

潤滑脂的制造和应用

上 册

C. J. 波 納 尔 著

中 国 工 业 出 版 社

潤滑脂的制造和应用

上 册

C. J. 波納尔 著

王世芳 陈紹澧 译

中国工业出版社

本书較詳細地介紹了潤滑脂的一般理論及主要类型潤滑脂的制造过程。全书分上、下两册出版。上册共包括十章。前六章介紹了潤滑脂的结构、添加剂的应用和性质、原料的性质和挑选以及典型生产流程等。后四章詳述各种皂基和非皂基潤滑脂的性质、配方和制造方法。本书的特点是內容丰富，叙述全面而实用。

本书对炼油厂和油脂厂的工程技術人員、有关科学研究人員、高等学校师生及用油单位都有較大参考价值。

C. J. BONER
MANUFACTURE AND APPLICATION
OF LUBRICATING GREASES
Reinhold Publishing Corporation

* * *

潤滑脂的制造和应用

上 册

王世芳 陈紹澄譯

*

中国工业出版社出版（北京伟鵬閣路丙10。）

（北京市書刊出版事業許可証出字第110号）

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ · 印张 $147/8$ · 字数 374,000

1962年3月北京第一版·1962年3月北京第一次印刷

印数 0001—1,920 · 定价 (10—7) 2 45 元

*

統一書号 15165 · 50 (石油—15)

目 录

第一章	緒論	1
第二章	潤滑脂的結構及理論	6
第三章	潤滑脂添加劑	66
第四章	原料	115
第五章	生產流程	183
第六章	潤滑脂的製造設備	231
第七章	鋁基潤滑脂	285
第八章	鋇基潤滑脂	325
第九章	鈣基潤滑脂	343
第十章	鋰基潤滑脂	412

第一章 緒 論

1:1 范 囑

根据潤滑脂制造的进展,考虑到潤滑脂定义的修改。当前潤滑脂的定义〔2〕是:“潤滑脂是适用于某些类型潤滑的、由石油产品及一种皂或多种皂的混合物制成的、含有或不含有填充剂的半固体或固体”。現在的建議如下:“潤滑脂是一种在液体潤滑剂中加入稠化剂而制成的固体或半流体的潤滑剂,还可以含有能賦与特定性質的其他組分”。

也許M.J.沃尔德和R.D.沃尔德〔10〕的解释更实际一些,他們的解释是:“脂是一种潤滑剂,它被稠化是为了在移动表面保持接触和不因重力或离心力而流失,或在压力下被挤出。因此,主要的問題是潤滑脂应具有稳定的結構,这个結構不受在使用中的剪切作用和环境温度的影响。同时脂必須能够通过脂鎗流到軸承中和在所需潤滑的机器的摩擦部位,以及它本身不应显著的增加机器运轉所需的馬力,特别是在机器启动时。流变性的要求是主要的”。

作者在本書中所介紹的产品企图尽量符合上述定义,但偶尔也会与定义有些出入。本書也敘述了固体潤滑剂及某些石油釜残物的使用。防銹油料、液体潤滑剂及齒輪油則將計劃在另一本書內予以論述。

本書將不討論1937年以前的文献(因为在1937年已有一本潤滑脂专著出版),但是还提及同以后工作有关的一些文献。1937年以后的参考文献已經足夠代表本文各題目的現狀和发展情况。

潤滑脂是上面所談的产品的名称，不应与称为軟脂的脂肪物質相混淆。

1:2 潤滑脂对各門工业的貢獻

潤滑脂在我們經濟上所具有的重要性，就是这种产品曾經在整个国民經济的各个部門生产和建設中所作的貢獻是很大的。例如农业方面，在我們中間大部份人还不会忘記从前在农場上使用是装有滑动軸承的慢吞吞的馬拉农具，而現在所使用的几乎普遍地是配备着抗磨軸承（滚动軸承）的快速工具。在农业上現在能够比三十或四十年前生产多几倍的农产品，其原因之一就是使用了这些农业机器。例如，近代化的农业設備的耕种或收割效率約相当于过去的5倍。可是沒有潤滑脂，这些农业机械的运转几乎是不可能的。

