

现代润滑脂

〔美〕C.J.波纳尔著

烃加工出版社

C.J. Boner
Modern Lubricating Greases
SCIENTIFIC PUBLICATIONS (GB) LTD
New York 1976

•
现代润滑脂
[美]C.J.波纳尔
刘明森等译

•
烃加工出版社出版
(北京安定门外大街33号)
顺义曙光印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行
(根据石油工业出版社纸型重印)

•
787×1092毫米/32开本 11³/₄印张 271千字 印1—3,000
1986年10月北京新1版 1986年10月北京第1次印刷
书号: 15391·59 定价: 1.50元

内 容 提 要

本书着重介绍了国外现代润滑脂的性质、结构、类型、所含组分、生产配方、质量分析、试验方法以及应用中所需容器和设备等，尤其是对各种车辆、机械和设备如何选用润滑脂都有较详细的叙述，对今后发展趋势也提出了看法。理论和实践结合较好，对提高润滑知识方面，不失为当前一本好书。

本书由广州机床研究所刘明森等同志翻译并经北京石油化工科学研究院杨正宇、徐世敏、刘福生三同志审校。可供润滑脂生产厂以及负责润滑工作之技术人员、工人、有关大专院校师生学习参考之用。

目 录

第 一 章	目的与范畴.....	1
第 二 章	润滑脂的性质.....	8
第 三 章	润滑脂的结构.....	50
第 四 章	润滑脂的类型.....	78
第 五 章	现代润滑脂添加剂.....	99
第 六 章	现代润滑脂的各种组分及配方.....	142
第 七 章	润滑脂的制造.....	159
第 八 章	润滑脂的分析.....	180
第 九 章	现代润滑脂的试验方法.....	197
第 十 章	润滑脂的容器、设备及应用方法.....	235
第十一章	润滑脂的选择和使用中的问题.....	274
第十二章	润滑脂的发展趋势.....	355
补 遗		363

第一章 目的与范畴

整理并出版《现代润滑脂》一书的目的，不仅是记录这类润滑剂在生产与使用上的改进与动向，而且还要反映世界上人们的看法与见解的某些变化。

首先要考虑的是润滑脂与“摩擦学”的关系。“摩擦学”一词是从希腊词 *tribos*（意即摩擦）和 *Loges*（意即警告）派生出来的。1966年英国政府科教部润滑工程小组在“乔斯特报告”刊物中首先使用了“摩擦学”这个词。从那时起，这个术语定义为：“摩擦学是研究在相对运动中表面的相互作用及其实践的科学技术”。自此以后，有人建议把润滑脂当作工程元件来看待，这就使人们对润滑脂及其在世界上的地位开阔了眼界。

其次，润滑脂的生产单位和销售单位要更多地考虑润滑脂与我们整个环境与生存有关的某些特性。虽然润滑脂在现在的生产、销售和生活必须与之接触的全部产品中只占极其微小部分，但是各国政府、民众团体以及润滑剂使用单位对于润滑脂的要求却越来越苛刻。因此过去一般不测定的某些性质，譬如，生物降解性，对环境污染的作用，甚至毒性及事故等，今天都应当有所考虑。另一方面，润滑脂的特性使它不如润滑油那样容易污染环境，用户应当知道这个特性。

自《润滑脂的制造和应用》^{〔2〕}一书在1954年出版之后，曾发表了两篇极好的综述性文章^{〔1〕〔5〕}。第一篇文章在很大程度上

“摩擦学”原文是“Tribology”

度上是根据以下这样一些事实来写的，即：“润滑脂制造技术的进展，过去是随着航空工业的需要加快了步伐，而现在正受到导弹、火箭和宇宙飞船需要的影响。”后一篇文章在谈到新的应用是研制新配方的主要动力之后，概括地总结了润滑脂配方的进展。但后一篇文章已发表了好几年，因此，完全有理由重新出版一本专门论述润滑脂的改进及发展趋势的新书。

也许，出版这本书的一个更重要的理由或动力是润滑脂的性能要求不断地改进。文献〔8〕根据抗摩轴承制造厂协会（A-FBMA—Anti-Friction-Bearing-Manufacturers—Association）的调查报告，列举了润滑脂迫切需要改进的几个方面如下：

