

结构与可靠性

柴油机机械开发概述

刘家满¹, 蒋文虎², 王志宇¹, 范兴宇¹, 吴彩丽¹

- (1. 道依茨一汽(大连)柴油机有限公司, 辽宁 大连 116600 ;
2. 中国第一汽车集团公司, 吉林 长春 130025)

摘 要: 针对柴油机可靠性、耐久性方面的要求, 着重阐述了柴油机机械开发的定义, 详细介绍了机械开发的职责流程, 总结了机械开发的难点并对机械开发工作做了展望。对柴油机的机械开发提供了一个概念性的整体认识。

关键词: 柴油机; 机械开发; B_{10} 寿命

中图分类号: TK423 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2014)01-0047-03

General Introduction of Diesel Engine Mechanical Development

Liu Jiaman¹, Jiang Wenhui², Wang Zhiyu¹, Fan Xinyu¹, Wu Caili¹

- (1. DEUTZ (Dalian) Engine Co., Ltd., Liaoning Dalian 116600;
2. China FAW Group Corporation, Jilin Changchun 130025)

Abstract: The definition of diesel engines' mechanical development is expounded based on the diesel engines' requirements on reliability and durability. The responsibility working flow is introduced in detail, the difficulties of mechanical development are summarized, and the prospect of diesel engine mechanical development is given. Moreover, a general understanding of diesel engine mechanical development is presented.

Keywords: diesel engine; mechanical development; B_{10} lifespan

0 引 言

近十年来, 随着柴油机自主研发产品的增加以及引进产品国产化的需要, 机械开发工作逐渐向系统化、深入化发展。美国的卡特彼勒公司、德国道依茨公司、日本三菱重工、奥地利 AVL、德国 FEV 等著名的发动机厂家或研究机构在发动机可靠性方面做了大量的工作。国内的一汽技术中心、潍柴、道依茨一汽大柴、康明斯等研究机构和主机厂也都培养了自己的机械开发团队, 致力于柴油机机械开发的系统性专业研究。

1 机械开发的定义

柴油机机械开发是为了满足用户需求, 保证产

品可靠性、耐久性, 通过零部件开发技术、结构分析技术、系统功能开发技术、台架可靠性开发技术、道路可靠性开发技术、可靠性工程技术等来验证评价产品的设计质量和制造质量, 实现对设计的改进与认证, 确保柴油机达到可靠性、耐久性目标的开发过程。

设计开发、性能开发及机械开发都是产品开发过程中不可或缺的重要环节。设计开发是通过 CAE、CFD 等计算确认产品技术状态; 性能开发是针对性能开发目标进行燃烧室、气道、喷油器、增压器等最佳匹配与标定; 而机械开发是对发动机整机及零部件进行设计验证、改进与认证, 在产品未投放市场之前发现问题并解决问题, 通过改进设计、改善装配工艺及提高零部件质量等手段使柴油

机达到可靠性、耐久性目标。

可靠性是产品在规定条件下和规定时间内,完成其规定功能的能力^[1]。可靠性是产品竞争力的关键因素之一, B_{10} 寿命是描述柴油机寿命的可靠性、耐久性参数, 指有 10% 样本需要接受大修时的运行时间或运行里程。柴油机的寿命分布形式一般为 Weibull 分布, 属于非指数分布。 B_{10} 寿命其本质是一种概率统计分析计算的结果, 其理论难点在于柴油机是由多个重要零部件组成且其失效模式是多样化的。 B_{10} 寿命在国内柴油机领域的实际应用尚处于探索阶段, 国际上, 从可靠性

工程角度也没有完全达成共识, 每个公司都有不同的模型。

2 机械开发的职责流程

2.1 机械开发职责

机械开发的职责通常包括零部件专项试验、结构分析试验、系统功能试验、台架可靠性试验、道路可靠性试验、可靠性增长技术等。职责核心是开发流程、方案制定, 试验规范制定, 失效分析及零部件评价等。表 1 例举了一些重要的机械开发试验项目。

