

石油炼制工程

W·L·納尔遜著

石油工业出版社

石油煉制工程

W·L·納尔遜著

左 鹿 筌譯

石油工业出版社

內 容 提 要

本書系根据原文第三版譯出，与原文第一、二版比較，在內容上有重大的修改与增补。

原書在美国是一本很有名的書，深受欢迎。全書共二十五章，我們選擇了其中十八章出版，刪去了一般化的在已出書籍中都有的內容（共七章）。

本書介紹了石油煉制中的物理化学理論，美国石油加工工業中的流程、加工方法和操作条件和設備的設計計算等等。特别是主要設備的計算，講得簡要明确，极有参考价值。

本書的特点是圖表多，数据多。文內附有众多的例題，对讀者进一步掌握內容，极有帮助。

本書对石油加工方面的工程技術人員和石油院校的師生而言，极有参考价值；对于化学工業方面的工程技術人員及高等院校化工系師生，亦可作參考資料。

W.L.NELSON

PETROLEUM REFINERY

ENGINEERING

根据麥克格勞-希爾圖書公司(McGRAW-HILL BOOK COMPANY, INC.)

1949年紐約，倫敦，多倫多增訂第3版翻譯

統一書号：15037·379

石 油 煉 制 工 程

左 鹿 篋譯

石油工業出版社出版（地址：北京六鋪炕石油工業部內）

北京市書刊出版營業許可證出字第068號

石油工業出版社印刷廠印刷 新华書店發行

850×1168 $\frac{1}{2}$ 開本 * 印張19 $\frac{1}{6}$ * 425千字 * 印1—2,000册

1958年9月北京第1版第1次印刷

定價(10)3.00元

譯者的話

這本書是 1952 年譯成的，以後因工作上的調動，於 1956 年底才着手修改出版。

對於原文的專門名詞，主要是參考下列資料而譯出的：

- 1) 煉油工程中英名詞。1952, 6, 石油管理总局。
- 2) 採油工程中英名詞。1951, 12, 石油管理总局。
- 3) 鐵道與公路工程名詞。1956, 9, 科學出版社。
- 4) 化學化工術語。1955, 1, 中國科學院。

至於原書中有些名詞，在書中用的很多，而這些名詞過長，並且它們的簡寫名詞，已在普遍應用，為了節省篇幅，譯文中仍用原簡寫字，例如：

1) A.S.T.M. 原文為 American Society of Testing Material, 詳細的譯名為美國材料試驗協會，現仍用 A.S.T.M.。

2) S.A.E. 原文為 Society of Automotive Engineer, 詳細的譯名為汽車工程學會，現仍用 S.A.E.。

3) C.F.R. 原文為 Cooperative Fuel Research, 詳細的譯名為燃料聯合研究所，現仍用 C.F.R.。

4) B. t. u. 原文為 British Thermal Unit, 詳細的譯名為英熱單位，即一磅的液體升高華氏 1 度所需的热量，現仍用 B. t. u.。

至於有些原文，為了習慣上的關係，同一個字在不同的地方，可能有兩種不同的譯法，例如真空泵，減壓塔，原文的第一個字都是 Vacuum, 譯文中就譯成兩種不同的名詞。

原書第一及第二章敘述化學工程和石油工程的關係和石油工業的發展情況，內容比較片面，特別在第二章中，有些地方對美國的成就估計過高，而對蘇聯的成就卻很少提到。考慮到對讀者的幫助不大，所以未將它們譯出。原書第三、四、五、六、十四

等章談石油的組成及一般的物理化学性質以及流体力学的基本知識，考虑到这方面的材料較一般化，在已出的有关書籍中都有敘述，故亦未譯出。在这几章里与以后各章有关的圖表，均已編在本書附录內，以備讀者查閱。

