

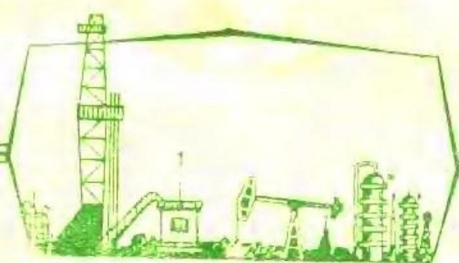
高等学校教学用书

石油地球物理勘探

下册

(地震勘探原理和解释)

秦政编



石油工业出版社

石油地球物理勘探

(地震勘探原理和解释)

下 册

秦 政 编

石油工业出版社

内 容 提 要

本篇共分八章，内容包括地震勘探的基本原理与解释理论，地震资料的采集、数字处理，地震信息的提取、资料解释以及地震勘探的新技术和地质应用。

全书以解释为中心，反映了现代地震勘探的技术水平。本书为高等学校石油地质专业的教科书，亦可供石油物探专业学生、石油物探技术人员和石油地质工作者参考。

石油地球物理勘探

(地震勘探原理和解释)

下 册

秦 政 编

石油工业部教材编译室编辑（北京902信箱）

石油工业出版社出版

（北京安定门外外馆东后街甲36号）

地质出版社印刷厂排版

通县曙光印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 15¹/₄印张 350千字印1—4,000

1987年6月北京第1版 1987年6月北京第1次印刷

书号：15037·2753 定价：2.45元

前 言

在石油和天然气勘探中，地震勘探技术迅速发展，方法和设备不断更新，提取地质信息的手段日益增多，同时在解释方法上也有很大的变化。为了适应这种技术发展的需要，编写了这份教材，供石油地质专业使用。

作为石油地质专业的教材，本书强调了地震勘探资料的地质解释与应用。然而，要正确地、有效地运用地震资料，了解地震勘探方法的原理和解释的理论依据是必要的，因而在这份教材中相应地有所增强。

当前，石油和天然气勘探，日益转向地下深部和地质构造复杂的地区。作为寻找地下资源主要手段的地震勘探方法，显得越来越重要。对于石油地质人员，不应只限于一般性地了解地震勘探知识，而应进一步学会和掌握地震勘探技术。这份教材正是针对这种需要编写而成的。

本篇共分八章：第一章阐述地震勘探的基本原理；第二章和第三章阐述地震资料解释的理论基础；第四章介绍地震勘探获取资料的方法；第五章介绍地震资料的数字处理方法；第六章和第七章则是提取地震信息和解释地震资料的方法；第八章介绍地震勘探的新技术和地质应用。全书以解释为中心，没有过多地涉及地震勘探在方法上的专门技术内容。在阐述中强调解释的理论依据，并正确地分析地震勘探中使用的各种方法的勘探能力、效果和局限性。

