

矿田与矿床的构造

B. M. 克列特尔 著

地质出版社

矿田与矿床的构造

B·M·克列特尔 著

馮 祖 鈞 譯

地质出版社

1958·北京

В. М. КРЕЙТЕР
СТРУКТУРЫ
РУДНЫХ ПОЛЕЙ
И МЕСТОРОЖДЕНИЙ

ГОСГЕОЛТЕХИЗДАТ

москва • 1956

本書系統地敘述了內生礦床（主要是熱液礦床）的構造控制。從成礦區劃與區域構造的關係談起，進而談到礦田構造、礦床構造乃至礦柱構造。說理簡明扼要，舉例豐富具體。

在本書的首尾數章，還簡要地引述了一些變形構造的力學原理，成礦作用中及成礦後的構造破壞，以及研究礦田與礦床的構造的某些重要的野外室內工作方法，使得本書的內容更為充實。

本書除了對一般地質勘探工作者，尤其是搞金屬礦床的同志們是一本良好的參考書外，對於各地質院系的師生在研究與學習礦床學時，也不失為一得力之助手。

礦田與礦床的構造

著者	В. М. Крейтер
譯者	馮祖鈞
出版者	地質出版社
	北京宣武門外永光寺西街3號
	北京市書刊出版業營業許可證出字第050號
發行者	新華書店
印刷者	國家統計局印刷廠

印數(京)1—4,200冊	1958年8月北京第1版
開本31 ¹¹ / ₁₆ × 43 ¹¹ / ₁₆	1958年8月第1次印刷
字數244,000	印張10 ²² / ₁₆
定價(10)1.40元	

目 录

作者的語

緒 言	6
第一章 彈性、塑性与強度的理論中的基本概念与实验	12
1. 概論	12
2. 材料力学的基本数据	14
3. 岩石的物理-力学性質簡述	21
4. 塑性变形	24
5. 实验工作	27
第二章 区域構造与成矿区划	40
1. 某些一般的地質概念	40
2. 成矿区划和区域構造	48
3. 矿田在成矿区划範圍內的分布	69
第三章 矿田構造	73
1. 决定变形性質的基本因素	73
2. 構造發展的历史次序和岩牆的作用	79
3. 矿田構造的基本类型	83

第四章 矿床构造	145
1. 构造的一般概念、定义与分类	145
2. 褶皱构造	148
3. 断裂移位构造	163
4. 裂隙构造	174
5. 劈理(和微裂隙)构造	198
6. 管状的和和其他复杂的构造	204
7. 其他的矿床构造和矿床形态	205
第五章 矿柱构造	208
1. 矿柱构造的初步资料与分类	208
2. 矿柱构造的14种类型的简要描述与举例	230
第六章 成矿作用中的和成矿后的构造运动	247
1. 成矿作用中的构造运动	247
2. 成矿后的构造运动	251
第七章 对野外工作和室内工作的某些实际指示	259
1. 显微构造分析概論和实际运用	259
2. 对矿田和矿床的褶皱构造的观察	264
3. 断裂移位变形的研究	271
4. 裂隙构造的研究	275
5. 劈理构造的研究	286
参考文献	287

作 者 的 話

我所著的这一很不完善的“矿田与矿床的構造”一書能譯成中文出版，頗使我感到自傲和高兴。但願這本書能在某种程度上有助于所有那些不仅要掌握構造問題及研究方法，而且也要依賴精确科学——塑性、彈性与強度的理論將地質知識的这一重大領域向前推进的中国同志有所帮助。

矿田与矿床的構造的深入分析以及对所获得的資料的彙总，除能得出有价值的理論結論以外，尚有助于查明新的富矿体，并且有助于又快又省地勘探出这些富矿体。

1957年12月27日于北京

緒 言

現在的這份作品曾經早為斯米爾諾夫 (С. С. Смирнов) 院士所設想过。他曾委托作者來編寫它，並打算把它列入於“有關金屬礦床的學說的新觀念”這部兩卷集的集體著作中。本書中有相當大一部分寫成於1948年，被斯米爾諾夫命名為“區域的和局部的構造與金屬礦床”。由於種種技術上的原因這份作品沒有及時完成，而是在1954—1955年間才加以修正、補充新材料並最後定稿。

