

# 石油產品的 粘度和受範性

苏联 格·依·福克斯著

石油工業出版社

## 內 容 提 要

本書是關於石油產品的力學特性，特別是流變學特性的綜合。書中包括全蘇石油科學研究所物理-化學實驗室關於這個問題所進行的研究工作的結果。

本書共分下列幾個基本章節：（1）石油產品的力學和流變學的物理基礎；（2）測定石油產品流變學特性的方法；（3）石油產品的組成、構造和基本的物理-化學因素對其粘度的影響；（4）石油產品的力學特性。

此外，本書還論述了石油產品的粘度和受範性對於它在操作中的性能的影響，以及某些改善潤滑劑力學特性的方法。

本書供從事石油產品的製造、運輸、品質檢定和應用的一切科學工作者和工程技術人員用。

**Г. И. ФУКС**

ВЯЗКОСТЬ И ПЛАСТИЧНОСТЬ  
НЕФТЕПРОДУКТОВ

根據蘇聯國立石油燃料科技書籍出版社(ГОСТОПТЕХИЗДАТ)

1951年列寧格勒版翻譯

統一書號：15037·25

石油產品的粘度和受範性

顧 振 軍譯

\*

石油工業出版社出版（廠址：北京六鈴廠石油工業部十号楼）

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

\*

850×1092 $\frac{1}{16}$ 開本 \* 印張11 $\frac{3}{16}$  \* 218千字 \* 印1—2,600冊

1956年5月北京第1版第1次印刷

定價(11) 2元6角

## 原文校者序

Г. И. 福克斯所著的“石油產品的粘度和受範性”一書，概述了在石油產品的粘度和其他力學特性方面最重要的研究工作。需要在这一方面作一概述的時機已早成熟，因为在最近的15年內，曾發表了研究各种不同石油產品的力學特性的很多著作，特別是有關潤滑油的。要使全部这些經常發表在專門的物理文獻或物理-化學文獻中的著作，都變成在石油方面工作的廣大工程技術人員和科學工作者的財富，是非常重要的。但是，這本書的價值，尚不限於將有關石油產品的粘度和受範性的工作作一概述。關於潤滑油和潤滑脂測粘術的一系列有興趣和重要的工作，主要是在全蘇石油工藝科學研究所(ВНИИТнефть)物理-化學實驗室中完成的，而這些工作的一部分結果，也都列入這本書中，並組成它的創作性部分。

這本書共分成總論和專論二部分。在總論中討論了液體和受範體的物理的力學特性，敘述了研究這些特性的實驗方法，和闡明了液體的組成、溫度和壓力對於液體粘度的影響。在總論中也討論了關於臨近固體表面面層的粘度問題。在第二部分的專論中，給出了關於淺色石油產品、柴油燃料和潤滑油的粘度的大量實驗材料。書中也討論了潤滑脂的流變學特性和重油的粘度。瀝青的力學特性並沒有包括在內，因為要討論它就會使本書的篇幅大大增加。對於具有很大實用價值的石油產品的粘度和溫度的關係，在書中曾特別予以注意。

書中表示出了蘇聯學者在研究石油產品力學特性方面的巨大貢獻。這些貢獻在於石油測粘術的各个方面。在研究液體和固體的物理的力學特性方面，蘇聯學者曾創立了原則上的新方

向。其次，苏联学者曾發展了研究石油產品力学特性的新方法，和果積了可以改善潤滑油和潤滑脂的操作特性的大量实验材料。在研究潤滑油低溫特性方面，以及建立改善潤滑脂特性的科学基礎方面，曾獲得了巨大的成就。

