

使用维修

MTU4000 柴油机曲轴箱压力高及波动大故障分析

陆 鹏, 宋大为, 苏晓明, 王培森, 蒋 吕

(七一一研究所, 上海 201108)

摘 要: 某船用发电机组 MTU4000 柴油机运行过程中出现曲轴箱压力高且波动大故障, 导致报警停车。故障排查工作遵循先易后难, 先外围再内部的原则, 分别对进气系统、排气系统、滑油系统以及各缸内部进行检查。结果表明: 上述故障系曲轴箱呼吸器失效导致。实施相应整改措施后, 故障得到彻底排除。

关键词: 柴油机; 曲轴箱; 压力; 呼吸器

中图分类号: TK423.1; TK428 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-4357(2021)02-0057-04

Fault Analysis of MTU4000 Diesel Engine Crankcase With High Pressure and Large Pressure Fluctuation

Lu Peng, Song Dawei, Su Xiaoming, Wang Peisen, Jiang Lyu

(Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute, Shanghai 201108)

Abstract: A MTU4000 diesel engine in marine gensets had the problem of high pressure and big pressure fluctuation in its crankcase, which led to alarm going-off and gensets shutdown. The inspection was conducted according to the principle of "easy and outside part first, difficulty and inner part second", and intake system, exhaust system, and lubricating oil system, as well as the internal part of each cylinder were detected respectively. The results show that the fault was caused by the failure of the crankcase respirator. The corresponding troubleshooting measures were applied and this kind of fault never happened again.

Key words: diesel engine; crankcase; pressure; respirator

0 引言

某船用柴油发电机组采用 MTU4000 型柴油机, 额定转速 1 800 r/min, 额定功率 1 640 kW^[1]。前期对该柴油机的增压系统及进、排气系统进行了改造, 目标是使该机能在较大吸气真空度及较大排气压力环境下正常运行, 并将功率提升至 1 800 kW。改造后该机稳定运行约 100 h 后, 在某次试验中, 在 80% 负荷时排温即将超限, 接着曲轴箱压力过大报警, 后停车^[2]。

1 故障现象

正常运行的柴油机曲轴箱压力应为稳定负

压。为了定位上述故障位置和故障原因, 首先查询试验记录: 排温未超限定值, 而曲轴箱压力由原先的负值变成正值, 达到 +5 kPa, 且波动较大, 达到 ± 5 kPa。曲轴箱压力为停车安保信号之一, 限制值为大于 1.5 kPa 并停留 2 s 以上。触发安保停车后, 空载起车检查曲轴箱压力, 仍为正值且波动; 加载后, 曲轴箱压力与空载相似, 波动幅值更大; 继续加载至最大负荷的 80%, 警停问题复现, 从而可判断警停故障系曲轴箱压力持续过大导致。

根据需要, 该柴油机长期在大负荷、较大吸气真空度及较大排气压力等极限工况下工作, 而 MTU4000 柴油机曲轴箱没有设置防爆门, 故须密

收稿日期: 2020-07-31; 修回日期: 2020-08-18

作者简介: 陆鹏(1977—), 高级工程师, 主要研究方向为柴油机结构与强度, 13651969199@163.com。

切关注其内部压力。柴油机运行时, 滑油泵抽吸油底壳滑油润滑和冷却各运动部件; 废气经曲轴箱油气分离器(俗称呼吸器)过滤并通过排气软管接入增压器吸入口, 随增压空气进入气缸燃烧。由于增压器压气端为抽吸作用, 所以曲轴箱内废气是被抽出的, 也即曲轴箱压力应表现为负压。

2 故障排查及原因分析

根据故障发生的位置, 本次故障排查的主要工作为: 全面排查进排气系统、燃油系统、滑油系统; 拆卸抽滤滤芯、缸盖、缸套、活塞、喷油器等关键部件; 滑油做铁质分析等。进排气系统主要检查进排气管路, 包括中冷器、增压器等的清洁度及是否有杂物; 滑油系统主要检查滤芯及滑油中是否含有大量金属杂质; 燃油系统主要检查喷油器是否漏油、喷油量及雾化情况是否正常等。