讲授本书大约需要60~70学时。考虑到使用本书的院校在教学时数安排上的差异，书中加“*”号的各节，可供选用。

编写本篇时，参考了国内有关院校的教材和国外专业书刊的资料。在所附参考书籍中已分别列出，借此致谢。

本篇由华东石油学院董敏煜付教授审校，在此敬致谢意。

限于编写者水平，书中一定存在不妥之处，恳切希望广大读者提出批评和指正。

编者

一九八五年五月

绪 言

在石油和天然气勘探中，地质工作者和地球物理人员有着同一目的，共同为寻找地下油气资源而努力。

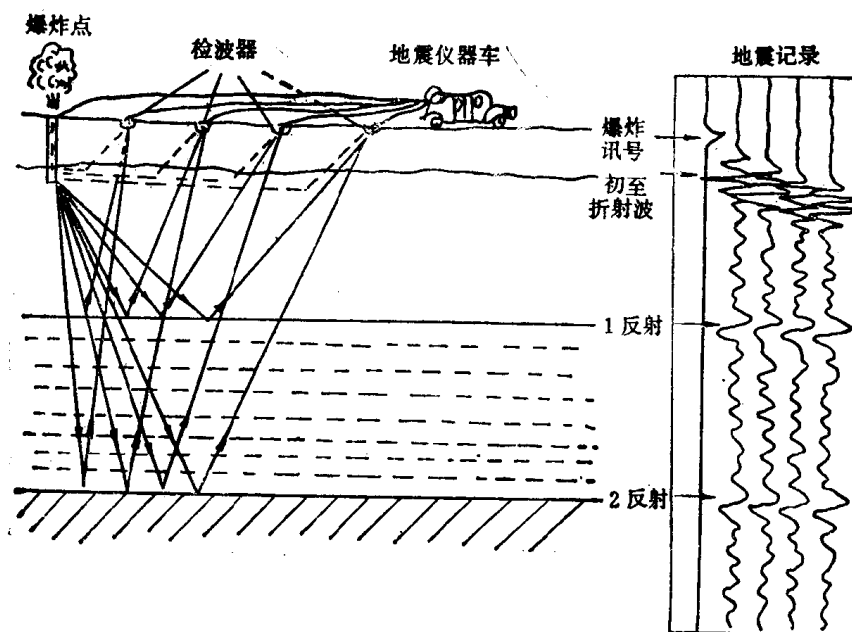
地质工作者和地球物理人员，虽然有同一兴趣和共同的目的，但他们往往使用不同的手段致力于各自的工作。不同的专业人员所发挥的技能常常是完全不同的，这主要是每一种方法作为解释依据的基础资料本来是不一样的。

当今多数的勘探方法都是基于采用间接测量的形式。地下地质的研究，也不是直接观察岩石，而往往是通过少量的岩心和岩样的分析由测井资料推测的。

在沉积覆盖地区，作大面积测量，地震勘探可能是唯一有效的手段。地震测量并不需要事先在地下钻探深井，因而地质人员越来越多地注意依靠地震测量作为他们工作资料的主要来源。

地震勘探何以能解决地下的构造地质问题，这主要是因为组成地质构造的各种岩石具有不同的物理性质，因而可以用物理的方法观测各种物理现象来研究地下的地质结构。

简而言之，地震反射法测量，是在地面上用人工的方法激发地震波，地震波自这一点在地质介质中向各个方向传播。波遇介质中的分界面发生波的反射和透射，当形成各界面上的反射波返回地面时，引起地面振动。我们用专门的地震仪器，在地面各点记录反射波所引起的地面振动情形，并相应地记下波发出至波到达地面的传播时间，则我们就获得了地震测量的原始资料——地震记录。这个过程，正如地震勘探示意图（图绪1）所表示的情形一样。由于波的传播过程与介质分界面紧密相关，因此分析与研究地震记录的一系列



图绪1 地震勘探工作示意图

特点，标出波传播的时间，测出波传播的速度，算出波传播的距离，并分析振动形态及振动强度的变化，就能定出地层的埋藏深度、倾角与界面的形态，甚至还能作出地层岩性及岩相变化的某些结论。

地质人员配合物探人员可以利用地下有地质高点显示的地震剖面 and 反射层段的厚度制作地下主要地层的构造图和等厚图，来说明当地沉积条件和沉积时的地形情况。也可以通过波的传播速度和波的吸收特性来判别岩性。当然最好是通过岩心和岩样来鉴定岩性。根据这些工作，常能成功地做出有关沉积盆地演变以及圈定地下剖面发生相变富集油气地带的某些结论。

地震勘探作为研究油气圈闭的主要技术，在石油和天然气勘探中起着重要的作用，而且在生产中日益得到广泛地应用，在国内和国外均有成效地找到了许多大的油气田。然而，随着工业的发展，对油气燃料的需要日益增加，以不断增长的速度开发地下的石油和天然气，已经导致资源短缺，一些地质条件简单，容易发现的油气资源越来越少，地震勘探日益转向地下深部和地质结构复杂的地区，因此寻找地下能源的任务，无疑比以往任何时候都更加困难了。