構造方面的事實材料是本書主要的和最有意義的部分，這些材料乃是作者和一群年輕的蘇聯地質學家在野外搜集的，他們之中大部分曾經是莫斯科地質勘探學院和莫斯科有色金屬與金學院的研究生。

在研究內生礦床的變形構造時，研究者面臨着必須闡明的兩個不可分割的問題：(1) 變形構造的成因和(2) 成礦溶液利用這些構造作為礦液上升、礦液分散和容納礦液的空隙的情況。構造地質學解決第一個問題，找礦—勘探地質學通常來解決第二個問題。

本書基本上是企圖用來說明第二個問題的，而順便也解釋一下構造的成因。

這類工作無論追求任何具體的目的，首先它總是應當依靠用基本的地質方法，即地質測量所進行的野外研究。這種方法可以稱為地質—歷史的方法，到處都能應用：在各種比例尺的地質測量時，在礦山地下坑道的編錄過程中，對於專門的地質工作等等。不過在解決構造問題時，單只靠地質觀察一方面是不夠的，因為它們不能給予在時間上分析變形的不同過程的可能性；也不能給予研究我們所感興趣的這一點上地殼的變形的可能性。因此還必須研究變形的機理，亦即研究地殼中的物理現象與過程。

內生礦床的位置控制與成因的問題要求分析許多處於相互作用中的問題，將它們彼此隔離開來是不可能理解的。探討礦床的成因，以

及矿床与矿田的控制構造，就要求分析圍岩，侵入体的形态、性質和形成深度，成矿溶液的溫度、压力、成分与濃度等。

在本書中只提出了比較狹窄的任务：主要是从構造对于成矿沉积的影响的观点来探討問題，因为内生矿床的位置控制和形态是与構造有关系的。当考虑到構造对于内生矿床、主要是热液矿床的找矿与勘探的實踐所起的独特的作用时，則問題的这种提法是可以容許的。

現在，構造地質学很注意簡單構造的形态学和形成的机理，因此構造地質学不仅需要利用地質 - 历史分析的方法(即地質学的方法)，而且也需要利用变形的物理研究方法，即彈性、塑性与強度的理論。抑或有必要提到，地壳乃是某种材料的介質，固体物理的方法对于它的研究是完全适用的。近来，在这个方向上的地質学家們的著作受到了尖銳的評击。地質学中的整个“力学分析”受到来自古列維奇(Г. И. Гуревич) (1954) 方面的特別尖銳的和根据最少的批評。

“力学分析”一語加上括号是意味着为地質学家們所利用的固体物理的所有問題。作者本人(1956)、彼克(А. В. Пэк) (1955) 和其他的地質学家們都曾給予古列維奇以相应的回答。地質学家們需要在構造地質学中發展与深入采用彈性、塑性与強度的理論，并尽可能把变形物体物理方面的專家吸引到自己的工作中来。現在还需要顧及到在構造地質学中除了地質学的方法外，也要采用另外兩種方法：(1) 显微構造分析和(2) 裂隙構造分析(主要利用关于变形橢球的概念)。这些方法在很多地区、很多年来都是得到贊許的。这些方法的采用界限与可能性在本書中都可以看得出来的。

为了在構造地質学中运用精确科学的方法而进行的斗争开始于十九世紀中叶，并且未必有任何人能夠阻止这一进步的方向。每一位地質学家都將欢迎如果能提出另一些在理論上更有根据而且能給予很大的实用效果的方法来代替上述的方法。目前我們在地質学中利用彈性和塑性的理論来解釋复杂的自然現象时，往往不能对提出来的問題得到滿意的解答，但这只是說明精确科学在地質学中的采用是很复杂的，它要求更进一步的理論工作和补充以有目的的野外觀察，同样也要求多次的實驗。決不能夠証明在現代的研究工作中只有“自然主义

方法”才适于应用，也就是仅只局限于在測量时对变形的地質观察，就像百余年前所作的一样。

斯米尔諾夫写道：“应用地質学就是構造地質学”——他从而強調了后者巨大的实际作用。当然，我們应当改进这门科学的方法，其中包括精确科学的方法在內。循此途徑就有可能解决变形成因的基本問題或者預見（預言）到它們的解决。不仅必須力求有关地壳內的变形成因的問題的具体解决，同样重要的是使每一位研究者都学会用这类概念去“構思”，据此地質学家就能以固体物理学武裝起来。

