

船舶动力装置管理及

CHUANBO DONGLI

ZHUANGZHI GUANLI JI

ANLI FENXI

案例
分析



魏海军 张存有 田文国 编著

大连海事大学出版社

船舶动力装置管理及案例分析

魏海军 张存有 田文国 编著

大连海事大学出版社

© 魏海军, 等 2011

图书在版编目(CIP)数据

船舶动力装置管理及案例分析 / 魏海军, 张存有, 田文国编著. — 大连:
大连海事大学出版社, 2011.5

ISBN 978-7-5632-2566-8

I. ①船… II. ①魏… ②张… ③田… III. ①船舶机械—动力装置—
技术管理 ②船舶—动力装置—故障—案例—分析 IV. ①U664.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 082763 号

大连海事大学出版社出版

地址: 大连市凌海路 1 号 邮编: 116026 电话: 0411-84728394 传真: 0411-84727996

<http://www.dmupress.com>

E-mail: cbs@dmupress.com

大连金华光彩色印刷有限公司印装

大连海事大学出版社发行

2011 年 5 月第 1 版

2011 年 5 月第 1 次印刷

幅面尺寸: 185 mm × 260 mm

印张: 19.75

字数: 480 千

印数: 1~1500 册

责任编辑: 姜建军

版式设计: 晓江

封面设计: 王艳

责任校对: 沈荣欣

ISBN 978-7-5632-2566-8

定价: 40.00 元

目 录

第一章 柴油机主要故障及修理案例.....	1
第一节 气缸的故障及修理.....	1
第二节 气缸盖裂纹.....	23
第三节 活塞及活塞环过度磨损.....	30
第四节 柴油机管理上造成故障原因.....	38
第二章 增压器常见故障及案例.....	44
第一节 涡轮增压系统与船舶柴油机性能探讨.....	44
第二节 船舶主机增压系统故障及防范.....	47
第三节 柴油机增压系统的管理.....	52
第四节 增压器的拆检和管理注意事项.....	58
第五节 增压器节能技术改造的探讨.....	65
第六节 船舶主柴油机增压系统的喘振.....	68
第七节 增压器系统故障实例分析.....	77
第八节 过量空气系数与柴油机的性能效应.....	85
第三章 船舶辅机维护管理与故障分析.....	95
第一节 船舶辅锅炉的运行管理与故障处理.....	95
第二节 液压甲板机械维护与故障案例.....	113
第四章 主机自动控制系统事故案例.....	133
第一节 SULZER RTA柴油机操纵系统.....	133
第二节 MAN B&W 50-90MC柴油机操纵系统.....	148
第三节 DAIHATSU DK20型柴油机操纵控制系统.....	159
第四节 操纵系统常见故障与处理方法.....	162
第五章 船舶电气设备及系统.....	168
第一节 船舶电器的维护.....	168
第二节 船舶发电机的维护.....	171
第三节 船舶电站的维护.....	174
第四节 船舶辅机电气系统的维护.....	177
第五节 机舱自动化电气设备的维护.....	182
第六节 冷藏、空调设备电气线路的维护.....	183
第七节 船舶照明系统的维护.....	184
第八节 蓄电池的维护.....	185
第九节 油船电气设备的特殊维护.....	187

第十节 船舶电气设备及系统的故障处理.....	189
第六章 燃油与柴油机故障案例.....	202
第一节 燃油与柴油机故障的关系.....	202
第二节 船用燃料油质量国际标准.....	207
第三节 船舶中速柴油机燃用重油时滑油防污染问题探讨.....	213
第四节 船用发电机燃用劣质燃油的管理.....	217
第五节 船用燃油的选择.....	220
第六节 节约成本与订购燃油.....	225
第七节 使用燃油添加剂的一些体会.....	228
第八节 船舶装燃油溢油原因分析及预防措施.....	230
第九节 SULZER RTA系列船用主机燃用高黏度燃油探讨.....	232
第七章 船用润滑油案例与分析.....	235
第一节 船用润滑油过滤器性能管理技术.....	235
第二节 润滑油发生乳化后的处理.....	239
第三节 滑油漏入海水的处理.....	240
第四节 柴油机气缸注油器气缸油结焦的定性分析.....	244
第五节 船用液压油的污染与控制.....	245
第六节 主机滑油循环柜漏入燃油事故的处理.....	253
第七节 主滑滑油黏度、总碱值过高的原因和危害.....	256
第八节 汽缸油引发的事故案例分析.....	259
第九节 系统油引发的事故案例分析.....	263
第十节 基于油液检测的故障诊断实例.....	266
第八章 船舶灭火与防火案例.....	272
第一节 完善固定式灭火设施性能提高船舶灭火效果.....	272
第二节 建立预控机制 防止船舶火灾.....	275
第三节 船舶灭火的对策.....	277
第四节 船舶火灾.....	279
第五节 滚装客船的消防.....	281
第六节 ISM规则对船舶消防安全管理的要求.....	285
第七节 船舶高级灭火.....	287
第八节 船舶火灾发生的趋势与应对措施.....	289
第九节 不容忽视的船舶火警误报.....	290
第十节 某客滚船海上火灾悲剧给人们的启示.....	293
第十一节 提高船员质量减少海事意外几率.....	296
参考文献.....	299

第一章 柴油机主要故障及修理案例

柴油机由于具有较高的热效率、维护管理方便和工作可靠等优点,因此,广泛用于船舶推进装置和发电装置。虽然柴油机的制造研发已经到了较高的水平,但柴油机的维护和保养目前仍主要靠制度(比如ISM)及人为的经验和能力去判断处理,由于人为的经验和能力高低不同,从而导致了维修效率的良莠不齐。21世纪智能型柴油机(Intelligence Engine, IE)的开发及广泛应用,要求轮机员必须具备更高的智慧及能力以适应这一发展趋势,本章主要目的在于综合各故障处理技术并使其文字化,提供柴油机管理和故障处理方面的技术经验,以供轮机员工作中参考。

