

工業實用技術

實用油壓技術

# 基礎篇

賴 耿 陽譯著  
復漢出版社印行

石原智男 編

Engineer's  
Practical  
Library

工業實用技術週年紀念  
1973-1988

中南圖書公司

實用油壓技術

# 基礎篇

賴耿陽譯著  
復漢出版社印行

石原智男 編

Engineer's  
Practical  
Library

HWt 629/03

中華民國七十四年五月出版

# 實用油壓技術基礎篇

原著者：石 原 智 男

譯著者：賴 耿 陽

出版者：復 漢 出 版 社

地址：台南市德光街六五一號

郵政劃撥三一五九一號

發行人：沈 岳 林

印刷者：國 發 印 刷 廠

版權所有  
翻印必究

平 裝 一 元 三 角  
精 裝 一 元 六 角

本社業經行政院新聞局核准登記局版台業字第〇四〇二號

# 譯 序

最近油壓技術突飛猛進，已製作，使用的油壓機器及油壓裝置的種類繁多，油壓的應用分野漸增，大有助於各產業、工業的自動化、省力化。

爲充分瞭解這些油壓機器、裝置的特性，並有合理的設計、製作、及適正的運轉、保養起見，須先明確把握油壓技術必要的基本知識。

油壓技術的基本問題單靠流體力學的知識並不能解決，尚須具備機械力學、控制工學、機械材料等的知識；本書配合最近油壓技術的進展，將油壓工學劃分三體系：

I. 基礎篇：明確敘述油壓技術最必要的流體力學。

II. 機器篇：強調說明油壓機器諸特性。

III. 回路篇：以油壓的基本回路爲對象，敘述解析及設計手法。

但讀者最好先瀏覽書後附表的術語定義及回路符號意義，前後對照，較易吸收。

## 編集者

|      |                |
|------|----------------|
| 石原智男 | 東京大學教授、工學博士    |
| 市川常雄 | 靜岡大學教授、工學博士    |
| 金子敏夫 | 三菱電機（株）、課長、技術士 |
| 竹中俊夫 | 東京工業大學教授、工學博士  |

譯者 賴耿陽

成功大學工程科學系人

# 執筆 者 (執筆 順)

|   |    |    |                       |
|---|----|----|-----------------------|
| 山 | 口  | 字  | 横浜国立大学助教授・工学博士        |
| 石 | 原  | 男  | 東京大学教授・工学博士           |
| 小 | 林  | 雄  | 東京大学助教授・工学博士          |
| 井 | 田  | 夫  | 神奈川大学教授・工学博士          |
| 市 | 川  | 雄  | 静岡大学教授・工学博士           |
| 森 |    | 郎  | 京都大学教授・工学博士           |
| 竹 | 中  | 俊  | 東京工業大学教授・工学博士         |
| 山 | 崎  | 慎  | 東京都立工業高等専門学校教授        |
| 村 | 岡  | 虎  | 広洋産業(株)技術部長・技術士       |
| 川 | 瀬  | 健一 | 萱場工業(株)研究開発部長         |
| 金 | 子  | 敏  | 三菱電機(株)課長・技術士         |
| 土 | 屋  | 功  | 伊原高圧継手工業(株)技術部研究開発室長  |
| 近 | 森  | 徳重 | (株)阪上製作所取締役研究部長       |
| 赤 | 山  | 二郎 | 住友精密工業(株)技術調査役        |
| 倉 | 賀野 | 祐弘 | 油研工業(株)システム技術部管理課技術係長 |
| 浦 | 田  | 三  | 東京工業大学工学部             |
| 斎 | 藤  | 司  | (株)東京計器技術部長           |
| 阿 | 武  | 朗  | 東京工業大学教授・工学博士         |

## 序

最近における油圧技術の進歩はまことに目覚しく、製作・使用されている油圧機器および油圧装置の種類は多種多様になり、油圧の応用分野がますます増加・拡大している現状である。すなわち、油圧機器・装置は諸機械・諸設備における自動化や省力化の有力な推進役として、各種産業・工業のあらゆる分野に利用され、活用されている。

