



润滑脂

性能及应用

Properties and Applications of
Lubricating Grease

■ 蒋明俊 郭小川 编著

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

润滑脂性能及应用

蒋明俊 郭小川 编著

中国石化出版社

内 容 提 要

本书主要介绍了润滑脂的特点、组成、生产、性能、品种及应用,着重论述了润滑脂的各种性能、影响性能的因素、性能的评定方法以及性能与使用之间的关系,还重点介绍了润滑脂的品种及发展。本书既重视对理论知识的介绍,又融合作者在润滑脂研究方面的经验;注重知识的系统性,又注意突出重点,内容精练。

本书不仅可作为油品应用专业学生的教材,亦可供从事润滑脂生产、销售、管理和使用人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

润滑脂性能及应用 / 蒋明俊, 郭小川编著. —北京:
中国石化出版社, 2010. 4
ISBN 978-7-5114-0322-3

I. ①润… II. ①蒋… ②郭… III. ①润滑脂-基本
知识 IV. ①TE626. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 030860 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭, 或者以任何形式或任何方式传播。版权所有, 侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址: 北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编: 100011 电话: (010) 84271850

读者服务部电话: (010) 84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com.cn

北京科信印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 16 印张 400 千字

2010 年 4 月第 1 版 2010 年 4 月第 1 次印刷

定价: 40.00 元

前 言

润滑脂由于具有特殊的流变性能，在机械设备上有广泛的用途。近年来润滑脂在产品品种、生产工艺与设备、性能评定方法及仪器等方面都有了很大的发展，新的润滑脂品种在性能方面比普通润滑脂有了很大的提高。由孙全淑教授编写的《润滑脂性能及应用》一书一直作为解放军后勤工程学院应用化学专业和石油产品应用工程专业学生的教材，但该书自 1988 年出版以来已过去二十多年，润滑脂在各方面已有了很大的发展，所以我们根据润滑脂发展的实际情况对该书进行了重新编写。新编写的《润滑脂性能及应用》分为四部分(共七章)：第一部分(第 1~2 章)是关于润滑脂的作用、组成和结构；第二部分(第 3 章)是关于润滑脂的生产工艺与设备；第三部分(第 4 章)是关于润滑脂的性能；第四部分(第 5~7 章)是关于润滑脂的品种、应用及质量管理。

本书由蒋明俊、郭小川共同编写，编写中参阅了大量文献，主要参考资料列在书后，对参考文献的作者表示感谢。

由于编者水平所限，书中定有不妥之处，敬请读者指正。

编 者

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 润滑脂的作用和特点	(1)
第二节 润滑脂的应用范围	(2)
第三节 润滑脂的发展	(3)
第二章 润滑脂的组成与结构	(5)
第一节 基础油	(5)
第二节 稠化剂	(9)
第三节 添加剂及填料	(15)
第四节 润滑脂的外观	(19)
第五节 润滑脂的结构概述	(20)
第六节 皂基润滑脂的结构	(20)
第七节 复合皂基脂的结构	(23)
第八节 非皂基润滑脂的结构	(25)
第三章 润滑脂生产	(27)
第一节 润滑脂生产原料	(27)
第二节 润滑脂生产设备	(39)
第三节 润滑脂生产过程及管理	(55)
第四节 润滑脂生产工艺	(58)
第四章 润滑脂的性能及评定方法	(76)
第一节 润滑脂的流变性能及低温性能	(77)
第二节 润滑脂的高温性能及轴承性能	(103)
第三节 润滑脂的润滑性能	(139)
第四节 润滑脂的防护性能及其他性能	(166)
第五章 润滑脂品种及应用	(177)
第一节 润滑脂的分类	(177)
第二节 钙基润滑脂	(179)
第三节 钠基润滑脂	(182)
第四节 混合皂基润滑脂	(184)
第五节 锂基和复合锂基润滑脂	(186)
第六节 铝基和复合铝基润滑脂	(196)
第七节 复合钙基和复合磷酸钙基润滑脂	(200)
第八节 脲基润滑脂	(202)
第九节 膨润土润滑脂	(205)
第十节 烃基润滑脂	(208)
第十一节 合成润滑脂及仪表电器润滑脂	(212)

第六章 润滑脂选择及使用 (226)

 第一节 润滑脂的正确选用 (226)

 第二节 润滑脂在各种机械设备上的应用 (230)

 第三节 润滑脂的使用寿命及报废指标 (238)

第七章 润滑脂的质量管理和试验分析 (240)

 第一节 润滑脂生产中的质量管理 (240)

 第二节 润滑脂储存中的质量管理 (240)

 第三节 润滑脂在使用中的质量管理 (241)

 第四节 润滑脂的试验分析 (243)

参考文献 (248)

