

添加無機固態潤滑劑於潤滑油中之工業應用

The Use of Inorganic Solids in Lubricating Oils for Industries

臺灣大學農業機械工程學系兼任副教授

趙 少 康*

Shau-kong Jaw

Summary

Two thirds of energy in the world is consumed by conquering friction, to reduce the friction of moving machinery parts is greatly hoped by all mechanical engineers.

To understand further the effect of the newly developed solid lubricants (include MoS₂ and other inorganic solids) in micron size mixed homogeneously with regular conventional liquid lubricants, the author has been employing laboratory and field tests on this study.

The results show that with solid lubricants, the following advantages were achieved:

reduce	friction
reduce	power consumption by 3-10%
reduce	machine down time
increase	parts and lubricant life
increase	load carrying capability
reduce	parts wear

The field experiments had started since September, 1977, 3 years and 6 months till now, the selected plants are all important domestic companies in Taiwan, R. O. C., such as China Steel Corp, Nan-Ya Plastics Corp, Goodyear Tire, Nan-Kang Tire, Formosan Plastics, Pacific Glass, Formosan Glass Co. etc.

The demand of high accuracy and efficiency of the modern machineries is drastically increased, conventional mineral lubricants can not satisfy this increasing demand, to employ both solid and liquid lubrication and achieve both hydrodynamic and contact lubrication is an effective way to approach.

* 美國潤滑工程師學會會員 Member, ASLE

摘 要

全世界三分之二的能源消耗在克服摩擦力上，如何減低機械之摩擦，以增加運轉效率，降低電流消耗，減少零件磨損乃成為機械學者與工程師長久以來之努力目標。

為了瞭解近代發展出之固態潤滑劑（包括二硫化鉬及其他無機固體）與液態潤滑劑均勻混合後之效果，作者採用實驗室與國內工廠實際操作二者進行本研究計畫。

實驗結果顯示，使用含有添加少量微粒固態潤滑劑之潤滑油，可有效達到降低摩擦力、增加機器荷重能力、增加潤滑劑及機器壽命，降低零件更換及意外停機、降低電流等卓越效果。

本研究中有關國內工廠之實驗工作，自1977年9月起共進行三年六個月，選擇之工廠皆為國內重要工業，如中國鋼鐵公司、南亞塑膠公司、國泰塑膠公司、固特異輪胎公司、南港輪胎公司、太平洋玻璃公司、厚生橡膠公司、厚生玻璃公司、中興紡織公司楊梅化纖廠等，以求結果客觀。

由於近代機器設備被要求之精度、荷重及效率愈來愈高，傳統性之純礦物油因先天限制不盡能滿足工業界需要，故固態潤滑劑與液態潤滑劑並用，以達到液體動力（hydrodynamic）潤滑及接觸潤滑（contact lubrication）雙重效用，為一可行方法。

一、前 言

世界上約有三分之二的能量消耗在摩擦上，對於機械工程師而言，如何減少摩擦力是非常重要的。如果我們能將固態潤滑的觀念應用於工業上，則對於節省能量，增加效率，減少機械磨損將有很大的助益。

這些實驗皆在實驗室及工廠的實際生產設備上進行，以比較潤滑油中添加固態潤滑劑及不添加固態潤滑劑對於摩擦的控制及承受負荷的能力，其比較結果可應用於工業上。

二、潤滑理論介紹

潤滑劑最重要的作用是減少兩個作相對運動的機件間之摩擦力，過去雷諾氏（Renolds）曾提出「運動件可由液體動力作用所產生之流體膜隔開」，爾後，D. O. Hersey 並應用因次解析（Dimensional Analysis），將液體潤滑劑置於軸承上進行試驗。潤滑可分成四種基本型式。

