

使用维修

某型柴油机喷油泵咬卡故障分析

熊小龙

(海军驻兴平地区军事代表室, 陕西 兴平 713105)

摘 要: 针对某型柴油机试车过程中反复发生的喷油泵咬卡现象, 通过对故障机理的分析, 建立故障树, 并据此制定重点排查项目。排查分析表明: 该型柴油机喷油泵咬卡是由于其本身原因导致, 即喷油泵套筒工艺的变更、柱塞和套筒的材料差异、尺寸超差以及泵体安装平面与偶件安装孔的垂直度超差。并据此提出了有针对性的改进措施。

关键词: 柴油机; 喷油泵; 咬卡; 加工

中图分类号: TK423.8⁺4 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-4357(2015)03-0054-04

0 引 言

喷油泵是柴油机燃油系统中重要的部件。其功用是提高燃油压力并将一定量的燃油在准确时间内喷入燃烧室^[1]。喷油泵一旦发生咬卡, 会导致对应缸停油、排温下降, 输出功率下降等一系列问题。

因此, 分析喷油泵咬卡的根本原因, 并尽可能避免故障的发生是非常必要的。本文对某型柴油机试车过程中出现的喷油泵咬卡故障进行分析, 并提出相应改进措施。

1 故障现象

某型十二缸柴油机在试车台上进行磨合试验过程中, 当转速达到 $520 \text{ (r} \cdot \text{min}^{-1})$, 功率为 5 080 kW 时, B4 缸喷油泵发生咬卡。更换了 B4 缸喷油泵后继续进行磨合试验; 当转速达到 $520 \text{ (r} \cdot \text{min}^{-1})$, 功率为 5 000 kW 时, B1 缸喷油泵又发生咬卡; 更换 B1 缸喷油泵, 后续试验过程中, A6、B3 缸喷油泵又相继发生咬卡。

分解 B4、B1、A6、B3 四个咬卡的喷油泵, 发现柱塞头部有不同程度的拉伤, 拉伤情况如图 1 所示。

拆检正常运行的 B2、A5 缸喷油泵, 发现柱塞头部有明显的发黑痕迹, 如图 2 所示。

拆检库存新泵, 未发现柱塞有任何异常情况, 如图 3 所示。

拆下燃油管系冲洗、酸洗, 酸洗完成后复装到柴油机上, 并重新领取新批次的 12 个喷油泵, 复装到柴油机上, 同时在台架上增加燃油自净式滤器, 加强燃油清洁度控制。以上工作全部完成后动

车, 磨合试验期间 A5、A6、B6 缸喷油泵相继发生咬卡, 更换咬卡喷油泵, 后续试验未再发生喷油泵咬卡现象。



图 1 拉伤的柱塞头部

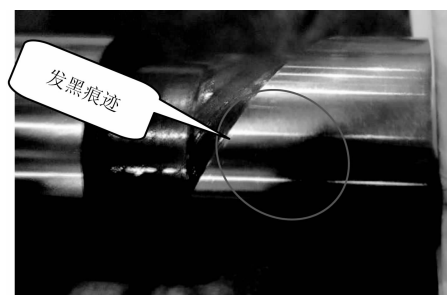


图 2 发黑的柱塞头部

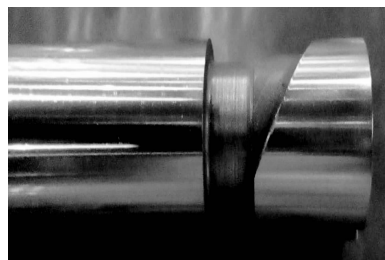


图 3 库存新泵柱塞头部

2 机理分析

根据故障现象和咬卡喷油泵的分解情况，发现咬卡部位都在柱塞头部螺旋线附近，初步分析导致咬卡的原因，主要有以下几种可能性。

(1) 燃油及燃油管系清洁度差

由于柱塞偶件的间隙极小，若燃油内有细小杂质、偶件或邻接零件清洁度不好，细小杂质就会随着燃油流入偶件的配合表面，这种细小的杂质往往是很硬的磨粒。当柱塞偶件高速往复运动时，磨粒会造成柱塞偶件表面擦伤、刻痕和咬卡，且都集中于柱塞头部，正对着套筒进回油孔的地方。