第一章 绪 论

第一节 润滑脂的作用和特点

一、润滑脂的定义

润滑脂是润滑材料的一种，用于减少相对运动表面之间的摩擦和磨损。润滑脂的定义是由基础油、稠化剂及添加剂组成的，常温下呈半流体至半固体状态的塑性润滑剂。

二、润滑脂的作用

润滑脂大多是半流体至半固体状物质，具有独特的流变性能。在常温和静止状态下润滑脂呈固体状态，能保持自己的形状而不流动，能粘附在金属表面上而不滑落。在高温或受到超过一定限度的外力时，它又像液体能产生流动。润滑脂在机械中受到运动部件的剪切作用时，能产生流动并进行润滑，降低运动表面间的摩擦和磨损。当剪切作用停止后，它又能恢复一定的稠度。润滑脂的这种独特的流变性，决定它可以在不适于用润滑油的部位进行润滑。此外，润滑脂的密封作用和防护作用也比润滑油好。

润滑脂的作用主要是润滑、保护和密封。

绝大多数润滑脂主要作用是润滑，称为减摩润滑脂。减摩润滑脂主要起降低机械摩擦、减少机械磨损的作用，同时还兼起防护作用及密封防尘作用。例如汽车通用锂基润滑脂、通用锂基润滑脂、2号坦克脂、931高温航空润滑脂等。

有一些润滑脂主要用来防止金属生锈或腐蚀，称为防护润滑脂。例如工业凡士林、枪炮防护脂等。

另有少数润滑脂专作密封用，称为密封润滑脂，例如螺纹脂、7903密封脂等。

三、润滑脂的特点

(一) 润滑脂的优点

1) 润滑脂的使用寿命长，供油次数少，不需经常添加。在难以经常加油的摩擦部位上，使用润滑脂较为有利。有些密封轴承，可以在装配时填充适量的润滑脂，一直用到轴承寿命终结为止。

2) 润滑脂通常适用于重负荷、低速、低温、极压以及有冲击负荷的苛刻条件，也适用于间歇或往复运动的部件上进行润滑。

3) 润滑脂在摩擦表面上保持能力强，密封性好。有些机械密封不严，使用润滑脂可以防止水分、尘土和其他机械杂质进入摩擦表面。润滑脂对于潮湿和多尘环境下操作的机械的摩擦部位也能适用。

4) 润滑脂润滑的机器，可以防止滴油和溅油污损产品，可以在垂直位置下正常运转而不产生漏油。

5) 润滑脂在金属表面上粘附力强，可以保护金属长期不锈蚀，有些润滑脂还可保护在水中的金属部件不受腐蚀。

6) 润滑脂的使用温度范围比润滑油宽。

7) 润滑脂润滑时不需要复杂的密封装置和供油系统，可以简化机械结构。

(二) 润滑脂的缺点

- 1) 冷却散热作用不如润滑油。
- 2) 用脂润滑的设备起动时摩擦力矩大。
- 3) 润滑脂的更换比润滑油的更换复杂。

第二节 润滑脂的应用范围

摩擦学是研究相对运动的物体表面的摩擦、磨损与润滑现象和机制的学科。这门边缘学科自 20 世纪 60 年代出现以来, 受到全世界有关方面的重视, 因而发展非常迅速。据统计, 全世界开发的能源, 约有 1/3 消耗在摩擦过程中。摩擦、磨损是能量消耗和材料损失的重要原因。在为人类的未来保存资源的斗争中, 节约能源和材料的重要性日益突出。润滑是降低摩擦和减少磨损的主要手段。在摩擦学中, 润滑剂被作为摩擦工程系统的四个要素之一(相对运动的机械两个表面、润滑剂、周围介质)。

众所周知, 润滑剂是加入到两个相对运动的接触表面之间, 以降低其摩擦和磨损的物质。润滑剂按其聚集状态分为气体、液体、半固体及固体四类。润滑脂是润滑剂中的一类, 它在常温时多为油膏状(通常为半固体), 也有少数呈固体或半流体状态。润滑脂的定义是“将稠化剂分散在液体润滑剂内形成的固体至半流体产品; 另外还可加入其他组分, 使之赋有特殊的性质。”也可以简单地称为: “润滑脂是由稠化剂、基础油和添加物组成的塑性润滑剂”。润滑脂含有一种或几种基础油。润滑脂的添加物包括各种添加剂和填料, 它们可以改善润滑脂的性能。润滑脂和其他润滑剂一样, 各有其优点和局限性, 但对于分散的或简单的摩擦副, 如操纵关节、电机滚动轴承等, 则可利用润滑脂润滑具有简单、方便的优点。

润滑脂工业是一个正在发展中的工业。润滑脂与润滑油一样都是用来减少摩擦、磨损, 但在某些情况下必须使用润滑脂或用润滑脂比用润滑油好, 如运转设备要求润滑剂有密封作用, 以阻止杂质进入; 或运转设备要求润滑剂能保持在润滑部位, 则要求用脂润滑。而如果设备转速很高(DN 值大于 350000), 则须用油润滑。

据粗略估计, 全世界润滑脂的年产量约 100 万吨左右, 其数量虽远不及润滑油, 但润滑脂应用范围之广和品种之多, 都不亚于润滑油。从精密仪表的微型轴承到重型机械都有采用脂润滑的。机械上最广泛使用脂润滑的典型零部件是滚动轴承。据估计, 约有 80% 以上的滚动轴承和 20% 的滑动轴承是以脂润滑的。齿轮虽然大多数以油润滑, 但某些情况下用半流体脂润滑能达到更好效果, 不仅解决了设备漏油 and 环境污染问题, 而且减少了润滑剂耗量, 从而使经济效益更好。