1. 液體動力（Hydrodynamic）潤滑（一般稱為流體膜或厚膜潤滑）

液體動力潤滑可定義為「在一個潤滑系統作相對運動之滑動面上形成流體膜，此流體膜有足够的壓力來分隔這些作相對運動的機件表面」。

液體動力（Hydrodynamic）潤滑最基本的

要求是形成一具有邊緣形狀的膜，液體動力潤滑的原理係由分析不同膜形（Film Shape）而發展出來。在各個膜厚度的各點速度 u ，如下：

$$u = \frac{U(h-y)}{h} - \frac{1}{2\mu} \frac{dp}{dx} y(h-y)$$

潤滑劑的剪應力隨着各點膜厚度而變化，如下：

$$S = \mu \left[\frac{U}{h} + \frac{1}{2\mu} \frac{dp}{dx} (h-2y) \right]$$

名辭解釋

W = 墊子上之負載，磅

U = 滑動面的速度，吋/秒

B = 運動方向上的墊子長度，吋

L = 與運動方向垂直的墊子長度，吋

P = 單位面積的負荷，= 磅/平方吋

μ = 雷諾黏度，磅-秒/平方吋

h = 膜厚，吋

h_1 = 入口膜厚，吋

h_2 = 出口最小膜厚，吋

m = 墊子面之傾斜度 = $(h_1 - h_2)/B$ ，無單位

a = 膜比率 = h_1/h_2 ，無單位

F = 摩擦力，磅

f = 摩擦係數 = F/W ，無單位

Q = 潤滑劑在入口處被拉成油膜的流量，立方吋/秒

t_1 = 入口膜溫度， F

t_2 = 出口膜溫度， F

Δt = 膜溫度上升 $t_2 - t_1$ ， F

K = 性能數 = $\mu U/PB$ ，無單位

K_f = 固定墊之特性數 $= (1/m^2) \mu U / PB$, 無單位

J = 機械熱當量 $= 9.336$ 吋, 一磅/英熱單位

T = 潤滑劑單位體積重量, 磅/立方吋

C = 潤滑劑比熱, 英熱單位/磅/F

x, y = 座標

$\bar{x}$ = 墊子入口邊緣與合力之距離, 吋

x_1 = 無單位座標

C_w, C_o, C_f, C_q = 膜因數 (僅為 a 的函數), 無單位

雷諾氏方程式:

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{h^3}{\mu} \frac{dp}{dx} \right) = 6U \frac{dh}{dx}$$

雷諾氏方程式亦可記成下列型式

$$\frac{dp}{dx} = 6\mu U \left(-\frac{1}{h^2} - \frac{C}{h^3} \right)$$

此處 C 是積分常數

壓力分佈:

$$P = \frac{\mu UB}{h_1^3} \left\{ \frac{6(a-1)}{(a+1)} \frac{(1-x_1)x_1}{(a-ax_1+x_1)} \right\}$$

此處 B 是運動方向上墊子的長度

$a = h_1/h_2$, and $x_1 = X/B$.

楔 (或墊子) 負載能量 W 如下式

$$W = \frac{\mu UL}{m^2} (a-1)^2 C_w$$

此處 $C_w = \frac{6}{(a-1)^2} \left[1_1 a - \frac{2(a+1)}{a+1} \right]$

摩擦力 F , 必須應用在滑動面上以克服潤滑劑之剪應力

$$F = \frac{\mu UL}{m} (a-1) C_f$$

此處 $C_f = \frac{1}{(a-1)} \left[4 1_1 a - \frac{6(a-1)}{a+1} \right]$

2. 不完全潤滑 (通常稱為半液體動力或半流體潤滑)

不完全潤滑可視為一種混合潤滑或半流體潤滑, 此型式的潤滑包括液體動力及界面潤滑, 非常的複雜 (見圖 3)。

3. 界面潤滑 (有時稱為薄膜潤滑, 經常包含一長鏈, 吸收式界面潤滑劑)。

界面潤滑可定義為一個狀況潤滑, 在兩個相對運動面之間的摩擦力可由表面的性質及潤滑劑的性質來決定, 而不由黏度來決定。

力 F 為油膜破壞的區域所需之剪力加上油膜存在的區域所承受之剪力, 如下:

$$F = \alpha A_r S_m + (1-\alpha) A_r S_r$$

α = 油膜被破壞, 且有金屬與金屬接觸存在的界面膜面積所佔之比例 (分數)

A_r = 實際接觸的面積。

S_m = 金屬與金屬接合之抗剪強度。

S_r = 界面膜之抗剪強度。

4. 接觸潤滑 (此處固態潤滑劑形成部份金屬表面, 有如磨適運轉時機械產生塑性變形)

表面接觸 (Surface Contact)

當在表面尖峯 (Surface Peak) 之間 (如粗糙度) 有摩擦接觸產生時, 一些作用將發生, 如圖 5 所示, 為一高度放大之軸承及軸頸的接觸面積 (圖 6) 這些作用是

