

机修手册

(修订第一版)

第七篇 设备的润滑

中国机械工程学会
第一机械工业部 主编



机械工业出版社

第二章 润 滑 材 料

一、润滑材料概述

(一) 润滑材料的分类及其性能

1. 润滑材料的分类

现代应用的润滑材料可以大致分为以下几类:

(1) 气体润滑材料 空气、氮、二氧化碳等。

(2) 液体润滑材料:

1) 矿物润滑油: 纯矿物润滑油及其与动植物油脂混合的复合润滑油、带有某一种或多种添加剂的矿物润滑油等。

2) 合成润滑油液: 硅油、硅酸脂、磷酸脂、聚乙二醇、二元酸脂、聚乙基醚等。

3) 溶解油或复合油: 矿物油渗入乳化剂、合成油渗入乳化剂等。

4) 液体金属、液体玻璃等。

(3) 半固体润滑材料: 各种润滑脂、皂基矿物油脂、皂基合成油脂、非皂基脂等。

(4) 固体润滑材料 石墨、二硫化钼、塑料膜、白蜡等。

(5) 添加剂 磷酸金属盐、烯酸金属盐、硬脂酸金属盐、金属氧化物等。

2. 润滑材料的性能

(1) 有关基本的润滑性能:

1) 适当的流动性或塑性, 以便于形成隔离摩擦表面的油膜或油楔。油膜油楔之强度应与负荷相适应, 如气体膜仅能用于小负荷等。

2) 一定程度的润滑性或油性, 以适应边界润滑的条件。

3) 本身纯净而无沾污, 以保证润滑效果。

4) 能贴附在摩擦表面上, 不致被挤压脱开, 影响润滑的作用。

5) 抗乳化能力强: 不易乳化降低润滑效果。

(2) 有关保证本身使用寿命方面:

1) 化学稳定性高, 在使用过程中不致迅速氧化变质。

2) 较低的挥发或排气度, 能维持较稳定的粘度和较长的寿命。

3) 抗水洗能力强, 不致受水冲洗, 脱离摩擦表面。

4) 能抵抗核辐射, 不致迅速破坏。

5) 抗泡沫性好, 不让生成泡沫, 降低润滑作用。

(3) 有关保护润滑表面方面:

1) 抗腐蚀性能好, 使金属零件表面不受腐蚀损害。

2) 抗锈性能好, 能保护钢铁表面的完好。

- 3) 抗火性好, 不致引起火灾。
- 4) 密封性好, 能防止杂质的侵入。

(二) 润滑材料的选用

根据部分工厂的统计, 设备事故中润滑事故占有很大的比重, 而润滑材料选用不当又是造成润滑事故的一个重要因素。如某厂 1250 吨压力机的 32344 大型轴承由于润滑脂使用不当一年就坏了八套。当正确选用润滑脂后, 一套轴承使用二年还没有显著的磨损。有的精密机床由于润滑材料选用不当, 仅仅投产十年就要大修, 给国家造成极大的浪费。可见正确地选择润滑材料是搞好润滑工作的关键环节。

润滑材料选用时常须考虑设备的使用条件和对环境的适应情况以及本身质量和耐用等方面的问题。由于设备类型和外围条件十分复杂, 故对润滑材料的要求必须具体情况具体分析, 不但要弄清需那些种性能, 而且还应分别权衡其中每一种在具体情况下所占的重要份量, 然后按技术和经济的规律适当加以选用。

例如, 在 $-54 \sim 371^{\circ}\text{C}$ 宽温度范围中工作的某种冶炼设备, 对润滑材料的要求性能有润滑性、氧化安定性、抗泡性、抗腐蚀性等项, 其性能要求所占的份量比示于图 2-1-1。根据这样的要求, 一一比较了有关各种矿物和合成润滑油, 结果选中了既耐高温、低温、又有特好润滑性能的硅酮油。

影响润滑材料选用的因素非常多, 而起到决定作用的因素也不在少数。这些因素虽有独立存在可以单独加以衡量。但很多都是相互牵连, 其中一个变化就必然引起其他一连串的变化, 而这种相应的影响常是关系重大, 必须在选油时加以认真考虑。

选油时由于情况复杂, 还有难于预料在使用后才能发现的问题。为了慎重起见, 一般按其重要程度和应用的范围大小进行必要的试验。如试验室, 台架和使用的试验都能相应发现问题并从实际对比找出最适合的润滑材料。如汽车发动机、变速箱、传动装置和底盘等因其润滑关系重要而且数量庞大, 一般在大量生产时均经过三个阶段的试验然后决定其选用的润滑材料。

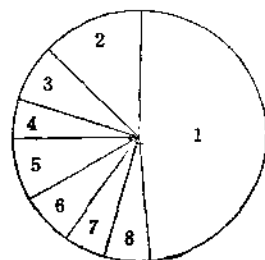


图2-1-1 某宽温度设备对润滑材料性能的要求

- 1—润滑性 2—氧化安定性
- 3—热安定性 4—抗泡沫性
- 5—抗腐蚀性 6—粘度
- 7—闪点和自燃点 8—其他

1. 润滑材料的质量指标

润滑材料的品种和规格十分繁多, 说明设备润滑的情况十分复杂。对于不同的润滑情况必须分别应用各种不同的润滑材料才能相应适合各种不同的润滑要求。

为了在用油方面减少错误, 在润滑材料分类时即按其适用范围而冠以某种设备或部件的专用名称, 如汽轮机油, 缝纫机油, 齿轮油, 导轨油等。选油时首先从标准油类出发, 如汽轮机润滑自然应采用汽轮机油, 缝纫机润滑应采用缝纫机油。但油品分类标准还比较粗糙, 特别我国润滑油产品中的规格还比较少, 对十分复杂的设备润滑要求还远不能一一针对加以解决。如齿轮油虽有几个品种和十多种规格, 但主要用在重负荷和双曲线齿轮的润滑, 而且供应尚不畅旺, 工厂各种齿轮之润滑仍需另选润滑油。

润滑材料的重要性能, 如粘温性能、凝点、闪点等常在选油时起到决定性作用。如需要在温差很大的环境里工作的液压油必然要求优良的粘温性。需要在低温工作的冷冻机油必然要求低凝点。需要在高温下工作的变压器油必然要求高闪点等。