第一节 气缸的故障及修理

一、气缸套的过度磨损

柴油机气缸套磨损状况直接影响着柴油机的工作性能、船舶营运的经济性和可靠性,气缸套的磨损在柴油机相对运动部件正常工作时是难以避免的。据统计,大型低速柴油机气缸套的正常磨损率一般为 $0.01\sim 0.03\text{ mm/kh}$,最大磨损率应不超过 0.1 mm/kh ,这是可以接受的正常磨损范围。但由于某些因素的影响,将使其磨损率远远超过正常值,即产生过度磨损,甚至于必须更换气缸套;同时,活塞组件的磨损,使柴油机吊缸检修周期缩短,增加船员的劳动强度和柴油机的维修费用。如果气缸套磨损量超过磨损极限时,将会使燃烧室失去密封,高温燃气在活塞与缸套之间窜气(Blow-by),使润滑油膜烧损而遭到破坏,引起气缸套、活塞润滑不良,导致柴油机压缩温度及压力下降,造成燃烧不良、排气温度上升、输出功率下降、气缸及活塞严重积炭及扫气箱着火等一系列故障。

(一) 气缸套磨损有关名词的定义

表1-1是MAN B&W公司分别对不同缸径柴油机气缸套磨损率、活塞环磨损率和气缸油消耗率的统计资料。从表中可以看出,小缸径的柴油机(缸径为26、35和42 cm)共455个气缸套样本平均磨损率为 0.037 mm/kh ,第一道活塞环的磨损率为 0.257 mm/kh ,气缸油消耗率为 1.22 g/kWh ;缸径为50、60和70 cm的柴油机共547个气缸套样本平均磨损率 0.06 mm/kh ,第一道活塞环的平均磨损率为 0.48 mm/kh ,气缸油消耗率为 1.21 g/kWh ;超长行程型柴油机(如S70MC、S80MC)共407个气缸套样本的平均磨损率为 0.075 mm/kh ,第一道活塞环的平均磨损率为 0.46 mm/kh ,气缸油平均消耗率为 1.36 g/kWh ;以MAN B&W 60MC为例,设计上以其缸径的0.6%为磨损极限,如以上述磨损量运行则缸套的寿命大约为60 000 h。但实际上由于柴油机气缸工作条件的变化,维护管理不当,气缸套的实际使用寿命远远达不到60 000 h。某些特殊机型特别是K80、K90以及部分超长行程的柴油机相继发生了多起缸套和活塞环过度磨损的事故,甚至发生

了拉缸 (Scuffing) 的恶性事故。大量的调查表明, 主要原因是气缸油注油量的不当 (柴油机在低负荷运行时), 而且多数是船舶航行在高湿度空气的区域。

表 1-1 MAN B&W 柴油机气缸套、活塞环磨损率及气缸油消耗率统计

气缸直径/cm	气缸套磨损率/(mm/kh)	第一道活塞环磨损率/(mm/kh)	气缸油消耗率/(g/kWh)
26、35、42	0.037	0.257	1.22
50、60、70	0.06	0.48	1.21
70、80	0.075	0.46	1.36

1. 气缸套的过度磨损

气缸套的磨损是不可避免的, 但过度磨损的定义并没有一确切的答案; 一般来说, 对于大型二冲程柴油机气缸套, 如果磨损率小于 0.1 mm/kh 属于正常磨损, 磨损率大于 0.1 mm/kh 就被视为过度磨损; 对于小型四冲程或采用表面强化处理的气缸套, 如镀铬气缸套正常的磨损率应在 $0.01 \sim 0.03 \text{ mm/kh}$ 范围内, 磨损率大于 0.05 mm/kh 就视为过度磨损; 同时还应注意气缸套内径增量 (总计磨损量), 不同机型的柴油机允许值不同, 一般来说 (依柴油机的设计不同) 磨损总量达 $(0.4\% \sim 0.7\%) D$ (D 为缸套直径), 燃烧室便已失去其密封性, 从而导致拉缸等其他故障, 因此必须进行修理或更换。

2. 气缸套偏磨

四冲程柴油机由于没有十字头及十字头导板装置, 如图 1-1 所示, 因此在活塞的压缩及膨胀行程时, 其上下往复运动直接驱动曲轴回转运动, 使活塞在气缸内产生侧面 ($P-S$) 压力, 因而产生活塞及活塞环对气缸套偏磨, 长时间运转后其偏磨情况便明显, 即气缸套左右 ($P-S$) 侧将大于前后 ($F-A$) 侧, 使气缸套由正圆 ($PS=FA$) 变成椭圆形 ($PS>FA$), 使气缸套运转时的密封性降低。

二冲程十字头式柴油机气缸套, 如图 1-2、图 1-3 所示, 由于装有十字头及十字头导板装置, 由十字头及十字头导板装置承受所有曲轴侧向作用力, 且其行程较长, 对于活塞的压缩及膨胀行程,