潤滑脂在美国铁路運輸上的应用不断增加。虽然潤滑脂在蒸汽機車中的若干部分已使用了很多年，但只是在滚动部件上抗磨軸承被广泛采用以后，才使潤滑脂成为铁道運輸的重要潤滑剂。

罗克維尔〔9〕总结了潤滑脂对铁路的价值如下：“由于铁路運輸近代的发展是趋于提高速度和增加每日行車里程，以及增加載重量，这就使我們必須經常注意寻找更好的潤滑材料。我們期望是將來只有当車廂进厂或車輪翻工和在貨車上三年一次检修空气制动閥时才对車廂的軸承进行一次潤滑（車輪的翻工一般是在行車40—50万哩之后进行，而潤滑脂的保証使用里程是35万哩）。从装卸費、減低保养費和非生产時間上着眼，以脂来潤滑可得良好的收效。目前潤滑脂已被成功地用于所有类型的铁路車輛上的上千个車軸上，包括蒸汽機車和內燃機車，客車和貨車的。

值得注意的是，在設備如貨車长期閑置时，潤滑脂还可以起防銹作用，而用油作潤滑剂时則有銹蝕。

很明显，如果不是应用了正确的潤滑方法，家庭、农場和工厂就不会有这样普遍的使用机动設備。潤滑脂工业足以自豪的是它对我們的經濟上的重要部份——动力运输——的发展和成长作出了重要的貢獻。

牟基曾經說过〔7〕：“很多汽車企业曾在好几年內推荐用传动装置潤滑油来潤滑車底架，但他們仍然承認特种脂的优点”（特种脂系指杯脂，压力鎗脂，万能接头脂，輪軸承脂，水泵脂，叶片弹簧用石墨脂及其他特种脂如駕駛盘齿輪脂）。“他們所以这样推荐，是因为他們相信在大多数情况下传动装置潤滑油比一般杯脂更理想，杯脂分油后在軸承中就剩下干的皂，而使軸承处于干摩状态下运转。

潤滑脂工业曾一度認識到這個問題，供应了一些車底架潤滑剂，这些潤滑剂具有足夠的安定性，在使用中稠化剂不会从油中分出。在最近几年又推进了一步，发展了一些多用途的潤滑脂，这些脂可用于客車和載重汽車上几乎所有需要潤滑的点上。

潤滑脂工业的成就之一是研究出一种高品質的輪軸承脂。牟基〔7〕对1934年时的情况的描述是很有意思的：“若干年以前相当于3号脂稠度的杯脂普遍地用于前輪軸承，而且若干汽車企业至今仍推荐和繼續使用杯脂。当杀車設備安装到前輪上时，由于一部份潤滑脂漏到杀車鞋的表面，因而遇到故障。若不把脂装满軸承壳及軸承套而只装于輪軸承本身时，故障可以减少，但有些企业感觉最好还是改变潤滑剂的配方。在高速的运输汽車和卡車上的使用經驗說明，实际上沒有一种前輪軸承潤滑剂能长期保証前輪軸承正常运转的。相当軟的适用于冬季的潤滑脂，在高速卡車和大轎車上的高溫条件下，可以从摩擦点挤到杀車部件上。在冷天使用不太軟的潤滑剂，虽然它仍保持在需要潤滑的表面相邻的軸承上，但是会使軸承产生干摩。然而通过經常的检查和机械地把潤滑剂推到軸承接触面上，卡車和大轎車还是可以在重載下成功地长期使用的”。

与上所述情况相反的事实是，目前大多数汽車和卡車，虽然車的速度比几年前更高，但如果司机能依照規定時間进行潤滑，就不会遇到因潤滑脂品質而引起的故障。有很多实例可以說明潤滑脂在汽車上使用的成就。潤滑脂若使用得当，便足以潤滑在高压和震动作用下的輪軸承運轉几千英里。事实上，很多在公路上行駛的重量达35000—45000磅的卡車，有时候行駛十万多英里才換一次輪軸承潤滑脂。

