

几起柴油机顶升机构故障的 共性原因分析及改进措施

赵东升¹, 李雯丽², 于彦峰³

- (1. 海军驻兴平地区军事代表室, 陕西 兴平 713105;
2. 中国船舶重工集团公司第十二研究所, 陕西 兴平 713102;
3. 陕西柴油机重工有限公司, 陕西 兴平 713105)

摘 要: 针对实际运用中发生的多起柴油机顶升机构失效案例进行分析。分析表明: 案例中失效模式都表现为磨损, 虽然失效的主体零件不尽相同, 但均在材料及性能相对最薄弱的环节出现, 其失效的共同原因系轴线不平行。据此提出了改进措施。

关键词: 柴油机; 顶升机构; 磨损; 失效

中图分类号: TK413.4⁺1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-4357(2019)04-0056-04

0 引言

近年来, 在生产和实际工作中发生了多起柴油机顶升机构失效的案例。其中: 某型 PA6 柴油机 2 起, PC2-6B 柴油机装配试验期间若干起, MAN 柴油机 1 起; 分布在三种机型, 法系和德系柴油机两大类, 范围广, 影响大, 但以前却很少出现过此类问题。故障虽经多方向、多途径不断改进得以消除, 但故障产生的原因尚有争论。本文对其中的 4 起典型故障进行分析, 试图找到其中的共同原因, 继而提出改进措施, 提高柴油机顶升机构的可靠性。

柴油机顶升机构是实现进、排气功能的系统, 一般由凸轮、滚轮、滚轮挺柱、滚轮销、衬套等组成。其作用是变回转运动为直线往复运动。PC 柴油机顶升机构的装配关系如图 1 所示。其他机型结构类似。

1 失效案例

1.1 案例 A: PA 柴油机凸轮轴异常磨损

某 PA6 柴油机在大修时发现凸轮轴异常磨损, 磨损形貌见图 2。PA6 柴油机凸轮轴材料为 F173, 渗碳淬火, 硬度要求 60~62 HRC。滚轮材料为 GCr5, 淬火, 硬度要求 60~64 HRC。现场检查: 滚轮转动灵活, 未见卡滞现象, 宏观外形完好, 表

面未见损伤。

本案例是典型的凸轮表面接触疲劳磨损。两接触面做滚动、滑动或滑动加滚动复合摩擦运动时, 在交变接触应力的作用下, 材料表面疲劳而产生物质流失的过程, 称为表面疲劳磨损, 也称为接触疲劳磨损。易产生表面疲劳磨损的零件如齿轮、轴承、凸轮等。

金属表面接触疲劳磨损的过程通常是: 金属局部反复塑性变形→裂纹形成→裂纹扩展→金属表面脱落。上述案例中滚轮和凸轮工作时表面发生线接触, 损伤部位承载了所有负荷, 导致局部接触应力过大, 超出材料的疲劳极限, 导致发生疲劳磨损。磨损宏观形貌见图 3。进一步分析图 2 可知: 损伤部位呈交错分布, 摩擦痕迹表明: 凸轮轴线和滚轮轴线在运行时做双曲线运动, 即两者轴线在空间呈交错状、不平行。

