

《油液监测项目方案及建议书》

船舶行业



目录

1、 关于美国斯派超科技公司（SPECTRO SCIENTIFIC）	3
2、 船舶用油设备油液监测	4
2.1 油液监测技术概述	4
2.2 船用设备油液监测技术现状	5
2.3 船用设备油液监测目标	5
3、 船舶行业油品分析主要指标	6
3.1 磨损检测	6
3.2 理化指标检测：	8
3.3 污染监控	10
4、 船上主要用油设备主要监测内容	12
4.1 主要用油设备及特点	12
4.2 船用设备油液监测类型	17
5、 实验室方案	19
5.1 方案设计的基本原则	19
5.2 实验室方案	20
5.3 采样频率	23
5.4 换油指标 确定及主要用油设备的换油标准参考	24
6、 参考文献	33

1、关于美国斯派超科技公司（SPECTRO SCIENTIFIC）

美国斯派超科技公司（SPECTRO SCIENTIFIC），创建于上个世纪 80 年代初，总部位于美国马萨诸塞州波士顿市，是全球最大的油液检测设备生产商，ISO9001:2008 质量管理体系认证企业。

三十多年来，斯派超科技公司一直致力于油液监测设备及技术的研制与开发工作。斯派超科技公司的多款产品及检测技术都是与美国军方联合开发，代表了油液监测行业中的技术前沿。客户涉及：军事、石化、矿山、船舶、电力以及商业实验室等诸多领域，提供基于 SpectroTrack 实验室信息管理系统（LIMS）的油液监测实验室全套解决方案。

油液监测全套解决方案包括：金属磨粒光谱分析、润滑状态衰变及污染度分析、磨粒形貌分析等检测内容。

斯派超科技公司是全球在用油液监测技术的领导者和推动者，参与制定了 ASTM 美国材料实验协会的多项油液检测标准。同时，其创新的产品及检测技术也为广大用户带来了巨大的经济效益和社会效益，推动了整个行业的良性发展。

斯派超科技公司的仪器产品和检测技术具有针对性强、稳定性好、可靠性高、检测成本低、操作简便等特点，可实现对大型用油设备进行有效监控以及对其潜在风险进行预警。

基于斯派超科技公司提供的油液监测产品及技术，可以实现：

- 优化设备维护保养周期，避免设备重大事故产生，提高设备可靠性
- 避免不必要的维护保养开支
- 避免设备非正常报废
- 减少换油费用

斯派超科技公司的销售网络覆盖全球 180 多个国家。

2、船舶行业油液监测

2.1油液监测技术概述

设备状态监测（也称预知性维护）是现代设备管理体系中最重要的组成部分，通过监测设备的各种关键状态参数，判定并优化设备的维护、维修周期，有效提高设备的可靠性，降低设备的维护、维修费用。关键用油设备的状态监测一般通过油液监测实现，通过监测工业油液的各种特征参数（如：污染度、理化成分及粘度等），分析判断设备的磨损状态、油液的污染状态及其润滑状态，判定设备的运行状态和潜在风险。因此，通过油液监测技术可以提高设备的可利用率及生产效率、降低维护成本和总拥有成本、减少故障停机次数、优化设备运行性能及提高安全系数。

统计表明，全球每年需要花费数十亿美元用以更换因润滑失效（油液老化、污染、油液混/误用）导致的磨损失效零部件。为了有效降低这一损失，国内外各种军事及工业客户都已经建立了完备的润滑管理体系。作为润滑管理体系的基础及技术支撑，油液监测技术可以保证设备时刻处于良好的润滑状态，避免因润滑失效导致的设备磨损，有效提高设备的无故障运行时间及其延长设备的运行寿命。于此同时，通过监测溶解或悬浮于油液中的、由设备磨损或腐蚀产生的磨粒的成分、数量及其浓度，可以准确判定设备的磨损位置、磨损状态和磨损原因。因此，油液监测技术可以对设备的重大故障进行早期预警，通过对监测数据的实时分析及其趋势分析，提早发现设备的潜在故障隐患，优化设备维护保养计划，降低设备重大故障的发生几率。

粘度的变化或者油液老化会导致润滑状态（性能）的衰变；各种固体颗粒、渗漏或混油污染是油液中污染物的主要来源；磨粒的成分、浓度及其形貌特征可以准确表征设备的磨损状态、磨损趋势及磨损原因。因此，润滑状态、污染物及其磨粒并称为“油液监测铁三角”，是油液监测内容的集中体现。



2.2船用设备油液监测技术现状

船用柴油机的工况环境恶劣，全天候工作在海水的环境中，船舶运转周期长，并且本身结构和系统比较复杂，导致其发生故障的概率比较高，常常会造成巨大的经济损失，甚至灾难性事故。对于这样一个特殊行业，设备安全运行与维护是至关重要的。我国船用设备在状态监测与故障诊断技术上的研究取得了一定进展，如上海海事大学魏海军教授等做了一系列的工作，但在整体来说，在技术和理论上仍不成熟。电厂设备油液监测面临的主要问题：

1) 检测周期长，油液检测结果无法有效指导设备维护

目前，船用油检测主要通过将油样送到具有船舶油液监测资质的检测机构进行检测。油样送岸检测受航线航期的限制，周期长，信息反馈慢，很多时候是亡羊补牢，不能有效指导设备维护工作。。

2) 检测手段简单，不能进行溯源分析。

目前船用油检测，以**光谱分析为中心，辅以铁谱分析做最后验证**。分析手段单一，不能对油品老化、污染进行溯源分析，导致很多油液污染和老化引起的故障不能及时发现，无法在系统性能和材料退化之前采取措施。

3) 意外故障导致维修成本高昂

很多设备由于过热、油液污染（如水、防冻液、燃料油）等等，在很短的时间内就出现了润滑失效甚至异常磨损，此时如果能及时发现，只需较低的成本和人员投入就能解决问题，然而这些问题如果不能被及时发现，任其发展恶化，最后往往将导致设备出现严重的故障停机，不仅增加了维修的成本而且扰乱正常的生产计划安排。

4) 润滑油浪费严重

由于缺乏科学的检测手段和统一的润滑管理体系，为了避免设备故障，使用人员经常在未知润滑油是否可以继续使用的情况下进行换油操作，造成了大量的仍可继续使用的润滑油脂的浪费。或由于检测手段和必要检测仪器的缺乏，不敢使用国产润滑油脂，而一味依赖于“高品质”的进口润滑油脂，增大了不必要的运营成本。

