

構造地質學

張壽常編著

商務印書館

構造地質學

張壽常編著

商務印書館

本書之編著，是爲了使初學地質的人，準備將來到野外做調查工作的時候，對一般的單獨的地質構造現象或對某一地區的整個構造系統，能夠有徹底的認識和作正確的解釋，對於解決找尋可能產礦地區，研究礦體分佈情況，決定探礦地位以及選擇工程基地等問題，都能有所幫助。對於各種單獨構造現象的特徵及產生方式，中國境內主要山脈的構造型式，作了詳細的討論和分析，對於如何就各種構造現象分析其應力，判斷它們所受外力的性質和方位，如何斷定某一地區多次運動的情況，亦作了深入的介紹。爲便於小型構造的研究，特將岩組學綱要與測定各種礦物光軸和劈面的方法加以敘述。在我國進行大規模建設的今天，本書可作地質調查工作者的重要參考。

構 造 地 質 學

張壽常編著

★版權所有★

商 務 印 書 館 出 版

上海河南中路二一一號

(上海市書刊出版業營業許可證出字第〇二五號)

新 華 書 店 總 經 售

商 務 印 書 館 北 京 廠 印 刷

☎(54349)

1954年6月初版，版面字數132,000

印數1—4,000 定價¥10,000

序

遠在抗日戰爭期間，吾師李四光先生曾囑我寫一本構造地質學的書，尤其是着重於小型構造方面的，因為這種書籍，外文版的尚不多，中文版的更是缺少。但當時因為生活不安定，最主要的還是因為連年東遷西徙，公私圖書散失，參考文獻甚為缺乏，所以這個很有意義的提示，迄未付諸實行。

解放後，人民政府重視科學，一方面大力培養青年學習科學的知識和技術，另一方面為着適應新環境的需要，極力鼓勵科學和技術的著作，以解決教材及參考書缺乏的困難。自解放以來，我國所出版的科學書籍，已比過去任何一個時期為多。著者歷年教學所編的構造地質學講義，屢承各方的愛護和鼓勵，催促早日正式付印，因之，在教學之餘，抽空加以整理，編纂成書，如此既可響應政府的號召，復符合各方愛護者的期望。至於李師的鼓勵和提示，雖然是事隔多年，仍是孕育本書著作的最初動機，謹在此表示感激之忱。

本書內容共分八章，首先從一般岩石的物性及影響其物性的條件說起，再作變形和應力的分析。以後分別詳論三大岩類所形成的各種構造現象的特徵和產生的原因，並論列如何就一個地區中的各種構造現象分析其應力，進而判斷它們所受的外力的性質和方位，以及如何斷定一個地區內多次運動的情況，來聯繫到如何找尋可能產礦的地區，與其範圍的大小和礦體分佈的情形，及選定工程基地等等。現在國家正在開始進行大規模的經濟建設，地質調查工作也正在有計劃地展開，如果這本書能够使現在學地質的將來到野外做實際調查時，對於他們的工作，有一個較好的準備和認識；或是對於正在做調查工作的地質界人們，能有一點幫助；就達到了作者衷心的願望。

本書的全部插圖，是由郭芝亭女士在百忙中抽空代為繪製的，作者深為感激，謹致謝意。

張壽常一九五三年五月

目 錄

序

概說 1

第一章 岩石的物理性質 4

固體和液體 韌性 黏性 彈性和軟性——固體變形的三個階段 脆性和柔性
強度 影響於物體變形的條件 1. 靜壓對於物體變形的影響 2. 高溫對於物體變形的影響 3. 時間對於物體變形的影響——疲勞極限和蠕變 4. 溶液對於物體變形的影響

第二章 變形和應力的分析 12

(一)變形 12

均勻變形和非均勻變形 楊氏彈性係數 泊松比 變形橢球體

(二)應力 14

直應力和剪切應力 1. 引張力作用於一個長方體的情形 2. 引張力作用於一個斜面上的情形 應力橢球體——應力差

(三)變形軸和各種外力作用方向的關係 18

不旋轉變形和旋轉變形 最大剪切面 各種不同物質所產生的破裂方式 彎曲應力所產生的變形

第三章 沉積岩的構造 23

(一)褶皺 23

岩層的原始傾斜 岩層的走向、傾向和傾斜角 軸面、褶皺軸背線及褶皺的種類 大地向斜和大地背斜 認定岩層層面的方法 測定殘破褶皺岩層之彎曲的方法 測定褶皺軸向和軸斜角的方法 測定岩層厚度的方法 上下兩組褶層的接觸現象——整合層、假整合層及不整合層 褶皺產生的兩種重要方式