在温度 $90\sim 150^{\circ}\text{C}$ （ $200\sim 300^{\circ}\text{F}$ ），转速为10000转/分或较低的情况下，润滑脂的使用寿命应增加2~3倍。与此相应的是降低高转矩和温升。

需要一种能够在 $-40\sim 200^{\circ}\text{C}$ （ $-40\sim 400^{\circ}\text{F}$ ）范围内使用，并有良好负载能力的多效润滑脂。

改进接近工作温度下的剪切安定性。

提高贮存寿命（未提出具体时间）。

降低分油率，特别是在振动条件下的分油率。

改进润滑脂的润滑性或抗磨性（未提出要达到的具体指标）。

进一步降低优质滚动轴承润滑脂中的杂质含量（目前的含量已低于现行军用规格允许的含量）。

改进耐水性，防锈性和微动磨损；

产品应有更好的均匀性。

上面恰当地提出了润滑脂工业总的奋斗目标，自从该调查报告发表后，十年已经过去了。可以说，按照这些建议，十年来润滑脂的性能已经有了一些提高。

这样，对于用户来说，虽然他们付出了更多的钱来购买与

使用较高级的润滑脂（如多效脂），但却保证了润滑脂比几年前有更长的储存和使用寿命。大多数现代润滑脂生产厂已采用了测试仪表，而测试设备的改进可以更好地控制润滑脂的各种组分和产品质量，有助于提高产品的均匀性。

至于润滑脂的最佳分油率，有两种观点值得考虑。一些人所关心的主要是电机滚动轴承的润滑^[3]。他们认为要使轴承有良好的润滑，需要（或必须）从润滑脂中逐渐析出油来。另一些人，如科恩（Cohn）认为^[3a]“润滑脂现在被看成是均匀的物质，在某些条件下，其所起的作用与流动和流变学特性有关。”或许用户会注意到油从润滑脂中析出在许多应用场合中是有利的，而不是个缺点。

至于降低润滑脂中杂质的含量，有两个趋势对此是有利的。第一，禁止工厂的尘埃公害，这样就减少了污染的可能性；第二，单独制造杂质含量极低的润滑脂，这就保证了不存在外加的组分。

大部分现代多效润滑脂都含有防锈剂。虽然某些润滑脂在防止轴承的微动磨损和损坏方面会有所帮助，但比较好的办法是消除运输与停机期间的连续振动。

润滑的主要作用是将相互运动的接触表面分开和降低磨损，用固体润滑，边界润滑或弹性流体动力润滑都可以达到这个目的，在这几种方法中，弹性流体动力润滑（EHD）是最有效的，使用流体或润滑脂那样的塑性产品，都能得到弹性流体动压油膜。关于 EHD 油膜问题我们将在以后的章节中讨论。

范 畴

润滑脂的定义是^[4]：“将稠化剂分散在液体润滑剂内的固体或半流体的产品；另外还可加入其他组分，使之赋有特殊的

性质”。这个定义看来已经相当广泛了，足够概括我们所讨论的问题。由于在稠化剂的定义(也是来自同一篇文章)中，组分的范围很广泛，这样也就包括润滑油的稠化剂的各种新的产品和组分。或许如霍顿 (Hotten)〔5〕所建议的那样，把稠化剂叫做胶凝剂更好一些，只要大家不把润滑脂看成是真正的胶体就行了。在本书中将把基础剂、胶凝剂和稠化剂这几个术语看作是同义语。

本书大部分内容来自1955~1974年间发表的文献和专利，由作者加以各种说明。但由于篇幅所限，未能列引此期间所发表的全部文献。

润滑脂的作用

在将润滑脂出售给用户之前，润滑脂的配制者或生产厂必须首先考虑润滑脂的用途。这些润滑剂的用户所处的地位使它们能较确切地提出使用目的，从而能提出保证满足他们要求的

表1-1 汽车用润滑脂的几个重要特性

性 质	轮轴承	万向接头	底 盘	ELI底盘	多种用途
结构稳定性 (即机械稳定性)	高	中	低	高	高
高滴点(高温用)	中①	中	低	中	中
抗 氧 化 性	高	中	低	高	高
抗摩性和抗磨性	中	高	中	高	高
防 腐 蚀 性	中	中	低	高	中
耐 水 洗 性	中	中	中	高	中

