

系统与附件

# 燃用重油的大功率柴油机滑油净化分析及系统优化

王海洋

(昆山调峰电力有限公司, 江苏 昆山 215300)

**摘要:** 分析了燃用重油造成滑油污染的相关因素、特征及后果。介绍了燃重油柴油机对滑油特性指标要求。针对滑油净化处理装置的使用现状, 提出了滑油净化系统优化设计方案, 应用表明: 优化后的机组滑油污染指标大大降低, 有效解决燃用重油造成的滑油污染问题。

**关键词:** 大功率柴油机; 重油; 滑油; 污染; 净化

**中图分类号:** TK424.1<sup>+</sup>4    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1001-4357(2013)04-0022-04

## HFO Large Power Diesel Engine's Lube Oil Purification Analysis and System Optimization

Wang Haiyang

(Kunshan Tiaofeng Electric Power Co., Ltd., Jiangsu Kunshan 215300)

**Abstract:** The reasons of lube oil pollution caused by HFO combustion are analyzed together with its features and results. The requirements of characteristic indexes to satisfy HFO diesel engine are introduced. Based on the application status of lube oil purifying system, the optimization programme is given. The implementation results show that the optimized system enjoys much lower pollution index, and the problem of lube oil pollution has been effectively solved.

**Keywords:** large power diesel engine; HFO; lube oil; pollution; purification

## 0 引言

柴油机经过百年的发展, 其性能已不断完善。为降低运行成本, 二十世纪七十年代起, 大功率二冲程低速机、四冲程中速机均燃用重油, 如 MAN16/24 发动机、1 200 ( $r \cdot \min^{-1}$ )、单缸功率 100 kW, 也可燃用 700 cSt/50 °C 重油长期商业运行。重油经沉淀, 分油机净化, 加热自动控制黏度, 气化稳压控制, 精滤后能满足柴油机运行; 但燃用重油的柴油机滑油系统必须有效地净化滑油, 才能保证摩擦副运动件安全运行。

## 1 燃用重油产生的滑油污染

重油的主要指标黏度值、残碳值、沥青质含量、含硫量都很高, 因此会从以下几方面对滑油造

成污染:

- (1) 黏度高造成雾化不良, 不完全燃烧产物进入曲轴箱与滑油产生高温不相容反应, 生成油泥;
- (2) 柴油机部分负荷及低负荷运行时, 增压器供气不足使残碳加剧形成烟炱沉淀物和不完全燃烧残余物;
- (3) 重油中的沥青质不能完全燃烧, 并使燃烧恶化、气缸严重积炭、增加曲轴箱淤渣;
- (4) 柴油机冷态起动升荷过程中, 由于缸盖、缸套、活塞顶表面温度偏低, 重油中的硫分会生成氧化硫, 氧化硫与水结合生成硫酸落入曲轴箱, 引起滑油变质。

## 2 滑油污染部位及后果

燃用重油产生的污染沉积物在柴油机内及滑油

收稿日期: 2013-01-15

作者简介: 王海洋(1954-), 男, 工程师, 主要研究方向为柴油机运行及系统故障分析, E-mail: w. hy1969@live. cn。

系统中相当直观；当使用低性能润滑油时，其积炭、烟炱、垢漆膜的特征更加明显。

### 2.1 柴油机部件的污染及后果

柴油机活塞顶岸处、活塞环槽、气缸套上止点区、排气阀阀杆、气阀导套内孔、喷油嘴头部、曲轴箱内壁是主要污染部位，活塞环环槽与排气阀导套内孔处的污染沉积物是硬质的，会加剧柴油机气缸套—活塞组件、排气阀阀杆—气阀导套组件的运动磨损，降低组件的正常使用寿命，增加柴油机运行故障风险。

### 2.2 滑油系统设备的污染及后果

污染常见于滑油分油机分离片表面、分离筒上盖内表面，板式冷却器滑油侧表面，滑油自动反冲过滤器烛式滤芯表面。分油机分离片上的污染沉积物降低了分油机的分离量，致使净油通道越来越窄，不但滑油净化功能下降，还会频出排渣跑油事故；滑油冷却器油侧表面的沉积物使热阻增大而冷却效果下降，进机滑油温度过高将迫使柴油机降荷运行，除非增加冷却器清洗频次，否则柴油机不能长期安全运行；滑油自动过滤器滤芯表面的沉积物使滤器反冲次数大增，烛式滤芯很快会出现爆口破坏，杂质经破口进入曲轴油道威胁柴油机主轴承轴瓦。