作者在每章之末附有大量的参考文献，使得在需要時可对某一問題作較為詳細的研究。

姆·姆·庫薩科夫

1950年10月

## 原 序

石油產品的測粘術，開始於上一世紀末葉建立潤滑流体動力理論基礎的 H. П. 彼得洛夫的工作。此後，潤滑材料的粘度和受範性的研究，都是和石油產品应用範圍的擴大，它的種類的增加，新型溶劑、合成油和添加劑於石油工業中的应用，對於石油產品品質的要求不斷提高，特別是關於它所应用的壓力和溫度範圍不斷擴充等等相結合的。在這一方面初期研究的主要結果，都載於眾所週知的 Л. Г. 古爾維奇的著作“石油加工的科学原理”(1925年)和 Л. С. 布羅赫及 А. Ф. 多布梁斯基的專論“石油產品的粘度”(1927年)中。

關於石油產品物理力学特性方面的學說的進一步發展，不同的學者是沿着不同的路程進行的。化學家和工藝學家在石油產品的力学特性和它的組成与加工方法的關係方面，累積了大量的資料；物理學家和物理-化學家，則發展了測粘術的理論基礎和製定出研究力学特性的一系列的新方法。力學家則又獲得了關於潤滑材料以及燃料的粘度對於機械(首先是內燃機)的工作系統的影响的無數數據。

關於石油產品的粘度和受範性的學說方面，已出現了新的一頁。在 15—20 年之前，對於潤滑脂、瀝青和潤滑油在低溫時的力学特性不僅不可能解釋，甚至連合理的評定也作不到。但是在最近的年代內，在解決這個困難的問題方面，業已得到了顯著的成就。於其中起着決定性作用的，是流變學(關於彌散物質和非晶形物質的力学特性方面的學說)的觀念和方法的利用。關於液体边界層的彈性和粘度的研究工作，已在潤滑油的潤滑能力的學說方面，寫上了新的一章。

苏联学者在發展全部这些問題方面的貢獻，非常巨大。

A. И. 白欽斯基建議了不繙合液体的粘度和溫度的關係的最为一般性的方程式。Я. И. 弗林吉尔首先導出了有理論根据的結合液体粘度和溫度的指數方程式。Б. В. 捷略金和 M. M. 庫薩科夫的工作，使得研究液体边界層的力学特性变成可能。石油產品的流变学的建立，極大部分的工作，是由於 П. А. 列平捷尔及其合作者、M. П. 伏拉洛維奇、M. M. 庫薩科夫、Г. В. 維諾格拉多夫、Д. С. 維里科夫斯基、К. С. 拉瑪雅、Д. М. 托尔斯泰和其他的苏联学者。在石油測粘術方面的这些工作中，有許多都曾在苏联科学院（見第一章末的文献 [27 和 28]）和石油工業部 [29 和 30] 所举行的一系列會議的報告中予以總結。

現今，關於石油產品的物理力学特性方面的学說的發展，往往使得在研究石油的其他部門和類似的科学部門中工作的專家們很难注意得到，何況許多的著作，是發表在專門的物理-化学和物理文献中的。結果，便在測粘術理論及其在石油事業中的实际应用之間造成了某些脫節。同時，現今還有許多实用問題尚未解决，而物質的物理力学特性方面的学說將會有助於这些問題的解决。

这些情况都証明了於此時編寫一本有關石油產品的粘度和變範性的書籍是適時而合理的。在本書中所敘述的，一方面是研究流变学的基礎和方法，另一方面是關於組成和工藝学對於石油產品力学特性的影响的現代概念，以及力学特性在石油加工產品的应用和運輸中所起的作用。

同時，在這本書中也綜合報導了作者和他的合作者研究潤滑材料和某些類似的瀰散系統的構造和力学特性方面的工作。

本書的讀者对象，是从事於石油產品製造、应用和運輸的工程技術人員和科学工作者。本書的內容，便由本書的讀者对

象和篇幅所決定。在石油加工產品的应用狀況和各种不同的特性的性狀方面的敘述似乎多了一些；但是對於流變學問題和粘度本質方面，也尽可能地作了詳盡的敘述。因為石油產品粘度的測定方法，在相關的規格中，以及 M. M. 庫薩科夫的“石油產品的物理-化學特性的測定方法”(1936 年)和 M. П. 伏拉洛維奇的“潤滑油在低溫時的粘度”(1944 年)等專論中都有記載，所以本書對測粘術和受範測定術的方法只作一總的概述就可以了，而對於新的方法和熟悉的方法，才作較為詳細的敘述。所牽涉到的測粘術和流變學的數學基礎，乃是要瞭解測量方法和流變學研究的原理所必須的。至於對於這些問題的較為完整和較為精密的解釋，則讀者可參閱引用的文獻[1、25、26、27、70 和其他等]。

