

高速柴油机气门失效分析与改进

陈 宏¹, 丁 艳², 王明章², 季永会²

(1. 海军驻 407 厂军事代表室, 河南 洛阳 471039;
2. 河南柴油机重工有限责任公司, 河南 洛阳 471039)

摘 要: 通过对高速柴油机, 特别是重载柴油机气门常见的失效形式进行分析, 探讨了引起气门实效的各种因素, 从气门设计、材料选择、制造和使用的角度提出了改进措施, 对柴油机气门设计和维护保养有一定的借鉴作用。

关键词: 柴油机; 气门; 失效

中图分类号: TK423.4⁺3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2012)03-0048-04

Analysis of Malfunction of the High Speed Diesel Engine Valve and its Improvement

Cheng Hong¹, Ding Yan², Wang Mingzhang², Ji Yonghui²

(1. Naval Deputy Office of 407 Factory, Henan Luoyang 471039;
2. Henan Diesel Engine Industry Co., Ltd., Henan Luoyang 471039)

Abstract: Through analysis of malfunction of high speed diesel engine valves, especially of high duty engines, the varied reasons of the air valve malfunction are discussed. From the aspects of valve design, material selection, manufacture and maintenance, the solutions to deal with the malfunction are given, which would offer some references for the design and maintenance of engine valves.

Keywords: diesel engine; air valve; malfunction

0 引 言

气门作为配气机构的执行元件是柴油机完成工作循环、实现换气和密封功能的重要零部件。柴油机工作时, 在进、排气冲程中, 气门担负着进、排气的换气功能; 在压缩和膨胀冲程中, 气门和气缸盖、气缸套、活塞、活塞环等零件组成密封空间, 保证可燃气体完成燃烧和作功。随着船用柴油机各项技术指标的提高以及石油资源的日趋紧张, 船用柴油机燃用重油已成为普遍现象, 这就使得气门的工作环境进一步恶化, 气门失效问题越来越突出。这对气门, 尤其是排气门的质量和可靠性提出了更高的要求, 也对使用者正确有效地实施柴油机各项参数的调整和保养, 尽可能地改善气门工作环境提出了更高的要求。

1 高速柴油机进、排气门失效形式及原因

高速柴油机气门失效通常表现为: 盘部脱落、杆部断裂、堆焊层脱落、烧蚀、翘曲变形、锥面磨损和积炭严重等。恶劣的工作条件, 不良的燃烧和冷却水处理及预热, 超转速和超负荷运行等都有可能造成柴油机气门早期疲劳损坏。柴油机气门与配气机构的匹配对气门的功能和使用寿命起决定作用。气门的机械应力主要来自于配气机构的传动力、零件的惯性力和柴油机的最高燃烧压力等。配气机构的设计参数、驱动机械的几何位置和动力性能都可能使气门的应力增大, 导致柴油机气门失效。

(1) 气门盘部设计不合理, 工作时可能在杆部与盘部过渡区产生交变应力, 超出气门材料的屈服

强度, 材料组织发生变化, 从而产生裂纹, 造成气门盘部脱落(如图 1)。

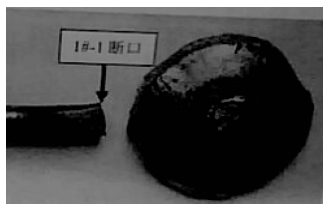


图 1 气门盘部脱落

(2) 气门从锁夹槽处断裂。气门杆端附件如: 锁夹、气门弹簧座等, 如果配合不当, 必然产生干涉, 最有可能导致气门锁夹槽处断裂。对于阀杆直径较小的气门, 高频淬火时, 锁夹槽处容易淬透, 导致气门工作时锁夹槽处断裂。在气门杆端部, 来自摇臂的偏心压力和气门与摇臂的摩擦力使气门杆上部产生弯曲应力, 惯性载荷与气门弹簧力叠加的作用力及气体压力, 容易导致锁夹槽 R 圆角处产生应力集中, 造成疲劳断裂(如图 2)。



