

使用维修

某型推进柴油机最低起动空气压力偏高故障原因分析

王金亭, 张旭峰, 徐 兵, 戴文祺

(七一一研究所, 上海 200090)

摘 要: 针对某型船用 V 型推进柴油机在冷态起动时, 起动空气压力满足柴油机起动要求情况下无法起动的问题。通过系统排查, 确定故障原因为高压油泵柱塞偶件工作配合间隙在公差的上限所致。在此基础上完善了该型高压油泵的加工和试验规范。

关键词: 起动空气压力; 高压油泵; 柱塞偶件; 间隙

中图分类号: TK423.8⁺3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2020)04-0058-03

Analysis of the Causes of Relatively Higher Lowest Start-Up Air Pressure on a Propulsion Diesel Engine

Wang Jinting, Zhang Xufeng, Xu Bing, Dai Wenqi

(Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute, Shanghai 200090)

Abstract: A certain marine V type propulsion diesel engine had the problem that during cold start, the engine couldn't start up even when the start-up air pressure satisfied the diesel engine start-up requirements. Through systematical investigation, it was confirmed that the clearance of high-pressure fuel pump plunger matching parts achieved the upper tolerance limit was the reason. Based on the analysis results, the machining and test rules for this type of high pressure fuel pumps were improved.

Key words: start-up air pressure; high pressure fuel pump; plunger matching parts; clearance

0 引言

某型船用柴油机在起动空气压力超过最低起动空气压力的情况下无法起动, 需较大的起动空气压力才能起动, 严重影响了该型船用柴油机的起动性能及船舶动力系统的可靠性。本文通过系统排查分析和确定故障原因, 并介绍柴油机整改后的试验验证结果。

1 故障描述

某型推进柴油机在台位进行起动试验项目报验时, 起动空气压力从 3.56 MPa 开始, 完成规定的 6 次冷态起动后, 压力降至 2.89 MPa。在进行最低起动压力试验时, 将压力调整至约 1.67 MPa, 柴油机未起动成功。然后将起动空气压力逐步增加至 2.1、2.2、2.3 MPa, 均未起动成功。

随后将起动空气压力增至 2.5 MPa, 起动成功。起动后压力降至 2.4 MPa 左右, 待压力数值稳定后, 再次进行起动试验, 未起动成功。也即该机起动性能不满足最低起动空气压力为 2 MPa 的技术规格要求。

2 故障排查

柴油机起动过程主要涉及压缩空气系统、燃油系统及进排气系统。根据故障可能原因建立故障树, 如图 1 所示。

2.1 压缩空气系统

(1) 检查空气分配器的角度正时, 以 B4 缸上止点为基准, 分配器盘与分配器壳体的联通孔边缘线在相切位置, 符合装配工艺的要求。排除空气分配器故障导致起动故障的可能性。

(2) 拆检柴油机主起动阀, 动作灵活无卡滞,

收稿日期: 2019-02-20; 修回日期: 2019-05-22

作者简介: 王金亭(1980—), 工程师, 主要研究方向为柴油机试验、调试和研发, 15689938871@163.com。

各缸起动阀管路未发现异物阻塞等异常现象，管路无泄漏。排除起动阀损坏与管路密封问题导致故障的可能性。

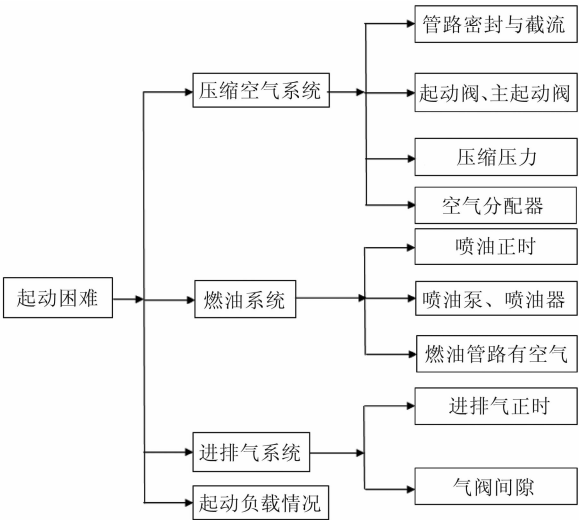


图 1 起动困难故障树

(3) 选用不同数值的起动空气压力吹车，使用压缩压力测量专用工具分别测量 A1、A10 缸上止点的压缩压力值。测量结果见表 1。技术要求发火转速下的压缩压力为 2~2.4 MPa。