2.3船用设备油液监测目标

船舶的润滑系统是保证柴油机及其他部件稳定可靠运转，以及延长寿命的必

要保障。船用设备油液监测希望能达到以下几个目的：

1) 设备故障预警，增加安全性

船用设备全天候工作在海水的环境中，工况恶劣，润滑油更容易突发故障，通过对润滑系统内润滑油的监控，了解机械运转情况，在设备不停机、不解体的情况下，诊断设备的异常部位、异常程度及原因，从而预报设备可能发生的故障，有针对性进行维护和管理，减少船舶危险情况或灾难性事故的发生，降低停航时间，并可合理安排维修，最大限度地延长维修周期，避免设备二次损坏。

2) 主动维护，延长使用寿命

通过对可能引起设备产生故障的“根源性参数”（润滑油理化指标和污染情况）进行监控，在系统性能和材料退化之前采取措施，减少系统整体维修需要，延长设备的使用寿命。

2) 按质换油，延长换油周期

通过检测润滑油的理化参数，判断润滑油状态，确定润滑油是否需要更换，实现按质换油，即避免油品过度衰变引起润滑失效，也能避免过早更换性能良好的润滑油而造成的浪费。

3) 新油入库管理

船舶作业周期长，润滑油在船舶航行或储藏过程中，受环境影响，会被空气中的水分及其粉尘污染，被污染的润滑油加注到船用机械设备中同样会对其产生巨大危害。对新润滑油监测，可以判断油液质量，防止质量差的润滑油添加到设备，同时可以识别区分不同型号新油，防止混油污染发生。

3、船舶行业油品分析主要指标

船用设备油液监测主要包括老化监测、污染控制和磨损检测。

3.1 磨损检测

磨损监测主要通过对磨损元素分析和磨损颗粒严重程度来判断发动机是否运转正常。磨损监测属于**预防性维修**，与面向实际故障的事后维修和面向运行时间的定期维修都不相同，可以在设备出现故障征兆时，及时采取措施排除故障或以较少的小型维修避免灾难性故障。磨损监测包括磨损颗粒的元素和含量、磨损颗粒大小和分布、磨损颗粒几何形貌等几方面

1) 磨粒的成分和含量

光谱分析法通过分析油液中金属磨粒、添加剂、污染物化学元素的成分、含量和对比不同时期油液中金属含量的增加速度，了解柴油机各摩擦副的磨损情况。根据柴油机零部件中各摩擦副的材质组成及环境中可能存在的污染源，可确定润滑油中各元素的来源以及可能的产生原因，见表 1。

表 1 润滑油使用过程中，光谱分析检查出的问题及可能产生的原因：

铁、铬含量增大	机械部件磨损，例如缸套、活塞环、齿轮、气门、凸轮轴、曲轴等；出现金属与金属接触；腐蚀；磨料污染
铜含量增大	填料函环磨损；机械部件中的铜部件，例如凸轮轴、摇臂轴轴瓦、衬套等磨损；出现铜与相配的其他金属磨损；腐蚀；磨料污染
铅含量增大	机械部件磨损尤其反应在轴瓦磨损；轴瓦润滑不良出现轴瓦部位金属与金属接触；磨料污染；腐蚀
铝含量增大	机件磨损；金属与金属接触；磨料污染；当硅元素含量也高时，可能燃料催化剂引起
钠含量增大	海水污染；冷却水污染
镁含量增大	海水污染
钒含量增大	重质燃料油燃烧产物窜入；重质燃料油污染
硼含量增大	冷却水污染
镍含量增大	重质燃料油燃烧产物的窜入；重质燃料油污染
钛含量增大	机械部件磨损；尤其是轴瓦磨损；金属对金属接触；磨料污染；腐蚀

其中，铝、铁反应柴油机部件的磨损情况，铬元素反映气缸套、活塞环的磨损情

况；钛铜、铅、锡元素反映轴承、轴瓦的磨损情况；钠、镁、硼元素反映海水或冷却水的污染情况；硅元素（一般指沙和灰尘）反映密封材料的问题；钒、镍元素反映重质燃料油及燃烧物窜入。

2) 颗粒大小、分布和总数

根据颗粒的大小和分布可以判断磨损的剧烈程度，根据颗粒的总量可以判断磨损颗粒的增长率，判断当前所处的阶段。美国油液分析机构的经验，发动机设备典型磨损颗粒尺寸是 10-15 μm ，严重磨损颗粒尺寸为 50 μm 以上，目前广泛采用的 ISO4406 油液清洁标准中，根据颗粒尺寸对设备运转的伤害程度，将清洁代码分为 $>4 >6 >14$ 三个等级， $>4\mu\text{m}$ 会造成淤积堵塞， $>6\mu\text{m}$ 会造成正常磨损， $>14\mu\text{m}$ 引起严重磨损。

3) 磨粒的几何形态

通过磨粒的形态分析推断它的失效机理。不同的磨损机理会产生不同几何形态的颗粒，与失效分析关系最密切的是滑动磨损（接触磨损）、切削磨损、疲劳磨损等几种磨损类型。

切削磨损主要是由于两运动面存在硬质颗粒，从而损伤运动表面，这些硬质颗粒可能是外来的，也可能是金属磨损产物，其严重程度与颗粒的数量、大小和硬度等有关。切削磨损主要是由污染和磨粒二次损伤造成的。

滑动磨损（也叫接触磨损）主要是由于润滑薄膜破坏而造成金属与金属直接接触，从而损伤运动表面，滑动磨损主要是由于供油不足、油层断裂或老化造成的。

疲劳磨损是指强大的应力循环使材料强度下降而造成金属损失，主要由于设备的材料缺陷。

3.2 理化指标检测：

润滑油理化指标的异常往往先于设备异常磨损，从而可以更早的采取预防措施。油液理化指标监测属于**主动维修**，着重监测可能导致设备损坏的系统根源性参数，如粘度、老化、污染等。英国机械工程学会对高速柴油机所进行的故障统计表明：不属于直接磨损的失效远远超过磨损监测所能发现的故障，加拿大两大铁路公司也有类似的统计报告。可见油液的质量对机械设备的可靠性与耐久性能才是保证设备安全运行的必要条件。更明确的说：磨损分析师监测失效的证据，而油品分析可追溯失效的根源。

为了能够反映基础油和添加剂在使用过程中的老化和污染，必须选定相应的基本参数。JOAP 和 ASTM 经过多年的研究，提出对不同设备的油样采取不同的参数来反映油液的老化和污染（详见第四部分）。

