

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2008.06.026

涡轮增压器蜗壳热裂纹的试验研究

胡友安,李晓东

(河海大学机电工程学院,江苏 常州 213022)

摘要:为了确定蜗壳主要结构参数对蜗壳工作时热应力的影响情况,将涡轮增压器安装于发动机上进行实测试验.每 50 h 关闭一次发动机,对蜗壳热裂纹进行仔细测量和标记,结果在流道分隔墙上产生 4 处裂纹.经过 100 h 试验后,流道分隔墙上仍有 4 处裂纹,其中 2 处裂纹扩展穿透至流道的外表面,且舌形挡板处发生断裂.根据试验中热裂纹出现的位置和尺寸,确定蜗壳结构参数中影响热裂纹产生的 6 个主要参数为蜗壳的流道分隔墙、流道壁、舌形挡板的厚度和 $T-T$ 截面、 W/G 凸台、 V 形圈边的结构形式,必须对其进行优化设计取值.

关键词:蜗壳 涡轮增压器 热裂纹 结构参数

中图分类号:U464.135+.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-1980(2008)06-0846-04

涡轮增压器通过压缩空气来增加进入汽缸里的空气,从而提高汽缸燃烧做功能力.在目前的技术条件下,涡轮增压器是唯一能使发动机在工作效率不变的情况下增加输出功率的机械装置.它是利用发动机排出的废气惯性冲力来推动涡轮室内的涡轮,涡轮又带动同轴的叶轮,叶轮压缩由空气滤清器管道送来的空气,使之增压进入汽缸.当发动机转速增快时,废气排出速度与涡轮转速也同步增快,叶轮就压缩更多的空气进入汽缸.空气的压力和密度增大可以燃烧更多的燃料,相应增加燃料量和调整发动机的转速,就可以增加发动机的输出功率.

涡轮增压器安装在发动机的进排气歧管上,处在高温、高压和高速运转的工作状况下,其工作环境非常恶劣,工作要求又比较苛刻,因此对制造的材料、零部件的结构尺寸和加工技术都要求很高.在涡轮增压器的新产品试制过程中,需要对涡轮增压器进行试验,以研究涡轮增压器的各项性能.蜗壳是涡轮增压器的主要零件之一,其流道由复杂曲面形成,以满足空气动力学性能要求,最大限度利用发动机废气能量.同时,由于安装空间的限制和与其他部件连接的限制,使其外形结构复杂^[1].由于发动机排放气体温度很高,蜗壳通常在 700~800℃ 高温交变热负荷下工作^[2],而且随着发动机启动、停止、待机等不同运行工况的变化,其排放气体的温度也随之改变.冷热交替变化的工作环境,对增压器蜗壳是一个很大的考验,因此由于热应力引起的裂纹破坏是蜗壳破坏的常见原因.在新产品的试制中必须对蜗壳进行试验研究,分析蜗壳结构中影响热裂纹产生的主要结构参数,以便对蜗壳结构进行修改和调整,达到提高产品质量的目的.为了确定蜗壳主要结构参数对蜗壳工作时热应力的影响情况,本文对涡轮增压器的蜗壳进行热应力实测试验,以确定蜗壳结构中影响热裂纹产生的主要参数.

1 蜗壳结构

蜗壳结构对增压器效率性能有很大影响,增压器设计准则规定流道截面面积与流道截面曲率半径之比为常数,因此蜗壳结构必须满足流道内流体的动力学性能.涡轮增压器蜗壳结构如图 1 所示,该蜗壳采用硅钼合金材料,其中碳质量分数为 3.0%~3.4%,硅为 3.75%~4.25%,钼为 0.5%~0.7%.材料的高温强度、热疲劳性能和热冲击性能都较好^[3-5].蜗壳结构采用双进气流道结构.在新产品的试制过程中,蜗壳的多种结构参数中可以有不同的选择.如进气流道分隔墙的厚度、流道壁厚和内腔的舌形挡板厚度.蜗壳的外部结构也有多种,如流道外壳上设置凸台和不设凸台,流道外壳与进气口连接部位(如图 1 中的 $T-T$ 截面)采用圆弧过渡或直线过渡, V 形圈边的结构形式是平面或凹槽等.蜗壳的这些重要结构参数直接影响蜗壳工作时的

收稿日期:2008-01-22

作者简介:胡友安(1963—),男,湖北武汉人,副教授,博士研究生,主要从事力学和机械设计研究.

