

性能与排放

船用柴油机低负荷油耗优化技术——增压器切停技术

胡 玲, 张光海, 王苏南

(上海中船三井造船柴油机有限公司, 上海 201306)

摘要: 简单介绍了几种船用柴油机低负荷油耗优化技术及适用情况。详细分析了增压器切停技术的原理、效果和运行范围; 增压器切停技术改造所需的零部件及成本; 技术改造后对主机排放的影响及主机运行的注意事项等。

关键词: 船用柴油机; 低负荷运行; 油耗; 增压器

中图分类号: TK421. *8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2013)04-0011-04

Fuel Combustion Optimization Technology for Marine Diesel Engine Under Low Load——Turbocharger Cut-off Technology

Hu Ling, Zhang Guanghai, Wang Sunan

(CSSC-MES Diesel Co., Ltd., Shanghai 201306)

Abstract: Several fuel combustion optimization technologies for marine diesel engines and their applicable conditions are briefly introduced. The working principles of turbocharger cut-off technology are analyzed in detail, as well as its effect and operation range. The parts which are needed for the modification of turbocharger cut-off technology and the cost are introduced. Moreover, the influence of modification on the main engine's emission is presented, as well as the key points of main engine operation.

Keywords: marine diesel engine; low load operation; fuel combustion; turbocharger

0 引 言

随着船用柴油机市场的不断发展, 对耗能较大的柴油机的油耗指标、节能方面要求愈来愈高, 不断地技术革新已经成为目前争夺市场订单的新亮点。以下介绍的增压器切停技术是一个较好的降低油耗的方法之一。

1 低负荷油耗优化技术

目前柴油机低负荷油耗优化技术主要有: 增压器切停技术, 相继增压技术, 部分负荷油耗优化技术, 即部分负荷优化结合废气旁通(Part Load Tuning+Exhaust Gas Bypass, PLT+EGB)或部分负荷优化结合主机控制参数调整(Part Load Tuning+Engine Control Tuning, PLT+ECT), 低负荷油耗优化技术,

即部分负荷优化结合废气旁通(Low Load Tuning+Exhaust Gas Bypass, LLT+EGB)或低负荷优化结合主机控制参数调整(Low Load Tuning+Engine Control Tuning, LLT+ECT), 可变透平技术等。

其中主机控制参数调整(ECT)优化适用于电控主机, 不需要废气旁通装置, 只需要改变主机的控制参数, 就可实现标准优化和低负荷优化间切换, 不过在模式切换时柴油机排放特性会发生改变, 因此模式切换时需要得到相应船级社的认可。废气旁通装置 Exhaust Gas Bypass(EGB)的原理是, 提高低负荷时增压器效率, 为了防止在高负荷时增压器转速超出限制值, 在高负荷时旁通掉一部分废气, 因此在高负荷时柴油机油耗相对较高。相继增压与增压器切停技术原理大致相同, 均为在低负荷时关停一台增压器; 不同之处在于相继增压适用于主机

收稿日期: 2013-01-17; 修回日期: 2013-03-22

作者简介: 胡玲(1959-), 女, 工程师, 主要从事船用柴油机零部件采购, E-mail: 18939773908@163.com。

采用一大一小增压器组合以优化油耗，而增压器切停技术则适用于主机配有两台及以上型号一致的增压器，该技术以往仅使用于应急状况，但随着船舶市场持续低迷以及低速航行流行，也逐渐成为降低柴油机油耗与船舶运行成本的一个重要手段。

图 1 为 6S80ME-C8.2 柴油机各种低负荷油耗优化方式与标准优化状况下的油耗比较情况，可以发现：在低负荷运行时，采用低负荷油耗优化技术，油耗下降比较明显。