表 1 机械开发试验项目示例

试验分类	试验项目	试验目的	试验设备
零部件专项	缸体疲劳试验	评价缸体抗疲劳安全系数	缸体疲劳试验机
	缸盖疲劳试验	评价缸盖抗疲劳安全系数	缸盖疲劳试验机
	曲轴疲劳试验	评价曲轴抗疲劳安全系数	曲轴疲劳试验机
	连杆疲劳试验	评价连杆抗疲劳安全系数	连杆疲劳试验机
	重要螺栓试验	评价重要螺栓性能参数	拉力机、摩擦性能试验机
	附件总成试验	评价附件疲劳寿命	附件专项试验设备
结构分析	缸筒变形分析	评价缸筒形变	缸筒变形仪
	缸筒网纹分析	评价缸筒网纹	粗糙度分析仪
	密封测试分析	评价发动机密封能力	感压纸、压力分析系统
系统功能	润滑系统试验	验证开发润滑系统	流量计、压力传感器
	曲轴箱通风试验	评价呼吸系统机油携出等级	绝对滤芯、毫克天平
	水流反拖试验	评价发动机冷却能力	电动机、流量计
	零部件最高温度试验	测量关键零件最高工作温度	测温塞、热电偶
	热平衡试验	验证水箱匹配效果	温度传感器、配车水箱
	活塞拉缸试验	验证活塞配缸间隙	试验台架
	摩擦功试验	测量摩擦损失、提高机械效率	电力测功机
	共振噪声试验	评价振动噪声指标	振动噪声测试系统
	配气机构试验	验证配气机构设计指标	电力测功机、位移传感器
	全速全负荷耐久试验	评价发动机基本功能	耐久试验台架
台架可靠性	交变负荷耐久试验	评价交变工况可靠性	交变工况耐久试验台架
	冷热冲击循环试验	评价交变热负荷可靠性	冷热循环耐久试验台架
	排放耐久试验	评价排放劣化系数	排放耐久试验台架
	超负荷试验	评价超负荷能力	耐久试验台架

零部件试验是为了验证主要零部件的疲劳寿命安全系数和发动机重要附件自身的可靠性, 对发动机 5C 件进行设计初步验证, 只有通过了零部件专项试验才能进一步进行台架可靠性试验。连杆疲劳试验、曲轴疲劳试验、气缸体疲劳试验、重要螺栓性能试验、各主要附件可靠性试验等都是较为重要的零部件专项试验。图 1 示意了连杆疲劳试验。

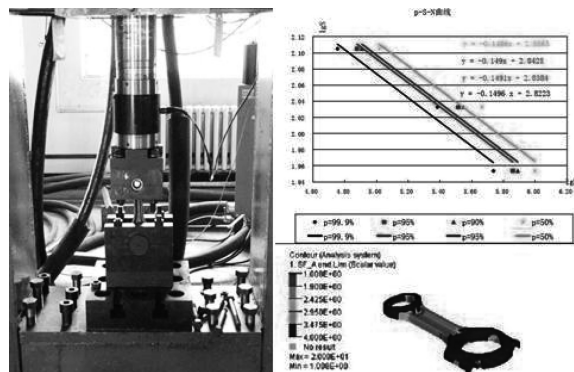


图 1 连杆疲劳试验示意图

结构分析试验主要是为了验证发动机重要密封面及摩擦副是否满足设计标准, 针对结构静态下进行的测试分析, 主要由缸筒变形、缸筒网纹及密封测试分析组成。结构分析试验不同于设计分析, 结构分析试验的侧重点是依据试验结果来评价设计, 而设计分析的侧重点是依据计算结果来辅助设计。

系统功能试验是为了验证评价系统是否满足整机开发设计要求, 系统开发的成功与否对于整机可靠性影响很大。系统功能试验通常有热平衡试验、润滑系统试验、曲轴箱通风试验、活塞拉缸试验、摩擦功试验、温度场试验等二十余项试验。