そこで、これら油圧機器・装置の諸特性を十分に理解し、かつ合理的な設計製作をなし、さらに適正な運転・保守を行なうためには、まず油圧技術に必要な基礎的知識を明確に把握し、これを活用しなければならない。

油圧技術における基礎的な諸問題は、流体力学の知識だけで解決できるわけではなく、機械力学、制御工学、機械材料など工学の広い分野にわたる諸知識を基礎にしてその解決をはからなければならない。今日「油圧工学」といわれている分野で取り扱われる内容については、目下のところ定見があるわけではないが、編集者らは、油圧技術の最近の進歩・発達にかんがみ、油圧工学の内容をできるだけ整理し、かつ体系化をはかり

- I. 基礎編として、油圧技術にもっとも必要な流体力学を明確に記述し、
- II. 機器編として、油圧機器の諸特性を強調して説明し、
- III. 回路編として、油圧の基本回路を対象にして、解析ならびに設計手法を示し、

全編を通じて、油圧機器ならびに油圧回路の基本的事項の説明・解説に重点をおいて編集したつもりである。さらに、とくに最近問題となってきた事項については、補遺として巻末にかかげ、また付録として単位換算表・記号・規格などを掲載した。

本ハンドブックは以上のような特色をもっており、現在世にでている油圧技術の著書とはその力点が大いに異なるものと自負している。これが油圧技術に関与

される技術者や油圧工学にたずさわる研究者、さらに大学工学部・短大・高専機械系学生諸兄の座右におかれ、活用・利用されて、今後の油圧技術の一層の発展のために役立てられるとすれば、編集者ならびに著者らのもっとも欣快とするところである。

また最近、「ISO/TC 131 油空圧システムおよび要素」の規格制定について、国際的に技術の交流が活発化しつつあり、今後油圧技術に対する認識や関心が、ますます盛んになっていくことは必定であろう。かかる時に本書が広く世にでることは、また大いに意義があるものと信ずる。

最後に、本書の刊行が、諸種の事情で当初予定した時期より遅延したことに対して深くお詫び申し上げるとともに、終始企画から刊行に至るまでの長い間熱心にご尽力下さった朝倉書店の方々に対し、深甚の謝意を表する。

