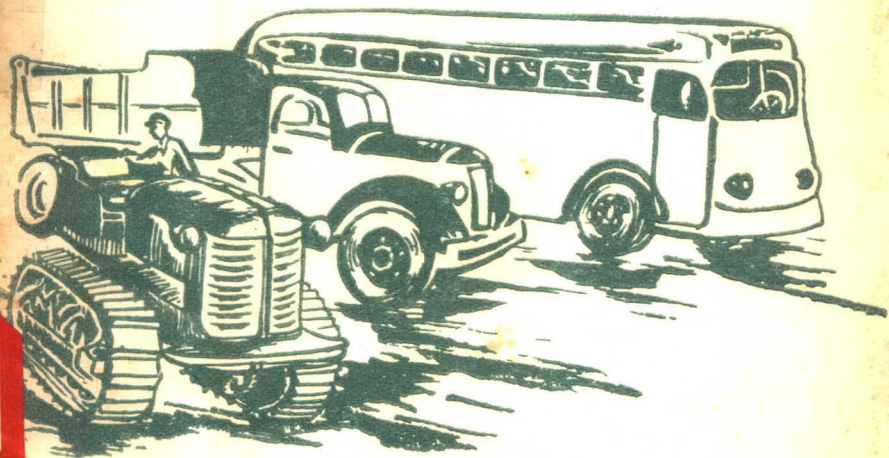


石油工業基本知識叢書

機械潤滑與潤滑油

盧 士編著



石油工業出版社

內 容 提 要

本書通俗地介紹了摩擦是怎樣發生的和減少摩擦的辦法，并着重講解了潤滑的原理，潤滑油的作用，潤滑油的製造、性能和評定潤滑油質量的一些重要指標。書中也介紹了工業中常用的各種潤滑油的特點，以及潤滑油使用和保管的方法等。本書內容淺近易懂，適合機械工人、內燃機司機及油品管理人員學習。

統一書號：T15037·277

石油工業基本知識叢書

機 械 潤 滑 與 潤 滑 油

盧 士 編 著

*

石油工業出版社出版(社址：北京六鋪炕石油工業部十號樓)

北京市書刊出版業營業許可證出字第083號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

*

787×1092 $\frac{1}{2}$ 開本 * 印張1 $\frac{1}{2}$ * 30千字 * 印1—2,400冊

1957年6月北京第1版第1次印刷

定價(11)0.34元

目 录

第一节 摩擦与潤滑	1
一、摩擦	1
二、摩擦的种类	5
三、摩擦产生的现象	7
四、潤滑	8
五、油膜的形成	12
六、摩擦界限	14
第二节 潤滑油	16
一、潤滑油的制造	16
二、潤滑油的作用	26
三、机械对潤滑油的要求	27
第三节 潤滑油質量与使用的关系	28
一、粘度与粘度指数	28
二、凝固点	30
三、碳渣	31
四、酸值	32
五、机械杂物	33
六、灰份	33
七、水溶性酸及碱	33
八、腐蝕試驗	34
九、閃点	34
十、水份	34
十一、皂化值	35
十二、抗乳化度	35

十三、其他.....	35
第四节 潤滑油的种类.....	35
一、工業潤滑油.....	36
二、內燃机潤滑油.....	37
三、蒸汽机潤滑油.....	39
四、特殊潤滑油.....	40
第五节 潤滑油的使用.....	43
一、潤滑油的購買、保管与收發.....	44
二、使用潤滑油的注意事項.....	45

第一节 摩擦与潤滑

一、摩 擦

兩件物体的表面互相接触并进行相对的运动时，会产生一种阻碍运动的力，这种力叫做摩擦力，产生摩擦力的这种现象就叫做摩擦。如汽車在馬路上奔馳，飞机在空中飞，船在河里航行等，都会产生摩擦。可見运动着的物体都会發生摩擦，所不同的只是摩擦有大和小的区分罢了。

假如沒有摩擦，人們便不能走路，能牽引1500吨貨物的火車头也無法拉走一公斤重的东西，帶动机器運轉的皮帶如果在輪子上打滑(摩擦过小)，机械就会停止轉动。

因为我們的鞋底与粗糙的地表面接触产生了摩擦力，这才使得我們能够行走；皮帶在輪子上打滑时，投进一把松香粉增加了摩擦，就能够恢复原有的帶动机械工作的能力；火車头正由于它的輪子与鉄軌間有摩擦，所以能够拖走1500吨重的貨物。这一切摩擦都是有益的、必需的。