在本書中將簡要說明某些苏联地質学家在变形構造的地区所作的詳細地質工作，以及某些可以作为例証的外国矿床的構造方面的資料。除此而外，还要探討一系列的新的構造問題、建議和观察結果，例如，关于構造的帶狀分布，关于沿剪切裂隙的有次序的运动，关于节理面，关于大錯距移位構造的“附屬”裂隙組以及其他等等。

作者在进行研究工作时常常要依靠彈性和塑性理論的基本結論，同时也利用很方便的地質綜合，即变形橢球的形式。尽管采用精确科学的方法，即便是基本的形式，来解决構造地質問題的途徑显然是合理的，但某些苏联的地質学家不乐意理会这些，并宣称自己“不承認”变形橢球等等。这是从誤解而开始的。別利茨基(А.А.Белицкий) (1949)企圖証明，在立体应力状态中，当主正应力和大約以 45° 角而成对的分布于正应力兩側的切应力起着作用时，將形成好像反映出最大切应力的六組裂隙。仅只沿着其中的一对可以發育成裂隙，因为它重合于最大切应力的方向。無論从理論上或从实验上，六組裂隙是不可能証明的。因此，順便“否定”了变形橢球的別利茨基的理論前提就是不正确的，更不要談他对庫茲涅茨煤田(Кузбасс)的裂隙的可疑的解釋了。很奇怪，別利茨基的主張也会受人支持，就中有柯西金(Ю.А.Косыгин)，此后，变形橢球在某些地質学家那里就徹底“失寵”了。

对于地壳变形的研究应当采取工程师用来研究金屬、混凝土、石材的变形的那些方法中的許多方法来处理。重要的区别之一在于地質学家所要解决的乃是相反的問題。应当認為在地壳中發生着塑性与彈

性的变形已証明。当从应用力学的观点来对待局部的地質構造时，需要力求解所观察到的变形的成因方面的問題。目前在研究这一問題时基本上只限于对地質測量时所观察到的岩石中的各种运动加以确定，亦即限于对作用的运动学的探討。为了了解岩石的彈性現象以及超过強極限的破裂現象，地質学家可以借助于应用彈性理論（材料力）。为了了解岩石的塑性現象，可以借助于塑性理論，这在地質学有自己的方法——構造岩石学的方法。在推断关于岩石的破坏时，采用強度理論是有重大帮助的。

在鑽井工作中很少采用上述方法的原因何在呢？有这样几种原因。第一个原因之一应当認為是在高等学校中分配于講授这些方法的学时数是不够的或者不多的。第二个原因是某些地質学家由于这种或那种原因竭力避免采用精确科学的方法。第三，这些方法不能在实际地質工作中广泛运用的基本障碍或許是在于采用它們往往不能得到确切的解答。这是由于地質学家們所研究的变形現象太复杂了，特别是因为它们經過了多次的重复。岩石經受的变形阶段愈多，愈难取得确切的解答，亦即在褶皺帶內的岩石愈老，則問題愈复杂，因为岩石經歷了两个或若干个地壳变动的时期。把应用力学的原理应用于岩石变形的困难就其本身可以这样理解：如果工程师用金屬或岩石的試样会得到不确定或不明白的解答，那么地質学家对于解决相反的問題，在許多原始資料是可疑的或不明确的情况下，会得到不确定的解答乃是十分自然的。

但能不能根据上述的原因就拒絕采用上述的方法呢？这只有在那种情况下才可以允許，即在地質学家的武庫中具有更好的方法时。然而这些方法是沒有的，所以脱离了彈性、塑性和強度的理論地質学家的深入工作在目前是不可思議的。

采用上述方法的野外及室內工作的經驗，在所有的場合，对于了解所研究的区段的地質情况都曾提供了有价值的結論或材料。假使不能确定变形成因的确切的解决，那么也可以取得該区段地壳的地質發展史的某些有价值的資料。总而言之，已經花費的工作在所有的实践場合中都証明是有效的。

在構造地質學中應用力學方法的深入利用，預示一門最重要的地質學科將具有廣大的前途。可以相信，在將來不僅確定各種不同的變形類型，而且能說明它們的成因，但主要的還是能夠預報在這種或那種地質環境中所預期的變形的性質。即使在現在裂構造的分析往往不僅能提出變形的情形，而且能幫助解釋該區段地在地史剖面中的一般的地質發展情況。

