

第五章 柴油机系统

第一节 燃油系统

一、作用和组成

燃油系统是柴油机重要的动力系统之一，其作用是把符合使用要求的燃油畅通无阻地输送到喷油泵入口端。该系统通常由五个基本环节组成：加装和测量、贮存、驳运、净化处理、供给。

燃油的加装是通过船上甲板两舷装设的燃油注入法兰接头进行的。这样，从两舷均可将轻、重燃油直接注入油舱。注入管应有防止超压设施。如安全阀作为防止超压设备，则该阀的溢油应排至溢油舱或其他安全处所。注入接头必须高出甲板平面，并加盖板密封，以防风浪天甲板上浪时海水灌入油舱。燃油的测量可以通过各燃油舱柜的测量孔进行，若燃油舱柜装有测深仪表的话，也可以通过测深仪表，然后对照舱容表进行。

加装的燃油贮存在燃油舱柜中。对于重油舱，一般还装设加热盘管，以加热重油，保持其流动性，便于驳油。

燃油系统中还装设有调驳阀箱和驳运泵，用于各油舱柜间驳油。

从油舱柜中驳出的燃油在进机使用前必须经过净化系统净化。燃油净化系统包括燃油的加热、沉淀、过滤和离心分离。图 5-1 示出了目前大多数船舶使用的重质燃油净化系统。

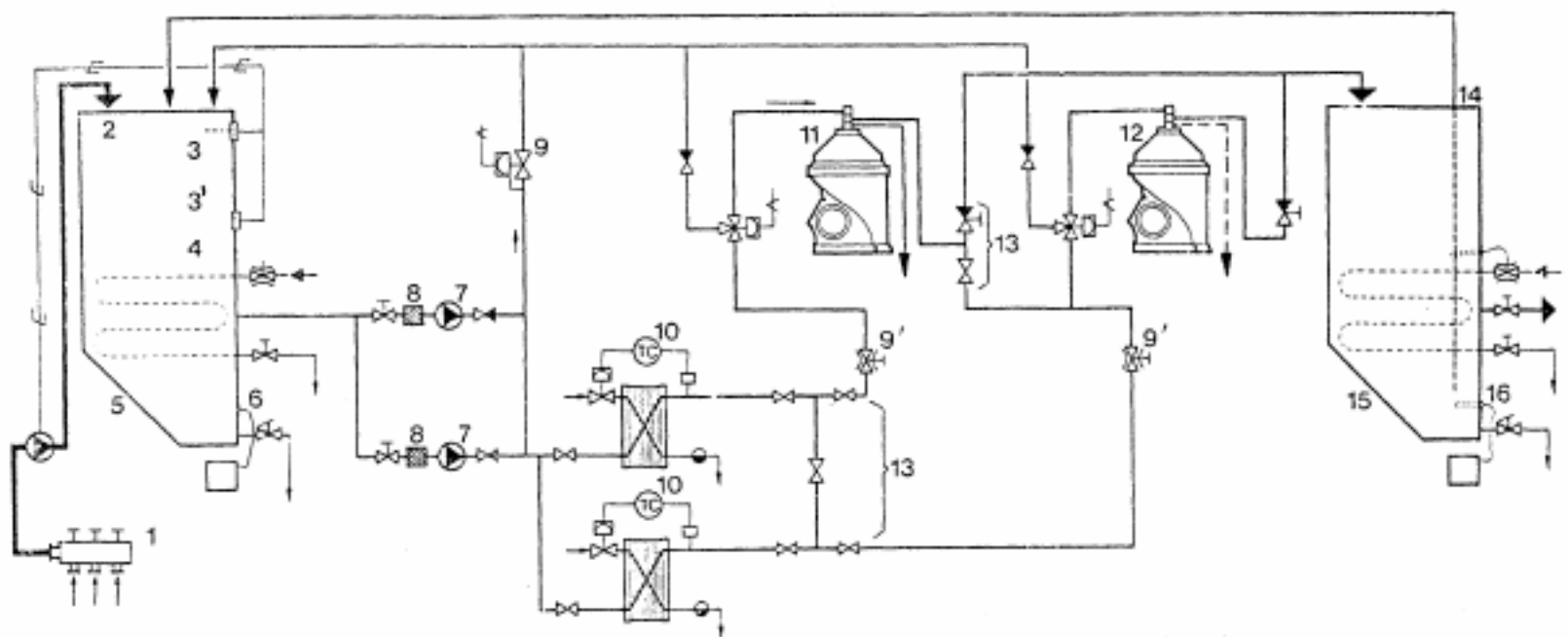


图 5-1 重质燃油净化系统

1- 调驳阀箱；2-沉淀油柜燃油进口；3-高位报警；3'-低位报警；4-温度传感器；5-沉淀油柜；6、16-水位传感器；7-供油泵；

8-滤器；9-气动恒压阀；9'-流量调节器；10-温度控制器；11、12-分油机；13-连接管；14-日用柜溢油管；15-日用油柜

从图可以看出，通过调驳阀箱 1，燃油被驳运泵从油舱送入沉淀油柜 5，每次补油量限制在液位传感器 3 与 3' 之间，自动调节蒸汽流量的加温系统加速油的沉淀分离并且可使沉淀油柜提供给供油泵 7 的油温变化幅度很小。供油泵后设气动恒压阀 9 和流量控制阀 9'，以确保平稳地向分油机输送燃油，有利于提高净化质量。燃油进入分油机前，通过分油机加热器加温，加热温度由温度控制器 10 控制，使进入分油机的燃油温度几乎保持恒定。系统设有既能与主分油机串联也能并联的备用分油机，还设有备用供油泵，提高了系统的可靠性。分油机所分的净油进入日用油柜 15，日用油柜设溢流管。在船舶正常航行的情况下，分油机的分油量将比柴油机的消耗量大一些，故在吸入口接近日用油柜低部设有溢流管，可使日用油柜低部温度较低、杂质和水含量较多的燃油引回沉淀柜，既实现循环分离提高分离效果，又使分油机起停次数减少，延长分油机使用寿命。沉淀柜和日用柜都设有水位传感器 6、16，以提醒及时放残。

燃油经净化后，便可通过燃油供给系统送给船舶柴油机。近年来由于高粘度劣质燃油的

使用，其预热温度大大提高。为避免在使用高（ $700\text{mm}^2/\text{s}$ ）重油时因预热温度过高而汽化，出现了一种加压式燃油系统。如图 5-2 所示，在日用燃油柜与燃油循环油路之间增设一台输送泵，保证柴油机喷油泵进口处的燃油压力为 800kPa （循环泵出口压力为 1Mpa ），循环油路（回路）中压力为 400kPa ，防止燃油系统在高预热温度（如 150°C ）时发生汽化和空泡现象。