(2) 柱塞偶件材质有问题

由于喷油器在喷油时的油压最高达 33 MPa，因此，柱塞偶件的材料应有很高的耐磨性和耐腐蚀性，热处理后应具有高硬度，不允许变形，且金相组织应稳定；配合零件的紧密表面应易于磨合，配合零件的材料在膨胀系数上的差别应很小。当材料与热处理有缺陷时，柱塞偶件易咬卡。

(3) 柱塞偶件加工问题

柱塞偶件加工精度好坏对喷油泵能否正常运行有重要的影响。当偶件选配研磨时，不应破坏零件的几何精度，否则易卡死。

(4) 喷油泵泵体位置度差

当泵体安装面与泵体中心线垂直度超差，套筒接触平面与泵体中心线垂直度较差时，柱塞偶件安装后滑动性不良，易咬卡。

(5) 装配过程违规操作

套筒定位螺钉在泵体上拧紧后，套筒应能短距离上下移动，并限制轴向移动。当泵体上的螺钉拧紧力过大时，套筒上部易变形，会使柱塞偶件咬卡。

3 故障树模型

基于上述五种故障机理分析，建立如下五种故障原因分析树，如图 4~8 所示。

4 故障排查

根据故障树制定检查项目，并逐步排查该型柴油机喷油泵发生咬卡故障的具体原因。

4.1 燃油清洁度

第二次试验前，燃油管系已经全部酸洗，且在台架上增加燃油自净式滤器，动车后仍有三个喷油泵咬卡。因此，可排除由于燃油清洁度问题引起故障。

4.2 柱塞偶件材质

分别抽取 1 件咬卡的柱塞和套筒，检测材料的

化学成分及硬度，结果如下。

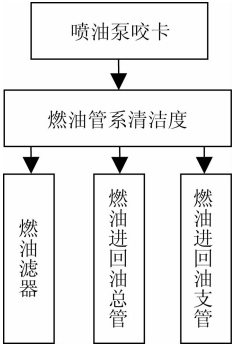


图 4 故障树 1

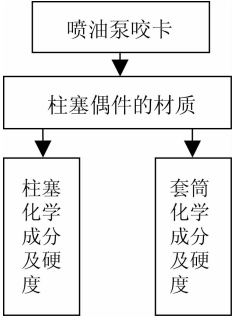


图 5 故障树 2

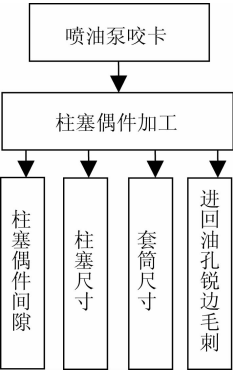


图 6 故障树 3

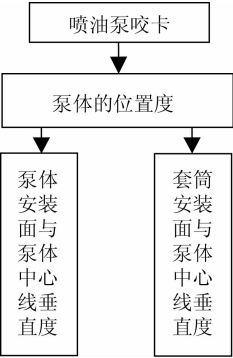


图 7 故障树 4

设计要求的套筒硬度为 HRC63 + 10，柱塞硬度为 HRC60 ± 2。检验结果为：套筒硬度值 HRC63，柱塞硬度值 HRC62，满足设计要求。

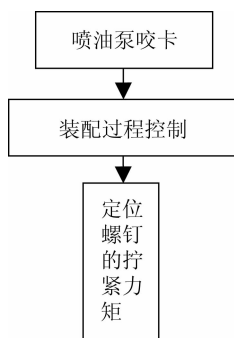


图 8 故障树 5

从化学成分上看,套筒材料中钨含量偏低,且检验记录表明:套筒材料为 $32\text{Cr}_3\text{Mo}_1\text{V}$, 柱塞材料 $\text{GCr}_{15}\text{SiMn}$, 套筒和柱塞材料未按技术协议要求执行。因此,柱塞偶件的材质问题可能是引起故障的原因。

4.3 柱塞偶件加工问题

三个批次各取一个完好的喷油泵做如下拆检。

(1) 柱塞、套筒偶件间隙

对发生咬卡的 3 件喷油泵的柱塞、套筒偶件的间隙进行测量,结果见表 1。并复检所有分解的柱塞、套筒偶件的间隙。

表 1 偶件间隙

泵来源	泵编号	柱塞尺寸($\Phi 30$)	套筒尺寸($\Phi 30$)	间隙
返修泵	140010X	-0.003	+0.006	0.009
2013 年批次	130019	-0.003	+0.006	0.009
2014 年批次	140002	-0.005	+0.004	0.009