對於在這里未作說明或說明得不夠的許多構造地質學域中的理論問題，需要參考下列書籍：彼克的“裂隙構造與構造分析”，1939年；畢令斯（M. P. Billings）的“構造地質學”，1949年（俄文譯本）；和費爾拜恩（H. W. Fairbairn）的“構造岩石學”，1949年（俄文譯本）；儘管在後兩書的譯本上具有某些不能令人滿意的點。

因為在構造地質學中利用精確科學的數據方面還存在着分歧和反對意見，所以本書以專門的一章（第一章）來介紹這一類工作。這一章的任務是扼要的說明為地質學家們所感興趣的現代的彈性和塑性理論的概念，也包括實驗部分在內。

在變形成因方面的許多理論的與實際的問題將在後面几章中說明主要問題的同時加以敘述。據我們看來，用這種辦法能更好地體現理論與實際概念的協調一致。

本書全部取材於蘇聯地質學家們在蘇聯國土上所進行的研究工作，而外國的資料則利用得很少。這樣作是有意識的，因為除了本國的工作以外，在礦床的構造問題方面最有意思的研究只限於美國的地質學家們，但美國與加拿大的大多數礦區的構造都是與蘇聯極不相同的。

近年來在國外的出版物中，在礦床的構造方面可以說只有兩本有價值的書籍。這裡所指的是美國地質學家們和加拿大地質學家們的集體著作：

1. Ore deposits as related to structural features, 1942年，紐豪斯（W. H. Newhouse）主編。在論文中敘述了全世界的60個大礦床的構造。這些綜合性的論文是由紐豪斯、洛維林（Lovering）和巴特勒（Batler）所編寫的。

2. Structural geology of Canadian ore deposits, 1948 年, 是对加拿大的一些矿床及其构造的简要描述。

当然, 这两本书是值得对矿床构造有兴趣的苏联地质学家们所注意的。

当本书已将写好的时候, 出现了一部有价值的集体著作“矿田和矿床构造研究问题”, 苏联科学院地质科学研究所彙报, 162 期; 我们只能部分的利用到它。

感谢沃尔弗松 (Ф. И. Вольфсон)、凯科娃 (Т. М. Кайкова)、德魯日宁 (А. В. Дружинин) 和涅夫斯基 (В. А. Невский) 亲切的供給簡圖和插圖, 也感谢馬卡洛娃 (А. Е. Макарова) 帮助准备和整理全部著作。

本书的科学編輯由出版社委託盧金 (Л. И. Лукин) 担任, 为此作者向他表示深刻的謝意, 特别是为了他对本书的圖表作了补充。

第一章 彈性、塑性與強度的理論中的 基本概念與實驗

1. 概 論

地殼在這種或那種力的影響下而變形。變形通常由外來的機械力加之於物體而引起，較少由溫度的改變和其他的因素而引起。

所謂變形是指物體（或其某一部分）的形狀或大小的改變而質量並沒有改變^①。地殼中的變形首先分為彈性變形與剩餘變形。

彈性是固體在與內力的發生有關的物理作用的影響下而改變自己的形狀與體積，而且當這些作用消失後又能完全恢復原始狀態的性質。相應的，固體在物理作用消失後能恢復到原始狀態的變形稱之為彈性變形。彈性總是有極限的。如果超出彈性極限，則剩餘變形起了作用，亦即在引起變形的作用消失以後也不會完全的或部分的消除的變形。

物體中發生的、力圖平衡外力作用的內力稱之為彈性力。作用於橫斷面的單位面積上的，並能表明彈性力的強度的彈性力的值稱之為應力。應力這一術語僅只在那種情況下，假如內力是均勻的分配於所探討的斷面上時才能使用。在斷面上的力不均勻的分配的情況下，內力對斷面的關係應當以平均應力這一術語來表示。

在地質學中必須考慮到，在野外調查時研究與觀察變形是可能的，但確定外力作用的方向與強度是很困難的，甚至常常是不可能的。因此多半只能尋求構造問題的運動學上的解決，而非動力學上的解決。