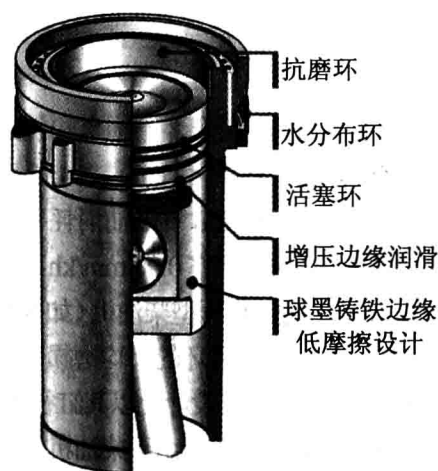


图 1-1 四冲程柴油机气缸套剖面图

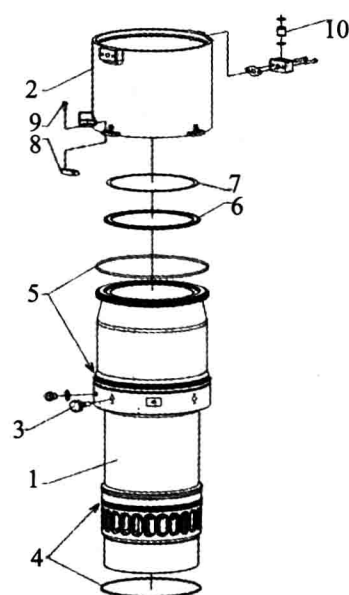


图 1-2 二冲程柴油机气缸套

1—气缸套; 2—水套; 3—注油接头; 4、5—密封圈; 6—清洁环;
7—密封垫片; 8—夹; 9—螺栓; 10—冷却水接头

气缸套左右侧与舷侧作用力变化不大，因而活塞及活塞环对气缸套偏磨极少。

3. 气缸套凸台背脊 (Ridge) 产生

活塞在气缸套内做上下往复运动，由于活塞直径较气缸套为小，其真正与气缸套接触则为活塞环，由于不同柴油机第一道活塞环位置的高低不同，且活塞位于上止点时，其气缸内燃气温度及压力颇高，润滑极端困难，因此在气缸套真正产生磨损起始位置就是第一道活塞环对应的上止点位置，长时间运转后，其磨损便在气缸套内明显产生凸台背脊 (Ridge)。

4. 气缸套测量方向及部位

气缸套由于磨损使其直径逐渐变大，但绝不是正圆有规律的变大，因此以船舷侧 (F-A) 侧及左右舷 (P-S) 侧方向进行测量，其部位则由于不同柴油机位置的高低不同，通常第 1 点多位于燃烧室内，用以判断燃烧室与活塞直接的摩擦磨损，其变化不至太大；第 2、3、4 点分别为第 1、2、3 或 4 道活塞环对应的上止点位置，此点为判断气缸套磨损的主要部位，第 4 点以后由于气缸套磨损逐渐减少仅供参考，另外扫气口上下气缸套磨损供柴油机扫气质量的参考，如图 1-4 所示为某长行程气缸套的测量位置。

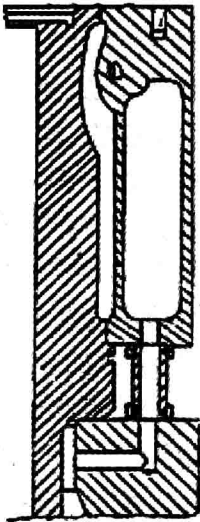


图 1-3 二冲程柴油机气缸套冷却水部放大

- 测量点 1~4：各活塞环在上止点位置
- 测量点 5~6：4~7 之间距离三等分位置
- 测量点 7：缸套上注油孔位置
- 测量点 8~9：7~10 之间距离三等分位置
- 测量点 10：扫气口上缘位置
- 测量点 11：第 4 道环下止点位置

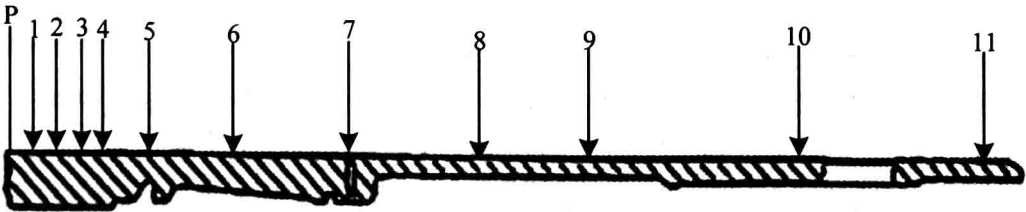


图 1-4 气缸套直径测量位置

(二) 气缸套过度磨损的原因

引起气缸套内表面异常磨损的原因很多，不同种类的气缸套、不同使用条件以及不同影响因素所引起的磨损，在磨损的部位、磨损的方式以及磨损的程度上都有很大的差异。

从传统磨损机理分析，柴油机气缸套磨损的主要形式分为磨粒磨损、黏着磨损、腐蚀磨损、

撞击磨损及复合磨损 5 种, 当柴油机在不同工况下工作时, 不同的磨损形式就会起主导作用。

1. 磨粒磨损

(1) 磨粒磨损成因

磨粒磨损是指气缸套内圆表面被硬质细小颗粒微切削、刮擦作用而破坏的一种磨损形式, 是柴油机气缸套最普遍、最主要的磨损形式, 这些磨粒主要来自空气中的灰尘、燃油和润滑油中的杂质、铁屑和燃烧积炭等硬质颗粒。主要是由于气缸套与活塞环两个接触表面因坚硬的凸起或微粒造成气缸套表面材料的转移或脱落, 实践证实, 引起气缸套磨粒磨损的主要原因是由于气缸内混入微小坚硬固体颗粒物所致。

(2) 磨粒磨损特征

气缸套磨粒磨损的特征是气缸套内圆表面沿活塞运动方向有细微的、长短不一的直线形擦痕, 严重时会出现较深的刮伤、沟槽, 当空气滤清器效果较差或不用滤清器时, 因进气中灰尘较多, 则活塞第一道气环所对应的上止点位置处磨损量最大; 当润滑油中杂质较多时, 则活塞第一道油环所对应的下止点位置处磨损较为严重。一般情况下, 气缸内吸入的空气过脏以及严重积炭造成的磨损, 其磨损最大部位在气缸套的上部; 因润滑油中含有硬质微粒而造成的磨损, 其最大磨损部位在气缸套的中下部 (四冲程柴油机)。

(3) 气缸套磨粒磨损的影响因素

① 磨粒尺寸对磨损的影响

磨粒尺寸大小对磨损量的影响已有了许多研究, 如著名的 M. A. Moore 博士给出量化关系式:

$$V \propto \sigma L n d^2 / H \quad (1-1)$$

式中: V 为磨损体积; σ 为外加应力; L 为磨损行程; n 为磨粒数目; d 为磨粒直径; H 为被磨材料的硬度。

由上式中可以得出: 线磨损值 $WL \propto d^{2/3}$, 这表示磨粒磨损的线磨损量是随着磨粒直径的增加呈 $2/3$ 次指数增加。

在理论上, 对于铸铁材质的材料发生磨粒磨损时, 在磨粒颗粒和材料表面接触时发生两个主要过程:

(a) 形成塑性粹压形沟槽, 不包括材料的直接磨损;

(b) 以一次显微切削的形式产生磨损颗粒而导致磨损, 磨损时产生微切削与槽沟。

由此可知, 当其他条件一定时, 材料磨粒磨损的两个主要过程直接与 σ 、 n 、 d 有关, 而 σ 、 n 一定时, d 就起着决定性作用, 当磨粒粒度小于油膜厚度时, 磨粒浮游于润滑油膜之中, 这时外加负荷由油膜承担, 磨粒不直接承载, 无法导致磨粒磨损; 当磨粒粒度等于或大于油膜厚度时, 则破坏油膜, 直接承载而参与磨粒磨损, 另外当磨粒粒度在 $1 \sim 10 \mu\text{m}$ 时, 由于其大小与正常磨损颗粒大小相当, 因而其磨粒引起异常磨损的作用不太大, 当磨粒在润滑油中的重量百分比浓度一定时, 磨粒粒度越大则其数量越少, 则活塞环、缸套的磨损表面都随磨粒浓度增大, 其磨损沟槽变深变宽, 而其沟槽的数量则相应减少。

②磨粒浓度对磨损性能的影响

由式(1-1)可以得出 $WL \propto n^{1/3}$ ，因此，当磨粒浓度增加时，其磨损表面的沟槽也相应增加，其表面变得逐渐平滑。

当浓度增大到一定程度后，磨损增加的速率就会趋于缓慢，这是因为当磨粒浓度增大到一定程度之后，直接与磨损表面接触的磨粒数就趋于一定值，故磨损增加速率就会缓慢下来。

2. 黏着磨损

(1) 黏着磨损成因

气缸套内圆表面与活塞环是在高温、高压条件下工作的，对于柴油机而言，作用在第一道活塞环上的压力高达15~20 MPa，作用在第二道活塞环上的压力为4~6 MPa，高温使润滑油黏度降低甚至烧焦，高压使油膜不易形成；同时气缸套和活塞环二者之间的相对运动速度变化很大(0~30 m/s)，该处润滑油膜易于破裂。柴油机工作时，如果活塞环与缸壁间不能得到可靠的润滑，则会发生局部的干摩擦，形成金属间熔合黏着、软化，在气缸表面形成粗糙的划痕、拉痕和金属剥离现象；另外，在柴油机大修时，可能会因所更换的气缸套和活塞的膨胀系数不同，而造成黏着磨损。一般来说，黏着磨损的速度很快，严重时还会发生黏着、拉缸等事故，所以黏着磨损是缸套最危险的破坏形式。

(2) 黏着磨损特征

黏着磨损一般在气缸套上部靠近第一道活塞环对应的上止点位置处较为严重，如有局部金属黏着现象，可以观察到带有不规则边缘的沟痕、皱折以及擦痕和锥形凹坑等。当发生拉缸时，在缸壁上可看到活塞环黏着的痕迹和沿长度方向较深的擦伤，严重时整个表面布满黏着的黏着痕迹。

(3) 黏着磨损的影响因素

- 由于气缸套材质不佳或壁厚不匀以及气缸盖螺栓预紧力不均匀；
- 燃料质量差，使燃烧室积炭严重；
- 磨合期负荷变化过大及过快、高速运转以及温度过高；
- 润滑油选用不当或油量供应不足；
- 柴油机经常突然的加速或超负荷运转。

3. 腐蚀磨损

(1) 腐蚀磨损成因

腐蚀磨损是腐蚀和磨损同时起作用的一种磨损形式，气缸内燃料燃烧时会产生酸性气体，它们与水蒸气化合生成硫酸，其中一部分凝附在气缸壁上，发生化学反应形成腐蚀产物，这些金属腐蚀物在活塞及活塞环往复运动时被剥离，暴露出的金属又重新被腐蚀，如此循环往复，加速了气缸套的磨损过程，柴油机工作时气缸工作温度过高或过低、使用的燃油含硫量过大、润滑油中残留的有害化学物质以及被水或废气侵蚀等因素是引起气缸套腐蚀磨损的主要原因；据数据显示，腐蚀磨损约占气缸总磨损量的40%；经验显示，冷车起动频繁以及使用燃油含硫量过高，气缸套磨损较严重，气缸壁因此受到强烈的酸蚀，磨损量比正常磨损大2~3倍，同时腐蚀的金属物在气缸的中又造成严重的磨粒磨损；另外柴油机经常在低温状态下运转时的磨损也较严重，特别是气缸壁温度低于酸露点时，气缸壁下部会残留大量的酸性化学腐蚀物，再加之废气腐蚀等因素的作用，使气缸套磨损严重。

