

发动机排气门烧蚀分析及预防措施

唐海娇 覃奕 谭鹏
(上汽通用五菱汽车股份有限公司重庆分公司 重庆 401135)

摘要: 气门是发动机的重要组成部分之一, 承受着高温燃气冲蚀, 容易导致气门烧蚀, 气门一旦烧蚀则影响发动机燃烧室的密封, 导致缸压不足, 致使发动机性能下降, 严重时会导致发动机无法工作。本文列举发动机气门烧蚀常见原因及案例分析, 结合工作经验, 总结排气门烧蚀的预防措施。

关键词: 发动机; 气门烧蚀; 高温; 预防措施

0 引言

随着汽车发动机的不断优化升级, 发动机朝着高性能、低排放、高可靠性的方向发展, 这对发动机零部件是一个极大挑战。气门作为发动机配气机构的重要组成部件, 用于控制发动机的进排气过程, 在压缩和工作行程, 气门起到燃烧室密封作用, 保证发动机动力性、经济性和可靠性。气门直接与高温燃气接触, 受热严重, 而散热困难。此外, 气门与高温燃气中有腐蚀性气体接触而受到腐蚀。气门一旦失效, 轻则发动机功率下降, 重则发动机无法启动甚至报废。因此了解发动机气门失效模式及原因, 有助于纠正及开展预防性措施。

本文以气门烧蚀为例, 分析其烧蚀的几种常见现象及原因, 并结合实际案例, 开展故障排查分析, 最后提出气门烧蚀的预防措施。

1 气门烧蚀现象

气门烧蚀通常发生在排气侧气门, 排气门受高温高压的燃烧气体冲烧和腐蚀致使其强度下降, 加剧磨损、变形和材料剥离, 漏气和积碳更严重, 并形成恶性循环, 最终导致烧蚀失效。气门烧蚀时会产生高温气体冲刷的痕迹, 表面物质融化流动, 见图 1, 局部组织过热。

2 气门烧蚀原因

导致气门烧蚀的原因主要有几个方面: ①烧机油; ②密封不良; ③材料耐热性差 [3] 等。失效机理不同, 烧蚀的

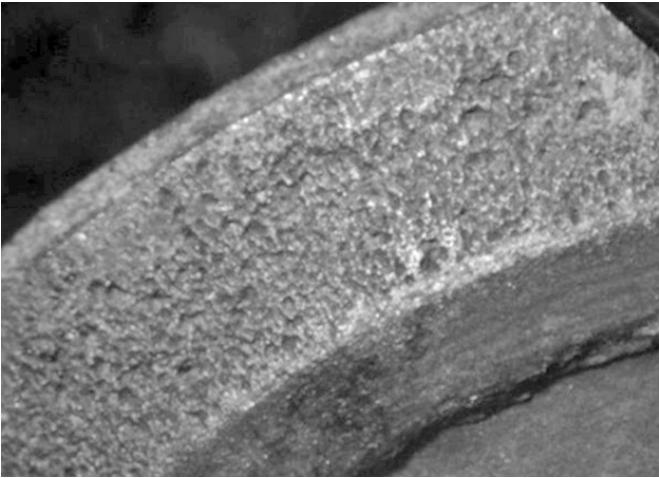


图 1 烧蚀表面形貌

现象也不同。但通常外在表现在车辆使用感受上, 如加速无力, 冒烟、故障灯亮、无法启动等。

2.1 烧机油

烧机油是指发动机运行过程中, 机油通过一定途径进入发动机燃烧室, 与混合气一起参与燃烧。理论上, 发动机机油消耗分为正常消耗和异常消耗两种情况。根据 GB/T 19055-2003《汽车发动机可靠性试验方法》规定, 发动机额定转速、全负荷时机油 / 燃料消耗比不得超过 0.3%。当机油消耗超出该限值时为异常消耗。这里提到的烧机油通常指机油异常消耗的情况。发动机烧机油主要表现为车辆行驶中排气管冒蓝烟, 发动机怠速不稳, 当机油消耗量较严重且低于液位时, 车内仪表盘机油灯点亮。

发动机烧机油时通常会有明显的胶质积碳。积碳附着在气门上, 使气门发卡, 同时气门传热量下降, 引起局部温度升高, 材料性能下降, 最终导致烧蚀。

烧机油的途径和原因主要有以下几种:

(1) 通过活塞组件与汽缸壁间进入燃烧室。最常见的是活塞环积碳严重, 活塞环卡死无法刮油, 致使机油进入燃烧室参与燃烧。其次, 活塞环开口间隙过大或活塞环对口, 导致刮油和密封能力下降。再次, 缸孔与活塞环精度 (如圆度、粗糙度等) 达不到要求或异常磨损, 导致配合间隙过大, 活塞环刮油能力减弱。

(2) 通过汽缸孔壁缺陷进入燃烧室。最典型的是发动机汽缸孔壁工作行程内有铸造砂眼或松缩气孔, 经过一段时间运行后, 砂眼或松缩气孔在油道与汽缸孔内壁间贯穿, 机油渗漏直接进入燃烧室。