(见SAE Information Report J310a)

注①圆盘刹车要求“高”。

特性和试验方法(如塑性润滑剂)。作为一个典型例子,汽车用润滑脂比较重要的特性如表1-1所示。

SAE Information Report J310a清楚地说明了这种看法^[10],经SAE同意,现摘引一部分如下:

基本性能要求

“在机械中,当要求润滑剂保持在其原来的部位,特别是当经常加油受到限制或显得不经济时,常常用润滑脂来代替液体润滑剂。这种要求,往往是由于机械的结构,运动形式和密封类型,或是由于需要润滑剂起到部分或全部密封作用,以防止润滑剂流失或防止脏物进入工作区域而提出的。鉴于润滑脂基本上是固态,因此没有液体润滑剂所具有的冷却和清洗的作用。除此之外,润滑脂均能达到液体润滑剂所具有的其他作用。

“一种良好的,具有特定用途的润滑脂应具有如下特性:

1. 具有适当的润滑作用,以降低摩擦并防止轴承发生有害的磨损。
2. 防止腐蚀。
3. 起到密封作用,防止水或脏物进入。
4. 避免从润滑表面上泄漏、滴落或发生不应有的甩出。
5. 在长期使用中,不会因机械工作(在轴承中)使脂的结构或稠度发生不良的变化。
6. 在气温很低的情况下,不会变得很硬,产生很大的运动阻力。
7. 具有与应用方法相适应的物理特性。
8. 能与橡胶密封以及在机械中与被润滑部位的其他材料相适应。
9. 允许混入少许杂质(如水分),而不致失去一些有效的特性。

这里并未列出润滑脂的全部作用。例如,布泽(Booser)[8]在讨论润滑脂于电机滚动轴承中使用时指出:“在电机中润滑脂主要作用是析出少量的油,以维持轴承的运转”。因此,在测验由不同稠化剂稠化的矿物油组成的各种润滑脂的寿命中,由于渗油、蒸发和氧化等作用,使脂中的含油量损失50%时,所有试验中的轴承均被烧坏。所以有人建议,从电机中取出润滑脂试样并测定其含油量,便可以得知合适的换脂周期。

如能用润滑脂代替润滑油,那么大部分设备的设计和维修工作就可以简化。就是说,当用脂代替油时,像泵、冷却器和滤油器等等用油润滑时必须的设备都可以省去,从而不仅节省了设备费用,而且还可以节省空间。的确,在很多情况下,用润滑脂集中润滑系统代替油润滑系统,既可节约总成本,又减少所占空间。

但还应当指出[7],特别是在高速和高温的情况下,用油润滑要比用脂润滑发展得更快,这主要是由于液体润滑剂具有流动性的缘故。麦卡锡(McCarthy)[7]认为润滑脂有贮存稳定性与均匀性差,及在贮存或使用中耐氧化性都不够好等缺点。

润滑脂偶尔会搞脏产品。在这种情况下,必须代之以使用其他润滑剂,如铝板或铝箔轧机的滚颈轴承就只能用油或空气润滑,而不能用脂润滑[9]。

为了能更有效地使用润滑脂,必须记住下列各点:

1. 在很高速度下,由于润滑脂中的流体摩擦作用,会过分发热。因此,在速度高达10000转/分以上的场合,应当用油润滑;
2. 虽然也可使用能耐较高温度的润滑脂,但是流体润滑散热会更有效;
3. 通常润滑脂产生的转矩比低粘度油产生的要高得多。如要求转矩低,就要用油润滑。但在滚珠轴承中使用沟槽润滑

脂，则另当别论，

4.在开式传动链或开式齿轮上，残渣型润滑剂甩掉的比大多数润滑脂甩掉的要少得多。

与此相反，姆依德 (Muijder) [8]在研究小型螺旋槽轴承的润滑时发现，当停机时，润滑脂没有润滑油那么容易从轴承流出。在停机几个月或一年以后，不管轴承在什么位置，启动时仍可得到满意的润滑状态。并且还发现沟槽轴承中的润滑脂使用两年后仍然保持其原来的物理和化学的特性。

