

# 某车辆汽油发动机排气门烧蚀原因分析

常雪嵩<sup>1,2</sup>, 王晨曦<sup>1,2</sup>, 王 岩<sup>1,2</sup>, 纪 雷<sup>1,2</sup>, 沈小栋<sup>1,2</sup>

(1. 长城汽车股份有限公司, 河北 保定 071000; 2. 河北省车用发动机技术创新中心, 河北 保定 071000)

**摘 要:** 本文采用多种手段对某车辆汽油发动机排气门烧蚀的原因进行分析。结果表明, 该车可能长期使用胶质含量过高的劣质汽油, 燃烧后导致气门积碳, 并造成气门烧蚀失效。

**关键词:** 汽油发动机; 排气门; 积碳; 烧蚀

中图分类号: U472.43

文献标志码: A

DOI: 10.15917/j.cnki.1006-3331.2025.01.013

## Cause Analysis of Exhaust Valve Ablation of a Vehicle Gasoline Engine

CHANG Xuesong<sup>1,2</sup>, WANG Chenxi<sup>1,2</sup>, WANG Yan<sup>1,2</sup>, JI Lei<sup>1,2</sup>, SHEN Xiaodong<sup>1,2</sup>

(1. Great Wall Motor Co., Ltd., Baoding 071000, China;

2. Hebei Automotive Engine Technology Innovation Center, Baoding 071000, China)

**Abstract:** This paper uses various means to analyze the ablation causes of exhaust valves in a vehicle gasoline engine. The results show that the vehicle may use inferior gasoline with high gum content for a long time, which leads to carbon deposition after combustion and valve ablation failure.

**Key words:** gasoline engine; exhaust valve; carbon deposition; ablation

气门是发动机重要的零部件之一, 气门的开启和闭合, 可将新鲜空气吸人气缸, 还会将燃烧的废气从气缸排出, 此外密封燃烧室也是气门的重要作用<sup>[1-3]</sup>。发动机工作过程中, 因缸内产生高温高压气体使排气门工作环境非常恶劣<sup>[4]</sup>, 高温燃烧后产生的气体会加速气门的腐蚀<sup>[5]</sup>, 并缩短排气门的使用寿命。此外, 气门还承受高强度机械力以及较大的热应力。气门头和杆部断裂、气门密封锥面烧伤与刮伤、气门杆弯折等都是在缸内综合应力的相互作用下造成的气门失效<sup>[6-7]</sup>。综上所述, 气门在设计时就要考虑刚度、强度、耐腐蚀性及耐热性。

通过对排气门腐蚀部分进行分析, 发现燃油中的 S、Na 等化合物和高温下产生的  $\text{SO}_2$  和  $\text{SO}_3$  均可破坏气门盘部的氧化层<sup>[8]</sup>。同时排气门盘部受到高温气体冲刷, 造成热应力集中, 产生烧蚀风险<sup>[9]</sup>, 气门的热均匀程度, 也会影响气门寿命<sup>[10]</sup>。增压发动机排温

升高, 导致排气门发生腐蚀的现象, 称为烧蚀<sup>[11]</sup>。有研究表明, 排气门烧蚀是密封不严导致的, 因为排气门与气门座圈有缝隙, 高温高压气体会从缝隙窜出, 高速冲刷和加热密封表面<sup>[12]</sup>。

本文针对某车型中某一汽油发动机运行 2.6 万 km 时出现的排气门烧蚀问题, 通过外观检查、材料检测等方法, 分析其根本原因。

## 1 问题描述

某车辆在行驶 2.6 万 km 时, 其汽油发动机出现失火。对发动机进行拆解, 发现所有进气门颈部都存在大量胶状积碳, 所有排气门颈部也都存在积碳, 5#(第 3 缸)排气门头部已发生烧蚀现象, 如图 1 所示。