在第一和第二章中，用物理的力學和流變學作觀點來討論石油產品的粘度和受範性；在第三章中，敘述研究力學特性的方法；在第四章中，討論物理-化學因素對於粘度的影響。在以後的各章中，則敘述各類石油產品的個別規律性。其中研究得最為詳細的，係對於我們很為重要的潤滑油。在最後的幾章中，也牽涉到潤滑油和潤滑脂的製造和应用的各個具體問題。

作者深切的感謝 M. M. 庫薩科夫教授，承蒙他校閱本書，並提出許多寶貴的意見，遂使本書獲得改善；作者也要感謝 M. П. 伏拉洛維奇教授，他審查了文稿和提出了一系列重要的指示。

作者也將感謝對於本書提出批評、指示和意見的一切讀者，讀者來信請寄：莫斯科古比雪夫街 4 號第 12 室全蘇石油工藝科學研究所新聞出版處。

# 目 錄

原文校者序

原 序

## 第一篇 總 論

|                                            |     |
|--------------------------------------------|-----|
| 第一章 非晶形物体和瀰散系的物理力学特性。流变学的要素 .....          | 9   |
| § 1. 力和形变。流動 .....                         | 9   |
| § 2. 形变和負荷的關係。流变学的稠性曲綫。粘度反常 .....          | 25  |
| § 3. 形变和時間的關係。構造恢復性、構造易变性、低速流变特性和膨脹性 ..... | 35  |
| § 4. 測微流变学。粘度和受範性反常的原因 .....               | 46  |
| 参考文献 .....                                 | 53  |
| 第二章 液体的粘度和流動 .....                         | 59  |
| § 5. 液体流動時粘度所起的作用 .....                    | 59  |
| § 6. 測粘術的理論基礎 .....                        | 61  |
| § 7. 粘度的測量單位和表示方法 .....                    | 70  |
| 参考文献 .....                                 | 75  |
| 第三章 測量石油產品的粘度和受範性的方法 .....                 | 78  |
| § 8. 測粘術和測範術方法的總述 .....                    | 78  |
| § 9. 毛細管粘度計 .....                          | 84  |
| § 10. 轉動粘度計 .....                          | 100 |
| § 11. 落球法。圓筒縱向移動法。薄層吹出法。其他的測粘術方法 .....     | 105 |
| § 12. 測定流变学参量的特种方法 .....                   | 110 |
| § 13. 測粘術和測範術的習用工業方法 .....                 | 116 |



|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| 参考文献 .....                        | 121        |
| <b>第四章 組成和外界狀況對於液体粘度的影响 .....</b> | <b>130</b> |
| § 14. 个别液体的組成与構造和粘度的關係 .....      | 130        |
| § 15. 溫度對於液体粘度的影响 .....           | 144        |
| 甲、液体的組成和構造以及其粘度和溫度的關係 .....       | 144        |
| 乙、粘度和溫度的關係的理論方程式 .....            | 150        |
| 丙、粘度和溫度的關係的經驗方程式 .....            | 154        |
| § 16. 压力對於粘度的影响 .....             | 163        |
| § 17. 混合物的粘度和溶液的粘度 .....          | 170        |
| 甲、混合物的粘度和各个成分比例的關係 .....          | 170        |
| 乙、溶質的濃度和体積對於溶液粘度的影响 .....         | 173        |
| § 18. 在相的分界面上的液体的粘度 .....         | 178        |
| 参考文献 .....                        | 181        |