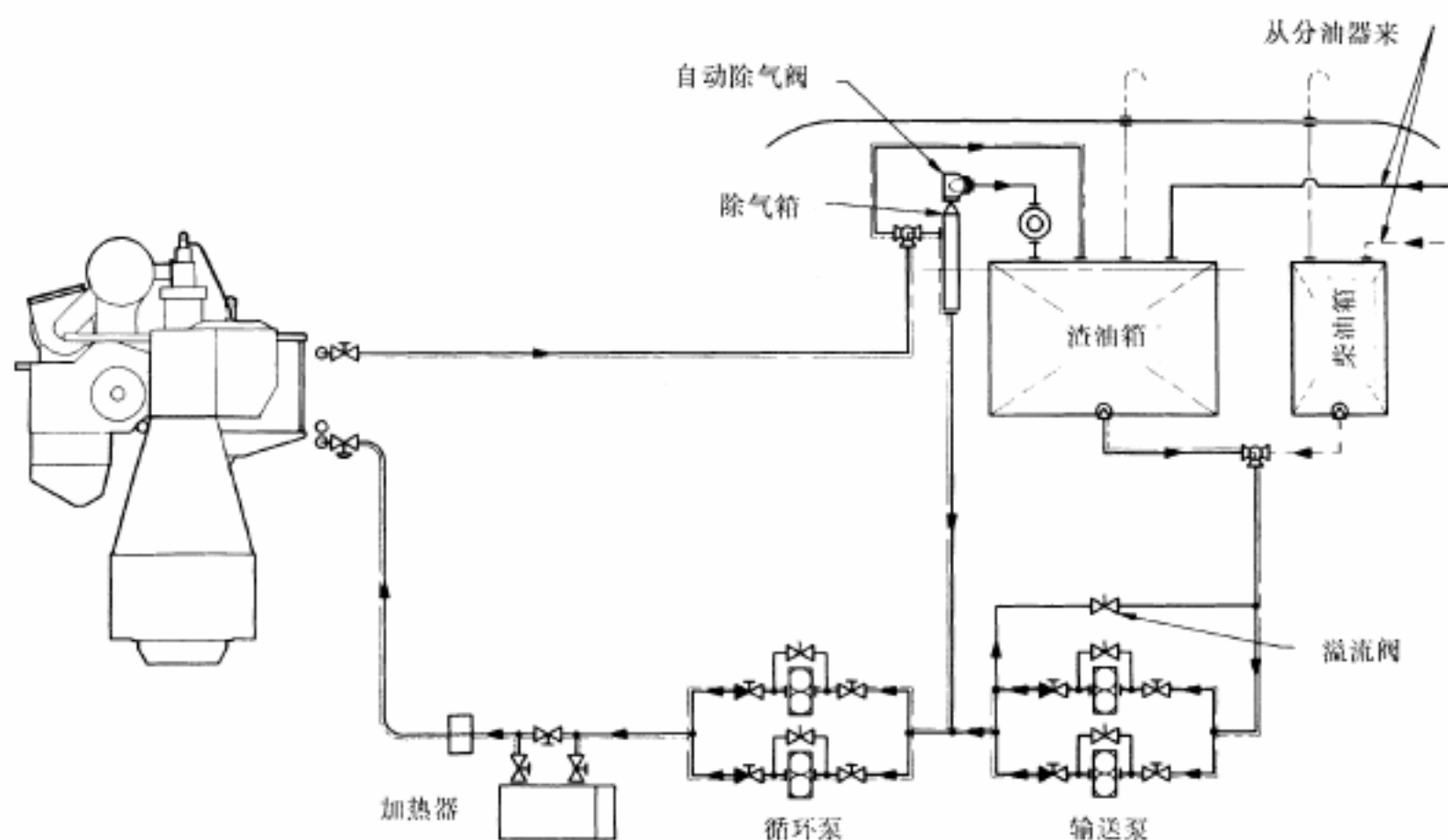


图 5-2 加压式燃油供给系统

二、主要设备与作用

1. 重油驳运泵

重油驳运泵的作用是将任一重油舱中的重油驳至重油沉淀柜中进行沉淀澄清处理；在各重油舱之间相互驳运；特殊情况下可把重油舱中的重油驳至舷外。驳运泵一般使用齿轮泵或螺杆泵。

2. 重油的净化处理设备

重油的净化通常采用沉淀、分离和滤清等净化处理措施。

沉淀需在专设的沉淀柜（沉淀柜应设置两个）中进行，按有关规定至少沉淀 12h 。为提高净化效果，沉淀柜中的重油应预热至 $50^\circ\text{C}\sim 60^\circ\text{C}$ ，并可酌情加入泥渣分散剂和疏水剂，以使油中悬浮杂质易于沉淀。沉淀柜应定期放水排污。

滤清由系统这的多个粗、细滤器来完成。

净化处理的核心环节是离心分离，其主要设备是离心分油机。关于离心分油机，将在第四节具体介绍。

3. 雾化加热器和加热温度的控制

重油使用前的预热处理是保证柴油机正常运转的重要措施，通常采用分段预热的办法。按有关规定应采用饱和蒸汽作加热源。预热蒸汽压力不应超过 0.8Mpa （相当于饱和蒸汽温度 175°C ），以防重油中的焦炭析出沉淀在加热器中。

雾化加热器是一个重要的预热设备。根据良好雾化的要求，重油进入喷油泵时其粘度应降低到 $12\text{mm}^2/\text{s}\sim 25\text{mm}^2/\text{s}$ 范围内。在根据此雾化粘度确定雾化加热器的预热温度时，还应再提高 $10^\circ\text{C}\sim 15^\circ\text{C}$ ，以抵偿喷油压力及散热对粘度的影响。为避免加热后迅速积垢，预热温度不得超过 150°C 。

通常，在雾化加热器出口装设燃油粘度发讯器（图 5-2 中未示出）测量燃油粘度的变化，

并通过某种调节机构（如气动薄膜调节阀）调节蒸汽阀的开度，保证燃油粘度与设定的雾化粘度相符。

三、燃油系统的维护管理 1

．燃油的加装和测量、贮存

加装燃油是一项十分重要的工作，作业时应特别细心。根据船上存油的牌号和数量，考虑下一航次的运输任务，由轮机长提出加油数量和规格，经与船长商定后，提出加油申请，电告公司主管部门。公司批复后，和船舶代理联系具体加油事宜。

加油前应掌握各油舱确实的存油品种和数量，尽量并舱，使新旧油分舱存放。加油油舱和数量确定后，再与大副商定，确保船舶的平衡。二管轮检查装油管系，正确开关阀门，堵好甲板出水孔，对可能发生渗漏的地方重点检查。

正式开泵装油前，二管轮应检查供油方的供油质量和数量，记取流量计读数，用验水膏检查油中含水情况。供油和受油双方规定好联系信号，以船方为主，双方均应切实执行。同时与供油方确定好供油速度。

装油中，在油气可能扩散到的区域应禁止吸烟和明火作业。泵开动后，立即倾听油流声响和透气管的出气情况，确认油已进入预定的舱位。装油人员要坚守岗位，严格执行操作规程，掌握装油进度，防止跑、冒、漏。

停止装油时，应关好有关阀门。拆除输油软管时，应事先用盲板将管口封好或采取其它有效措施，防止直内存油倒流入海。重新测量各舱柜存油数量，并核对供方加油实际数量，索取油样并当场封好，以备发现问题时有据可查。

除加装燃油时需测量油舱外，每航次开始和结束都要实测油舱燃油存量，并予以记录。测量时要注意船舶前后吃水差，对照舱容表计算。

在燃油的贮存中应注意不同牌号的同一油品以及不同加油港加装的同一牌号燃油不可混舱，必要时需进行试验。

当两种不同的油混兑使用时，最大的问题是它们的不相容性，当混兑后发生不相容情况时，往往会发生化学反应，大量沥青质、淤渣析出，造成堵塞和主机燃烧不良，大量冒黑烟。严重时会引起柴油机运行困难。

2. 燃油加热温度的选择

对燃油（尤其是重油）进行加热是一项十分重要的工作。海船上大多用蒸汽加热，为确保安全规定使用饱和蒸汽。加热温度随使用粘度要求而异，一般采用分段加热法。燃油舱中加热是为了便于驳运，因此应确保油管出口附近燃油不发生凝固为原则，将油舱加热至15-20℃，出口附近为35-40℃即可。在沉淀柜中，要加热到50-70℃（要比闪点低一定温度）以提高沉淀效果。为了提高分离效果，分油温度不能太低，也不能太高，对于重油，最高温度不准超过98℃。在日用油柜中，重油温度应保持在70-80℃。为使喷入气缸中的燃油应有合适的温度以确保燃烧完善，对喷油泵前的燃油加热十分重要。对中低速柴油机而言，雾化加热器的加热温度应使重油粘度降至12 mm²/S -25 mm²/S。考虑到压力增高会使粘度增大，以及经管路到喷油器有温度降，加热温度应再提高10-15℃，一般加热到100-150℃。

