

使用维修

PA6 柴油机突加负荷冒黑烟故障的原因分析和处理方法

唐少华¹, 孙玉波², 张博伦¹

(1. 上海船用柴油机研究所, 上海 201108; 2. 陕西柴油机重工有限公司, 陕西 咸阳 713105)

摘要: 针对某船海上动力试验中, 正、倒车接排时均有大量黑烟冒出, 且伴有大量碳烟颗粒漂浮在舷侧水面的问题, 通过采取改变主机接排怠速, 优化接排过程最大油门限制措施, 有效改善了接排冒黑烟问题。

关键词: 柴油机; 定距桨; 黑烟

中图分类号: TK427 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-4357(2021)05-0054-03

Causes Analysis and Trouble-Shooting of Black Smoke of PA6 Diesel Engine During Sudden Load

Tang Shaohua¹, Sun Yubo², Zhang Bolun¹(1. Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute, Shanghai 201108;
2. Shaanxi Diesel Heavy Industry Co., Ltd., Shaanxi Xianyang 713105)

Abstract: In view of the problem that there was a large amount of black smoke when the ahead or the astern clutch was engaged, accompanied by lots of soot particles floating on the side water surface, measures including changing the clutch idle speed of the main engine, optimizing the maximum throttle limit in the process of clutch engaging were taken. The problem of black smoke was effectively solved.

Key words: diesel engine; fixed pitch propeller; black smoke

0 引言

随着船舶行业的发展, 现今船舶动力系统中定距桨的使用越来越少, 但在某些特定情况下仍须采用定距桨形式, 而主流船舶推进柴油机与定距桨匹配的相关经验较少。某船采用 16PA6 柴油机首次与定距桨匹配, 突加负荷过程冒黑烟。本文在对此故障分析的基础上, 提出了几种解决措施并进行实船验证^[1]。

1 故障现象

某船主动力推进系统采用双机双桨模式, 主要由柴油机、减速齿轮箱、定距桨等设备组成。柴油机型号为 16PA6V-280STC, 该机为四冲程、16 缸、V 型、废气涡轮增压中速柴油机, 其主要参数见

表 1。近年来, 该柴油机广泛用作船舶主机^[2]。

表 1 16PA6V-280STC 柴油机主要参数

项目	参数
缸径/mm	280/290
额定转速/(r·min ⁻¹)	1 000
最大持续功率/kW	4 720
平均有效压力/MPa	1.982
外形尺寸(长×宽×高)/(mm×mm×mm)	6 052×2 356×2 906
重量/t	24.1

该柴油机起动怠速设为 450 r/min。当在海上进行主机接排试验时, 发现: 主机排烟口冒出大量浓黑烟, 持续时间约 30 s。由于该机排烟管道布置在两舷底部, 部分在水面以下, 因此部分排烟穿过水面后, 水面漂浮大量碳烟颗粒, 如图 1 所示。该

现象不仅对柴油机燃烧室组件和喷油器使用寿命造成影响，而且对环境，尤其是水质造成污染；当用作舰船主机时极易暴露行踪。因此监造方提出必须重视并及时解决此问题。



图1 冒黑烟现象

2 原因分析

因该柴油机是新装机，且两艘船共四台主机都出现相同问题，故初步判断故障原因为：接排过程中空气进气量不足，燃油供给量大，导致燃油燃烧不充分。详细分析如下：

该柴油机为涡轮增压柴油机，涡轮增压器与柴油机通过气动过程联系在一起，管道中气体的可压缩性以及供油、喷射、着火和燃烧等过程的延迟^[3]，

使涡轮增压器、柴油机供油系统以及二者间配合存在响应滞后。由于该船采用定距桨，柴油机接排时，负荷突然增加，此时调速器为保持转速不变，会迅速增加燃油供油量，燃油齿条数迅速增大，而涡轮增压器转速建立需要一定的过程，不能立即提供柴油机因负荷突加所需增加的空气量，因此进入气缸的空气量不足^[4]，导致燃油不完全燃烧；没有完全燃烧的燃油在燃烧室高温缺氧的环境下裂解、聚合，形成碳烟；碳烟的反应速度比气化的燃油慢得多，因此来不及燃烧，而呈黑色的烟雾排出。这也是废气涡轮增压柴油机突加负荷运行时均存在不同程度的冒黑烟现象的原因。一旦增压器响应匹配后，冒黑烟现象随之消除^[5-6]。