## 第二篇 專 論

|                                        |            |
|----------------------------------------|------------|
| <b>第五章 淺色石油產品和柴油机燃料的粘度 .....</b>       | <b>191</b> |
| § 19. 淺色石油產品和柴油机燃料的粘度和組成 .....         | 191        |
| § 20. 輕石油產品的粘度和溫度的關係 .....             | 195        |
| 参考文献 .....                             | 199        |
| <b>第六章 礦物油的粘度 .....</b>                | <b>200</b> |
| § 21. 礦物油的粘度和它的应用 .....                | 200        |
| § 22. 礦物油的粘度和它的組成与溫度的關係 .....          | 211        |
| § 23. 礦物油的粘度和溫度的關係 .....               | 219        |
| 甲、評定礦物油粘度溫度特性的方法 .....                 | 219        |
| 乙、礦物油的粘度水平和組成對於它的粘度和溫度的關係的<br>影响 ..... | 231        |
| § 24. 礦物油在低溫時的動性 .....                 | 234        |
| § 25. 改善礦物油粘度的方法 .....                 | 250        |
| 甲、粘度和溫度的依賴關係的減小。增稠添加物 .....            | 250        |
| 乙、礦物油在低溫時的流動性的提高。稀化添加物 .....           | 258        |

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| 参考文献 .....                   | 267        |
| <b>第七章 潤滑脂的流變學特性 .....</b>   | <b>278</b> |
| § 26. 潤滑脂的流變學特性和應用 .....     | 278        |
| 甲、抗摩擦潤滑脂的流變學特性和應用 .....      | 279        |
| 乙、保護用潤滑脂的流變學特性和應用 .....      | 282        |
| § 27. 潤滑脂的流變學 .....          | 284        |
| 甲、潤滑脂的構造 .....               | 284        |
| 乙、潤滑脂的流變學特性 .....            | 287        |
| § 28. 潤滑脂的組成和稠性 .....        | 299        |
| 甲、用固體烴類增稠的潤滑脂 .....          | 300        |
| 乙、用皂類增稠的潤滑脂 .....            | 303        |
| § 29. 改善潤滑脂流變學特性的方法 .....    | 313        |
| 参考文献 .....                   | 320        |
| <b>第八章 重油的粘度 .....</b>       | <b>325</b> |
| § 30. 重油和它的含炭懸浮液的粘度和組成 ..... | 325        |
| § 31. 重油粘度的技術意義 .....        | 330        |
| 参考文献 .....                   | 334        |
| <b>試譯名對照表 .....</b>          | <b>335</b> |

# 第一篇 總 論

## 第一章 非晶形物体和彌散系的物理力学 特性。流变学的要素

在力学中，通常將具有有限分界面的物質總称为物体。物体的形狀，取決於作用在它上面的力。物理学上实体力学的最終对象，是叙述物体形狀的变化，和建立在形变和造成形变的力之間的量的關係。

### § 1. 力和形变。流动

**1. 內力和外力、应力** 作用於物体上的力，可分成为二類。第一類的力就是物体各个部分的相互作用。屬於这一類的力称为內力。第二類的力就是周圍物体對於各該物体的作用，这种作用所造成的力便称为外力。將力分成外力和內力，祇可以說是对某一物体而言，因为它的內力也可以成为另一物体的外力。

力学上的外力有不同的來源。普通，这个力可以是重力，压缩彈簧的彈力，因气体或其他物体压缩而造成的力，或流動的流体的压力。通常都將外力称为負荷。例如，對於彈簧的伸長來說，伸長这个彈簧的重物是外力；而彈簧所發生的彈力，則是內力。

如果以外力施加於物体表面上，那末根据它所作用的方向，可以把它分成方向与表面垂直的法向力和方向与这个表面相切的切向力。力對於它所作用的面積的比例，称为应力。

對於在圖 1，甲上所示出的物体，其法向应力为：

$$\sigma = \frac{F_N}{S_1},$$

其中  $F_N$  是法向力,  $S_1$  是它所作用的面積。

同樣, 切向应力  $\tau = \frac{F_\tau}{S_2}$ , 其中  $F_\tau$  是切向力,  $S_2$  是它所作用的面積(圖 1, 丙)。