改良的潤滑脂在鋼鐵工業上也作出了很有价值的貢獻。軋鋼機器一般是在高單位荷重及震动負荷下運轉的。在鋼廠為了保持產量必需進行不間斷的操作，因此一般理想的潤滑法常常是不受歡迎的。一位鋼廠的潤滑工程師（普利卡爾〔8〕）對潤滑脂工業提出了下面的意見：“在增加鋼廠的各種單元設備的產量上潤滑脂的作用越來越大。在鋼鐵和鋼製品生產上使用投資相當大的重型機器是不可避免的，因此這些設備的更換和修理必須保持絕對最低限度”。

潤滑脂工業的一個最重要的貢獻也許就是對航空工業特別是軍用飛機設備上的貢獻。艾文和伯利頓〔5〕曾經提出對這些潤滑劑的要求如下：“航空脂在溫度及溫度範圍上的要求可能是最難達到的規格，也就是飛機上的潤滑與地面設備的潤滑所不同的重要因素。飛機和它的設備必須保持最低的重量；這趨向於從降低潤滑脂摩擦阻力所產生的轉矩及升高某些潤滑部份的高溫着手。對任何飛機部件的最基本的要求是它的絕對可靠性。有若干企業已經研究了和生產出滿足這些要求的产品。值得注意的是這些潤滑劑的溫度條件。譬如操縱滑輪軸承經常遇到的低溫是 -65°F ，而它的正常最高運轉溫度却為 175°F 。在起落架及升降翼馬達上相應的溫度是 -65 至 200°F ，而在輪軸承上却為 -65 至 300°F 。

1:3 潤滑脂的作用

同潤滑油比較，潤滑脂的某些優點為：

(1) 潤滑脂不需經常的添加，因此潤滑剂的消耗及保養費用都可降低；不需經常加油，對例如裝在天花板上的馬達、長軸等的潤滑，顯得特別重要。

(2) 潤滑脂可防止塵土進入軸承。同樣它可作為閥門等的填充料，防止物料流失。

(3) 正確使用脂來潤滑的機器，滴油和濺油現象幾乎可以完全避免，這在濺油會污損產品的情況下特別重要。若使用潤滑脂，設備可在垂直的位置正常運轉而不會產生漏油現象。

(4) 以脂潤滑軸承可使封閉費用減少。通常對避免漏油有效的封閉器具有增加摩擦和馬力消耗的缺點。

(5) 潤滑脂長期工作而不換油時，仍能保證一些潤滑作用。事實上特種潤滑脂使得預裝配潤滑剂的軸承有了可能，而且許多這種軸承可保持與機器相同的壽命。

(6) 若潤滑脂使用得當，它對潤滑面的附着性往往比潤滑油要好。所以用潤滑脂來潤滑時，可以減少長期不使用的軸承的銹蝕。

(7) 某些潤滑脂可保證金屬在水裡不腐蝕。

(8) 潤滑脂可以減少軸承的啟動摩擦〔6〕。

(9) 在某些部位上（如齒輪傳動裝置等）潤滑脂可減低噪音及震動。

(10) 潤滑脂通常適於用在苛刻的操作條件下，例如用在高溫、極壓、低速、震動負荷條件下或經常間歇或往復運轉的軸承上。

(11) 在嚴重磨損的機械部件上，潤滑脂幾乎是唯一的潤滑手段。

(12) 大多數潤滑脂的工作溫度範圍要比潤滑油寬。

(13) 包括保養費在內的潤滑脂的價格是合算的。

在設計機器或機械部件時，考慮用脂潤滑是有利的。因為這樣就不需要複雜的油封裝置，可使設計簡單化。

参 考 文 献

1. Adams, Robert C., and Patton, Harrison E., ASTM Proceedings, 41, 1095-1104 (1941).
2. ASTM "Standards on Petroleum Products," p. 156, 1950.
3. Britton, Major S. C., and Schlesinger, Paper National Fuels and Lubricants Meeting SAE, 1944.
4. Hamilton, W. E., *Inst. Spokesman*, , No. 9, 11 (1949).
5. Irwin, E. R., and Britton, S. C., *Inst. Spokesman*, 7, No. 9, 1-7 (1943).
6. Kavanagh, F. W., *Lubrication Engr.*, 1, 100 (1948).
7. Mougey, H. C., Paper, NLGI Annual Meeting, Oct. 1934.
8. Pritchard, C. E., *Inst. Spokesman*, 12, No. 2, 4-11 (1948).
9. Rockwell, H. T., *Inst. Spokesman*, 17, No. 3, 8 (1953).
10. Vold, Marjorie J., and Vold, Robert D., *J. Inst. Petroleum Tech.*, 38, 155-163 (1952).