然而，随着科学技术的发展，特别是计算机技术的普遍应用，地震勘探已能适应新的形势，发展了一些独特的专门技术，可以检测和提取更多的地震信息。目前，地震勘探的能力在不断提高，研究的地质领域在不断扩大。

应该指出，在研究地下深部和复杂的地质结构中，单靠地震勘探方法的作用是不够的。特别是地震资料解释必须与地质资料相结合，而且还必须相信钻井的验证作用。通过大量的生产实践发现，勘探中使用的各种方法，几乎都是有价值的，而且所有的方法相互配合、相互补充，才能丰富和发展对复杂地质结构的认识，获得有效的勘探成果。

所有的勘探人员，不论从事何种专业和采用何种方法工作，其勘探的目标应该是一致的。要共同勘测和解释含油的构造圈闭，在可能情况下，要预告储集层内流体的性质。近几年来，从地震波中提取速度信息可以用来划分地下地层的岩性，利用地震波的振幅和其它反射特征可以勘测油气藏，因而为石油勘探直接找油带来了希望并开始成为现实。

在这本书中，我们打算围绕勘探石油有关的一些地质问题，讨论地震勘探的原理、方法、数字处理及其资料解释。为了同一目的，使地质学和地球物理学之间没有根本的差异，建立一个统一的、实用的勘探体系，为寻找地下丰富的自然资源而共同努力。

目 录

绪 言

第四篇 地震勘探

第一章 地震波传播的基本原理	1
§ 1 固体的弹性理论	1
一、完全弹性的概念	1
二、应力	1
三、应变	2
四、应力与应变的关系	5
§ 2 波	7
一、波动方程	7
二、纵波和横波	8
三、面波	10
§ 3 地震波	10
一、地震波的性质	10
二、地震波的振动图形	10
三、地震波的波剖面	12
§ 4 分层介质中的地震波	13
一、介质分界面上的反射波与透过波	13
二、介质分界面上的折射波	15
三、分层介质中的多次波与转换波	17
§ 5 地震波的传播速度及其影响因素	19
一、岩性对速度的影响	20
二、孔隙度对速度的影响	21
三、充填介质对速度的影响	22
四、其它因素对速度的影响	22
五、速度分布规律	24
第二章 地震波运动学基础	25
§ 1 地震反射波的时距曲线	25
一、时距曲线的概念	25
二、水平界面反射波时距曲线	26
三、倾斜界面反射波时距曲线	28
四、多界面反射波时距曲线	29
§ 2 地震反射波的时间记录剖面	33
一、动校正	33
二、时间剖面的显示方式	35
三、时间剖面的偏移现象	36
四、时间剖面的倾角问题	37
§ 3 特殊波的时距曲线及剖面显示	38

一、绕射波	38
二、断面反射波	40
三、回转波	40
四、多次反射波	42
§ 4 复杂地质结构的反射波时距曲线及剖面显示	44
一、断层	44
二、不整合与地层超复	46
第三章 地震波动力学的基本概念	48
§ 1 地震波的频谱分析	48
一、频谱的概念	48
二、频谱的表示方法	50
三、几个典型的频谱	52
§ 2 地震波的能量分析	53
一、波的发散	53
二、波散	54
三、吸收	54
四、透射损失	56
五、散射	57
§ 3 影响地震波传播的地质因素	57
一、介质和界面对地震波传播的影响	57
二、地震地质条件	59
§ 4 反射波的干涉	60
一、时间域中波的干涉	60
二、频率域中波的干涉	61
§ 5 地震记录的分辨率	62
一、纵向分辨率	62
二、横向分辨率	63
第四章 地震资料的采集	66
§ 1 记录地震波的原理	66
一、地震检波器	67
二、地震放大器	67
三、模拟记录	71
四、数字记录	74
§ 2 噪声特性及组合消去法	75
一、噪声	76
二、组合消去法	76
§ 3 共反射点迭加法	79
一、多次迭加原理	79
二、多次迭加的观测系统	82
三、影响迭加效果的因素	88
§ 4 陆上获取反射资料的方法	90
一、陆上反射法的震源	90