从润滑脂的应用领域来看, 各种机械设备都离不开润滑脂。工业上, 不仅采矿、冶金、机械制备等许多重工业的机械设备需要使用润滑脂, 而且轻工业如纺织、造纸、印染、食品、信息通讯等机械设备也需要润滑脂。农业上, 拖拉机和许多农业机械需要润滑脂。在交通运输和国防方面, 汽车、铁路机车、飞机、舰船等各种交通工具以及坦克、导弹等都需要润滑脂。总之, 润滑脂的应用范围十分广泛, 应用领域不断扩大, 润滑脂是不可缺少的一类润滑材料。

第三节 润滑脂的发展

一、润滑脂的发展历程

大约公元前 1066 ~ 公元前 771 年, 古人使用了动植物油脂作为车轴的润滑剂, 这是人类用以减少摩擦的第一代润滑剂。

随着农业、手工业工具及马拉车的发展, 对润滑部位的要求逐渐提高, 单纯使用动植物油脂就容易从摩擦表面流失, 由此人们发现向动植物油脂中加入石灰来制备润滑剂的方法。加入石灰的结果是部分油脂与石灰反应生成了稠化剂, 其余部分油脂作为分散介质, 这就是最早、最原始的润滑脂。

18 世纪末蒸汽机的出现、纺织工业的兴起及 19 世纪初蒸汽机车的发明, 一些机械润滑部位的负荷、转速、温度提高, 迫使人们改变原有润滑剂的配方, 以提高耐温性能。于是出现了向动植物油脂中加入苛性钠水溶液来制备润滑剂的方法, 这就是早期的高温润滑脂(钠基润滑脂)。

19 世纪 60 年代开始, 随着煤加工业的兴起, 植物油脂开始部分地被煤焦油和页岩油所代替; 以后又随着石油工业的发展, 自 19 世纪后期起开始主要以矿油润滑油作为分散介质, 这才使润滑脂得到迅速发展: 19 世纪 70 年代出现真正的钙基润滑脂; 20 世纪初分别出现钠基润滑脂、铝基润滑脂、钡基润滑脂; 20 世纪 40 年代锂基润滑脂的出现使润滑脂的发展进入一个新阶段, 因为锂基润滑脂是一个多效、长寿命的多用途润滑脂, 时至今日仍是润滑脂的主要品种。

随着机械工业的飞速发展, 自第二次世界大战以来, 机械设备的润滑条件逐步提高, 向着高温或低温、高负荷、高转速、长寿命方向发展, 所以陆续出现了复合钙基润滑脂、复合铝基润滑脂、复合钠基润滑脂等复合皂基润滑脂, 以及聚脲、酞菁、阴丹士林等有机润滑脂和膨润土、硅胶等无机润滑脂。特别是飞机等航空航天器的出现, 要求润滑脂有良好的耐高温性能及长寿命, 所以又出现了合成油作为分散介质(基础油)的合成润滑脂。

二、我国润滑脂工业的现状

我国的润滑脂工业从无到有、从少到多, 逐渐发展到今天与世界基本同步。20 世纪 50 年代, 除了研究当时所需的润滑脂产品工艺外, 还注意研究了新型润滑脂(如复合皂、非皂基脂)和润滑脂的基础理论(如润滑脂的结构和流变性等)。20 世纪 60 年代以来, 润滑脂的品种和质量都已基本适应了国民经济各部门发展的需要, 并有少量产品进入国际市场。合成润滑脂是第二次世界大战以来随着军事工业和尖端技术的发展而发展起来的, 具有矿油润滑脂所不及的特性, 能满足一些特殊的使用要求。我国从 20 世纪 50 年代末开始合成润滑脂的研究, 现在已形成系列产品, 不仅满足国防尖端技术的需要, 而且逐渐向民用工业推广, 一些耐高低温、抗极压、抗辐射、耐化学介质的润滑脂满足了钢铁、化纤、陶瓷、石油等工业设备的特殊需要, 改善了设备的润滑和密封。

在生产技术方面, 20 世纪 50 年代, 我国润滑脂生产采用大锅直火加热熬煮的生产方式, 生产的润滑脂品种只有钙基润滑脂和钠基润滑脂。20 世纪 60、70 年代, 我国发展了管式炉连续生产、热载体循环加热、螺旋输送冷却器等生产技术和设备, 还开发了复合钙基润滑脂产品; 采用了胶体磨、均化器、脱气罐等新设备, 发展了循环剪切制脂工艺及压力釜、接触器等生产设备, 研发了合成润滑脂及酞钠、酞菁、膨润土等润滑脂产品, 并制订了润滑

脂产品标准和试验方法标准。20 世纪 80、90 年代，我国润滑脂得到迅速发展，一是技术创新，引进国外润滑脂生产设备和技术，自主研发润滑脂生产单元设备，大力发展锂基润滑脂，并研发了复合锂、复合铝、膨润土、聚脲、复合磺酸钙等新产品。二是技术改造，国内各润滑脂生产厂都进行了技术改造，在提高生产效率、降低能耗、提高产品质量、优化品种结构等方面取得了卓有成效的进步，缩短了与国际先进水平的差距。