應用的彈性理論是研究外力和由它所引起的變形與應力之間的依

① 基本的定義都是逐字逐句引用蘇聯科學院技術通報委員會1952年出版的第14期：

“彈性理論、材料的力學性質與結構力學的試驗的術語”。

从关系。这门科学要处理真实的材料（金属、混凝土、岩石等等）。岩石在实验上研究得还很差。认为岩石常常是经受弹性变形是有根据的。物体的弹性变形与其中应力的发生有关，当引起这种应力的作用消除以后，应力亦随之而消失。应用的弹性理论所研究的主要变形计有：拉伸、压缩、剪变形（剪切）、扭转、弯曲。

在地壳中扭转乃是复杂的变形，它实际上是归结于压缩变形与拉伸变形，但在自然环境中要确定原来的力场是足够困难的。所有其他上述的变形在本书中都部分的加以探讨（在弯曲一部分中只引用了比较少的材料和数据）。

剩余变形在地壳中的分布不比弹性变形少，而是比它更多，剩余变形本身又可分为塑性变形与脆性变形。

塑性变形应理解为没有由力的因素作用结果而形成的材料连续性的宏观破坏的剩余变形。与此相反，物体在这种条件下被破坏而不具有可辨别的塑性变形的那种变形则称之为脆性变形。

对于地质现象来说，不仅想像塑性变形是重要的，而且想像粘滞性流动、屈服（текучесть）和蠕变（ползучесть）也是同样重要的。

粘滞性流动所指的是材料的剩余变形的增长，材料在荷重之下的这种为类似过冷液体的行为。粘滞性流动已研究得相当好，因为这是水力学的范畴。材料的塑性变形在时间上发生的增长而不关系到应力的增加者称之为屈服。材料的塑性变形在力的作用下（这种力的作用小于能在通常期限的试验中引起剩余变形的力的作用）在时间上发生的缓慢的增长称之为蠕变。在长时间的作用下，那些排列于对外力作用的方向最有利之处的颗粒最先起塑性变形。结果一部分荷重开始作用于隣接的弹性变形的颗粒并且把它们吸引到塑性变形中来；例如金属的蠕变过程就是这样实现的。蠕变分为三个阶段：（1）初期的，不确定的蠕变，（2）确定的蠕变，（3）第三个阶段，在这一阶段中，变形的速度急剧增加，并由于变形的局部不均匀性的结果而发生破坏。

搞清楚蠕变对了解某些地质现象是颇为重要的；同时需要考虑到蠕变有时很依赖于外介质。外介质的主动作用会引起强烈的蠕变。这

种主动作用改变塑性变形的大小与弹性变形的大小之间的对比关系，这些变形是符合于該外介質和它的向着用减小弹性变形而来增大塑性变形的方面起作用的时间的。

強化（упрочнение）或硬化（наклёп）是塑性变形所引起的材料的性質与状态的改变（構造、性質、剩余应力状态等等的改变）。这一现象在地質学中很重要。在塑性变形的初期阶段变形物質的強度表现出显著的增大。強度增大的原因之一乃是晶格的弯曲或者畸变而阻碍了繼續的層間滑动。另一种理論証明，当晶格破坏时，由于出现了阻碍滑动的晶体的碎片，在滑动面上便产生了材料的強化。經過若干时间，強化的材料由于松弛（отдых）而重新取得原先的性質。“松弛”的实质乃是由于原子的热运动而校正了晶格中的畸变，不过这种校正是需要时间的。增高温度可以較快的得到材料的松弛，因为原子在这种情况下能較快的重新取得稳定平衡的位置。

脆性变形在地壳中的分布不比塑性变形少，而是比它更多。脆性变形发生于当強度不能再起影响的时候，这时候材料失去了在一定的条件与極限之内能承受这种或那种作用而不被破坏的属性。可惜破坏的性質与外貌还没有研究过，因为对工程师們來說重要的是破坏开始的时刻而不是它的一般外貌。同时，断裂（разрыв）应理解为拉伸之下的破坏；切断（срез）和剪切（скалывание）——表示由材料的一部分对另一部分的平移断开而引起的破坏。裂割（отрыв）^①应理解为在破坏表面的法綫方向上被破坏物体的各部分彼此分散之下的破坏。

2. 材料力学的基本数据

学者虎克早在1661年就已经察明了桿的伸長与加于其上的荷重之間存在着正比关系，而伸長与横断面面积之間存在着反比关系。在一般情况下，当試样上的荷重未达一定極限时，伸長正比于張力 P 、試样的長度 l 并且反比于横断面面积 F 。这些試驗数据呈下列比例关