对失效的 5#排气门进行外观检查, 发现盘部烧蚀缺损处附近以及颈部、盘端面都存在严重的高温氧化和烧结碳, 局部积碳已脱落, 气门盘部缺损处有明

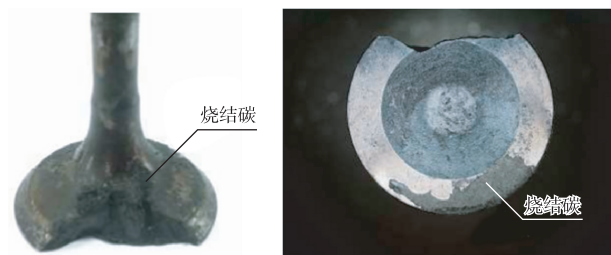
收稿日期: 2024-10-11。

第一作者: 常雪嵩(1990—), 男, 工程师, 主要从事汽车发动机设计开发工作。E-mail: changxuesong518@163.com。

显的高温气流冲刷烧蚀痕迹。如图2和图3所示。



图1 排气门头部烧蚀



(a) 5#排气门颈部烧蚀碳

(b) 气门盘端面烧蚀碳

图2 5#排气门烧蚀碳



(c) 180°

(d) 270°

图3 5#气门不同角度烧蚀情况

对燃烧室及活塞顶面进行外观检查,发现1~4缸活塞表面都存在胶状积碳,第3缸缸盖燃烧室积碳严重,各缸排气门座圈均存在积碳痕迹。如图4和图5所示。

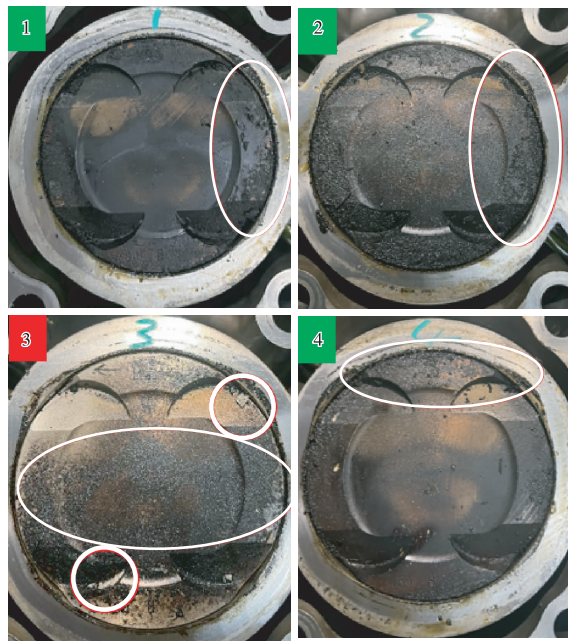


图4 1~4缸活塞表面积碳

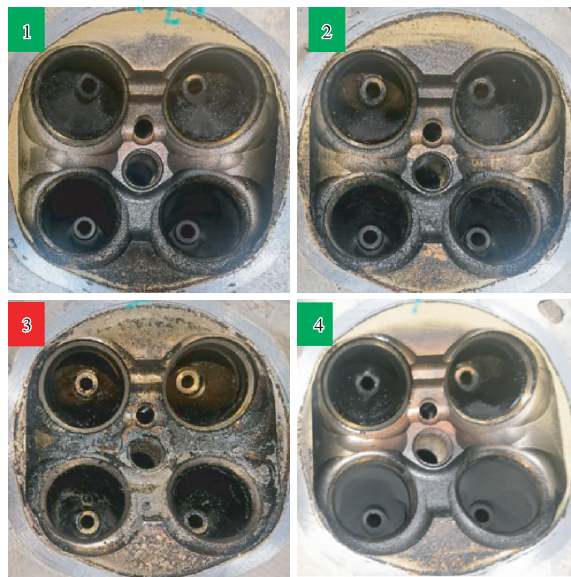


图5 1~4缸缸盖燃烧室表面积碳

## 2 试验过程与结果分析

排气门烧蚀通常与气门盘部材质、金相组织及硬度、导管和座圈磨损量以及积碳成分有关。

### 2.1 排气门盘部材质分析

要准确分析排气门的腐蚀原因,需要知道排气门盘部材质。该排气门盘部材质为X50CrMnNiNbN219。用直读光谱仪对排气门盘部的材质进行化学成分检测。检测过程:①将样品盘部切割出一定面积的平