原書有很多的参考文献，考虑到这些文献的年代較老，內容較旧，亦不易找到，而所佔的篇幅却很多，所以也將它們刪去了。

由於原書牽扯的面比較广，譯者的業務能力有限，譯文中一定有很多譯得不妥或甚至譯錯的地方，尚希讀者随时指正！

1957年6月北京

目 录

譯者的話

| | | |
|---------|------------|-----|
| 第 一 章 | 煉制过程的介紹 | 1 |
| 第 二 章 | 煉厂設備的腐蝕及金屬 | 9 |
| 第 三 章 | 煉制及蒸餾过程 | 25 |
| 第 四 章 | 輔助过程及操作 | 60 |
| 第 五 章 | 常用的化学精制法 | 69 |
| 第 六 章 | 溶剂精制或抽提方法 | 113 |
| 第 七 章 | 脫蜡 | 133 |
| 第 八 章 | 燃燒 | 153 |
| 第 九 章 | 汽化与冷凝 | 172 |
| 第 十 章 | 分餾及分餾塔 | 207 |
| 第 十 一 章 | 傳热及換热器 | 263 |
| 第 十 二 章 | 管式爐 | 316 |
| 第 十 三 章 | 热裂化及热分解过程 | 357 |
| 第 十 四 章 | 烴类的重建 | 411 |
| 第 十 五 章 | 催化裂化 | 454 |
| 第 十 六 章 | 天然气及天然汽油 | 493 |
| 第 十 七 章 | 設計的經濟性 | 535 |
| 第 十 八 章 | 設計的典型計算 | 541 |
| 附 录 | | 559 |

第一章 煉制过程的介紹

因为原油彼此之間的差別很大，所以煉制过程的方法也就不同。我們可以有把握地講，沒有两个工厂，是採用完全相同的煉制过程的。對於某种油的最好处理方法，對於其他的油也未必适合。石油的煉制，自然也是个經濟問題：（1）原料本身的价值及其接受加工的性能怎样？（2）产品的价值，以及銷售的可能性如何？（3）产品的所希望的产率如何？（4）精煉这种油料的費用如何？这些因素就可以促使使用很多种不同的煉制計劃。

煉制产品 今列举一些較重要的煉制产品，这有助於了解为什么要採用許多不同的加工方法。

1. 天然气及煉厂气：家庭及工業用燃料。
2. 汽油：內燃机用燃料。
3. 石腦油及苯：清潔用溶剂，油漆稀釋剂，化学溶剂，以及作为發动机燃料摻和用的油料。
4. 煤油：家庭灯用油。
5. 鑛出油，柴油，及瓦斯油：工業及家庭爐用燃料，气体制造的增濃剂，煙气的吸收剂，柴油机燃料。
6. 中性油：輕質或低粘度潤滑油油料，用作車用机油及輕質机械油的調和油。
7. 光亮油料：用为調和車用机油的重質或高粘度潤滑油。
8. 汽缸油：未精制的重質油料，直接用为蒸汽机汽缸的潤滑油，或以制造光亮油料，本油常常是經過滤过的，但未經脫蜡。
9. 石蜡 (Paraffin wax)：可用以制造蜡紙，絕緣材料，以及包裝固封用等。
10. 石蜡脂(微結晶石蜡)：为調和潤滑脂，藥膏及油膏的基本物質。
11. 燃料油(殘余产品)：工業用燃料。
12. 焦油及瀝青：用为瀝青，鋪路油，屋頂材料以及护面物質。
13. 石油焦：工業用固体燃料。

一般过程 分离石油产品的最重要方法是蒸餾，所以产品須用沸点范围的次序来彼此比較。混合基油的产品如圖 1 所示。圖 2 同样是表明原料，中間煉制油料及最后精制市售产品之間的关系。虛綫是表明由裂化所得的产品。由蒸餾所得的产品称为“粗产品”，大部分須再經精制后，方可出售。