图 2 气门杆端锁夹槽处断裂

(3) 气门杆在气道侧导管附近断裂, 大都是因为弯曲应力所致。弯曲负荷的产生主要是因为气门座锥面与气门导管孔的同轴度超差。柴油机工作时, 气门单边落座产生弯曲交变应力, 造成气门颈部断裂。气门在工作中产生的交变应力, 理论上不能超过本体材料的屈服强度。对于性能要求不太苛刻的进气门, 往往由于过高的机械负荷导致失效; 而排气门往往由于热应力或机械应力过高导致失效。在气门表面打标记及锻造凹坑都是导致应力集中的地方, 再加上较高的热负荷和机械负荷, 会产生很高的应力峰值, 容易产生裂纹。如果气门材料选择不当, 对于受热应力很小的进气门锥面、杆部及杆端, 所受的机械负荷过大, 材料的屈服强度不足以承受拉应力, 将导致气门长度变化, 从而改变气门间隙, 这种失效达到一定程度必将导致气门杆部疲劳断裂(如图 3)。

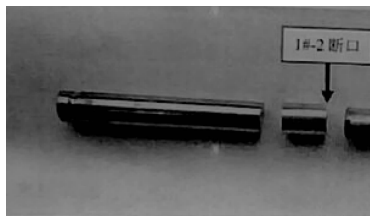


图 3 气门杆部疲劳断裂

(4) 对于排气门, 它的密封锥面必须面对很高的热应力和化学腐蚀, 随着柴油机的进一步强化, 如果不调整锥面材料来适应高负荷要求, 必然导致气门断裂、腐蚀严重和烧损。通常, 高温废气会对排气门表面造成腐蚀, 一般腐蚀多出现在气门杆部与盘部的过渡区(如图 4), 在机械应力的作用下, 此处产生应力集中, 致使气门盘部产生裂纹, 最终导致疲劳断裂。



图 4 杆部与盘部过渡区腐蚀严重

(5) 气门积炭是燃料及润滑油高温氧化作用所致, 积炭量会随着滑油消耗量的增加而增加, 与柴油机低工况运行时间有直接关系。由于发动机的机械振动和热应力, 积炭会发生破碎剥落现象, 其中硬质颗粒将成为外来磨料, 导致发动机内部各摩擦副之间的磨损, 产生漏气, 从而使积炭更加严重。在燃烧室中, 氧气供应相对不足, 燃料和窜入燃烧室的润滑油料不能完全燃烧, 产生油烟和焦油颗粒, 和润滑油混合在一起后, 进一步氧化成为稠性胶状液体-羧基酸, 羧基酸又进一步氧化变成半流体树脂状胶质, 牢固地粘在气门上, 在高温作用下形成积炭(如图 5)。

2 高速柴油机气门失效的影响因素及改进措施

2.1 进、排气门的结构设计

气门杆部长度取决于气缸盖和气门弹簧的设计。通常, 气门杆部的长度为进气门盘部外圆的 2.5 ~ 3.5 倍。为了获得最佳容积效率, 气门盘部直径通常是越大越好, 但因受燃烧室空间的限制, 进气门直径通常设计为气缸直径的 42% ~ 48%。一般来说,

考虑到吸气作用,进气门直径要比排气门直径大 15%~20%。在增压发动机中,进、排气门盘部直径比接近 1:1;气门盘部密封锥角有 30° 和 45° 两种,较大锥角可以提高气门盘部边缘的刚度,保证气门锥面与阀座密封良好,因此,大多数气门设计都采用 45° 锥面角。实践证明,45° 锥面角不但密封良好,而且能够满足气门座圈的耐磨性要求。气门颈部过渡锥角 β 和过渡半径 R 的大小对气流有很大的影响,锥角 β 应保证气流的圆滑过渡,但更重要的是能够保证气门颈部表面各处的应力分布均匀。一般来说,排气门的过渡锥角 β 及过渡半径 R 比进气门的要大些。 R 尺寸一般为气门盘外圆 D 的 0.2~0.5 倍; β 值一般为 15°~30°。另外在均布压力作用下,气门盘的变形主要发生在盘外缘,在气门盘部厚度一定的情况下,气门盘的刚性主要取决于 β 和 R 的大小。为便于加工,进、排气门的长度尺寸在设计中一般保持一致。对于采用双金属摩擦焊接的排气门,应保证焊缝处避免高温燃气的直接冲刷与腐蚀,设计中一般使气门在最大升程时,杆部焊缝处保留在气门导管里面。大量试验证明,进气门最大升程取 $(0.26 \sim 0.28)d$,排气门最大升程取 $(0.3 \sim 0.35)d$ 时,换气效果最佳。图 6 所示为高速柴油机气门结构示意图。



