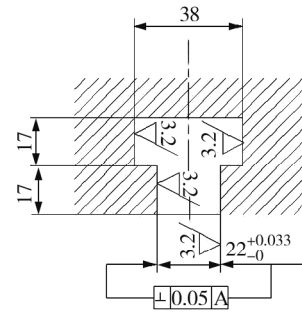


图6 带螺纹的T型块结构参数

为便于调整凸轮轴的同轴度,设计时前端为固定装置,后端为可调装置。为实现前端装置中组合后的凸轮轴同轴度可调,前端顶尖设计为莫氏5级锥度配合,后端在T型块约束下轴向移动。T型块与工作台的T型槽间隙配合为0.025~0.058 mm,方便百分表找正前、后2节凸轮轴的跳动时微调后端装置。凸轮相位角用凸轮轴转角表示,转角装置设计360°的刻度盘,刻线精度与飞轮刻度线为自由公差,保证刻度的准确性和均匀性。

为避免误差累积造成的凸轮轴装配后的径向(同轴)跳动图纸设计要求超差,要求前后端装置的径向变形小于凸轮轴径向跳动0.08 mm。前端装置径向变形主要受刻度盘、连接盘的径向跳动影响。刻度盘与转动盘、衬套与转动盘采取同轴间隙设计,间隙为0.01~0.05 mm。

前端装置的变形

$$D = d + c, \quad (2)$$

式中: $d$ 为前端装置最大径向跳动,mm; $c$ 为单节凸轮轴径向最大跳动,mm。

按照设计要求, $d = 0.05$  mm, $c = 0.03$  mm,由式(2)可得, $D = 0.08$  mm,未超出凸轮轴设计要求。

为了实现通过螺杆旋转顶尖调整凸轮轴径向跳动,后端装置通过调节螺杆上的背紧螺母锁紧后段顶尖,为了锁紧时能够找正中心,顶尖与顶尖架设计为间隙配合,间隙为0.01~0.06 mm。发动机凸轮轴装配装置整体结构如图7所示。

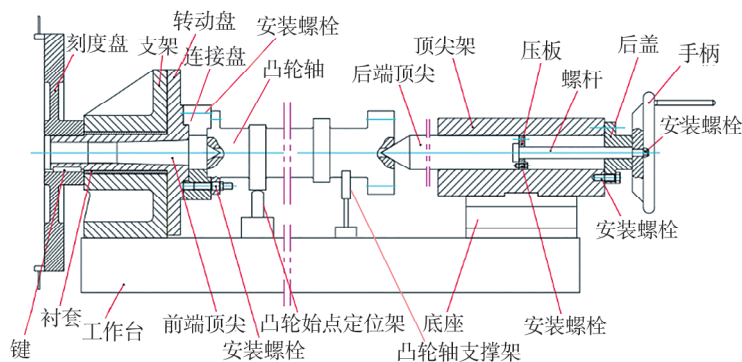


图7 发动机凸轮轴装配装置整体结构

## 4 组合式凸轮轴装配装置过程及应用

### 4.1 装配过程

使用凸轮轴装配装置安装凸轮轴时,通过调整工作台两侧的前、后端装置在 T 型槽的位置,保证前、后顶尖的同轴度不超过 0.08 mm。应用时将装置的前端顶尖顶在第一缸凸轮轴侧的中心孔,同时将第一缸的基准点与刻度盘的零刻度对准,并用凸轮始点定位架和凸轮轴支撑架对准凸轮始点及轴径固定。凸轮始点定位架根据凸轮轴在工作台的高度和凸轮轴图纸,采用螺旋结构,可根据不同机型凸轮轴的需求调整高度。头部设计为球面,与凸轮表面为点接触,用于调整凸轮起始工作点位置的准确度。

凸轮轴预装配时,第一缸凸轮轴端面中心孔顶在前端顶尖上,前端顶尖及其支架固定不动,保证装配时的稳固,依次安装各缸凸轮轴;后端装置根据各节凸轮轴的长度移动到合适位置,此时旋转手柄使后端顶尖顶住末节凸轮轴端面的中心孔,设置的螺杆和压板可在夹紧过程中微调,压板和后端顶尖沿螺杆移动,紧固螺杆与顶尖,使后端顶尖相对顶尖架滑动,调节后端顶尖的端部位置,用螺栓固定后端装置。

通过调整凸轮轴支撑架、连接螺栓间隙、后端顶尖端部位置等,使各缸凸轮轴的径向跳动满足要求。检查凸轮轴各缸同名凸轮相位角,每缸的凸轮始点位置由专用的凸轮始点定位架进行找正,其它各缸的相位角均相对第一缸的基准设计。旋转刻度盘,检查第一缸的相位角,并以第一缸的凸轮相位角为基准,依次检查其他各缸的同名相位角。由于凸轮轴随刻度盘旋转,旋转定位盘,将始点定位架安置在每缸凸轮的起始位置,依序检查各缸相位角。凸轮轴的径向跳动、圆跳动、相位角均满足图纸设计要求后,使用力矩扳手紧固连接各节凸轮轴的螺栓,凸轮轴组装完毕。