热应力分布,从而影响蜗壳热裂纹的产生。

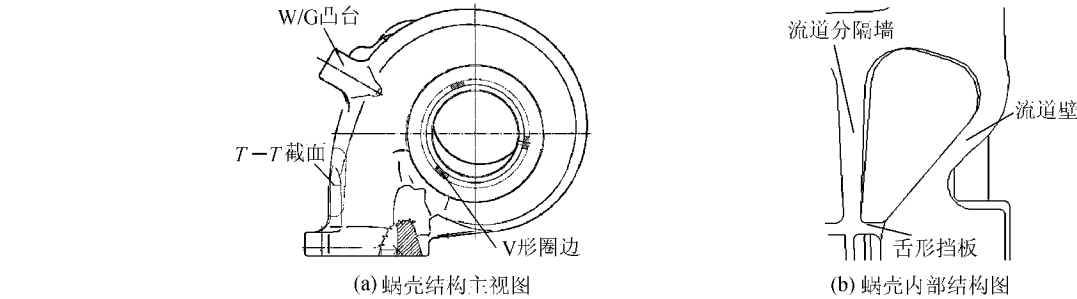


图1 蜗壳结构和影响热裂纹产生的主要结构参数

Fig.1 Structure of turbine housing and main structural factors affecting heat cracks

2 蜗壳热应力的试验

将涡轮增压器试验样品安装于与该涡轮增压器配套的发动机进排气歧管上,试验环境和条件与蜗壳实际工作时的情况尽量一致,即将蜗壳置于最恶劣的热和机械载荷循环下进行测试^[6-8],如图2所示.蜗壳热循环试验在专用的涡轮性能试验台上进行,试验时环境温度为常温.试验采用其配套的发动机,温度测量用热电偶测量蜗壳进气口的进气温度.当蜗壳进气口温度升至775~800℃



图2 蜗壳试验

Fig.2 Tests on turbine housing

时,保持此温度下发动机继续运行5 min,然后发动机卸载运行,使蜗壳进气口温度下降.当温度降到150~200℃时,保持此温度5 min.图3所示为从试验数据中提取的温度变化曲线.由于在蜗壳流道的前后部分存在温度梯度,所以使用平均进气温度来模拟热循环温度.

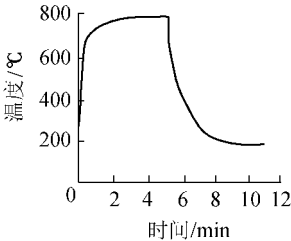


图3 进气口温度-时间变化曲线

Fig.3 Relationship between temperature and time at the air inlet

为观察蜗壳热裂纹产生情况,每50 h关闭一次发动机,将涡轮增压器拆下,对蜗壳进行检查,对产生裂纹的地方进行仔细测量和标记.根据试验标准,蜗壳试验符合以下3个条件则为合格产品:(a)在流道舌形挡板部位没有裂纹出现;(b)如果废气调节座为一体化设计的蜗壳,在废气调节座部位无裂纹出现;(c)对于双进气流道的蜗壳,不超过4个沿流道分隔墙的裂纹,而且每个裂纹最大允许的裂纹长度不超过0.4 mm.

3 试验结果与分析

经过50 h的热循环试验后,在流道分隔墙上有4处裂纹(图4),在舌形挡板处有1处裂纹出现.在1号裂纹处,流道分隔墙两面都有轻微的径向开裂,而且1号和2号裂纹都比预期的裂纹宽,1号裂纹有将近3.5 mm宽,这2处裂纹在流道壁处终止.流道分隔墙的另外2处裂纹(3号和4号)在距离流道外壁约四分之一的位置终止.