近年来我国润滑脂的包装材料、包装容器也取得了较大的发展，改变了原来包装材料低劣、包装容器形式单一、外观简陋的状况，采取大、中、小包装形式结合，基本满足市场需要。但应注意发展散装，并注意包装的外观设计和商标设计，提高市场竞争力。

虽然我国润滑脂工业自改革开放以来得到了很大的发展，但与先进国家比还是存在一些不足，主要表现在：一是我国润滑脂生产厂的规模偏小，造成润滑脂生产能耗高、成本高，质量难保证，市场竞争力不足；二是高性能润滑脂品种所占的比例偏低，自主研发的润滑脂评定方法和设备少，评定方法中性能评定所占比例小，制约了润滑脂新产品的开发和产品质量的提高；三是润滑脂生产设备的质量偏低，润滑脂包装容器的质量偏低，以及润滑脂的生产原料——基础油、添加剂的质量难保证。

三、润滑脂的发展趋势

现代润滑脂的发展是与机械的发展和节能的要求相联系的。过去，由于航空业和军事工业的要求促进了润滑脂的发展。现在，由于现代机械向高温、重负荷、高速、小型化等方面发展，需要人们研究新型润滑脂。例如，研究新型稠化剂；发展多效通用润滑脂以简化品种；开展基础理论研究，为关键性的技术突破提供理论指导。

1) 未来一段时间内，锂基润滑脂仍是主要品种，它能满足大多数机械设备、动力装备的润滑要求，只是中国的锂基润滑脂生产要通过提高原材料质量、改进生产工艺和设备、添加各种添加剂来提高锂基润滑脂的质量。

2) 发展复合锂、复合磺酸钙、聚脲等高滴点多效润滑脂，提高高性能润滑脂所占的比例。

3) 在润滑脂产品评价中，更加注重性能指标的评价，研究润滑脂性能评价的方法和仪器。

4) 注重发展多种形式的包装，推广合理润滑技术，注意润滑脂的节约。

5) 注重环境保护，发展具有生物降解功能的环境友好润滑脂。

6) 注重开展润滑脂的基础理论研究，如润滑脂的流变性能、润滑脂的弹流润滑理论、复合皂结构与性能的关系、新材料在润滑脂中的应用等。

第二章 润滑脂的组成与结构

润滑脂是由基础油、稠化剂和添加剂(包括固体添加剂)组成。基础油是液体润滑剂,可用矿油或合成油。稠化剂是一些有稠化作用的固体物质,有皂基和非皂基稠化剂。添加剂可以改进或增加润滑脂的某些性能。润滑脂的性能主要取决于润滑脂的组成和结构,不同组成的润滑脂其结构和性能不同。因此,要掌握各类润滑脂的性能,就需要了解润滑脂各组成的特性及润滑脂结构,并根据使用要求,选择合适的组分来研制新的润滑脂产品。

第一节 基础油

一、基础油的作用及影响

基础油在润滑脂胶体分散体系中起分散介质的作用,分散稠化剂和添加剂,基础油具有润滑作用,并对润滑脂的许多性能有重要影响。

基础油是润滑脂不可缺少的液体组分,其含量约70%~90%,有些高达95%。基础油是润滑脂胶体分散体系中的分散介质,被固定在结构骨架中而失去了流动性,所以,润滑脂整个体系在常温下呈半固体状态。

基础油本身是液体润滑剂,基础油的种类和性质主要决定或在不同程度影响润滑脂的某些性能。例如,润滑脂的蒸发性和对橡胶密封材料的相容性几乎完全取决于基础油。润滑脂的低温性能在很大程度上受基础油的黏度、凝点和黏温性的影响,因而低温脂要求用低温黏度小、凝点低和黏温性好的基础油。润滑脂的高温性能受基础油的氧化安定性、热分解温度和蒸发性的影响,所以,高温脂要求能耐高温的稠化剂且基础油的热安定性好、氧化安定性好、蒸发性小。

润滑脂的黏度和泵送性受基础油黏度的影响。润滑脂的胶体安定性与基础油的种类和黏度有关,基础油的黏度愈小,润滑脂愈易分油。增大基础油的黏度会减小润滑脂的分油和蒸发损失、改善润滑脂的黏附性等,但增大基础油的黏度对润滑脂的低温和泵送性有不利影响。

对制备润滑脂来讲,基础油最重要的性质是黏度、热安定性、氧化安定性、蒸发性和润滑性。对于低温脂和宽温度范围用脂,其基础油的黏温性、低温黏度、凝点也很重要。对于某些特殊条件下使用的润滑脂,其基础油还要求具有一些特殊性能,如抗辐射、耐化学介质等。

