

使用维修

核电站应急柴油发电机组缸套异常磨损分析与改进

袁育龙, 何 彪, 张 军

(中广核工程有限公司, 广东 深圳 518124)

摘 要: 针对某型应急柴油发电机组在国产化历程中发生多起气缸套异常磨损问题, 基于建立的完整的故障树, 通过机理分析、排查、试验验证等方法, 对各次缸套异常磨损进行了分析和统计。在此基础上制定了有效的缸套异常磨损改进和预防措施, 使缸套异常磨损问题得到了有效控制。

关键词: 应急柴油发电机组; 缸套; 异常磨损

中图分类号: TK423.2; TK4238 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-4357(2016)02-0054-04

0 引言

核电站应急柴油发电机组作为供电系统的最后一道防线, 在主电源和辅助电源失效时启动, 向安全执行机构和设备提供电力, 确保反应堆安全停堆。在日本福岛核事故后, 核电站的建设和运行对应急柴油机组安全可靠性的要求越来越高。

近几年, 某型应急柴油发电机组在国产化历程中发生了多起气缸套异常磨损问题, 共计 14 次, 涉及 11 台机 30 件缸套。如此频度和数量的异常磨损现象在业界尚属首次, 对核电项目建设造成了很大的影响。因此, 对该型机缸套异常磨损问题的分析及解决迫在眉睫。

1 缸套简介

该型柴油机组采用湿式缸套, 缸套依靠凸肩压紧在缸盖和间隔套之间, 与活塞-连杆组件、缸盖共同组成密闭燃烧室(图1)。该型机缸套采用水冷方式冷却。起动前的预润滑如图2所示: 压力油通过曲轴、连杆、活塞销进入活塞销与活塞销孔之间的油隙, 到达缸套内表面。运行过程中缸套除由活塞销与活塞销孔间流出的滑油润滑外, 还有一路通过曲柄连杆机构回转运动时飞溅的滑油进行润滑。

2 缸套异常磨损原因分析

2.1 缸套异常磨损常见现象及影响

缸套异常磨损分为两种, 一种是缸套磨损速率过快; 另一种是缸套内表面出现肉眼可见的机械损伤, 通常发生在磨合期间及柴油机最初运行期内, 按照损伤程度的不同又可以分为线状划伤、片状擦

伤及缸套与活塞间粘连抱死等几类。

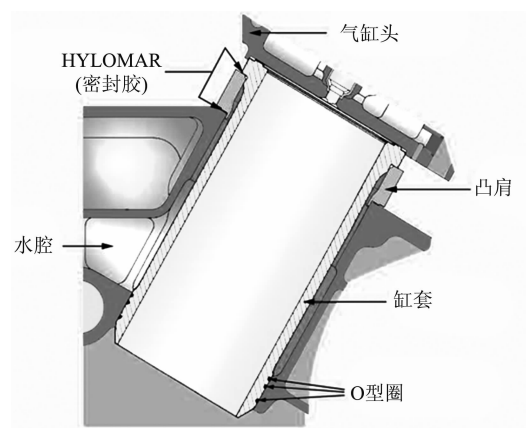


图1 缸套燃烧室示意图

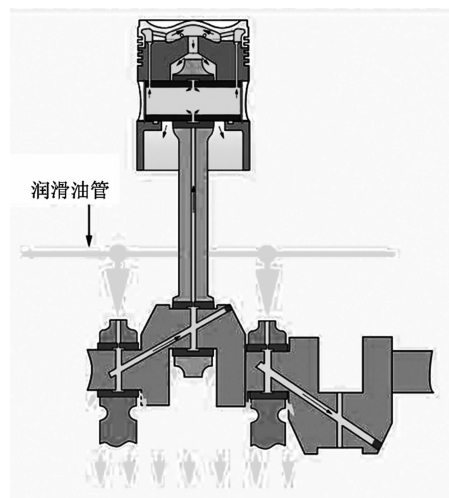


图2 润滑油润滑回路示意图

2.2 缸套异常磨损故障树建立

根据气缸套异常磨损的机理, 对零部件生产制造、机组装配、试验、现场调试、运维等各环节关联要素进行全面分析, 建立故障树, 如图3所示。

2.3 原因分析

通过对故障树中各个因素进行分析，结合气缸套异常磨损的现象，可得出造成上述 14 次气缸套异常磨损的主要因素有：珩磨网纹、清洁度、装

配、预供滑油进机压力低及锈蚀等，统计情况如图 4 所示。以上归纳的几种原因分别是厂内及核电现场各次缸套异常磨损的主要原因，一般情况下，缸套异常磨损是由几种原因综合作用引起。