润滑材料本身的质量指标如其抗氧化安定性等常影响其抗热耐用的程度,如30号机械油虽同样可用于机床液压系统,但在工作温度较高时,将不免迅速氧化,结胶,堵塞管道阀门而出现故障。当采用32号汽轮机油时就能耐较高温度而保证长期的使用。

2. 润滑部件的工作条件

(1) 运动速度 两摩擦表面相对运动速度愈高,其形成油楔的作用也愈强。故在高速的运动副上采用低粘度润滑油已足以保证润滑油膜的存在。如果用高粘度润滑油或脂,将增加运动的阻力并产生大量的热。反之,在低速的运动副上承载负荷的能力主要依靠润滑油的粘度,就应采用粘度较大的润滑油。

(2) 负荷大小 运动副的负荷或压强愈大,润滑油粘度亦应愈大。各种润滑油均具有一定的承荷能力,在低速、重负荷的运动副上就应首先考虑润滑油的允许承载能力。

在边界润滑的重负荷运动副上,应考虑润滑油的极压性能。

(3) 运动情况 冲击振动负荷将形成瞬间极大的压强。而往复与间歇运动对油膜的形成不利,故均采用粘度较大的润滑油。有时宁可采用润滑脂或固体润滑材料以保证可靠的润滑。

(4) 工作温度 运动副的润滑油温度常是选用润滑材料须要首先考虑的问题。润滑油的温升主要决定于运动副的速度、压强、结构、材料以及润滑材料性能、润滑装置、密封条件等因素。润滑油的温升与运动副的环境温度控制润滑油的工作温度。润滑油的工作温度又影响其粘度变化和润滑效果。一般润滑油的工作温度高时不论由于环境温度或运动负荷所引起均应采用粘度较高的油,以保证一定的油膜强度。实际南方地区因环境温度高于北方,用油粘度常须高一些。又设备夏季用润滑油常须较冬季用油粘度高一些。而在摩擦表面的温度,极高接近甚至超过200℃高温时,就必须采用加有极压添加剂的润滑油或固体润滑材料方能保证可靠的润滑。又在采用润滑脂时,其滴点至少应高于工作温度10℃。表2-1-1列出各种润滑材料的工作温度。

表2-1-1 各类润滑材料的工作温度

类 别	长期工作温度(℃)	短期工作温度(℃)	类 别	长期工作温度(℃)	短期工作温度(℃)
矿物油	95~120	135~148	硅脂油	215~270	315~340
超精制矿物油	176~230	315~340	硅烷	176~230	315~340
合成烃	176~230	315~340	卤化聚苯	200~260	285~315
有机酯	176~190	218~230	氟碳	285~340	400~450
聚二硫化	160~176	200~218	全氟聚醚	230~260	290~315
聚苯醚	315~370	425~480	润滑脂	-20~120	
烷基磷酸酯	90~120	135~148	聚四氟乙烯	-55~230	
芳基磷酸酯	148~176	200~230	有机粘结涂层	-240~260	
硅酸酯和多硅醚	190~218	260~285	陶瓷粘结涂层	-20~600	

(5) 周围环境 环境对润滑有不可忽视的影响,故选用润滑材料时不能不认真加以考虑。如在水湿严重(包括有流水飞溅,天气潮湿,乳化油喷射等)的情况下,一般润滑油容易变质或为水液所冲走,故需采用有抗锈性能的润滑材料及可靠的密封。润滑脂(特别钙基、锂基、钼基脂等)有较强的抗水湿的能力,故在一定条件下可用以减少水湿的浸洗。

在尘屑较多环境下工作的设备,如其密封有一定困难,采用润滑脂可以起到一定的隔离作用,防止尘屑的侵入。在系统密封较好的情况下,则可采用带有过滤装置的集中循环润滑

方法,通过过滤清除尘屑。在化学气体比较严重的地方(如热处理及电镀等车间的设备),最好采用有防腐蚀性能的润滑油。

3. 运动部件的结构特点

(1) 运动副的间隙 润滑油膜的生成与运动副间隙有密切的联系,低粘度油的流动和楔入能力强,能迅速进入间隙小的摩擦副以生成润滑的油膜,故摩擦副的间隙愈小,所用润滑油的粘度应愈低。特别精密机床主轴的轴承间隙,常是用油粘度的主要决定条件。

(2) 摩擦副表面加工精度 加工精度愈高,其润滑油的粘度应愈低。反之,表面粗糙的摩擦副必须采用较高粘度的润滑油,以便承受由于接触不良而形成的局部较大压强。

(3) 润滑装置 机械循环润滑系统以及油芯或毛毡滴油系统要求润滑油具有较好的流动性,应采用粘度较小的润滑油。而对人工间断加油的装置,则应采用粘度大一些的润滑油,以减少流失。用于机械循环系统的润滑油,其抗氧化安定性与不含机械杂质等要求应较高,以便保证系统长期的清洁和减少过滤器的堵塞。但自流润滑的润滑油只用一次就不再回收,故对其使用寿命无须考虑,一般再生油即能满足要求。

(4) 润滑面 对于垂直滑动面,外露齿轮、链条、钢丝绳等宜采用粘度较高的润滑油甚至改用润滑脂,可以减少流失并保证可靠的润滑。

上述润滑材料的选用方法,只属一般原则。实际情况往往十分复杂,须要根据具体情况做具体分析,灵活掌握。

当一个部件的各个零件对润滑要求发生矛盾时,根据具体情况有的须进行平衡兼顾几种不同的需要。有的应首先考虑满足主要零件的要求以保证设备主要的性能。如普通车床床头箱要求润滑的部件有轴承、齿轮、摩擦离合器等,其中齿轮的润滑要求 40 号机械油,而轴承要求 20 号机械油。为了同时照顾两者的润滑,可以采用 30 号机械油。而在一些精加工的车床上,床头主轴精度对加工精度起着决定性的作用,因此应首先满足主轴对润滑的要求,而应采用 20 号机械油加入油性添加剂。

在各种润滑材料中,润滑油的内摩擦较小,形成油膜较均匀,兼有冷却和冲洗作用,清洗换油、补充加油又比较方便,并适用于集中循环润滑系统,润滑装置较简单,可节约油料消耗,废油还能再生利用,故多数摩擦副的润滑首先选用润滑油。

(三) 润滑油的代用和掺配

在一般情况下,最好直接应用符合需要的油品,以保证使用质量和简化调配手续。但在某种油品偶尔短缺,致使润滑有中断危险时,代用和掺配也是不可缺少的临时应急措施。

(1) 代用的原则:

- 1) 代用油品首先应有接近的粘度。否则,宜用粘度稍高一点的,以策安全。
- 2) 代用油品还须性能相近,符合使用要求。
- 3) 在特殊情况下还应具有一些特殊的条件如:
 - ① 低温代用油应考虑有相应的低凝点。
 - ② 高温代用油应考虑有相应的高闪点。
 - ③ 宽温度代用油应有良好的粘温性能。
 - ④ 含有动植物油的复合油不允许用在有显著氧化倾向的地方和循环润滑系统。
 - ⑤ 缺油性的变压器油不宜代用作润滑油。

(2) 掺配的原则:

最好利用品种和用途均相同的二三种润滑油互相掺配而只改变其粘度。另外,还应考虑其他性能,如闪点等是否适应工作的条件,如:

1) 高低粘度不同的机械油互相掺配,以达到适中粘度的机械油。

2) 各种牌号的汽油机油和柴油机油互相掺配,以达到适中牌号的汽油机油或柴油机油。

3) 各种用残留油作基础油的汽缸油、齿轮油、车轴油互相掺配,以达到适当粘度的要求油品。

4) 如用含有不同添加剂的油品互相掺配时须注意其添加剂的化学反应。除非通过试验证明明确无反应(短期和长期),不然不允许进行掺配。

(3) 掺配的方法:

一般可利用掺配图(图 2-1-2)来选取掺配。

例如,库存 10 号和 50 号机械油,现要掺配出 30 号机械油。

先在纵坐标右边标尺(甲)查出 10 号油的粘度(10 厘沲),然后在纵坐标左边标尺(乙)查出 50 号机械油的粘度(50 厘沲)。联接两点成一斜线。要得到的 30 号机械油,即可从 30 厘沲处引出一水平线交斜线于点 A,再从 A 点垂直作一线交在横坐标比例尺上。在此点我们可见甲、乙两种油的比例数为 26.5 和 73.5。这样,用 26.5% 的 10 号机械油和 73.5% 的 50 号机械油掺配即可得到 30 号机械油。

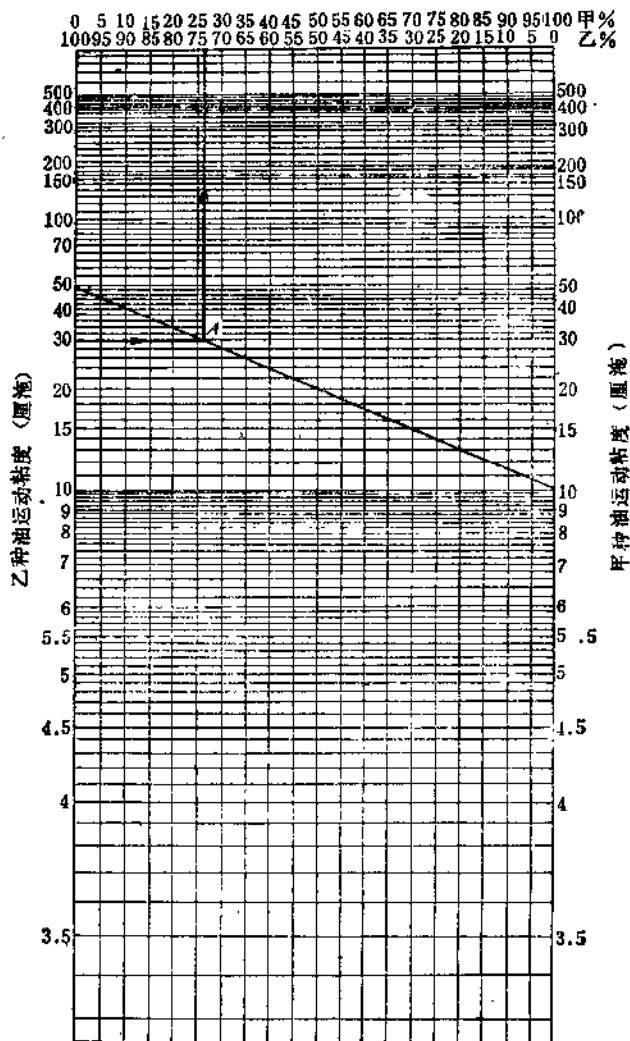


图2-1-2 润滑油掺配图

(四) 几种苛刻条件下的润滑

1. 高温条件下的润滑

在高温时机件的金相结构可能逐渐有所改变,而其表面化学活性与周围介质作用都显然增强,同时还加速了扩散和解吸等过程,故其摩擦、磨损的性能必然和常温有所差别。

一般在温度很高时(如在 100℃以上)常须考虑应用粘度和粘温指数均较高的润滑油,使在高温时仍能维持一定的油膜厚度而不致出现粘着或磨损。但在温度接近 200℃时,如在

空气中采用矿物油基润滑油就很不适当。温度愈高，油的氧化加速率就愈大。不同的油种在不同的温度基础上常只须小量增温就能促使油的急剧破坏。温度不太高时（例如 100°C 以内）在矿物油中加入抗氧化添加剂会降低其氧化的速度，但在温度更高时就不很有效。

在多数高温润滑情况下最好避免采用混有脂肪材料的矿物润滑油如齿轮油、汽缸油、压缩机油等。脂肪较之矿物油更易氧化，因而生成粘稠的沉淀。高温和空气的存在还增加矿物油基润滑材料的潜在火险。但也可以看出，缺少空气时，热安定性较之氧化安定性更为重要。如限制用在特殊设计的封闭传热系统中，矿物油基润滑材料在 300°C 的温度范围内还能达到稳定和安全。

矿物油基的高温润滑脂类因含有烃油成分，不免有氧化的危险，也不让用在超过 100°C 的温度。用于这种高温水平的脂型不能用一般皂类加以稠化。因其熔点相当低限制其在高温的应用。非皂基脂只可用在相当低速运行的（如在 1500 转/分以下的）轴承上，不适于润滑高速的轴承。

轧机金属轧滚轴承的温度既很高而速度又极快，常利用块状润滑脂放在轴承上与冷却水混合乳化，然后引入轴承进行润滑。现在这种块状润滑脂已能耐 150°C 的高温而达到正常的润滑效果。最新设计的精密轧滚轴承又有改用高粘度油利用机械方法供油的办法。

