

柴油机缸盖抬升故障原因分析

夏倩¹, 朱骏¹, 刘锋华²

(1. 中船动力研究院有限公司, 上海 200129; 2. 沪东重机有限公司, 上海 200129)

摘要: 针对某型 ME-C 柴油机缸盖抬升故障, 对拆检异物进行了材料理化检测, 对故障现象及机理进行了分析。分析结果表明: 造成柴油机缸盖抬升故障的直接原因是系统清洁问题导致的前导阀卡滞, 造成燃油异常喷射, 排气阀动作异常, 致使缸内压力过高, 缸盖抬升。而前导阀卡滞时, ECS 系统 FIVA 安全控制策略(强制排气阀开启)失效。

关键词: 柴油机; 缸盖; 抬升; 故障

中图分类号: TK423.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2015)01-0027-04

Analysis of Diesel Engine Cylinder Head Uplifted Fault

Xia Qian¹, Zhu Jun¹, Liu Fenghua²

(1. China Shipbuilding Power Engineering Institute Co., Ltd., Shanghai 200129;
2. Hudong Heavy Machinery Co., Ltd., Shanghai 200129)

Abstract: Fault phenomenon analysis, physical and chemical analysis of dismantled foreign body and failure mechanism analysis were done for a certain type of ME-C diesel engine's cylinder head uplifted fault. The results showed that the failure was due to jammed FIVA pilot valve caused by bad cleaning of system, which resulted in abnormal injection and exhaust timing, and led to extremely high in-cylinder pressure and the cylinder head was uplifted. When pilot valve was jammed, ECS system FIVA safety controlling strategy (exhaust valve forced opening) failure occurred.

Keywords: diesel engine, cylinder head; uplifted; failure

0 引言

某型 ME-C 柴油机在主机台试过程初期偶发缸盖抬升故障, 影响柴油机试验安全性, 并可能导致零部件损伤, 因此迫切需要寻找出故障原因, 并制定相应的预防措施。

1 故障原因分析及检查

缸盖抬升的原因可分为两种: 第一种是由于缸盖螺栓拧紧力矩偏小导致缸盖抬升, 第二种是由于缸压过高导致缸盖抬升。故障发生前, 该主机已磨合到 65% 负荷, 可见缸盖抬升故障不是由于缸盖螺栓拧紧力矩偏小造成, 应该是缸压过高导致缸盖

抬升。

缸压过高的原因可分为两种: 第一种是活塞头有残油参与爆燃, 第二种是由于喷油及排气阀故障造成缸压过高。事发后验证表明, 安保项目后活塞头无残油参与爆燃, 可推断是喷油和排气故障造成缸压过高。因此, 相应的故障检查和分析范围集中在燃油喷射系统、控制系统、液压传动系统等部件。

1.1 燃油喷射系统喷油器检查

检查喷油器, 正常, 开启压力 36.7 MPa, 在喷油器要求的 35.0(0 ~ +3.0) MPa 范围内。

1.2 控制系统 MPC 测试

为了检测故障是否是由于 MPC 板故障导致, 对 MPC 板进行了测试, 结果表明: MPC 各通道正

常,如图 1 所示。可见,缸盖抬升不是由于 MPC 板故障引起。



图 1 MPC 板检测结果

1.3 液压传动系统 FIVA 阀检查

电磁液压多通阀(FIVA)控制高压液压油分别作用于燃油增压泵和排气驱动泵,实现燃油增压和排气驱动的功能^[1]。故障发生后,FIVA 阀模拟正常,拆解 FIVA 阀本体无异常,但 FIVA 引导阀阀芯存在大量磨痕,并发现 3 个异物,如图 2 所示。①号黑色异物,外径约 0.3 mm×0.3 mm;②号黑色异物,外径约 0.2 mm×0.2 mm;③号银白色异物,外径约 0.2 mm×0.3 mm。拆解故障发生前更换的用于液压油压力泄放的#310 电磁阀,发现一个黑色异物,外径约 3 mm×4 mm,如图 3 所示。

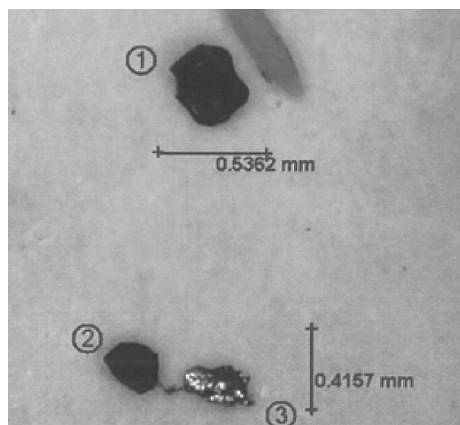


图 2 FIVA 引导阀内异物

1.4 异物理化分析

为了辨别 FIVA 先导阀及#310 电磁阀中的异物来源,对其进行了理化分析。

表 1~3 为 FIVA 先导阀拆检出的异物理化分

析结果:异物①主要成分为氧化钙,含有部分金属;异物②主要成分为氧化铁;异物③主要成分为铸铁。表明三个异物的材料均非液压系统高、低压管材料,而来源于系统外部。表 4 为#310 电磁阀拆检出的异物理化分析结果,异物为加工铁屑,附着有氧化钙、Zn、P 等杂质,来源于系统外部。