(二)斷裂	45
裂口 節理——分類、發生及應用 斷層——分類、剪切裂痕、枝叉斷層	
第四章 凝結岩的構造	63
原始構造 (一)流動構造 (二)流動構造在侵入岩體中分佈的情形 (三)斷裂構造 (四)流動構造和斷裂構造的關係 (五)深成侵入岩體整個上昇運動的程序	
第五章 變質岩的構造	84
(一)普通變質岩的種類	85
(二)變質作用的種類	87
(1)接觸變質 (2)動壓變質	
(三)層紋構造測量的便捷校對法	97
第六章 山脈生成的方式及其構造型式	100
火山山脈 侵蝕山脈 構造山脈——‘多’字型構造、‘歹’字型構造、‘山’字型構造、東西褶皺帶 各構造山脈型式的分析 中國主要水平側壓褶皺運動的時期	
第七章 構造地質的原理與方法	110
(一)有關力學的普通原理	111
力學的定義 集中力和分佈力 分離體圖解法 力的傳遞 力的圖示 求二力之合力的圖解法 求三力或多力之合力的圖解法 一個分力為兩個分力的圖解法 三力或多力均衡的圖解法	
(二)幾種地質構造型式的分析	115
(1)褶皺 (2)一組平行褶皺及橫切斷層 (3)‘山’字型構造 (4)地壘構造 (5)兩組同時的剪切節理或岩脈 (6)三組同時的交叉節理或岩脈 (7)同方向數次運動的認識 (8)兩次不同方式運動產生的交叉褶皺及斷裂	
第八章 岩組學	123
(一)岩組學綱要	123

岩組學的意義和岩組分析 不均質岩組 礦物定向排列的方式 滑動運動和旋轉運動 岩組圖中點羣的意義 岩組圖中環帶組織的意義 非構造岩環帶組織重結晶作用與新礦物的產生對於岩組的影響 岩組對稱的種類及意義 岩組機械排列的方法 構造組織中優選排列的種類——在一組滑面上平面滑動的現象、在兩組或多組交叉滑面上平面滑動的現象、在扁壓作用下礦物排列的現象、兩組交叉滑面不同的發育現象、彎曲滑面滑動的現象、構造岩環帶組織排列的現象 岩組分析的應用	
(二)用 <u>弗氏旋轉台</u> 測定礦物的光軸和劈面，以及斜長石的成分與雙晶組合面的方法	141
旋轉台的校正方法 一軸晶礦物——石英光軸的測定法，光軸的投影法 二軸晶礦物——方解石晶劈面的測定法、雲母的測定法、角閃石和輝石的 α -軸及長石的 α -軸的測定法、斜長石的成分及雙晶組合面的測定法	
地質符號	150
學術名詞索引	159
附吳爾福氏網、史密蒂氏網活葉圖二張	

構造地質學

概 說

地質學是一種牽涉範圍很廣，而且很複雜的自然科學，構造地質學就是其中的一部門。這一部門研究的重心和工作的要點，是分析和區別地球表面上所顯露出的各種礦物岩石的各式各樣的變形現象，推究它們之所以產生的原因和它們彼此間的相互關係，這一切都是根據力學原則，由事實的觀察，而認識，而推論，而最後斷定的。最初研究這一門構造地質科學的人們，大都偏重於湖海中產生的沉積岩層，而對於凝結岩及變質岩，除了將它們所含的各種礦物加以區別鑑定，和就它們的外表所顯出的粗糙結構現象加以描述以外，往往認為它們是‘塊’狀的，無其他構造可談。在近二十多年來，從事花崗岩及變質岩的小型構造研究工作的人們，才日益增多，以往在大型構造方面不能明瞭和解答的問題，經過小型構造的分析和研究，逐漸地有了進一步的認識和正確的解決。

暴露在地面上的礦物岩石，因長期受地球的外力作用，逐漸崩解，變成碎塊和粉末。這種破碎材料，經風力的吹移，或河流冰川的搬運，終歸入於湖海，沉積黏結，慢慢變成堅硬而重疊平鋪的岩層。例如現在所見到我國山東中部的寒武紀岩層和奧陶紀岩層，歐洲瑞典南部古生代岩層和德國中部中生代岩層，及北美洲中部古生代岩層等，大都皆可代表着它們原來在湖海中的沉積現象。但在地球表面上其他高山峻嶺地帶，如在喜馬拉雅山、烏拉爾山、阿爾卑斯山和阿帕勒卡山等，最初沉積的平鋪岩層，以後經地球的內力所產生的屢次變動作用，發生褶曲、