矿物油基润滑油如需在高温环境工作时还可以利用空气冷却器或其他热交换器降低其本身的温度而达到正常的运行。故并不需在其氧化安定性和热安定性的上限温度工作而加速其破坏的时间。

在预计温度超过 200°C 的特殊情况下合成润滑油如双酯或固体润滑材料如 MoS_2 等更为有效。有机硅油能在 350°C 的温度范围内仍保证热稳定，故可应用在二三百度的温度上。但在这种高温水平长期使用后也不免有部分的降解而必须酌情加以换新。

水基合成润滑油在高温条件下显然不够稳定，故不宜应用在 60°C 以上的温度。如为了安全特别需要抗燃的性能，又为减少在高温时贵重油液的流失损失，也可以采用这种水基合用抗燃液体而不断进行补充。并在不太久的时间后加以更换。

特殊高温常须采用合成或固体润滑材料，并在合成和固体润滑材料两节中分别讨论。

2. 低温和深冷条件下的润滑

我国极北地区冬季温度常达 $-40 \sim -50^{\circ}\text{C}$ 。而金属冷处理和多级冷冻机的应用已能人工致冷达 -100°C 以下。通过液氮的液化更能把温度降至 -200°C 或更低的深冷范围。在空间技术高度发展的今天，对远离太阳或月球背日一面空间运行的宇宙飞船中的机件，如液氢泵、液氧泵和汽轮泵联动部件的摩擦和润滑，均有必要加以研究和解决。

由于油在低温时的粘度升高，使其流速降低，以致其在间隙中的散布速度也降低而不易广泛深入到全部摩擦表面里。另一问题由于油的增粘而出现对其搅动的高抗力，也妨碍其接触两表面而进入适量的滑油而有招致润滑失效的危险。

一般在低温环境里应采用具有高粘温指数的油种，以减少粘度随温度的降低程度。但在低温影响下会使油分离出蜡来。蜡的沉降会稠化甚至固化烃油，以致不再保持液体状态，因之含蜡量少的油更有利于低温润滑。环烷基油含蜡量少，故常在加工冷冻机油时加以利用。惟其粘度指数常低于石蜡基油是其缺点。

但低温问题并不只限于冷冻机油有之，多种类型的设备都必须在寒冷的露天条件下工作，变压器油和油开关油是较典型的例子。低凝点的环烷基油较为符合使用要求。在其他型油中

采用降凝剂如烷基萘等仍可在低温时保持流动的性能,以避免润滑的失效。液压系统也常有露天作业的情况,故也适用低凝点和低粘度的油种。

在低温工作的润滑油还必须避免含有水份,不然可能会形成结晶的冰粒引起油流的阻塞或干扰工作的间隙。还有多数添加剂在低温矿物油中常有降低其溶解度而出现沉淀的现象,故必须认真加以选用。

有机硅油在极低温度下仍维持低粘度,而在低至 -50°C 时仍保持液体的状态,故最适合低温的环境。只因价格太昂,故迄今限于少量的应用。

3. 真空装置和外层空间装置的润滑

真空润滑和一般润滑有所不同,其主要原因有:

1) 在真空中金属表面原来的吸附气体膜和金属氧化膜受解吸和磨损而消失,但又再无空气可资吸附和反应加以恢复,以致两裸露纯金属的表面极易粘着和咬死。

2) 一般矿物油基润滑油的烃类成分虽有较低的剪切强度,有助于减少摩擦和磨损,但由于本身的蒸气压力比较高,故蒸发损失很快。如在真空条件下超过 100°C 时其蒸发速率还会加速增大,故限制用于 100°C 以内的低真空要求。

从矿物油中排除大量挥发成分,可以降低其总蒸汽压力,制成特殊馏分的真空油。硅酮的蒸汽压力特别低,是一种适合高真空度润滑的真空油。

固体润滑材料中的 MoS_2 ,聚四氟乙烯和软金属如镓等,在高真空中的蒸发率都很低,润滑效果又很好,故广泛用在高真空的润滑。惟固体润滑材料表面也会在真空中排除原吸附的气体膜而不利于其润滑的性能。故常将二硫化钼和聚四氟乙烯制成低摩擦的表面涂层。填充 MoS_2 的聚酰亚胺和聚四氟乙烯泡沫青铜的复合材料也多见于高温、高真空的润滑。镓膜能耐更高的温度,如25微米厚的镓膜在 10^{-7} 毫米汞柱和 430°C 高温条件下完全蒸发须要25年以上的的时间,故用于润滑能维持长久,十分可靠。而且让镓扩散在金属表面上能达到0.01的摩擦系数,其减磨效果极好。虽然镓有一定的腐蚀,但如采用铟锡等抑制剂即能加以克服。

4. 磨蚀环境下的润滑

在采矿、钢铁、水泥、砖瓦、陶瓷、农业、工程等机械设备中常会有粉尘的严重磨蚀情况。位置在沙漠附近或风沙特大地区的工厂也而面临沙尘严重的威胁。

在润滑油中掺入沙尘会迅速引起磨损和故障,而从金属表面剥落的屑片又进一步加剧了这种磨损。故对磨蚀环境的润滑应从设备结构,密封办法,润滑用油,维护措施等多方面进行周密的考虑。

一般情况应尽可能利用封闭的结构和完善的密封拒尘屑于机外,以防患于未然。虽不免仍有少量尘屑的侵入,但可以利用润滑油的循环加以冲洗。一般让循环油具有轻微的压力使系统内带有不高的正压,可以减少粉尘随空气的侵入量。循环油量愈大,对粉尘的冲淡效果也愈好。粉尘粒子的大小、数量及其分布情况均对设备有不同的潜在为害程度。应多方避免大粒的尘屑,如余下小于机器中最小工作间隙的粒子为害就不很大。

水泥工业所散失的细微粉尘对周围设备均极不利,这时设备的润滑最好用脂代替油。脂较油有更好的密封作用,能减少达到摩擦表面的粉尘量。

对设备加油要及时足量,但必须注意减少遗留在外表面的油。暴露在外表面的油特别容易陷入沙尘,往往是沾污润滑油的后患。

粉尘严重地区对润滑油进行认真的过滤是极其重要的步骤。工业动力机械助燃空气的过

滤也有重要的意义。

在沙尘严重情况下储存润滑油必须有严格的防范措施。如储存油缸应常加盖板，即在发放时也应加盖板掩护下进行，而不让其暴露于尘屑中。

5. 锈蚀环境下的润滑

很多机器必须在严重锈蚀环境里工作，如化学、造纸、纸浆以及纺织工业的某些部门等。某些设备常需要在海洋上运行而受到空气中盐雾的腐蚀。工业的大气污染还会对工业机械的早期破坏起重要的影响。煤炭和油料中硫化物的燃烧和分解，必然会产生小量的二氧化硫和三氧化硫而在金属零件表面上形成酸性的沉淀。在机器表面上采用永久性保护涂层和油漆，或临时性的防锈材料对抗锈能有一定的帮助。