图 5 气门表面积炭严重

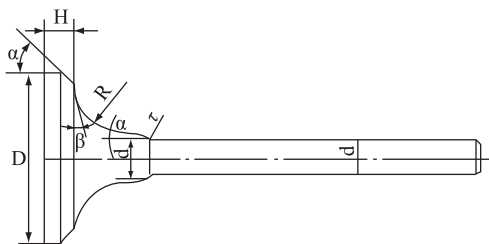


图 6 高速柴油机气门结构示意图

2.2 进、排气门材料的合理选用,加工质量及表面处理

气门材料的选择必须考虑工作温度、腐蚀情况、冲击载荷、气门杆部与端面的耐磨因素。长期以来,具有高耐热性的马氏体钢 42Cr9Si2、

40Cr10Si2Mo、45Cr9Si3 等材料是很合适的气门本体材料,经济性好。镍铬合金钢 80Cr20Si2Ni 是目前耐高温最好的材料之一,适用于各种高、中速柴油机,其优点是,高温环境下抗疲劳强度提高,缺点是绝对硬度值较低,价格昂贵。较多高速柴油机为了保证可靠性,使用 80Cr20Si2Ni 做排气门盘部材料,气门杆部采用其它材料,杆身与盘部通过摩擦焊结合在一起,一般会对摩擦焊缝的抗拉强度提出要求,对摩擦焊要进行磁粉探伤。对于摇臂-推杆式配气机构,由于气门杆端面受摇臂-推杆的圆弧面或调节螺钉球面的冲击和摩擦,所以对气门杆端面、杆部凹槽和末端应进行感应淬火处理,达到一定的表面硬度和硬化层深度要求。

进气门一般选用整体材料,在磨损、腐蚀或负荷极其严酷的工况下,气门锥面常采用硬质合金堆焊,可以大大提高气门锥面的耐磨性和耐腐蚀性。目前,车用柴油机绝大部分排气门和部分进气门在锥面上采用堆焊钴基或铁基合金,一般堆焊 Stellite6 或 Stellite(F),堆焊层硬度 38~47HRC,堆焊合金层不受热处理影响。但是,堆焊合金的物理性能较差,再加上堆焊工艺落后,往往会使气门密封面产生很多缺陷。上海高斯通船舶配件有限公司对所有气门密封锥面采用堆焊加滚压工艺,提高了其表面硬度和致密度,减少了表面积炭,大大提高了气门的使用性能。

气门从电热锻、锥面堆焊、盘部和杆部的摩擦焊接,奥氏体钢的全固熔时效处理,不同部位的多次淬火、回火及应力消除,直到表面氧化和杆部镀铬等环节的严格控制,均对防止失效有很好的作用。正确的热处理工序对气门使用至关重要,如:奥氏体钢的高温机械性能、热强度等主要依靠热处理获得,其抗拉强度和屈服强度对固熔加热温度不太敏感,但对时效温度相当敏感,当超过某一温度时,性能会急剧下降。不同材料、不同性能的改善所需热处理工艺不同,应该根据各个气门厂家工艺的差别,综合考虑各种要求,根据失效状况改善气门加工工艺。

2.3 气门座圈材料的选择、表面硬度、加工质量及装配要求

气门座不仅要保证燃烧室的密封性,还对气门的散热有很大影响,它的结构设计和材料选择是决定发动机使用寿命的重要因素之一。气门座材料选择应该考虑气缸盖的材料、结构和所使用的燃油等因素。气门座的寿命受工作温度、周围气体及作用应力等影响很大,这些因素随使用条件的不同有较大的变化。气门座材料应采用在工作温度下塑性变

形较小而硬度较高的合金材料，一般选用高级合金铸铁、合金钢或高铬铸铁。高速柴油机气门工作时，每分钟要开启、关闭近千次，气门对气门座的冲击非常大，气门座在气门开启和关闭时产生高速滑移摩擦。柴油机在进气过程中，空气中的灰尘、微粒以及高温高压排气和燃烧产物在经过气门座时会对气门产生高速摩擦，故要求气门座具有良好的耐磨性；同时，燃料燃烧的高温会传给气门座。因此要求气门座具有一定的耐热性；为了避免在高温下材料的组织、成分发生变化，要求气门座材料的组织具备高温热稳定性；另外还要求气门座材料具有很好的耐腐蚀性，良好的热传导性。长期以来，高速柴油机大都选用 PL33MV400、PL12MV425 作气门座材料，其硬度为 400HB30/2 和 425HB30/2.5。气门座圈过盈装配在气缸盖里，气缸盖周围有冷却水腔，工作时座圈温度相对低于气门的温度，因此，座圈的硬度通常比气门工作面的硬度稍低一些。近年来，随着粉末冶金材料的发展，气门座生产厂家也着重考虑选用粉末冶金作为气门座材料。