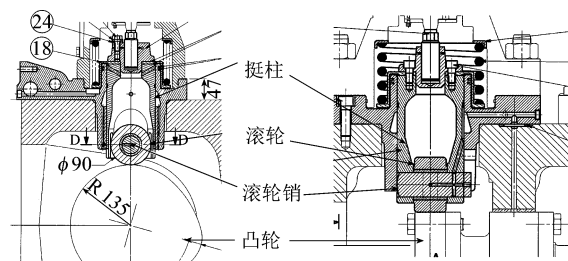


图 1 柴油机顶升机构装配图

收稿日期: 2018-08-18

作者简介: 赵东升(1985-), 男, 工程师, 主要研究方向为柴油机生产制造, 345541858@qq.com。

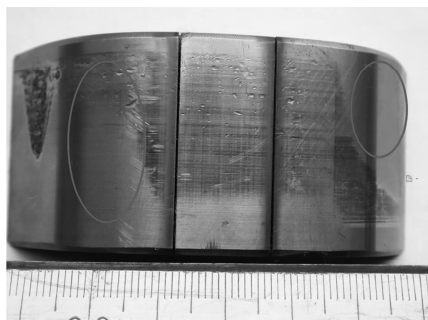


图2 PA6 柴油机凸轮轴磨损形貌

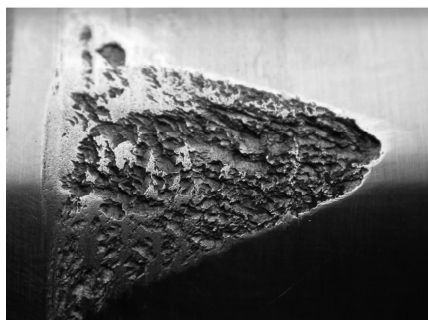


图3 接触疲劳磨损宏观形貌

1.2 案例 B: MAN16/24 型柴油机凸轮轴异常磨损

此故障与案例 A 失效形式相同, 均为接触疲劳磨损, 见图 4。

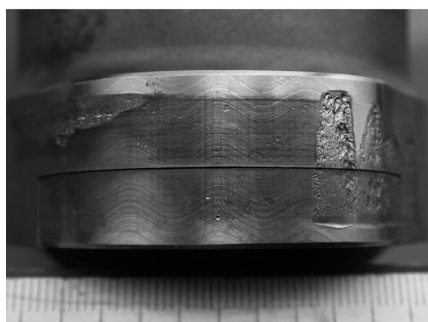


图4 MAN 柴油机凸轮轴磨损形貌

MAN16/24 柴油机滚轮材料为 17CrNiMo6, 渗碳淬火; 凸轮轴材料为 50CrMo4H, 中频淬火; 挺柱材料为 12CrNi3, 渗碳淬火。三者硬度均在 62 HRC 左右。故障损伤零部件为凸轮轴, 挺柱和滚轮未见明显损伤。

出现这样的磨损痕迹是因为凸轮轴轴线与滚轮轴线在空间不平行, 确切地说是空间交错导致表面载荷分布不良, 使凸轮轴局部接触应力过大, 出现接触疲劳磨损。出现这种状况有两种可能: 一是静态时轴线符合要求, 但在工作状态时出现不平行; 二是静态和工作时都存在不平行。

1.3 案例 C: 16PA6 型柴油机滚轮碎裂

1 台 16PA6 柴油机在工作时发生滚轮碎裂, 但

凸轮轴表面未见损伤, 见图 5。



图5 碎裂的滚轮

本案例中滚轮的一个端面有剧烈摩擦痕迹。经对痕迹和断口分析发现: 裂纹起源于滚轮端面和内孔形成的直角部位, 系由摩擦裂纹引起的疲劳开裂, 见图 6、图 7。图 7 滚轮端面轻微腐蚀后可见白亮色局部淬火及回火痕迹。



图6 滚轮端面的摩擦痕迹

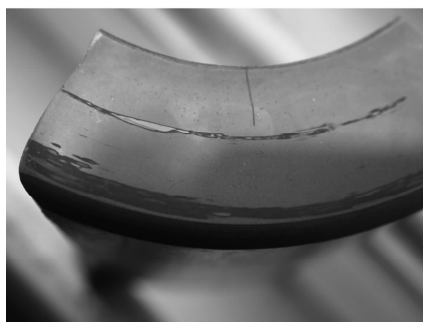


图7 滚轮端面摩擦条带

以上现象都表明有持续的侧向力使滚轮窜向了滚轮导销的一端, 剧烈的摩擦使局部温度达到 760 ℃ 以上, 导致油膜破坏, 润滑失效, 材料性能劣化, 直至碎裂。衬套的磨损痕迹也表明润滑失效由一端向另一端发展, 见图 8。

PA6 柴油机滚轮材料为 GCr15, 淬火后硬度为 62 HRC 左右, 容易产生摩擦裂纹。挺柱材料为 20CrNi3, 渗碳淬火, 硬度为 58 ~ 60 HRC, 是高硬度、高耐磨零件。相比之下, 滚轮易产生摩擦裂纹而首先损坏。

在正常转配情况下,滚轮表面在弹簧的作用下紧贴凸轮表面,垂直受力;因此侧向力来源只能是两者轴线不平行导致的分力。损伤件是滚轮也表明两者的轴线在空间范围内有交点,才使滚轮靠向一边,持续地摩擦挺柱一侧的平面。

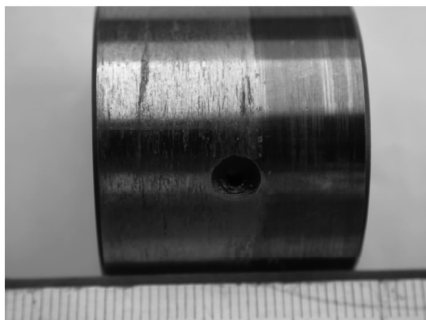


图8 衬套磨损状态

1.4 案例 D: PC2-6B 型柴油机滚轮导套异常磨损

近期,1台PC2-6B型柴油机发生滚轮导套异常磨损故障。

同是顶升机构,PC2-6B柴油机滚轮材料是20CrNi3,渗碳淬火,硬度要求60 HRC。其形制与MAN柴油机和PA柴油机滚轮不同,有一个凸台棱边,如图9。挺柱材料为QT500-7,硬度160~240 HBW,不是耐磨、抗磨材料。故障表现为挺柱金属被滚轮“加工”掉了,出现凹槽,如图10。



