

轻型单缸试验机的开发^①

毕玉华¹, 申立中², 沈颖刚¹, 颜文胜¹, 何自力³

(1. 昆明理工大学交通工程学院, 云南昆明 650051; 2. 昆明理工大学科研处, 云南昆明 650093;
3. 云南省动力机械产学研联合中心, 云南昆明 650000)

摘要 阐述了单缸试验机开发的必要性, 并结合 DS 单缸试验机的设计, 介绍了设计的一般准则; 通过实践, 进一步证明: 单缸试验机是内燃机工程师开发新机型和对现有产品的性能和结构参数进行改造的主要工具。

关键词: 单缸试验机; 设计原则; 结构设计

中图分类号: TK422 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007- 855X(2001) 03- 039- 04

0 前言

当今发动机工业正面临严峻的挑战。一方面是石油危机带来能源危机, 如何降低车用动力能源消耗; 另一方面是为了保证人类生存环境, 要求减少发动机有害排放物对环境的影响, 各国纷纷制定出日益严格的排放法规; 此外, 市场期望增加; 国际竞争日益激烈等等, 这些挑战都使未来的研究工作变得更为困难。

我国内燃机的发展非常迅速, 对其性能要求也越来越高。但因起步较晚, 与国际相同机型相比还存在较大差距。随着内燃机市场的竞争逐步进入国际竞争的大环境, 必须改善和提高国产内燃机的性能指标, 降低排放标准, 逐步缩短与国际间的发展差距。目前, 内燃机的设计和研究已经可以广泛利用现代设计理论和方法对方案的效果进行先期预算、估测, 大大缩短了内燃机研究和设计的周期。然而由于内燃机是技术含量很高的机械产品, 本身又是极其复杂的系统, 其主要零部件结构、运动及所载荷的复杂性, 使纯理论分析非常困难。尤其是燃烧过程和排放问题, 虽然可借助电子计算机对假设的数学物理模型做些近似估算, 但误差较大, 因此, 内燃机的研制基本上是通过实际内燃机的优化试验进行的。为使研究的问题简化, 单缸试验机一直是内燃机工程师开发新机型和对现有产品的性能和结构参数进行改造的主要工具之一。

多缸机由于受整机限制, 要改变其结构参数, 进行各系统的优化试验工作, 往往要花费大量的人力、物力、财力和较长的研制开发周期。如要调整和改变配气相位, 必须重新设计和加工整根凸轮轴; 改变进气系统就必须重新加工整机的缸盖; 改变燃烧室形状, 调整压缩比, 则每一个技术方案都要同时加工出多个同类型的活塞, 才能进行试验。这样, 研究开发成本太高, 周期过长, 并且对一些参数的有机调整和合理匹配, 在短期内无法深入进行, 从而制约整机性能的改善和提高, 产品的改进研究、设计开发能力也受到极大限制^{[1][2][4]}。

相对于多缸机而言, 单缸试验机在优化试验时有着一系列的优点^[1], 如:

- (1) 设计灵活, 制造简单, 实验中需更换零部件的数量比多缸机少, 易于进行多种方案选择试验, 相对比较性强, 调整方便, 试验进程快, 周期短, 成本低;
- (2) 在单缸试验机上没有多缸机中各缸不均匀及各缸进排气相互干扰等影响, 因而试验精确, 便于判断某一参数变化后的影响;
- (3) 可进行各种模拟试验, 还可以进行内燃机主要零部件的强度试验, 并围绕温度场和应力场的测定, 为零部件结构设计提供比较接近实际的边界条件;
- (4) 利用高速摄影可观察柴油机气缸内的燃烧过程, 改变缸径和行程, 可研究其最佳比值, 还可研究

① 收稿日期: 2000- 09- 28;

基金项目: 云南省科委“九五”应用基础研究基金重点资助论文;

第一作者简介: 毕玉华(1967~), 女, 硕士, 讲师, 主要研究内燃机振动。

柴油机在很高的平均有效压力下工作的各类问题以及其它专门性的试验等。

目前,发达国家都对单缸试验机的研制和开发非常重视.如美国 Cummins 公司拥有 88 个台架,其中有 7 个是单缸机台架;英国 Ricardo 公司有 70 个台架,单缸机竟占 20 个.而我国在这方面却比较落后,从五十年代末期,开始有一些单位根据需要自行设计单缸试验机,但没有单缸机的专门设计及出售单位.