昭和47年4月

編 集 者 ら

# 實用油壓技術

# 實用油壓技術／目次

## I、基礎篇

### 第一章 油壓油的物理性質..... 1

#### 1-1 分類.....1

1.1.1 油壓油要求的性質... 1      1.1.3 各種油壓油的比較... 4

1.1.2 分類..... 2

#### 1-2 比重、密度、比重量.....4

1.2.1 定義..... 4      1.2.3 油壓油的比重..... 5

1.2.2 測定法..... 5      1.2.4 熱膨脹係數..... 6

#### 1-3 體積彈性係數.....6

1.3.1 定義..... 6      1.3.3 體積彈性係數與壓

1.3.2 測定法..... 8      力、溫度的關係..... 8

#### 1-4 粘度..... 10

1.4.1 定義..... 10      1.4.4 粘度與壓力之關係 13

1.4.2 粘度測定法..... 10      1.4.5 粘度與剪斷的關係 14

1.4.3 粘度與溫度的關係 12      1.4.6 油壓油的粘度..... 15

#### 1-5 空氣溶解量..... 15

1.5.1 油中的空氣..... 15      數的影響..... 16

1.5.2 氣泡對體積彈性係      1.5.3 氣泡對粘度的影響 17

#### 1-6 其他的物理性質..... 17

1.6.1 表面張力..... 17      1.6.3 熱傳導率..... 19

1.6.2 比熱..... 18      1.6.4 流動點、凝結點... 19

#### 1-7 油壓油的特性..... 19

1.7.1 耐摩擦性..... 19      1.7.4 閃火點、自燃發火

1.7.2 氧化安定性..... 21      溫度..... 22

1.7.3 腐蝕性..... 22      1.7.5 抗乳化性、防銹性 24

#### 1-8 油壓油一覽表..... 24

### 第二章 粘性流體的力學..... 29

#### 2-1 靜力學..... 29

2.1.1 壓力與密度..... 29      2.1.2 在重力場靜止的流體

|                                   |    |                                      |    |
|-----------------------------------|----|--------------------------------------|----|
| 的壓力.....                          | 30 | 的全壓力.....                            | 32 |
| 2.1.3 壓力頭.....                    | 31 | 2.1.6 浮力.....                        | 34 |
| 2.1.4 壓力的傳達.....                  | 32 | 2.1.7 靜力學的基礎方程                       |    |
| 2.1.5 容器壁因深度所致                    |    | 式.....                               | 34 |
| 2-2 連續公式.....                     | 36 |                                      |    |
| 2-3 Navier-Stokes 的運動方程式.....     | 38 |                                      |    |
| 2.3.1 Navier-Stokes 的運動方程式.....   | 38 | 2.3.3 Navier-Stokes 運動方程式的嚴密解之例..... | 42 |
| 2.3.2 對亂流的運動方程式.....              | 41 |                                      |    |
| 2-4 Euler 的運動方程式.....             | 45 |                                      |    |
| 2.4.1 Euler 的運動方程式.....           | 45 | 2.4.2 無渦流.....                       | 46 |
| 2-5 柏努利公式.....                    | 47 |                                      |    |
| 2.5.1 柏努利公式.....                  | 47 | 2.5.3 柏努利公式的應用例.....                 | 50 |
| 2.5.2 有粘性的流體的流動的柏努利公式.....        | 49 |                                      |    |
| 2-6 Stokes 公式與 Oseen 公式.....      | 51 |                                      |    |
| 2.6.1 Stokes 近似公式.....            | 51 | 2.6.2 Oseen 近似公式.....                | 54 |
| 2-7 雷諾公式.....                     | 55 |                                      |    |
| 2-8 境界層方程式.....                   | 58 |                                      |    |
| 2.8.1 對層流的境界層方程式.....             | 58 | 2.8.5 軸對稱的境界層.....                   | 64 |
| 2.8.2 沿平板的層流境界層 (Blasius 之解)..... | 59 | 2.8.6 壓縮性流體的境界層方程式.....              | 64 |
| 2.8.3 境界層的運動量方程式.....             | 61 | 2.8.7 對亂流的境界層方程式.....                | 65 |
| 2.8.4 Pohlhausen 的方法.....         | 62 | 2.8.8 沿平滑平板的亂流境界層.....               | 65 |
| 2-9 能量方程式.....                    | 67 |                                      |    |
| 2-10 運動量理論.....                   | 69 |                                      |    |
| 2.10.1 運動量理論.....                 | 69 | 2.10.3 運動量理論的適用例.....                | 71 |
| 2.10.2 角運動量理論.....                | 70 |                                      |    |
| 2-11 相似則.....                     | 72 |                                      |    |

### 第三章 管內流動..... 75

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 3-1 流動的狀態與壓力損失的概要.....     | 75 |
| 3.1.1 層流與亂流.....           | 75 |
| 3.1.2 臨界雷諾數.....           | 75 |
| 3-2 層流.....                | 78 |
| 3.2.1 圓管內的層流(哈根-波阿瑞的定律) 78 |    |
| 3.2.2 圓管以外的管內的層流.....      | 79 |
| 3-3 亂流.....                | 80 |
| 3.3.1 管摩擦係數.....           | 80 |
| 3.3.2 速度分佈.....            | 82 |
| 3-4 助走區間的流動.....           | 84 |
| 3.4.1 助走距離.....            | 84 |
| 3.4.2 助走區間的壓力損失.....       | 84 |
| 3-5 管路的損失.....             | 85 |
| 3.5.1 斷面積變化所致的壓力損失.....    | 85 |
| 3.5.2 曲管的壓力損失.....         | 87 |
| 3.5.3 分岐、合流所致的壓力損失.....    | 94 |
| 3.5.4 閥、節流所致的壓力損失.....     | 94 |
| 3.5.5 等值管長.....            | 94 |
| 3-6 管路系統的損失.....           | 97 |
| 3.6.1 串列管路系的總損失與總流量.....   | 98 |
| 3.6.2 並列管路系統的損失與流量.....    | 99 |
| 3.6.3 管路網.....             | 99 |