以上各处的加热温度可以通过蒸汽量来调节。

3. 确保燃油清洁

主要是在营运中认真掌握好沉淀、分离、过滤等净化环节。定期对沉淀柜和日用油柜进行排污放水，保证油柜清洁，定期清洗燃油滤器。特别是风浪天，要增加放残和燃油滤器的清洗次数。可根据燃油流经滤器前后的压力差来判断滤器的工作情况：若压差增大超过正常值，表明滤器已变脏堵塞，需立即清洗；若无压差或压力差变小，则表明滤网破损或滤芯装配不对，需立即拆卸检查。

4. 系统放气

燃油系统中容易积气，气往往聚集在系统的高处。系统有气后供油压力波动，甚至无法供油而停车。油柜上都有透气管，燃油供给系统又是封闭系统，在正常运转中一般不会有空气进入燃油供给系统。系统中的气大部分是清洗滤器时和维修管路时进入，也可能在停机过程中，由喷油泵偶件间隙进入。因此，清洗完滤器和管路后应注意充油驱气。

5. 换油时的正确操作

当船舶需要较长时间的停泊或燃油管系中某些设备需要拆卸时，应在柴油机停车前改用 轻柴油，以便把管系和设备中的重油冲净。此外，当柴油机处于机动操纵状态时，为使柴油机具有机动性能（特别是起动性能），最好也使用轻柴油，而船舶正常航行后应使用重油，以提高经济性。这种在柴油机运行中进行的轻、重油转换操作称为换油。换油操作的基本原则是防止油温突变，以避免喷油泵柱塞卡紧或咬死。由重油换为轻油时：首先关闭燃油雾化 加热器的加热阀，关掉粘度计，随后切断燃料油，同时接通柴油。在集油柜中使原来的燃料油和新注入的柴油逐步混合稀释。由于稀释粘度比油温下降得快，所以不需再加温。最后燃 油管道、低压燃油输送泵、燃油雾化加热器、回油管充满柴油，以供下次起动。由轻油换为重油时：首先，必须将燃料油日用柜加热至使用状态，同时略为开启燃油雾化加热器使柴油 温度上升至 40℃ 以上，随后再切断柴油，接通燃料油。要在消耗完系统内柴油的时间内将燃油温度加热至燃料油雾化要求的温度。

近年来推出的船舶中、低速柴油机，在燃油系统中都采用了能够使燃油经过喷油泵，喷油器循环流动的设计。在正常使用时，厂家要求使用重油这一种单一燃料，除非柴油机预计 停车较长时间，否则不必换用轻油。

第二节 低质燃油的使用和降速运行

低质燃油泛指品质低劣、使用困难、价格低廉的船用燃料油（俗称重油）。通常，低质燃油即指前述的“中间燃料油”及“残渣油”。船舶柴油机使用的低质燃油（重油）多为“中间燃料油”，其最粘滞者质量最差者可称为重质燃料油。目前，随着石油炼制工艺的发展，低质燃油的品质正在逐年下降，对柴油机提出了愈加苛刻的要求。

一、低质燃油的特点

低质燃油有下列突出特点。

（1）密度大。劣质油密度可高达 0.94g/cm³~1.06g/cm³ 。由此造成燃油净化和雾化困难，同时油滴燃烧时易产生热裂，导致机件结炭增多。

（2）粘度高。低质油粘度约在50mm²/s~2000mm²/s 之间。由此造成燃油贮存、输送、净化和雾化的困难。

（3）成分复杂。低质油含有较多的水分、灰分和硫、钒、钠、硅、残炭等杂质。油中的杂质加剧了柴油机燃烧室部件和喷油设备元件的腐蚀和磨损。表 5-1 示出国际内燃机学会（CIMAC）发表的K55 燃料油的技术条件。

表 5-1K55 燃料油技术条件

粘度(mm ² /s)	密度(g/cm ³)	残炭(%)	硫分(%)	灰分(%)	水分(%)	钒(×10 ⁻⁶)	铝(×10 ⁻⁶)
700	1.010	22	5	0.2	1	600	80

（4）发火性差。低质油CN 值很低（一般为 25 左右）。滞燃期 τ_i 长，燃烧持续期长，排气温度 t_r 值偏高，且因燃烧不完全，其 b_e 和烟度均有所增加。

二、低质燃油的使用

1. 使用低质燃油的意义

低质燃油的使用是船用柴油机发展中的一项重要技术成就。使用这种燃油可以大幅度降

低船舶营运成本，同时可以合理使用石油资源。自70 年代以来，由于柴油机燃油大幅度涨价，燃油费用支出约占船舶营运成本的50%，使船用柴油机使用低质燃油成为一项普遍采用 的技术。目前，不但船用低速柴油主机使用低质燃油，而且船用中速柴油机（主机和发电柴油 机）也使用低质燃油。

1. 柴油机使用低质燃油后出现的技术问题

使用低质燃油时，如果处理不当则会导致以下不良后果：

- （1）影响喷油设备正常工作。增加喷油设备的机械负荷和热负荷，引起喷油设备偶件 过度磨损、腐蚀、喷孔结炭、变形等故障。
- （2）恶化燃烧性能。低质燃油雾化困难，自燃性差，使燃烧性能恶化，最高爆发压力 降低；后燃严重，排气温度增高，排气烟度增加，缸内结炭严重。
- （3）损坏主要部件。低质燃油中的灰分、机械杂质、结炭以及燃油裂化使用的含硅、 铝的催化剂等，都会使缸套和活塞部件发生异常颗粒磨损：低质燃油中的高硫分和高钠、钒 含量所产生的低温腐蚀与高温腐蚀将使缸套、轴承、排气阀与阀座、涡轮增压器等发生严重的腐蚀磨 损，加剧部件损坏。
- 4）加速曲轴箱内滑油变质。含硫氧化物的燃气漏入曲轴箱，将使曲轴箱滑油迅速变质 并腐蚀有关轴承。

三、使用低质燃油时的管理技术要点

1. 低质燃油的预处理

预处理指低质燃油进入喷油泵之前所进行的预热、净化、添加有关添加剂等技术措施。 预处理的目的是改善低质燃油的贮存、驳运和使用性能，以满足柴油机工作的需要。

1) 预热

采用分级预热方案保证低质燃油在输送、净化和雾化等环节中的不同使用要求。预热 温度应以满足其粘度要求为准，因而对不同粘度的低质燃油，其预热温度不同。表 5-2 示出 燃油系统中各部位的预热温度。如重油贮存柜中的预热温度以泵出为准约为 30℃~38℃； 为保证雾化质量要求，喷油泵处的燃油粘度应为12 mm²/S~25 mm²/S，据此可从重油的粘温 曲线上查出相应的预热温度值。按我国有关规定，燃油预热应使用饱和蒸汽（蒸汽压力不应超 过 0.8Mpa）作为预热热源以防重油中的焦炭析出沉淀在加热器中。在小型船舶上也可采用 电加热。目前船用柴油机使用的低质燃油其雾化加热温度的上限为150℃。为防止预热温度高 使燃油汽化中断供油，在近代船用柴油机中采用加压式燃油系统（提高燃油输送泵压力达 1.6Mpa）。

表 5-2 预热温度推荐值

名 称	预 热 温 度(℃)	
	180 mm ² / s	400 mm ² / s
重油贮存柜	30	38
重油沉淀柜	60	60
重油日用油柜	70~80	80
分油机加热器	85	90
雾化加热器	90~115	110~130