柴油发动机油一般使用以下参数：

- 1) **总碱值(TBN)：**TBN 是一个衡量油液中碱性添加剂及其残留量的化学指针，TBN 所表征的润滑油本身的性能包括：酸性物质中和能力、延缓氧化和腐蚀能力、维持润滑性能和粘度特性的能力、减缓油泥积聚能力等，是发动机油老化的重要指标之一。

碱值的消耗与船用燃料硫含量成正比关系，中和燃烧产生的酸性物质，减轻对柴油机的腐蚀。润滑油在初始使用时，总碱值会下降较快，随后趋于平和，达到一个平衡值，如总碱值接近于零时，则表明润滑油已丧失使用性能，必须全部换掉。

- 2) **粘度：**粘度是决定能否在润滑机件表面形成牢固油膜和能否使间隙得到密封的重要性能。粘度是油液本身物理、化学状态变化及其污染物存在的集中体现，可作为一个综合指标，为润滑油的降解或污染程度的变化提供早期预警。粘度增高，一般表明润滑油氧化，产生了可溶性氧化物或被固体不溶物、防冻液污染。粘度降低，主要为水、轻质燃油的混入。

- 3) **油液老化——氧化、硫化和硝化**

氧化、硫化和硝化是发动机油降解的形式，会导致多种润滑问题，包括粘度增加、漆状物产生、油泥和沉积物的形成、添加剂损耗、过滤器堵塞、润滑性能下降、总碱值下降、铁锈形成以及发生腐蚀等。对其进行监测，在一定程度上可以判断润滑油的老化程度。氧化、硝化和硫化在红外光谱中有特征峰，目前普遍用红外光谱检测油液的氧化、硫化和硝化。

- 氧化是润滑油的组分与氧发生化学反应，生成乙醛，酮，酒精和羧酸等氧化产物，高温、压力、水分和金属氧化物都会加速油液氧化的速率。
- 硝化是指石油组分与大气发生氧化反应，产生酸性氮氧化合物的现象。硝化产物不仅会使油液稠化（粘度上升），也是引起设备部件产生表面沉积物的主要原因。硝化度测定是发动机油液检测过程中必不可少的检测

内容，硝化度增加（硝化物增多）能够直接表征发动机所面临的故障隐患。

- 硫化是指发动机及燃气轮机工作工程中，燃油中的硫元素燃烧/氧化后会生成硫化物，这些硫化物进入润滑油的现象称作硫化。燃油燃烧产生的酸性硫化物会直接接触或者沉积在设备表面，对设备产生严重的腐蚀作用。硫化与总碱值的趋势是一致的。

系统用油（如液压泵、空压机、齿轮箱等）检测的指标是总酸值、氧化值和粘度。

3.3 污染监控

污染是润滑故障和零件过度磨损最大的单一根源，有效的污染控制，将会延长设备的使用寿命。据统计，柴油机故障中 45%是由于润滑油污染而造成的。大的磨损颗粒的存在严重地影响了柴油机的正常工作，导致柴油机滑油系统失效。而通过污染度监测可以及时净化在用润滑油中的污染物，以及合理地补油、换油，将柴油机润滑油控制在好的清洁度上，避免各种由于润滑油污染引起的故障失效。

其主要污染形势有：

1) 油液固体颗粒物污染

主要来源是主柴油机润滑油系统内装配过程中的残留物、运转中产生的污染物及系统工作过程中外界侵入的污染物，如各种金属磨粒，空气灰尘，砂砾，油漆皮，石棉，棉纱等。

2) 水分

润滑油中水分会造成油的乳化，使粘度升高，润滑油性能变差，此外还会加速设备的腐蚀。

水分污染：船用设备润滑系统中油液水分污染主要来自海水冷却系统和淡水冷却系统的泄漏，还有部分冷凝水、冷却水和机舱污水。油液中含有超标量的水会促进油液氧化，加速设备腐蚀，特别是海水的渗入更为严重，它会使金属表面锈蚀。引起油中添加剂降解，总碱值下降，使油品使用性能降低，造成磨损及轴承故障。水分和固体污染物颗粒是导致润滑油变质的催化剂，当它们同时存在并相互作用后，大大缩短了润滑油的使用寿命。

船舶长时间停靠时，当空气和温度适宜时，油中含有一定量的淡水会造成微

生物繁殖增长，消耗掉油中的有机成分，使油品发臭变质。

3) 烟炱污染

当柴油机在极高负荷的条件下工作或是燃油喷射被延迟(例如在曲轴循环中喷油延迟)时，烟炱污染物就会出现。这些烟炱微粒会凝聚为较大的块状聚集体，从而导致润滑油的粘度显著增长，引起阀系磨损和活塞环与缸套的磨损。

4) 燃油稀释:

主机润滑油系统进入燃油(指柴油)通常是由柴油机燃油系统泄漏(高压油泵及油管连接处)，燃油喷射过量或喷油嘴漏油故障引起的。燃油稀释润滑油会降低润滑油粘度，使船用柴油机主要摩擦副因油膜厚度不够而发生粘着磨损，同时会损坏润滑油的氧化稳定性。当燃油渗入超过 10%时，会造成曲轴箱的着火和爆炸。

汽缸油对主机润滑油系统的污染较为普遍。主要是由于过高的气缸油注油率造成的，少量的气缸油混入主机系统油影响不大，可继续使用，如果数量过大，尤其是气缸油混入的是随着主机运转时间连续增加，就难以控制，最终导致系统油黏度增大，总碱值剧增而超过使用标准。气缸油粘度及碱值较高，而主机润滑油粘度和碱值相对较低，气缸油的混入直接影响了主机润滑油清净分散性能。气缸油大量混入，使系统油不能正常使用，润滑油压力剧增而造成主柴油机起动困难。

5) 乙二醇(防冻液)污染:

乙二醇污染造成的后果比水还要严重得多。有研究认为乙二醇造成的磨损是水的 10 倍，而且其污染的普遍性越来越高。国外曾对 10 万台柴油机进行检查，发现 16%轻微乙二醇污染，8.6%乙二醇污染，1.5%发现乙二醇严重污染。产生乙二醇污染的主要原因有密封失效、气缸垫漏气、汽缸盖裂缝等，乙二醇会使烟炱聚集而形成油泥、沉渣，造成流动受阻和滤网堵塞，乙二醇会优先与 ZDDP 反应造成油路堵塞，会导致发动机低温咬合等等一系列问题。