2.1 故障排查

为了定位故障^[3], 不带载起车进行检查。从易到难, 先检查气路再检查油路, 最后进行缸内检查。

(1) 气路检查。检查包括进气滤芯、管道、阀件、增压器、排气管道等易拆卸部件是否有堵塞或泄漏等异常情况。具体步骤如下。

① 滤芯检查: 更换空气滤芯或者短时间内去掉空气滤芯, 观察进气流量值, 判断是否吸气顺畅。结果无堵塞。

② 外围进排气管路检查: 用布条靠在接缝处检查泄漏情况。结果进、排气管路接口处均未见泄漏。

③ 排烟管检查: 用布条靠近 V 型槽排烟波纹管 and 卡箍接口处, 检查管路泄漏情况。结果有轻微泄漏; 先夹紧卡箍, 热机一段时间后再次夹紧, 最终无泄漏。

④ 进气真空阀及排气背压阀检查: 两阀均为电动调节阀, 通过调节阀开度和其机械指针旋转角度检测阀开度控制是否正常, 结果正常。

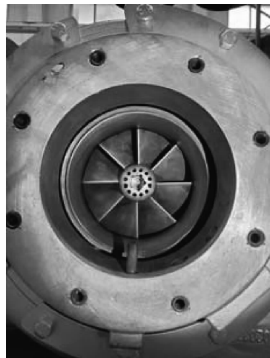
⑤ 增压器漏气漏油情况检查: 增压器涡端轻微熏黑, 有轻微漏气, 可以忽略; 增压器压端, 压气机外壁有油迹。通过安装调节阀降低滑油压力, 解决漏油问题。

⑥ 检查曲轴箱内油气压力: 在曲轴箱透气口上安装透明软管, 并将软管悬起, 末端出口高出柴油机约 1 m, 并用纱布包扎; 直接排空曲轴箱内压力, 若是气缸串气严重或滑油温度过高, 可以目测到烟雾释放或闻到浓烈的烧机油味, 但结果正常。

(2) 油路检查。停车冷机, 待滑油回流后检查油尺, 滑油消耗正常; 并随机拆解一个滑油滤

芯, 检查是否有金属颗粒、磨屑; 油底壳泄放约 200 ml 滑油做铁质分析, 结果无明显金属颗粒物。

(3) 增压器内部检查。拆卸增压器进气管路和排气管路, 用内窥镜检查增压器内部, 无异物, 叶片完整光滑, 边缘锋利, 无翘曲。见图 1。



a) 增压器压气机叶片



b) 增压器涡轮内部

图 1 增压器检查

(4) 中冷器检查。打开中冷器进气罩壳, 用内窥镜检查, 内部无异物(图 2), 表面形貌正常。



图 2 中冷器内部

(5) 缸内检查。打开缸头罩壳, 断开电磁阀, 拔出喷油器, 通过盘车使活塞顶部降至最低位置, 排除部分积油(拔出喷油器留下的), 从而可以较为完整地检查缸套内壁、活塞顶面及缸头火力面的情况。注意, 特别关注两个排温较高的缸的缸内磨损情况; 并更换这两缸的喷油器。通过检查发现: A4 和 B7 两缸的气缸套表面有长拉痕, 其中, B7 缸拉痕相对窄, 且在活塞下止点处拉痕几乎不明显; 而 A4 缸磨损较严重, 拉痕较深且宽, 其中一条拉痕上下贯穿(图 3), 宽度约 0.2 mm、深度约 0.1 mm。

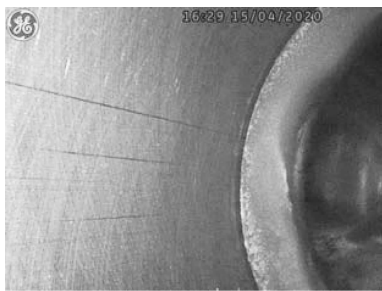


图3 A4 缸缸内检查情况

活塞环或缸套因素与其它因素导致曲轴箱废气压力大的主要差别在于: 由于活塞环或缸套磨损导致气体(燃烧气体)窜入曲轴箱, 因此, 此时的曲轴箱废气具有浓烈的燃烧气体味和蓝色烟雾。而在前述的排查中没有闻到特殊气味, 也没观察到明显烟气。另外, 如串气严重, 短时间机油就会变黑, 而前述滑油检测显示正常。此外, 窜气将导致柴油机动力不足、冒黑烟、缸内有异响等明显状况, 但在这次检修中均未发现, 因此可以排除较为严重的拉缸情况^[4]。为保险起见, 更换 A4 缸缸套。