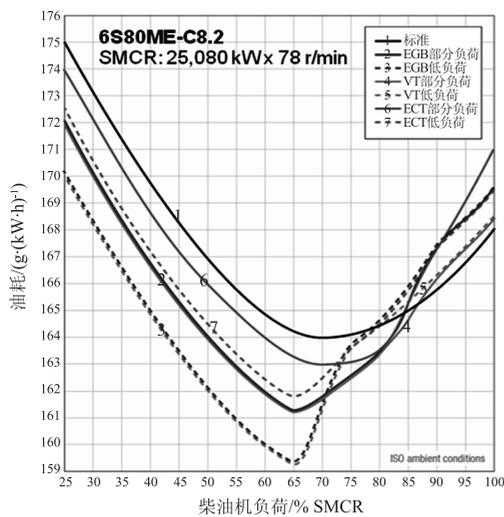


图 1 6S80ME-C8.2 柴油机不同油耗优化模式下油耗比较

当然，主机究竟采用哪一种油耗优化方式更好，则要根据主机的具体配置以及船舶运行情况而定。如船舶长期运行在高负荷，则推荐采用标准优化方式；如船舶长期运行在低负荷或部分负荷，则推荐采用低负荷或部分负荷进行优化；如船舶兼顾高负荷与低负荷运行，则可采用增压器切停技术、相继增压技术或主机控制参数调整(ECT)技术(仅适用于电控主机)。

对于新造主机来说，如果想采用低负荷油耗优化技术，根据船舶低负荷运行情况，首选推荐采用曼恩高压比主机(MARK X.2 主机)加部分负荷油耗优化结合废气旁通技术(PLT+EGB)或低负荷油耗优化结合废气旁通技术(LLT+EGB)的油耗优化方式。

主机控制参数调整(ECT)模式仅适用电控主机，主机需要双证书，并且在高负荷优化与低负荷优化之间切换时，须经过相应船级社认可，并颁发新的船舶 International Air Pollution Prevention (IAPP) 排放证书。因此，只有准备在一种模式下长期运行(如 5 年或 10 年)再切换至另一模式下长期运行的电控主机，才推荐采用主机控制参数调整(ECT)优化模式。

对于柴油机低负荷油耗优化技术改造，优先推荐采用增压器切停技术或可变透平技术。这是因为采用其他几种油耗优化方式，需要重新进行增压器配机试验，同时技术改造工作量以及成本相对较大。

但不管是增压器切停技术还是可变透平技术，都存在着一定的局限性。如增压器切停技术不适合应用于只有一台增压器的情况，并且在配有两台增压器情况下，低负荷运行范围也存在着一定的负荷局限性。而可变透平技术则不适用于 100% 负荷时扫气压力绝对值大于 0.4 MPa 的主机，因为在这种情况下基本上起不到降低油耗的作用，同时可变透平技术改造的成本也相对较高。

综上所述，在进行柴油机低负荷油耗优化技术改造时，当主机只配有一台增压器时，推荐采用可变透平技术；当主机配有两台及以上增压器时，推荐采用增压器切停技术。

2 增压器切停技术

增压器切停技术降低油耗的原理是，当主机配有两台及以上增压器时，在低负荷时进行增压器切停，以提高低负荷时增压器效率，从而提高低负荷的扫气压力，进而提高低负荷时主机压缩压力以及最高燃烧压力，从而降低柴油机燃油消耗。

图 2 为主机配有三台增压器，停一台增压器，50% 负荷时缸内压力变化情况。由于增压器效率提高，扫气压力增加约为 0.052 MPa，油耗下降约为 $5(\text{g} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1})$ 。

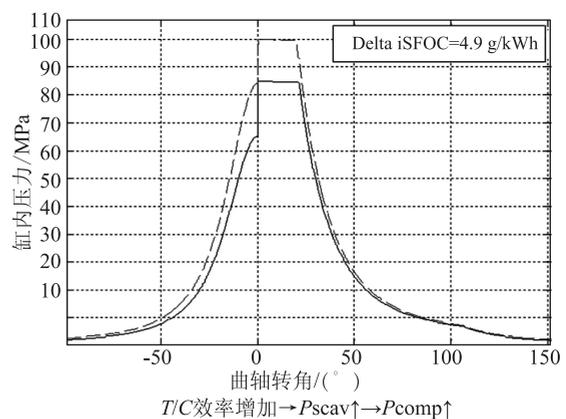


图 2 气缸内压缩压力变化情况

2.1 增压器切停技术降低油耗的效果

根据计算和试验，当主机配有三台增压器停掉一台时，在 25% 负荷时可降低油耗 $5(\text{g} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1})$ 左右，在 50% 负荷时可降低油耗 $3(\text{g} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1})$ 左右；当主机配有四台增压器停掉一台时，在 25% 负荷时可

降低油耗 $6(\text{g} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1})$ 左右, 在 50% 负荷时可降低油耗 $5(\text{g} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1})$ 左右, 如图 3 所示。

由于主机配有二台增压器时停一台增压器的方案推出时间不长, 目前暂时还没有关于油耗下降的具体试验数据, 不过预计在这段负荷范围内油耗降低幅度将比主机配有三台增压器时停一台增压器略小。