但是，有一些摩擦却与此恰恰相反，不但沒有益处，反而有很大的害处，比如：火車头后面牽引着的那一長串車廂的輪子与鉄軌間的摩擦，汽車上發动机、活塞、汽缸壁、变速箱、軸承等的摩擦，以及汽車迅速行駛时对空气和地面的摩擦，这些摩擦都是制止运动的摩擦，都是要消耗功率的有害的摩擦。估計汽車由于克服这些有害的摩擦而消耗的燃料佔使用量的15%左右。

因此，工人与科学工作者的工作之一，就是如何与这种



圖 1 有益和有害的摩擦

有害的摩擦作斗争。这就首先要知道摩擦是怎样發生的。

研究摩擦的發生是很有趣的。比如在老虎钳上用銼刀銼一塊表面很粗糙的、凹凸不平的鋼板，我們會感到要用很大的力气。但是，如果用一塊已經磨平了的鋼板去銼另一塊也是磨滑了的鋼板时，則會感到較輕松而很省力。

从这些例子里，我們完全可以了解到摩擦的發生，就是一个物体的凸面嚙入了另一个物体的凹面，这样兩個物体表面的凹凸嚙合，就妨碍了物体的运动，增加了物体在运动时的阻力。所以，我們使用銼刀去銼粗糙的鋼板时，必需要多費一些力气才能克服摩擦的阻力。

产生摩擦的另一原因是物体間的分子吸引力，如在沒有潤滑油的情况下，極精細平滑的固体表面，其滑动摩擦阻力会比粗糙表面的摩擦阻力还要大。

例如我們使用了很多方法，費了相当的时间 and 力气，制得了兩塊表面不平度小至一公忽（一公忽等于千分之一公厘）的几百分之一以下的鋼板。当这样的兩個物体表面进行滑动

时，按照上述情况来看，它們的滑动应该没有什么阻碍，或几乎没有摩擦而不需要花费力气。但是，事实上却完全不是这样，这种平滑度很高的物体互相滑动时，它們互相間發生的摩擦力不但沒有減小，反而大大的超过了另外兩塊平滑度不太高的鋼板間底摩擦力，并且它們彼此粘附着，要費很大的力气才能使它們分开。

我們知道，任何物質都是由分子構成的，分子是由原子構成的；分子可以代表物質的一定性質，所以分子是組成物質的單元。原子在分子中或分子在固体物質中，都是彼此緊密地聯結着的，正由于它們能够牢牢地聯結着的緣故，物体才能保持一定的形狀与体积。

物体中分子間的这种緊密聯結着的能力，就是分子吸引力。这种分子吸引力的作用范围，是在离分子表面的週圍的極短距离內，就好像磁鉄的作用一样，在一定的吸引力的作用下和在一定的距离內，才能把鉄屑吸引过来粘附着。物体表面吸引力的大小，与表面分子的距离成反比，与物体接触面积成正比；也就是說，分子間的距离越近則吸引力越大，如距离越远則吸引力越小；分子間的表面接触面越大則吸引力越大，接触面越小則吸引力越小。

在固体表面的分子具有一种自由的吸引力，而分子四週的其余的吸引力因受到了相鄰分子的吸引力而互相抵消。因此，两个固体表面相接触，如其表面凹凸不平时，則这两个物体表面分子的自由吸引力所起的作用是微小的。如果接触的表面是很平滑的，表面分子間的距离就很小，分子吸引力的总和則很大，这两物体就紧紧粘附在一起，如果互相滑动时，将会产生很大的摩擦阻力，这也正如粗糙表面的互相嚙

合一样，会妨碍表面間的互相滑动。

比如兩塊平滑度很高的玻璃板互相接触，由于表面間分子的距离很近，接触面积很大，所以互相間分子吸引力極大。因而，我們很难使它們作相对的移动。用作檢查測量器具的“約翰遜”板，也因为有着較高的平滑度的研磨表面，因此，把它叠起来时，它們彼此就紧密的粘附着，当提起上面的第一片时，下面的其他几片也会一齐被提起来。