(a) 在 A 點有重的摩擦, 表面膜被剪斷並產生彈性及塑性變形, 實際的接觸面積極小, 單位應力極高。

(b) 較硬的軸材料與較軟的軸材料 B 作相對運動, 將會使部份表面磨損剝落而產生新的粗糙面。

(c) 某些面積 C 被摩擦或被剪平, 這些表面互相融在一起, 當運動繼續時, 這些微小的融化點將立刻被破壞, 於是新的粗糙面形成, 部份將形成磨損的顆粒。

根據許多的報告指出, 在理想的情況下, 軸承在實際的液體動力狀況, 將永不產生金屬對金屬的接觸, 在這些理想狀況下, 將不產生磨損, 欲保持液體動力潤滑狀況, 須視流體之黏度, 相對運動機件間之隙隙, 相對運動機件表面粗糙度, 運轉溫度和壓力, 流體之剪力率及其他變化因素而定。但實際上, 有些狀況由於設計及變化因素之故, 金屬與金屬偶而或多或少會接觸到。繼而, 這些金屬與金屬之接觸將導致黏着磨損及其他形式的磨損, 如: 磨耗和摩擦磨損。液體潤滑劑是設計來彌補某些操作情況, 如: 溫度、壓力和剪力, 但是因液體動力膜破壞而導致某些磨損的可能性仍然存在, 當這個因素發生時, 磨損顆粒即形成, 此時黏着磨損即開始產生。

由於其他形式的磨損, 磨損率將加速。

黏着摩擦力是由清潔面的摩擦, 表面覆有固體潤滑劑的摩擦, 表面覆有界面潤滑劑的摩擦所產生。

摩擦的黏着分力經常產生超過全部摩擦力 80% 的力, 其餘的力方為表面粗糙及拖拉結果所產生。黏着磨損係四種主要磨損形式之一, 也是最普通的

一種。其他形式的磨損，按其重要性，順序為腐蝕磨損，磨耗磨損及表面疲勞磨損。二個滑動體發生黏着磨損可能在其他平面發生，而不在最初的接觸面發生；黏着磨損發生時，將產生大的磨損顆粒，而在摩擦上小的變化，在磨損速率上將產生大的變化，同時當摩擦係數為兩倍時，其磨損速率約變為10倍。

三、固態潤滑劑的原理和結構

Campbell 及 Rosenberg, Barry 三氏下了結論「在油中加入固態添加劑對於一個較差的界面潤滑將增加其潤滑效果」，在油脂中加入固態潤滑劑可獲得很好的效益，可降低摩擦及磨損，減少操作溫度，可承受較重負荷，降低耗電量，減少磨耗及腐蝕。

在他們的試驗程序中，他們發現加入1%以下的 MoS_2 較一般化學抗磨耗添加劑或5%以上的石墨有效。固態潤滑劑的研究工作進步神速，最熟悉的固態潤滑劑是石墨，但是，許多固體的無機物已被試驗並用來潤滑，比較普遍的是金屬硫化物，如：二硫化鉬；金屬鹵化物，如：碘化鎢；金屬氧化物，如二氧化鉛；層格晶體，如：雲母。

為了簡潔起見，我們將二硫化鉬和其他固態潤滑劑作比較，最通常的試驗是將固態潤滑劑擴散於白色礦物油中，並由 Campbell, Rosenberg 作磨耗試驗。

當以0.5% MoS_2 加入白色油中， MoS_2 是唯一能幫助改善膠著滑動 (stick-slip) 行為而無顯著的膠著滑動之固態潤滑劑。選擇適當的固態潤滑劑或幾種固態潤滑劑摻雜在一起來應用是十分重要的。液體媒體或輸送體的選擇亦十分重要；環境狀況，溫度範圍，成本因素將決定輸送體使用礦物油，雙酯類，矽樹脂，Polyglycoli 等合成油，溶劑或其他流體，固態潤滑劑顆粒的大小亦為重要的品質之一，液體的固態潤滑劑之製作及在油中擴散是一項高度特殊的技術，許多的程序方法及技術皆獲有專利。

任何的潤滑劑，保護表面及不保護表面的比例對於決定兩個接觸表面的磨損是很重要。

能使固態潤滑劑成功的使用之最重要性質為它對表面之附著力及它自己的內聚力，這些將使它具有某些程度的膜強度並保持膜在表面上潤滑的能力。在承受負荷時，固態潤滑劑傾向於位於金屬表面