第二章 潤滑脂的結構及理論

2:1 研究方法

在过去几年內，不少科学工作者和小组对潤滑脂的結構上的知識作出了很大的貢獻，这些知識大部份是从使用电子显微鏡和X光衍射的研究所获得的。除上述工具以外，还有皂及皂-油体系的相研究。在这一章里將把这方面的报导予以总结。

要对潤滑脂的結構和其形成的理論有全面的了解，就必须对体系的組分，制造方法和最終的成品进行了解，在某些方面，这些問題是相互交錯的。

2:2 潤滑脂的組分

潤滑脂的基本組分是皂和礦油，這些皂可以是從動物或植物脂肪或脂肪酸，羊毛脂，松香或石油酸得來的。礦油可含有不同比例的石蠟烴、環烷烴及芳香烴，也含有一些非烴化合物。再者，下列的任一組分或多種組分都可以存在於潤滑脂內：未反應的脂肪、脂肪酸及鹼；不皂化物，包括甘油及脂肪醇、松香或羊毛脂；水及其他添加劑（起改善劑或膠溶劑作用者）。所列的一些物料可能就是不純物，因皂化反應不完全而剩下的，或有意識地加到脂里作穩定用的或改善結構用的。

從上述的事實看到，大多數潤滑脂含有多種組分是十分明顯的。各種成份如脂肪或潤滑油（每樣都含有多種化合物）的使用，在很大程度上是由經濟因素和是否容易獲得來決定的。大多數的試驗結果肯定了這種做法。所剩下的問題就是用理論來解釋為什麼這些組分是合用的，並且用理論來指出改善成品的方向。

非皂基潤滑脂和合成潤滑脂的結構也必須加以研究。

2:3 皂 的 分 散

用來製造潤滑脂的皂，通常是在加熱下把它分散在潤滑油中的。可以用各種改善劑或膠溶劑來作為分散促進劑或改進溫度條件。再者，在製造某些潤滑脂時，要在很溫和的溫度下進行皂化〔37〕。

有人提議過，在很溫和的溫度下以研磨的方法把皂分散到油里〔82〕。用這種分散方法所成的結構，甚至在極高度的分散程度之下，似乎也與晶化所得的結構不同。在一些製備上，如製造非皂基潤滑脂（粘土或顏料類），研磨法是有用的。

有時候在脂里作為稠化劑的皂在製備當中實際上是以溶液狀態存在於潤滑流体中的。發生溶解（即變為溶液）的溫度可以從已有的相圖來預測。M·J. 沃尔德和 R·D. 沃尔德〔109〕對各種皂

在純烴中的性狀作了如下的解釋：皂在油溶劑中的溶解度在一個溫度範圍內迅速增大，這範圍決定於皂和溶劑，但皂比較主要。在所研究過的皂當中，看到一系列的介晶狀（液體結晶），這是在把無溶劑的皂加熱之下看到的。溶解度增大的現象，似乎與其中一種結晶的生成有關。

已經發現硬脂酸鈣在約 120°C 開始溶解，硬脂酸鈉在約 160°C 開始，硬脂酸鋰在約 180°C 開始。在大多數工業皂原料中，有好幾種不同的脂肪酸存在。再者，在潤滑脂中也可以存在或在皂化中生成具有互溶劑作用或改變溶解度的組分。因此，可以預料用來制脂的皂可能比純皂在略低的溫度下溶解於潤滑油中。鋁皂就是一個例子，脂肪酸可以使它的熔點降低。

有些皂-油體系是被加熱到成為勻光液體為止的。在皂的分散問題上，這一點倒並非必須。因此，實際上有不同的制脂方法。例如，鋰皂-油混合物是加熱到成為勻光溶液的；另一方面，也有把同樣的皂-油混合物在體系仍然為非勻光性時的溫度下操作的。