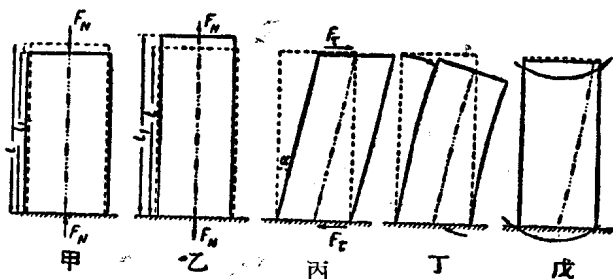


圖 1 各類均勻形變的簡圖

甲—壓縮; 乙—伸長; 丙—切變; 丁—撓曲; 戊—扭轉(虛綫表示物体的最初形狀);  $F_N$ —法向力;  $F_\tau$ —切向力;  $\alpha$ —切變角。

施加於物体全部表面上的法向应力, 称为压力。在均匀的壓力之下, 在每一單位表面上的法向应力是恒定的。力学上的任何应力, 都計算成压力的單位。

压力的因次是力除以面積, 或  $ML^{-1}T^{-2}$ 。压力的單位是: 巴, 彼茲, 标准气压, 工业气压, 每 1 平方毫米上的仟克力, 毫米汞柱和厘米水柱。關於压力的單位及它們之間的比例的數據, 可得自各种不同的参考手册, 特別是 Л. А. 賽娜 [68] 和 А. И. 白欽斯基、В. В. 普提洛夫和他人等 [69] 的書籍中。

由於物体各个部分的相互作用, 应力得在物体的內部傳遞。在最簡單的完全均匀的物体的情形中, 它的傳遞很均匀。

应力在不均匀物体內的分佈, 可以帶有非常複雜的性狀。在物体不同的點上, 它的數值和方向都可以不同。研究应力在实体中的分佈, 是实用流变学的重要对象, 特別是在石油產品

的粘度和受範性方面。

內力能造成对付外力的阻力。因此有時候它便被称为反動力，以示區別於称为活動力的外力。內力能決定物体的物理內聚性，它的硬度，壓縮和伸長的阻力，以及物体的一切力学特性。阻碍气体在活塞之下壓縮的压力，就可作为这种力的实例。

內力的形成，是由於在組成物体的分子、膠态質點和顯微質點之間作用的內聚力和內斥力的結果。这些力和力学上普通的力的關係，大半都非常複雜。祇有對於最簡單和均匀的物体才能作足够完全的解釋。例如，分子運動論可以根据分子的質量和溫度來計算稀薄气体的压力和內摩擦。至於固态的实体，則現有的理論尚不能將分子運動特性和力学特性完全結合起來。这是由於实体構造的複雜性和一系列理論上還沒有考慮到的因素的影响的緣故。可举出晶体的工程强度为例。它們僅等於理論上的幾十分之一至幾百分之一。A. Ф. 伊沃夫[3]指出，这和顯微裂縫的生成有關，晶体在負荷下的破坏，便沿着这个顯微裂縫而進行。使用分子運動論來計算非晶形物体和瀰散系的力学上的內力，其可能性更小。在最近的年代內，對於這類物体的力学特性的理論方面，固然取得了某些成就，但是距离成功还很远。我們所獲得的，祇限於將其个别的力学特性和其分子与質點的特性相結合的个别規律性。其中的某些關係，下面將要討論。

如果外力超过內力，於是在物体中便發生形变，一直繼續到內力和外力之間開始建立平衡为止。在形变的过程內，物体的个别部分可以成形成变的状态，而其他的部分則仍保持其在应力状态時的最初形狀。此時，在後者的區域內的应力比在全部物体內的平均值为大。物体內部应力的拉平过程，在技術上有時候也称为应力的分散。