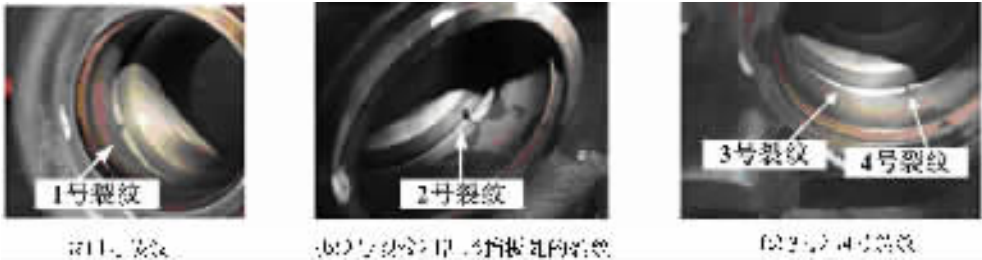


图4 50 h热循环试验后检测的裂纹

Fig.4 Cracks on turbine housing after 50 hours' heat cycle

经过 100 h 热循环试验后,流道分隔墙上仍有 4 处裂纹,而且有扩大的趋势,如图 5 所示,其中 1 号和 2 号 2 处裂纹继续扩展穿透到流道的外表面,并在舌形挡板处发生断裂.此时由于流道分隔墙的严重开裂,试验终止.

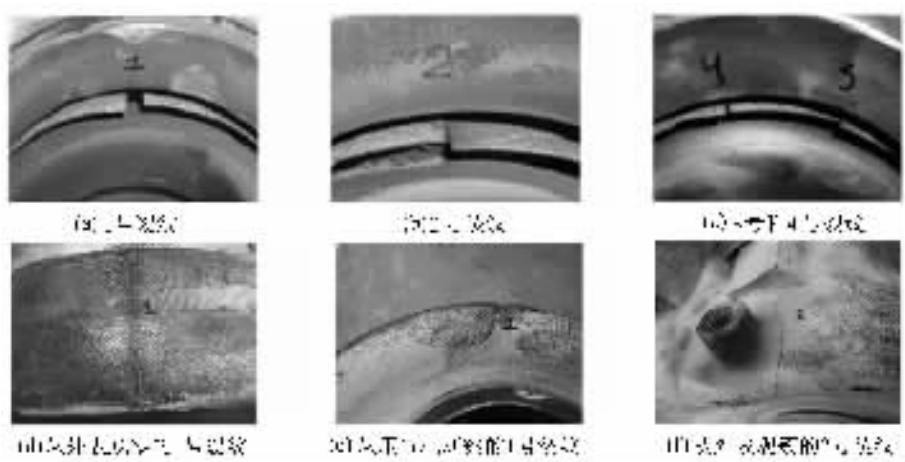


图 5 100 h 热循环试验后检测的裂纹

Fig.5 Cracks on turbine housing after 100 hours' heat cycle

试验完成后对全部蜗壳裂纹的位置和大小进行了仔细的测量,100 h 试验后检测的裂纹尺寸如表 1 所示.图 6 为在每次检测中发现的裂纹位置.其中 1,2,3 和 4 号裂纹为 50 h 检测时裂纹的方位,100 h 检测的裂纹方位仍处于 1,2,3 和 4 号位置,并且 1 号和 2 号裂纹分别继续扩展穿透到流道的外表面的 A,B 处.

表 1 100 h 试验后检测的裂纹长度

Table 1 Crack lengths of turbine housing after

100 hours' heat cycle

裂纹编号	裂纹宽度/mm
1	6.706
2	0.889
3	0.381
4	0.889

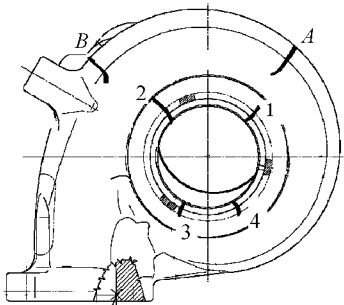


图 6 蜗壳裂纹位置示意图

Fig.6 Positions of heat cracks on turbine housing

发动机排放气体温度通常较高,而且随着发动机工作循环,在启动、停止、待机等不同运行工况下其排放气体的温度也不同,冷热交替变化的工作环境使得蜗壳的某些局部产生热应力.这些热应力大小也随工况变化,即为交变应力.当这些局部的交变热应力超过了材料的强度极限时,热裂纹产生.因此必须调整蜗壳热应力的分布,降低局部应力,避免其热裂纹的产生.

从试验结果可见,该涡轮增压器蜗壳在给定工况下局部出现了严重的裂纹.产生裂纹的因素较为复杂,但其主要因素是蜗壳结构的局部尺寸和结构的不合理,使得局部强度不足.因此必须对蜗壳结构进行修改和调整.