从上述里，可以得到这样的結論：摩擦的产生是由于物体粗糙表面的嚙合与物体表面的分子吸引力所致(圖 2)。

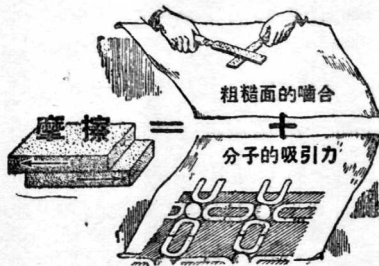


圖 2 摩擦的产生

假如为了避免分子引力的影响，而把机械零件制造得很粗糙，这是錯誤的。正与此相反，零件的滑动表面越精細平滑，越能避免机械表面的直接接触。因为在实际应用时，摩擦表面間有潤滑剂的薄膜層存在，它可以將这两个表面分开。

人类的祖先在長时期的劳动中，发现了推动树干讓它自己滚动比拖着它走要省力得多，慢慢的又发现了当拖着树干經過河流或池塘时，又比讓树干滚动时更要省力。如很早以前的独木船、牛皮筏就是根据这一經驗才創造出来的。

直到現在，我們仍然应用着这一些經驗。如在工厂里搬运一个十多吨重的焦化蒸餾用的单独釜时，最簡便的方法就是在它的下面横放上一些鉄管，使鉄管向前滚动，单独釜也跟着同时移动，这样就可以將它运入需要的地区。

二、摩擦的种类

摩擦根据物体运动的情形可以分为滑动摩擦和滚动摩擦两类，又根据两物体接触面之间是否含有液体介质可分为固体摩擦(或干摩擦)与液体摩擦两类(图3)。

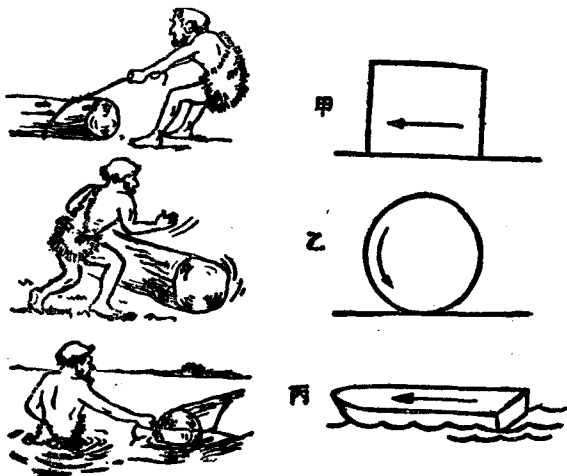


图3 摩擦的种类

甲—滑动摩擦；乙—滚动摩擦；丙—液体摩擦。

1. 固体摩擦

前面讲到的拖着树干擦过地面时所发生的摩擦，就是固体摩擦也是滑动摩擦。固体摩擦的接触面积越大或表面越粗糙，其摩擦力就越大；反之，两个固体摩擦表面越平滑，则其摩擦力也越小。但是这种平滑度是有一定限度的，如超过了这一限度，摩擦力不但不减小反而会增大，这是因为两物体表面间分子吸引力的作用所致。

我們可以用一个数学式来表示摩擦力与發生摩擦的力的关系：

$$F = Q + A.$$

这就是說，摩擦力 F 等于嚙合力 Q 加上吸引力 A 。而这两种力的大小，又与互相摩擦的物体的材料質量有关，往往同一种材料構成的固体，其表面所产生的摩擦力，要比不同的两种材質所構成的固体底摩擦力大。例如鋼对鋼或青銅对青銅的摩擦力要比鋼对青銅的摩擦力大。这是因为相同材質中的分子吸引力較大的緣故，机器上常用鋼做軸，青銅做軸承就是这个道理。

2. 滚动摩擦

前面講过的推动树干滚动所产生的摩擦，就是滚动摩擦。滚动摩擦所产生的摩擦力要比滑动摩擦所产生的摩擦力小，它的摩擦力可以用数学式来表示：

$$F = \frac{L}{r}.$$

这就是說，摩擦力 F 与負荷 L 成正比，与球形或圆柱形滚动物体的半徑 r 成反比。也就是說，滚动摩擦力随負荷的減輕和滚动物体半徑的增大而減小。輪子高大的脚踏車在道路上滚动时要比輪子半徑小的輕快得多，就是这个道理。