加工柴油机进、排气门座孔时，应该严格掌握气门座外圆与气门座孔的过盈量、高度和表面粗糙度。装配时，需要测量气门座圈孔的直径，按直径大小选择合适的座圈。为了防止松落，气门座圈与座圈孔应该有 0.075 ~ 0.125 mm 的过盈。气门座的内孔直径应该与进、排气门盘部锥面最小直径相同，内外圆同轴度应 ≤ 0.02 mm，气门座上下平面的平面度应 ≤ 0.02 mm，气门座上下平面与内外圆的垂直度应 ≤ 0.01 mm。

2.4 进、排气门锥面与气门座圈的可靠密封

柴油机气门和气门座组成一对重要的密封摩擦副，新安装的气门座必须与相配的气门研磨。气门座圈安装在气缸盖上，气缸盖在气门周围要求冷却均匀。气门间隙对密封有很大的影响，气门间隙不当会使柴油机的运行情况发生偏离。如果气门间隙过大，气门开启和落座时，进入凸轮型线的加速段，使冲击力加大，气门关闭过程过于粗暴，造成气门断裂、气门旋转机构和气门弹簧座圈损坏，使气门过早损坏；如果气门间隙过小，柴油机运转时，气门温度升高，排气门伸长超过冷态时的间隙，气门不能完全落座，造成密封失效，引起压气损失，导致柴油机性能下降。所以一定要经常检查并及时调整气门间隙。

控制气门与座圈密封带宽度，一般应该在 2.0 ~ 2.3 mm 之间。气门座圈的锥角应该比气门密封锥角略大 $0.5^\circ \sim 1^\circ$ (如图 7)。气门锥面宽度一般为阀盘外

圆的 0.05 ~ 0.12 倍。

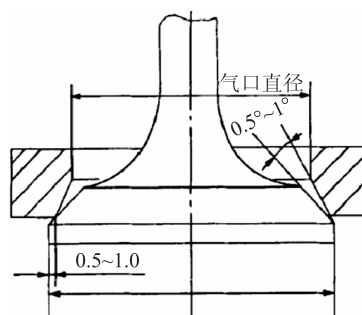


图 7 气门与气门座密封示意图

从气缸盖设计的角度分析，往往要求气门座圈周围要均匀冷却，在缸盖鼻梁区钻孔冷却。如果在制造上不能很好保证，会影响气门和座圈的散热，可能使气门座圈产生变形和不均匀磨损，严重时造成密封不严，引发气门烧蚀。

2.5 避免气门积炭

为解决气门积炭，一般要求按规定使用燃油及润滑油，调整发动机燃油系统使之处于良好的工作环境，及时清理水套水垢，防止冷却水温及润滑油温过高。除了常规的办法外，还可以从气门的制造工艺入手，将所有气门表面(包括盘部、过渡 R 圆弧处、焊接部位)进行滚压处理，提高表面光洁度和材料致密度，使积炭不易附着在气门表面，同时提高气门表面的抗腐蚀能力。

柴油机温度越高，形成的积炭越硬、越紧密、越牢固。进气门头部形成积炭，减少进气通道截面，影响发动机进气量，使燃烧室中氧气供应不足，积炭成为恶性循环。进入润滑油中的积炭会堵塞油路和油孔，破坏润滑系的正常工作，加速运动件的磨损。

2.6 气门组件的合理装配和检修

为避免气门早期疲劳断裂，必须按维修保养的规定，定期进行检修。柴油机在大修时，一定要检查和调整阀桥以及摇臂和阀桥之间的间隙，调整阀桥两端间隙和气门间隙。气门在重新装配时，一定要先检查和修理相配件，如：气门锁夹、气门弹簧、气门导管、气门旋转机构、气门弹簧座等，检查有无缺陷和磨损。检查中如果发现一台机器有一个气门锥面上有早期裂痕，必须检查所有气门锥面，更换所有早期裂痕的气门。拆下的进、排气门要清洗锥面，用无刃的刮刀除去阀盘和阀锥面上的积炭，在燃油中清洗。检查气门杆部有无擦咬痕迹或其它损伤，尤其注意锁夹接触面上；检查气门锥面有无腐蚀点和早期裂痕，必要时及时更换。