6) **混油污染:** 目前市场上船用油配方体系不尽相同，两种油品相混合，可能会发生添加剂相互反应而产生沉淀或相互消弱作用等不良后果，甚至会造成严重的机损事故。船用机械设备众多，润滑油牌号也很多，容易发生混油污染。

4、船舶行业主要用油设备主要监测内容



4.1 主要用油设备及特点

➤ 主柴油机：

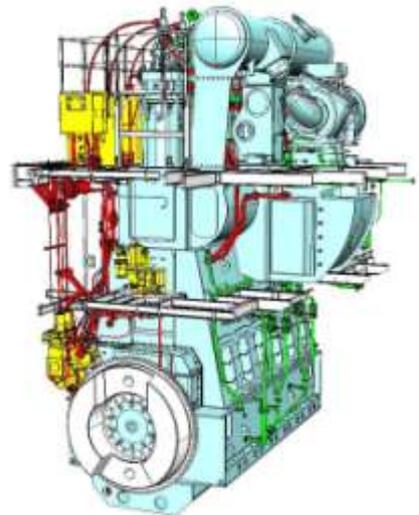
船用柴油机作为船舶的“心脏”，其安全性与可靠性至关重要。船舶在进行远洋航行时，主柴油机的使用强度大，会发生温度过高，润滑油压力过低，增压器漏水，机带泵故障，齿轮箱损坏以及连杆大端轴瓦涂层剥落等故障，因此及时准确地掌握作为主要动力的主柴油机的运行状况和技术状态，及时采取有效措施消除任何可能引起故障的故障源成为远洋航行的重要内容。

另外有些船舶使用燃料油进一步恶化了船用柴油机的润滑工况，重燃料油粘度很大，燃料油雾化造成燃烧困难，而且重燃料油的硫含量很高，加剧了气缸套和活塞的腐蚀磨损，同时燃烧的产生的硫化物气体，遇水就会形成硫酸和亚硫酸，对曲轴箱内润滑油造成严重污染。

图示为：某型号船用二冲程低速柴油机润滑部位：润滑油循环柜（发动机油底壳）

调速器，高压油泵齿条，油门连杆机构。

- a) **常见故障：**冷却液泄漏，燃油稀释，活塞环损坏，连杆轴承损坏，轴瓦损坏，气缸磨损，摩擦副磨损。
- b) **油液监测指标：**润滑油清洁度（污染度分析），磨损颗粒分析（光谱分析），铁谱分析，润滑油 100℃ 粘度，总碱值 TBN，水分，油液老化程度（氧化，



硝化, 硫化), 润滑油添加剂的损耗。

- c) **油液监测作用:** 判断曲轴箱润滑系统是否受到水分 (海水或淡水)、烟炱、防冻液 (乙二醇)、燃油稀释 (柴油) 的污染, 根据氧化、硝化、硫化和添加剂损耗来掌握润滑油变质程度, 同时通过光谱分析和铁谱分析监测摩擦副之间的磨损情况。

中速机常见操作故障机原因

常见故障	原因
活塞环及缸套磨损	气滤不佳导致进气中含腐蚀及磨粒微粒; 中冷器冷凝水进入燃烧室; 润滑油粘度过低或过高; 供油不足; 冷却水夹套水温过低; 燃油灰分过高、高硫、有水及缸套温度过低; 燃油点火性高; 燃油催化剂微粒含量过高; 润滑油的热氧化安定性及清净性欠佳; 润滑油处理不妥; 燃烧过于延迟; 缸套温度过高; 缸套抛光; 吊缸后缸套处理不当; 磨合不佳; 频繁冷启动未提前供油; 频繁超负荷运行; 涡轮增压器、中冷器、排气锅炉等有沉积物致使热负荷升高
燃烧室沉积	气体、双燃料发动机中有湿气或腐蚀性气体; 燃油质量不佳; 进气滤清不好; 燃烧不良; 供油量太高; 环磨损及失去弹性; 过低冷却水温; 持续超负荷运行; 燃油中 V、Na 含量过高
曲轴箱沉积物	润滑油分散性不够; 润滑油离心、过滤不佳; 过滤器功率不够; 滤芯未即时更换; 燃烧不良导致不溶物增多; 高油温; 窜气过大; 曲轴箱通气口堵塞; 活塞冷却不充分; 润滑油中不溶物太多
轴承、曲轴磨损及失效	轴承装配不当; 润滑油注油量不足; 启动时润滑油预供不足; 润滑油质量不佳 (水、不溶物等污染物超标); 油温、油压及粘度不当; 润滑系统处理不充分; 太多的磨粒或腐蚀性杂质; 太多的水、气泡; 机械杂质; 润滑油过滤维护不佳; 振动; 刚性设计不当; 电迁移; 吊缸后及启动超速运行; 电腐蚀
高油耗	汽缸过高的注油速率; 漏油; 环磨损或粘环; 刮油环失效; 缸套磨损; 高油压; 低粘度; 活塞-活环设计不当; 环槽布油孔设计不当; 刮油环装配不当; 燃烧不良, 油泥增多; 缸套表面网纹不好, 存油太多; 润滑油高蒸发损失; 起泡严重; 缸套抛光
油温高	油冷却器堵塞; 油管堵塞; 油泵失效; 冷却不良; 轴承过热; 长期超负荷运行; 延迟燃烧; 系统油量不足; 油循环速度不够; 润滑油系统设计不当
碱值消耗过快	燃油硫含量高; 油耗太低; 缸套温度太低; 中冷器冷凝水入浸; 进风口设计不当导致海水进入; 长期低负荷运行; 燃烧不良; 油含水量添加剂水解; 未补油导致油量减少; 补油碱值偏低; 窜气量大; 燃油污染
粘度过度增长	燃烧不良, 不溶物增加; 油冷却系统冷却能力不够; 燃油残炭太高; 油耗低; 汽缸油污染; 润滑油蒸发损失高; 油净化系统操作不当; 过滤器堵塞; 过滤器功率不够; 缸套温度过低, 润滑油中酸含量高; 重油污染
起泡	润滑油系统设计不当; 润滑系统漏气导致空气进入; 润滑油抗泡性不好; 抗泡剂粘附在金属或过滤器表面而损耗; 润滑油或防锈剂污染; 润滑油空气释放性不好

➤ 舵桨

舵桨是船舶推进装置，一种特种方向推进器，可绕垂直轴作 360 度回转。其磨损程度和损坏情况直接关系到船舶安全航行，所以需要定期抽检以及及时发现缺陷、防止故障。螺旋桨轴是船舶最易发生磨损性故障的部位之一。对该设备实施油液监测，是船舶实现现代化科学管理和采用以预防为主的视情维修体制的可靠技术保证。