斷裂、錯動、變質以及被地下深部的岩漿侵入和穿插等變形，保留在各部變動區的非均質的礦物岩石中。研究構造地質的人們就根據那些縱橫凌亂變動的跡象，追溯當地當時的運動和演變的步驟，與主使礦物岩石變動的外力，以及古代地理情形。為了解決這種複雜的地史問題，當然就得要考慮有關這個問題的各方面，這也就是說明構造地質學是和地質學中別的部門及其他的自然科學，如地層學、古生物學、礦物岩石學、地史學、地震學、物理學、材料力學及地球物理學等有密切的關係，並且說明在尋求一個構造地質問題答案的時候，往往不能夠單獨由問題的本身直接找出，而必須迂迴曲折的按照一定的規律，一步一步向前追究。譬如說實質的岩石填充了一個空窪的地帶，它以後因經受力的作用發生了變動和變形，我們就在該地帶中就各處所有的各種變形現象，作詳細的分析，以區別和認定各種變形當時之所以產生，究係受某種應力的支配，然後更就各處各種應力的分佈情況，根據基本原則，尋找問題的支點，即某一個地帶在何種物理條件下受何種外力的作用，方能產生那許多各式各樣的運動和因運動而引起的變形。

由上文看來，一個構造地質學者對地殼上的礦物和岩石的構造研究的情況，正如一個建築工程師研究一個大建築物一般，該建築物的各方面和各部分均有詳細研究的必要，因此，要找出一個地帶的個別岩礦運動和整個運動的連帶關係，就必須根據理論方面的假定和技術方面的運用。

按構造地質學所討論範圍的大小，可以概括的分為三大類：第一類為大型構造(grosstektonik)，即就整個地球來討論山脈的產生和海陸的分佈等龐大現象；第二類為中型構造(mitteltektonik)，是討論一個區域內所有的各種構造現象及其先後發生的次序，所以又名區域構造(regionaltektonik)，第三類為小型構造(kleintektonik)，主要討論局部的每一個單獨構造產生的情形。換言之，大型構造是綜合地球表面上各區域的構造現象，而加以研究，所以這類大型構造研究工作的人，必

須搜集很豐富的區域構造的參考資料作為根據，才能認識到大型構造的全面性，這是一種比較繁重的工作，不適合於初學地質的人。中型或區域構造是綜合一個區域內各處各種小型單獨構造的**研究結果**，而得出的結論。這樣看來，小型構造的**研究是構造地質的最基層最根本的工作**，因此，本書的內容也就偏重於小型構造的討論。在前數章中，先將一般岩石所形成的各種主要的單獨構造現象的特徵和產生的方式分別詳細論列，然後再特別提出中國境內主要山脈的幾個特別構造型式作詳細分析，並論述如何就各種構造現象分析其應力，進而判斷它們所受的外力的性質和方位，以及如何斷定一個地區多次運動的情況。最後一章爲了加強小型構造方面的研究起見，特將岩組學綱要與測定各種礦物的光軸和劈面的方法加以敘述。總結本書之所取材的目的，不在介紹或討論一個特別地區的地質構造情形，而在使初學地質的人們準備將來到野外做調查工作的時候，對一般的單獨構造現象或對某一個地區的整個構造系統，能夠有一徹底認識和正確解釋，然後更進一步找尋可能產礦的地區，決定某些礦體的範圍大小，礦體的分佈情況，和探礦地位以及工程基地的選擇等問題。

第一章 岩石的物理性質

物體發生變形，是因受外力而變動的結果，其變形所以有各種不同的：(1)由於物體所處的環境不同；(2)由於物體所受力的大小不一，或時間長短不同，或受力的性質不同；(3)由於物體本身組合材料的物理性質不同。所以在討論一個地區內岩石的各種變形時，除了分析岩石所在地之環境與所受力的各種詳情以外，而同時更應當注意岩石的物理性質，不然，則只就一兩種情形而解釋岩石發生變形的原因，必將發生許多錯誤。茲將物體的各種重要的物理性質分述如後：