“标准单缸试验机的开发”是云南省科委“九五”应用基础研究基金重点项目“轻型车用柴油机性能研究”的一个子项目,通过该项目的深入研究工作,有助于提高我省柴油机新机型的开发研制能力,促进我省柴油机工业的发展;近进一步强化柴油机性能指标,减少柴油机排放,对使其相关企业上规模和上档次都具有重要意义.

1 单缸试验机的设计原则及要求

单缸试验机的一系列特点,决定了其设计上具有不同于普通内燃机的特殊要求,我们对所设计的单缸试验机提出要求如下:

- (1) 缸径、冲程、连杆中心距可在规定范围及同一曲轴箱内实现连续变化.缸径的变化要依靠相应的气缸体和气缸套的变换;冲程的变换主要依靠相应曲拐的变换;连杆中心距的变换主要依靠相应连杆的变换;
- (2) 为尽可能减少机械损失,润滑冷却系统的油泵均由机外电机驱动;
- (3) 装拆尽可能简单,调整方便,精确度高.便于拆装供油系、配气系、缸盖、活塞连杆、曲轴等零部件;便于快速变换缸径/冲程,做到调整方便,要求尽量精确;
- (4) 零部件材料的选择及工艺性要适合国情;
- (5) 曲轴的曲拐部分和连杆大头的旋转惯性力要予以平衡;
- (6) 合理的布置测点和安装测试元件、装置及设备.如缸盖上的测压孔,各孔尽量接近燃烧室,并希望是较短的直孔,以减少测量误差;机身上留有便于安装固定仪器及附件的平面、凸台及连接螺孔等;
- (7) 为使单缸机承受较大的负荷和适合高转速(如超速超负荷),机体、曲轴等主要承力零件应牢固可靠.

(8) 单缸机是固定式试验设备,本身不受重量及体积限制,但要求工作平稳,震动小,因此需在曲轴输出端,牢靠安装具有较大转动惯量的飞轮.为减少往复惯性力而引起的振动,需安装平衡装置.

(9) 机体内应有足够的空间,以便减少由于活塞惯性运动时造成曲轴箱内气压的巨大波动,以减少泵吸损失,在机体侧面或上面应留有足够的通气口,在机体侧面应开较大窗口,便于安装和检查机内零件.

本次单缸试验机设计的主要参数见表 1.

表 1 DS 系列单缸试验机的设计参数

设计参数	变化范围	本次设计值
型 号	立式单缸试验机	
缸径 D	90~ 110mm	100mm
冲程 S	95~ 115mm	105mm
缸数 Z	1	1
排量 V_h	0.6367~ 1.006 L	0.824 L
压缩比 ϵ	14~ 22	17
额定转速 n	3 600r/ min	3 600r/ min
额定功率 N_e	18kW	18kW
燃烧室	开式或半开式	ω 型
冷却方式	强制水冷	强制水冷
连杆长度 L	168mm	168mm
活塞平均速度	11.4~ 13.8m/s	12.6m/s

2 单缸试验机的结构设计^[1~ 3]

本机自上而下由气缸盖、气缸体及曲轴箱三部分组成,纵横剖面图见下页图 1、图 2.

2.1 气缸体

气缸体是单缸试验机特有的结构,通过气缸体将气缸盖和曲轴箱(机体)紧密地结合成一体;当缸径的改变时,只需更换相应的气缸体和气缸套即可实现;气缸体与机体间有 3mm 左右的厚垫片,可根据需要改变其厚度来调整活塞间隙.