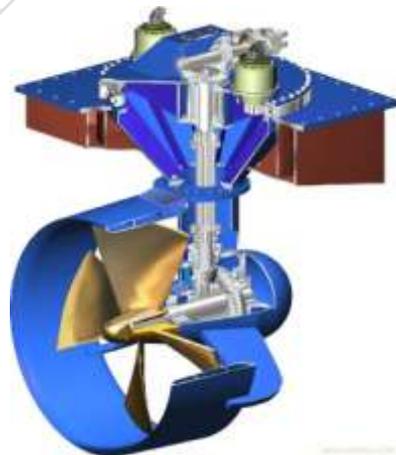
当前船级社规范规定舵桨要定期拆检。但其弊端显而易见：针对性和准确性不高，有时不仅无效，甚至会造成设备精度和可靠性降低。

舵桨在拆卸安装过程中，因种种原因会发生一些其他故障或零件损伤，尤其是密封件安装不当易导致泄漏。

过剩维修导致舵桨装置的拆检费用高，工作量大（每次为 40 万元，修期 20 天），降低了船舶的营运率。因此，在保证船级要求的前提下，采用检验一定的项目来替代拆检，如果监测所得工况参数在正常范围内，可以延长拆检的周期。

右图示为：某型号全回转式舵桨

- 润滑部位：**舵桨润滑油柜（齿轮油），舵桨液压油柜，舵桨重力油柜（齿轮油），中间轴承。
- 常见问题：**螺旋桨轴磨损；齿轮箱进水导致润滑油变质；电液换向阀卡阻导致船舶回转异常。
- 油液监测指标：**40℃粘度，润滑油清洁度（污染度分析），磨损颗粒分析（光谱分析），铁谱分析，总酸值，水分。



- 油液监测作用：**对舵桨油样进行污染度检测，对污染度较高的油样进行污染物分析，监测固体颗粒污染物的成分及含量，以此对舵桨的磨损状态及润滑油性能进行评估。

➤ 副机

船舶柴油发电机组原动机，是船舶上重要的电源装置。

左图示为：某型号四冲程中速柴油发电机组

- 润滑部位：**发电机组曲拐箱，发动机轴承，



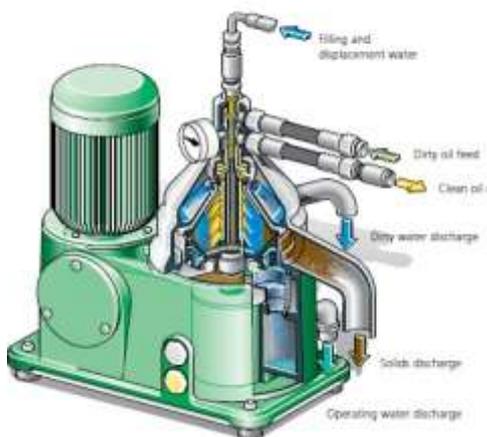
发电机组调速器。

- b) **油液监测指标：**烟炱含量，水分，100℃粘度，总碱值 TBN，磨损颗粒分析（光谱分析），铁谱分析，润滑油添加剂损耗，油液老化程度（氧化，硝化，硫化）
- c) **常见故障：**发电机组调速器故障导致转速不稳，**冷却液泄漏**，燃油泄漏，活塞环损坏，连杆轴承损坏，轴瓦损坏，气缸磨损，摩擦副磨损。
- d) **油液监测作用：**通过监测调速器油液（润滑油或液压油）的污染度情况和老化变质情况，预防调速器故障。通过对发电机组中柴油机润滑系统监测，可以判断润滑系统是否受到水分、烟炱、乙二醇或燃油稀释的污染，监测润滑油变质程度，同时通过光谱分析和铁谱分析监测摩擦副之间的磨损情况。

➤ 分油机

大型海船燃油大都是价格低廉的重油，而重油本身是一种混兑油，本身含有较多的硫分、灰分、水分、机械杂质、沥青等，影响燃油品质，燃油和润滑油在运输和储存过程中，会混入一些水分、铁锈和泥沙等杂质，同时使用中的润滑油所含磨损产生的金属屑也随使用时间而增加，无论是燃油还是润滑油都要经过分油机进行分离处理，将水分和机械杂质从油中分离出去。分油机是船舶燃油净化系统、润滑油净化系统中所必不可少的重要设备。

分离筒是分油机的核心部件，转速一般在 6000r/min 以上，保证分油机正常运行状况的好坏，直接影响燃油和润滑油的品质，也会进一步影响全船动力系统的正常运转和安全航行。



左图示为某型号 分油机

- a) **润滑部位：**分油机齿轮箱。
- b) **常见故障：**异常振动，齿轮磨损，滚珠轴承损坏，立轴自身磨损及底部滚珠损坏，齿轮泵转动轴或销断裂。
- c) **油液监测指标：**油液监测指标：40℃粘度，总酸值，水分，磨损颗粒分析（光谱分析），铁谱分析。
- d) **油液监测作用：**通过对分油机齿轮箱油液监测可以及时了解分油机轴承磨损情况，及时做出维护方案，解决故障。同时也可以尝试监测分油机分离出的

润滑油和燃油中的水分和清洁度指标，以评定分离效果。

➤ 消防泵齿轮箱：

右图示为：某型号船用消防泵齿轮箱

a) **润滑部位：**增速齿轮箱，增速齿轮箱轴承

增速齿轮箱中间轴承，消防泵轴承。

b) **油液监测指标：**40℃粘度，总酸值，氧化度，水分，磨损颗粒分析（光谱分析），铁谱分析。

c) **油液监测作用：**通过对齿轮油的磨粒分析和元素分析，及时掌握齿轮磨损情况。



➤ 空压机

船用空气压缩机是非常重要的船舶辅助机械，由于压缩空气在现代船舶上所起的作用至关重要，空气压缩机一旦不能正常工作，将会给船舶带来非常大的危害，严重的可能造成船舶失去动力。