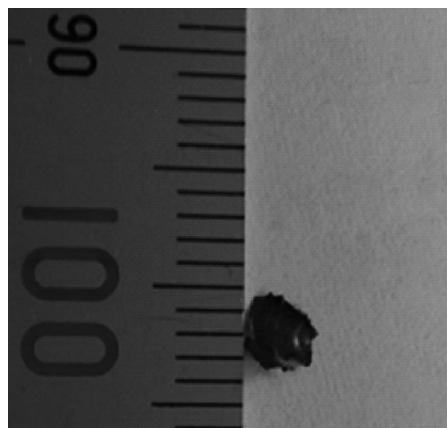


图 3 #310 电磁阀内异物

表 1 FIVA 先导阀异物①主要元素及其含量

单位: (wt%)

Al	Si	S	Ti	Fe	Mn
1.13	11.47	0.32	3.82	1.02	1.86
Zr	O	Na	Mg	Ca	
1.54	43.35	1.84	1.06	32.59	

表 2 FIVA 先导阀异物②主要元素及其含量

单位: (wt%)

Fe	Ca	S	O	C
58.03	0.20	0.44	40.82	0.51

表 3 FIVA 先导阀异物③主要元素及其含量

单位: (wt%)

Fe	Mn	Si	O
95.02	0.66	2.06	2.26

表 4 #310 电磁阀异物主要元素及其含量

单位: (wt%)

Fe	Mn	Zn	O	P	Ca
70.18	1.74	3.23	19.44	4.54	0.87

2 缸盖抬升机理分析

为寻找缸盖抬升的原因,分析了故障状态下的 FIVA 阀动作,及其导致的燃油和排气阀动作异常;同时也分析了故障状态下的缸内压力变化,通过这几个方面的计算和分析,从机理上分析缸盖抬升的原因。为了寻找为何缸盖抬升故障发生时主机安全措施未起作用,还对主机 ECS 安全措施进行了机理分析。

2.1 故障状态 FIVA 阀动作分析

由于某型柴油机有较完整的主机运行信息记录, 因此可分析故障发生时该柴油机 FIVA 阀的动作。由图 4 所示, 活塞处于下止点附近时, 排气阀应该处于打开时刻, 图中⑨点位置, 此时 FIVA 阀应该有一个较小移动(回移, 从⑨移到⑩), 使得排气阀驱动伺服油流量减小, 但排气阀仍然应该维持打开。而故障发生时, 活塞处于下止点附近, FIVA 阀阀芯没有从⑨移到⑩, 而是直接回到底(燃油喷射位置), 并一直停留在底部, 使得设定点和实际的反馈位置脱离, 也即图 5 中线(1)和线(2)不再重合。后果是排气阀立即关闭, 燃油增压活塞运动到顶点, 喷油量大增。