二、观测反射波的方法	93
§ 5 海上获取反射资料的方法	95
一、海上震源	95
二、海上噪声	95
三、海上地震工作	96
四、海上定位	97
第五章 地震资料的数字处理	100
§ 1 数字处理基础	100
一、采样理论	100
二、傅氏级数	101
三、傅氏积分	102
四、相位谱	104
五、线性系统	104
六、单位脉冲响应与频率响应	106
七、迭加与褶积	107
八、最小相位	107
九、相 关	108
§ 2 数字滤波	110
一、数字滤波原理	110
二、褶积滤波的物理意义及其运算	111
三、褶积滤波的几何意义及其运算	112
§ 3 反滤波	114
一、反滤波的概念	114
二、反滤波因子的求取	115
三、地震记录的反滤波	116
§ 4 水平迭加	118
一、预处理	118
二、动、静校正处理	119
三、振幅处理	121
四、水平迭加	122
五、修饰性处理	122
§ 5 偏移归位	123
一、偏移归位的概念	123
二、迭加偏移	125
三、偏移迭加	126
四、时深转换	128
第六章 地震参数和地层参数的求取	131
§ 1 地震波速度的求取	131
一、平均速度 v_m	131
二、均方根速度 v_R	132
三、有效速度 v_p	134
四、迭加速度 v_σ	135

五、层速度 v_n	136
六、瞬时速度 v 与射线平均速度 v_a	136
七、几种速度的比较	137
* § 2 反射系数的测定	138
一、顶、底法	139
二、单顶法	141
三、比较法	143
四、损失恢复	144
§ 3 频率测定与极性判别	145
一、脉冲的频率成分测定	145
二、反射极性的判别	147
§ 4 瞬时地震信息分析	148
一、瞬时信息的概念	148
二、瞬时信息的求取	149
三、瞬时信息的特征	150
* § 5 储集层孔隙度的估算	151
一、用顶、底法估算孔隙度	151
二、用单顶法估算孔隙度	152
§ 6 地层模型计算	154
一、构造模拟	154
二、地层模拟	157
第七章 地震资料解释	162
§ 1 地震剖面与地质剖面对应关系	162
一、地震反射面与地质界面的相应关系	162
二、地震反射形态与地质构造的关系	163
三、地震反射与地层和岩性的关系	163
§ 2 反射特征解释	165
一、振幅与波形的解释	165
二、速度解释	167
§ 3 地震剖面的地质解释	170
一、地层解释	170
二、断层解释	175
三、地震剖面上的地质假象	177
§ 4 地震资料的时空转换	180
一、反射波的对比	180
二、剖面闭合	182
三、地震剖面的层位确定	183
四、地震剖面的时深转换	184
§ 5 地震勘探成果的图形绘制	185
一、反射界面的空间定位	185
二、构造图层位和作图比例尺的选择	187
三、构造图的绘制	188
四、时间构造图与深度构造图的转换	189

石油地质学
培训讲义

五、等厚线图	190
第八章 地震勘探专门技术	193
§ 1 合成声波测井技术	193
一、基本原理	193
二、等值线的绘制与显示	194
三、应用与解释	197
§ 2 亮点技术	198
一、油气聚集的地震特征	199
二、亮点剖面的解释	202
三、亮点技术的局限性	206
* § 3 垂直地震剖面法	208
一、垂直地震剖面的观测方法	208
二、垂直地震剖面的校正与显示	209
三、垂直地震剖面的解释与应用	211
* § 4 三维地震勘探	219
一、三维地震数据采集	219
二、三维地震资料处理与显示	220
三、三维地震资料解释与应用	224
§ 5 地震地层学	228
一、地震层序分析	228
二、海平面分析	229
三、地震相分析	231
参考文献	238

第四篇 地震勘探

第一章 地震波传播的基本原理

地震勘探是以认识地下的地质构造为对象，以研究地震波的运动形式与波的变化规律为基本内容的。

地震波运动的规律与地质构造之间有着内在的联系。为了探测地下构造的形态，了解地层的结构及其性质，研究地震波在弹性介质中传播的基本物理原理是必要的。包括研究地震波的产生、形成、传播、分裂、转换、吸收及衰减等一系列的特点，为正确地运用地震资料解释地下的地质现象奠定必要的理论基础。