右图所示为某型号活塞式空压机

a) **润滑部位：**空压机曲拐箱（主轴承、连杆大、小端轴承及活塞与气缸壁之间）。

b) **常见故障：**积炭过多，打气太慢（排气量降低）。

c) **油液监测指标：**粘度，氧化度和烟炱含量，磨损颗粒分析（光谱分析），铁谱分析。

d) **油液监测作用：**通过对压缩机曲轴箱内润滑油的老化变质和元素分析，来制定换油时间，并判断活塞及活塞环的磨损情况。



➤ 液压泵站

a) **润滑部位：**液压油柜



b) **油液监测指标：**水分，粘度，酸值，液压油清洁度（污染度分析）

油液监测作用：液压系统故障的 70%是因为液压油污染造成的。通过对液压油检测，控制污染发展，保证使用液压动力的船用机械设备正常运行。

4.2 船用设备油液监测类型

➤ 日常润滑磨损状态监测

机件在正常磨损阶段，磨损率基本不变。磨损率主要取决于所受应力的强度、工作温度和污染。机械应力会破坏油膜产生磨损颗粒；高温会使油膜变薄，增加凸体的接触机会而发生磨损；水和污染物的出现，也会降低油膜强度而加剧磨损。正常情况下磨损金属浓度只受设备使用条件和补油的影响。除非发生异变，它会处于稳定水平，达到动态平衡。

但是，实际上磨损曲线在正常磨损阶段也并不是平直的，它会由于使用中的磨损而增长，也会由于补油而降低，并形成若干个循环，直到：实施换油——金属和磨粒浓度降低，循环重新开始；机件磨损——更换机件；出现异常磨损——磨损颗粒和金属浓度急剧增加。**日常润滑状态监测就是确定发动机摩擦副表面磨损的基线是正常增长还是异常增长。**

日常监测需要同时考虑磨损和油液状态两方面的因素。通过监测磨损状态来确认磨损曲线是否正常，设备是否出现异常磨损。通过设备在用润滑油主要理化指标的定期跟踪监测，及时发现设备用油的劣化程度及污染原因，评价设备的润滑状态，指导企业采用合理的润滑方式和换油周期。通过对颗粒磨损各种设备用油的理化检测项目有数十项，但从长期跟踪监测的经济性考虑，要选择最合理的检测项目，达到最大的检测目的，既能实现设备的润滑与磨损状态监测，又能为企业节省检测费用。

下表是柴油机润滑油日常监测：

监测内容	检测项目
监测磨损物，污染物和添加剂的浓度趋势，判断运行情况以及磨损部位	元素分析
监测磨损颗粒的总数，大小以及分布，判断磨损的剧烈程度及污染度	污染度污染度污染度分析
判断润滑油的老化程度，决定是否换油	总碱值（TBN）及/或氧化度

判断润滑油中是否存在水污染	水分
判断润滑油的粘度是否发生变化，能否满足要求，也能侧面得到润滑油的老化，污染等信息	40℃运动粘度

➤ 润滑磨损故障的诊断

用油设备由于装配、使用和设备质量问题，不时会发生有关部件的异常磨损，分析异常磨损的原因对于企业的运行管理是很重要的。故障分析以磨粒分析为主，通过对柴油机在用油中磨损颗粒浓度、颗粒大小、颗粒分布、颗粒总量及磨损类型等的定量和定性分析，能有效诊断设备主要摩擦副的磨损失效状态、原因及磨损位置，指导企业及时采取视情维修措施，保证设备安全运行。**找到润滑磨损故障的根源，避免事故的进一步恶化。**进行磨损故障诊断的方式主要有：

监测内容	检测项目
监测各磨损元素的成分及其浓度，用于判定设备的磨损位置、磨损程度及其磨损趋势	元素光谱分析
磨粒图谱分析，根据观察到的磨粒尺寸、形状、颜色、表面纹理、透光度等特征；判定磨损位置、磨损程度及其磨损原因	铁谱分析
“智慧”铁谱分析，根据仪器自动给出的磨粒尺寸、形状及磨粒类型，判定磨损位置、磨损程度及其磨损原因。	磨粒综合分析

➤ 新润滑油的入库管理及其换油管理

每个型号柴油机所使用或者推荐使用的润滑油都有可能不同，如果**错将不同品牌的润滑油加注到同一齿轮箱**，往往会造成严重后果；市场上充斥了各种各样的**假冒伪劣产品**，如果没有严格的质量管控和入库管理；很有可能采购到假冒伪劣油品，一旦此类油品加注到设备中，必将对设备造成严重损坏；油品**在运输、储藏过程中**，如果油桶密封不好（特别是未用完的油桶），会被空气中的水分及其粉尘污染，被污染的润滑油加注到风电设备中同样会对其产生巨大危害；同时，有效控制油液中的水分及其固体污染物（监控其污染程度，超标时采用脱机过滤系统过滤）可有效降低其对设备造成的腐蚀、磨损等伤害，并有效提高润滑油的使用寿命，有此同时，通过监控油液的粘度、氧化度或总碱值（TBN），判定合理的换油周期。因此，新润滑油入库及其换油管理主要包含四部分内容：

监测内容	检测项目
确保不错加油或者加错油	粘度及红外光谱
确保购买的润滑油不是假冒伪劣产品	红外光谱分析最为直接有效
确保新油位在运输、储藏过程中被污染及变质	水分 污染度 总酸值或者氧化度
该过滤时过滤、换油时换油	过滤标准判定：水分、污染度 换油标准判定：粘度、氧化度及/或总酸值

5、实验室方案

5.1 方案设计的基本原则

1) 便于船上使用

➤ 设备小巧轻便

船体狭小，空间有限，所选设备必须小巧轻便，便于摆放安置，尽量少用或不用辅助设备。

➤ 操作简便，对操作人员要求低

因随船人员有限，所选设备必须简单易用，经过简单培训即可操作使用，不需要太高的背景和经验要求。

➤ 尽量少用或不用试剂

船上供给有限制，且存在试剂排放问题，所以所选设备应尽量不使用有机溶剂（气体）、辅助设备。

➤ 对操作环境要求低

因为海上环境恶劣，不仅湿度大，而且颠簸严重，所选设备必须能够在船上这个特殊环境工作。

2) 结果准确性

作为指导和检测设备可靠性的重要评价依据，精准的检测结果和重复性是必须的，因此选择可靠的、在油液检测领域口碑好的检测设备。

3) 检测全面性，而有针对性

润滑油分析是一个综合的系统工程，润滑状态、污染物及其磨粒——“油液监测铁三角”，是油液监测内容的集中体现，在此方案中都有体现。

并结合船用设备的特点，把柴油发动机、液压泵、汽轮机油、齿轮油、分压机等作为监控的重点进行考虑，设计专门的指标进行检测。

5.2 实验室方案

基于对船用设备润滑系统的特点及其监测需求的分析，我们推荐以下三种方案：

方案一： 现场应用检测方案——Q5800 便携式油液监测实验室



Q5800 是斯派超科技专门为军队现场油液监测研发的设备，可同时监控磨损、老化和污染状况。

➤ 包含以下三个部分（全部集成在一起）：

- a) FPQ 过滤颗粒定量仪（含 XRF 光谱分析和颗粒计数分析）
- b) FluidScanQ1000 便携式油液状态分析仪
- c) Q3050 便携式粘度计