2) 净化

燃油的净化包括沉淀、滤清和分离。沉淀应在沉淀柜中沉淀12h，并在柜底定期排污 以达初步净化的目的。滤清是燃油净化的重要环节，由分布在燃油系统中的粗、细滤器完成。在喷 油器入口处还可设置高压缝隙式滤器，对燃油进行最后滤清。离心分油是净化燃油的主

要有效手段，当净化低质燃油时应使用两台分油机串联布置（第一级为分水机，第二级为分杂机），并正确选择比重环、分油预热温度、排渣时间以及最佳分油量（30%~50%标定分油量），以确保分油质量。对于密度大于 991kg/m 的劣质燃油，建议使用 α-LAVAL FOPX 燃油分离系统分离。

3) 添加剂
在低质燃油中加入各种添加剂以改善低质燃油的有关性能. 如表 5-3 所示。

表 5-3 低质燃油使用的添加剂		
种 类	成 分	作 用
助燃剂	铜、铁、铝的金属盐 钡的有机化合物 磷系化合物	助燃并中和硫化物，减轻烟度 剥离炭渣
分散剂	高分子化合物 各种界面活化剂	分散油中的炭渣和沥青 防止油中的海水氧化油水界面
抗蚀剂	氢氧化镁悬浊液 碱土金属盐悬浊液	防止硫酸的低温腐蚀 防止钠、钒的高温腐蚀
十六烷值增长剂	亚硝酸戊脂、过氧化丙酮	提高燃油的十六烷值
降凝剂	烷基萘、高分子化合物	降低凝点

4) 乳化

在燃油中掺水并使之成为油包水的乳化液，可改善低质燃油的燃烧性能，减少缸内结炭。燃油乳化可采用均质器，它可以使油中的水和杂质颗粒细化与均质化，以改善燃烧，减轻磨损。但此项均质技术因各种杂质颗粒在燃烧中的聚合而加速磨损，未能广泛使用。

2. 柴油机的运行管理

1) 燃油管理

加强对低质燃油质量的检查（如加油时留样、送检等），尤其应防止不同牌号的燃油或相同牌号而不同港口的燃油混舱，以避免两种油品中悬浮的沥青分发生凝聚而生成油泥沉淀 物，即所谓燃油的不相容性。此时燃油变质产生大量油泥物，影响柴油机正常工作，如供油管路堵塞、分油机油泥过多、喷油设备咬死、排气冒黑烟等。在船舶机动操纵时，应换用柴油。

2) 喷油设备的调整

适当增大喷油提前角，保证在上止点附近发火以及最高爆发压力的数值及相位正常；适当提高喷油器启阀压力以保证雾化质量；注意喷油器雾化质量。

3) 气缸润滑

选用碱性气缸油以中和硫酸。气缸油的总碱值（TBN）应与燃油的硫分相适应，并酌情增大气缸油注油率。

4) 冷却水温度的调节

注意调节并控制各冷却部位的冷却温度。防止因过热引起高温腐蚀以及因过冷而引起低温腐蚀。在低负荷运转时应适当提高进气温度和淡水冷却温度。

5) 增压系统、换气系统的管理

排气阀与阀座易因高温腐蚀而迅速损坏，废气涡轮增压器的喷管环、工作叶轮以及压气机叶轮等易发生结炭堵塞、烧损、腐蚀，应定时检查与清洗；空冷器、扫气箱与气口易发生污染、堵塞，应定期检查与清洗。

3. 改进部件结构，提高摩擦表面的工作性能

采用镀铬、氮化等工艺提高缸套、活塞环、活塞环槽表面的硬度，以改善其耐磨性，改进喷油器头部结构，加强冷却效果以防喷孔周围结炭。十字头式柴油机气缸下部装有横隔板，改进活塞杆填料函的结构并加强管理，以防燃烧产物落入曲轴箱使滑油变质。

四、降速运行及其优化调整

近廿年来，多数营运中的船舶（如油轮、矿砂船、散装船等大型船舶）出于货运市场与船舶营运成本等多方面因素的考虑，大多采用降速运行的节能（油）措施。按不同船舶及货源情况选用 $(75-80)\% \eta_b$ （标定转速）作为长期运转转速（相应运转功率约为 $(40-50)\% P_b$ ）。此时船舶航速虽相应降低，但降低幅度不大，而主机燃油耗量降低幅度较大。如上例，航速降低约 20% 而主机油耗量降低达 50%。因而采用降速运行是降低营运成本的一项行之有效的技术措施。

但由于柴油机长期处于低负荷运行，偏离其最佳工况太多，必然使柴油机燃烧恶化，故障较多，如磨损加剧、缸内大量结碳等。使柴油机的有效油耗率 b_e 增加，可靠性降低。为改善柴油机低负荷运转时的运转性能，使降速运行节能技术更加完善，通常，在采取降速运行时，均对柴油机进行相应的优化调整措施。这些优化调整措施主要有：

1. 适当增大气缸压缩比，如在船用大端处加调整垫片。保证压缩终点良好的热状态。
2. 适当增大喷油提前角，保证足够高的最高爆发压力。
3. 采用小喷孔节能型喷油器（孔径减小，孔数稍有增多，但总流通面积降低）提高启阀压力等以提高雾化质量。
4. 适当减少气缸油注油量，除可减少气缸油消耗外，尚可降低缸内积碳与结焦现象。
5. 保证缸套、喷油器等正常冷却，调整空冷器后增压空气温度，防止因过分冷却而产生低温腐蚀。
6. 改善增压与扫气系统。如适当减少喷管环通流面积，以提高增压器转速，调整气阀定时等。
7. 加强对柴油机的维护管理，如酌情缩短吊缸周期，加强对增压器的维护与保养等。

第三节 分油机

船舶柴油机所用的燃油和滑油在进机使用前必须经过净化处理，除去之中的水分和杂质。净化的好坏对柴油机工作的可靠性和使用寿命影响极大。分油机是船舶净化燃油和滑油必不可少的关键设备。

一、分油机的基本工作原理和种类

在混有水和杂质的油中，机械杂质的密度最大，油的密度最小，水的密度介于二者之间。油在沉淀柜中存放一定的时间能使机械杂质和水分沉淀分离，但速度极慢。目前船上主要靠离心式分油机来净化燃油和滑油。其工作原理是：让需净化的油进入分油机中作高速旋转，密度较大的水滴和机械杂质所受的离心力最大，被甩向外周，水被引出，杂质则定期清除（排渣）；密度较小的油所受离心力较小，便向里流动，从靠近转轴的出口流出，油从而得到净化。由于杂质、水分所受的离心惯性力比自身的重力大几千倍，因此，离心式分油机具有净化时间短、流量大和效果好的优点。

分油机根据用途不同可分为分水机 (purifier) 和分杂机 (clarifier)。当待分油中所含水分较多时，使用分水机，分离油中的水分及杂质；当待分油中所含水分较少时，使用分杂机，分离出的杂质和少量水分从排渣口排出。

分油机的核心部件是分离筒，其结构如图 5—3 所示。分离筒本体 2 由立轴带动高速旋转（一般转速为 6000-8000r/min），分离筒内有若干不锈钢分离盘 3，盘厚约 0.4-1.5mm，盘的间距约 0.5—1.0mm，迭套在盘架 10 上。盘架与分离筒底盘 12、本体 2 间彼此有销固定，一起旋转。分离盘呈伞状，其中心角 2α 在 60—100° 之间。分水机的分离盘靠外边缘附近开有若干分配孔 11。

分水机分油前应将一部分热水（来自热水压力柜）经进油口注入分离筒（参见图 5—

(a)，使之在筒内外周形成水封区，然后使待净化的油经分油机进油泵供至进油管 7，进入分离筒后流向下部，再经盘架 10 的分配孔进入分离盘间，被分离盘分成若干层的油随分离筒一起高速转动。由于外周已形成一圈水封，故能防止油从出口跑掉。当从油中分出水时，它将挤兑原来的水封水，使之经顶盖 8 和分离筒盖 5、重力环 9 间的环形空间，从出水口排出。油中的机械杂质将穿过水封区被甩聚在分离筒内壁上；净油则连续地经过盘架和顶盖间的环形通道流至出油口，流出分油机。