普通在研究形变時，都力求觀察在穩定状态中的形变，此

時在外力和內力之間已建立平衡，物體內部的應力也已拉平；但是在實際工作中却常常遇到不穩定形變的情形。

形變的數量，依賴於物體的性質和外力的數量，而一般也依賴於負荷的方法、負荷的速度、負荷作用的時間和方向等。如果物體分子或質點的內聚力數值超過外力，於是形變便非常小，需要用特種的方法才能發覺[5, 6]。但是即使在物體的形狀變化非常小的情形中，在外力的影響之下都能引起應力，使物體處於應力的狀態中。

**2. 形變的種類、彈性形變和剩餘形變** 固體、液體和氣體的形變性質，是各不相同的。物體的物態，也正是根據這個外表特徵來區別的。眾所周知，對於形變的阻力，氣體非常小，固體非常大，而液體則居中，它對於壓縮和伸長的阻力很大，但對於其他形式的形變的阻力卻很小。

固體的各種各樣形變，可以分成基本的五類：壓縮，伸長，切變，撓曲和扭轉(圖1)。

伸長形變用相對伸長的數量來表示：

$$\varepsilon = \frac{l_1 - l}{l} = \frac{\Delta l}{l},$$

其中  $l$  是伸長前物體的長， $l_1$  是伸長後物體的長。切變形變的數量，則取決於數量等於切變角  $\alpha$  (圖1, 丙)的正切的相對切變  $\gamma$ 。在均勻的切變時， $\gamma$  的數量在一切的點中都相等。

和伸長形變一樣，壓縮形變也得用相對壓縮的數量來表示。在伸長和壓縮的數量之間有一定的關係。在任何的伸長時，在與伸長方向相垂直的方向中，必同時具有壓縮；反過來，在壓縮時其橫截方向中必進行伸長。在與伸長方向相垂直的方向中的尺寸變化，可用相對橫截壓縮的數量來表示：

$$\varepsilon_q = \frac{d_1 - d}{d} = \frac{\Delta d}{d},$$

其中  $d$  是形变前的横截尺寸,  $d_1$  是形变後的横截尺寸。

$\varepsilon$  和  $\varepsilon_q$  的符号往往不同。比例  $\mu = \frac{\varepsilon_q}{\varepsilon}$  是固体的重要力学特性, 称为横截压缩系数或泊松系数。这个系数的数值和物体的尺寸無關, 能表示出組成該物体的物質的特性。

为了要充分叙述一个平面中的均匀形变(平面形变), 知道  $\varepsilon$ 、 $\gamma$  和横截压缩系数的数值便已足够了。为了要在三个方向表示形变(立体形变), 則每一个这些数量都必须知道三个数值。当其他各類的形变都很小时, 它們便可以形成均匀的形变, 並可利用这些数量; 但是要詳尽無遺地叙述比較複雜的形变, 它們的数量就不够了。在实际工作中, 都局限於部分地叙述形变, 选取適於解答問題的指數。

物体的形变都以不同的完备程度來叙述。對於許多力学問題的解答, 常假定固体並無形变(例如, 在研究固体質點於液流中運動時)。这样便發生了關於無形变理想固体的概念。

叙述实体行为的再一近似法, 是引用屈服限度的数量。如果外力超过內力, 固体便破裂。屈服限度可以用臨界应力或破裂应力的数值來評定。將金屬絲伸長時

$$\sigma_{\text{крит}} = \frac{G_{\text{max}}}{S_0},$$

其中  $\sigma_{\text{крит}}$  是臨界应力,  $G_{\text{max}}$  是造成金屬絲破裂的負荷,  $S_0$  是最初的截面面積。

屈服限度和破裂負荷的測定, 在研究建築材料和金屬的力学特性時有很大的意义; 但是要評定石油產品的粘度和受範性, 这些性質便沒有很大的意义。惟有瀝青和柏油是例外, 为示出它們的力学特性起見, 这些参量都列入於工業用的規格中。在以後我們還要討論沒有破裂的实体形变。