设计时选用最适当的抗锈蚀钢材应是首要的任务。这种选择自然会受钢材机械性能和要求工作应力的限制，成本也会影响最后的抉择。在某些情况下，如无法避免钢铁材料的严重锈蚀，也可用化学性稳定的塑料件或塑料涂层代替金属的摩擦副。除选用结构材料之外，从设计上防止锈蚀液体侵入机器的间隙中去，也对防止锈蚀有极重要的意义。

用于润滑机器部件的工业润滑油，一般必须分别加以考虑和规定。在一些润滑油中加入较大量液相的和气相的碱性防锈剂，可用以对付酸性的气氛。另一些添加剂还能在极其潮湿或腐蚀严重的情况下发挥抗锈抗腐的作用。如有大量水侵袭的地方，金属表面润滑油会有被洗掉而使润滑失效的危险，最好采用复合有脂肪的矿物润滑油比较可靠。这种例子可在加冷却液的钻床、洗衣机的轴承和许多船用装置上找到。在某些情况下，即使少量的水也会引起锈蚀，例如齿轮的微动磨损系由于同时有润滑油、水和氧气与金属接触，并在接近静负荷和特殊振动情况下产生的。

润滑油抗腐蚀添加剂一般能抵抗工业中的严重锈蚀。润滑油生产厂应保证油中的添加剂对金属无潜在腐蚀的危险。

还需要特别注意，用来稠化一般脂的皂在与腐蚀物质（如酸等）接触时不致于破坏而生成坚硬的、有磨蚀性的固体沉淀。在某些情况宁愿采用凡士林而不用润滑脂，一般凡士林对广泛的腐蚀性物质更为稳定，很少起作用。

二、矿物润滑油

（一）润滑油的性能、分类及炼制

1. 矿物油的理化性能

各地区开采的矿物油，均各具特点，而在同一地区，但不同地层采得的矿物油也不尽相同。各种矿物油的色泽，气味，粘度，比重，凝点等均有很大的差别。

它的颜色可以从淡黄直到深黑，主要取决于所含胶质和沥青的多少；含有这种杂质愈多则色愈深。

许多矿物油带有程度不同的臭味，主要因这种油带有或多或少的臭味硫化物。我国矿物油含硫量较低，不致引起炼油设备的腐蚀，故为世界矿物油的优良品种之一。

（1）粘度 矿物油的粘度多数为7~30厘沱（50℃），但也有更低和更高的。它主要取决于所含润滑油馏分和胶质的多少，凡汽油含量少的油其粘度就较高。

(2) 比重 矿物油的比重在 0.72~1.00 的范围内, 它主要决定于所含重质馏分, 胶质, 沥青质的多少, 如这些组分愈多则比重就愈大。

(3) 凝点 矿物油的凝点从零上二三十度到零下五六十度差别非常大。这主要看油中含蜡量的多少而定。含蜡量高的油凝固点就低, 表 2-2-1 列举了我国几种矿物油的重要特性。

2. 矿物油的分类

根据矿物油的化学组成中所含最多的烃类族情况可以将矿物油分为:

(1) 烷族矿物油 这类油含有多量汽油和煤油。在汽油中含有大量 (50%) 烷烃。在煤油和润滑油中多是环烷烃。润滑油中石蜡含量约 10%。芳香烃, 沥青含量不多。

(2) 环烷族矿物油 这类油中环烷烃含量大于 60%。含汽油少, 而含煤油, 润滑油较多, 是制造高级润滑油的宝贵原料。

(3) 芳香族矿物油 这类油不多见。含有多量的芳香烃。

(4) 烷, 环烷族矿物油 这类油含有多量烷烃和环烷烃, 而芳香烃和沥青含量较少。

(5) 环烷, 芳香族矿物油 这类油含有多量环烷, 芳香烃, 而石蜡含量不多, 胶质, 沥青质含量高达 15~20%。

(6) 烷, 环烷, 芳香族矿物油 这种油最多。其中三种烃含量相差不多。一般胶质沥青达 10%, 而固体石蜡在 0.5~1.0% 之间。

大庆和四川的矿物油属于烷族, 它的烷烃含量超过 50% 以上, 而其他族烃类的相对含量都较少。又这类油含蜡量都很高, 其特点是比重较小, 凝固点高, 含硫量较低, 汽油辛烷值较低, 柴油十六烷值较高。从这类油中容易取得品质较高的润滑油。

克拉玛依矿物油比较接近于环烷族矿物油, 比重较大, 汽油的辛烷值较高, 并能从中制得比重大, 燃烧性能较好的航空煤油。

玉门矿物油比较接近于烷, 环烷族矿物油, 它的汽油辛烷值不高, 柴油性能较好, 含硫量少, 而易制取高品质的润滑油。

在上列的几种矿物原油中烷族 (或名石蜡基) 矿物油含有大量的润滑油组份, 而其有害杂质的排除办法比较简单。其精制过程主要是利用活性吸附或用硫酸作用以除去过多的极性物质。烷族油本身具有很高的粘温指数。而环烷族油的粘温指数及凝固点都较低。烷族油在低温时的流动性较差。环烷族油的残炭量低, 闪点低并比同粘度的烷族油有较大的挥发度。环烷族油不含有结晶性石蜡, 故适合于冷冻压缩机的润滑。又由于其有较多的芳香烃含量, 故对其自身燃烧产物具有较好的溶解性能。这对汽油机和柴油机的润滑有较好的效果。如此利用有特殊性能的矿物油来加工特殊性能的润滑油, 可以减少添加剂的用量。过去常用单一来源的矿物油来炼制润滑油, 现在我国油矿已有一定的发展, 故可按需要进行选择, 必要时利用几种不同来源的矿物油加以混合以达到要求的各种良好性能。

