

结构与可靠性

水冷柴油机齿轮轮齿断裂分析研究

李建惠¹, 刘英华¹, 刘云霞¹, 刘艳超², 马晓峰¹

- (1. 河北华北柴油机有限责任公司, 河北 石家庄 050081;
2. 中国人民解放军驻 5460 厂军事代表室, 河北 石家庄 050081)

摘 要: 针对某水冷柴油机在考核试验中齿轮轮齿断裂的故障, 从齿轮表面缺陷、齿轮过载或受到较大外力冲击、齿轮啮合不良、齿轮热处理、齿根圆角、齿轮啮合宽度等影响因素进行分析, 分析表明: 轮齿断裂系齿轮热处理硬度偏低及齿根圆角偏小导致。

关键词: 水冷柴油机; 齿轮; 断裂

中图分类号: TK423.4⁺2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2013)01-0037-03

Analysis and Research on Teeth Broken
of Gear Wheel for Water-Cooled DieselLi Jianhui¹, Liu Yinghua¹, Liu Yunxia¹, Liu Yanchao², Ma Xiaofeng¹

- (1. Hebei Huabei Diesel Engine Co., Ltd., Hebei Shijiazhuang 050081;
2. Naval Deputy Office of 5460 Factory, Hebei Shijiazhuang 050081)

Abstract: A water-cooled diesel engine met the problem of gear wheel teeth broken during examining test. The influence factors were analyzed from the aspects of defects of gear wheel surface, overload of gear wheel, big external force attack, bad meshing of gear, as well as heat treatment, round corner of tooth root and meshing width of gear. It is concluded that the gear wheel teeth broken was caused by relatively low hardness of heat treatment of gearwheel and small round corner of tooth root.

Keywords: water-cooled diesel engine; gear wheel; broken

1 故障现象

某水冷型柴油机 200 h 考核试验进行到 136 h 时, 试验人员听到柴油机有异响, 停机检查时发现所有排气推杆全部弯曲, 将柴油机传动箱盖拆除后, 发现正时齿轮与曲轴齿轮发生轮齿断裂现象。

2 拆检情况

拆除缸盖后, 发现 6 个活塞顶部均有与排气门相碰撞的痕迹(见图 1)。曲轴齿轮多数齿靠近外侧部分被打断, 个别齿被挤压变形(见图 2)。正时齿轮一个轮齿完全断裂, 断齿非常完整, 无挤压痕迹; 其余靠近齿内侧部分被挤压变形(见图 3)。检查主轴瓦、连杆轴瓦、曲轴主轴颈、连杆轴颈磨损

正常。(见图 4、图 5)对油底壳进行清理, 共找到二十二枚断齿(见图 6)。其中有一枚完整的断齿与正时齿轮断裂部位吻合, 其余断齿均属于曲轴齿轮的, 且断齿大部分已经变形, 其中一枚未变形的断齿能与曲轴齿轮断裂部位吻合。