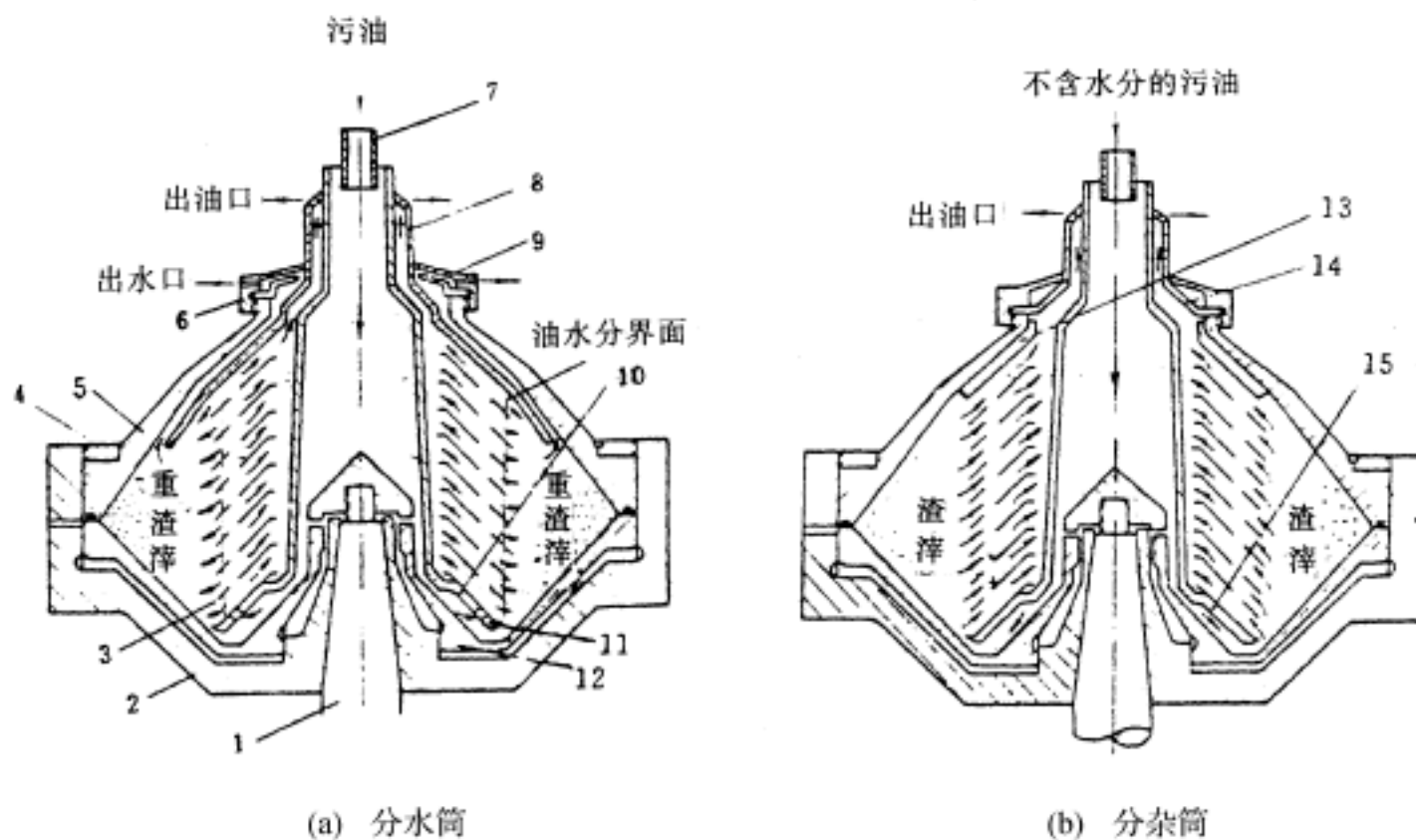


图 5—3 分离筒简图

1-转动立轴 2-分离筒本体 3-分离盘 4-锁紧环 5-分离筒盖 6-小锁紧环 7-进油管 8-分水顶盖 9-重力环 10-盘架
11-分配孔 12-分离筒底盘 13-厚顶盖 14-分杂盘 15-盘架（无孔）

水封区由油水分界面决定，若油水分界面向内（转轴中心）移动进入分离盘组件，水封区将太厚，则造成分离盘组件阻塞，被油携带的若干水滴和细小杂质将分离不出而随油一起排出分离筒，降低了分离效果。若分界面向外移动，一方面会降低从水中分离油的效果，从而造成水中带油，另一方面有可能破坏水封，造成燃油由出水口流出，即出水口跑油。油水分界面的位置由重力环的内径确定。选择重力环的原则是：在不破坏水封的前提下，应尽量选用内径大一些的重力环。一般在分油机的说明书中都附有选择重力环的图表。

分杂机主要用来分离机械杂质，它没有出水口，使用时也不必引入水封水。

分水机和分杂机主要结构相同，差别只是：

- (1) 分水机盘架有一圈分配孔，分杂机无孔；
- (2) 分水机有重力环和出油口、出水口，分杂机只有出油口，不需要重力环。因此，二者只需更改个别元件即可互换。例如以 (b) 图中的无孔盘架 15 代替 (a) 图中的有孔盘架 10，以 (b) 图中的厚顶盖 13 和分杂盘 14 代替 (a) 图中的分水机顶盖 8 和重力环 9，就可以将分水机改装

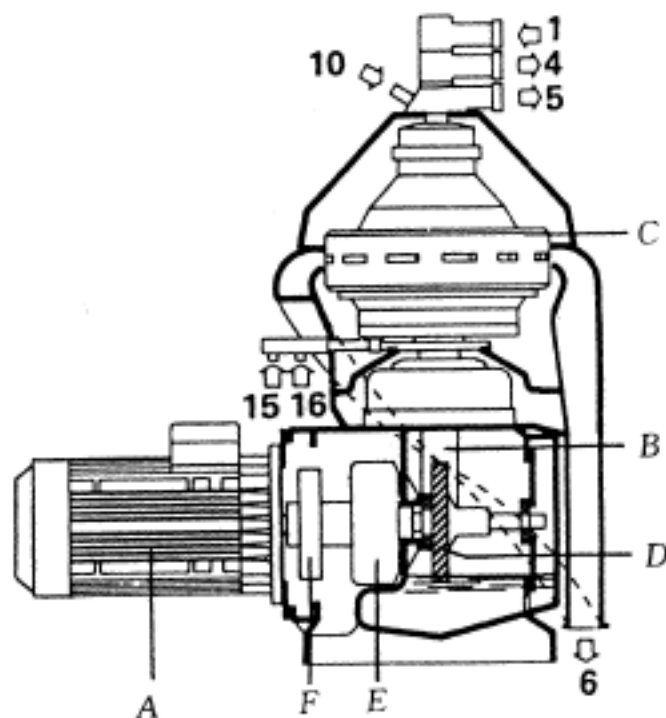


图 5—4 自动排渣分油机主要结构

1-油进口；4-净油出口；5-水出口；6-排渣口；
10-水封水/置换水进口；15-开启水进口；16-密封工作水进口；A-马达；B-立轴；C-分离筒本体；
D-蜗轮机构；E-摩擦离合器；F-弹性联轴器

为分杂机。

二、分油机的结构和工作过程

分油机的类型很多，但基本结构和工作过程大同小异。现以 α —LAVAL WHPX 型自动排渣分油机为例加以说明。图 5—4 示出了其主要结构。分油机机体下部安装着分离筒的传动机构。分离筒由马达 (A) 经摩擦离合器 (E)、涡轮机构 (D) 驱动，以较高速度旋转。

