

使用维修

某型天然气发动机气门导管偏磨问题分析及改进

陈贻云, 钱立宏, 戴湘利

(玉柴联合动力股份有限公司, 安徽 芜湖 241080)

摘 要: 针对某型天然气发动机气门导管偏磨问题进行排查, 发现: 磨损主要集中在排气门导管, 且排气侧排气门导管磨损要明显高于进气侧排气门导管; 此外导管顶部磨损主要集中在排气侧, 底部磨损主要集中在进气侧。通过变更缸体及气门导管材料, 减薄缸盖底部厚度, 调整球头结合件的初始倾角, 提高了缸盖冷却效率和导管的耐磨性, 降低了气门所受侧向推力, 气门导管偏磨问题得到解决。

关键词: 天然气发动机; 气门导管; 偏磨

中图分类号: TK423.4⁺3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-4357(2017)05-0056-04

0 引言

天然气的主要成份为甲烷, 其充分燃烧的产物为水和二氧化碳, 无颗粒及其他污染物排放。天然气作为一种清洁能源已被广泛应用。近年来, 由于排放法规的日益严格, 天然气在发动机领域, 尤其是在重卡领域的需求越来越大。玉柴、潍柴、锡柴等国内著名柴油机厂商在该领域投入了大量的研发资源。相对柴油机, 天然气发动机的燃烧温度高, 燃烧速度慢, 废气排温很高, 传统材质和结构的气门、气门座圈、缸盖等难以满足其使用要求。此外, 国内的天然气产地分布较广, 不同气源的天然气成分存在较大差异, 其在缸内的燃烧情况也会存在一定差异。

某型天然气发动机在使用过程中, 气门导管存在较大偏磨, 带来一系列问题, 如座圈偏磨、气门折断, 甚至影响燃气供给以及点火系统, 严重影响该天然气发动机的可靠性。

1 问题分析

1.1 问题描述

该天然气发动机采用前端进气(无进气歧管)、整体缸盖、四气门以及顶置凸轮轴, 结构非常紧凑。如图1(截取第一缸)所示: 靠近凸轮轴一侧为进气侧, 靠近气门一侧为排气侧, 靠近进气口为前端; 靠近后端的两气门为进气门, 而靠近前端的两气门为排气门, 分别由进、排气摇臂驱动, 共用一根顶置凸轮轴。

该机投放市场运行一段时间后, 排气门导管陆

续暴露出一些问题:

(1) 排气门导管磨损较大, 且存在偏磨, 导管顶部磨损集中在排气侧, 导管底部磨损集中在进气侧, 而相反一侧磨损很小。图2为排气门导管解剖情况, 其中, 左侧为靠近进气侧剖面, 底部磨损痕迹明显; 右侧为靠近排气侧剖面, 顶部有轻微磨损痕迹。

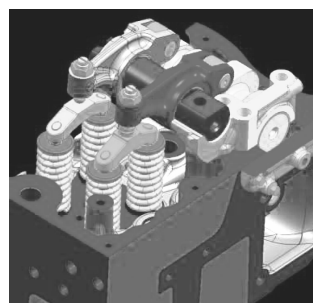


图1 气缸盖组件及配气机构示意图

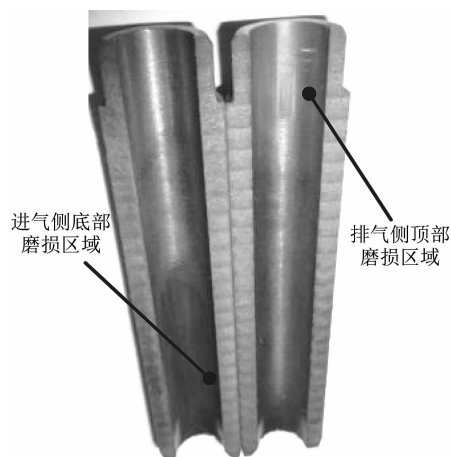


图2 排气门导管磨损

(2) 排气侧排气门导管磨损明显大于进气侧排气门导管。

(3) 对应位置的排气门座圈偏磨方向与气门导管偏磨方向一致。

气门座圈发生偏磨后会造成气门关闭不严、性能劣化等。而导管磨损到一定程度,会造成气门与缸套发生干涉,从而导致气门折断。

1.2 问题分析

造成导管磨损的基本因素包括:表面接触、相对位移以及作用力。气门在运行过程中,其杆部与气门导管接触,并有相对运动。气门的运动受摇臂驱动,在接触气门导管的同时,也将摇臂的作用力传递给气门导管。

(1) 表面接触的影响因素包括:接触面积、表面粗糙度、润滑以及不同材质自身的耐磨性能等。其中,润滑以及材料的耐磨性能受温度影响,尤其是后者,当温度达到一定值,其材料耐磨性能会急剧劣化。