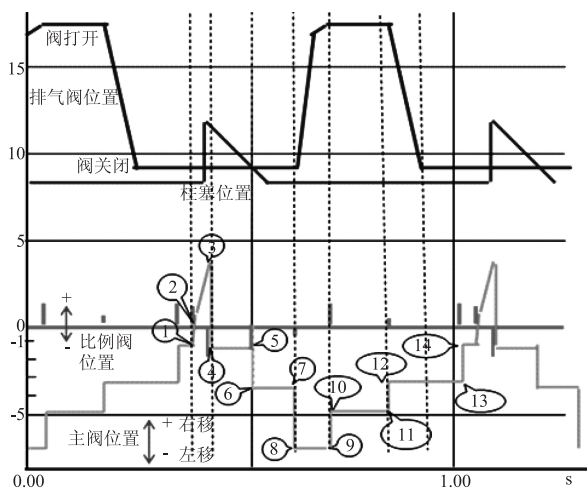


图 4 FIVA 阀时序图

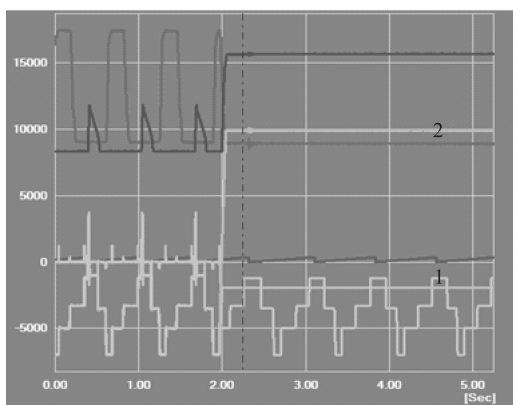


图 5 主机 MOP 故障截屏

故障状态下, FIVA 阀中增压活塞行程达到机械限位的最大值, 供油量相应达到最大。经计算, 燃油喷射量为正常状态下的 200%, 为额定喷油量的 139% (65% 负荷下正常工作时喷油量为 $14\,995.7\text{ mm}^3$, 100% 负荷下额定喷油量为 $21\,250\text{ mm}^3$, 故障状态下满量程喷油量为 $29\,612.5\text{ mm}^3$)。65% 负荷下正常喷射时的喷油持续期约 8°CA , 故障状态下喷油持续期约

15°CA 。图 6 为正常状态和故障状态下的喷油率。

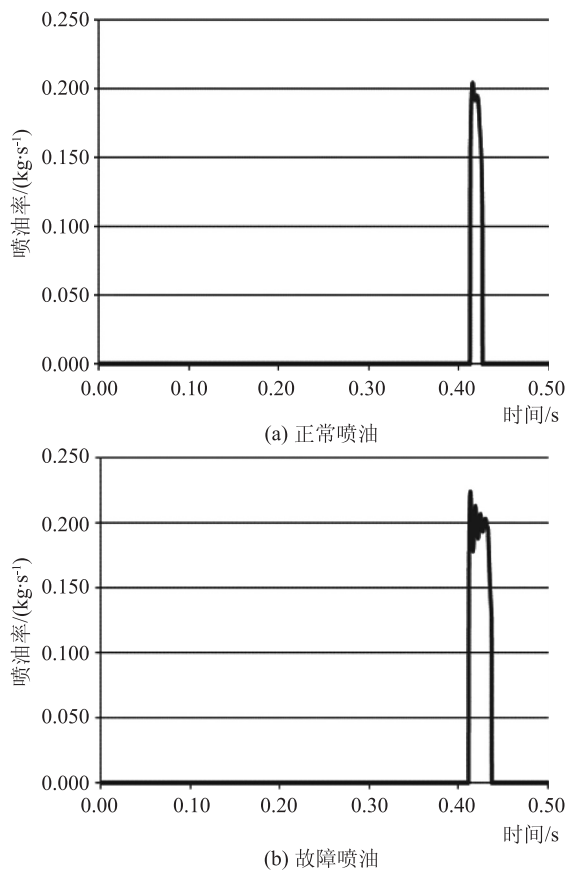


图 6 模拟喷油率

2.2 故障状态气缸压力分析

以某型柴油机 65% 负荷时排气正时异常及喷油异常状态为边界条件, 即排气阀在下止点后 4°CA 关闭, 下止点后 6°CA 开始喷油, 喷油量为额定喷油量的 139%, 喷油持续期由 8°CA 延长到 15°CA 为边界条件, 经过一维和三维仿真计算得到缸内压力曲线如图 7 所示。可见在曲轴转角为上止点前 44°CA 时, 缸内压力达到 1.82 MPa 后急剧上升, 此时开始燃烧过程。燃烧开始后, 缸内压力急剧升到 22.0 MPa (冷态爆缸压力) 时曲轴转角约为上止点前 21°CA 。当缸内压力达到 28.0 MPa (热态爆缸压力) 时发生缸盖提升现象, 此时曲轴转角约为上止点前 18°CA 。若缸盖没有提升, 缸内压力继续升高, 最高燃烧压力最大可达到 65.2 MPa 。

为了分析仅排气阀异常而喷油正常状态下, 是否会发生缸盖抬升故障, 进一步以柴油机起动过程转速 $11\text{ (r}\cdot\text{min}^{-1})$ 、排气阀常闭、正常喷油、起动油门 40% ($21.4\text{ (g}\cdot\text{rev}^{-1})$) 为边界条件, 经过一维仿真计算得到缸内压力曲线如图 8 所示。可见, 在起动过程中, 排气阀常闭, 正常喷油的状态下, 缸内最高燃烧压力小于缸盖抬升压力 (22.0 MPa),