(2) 腐蚀磨损特征

一般腐蚀磨损发生在活塞环运动区域内,而且在气缸套上部尤为严重,内表面上有较疏松的细小蚀孔,有的可以观察到类似裂纹的线条,特别是在磨光后更为明显。

4. 撞击磨损

(1) 撞击磨损成因

随着现代柴油机的发展,由于性能参数的不断提高,逐步增大的行程缸径比,或改变活塞结构,在此类柴油机气缸套中,会出现一类新的异常磨损现象,它并不同于气缸套早期磨损,而在正常磨损后期,会突然形成较大速度的磨损,这就是所谓的撞击磨损。它的主要形成原因是活塞环在其导角和表面正常情况下边缘出现锐角,因为只要这种锐角一形成,它就可以轻而易举地铲除缸壁的油膜,使任何黏度再高、化学性能再好的润滑油都无济于事,活塞环在其导角和表面正常而边缘出现锐角是由于活塞组与气缸壁在柴油机运行过程中不断撞击,使活塞环表面材料承受过大的应力而发生变形所致。这种磨损类型在十字头式柴油机中较易出现,这种撞击是由于十字头的摇摆所引起的,在行程缸径比较大的柴油机中,这种撞击力随着活塞组件距十字头中心距的加大而迅速增大,因此,对活塞环与气缸壁形成的撞击力也尤为突出,活塞组与气缸壁的撞击是在柴油机开始运行时就出现的,但由于新气缸套内圆表面有规则的波纹沟槽(珩磨或波纹切削工艺)存在,缸壁油膜能正常保持,加之运行初期活塞组件清洁,活塞环在环槽内处于悬浮状态,此时撞击的接触面在活塞裙的减磨环(Anti-wear ring)上,所以活塞环不会出现锐角,但在气缸套磨损一定量后,缸壁波纹槽变浅甚至消失从而使油膜变薄,同时活塞组件经长时间运行,环槽积炭严重,活塞环突出活塞头外圆,在这种情况下,撞击力则是由活塞环来承受,由于活塞环的面积较减磨环小,故其应力成倍增加,油膜因无法承受这样大的应力而遭到破坏,致使活塞环的边缘逐渐形成锐角,当这种锐角一出现,缸壁油膜就轻而易举被铲除,造成活塞环与气缸壁直接接触而产生黏着磨损,只要黏着磨损一出现,活塞环和气缸套表面立即遭受破坏,活塞环和缸套油槽边缘的导角迅速消失而变为锐角;其次,当气缸套磨损后期,波纹沟槽近于平坦,致使这些带锐边的活塞环与缸套油槽边缘在柴油机运行过程中更容易互相碰撞,更容易发生各自边缘剥落,继而又形成磨粒磨损;同时,活塞环与气缸壁由于经过长期的高频撞击,其表面因疲劳而变硬变脆,剥落下来的金属粒子硬度极高,使得任何合金铸铁,不管采用何种浇铸工艺和加工方法,都将无法承受这种高硬度粒子的摩擦,由于柴油机不断运行、不断撞击、不断剥落造成恶性循环,使气缸套的磨损迅速发展,甚至会在200~300 h内达到破坏的程度,虽然油槽附近的润滑油量最多,润滑条件最好,但因该处的磨粒最多,所以位于油槽处的磨损量反而最大;另外,由于气缸套磨损是在供油正常、润滑油性质未经破坏的情况下发生的,所以损坏后的气缸套表面发白、清洁、湿润、光滑,没有明显拉痕。

(2) 撞击磨损特征

此类磨损在大行程缸径比柴油机中出现明显,大行程缸径比设计多使用在中、低速大功率柴油机中,如船舶主柴油机等。在气缸套正常使用后期,气缸套磨损突然加剧,经过拆开检查,此时缸套磨损率增大至0.04~0.06 mm/kh,气缸套表面仍然清洁正常,只是加工的波纹沟槽变浅,下几道活塞环在其导角和表面正常的情况下局部边缘出现锐角,如果用油石将这些锐角去除再装机使用后拆开,锐角仍会产生,相对于活塞环出现锐角处的气缸套表面也相应出现润滑油槽口深

度改变,从特征上判断,此处已形成干摩擦造成的黏着磨损,在正常磨损条件下,磨损率为 $0.03 \sim 0.05 \text{ mm/kh}$,而当处于撞击磨损占主导地位时,磨损率会突变上升至 0.1 mm/kh 以上。

5. 复合磨损

气缸套内圆表面同时存在上述两种或两种以上的磨损形式时称为复合磨损,复合磨损时,由于几种磨损形式相互促进的结果,其磨损速度远远大于单一形式的磨损,故应绝对避免。一般在灰尘较多的场合运转时,在过滤效果较差的状况下,会以磨粒磨损为主;在柴油机磨合质量差,润滑油品质低劣或变质,柴油机活塞缸套窜气、过热等状况下,易发生黏着磨损;使用低质或含硫量大的燃油,以及长期在低温下工作的柴油机中,腐蚀磨损可能起主导作用;在行程缸径比较大的柴油机中,又往往会以撞击磨损破坏较为突出。经验显示,由于一些不正常原因还会引起缸套内圆表面异常偏磨,例如,由于曲轴弯曲、连杆弯曲、气缸套中心线与曲轴中心线不垂直及推力轴承磨损,以及活塞销孔与裙部不垂直等,均会造成缸壁沿曲轴中心线方向磨损较大;气缸套安装不当时,亦会引起缸壁在相应方向上的偏磨。

6. 静态摩擦

当活塞运行至上止点瞬间,暂呈静止状态。此一瞬间由于活塞环的张力及燃气在活塞环背面所加压力,具有将存在于活塞环与缸壁间的油膜挤出的趋势,因而呈现暂时的金属接触,此种摩擦在下止点时极小,但在上止点时,因该处燃气压力特强,而润滑又极为困难,因而显得格外突出。

(三) 气缸套过度磨损的特征

柴油机气缸套的磨损是一种不可避免的损耗,但要是使用管理得当,则可使用 $7 \sim 8$ 年或更久;若使用管理不当,则可能仅有 $2 \sim 3$ 年的寿命。由于气缸套的制造费用昂贵,再加上更换时费时费工,故气缸套换新是柴油机维护费用中一项昂贵的工作之一。尤其近年采用大功率柴油机,并使用价廉的劣质重油,更加速气缸套的磨损,因此如何控制气缸套的不正常磨损是一极为重要的课题。虽各柴油机厂家及备件供货商对此问题不断投入巨大的人力、财力,以期将气缸套的磨损减少至最小,诸如改善设计,提高气缸及活塞环的材质或改进重油添加剂及燃油的各种处理装置,发展高碱性的气缸油等,但控制缸套磨损最有效的方法仍有赖于轮机员正确操作及维持正常运转参数的维修保养观念,并实际按保养计划去实施保养工作。因此有必要对此问题加以充分的了解,以使缸套获得尽可能长的使用寿命。

气缸套过度磨损达临界值时,则会引起下列现象:

- (1) 压缩压力降低;
- (2) 在低负荷运转时,转速波动较大;
- (3) 爆发压力降低,转速及功率亦随之而降;
- (4) 空气供应不足产生不完全燃烧后燃加重,造成排气温度升高并冒黑烟;
- (5) 起动性能变差,尤其在冷机时起动更显著,起动空气耗量多;
- (6) 恶劣情况下产生活塞窜气,使活塞下部空间及扫气孔的油泥增加。在筒状活塞式柴油机中,将加速滑油的污染;
- (7) 容易使活塞环黏着或折断,减短其使用寿命;
- (8) 缸套内壁有上、下纵向的烧损痕迹;

(9) 为维持与原新机时相同的转速, 则耗油量必然增加。

(四) 防止气缸套过度磨损的措施

针对磨粒磨损、黏着磨损、腐蚀磨损、撞击磨损及复合磨损, 其预防措施分述如下:

1. 减少磨粒磨损的措施

为避免气缸套的磨粒磨损, 在柴油机管理中应采取以下措施:

(1) 应该保证进气洁净, 重视空气滤清器的检查保养, 特别是在灰尘较多的场所工作时, 更应及时维护保养;

(2) 保证进入缸壁内的润滑油洁净, 对于十字头式柴油机采用与燃油匹配的高质量、合适碱度的气缸油, 气缸油性能指标应满足柴油机厂家要求, 并对进入气缸的润滑油进行适当过滤; 对于采用飞溅润滑的筒状活塞式柴油机, 柴油机运行中, 滑油分油机高效运转, 确保滤器(绝大多数为自动反冲滤器)效果并做到及时保养, 注意保持润滑油的数量和质量, 定期进行油品化验, 按时更换润滑油, 禁止柴油机长期超负荷、低负荷及超高速运转;

(3) 供给质高、洁净的燃油, 最大限度提高燃油分油机分离效果, 选用合适的燃油细滤器。现代船舶柴油机燃油系统均采用自动反冲洗滤器, 且过滤精度均高于系统滑油, 防止精密偶件的磨损;

(4) 在柴油机吊缸时注意现场的清洁, 避免铁屑和灰尘等杂质进入套内; 更换缸套时, 应将备用缸套彻底清洁。

2. 防止黏着磨损的措施

润滑油膜遭破坏、润滑失效是黏着磨损的根本原因, 对于新装或大修后的柴油机, 应该在按照试运转规程进行磨合运转后方可正式投入使用。实践证明, 磨合不良或不磨合是发生拉缸等破坏性事故的主要原因, 应禁止长期超负荷运转或超速运转; 正确选用润滑油, 经常检查润滑油质量, 重视对冷却器的维护保养和对喷油泵的检查调整, 保证活塞环搭口间隙及活塞与缸套之间的配合间隙。此外, 控制燃油品质、加强燃烧管理和定期吊缸也是预防柴油机气缸套发生黏着磨损的重要措施。

3. 避免腐蚀磨损的措施

腐蚀介质的存在是产生腐蚀磨损的根源。对于船舶用低质燃油 IFO700、IFO380、IFO180, 其含硫量有的高达 3%~5%; 轮机员必须发挥其专业能力, 尽量避免不必要的腐蚀发生。为此, 首先应避免低温下频繁起动机, 禁止柴油机长时间在低温下运转, 因为柴油机在正常工作负荷时的冷却水温度为 85℃左右, 这时绝大部分酸性物质随废气排出, 不会形成腐蚀磨损; 其次应正确选用和燃油匹配的碱性润滑油, 防止它们变质及露点的形成。

4. 减少撞击磨损的措施

为避免柴油机气缸套的撞击磨损, 应采取以下的预防措施:

(1) 柴油机设计中必须进行活塞组件对十字头中心的质量惯矩的核算, 合理调整活塞组件的结构, 尽量降低活塞组件在运行过程中对气缸壁的撞击力;

(2) 适当调整活塞组件各部分的径向尺寸和减磨环在活塞裙上的轴向位置, 以求活塞组件在

气缸内摇摆时，即使在活塞环槽严重积炭的情况下，也能使撞击面发生在减磨环上；

(3) 改进缸套布油槽结构形式，减少折角、增大边缘倒角。这种油槽在柴油机运行过程中不仅能使活塞环与油槽边缘不易发生碰撞和剥落，而且对活塞环的工作面形成鼓形和抑制活塞环边缘出现锐角也有利。

5. 减少复合磨损

实践证明，设计合理使用维护正确、技术保养及时、柴油机技术状态良好及工作正常时，缸套内圆表面磨损缓慢，属正常磨损；而上述磨粒磨损、黏着磨损、腐蚀磨损及复合磨损则均属非正常磨损，当出现非正常磨损时，应根据具体状况及磨损特征找出原因，予以排除。

6. 应采取的综合措施

(1) 强化性能参数的重要性，维持柴油机正常特性。

(2) 提高气缸套冷却水温度，使气缸壁温度超过硫化物相对的露点，以免发生硫酸腐蚀。有些现代柴油机生产厂家在设计上进一步提高冷却水温度和气缸工作温度，以至于在燃油含硫量变化时，不需调整气缸油碱值；

(3) 将气缸套材料由普通高磷铸铁改为含多种合金元素的合金铸铁，如铬钼钢铸铁、镍铬钼钢铸铁等，采用金属模离心浇铸取代传统的砂型浇铸，使铸件硬质相和延伸率达到理想的组合，改善石墨形态，以提高材料的金相结构、机械强度和耐磨性；