，而防止金屬與金屬間之接觸，因而有人提出為何不使乾膜潤滑劑附着於金屬表面，由於大部份乾膜潤滑劑具有高的磨擦係數，因此後來才將固態潤滑劑加入液體潤滑劑中，其基本目的即在防止金屬與金屬接觸而減少產生磨損顆粒的可能性，油中添加固態潤滑劑的目的是在界面潤滑時，能夠增加油之性能，在液體動力狀況下，這些固態潤滑劑的質點將數著在金屬表面上，而增加潤滑效果。

MoS_2 的優越潤滑效果是由於① MoS_2 易於滑動，②對於金屬表面有好的黏著性，③有形成一片均勻薄膜的能力。

四、實驗設備及程序

A 實驗室試驗

試驗儀器必須模擬實際的使用情況，大部份的試驗儀器係設計可承受極端狀況，通常是一個重負荷，此重負荷將加速潤滑劑之破壞我們通常作油的極壓負荷和磨耗試驗係以 Almen-Weiland 試驗機開始，接着作 Timken 試驗，最後作 FZG 試驗(四正方齒輪)。實驗儀器及程序簡單介紹如下：

(1) Almen-Weiland 潤滑劑試驗機

Almen-Weiland 試驗，係將銷及套筒浸於潤滑劑中，銷在套筒中旋轉，並利用加重量於試驗儀器之桿臂而使產生負荷於套筒，直到試驗銷斷掉或與套筒融在一起為止，試驗結果係記錄添加的重量或磅/平方吋。

此試驗係為了計算油和脂極壓及磨耗的特性，試驗結果，磅/平方吋愈高，潤滑劑的極壓及抗磨耗性愈佳。

(2) Timken 極壓潤滑劑試驗機 ASTM D-2 T82

EP 係代表極壓之意，極壓試驗係模擬軸承和齒輪負荷超過非極壓添加劑潤滑劑之限度，並以桿臂負荷來計算其特性。

此試驗被用來決定潤滑劑所能承受最大負荷。

(3) FZG (四只正方齒輪) 潤滑劑試驗機

準確秤重的試驗齒輪被安裝在試驗設備中，並承受一扭矩，有如第一階段負載。

齒輪箱內裝有熱的試驗油

該試驗係使其在常速下運轉15分鐘，再將試驗齒輪取下，並測量其磨耗之重量，加以記錄(單位mg)。

該試驗對於潤滑劑承受負荷的能力及齒輪的磨

耗皆有相當的計算。

試驗油樣#1, #2性質規範如下：

	Oil #1 (SAE #30)	Oil #2 (SAE #90)
比 重	24.5	24.8
黏 度	595	1200
黏 度	59	92
閃 火 點	415	425
著 火 點	470	475
流 動 點	- 15	- 15

B工廠實際生產設備上試驗

筆者使用安培表，噪音及振動計，溫度計，Nikon照相機，黏度計，斑點試驗機，離心試驗機，小孔過濾試驗機以偵測下述國內工廠的試驗。

(1)一般用途油

中興紡織公司、大平洋玻璃公司、厚生玻璃公司、華隆公司

(2)齒輪油

厚生橡膠公司、南亞塑膠公司、南港輪胎公司、固特異公司、國泰塑膠公司、中鋼公司。

五、試驗結果及討論

A 實驗室試驗結果

一般用途油

第一系列的試驗係以 #1 SAE 30 油作試驗，該油中含有抗銹，及抗氧化劑。三種試驗油樣為：

(A)清油(B)油中加入少於1%的 M_0S_2 (C)油中加入少於1%的 M_0S_2 及第二種固態潤滑劑，表 I、II、III，列出A、B、C三種油在 Almen-Weiland, Timken 及 FZG 三種試驗結果

表一 Almen-Weiland 試驗

	A 油 (清油)	B 油 (加 M_0S_2)	C油 (加 M_0S_2 及第二種固態潤滑劑)
加於桿上之重量	2	8	11
磅/平方吋 (大約)	2000	8000	11000

表二 Timken 試驗

	A 油 (清油)	B 油 (加 M_0S_2)	C油 (加 M_0S_2 及固態潤滑劑)
轉速 (RPM)	800	800	800
時間 (分鐘)	5	10	10
桿負荷 (磅)	註 1	10	10
痕跡寬度 (mm)	NA	1.067	0.80
磅/平方吋	註 2	4762	6369

註 1：負載中失敗
註 2：小於2000

表三 FZG 試驗

	A 油 (清油)	B 油 (加 M_0S_2)	C油 (加 M_0S_2 及固態潤滑劑)
負荷範圍 (抓痕)	失 敗	2	4
負荷範圍 (刮痕)	失 敗	5	6
負荷範圍 (磨擦)	3	6	8
扭 矩	N/A	24.1	24.1
重量變化	N/A	小於 0.1	小於 0.1
(mg/HP/HR)		註 1	註 2