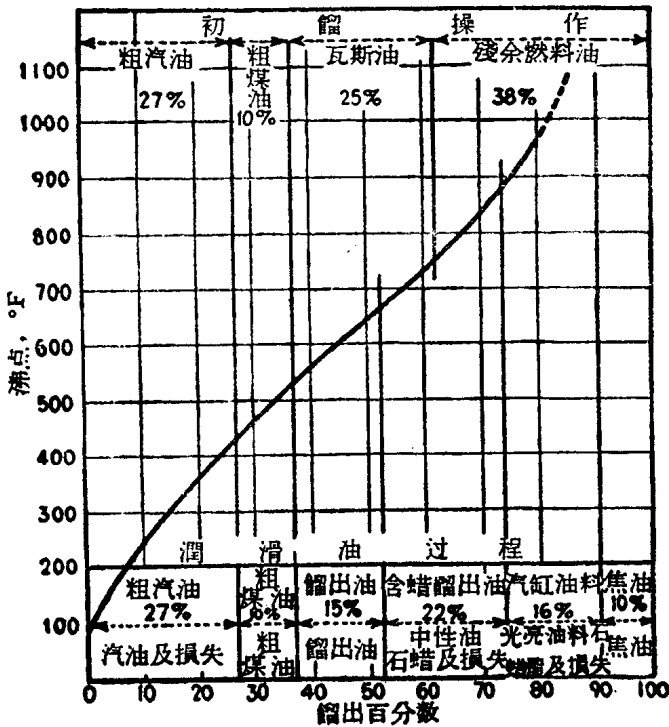


圖 1 煉制产品的沸点范围 (31.7A.P.I. ①) 的德克薩斯混合基原油)

粗汽油及粗石腦油常用化学藥品如苛性鈉、次氯酸鈉或博士溶液 (doctor solution) 精制。煤油一般只需脫硫，不过为了得到很好的顏色，也須用酸精制或過濾。柴油，餾出油燃料，瓦斯油

① A. P. I. 与比重的关系: $d = \frac{141.6}{131.5 + A.P.I.}$ 編者

原料 ——— 中間產品 ——— 市售成品

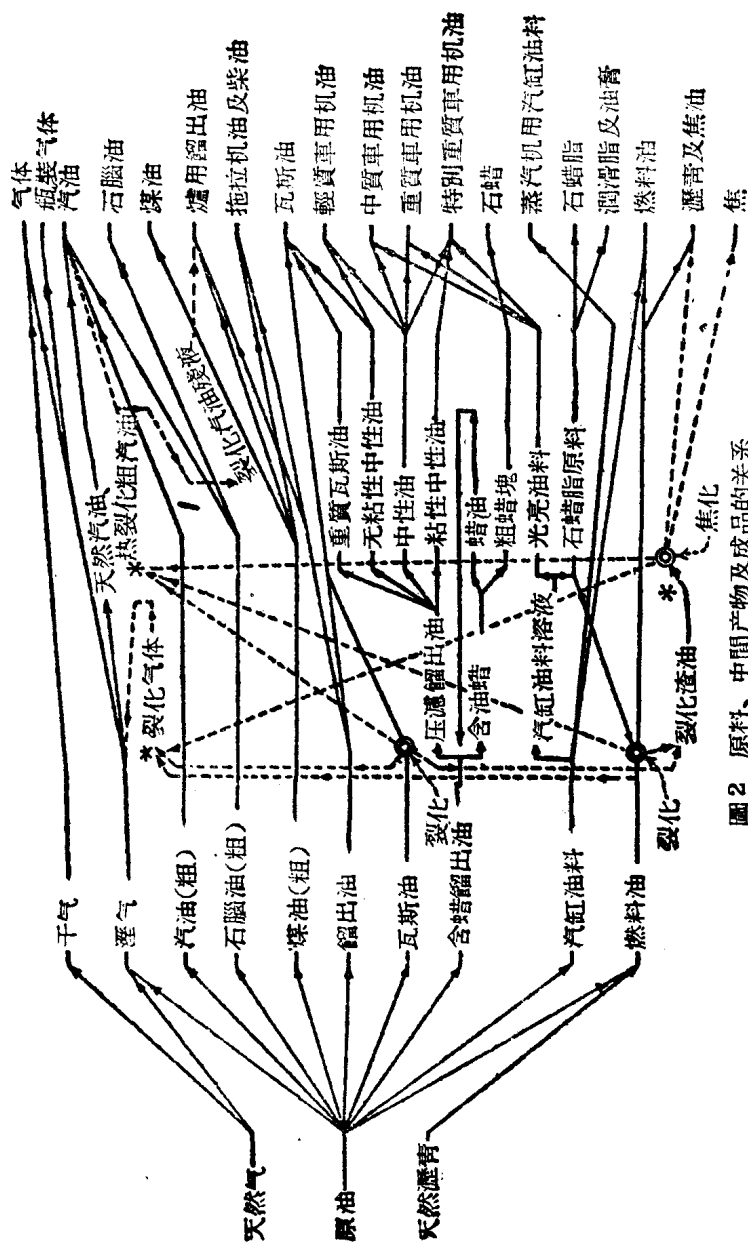


圖 2 原料、中間產物及成品的關係

及殘余燃料油一般不必精制而出售，熱裂化粗汽油（由裂化或熱分解（圖 2）而制得的汽油）可在汽相中用富士土精制，或是加入結膠抑止劑。從天然氣體中所得到的天然汽油，一般只需要脫硫以除去硫化氫。