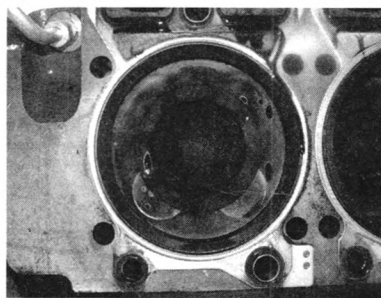


图 1

收稿日期: 2012-06-26; 修回日期: 2012-08-02

作者简介: 李建惠(1978-), 男, 工程师, 主要研究方向为发动机传动机构, E-mail: lijianhui973211@126.com。

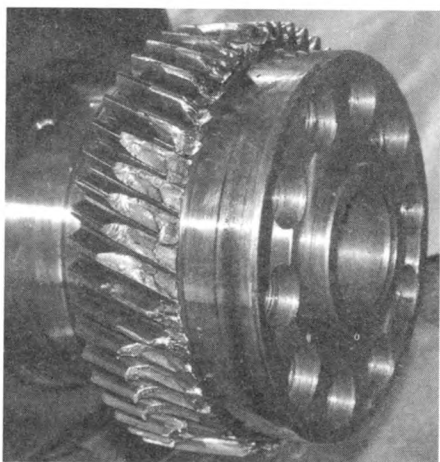


图 2

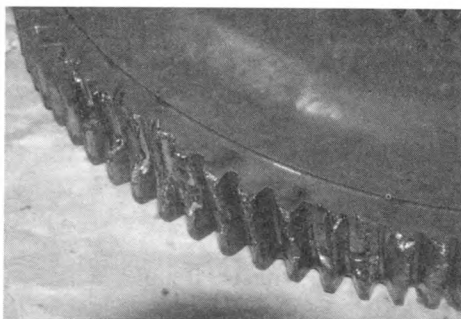


图 3

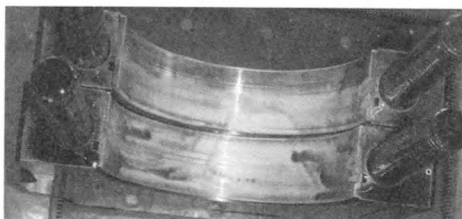


图 4

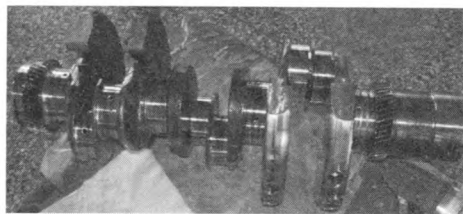


图 5

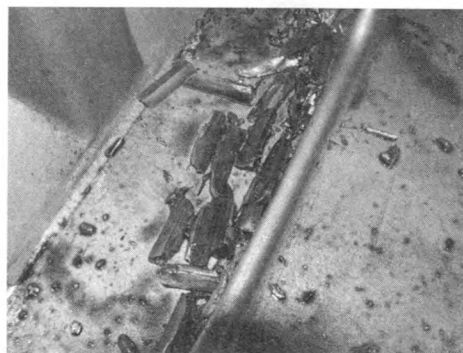


图 6

3 故障原因分析

由于曲轴齿轮和正时齿轮出现断齿和挤齿现象, 凸轮轴配气相位发生错乱, 导致活塞顶部与气门相撞击, 其作用力最终造成了配气机构中相对薄弱的推杆发生弯曲变形。具体分析如下。

3.1 故障定位

经分析, 可能导致轮齿断裂的原因有:

(1) 齿轮表面存在缺陷

如果齿轮表面存在裂纹、缺口等锻造或热处理缺陷, 会造成局部应力集中, 在齿轮运行过程中, 缺陷逐渐扩展, 产生疲劳断裂。

对本文曲轴齿轮与正时齿轮进行外观检查和磁力探伤, 对故障件进行宏观断口检查, 无缺陷, 因此可以排除存在表面缺陷的可能。

(2) 齿轮过载或受到较大外力冲击

本次台架考核, 两侧 A、B 动力输出口没有匹配负载, 正时齿轮只是驱动配气凸轮轴和单体泵凸轮轴进行工作, 并且整个考核试验过程严格按照试验大纲进行操作, 不会存在附加或冲击载荷对齿轮产生较大的冲击力。

另外, 经检查, 和正时齿轮相连的喷油泵驱动齿轮磨损正常, 曲轴转动灵活, 轴瓦磨损状态良好, 说明从曲轴到正时齿轮没有短时过载或受到冲击载荷。因此可以排除外力使齿轮过载的可能。

(3) 齿轮啮合不良

齿轮的加工精度不足, 比如公法线长度、齿形误差、齿向误差等参数超差, 会造成正时齿轮与曲轴齿轮之间啮合不良, 产生偏载, 加大齿轮间的冲击力, 严重时可能导致断齿情况发生。

正时齿轮有全面的检测报告, 各项几何尺寸参数均符合要求。曲轴齿轮有公法线检测数据, 无齿形、齿向检测数据。但从两齿轮的啮合痕迹看, 磨损正常, 无偏磨、局部受力情况, 可以排除因齿轮啮合不良造成轮齿断裂的原因。