3. 润滑油的炼制

图 2-2-1 为原油蒸馏及汽油、煤油、柴油生产示意图。图 2-2-2 为润滑油炼制示意图。图 2-2-3 为原油的炼制过程。

(1) 原油准备 矿物油从井中抽出后首先通过沉淀、升温并加入反乳化的化学药剂以排除水、盐、乳化物及硫化氢等杂质, 然后泵送至初馏塔升温到 340°C, 陆续馏出液化石油, 随即引入馏份塔进行常温的蒸馏。

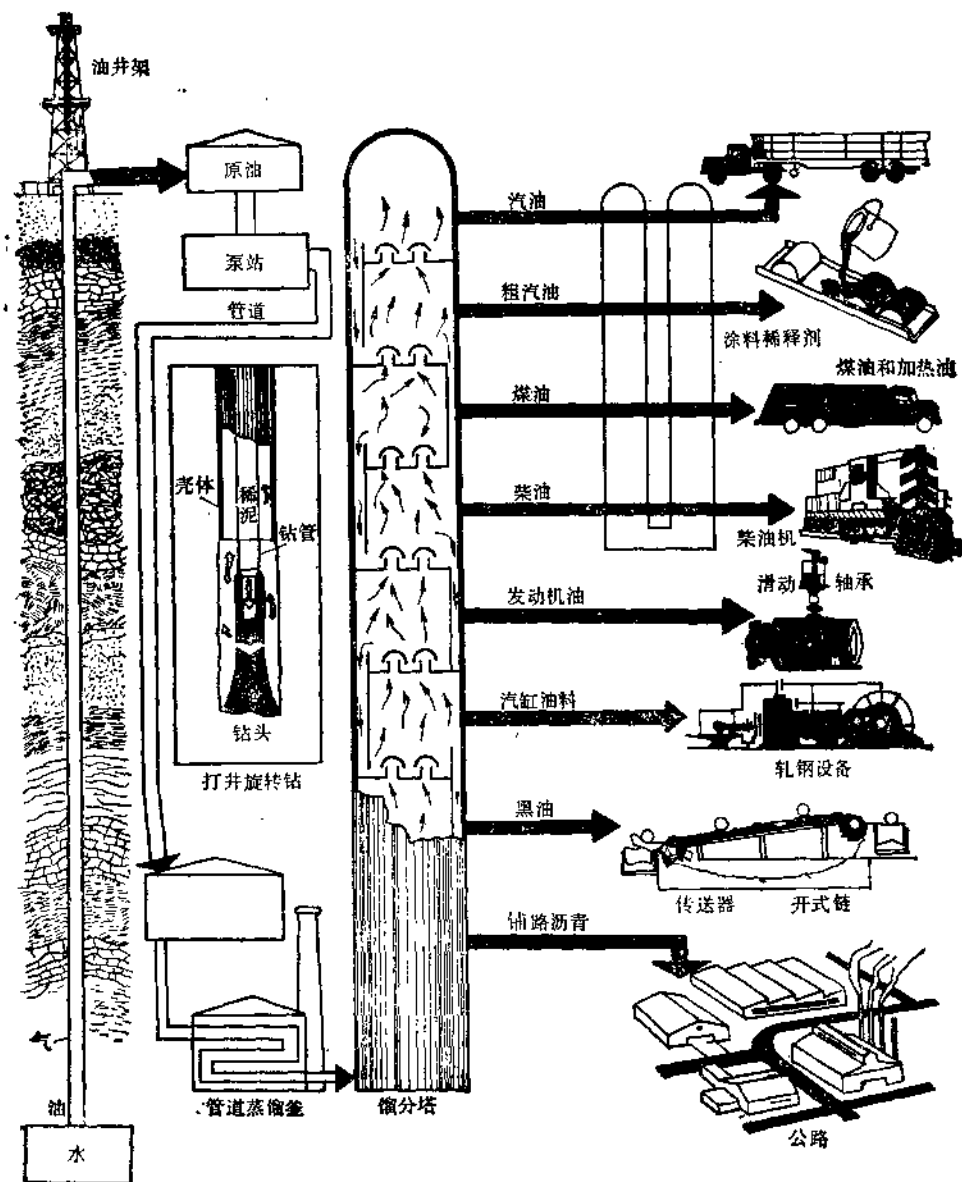


图2-2-3 原油的炼制过程

尽量避免裂化的危险。

2) 常压蒸馏: 将已升温的矿物油维持在大气压力下, 让其在馏份塔中分析成为各种馏份。在馏份塔中还送入过热蒸汽提高油和蒸汽温度加强蒸馏的作用, 便于将轻的馏份升起, 通过层层钟形挡罩把凝点较低粘度较高的油蒸汽逐级地凝结分出。而让凝点较高粘度较低的油蒸汽穿过挡罩逐级上升。最轻的气体如甲烷、丙烷等直升到塔顶流出。而汽油、煤油、柴油则相继向下由塔中流出。常压蒸馏按实际需要控制得到沸点 $35\sim 200^{\circ}\text{C}$ 的汽油馏份, $175\sim 275^{\circ}\text{C}$ 的煤油馏份, 350°C 以上的重油馏份。重油可作为热裂化的原料, 也可作减压蒸馏的原料。塔中残留的常压渣油则送到第二个馏份塔 (即减压蒸馏塔) 内进行润滑油的蒸馏。

3) 减压蒸馏: 送入减压蒸馏塔的常压渣油也同样经过加热并预先排除气体油和较轻的馏份。在减压蒸馏过程中的一线 ($300\sim 395^{\circ}\text{C}$) 馏出变压器油料, 二线 ($320\sim 410^{\circ}\text{C}$) 馏出 10 号机械油料, 三线 ($355\sim 445^{\circ}\text{C}$) 馏出 20 号机械油料。四线 ($395\sim 510^{\circ}\text{C}$) 馏出 10 号汽油机油料。残留下为减压渣油。自减压塔中获得的各种馏份润滑油料 (半成品) 可精制成为轻、中质的润滑油——馏份润滑油如 50 号以下的机械油、汽轮机油、液压油、液压导轨油等。将减压渣油加以精制或再一次减压蒸馏可制取一些重质润滑油、残渣润滑油如过热汽缸油等。