由于润滑脂的应用领域不断扩大,现代机械对润滑脂的性能要求也不断提高,因此,开发了各种不同类型的基础油以满足不同的使用要求。

二、基础油的种类

润滑脂的基础油分成两大类:矿物油和合成油。

(一)矿物油

矿物油是润滑脂生产中用量最多、使用最广、价格较便宜的基础油。

矿物油作润滑脂基础油的优点:润滑性能好、黏度范围宽,不同黏度的基础油适合制备

不同用途的润滑脂。例如，低黏度、低凝点的矿物油可制备低温脂；高黏度的矿物油可制备高温、高负荷用的润滑脂。矿物油制备的润滑脂在一定的温度范围内可满足使用要求，且成本较低，是润滑脂制造中用得最多的基础油。矿物油作为润滑脂基础油的主要缺点是对高温和低温性能不能同时兼顾，适于低温用的基础油，高温时易蒸发和氧化，相反适于高温使用的基础油，低温流动性差。

矿物油按原油的烃族组成为石蜡基(SN)、环烷基(DN)和中间基(ZN)基础油。基础油还按黏度指数分为超高黏度指数(VHVI)、高黏度指数(HVI)、中黏度指数(MVI)和低黏度指数(LVI)基础油。基础油还分为馏分中性油和光亮油(BS)。馏分中性油以40℃赛氏黏度划分牌号：75、100、150、200、300、350、400、500、600、750、900。光亮油以100℃赛氏黏度划分牌号：90、120、125/140、150。

在润滑脂生产中，基础油的选择非常重要。在润滑脂制造中用得较多的是环烷基油，也有用石蜡基或中间基油的。脂肪酸金属皂在环烷基油中的稠化能力比在石蜡基油中强，但石蜡基油的黏温性好、黏度指数高，制备的润滑脂的黏温性也好。不同来源的矿物油由于在化学组成上的差异，对不同稠化剂的稠化能力和润滑脂的性能都有影响，所以，研制新产品时先考察稠化剂与基础油的配伍性。在润滑脂的制备中可以使用一种基础油，也可以将几种基础油调和后使用。润滑脂基础油的选择主要根据润滑脂的使用要求而定。

在低温、轻负荷、高速轴承上使用的润滑脂，应选用黏度低、凝点低、黏温性好的基础油；用于中负荷、中速和温度不太高的机械的润滑脂，则应选用中等黏度的基础油；在高温、重负荷、低速下使用的润滑脂，则应选用高黏度的基础油。

作为润滑脂基础油的矿物油，除采用一般矿物基础油外，还有专为生产润滑脂用的基础油，如新疆克拉玛依炼油厂生产的锂料，还可选用某些含添加剂较少的成品润滑油作为生产润滑脂的基础油。详细的论述见第三章润滑脂的生产原料。

(二) 合成油

现在，合成油作为润滑脂基础油还用得较少，主要是因为合成油的价格比矿物油贵，但随着机械的发展，合成油的使用会愈来愈多。作为润滑脂基础油的合成油主要有： α -烯烃油、酯类油、聚醚、硅油等。

1. 聚 α -烯烃油

聚 α -烯烃油的原料为直链 α -烯烃，工业生产主要采用石蜡裂解法或乙烯聚合法。

石蜡裂解法是以石蜡为原料，经热裂解得到 α -烯烃，然后在催化剂存在下聚合得到聚 α -烯烃，经蒸馏得到不同黏度的馏分油，再加氢精制得聚 α -烯烃油。

乙烯聚合法是以乙烯为原料聚合成聚 α -烯烃，再加氢精制得聚 α -烯烃油。选择适当的催化剂并控制聚合度可得到不同黏度的聚 α -烯烃油。乙烯聚合法比石蜡裂解法得到的聚 α -烯烃油产品质量高。

聚 α -烯烃油是合成油中发展最快的，已经广泛用作合成润滑油脂的基础油。这是因为聚 α -烯烃油具有很多优良特性：①黏度范围宽，黏温性好；②凝点低，低温流动性好；③热氧化安定性好；④润滑性好；⑤与矿物油和其他合成油的相容性好；⑥抗水性好；⑦对添加剂感受性好。现在，聚 α -烯烃油作为润滑脂基础油主要用于生产低温润滑脂和通用润滑脂。

2. 烷基苯

烷基苯属于合成烃的一类，常用的是重烷基苯。重烷基苯的主要特点是凝点低、黏温性

好，主要用于制备寒区润滑脂。几种重烷基苯的性质见表 2-1。

表 2-1 几种重烷基苯的性质

项 目	质 量 指 标			
	A	B	C	D
黏度/(mm ² /s)				
-45℃	13874	39200	3410	21917
-40℃	6830	18484	1730	—
-34℃	3605	9341	943	—
-18℃	735	1700	214	—
37.8℃	32.8	58.5	13.5	—
98.9℃	6.3	10.2	3.5	5.15
黏度指数	165	171	156	114
倾点/℃	-53	-48	-62	-54
闪点/℃	220	210	163	185

3. 酯类油

酯类油是目前合成润滑脂中使用较多的一类基础油，它具有良好的润滑性能和高低温性能，对添加剂具有良好的感受性，凝点低、黏温性好。作为润滑脂基础油使用的酯类油有双酯和新戊基多元醇酯。