### 第四章 間隙的流動.....102

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 4-1 二面間的平行流動.....     | 102 |
| 4.1.1 靜止二面間的平行流動..... | 102 |
| 4.1.2 二運動面間的流動.....   | 107 |
| 4.1.3 間隙不一定時.....     | 109 |
| 4-2 二面間的放射流動.....     | 111 |
| 4.2.1 雷諾數小而間隙長時.....  | 111 |
| 4.2.2 助走區間的影響.....    | 112 |
| 4.2.3 圓錐方向流動.....     | 113 |
| 4-3 熱楔.....           | 114 |

### 第五章 潤滑與軸承.....118

|                 |     |
|-----------------|-----|
| 5-1 流體潤滑.....   | 118 |
| 5-2 動壓滑動軸承..... | 118 |

|                               |     |                              |     |
|-------------------------------|-----|------------------------------|-----|
| 5.2.1 動壓止推軸承.....             | 119 | 5.2.3 承受動荷重的軸承.....          | 129 |
| 5.2.2 動壓頸軸承.....              | 125 |                              |     |
| 5-3 靜壓軸承.....                 | 133 |                              |     |
| 5.3.1 靜壓止推軸承(非<br>壓縮性流體)..... | 133 | 5.3.2 靜壓頸軸承(非壓<br>縮性流體)..... | 137 |
| 5-4 境界潤滑.....                 | 141 |                              |     |

## 第六章 噴 流.....143

|                   |     |                  |     |
|-------------------|-----|------------------|-----|
| 6-1 自由噴流和半噴流..... | 143 |                  |     |
| 6.1.1 自由噴流.....   | 143 | 6.1.3 噴流的構造..... | 147 |
| 6.1.2 半噴流.....    | 146 |                  |     |
| 6-2 噴流的效果.....    | 148 |                  |     |
| 6.2.1 噴流的運動量..... | 148 | (壁效果).....       | 149 |
| 6.2.2 噴流與壁面的干涉    |     |                  |     |

## 第七章 內流動的動特性.....152

|                          |     |                                 |     |
|--------------------------|-----|---------------------------------|-----|
| 7-1 基本公式.....            | 152 |                                 |     |
| 7.1.1 分佈常數系.....         | 152 | 7.1.2 集中常數系.....                | 154 |
| 7-2 周波數應答.....           | 155 |                                 |     |
| 7.2.1 基本式.....           | 155 | 7.2.3 相對於入口流脈動<br>的出口壓力的應答..... | 161 |
| 7.2.2 應力傳達特性.....        | 156 |                                 |     |
| 7-3 過渡應答.....            | 166 |                                 |     |
| 7.3.1 管路末端有容量時.....      | 166 | 時(油擊作用).....                    | 170 |
| 7.3.2 管路末端有節流部<br>時..... | 169 | 7.3.4 管路出口壓力一定<br>時.....        | 173 |
| 7.3.3 管路入口壓力一定           |     |                                 |     |
| 7-4 應用例.....             | 174 |                                 |     |
| 7.4.1 管路端的閥振動時.....      | 174 | 的脈動.....                        | 180 |
| 7.4.2 管路端有油壓馬達<br>時..... | 177 | 7.4.4 管內交液流所致的<br>動力傳達.....     | 182 |
| 7.4.3 油壓泵的吐出壓力           |     |                                 |     |