将上述三线和四线馏份调合后可以从中制取汽轮机油、机械油、汽油机油、柴油机油等调合润滑油。

将馏分润滑油和残渣润滑油调合后可以从中制取 13 号压缩机油等调合润滑油。

(3) 润滑油的除蜡 从石蜡基和一些混合基矿物油中馏出的润滑油料中含有较多的石蜡, 残留的渣油内则含有微晶的石蜡。石蜡会提高润滑油的凝点对低温使用不利, 但蜡本身却是珍贵的工业原料, 故应加以分离。

现在广泛应用丙烷、酮等溶剂代替低温加压或所谓冷榨的脱蜡法和通过沉淀和离心从汽缸油料中去掉微晶形石蜡的办法。丙烷不但有溶剂的作用而且本身还起冷冻剂的功能。如采用酮时则需另行冷却。石蜡系在连续转动的鼓形真空过滤器中加以除去。去蜡的油溶液则通过热交换器泵送到汽提溶剂系统。酮可用于任何种油、馏份或渣油而不论其粘度的高低。

在生产极低温用润滑油时采用尿素脱蜡的方法。尿素与蜡络合能生成固态络合物。而这种固态络合物不再需要冷冻剂即能加以分离。

(4) 润滑油的精制:

1) 用酸精制法: 浓硫酸精制润滑油的方法现在已为溶剂提取和氢精制所代替而只用于工业和医药凡士林等少数油品的精制上。但硫酸精制法的副产品如各种磺酸可用于去垢、乳化等过程上。

硫酸在精制过程中与不饱和烃迅速反应而产生酯、醇、聚合物及氧化物等。在常温下它与石蜡和环烷烃反应较缓慢。

硫酸能除去树脂和沥青并改进色泽及粘温性能, 减少残炭及乳化的倾向。

硫酸精制常在镀铅的锥形缸底通过压气搅拌进行。当反应生成的沉淀下沉然后排出油, 通过水洗并用苛性钠中和除去残留的酸。再用吸附剂进一步除色。最后除蜡和过滤即可完成精制的过程。

2) 溶剂选择精制法: 利用选择性溶剂溶解能力的各不相同将油中有用的组份分离出来, 除去影响油品质量的多环芳香烃及胶质沥青等无用有害的组份。再借助于比重的差别将精制油与溶解于溶剂中的沉淀分开。典型的选择溶剂有液体丙烷和二氧化硫、糠醛、苯酚、二氯乙醚、硝基苯等。

3) 加氢精制法: 利用发动机燃油生产过程中的大量廉价副产品氢气在中等温度和压力下加入通过溶剂精制的环烷基、混合基或石蜡基油料并利用钴、锰、铂催化剂的接触作用可以除去油中的不饱和烃及其他无用成分进一步提高油料到无色、无嗅、无味的高纯度, 适合医药、食品等用油的需要。加氢精制主要用于粘度指数低、质量差的油品, 其收率较高可代替溶剂或白土精制。

4) 吸收过滤精制法: 广泛用于油料除色、除水和除杂质。无论润滑油的生产或再生中

凡经过酸碱精制就不免残留有沥青、胶质、环烷酸和多环芳香烃及在精制过程中生成的磺酸、硫酸脂、水份等有害物质。在溶剂精制后不免残留少量溶剂等。一般尚须利用白土、硅胶等多孔性材料加以吸附、除去杂质、补充精制的深度。

(二) 矿物润滑油的成分

矿物油的化学成分并非一种简单的化合物而是由多种元素所构成的多种化合物的混合体。但经化学分析证明组成各种矿物油的化学元素基本相似，如表 2-2-1。矿物油含有 84~85% 的炭，12~14% 的氢以及小量的硫、氧及氮等杂质。所有矿物油虽都由上述接近等量的碳和氢元素所组成，但这些碳、氢元素的相互配合和结构却有很大的差别。它们组成了占矿物油重量比的 96~99% 名为烃的特殊复杂的混合物。其中从最轻的气体甲烷、乙烷、丙烷、丁烷直到相当沉重可析出成为固体沥青或石蜡的化合物。矿物油中最主要的成分为烷烃、环烷烃及芳香烃和这些烃类的联合体。沥青为较高沸点的环烷烃。

矿物油中还含有小量的氧、硫及氮的有机化合物及无机物。在矿油灰分中还发现有氯、碘、磷、硅、钾、钠、钙、铁、镍、钒等元素。其中最复杂的化合物均存在于高沸点的范围内。表 2-2-2 为我国几种矿物油的重要特性和杂质含量。表 2-2-3 为某种矿物油馏出各种成品油

表 2-2-1 几种矿物油的元素组成

矿物油型	比重 d_{4}^{20}	C	H	S	N	O	C/H
克拉玛依	0.8679	86.1	13.3	0.04	0.25	0.28	6.47
苏联杜依玛兹	—	83.9	12.3	2.67	0.33	0.74	6.82
墨西哥	0.8260	84.2	11.4	3.6	—	0.30	7.40
美国宾夕法尼亚	0.8740	84.9	13.7	0.5	—	0.9	6.20
伊朗	0.8370	85.4	12.8	1.06	—	0.74	6.67
抚顺页岩油	0.9038	81.6	12.1	0.54	1.27	1.53	7.00

表 2-2-2 我国几种矿物油的重要特性及杂质含量

性质 矿物油	比重 d_{4}^{20}	粘度 (厘沲, 50°C)	凝固点 (°C)	含蜡量 (%)	含硫量 (%)	硅胶 胶质 (%)	沥青质 (%)	残炭 (%)	酸值(毫米) KOH/克
大庆原油	0.8445	17.4	24	28.6	0.15	13.3	0.98	2.5	0.1
胜利原油	0.9086	29.4	14	11.8	0.92	29.5	7.0	0.9	0.51
玉门原油	0.8520	9.73	18	9.5	0.18	16.0	1.82	4.10	0.28
克拉玛依原油	0.8679	19.2	-50	2.04	0.04	12.6	0.61	3.7	0.78

表 2-2-3 某种矿物油中的烃

馏分名 分馏温度 占矿物油重量 (%)	气 体	汽 油	煤 油	轻气体油	重气体油及重 润滑油馏份	润滑油馏份	残 余
40°C 以内	40~180°C	180~230°C	230~305°C	305~405°C	405~515°C		
化学成分	占矿物油 4%	占矿物油 33.2%	占矿物油 12.7%	占矿物油 18.6%	占矿物油 14.5%	占矿物油 10%	7%
正烷属烃	80	28.0	23.6	23.1	17.6	13.7	
带指链石蜡烃	20	20.2	15.3				
单环石蜡烃		42.1	33.1	↑	↑	↑	
双环石蜡烃		0.7	12.9	56.9	55.9	53.1	
高环石蜡烃		0.7	12.9	↓	↓	↓	
单核芳香烃		8.8	14.6	12.3	12.1	10.5	
双核芳香烃		8.8	0.5	7.7	7.9	8.1	
高核芳香烃		8.8	0.5	7.7	5.1	6.6	
非烃		8.8	0.5	7.7	1.4	8.0	