面;②将切割平面打磨平整;③使用直读光谱仪对样品进行检测。化学成分检验结果见表 1,表明排气门盘部的材质符合要求。

表 1 化学成分检验结果(质量分数) %

| 元素 | 设计要求      | 检测结果  | 元素    | 设计要求      | 检测结果  |
|----|-----------|-------|-------|-----------|-------|
| C  | 0.45~0.55 | 0.51  | Ni    | 3.5~5.0   | 3.69  |
| Si | 0.08~0.45 | 0.36  | W     | 0.80~1.50 | 0.93  |
| Mn | 8.0~10.0  | 8.92  | N     | 0.45~0.55 | 0.51  |
| P  | ≤0.050    | 0.022 | Nb+Ta | 1.80~2.50 | 2.01  |
| S  | ≤0.030    | 0.004 | Cu    | ≤0.50     | 0.088 |
| Cr | 20.0~22.0 | 21.18 |       |           |       |

2.2 排气门盘部金相组织及硬度检测

1) 在 5#排气门盘部烧蚀部位附近区域进行金相组织检测。检测过程:①在样品需要检测的位置进行切割;②把切下的试样嵌入黑色树脂材料里并进行抛光,再用一种酸性的腐蚀液处理试样表面;③将制备好的切割面放置于金相显微镜下进行观察。结果如图 6 所示,显示为暴露于高温环境下形成的过热氧化现象。

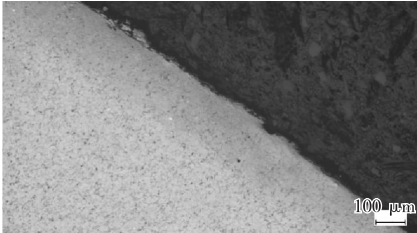


图 6 排气门烧蚀部位附近金相

2) 对 5#排气门盘部烧蚀部位附近组织进行硬度检测。检测过程:①在样品需要检测的位置进行切割;②把切下的试样嵌入黑色树脂材料里并进行抛光;③将制备好的切割面用硬度计进行硬度检测。硬度检测结果为 28~29 HRC,符合要求(要求 ≥ 28 HRC)。

3) 对 5#排气门盘部烧蚀部位附近锥面堆焊层进行金相组织和硬度检测。金相检测结果如图 7 所示,显示焊接组织良好;堆焊层硬度检测结果为 413 HV,符合要求(要求 ≥ 370 HV)。

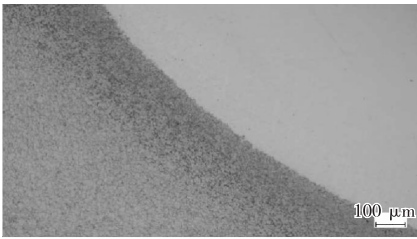


图 7 排气门烧蚀部位附近锥面金相

4) 对 5#排气门盘部远离烧蚀部位进行金相组织和硬度检测。金相结果如图 8 所示,显示为奥氏体结构,无异常;硬度检测结果为 30~31 HRC,符合要求(要求 ≥ 28 HRC)。

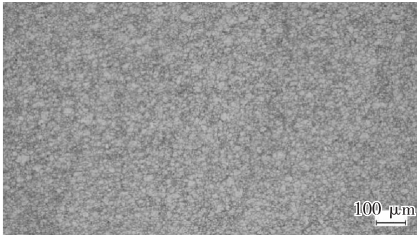
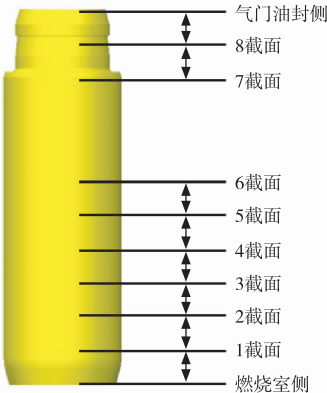


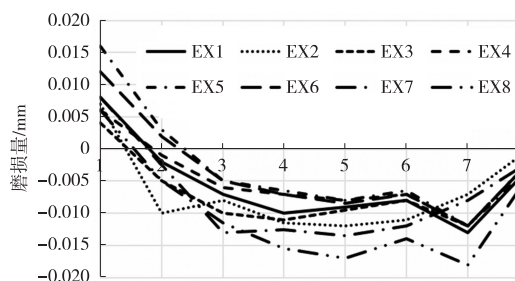
图 8 排气门远离烧蚀部位金相

2.3 导管及座椅磨损量分析

采用三坐标仪对 5#排气门杆的导管和座圈磨损量进行检测,结果分别如图 9 和图 10 所示。图 9(a)中有 8 个截面,每个截面都要进行磨损量检测。图 9(b)中有 8 个线型,即 EX1~EX8,代表着 8 个排气门导管,每个导管都要测量 8 个截面的磨损量,目的是更加准确地评估导管不同位置的磨损情况。图 10(a)中 a、b、c、d 代表座圈的 4 个方向,图 10(b)中 EX1~EX8 代表 8 个排气座圈,每个排气座圈都要测量 4 个方向磨损量,即 a、b、c、d。