## 第八章 泡 穴.....185

|                 |     |
|-----------------|-----|
| 8-1 概論.....     | 185 |
| 8-2 節流部的泡穴..... | 186 |

|     |               |     |
|-----|---------------|-----|
| 8-3 | 油壓泵中的泡穴·····  | 190 |
| 8-4 | 油壓引動器的泡穴····· | 192 |

## 第九章 計測法·····195

|       |                        |     |
|-------|------------------------|-----|
| 9-1   | 壓力·····                | 195 |
| 9-2   | 流量、流速·····             | 197 |
| 9-3   | 轉矩、動力、旋轉數·····         | 202 |
| 9.3.1 | 轉矩的測定·····             | 202 |
| 9.3.2 | 動力的測定·····             | 202 |
| 9.3.3 | 旋轉數的測定·····            | 202 |
| 9-4   | 振動、噪音·····             | 203 |
| 9.4.1 | 油壓系統及要素的<br>振動和噪音····· | 203 |
| 9.4.2 | 振動的測定·····             | 204 |
| 9.4.3 | 振動計·····               | 204 |
| 9.4.4 | 噪音的測定·····             | 205 |

# 第一章 油壓油的物理性質

## 1.1 分 類

### 1.1.1 油壓油要求的性質

油壓油 (hydraulic fluid)，油壓回路用作動流體，亦稱作動流體、作動油等，但依據 JIS 油壓用語，以下稱為油壓油) 要求的性質如表 1.1 所示。

表 1.1 油壓油要求的性質

- 
- |                                              |
|----------------------------------------------|
| 1. 對軸承與油封面所用的材料有良好的潤滑性。                      |
| 2. 在廣大的溫度範圍內，粘度變化很小。                         |
| 3. 對油壓裝置用材料 (金屬、塗料、塑膠、彈性體 (elastomer)) 為不活性。 |
| 4. 粘度值適合現在油壓機器的配合或間隙。                        |
| 5. 壽命長，對熱、水、氧化及剪斷的安定性良好。                     |
| 6. 在液體或蒸汽狀態的毒性很小。                            |
| 7. 體積彈性係數大。                                  |
| 8. 起泡的傾向小。                                   |
| 9. 比重小。                                      |
| 10. 廉價而利用度高。                                 |
| 11. 耐火性大。                                    |
| 12. 空氣的吸收度小。                                 |
| 13. 熱傳導率高。                                   |
| 14. 蒸氣壓低，沸點高。                                |
| 15. 熱膨脹係數小。                                  |
| 16. 有良好的絕緣性。                                 |
| 17. 無吸濕性，與水的相互溶解性非常小。                        |
| 18. 至少稀釋 10 % 也適用為現有的油壓油。                    |
| 19. 比熱大。                                     |
| 20. 無臭。                                      |
| 21. 壓力的變化及剪斷所致的粘度變化小。                        |
| 22. 透明度高，有獨特的色。                              |
-

### 1.1.2 分類

一般產業用的代表性油壓油可分類成表 1.2 所示者。

表 1.2 油壓油的分類

|                        |        |   |           |         |
|------------------------|--------|---|-----------|---------|
| 石油系油壓油（輪機油、油壓專用油、馬達油等） |        |   |           |         |
| {                      | 難燃性油壓油 | { | 含水型油壓油    | {       |
|                        |        |   | {         | 乳化液     |
|                        |        | { |           | 水中油型乳化液 |
|                        |        |   |           | 油中水型乳化液 |
|                        |        | { | {         | 水・乙二醇溶液 |
| {                      | 磷酸酯    |   |           |         |
|                        | 氯化碳化氫  |   |           |         |
|                        | {      | { | 磷酸酯+氯化碳化氫 |         |

#### a. 石油系油壓油

石油系油壓油（petroleum-base hydraulic fluid）可滿足油壓油大部份的要求事項，也容易獲得，所以最爲一般產業用，但耐火性、高溫劣化性、不揮發性有問題，不適於 100°C 以上的使用溫度或忌諱發火的用途。