(2) 相对位移的影响因素包括:气门凸轮型线以及发动机转速。摇臂和转速一定情况下,凸轮型线直接决定气门的运动规律,包括速率、加速度等。

(3) 作用力的影响因素包括:气门弹簧 K 值、摇臂比、球头结合件与气门桥的接触位置、球头结合件的初始倾角、气门间隙以及凸轮轴型线等。

为确保导管磨损测量的准确性,所有尺寸测量均采用三坐标测量仪进行,具体说明如下:

(1) 针对排气侧气门导管定义序号为*-1,而进气侧气门导管序号为*-2,*代指不同缸号,如1-1表示1#缸的排气侧气门导管。

(2) 针对每根气门导管,以缸盖底面为基准,分别测量5个截面。最底部测量截面距导管孔口5 mm,后续截面依次距导管孔口15 mm、25 mm、35 mm以及45 mm,依次定义序号为截面5, ..., 截面1。

(3) 针对每个截面,分别测量内径以及各截面上不同位置点到导管中心的距离。内径的变化可以反映磨损量的大小,而各点到导管中心的距离可以反映导管的磨损方向。

对台架试验发动机的气门导管测量数据进行统计,结果如图3所示。除6#缸外,其余各缸排气侧气门导管磨损均大于进气侧。结合试验机各缸排温进行对比分析,其整体变化趋势与导管磨损变化趋势接近,但不完全对应,这主要与排气管的结构有关。该型发动机1#、2#缸和5#、6#缸各公用一

根排气支管,3#、4#缸公用一根排气中间管,前三缸由排气中间管的一侧进入增压器,而后三缸则由排气中间管的另一侧进入增压器。距离排气中间管越远,其排气背压相对越高,排气速度较慢,则导管的温升可能更高。可以发现:除3#、4#缸与排温趋势完全一致外,1#、2#和5#、6#缸与排温变化趋势相反。此外,如图4所示:进、排气侧气门导管磨损差值与各缸排温变化趋势基本一致,各缸排温对其影响较为明显。须要说明:4#缸经确认为传感器安装深度过浅导致温度测量过低。

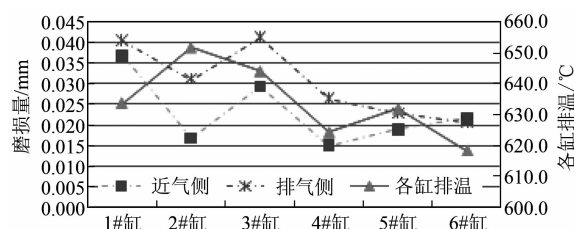


图3 气门导管磨损量与各缸排温关系

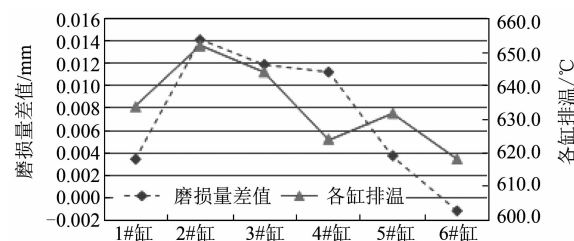


图4 进、排气侧气门导管磨损量差值与各缸排温关系

同时对某台返厂机的排气门导管进行测量,各截面内径分布情况如图5(a)所示,其值越大,说明磨损越大。拆除气门导管观察其外壁颜色,可以发现:导管外壁颜色与其磨损量关联性较强,表面颜色越深,磨损量越大。由于颜色对比存在一定的主观性,分别测量各导管的表面硬度,如图5(b)所示。可以发现:其硬度变化与导管磨损变化正相关,表面硬度越高,磨损量越大。

缸盖剖面图如图6所示,区域1为排气道,区域2为进气道,图5(b)导管中颜色最深区域(硬度最大)位于图6中A位置。由于排气侧排气门更靠近排气道出口,其背压较低,排气更为顺畅、排气量多,同时,进气侧排气门处的部分排气也会经过排气侧排气门附近,因此,流经排气侧排气门导管位置的排气量要高于进气侧排气门导管位置,其热负荷也就更高,势必造成该位置导管的耐磨性降低,磨损量增大。综上所述,排气道自身结构是造成进、排气侧气门导管磨损差异的主要原因,而各缸排温是造成各缸导管磨损差异的主要原因。