§ 1 固体的弹性理论

一、完全弹性的概念

地震勘探利用地震波在岩石中的传播来研究地下的地质现象。而波的传播是与岩石的弹性有关的。

任何固体在外力的作用下都变形，即变更其形状和大小。外力的作用停止，形变也随之消失，固体的这种性质，称为弹性。一个完全的弹性体，是受力后完全消失形变的物体。许多物质包括岩石在内，当受力与形变较小时，都可以近似地看作完全弹性体。

弹性理论研究物体受力与形变的关系，表示这种关系最通常的概念是应力与应变。

二、应力

当弹性体在外力作用下发生形变时，总有一种力欲使弹性体恢复其原状，这种力称为内力。单位面积上的内力，定义为应力。因此，一个物体受力时，应力为力与受力面积之比。如果从一点到另一点作用力发生了变化，则应力也随之改变。在任意点上的应力值，应为中心集中在该点上的无限小面积元上的总力与该面积元之比。如果力与面积元垂直，则称该应力为法向应力。我们规定，正值相应于张力，负值代表压力。如果力与面积元相切，则称该应力为切应力。当力与面积元既不垂直又不平行时，可以分这种力为垂直分量和水平分量。因此，任意方向的应力都可以分解为法向应力和切向应力。

为了更一般地表示应力，我们建立xyz直角坐标系，并定义受力的面积元方向为法线方向。我们考察一个边长为 dx 、 dy 、法线在 y 轴方向的长方形面积（图 1—1）。一个与法线呈任意角 ϕ 的应力，可以分解为一个正应力分量 σ_{yy} ，及两个切应力分量 σ_{yx} 和 σ_{yz} 。应力分量有两个下标，前者表示受力面的法线指向坐标的方向，而后者则表示应力分量指向坐标的方向。

用同样的方法，考察内部受力的小体积元(图 1-2)，在xy、yz及xz三个面内应力的分量。

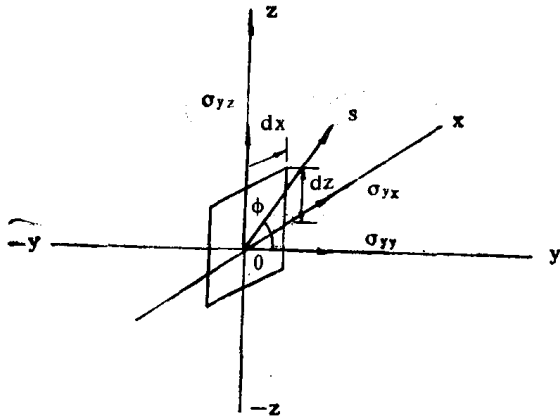


图 1-1 面积单元上的应力分量

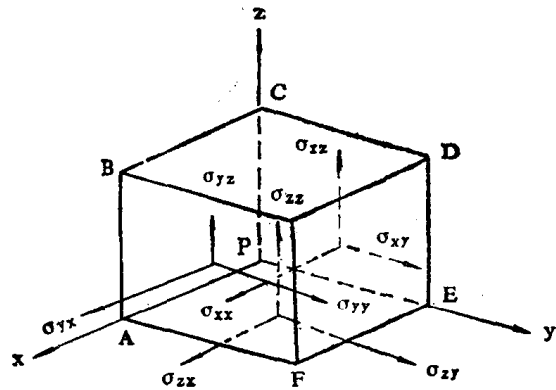


图 1-2 体积单元上的应力分布

对于yz面，应力的分量为 σ_{xx} 、 σ_{xy} 、 σ_{xz} ；对于xz面，应力的分量为 σ_{yx} 、 σ_{yy} 、 σ_{yz} ；对于xy面，应力的分量为 σ_{zx} 、 σ_{zy} 、 σ_{zz} 。