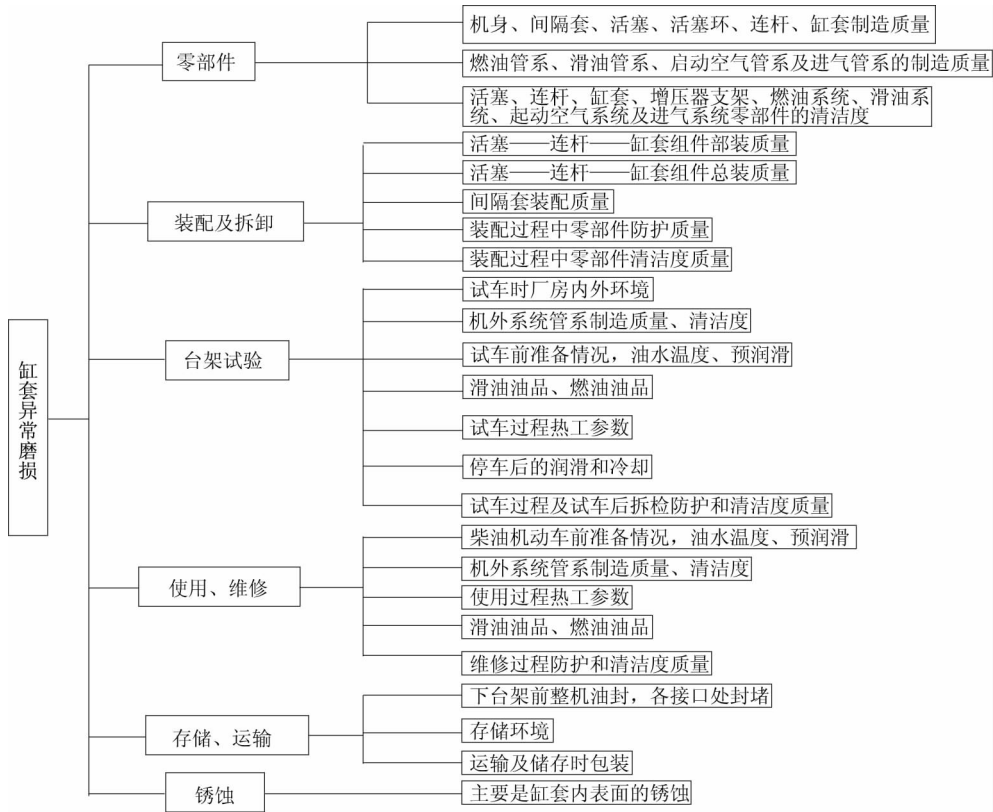


图 3 缸套异常磨损故障树

2.3.1 珩磨网纹原因

缸套珩磨网纹技术复杂，控制要求精度高，目前国内制造水平与国外制造水平存在一定差距。在前期 2 台缸套异常磨损机组的检查中发现：缸套珩磨网纹三个形态参数 R_a 、 R_z 、 T_p 虽满足图纸规定的要求，但网纹高点过多，微观形态控制不当，从而引发了大面积缸套异常磨损问题。图 5 为缸套珩磨网纹可接受型线图，图 6 为异常磨损缸套珩磨网纹状态。

2.3.2 清洁度问题

应急柴油机对清洁度因素非常敏感，从而对零部件制造、机组装配、试验及运维全过程都提出了很高的要求。但该项要素的控制涉及多个环节，且和环境、工艺规范、人员意识等密切相关，控制难度大，也是缸套异常磨损最常见的主要原因。历次缸套异常磨损涉及到的清洁度问题主要有：零部件加工过程倒角存毛刺，试验过程中厂房环境不良，拆检防护不当，长期停车后缸套表面锈蚀等。图 7、8 分别为防护不当和清洁度不达标；图 9 为某台机现场试验期间，交叉施工产生粉尘。