(下转第 58 页)

⑥ 在使用现场由于柴油机上装有飞轮组,飞轮端密封衬垫不能整体安装,可将衬套断开,但切口要成 V 形状(见图 9),有利于密封。安装时要对严切口不得错位。

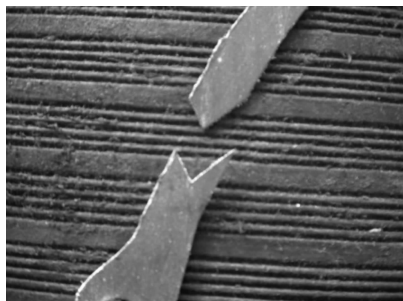


图 9

(上接第 51 页)

用户在使用过程中,要按规定及时保养和检修,气门间隙的保持和调整对避免气门失效非常重要。气门间隙的调整必须根据柴油机的运行工况,保证柴油机在最恶劣的工况下,进、排气门可靠密封。此外,要避免用油不当,空滤器效果差,柴油机超负荷运行等影响气门使用寿命的因素。

3 结 论

综上所述,解决柴油机气门失效应该主要从气门和座圈的设计、材料的选择、气门与座圈的匹配和密封、周围冷却水腔的设计以及维护保养等方面入手,避免失效,提高其使用寿命。

随着柴油机强化水平和排放水平的不断提高,气门组件的设计要求也在不断提高;随着工艺水平的日益提高,气门组件的设计方法也在不断改进;随着新材料的不断研制,为气门材料的选材提供了更好的条件。这就要求设计人员不断地从各方面加

(上接第 55 页)

实例一,故障现象:起动时间过长,轨压建立过程太慢。

排除:检查油路,发现低压油路油管太细,内径大约为 6 mm 左右,远小于厂家规定的最低 12 mm 的要求,更换油箱内所有低压油管,放气后顺利起动。

实例二,故障现象:该车在出厂前就有起动困难的问题。停放一段时间后,起动困难。用手压泵泵油后起动效果很好,但再熄火后,经过一段时间。又不能一次起动起来。

排除:怀疑低压油路有问题。将进油管拆下,发现管口有棉絮状脏物堵塞,考虑可能是由于该原因而

3 结 论

飞轮端油封漏油虽然是一般常见的较小事故,但是柴油机油封长时间漏油,会增加机油的消耗,影响机器外观,必须有针对性加以维护、调整,保证柴油机的正常使用。

参考文献

- [1] 李树生、万德玉. 中高速大功率柴油机故障诊断与排除[M]. 呼和浩特:远方出版社,2003.
- [2] 大庆井控培训中心. 钻井柴油机技师培训教材[M]. 2006.
- [3] 济南柴油机厂. 柴油机结构与使用[M]. 北京:石油工业出版社,1989.

强学习,根据柴油机对气门工作可靠性的要求设计出可靠的气门;及时排除气门失效故障。

参考文献

- [1] 程绍桐,王致钊,程淑颖. 柴油机气门失效分析与改进[J]. 内燃机,2004,(3).
- [2] 张敬源. 柴油机气门结构设计[J]. 山东内燃机,2002,71(1).
- [3] 郭永田. 柴油机气门及气门座材料设计[J]. 汽车工艺与材料,1997,(6).
- [4] 欧阳光耀,常汉宝,杨彦涛. TBD620 系列柴油机[M]. 北京:海潮出版社.
- [5] GB/T 12773-2008. 内燃机用气阀钢及高温合金棒材[S].
- [6] 何才田. 滚压硬化技术在柴油机零部件制造中的应用[J]. 柴油机,2011,33(4):21-24.
- [7] 何才田. 论大功率柴油机气阀制造工艺及影响使用寿命的因素[A],第 16 届全国大功率柴油机学术[C]. 2009.

导致进油不畅。打开油箱后发现在进油管下并未有滤网,从而有杂质进入了油管。清理油箱及滤清器,检查回油管路,发现回油管内气泡,旋紧回油管路各连接处,排气,发动机恢复正常。提示:进回油管要插入燃油液面以下,并且回油管要高于进油管。

3 小 结

通过以上对 BOSCH 共轨柴油机不能起动、难起动故障现象的分析表明,可根据故障的伴随特征、现象,按步骤进行故障原因分析,并据此提出故障排除方法。