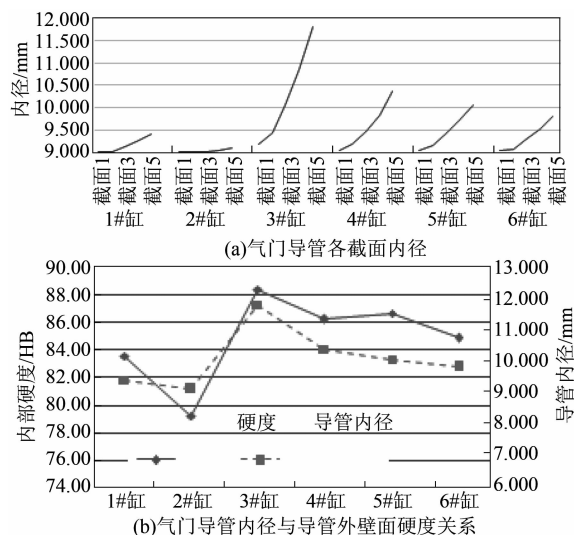


图5 气门导管各截面磨损与外壁表面硬度关系

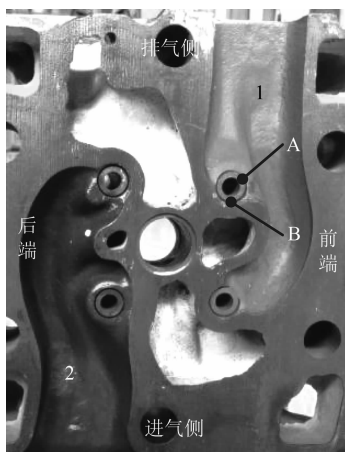


图6 导管磨损位置示意图

磨损最大的3#缸导管内壁各位置点至导管中心的距离如图7(a)所示,其值越大,说明该位置的磨损越大。导管磨损后的截面形状如图7(b)所示。可以发现:导管磨损最大的位置位于图6中B位置,并非A位置,因此,除气道和各缸排温的影响外,结构本身可能存在异常受力。

经检查发现:气门完全关闭时,球头结合件与气门桥之间存在较大倾角,如图8所示。文献[1-4]对气门以及导管受力、润滑有详细分析。气门下行过程中会受到一个侧向推力,使得气门头部偏向排气侧,气门下部偏向进气侧,而气门头部与气门导管接触的位置温度及润滑条件较好,因此该位置的磨损较轻,而气门下部与气门导管接触位置的温度和润滑条件均较差,其磨损量相对较高。

2 改进方案及验证

2.1 改进方案

由于该型发动机采用前端进气(无进气歧

管)、整体缸盖,其各缸燃烧一致性控制相对较难,为有效降低排温影响,加强缸盖冷却是一个比较好的选择。针对所述问题,制定如下改进方案:

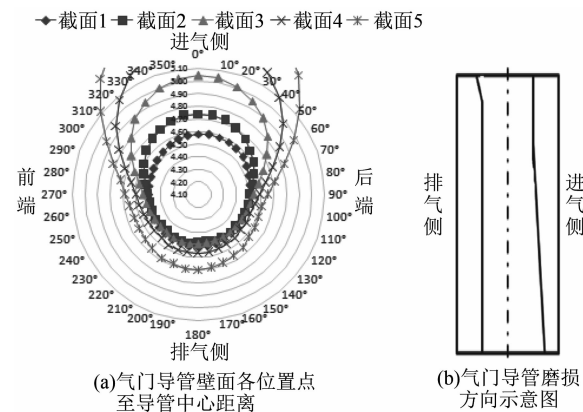


图7 导管磨损方向情况

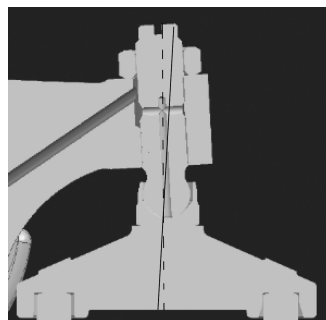


图8 球头结合件初始倾角示意图

- (1) 变更缸盖本体材料,提高材料的导热效率。
- (2) 减薄缸盖底板厚度,加大火花塞周边水腔容积,提高缸盖本体冷却效率。
- (3) 调整球头结合件的初始倾角,降低其对气门的侧向推力。
- (4) 变更气门导管材质,提高气门导管的高、低温耐磨性能,同时改善气门导管的自润滑性能。

2.2 验证结果

为有效验证气门导管偏磨问题的改善效果,试验采用三超工况(超速、超负荷和超最高燃烧压力),同时提高发动机出水温度以及发动机中冷后进气温度。试验工况如图9所示,其中:1 995 ($r \cdot \min^{-1}$)为超速、超负荷点,1 200、1 300和1 500 ($r \cdot \min^{-1}$)为超最高燃烧压力点。为对比分析改进方案效果,1、3、5#缸为原始方案,而2、4、6#缸为改进方案。试验结果如图10所示。

可见:改进效果明显,气门导管磨损得到大幅降低。但由于前端进气(无进气歧管)、整体缸盖的影响,其各缸导管磨损的一致性还是有一定差异,1~6#缸导管的磨损呈逐渐降低趋势。后续仍须就这一问题进行改进。