3. 液体摩擦

液体摩擦又叫湿式摩擦，也可以叫做潤滑表面的摩擦（上面講到的滑动摩擦与滚动摩擦可以叫做非潤滑表面的摩擦）。前面講到的將树干放在水里推动所产生的摩擦，就是液体摩擦，它是由于液体粒子間的凝聚力与粒子对运动的物体表面間的附着力而产生的。它是最省勁的一种摩擦。一切

机械上的有害的摩擦部份使用潤滑油，就是为了把滑动或滚动摩擦变为液体摩擦。这样可以使固体本身的表面摩擦被潤滑油内部分子間的摩擦所代替而減小了摩擦阻力。

三、摩擦产生的現象

1. 摩擦能产生热

摩擦能产生热，不同种类的摩擦所产生的热量也不同。滑动摩擦所产生的热最多，滚动摩擦产生的热較少，液体摩擦所产生的热則更少。

中国古代的傳說里曾有“燧人氏鑽木取火”，“鑽木”就是鑽具和木头之間的摩擦，“火”也就是兩個固体摩擦所产生的热达到一定的程度而使木头着火的緣故。又如在工厂里，用鑽头在鋼板上鑽孔时，在孔眼的四周会产生很高的热，如果不澆注一些切削油，将会磨損鑽头或鑽坏孔眼，而当澆注一些切削油后，又会冒出很多蒸汽，这也說明了摩擦生热的現象。又如在严寒的时候，人們常常搓手頓脚以取暖，因为搓手頓脚也是摩擦，也可以产生热量去抵抗寒冷。

2. 摩擦要耗費力量

摩擦要耗費力量，耗費力量的大小，是由不同种类的摩擦来决定的。固体摩擦耗費的力量最多，液体摩擦耗費的力量最少，滚动摩擦則在这两种之間。

前面所講到的关于树干的例子中，假定那段树干有 100 斤重，当人們拖着它擦过地面时(滑动摩擦)，需要耗費 100 斤或 100 斤以上的力；当人們拖着它在橫放着的圓木头上滚动时(滚动摩擦)，需要耗費的力則在 100 斤以下；当人們拖着它浮过水面时(液体摩擦)，需要耗費的力量則更小了。

比如我們想把岸上的一支小船拖到水里去，当小船在干燥的岸上时，要付出很大的力才拖得动，当把小船拖到水面上时，只要用很小的力就能推动它。可見任何摩擦都要耗費一定的力量，不同种类的摩擦所耗費的力量是不同的。

3. 摩擦会造成物体的磨損与产生摩擦力

一切物体的表面，無論怎样加工与做得肉眼看来是如何的光滑，但如果用放大鏡来观察时，就会發現有粗糙的凹凸不平的部份。像这样的兩塊表面不平的物体互相接触时，便会嚙合。如当其进行运动或一塊固定而另一塊擦过其表面时，則兩個粗糙表面由于摩擦，便会發生很大的摩擦力与造成严重的磨損。

摩擦力与磨損的大小，以物体表面粗糙的程度和兩個物体表面間的压力而定。如銼刀在鋼胚上銼，产生很大的摩擦力，磨損下来的碎屑也較多。反之，已磨平了的鋼板在另一塊已磨平了的鋼板上摩擦时，其摩擦力便要小得多，磨損的情况也要輕得多。

四、潤 滑

前面說过如果沒有摩擦，有些工作便不能进行，但如果沒有潤滑，則一切机械如活塞、軸承、傳动齒輪、变速器与差速器等的發动裝置、傳动裝置或磨动零件等，都只好停在那里而無法开动，即使开动了，也会很快的磨損或燒坏而停止下来。这也說明了机械的作功既要摩擦又要潤滑。

一切物体的运动与机械的作功，都应尽可能的使它所發生的摩擦減小。怎样才能減小摩擦呢？潤滑与減小摩擦又有那些关系呢？下面就来談一下。

1. 减小摩擦的方法

(1) 减小或消除物体表面的不平度 从摩擦是由于物体粗糙表面的啮合而产生的这一原因里出发，我们可以得出这样一个结论：就是要尽可能的减少或消除运动物体间的表面凹凸不平度，便可以减小摩擦。这就要使固体的表面不平度不大于几十万分之一公厘，因为在固体摩擦力 $F = Q + A$ 的式子中，啮合力 Q 将会由于固体的平滑度增加而大大减小，啮合力 Q 减小了，摩擦力 F 也就减小了。因此，机械上的零件都要有较高的平滑度。但是在现代的技术条件下，机件表面的平滑度是不可能无限制的提高的，表面愈平滑，加工也就愈困难。