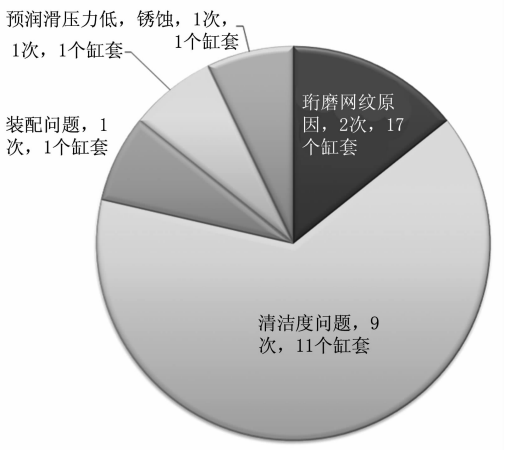


图 4 缸套异常磨损主要原因分布图

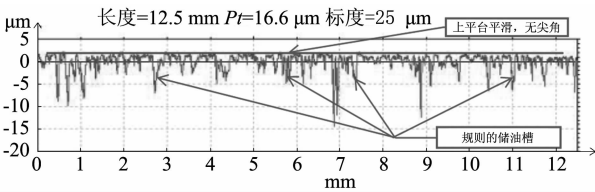


图 5 缸套珩磨网纹可接受型线图

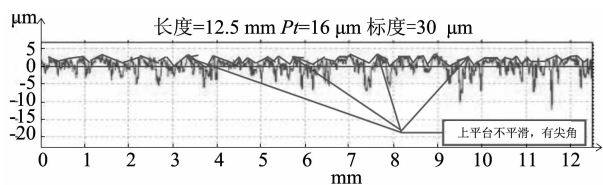


图6 异常磨损缸套珩磨网纹状态



图7 防护不当



图8 清洁度不达标

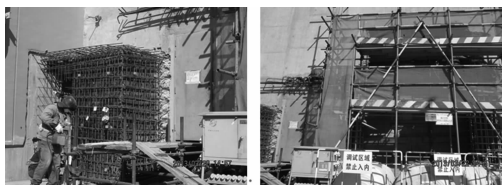


图9 调试期间交叉施工

2.3.3 装配问题

某台机出现缸套异常磨损后,依据故障树进行排查分析,发现活塞环装反,导致活塞环与缸套在往复运动过程中相互摩擦,破坏油膜建立,最终导致异常磨损。该问题的发生,主要是装配和检验人员工作不到位所致。

2.3.4 预供滑油进机压力低

根据技术专利方的要求:预供滑油在45℃以上时,其进机压力需 ≥ 0.05 MPa。现场某台出现缸套异常磨损的机组,经核查参数记录,发现其现场预供滑油进机压力为0.020~0.025 MPa。由于预供滑油压力低,在预润滑阶段,滑油较难在缸套表面建立起良好的油膜,加之现场一般采用快速启动方式,更容易引起缸套表面异常磨损。

2.3.5 锈蚀问题

现场某台机在小修期间检查缸套时发现异常磨损,同时,缸套表面可见明显锈蚀痕迹(图10)。锈蚀问题可归为清洁度因素,但因其锈蚀现象明显,加之产生的原因多种,故而单独提出。

产生锈蚀的原因有厂内环节:

(1) 在试验台架拆检缸盖或缸盖出水管过程中防护不当,导致冷却水进入缸内;

(2) 停放时间过长(如装配完成后或者单机试验完成后转机组试验台等待试验台架),超过一月没有及时防护或油封;

(3) 没有严格按照油封工艺要求规范操作,特别是燃烧室内的油封;

(4) 冷凝水通过排气管进入缸内;

(5) 机组运行操作不当,如动车前未吹车检查示功阀口是否有水气流出,空冷器放水口是否通畅等。

现场环节:

(1) 柴油机停放时间过长(一般为1年),超过油封期要求,没有进行二次油封;

(2) 现场二次油封时,未按照油封工艺进行油封;

(3) 柴油机在现场开箱,起油封过早(预润滑系统不具备连机工作条件),海边空气潮湿、空气盐分含量较高,没有及时进行防护或油封;

(4) 冷凝水或雨水通过排气管进入缸内;

