

某直喷汽油发动机呼吸系统窜油量超标的解决方法

张大晴,王善强

(安徽江淮汽车集团股份有限公司,安徽 合肥 230601)

摘要:发动机呼吸系统窜油量超标会使发动机机油耗增大、排放超标、积炭增多引起早燃和爆震。为解决此故障,以某三缸直喷汽油发动机为例,利用故障树分析法建立窜油量超标故障的FTA,逐步进行分析验证寻找故障原因。通过对精分离孔板前后的压损重新进行匹配分析,对回油伞阀尺寸重新进行匹配计算,解决呼吸系统窜油量超标的问题。

关键词:汽油发动机;排放;曲轴箱压力;精分离孔板

中图分类号:U464 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2020)05-0061-03

Solution to Excessive Oil Leakage in Respiratory System of Gasoline Direct Injection Engine

ZHANG Daqing, WANG Shanqiang

(Anhui Jianghuai Automobile Group Co., Ltd., Hefei 230601, China)

Abstract: The excessive leakage of engine breathing system leads to the increase of engine fuel combustion, combustion chamber deposits and the emission of excess carbon which results in early combustion and knock. For this, this paper uses the fault-tree analysis to find out the fault causes. By re-matching the size of return chute valve and analyzing the pressure loss before and after the fine separating orifice plate, the problem of the excessive flow rate in the respiratory system is solved.

Keywords: gasoline engine; emission; crank case pressure; fine separation plate

0 引言

发动机呼吸系统也称为曲轴箱通风系统,该系统使曲轴箱气体与大气相贯通,发动机因而进行“呼吸”。呼吸系统一般分为开式呼吸系统和闭式呼吸系统两种:开式系统主要是将曲轴箱内气体通过油气分离器后直接排入大气;闭式系统是将曲轴箱内气体引入到进气歧管与新鲜空气进行混合,然后进行燃烧^[1];此次主要围绕闭式呼吸系统进行试验验证(图1)。呼吸系统主要连通发动机缸盖护罩、油气分离系统以及油底壳等主要部件,所述油气分离系统包含粗、精分离挡板、PCV阀、毛毡过滤以及回油伞阀^[2]。本次重点针对油气分离系统进行介绍(图2)。呼吸系统窜油量主要是经过油气分离器分离后的气体,再次进入燃烧室中所含机油的质量。

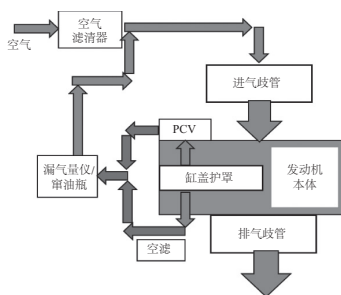


图1 闭式窜油量试验示意图

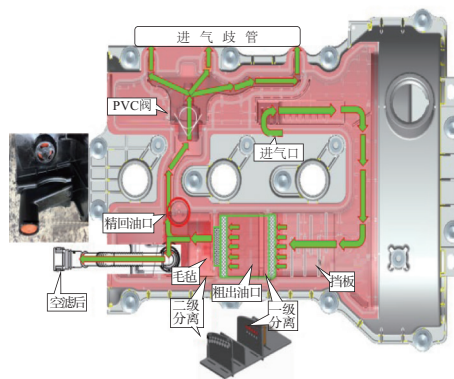


图2 A发动机油气分离系统结构图

1 故障分析

1.1 故障现象及工况

以某款产品为例:A汽油直喷发动机其排放要求满足国六b要求,同时窜油量设计指标 $<1\text{ g/h}$,但是在试验过程中发现发动机呼吸系统窜油量达到 3.55 g/h ,远远超出设计指标要求。