综上所述，如何有效地清除柴油机及系统设备内的滑油污染沉积物，已成为当代船用柴油机滑油系统的重要评价指标。

## 3 燃重油柴油机滑油特性要求

### 3.1 抗氧化性

抗氧化能力强，即使在高温下也很稳定，不发生氧化变质，就不产生油泥。

### 3.2 分散性与清净性

通常在滑油中加入水杨酸盐或酚盐等添加剂，清理污染物，添加剂使滑油具有分散性与清净性的重要特性，良好的分散性可使污染物处于悬浮状态，并防止柴油机相对冷的部件（曲轴、凸轮轴、摇臂组件）上聚积不溶性产物和烟炱。清净性是使柴油机的热部件如活塞环及活塞环槽、排气阀及排气阀导套保持清洁；控制高温积炭，减少气缸套、气阀导杆的附加磨损。目前，品牌滑油供应商会通过定期取样化验，对客户现用滑油污染度、分散度指标进行定量分析评价并给出指导性建议。

### 3.3 酸性中和及碱性保持

滑油必须具有较高的碱性贮备（总碱值 TBN），方能中和重油硫分燃烧后产生的腐蚀性燃烧酸，中和速度要快，旨在阻断腐蚀磨损。

良好的碱性保持能力可延长换油期，目前，大功率柴油机一般燃用含硫 2% ~ 3% 的重油，柴油机运行时总碱值达 40TBN 的新滑油一直通过气缸套注油孔注入滑油系统。选用好的品牌滑油，其 TBN 值可长期维持在 20 以上，几乎可不换油。

### 3.4 抗磨性

必须具有极压性和抗磨性，油膜承载能力强，可减少活塞环与气缸套、曲轴主轴颈与轴瓦之间的粘附磨损、冲击磨损。

### 3.5 过滤性

完全适用全自动反冲洗过滤器滤芯。

### 3.6 分水性、分离性

容易与水分离而不发生乳化，不会造成添加剂损失，通过分油机离心分离可连续清除水与污染物。

目前，一些知名品牌滑油基本能达到润滑部件、中和硫分、维持碱值的能力。但用户更看重滑油的清净、分散能力。特性优良的滑油能将机件上的炭分、油垢等污染沉积物冲洗出来并悬浮在滑油中，使污染物随滑油通过自动过滤器阻挡并反冲，最终由滑油分油机将其彻底清除（自动反冲过滤器、滑油分油机出现故障，柴油机不能安全运行）。

净化可保证运行安全，也延长滑油与柴油机部件使用寿命，降低运行维修成本，但能否有效、彻底地清除滑油中的污染物，则取决于滑油净化系统的合理设计与布置。

## 4 滑油净化系统优化设计

二十世纪九十年代我国曾经进口数百台中速大功率（5 000 ~ 15 000 kW）柴油发电机组，以重油模式投入商业运行，在运行中发现柴油机主机与滑油自动反冲滤器、滑油分油机等在系统布置、接口定位上不尽合理，下以船业柴油机滑油系统配置最多的德国 BOLL&KIRCH 波尔公司 TYP6. 61 型自动反冲滤器系列产品进行对比。

### 4.1 TYP 6. 61 系统（见图 1）

TYP6. 61 系统配置反冲污油收集罐，位置要高于滑油循环柜，收集罐过小，反冲频繁时，污渣来不及沉淀，就溢回滑油柜，造成反冲滤器工作失效；收集罐过大，要增大滑油循环量，结果均增加运行成本，不利系统运行安全。

### 4.2 TYP6. 61. 07 系统（见图 2）

TYP6. 61. 07 系统没有污油收集罐，但在滤器排污口配置滑油再生器，经过再生器内一次性滤芯的过滤，干净滑油流回滑油循环柜，油渣污物受阻附在滤芯表面上，滤芯的脏污程度靠压差计监视，

如压差达 0.3 MPa, 必须马上更换滤芯, 配置再生器同样存在两点不足:

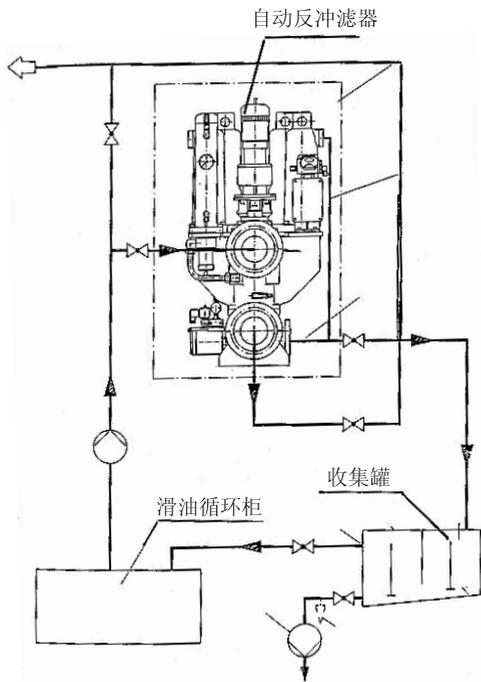


图 1 TYP6.61 系统

(1) 达到 0.3 MPa 压差不及时更换滤芯, 自动滤器会因反冲背压过高而无法正常工作, 进机滑油压力将低于正常值, 压力保护开关动作, 柴油机自动停机, 安全风险大。

(2) 再生器滤芯是一次性使用产品, 不能清洗回用, 且价格昂贵, 全年正常运行机组, 随着重油污染加剧, 滑油质量下降, 一年要消耗滤芯 50 只, 进口滤芯费用达 5 万左右, 运行成本高。

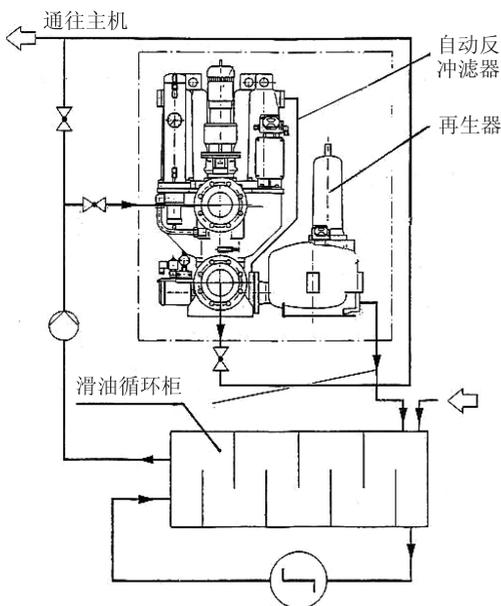


图 2 TYP6.61.07 系统

### 4.3 系统接口布置失效致使低效高成本运行

此类情况在二十世纪九十年代投入运行的进口中速大功率(大于 5 000 kW)重油发电机组中并不少见, 主机商忽略系统接口布置, 滑油污染物经自动滤器反冲返回滑油循环柜后, 不能被分油机有效捕捉排出系统, 反而重新加入循环, 自动滤器超负荷运行, 每小时反冲数达 20 次以上(正常 2~3 次/h), 常发生油压突降至主机停机; 烛式滤芯大量开裂破损(每台滤器 114 根, 进口 500 元/根), 更换费用高, 严重时要更换滑油(成本 25 万元), 滑油分油机没有发挥分杂功能、只是分水机, 必然运行成本高, 安全度低。

### 4.4 系统优化设计

- (1) 取消 TYP6.61 型系统中的收集罐;
- (2) 取消 TYP6.61.07 型系统中的滑油再生器;
- (3) 滑油柜特殊设计及接口布置。

对滑油系统净化处理功能来说, 滑油柜结构设计及管系接口布置至关重要。分油机的吸管必须布置在柜的最低位, 因为低位靠飞轮端, 预先考虑柜不是平底而是斜底, 分油机吸管管径选择保证流速大于  $0.5(m \cdot s^{-1})$ , 这样可吸入与水质量相近的其他杂质。

滑油自清滤器的反冲污油量大, 直接排掉太浪费, 如不及时处理直接排入滑油柜循环油, 必然产生重复污染, 危及柴油机, 为此建议在原滑油柜中附加一个小的反冲污油泄放柜, 反冲污油导入该附加柜, 滑油分油机自此柜吸污油进行有效分离后, 净油可返回滑油柜循环油中安全续用。总体结构在图 3 示出; 滑油柜中的附加泄放柜布置有两个方案, 图 4 是另一方案。