(4) 对气缸套和活塞环的表面采用特殊加工，以免两者表面的硬相遭受破坏。有效地改善波纹沟槽质量，提高沟槽的石墨裸露率，减少内壁的金属折皱；

(5) 对气缸套工作面进行强化处理，如激光淬火、等温淬火、多元共渗等离子淬火及磷化氧化等，以提高表面强度硬度，从而提高其耐磨性；

(6) 将气缸套润滑油的黏度等级由 SAE50 提高到 SAE70，以提高缸壁油膜强度；

(7) 改变气缸套润滑油槽的位置和形状，采用多级润滑的方式，以提高油膜厚度和改善缸壁润滑油的分布。

(8) 采用电子气缸油注油器，使注油量和注油时刻更加合理，保证在各种工况下都能得到有效的气缸润滑。

此外，还应从柴油机的安装和管理上提出各种严格的要求。

7. 防止气缸套静态磨损

(1) 选用黏度指数较高的气缸油，使其到达上止点时不会因为温度高而变得稀薄，即使在承受相当压力下仍会保持较完整的油膜。

(2) 改善气缸的注油孔并使其位置略为提高，使气缸油能平均分布到缸壁的每一部分，此点在超大型、长行程的柴油机中尤为重要。例如，B & W L90GFC 柴油机将注油孔提高后，磨损减少的成果，如图 1-6 所示。

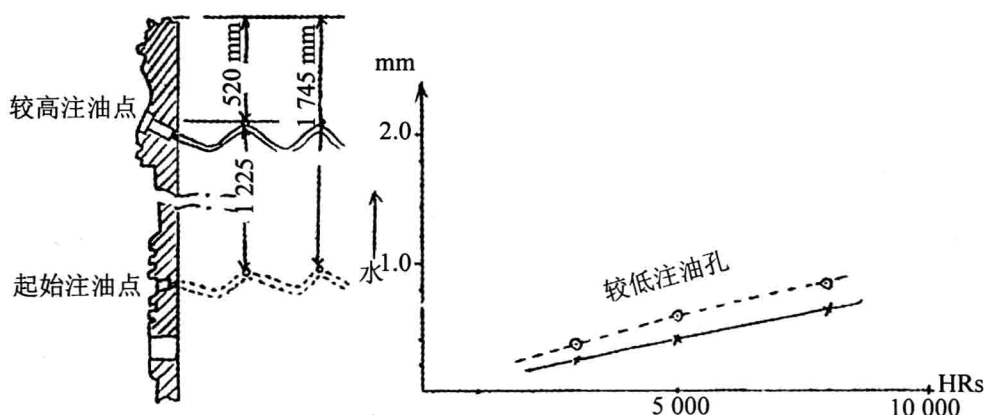


图 1-6 将注油孔提高后 B & WL90GFC 磨损减少比较

(五) 气缸套过度磨损的防止对策 (防止缸套过渡磨损的管理注意事项)

- (1) 定期打开气缸的扫气室或检查口, 检查气缸套、活塞和活塞环的状态;
- (2) 定期测量柴油机运行参数, 如爆发压力、压缩压力及排气温度等, 防止单缸超负荷;
- (3) 尽量避免柴油机长期低负荷运转;
- (4) 定期进行喷油系统包括喷油泵、喷油阀试压或雾化检查;
- (5) 根据气缸工作条件的变化, 合理调整气缸注油量;
- (6) 根据燃油的质量, 合理选择气缸油碱值; 加燃料油时, 应及时采样, 并定期送岸进行化验, 如果燃油质量变化太大, (与正在使用的燃料油相比) 应及时采取必要的预防措施;
- (7) 注意燃油的净化处理, 保持燃油分机有效运行;
- (8) 吊缸时, 检查气缸注油孔和布油槽, 并进行手动注油检查;
- (9) 加强气缸冷却水的化验和处理, 防止气缸套钻孔冷却孔结垢或堵塞;
- (10) 定期清理扫气空间的污垢和及时更换增压器空气进口滤网;
- (11) 注意扫气空气凝水排泄 (柴油机运行中), 当完车时, 应打开各缸扫气空气泄放阀;
- (12) 注意调整气缸冷却水温度。

由 The Motor Ship 公布的实际案例显示, 对不同机型的柴油机, 有如下降低缸套磨损的处理方式:

(1) 对过度局部磨损 (拉缸) 的冷疗。过度局部磨损 (拉缸) 现象是始于某一较小区域中润滑油膜短时间的遭到破坏, 导致局部过热并形成一种“凸出”, 当活塞环经过这一凸起部位时接触应力增大, 导致磨损加快并产生更多的热量, 使凸出增高并进一步增大接触应力, 这种状况可能导致在凸起的最高点处出现熔焊现象, 结果造成磨损。由于油膜已经遭到破坏, 因此, 此时若采取加大润滑油供油率的措施也将无济于事, 而加强柴油机的散热, 降低缸壁温度则被认为是解决这一问题的更为合理的方法。如某 Sulzer RLB90 柴油机, 其气缸套偶尔会发生过度局部磨损 (拉缸) 现象 (经确定是由燃油引起的), 当过度局部磨损 (拉缸) 情况出现时, 轮机员即将冷却水出口温度降到 75°C , 拉缸情况几乎会立即减缓并随之消失。

(2) 冷腐蚀的热疗。某油船 RTA84T 柴油机接船后发现其气缸套磨损率非常高, 跟踪查明

其原因在于酸性腐蚀。为了消除这种情况,对气缸套下部进行了隔热,以提高缸套温度。初期缸套下部用水冷却,其磨损率曾高达 0.7 mm/kh 。对缸套下部进行隔热(虽然仍保留了用水冷却)使行程中段区域温度得以提高,结果磨损率降低到 0.3 mm/kh 以下。最后作出的修改中,生产厂家的设计人员已将气缸套下部的冷却水去掉,这种做法进一步减小了腐蚀性磨蚀。

(六) 气缸套过度磨损的案例

【案例1】Sulzer RND68 型主机由于气缸注油器脏堵造成气缸磨损

在吊缸时发现3、5缸的气缸套和活塞环过度磨损严重,气缸套的磨损率达 2.1 mm/kh ,气缸套和活塞有轻微的纵向拉痕,经检查发现3、5缸的部分气缸注油孔处有微小的裂纹,部分注油器的背部螺栓有松动现象,将松动的注油器分解检查,发现注油器的止回阀积炭堵塞而失效,使燃气倒流进入薄膜片和蓄压器活塞,造成注油器孔道堵塞和气缸注油孔产生裂纹,由于气缸注油孔堵塞,造成了气缸套和活塞环的过度磨损。