註 1：經階段 5
註 2：經階段 6

齒輪油
第二系列試驗係以 #2 多用途 SAE 90 齒輪油作試驗
，三種試驗油樣為 (D) 清油 (E) 油中加入少於 1% 的 M_0S_2 ，(F) 油中加入小於 1% 的 M_0S_2 及第二種固態潤滑劑

表四 Almen-Weiland 試驗

	D 油 (清油)	E 油 (加 M_0S_2)	F 油 (加 M_0S_2 及固態潤滑劑)
重 量	14	16	18
磅/平方吋 (大約)	14,000	16,000	18,000

表五 Timken 試驗

	D 油 (清油)	E 油 (加 M_0S_2)	F 油 (加 M_0S_2 及固態潤滑劑)
轉速 (RPM)	800	800	800
時間 (分鐘)	10	10	10
桿負荷 (磅)	40	55	60
痕跡寬度 (mm)	1.11	1.43	1.49
磅/平方吋	18,120	19,475	20,618

表六 FZG 試驗

	D 油 (清油)	E 油 (加 M_0S_2)	F 油 (加 M_0S_2 及固態潤滑劑)
負載範圍 (抓痕)	8	8	9
負載範圍 (刮痕)	10	10	11
負載範圍 (磨擦)	11	12	13
重量變化 (註 1) (mg/HP/HR)	0.11	0.11	0.10

註 1：負載範圍 2 到 11

B 工廠實際生產設備試驗結果

一般用途油

一般用途油具有與試樣油 #1 相當黏度級數的油
(SAE 20, 30, 40)，以其 (A) 清油及 (C) 添加有 M_0S_2

，固態潤滑劑的油在工廠的固定式空壓機上使用比較，管制的項目包括平均預防保養、空氣乾淨度、工程上的檢查管理、週期性的曲軸箱取樣化驗及平均記錄等，其試驗結果如下表：

比較項目	工廠名稱	中興紡織公司楊梅化纖廠	太平洋玻璃公司	厚生玻璃公司	華隆公司鶯歌廠
設備名稱		200 HP, 350 CFM 3000 Psi Norwalk 五段往復式空壓機	60 HP, 200 SCFM 100 Psi Ingersoll -Rand 往復式空壓機	250 HP, 1000 SC FM 3.5 kg/cm ² G, Ingersoll- Rand 往復式空壓機	300 HP, 500 CFM 3000 Psi, Norwalk 五段往復式空壓機
耗油量		C油耗油量為A油的 1/3	C油耗油量為A油的 7/24	C油耗油量為A油的 1/3	C油耗油量為A油的 1/3
含碳量		排氣閥處，C油積碳情形較A油減少甚多	同 左	同 左	同 左
振動量		在曲軸箱及氣缸頭測量，C油的振動量較A油減少1.5dB, 4.5~6 dB	在曲軸箱處測量，C油的振動量較A油降低4dB	在曲軸箱處測量，C油的振動量較A油降低6 dB	—
排氣溫度及進氣溫度之溫差		C油較A油降低5°C~8°C	C油較A油降低10°C	C油較A油降低10°C	C油較A油降低5°C~10°C
空車電流		C油較A油空車電流降低2.24%-4%	—	—	—
零件壽命		活塞環、閥片、閥彈簧等零件壽命C油較A油延長6倍以上	活塞環、閥片、閥彈簧等零件壽命，C油較A油延長3倍以上	活塞環、閥片、閥彈簧等零件壽命，C油較A油延長4倍以上	①第5段活塞環壽命，C油較A油延長5倍以上 ②第4.5段閥片、閥彈簧、氣缸C油較A油延長2倍以上

齒輪油

齒輪油具有與試樣油 #2 相當黏度級數的油 (SAE 80, 90, 120, 140)，以其(A)清油(C)添加有 M₀ S₂、固態潤滑劑的油在工廠的齒輪減速機上使

