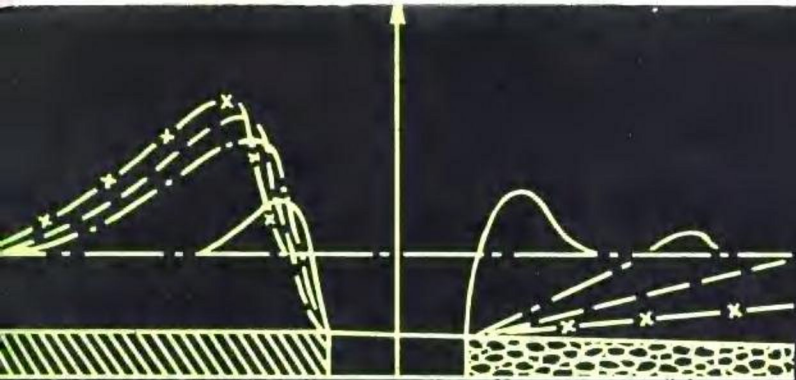




钱 鸣 高 编著

采场矿山压力与控制

煤 炭 工 业 出 版 社



— — — — —

采场矿山压力与控制



— — — — —

TD32

6.

3

采场矿山压力与控制

钱 鸣 高 编 著

煤 炭 工 业 出 版 社

B 029895

内 容 提 要

本书主要介绍煤层开采过程中采区内形成矿山压力现象及其控制方法的基本原理。书中较详细地叙述了回采工作面矿山压力的引起、发展和其影响因素以及可能采取的措施。同时叙述了受回采工作面矿山压力影响的采准巷道围岩变形规律及其维护办法。书中还介绍了一些开采过程中形成的动压现象的机理。由于形成矿山压力的根本因素是岩层的力学性质及开采后的应力重新分布,因此在前两章以此做为本书的基本内容加以介绍。

本书主要供现场的采煤工程技术人员参考,对科研和矿业院校的师生也有参考价值。

责任编辑:王 振 铎

采 场 矿 山 压 力 与 控 制

钱 鸣 高 编 著

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$

印张 $9^{5/8}$

字数 253 千字

印数1—4,320

1983年3月第1版

1983年3月第1次印刷

书号15035·2528 定价1.45元

前 言

《采场矿山压力与控制》是专门为从事采煤的工程技术人员编写的一本参考书。

多年来,顶板事故为煤矿事故的百分之四十多;因此,关于岩层控制问题一直为广大的采煤工程技术人员所重视。但是由于岩石及岩体力学性质的复杂性以及生产地质条件的多变,再加上过去是采用木支架支护采场,因而常常是凭经验来处理岩层控制问题。近十年来,由于回采工作面液压自移支架的使用,无煤柱护巷、上行开采可能性的研究以及回采过程中安全生产的要求,原有的经验已深感不足。最近以来通过国内外的学术交流,介绍了一些国外的先进经验及技术。同时,国内也积累了大量的控制矿山压力的经验,尤其是近十年来结合自移支架的使用以及无煤柱护巷开展了广泛的科学研究工作,积累了大量的资料。如大家所知道的,矿山压力问题的解决以及基础数据的获得通常都是靠现场实测的方法,对此若没有一个正确的或比较正确的观点或思路,矿山压力的测量常常带有盲目性,甚至所测得的资料也无从下手整理。因此系统地介绍矿山压力形成的基本知识就显得十分必要了。在这种情况下很多同志鼓励我写一本有关这方面的书籍,以满足煤炭系统采煤工程技术人员需要。由于自己才疏学浅,生产经验又感不足,因而迟迟未能动手。直至1979年底,在煤炭工业出版社及其他有关同志的鼓励下开始收集资料,编写此书。在编写过程中,力求深入浅出,结合煤矿的生产实际将形成矿山压力的基本原因阐述清楚;但常常力不从心。初稿完成后,编者曾到大同、西山、铜川、枣庄等矿务局在有关的工程技术人员中试讲并征求意见。几经修改,完成此稿。尽管如此,由于水平所限,书中不妥之处难免,恳切希望广大读者提出宝贵意