设备整体重 16.5 公斤，不需要溶剂，可锂电池供电，可在 0-90%（无冷凝）工作湿度工作，10 分钟即可完成全部监测。

➤ 可检测指标包括：

仪器	检测指标	润滑油		
		油品衰变	污染	磨损
Q5800	元素分析（测试大于 4um 的颗粒）	√	√	√
	水分(所有润滑油)		√	
	总酸值（除发动机外的润滑油）	√		
	总碱值（发动机油）	√		
	氧化度（所有油液）	√		
	硝化度（发动机油）	√		
	硫化度（发动机油）	√		
	抗磨添加剂损耗（针对部分油液）	√		

	40°C运动粘度（所有油液）	√		
--	----------------	---	--	--

方案二：现场应用方案——Q5300

斯派超针对现场检测推出的最新型号，以主动预防为主，检测润滑油的老化、污染以及混油情况；同时监测预测性维护的关键指标铁磁性颗粒以及磨粒类型，加重主动预防的报警权重，避免特殊情况发生。

➤ 包含以下三个部分

- a) FluidScanQ1000 手持式油液状态分析仪
- b) Q3050 手持式粘度计
- c) Q230 多功能磨粒分析仪



这三台设备都是斯派超科技为美国海军研发，甚至是联合研发（Q230）。三台设备总重量低于 20 公斤，均可在 80%（无冷凝）工作湿度工作，十分钟之内能完成所有项目检测，仅 Q230 需要少量溶剂（航空煤油），左图是某铁路系统客户自行设计的移动小车用于现场油液监测。

➤ 可检测指标包括：

仪器	检测指标	润滑油		
		油品衰 变	污 染	磨 损
Q1000 型 便携式油液状态分析 仪	水分(所有润滑油)		√	
	总酸值（除发动机外的润滑油）	√		
	总碱值（发动机油）	√		
	氧化度（所有油液）	√		
	硝化度（发动机油）	√		
	硫化度（发动机油）	√		

	抗磨添加剂损耗(针对部分油液)	√		
Q3050 便携式粘度计	40°C运动粘度(所有油液)	√		
Q230 多功能磨粒分析仪	大尺寸磨粒失效分析			√
	颗粒计数		√	
	污染指数		√	
	铁磁性颗粒			√
	游离水	√		

方案三：实验室应用方案——Q230+Q100

方案三在方案二的基础上加了一台 Q100 油料光谱仪，增加了磨损检测，可以通过 Q100 油料光谱仪更精确的元素分析，判断磨损部位及磨损程度（请参看第三部分）。

➤ 包含以下四个部分

- a) FluidScanQ1000 便携式油液状态分析仪
- b) Q3050 便携式粘度计
- c) Q230 多功能磨粒分析仪
- d) Q100 型油料光谱仪

Q100 重约 70Kg, 不需有机溶剂, 检测时间为 30 秒, 曾随中国海军远赴索马里。

➤ 可检测指标包括：

仪器	检测指标	润滑油		
		油品衰 变	污 染	磨 损
Q1000 型	水分(所有润滑油)		√	

便携式油液状态分析仪	总酸值（除发动机外的润滑油）	√		
	总碱值（发动机油）	√		
	氧化度（所有油液）	√		
	硝化度（发动机油）	√		
	硫化度（发动机油）	√		
	抗磨添加剂损耗（针对部分油液）	√		
Q3050 便携式粘度计	40°C运动粘度（所有油液）	√		
Q230 多功能磨粒分析仪	大尺寸磨粒失效分析			√
	颗粒计数		√	
	污染指数		√	
	铁磁性颗粒			√
	游离水	√		
Q100 油料光谱分析仪	元素分析（<5um 的颗粒）	√	√	√

5.3 采样频率

船用发动机油的采样频率根据发动机特点、使用苛刻度和监测具体目标确定：

- 采样部位为邮箱、分油机前、分油机后
- 对二冲程发动机系统油，在正常使用情况下一般在 1500-2000h 取一次样；
- 船用中速机油一般间隔 500-1000h 取一次样；
- 由于汽缸油为一次性使用油品，汽缸油在完成其作用后，大部分被烧掉，

通过盘根废油的分析可反映磨损、酸中和及油品氧化等信息，对这部分油的取样间隔根据实际情况及检测具体目的灵活制定；

- 燃料油对船用机油影响很大，故在每次燃油变化之后也应进行分析。

各种情况采样周期

	系统油	中速机油
1	更换、补加润滑油后，50h	更换、补加润滑油后，50h
2	运行 1500h	运行 1500h
3	每连续运行 1500-2000h	每连续运行 1500-2000h

注：①对认证行船试验，采样时间按设备制造商认证要求进行；

②对新船试航、首航，按各设备制造商要求进行。

5.4换油指标 确定及主要用油设备的换油标准参考

➤ 油液监测换油指标确定

机械设备的设计、结构、工况及润滑方式的不同，润滑油在使用中的变化也有差异，统一规定换油周期是不切合实际和不科学的。一般说，换油期必须视具体的机械设备在长期运行中积累和总结的实际情况，制定必须换油的特定极限值，凡超过此极限值，就应该换油。

在具体的操作实践中，请综合参考被监测设备提供商技术指导书中推荐的换油标准、润滑油公司提供的换油标准以及国内外相关标准。

案例：汽轮机油机械杂质指标的确定

1) 经验值的确定

从使用汽轮机油的透平机类设备资料中，可归纳出转速 $<8000\text{r/min}$ 的设备，对机械杂质的换油要求一般 $\leq 0.2\%$ ，而国家石油化工有限公司标准中给定的其它牌号润滑油，机械杂质的换油要求 $<0.05\% \sim 0.3\%$ 。根据换油指标的确定原则，所用汽轮机油的换油指标定为 $\leq 0.2\%$ ，将这一指标用于实际设备润滑管理中，同时跟踪检测机械杂质的实际情况，用于修订和确定最终适用的机械杂质换油指标。