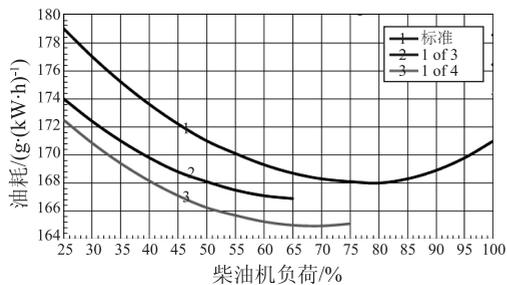


图3 增压器切停与标准运行时油耗的比较

2.2 增压器切停技术适合运行负荷范围及建议

(1) 当主机配有 1 台增压器时, 增压器切停仅适用于紧急情况时采用, 最高可运行负荷为 15% 满功率, 不能作为低负荷油耗优化使用。如要进行低负荷油耗优化的话, 可以考虑进行增压器可变透平技术改造。

(2) 当主机配有 2 台增压器时, 建议在 10% ~ 40% 负荷范围内停一台增压器以提高扫气压力, 降低油耗。考虑到主机振动、轴承负荷以及热负荷限制等相关状况, 在停一台增压器的情况下, 不建议长期运行在 35% ~ 40% 负荷, 其中 50% 负荷为紧急状况下停一台增压器可运行的最高负荷。

(3) 当主机配有 3 台增压器时, 建议在 10% ~ 66% 负荷范围内停一台增压器以提高扫气压力, 降低油耗。考虑到主机振动、轴承负荷以及热负荷限制等相关状况, 在停一台增压器的情况下, 不建议长期运行在 60% ~ 66% 负荷, 其中 66% 负荷为紧急状况下, 停一台增压器可运行的最高负荷。

(4) 当主机配有 4 台增压器时, 建议在 10% ~ 74% 负荷范围内停一台增压器以提高扫气压力, 降低油耗。考虑到主机振动、轴承负荷以及热负荷限制等相关状况, 在停一台增压器的情况下, 不建议长期运行在 70% ~ 74% 负荷, 其中 75% 负荷为紧急状况下, 停一台增压器可运行的最高负荷。

2.3 增压器切停技术改造所需零部件及成本

增压器切停可考虑采用盲板手动切断方式或气动控制切断方式。盲板手动切断方式的优点是改造费用少, 缺点是不能自由切换, 增压器切断以及恢复工作必须在停机(冷态)下进行; 气动控制切断方式优点是可以自由切换, 不需要额外停机, 缺点

是改造费用相对较高。以下为不同增压器切停技术改造所需零部件、改造费用以及相应工作, 建议采用气动控制切断方式的旧机改造方案。

(1) 采用盲板手动切断方式

增压空气出口、废气进口和出口处的盲板购置、安装和主机调整等相关技术改造费用约为 14 000 欧元。

(2) 采用气动控制切断方式

增压空气出口、废气进口处的阀件和控制系统的购置、安装和主机调整等相关技术改造费用约为 132 000 欧元。

需要注意的是, 上述改造费用为标准情况下的费用, 不包括交通、生活、等待以及获取排放证书等所额外增加的费用。

2.4 增压器切停技术改造对排放的影响及相应措施

主机进行增压器切断技术改造后, 在低负荷时柴油机扫气压力增加, 除了影响柴油机油耗等性能外, 对柴油机的氮氧化物(NO_x)排放也存在一定的影响。根据 International Marine Organization (IMO) 法规, 需要对原有的排放文件进行修改与补充, 以获得柴油机排放证书。

一般而言, 柴油机进行增压器切断技术改造后, 需要进行排放的重新测量, 也即海上排放测试。不过通常只会对系列首台机要求进行海上排放测试, 后续系列机一般只要进行海上参数验证。以下为正常情况下, 排放测量以及排放证书获取所需的相关工作及费用。

(1) 进行排放测量的费用

进行海上 NO_x 排放测量所需费用约为 25 000 欧元, 此费用涵盖: 测量准备工作、船上 5 天时间的测量及两名技术人员。另外, 排放测量仪器运输、旅行、食宿以及额外增加的时间或工作量等产生的相关费用不包括在内。

(2) 获取新的排放证书的费用

对于首台机, 排放文件(Technical File)修改以获取新的排放证书费用约为 13 500 欧元; 对于后续机, 获取新的排放证书费用约为 9 500 欧元。