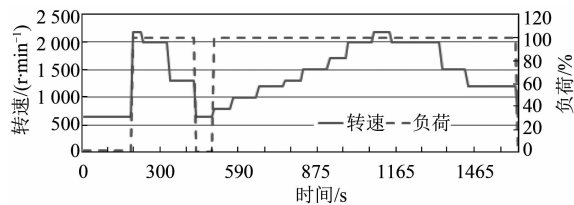


图9 试验工况

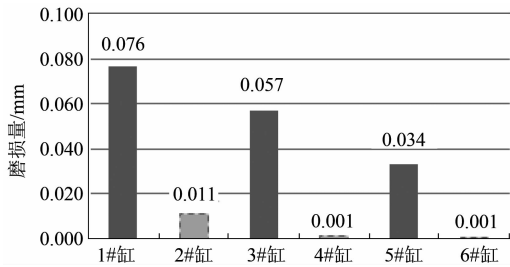


图10 原始方案和改进方案气门导管磨损量对比

3 小 结

针对某型天然气发动机气门导管偏磨问题，结

(上接第45页)

表4 检验试验中各个方向的固有频率及阻尼比

激励信号	坐标方向	固有频率/Hz	阻尼比
频率为0.5~50 Hz, 加速度为0.2 g _n 的 白噪声信号	X	40.27	0.82%
	Y	34.96	0.86%
	Z	74.66	0.77%

7 试验数据分析及结论

(1) 从图4、图7中可以看出：试验中实际输入的TRS将要求的RRS完全包围并留有一定裕量；从图5、图8中可以看出：振动台面输入激励信号产生强迫振动的时间持续了至少30 s；从图6中可以看出：三个坐标方向输入的激励信号的相关数的绝对值峰值不超过0.3，这说明两个正交的激励信号之间是相互独立的。综合以上几点表明：本次试验符合抗震试验规范HAF J0053的要求，是有效的。

(2) 通过对比表4和表2可发现：高温水循环泵在抗震试验前后，其X向、Y向的固有频率基本未发生变化，Z向稍有变化，但幅度不大。这主要是由于实际试验的需要，在高温水循环泵的出入口连接着非线性的橡胶软管，因此其固有频率受到橡胶管附加质量和非线性因素的影响发生一定的变化，但仍处于可接受的范围内。

(3) 对比表3和表1的监控数据可以看出：在规定的地震条件下，高温水循环泵可以正常运行；在抗震试验结束后，高温水循环泵的外形结构

合实物以及相关测量、检测手段进行分析。分析表明：造成导管磨损的主要因素为排温、气门所受侧向力以及缸盖自身结构问题。在此分析的基础上，通过采取变更缸盖本体材质，变更气门导管材质等手段，最终将气门导管磨损降低在一个较为合理的范围，满足使用要求。

参考文献

- [1] 郭海涛, 卓斌, 彭健, 等. 发动机配气机构中气门-气门导管摩擦副的润滑研究 [J]. 机械工程学报, 2002, 38 (7): 96-101.
- [2] 郭海涛, 卓斌, 彭健, 等. 气门-气门座的摩擦学设计研究 [J]. 内燃机学报, 2001, 19 (3): 258-262.
- [3] 黄华, 刘佐民. 基于ANSYS-WORKBENCH的气门偏摆落座力研究 [J]. 机械制造, 2010 (6): 36-39.
- [4] 吴国胜, 付晓燕, 李树生. 配气传动件对气门导管的影响分析 [J]. 内燃机与配件, 2011 (3): 11-13.

及连接部件均无破损、松动脱落或变形等情况发生，且仍能够正常启动运行。

(4) 综合以上表明：高温水循环泵有足够的抗震强度，且能够在规定的地震条件下正常运行；ESLH40-180/E12离心泵能够满足规定条件下的抗震要求。

参考文献

- [1] 臧希年, 申世飞. 核电厂系统及设备 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [2] 中华人民共和国建设部. 核电厂抗震设计规范: GB 50267-97 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1998.
- [3] 国家核安全局. 核电厂的抗震设计与鉴定: HAD102/02 [S]. 北京: 国家核安全局, 1995.
- [4] IEEE. IEEE Recommended Practice for Seismic Qualification of Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations [S]: IEEE Standard 344-1987. New York: The Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc., 1987.
- [5] 国家核安全局. 核设备抗震鉴定试验指南: HAF J0053-1995 [S]. 北京: 国家核安全局, 1995.
- [6] NORTON M. P. 工程噪声和振动分析基础 [M]. 盛元生译. 北京: 航空工业出版社, 1993.
- [7] 中国核电工程公司. 福清核电站5&6号机组楼层反应谱 [R]. 北京, 1995.
- [8] 季文美, 方同, 陈松祺. 机械振动 [M]. 北京: 科学出版社, 1985.