不足以抬升缸盖。因此,可以断定起动过程中仅排气阀故障不足以抬升缸盖。

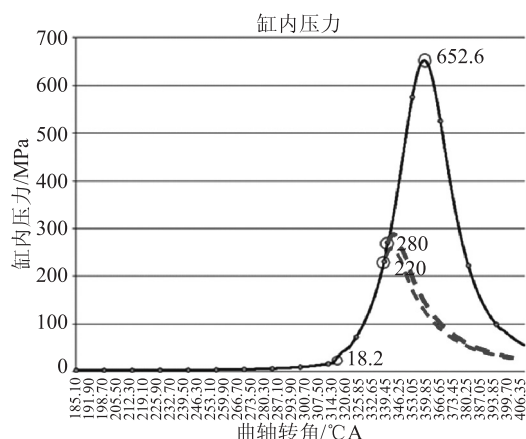


图 7 柴油机故障时缸内压力曲线

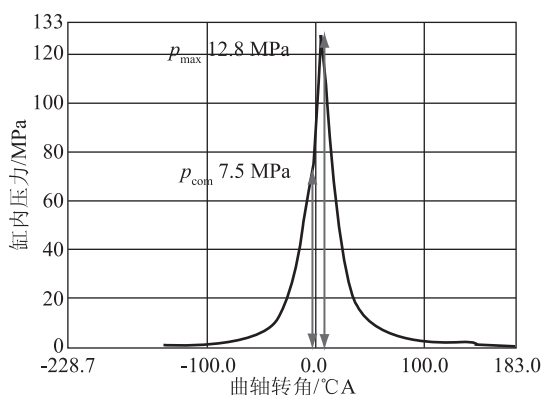


图 8 柴油机排气阀常闭时模拟缸内压力曲线

2.3 ECS 系统安全措施

ECS 系统的安全措施是^[2]:当失电状态时,弹簧自动将 FIVA 推至排气阀打开位置。排气阀控制若失效,主机降速,直到扫气压力低于预设值(0.09 MPa G)。主机转速大于 20 ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$) 时, FIVA 喷油窗口监控:如发现异常(正时错误、油量过大),系统强制 FIVA 打开排气阀; FIVA 反馈信

号监控:超出 4 ~ 20 mA 范围,系统强制 FIVA 打开排气阀; FIVA 阀芯速度监控:若过快,系统强制 FIVA 打开排气阀。如图 9 所示,为 ESC 系统简图。

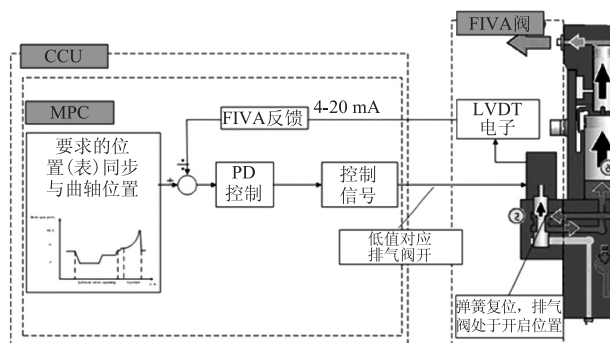


图 9 ESC 系统简图

而某型柴油机缸盖抬升故障发生时,主机转速小于 20 ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$),此时 FIVA 相关安全措施不起作用;另型柴油机缸盖抬升故障发生时, FIVA 先导阀受颗粒物影响卡滞,导致 FIVA 相关安全措施失效。

3 结 论

综上所述,故障的直接原因是由于系统清洁问题引起先导阀卡滞,燃油异常喷射,排气阀动作异常,导致缸内压力过高,缸盖抬升。但故障的根本原因是由于先导阀卡滞条件下, ECS 系统 FIVA 安全控制策略(强制排气阀开启)失效,造成缸盖抬升故障。

参考文献

(上接第 16 页)

参考文献

- [1] 周龙保. 内燃机学[M]. 北京:机械工业出版社,2010.
- [2] Alexandre Menage, Anthony Guand, Pierre Berg, etc. The new dual fuel engine 35/44 DF from MAN Diesel & Turbo SE[C]. Paper NO. 291, CIMAC2013.
- [3] D. Y. June, J. S. Kim, J. T. Kim, etc. Development of high efficient gas engine H35-40G[C]. Paper NO. 241, CIMAC 2010.
- [4] Nakai S, Morimoto S, Yamawaki H, etc. The combustion improvement technologies for large natural gas engine by

- in-cylinder observation and prediction[C]. Paper NO. 112, CIMAC 2007.
- [5] 徐玉梁,杨跃滨,祖炳峰,等. 车用柴油机进气道的优化计算与试验研究[J]. 内燃机工程,2013,34(z1):65-71.
- [6] 刘德新,李丹,冯洪庆,等. 四气门汽油机进气道气流运动的三维数值模拟研究[J]. 内燃机工程,2006,27(2):36-38.
- [7] 曹暑林,黄荣华. 四气门柴油机进气道的三维实体造型及流程数值模拟[J]. 内燃机工程,2004,25(6):38-43.