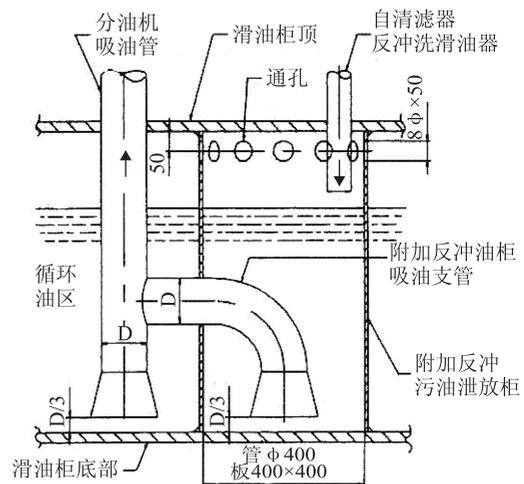


图 3 标准型反冲污油泄放柜结构图

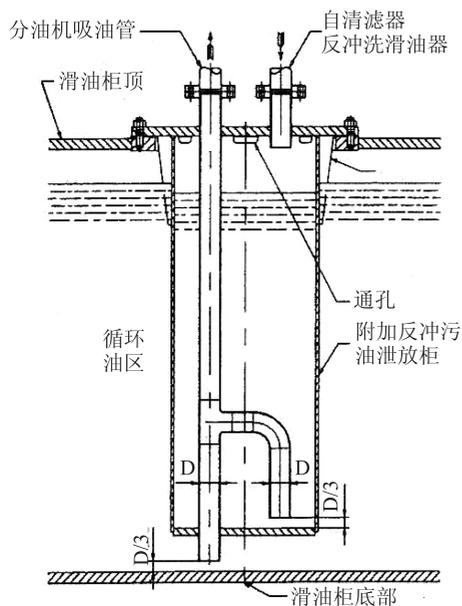


图4 特殊设计反冲污油泄放柜结构图

这种特殊的吸油布置，为分油机与滑油柜及附加柜组成两个连接，也保证两柜油位一致，油位一致是因为穿入反冲油附加柜的支管与主管虽直径相同但长度不同，支管流阻大，分油机吸油以循环油区为主，再有两柜在顶底部有连通。当反冲污滑油冲入时，会给附加柜一个较高的液位，位差使分油机先从附加柜吸油，直到与滑油柜循环油区液位一致，之后，分油机将从循环油区吸油。这种保证分油机处理功能的特殊布置，使反冲的污滑油杂质

不会扩散并完全由分油机吸油管捕捉而不会吸空，结构简单、运行高效成本低。系统净化功能的完善，可保证滑油获得好的清洁效果，确保柴油机运行安全。

## 5 结 论

近年来，经上述优化设计或改造过的机组，滑油自动反冲洗滤器工作负荷大为降低，每小时反冲数仅2~3次；烛式滤芯大量破损、再生器滤网大量更换的问题得到解决，滑油系统进入无故障运行；经抽样化验，滑油污染度指标大大降低，只要碱值不低于滑油标准，可长期使用不换油。

## 参考文献

- [1] BollFilter protection systems[R]. 2001.
- [2] MAK project M552C/M601C[R]. 1998.
- [3] 关子杰. 内燃机润滑油原理[M]. 北京:机械工业出版社,1996.
- [4] 杜荣铭. 船舶柴油机[M]. 大连:大连海事大学出版社, 1997.
- [5] 陈特銮. 大功率柴油机发电厂技术手册[M]. 华南理工大学出版社,1998.
- [6] 壳牌公司. 柴油机电厂技术研讨会及 shell CARE 发布会[R]. 1998.
- [7] MAN B&W ME Engine Selection Guide 198 48 29-7.2 [R].

(上接第10页)

### 2.3 负荷特性测试

改造后的发动机运行平稳，功率和转速与原发动机保持一致。在负荷突加突卸的情况下，具有较好的响应特性。

## 3 结束语

本文对双燃料发动机改装关键部件及控制策略进行了设计和研究。台架试验结果表明：双燃料发动机改装效果良好，燃油替代率达到50%~70%，改装后的发动机运行平稳，功率和转速与原发动机保持一致，有着较好的经济效益和社会效益。

该技术在实际应用中也存在一些问题，例如在低负荷(10%~25%)时气体燃料燃烧不完全，发动机容易产生游车现象，排气中HC和CO浓度较高。所以在实际运行时，建议在低负荷工况下，采用纯柴油模式工作，使双燃料发动机的动力性、经济性以及排放特性总体达到最佳状态。

## 参考文献

- [1] 孙济美. 天然气和液化石油气汽车[M]. 北京:北京理工大学出版社,1999.
- [2] 黄海波. 燃气汽车结构原理与维修[M]. 北京:机械工业出版社,2002.