台架可靠性试验是通过规定的试验工况进行耐久试验, 考核发动机在机械负荷及热负荷条件下的可靠性。为了加速验证效果, 通常会规定超速超负荷、交变负荷、热冷冲击等苛刻工况。通常的台架可靠性试验项目有全速全负荷耐久试验、交变负荷循环试验、冷热冲击循环试验、排放耐久试验等, 图 2 是交变负荷循环试验规范示意图^[2]。

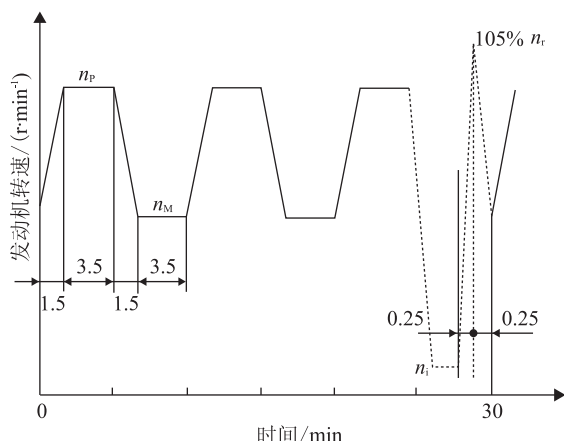


图2 交变负荷循环试验规范示意图

一汽技术中心和道依茨一汽大柴在交变负荷试验的基础上提出了标准循环试验的概念, 每个标准循环分8种工况模拟整机的实际运行情况, 见图2。其中包含额定转速超负荷、高怠速、交变负荷、最大扭矩超负荷、低怠速、最低转速全负荷、摆动负荷、超速超负荷等工况。其不仅在试验工况方面对发动机的考核更加苛刻, 而且运行时间上也有所增加。经过实践检验认为是一种科学有效的可靠性试验方法。

道路可靠性开发主要分析市场中使用环境、使用工况, 进行有针对性的道路模拟试验, 考核真实使用是否能通过可靠耐久性验证, 通常进行全国四季适应性试验、高环、坏路、山路、高温等道路试验。

可靠性工程是通过对试验样车样本故障的跟踪, 以统计学为基础建模, 并最终经数学分析得出发动机可靠性、耐久性水平的工程技术, 其目的是为了保证并提高发动机可靠性。

2.2 机械开发流程

机械开发因职责及相关试验较多, 流程也相对复杂。台架可靠性开发是机械开发技术中最重要的部分, 其工作流程通常分为可靠性方案设计、试验准备、试验验证、拆检评价、评审报告等五个阶段。各个阶段需要输出相关技术文件, 包括机械开发计划、装机清单、故障问题报告单、试验报告、打分评价表、评审报告等文件。可靠性开发流程及输出文件见图3, 机械开发流程的形式与之相近。

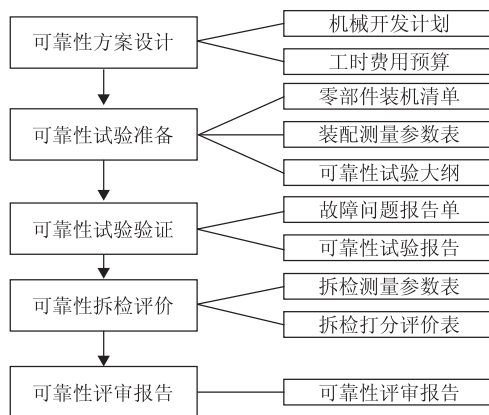


图3 可靠性开发流程及输出文件示意图

3 机械开发的难点

机械开发的难点主要有四个方面: 试验方法标准的系统规范、测试设备手段的精确完备、故障失效分析的技术难度、评价分析准则的科学量化。

行业内诸如 FEV、道依茨、康明斯、一汽技术中心都有其各自的标准体系, 其本质内容既有相似的共性又有其各自的特点。《GB/T19055-2003 汽车发动机可靠性试验方法》规定了交变负荷耐久及冷热冲击循环等试验方法, 在行业有一定指导意义和适用性, 但是对于零部件专项试验和系统功能试验国内尚缺少统一规范的标准。