固體和液體 固體為物質具有定形和韌性的。液體為物質無定形和韌性的。二者是地質物理學上最重要而難分的問題。固體和液體在普通試驗範圍內，它們的區別極為顯著，固體受剪切力就變歪，如果不超過某一定限度，力去則復原。當液體受剪切力時，它內部發生的阻力普通認為黏性，力去無復原性。翟夫瑞斯氏 (Jeffreys) 認為固體和液體如此分別合於實用。但溫度和壓力影響於物體的變形又屬至大，一般來說，壓力加大和溫度增高則使物體容易變形，所以在地表上各種固體岩石，經過地殼變動後，而深埋在地下四十公里的地方，它們所受的溫度可達 1200°C 。(按地表下的溫度逐漸增高，雖增高率在各地不同，平均計算每深下 100 公尺，約增加 3°C .)，在這種高溫之下，普通的火山岩固不必論，即其他的各種侵入岩亦都要變為液體①。

壓力亦正如同地溫，隨地下深度的增加而變大，其變更率約每深下

① 據德氏 (Day) 和史柏氏 (Shepherd) 檢查檀香山 Kilauea 岩流的結果，溫度由 1070°C — 1185°C 。不等，其溫度所以不等的，可能是岩流噴出時發生變化所致。普通岩流的平均溫度大致為 1100°C 。維蘇維亞 (Visuvius) 火山噴出的岩質熔度由 1150°C — 1180°C 。士特倫波里 (Stromboli) 火山噴出物的熔度為 1100°C — 1150°C 。其他多種侵入岩體的平均熔度在 1000°C — 1200°C 。

四公尺增加一個氣壓。壓力加大可使岩石的熔度增加，據傅克梯氏 (Vogt) 的研究，壓力增加 1000 氣壓，能使玄武岩的熔點增加 5°C 。普通玄武岩在地表大氣壓下，它的熔度不到 1200°C 。在深至四十公里的地方，玄武岩的熔度增加 50°C 。但此數值較小，無大影響於岩石的熔度。

韌性 韌性(剛性)為固體對於變形的抵抗力。不同的岩石，韌性各有不同。例如從岩鹽變形較易和花崗岩變形較難的現象來判斷，便可以知道花崗岩具高度的韌性。但關於固體的韌性測定，只可以就它變形所需要力的大小，作比較的估計。

又固體的體積彈性係數和韌性亦受溫度和壓力的影響，壓力加大使體積彈性係數和韌性變大，溫度增高(除少數特殊情形以外)大抵使這兩種數值變小。

黏性 黏性是液體在流動的時候，內部發生的阻力。黏性液體在靜止的時候，具純液體的性質，當流動時，則上層液質和下層液質互相作用，發生剪切應力，猶如固體具有韌性，這種應力由於液體之層和層間的流動速度不同，而有大小的區別，所以液體黏性的簡單表示，即為液體中分子或上下層互相滑動所產生的剪切應力 $s = \eta \frac{du}{dy}$ 。式中 u 為速率， y 為液體層面的垂直距離， η 為黏性係數，也就是剪切應力和單位時間發生變形的比值 $(\eta = s / \frac{du}{dy})$ 。

彈性和軟性 假定一個固體所受的外力，在不超過某最大數值時，當力去後，則完全恢復它原來的形狀和體積，這種還原性質稱為固體彈性，其用力的數值可以表示該固體的彈性極限。固體在彈性極限以內發生的變形，和它所受外力的大小成正比。假設加力於一個固體，超過它的彈性極限，此時該固體所發生的變形，在力去後，將不能完全消滅，而仍有一部分變形永久存在，這種性質則稱為固體軟性。

各種固體的彈性極限，因組合材料的不同而各異。例如加在一個軟鋼桿的單位引張力為每平方吋 30,000 磅時，就可以使鋼桿增長

0.0081 吋。如果將力移去，桿即恢復原長。假設加在這同一個鋼桿的單位引長力為每平方吋 32,000 磅時，則桿長增加 0.0200 吋。力去，桿長只能回縮 0.0090 吋，而仍有 0.0110 吋的增加長度繼續保持，由此就可以知道該軟鋼桿的彈性極限。當在每平方吋 30,000 磅與 32,000 磅之間。但物體恢復原狀的程度，又常和時間有關，即歷時愈久，恢復的程度愈近於原狀。

按固體變形的情形，可分為三個階段，當一個固體受有向力時，在不超過它的彈性極限，它最初的變形叫做彈性變形，變形的情況完全符合虎克氏定律 (Hooke's law)。假設作用於一個固體的力，超過它的彈性極限，則縱使力去，亦只有一部分的變形能恢復原狀，另有一部分的變形繼續保存，這種情形叫做軟性變形。如果再繼續用力，增加到某一定數值時，則固體將開始發生二、三裂縫，最後以致破裂。破裂的排列和形狀，則有關於其他因素，其詳情容後分別討論。