含蜡餾出油是製造輕質潤滑油或中性調和油的原料，它含有結晶蜡。至於這種結晶蜡，如將餾出油冷凍並且在壓濾機上過濾，就可以從油中濾出。在過濾過程中，可以得到兩種未精制的油料，即含油蜡及壓濾餾出油。壓濾餾出油經蒸餾並繼而經富士土過濾後，就可得到中性油^①。含油蜡經發汗，換句話說，即將冷凍的含油蜡慢慢加熱，以使油及低熔點物質（二者一起叫做蜡油）熔化並從含油蜡中流出來。所剩的就是粗蜡塊。粗蜡塊為淺黃色，這種色經酸或苛性鹼或將溶化蜡用白土過濾，就可脫去。汽缸油料是另一種含有石蜡的產品，不過其中的蜡，是不能用脫蜡壓濾機從油中過濾出來的。這種所謂非結晶形蜡，或石蜡脂油料，可以將油溶於石腦油中，然後將溶液在富士土中過濾，以使溶液達到適當顏色，然後將冷凍液用高速離心機分開，分離的產品為光亮油料溶液及石蜡脂。石腦油可用蒸餾方法從溶液中分出。遺留的是制好的光亮油料及石蜡脂。

自 1935 年以來，上述脫蜡方法，已被利用溶劑脫蜡法所代替，如用甲乙酮以脫去含蜡餾出油及汽缸油料兩者之中的蜡。同樣，潤滑油（輕質或重質）可以用糠醛、酚等精制，以除去低粘度指數部分。圖 57 可用以表明本章中所概述的一般過程與溶劑精制的關係。

裂化蒸餾 諸如裂煉爐氣體，熱裂化粗汽油，裂化瓦斯油以及壓力煉爐焦油等物質，都是裂化產品。所謂裂化，系指重質

^① 中性油常指淺色油或紅油。過去曾經想到，將一部分含蜡餾出油裂化，以產生可壓濾的物質，而從裂化餾出油所得的中性油，呈深紅色，謂之“紅油”。這種名詞現在已經失去原來的意義，並且“紅油”常常是指比國家石油學會 3 號顏色還深的任何中性油。

或高沸点油类受热而起的分解。大約在溫度 680°F 以上，物質例如瓦斯油，燃料油及焦油等就起分解而成为(1)气体，(2)揮發性物質(热裂化粗汽油)，其沸点范围与汽油相同，(3)重質殘留物(裂化渣油)及裂化焦；热裂化粗汽油一詞，是因为裂化設備常是处在高压下的緣故。从热裂化粗汽油取得的裂化汽油的价值很高，因为它是高抗爆性發动机燃料的成分。同样如若殘油未最終煉成焦，就叫做“压力煉爐焦油”。

循环油料或裂化瓦斯油，为以上兩种产品的中間物，也是在裂化时生成的。循环油料的沸点程及物理性質是与瓦斯油相似的。这种物質一般是在裂化系統中往复循环的，直至完全成为汽油为止，不过有时一部分也作为餾出油或瓦斯油而出售。

自 1941 年来，催化裂化与热裂化一样，已被广泛应用了。它与热裂化的不同处，主要是应用了吸附型的催化剂，这种催化剂能够把裂化的瀝青狀或焦油狀产品，变成焦炭狀而吸附於催化剂的表面上。可是加料只能利用餾出的油料，圖 177 指出了催化裂化与这兒所討論的过程的关系。