【案例2】Sulzer RND68 型主机由于过量气缸油造成气缸积炭严重而磨损

该船自从接船后就一直存在气缸套磨损率大,活塞环槽积炭严重的现象,为此轮机员采取了很多措施,仔细检查了气缸注油器,缩短喷油阀雾化质量检查的周期,加强增压系统的管理等,缸套过度磨损问题虽然有一定程度的缓解,但没有得到根本性的解决。后来认为可能是燃油和气缸油质量的问题,公司甚至将 IFO 380 的燃油改用为 IFO 180 的燃油,缸套过度磨损的问题仍然没有解决,浪费了大量的时间、人力和物力。造成气缸套过度磨损的真正原因是主机气缸油注油量过大,由于气缸注油量过大,部分气缸油燃烧使活塞环槽严重积炭,硬质颗粒增多并加速环槽和缸套的磨损,活塞环槽积炭和磨损又会造成活塞环密封性下降和气缸润滑条件变差,如此恶性循环造成缸套和活塞环的过度磨损。

【案例3】主机燃油系统进入铝矿粉造成缸套、活塞环异常磨损

某散货船在一港完货起航。次日海况恶劣风浪大、船舶左右摇摆、上下颠簸。上午轮机长对主机做了适当减速;下午主机出现各缸排烟温度高,转速下降、冒黑烟和扫气箱多次着火等险象,换用轻油后也没有效果,主机还出现转速大幅度波动和爆燃现象。因前面海况恶劣不能停车检查,经请示公司同意返回出发港检查修理。抵港后轮机部对主机6只缸做了吊缸检查,发现气缸套内较脏,有的缸活塞环断裂和咬死,缸套异常磨损,扫气箱脏污严重,排泄管堵死。对燃油系统进行拆检发现燃油供给管中、分油机内沉积很多铝矿粉,打开燃油沉淀柜、日用柜道门检查内部,油污(铝矿粉)很厚,燃油驳运系统中也沉积很多铝矿粉。船上奋力抢修了一个多星期的时间,再加装新的燃油后,才恢复了航行能力。

事故原因:

(1) 燃油舱的透气管是沿着货舱壁向上穿过货舱顶板至甲板的,而货舱中的铝矿粉就是从油舱透气管上的烂穿处进入了燃油舱。

(2) 在大风浪中随着船舶颠簸翻滚上来铝矿粉,沿着驳运系统进入沉淀柜,分油机无法完全分离,一部分就被供油系统喷入气缸。

(3) 燃油系统进入铝矿粉引起油嘴雾化不良、燃烧不良,破坏了气缸润滑,铝矿粉起到了磨粒的作用,加剧了活塞环和缸套的不正常磨损,使活塞环咬死、断裂,再导致进一步的燃烧恶化,这样的恶性循环致使主机压缩压力降低,有的缸不能发火,有的缸爆燃进而造成转速下降和大波

动等一系列难以维持正常运转的险象。

事故教训:

(1) 要切实加强对经过货舱(尤其是散货舱)的各透气管、测量管的检查、保养,发现损坏要及时修理。

(2) 要严格按照船舶燃油管理的各项规定,做好对燃油的管理工作。如定期对油柜、各过滤器和分油机进行解体清洁检查,发现垃圾、油污过多要及时查明原因、消除各种隐患,确保主机在海况恶劣环境中的安全运转。

二、气缸套的裂纹 (Crack in cylinder liner)

依据国际内燃机会议 (Congress International Machinery and Combustion, CIMAC) 于 2000 年 6 月号 (Jun/2k)《内燃机船》发表的报告关于柴油机的问题一文中,该数据库详细收录的 225 台的某品牌低速柴油机,其中三分之二的柴油机出现了问题,约 20% 为缸套裂纹,缸套状况不佳占 14%。

船舶超长行程柴油主机为各制造厂家近 20 多年来发展的趋势,以其结构与柴油机产生之功率输出相比较,实际上有许多的故障实例及发生频率为以往机型所未见,在此阶段机型改进进度颇为可观,成就更为惊人。自 1975 至 2003 年 20 多年间,几乎每年都有新机型在开发中,其燃料消耗率已由 210 g/kW·h 下降到 163 g/kW·h,热效率则自 41% 提升至 50%~52%,气缸平均有效压力也自 1.1 MPa 提升至 1.8 MPa 或更高,气缸内爆发压力的增加由 8.5 MPa 上升到 12.5~14 MPa,其缸套所承受的热应力及机械应力变化颇大,而观其气缸及热部件的设计,虽然制造厂有其使用安全系数考虑值的设计,因而新船时使用问题不大,但其长时期的延续耐用度,也就是为何近年来事故不断地升高的原因。

(一) 气缸套裂纹的原因

1. 气缸套内圆表面热裂纹

气缸负荷增加,其原因为:

(1) 燃油阀或燃油泵故障;(2) 该裂纹气缸燃油阀喷孔变大;(3) 燃油阀喷射不当;(4) 活塞环密封不良。

各气缸负荷增加,其原因为:

(1) 排气背压上升;(2) 使用燃油不当及燃油处理不当;(3) 增压器及空气冷却器脏污;(4) 柴油机超负荷运转。

2. 活塞环与缸套不能有效密封产生燃气窜气而造成裂纹

(1) 压缩压力及爆发压力差异过大;(2) 活塞环黏着、断裂及过度磨损;(3) 活塞环槽的烧蚀、磨损及变形;(4) 气缸套的过度磨损;(5) 气缸套的润滑不良。

以上各种情况一般由于以下缺陷造成:

(1) 燃油燃烧不良;(2) 气缸套的注油润滑不足;(3) 气缸套的注油润滑时间不对、注油润滑质量不良;(4) 气缸套的注油润滑与燃油配合不合适。

3. 气缸套冷却水侧表面裂纹

气缸套冷却水侧表面裂纹是由于应力集中造成,是气缸内最大爆发压力引起的周期性脉动应