我们承认，润滑脂并不是包治所有润滑问题的灵丹妙药，但机械设计者和操作者绝不能轻视，在许多工作条件下润滑脂代替润滑油后所带来的优点与好处是不可否认的。

参 考 文 献

- [1] Bollo, F. G., and Woods, H. A., Advances in Petroleum Chemistry and Refining, chap. 5, vol. 6, 1962, Interscience Publishers.
- [2] Boner, C. J., Manufacture and Application of Lubricating Grease, Reinhold Publishing Corp., 1954.
- [3] Booser, E. R., NLGI Spokesman, 35, 382, 1972.
- [3a] Cohn, Gunther, Standard Handbook of Lubrication Engineering, 3-13 McGraw-Hill book Co., 1968.
- [4] Glossary-Definition of Terms Related to the Lubrication Industry, NLGI Spokesman, May 1968; ASTM D288-68.
- [5] Hotten, B.W., Advances in Petroleum Chemistry and Refining, vol. 9, chap.3, 1964. Interscience Publishers.
- [6] Mahncke, H. E., NLGI Spokesman, 27, 172, 1963.
- [7] McCarthy, P. R., NASA Symposium, Cleveland, Jan. 1972.
- [8] Muijder, E. A., Scientific Lubrication, 17, no. 1, 12-17, 1965.
- [9] Sargent, L. B. Jr and Bunting, J. T., NLGI Spokesman, 31, 368, 1968.
- [10] SAE Handbook 1972, 419-21, NLGI Spokesman, 32, 23, 1968.

第二章 润滑脂的性质

润滑脂的直观检验

购买润滑脂时，常常根据外观、感觉、气味，在少数情况下还通过尝味道来判断产品的好坏，这些都是用户可以自己判断的性质。虽然这些性质对润滑脂的使用或质量没有什么太大的影响，但它们的任何变化都说明产品的不均匀性。实际上，一篇关于质量控制的文章指出^[14]，之所以十分强调润滑脂和润滑油的外观，是因为这个性质是用户意见最多的主要因素。

最好在白天用反射光检查金属容器中的润滑脂颜色，有个实验室把润滑脂试样铺在乳白色的玻璃片上，用荧光灯从玻璃下面照射，就可以检查出润滑脂中是否有杂质。假如把润滑脂十分均匀地铺在高光洁度的不锈钢表面上，就可以清楚地看到脂中的皂块。在讨论“润滑脂的灵敏检测方法”时，奥尔(Orr)^[36]提出用下面的方法可以检测润滑脂的结构，即在姆指和食指之间放少量的润滑脂，反复几次将姆指和食指合拢分开。根据这种方法可以把润滑脂分成奶油状，短纤维状，长纤维状，拉丝状（即可以拉长而无明显的纤维），弹性或脆性几类。

在进一步讨论润滑脂及其颜色的直观检验时，值得提一下克里德尔(Criddle)^[10a]所作的观察，在作色差目测时，提出以下几点注意事项：

采用典型润滑脂的稳定的标准样品和公认的限度。

用标准的照明和均匀的背景来观察试样。

在同样大小的容器中装满标准样品和试样，然后进行比较。

为证实后者，一种特定的润滑脂由不同的人进行了检验。在容器未装满的情况下，所得到的平均色差为2.6个单位，当

容器装满时平均色差为0.5个单位。

还要注意，应当把某些外观因素与润滑脂的色调区分开来。因此对于粒状或纤维状的润滑脂，特别是当试样处于拉伸状态下，就会出现漫反射，这时反射光的强度实际上与观测的角度无关。同样，在压缩的情况下，很多奶油状脂的表面是光滑的，呈镜面反射。象铅基脂那样的半透明润滑脂，所观察的结果显然就同不透明的润滑脂不一样。标准润滑脂样品在存放过程中会变色或氧化，而用陶瓷容器存放的标准样品，存放期会更长一些。