在研究形变時, 首先都近似地假定它是均匀的形变, 並保

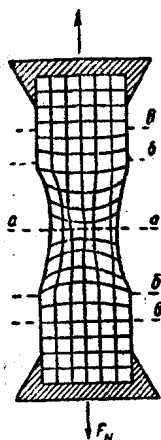


圖 2 伸長的地臘棒

屬於某一類的形變。此時並不考慮物質的構造和性質。對於敘述許多物體的小量形變，這種近似是很足夠的。

但是固體的大量形變，通常都是不均勻的。在圖 2 上示出一根伸長的低熔點地臘棒，在形變之前先在它的上面畫上正方形的格子。相對伸長的數量是 0.19。在棒的梢端沒有形變，幾乎整個的伸長都在它的中部。在這個部分上的正方形格子完全歪曲——不僅是伸長，而且也彎曲。在梢端和中部的中間區域  $\delta$  則方格略行伸長，但是幾乎不歪曲；因此便可以約略地認為，小量的形變是均勻的。

對於一切的固體，當應力很小時，可以認為形變係和應力成正比。以  $\sigma_N$  表示應力，並仍舊以  $\varepsilon$  表示相對伸長，則這個關係可以寫成比例

$$\varepsilon = \frac{\sigma_N}{E}, \quad (\text{I}, 1)$$

這便是虎克定律。

凡是形變服從這個定律的物體，就稱為虎克物體。表示形變阻力的，是稱為彈性模量或楊氏模量的常數  $E$ 。 $E$  的數量視形變物體的物料性質而定，和它的尺寸無關。因此，彈性模量是一個表示物質性質的常數。它在說明固體特性方面的意義類似於對液體評價時的粘度。但是固體的構造並不完全固定，對於同一物質， $E$  的數值可在廣泛的限度內變動着。彈性模量  $E$  的因次是  $ML^{-1}T^{-2}$ 。

如果在服從虎克定律的範圍內由形變的物體上取下負荷，於是它便準確地（或差不多準確地）恢復最初的形狀。在取下促



使形变的負荷時物体恢復到最初形狀的特性叫做彈性，具有这个特性的物体叫做彈性体。彈性体的形变數量，和負荷变化的方向無關，即和各該負荷是逐漸增加或逐漸減少的無關。

彈性形变的範圍，普通比虎克範圍略高。如果在虎克範圍內，形变的數量是應力的直綫函數，則在这个範圍之外，这个關係便被破坏。因此彈性可分成为直綫彈性和非直綫彈性二种。

在服从虎克定律時的最大应力，叫做直綫彈性限度或比例限度，而形变不再恢復時的限度，便叫做彈性限度。彈性限度是固体力学特性的重要指數。

当应力比彈性限度高時，在取下負荷之後形变便保持住了。在恒定的超过彈性限度的負荷之下，物体便慢慢地形变。在这个情形中便可以說，物体在進行流動。

開始造成流動的应力，叫做流動性限度，而其形变則叫做受範形变。具有顯著剩餘形变和流動性的固体，叫做受範性体。許多潤滑脂、高熔点油和某些其他石油產品的形变，都具有这种受範性。

脆性的固体和受範性的固体不同，它沒有流動性。当这种物体直接遭受到相當於彈性限度应力的应力時，物体便開始破坏。

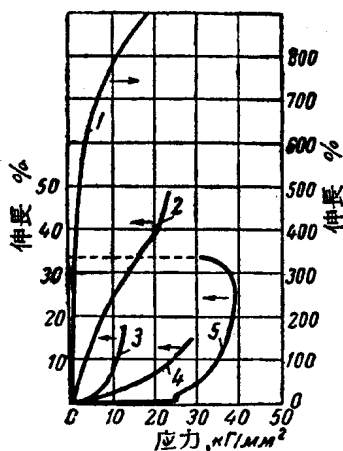


圖 3 非晶形固体和半結晶固体的伸長曲綫  
1—硫化橡胶；2—瀝青；3—硝化纖維；4—鋼；5—鋼(除瀝青係由本書作者測定之外，其餘的數據都來自文献[45])。