需要注意的是, 不同的船级社对柴油机进行增压器切断技术改造后是否需要做海上排放测试可能会存在一定的差异, 并且对海上排放测试方面的要求也可能不尽相同, 因此在具体的柴油机改造前, 需要与相应的船级社就此事进行协商。

2.5 增压器切停技术改造后柴油机运行注意事项

(1) 对轴承负荷和振动的影响和应对措施

柴油机增压器切停技术改造后, 对柴油机的轴承

负荷以及振动会产生一定的影响，特别对主机配有两台增压器的影响最大。因此在改造后，如果感觉振动过大，有必要的话，可进行柴油机振动测量，避开相应振动过大的负荷，防止柴油机振动超标。基于此，一般建议主机配有两台增压器时，切停一台增压器时，长时间运行的负荷范围为 10% ~ 35% 满功率。

(2) 对增压器后排气温度的影响

柴油机切停一台增压器后，由于增压器效率提高，增压器后的排气温度下降将非常明显。当主机配有三台增压器切停一台后，50% 负荷时预计增压器后温度将下降 30 °C 左右；当主机配有四台增压器切停一台后，50% 负荷时预计增压器后温度将下降 50 °C 左右。

(3) 注油器及喷油器改造

如需在 40% 负荷以下长期运行，如果主机采用的是机械注油器与常规燃油喷嘴，还需要进行相应的改造，将机械注油器改为电控注油器，将常规燃油喷嘴改为滑阀式喷嘴。喷嘴的更换同样需要进行排放的重新测量，该方面的改造工作建议与增压器切断技术改造同步进行。

(4) 气缸注油率的设定

在低负荷(40% 负荷以下)长时间运行，如果配有阿尔法(ALPHA) 注油器的话，目前建议采用图 4 所示的气缸注油率设定。当然如果检查时发现气缸套过干且气缸磨损量过大的话，可适当增加气缸注油量。

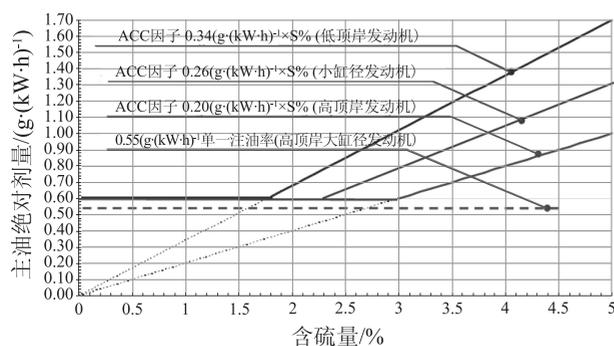


图 4 气缸注油率设定

尽管图 4 中气缸注油率考虑了燃油中含硫量的影响，但长时间采用含硫量大于 2.5% 的燃油时，建议采用碱值为 BN60-70 气缸油；长时间采用含硫量 2.5% 以下的燃油时，建议采用碱值为 BN40-50 气缸油。

此外，针对低负荷以及超低负荷运行存在的气缸润滑问题，曼恩公司正在进行一系列的相关试验，如进行阿尔法(ALPHA) 注油泵单元升级、试验新的气缸注油程序等，我们将持续关注着这方面技术的进展。

(5) 柴油机检查与增压器清洗

在低负荷运行时，须加大扫气口、辅助风机轴封以及单向止回阀的检查频率与力度。

至于增压器清洗方面，在低负荷或超低负荷运行时，虽然一台增压器切停后，增压器的工作状况将有一定的缓解，但还是建议按照低负荷运行注意事项中的要求对增压器进行相应的清洗。

3 小 结

以上介绍了船用柴油机低负荷油耗优化技术之一增压器切停技术的原理及该技术具体实施的一些工作和注意事项。我们将进一步和增压器生产厂商密切合作，从增压器技术革新、选型降级、提高扫气工作效率等方面进一步探索降低油耗、提高主机工作效率的方法和措施。

参考文献

- [1] MAN B&W Corporation. SFOC optimization methods for MAN B&W two-stroke IMO Tier II engines [R]. 2012.
- [2] MAN B&W Corporation. Improved efficiency and reduced CO₂ [R]. 2009.
- [3] MAN B&W Corporation. Turbocharger cut-off system benefits engine performance [R]. 2009.
- [4] MAN B&W Corporation. Cylinder lubrication update [R]. 2009.