解决该问题须从接排转速、燃油、进气等方面同时考虑。

3 解决方法及实施

3.1 改变接排怠速

改变接排时主机怠机转速，试验数据及冒烟情况如表 2。

表 2 不同怠速下接排试验数据

接排转速/ ($r \cdot \min^{-1}$)	转速波动范围/ ($r \cdot \min^{-1}$)	转速稳定 时间/s	油门波 动范围/%	油门稳 定时间/s	舷侧外冒烟现象
500	385 ~ 570	36	17 ~ 85	37	持续冒浓烟雾约 35 s，水面伴有大量碳烟颗粒
450	340 ~ 520	30	18 ~ 80	30	持续冒浓烟雾约 30 s，水面伴有大量碳烟颗粒
400	350 ~ 470	23	20 ~ 78	24	持续冒灰色烟雾约 20 s，水面伴有少量碳烟颗粒
380	330 ~ 440	15	20 ~ 60	15	持续冒灰色烟雾约 13 s，水面看不到碳烟颗粒

从表 2 数据分析：

(1) 怠速提高到 500 r/min 时，冒烟时间约 35 s，且为大量浓黑烟。表明提高柴油机接排转速会使冒黑烟现象更加严重。

(2) 怠速设定为 400 r/min 时，冒烟情况有部分改善，排烟颜色变为灰色，时间缩短至约 20 s，水面有少量碳烟颗粒出现。表明降低主机接排怠速后冒烟情况有改善的趋势。

(3) 当怠速设定为 380 r/min 时，冒烟情况明显改善，排烟变成淡灰色，持续时间缩短近一半，水面几乎看不到碳烟颗粒。但因柴油机滑油、海水等系统采用机带泵驱动，其系统压力与柴油机转速相关联，在该怠速工况下长时间运行时出现多个系

统压力低报警，影响主机的长期安全可靠运行，故不建议实施。

因该型柴油机在其他船舶上主要与调距桨匹配，接排怠速一般设为 400 r/min。从长远角度考虑不建议采用 380 r/min 接排方案。遵循经验，将主机接排怠速设定在 400 r/min 基础上，继续探索其他解决方案。

3.2 快速升降转速接排

在接排之前先将主机转速提高至 500 r/min，在接排瞬间再将主机转速迅速降至 400 r/min，合排。利用增压器的高速惯性提高进气量，以改善冒烟情况。实船试验数据如表 3。

表 3 快速升降转速接排试验数据

转速波动范围/ ($r \cdot \min^{-1}$)	转速稳定 时间/s	油门波动 范围/%	增压器转速增加量 $\Delta n / (r \cdot \min^{-1})$	油门稳定 时间/s	舷侧外冒烟现象
355 ~ 474	23	19 ~ 75	770	24	持续冒浓烟雾 23 s，水面伴有少量碳烟颗粒

从试验数据来看,改善效果与第一种方法中接排转速为 400 r/min 时的相似,改善不明显。可能原因是接排过程需要一定时间,增压器转速惯性小,转速增加量不大,接排瞬间所增加的进气量依旧达不到燃烧所需空气量。

3.3 优化接排控制程序

从主动力监控方面进一步优化接排控制程序,

以保证接排阶段供油量的限制。具体实施方法:在机旁转速控制模块中调整 400 r/min 转速附近的最大油门限制线,减小主机接排过程中油门最大限制值,由原来设定的 60% 减小至 40%;同时将柴油机调速执行器的后备转速调低至 350 r/min (保证接排过程中调速控制器主控电流参与控制,使最大油门限制设定得到有效执行)。试验数据如表 4 所示。

表 4 优化油门限制后试验数据

负荷油门限制值/%	转速波动范围/ ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	转速稳定 时间/s	油门波动 范围/%	油门稳定 时间/s	舷侧外冒烟现象
60	350 ~ 470	23	20 ~ 78	24	持续灰色烟雾约 20 s, 水面伴有少量碳烟颗粒
40	374 ~ 445	18	20 ~ 55	17	持续灰色烟雾约 15 s, 水面伴有少量碳烟颗粒

可见:减小转速控制模块中的油门限制值后,接排过程中冒黑烟现象有所改善。

3.4 增压器增加助喷装置

在增压器上增加助喷装置,主机接排前提前开启电磁阀,向进气总管注入一定量的空气,以满足柴油机接排时的进气量需求,使燃油能够充分燃烧,继而改善冒黑烟现象。

具体实施方法如下:从柴油机起动空气系统中空气滤器(图 2 中 2)后(保证进入柴油机的空气的清洁度)分一路压缩空气至柴油机进气管。在柴油机接排时,电磁阀控制延迟关闭 3 s (时间根据实船调整)。电气控制原理如图 3 所示。