见，便于以后修改，则不胜感激。

借此机会向在编写过程中提供帮助的同志表示深切的谢意。

编 者 1982.2

目 录

第一章 概论	1
第一节 概述	1
第二节 采矿工程特点	11
第三节 岩体的原始应力状态	14
第四节 煤岩的物理力学性质	18
第二章 矿山压力的形成	35
第一节 孔周边的应力分布状态	35
第二节 支承压力的分布状态	45
第三节 应力在岩层中的传递	51
第三章 采场矿山压力及其显现的一般规律	56
第一节 初次来压前回采工作面矿山压力及其显现的 基本规律	58
第二节 初次来压后岩层移动概貌	77
第三节 冒落带的力学特征	82
第四节 裂缝带的力学特征	85
第五节 周期来压	101
第六节 回采工作面前后的应力分布	105
第七节 工作面围岩及其分类	110
第八节 其它影响采场矿山压力的因素	117
第九节 全部垮落法分层开采矿压特点	127
第四章 采场支架基本结构及其特性	130
第一节 支架的基本特性	130
第二节 单体支架的结构原理	132
第三节 液压支架	145
第五章 采场支架和围岩的关系与支护参数的决定	166
第一节 支架和围岩关系的含义	166
第二节 顶板下沉量及选定支架规格	172

第三节	工作面支架的额定工作阻力·····	176
第六章	采场支护方法及分析·····	195
第一节	单体支架支护方法分析·····	195
第二节	支撑式液压自移支架支护方法分析·····	203
第三节	掩护式液压自移支架支护方式分析·····	218
第四节	支撑掩护式液压自移支架·····	229
第五节	初撑力、移架方式等对顶板管理的影响·····	238
第六节	液压支架的性能试验·····	244
第七章	采区巷道维护·····	251
第一节	影响巷道维护的因素·····	252
第二节	巷道变形量的测定·····	254
第三节	采区巷道支架·····	256
第四节	减少巷道围岩移动量的措施·····	265
第五节	采区巷道位置选择·····	269
第六节	集中巷道在底板岩层中的布置·····	277
第八章	矿山压力的动力现象·····	282
第一节	概述·····	282
第二节	顶板大面积来压·····	283
第三节	矿山冲击地压·····	290
参考文献	·····	300

第一章 概 论

第一节 概 述

矿山压力的控制是采矿工程的根本问题之一。

合理而有效地控制矿山压力将直接地影响到矿工的安全、采矿的经济性以及采矿系统的合理性。

近几年来我国煤矿在工作面大量使用了液压自移支架，在巷道布置上推广无煤柱护巷，在开采顺序上有些地方被迫采用上行开采，随着开采深度的增长，冲击地压等动力现象也在不断增长。这些都要求我们必须具有充分的矿山压力知识。我们应在总结生产中的经验教训的同时，比较全面地分析并了解开采后形成的一系列矿山压力现象的原因。研究与探索控制矿山压力的措施与方法。

“采场矿山压力与控制”主要是集中地叙述回采后所引起的矿山压力变化；采场矿山压力的表现形式；采场对采区巷道的影响。研究矿山压力的目的是为了控制矿山压力，以及对采场及采区巷道采取相应的维护方法。

什么是矿山压力？

我们可以任意选取一个矿井，作一岩层的走向或倾斜剖面图。从图上可以看出，岩体被一系列纵横交错的巷道及回采工作面所切割。由于这些巷道及回采工作面的存在，必然导致岩体内原始应力状态的改变。矿山压力即指因采矿而导致改变了的岩体内的应力大小。由此可知，矿山压力的状态是与采矿巷道（包括回采工作面）的形状及开采方法密切相关的。

矿山压力对岩层（或煤）的作用，将引起一系列的力学现象。例如顶板下沉和冒落、顶板沿工作面的切落、底板臃起、煤

壁片帮、支架变形和折损、充填物的压实、岩层移动及因采矿引起的地表塌陷。煤的压出以及矿山冲击等等统称为矿山压力的显现。

矿山压力与矿山压力显现，只是在研究问题的本质时，才将其区分开。在生产现场使用时，“矿山压力”一词既包括了采矿后的岩体内应力的大小，同时也包括了一切因矿山压力作用引起的一系列现象。

目前研究矿山压力，一般是由三个方面来进行，即理论研究、实验室研究与现场实际测定。事实上这三者是互相配合，互为验证的。甚至是缺一不可的。

理论研究，固然重要，但由于采矿条件的多样性，以及岩石力学性质的复杂性，目前还不能采用数学力学工具作全面的定量分析。对一些实际条件必须加以简化，使得实验室研究满足这些简化条件。

长期以来，生产现场常常采用实际测定的方法。怎样组织实测工作，怎样分析、整理测得的数据以及运用测得的结果同我们想解决的问题建立什么样的联系，这些问题不能正确的解决，就会使实测工作带有一定程度的盲目性，产生这种情况的原因是对所发生的现象的机理了解不透。