2.2 曲轴箱(机体)

曲轴箱是单缸试验机的主要骨架,采用主轴承孔不分割的隧道式结构,具有最好的刚度;其基本尺寸

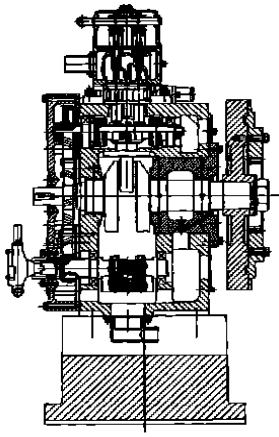


图 1 DS 单缸机纵剖图

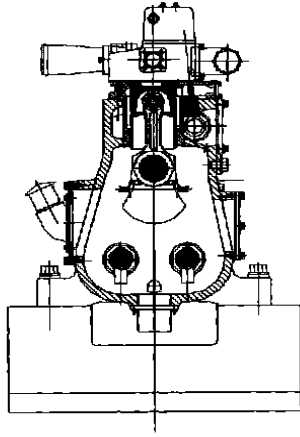


图 2 DS 单缸机横剖图

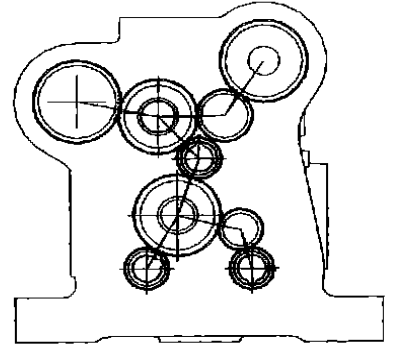


图 3 轮系图

可保证整机变缸径/冲程、变平衡机构的空间运动轨迹要求。曲轴箱的两侧设计有较大的拆装窗,可方便拆卸连杆轴瓦及平衡机构的平衡块;亦可方便观察机体内部零部件的运动情况;凸轮轴室也设置拆装窗,通过它可方便调整配气定时。在机体的右侧拆装窗的上边开有两个小孔,这是由于活塞往复运动速度较高,用机油冷却活塞顶部所用的油管接头孔。

2.3 曲轴飞轮总成

为使单缸试验机工作平稳,飞轮的转动惯量一般都比较大,但受外缘线速度的限制,直径不能过大,因此需要有一定的厚度,这就意味着重量的增加。为减轻主轴承的负担,曲轴采用三点全支承结构,同时可大大降低机械损失;这里为保证曲轴 3600r/min 高速旋转采用耐磨性好的滑动轴承结构,轴承中间开有 14mm 宽的油槽,保证曲轴运转时足够的润滑油量。为保证曲轴的拆卸方便,曲轴与机体后端通过轴承座连接,轴承座的空间足够曲轴方便的从飞轮端插入;为保证飞轮可靠地转递扭矩,周向靠平键定位,轴向靠自身锥度及园螺母定位。

2.4 平衡机构

单缸试验机的往复惯性力需要专门的装置来平衡,这里我们主要考虑平衡一级往复惯性力的平衡装置。在曲轴下方设计与曲轴平行,但旋向一正一反的两根平衡轴,平衡轴上连接有螺栓固定的平衡块。当曲轴的往复运动质量改变时,只需通过机体两侧的拆装窗更换相应的平衡块即可。右平衡轴与曲轴旋向、转速相同,在其前端设计有启动爪结构,可用来驱动油泵,进一步减小机械损失。平衡轴采用两个滚动轴承支撑,靠近内燃机前端的滚动轴承外径略大,与机体通过轴承座连接,这样便于另一个滚动轴承与平衡轴的整体安装。

2.5 组合式配气机构

目前高速柴油机多采用直接喷射式燃烧室结构,进一步强化发动机的前提是要解决好充气的问题,而改善进气,不但要改变凸轮形状、调整配气相位,还要求阻力低的进排气道、适当的进气管长度等。对于单缸试验机主要是方便地调节配气相位及更换进排气凸轮,该部分设计从这两方面入手。本次单缸机采用的组合式凸轮结构。该结构采用两侧端面带有矩形爪的传动盘来带动凸轮旋转,轴前端通过前传动盘驱动进气凸轮;轴后端通过后传动盘驱动排气凸轮;进排气凸轮与轴之间为间隙配合,中间有锁紧螺母锁紧。打开凸轮室侧盖,即可方便调整配气相位;更换凸轮时,只需拆掉轴前后端的盖板,从后端机体孔即可将凸轮轴整根抽出,安装方便。从内燃机前边看,前传动盘的前端面有四个均布的矩形爪,与轴上均布的十六个矩形槽相啮合;后端面上有三个均布的矩形槽,与进气凸轮前端面上均布的十五个槽相啮合,为了便于调整,在相关件的槽或齿上分别作有标记,以保证准确性。调整配气相位时,先将前传动盘和进气凸轮一起顺时针相对轴转过一齿,再将进气凸轮脱离啮合,单独逆时针转过一齿,其结果相当于进气凸轮逆时针转过 1.5 度,这对配气相位的调整已经够细了,排气凸轮配气相位的调整同理。