脆性和柔性 根據固體變形在未破裂前發生變形的情況，可分為脆性和柔性。脆性物質發生軟性變形的量為小，柔性物質發生軟性變形的量為大，換言之，脆性物質的彈性極限距離它的破裂點甚近，如果所加的力在稍大於彈性極限時，它就發生破裂現象。柔性物質的彈性極限距離它的破裂點較遠，正如所加力在已經超過彈性極限，而它仍可以有一個較長時間的軟性變形。

強度 強度是指在室溫和普通壓力下，使一個固體在一個短試驗期內開始破裂所需的單位面積應力來說。在這種條件下，多種岩石是屬脆性，它們在未破裂以前軟性變形的量甚小，也就是說它們的強度僅稍大於它們的彈性極限。

一個固體的最大強度 (ultimate strength) 是它在軟性變形期間所能够支持的最大應力。在第一圖曲線 A 中，柔性物質開始破裂的應力，可以比它在發生軟性變形時所能够支撐的最大應力相差很遠。

固體的強度，不祇和它本質有關，同時更與它的表面上有無裂痕有

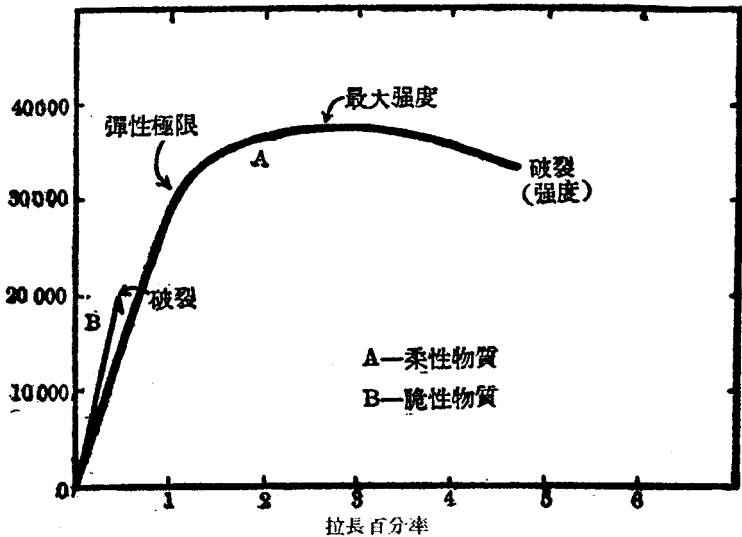


圖 1 應力——變形圖。

很大關係。以上是只就一般情形來說，但有多種物質因組合材料的複雜，當它們全體受力時，一部分的材料已經發生軟性變形，另一部分的材料仍以彈力支持，這樣，以致整個物體由彈性變形而進到軟性變形的狀況不為明顯。更據觀察得知，堅硬的鋼鐵和結晶的礦物岩石，以及其他岩層，當它們深埋在地下時，常因受巨壓和高溫，發生高度的軟性變形，而竟不具破裂現象。

以上所討論的物體的各種物性，係僅就在普通溫度和普通大氣壓，以及短時間的變形來說。如果使所加的力不變，而使物體的溫度增高或使物體在特殊的大靜壓下，或使力對物體作用的時間持久不斷，則對於物體的變形又將發生何種影響，實有分別討論的必要。

影響於物體變形的條件：

1. 靜壓對於物體變形的影響——葛力斯氏 (Griggs)^① 曾作多種試

① Griggs, David T., Deformation of rocks under confining pressures. Journal of Geology. Vol. 44, p.p. 541—577, 1936.