水力輪機或蒸汽潤滑用輪機油（turbine oil）的性質約與油壓油要求的性質相同，所以石油系油壓油通常用相當於油壓油的礦油，表 1.3 爲加有 JIS K 2213 規定的添加劑的輪機油（添加式輪機油）的性狀，添加劑的目的是要改善基油（石油餾分）的性能，使之更合乎要求；加於油壓油的主要

表 1.3 添加輪機油

| 種 類                     |          | 1 號       | 2 號       | 3 號       | 4 號       |
|-------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 引火點 [°C]                |          | 180 以上    | 185 以上    | 190 以上    | 190 以上    |
| 動粘度<br>[cSt]            | (37.8°C) | 38.0 以下   | 68.0 以下   | 90.0 以下   | 100.0 以下  |
|                         | (50°C)   | 17.5~22.5 | 32.5~37.5 | 42.5~47.5 | 47.5~52.5 |
|                         | (98.9°C) | 4.6 以上    | 7.0 以上    | 8.0 以上    | 8.5 以上    |
| 流動點 [°C]                |          | -7.5 以下   | -5 以下     | -5 以下     | -5 以下     |
| 全酸價 [mgKOH/g]           |          | 0.2 以下    | 0.2 以下    | 0.2 以下    | 0.2 以下    |
| 防銹性能 <sup>+</sup> (24h) |          | 合 格       | 合 格       | 合 格       | 合 格       |
| 氧化安定度 <sup>++</sup>     |          |           |           |           |           |
| [mgKOH/g]               |          | 1.0 以下    | 1.0 以下    | 1.0 以下    | 1.0 以下    |
| (1000h 後的全酸價)           |          |           |           |           |           |

<sup>+</sup>防銹性能在 1 號及 2 號是用蒸餾水，3 號及 4 號是用人工塩水試驗。

<sup>++</sup>氧化安定度試驗的實施依據當事者雙方的協定。

表 1.4 添加劑的種類與作用

| 名 稱     | 作 用                                                                               |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 粘度指數改善劑 | 爲了在廣大的溫度範圍使用油壓油，其粘度指數愈大愈好，除去基油的芳香族成分，可提高粘度指數，但因原油而有其經濟限度，因而要用由某種高分子聚合體形成的粘度指數改善劑。 |
| 氧化防止劑   | 作動流體氧化的話，粘度增加，形成腐蝕性的氧化生成物，繼續進行的話，會析出不溶性溶渣，或成爲膠體，因而添加氧化防止劑。                        |
| 摩耗防止劑   | 由潤滑部的金屬表面吸着，形成有機極性分子膜，提高潤滑性；溫度上昇會使吸着油膜融解或分解，會失去機能，當使用條件苛刻，用摩耗防止劑仍嫌不夠時，要加極壓劑。      |
| 流動點降低劑  | 油中所含的石蠟分在低溫時會形成結晶，妨礙流動，流動點降低劑可防止結晶成長，在低溫時容易流動。                                    |
| 防銹劑     | 這可防止混入油壓油的水分誘發生銹，防銹劑可牢牢吸着於金屬表面，稠密並列，防止水分透過而接觸金屬表面。                                |
| 消泡劑     | 用來防止起泡                                                                            |

添加劑的名稱與作用如表 1.4 所示。

最近將提高耐摩耗性的油壓油稱爲耐摩耗性油壓油；精製度高而充分脫蠟的石油系油壓油也可用爲飛機用高溫用油壓油（參照表 1.20）。

### b. 難燃性油壓油

耐火性優於石油系油壓油的油壓油稱爲難燃性油壓油（fire-resistant fluid，亦稱難燃性油），一般產業用的難燃性油壓油用於重視火災安全性的用途，當然也可利用其特性而用於防止火災以外的目的；難燃性油壓油有潤滑性差者，與油封材、塗料或他種油壓油的適合性有問題者，需要特別考慮過濾者等，使用時須慎重檢討。