2.6 齿轮传动系

单缸试验机的轮系布置如图 3 所示,由正时齿轮向上,通过两个惰齿轮分别带动供油系和配气机构的齿轮旋转,供油系与配气机构分置发动机两侧,可避免高压油管过长;向下通过两个惰齿轮分别带动左右平衡轴的齿轮旋转,可保证齿轮系啮合得更均匀.在内燃机的前盖板上,供油齿轮及配气齿轮都有单独的小盖板,便于单独拆装或倒齿.

2.7 润滑系统

由右平衡轴驱动油泵从外接油箱吸油,经滤清器,到固定在齿轮室罩上的分油架主油道,再由此分 7 条油路分别给气缸盖、机体、齿轮系等处的油路供油.

2.8 油底壳

采用干式油底壳,便于对机油的回收、更换和控制,可同时对机油品质和部分磨损问题进行研究.

3 DS 单缸试验机的工作领域

(1) 进行多种方案选择试验;

(2) 进行包括进排气系统、燃油系统、燃烧室布置在内的各种性能试验以及包括增压模拟、小缸径/大缸径模拟、热负荷模拟在内的各种模拟试验;

(3) 进行内燃机主要零部件,如活塞、连杆、曲轴、缸体、配气机构等结构的强度试验,并围绕温度场和应力场的测定,为零部件结构设计提供比较接近实际的边界条件;

(4) 利用高速摄影可观察柴油机气缸内的燃烧过程,改变缸径和行程,可研究其最佳比值,还可研究柴油机在很高的平均有效压力下工作的各类问题以及其它专门性的试验等.

4 结 论

(1) DS 单缸机全部采用 CAD 设计,不仅减少设计时间,而且使方案设计从一张布置图变换为另一张布置图时不可能出现人为错误,大大改进设计质量.曲轴计算在连续运转弯曲应力条件下,进行轴径圆角部位的应力分析,再与 I- DEAS 的 CAE 技术结合,有限元分析使计算精度大大提高;气缸盖的气道部分采用 I- DEAS 的实体造型技术设计,保证了气道可靠的流线型和最佳涡流比,消除了以往手工设计的人为误差;整机采用 I- DEAS 的实体装配技术进行模拟装配,整机结构一目了然,消除了零部件相互干涉而产生的设计错误.

(2) 本次 DS 单缸试验机采用现代设计方法和手段进行设计,大大缩短开发周期,提高设计质量;采用 I- DEAS 先形状后尺寸的变量化系统设计方式,可对零件以拖动方式直观地、实时地进行图示化编辑修改,尤其适于老产品的改型设计或新产品的开发.

参考文献:

- [1] 史绍熙. 柴油机设计手册[M]. 中国农业机械出版社, 1984. 251~ 300.
- [2] 陆际清等. 汽车发动机设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 1993. 152~ 210.
- [3] 成大先等. 机械设计手册[M]. 化学工业出版社, 1993. 53~ 102
- [4] 冯恩科. 单缸试验机的设计与实践[M]. 农机部洛阳拖拉机厂研究所, 1995. 6~ 7.

The Research of Lowduty Single Cylinder Testing Engine

Bi Yu- hua¹, SHEN Li- zhong², SHEN Ying- gang¹, YAN Wen- sheng¹, HE Zi- li³

(1. The Faculty of Communication Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650051, China;

2. The Scientific Reserach Institation, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;

; 3. The Allied Center of Yunnan Province Dynamical Mechanism Industrial Research Institation, Kunming 650000, China;)

Abstract The article states the necessary about the reseach of lowduty single cylinder testing engine and introduce the common principle by combining with the design of DS single cylinder testing engine. It further confirms that the single cylinder testing engine is main tool by which engineers of internal- combustion engine research new engine model and improve capability and structure parameter of current production.

Key words: single cylinder testing engine; principle of design; design of structure