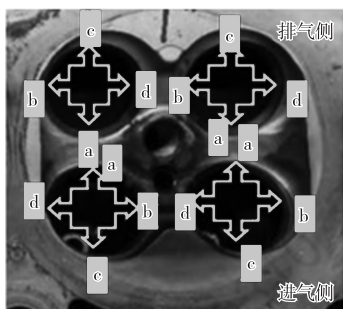


(a) 导管截面位置

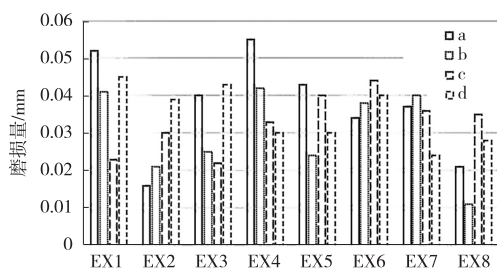


(b) 导管磨损量检测

图9 导管磨损量



(a) 座圈方向示意图



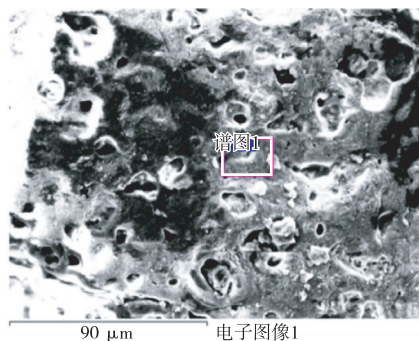
(b) 座圈磨损量

图10 座圈磨损量检测

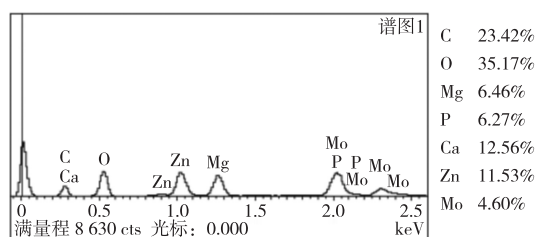
检测结果表明,导管和座圈磨损量未见明显异常。

## 2.4 积碳成份分析

对第3缸燃烧室、5#排气门和进气门颈部的积碳取样,用扫描电子显微镜和能谱仪进行化学成分检测,结果分别如图11、图12、图13所示。

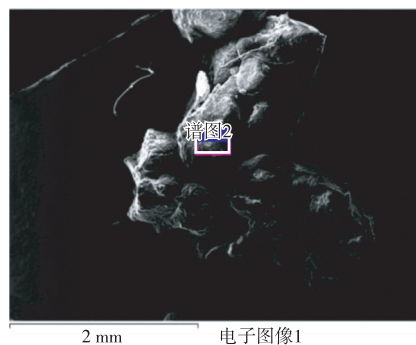


(a) 电子能谱图

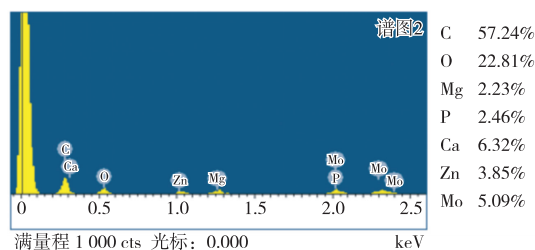


(b) 电子能谱曲线

图11 第3缸燃烧室积碳检测

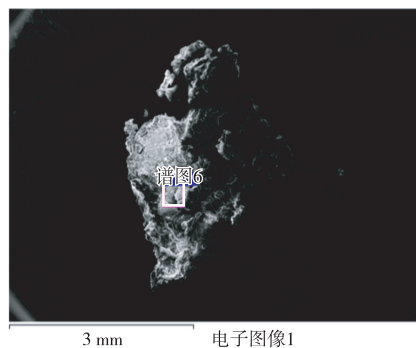


(a) 电子能谱图

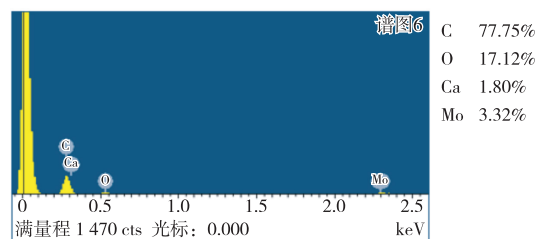


(b) 电子能谱曲线

图12 5#排气门颈部积碳检测



(a) 电子能谱图



(b) 电子能谱曲线

图13 5#进气门颈部积碳检测

积碳主要分为燃油积碳和机油积碳。根据理论和经验可知,燃油中主要含有 C 元素;机油中主要含有 P、S、Zn 及 Ca 元素(Ca 化合物发白)。从上述检测结果可知,该积碳中含有大量的 C 元素。因此,可以判断该积碳主要为燃油积碳。检测结果中的 O 元素主要来自空气。

## 2.5 结 论

1) 排气门盘部的化学成分、金相组织、盘部硬度都符合要求,说明排气门盘部烧蚀与材质无关。

2) 从排气门杆的导管磨损量无异常可知,因为没有机油从导管和气门杆之间流到气门颈部,所以未形成积碳的情况。

3) 从座圈磨损量无异常可知,气门正常关闭状态下,不存在因为磨损产生间隙而发生高温气体对气门盘部造成冲洗,进而发生烧蚀的情况。

4) 失效的排气门座圈和排气门盘密封面存在积碳,积碳卡滞在排气门密封锥面处导致密封不严,高温高压气体在缝隙处泄露,导致气门盘被冲蚀。即此部位的积碳是造成排气门盘部烧蚀的原因。