有時在某一工序上把皂分散在溶劑里，而不是潤滑液體內，因為考慮就在這溶劑中進行晶化。當然，這一點是針對在礦油存在下的鈉皂以水為溶劑的情況。可以理解，上述的晶化可以在水的存在下進行，而不必在礦油的分散體中進行，這一點不是常常都對的，它將決定於配方和製造流程。

最後，在較低的溫度下在礦油中成皂，也可以獲得皂-油分散體。脂肪物質在礦油中的濃度和鹼的粒子的粉碎度都影響皂分散體的均勻混合。格里和普丁頓〔37〕描述了用粉碎的氫氧化鈉與硬脂酸在約 60°C 的溫度下進行無水皂化。皂化是在礦油中進行的，皂的最終濃度為10%。這種皂以極短的棒狀纖維分散，它們的大小特別均勻。

由此可見，在皂-油體系上用熱處理來獲得的皂分散體在控制潤滑脂的最終結構上有最大的可能性。

2:4 制造过程：晶化

在稠化剂分散在潤滑流体中之后，剩下的最重要的問題就是控制皂的晶化以获得最理想的結構。晶化时纖維或晶体的生长可以在靜态或动态下进行。在任一情况下，温度的調节都是需要的。在脂中的皂結構的形成和稳定过程，將在討論潤滑脂的生产过程和設備时加以研究。

邦第等[11]指出，在熔融体或溶液中的晶化速度是两个过程即晶核形成和晶体生长的总和；通常晶体生长比晶核形成发生于較高的温度。据說晶体生长是十分慢的，並且比相转变重要得多，因为它决定了最佳的操作条件。

在决定晶体的生长上，添加剂有同等重要的意义（同操作条件比較）；这个問題以后再来論述。

2:5 潤滑脂結構的近代观念

从最初制成的潤滑脂都含有水的观念出发，有些人便得出結論，認為这种体系是被皂所稳定的水在油中的乳化体。当这种观念在很多年前已被大多数研究者所拋棄的时候，奥德等仍認為乳化或乳化体理論不能被忽略[7]。这些人的想法是水和在潤滑脂中所用的胶溶剂無論在物理和化学性質上都不同，因而它的作用也必然是两样的。因为，例如酚、脂肪酸、高級醇等这类化合物，除了有极性基之外，还具有长的油溶性的鏈，这些研究者認為，它們会影响某些烴的溶解度。下面所述的大部分潤滑脂結構理論，似乎是同乳化体理論相矛盾的。

最先把我們現在認為的皂相在潤滑脂中所具有的結構形象化的一个就是阿佛逊[6]（当他在測定这种成品的流动性質的时候），其观念为鈣基脂的性質表示了它含有交錯的可屈节的固体成員的結構，这固体成員在剪断作用下会变形和分开。

后来劳倫斯[64]在脂的結構問題上又前进了一步，虽然他所

提出的某些規律沒有被以后的工作所支持，但却具有与以后某些論点有某些相同的地方。他認為皂-油体系可能存在的一种形态是油与晶体皂的糊。在較高皂浓度下，这种糊是有足够的固性以表现出弹性固体的特征。

2:6 除晶体外之其他皂形态

法灵頓和台維斯[31]以及格里等[43]以光学显微镜观察潤滑脂，发现潤滑脂具有纖維結構。大家都同意潤滑脂是胶体体系，因而剩下的問題是这种纖維是否为最小的結構架，除了纖維以外还有没有其他形态的皂能形成結構。史密斯[97]作了相的研究，企图对皂在矿油中起稠化作用进行解释。这位研究者感觉：物理化学家們的一般定义对描述有关胶体性状的变化上是不夠充分的，例如从溶胶到明胶或从触变到变稠的相同成分的体系沒有相变化的轉变上，和同等重要的那些包括或不包括相变化的明显的轉变上。硬脂酸鈉和硬便形成这类的胶体体系，因此就必須列举出和明确所发生的主要特征形态。