(3) 通过油气分离系统进入燃烧室。发动机油气分离不好, 部分机油与空气混合通过进气道进入燃烧室。最典型的情况就是曲轴箱强制通风系统的 PCV 阀故障、PCV 阀芯磨损, 机油经 PCV 阀管路进入进气道后进入燃烧室。

(4) 气门油封老化导致机油渗漏进入燃烧室。气门油封密封材料通常为橡胶, 在机油及高温的腐蚀下容易老化, 弹性不足, 密封失效, 机油通过气门杆与导管间隙进入燃烧室。

某车辆搭载 1.2L 自然吸气发动机在行驶中出现发动机抖动, 故障灯点亮, VDS 报故障码 P030400 四缸失火, 检测四缸缸压 0MPa, 无缸压。检查机油量, 发现机油液面在

刻度尺下，机油消耗异常。拆机发现四缸排气门烧蚀，缸内积碳较多，检查 PCV 阀芯偏磨，测量阀芯直径为 7.71mm，磨损量 0.79mm，超出正常磨损范围。PCV 阀芯异常磨损，如图 2 所示。PCV 阀失效，机油进入进气歧管后回流进入燃烧室燃烧，导致气门和座圈积碳，影响气门与气门座贴合，散热受阻并最终导致气门烧蚀。



图 2 PCV 阀芯异常磨损



图 3 气门烧蚀

2.2 气门密封不良

气门密封是指由气门锥面与气门座圈之间贴合形成的密封线，与汽缸盖、活塞、火花塞组成发动机燃烧室。气门密封性的检测通常通过检测汽缸压缩压力（简称缸压）来判断。缸压是指发动机在压缩行程终了时汽缸内部气体的压力。除了测量单个汽缸缸压数值外，还常用各缸工作均匀性来衡量。

各缸压力差 = $\frac{P_{max} - P_{min}}{P_{平均}} \%$

气门密封不良会导致高温气体冲蚀密封面，高温气门窜出密封锥面，进一步冲蚀气门颈部或杆部，造成气门烧蚀，如图 3。

气门密封不良的常见原因可归结为：

- (1) 气门与座圈同轴度超差、气门与导管间隙超差均会导致气门杆偏磨，影响气门贴合座圈，导致密封不良。
- (2) 沉积物造成密封不良。沉积物导致的密封不严，异物附着在气门密封面上，导致气门密封不良。异物的来源可能来自发动机清洁度本身的颗粒物，也可能为发动机燃烧产生的积碳和胶质物夹杂在气门密封面和座圈之间，形成炽热点，产生烧蚀。
- (3) 在机械式挺柱中，气门间隙超差也会导致气门密封不良。气门密封面或气门座圈贴合面异常磨损，导致气门下沉，气门间隙变小，气门不能完全落座，与座圈无法完全贴合，导致气门密封不良。

2.3 材料耐热性不足

一般发动机排气门最高温度可达 600 ~ 800℃，在低、高温区内温度变化对气门耐磨性的影响较中温区敏感，高温对金属蠕变的影响较大。在载荷作用下，弹塑性变形区内易产生金属滑移。当温度超过 650℃ 后，随着温度的升高，21-4N 钢抗蠕变能力降低，加剧蠕变到滑移，磨损加剧，最终导致气门烧蚀。

材料耐热性不足的原因通常有：①设计缺陷。如未充分获取各工况下气门温度场、应力场及材料利用因子，以确认材料的耐热性及可靠性。②发动机出现非预期的运行，比如爆震，发动机冷却或润滑异常，长期高、超负荷运行，喷油提前角过大或过小等。

某 1.2L 发动机在耐久试验中出现性能下降，缸压不足的现象。经检查，发现排气门烧蚀。

气门材料为 21-4N 合金钢，其化学成分如表 1：

表 1 气门材料化学成分

成分	C	Si	Mn	Cr	S	P	Ni	N
标准值	0.48-0.58	≤0.35	8.0-10.0	0.00-22.0	≤0.030	≤0.040	3.25-4.50	0.35-0.50
实测值	0.571	0.23	9.33	20.4	0.008	0.021	3.57	0.35

测量故障气门基体、氮化层硬度以及氮化层深度，结果符合要求，如表 2。

表 2 气门硬度及氮化层深度要求

成分	基体硬度HRC	氮化层深度(mm)	氮化层硬度HV0.2
标准值	≥28	≥0.01	≥600
实测值	37.0	0.013	945

对气门杆部进行光学金相分析，其基体组织为回火马氏体，组织均匀，级别为 1 级。金相组织符合要求。如图 4 所示。烧蚀区域奥氏体晶界消失，大量碳化物析出。表明烧蚀区域组织受到高温影响。