双酯的凝点低、低温性好，但热安定性不太好，受热分解成酸和烯烃，生成的酸会腐蚀金属，生成的烯烃易氧化产生淤渣。在双酯中加入抗氧剂后可改善其氧化安定性。

新戊基多元醇酯的热安定性比双酯好。在合成润滑脂中使用的新戊基多元醇酯有：三羟甲基丙烷酯、季戊四醇酯、双季戊四醇酯。

4. 硅油

硅油又称硅酮，是一类液体聚硅氧烷，分子主链为 —Si—O—Si— 。

硅油的主要优点是：①极好的黏温特性；②良好的低温性，凝点很低；③高温性好，挥发性小、热安定性好、氧化安定性较好；④绝缘性能好；⑤剪切安定性好；⑥无毒、无腐蚀、憎水、抗燃。

硅油的主要缺点是：①边界润滑性差，对润滑性添加剂的感受性差；②甲基硅油与矿物油的混溶性较差；③硅油在高温下也能被氧化。

硅油的种类很多，有甲基硅油、乙基硅油、甲基苯基硅油、甲基氯苯基硅油、烷基甲基硅油、氟硅油等。

(1) 甲基硅油

甲基硅油的主要特点是：黏温性好、凝点低、闪点高，使用温度可达 200℃。主要缺点是：润滑性差，对添加剂感受性差，与矿物油混溶性差。甲基硅油通常用作真空硅脂和专用阻尼脂的基础油。

(2) 乙基硅油

乙基硅油的主要特点是：比甲基硅油的润滑性好，与矿物油的混溶性较好，凝点低，但

氧化安定性、黏温性比甲基硅油差。乙基硅油通常用作仪表脂、特殊高温润滑脂的基础油。

(3) 甲基苯基硅油

甲基苯基硅油根据其苯含量分为低苯基(苯含量 < 10%)、中苯基(苯含量 10% ~ 30%)、高苯基(苯含量 > 30%)甲基硅油。随着苯含量增加,甲基苯基硅油的热安定性和氧化安定性提高,但黏温性有所降低。

低苯基甲基硅油常用作低温脂的基础油;中苯基甲基硅油常用作高低温脂、高温脂的基础油;高苯基甲基硅油的抗辐射性好,可作抗辐射润滑脂的基础油。

(4) 甲基氯苯基硅油

为了改善甲基硅油或甲基苯基硅油的润滑性,可在硅油的取代基中引入氯原子,称为甲基氯苯基硅油(简称氯苯基硅油)。甲基氯苯基硅油的润滑性能优于甲基硅油或甲基苯基硅油,但黏温性次于甲基硅油,高温性次于甲基苯基硅油。

(5) 烷基甲基硅油

由于烷基甲基硅油中含有长链烷基,其润滑性比甲基硅油或甲基苯基硅油好得多。用芳基脲稠化烷基甲基硅油并加有抗氧剂,可制成长寿命的高负荷轴承润滑脂,能在 -62 ~ 204℃ 范围内使用。

(6) 氟硅油

三氟丙基甲基硅油是一种新型的硅油,它的分子中是以三氟丙基取代了部分甲基的硅油。氟硅油的主要特点:它的边界润滑性比甲基硅油和甲基苯基硅油好,着火点高,密度高,抗化学溶剂。所以,氟硅油可用来制备抗化学溶剂的润滑脂,这类润滑脂可以抗各种化学溶剂、酸、腐蚀性气体以及导弹火箭用的燃料和氧化剂。例如,以全氟乙丙共聚物稠化氟硅油制备的抗磨极压润滑脂,其使用温度范围为 -73 ~ 232℃,符合 MIL-G-83261 规格要求。

5. 含氟油

含氟油分为全氟碳油、氟氯碳油和全氟烷基聚醚。

(1) 全氟碳油

全氟碳油的化学式为 C_nF_{2n+2} , 为无色液体,凝点较高,它具有特殊的化学惰性和高的热安定性,与酸、碱、过氧化氢等在 100℃ 以下不起作用。在空气中不燃烧,对氧有非常高的安定性,具有良好的润滑性及较好的介电性。全氟碳油不溶于水和常见的有机溶剂(如醇、苯、四氯化碳等),可溶于氟里昂。全氟碳油在 150℃ 保持 250h,对钢、铜、铝等金属没有腐蚀,对橡胶几乎没有作用。全氟碳油的缺点是黏温性差、低温性不好、凝点高。

(2) 氟氯碳油

氟氯碳油的化学式为 $R(CF_2-Cl)_nR'$, 氟氯碳油的黏温性优于全氟碳油,但仍劣于烃类油。氟氯碳油的边界润滑性比全氟碳油或烃类油好。氟氯碳油也具有特殊的化学惰性和高的热安定性。氟氯碳油可作为抗化学密封脂的基础油。

(3) 全氟烷基聚醚

全氟烷基聚醚(PAFE)是一类新型含氟油,为无色液体。具有以下特点:①化学惰性;②优良的热安定性,热分解温度在 470℃ 左右;③抗燃;④良好的润滑性;⑤良好的抗辐射性;⑥良好的介电性;⑦不溶于含氟溶剂以外的其他大多数溶剂;⑧与密封材料的相容性好;⑨黏温性好、倾点低;⑩良好的氧化安定性。