5) 从积碳检测结果可知,积碳主要为燃油积碳,且积碳状态为湿润粘性胶状。由于该车型中只有这一辆车出现此情况,其原因应是该车常使用胶质含量过高的劣质汽油,燃烧后上述部位出现积碳烧蚀失效现象。

## 3 结束语

本文通过对某辆车的排气门烧蚀问题进行剖析,得出的原因是故障发动机经常使用胶质含量过高的劣质汽油,导致气门颈部、锥面积碳过多,造成排气门

密封不严,进而使排气门盘部被烧蚀。通过对排气门烧蚀问题研究分析,为此类问题的解决提供了指导。

## 参考文献:

- [1] 张微,刘柯军,胥州,等. 发动机气门几种常见的失效案例分析[J]. 汽车工艺与材料,2021(4):57-62.
- [2] 李广卫. 发动机气门弹簧断裂的分析及解决方案[J]. 内燃机与配件,2020(14):29-32.
- [3] 陈家瑞,马天飞. 汽车构造(下册)[M]. 5 版. 北京:人民交通出版社,2006:13.
- [4] 李成艳,乔芳,徐得石,等. 某船用重油柴油机排气门锥面烧蚀故障分析[J]. 内燃机,2024(1):38-44.
- [5] 孟现召,张洪涛,唐晓波. 某型航空活塞发动机排气门的对称烧蚀机理[J]. 航空动力学报,2019,34(8):1773-1780.
- [6] 杨当友,陈拯,吴贵根,等. 汽车发动机排气门失效分析[J]. 理化检验(物理分册),2010,46(11):733-735.
- [7] 陈大久,晁宝玲,冯怡安. 气门常见损伤及原因分析[J]. 重型汽车,2009(1):38-39.
- [8] 尹雪成,卢柳林,冯继军. 发动机排气门盘底部腐蚀坑形成原因分析[J]. 汽车工艺与材料,2015,15(4):33-35.
- [9] 吴玥明,曾攀,方刚,等. 排气阀热边界条件分析及温度场有限元计算[J]. 柴油机,2009,31(4):33-38.
- [10] 许勇静,张智. 柴油机气门温度的实验测量[J]. 船海工程,2007,36(4):79-82.
- [11] 张帅,马瑞瑄,苗波,等. 乙醇对增压发动机抗磨损及腐蚀性的试验分析与研究[J]. 小型内燃机与车辆技术,2016,45(2):82-86.
- [12] GREUTER E, ZIMA S. Engine failure analysis: internal combustion engine failures and their causes[M]. SAE International, 2012:47-59.