會水型油壓油（water-base hydraulic fluid）的耐火性取決於液中的水；水中油型乳化液（oil-in-water emulsion）是數%水溶性油懸垂於水的液，潤滑性不良，粘度低；油中水型乳化液（water-in-oil emulsion）是極微細的水粒子均勻分散於油中，配加添加劑的液，粘度因組成或製法而異，在 54~215 cSt（37.8°C 時）範圍內，水的比率愈多，粘度愈增，使用溫度最好爲 40~50°C，使用此油的油壓系須避免使用鎂、軟木等。

水・乙二醇溶液（water-glycol hydraulic fluid）乃聚乙二醇、乙二醇、水及添加劑的混合液，有安定的高粘度指數，流動點也低，使用溫

度範圍－20～65°C，應避免使用的材料為鋅、鎢、鎂，也不能用普通的塗料。

合成型油壓油（synthetic hydraulic fluid）的耐火性也取決於基劑的化學性質，一般產業用是用磷酸酯（phosphate ester）和氯化碳氫（chlorinated hydrocarbon）；不含添加劑的合成型油壓油的粘度指數小，若非由低粘度基劑作成，就不適於低溫使用，比石油系油壓油更不適於低溫使用，若不添加粘度指數增高劑，則粘度很安定，不會因剪斷而降低，潤滑性乃難燃性油壓油中最佳者，須避免使用的材料是普通的橡膠和塗料。

### 1.1.3 各種油壓油的比較

表 1.5 為各種油壓油性質的簡單比較。

表 1.5 各種油壓油的性質（1 表示最佳、5 表示不能使用）

| 名 稱                | 水・乙<br>二醇   | 油中水<br>乳化液 | 水中油<br>乳化液 | 氯 化<br>碳氫 | 磷 酸<br>酯 | 磷酸酯+氯化碳氫            |        | 石 油 系 |
|--------------------|-------------|------------|------------|-----------|----------|---------------------|--------|-------|
|                    |             |            |            |           |          | 加 VI 劑 <sup>+</sup> | 無 VI 劑 |       |
| 低溫流動性              | 1～2         | 3          | 4          | 4         | 3        | 1～2                 | 3～4    | 1～2   |
| 粘度安定性              | 1           | 2          | 1          | 1         | 1        | 4                   | 1      | 1～3   |
| 泵 輪葉               | 2           | 2          | 5          | 1～2       | 1～2      | 2                   | 1～2    | 1     |
| 摩 活 塞              | 2           | 2          | 3          | 1～2       | 1～2      | 1～2                 | 1～2    | 1     |
| 耗 斜板型              | 4           | 3          | 5          | 1～2       | 1～2      | 2                   | 1～2    | 1     |
| 防 斜軸型              | 4           | 2          | 5          | 1～2       | 1～2      | 2                   | 1～2    | 1     |
| 止 齒 輪              | 4           | 1          | 3          | 1～2       | 1～2      | 1～2                 | 1 2    | 1     |
| 性 雙轉子型             | 1           | 1          | 1          | 1～2       | 1～2      | 1                   | 1～2    | 1     |
| 往復動                |             |            |            |           |          |                     |        |       |
| 氧化安定性              | 2           | 2          | 2          | 1～2       | 1～2      | 2～3                 | 1～2    | 1     |
| 抗分離性               | 1           | 3          | 3          | 1         | 1        | 1                   | 1      | 1     |
| 防銹、防蝕性（液體）         | 2           | 2          | 2～3        | 1～2       | 1～2      | 1～2                 | 1～2    | 1～2   |
| 防銹性（蒸汽）            | 3           | 2～4        | 4          | 4         | 4        | 4                   | 4      | 4     |
| 耐火性                | 2           | 2～3        | 1          | 1         | 1        | 2                   | 1      | 5     |
| 價格<br>（以高級石油系為100） | 225～<br>300 | 100        | 20         | 450       | 510      | 535                 | 510    | 100   |

<sup>+</sup> 粘度指數增高劑

## 1.2 比重、密度、比重量

### 1.2.1 定 義

物質單位體積的質量稱為密度（density），單位體積的重量稱為比重