驗，以表示靜壓力影響於岩石物性的效果。第二圖說明左倫霍芬石灰岩 (Solenhofen limestone) 在 1, 2000, 4000, 6000, 8000 和 10,000 六種不同大氣壓下的變形情況(一個大氣壓約等於 14.7 磅/吋²)。當所加的擠壓力在 55,000 磅/吋² 以下時，各曲線極為相似，如同一線。當靜壓力為 4000 大氣壓或不及 4000 時，石灰岩的變形情況一如脆性物質，及靜壓力增加到 6000 大氣壓或更大的時候，則有一個大量的軟性變形。據試驗的結果，左倫霍芬石灰岩的最大強度，在一個大氣壓的靜壓下為 37,000 磅/吋²，在 10,000 大氣壓的靜壓下，則超過 135,000 磅/吋²，即增加約 360%。這種事實對於構造地質甚為重要，以其能夠說明岩石在近地表為脆性的，當深埋在地下時，將變為高度柔性。

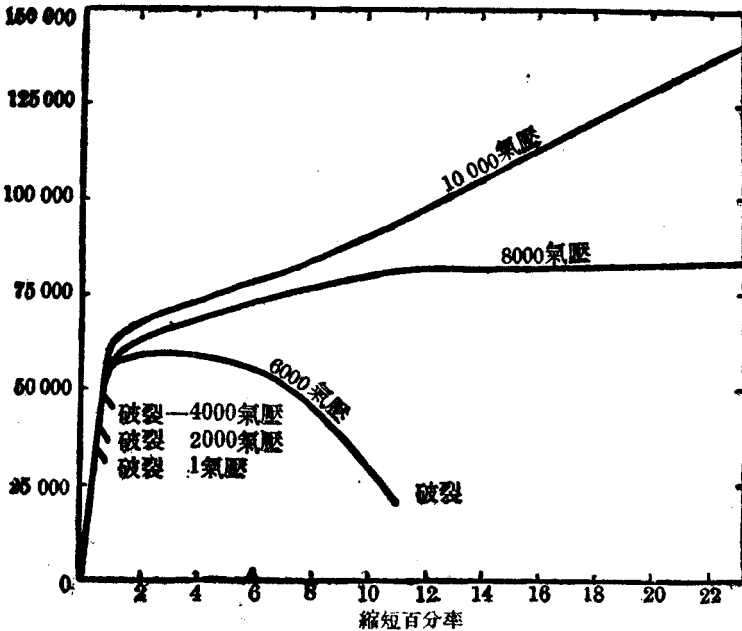


圖 2 表示在各種不同的靜壓下左倫霍芬石灰岩變形的情况。

2. 高溫對於物體變形的影響——溫度的變化大有影響於物體的物性，例如熱鋼的軟性變形量比較冷鋼為大。同樣情形，高溫亦能增加岩

石的軟性範圍，即近地表的岩石受到某一定數值之力，不能作軟性變形的，及深埋於地下相當深的地方，那時，在高溫和大靜壓下，可以發生大量的軟性變形。

3. 時間對於物體變形的影響——當加力於一個物體，重複數次而不能破壞的，如果重複多次，有時就可以使它破壞。假設一個固體所受的力，在不超過某最大極限及千萬次重複作用之下，而不破壞，則這個最大的力即為該固體的耐力極限 (endurance limit) 或稱疲勞極限 (fatigue limit, 圖 3)。多種金屬的疲勞極限約為它們的引張強度的一半，例如熟鐵的引張強度為 46,900 磅/吋² 的，它的疲勞極限為 23,000 磅/吋²；鎳鋼具引張強度 111,800 磅/吋² 的，它的疲勞極限為 67,000 磅/吋²。

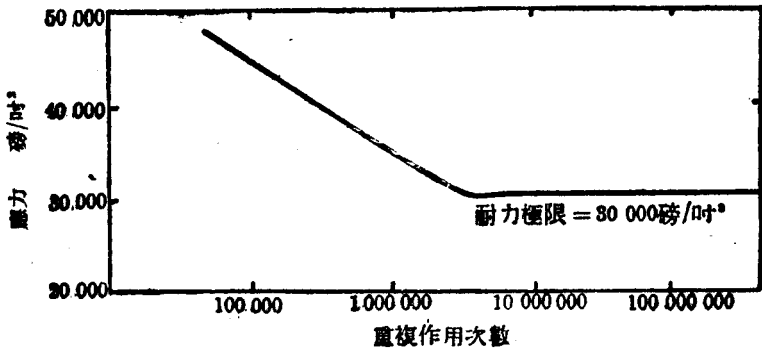


圖 3 一種金屬的耐力曲線。

一個物體在長時間小力的作用下所發生的慢性變形，叫做蠕變 (creep)。這個名詞普通限用於一個物體由於它的彈性極限以內的力而發生的慢性變形，但亦可以用之於超過彈性極限以外的長期的力下所發生的軟性變形，所以一個物體的蠕變可以是彈性流動和假黏性流動 (pseudo-viscous flow) 兩者的合變。但蠕變中之由於彈性流動的部分，