图纸要求间隙为 0.008 ~ 0.010, 符合要求。

(2) 柱塞尺寸

① F 向视图尺寸 $31\text{e}7$ (${}_{-0.075}^{+0.050}$) 和 $15_{-0.02}^0$ 见表 2。三个批次 $31\text{e}7$ 尺寸均超差, 两个批次 $15_{-0.02}^0$ 尺寸超差。

表 2 F 向视图尺寸

泵来源	泵编号	$31\text{e}7$	$15_{-0.02}^0$
返修泵	140010X	-0.085, -0.080	15.008
2013 年批次	130019	-0.080, -0.090	14.900
2014 年批次	140002	-0.080, -0.070	14.961

② 柱塞与套筒配合面的圆柱度 (0.002/100) 和圆度 (0.001) 检测, 见表 3。两个批次超差。

表 3 配合面圆柱度及圆度

泵来源	泵编号	圆柱度	圆度
返修泵	140010X	0.004 9	0.002 5
2013 年批次	130019	0.004 3	0.001 7
2014 年批次	140002	0.000 8	0.001 0

③ $\Phi 10$ 部分表面粗糙度 ($\text{Ra}0.4$), 相对于轴

线垂直度 (0.02/100), 见表 4。垂直度满足图纸要求, 粗糙度全部超差。

表 4 粗糙度及垂直度

泵来源	泵编号	表面粗糙度 Ra	垂直度
返修泵	140010X	0.42-0.92	0.009
2013 年批次	130019	0.80-1.36	0.008
2014 年批次	140002	0.96-1.36	0.009

④ L 段头部直径粗糙度 ($\text{Ra}0.1$), 头部直径 $\Phi 30_{-0.004}^{-0.002}$, 见表 5。粗糙度超差, 直径全部超差。

表 5 粗糙度及直径

泵来源	泵编号	表面粗糙度	直径
返修泵	140010X	0.06-0.54	-0.006
2013 年批次	130019	0.06-0.12	-0.005
2014 年批次	140002	0.06-0.14	-0.006

因此, 柱塞重要配合尺寸和形位公差尺寸超差是喷油泵发生咬卡的可能原因。

(3) 套筒尺寸

① $\Phi 30\text{H}8$ (${}_{+0.033}^0$) 外圆尺寸及表面粗糙度 ($\text{Ra}0.15$)、圆柱度 (0.002/100), 见表 6。结果表明三个批次的圆柱度超差。

表 6 粗糙度及圆柱度

泵来源	泵编号	表面粗糙度	$\Phi 30\text{H}8$ (${}_{+0.033}^0$)	圆柱度
返修泵	140010X	0.06-0.54	+0.011	0.007
2013 年批次	130019	0.06-0.12	+0.012	0.006
2014 年批次	140002	0.06-0.14	+0.01	0.006

② $\Phi 48\text{f}7$ 、 $\Phi 60_{-0.12}^{-0.10}$ 对于内孔的同轴度 (0.01), 见表 7。三个批次同轴度超差。

表 7 内孔的同轴度

泵来源	泵编号	$\Phi 48\text{f}7$ 同轴度	$\Phi 60$ 同轴度
返修泵	140010X	0.012	0.015
2013 年批次	130019	0.050	0.013
2014 年批次	140002	0.016	0.024

③ $\Phi 48$ 的平面对 $\Phi 60_{-0.12}^{-0.10}$ 外圆垂直度 (0.02/100), 见表 8。外圆垂直度满足图纸要求。

表 8 外圆垂直度

泵来源	泵编号	垂直度
返修泵	140010X	0.015
2013 年批次	130019	0.018
2014 年批次	140002	0.016

④ $\Phi 70\text{f}7$ 面对于内孔的同轴度 (0.01), 见表 9。两个批次的同轴度超差。

⑤ B-B 剖视尺寸 $\Phi 10\text{H}12$ 和 $9_{+0.1}^0$ 尺寸的对称度 (0.05), 见表 10。两批次对称度超差。

表 9 内孔同轴度

泵来源	泵编号	同轴度
返修泵	140010X	0.011
2013 年批次	130019	0.006
2014 年批次	140002	0.015

表 10 B-B 剖视尺寸

泵来源	泵编号	Φ10H12 对称度	9 ₀ ^{+0.1} 对称度
返修泵	140010X	0.040	0.002
2013 年批次	130019	0.004	0.176
2014 年批次	140002	0.022	0.112