表 1 压缩压力测量值

缸号	起动空气压力/MPa	转速 / (r·min ⁻¹)	压缩空气压力/MPa
A1	2.10	80	2.05
	1.90	72	2.05
	1.73	68	2.00
	1.60	60	2.00
	1.48	56	1.96
A10	2.46	88	2.10
	2.28	84	2.10
	2.08	76	2.10
	1.95	76	2.10
	1.78	72	2.05

由表 1 的数据可以看出：起动空气压力降至 1.6 MPa 时，压缩压力达到 2 MPa，均满足要求值。此时的环境温度为 25 ℃，根据热力学计算，在起动转速情况下，气缸压缩到终点后，缸内温度在 438 ℃ 以上，达到柴油的着火温度 (220 ℃)。因此可排除由于压缩压力不足导致本次故障。

2.2 燃油系统

(1) 用专用工装测量 A2、A4、B2 缸的喷油正时，发现：A2、B2 测量结果与出厂原始数据存在一定差异，见表 2。

表 2 喷油正时数据

缸号	复测数据			原始数据	
	喷油泵升程/mm	理论垫片厚度/mm	实际垫片厚度/mm	喷油泵升程/mm	理论垫片厚度/mm
A4	6.30	1.50	1.50	6.30	1.50
A2	6.44	1.64	1.57	6.30	1.50
B2	6.50	1.70	1.35	6.40	1.60

从以上数据来看：个别缸实际垫片厚度较理论值低 0.1 mm 左右，喷油提前角变小，喷油时间略微提前。经柴油机生产厂家查验出厂记录，确定为与出厂磨合试验后调整排温有关，此调整不影响起动时的供油量，因此可排除喷油定时导致起动困难的可能性。

(2) 拆卸 A1~A10 共 10 个喷油器，在喷油器专用标校台架上进行启喷压力与雾化试验。试验表明启喷压力均满足设计使用要求，雾化状态良好。排除了喷油器故障导致起动困难的可能性。

(3) 起动过程中，将高压油泵前后管路以及油泵本体充分放气，柴油机仍不能起动。进而排除了因燃油中存在空气而导致柴油机起车困难的可能。

(4) 将原机 A1~A10 所有喷油器不装入气缸，直接外接到高压油管上，起动验证高压油泵供油量是否满足低转速时的要求。1.5 MPa 压缩空气吹车后观察到所有的喷油器均无喷油现象。

更换 A2、A5、A10 高压油泵（更换的 3 台泵为备用泵，与原装泵为不同批次生产），1.5 MPa 压缩空气吹车后，除 A2、A5、A10 缸喷油器喷油外，其它均未喷油，因此判断喷油泵供油量不足是导致起动困难的可能原因之一。

2.3 进排气系统

(1) 采用专用工装测量 A2、A4、A9 缸进排气定时，测量结果均满足要求。排除进排气正时导致起动困难的可能。

(2) 冷态（冷却水温度低于 40 ℃）盘车复查所有缸的进排气阀间隙，各缸气阀间隙值都在正常范围内。排除气阀间隙偏差导致起动困难的可能性。

2.4 起动负载检查

(1) 检查液力偶合器接脱排状态，良好；接脱排时间均在标准要求范围之内，无异常。

(2) 通过在管路上外接滑油压力表，检查确认液力偶合器控制油实际压力与一次仪表显示压力值的相符性。控制油压力符合要求。因此排除起动负载过高导致起动困难的可能性。

3 故障原因分析

该型柴油机在起动过程及怠速运转时只有 A 排缸发火工作。根据以上排查结果可以认定：在低起动空气压力情况下，起动过程中 A 排缸高压油泵不喷油是导致起动不达标的原因。更换 A2、A5、A10（备用泵）高压油泵后对喷油泵柱塞间隙（头部）进行复查，结果如表 3 所示。柴油机均起动正常，各项性能参数均满足要求。对喷油泵（原装泵）按照设计规范，复检三个油量指标：60°转角油量、15°转角油量及供油裕量；