巷道及工作面的支护物是一种结构物。所支护的空洞（巷道或回采工作面）本身就置身于岩层之中，在一定的受力条件下岩层本身同样可能形成支护这些空间的结构。如形成“拱”、“梁”或其它形式的结构等等。为了研究巷道及工作面支护物的稳定性及其应具备的强度，必然要研究空洞周围岩体的稳定性。

总结上述，本书中所关心的主要问题是：其一在巷道及工作面开掘后周围岩体内应力发生了什么变化？其二岩块或岩体在各种不同受力条件下可能形成的结构型式及其变形破坏特征。其三巷道及回采工作面应具备的支护形式及其参数的决定方法。

矿山压力是一个力学问题，根据矿山压力及其显现的特点以及岩（煤）块在受力后的基本变形特征，首先介绍一些力学上的

基本概念。

一、力的分析及物体受力后的平衡条件

力学中关于力的定义为：“力是物体间的相互作用，这种作用使这些物体发生机械运动状态的改变。”力的作用效果就是要使物体沿着力作用的方向产生运动，或者沿着力的作用方向发生运动速度的改变。例如岩块在重力作用下，若没有任何支托，则将引起冒落。

力既然是物体间的相互作用，因而总是成对地出现的。如作用力与反作用力，其大小相等方向相反，且作用在同一条直线上。

力的大小、方向与作用点是分析力的三要素。

为了阻挡物体受力后产生的运动，必须有约束反力。如为了阻止顶板受重力后的冒落，必须支以支架。支架对顶板就形成了约束反力。

大小相等，方向相反不共线的两个力，组成力偶。力偶矩等于力与力偶臂的乘积。力偶矩可以使物体发生转动。

研究物体受力后是否产生运动，则应对此物体所受的力进行图解与合成。合成的结果在平面力系中可归纳为方向相反的两个力。其可能出现的情况如图1-1所示。

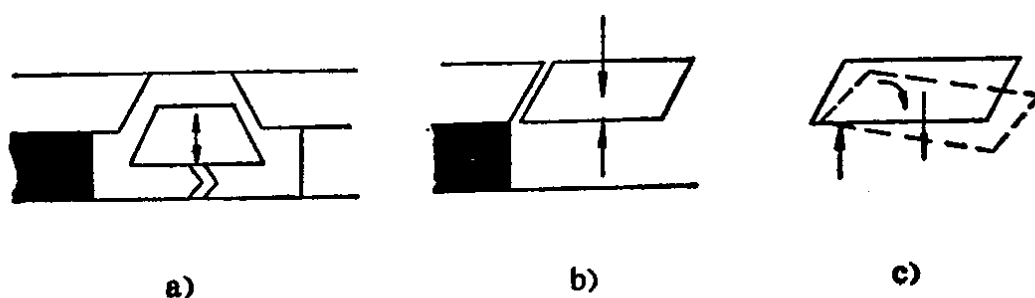


图 1-1 物体受力后出现的情况

1) 若物体受两个合成力大小不等、方向相反，作用在一条直线上，则物体必将沿着力较大的方向产生运动。例如当支架对顶板的约束反力小于顶板岩层的重力，则顶板岩层将沿着重力方向产生运动，即形成冒落。如图中 a 所示；

2) 若两个力大小相等, 方向相反, 且作用在一条直线上, 则物体保持平衡。例如当支架支撑力与顶板压力相等, 则顶板保持稳定。如图中 b 所示;

3) 若两个力大小相等, 方向相反, 不作用在一个作用点上, 则物体产生转动如图 c 所示; 若两个力大小不等, 则在产生转动的同时还要发生位移。

因此在平面力系中, 物体形成平衡的条件为: 在 X、Y 轴上的合力为零; 任意点的力偶矩为零, 即:

$$\Sigma F_x = 0; \Sigma F_y = 0 \text{ 与 } \Sigma M_0 = 0$$

式中 F_x ——在 X 轴方向的力;

F_y ——在 Y 轴方向的力;