因此，他确定了下列三种形态：

“凝胶是包括比較零碎的或接連的晶体皂相的两相体系，另一相可以是液体結晶，明胶或溶胶。各种凝胶的外观可以是很不同的，决定于晶体皂是緊密的或是分散的，是相粘着的或非粘着的，以及所有中間阶段状态。凝胶通常是白色或乳浊的，但也可以是半透明的，也有时候在适当折光指数的配合下，两相凝胶可表现为透明的。有时凝胶是透明的，因为其晶相是超显微般細的。晶态相是常常可以用X-射綫来辨認的。用相同材料制的凝胶不一定是同样安定的，因为这决定于如固体晶态和它的細小程度及溶剂化状态这一类的因素。

“液体結晶溶液是一个单一相，它是双折射和非匀光性的，它因定向和浓度不同而可以是透明至半乳浊状。通常它是略有弹性的和可塑性的，在少量下不因重力而流动。X-射綫分析指出

它是一維、二維或三維定向的，其X-射綫圖與晶態固體不太相同。

“溶膠或明膠與一般所認為的溶膠和明膠相似，是一個單相體系，這體系因濃度和溫度不同而自完全流体狀至典型明膠的流變狀是漸變的。這種體系是均光的彈性的，觸變的和透明的”。

根據相研究，史密斯[97]總結出一種烴可以被上述三種中任何一種形態所稠化，最有效的狀態是以膠體膠團和次級膠體聚結狀的皂的均勻分散下所形成的明膠相。皂的凝膠態表現有限的膨化和好像液體結晶狀一樣（液體結晶態的稠化烴的能力比凝膠大）可以與過量的游離溶劑在平衡下存在。再者，史密斯指出，明膠態可能由於過冷或皂的不完全原始分散，而與其他形態共同存在。由於皂-油體系的凝膠態並非是潤滑脂的主要構成體態，因此我們沒有必要來折衷勞倫斯[63]的凝膠為單相體系和史密斯[97]的凝膠為二相體系的說法。

除却上面所述的，明膠態是潤滑脂的主導體系這一點還沒有被証實。從X-射綫研究和熱分析，沃尔德等[106]得出結論：“還沒有找到任何事實以指出工業潤滑脂在室溫時是皂晶體在油中的機械分散體以外的任何體系。用上述的技術是不可能測探出較少量非晶態或介晶態的皂的，但這些皂態是可以存在的（除晶體皂之外）”。

2:7 在皂纖維中分子的地位

在潤滑脂中晶體聚結體被眾多的研究者以電子顯微鏡方法予以觀察[10][17][29][30]，發現了脂中含有各種長度的纖維，圖2—1至2—8是所獲得的一些顯微圖片。對各種特定類型脂的纖維結構將於下面作進一步的引述，現在先來考慮在晶體或纖維中分子的位置。

馬頓等[68]觀察了類似在潤滑脂中的結構的水系溶液中之月桂酸鈉晶體，他們的解釋是組成這些纖維的分子並不是又長又薄

的，因为月桂酸鈉的长度只是其宽度的3倍，而硬脂酸鈉也只是5倍。这些皂纖維並不是这些分子头接尾巴般的組成的，而是以羧基端相連或双行的皂分子所組成的。这些研究者認為，月桂酸鈉的单个纖維應該具有 $37\text{\AA}$ 的闊度。从測定很多的纖維的闊度上（以电子显微鏡測定）看到所有都是 $42 \pm 10\text{\AA}$ 的倍数。皂纖維直径的增加可能是由于分子的水化所致。