2) 运行中对换油指标的修订

在润滑状况良好时，对 3 台膨胀机和 2 台空气透平压缩机油质进行了两年的跟踪定期检测。对因润滑油机械杂质引起的轴瓦温度升高、烧融以及轴瓦损伤（瓦面磨痕严重）的油质情况进行化验记录。

设备	第一年度				第二年度			
	第一季度	第二季度	第三季度	第四季度	第一季度	第二季度	第三季度	第四季度
1 号膨胀机	0.0557	0.0713	0.0862	0.0697	0.0759	0.0857	0.0769	0.1260
2 号膨胀机	0.0624	0.1020	0.1320	0.0913	0.0709	0.0748	0.0815	0.0932
3 号膨胀机	0.0779	0.0761	0.0832	0.0981	0.1165	0.1914	0.0664	0.0798
1 号压缩机	0.0532	0.0678	0.0801	0.1226	0.1862	0.0812	0.0641	0.0726
2 号压缩机	0.0652	0.0732	0.0954	0.1164	0.0966	0.1267	0.2177	0.0831

注：数据为润滑不良造成设备工况异常时鉴定的机械杂质数值。

从上表可以看出机械杂质值 $<0.13\%$ 时，润滑不良造成设备异常情况的出现率显著减少，但是却仍然存在。为了确保润滑良好，最大限度地减少由于机械杂质造成润滑不良而导致设备异常的可能性，综合各因素，最终确定油品机械杂质项目换油指标为 $\leq 0.1\%$ 。

3) 验换油指标的验证

经过一年实际验证，上述设备再无润滑不良及由其造成工况异常现象的出现。可以确定，转速 $>8000\text{r/min}$ 的透平类设备所用汽轮机油机械杂质的换油指标定为 $\leq 0.1\%$ 是可行和适用的。将此项指标确定为厂内所有透平风机、透平膨胀机所用汽轮机油的机械杂质换油指标，给油质监测和实际用油后的油质变化提供了管理依据。

➤ 船用柴油发动机换油标准

附表 1 发动机油元素分析评价标准

检测内容	检测标准	换油标准	检测设备
元素分析: 检测在用油中磨损金属、污染元素以及添加剂元素的含量	ASTM D6595	见附表 1	油料光谱仪
铁谱分析: 检测在用油中磨损颗粒的形状、成分、大小和数量.	ASTM D769, ASTM D7596	-	铁谱或多功能磨粒分析仪
磨粒分类: 检测在用油中磨损颗粒的磨粒类型	ASTM D7596	-	多功能磨粒分析仪
污染度分析: 检测油中污染杂质颗粒的尺寸、数量及分布.	ASTM D7596、NAS 1638、ISO 4406	参考常用设备清洁等级标准	油液颗粒计数器或多功能磨粒分析仪
总碱值: 中和 1g 试样中全部碱性组分所需要的高氯酸, 以 mgKOH/g 表示.	ASTM E7889, ASTM E2412, ASTM D4739	ISO-F-DMX...B, 5mgKOH/g ISO-F-DMC, 15 mgKOH/g ISO-F-DMA...K, 20mgKOH/g	红外光谱仪或酸碱仪
氧化/硫化/硝化: 齿轮箱油基础油的老化程度以及抗氧化添加剂的损耗	ASTM E7889 和 ASTM E2412 红外法	新油±25%	红外光谱仪
水分: 油中含水量的百分数(游离水、乳化水、溶解水)	ASTM E7889 和 ASTM D1744 容量法	0.5%	红外光谱仪
燃料污染: 油中含柴油的百分数	ASTM2412 红外, ASTM D3525 气相	3%	红外光谱仪
乙二醇: 油中含乙二醇的量	ASTM E2412 红外, ASTM D4291 气相法	400ppm	红外光谱仪
烟炱: 油中含烟炱的百分数	ASTM E2412 红外	1.5%	红外光谱仪
粘度: 粘度是流体流动时内摩擦力的量度, 用于衡量油品在特定温度下抵抗流动的能力.	ASTM D445、ASTM D7279	大于-20%/+25% (4 摄氏度 0)	粘度计

元素	Fe	Al	Cr	Cu	Si	Pb
正常	0-50	0-7	0-7	0-153	0-17	0-45
边缘	51-62	8-9	8	154-158	18-19	46-56
偏高	63-78	10-11	9-10	189-235	22-26	57-70
异常	≥79	≥12	≥11	≥236	≥27	≥71

异常增长趋势	16	3	3	47	5	14
--------	----	---	---	----	---	----

备注：还需结合所用油样和设备本身结构进行修订

➤ 船用系统油

监测项目	报警值	应对措施
运动粘度 (40°C)	±10%	确定原因，如粘度低测闪点。换油。
酸值	增加 0.5mgKOH/g	查找原因。增大取样频次。如果仍然不满意，考虑换油或咨询油品供应商
水分	大于 0.5%(体积分数)	查找原因，进行必要的维护。如果仍然不满意，考虑换油或咨询油品供应商
污染度等级	参考常用设备清洁等级标准	离心或过滤油，或考虑换油
磨粒分析	出现大于 20 微米的颗粒	调查颗粒的来源，进行必要的维修
氧化	新油的±15%	考虑换油

常用设备清洁度等级

	12/9	14/11	16/13	18/15	20/17	22/19	24/21
非常清洁	非常清洁	非常清洁	清洁	脏	脏	脏	脏
		非常清洁	非常清洁	清洁	脏	脏	脏
			非常清洁	非常清洁	清洁	脏	脏
非常清洁	非常清洁	非常清洁	清洁	脏	脏	脏	脏

亚太森博（ABB）	关键设备用油检测	2013
华能新能源（通辽）	风电齿轮油检测	2013
上海海事大学	船用润滑油检测	2014

6、参考文献

- 1) 张有宜 设备润滑管理维护及其重要意义 2010 全国煤矿机械与救援装备高层论坛论文集
- 2) 吴欢, 俞巧珍 船用柴油发动机用油现状和发展趋势 双月策划 2006 年第四期
- 3) 冯智海 船用大功率柴油发电机轴承润滑系统的研究 防爆电机 2006 第 6 期
- 4) 胡理琳 船用油液检测技术 青岛远洋船员学院学报 2003 年第二期
- 5) 李萍 萧汉梁 船舶舵桨装置维修制度的改革 中国修船 1997 年第 1 期
- 6) 魏海军 孙培廷 船用润滑油的使用管理 世界海运 2003 年第 5 期