因此，柱塞重要配合尺寸和形位公差尺寸超差是喷油泵发生咬卡的可能原因。

(4) 进回油孔

经查，套筒加工工艺有更改记录，更改后工艺存在一定的缺陷，研磨改珩磨后，进回油孔锐边过于锋利，而且毛刺没有去除干净。因此，套筒进回油孔锐边锋利及毛刺也是喷油泵发生咬卡的可能原因。

4.4 喷油泵泵体位置度

检查泵体尺寸及如下垂直度：

- (1) Φ105H7 尺寸及表面粗糙度 (2.5)；
 - (2) A-A 剖视图尺寸 72 ± 0.1 (1) 平面对 Φ60H7 内孔垂直度 (0.015)；
 - (3) Φ70H7 内孔对 Φ60H7 内孔的同轴度 (0.02)；
 - (4) Φ70H7₀^{+0.03}、Φ60H7₀^{+0.03} 外圆尺寸；
 - (5) 泵体下端面对 G 基准的垂直度 (0.02)。
- 检查结果如表 11 所示。

表 11 泵体尺寸及垂直度

泵来源	泵编号	(1)	(2)	(3)	(4)		(5)
					Φ70H7	Φ60H7	
返修泵	140010X	2.3-2.6	0.045	0.02	+0.018	+0.060	0.034
2013 年	130019	2.0-2.3	0.010	0.03	+0.030	+0.028	0.036
2014 年	140002	1.8-2.4	0.030	0.039	+0.018	+0.052	0.036

由表 11 可知，三个批次的泵在 5 项要求上分别有不同的超差现象。因此，泵体位置度超差是喷油泵发生咬卡的可能原因。

4.5 装配过程控制

按照该型柴油机拧紧力矩要求，泵头上的螺钉的拧紧力矩是 100(N·m)。装配过程记录显示操作者是按 100(N·m)进行拧紧的，并且此项紧固要求已列为第三方检验项目。因此，可排除泵头上的螺钉拧紧力矩导致喷油泵发生咬卡的可能性。

根据排查结果可知，喷油泵存在以下问题，均

可能造成喷油泵咬卡。

(1) 柱塞和套筒材质与技术协议要求不一致。供货状态下的柱塞套筒材料的耐磨性可能比原材料差，引起柱塞在往复运动过程中出现不同程度的磨损，磨损程度过大时导致柱塞套筒咬卡。

(2) 泵体柱塞偶件安装孔中心线对下端面的垂直度超差。喷油泵泵体的位置度差，导致喷油泵安装后柱塞与套筒轴线在竖直方向倾斜，而柴油机工作过程中，凸轮轴作用在柱塞上的力为竖直方向，如此，柱塞对套筒产生侧向力，导致柱塞与套筒异常磨损，磨损严重后发生咬卡。

(3) 柱塞偶件相关粗糙度、尺寸及形位公差超差。柱塞和套筒的尺寸、形位公差超差以及粗糙度不够，导致柱塞往复运动时柱塞套筒出现不同程度的磨损，在长时间运动后，柱塞套筒间磨粒增多，最终导致咬卡。

(4) 套筒加工工艺由研磨改为珩磨，存在技术风险。套筒内孔由研磨改珩磨后，进回油孔锐边保持过于锋利，而且毛刺没有去除干净，柱塞往复运动时由于高压燃油的长时间冲刷，导致锐边翻边、毛刺脱落引起柱塞咬卡。据了解，本次咬卡的喷油泵套筒内孔均采用珩磨工艺，前期生产的该型柴油机喷油泵按图纸研磨，没出现频繁咬卡，因此，套筒内孔由研磨改珩磨后，容易发生喷油泵咬卡。

因此，该型十二缸柴油机喷油泵发生咬卡是由于喷油泵本身原因导致。

5 预防措施

(1) 加强对柱塞偶件、喷油泵泵体等重要零件加工的质量控制。

(2) 严格按照技术协议要求的材料加工柱塞和柱塞套筒；一旦改动，必须符合规定的程序要求。

(3) 后续加工时，在工艺文件上增加去毛刺工艺。

(4) 增加喷油泵进厂复检程序，按图纸要求检查主要尺寸，并做好记录。

(5) 在柴油机试验前，增加系统管路的清洁度检验，保证燃油清洁。

以上预防措施实施后，有效防止了该型柴油机此类故障的发生。

参考文献

[1] 贾锡印. 船用内燃机结构 [M]. 哈尔滨：哈尔滨船舶工程学院出版社，1990.