(2) 用不同的材料来做摩擦的对件 从摩擦是由于物体表面间分子吸引力的作用而产生的这一原理出发，也可以得出这样一个结论：要减小固体及滚动这两种非润滑表面的摩擦，就应该选取不同的材料做摩擦的对件，这样可以减小由性质相同的材料所造成的摩擦对件间底分子吸引力。由固体摩擦公式 $F = Q + A$ 中可以知道，分子吸引力 A 减小了，摩擦力 F 当然也随之减小。

(3) 减少负荷与尽可能的使用半径较大的滚动物体 前面曾谈到在滚动摩擦中，摩擦力 F 与负荷 L 成正比与滚动物体的半径 r 成反比。因而负荷减少了，半径增大了，摩擦便会随着减小。

(4) 尽可能的避免物体滑动的速度过高 物体滑动的速度过高，将会引起较大的摩擦，为了减少非润滑表面的摩擦，就不应使滑动的速度太高。

2. 润滑与减小摩擦的关系

上面所談的四種方法，都不可能最有效地減小摩擦，而且還要受很多條件的限制，例如機件加工的平滑程度要受技術條件的限制，滑動速度降低顯然是同高轉速相矛盾的，負荷減小也同重負荷運轉的要求不符。因此，要減小摩擦，還得另外想辦法。

為了要使摩擦減小到高速機械運動所要求的那樣小，就要使用有效的辦法，這辦法就是利用能代替固體表面摩擦的東西。這種能代替運動的固體間的摩擦而使摩擦力減小的東西，就叫做潤滑劑。這種代替固體間摩擦的現象，就叫做潤滑。

前面曾談到，物體的摩擦如果經常處在液體摩擦狀態，便可以有效地減小摩擦，可以達到機械的高速運動的要求。如前面講到的船在水面上推動，由於水質點間的摩擦代替了船與河底的干摩擦，因而使船與河底的摩擦得到了潤滑，而水就是使船與河底減小摩擦的潤滑劑。不過水並不是最好的潤滑劑，它容易由摩擦表面流掉。如人們在馬車車軸與軸承上澆水作為潤滑劑時，在很短的時間及里程里，水就流失了，干涸了，而且也不夠滑。

什麼是較好的潤滑劑呢，在日常生活里，人們發現了動物油和植物油是較好的潤滑劑，但是，因為它們的來源不豐富，所以比較貴。以後慢慢的人們才發現了礦物油是最好的而又最經濟的潤滑劑。這種礦物油主要是從石油中提煉的。

第一個從石油里提煉潤滑油的人是俄國的科學家維·依·拉高金。他在1876年第一次生產了潤滑油。從此，人們便可以有效地克服了固體摩擦和滾動摩擦的困難，使高速度機械得以應用。

潤滑劑在摩擦表面間所起的潤滑作用到底是怎樣的呢，

能够减小多少摩擦呢？

潤滑剂在摩擦表面間所起的作用，下节还要詳細討論，这里只簡單的說一下。潤滑作用是由于潤滑剂具有附着力而牢固的粘附在摩擦表面上，当两个固体表面互相摩擦时，固体与粘附在它表面的潤滑剂層也一同移动，两个固体間的摩擦，便被潤滑剂內部摩擦所代替，这样，两个固体間的摩擦就被潤滑了，摩擦減小了。

潤滑能减小多少摩擦，則由下面的两个因素来决定：

首先，要看所用的潤滑剂底附着力与凝聚力的比例关系。所謂附着力，就是对固体具有附着的能力，也就是潤滑剂粘附在摩擦机件上面的力量，这种性能也叫做潤湿性、油性、潤滑性能、粘附性等。所謂凝聚力就是液体本身分子間凝聚的力量，凝聚力越大，分子間运动的摩擦力也越大。