結論 总之，石油的煉制是按照本章概述的情形进行的。不过，原油性質的差別是很大的，有些是不生产所有上項产品，或是某些产品的含量很少，以致煉制这些产品是不合算的。同时有些油原来的品質就比别的油为好，不必需要上述最后精制手續，可是有些則需要更强烈的化学精制。再者每一个煉制者所遇到的特殊市場情况，也是控制煉制过程深度的重要因素！有些地方習慣了使用無色汽油，有些又需要白色汽油，甚至还有人却要用染色汽油(这是加入了有色物質，以掩飾汽油的黃色，並且簡化精制手續)。同时在有些农村中消費者不买淺色發动机燃料，因为他们怕淺色油不粘，可是在城市中，則以为深色油是沒有經過良好精制的。

总之，石蜡基粗产品，是最容易精制的，其次为混合基油，然后就是环烷基油，这适用于例如汽油的輕質餾分油，也适用于

重質潤滑油。很多的环烷基油，較混合基油含有更多的硫，而石蜡基油則含硫很少。石蜡基及混合基原油，含有很麻煩的石蜡。真正环烷基油不含蜡时，可以簡化潤滑油的制造。

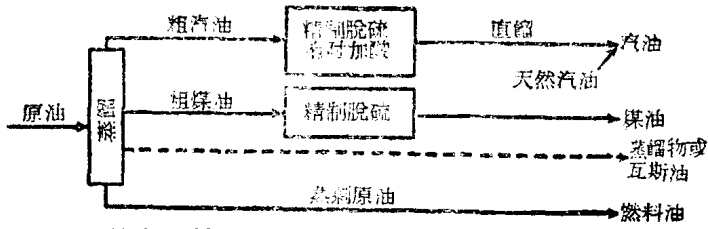
根据以上所述的性質，就可以決定不同基油所用的加工方法以及所制得的产品。石蜡基油特別適合於制造潤滑油，不过从中所产的汽油却在近代化汽車發动机中震击得很厉害。混合基油也可以生产潤滑油，不过却常常需要酸或溶剂精制，因之生产費用甚高。煉制混合基油及环烷基油时，特別适於利用減压蒸餾或用液体丙烷沉淀瀝青，因为大多数的瀝青或焦狀物質可剩为殘渣，因此提淨了的潤滑油料的精制，就比含瀝青的油料的精制价廉了；环烷基油能生产优良的瀝青，並且一般其生产量大，因而这可証明这种制造是合理的。环烷基原油生产的汽油，常常有很高抗震性，並且常常可直接作为优等發动机燃料出售。环烷基及混合基的大量殘余燃料油及瓦斯油是出售的，不过將汽油及煤油初餾以后的大部分殘余燃料油，是拿去裂化的。利用裂化，可以將汽油的总产率提高，簡單的初餾大約可得30%，而初餾及裂化則可得70%。

下面的一般类型的过程，可以这样下定义：

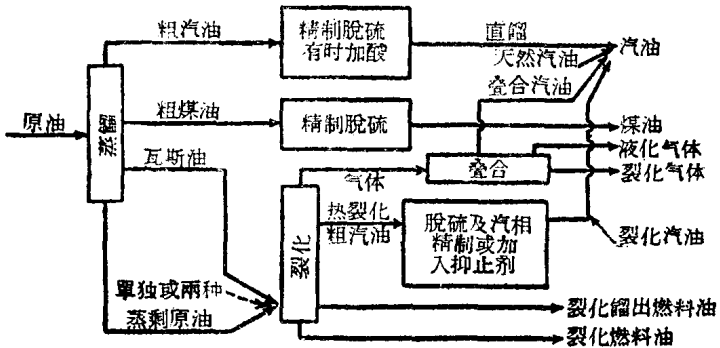
初餾过程 即用簡單的蒸餾，將原油分为汽油、煤油、燃料油、或蒸剩原油，有时並有瓦斯油。對於各种原油可以实行某些形式的初餾（圖3(1)）。

裂化过程 这种过程經常是指初餾与裂化的联合操作。不过这种类型的操作是不产生潤滑油的，各种基的原油都可以裂化，不过石蜡基原油的殘余油料，用於裂化是很好的（圖3(2)）。催化裂化与圖3(2)的主要区别，是不产生殘余燃料油。

潤滑油过程 初餾过程以及潤滑油的制造，就是指这种类型的过程。不过不进行裂化。石蜡基原油常常是用以制造潤滑油的，混合基油也常常是用这种过程，可是环烷基油除非在特別有利的情況下，一般是不生产潤滑油的（圖3(3)）。