总共得到九个应力分量，其中 σ_{xx} 、 σ_{yy} 、 σ_{zz} 为法向应力，其余六个为切向应力。由于小体积元处于静止平衡状态，而不发生转动，因而可以证明成对出现的切应力（比如 σ_{xy} 与 σ_{yx} ）是彼此相等的，这样，独立的应力分量实际数目不是九个，而是六个。

三、应变

弹性体受外力作用时，弹性体的内部要发生变化，外形会产生形变。我们称体积或形状的相对形变为应变。

1. 线应变和体应变

设有体积元，除位置变化外，只发生体积变化，不发生形状变化。而体积的变化是由

线度变化组成的。

我们先考察体积元中 yoz 平面沿 y 轴方向的线度变化情形，如图 1-3 所示。

体积元的棱长由 \overline{PE} 变至 $\overline{P'E'}$ ，其坐标位置分别为： $P(y)$ ； $E(y + \Delta y)$ ； $P'(y +$

$$v)$$
； $E'(y + \Delta y + v + \frac{\partial v}{\partial y} \Delta y)$

其中， v 为体积元的形变沿 y 轴的分

量， $\frac{\partial v}{\partial y}$ 为形变沿 y 轴方向的变化率。

因此，改变后的棱长是：

$$\overline{P'E'} = \left(y + \Delta y + v + \frac{\partial v}{\partial y} \Delta y \right) - (y + v)$$

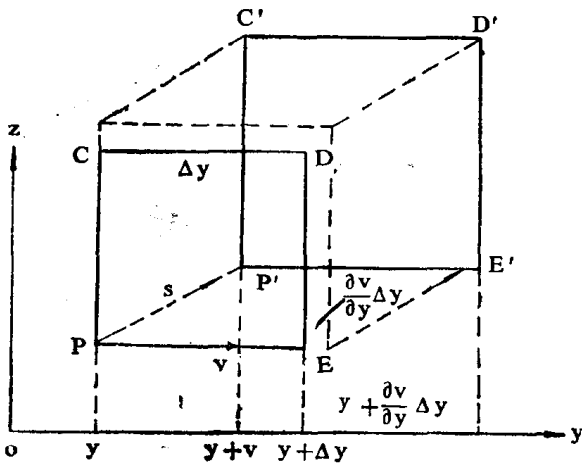


图 1-3 体积元棱边的形变

$$= \Delta y + \frac{\partial v}{\partial y} \Delta y$$

从而棱长 Δy 的增量是:

$$\overline{P'E'} - \overline{PE} = (\Delta y + \frac{\partial v}{\partial y} \Delta y) - \Delta y = \frac{\partial v}{\partial y} \Delta y$$

长度的相对增加, 就叫做线应变, 沿 y 轴方向的线应变用 ϵ_{yy} 表示, 于是就有

$$\epsilon_{yy} = \frac{\overline{P'E'} - \overline{PE}}{\overline{PE}} = \frac{\partial v}{\partial y} \quad (1-1)$$

用同样的方法, 可以求得沿 x 轴方向和沿 z 轴方向的线应变, 结果得到:

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_{xx} &= \frac{\partial u}{\partial x} \\ \epsilon_{yy} &= \frac{\partial v}{\partial y} \\ \epsilon_{zz} &= \frac{\partial w}{\partial z} \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

其中, u, w 分别为体积元的形变沿 x 轴和 z 轴的分量。

我们再考察整个体积元的改变 (图1-4)。设形变前体积元的体积 $\Delta V = \Delta x \Delta y \Delta z$, 体积元沿 x, y, z 方向的形变分别为 $\Delta u, \Delta v$ 和 Δw , 则形变后体积元的体积

$$\begin{aligned} \Delta V' &= (\Delta x + \Delta u) (\Delta y + \Delta v) (\Delta z + \Delta w) \\ &= \left(\Delta x + \frac{\partial u}{\partial x} \Delta x \right) \left(\Delta y + \frac{\partial v}{\partial y} \Delta y \right) \left(\Delta z + \frac{\partial w}{\partial z} \Delta z \right) \\ &= (1 + \epsilon_{xx}) (1 + \epsilon_{yy}) (1 + \epsilon_{zz}) \Delta x \Delta y \Delta z \end{aligned}$$