呼吸系统窜油量试验方法(表1),将发动机按照闭式方式进行连接,同时管路中间安装窜油量收集瓶,发动机以全速全负荷的方式运作15 h以上,收集窜油量并记录

运行时间及质量。

表 1 窜油量试验方法

类型	内容
试验工况	全速全负荷
运行时间	≥15 h
连接方式	闭式

呼吸系统窜油量烘干的试验方法(表 2):首先将样品放至烘干箱内,设置烘干温度为 80℃,烘干 8 h,此目的是为了将样品中的汽柴油进行加热挥发(安全性考虑);然后将烘干箱温度升高至 120℃进行试验,运行 46 h,此目的是将样品的水分进行加热挥发,试验中温度波动度≤±1℃,温度均匀度±5℃。试验完成后对样品进行称重计算^[3],呼吸系统窜油量=(烘干前质量-烘干后质量)/试验时间,式中:窜油量单位为 g/h;质量单位为 g;试验时间为 h。

表 2 窜油量烘干试验参数

类型	烘干温度/℃	烘干时间/h
第一阶段	80	8
第二阶段	120	46

1.2 故障分析

根据故障现象,建立以窜油量超标的 FTA 分析(图 3)。主要从整机状态和系统设计 2 个方面进行分析,经系统排查出 7 个潜在因子,分别为活塞环有对口现象、缸孔网纹不合格、缸盖护罩漏气、毛毡无法捕捉油滴、油气分离器分离后回油不畅、PCV 阀流量不合格和伞阀卡滞。具体故障排查检测结果见表 3。

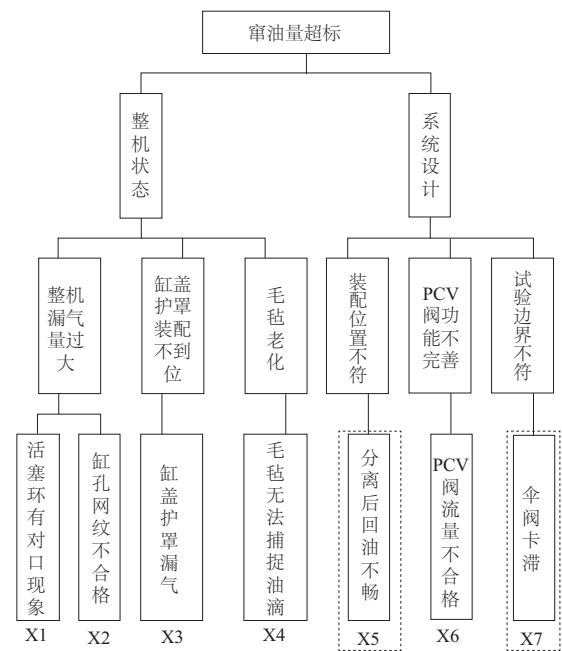


图 3 窜油量超标故障 FTA 分析

表 3 故障排查检测表

因子	标准值	实物检测	结果
活塞环对口	1)漏气量≤36 L/min; 2)活塞环无对口现象	1)实测均处于25~30 L/min; 2)拆解未发现对口现象	符合
缸孔网纹不合格	$Rk=0.3\sim1.2\text{ }\mu\text{m}$, $Rpk\leq0.3\text{ }\mu\text{m}$, $Rvk=1\sim2\text{ }\mu\text{m}$, $Mr1\leq8\%$, $Mr2=70\%\sim85\%$	$Rk=1.03\text{ }\mu\text{m}$, $Rpk=0.2\text{ }\mu\text{m}$, $Rvk=1.15\text{ }\mu\text{m}$, $Mr1=5.3\%$, $Mr2=73$	符合
缸盖护罩漏气	缸盖护罩泄漏量均<20 mL/min	泄漏量在3.4~4.7 mL/min	符合
毛毡无法捕捉油滴	毛毡无破损、萎缩	拆解后未发现有破损、萎缩	符合
分离后回油不畅	分离后至曲轴箱压损<300 Pa	粗分离压损最大值为 220 Pa; 精分离后压损测试为 316 Pa	不符合
PCV 阀流量不合格	1)泄漏量均<4 L/min; 2)流量符合设计指标	1)泄漏量为2.1 L/min; 2)流量均符合设计指标	符合
伞阀卡滞	无卡滞现象,处于常开状态	伞阀安装后处于常闭状态	不符合