2.2 故障原因分析

通常, 引起柴油机曲轴箱废气压力过大的因素有以下几方面。

(1) 进排气系统因素

① 进排气管路漏气。若排气管路漏气, 如涡轮前排烟管泄漏, 造成增压器涡轮端动能不足, 压端对空气的抽吸能力降低, 导致对曲轴箱的吸气量减少, 曲轴箱废气压力增大; 若是进气管路漏气, 也可能造成压端吸气不足, 同理会降低对曲轴箱的吸气能力。

② 进排气管路上真空阀、背压阀失灵。真空阀的开度影响管路吸气真空度; 背压阀开度影响排气流畅程度, 二者均直接影响柴油机功率, 导致进排气流量、压力等发生变化, 进而影响曲轴箱压力。

③ 增压器漏气。增压器漏气会引起压端和涡轮端压力变化, 从而影响曲轴箱压力。

④ 空滤失效。空滤使用环境恶劣, 若堵塞会导致进气吸力不足, 从而影响曲轴箱压力。

(2) 曲轴箱呼吸器因素

① 呼吸器薄膜或弹簧损坏。呼吸器薄膜或弹簧损坏将使曲轴箱压力与大气压力失去平衡, 内外压差导致曲轴箱废气排出困难, 压力增大。

② 呼吸器与大气平衡的微小通气孔堵塞。呼吸器与大气平衡的微小通气孔堵塞, 同样使得曲轴

箱内部压力无法得到有效释放, 压力增大。

③ 呼吸器滤芯或管路堵塞。正常情况下滤芯应约 6 个月或累计运行 200 h 更换一次; 正常保养周期也应及时更换。滤芯被油气浸透, 失去排除油气的功能, 同样会造成曲轴箱压力增大。

(3) 滑油系统因素

① 机油加得太多。曲轴箱空间有限, 机油加得太多, 柴油机运行时曲柄连杆等高速运动部件将撞击机油并使其飞溅, 致使滑油更易雾化, 造成曲轴箱废气压力增大。

② 机油滤芯堵塞。滑油杂质或其它磨损颗粒进入滤芯, 导致润滑不畅, 磨损加剧, 滑油温度上升, 曲轴箱滑油温度过高, 产生油雾, 从而压力升高。

(4) 缸内因素

① 活塞环或缸套严重磨损。活塞环或缸套严重磨损导致活塞与缸套之间的密封不严, 柴油机压缩和膨胀过程中燃气进入曲轴箱, 曲轴箱废气压力增大。

② 活塞环对口。柴油机做功过程中, 活塞环开口位置会变化, 如果环的开口对口, 高压气体将串入曲轴箱, 导致曲轴箱废气压力增大。

③ 活塞环断裂。活塞环断裂在环槽中将导致气缸密封不严, 燃气窜入曲轴箱, 曲轴箱废气压力增大。

④ 活塞环装反。活塞环为梯形, 在随活塞上下往复运动的同时, 自身做周向运动, 若活塞环装反, 会导致活塞环卡滞甚至断裂, 缸套过度磨损, 引发气缸漏气, 曲轴箱废气压力增大。

⑤ 活塞顶部烧蚀或拉缸。活塞顶部严重烧蚀或拉缸都将使该缸失去密封, 曲轴箱废气压力增大。

根据以上故障排查情况: 气路、油路、增压器、中冷器及缸内均无实质性问题, 对照故障可能原因分析, 怀疑呼吸器存在问题。对呼吸器做以下进一步排查。

(1) 拆卸呼吸器滤芯, 可见: 原滤芯已经浸透滑油, 失去过滤功能, 直接更换; 拆卸呼吸器弹簧和膜片, 经检查确认弹簧的弹性尚可, 膜片轻微变形, 暂时影响不大, 留待保养时再更换。

(2) 在更换呼吸器滤芯、喷油器及缸套后, 在曲轴箱呼吸器出口处安装一压力表(量程 $-7 \sim +7$ kPa), 起车检查。首先起车至怠速转速 1 000 r/min, 记录曲轴箱压力; 然后缓慢升至额定转速 1 800 r/min, 记录曲轴箱压力。和故障排查时该两个转速下的曲轴箱压力作对比, 压力及波动幅度已