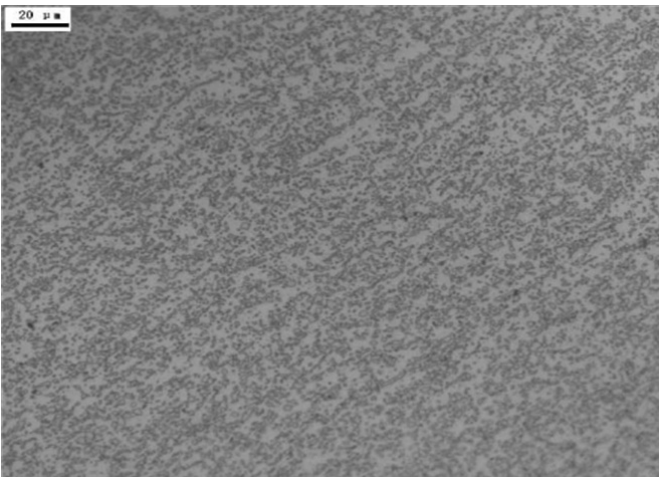


图 4 气门杆部基体金相组织 (500x)

为了进一步验证温度对气门的影响，通过气门测温试验，测试不同回火温度温度下的硬度值，通过回火温度与硬度曲线关系进而获取测试试样的温度值分布。经试验 21-4N 合金钢排气门最高气温 728℃，见图 5，已临近材料最高屈服强度，表明气门材料的耐热性不足。

3 预防措施

为保障发动机的可靠性和耐久性，需对气门烧蚀原因采取预防措施。

(1) 降低进入燃烧室的机油量

防止发动机烧机油，就是要降低进入燃烧室的机油量，减少机油异常消耗。从机油进入燃烧室的途径出发，针对

活塞与缸孔壁，应提高活塞环刮油及气环密封能力，装配过程中，确保活塞环开口方向符合要求。其次，提高油气分离能力，提高曲轴箱强制通风系统。再次，汽车使用过程中应定期检测气门油封、衬垫、油封等是否有漏油、老化破损等情况。

(2) 提高气门与气门座的密封性能

为确保气门与气门座的密封，在装配过程中，应确保气门组件的同轴度、跳动、配合间隙等符合要求，确保零件的清洁度，避免异物，装配后的气门和气门座应进行气密性检测，确认其密封符合要求。在发动机使用过程中，应定期对发动机气门组件进行检查，清洁气门及气门座上的积碳，检查气门间隙和气门弹簧力确保符合要求。

(3) 提高气门及座圈材料的耐热性

提高气门及座圈材料的耐热性应从设计和制造阶段考虑。气门座圈磨损的根本原因是燃烧温度升高时材料热硬度降低 [4]，提高座圈材料中耐热金属 Mo、Co、V 的含量可提高座圈的耐热性。有时在现有座圈材料基础上增加表面处理工艺如渗铜来提高其耐热性。气门材料的耐热性可采用中空充钠气门，或用更高耐热性材料代替，如 21-4NWNb 替代 21-4N 可提高排气门耐热性能。

4 结语

气门烧蚀会严重影响发动机的可靠性。本文从气门烧蚀常见的三种故障现象及原因分析，结合案例，提出了预防措施。为提高气门烧蚀问题解决能力，降低故障发生的可能性提供借鉴。

参考文献：

[1] 史文库，姚为民. 汽车构造 [M]. 北京：人民交通出版社，2013.

[2] 张薇，刘柯军，胥洲，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.

[3] 杨乐. 发动机排气门烧蚀现象及解决方案 [J]. 内燃气与配件，2017(3):93-95.

[4] 王景丽，李凤芹，曾笑笑，等. 气体机气门座圈设计改进 [J]. 内燃机与动力装置，2019，36(5):75-80.

作者简介：唐海娇 (1983.08-)，女，壮族，广西百色人，本科，工程师，研究方向：发动机售后质量及质量管理体系。

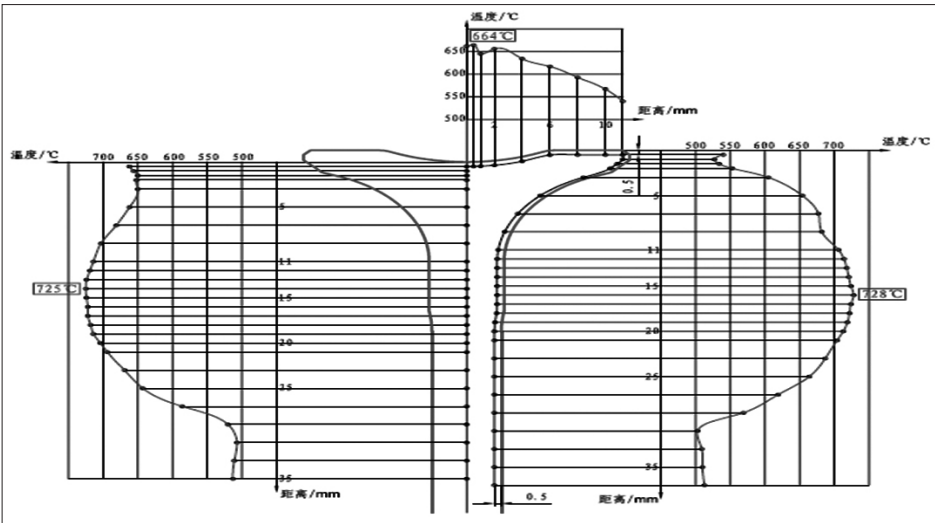


图 5 气门温度场测试下气门温度分布