通过对可能导致故障的原因逐项进行排查后,排除了其中 5 项,最终确定为 X5 分离后回油不畅和 X7 伞阀卡滞因子导致,具体分析如下。

1) 根据图 4 及结合公式 $\Delta p=\rho gh$,已知: $\rho=0.878\times10^3\text{ kg/m}^3$, $h=0.05\text{ m}$,得^[4]:

$0.878\times10^3\times9.8\times0.05=430\text{ Pa}$

考虑台架及整车发动机装配姿态发动机后倾 10°,以及 1.3 倍的安全裕度; $0.878\times10^3\times9.8\times0.045/1.3=298\text{ Pa}$
设计指标:精分离到曲轴箱压损<300 Pa。

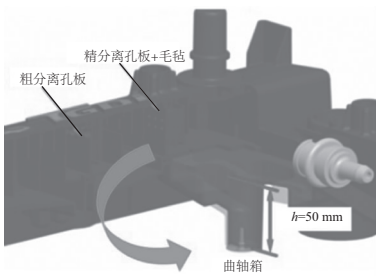


图 4 油气分离系统剖切图

针对油气分离器粗、精分离后至曲轴箱压损进行实际测量,粗分离后压损最大值为 220 Pa,满足设计<300 Pa 要求(图 5);精分离后压损最大值为 316 Pa,不能满足设计<300 Pa 要求(图 6),同时从图 6 压损分布图可以看出,不合格区域处于高速高负荷状态与窜油量全负荷工况相一致,且压损数据明显超出回油压力,试验过程会直接导致回油不畅,压损过大会导致呼吸系统气体走势受到阻碍,气体中的机油不能及时地回到油底壳。

2) 针对回油伞阀以及伞阀安装口进行实物检测(图 7),同时针对伞阀安装位置进行剖切分析,经剖切及装配

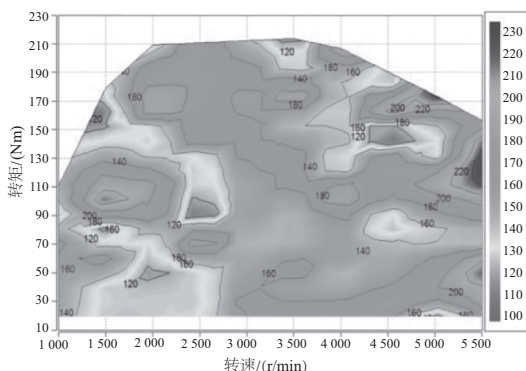


图5 粗分离后至曲轴箱压损分布图

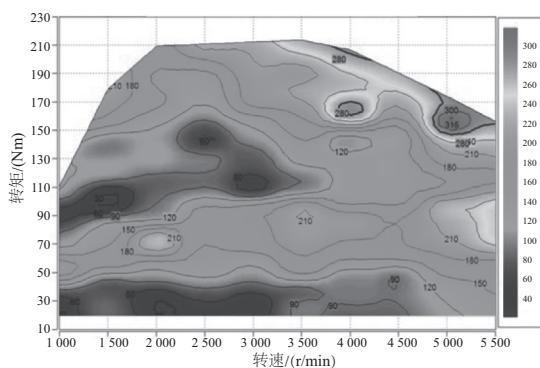


图6 精分离后至曲轴箱压损分布图

确认,回油伞阀一直处于常闭状态(图8),这样会直接导致初始开启压力增大,致使机油回油不畅^[5]。

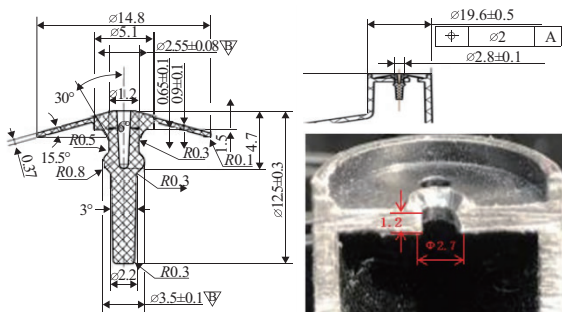


图7 回油伞阀装配尺寸

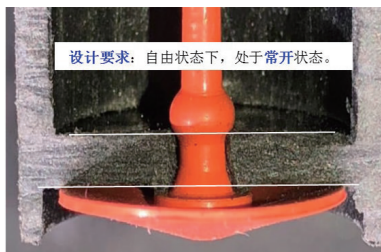


图8 回油伞阀装配剖切图

综上所述,最终确认呼吸系统窜油量超标的原因主要是精分离后至曲轴箱压损不合格和回油伞阀回油不畅两个因子导致。

2 试验验证

由分析结论,提出优化方案,并策划相应试验进行验证:

1) 针对精分离后回油不畅问题,结合 CAE 分析及实际试验验证,将精分离挡板孔径由 2.5 mm 扩大至 3 mm,扩大孔径减小压损^[6]。样件如图 9 所示。

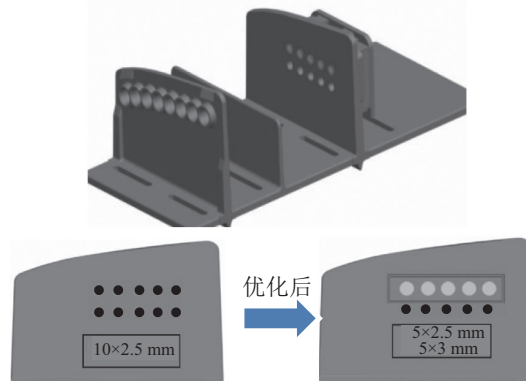


图9 精分离后挡板优化前后对比

试验结果:整改后装机验证,精分离后至曲轴箱压损最大在 240 Pa,满足设计指标<300 Pa 的要求,整改方案有效(图 10)。

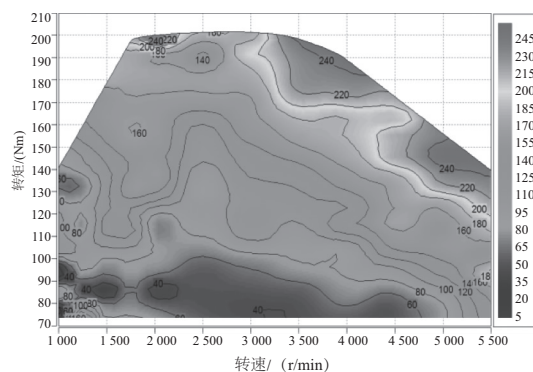


图10 优化后精分离后压损分布图

2) 针对伞阀卡滞问题,重新优化及匹配伞阀尺寸,将伞阀高度增加 1.5 mm(图 11、图 12)^[7]。

试验结果:优化后使回油伞阀在正常状态下处于常开状态,同时使曲轴箱气体不能反向流入,整改方案有效。

3 效果检查

1) 整改后经过多轮次不同样机进行验证,呼吸系统窜油量平均值为 0.53 g/h,达到<1 g/h 目标要求。

2) 经过机油耗专项验证,机油耗平均值为 15.8 g/h,满足设计指标≤35 g/h 的要求。

3) 经过排放测试,A 发动机能够满足国六 b 排放指标要求,通过验收。

4) 发动机试验前后活塞漏气量、曲轴箱压力以及动力性、经济性均符合设计要求,通过验收。

(下转第 83 页)

输出轴的最大轴向变形量为 0.009 27 mm,得轴向刚度 $K=2.16 \times 10^9 \text{ N/m} \geq 1 \times 10^8 \text{ N/m}$,箱体满足刚度要求,其变形不影响传动装置的正常工作。

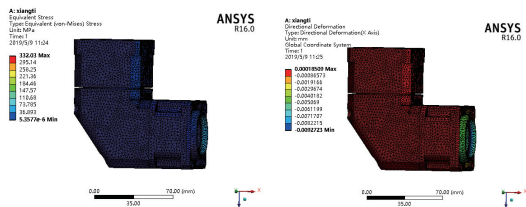


图 9 箱体等效应力及轴向变形图

4 结语

1)根据某航天飞行器的要求,设计了弧齿锥齿轮行星减速器。通过传统计算方法和有限元分析法对危险齿轮进行了强度校核,零件满足技术指标要求。

2)有限元分析计算得到的行星架、箱体强度和轴向刚度均满足指标要求。

3)有限元模型方法求解精度更高。传统计算方法参数取值范围较大,导致设计的产品尺寸范围较大。运用有限元法可以设计出满足设计要求且尺寸不至于过大或过小的零件。

参考文献:

- [1] 周一曄. 航天伺服微型减速差速器关键技术研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2015:35-59.
- [2] 郭子昂,常斌,赵振平,等. 基于 CATIA 的弧齿锥齿轮参数测绘计算[J]. 机械制造与自动化, 2017, 46(4): 40-42, 83.
- [3] 张洪信. 有限元基础理论与 ANSYS 应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [4] 刘鸿文. 材料力学[M]. 4 版. 北京: 高等教育出版社, 1997: 227-228.
- [5] 哈尔滨工业大学理论力学教研室. 理论力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2009.

收稿日期: 2019-05-27

(上接第 63 页)

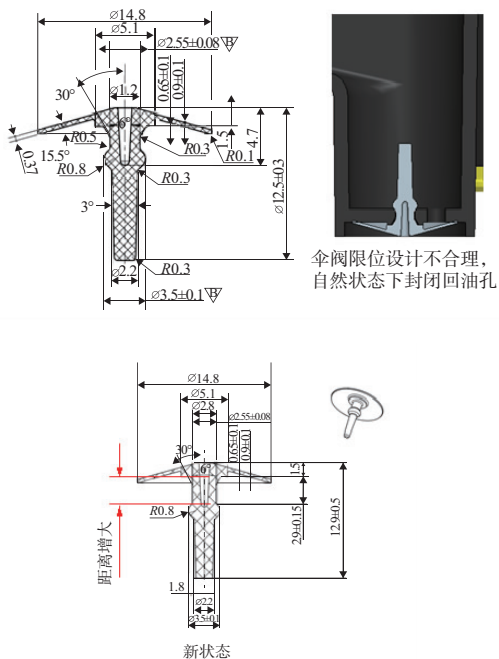


图 12 优化后回油伞阀图纸

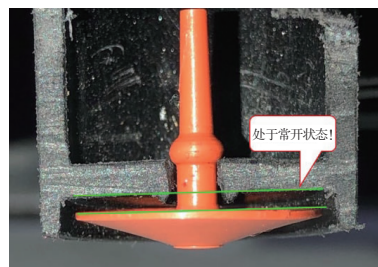


图 13 优化后回油伞阀剖切图

证,从系统及设计源头找出根源所在彻底解决问题,为后续同类问题提供解决思路。

参考文献:

- [1] 张仕武,崔军. 汽车发动机呼吸系统验证方法研究[J]. 山东工业技术, 2017(20): 27, 18.
- [2] 杨勇. 基于呼吸系统的排气歧管设计及有限元分析[D]. 西安: 西安理工大学, 2010.
- [3] 赵达,蒋恩杰,李连豹,等. 某发动机曲轴箱通风系统窜油量问题的解决[J]. 汽车零部件, 2016(10): 17-22.
- [4] 肖姗姗,韩广华,韩玉伟,等. 某增压直喷汽油发动机曲轴箱通风系统失效的分析和解决[J]. 小型内燃机与车辆技术, 2015, 44(3): 52-55.
- [5] 黄阔,蒋升龙,袁兆成. 车用发动机油气分离器的设计匹配[J]. 汽车技术, 2012(3): 32-35.
- [6] 广西玉柴机器股份有限公司. 发动机曲轴箱油气分离系统: 中国, CN201110450856.5[P]. 2013-07-03.
- [7] 项超,刘明亮,龚明成,等. 基于 CFD 的方法的某发动机油气分离器的性能分析[J]. 内燃机, 2017(6): 14-17, 21.

收稿日期: 2019-08-12

4 结语

该呼吸系统窜油量超标问题在发动机设计研发过程中是一种常见的故障现象,但是由于缸盖护罩目前设计方案多元化导致故障诱因不确定,此故障是由缸盖护罩油气分离系统压损导致气体走势受到阻碍及回油伞阀设计不匹配而导致的。通过 CAE 分析以及结合实际台架试验