明显降低,但压力还是正负跳动。

(3) 再次检查呼吸器,拆卸呼吸器软管,原软管使用时间太长,已经变硬变脆,直接更换;软管先排空,末端用手测试,有明显脉动气流,判断问题根源还在呼吸器,问题未得到彻底解决。再拆卸呼吸器出口硬管检查发现:接口压扁,卡箍处漏气,硬管内抠出油泥。对管道做圆整、清洗后复装。起车,观察曲轴箱压力表,压力基本为负值,但仍有波动,偶尔成正值。考虑到机械表安装在机体上受振动影响较大,将该表拆下,引入一 U 型水管(图 4),水柱贴着钢尺,通过水柱的落差及跳动来确定曲轴箱压力的大小和变化。水柱反映的是平均压力。转速升至额定转速,再缓慢加载至最大负荷 1 800 kW,见 U 型管内水柱升高 10 mm(即曲轴箱压力为 -0.1 kPa),且水柱稳定,没有明显波动。至此,故障完全定位且得到排除。图 5 为故障前后曲轴箱压力波动比较。



图 4 U 型管曲轴箱压力测试

(上接第 56 页)

3 结论

曲轴连杆颈油孔倒角位置圆角过小,工作表面处理不当是引起柴油机连杆轴瓦异常磨损故障的主要原因。

通过改进曲轴连杆颈油孔倒角位置圆角,提高轴颈表面粗糙度,并对连杆轴瓦工作表面合金层和电镀层材料做相应升级,在改善轴瓦适应性的同时提高了轴瓦的可靠性寿命。该改进措施通过台架试机及市场应用得到有效验证。

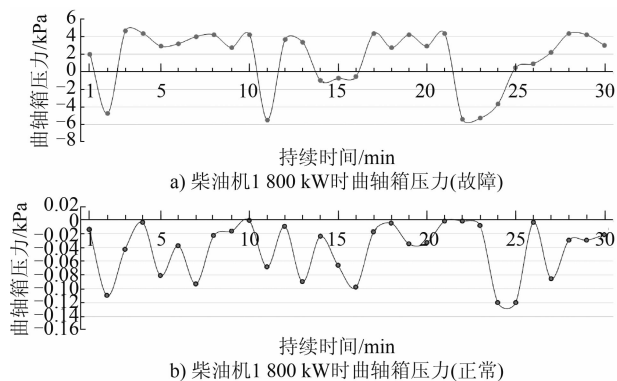


图 5 故障解决前后曲轴箱压力对比

3 结论

经上述整改后,经长时间运行,未再出现因曲轴箱压力大和压力波动造成的停车故障,彻底解决了曲轴箱压力高且波动大导致报警停车故障,有效降低了拉缸风险。此次故障排查遵循先易后难,先外围再内部的原则,在较短时间内使柴油机恢复正常运行,同时降低了维修成本。

参考文献

- [1] 陆威嵩. MTU2000/4000 系列柴油机的轮机设计特点 [J]. 船舶, 2019 (2): 35-39.
- [2] 蒋建荣, 张华伟. 某船 TBD620V16 型柴油机曲轴箱压力高报警故障原因分析 [J]. 广东造船, 2017 (3): 75-77.
- [3] 高明. 柴油机常见故障现象分析与排除探析 [J]. 科学技术创新, 2020 (10): 168-169.
- [4] 张超. 关于船用柴油机拉缸原因的探讨 [J]. 中国机械, 2020 (1): 139-141.

参考文献

- [1] 金银平. 三参数威布尔分布的可靠性研究 [D]. 洛阳: 河南科技大学, 2014.
- [2] 徐微, 胡伟明, 孙鹏. 基于两参数威布尔分布的设备可靠性预测研究 [J]. 中国工程机械学报, 2013, 11 (2): 112-116.
- [3] 赵洪国, 李楠, 张财红, 等. 柴油机连杆轴瓦烧蚀的机理分析及问题改进 [J]. 柴油机设计与制造, 2017, 23 (1): 18-21.
- [4] 戴旭东, 马雪芬, 赵三星, 等. 曲轴主轴承油膜动力润滑与系统动力学的耦合分析 [J]. 内燃机学报, 2003, 21 (1): 86-90.