用仪表测定润滑脂颜色的情况将在第九章中讨论。那时大家将会看到，我们采用蓝色，绿色和琥珀色的三色法。

决定润滑脂特性的因素

除了前面提到的润滑脂的性质以外，其他大部分性质都是可以测定的，美国材料试验协会（ASTM），英国石油协会（IP）或美国联邦标准 VVL 791 a 中都有有关的试验方法。润滑脂的特性均匀与否，首先与其组分是否均匀有关，其次是与这些组分的用量和加工方法有关。虽然润滑脂的结构改进剂以及其他添加剂的用量一般很少，但对于润滑脂特性有显著的影响，所以在决定润滑脂成品的性质上，它们与大量的组分以及加工方法同样重要。在讨论添加剂和润滑脂制造的有关章节中，大家便可以清楚地了解这一点。

各种组分

上述情况中还必须考虑这样一个事实，即大多数现代润滑脂都不是由简单的配方制成的，而常常包括许多不同的组分。当然每一种组分对润滑脂的性质都有或者可能有某种作用。由于工业界的相互竞争，因此某种组分的作用可能是从经济方面

考虑的，尽管润滑剂的使用寿命较短，或者不能在比较苛刻的条件下使用，但还是合算的。

润滑脂中某些特殊组分为什么会赋予脂以某些特性，虽然一般是十分清楚的，但是由于各种组分和加工方法对润滑脂的性能也有影响，因此概括一下制造方法和各种组分的发展趋势肯定是有价值的，它将会给我们指明配制良好润滑脂的某些实际可行的办法。

液体组分对润滑脂性能的影响

在所有的润滑脂中，液体组分所占的比例最大。而且很多人都把液体组分看成是各种组分中起主要润滑作用的成分，因此在讨论润滑脂的性质时应首先讨论液体组分。关于这点，应记住最近论文集中提出的一个论点^[3]：“液体润滑剂的发展史，从本质上来说是不断地抵抗恶劣环境的斗争史”。由于认识到这一点，多年来，润滑油制造者在不断地提高产品质量。但润滑脂制造者通常首先考虑的则是能得到价格合理的石油，而各种合成油在润滑脂中的应用也受到一定限制。

润滑脂的许多重要特性都是由所用的润滑油的性质决定的，低温用的润滑脂理所当然地用低倾点的油制造，当然这将会造成润滑脂的蒸发率高，甚至分油率也很高。一般来讲，使用高粘度的油，可以得到较高的滴点，较低的挥发量和较高的产品收率。尽管这些油不能用于高真空，经受不了约 260°C (500°F) 以上的温度，而且对辐射也是有选择性的，但石油基础油具有低摩擦系数，并可作为其他添加剂的载体。

基础油粘度

来源不同的基础油，尽管在 38°C (100°F) 时的粘度大致相同，但其低温性质可能不同，一般来说，含有低粘度基础油

的润滑脂比起含有高粘度基础油的润滑脂来，其低温时的稠化作用较小，从有人列出的不同温度下润滑脂的针入度的表中就可以看出这种不同^[1a]。该表列出了NLGI2号锂基脂在15°C(77°F)和-40°C(-40°F)时的针入度：用SAE50号油时，分别为278和51；而用SAE30号油时，则分别为294和107。而MIL-G-10924型润滑脂（稠化剂未说明），是美国军用汽车和大炮用脂，在上述温度下，其针入度分别为287和174，但当温度降到-46°C(-50°F)时，针入度降低到165。这种润滑脂基础油的粘度在15°C下约为80赛氏秒。

相容性

基础油与润滑脂的其他组分（多数情况下是稠化剂）的相容性可以决定是选择一种基础油还是使用某种混合油。如果在某个温度以上，皂可以按任何比例与基础油相混溶，这个温度叫临界溶解温度。临界溶解温度会影响润滑脂冷却时形成的晶粒的性质，因而也就会影响润滑脂的某些特性。博尔斯特(Bolster)和利特尔(Little)^[4]的研究表明了油的溶解度指数与润滑脂的滴点之间的关系。布赖特(Bright)^[6]用6.5%的12-羟基硬脂酸锂皂去稠化溶解度指数为7.62~8.17的矿物油，结果发现，所得润滑脂的滴点从208°C变到193°C(406~380°F)。根据理论分析，“可以证实这样的假设，即皂纤维或多或少地可溶解在低溶解度指数的油中”（石蜡基油）。而且还发现，无论是100°C(212°F)30小时后还是71°C(160°F)50小时后测定的分油率都按相同的方向变化，即分油率随溶解度指数的增加而增加（除低挥发性油外）。换句话说，用皂的溶解度最低的油制备的润滑脂会形成一种比较致密的皂晶格，因此分油率就比较低。