(5) 机组运行操作不当,如动车前未吹车检查示功阀口是否有水气流出,空冷器放水口是否通畅等。



图10 缸套表面锈蚀

3 改进措施

3.1 加强缸套网纹技术控制

3.1.1 完善缸套珩磨控制

对缸套珩磨网纹工艺进行升级完善,从原来三个参数 R_a 、 R_z 、 T_p 增加为六个微观参数 R_a 、 R_z 、 T_p 、 R_k 、 R_{vk} 、 R_{pk} 。增加的三个微观参数可对微观形态进行更精细的控制。

其中, R_{pk} 为简约峰高,该值过大,磨合时间就会相应的增长,反之,磨合时间会减少,但易引起拉缸; R_{vk} 为简约谷深,它决定了网纹的储油性, R_{vk} 越大,储油性越好,摩擦功损失越小,燃油消耗越低,但滑油油耗会增加; R_k 为粗糙度核心轮廓

深度,它决定了缸套的运行性能和使用寿命,该值越大,使用寿命越长,但滑油油耗会相应增加。

3.1.2 制定检测标准

根据工艺要求,制定《缸套网纹检测评定标准》。

3.2 加强厂内清洁度控制

主要包括以下控制:

(1) 加强零部件的清洁度控制,如增加内窥镜检查,去毛刺工序等;

(2) 加强装配过程清洁度防护,如采用磁性防护板,增设防护检验点等;

(3) 提高管系加工和冲洗质量;

(4) 改善试车环境,如进气口增加滤布,防止试验时交叉施工等。

3.3 锈蚀防范

(1) 细化、完善生产装试过程零部件及整机的防护技术要求,加强过程控制;

(2) 整合、完善整机油漆油封工艺规范和完整性检验要求,增加缸套内表面油封状况检查等;

(3) 通过正式信函渠道向用户明确柴油机现场防护和油封要求;

(4) 在机组警示铭牌上增注油封期限。

3.4 加大预供滑油泵裕量

改型机预供滑油泵流量选型为 $11.6 \sim 15.5 (\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$,已建和在建项目选型为 $12 (\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$,适当提高预供泵流量可改善和加强机组整体润滑情况。后续项目可考虑选择流量偏上

限的预供泵。

3.5 加强过程检验及人员教育

(1) 对装配及检验人员开展质量教育;

(2) 修订质量问题奖惩办法,加大奖惩力度;

(3) 在装配工艺中增加检验见证点。

通过一系列整改,不断完善缸套异常磨损的预防和处理方案,工厂试验环节缸套异常磨损情况得到了有效控制。随着对缸套异常磨损问题的深入研究及持续整改,目前该问题已得到了基本解决。图11为4年来厂内装机情况及柴油发电机组缸套异常磨损走势图。

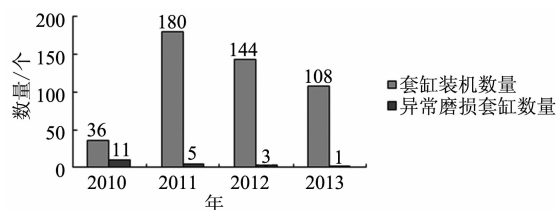


图11 柴油机缸套装机及异常磨损走势图

4 结束语

缸套异常磨损问题为业界公认的难题,由于该问题涉及柴油机设计、制造、调试、运维等各环节且过程控制复杂,目前还难以完全杜绝。

本文通过建立全过程故障树,对缸套异常磨损问题进行了深入分析,制定了有效的整改措施及预防措施,使缸套异常磨损问题得到了有效控制。

(上接第47页)

4 结 论

通过以上对软氮化工艺参数的研究,找到了影响软氮化后衬套变形的主要因素。在采用改进后的软氮后工艺参数后,白色化合物层一般能达到 $12 \mu\text{m}$;同时根据衬套的变形规律,调整机械加工工艺,预留尺寸以适应热处理变形。至此,该零部件的变形基本得到控制,某型号柴油机挺柱部件再也没有发生卡死故障。

参考文献

- [1] 李泉华. 热处理实用技术 [M]. 北京: 机械工业出版社2版, 2006.
- [2] 热处理手册编委会. 热处理手册 (第四版) [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [3] 刘宗昌, 任慧平, 宋义全. 金属固态相变教程 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2003.
- [4] 中国机械工程学会热处理学会. 热处理工程手册 [M]. 北京: 北京机械工业出版社, 2000.
- [5] 夏立芳. 金属热处理工艺学 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1986.