用比較，比較項目包括(1)油溫，(2)振動噪音量，(3)空車電流，(4)換油週期，(5)齒面狀況。其試驗結果如下表：

比較項目	工廠名稱	厚生橡膠公司桃園廠	南亞塑膠公司前鎮廠	南港輪胎公司新竹廠	國泰塑膠公司竹南廠	固特異輪胎公司	中鋼公司
設備名稱		Nippon Roll 400 HP軋輪機齒輪減速機	No. 9 PVC 生產線齒輪減速機	11D萬馬力機齒輪減速機 800 HP	S-3 PVC 膠布機齒輪減速機 200 KW	500 HP, 9D 萬馬力機齒輪減速機	飛剪機齒輪箱 200 HP
油溫 (或齒輪箱表面與環境溫度之溫差)		C油較A油低 6°C	見附表七	C油較A油低 19°C	C油較A油低 10.2°C	C油較A油低 17°C	1. C油較B油低 11.8°C 2. C油較B油低 11.6°C 3. C油較A油低 23.4°C

振動及噪音量	噪音量C油較A油低 9.5dB	見附表七	噪音量C油較A油低 11dB	噪音量、振動量C油較A油低12.3 dB 13.8dB	噪音量C油較A油低12.5 B	—
空車電流	C油較A油低 8.6%	見附表七	C油較A油低 8.77%	C油較A油低 8.8%	C油較A油低 7.7%	—
換油週期	A油：6個個 C油：至少一年，為A油的兩倍以上	見附表七	A油：6個月 C油：3年以上，為A油的6倍以上	A油：6個月 C油：13個月以上，至少延長7個月以上	A油：8個月 C油：3年10個月，至少延長5倍以上	A油：3個月，B油：6個月，C油：30個月
齒輪減速機之齒面狀況	使用A油時，齒面有刮傷、點蝕及塑性流變等現象；換用C油後，齒面大幅改善，變得光滑。	見附表七	使用A油時，齒面嚴重刮傷、點蝕，換用C油後，齒面大幅改善，變得光滑。	同 左	同 左	同 左

表七 南亞塑膠公司前鎮廠試驗結果

a

油溫下降 °C	換油前°C	換油後°C	溫度降低 °C
機器設備			
萬馬力機齒輪減速機	21	13.0	8.0
軋輪機A齒輪減速機	23	13.9	5.1
軋輪機B齒輪減速機	25.3	15.8	9.5
押出機 齒輪減速機	18.7	11.0	7.7
膠布機 齒輪減速機	11.7	6.3	5.4

b

噪音降低 dB	換油前dB _c	換油後dB _c	噪音降低 dB _c
機器設備			
萬馬力機齒輪減速機	108.7	98.6	10.1
軋輪機A齒輪減速機	110.5	104.4	6.1
軋輪機B齒輪減速機	114.3	103.2	7.1
押出機 齒輪減速機	109.7	100.8	8.9
膠布機 齒輪減速機	114.3	101.3	13.0

c

振動降低 Mil	換油前 Mil	換油後 Mil	振動降低 Mil
機器設備			
萬馬力機齒輪減速機	1.7	1.0	0.7
軋輪機A齒輪減速機	2.9	1.4	1.5
軋輪機B齒輪減速機	5.6	3.8	1.8
押出機 齒輪減速機	1.8	1.2	0.6

d

耗電量	換油前 Amp.	換油後 Amp.	電流降低 Amp.	%
機器設備				
萬馬力機齒輪減速機	59.3	55.5	3.8	6.4
軋輪機A齒輪減速機	37.7	33.1	4.6	12.2
軋輪機B齒輪減速機	40.3	36.2	4.1	10.2
押出機 齒輪減速機	27.7	25.7	2.0	7.2
膠布機 齒輪減速機	67	60.5	6.5	9.5

C 討 論

(一)由美國 Smith-Emery 公司所作之試驗，顯示礦物基油中添加 $M_o S_2$ 及固態潤滑劑較不添加者，摩擦係數重負荷時，降低 54.9~58.9%，輕負荷時降低 52.4~52.7%。

(二)由美國 Imperial Oil & Grease Company所作之試驗，一般用途油添加 $M_o S_2$ 及固態潤滑劑較完全不添加者，其耐極壓性約好三倍以上；但較僅添加 $M_o S_2$ 者僅好30~50%。齒輪油添加 $M_o S_2$ 及固態潤滑劑較完全不添加者，其耐極壓性增加10%；但較僅添加 $M_o S_2$ 者僅增加5%。