其他研究者^[45]用硬脂酸锂作为脂的稠化剂进行试验后发现，分散介质的化学成分对所形成的润滑脂的结构和性质都有

影响。这种作用，部分是由于基础油粘度的影响，但在很大程度上是因为基础油能溶解并促使稠化剂溶胀的结果。因此，硬脂酸锂皂在异构烷烃油中的稠化作用小于在药用油中的稠化作用。同样，在主要是石蜡烃结构的油中，油与皂的相互作用也要小些。

此外，在进行吸水性及其对针入度的影响试验时发现，溶解度指数低的油制成的润滑脂，在吸水后会变软，而溶解度指数高的油制成的润滑脂吸水后会变硬。这种现象可以用下面的事实来解释：在前一种情况下，皂胶粒成为一个牢固的封闭整体，但在后一种情况下，皂分子的大部分烃基暴露在外，因此皂分子的极性基团与所吸附的水之间有较强的相互作用。

合成油类

各种合成油的重要性在于它们的性质十分可靠，而且能赋予润滑脂以所需要的特性，这正是石油衍生物所没有的。视合成油品种的不同，其特性会有些变化，但总的来讲，合成油可以在很宽的温度范围内使用，而且抗氧化性也比大多数天然油好。表2-1列出了几种有代表性的合成油及其某些特性。

表2-1 各种类型的合成润滑油的典型性质

合成油的类型	最高使用温度	粘度 (近似值)	闪 点	凝 点
	(°C) (°F)	(100°C)(38°C) (-54°C)(凰施)	(°C)(°F)	(°C)(°F)
壬二酸二(2-乙基)己酯	230 445	3.0 11.1 7150	213 415	-73 -100
癸二酸二(2-乙基)己酯	250 460	3.3 12.5 7800	220 430	-60 -75
二壬酸二丙烯乙二醇酯	210 410	2.8 9.8 6500	200 400	-60 -75
聚乙二醇	220 430	3.1 11.7 —	230 450	— —
苯基甲基硅油	280 535(熔点)	20 — 10000	270 525	-73 -100
间-二(对苯氧基-苯氧基)苯	80~98 190~192	14.34 — —	290 555	— —

用合成油制成的润滑脂，其应用领域之一是航空工业，现用的润滑脂有待于改进，而且也满足不了将来的需要。麦克阿瑟 (McCarthy) [21] 评价了普通的和深度加氢精制的石油，各种酯类油、硅酸酯、硅油、二茂铁、二苯撑、氯化物和氟化物、磷化物及硫化物等的性能，研究结果，得出的结论是：“只有高苯含量的硅油，氟化物和聚苯醚等才能在高温条件下使用。”然而聚苯醚粘度高，粘度指数低，结果不适用，氟化物虽然比较引人注目，但是在高温条件下有腐蚀性。

美国空军对润滑脂的要求是：在高达 315°C (600°F) 温度下工作的轴承中至少用500小时。因为超音速的飞机要在15000~27000米 (50000~90000英尺) 的高空中飞行，未来的润滑剂将要在低空飞行中遇不到的条件下工作。

混合基础油

为了得到性能符合要求的润滑脂用的基础油，普遍采用的办法是把不同粘度的润滑油混合起来使用。这样以来，润滑脂制造厂必须储存几种类型的油。而炼厂会觉得要生产润滑脂制造者所需要的各种粘度的油是不方便的。制造润滑脂所用的大多数油都是属于调制各种发动机油所用的油品。因此制造润滑脂用什么混合油，除了规格要正确以外，常常主要根据经济条件来决定。

当用其他油品制备润滑脂混合基础油时 (比如用合成油)，往往是因为这些基础油有某些特殊性能，并能和各种组分彼此相容。曾经发现，在锂皂稠化烃类油制成的润滑脂中，添加0.25~10% (重量比) 的甲基氢化硅油润滑脂的润滑性和产率都提高了。比如，在铁姆肯值为15磅，针入度为304的润滑脂中，加入1% (重量) 甲基氢化硅油，上述值就分别改变为25磅和294。