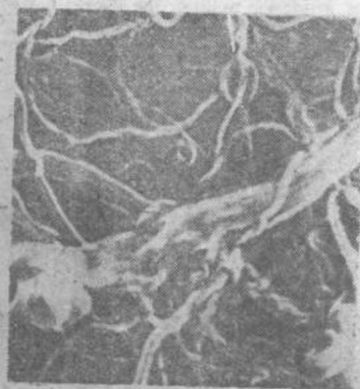


图 2—1 长纖維

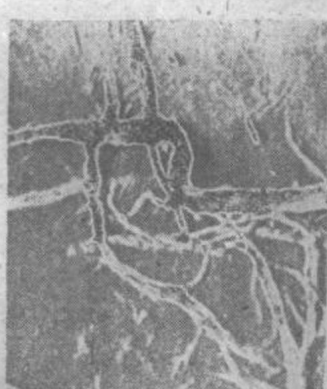


图 2—2 中等纖維

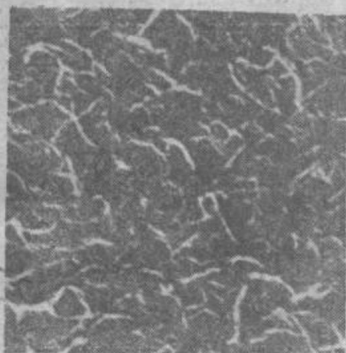


图 2—3 短纖維

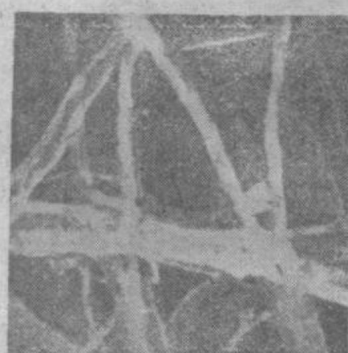


图 2—4 硬脂基纖維

邦第等[11]基本上同意上述的在皂纖維中的分子的一般地位，他們的論点是：“在定向皂晶体的工作——点图(spot patterns

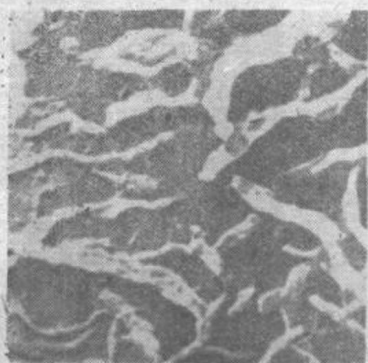


图 2—5 錫基脂纖維

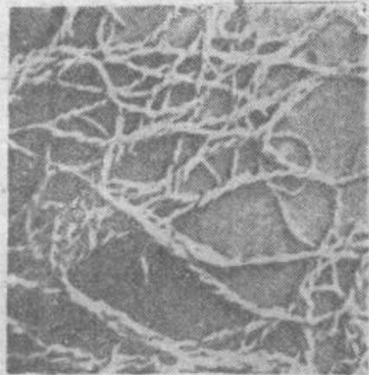


图 2—6 鋰基脂纖維

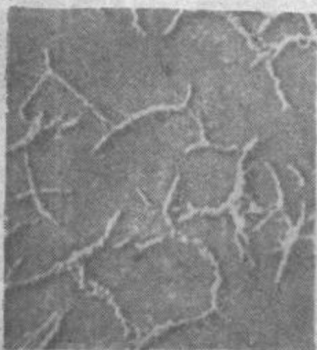


图 2—7 鈣基脂纖維

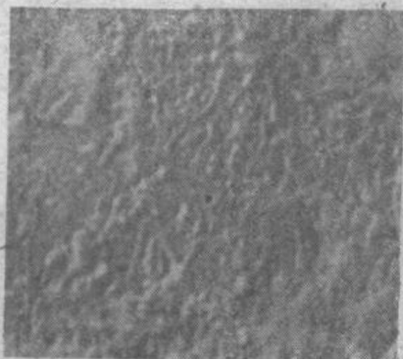


图 2—8 鋁基脂纖維

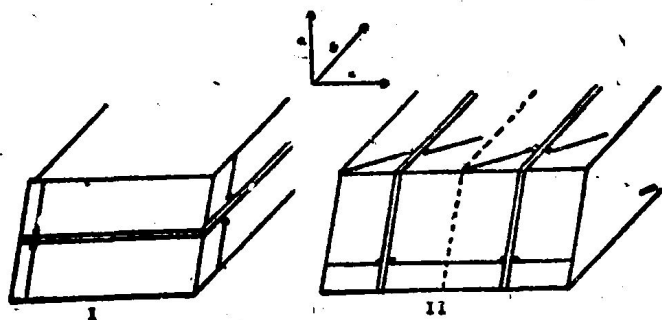


图 2—9 在皂纖維中皂分子的地位
I—旧的解釋；II—新的解釋。