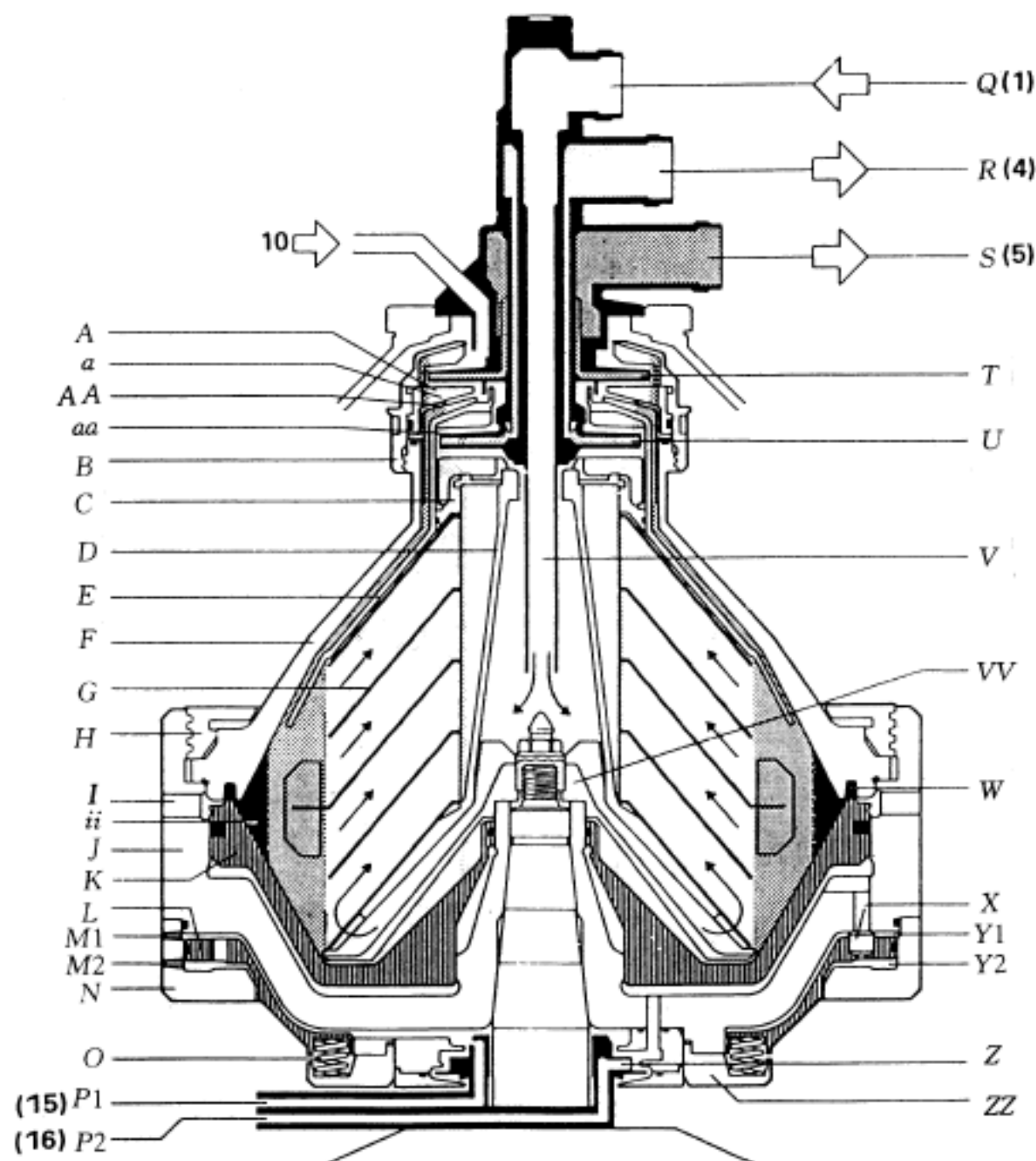


图 5—5 分离筒和自动排渣系统

A-带翅套筒；a-水腔；AA-重力环或分杂盘；aa-油腔；B-小锁紧圈（带油腔盖）；C-液位环；D-配油器；

E-顶盘；F-筒盖；G-分离盘组；H-大锁紧圈；I-排渣口；ii-渣空间；J-筒本体；K-滑动底盘；L-滑动圈；M₁、M₂-外泄孔；N-定量环；O-弹簧；P₁-开启工作水进口；P₂-密封和补偿水进口；Q-油进口；R-净油出口；S-水出口；T-向心水泵；U-向心油泵；V-进口管；VV-配油锥体；W-筒盖密封环；X-泄水阀；Y₁-开启水腔；Y₂-密封水腔；Z-配水盘；ZZ-弹簧座；10-水封水/置换水进口

图 5—5 所示为该分油机分离筒和自动排渣系统的结构。这种分油机由分水机改为分杂机只须将重力环改为分杂盘即可。分离筒本体 (J) 和筒盖 (F) 用大锁紧环紧把在一起。筒内安装配油器 (D)、配油锥体 (VV) 和分离盘组 (G)，待分油流过配油器、配油锥体，在分离盘组内进行分离。分离盘最上端为顶盘 (E)，其颈部与液位环 (C) 形成油腔 (aa)，向心泵 (U) 将油腔中的净油泵出分离筒。分出的水沿分离盘组的外缘上升，经顶盘流至油腔上部的水腔 (a) 溢过重力环 (AA) 由向心水泵 (T) 泵出。分出的渣朝筒内四周运动，汇集在分离盘组外缘的渣空间 (ii)，通过排渣口 (I) 定时排出。重力环或分杂盘被小锁紧圈 (B) 固定在分离筒盖上，此锁紧圈也构成小腔的上盖。其自动排渣系统主要由滑动底盘

Ⅹ，滑动圈（L），配水盘（Z）及工作水系统等组成。

该分油机的工作过程可以自动控制也可以手动控制，具体叙述如下：

1. 当要进行分油作业时，起动分油机，待达到额定转速后，水阀（16）打开，密封和补偿水进口（P₂）进水，密封水经配水盘进入滑动底盘下部的密封水腔（Y₂）。由于此时在弹簧（O）的作用下，滑动圈将泄水阀（X）关闭，密封水腔形成密封状态。在分离筒高速运转的情况下，滑动底盘下方的压力大于上方的压力，从而使滑动底盘紧压在分离筒盖上，使其保持密封，以进行分油作业。

2. 分离筒密封好后，便可开启进水口（10）进水封水（若分杂可免此项作业）。待分离筒水封好后（一般以出水口（5）有少量水流出为准），便可进油。进行正常分油作业。若在分油过程中，密封水有少量泄漏，水阀（16）便打开，从密封和补偿水进口（P₂）进水进行补偿。

3. 当要排渣时，进油口（1）停止进油，进水口（10）进置换水，进行分离筒内部冲洗和赶油，以利排渣和减少排渣时油的损失。然后水阀（15）打开，开启工作水进口（P₂）进水，经配水盘进入开启水腔（Y₁），直至滑动圈上部开启水压力大于下部弹簧（O）弹力。此时滑动圈向下移动，打开泄水阀（X），使滑动底盘下部密封水腔的密封水泄出。滑动底盘此时在其上部的压力作用下迅速下落，打开排渣口排渣。

排渣完毕后，若需继续分油作业，可重复上述动作1和2。若需停机，便可直接停机。

目前，大多数船舶上使用的自动排渣分油机的结构和工作过程与上述基本相同，且多与一个控制器联合使用。α—LAVAL FOPX 分油机结构和工作过程略有不同。其以流量控制盘代替分杂盘或重力环，与 EPC400 控制单元、水分传感器和排水阀等联合使用。分油机开启，分离筒密封后可直接进油，排渣时也无须停油，所分油的密度最大可达 1013kg/m³。