全氟烷基聚醚可被二氧化硅、氮化硼、三聚氰酸二酰胺、酞菁、聚四氟乙烯等稠化成脂。全氟烷基聚醚可用作航天润滑脂、真空润滑脂、抗化学介质润滑脂的基础油。

用乙丙共聚物或聚四氟乙烯稠化全氟烷基聚醚可制成在 $-55 \sim 315^{\circ}\text{C}$ 范围内作用的润滑脂。

6. 聚醚

聚醚(烷撑聚醚)是由环氧乙烷(或环氧丙烷)聚合而成的。聚醚的主要优点是：①黏温性好、凝点低；②剪切安定性好；③对橡胶、塑料的侵蚀性小；④润滑性好。聚醚的主要缺点是：氧化安定性、热安定性差，与矿物油的混溶性差。

聚苯醚是一类较新的高温润滑液，可作为润滑脂的基础油，但价格贵。聚苯醚的突出优点是抗辐射性好，但黏温性差、低温性差，凝点高。

以上各类润滑脂基础油的性能比较见表 2-2。

表 2-2 各种润滑脂基础油的性能比较

种 类	矿物油	聚 α -烯烃	双 酯	新戊基 多元醇酯	聚乙 二醇醚	聚苯醚	硅 油	全氟烷 基聚醚
黏温性	一般到良	优	优	优	优	差	优	良
高温性	一般	良	一般到良	良	一般	优	优	优
低温流动性	一般到良	优	优	优	优	差	优	良
氧化安定性	一般	良	良	良	一般	优	一般	优
润滑性	优	优	优	优	良	良	差	优
抗辐射性	一般	差	差	差	差	优	一般	优
抗燃性	差	差	差	差	差	良	良	优

第二节 稠 化 剂

一、稠化剂的作用及要求

稠化剂是润滑脂中不可缺少的固体组分，其含量约占润滑脂质量的 5% ~ 30%。稠化剂能在基础油中分散并形成结构骨架，使基础油被吸附和固定在结构骨架之中，形成半固体状的润滑脂，稠化剂粒子或纤维是胶体结构分散体系中的分散相。

作为润滑脂的稠化剂必须满足以下基本要求：①在基础油中能够均匀地分散并达到适当的分散程度，长时间内不相互聚集成粗颗粒，保持细的粒度；②表面亲油，能与油形成稳定的分散体系；③具有一定的稳定性，在润滑脂使用条件下不因热熔化或发生化学反应而变质；④稠化剂本身及变质后的产物不腐蚀磨损金属。

二、稠化剂的种类

稠化剂的种类很多，大体可分为四大类：皂基、烃基、有机和无机稠化剂。润滑脂的性能很大程度上取决于稠化剂的种类。

(一) 皂基稠化剂

皂基稠化剂是目前制备润滑脂用得最多的一类稠化剂，它是高级脂肪酸的各种金属盐，即金属皂，其结构式可用 $(\text{RCOO})_n\text{M}$ 表示。皂分子一端是极性的羧基，另一端是非极性的烃基。在适当条件下，皂分子在基础油中能借助羧基端的离子力和烃基端的范德华力吸引聚

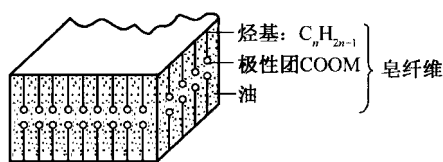


图 2-1 皂纤维结构示意图

结成皂纤维(见图 2-1)。皂分子的羧基端相互吸引在纤维的内部, 烃基则指向纤维的表面, 因而使纤维表面具有亲油性。皂纤维靠分子力和离子力相互吸引形成交错的网格骨架, 使油被固定在结构骨架的空隙中、吸附在皂纤维的表面和膨化到皂纤维的内部, 从而形成润滑脂。

1. 单皂

金属皂系脂肪酸的各种金属盐, 常见的金属皂有: 锂皂、钙皂、钠皂、铝皂、钡皂等, 金属皂的种类不同, 制成的润滑脂的性能有很大的差异。

(1) 锂皂

锂皂在矿物油和合成油中都有很好的稠化能力, 制成的锂基脂具有各种优良性能, 属于多效润滑脂。锂基脂已占我国润滑脂总量的 70% 以上, 且呈逐年上升之势。锂皂在矿物油中的稠化能力与基础油的黏度和种类都有关系。一般来说, 皂在环烷基油中的稠化能力较强; 用同一类型不同黏度的基础油制备同一稠度的润滑脂时, 随着基础油黏度增大, 所需皂用量减少。

(2) 钙皂

钙皂曾是润滑脂工业中使用最早且用量最大的稠化剂, 但近年来已逐渐被锂皂取代, 在单一金属皂中成为用量占第二位的稠化剂, 且有进一步减少的趋势。

由钙皂稠化矿油制得的钙基脂分为普通钙基脂和无水钙基脂。普通钙基脂一般由天然油脂或合成脂肪酸皂化而得, 它必须含有 1.5% ~ 3.5% 水作稳定剂才能形成润滑脂, 失去水分则会使皂油分离而不能成脂。普通钙基脂具有原料来源广、成本低、抗水性好的优点, 但滴点低(75 ~ 95℃)、使用温度低(55 ~ 65℃)。