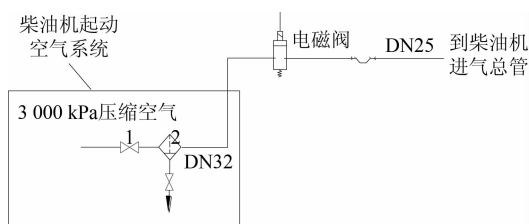


图 2 增压补气方案

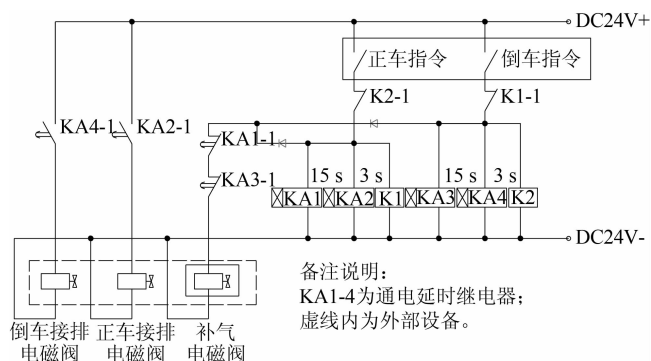


图 3 电磁阀控制系统原理图

主机接排时,通过船上驾驶台操作手柄进行正或倒车接排,接排信号通过遥控系统处理后下发给

补气电磁阀;同时通过时间继电器实现接排电磁阀延时(3 s)动作及增压补气电磁阀延时(15 s)关闭。通过补气方法迅速提高空气进气量,以满足接排时燃油燃烧所需空气量。

但该方法对机舱轮机设备改动较大,又因空气瓶容量有限,管路布置及电气修改繁琐,试验耗时长等因素,没有进行试验验证。

综合分析上述四种方法及实船试验,并结合实船情况,最终确定的解决方案为:将柴油机起动怠转速设为 400 r/min,同时,在该转速下优化接排过程供油量最大油门限制,由原来设定的 60% 降低至 40%;并将柴油机调速执行器的后备转速调低至 350 r/min。实施该方案后冒烟时间缩短至约 10 s,烟雾变为淡灰色,且水面无碳烟颗粒漂浮。实际效果如图 4 所示。



图 4 改进后冒烟现象

4 结论

实船运行状况表明:所采用的解决措施有效,改善了柴油机在接排过程中冒黑烟现象。至今该型船已在海上运行两年多,没有再次出现大量冒黑烟情况,同时主动力系统运行状态保持良好。

(下转第 60 页)

对加工过程的调查发现:操作者为初次加工主轴,对退刀槽、倒角之类的加工不重视,随意性大,加工两个内凹圆角时没有使用专用刀具,而是使用了普通刀具,通过刀具形状依靠进行 R0.5 mm 的圆角加工,完成后的圆角实际尺寸为 0.2 mm。另外,由于圆角处空间小,刀具排屑不好,加工中刀与屑挤压,屑粘贴于主轴表面,造成表面粗糙度差。且主轴加工完成后也没有对圆角与倒角部分做检查。

4 改进措施

(1) 对增压器主轴加工工艺进行改进,对主轴第 2、第 3 段轴颈过渡处内凹圆角的加工要求必须使用 R0.5 mm 的专用刀具加工。

(2) 加强操作工人技能培训,划分关键零部件及关键部位,强调重要性及加工要求。

(3) 采用数控车床加工主轴圆角及倒角;对表面粗糙度要求进行机加工编程控制;加工时提高轴转速,降低刀具进给速度。

自 2017 年 2 月改进主轴直径突变处圆角加工

工艺以来,未再发生主轴断裂故障。即使在增压器轴承损坏严重、轴承套偏磨严重的情况下,主轴也没断裂。

5 结语

轴类零件在受扭转和弯曲疲劳作用时,最易损坏的区域是轴的表面,而轴直径过渡段情况、油孔的位置和光洁度、键槽的类型和形状等都显著影响应力集中程度和疲劳寿命^[2],因此,加工与检查环节的精细化控制尤为重要。

参考文献

- [1] 成大先. 机械设计手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2016.
- [2] 美国金属学会. 金属手册——失效分析与预防: 第 8 版 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1986.
- [3] 何明鉴. 机械构件的微动疲劳 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1994.

(上接第 56 页)

参考文献

- [1] 胡国洪. 内燃机车柴油机冒黑烟故障的原因与处理 [J]. 机械管理开发, 2017 (8): 190-191.
- [2] 何磊, 唐少华, 何万国. 基于 Viking35 的电液调速器 PID 设定对柴油机调速特性影响的研究 [J]. 柴油机, 2017, 39 (1): 38-41.
- [3] 姚春德, 徐广兰, 韩伟强, 等. 消除柴油机加速黑烟用电动增压器电控系统设计 [C]. APC 联合学术年

会论文集, 2009: 216-224.

- [4] 李林, 徐阳, 王钦召. 某电控柴油机冒白烟原因分析及解决方法 [C]. APC 联合学术年会论文集, 2012.
- [5] 徐建明, 陈长根, 黄志远. 12VE230ZC 柴油机冒黑烟原因分析及处理方法 [J]. 中国修船, 2009 (5): 25-27.
- [6] 王林英, 朱旭聪, 刘丕清. 柴油机一例特殊的冒黑烟故障分析和排除 [J]. 柴油机, 2014, 36 (3): 57-59.