### 4.2 应用效果分析

组合式凸轮轴多应用于 6 缸、8 缸柴油机,凸轮轴根据发动机缸数设计。某 6 缸发动机 6 节凸轮轴预装配后的总成状态如图 8 所示。

凸轮轴箱内安装各节凸轮轴时,凸轮轴箱空间狭小且凸轮轴质量较大,手动安装时需要 2 人手工协助完成,安装过程费时费力,容易被凸轮轴箱体的棱边割伤碰伤,存在安全隐患。手动安装时,由于柴油机发火顺序、配气相位角的要求,安装时需手动转动发动机,找准位置后进行安装,安装一台发动机的凸轮轴,2 人作业 2 h 才能完成装配,生产效率较低,而且难以保证装配质量。使用该组合式凸轮轴装配装置装配 6 节凸轮轴,1 人 0.5 h 即可完成作业,生产效率是手动安装的 8 倍。若借助于行车吊



图8 装配后的凸轮轴状态

装,1 人 10 min 即可将凸轮轴总成安装进发动机的机体,极大提高装配效率,保证了安装质量。

## 5 结束语

为提高凸轮轴装配质量和装配效率,设计了组合式结构的凸轮轴装配装置,该装置由前、后端顶尖装置两部分组成。后端顶尖装置可移动,实现凸轮轴精确分段安装。前端顶尖装置设计360°刻度盘,按照发动机发火顺序和转向,对各缸凸轮轴相位角进行检查、调整。利用该装置装配凸轮轴,可以保证凸轮轴装配满足使用要求,凸轮轴装机后性能稳定、质量可靠。

实际应用表明,该装置可实现单人操作,有效减少工作人员数量,节省装配时间,提高生产效率;该装配装置可应用于多缸组合式凸轮轴装配中,经济效益和社会效益明显。

### 参考文献:

- [1] 何宗健. ZC210 柴油机技术资料[Z]. 淄博:淄柴动力有限公司,2009.
- [2] 汤展展,赵红利,谢文,等. 发动机装配式凸轮轴强化工艺研究[J]. 金属材料与冶金工程,2022,50(6):3-9.
- [3] 李华. 汽车发动机凸轮轴与信号盘装配夹具设计[J]. 汽车实用技术,2024,49(5):116-120.
- [4] 成家毛,兰波,杨林,等. 一种滚花组合式凸轮轴的装配机床:CN117583888A[P]. 2024-02-23.
- [5] 朱振滔,杨启明,余天,等. 一种组合式凸轮轴轴头压配工装:CN218136183U[P]. 2022-12-27.
- [6] 于振澎,尹建波. 一种组合式凸轮轴装配机床:CN214684062U[P]. 2021-11-12.
- [7] 匡耀,刘征,覃贵财,等. 一种凸轮轴齿轮与惰齿轮正时装配工装:CN202110676967.1[P]. 2024-04-09.
- [8] 杨建锋,阙文超,杨文中. 一种凸轮轴的装配工装:CN202322142972.1[P]. 2024-04-02.
- [9] 寇淑清,石舟,朱欢,等. 滚花联接凸轮轴装配过程数值仿真及影响因素分析[J]. 精密成形工程,2019,11(1):63-69.
- [10] 高博,魏有理,段建华. 装配式凸轮轴的工装设计[J]. 金属加工(冷加工),2018(3):36-37.
- [11] HUANG X M, SUN W T, LIU X L, et al. Analysis on the interference assembly of camshaft with knurled tube and cam[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2021, 117(3/4):961-969.
- [12] 张鹏,曹泽泽,寇淑清,等. 组合式凸轮轴径向滚花装配机理及连接强度研究[J]. 中国机械工程,2022,33(6):664-671.
- [13] DELPRETE C, RAZAVYKIA A. Piston dynamics, lubrication and tribological performance evaluation: a review[J]. International Journal of Engine Research, 2020, 21(5):725-741.
- [14] ZHANG H Y, LIU X R, GONG J Z, et al. Thermohydrodynamic lubrication characteristics of piston rings in diesel engine considering transient heat transfer under the parameterized surface texture of cylinder liners[J]. Energies, 2023, 16(24):7924.
- [15] 中国机械工业联合会. 铸铁平板:GB/T 22095—2008[S]. 北京:中国机械工业出版社,2008.

## Development of assembly device for engine combined camshaft

SUN Jingbo<sup>1</sup>, ZHANG Ying<sup>2</sup>, WANG Xigao<sup>1</sup>, WANG Yikun<sup>3</sup>

1. Zichai Machinery Co., Ltd., Zibo 255000, China; 2. Zichai Power Co., Ltd., Zibo 255000, China;

3. School of Ship Electrical Engineering, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China

**Abstract:** In order to improve the assembly accuracy of the combined camshaft of the engine and ensure the accuracy of the phase angle of the camshaft with the same name of each cylinder, a convenient assembly device of the combined camshaft is designed and made, and the practical application is carried out. The application results show that the assembly device can assemble the camshaft quickly and accurately. The phase angle adjustment operation of each cylinder is simple, convenient, fast and accurate. The phase angle of each cylinder with the same name and exhaust CAM adjusted by the assembly device meets the requirements of use. After the camshaft is installed, the engine performance is stable and reliable.

**Keywords:** camshaft; phase angle; coaxiality; radial runout

(责任编辑:刘丽君)