一滴水銀、一滴水与一滴潤滑油，分別滴到鋼板上的时候，水与潤滑油会很快的散开(水又較潤滑油稍慢)并附着在鋼板上(潤滑油較水的附着牢)，而水銀則結成小球，即不散也不附着在鋼板上(圖4)。这种现象的产生，就是因为水与潤滑油的附着力較大，而其內部分子吸引力小于与鋼板的分子間底吸引力，所以水与潤滑油能在鋼板上散开而

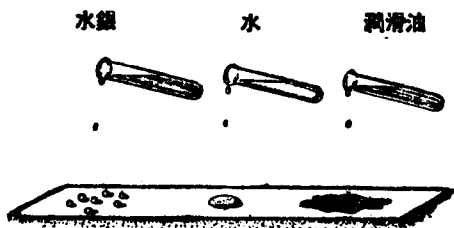


圖4

附着在鋼板上。水銀的凝聚力較大，其本身的分子吸引力大于与鋼板的分子間的吸引力，所以水銀在鋼板上結成小球而

不分散，也不附着在鋼板上。

由此可見，任何物質，如具有較大的凝聚力則附着力便較小(如固體物質)。如具有較小的凝聚力則附着力便較大(如液體物質)。不過，用于減少摩擦的潤滑劑，則應該要求既有較大的附着力又有較大的或与之相適應的凝聚力。

水的潤滑作用比汽油好，潤滑油又比水好。這是因為水和汽油的附着力雖大，但其凝聚力卻不大，如果在重負荷與較高的速度下，便不能形成薄膜粘附在需要潤滑的機件上。潤滑油則不但有一定的附着力，並且還具有適當的凝聚力，所以即使在高速與重負荷下，仍然能保持油的薄膜而不被擠破或擠掉，仍然可以起到潤滑的作用。可見，最能減少摩擦的潤滑劑，應該是附着力較大而凝聚力最好的潤滑油。

其次，要看摩擦物體的接觸表面間底壓力的大小。前面談到固體摩擦可以被液體薄膜分隔而大大減少。液體分開金屬表面的能力，受金屬表面間壓力的影響，摩擦物體的表面壓力越大則分隔摩擦表面的能力越小，減小的摩擦也較小；表面壓力越小則分隔摩擦表面的能力越大，而摩擦的減少則越多。

五、油膜的形成

潤滑的原理相當複雜，我們可以用一種關於油膜形成的假說來說明它。這種假說認為，滑潤油在兩個互相運動的物體間，會形成一層粘滯的油膜。這種油膜是由許多成層的潤滑油分子所構成，這些分子集結而成為柔軟的球形粒子。當被油膜分隔的兩個物體運動時，由於附着力的作用，靠近物體表面的第一層油膜粒子也跟著運動，接着第二層、第三

層……也跟着运动。

在很多机械里，油膜是形成油楔状态出现的，如图 5 中的轴和轴承。图中的轴按着一定方向旋转，在轴静止时(图 5a)，轴压在座瓦的下部。当轴开始旋转时，接近轴的一部分润滑油膜的油粒子就随着轴转动，由于凝聚力的作用，其他各层油膜也随着转动，有几层油粒就像楔子一样地挤入轴

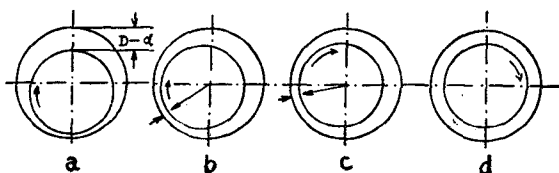


图 5

承下面。随着轴旋转的加快，挤入轴下面的油膜愈来愈厚，轴就被逐渐抬高(如图 5b, c)。

当轴的转速很大和接近于无限大时，轴的中心和轴承的中心渐渐重合(图 5d)，这时轴和轴承中间的油层达到了最大厚度。

从这里可以知道，轴和轴承间的空隙越大，油量越多，油膜层越厚，避免产生干摩擦的可能也越大。但是轴与轴承的间隙过大是有害的，因为过大了润滑油就容易被挤出去，容易发生干摩擦。为了能够得到较好的润滑而又不增加机械功能的消耗，轴与轴承的间隙应尽可能减小，其大小应由润滑油的存留数量和零件的温度膨胀情况等来决定。

从这里也可以知道，润滑油粘度与轴的转速越大，在轴承间形成的油层也越厚。从表面上看，选择粘度大的润滑