三、分油机的运行管理

1. 加热温度和分油量的确定

表 5-4 不同油料加热温度范围及最大分油量

品 种			粘度(mm2/s) (≤13, 40℃; ≥30, 50℃)	加热温度 (℃)	建议的最大分油量 标定分油量(%)
柴 油 机 用 燃 油			1.5~5.5	20~40	78
			13	40	70
			30	70~98	62
			40	80~98	62
			60	80~98	47
			100	90~98	45
			180	90~98	31
			380	98	26
			460	98	22
			600	98	18
			700	98	16
润 滑 油	十字 头式	抗氧防锈添加剂		80~90	35
		清净剂		80~90	30
	筒式	清净剂		80~90	21

燃油或滑油在分离前，要经分油机加热器进行加热，降低粘度，扩大杂质、水与油的密度差，以提高分离效果。油温不能太高，以免水分蒸发，破坏油水分界面，造成跑油。加热温度取决于油的品质 and 水的沸点。分油机的分油量越小，分离效果越好。但对于燃油而言，分油量必须满足主机的耗油量，对于滑油而言，采用循环分离后，分油量越小，循环分离的

次数越少，因此，不能追求过小的分油量。一般说来，油的粘度越大，质量越差，加热温度应适当增高，分油量也应酌情减少。表 5-4 给出了不同油料加热温度范围和建议的最大分油量占额定分油量的百分数，供参考。

1. 选择最佳的工作方式

分油机在船上工作时，工作方式有三种：

单机工作：用一台分水机处理全部流量。

并联工作：两台分水机并联工作，各处理总流量的50%。

串联工作：两台分油机串联，前一台为分水机，后一台为分杂机，每台都要处理全部流量。这种方式效果最好，即使分水机油水分界面太靠内，分离效果差些，因后级还有分杂机，仍能保持教好得分杂效果。

2. 操作要点

目前，全自动分油机在船舶上得到了越来越广泛的应用。现以WHPX 型分油机为例来说明全自动分油机分油作业时的操作管理要点。这种分油机除配有一个EPC400 控制单元，一些控制和检测辅助元件、分油机马达起动箱外，还配有供油泵和加热器等辅助设备，它们共同构成一个净化系统。

1) 起动前的检查

在起动前除应检查分油机齿轮箱滑油油位、刹车装置、分离筒和摩擦离合器、各种阀件的开关位置是否符合要求外，还应检查加热器、空气气源是否正常，EPC400 各设定参数是否符合要求。以上准备工作完成后，可以进行起动操作。

2) 起动和运转

首先起动供油泵，起动分油机加热器，然后起动分油机。分油机加速过程约需5 分钟，在次期间要注意观察分油机起动器上的电流表指针变化是否正常，应确保无不正常噪音或振动的发生。待分油机达到正常转速、油温加热到所要求温度后，便可按下控制单元上的程序 开关按钮，进行分油作业。

分油期间应常注意出水口和排渣口是否跑油、滑油油位、日用油柜和沉淀油柜油位、高置水箱水位、分油机和供油泵的运转情况等。注意分油机各种故障报警，消除警报并排除故障。

3) 排渣

当运行到选定的时间时，由程序自动引发进行排渣，排完渣后又恢复正常分油作业。

4) 停止分油机运转

当需要停止分油时，只要再次按下程序开关按钮，分油机便自动先完成排渣，然后自动停止分油机，并将其起动开关锁住3min，即在停机后3min 内分油机不能再起动。然后人工关闭分油机加热器，当油温下降后再停供油泵。

由上可见，全自动分油机需要人工起动的设备依起动的先后顺序为供油泵、加热器和分油机，停止分油时的停止顺序与起动顺序相反，而且一定等油温下降后才能停止供油泵。

四、分油机常见故障

1. 分离筒达不到规定转速

1) 制动器未松开；2) 摩擦离合器内混入油脂，摩擦片打滑或损坏；3) 电动机或电气设备故障。

2. 不能进油或分油过程断油

分油机供油泵一般为齿轮泵，它不能供油的原因通常有以下几类。第一类是由于泵或管路的问题不能产生足够低的吸入压力，原因是：1) 油泵传动齿轮锥销折断；2) 泵严重磨损，间隙太大；3) 泵转速太低；4) 吸入管漏气；5) 油柜用空。

第二类原因是泵吸入压力过低。属于这类的原因有：6) 油柜油位太低；7) 供油泵前滤器堵塞或管路不通；8) 油温太低、粘度太大。

3. 出水口跑油

第一类情况是水封未能建立或受到破坏：1) 启动时水封水未加或加得太少；2) 进油阀开得太猛，水封被破坏；3) 油温太高，水封水被蒸发，水封被破坏；4) 转速不足使水封压力不够；5) 分离盘片间脏堵

第二类情况是油水分界面外移至分离盘外。属于这类原因的有：6) 重力环内径过大；7) 油未加热至要求值，密度大。

4. 排渣口跑油

这是由于排渣口未能封闭。排渣口跑油原因有以下几类：

第一类是滑动圈不能上移堵死密封水腔泄水口。原因是：1) 分离筒上小孔 M_1 、 M_2 (见图 5-) 堵塞，不能泄水；2) 滑动圈下方弹簧失效；3) 滑动圈上方塑料堵头失严。

第二类原因是滑动底盘下部缺密封水，可能是：4) 高置水箱无水；5) 工作水系统管道或控制阀堵塞或严重漏泄；6) 滑动底盘周向密封圈失效漏泄。

第三类原因是滑动底盘与分离筒盖不能贴紧，原因是：7) 滑动底盘上端面主密封环失效；8) 传动齿轮和轴承过度磨损使立轴下沉。

5. 不能排渣

原因可能是缺少压下滑动圈的开启工作水，可能是：1) 高置水箱无水；2) 工作水系统管道或控制阀堵塞或严重漏泄；3) 有关工作水孔脏堵不通；4) 滑动圈周面密封圈失效。

6. 出现异常振动或噪声

问题主要可能是：1) 分离筒安装不正确、紧固件松动或与机盖、配水盘擦碰；2) 传动机械因缺油或油质差而损坏；3) 轴承过度磨损而立轴下沉；4) 供油泵卡阻或损坏；5) 摩擦离合器损坏或过度磨损，质量不均匀；6) 排渣不净，分离筒内积渣不均。

第四节 润滑系统

一、润滑系统的组成和作用

柴油机的滑油循环系统通常由气缸油润滑、曲轴箱强制润滑和曲轴箱油分油净化等系统组成。柴油机润滑系统的作用是保证供给柴油机动力装置各运动部件的润滑和冷却所需的润滑油。

曲轴箱强制润滑和曲轴箱油分油净化系统的主要组成设备有：

1. 滑油泵

滑油泵常设有两台，其中一台备用。为保证滑油压力稳定和流动均匀，常采用螺杆式油泵。在泵的吸入端管上一般装有真空表，真空度不超过33.3Kpa (250mmHg)。泵的排出管上装有安全阀和调节压力、流量的旁通阀。