将上式展开, 考虑到在弹性限度内 ϵ_{xx} 等都是小量, 因而略去高次项, 我们得到:

$$\Delta V' = (1 + \epsilon_{xx} + \epsilon_{yy} + \epsilon_{zz}) \Delta V$$

体积的相对增量就是体应变, 通常用 θ 代表, 于是就有

$$\theta = \frac{\Delta V' - \Delta V}{\Delta V} = \epsilon_{xx} + \epsilon_{yy} + \epsilon_{zz} \quad (1-3)$$

上式给出了体应变和线应变的关系, 结果表明, 体应变是三个方向上的线应变之和。

2. 切应变

在一般情形下, 体积元也会发生形状的改变, 即切变。我们仍研究体积元改变前后在 yoz 平面上的投影, 如图1-5所示。

在图1-5中, 由于发生了切变, 直角 $\angle EPC$ 变成了锐角 $\angle E'PC'$, 总的角度改变量是 $\alpha + \beta$ 。由于角度改变量很小, 则有:

$$\alpha = \text{tg} \alpha = \frac{\overline{EE'}}{\overline{PE}} = \frac{\Delta w}{\Delta y}$$

$$\beta = \text{tg} \beta = \frac{\overline{CC'}}{\overline{PC}} = \frac{\Delta v}{\Delta z}$$

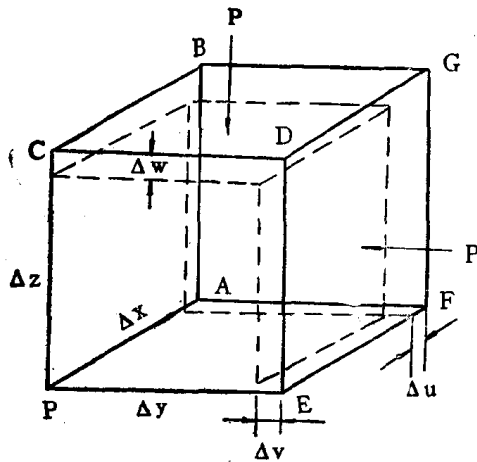


图 1—4 体积元的形变

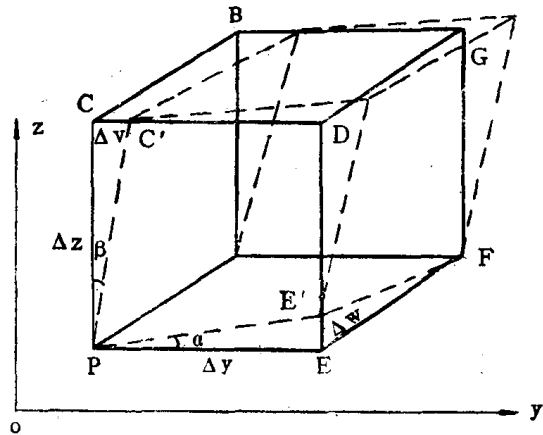


图 1—5 体积元的切变

根据偏微分的定义，有：

$$\overline{EE'} = \Delta w = \frac{\partial w}{\partial y} \Delta y,$$

$$\overline{CC'} = \Delta v = \frac{\partial v}{\partial z} \Delta z,$$

得到

$$\alpha = \frac{\partial w}{\partial y}, \quad \beta = \frac{\partial v}{\partial z}$$

总的角度改变量，也就是切应变分量，用 ϵ_{yz} 来代表，于是就有：

$$\epsilon_{yz} = \alpha + \beta = \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \quad (1-4)$$

用同样的方法考察另外两个坐标平面上的投影，又可以得到两个切应变分量，结果就有：

$$\epsilon_{xy} = \epsilon_{yx} = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}$$

$$\epsilon_{yz} = \epsilon_{zy} = \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \quad (1-5)$$

$$\epsilon_{zx} = \epsilon_{xz} = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x}$$