表2-2-4 我国几种矿物油的烃类成份含量(%)

	石 蜡 基 油	环 烷 基 油	环烷-芳香混合基油
石 蜡 烃	35~45	10~15	15~25
环 烷 烃	40~50	70~80	40~50
芳 香 烃	7~12	8~12	20~25
树脂及沥青	1~3	2~5	10~15

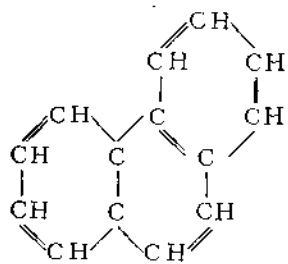
中所含各种烃类的百分数。表2-2-4为我国几种矿物油的烃类成分百分比。

各种矿物油含有多种不同型式的烃，其混合的比例也各不相同。一些矿物油如大庆的(石蜡基油)含的石蜡烃较多，而另一些则含的环烷烃最多(环烷基矿物油)。不论何种基油其主要成份总是环状化合物(环烷烃及芳香烃)。石蜡烃多数存在于低沸点馏份中，沥青只存在于最高沸点的切取中。

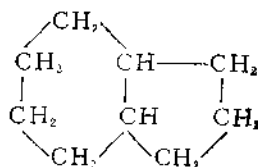
矿物油中含有硫化物时必须除去，故对炼制有很大的困难。如硫对采油装置，输油管道及炼油设备有腐蚀的作用。大部分硫以硫化物和硫醇的形式存在于馏份的底部。在较高的沸点范围内有更复杂的有机硫化物。

矿物油中存在的化合物总数还不明确，但石油化学工作者都认为其化学组合的可能性几乎是无穷无尽的，不应少于千百种以上。由于这些化合物混合在一起使情况十分复杂。要进行大量的分析即使可能也极其困难。某一石油研究单位对某一种矿物油进行了详细的分析。结果仅在占体积46%的部分内就分离出175种烃类化合物。

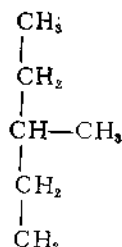
烃(仅含有氢和碳的化合物)的分子结构 矿物油主要成分的烃可大致划分为环状的和非环状的，还可细分为饱和的和非饱和的各种化合物，这四种类型可以典型化成以下的结构：



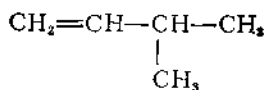
I. 芳基



II. 环烷基



III. 石蜡基



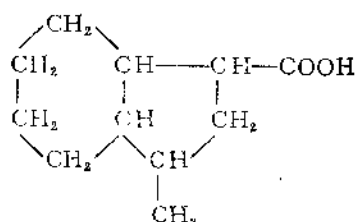
IV. 烯烃

在润滑油的范围内不常发现较大量的烯烃。即有，也可能是在蒸馏时通过裂化而形成的。还可以看出这些分子不常符合那一类的化合物。故一个分子可以含有一个芳香烃系统，溶入一环烷环中，或两者都由石蜡烃侧链所代替(V)。

如氮和硫的原子出现在油里同一的烃分子中时，可认为这种油里存在更复杂的分子。而烃的结构尤其复杂，这些化合物大约还有石蜡侧链，又还可能和环烷、芳香环形结构相综合。

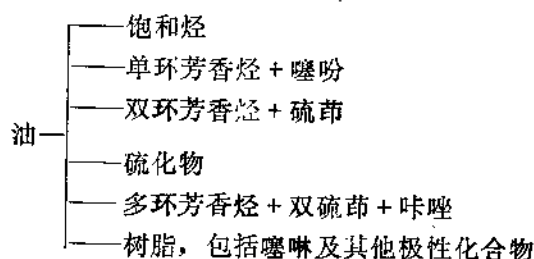
这些非烃物质虽只出现极少的量，但常在控制润滑油性能上起主要的作用。一般它较烃的化学作用更强，因此显著影响诸如氧化安定性，热稳定性和形成沉淀的倾向。油精制的一般倾向是减少非烃成份到最少的限度。

环烷酸 (XI) 多半是矿物油中出现的氧化物。而在精制过程中通过中和与蒸馏除去之。环烷酸盐保留在蒸馏后的渣油中并能通过进一步的处理回收之。



XI. 环烷酸

我们可以用洗提的色层谱在一小标尺上进行各类烃的辨识。润滑油馏份系在硅石或矾土的活性固体物上被吸收。然后用增进极性的一系列溶剂加以洗提就会达到以下的分析：



可以应用红外线、紫外线及质谱并通过化学分析以进一步分类和肯定。

现代精制方法一般能除去大部份树脂、多环芳香烃、双环芳香烃及其类似非烃物质，而使最后的润滑油主要含有饱和的和单环的芳香烃馏份。因此我们可以说，润滑油性能和其主要的成份有关，譬如粘温指数即受到饱和和单环芳香烃性能的控制。表 2-2-5 从三种主要型式润滑油中的饱和和单环芳香烃影响粘温指数典型事例中可以看出，高粘温性能的油只能从石蜡基或混合基油中生产。即使所有的芳香烃均从环烷基油中除去后，它也只能有 70 左右的粘温指数(粘温指数的典型值应大于 90)。

表2-2-5 饱和及单环芳香烃馏份的性能

油 型	饱 和 烃 的 粘 温 指 数	单 环 芳 香 烃 的 粘 温 指 数
石 蜡 基	120 +	80
混 合 基	100	30
环 烷 基	70	—

例如某炼厂准备加工润滑油的典型馏份的组成为 55% 的饱和烃(包括 10% 的石蜡)、13% 的单环芳香烃(包括噻吩)、17% 的双环芳香烃(包括苯并噻吩)及 15% 多环芳香烃及树脂。

每种类型润滑油的成分和比例按其矿物油来源而不相同，因此生产优良油品需要的精制