M_0 ——对任意点 O 所取的力偶矩。

二、物体在考虑摩擦力时的平衡

图 1-2 为一斜坡上的重物 W, 它所受的约束力为: 斜面对物

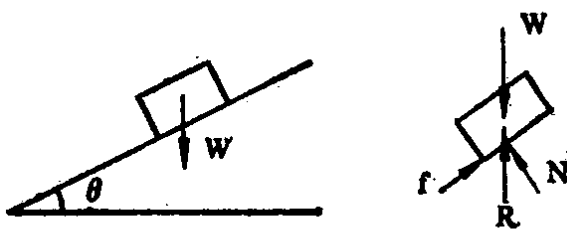


图 1-2 物体斜面上的摩擦

体的反力 N , $N = W \cos \theta$, 以及斜面对物体的摩擦力 f , $f = \mu \cdot W \cos \theta$ 。此摩擦力的作用方向与物体要滑动的方向相反, 作用于重物的底面积上。

如果物体要保持平衡, 则摩擦力的大小应等于物体滑动的力的大小。物体下滑的力将随着斜坡的角度增大而加大, 因此摩擦力的大小也随之而增加。可见摩擦力的大小是变化的。当下滑力超过斜坡的最大摩擦力 $f_{\text{最大}}$ 时, 物体开始沿斜面下滑。能使物体保持平衡的最大角度 $\theta_{\text{大}}$ 叫静止角或叫摩擦角, 常用 φ 表示。这个摩擦角的正切即为摩擦系数 μ 。

$$\mu = \tan \varphi = \frac{f_{\text{最大}}}{N}$$

式中 N ——滑动时斜面对物体的反力。

摩擦系数的大小决定于接触面的性质。一般所提供的摩擦系

数均是指干面时的情况；若接触面间具有液体润滑，则 μ 将大大减少。

岩层中层理裂隙较为发育，裂隙面之间能够传递摩擦力。采矿后破断了的岩块，相互间力的传递是靠摩擦力。断层两侧的接触面上也可传递摩擦力，当平行于断层面的力达到最大摩擦力时，断层将要发生错动。

三、形变

当固体受到了外加的机械力的作用，由于条件的约束该物体既不能在空间位移又不能转动，此时物体便会受到容积的变化或容积和形状的变化。这种变化即称为“变形”。

在矿山中由于矿山压力的作用，巷道周围的岩（煤）块将发生容积和形状的变化。其结果就可能導致煤壁片帮、底板臃起和顶板下沉等一系列矿山压力显现。

因此研究矿山压力现象就必须了解一般岩（煤）块的变形特征。

从力学的基本概念出发，所有的变形可以归结为几种基本类型的复合。根据受力条件的不同可以分成：一种是由于拉伸或压缩而形成的容积变化；另一种是由于切变而形成的形状的变化，后者主要是受剪切力所致。

这些变形如图1-3所示。

图中a表示的单位长度的变化量则称为“形变”，同理如图b则称为剪切形变。

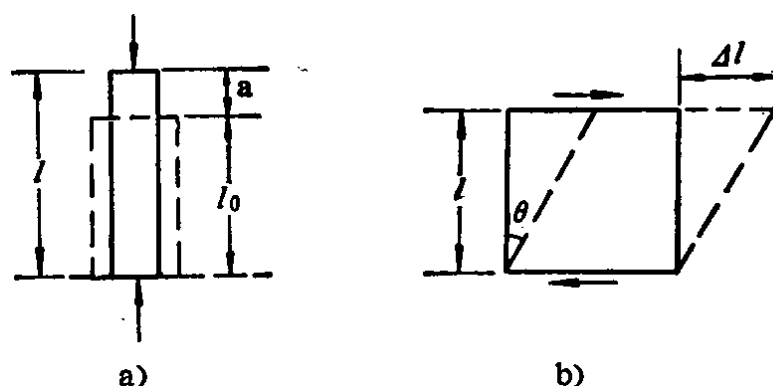


图 1-3

a—压缩变形状态；b—剪切变形状态

压缩形变:

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l} = -\frac{a}{l}$$

剪切形变:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\Delta l}{l}$$

根据固体产生形变后能否恢复, 又可以将变形划分为两种基本类型:

弹性变形或称可逆性变形, 即在去掉外力后物体即恢复原状。

塑性变形或称不可逆变形, 即物体变形后获得新的形状, 而且在外力去掉后变形仍将继续保持下去。

一般情况下弹性变形与塑性变形同属一个物体在受力后的不同变形阶段, 因而这两种变形常常是密切相关的。例如理想固体的变形情况如图1-4a所示。变形开始由0-1为弹性阶段, 此时固体的形变随其应力的增长而呈正比关系增长。而后1-2为塑性阶段, 即当应力达到一定值后形变将持续进行直至破坏。点1为固体的屈服极限, 点2即称为固体的强度极限。在实际情况下, 塑性阶段常常如图1-4b所示的情况, 即有一个强化过程(1-2')与弱化过程(2'-2)。强化过程就是在塑性阶段内为了增加一些形变需要加大一些负荷。当超过2'点后即使减小负荷变形仍将继续进行。