2. 滤器

滑油泵的进口端和出口端分别设有粗、细滤器，滤器一般为双联式。装在进口端的一般为粗滤器 (有时还用磁性粗滤器)，装在泵出口端的为细滤器，其前后装有压力表。

3. 滑油冷却器

滑油冷却器通常采用管壳式或板式热交换器。

4. 滑油分油机

滑油分油机一般采用离心分离，它是曲轴箱油分油净化系统最重要的设备。关于气缸油润滑系统，将在本章第五节讲述。

柴油机中润滑有以下作用：

(1) 减磨作用 在相互运动表面保持一层油膜以减小摩擦。这是润滑的主要作用。

- (1) 冷却作用 带走两运动表面因摩擦而产生的热量以及外界传来的热量，保证工作表面的适当温度。
- (2) 清洁作用 冲洗运动表面的污物和金属磨粒以保持工作表面清洁。
- (3) 密封作用 产生的油膜同时可起到密封作用。如活塞与缸套间的油膜除起到润滑作用外，还有助于密封燃烧室空间。
- (4) 防腐作用 形成的油膜覆盖在金属表面使空气不能与金属表面接触，防止金属锈蚀。
- (6) 减轻噪音作用 形成的油膜可起到缓冲作用，避免两表面直接接触，减轻振动与噪音。
- (7) 传递动力作用 如推力轴承中推力环与推力块之间的动力油压。
- 柴油机润滑系统的作用是保证供给柴油机动力装置各运动部件的润滑和冷却所需的润滑油。

二、润滑油的性能指标

润滑油的性能指标主要有粘度、粘度指数、闪点、凝点、残炭、灰分、酸值(总酸值与强酸值)、腐蚀性、抗氧化安定性、热氧化安定性、总碱值、抗乳化度、机械杂质和水分等十余种。这些指标均按国家规定的试验方法进行测定。它们基本上反映出滑油品质的优劣，在选择和使用滑油时有着重要作用。上述指标中有些与燃油性能指标相同，以下仅介绍滑油特有的一些指标。

1. 粘度和粘度指数(VI)

粘度是滑油最重要的指标。它在很大程度上决定着两个摩擦表面间楔形油膜的形成。长期以来，国外广泛使用按滑油的粘度进行分类的 SAE 分类法，把发动机用滑油按粘度分成10 个等级，如表 5-5 所示。ISO(The International Standardization Organization)把滑油按 40℃时的运动粘度cSt(mm²/s)的数值分成 18 个等级：ISO V G (Viscosity Grade)，如表 5-6 所示。

表 5-5 滑油的SAE 分类法

SAE 粘度等级	最大粘度(MPa·s) (相应温度℃)	边界泵出温度 (℃)	100℃时粘度(mm ² /s)	
			最 小	最 大
0W	3 250(−30)	−35	3.8	—
5W	3 500(−25)	−30	3.8	—
10W	3 500(−20)	−25	4.1	—
15W	3 500(−15)	−20	5.6	—
20W	4 500(−10)	−15	5.6	—
25W	6 000(−5)	−10	9.3	—
20	—	—	5.6	小于 9 3
30	—	—	9.3	小于 12 5
40	—	—	12.5	小于 16 3
50	—	—	16.3	小于 21 9

表 5-6 ISO 粘度分类表

粘度等级	中点粘度 (mm ² /s, 40℃)	粘度限(mm ² /s, 40℃)		粘度等级	中点粘度 (mm ² /s, 40℃)	粘度限(mm ² /s, 40℃)	
		最小	最大			最小	最大
ISO-VG2	2.2	1.98	2.42	ISO-VG68	68	61.2	74.8
3	3.2	2.88	3.52	100	100	90.0	110
5	4.6	4.14	5.06	150	150	135	165
7	6.8	6.12	7.48	220	220	198	242
10	10	9.00	11.0	320	320	288	352
15	15	13.5	16.5	460	460	414	506
22	22	19.8	24.2	680	680	612	748
32	32	28.8	35.2	1 000	1 000	900	1 100
46	46	41.4	50.6	1 500	1 500	1 350	1 650

滑油的粘度随温度的升高而降低,这种性能称滑油的粘温特性。对于航行在不同季节和不同纬度的船舶,柴油机在冷车起动和正常运转时,滑油的工作温度不同,其粘度的大小也不相同,这对保证可靠的润滑影响极大。因而仅以测定温度下的粘度来判断滑油的品质还是不够的,还必须注意粘度随温度的变化规律。研究表明,不同滑油的粘温特性是不同的,如有的滑油温度每升高 10°C ,粘度能减小四分之三,有的滑油则减小不到一半。若滑油的粘度随温度变化程度小,它就能在比较大的温度范围内满足使用要求,这种滑油的粘温特性就好。

在国外,通常用粘度指数(VI)来说明滑油的粘温特性。它是通过与两种标准油相比较而得出的。

粘度指数的物理意义表明,粘度指数大者,则温度变化时其粘度变化小。一般,粘度指数在 80 以上者称高粘度指数,小于 35 者为低粘度指数,介于 35~80 之间者称中间粘度指数。最好的石蜡粘度指数可达 124,加入增粘剂(后述)后可高达 200 以上。

我国曾用粘度比来评定粘温特性。它是该滑油在 50°C 和 100°C 时的运动粘度的比值。粘度比小,表示它在规定温度范围内粘度变化小,质量好。如已知滑油的粘度比,可由曲线法求出相应的粘度指数。

2 酸值和水溶性酸或碱

滑油中的酸可分为有机酸和无机酸两种。新鲜滑油中的有机酸来源有二:一是原存于石油中的精制时没有全部除去;二是有意识加入的呈酸性的抗氧、抗腐添加剂。使用中滑油的有机酸主要来自于自身氧化而产生的有机酸。有机酸含量少时,对金属无多大腐蚀作用,反而能增加滑油的油性以保持较好的边界润滑性能。当其含量较多时,它就会对一些轴承材料(有色金属及其合金,特别是铅)产生腐蚀作用。无机酸指硫酸,它对金属有强烈腐蚀作用,滑油中一般不允许有硫酸存在。新鲜滑油中可能含有的硫酸是在精制过程中经酸洗和中和后残留下来的;使用中的滑油由于含硫燃油的燃烧产物漏入曲轴箱而可能形成硫酸。

我国用“酸值”表示滑油中的有机酸含量,用“水溶性酸或碱”表示无机酸或强碱的有无。“酸值”用中和 1 g 滑油中的酸所需要的氢氧化钾毫克数来表示,单位为 mgKOH/g 。“水溶性酸”指能溶于水的无机酸(强酸)及低分子有机酸,这种酸几乎对所有金属都有腐蚀作用;水溶性碱是在油品加工时的碱洗剩余物或贮存中污染而生成的,它对铝有腐蚀作用。“水溶性酸或碱”只说明油品呈酸性或碱性,仅用于定性检查。

国外用总酸值 TAN(Total Acid Number)表示有机酸和无机酸的总和,用强酸值 SAN(Strong Acid Number)单独表示无机酸的含量。单位均为 mgKOH/g 。

3 抗乳化度

海水或淡水漏入滑油经搅拌后使滑油形成乳浊液并生成泡沫,这个过程叫乳化。乳浊液影响润滑性能,加速滑油变质,并在两相界面上吸附机械杂质,污损摩擦表面,加剧部件磨损。滑油的抗乳化度系指滑油在乳化后自动分层(油层和水层)所需的时间(以分计),即滑油的破乳时间。破乳时间短,抗乳化度就好,反之则差。

4 热氧化安定性和抗氧化安定性

这两个指标都用来衡量滑油在使用条件下抵抗空气氧化的能力。只是试验方法和应用对象不同。前者,属于薄油层在高温条件下氧化试验,用氧化形成漆膜所需时间(以分计)来表示。我国标准规定用“巴包克法”,系指在规定的高温 250°C 条件下,空气自由流过薄油层试验油,测定试验油由氧化而生成 50% 的漆状物所需时间(min),用此时间来评定试验油的热氧化安定性。这种试验方法是模拟气缸壁上的油膜工作条件,适用于柴油机润滑油。抗氧化安全性属于较低温度条件下的厚油层氧化试验,用氧化后生成的沉淀物和酸值来表示。按我国规定系指在 125°C 条件下,向试验油中通入一定流速的空气或纯氧 4 h 或 8 h,分别测定试验油氧化后生成的沉淀物(%)和酸值(mgKOH/g)。如氧化后沉淀物少、酸值小,则试验油