图9 PC2-6B 柴油机滚轮模型



图10 挺柱磨损形式

滚轮凸台棱边“加工”掉挺柱侧面必须有一个持续的作用力,并且在这个作用力下产生位移

(相当于进刀),滚轮是装在滚轮销上的,也就是说沿销轴方向有侧向力。经受力分析可知,如滚轮销轴线与凸轮轴线不平行,轴向分力就产生了。事实上,滚轮销的导向柄一直处在自己找正的过程,滚轮在侧向分力的作用下向一边滑移。在现场可以看到:导套上的导向槽金属有被啃咬掉的痕迹。挺柱装配时,滚轮销与挺柱采用液氮冷套工艺进行装配。而在装配现场随机抽取挺柱总成时发现:存在明显的装配不正现象,这是导致挺柱磨损的重要原因。

2 失效共性原因分析

失效分析是判断产品失效模式,查找产品失效机理和原因的过程。上述4起柴油机顶升机构故障案例的失效模式都表现为磨损,失效的主体零件虽不尽相同,但均在材料及性能相对最薄弱的环节出现,本质上的共同原因是轴线不平行。在实际应用中,引起轴线不平行的原因主要有:

(1) 制造问题。零件加工不合格,如同轴度、平行度、平面度、垂直度等超差,在正确装配后大多体现为轴线不平行。

(2) 组装问题。装配中出现的轴线不平行一般包括:错装(开/关、正/反、顺时针/逆时针、前/后、左/右,未装,少装,多装);装配不到位(松/紧、未紧固、未卡死、口盖未盖好);调整不到位(调整片、卡销、齿合、限压阀、仪表零点);异常介质,各种污染;多余物(工具、抹布、保险丝、刷子、木块、切削)等。

(3) 使用问题。柴油机运行中突然加速、加载、超负荷,也会引起轴线的不平行。

(4) 设计问题。例如凸轮轴刚性不足,导致瞬时加(过)载时两零件的轴线做双曲线运动,其接触痕迹就表现为凸轮的磨损不对称,这在静态贴合时往往检测不出来。

轴线的不平行还分为空间交错和平面内不平行两种形式。具体到柴油机顶升机构,前者导致凸轮轴磨损失效,后者导致滚轮或者挺柱磨损失效。

3 结论

(1) 以上多起柴油机顶升机构故障,虽然零部件的损伤形式不同,但其共同原因均为轴线不平行。

(2) 加强设计优化,从源头上消除导致轴线不平行的隐患。

(3) 加强过程控制。随着高精度数控加工设

备的使用以及三坐标等在线检测设备的普及,零件制造精度、材料及性能已不是影响产品质量的主要因素,更多的制约因素是装配质量,所以要高度重视现场装配质量。

(4) 加强使用管理,尽量避免柴油机突然加速、加载、超负荷等操作。

参考文献

- [1] 《机械设计手册》编委会. 机械设计手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [2] 王玉玲. 机械可靠性维修性优化设计方法及其在工程机械中的应用 [D]. 山东: 山东大学, 2007.
- [3] 石荣, 德康锐. FMECA 技术及其应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.

(上接第 55 页)

截至目前,改进螺栓已随整机运行 500 h 以上,未出现断裂故障。

4 结论

(1) 对水套螺栓进行了断口宏观形貌、化学成分、硬度和金相检验,表明破坏形式为疲劳断裂。螺纹根部处加工粗糙易导致应力集中,根部轻微脱碳降低了附近区域的疲劳强度。

(2) 仿真结果表明:水套螺栓在工作状态时预紧装配力和热负荷应力水平较高,在各缸发火时又承受较大的交变应力,在螺栓头根部安全系数余量不足的情况下,易发生疲劳破坏。

(3) 采用提高螺栓等级,控制螺栓质量的方法解决了水套螺栓断裂问题,并为此类故障提供了分析和解决思路。

参考文献

- [1] 罗莉萍. 船用柴油机小水套裂纹原因浅析 [J]. 天津

航海, 2004 (3): 24-25.

- [2] 吾凯, 张河清. 大功率柴油机缸头螺栓的在役超声波检测 [J]. 无损检测 2008 (10): 771-773.
- [3] 张猛, 吕林, 庞进军, 等. 发动机缸盖水套的设计分析 [J]. 重型汽车, 2010 (6): 12-13.
- [4] 张育春, 丘国生. 发动机水套方案优选 [J]. 车用发动机 2015 (1): 17-21.
- [5] 刘海明, 王树刚. 揭开 B&W35MC 主机缸盖与缸套的水套漏水达 6 年之久谜底 [J]. 天津航海, 2007 (4): 21-24.
- [6] 蔡学成, 彭立岩. 主机水套漏水的原因分析及对策 [J]. 天津航海, 2008 (3): 12-14.
- [7] 孙黎明. 某柴油机发电机支架螺栓断裂原因分析 [J]. 拖拉机与农用运输车, 2017 (4): 48-51.
- [8] 石磊, 张华兵, 李丽婷, 等. 某船用柴油机机体主轴承壁的有限元分析和结构优化 [J]. 柴油机, 2016, 38 (6): 20-24.