机械开发试验验证需要有测试设备手段的保证, 诸如零部件专项试验中的气缸体疲劳试验机、螺栓摩擦性能试验机; 系统功能试验中的振动噪声测试设备、活塞温度热电偶遥控测试设备; 台架可靠性试验中的热冷冲击台架、交变负荷试验台架等。

(下转第 52 页)

也无故障和事故,能够满足主机运行的需求。最终主机成功提交,质保部评审结果:自行组装的 HCU 总成可作为该台柴油机商品。至此,本台柴油机 HCU 的国产化装配试制一次成功。

1.4.2.5 S60MEC 机 HCU 总成装配、试验

6S50MEC 机的 HCU 国产化装配试验成功后,紧接着进行 5S60MEC 机的 HCU 装配工作。在首台试验成功的基础上,本台机 HCU 的装配、投油工作在七个工作日内全部结束,总装车间装配过程中未发生装配问题。HCU 各项功能均能满足主机运行需求,主机最终成功提交,试验成功。同样,由质保部评审的结果为:自行组装的 HCU 总成可作为该台柴油机商品。

2 经济效益分析

目前公司 HCU 总成的配套方式有:进口或国内采购产品两种。以 5S60ME-C 机型为例,表 1 显示了不同配套方式的成本情况。

表 1 不同配套方式的成本指数

配套方式	总成价格指数
国外进口	100
本土化生产	66.5

(上接第 49 页)

故障失效分析是从结果求原因的逆向认识失效本质的过程,需要多学科跨领域的综合技术素质做为基础,要有彻底的求实精神、敏锐的观察力、善于学习并积累经验。故障失效分析需要具备良好的逻辑分析能力。失效分析思路是失效分析成败的关键之一,特别是在复杂的失效分析过程中显得尤为重要^[3]。

机械开发的评价分析一般均采用主观经验与客观量化相结合的方式,要基于零部件机械负荷、热负荷、振动、疲劳等失效机理,逐步完善评价技术和规范评价指标,突破主观经验评价模式,实现客观量化评价模式。

4 小 结

柴油机机械开发工作要以严谨、规范、客观、准确为工作准则,做到试验标准科学有效,试验过

由上表可以看出,公司自制 HCU 总成后,折算成 6 缸机,该总成平均能降低成本 33.5%,按每年生产 50 台 ME-C 柴油机计算,可为公司降低成本数千万。

3 结 语

综上所述:ME HCU 总成自行组装项目试制成功。在试制过程中,主要形成了以下成果:

- (1) 具备了 HCU 自制能力;
- (2) 形成 HCU 总成独立投油能力,可降低试车台位冲洗时间;
- (3) 检验了工艺流程、工装、设备;
- (4) 验证了生产负荷及生产周期测算;
- (5) 得到了辅料定额、工时的初步数据;
- (6) 每台 ME-C 机的 HCU 项目可节约 33.5% 采购费用。

同时针对自行组装过程中出现的各类工艺、设计、配套、设施中的问题,逐一进行了闭环处理。为了更好地配合明年正式生产,还会对工艺及流程进行持续改进和优化,在保证生产质量的同时尽量缩短生产周期时间,以便取得更大的效益。

程合理严谨,试验结果客观准确。

柴油机机械开发应该建立规范统一的试验验证及评价分析标准体系,培养专业的机械开发工程师,提高故障分析能力,并逐步建立完善的故障数据库。

随着国内柴油机行业的不断发展,对整机可靠性要求的不断提高,机械开发在产品开发过程中将发挥不可或缺的重要作用。

参考文献

- [1] 李良巧. 可靠性工程师手册[M]. 北京:中国人民大学出版社,2012.
- [2] 胡君,魏厚敏,蒋习军,等. 发动机可靠性试验方法及研究[J]. 内燃机,2009(1):43-45.
- [3] 张铮. 失效分析思路[J]. 理化检验(物理分册),2005(3):158-161.