(4) 齿轮热处理情况

如果齿轮生产过程中材料调质后机械性能达不到规定的要求, 会降低齿轮的承载能力, 容易发生轮齿损伤断裂。

两种齿轮材料均为 42CrMo, 材料的选用及热处理要求符合相关标准规定。实物检测: 正时齿轮检测化合层为 10 ~ 13 μm (图纸要求为 8 ~ 20 μm), 符合图纸要求; 调质处理与氮化处理后的金相组织正常, 晶粒度细密。

曲轴齿轮检测金相组织为回火马氏体+1% ~

3% 的游离铁素体，晶粒度比较粗，其中铁素体属于异常组织，按要求曲轴成品不应该有游离铁素体存在；齿外侧未淬火区范围实测为 2 ~ 3 mm(图纸要求最大 1.5 mm)。曲轴齿轮图纸要求硬度为 54 ~ 58 HRC，实测洛氏硬度值为 51 HRC，没有达到图纸要求。由于齿轮外侧未淬火区域较大、并且齿部硬度低，直接导致曲轴齿轮断齿强度降低，由此造成断齿现象的发生可能性很大。

(5) 齿根圆角影响

齿轮齿根圆角半径偏小，会造成齿轮根部应力集中，运行时可能出现齿轮轮齿断裂。

经检测，曲轴齿轮根部圆角较大，符合图纸要求(0.75 mm)；正时齿轮齿根圆角较小。库存正时齿轮抽检 4 件，圆角为 R0.2 ~ R0.45 mm。小于理

论圆角 R0.5 mm，因此对齿轮强度有一定影响。

(6) 齿轮啮合宽度影响

该机型柴油机的正时齿轮齿厚为 21.5 mm，齿轮外侧与曲轴齿轮端面极限位置相差 4 mm，不是全齿啮合，这种啮合方式对齿轮的承载能力有一定影响。

3.2 半齿啮合及齿根圆角对齿轮强度影响分析

计算分别取以下四组参数：

- (1) 接触齿宽 $b=17.5$ mm，齿根圆角 $r=0.25$ mm；
- (2) 接触齿宽 $b=17.5$ mm，齿根圆角 $r=0.60$ mm；
- (3) 接触齿宽 $b=21.5$ mm，齿根圆角 $r=0.25$ mm；
- (4) 接触齿宽 $b=21.5$ mm，齿根圆角 $r=0.60$ mm；

按曲轴转速 $n=2\ 100$ (r·min⁻¹)，输出功率按 $P=120$ kW 计算，计算结果见表 1。

表 1

序号	接触齿宽 b/mm	齿根圆角 r/mm	弯曲强度安全系数 $/SF$	最小安全系数 $/SF_{\min}$
1	17.5	0.25	1.10	1.0
2		0.60	1.24	
3	21.5	0.25	1.38	
4		0.60	1.55	

经计算分析认为：在材料的力学性能符合标准规定，零件加工质量满足设计要求的情况下，不会出现齿轮轮齿断裂。但是，在半啮合并且齿根圆角较小的状态下，安全系数较低，容易出现故障。

3.3 故障机理

该机型正时齿轮与曲轴齿轮非全齿啮合，对齿轮强度要求较高。由于曲轴齿轮硬度偏低，两侧未淬火区域过大，造成齿轮接触强度明显降低。经过长时间运转后，曲轴齿轮必然会因强度不足而发生断齿问题。曲轴齿轮断齿后，两齿轮不能正常啮合，并产生巨大的冲击力，使正时齿轮与曲轴齿轮发生大面积打齿和挤齿现象。最终因配气相位改变，发生气门与活塞相撞，推杆弯曲等现象。

4 结 论

通过以上分析可得出结论，造成本次齿轮轮齿断裂的根本原因是曲轴齿轮热处理状态不符合图纸要求，齿轮强度降低；另外，正时齿轮齿根圆角较小也是造成故障的隐患之一。

参考文献

[1] 朱孝录. 中国机械设计大典 4[M]. 江西: 江西科学技术出版社, 2001.

[2] 吴宗泽. 机械零件设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 200.

[3] 范垂本. 齿轮的强度和试验[M]. 北京, 机械工业出版社, 1979.

[4] A. K. 托马斯. 齿轮的强度和试验[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1975.