另外还针对此次出现的问题，额外复试 150 r/min 时的油量（齿条位置与 15°转角相同）。结果如表 4 所示。

表 3 喷油泵柱塞间隙（头部）复查

类型/要求	柱塞间隙计量情况		
测量位置	头部	头部	头部
合格间隙范围/ μm	7.00 ~ 10.00		
原装泵/ μm	10.00	10.00	10.00
备件泵/ μm	8.20	8.20	8.20
随机备件泵/ μm	8.15	8.15	8.15

表 4 喷油泵油量复试

油量复试项目		供油裕量/ml			60°转角油量/ml			15°转角油量/ml			150 r/min 时油量（齿条格数 58）/ml
要求值		≥ 158			136.4 ± 2			30 ~ 40			
泵类型	机器原装泵	158	158	158	135	135	135	30	30	30	4 ~ 5
	备件泵	156	158	158	137	137	137	32	32	30	10 ~ 11
	随机备件泵	160	158	158	137	138	138	32	30	30	10 ~ 11

从表 4 数据中可以看出：三个批次的喷油泵的高低油量均符合技术规范要求，但在低供油量时接近规范的下限值；从转速为 150 r/min 时的油量可以看出：原装泵的泵油量偏低较多。从喷油泵柱塞间隙上看，原装泵柱塞间隙偏上限，而备件泵的柱塞间隙要偏小一些。

针对按同一技术工艺标准加工的柱塞偶件运动副工作间隙存在较大差异的原因进行排查。经高压油泵设计生产厂家排查，机器原装泵前期发生过喷油泵柱塞偶件咬卡故障，故障最终定性为由柱塞偶件锐边毛刺及清洁度不好引起。为了解决柱塞偶件咬卡问题，对该批次喷油泵的工艺进行改进，完善了去锐边毛刺方法，增加了柱塞偶件 2 次互研抛光（配偶件后和喷油泵总成磨合后各一次）的工序要求。

该批次泵（机器原装泵）返修后，根据经验，按技术规范以当前供油量进行控制。但是，返修导致该批次高压油泵柱塞偶件工作间隙达到公差的上限，实测：存在问题的高压油泵柱塞工作间隙为 9 ~ 10 μm ，规范标准要求 7 ~ 10 μm ，间隙偏大导致低速泄漏增加，供油量减小。

分析认为：导致起动问题的原因为 A 排缸的高压油泵低速供油量整体偏低，在起动空气压力较低情况下，柴油机吹车转速较低（约 88 r/min）时喷油泵的供油压力不足，使得喷油器无法正常开启，没有形成各缸正常发火情况下的惯性加速，导致起动转速随空气压力降低而下降，柴油机起动失败。

综上所述，喷油泵柱塞偶件工作间隙值接近公

差上限，低转速下供油量不足是导致柴油机起动困难，无法满足起动空气压力接近下限值时柴油机正常起动的根本原因。

4 整改及试验验证

针对故障原因进行整改，按发火顺序再次更换 A2、A5、A10 高压油泵（随机备件泵），复装完成后，按规定程序再次进行起动试验。

（1）冷态起动，各次均起动成功，最低起动空气压力约 1.36 MPa。

（2）将机器运行到冷却水温度为 78 $^{\circ}\text{C}$ ，滑油温度为 83 $^{\circ}\text{C}$ 时进行起动试验，最低起动空气压力约为 1.32 MPa。

整改后，起动试验满足技术规格书要求。在满足使用要求的前提下，从经济性考虑，本机的其他高压油泵仍采用原装泵，后续配机泵将通过完善高压油泵的加工和试验标准规范，精准把握柱塞偶件配合间隙限量，以提高该型柴油机的整体可靠性和机动性。

5 结论

针对某船用柴油机最低起动空气压力偏高的故障进行排查和分析。结果表明：高压油泵柱塞偶件工作配合间隙在公差上限系故障主要原因。在此基础上完善了该型柴油机高压油泵加工及试验规范。可为其它机型相似高压油泵的设计制造及故障分析提供参考。