无水钙基脂是由 12-羟基硬脂酸钙皂稠化矿油或合成油而成, 不需要水作稳定剂, 无水钙基脂的滴点可达 140℃, 使用性能比普通钙基脂好。可作为航空润滑脂、食品机械润滑脂、寒区汽车脂等。

(3) 铝皂

铝皂是高级脂肪酸的铝盐, 根据铝原子上连结的酸根数分为单铝皂 $\text{RCOOAl}(\text{OH})_2$ 、双铝皂 $(\text{RCOO})_2\text{AlOH}$ 和三铝皂 $(\text{RCOO})_3\text{Al}$ 。铝基脂具有透明光滑的外观, 抗水性很好, 但滴点低, 使用温度低。铝基脂在 70 ~ 80℃ 发生相转变成凝胶状而失去润滑作用。

(4) 钠皂

钠皂是由天然油脂或脂肪酸皂化而得, 钠基脂具有较高的滴点(200℃), 但抗水性差, 所以, 不能用于潮湿或与水接触的条件下, 随着复合皂等高温稠化剂的出现, 将逐渐被淘汰。

2. 混合皂

由两种以上的不同金属皂作稠化剂的润滑脂称为混合皂基脂, 如钙-钠基脂、锂-钙基脂等。混合皂基脂中如果两种皂的比例适当, 将具有各自单一皂的优点, 如钙-钠基脂比钠基脂的抗水性好, 锂-钙基脂比钙基脂的滴点高。

3. 复合皂

关于复合皂的结构和形成机理都尚未完全清楚, 复合皂的概念曾有不同说法。有人认为, 复合皂是指不同的酸连接在同一金属上形成的皂, 但这一概念对一价金属形成的复合皂

不适用,美国润滑脂协会对复合皂的定义是:“在这种皂中,皂的晶体或纤维是由两种或多种化合物共结晶而形成的。这些化合物包括普通皂和复合剂,由复合引起润滑脂特性的改变,通常可由滴点的显著增加显示”。常见的复合皂有:复合钙皂、复合铝皂、复合锂皂等。

(1) 复合钙皂

复合钙皂是指高分子酸(如硬脂酸、12-羟基硬脂酸)钙皂与低分子酸(如醋酸、硼酸等)钙盐形成的复合物,可用来稠化矿油或合成油制成复合钙基脂。复合钙基脂具有滴点高、抗水性好、极压性好、胶体安定性好、在高温也能保持适宜的稠度,以及价廉等优点,但复合钙基脂在储存和加热时会出现表面硬化。

(2) 复合铝皂

复合铝皂是由高级脂肪酸与苯甲酸等复合而成,复合铝皂的皂纤维较小,稠化能力强,可以稠化矿油或合成油。制备2号稠度的复合铝基脂皂含量只需5%~8%。复合铝基脂具有高滴点及优良的抗水性,良好的胶体安定性、机械安定性、氧化安定性,良好的泵送性及独特的热可逆性,特别适合集中润滑系统使用。

(3) 复合锂皂

复合锂皂是由12-羟基硬脂酸锂与二元酸(如壬二酸、癸二酸)或其他低分子酸(如硼酸)锂盐复合形成的,是20世纪70年代以后才开发的润滑脂新产品。复合锂基脂具有良好的高温多效性能,也是未来最有发展前途的润滑脂之一,近年,复合锂基脂的用量呈逐年上升之势。

(二) 烃基稠化剂

烃基稠化剂主要是地蜡、石蜡及石油脂。

地蜡为黄色针状晶体,按熔点高低分为67号、75号和80号三种。它主要由异构烷烃和固体环状烃所组成,分子量500~700,分子较石蜡大、化学结构复杂,有较多的分支和环。地蜡的晶体较石蜡小。地蜡是制烃基润滑脂的良好原料,制成的润滑脂不易分油。

石蜡为白色片状晶体,熔点为52~70℃。它主要由正构烷烃组成,也有少量的异构烷烃和环烷烃,分子量300~500,分子较地蜡小,分子结构也较简单,分支较少。石蜡与润滑油混合容易分层,制成的润滑脂也较易分油,因此一般不单独用石蜡作稠化剂,而需要加入一定量的地蜡,以解决蜡油分层的问题。

石油脂是黄色至褐色软膏,是地蜡、石蜡和高黏度润滑油的混合物,是生产地蜡时的副产品,来源于离心分离及脱蜡的滤下油,要求滴点不低于55℃,闪点不低于250℃,石油脂也可用来作润滑脂的稠化剂。

固体烃在温度高时能溶于润滑油中,在温度低时能形成结晶析出,析出的晶体能形成交错网格,使润滑油失去流动性而形成润滑脂。烃基脂常作防护和密封润滑脂,它的滴点低、使用温度低。

(三) 有机稠化剂

有机稠化剂是相对于金属皂和无机稠化剂来说的,它是一些有机化合物或聚合物,常见的有脲、酰胺、酞菁、阴丹士林、聚四氟乙烯等,现在发展最快的是脲基稠化剂。

(1) 脲基稠化剂

脲基稠化剂是分子中含有一个或多个脲基—NH—CO—NH—的化合物,可稠化矿油和合成油,稠化合成油大多用来生产高档润滑脂。脲基脂具有很好的高低温性能,良好的热安