(1) 初馏过程



(2) 裂化过程

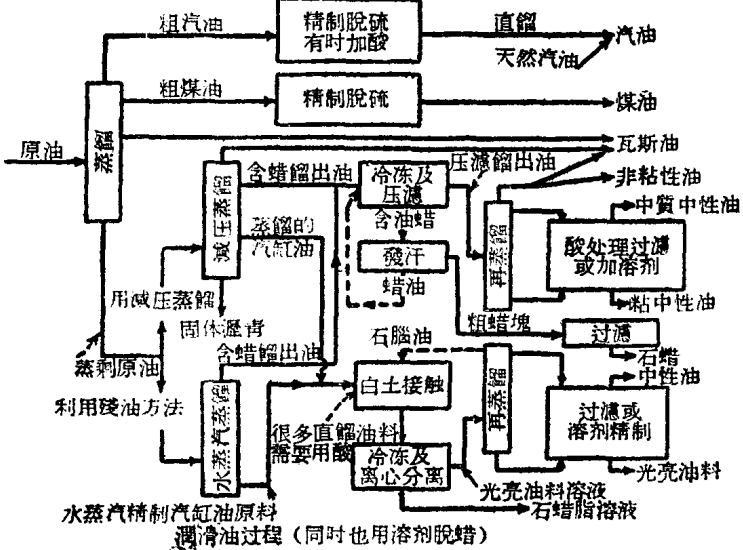


圖3 煉制过程的类型

完全过程 大多数的炼厂是同时採用初餾、裂化、及潤滑油製造等过程的。这种操作称为完全过程。

本章所概述的物質及方法，組成了最重要的部分。很多在市場上所見到的产品，是將这些油料調和在一起，以适合特殊工業的需要。例如各种品質的車用机油及机械油，是將不同量及不同品質的中性油及光亮油料調和做成的，非常重質的航空机油等，主要是由光亮油料組成的，縫紉机油主要是由不粘的中性油組成的。这种过程操作的詳細情形以及过程的設備，会在第三章至七章以及十三至十六章中詳細討論。

第二章 煉厂設備的腐蝕及金屬

所有的煉厂，都因为腐蝕而受到很大的損失，有些煉厂由於煉制經過挑選的油，而可以沒有硫化物及酸的腐蝕，但是仍可遭受土地腐蝕、大氣氧化以及高溫氧化的腐蝕問題。1928年美國整個石油工業的腐蝕損失達到約135,000,000美元，單在煉制方面就達到了50,000,000美元。這就等於每消耗一加侖汽油，要課1分錢的稅。除了化學分析以外，尚發展了測定煉制油料腐蝕性的實驗方法^①。

硫化物腐蝕 硫化氫常常可以在天然氣體中找到，或常常溶於原油中，此外，有機硫化化合物在高溫時分解，也可以產生硫化氫。硫化氫可以迅速地腐蝕暴露於其中的鋼。煉油設備遭受這種腐蝕的，有貯罐及氣體管綫；並且在400°F以上時，尚有管式爐的管子、蒸發塔及分餾塔。在650到700°F時，硫化氫的放出是很劇烈的，但是在900°F以上時，放出的速率就降低了。有水蒸氣存在時，能助長硫化氫的作用，而且氣體混合物中氧的濃度，對硫化氫之腐蝕作用，也是非常重要的。

在煉制含硫原油時，是用以下的鉻鋼：

| 溫度 | 管綫及零件(Cr%) | 價值很貴的設備(Cr%) |
|-------------|------------|--------------|
| 直到450—550°F | 無 | 5 |
| 450—800°F | 5—8 | 7—12 |
| 700—900°F | 7—12 | 12—18 |
| 900—1000°F | 5—8 | 12—18 |

① Laboratory Control of the Corrosion of Distillation Equipment and of De-salting Processes, "Oil Gas J." 雜誌，1938年5月26日；Nelson, W. L., "Oil Gas J." 雜誌，1945年3月，87頁。