(三)工廠實際生產設備之試驗，由筆者在臺灣實施；一般用途油添加 $M_o S_2$ 及固態潤滑劑較完全不添加者有下列優點：

- 1.降低耗油量50~75%。
- 2.減少積碳現象。
- 3.振動量降低4 dB以上。
- 4.溫度降低10°C。
- 5.零件壽命延長3倍以上。

齒輪油添加 MoS_2 及固態潤滑劑較完全不添加者有下列優點：

1. 降低油溫 $5^\circ C \sim 10^\circ C$ 以上。
2. 降低噪音量 5dB 以上。
3. 降低耗電量 5~10% 以上。
4. 延長換油週期 5 倍以上
5. 大幅改善齒面狀況。

六、結 論

在運動件之間，只要有正常的磨損存在，純粹的液體動力潤滑即不存在。固態潤滑劑在實驗室及工廠實際生產設備上所作試驗，在半液體動力潤滑，界面潤滑及接觸潤滑狀況下，均可減少磨損及減少潤滑油之變質。

我們更可以下結論，兩個或更多的金屬硫化物互相結合，可產生一種加成效果並增加潤滑油脂的接觸潤滑性質，當機械需要增進性能時，可使用這些固態潤滑劑來達成，它能夠繼續促進界面及接觸潤滑狀況。

參 考 文 獻

1. Reynolds, O., On the Theory of Lubrication and its Application to Mr. Beauchamp Tower's Experiments, Phil. Trans. Royal Society (London), vol, 177, 1886.
2. Hersey, O. D., "Theory of Lubrication", P. 70, John Wiley & Sons, Inc. N. Y. 1938.
3. John Boyd and A. A. Raimondi, Westinghouse Electric Corporation, "Hydrodynamic Lubrication", 1968.
4. J. George Wills, Mobil Oil Corporation, "Lubrication Fundamentals", 1960.
5. Douglas Godfrey, Chevron Research Company, "Boundary Lubrication", 1968.
6. Braithwaite, E. R., Solid Lubricants and Surfaces, Pergamon. London, 1964.
7. Rabinowicz, E., "Friction and Wear of Solids," paper submitted at Rensselaer Polytechnic Institute, Seminar on Solid Lubricants, 1966.
8. W. E. Campbell, & R. C. Rosenberg, The Effect of Mechanically Dispersed Solid Powders on Wear Prevention by White Oil at High Loads and Low Speeds, paper ASLE Annual Meeting, 1967.
9. H. F. Barry, "The Use of Solid Lubricants

in Oils and Greases: Current Research and Applications," paper submitted at Rensselaer Polytechnic Institute. Seminar on Solid Lubricants, 1966.

10. Arthur J. Haltner, General Electric Co., paper submitted at Rensselaer Polytechnic Institute, Seminar on Solid Lubricants, 1966.
11. Jack Waite, Imperial Oil & Grease Company, "Solid Film Lubrication" 1977.