① 在地質學家們中往往使用“断裂”这一术语。

系:

$$\Delta l = \frac{Pl}{E},$$

式中 E ——对不同的材料而不同的比例系数, 称为彈性模数或楊氏模数;

Δl ——长度的增量并称为桿对張力 P 的絕對伸長;

$\frac{\Delta l}{l}$ ——称为相对伸長并以 ε 表示之; 以公斤/公分² 計的应力用 σ 表示之。

考虑到 $\sigma = \frac{P}{F}$, 則虎克定律可以写成:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}, \quad \text{或} \quad \sigma = \varepsilon E.$$

桿在拉伸或压縮的作用下, 除了經受縱向变形外还要經受橫向变形。相对橫向变形 ε_1 与相对縱向变形 ε 之比的絕對值 称为泊松系数 (μ), 亦即 $\mu = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon}$ 。除了彈性模数 E 以外, 这一比例关系 乃是材料的彈性性質的最重要的特征。这两个系数 E 和 μ 充分的表达出所有的均質材料的彈性性質。

真正的多晶質和非晶質物体的变形的机理乃是固体物理学中最重要和最困难的問題之一。在大多数多晶質物体中, 其中也包括岩石在內, 个别的結晶顆粒都杂乱的配列着。因而, 我們在任何的方向好像都看到一样的晶体配列, 而相应的, 非均質的标志好像消失了。这就是說, 虽然个别晶体的品格往往是非均質的, 但作为多晶体的岩石实际上却是均質的。岩石的这种表面上的均質称为似均質(квазиизотропия)。通常甚至在一立方公分界限以內就可以把岩石当作似均質的。因此楊氏模数和泊松系数也能說明大多数岩石的彈性性質。

不过需要記住, 在許多沉积岩內观察到平面上的(在一个岩層內部)似均質性質, 但就層層交互的岩石的整體來說在該情況下是不能

称为似均質的。

楊氏模数是測定材料抗彈性變形的強度的指标并以單位面积上的公斤数来計量。在單軸壓縮之下以无名数来測定的岩石的泊松系数，荷重时等于0.35—0.48，释重时等于0.35—0.30。 μ 的数值对于混凝土是0.08—0.18，对于鑄鉄（平均的）是0.25。計算說明，在彈性變形时岩石依据 μ 的值而表現得有所不同。譬如，当 $\mu=0.5$ 时不發生岩石体积的改变，当 $\mu<0.5$ 时在拉伸的情况下通常發生体积的增大，在壓縮的情况下通常發生体积的减小。 μ 在地質学中的实际意义是很大的。

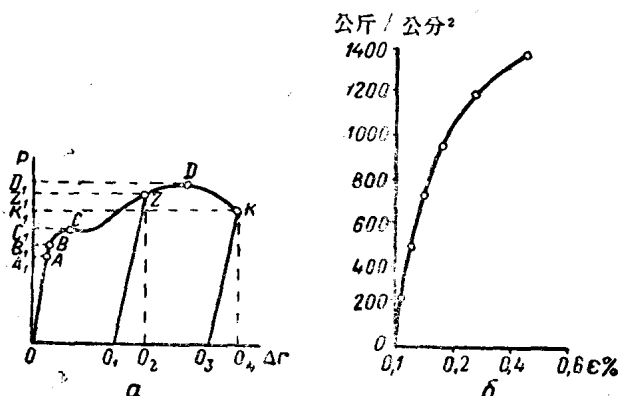


圖1. a——軟鋼試樣拉伸圖（根据別利亞耶夫Н·М·Беляев）；
б——脆性材料拉伸圖

變形可以是彈性的或剩余的，而材料（在普通溫度下）可以是脆性的或塑性的。脆性材料（石材、混凝土、鑄鉄）在一超过彈性極限的很小的剩余變形时即被破坏；而在塑性材料方面破坏發生于相当大的剩余變形之后（少量碳素鋼、銅等等）。

圖1 a所引用的圖解表明軟鋼的變形（拉伸）。縱座标軸表示荷重，橫座标軸表示變形。在到A点（称为比例極限）之前變形与荷重成比例而發生。此后變形的發展加快，而在縱座标 OC_1 之处材料“屈服”了——这就是屈服極限。接着在材料的變形中形成了某种障碍（強化或硬化）而且需要增加荷重才能得到繼續的變形。D点符合最