至於設備的價值貴，主要是由於人工費用以及設計複雜的關係，因此含鉻較高的金屬，可適用於容器內襯，泡罩及塔盤，离心泵，泵的內襯，耐摩環，泵的活塞桿，容器联接，管式爐的迴弯頭等。從鉻鋼的相對價格及保護性看，它的使用是合理的。

| 鉻 的 % | 相對保護性 | 相對價格 |
|-------|---------|---------|
| 0 | 1.0 | 1.0 |
| 5 | 2.5—3.5 | 3.0—3.5 |
| 7 | 4.0—6.0 | 3.7—4.0 |
| 9 | 5.3—9.0 | 4.2—5.3 |
| 18 | 14 以上 | 11—15 |

含硫油的腐蝕性，並不與它的硫含量成正比。例如曾經報導：含硫 2% 的原油，所產生的硫腐蝕的麻煩很小，可是有些含硫 0.7% 以下的原油，在六個月以內，就將蒸餾設備損壞了。再舉一個例子：美國市售汽油的硫含量，是限制在 0.1% 以下，可是德國出售的燃料，可以含有高達 1.5% 的硫，並且沒有報導過有機器被嚴重腐蝕的現象。

鉻鋼是能夠承受硫腐蝕的標準物質，含約 1% 的鉻時，鉻鋼的抗腐蝕能力就很顯著，但是在大多情形下，是不用 5% 以上的鉻的。各種鋼被硫化物腐蝕的滲入速率，已列於表 1 中。高鉻鋼（13% 以上），特別是在高溫下應用時，是趨向於喪失延性的，因之把鎳與鉻一起加入，以避免喪失延性。至於銅基合金的抗腐蝕能力，則可在表 2（16 頁）中見到。

為了抵抗硫化物的腐蝕，廣泛使用能起中和作用的化學劑，特別是用石灰。氨的效果尚沒有完全明了，不過苛性鈉是可以結成很麻煩的垢殼，或是在管子及蒸發器表面結塊。

二 硫原油的煉制 圖 4 流程中能產生腐蝕作用的地方，已用字母作了記號，這些字母就是以下討論的各段起首字母。

A. 中毒危險 硫化氫是最有毒的氣體之一，空氣中有 0.1% 時，人就可以在 30 分鐘以內中毒死亡，較低的 % 含量也是很危

抗硫腐蝕的能力 表 1

| 鋼 | 相对渗入深度 (碳鋼的渗入深度定为 100) |
|----------------------------|---------------------------|
| 平碳鋼 | 100 |
| 鉬碳鋼 (0.5 Mo) | 61 |
| 錳鉬鋼 (1.3 Mn—0.3 Mo) | 48 |
| 1%鉻鋼 | 58 |
| 1.25%鉻鋼 (0.5 Mo—0.75 Si) ① | 62 |
| 2%鉻鋼 | 47 |
| 4%鉻鋼 | 36 |
| 5%鉻鋼 | 33 |
| 6%鉻鋼 | 29 |
| 9%鉻鋼 | 23 |
| 13%鉻鋼 | 18 |

① 市名 DM 鋼。

險的，所以在一些危險地方，例如在陰溝出口及油罐出口，必須標有危險記号。硫化氫是一種重質氣體，所以趨向於集聚在地面的低下處。

B. 火災 新生成的硫化物腐蝕的垢皮，當暴露在空氣中時，能夠自行起火。最困難的是換熱器管束以及石腦油中間罐的垢皮。在不用的時候，管綫及容器必須用水沖洗，並且在設備打開以前，須讓水裝滿。管束取出時必須用水噴，所有結垢的表面，必須用水保持潤濕，脫落的垢皮也須保持潤濕直至埋入地中為止。

C. 消除硫化氫氣體 事先消除硫化氫氣體，可以減低危險，這可以送入鍋爐下燒掉，可以將送入的原油穩定，以及將直餾產品用苛性鈉洗滌。

D. 脫鹽 脫鹽是特別重要的，因為硫化物及鹽酸聯合造成的腐蝕，是特別麻煩的。將原油中的鹽含量減低到每 1000 桶原油內只有 10—15 磅時，則可大大地減低硫化氫腐蝕。沉降器可以用甘納斯特火泥襯內 (Ganister lining)，在進入沉降器以前，噴入苛性鹼以使 pH 為 8—9，可以抵抗腐蝕並有助於沉降。