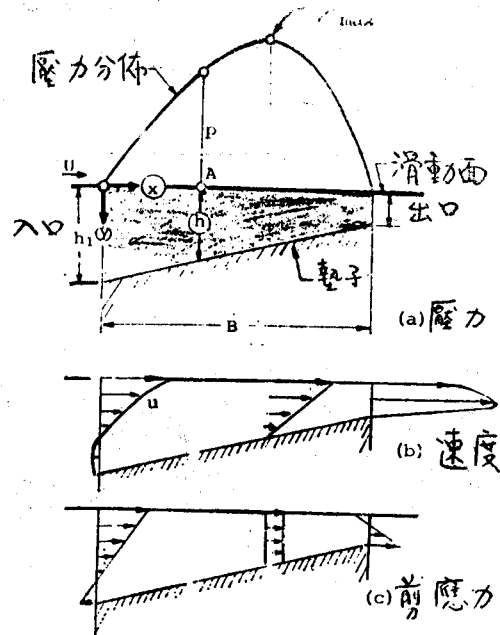


圖1. 壓力、速度及剪應力在膜邊緣之分佈圖

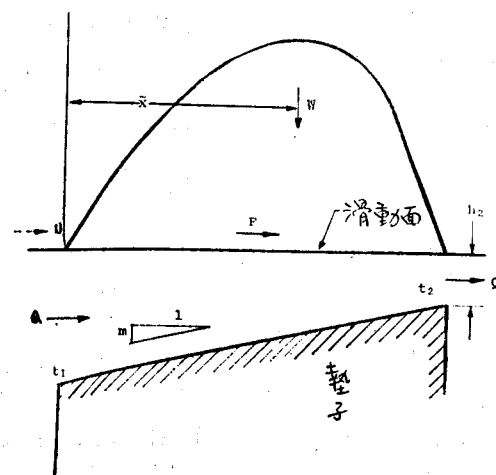


圖2. 膜作動特性圖，最小膜厚 $h_2 = \frac{B_m}{a-1}$

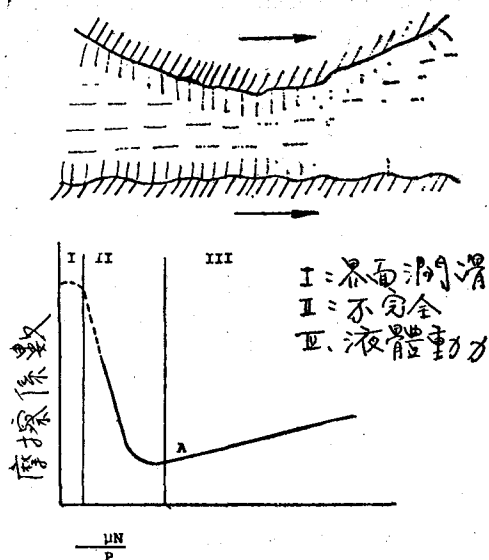


圖3. 圖4. Stribeck 圖

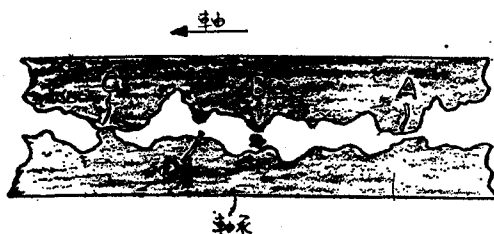


圖5. 表面剖面放大圖

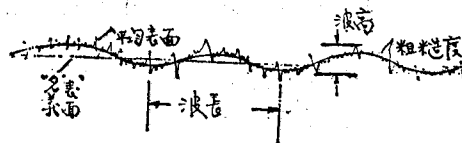


圖6. 表面剖面放大圖

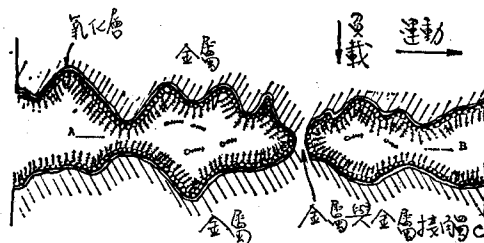


圖7. 界面潤滑圖A.B二表面有效的接觸潤滑，C為無效之潤滑

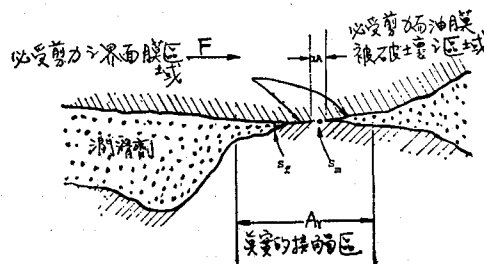


圖8. 界面潤滑的觀念

(上接90頁)

大型聯合收穫機構造複雜，零件數在萬件以上，且許多是國內無法經濟生產者。因此，建議政府在業者生產大型機的第一年，把自製率降為60%（目前規定之自製率為80%），以後視國內農機工業發展步調，逐年予以提高，如每年增加5%，至第五年即達80%。

另外，建議政府有關單位，應將進口整臺農機與自製用之零件的關稅予以合理化。目前整臺農機進口稅率僅7.5%，而國內製造工廠進口零件則均在20%以上，甚至高達45%者，嚴重影響農機自製成本。政府宜對製造工廠生產之機種機型自製率審查合格有案者，其所需之進口零件予以7.5%以下之優惠稅率，始合乎政府鼓勵國產化之原意。

又，開發新機型所需投資費用龐大，政府宜擬

訂獎勵辦法，如給予優惠融資或首先開發新機種（型）廠商給予補助金等。

參考資料

1. 歷年臺灣農機統計月報。農林廳農產科編。
2. 歷年農業機械化基金貸款手冊。農林廳農產科編。
3. 吳維健。民國69年。臺灣農機工業現況。農發會。
4. 鄭瑞珍等。民國70年。臺灣稻作機械化之探討。農發會。
5. 彭添松。1982。參加 APO 農業機械化研討會報告（油印）。農發會。
6. 歷年日本農業機械化研究所年報。農業機械化研究所。
7. 岸田義典。日本歷年農業機械年鑑。新農林社。東京。
8. 江崎春雄等。1971。收穫用機械に関する研究。農業機械化研究所。