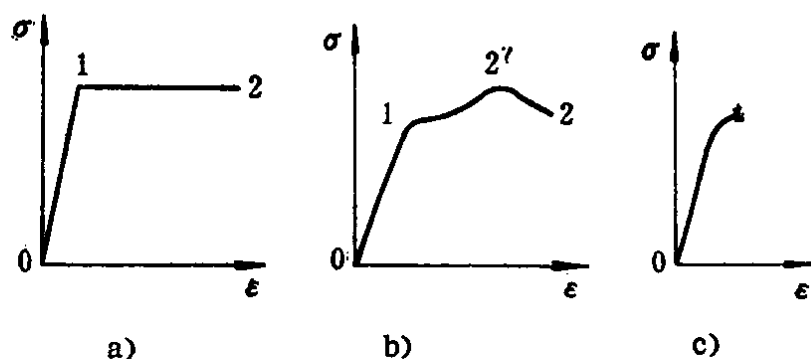


图 1-4 固体的弹性变形与塑性变形

有一类固体的变形情况如图1-4c所示，它不具备塑性阶段，即直接进入破坏状态。此种材料称为脆性材料。

根据实验，在简单受力情况下造岩矿物是弹性脆性体，它没有残余变形。当应力达到弹性极限时，矿物即开始破坏。其应力与形变的关系遵从虎克定律。

对于岩石来说，由于它是由造岩矿物结晶而成，或者是由各种不同胶结物将矿物胶合而成，因而岩石的力学特性将因胶结物的不同而不同。其应力形变关系将不遵从虎克定律。再因岩体中裂隙的影响，其力学特性就更为复杂。

四、应力

物体在阻抗各种变形所形成的单位作用面积上的抗力称为应力。当物体受力后其任何一个面上均存在着这种应力；此种力均可分解为垂直于该面的应力与平行于该平面的应力。前者称为正应力以 σ 表示，后者称为切应力以 τ 表示。任何一个面上的正应力与切应力即表示了该平面上的应力状态。

弹性理论表明：无论用什么方法使物体受到负荷，无论何种形变，在每一点上总可以找到三个相互直交的小面积，在这些面积上只有正应力存在而没有切应力。有了这三个正应力便可以充分地表示出该点的应力状态。这些正应力称为主应力。它们的作用方向称为应力主轴。

假若两个主应力等于零，只有一个主应力不等于零，则为单轴受力状态。例如试件在材料试验机上简单受拉等。

假若一个主应力等于零，其它两个主应力不等于零，这时便是双轴应力状态。

如果三个主应力都不等于零，便是三轴的或称为立体的应力状态。

矿山岩体中的任何小岩块都是处于三轴的应力状态，只有在巷道或工作面周边的部分岩（煤）块才处于双轴或单轴的应力状态。

五、弹性模量

一般用 E 表示，是指图1-4b中在弹性阶段内应力 σ 与形变 ε 之比，即 σ/ε 。这个比例常数表示材料抵抗弹性变形的能力，是衡量材料弹性性质的一个重要指标，称为弹性模量。