由于组成蜗壳结构的尺寸参数和结构参数较多,必须找出影响这些裂纹产生的主要结构参数.在 50 h 和 100 h 的热循环试验后,在流道分隔墙和舌形挡板上出现裂纹,且 100 h 热循环试验后舌形挡板处发生断裂,因此可以判定流道分隔墙的厚度和舌形挡板尺寸不合理;100 h 热循环试验后有 2 处的裂纹扩展到流道外表面,产生严重开裂,说明流道壁厚尺寸也设计得不合理.此外在流道外表面上采用 W/G 凸台和不设凸台也会影响流道壁的热应力分布情况,所以正确设计 W/G 凸台也直接影响流道壁的热裂纹产生.根据蜗壳以往的设计经验和热裂纹试验,发现蜗壳结构的 T—T 截面和 V 形圈边的结构形式也对蜗壳的热应力分布有影响.综上所述,可确定蜗壳尺寸和结构参数中流道分隔墙、流道壁、舌形挡板的厚度和 T—T 截面、W/G 凸台、V 形圈边的结构形式这 6 个参数为影响蜗壳工作时热应力的主要参数.

4 结 语

虽然目前计算机仿真水平已经相当高,但是产品试制过程中的试验研究是必不可少的.蜗壳的流道曲面形状和外形结构复杂,影响蜗壳裂纹产生的原因较多.本文通过热裂纹试验和以往的实际设计经验,以及有限元分析研究^[8],确定了直接影响蜗壳裂纹产生的主要结构参数为流道分隔墙、流道壁、舌形挡板的厚度和 $T-T$ 截面、W/G 凸台、V 形圈边的结构形式,必须对其进行正交优化调整^[9-10].

试验研究使新产品开发成本增加,周期拉长,为了节约产品的开发成本,缩短开发周期,蜗壳的试验研究必须和计算机仿真相结合.在此基础上,对蜗壳结构进行合理的优化设计,以降低试验成本.

参考文献：

[1] 蒋德明. 高等内燃机原理[M]. 西安 西安交通大学出版社,1993 236-287.
[2] 王泽华,许鹤皋,蒋兴国,等. 汽车增压器涡轮壳材料研究[J]. 内燃机,1999(1) 31-35.
[3] 王泽华,许鹤皋,蒋兴国. 铸态高塑性中硅钼球铁的试验研制[J]. 河海大学常州分校学报,2004,18(1) 20-24.
[4] 王泽华,刘腾彬,方学锋. 球墨铸钢:一种新型的工程材料[J]. 河海大学常州分校学报,2006,20(1) 1-5.
[5] 张逸,凌振国. 高硅钼球墨铸铁在内燃机排气系统中的设计应用[J]. 大型铸锻件,2005(2) 49-52.
[6] 李晓东. C13 涡轮增压器蜗壳开裂问题的研究[D]. 南京 河海大学,2005.
[7] 施新,马朝臣,杨长茂,等. 车用涡轮增压器混流涡轮的性能试验研究[J]. 内燃机学报,2002,20(2) 141-143.
[8] 王志刚,李明海,迟兴国. 机车用增压器试验台的现状及比较[J]. 内燃机车,2007,403(9) 43-48.
[9] 胡友安,李晓东,陈图钧. 蜗壳温度场和热应力的有限元分析[J]. 机械强度,2007,29(1) 130-134.
[10] 胡友安,周建方,李晓东,等. 蜗壳结构参数的正交试验优化设计[J]. 内燃机学报,2006,24(5) 470-475.

Experimental study on heat cracks of turbine housing on turbochargers

HU You-an, LI Xiao-dong

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Hohai University, Changzhou 213022, China)

Abstract : In order to determine the influences of the main structural factors of turbine housing on its thermal stress, experimental studies on turbochargers installed on the engine were carried out. The engine was turned off after 50 hours, and the heat cracks on the turbine housing were measured and marked. 4 heat cracks are caused on the divider. After 100 hours, the 4 cracks still existed, and two of them expand and reached the outer surface. And the tongue raffle ruptured. Based on the positions and sizes of the heat cracks, 6 structural factors of turbine housing strongly affecting the cracks were as follows: divider, wall thickness, tongue baffle, $T-T$ section, W/G boss and V-band. They must be optimized.

Key words : turbine housing ; turbocharger ; heat crack ; structural factor