六、泊松比

当杆件受拉或受压，且应力不超过弹性极限时，横向缩短（伸长）形成的形变与纵向伸长（缩短）所形成形变的比值是一个常数称为泊松比。

七、徐变

物体在应力保持不变的情况下，变形随时间而变化的现象称为徐变。

在矿山压力显现中有很多变形量是时间的函数。例如顶板下沉或者底板臃起等变形常常在其它条件不变的情形下，变形仍随时间的延长不断增长。

在实验室取一混凝土块或取一岩块作为试样进行加载。若使其载荷不变，且长时间加于其上，此时试样的变形就会随着时间的延长而不断增长。

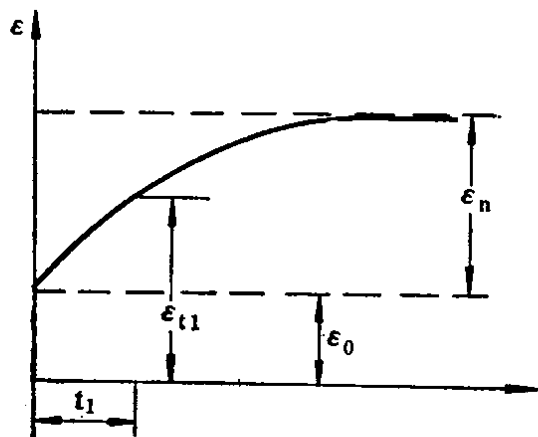


图 1-5 混凝土块徐变曲线

图1-5是混凝土试块在持续荷载作用下，形变与时间的关系曲线。在开始加载的瞬间，混凝土块的初始形变为 ε_0 ，当荷载保持不变，变形将随时间不断增长。混凝土块的最终徐变值 ε_n 可达其初始形变值 ε_0 的2~3倍。

由此可知，混凝土块的徐变量还是很大的，同时也说明这种材料在一定的应力状态下具有流体的特性，只是其粘滞系数特别大而已。

为了形象地表示徐变的特性，一般地借助于力学模型。将固体材料的变形简单地分为弹性变形与粘性变形两种。单纯的弹性变形可以用一弹簧作为模型表示弹性变形的特征，其特征值为

E。变形随应力的变化成正比关系。如图1-6a所示。单纯的粘性体则可以用一阻尼筒作为模型表示其特性，即在一定作用力下阻尼筒继续变形（伸长或缩短），如图1-6b所示。其特征可以用粘滞系数 η 表示。粘性体的变形速度 $\frac{d\varepsilon}{dt}$ 正比于应力 σ 而与粘滞系数 η 成反比，其关系式为：

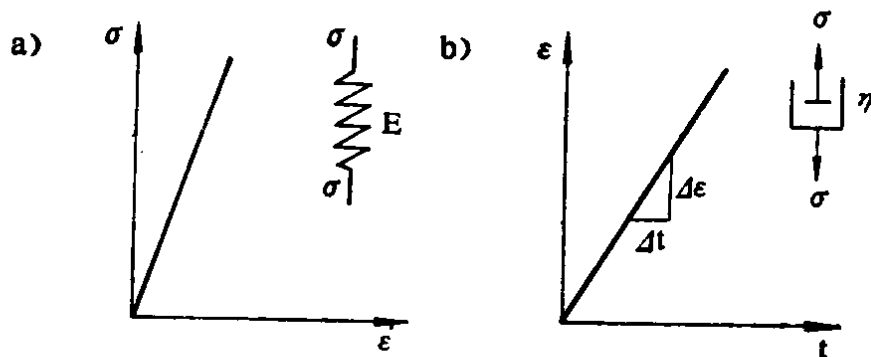


图 1-6 弹性体与粘性体的力学模型

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{\sigma}{\eta}$$

固体的徐变是这些模型的组合。在所有的模型组合中有两个基本模型。其一为马克思威尔模型。这种模型相当于弹簧与阻尼筒的串联结合。其徐变特性如图1-7所示，表示在一定的应力作用下产生的形变。其中一部分为瞬时可恢复的，另一部分是随时间变化的，是不可恢复的。从力学模型上分析，在受力 σ 后弹簧立刻变形，阻尼筒是有相当粘度的流体，流动较慢，所以其瞬时变形可视为零。当 σ 长时间作用时，阻尼筒的变形就显示出来了。

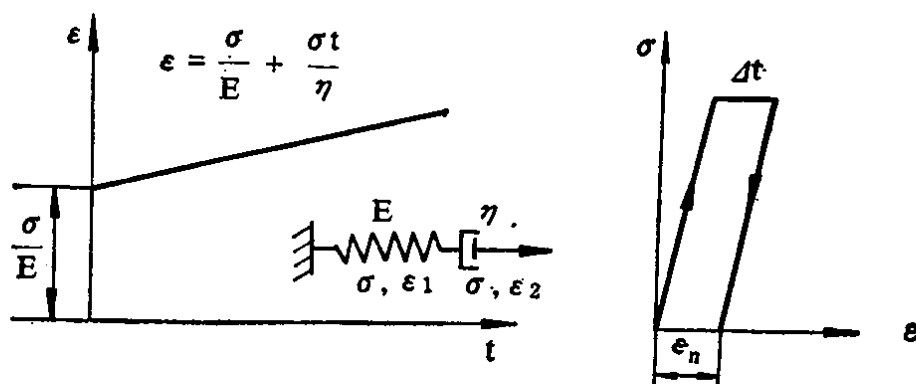


图 1-7 马克思威尔徐变模型