这就是正方体变成平行六面体的三个切应变分量。

3. 转动

为了确定体积元的转动，我们仍然先考虑体积元转动在 yoz 面内的投影，如图1—6所示。

假定形变前面积元为 $PEDC$ ，形变后变成菱形 $PE'D'C'$ ，由图可知，对角线转角在 yoz 平面上的投影为：

$$\phi_{yz} = \frac{1}{2} \left[\frac{\pi}{2} - (\alpha + \beta) \right] - \left[\frac{\pi}{4} - \alpha \right] = \frac{1}{2} (\alpha - \beta)$$

将已经得到的 α 和 β 表示式代入，就有：

$$\phi_{yz} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad (1-6)$$

另外两个坐标平面上的情况也可以用同样的方法进行分析, 结果得到:

$$\begin{aligned} \phi_{xy} &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right), \\ \phi_{yz} &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right), \\ \phi_{zx} &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} \right) \end{aligned} \quad (1-7)$$

现在总共有九个描述体积元形变的方程, 即

法向应变

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_{xx} &= \frac{\partial u}{\partial x} \\ \epsilon_{yy} &= \frac{\partial v}{\partial y} \\ \epsilon_{zz} &= \frac{\partial w}{\partial z} \end{aligned} \right\} \quad (1-8a)$$

切向应变

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_{xy} &= \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \\ \epsilon_{yz} &= \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \\ \epsilon_{zx} &= \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \end{aligned} \right\} \quad (1-8b)$$

转动

$$\left. \begin{aligned} \phi_{xy} &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) \\ \phi_{yz} &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right) \\ \phi_{zx} &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} \right) \end{aligned} \right\} \quad (1-8c)$$

因此, 对于形变体内任何体积元的体积和形状的变化, 都可以用描写长度变化的线应变和反映形状变化的三个转角表示出来。

四、应力与应变的关系

已知应力时, 为了计算应变, 我们必须知道应力与应变的关系。当应变很小时, 胡克定律给出, 应力与应变成正比。当存在几个应力时, 每一个应力都独立的产生应变, 总的

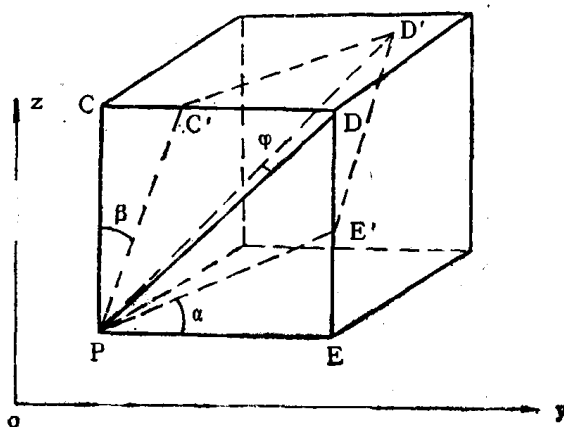


图 1-6 体积元的转动

应变是单个应力所产生的应变之和,这就意味着每一个应变是所有对应的应力的线性函数。一般地,胡克定律能导出相当复杂的关系,但对于均匀介质,胡克定律给出的应力与应变的关系具有简单的形式。

线变:当介质的应变很小,且存在单向的线应变时,应力与应变的关系可以表示为,

$$\sigma_{xx} = E \epsilon_{xx} \quad (1-9a)$$

式中: E ——杨氏模量;

σ_{xx} ——法向应力;

ϵ_{xx} ——线应变。

切变:对于微小的形变,切应力与切应变成正比,即,

$$\sigma_{xy} = \mu \epsilon_{xy} \quad (1-9b)$$

式中: μ ——切变系数;

σ_{xy} ——切应力;

ϵ_{xy} ——切应变。

对于大多数岩石, μ 的变化范围为0.1到0.7百万巴。对于液体 $\mu = 0$, 即不产生形状形变。

体变:当物体存在单向应力时,物体纵向伸长,则横向缩短。即,

$$\sigma_{xx} = E \epsilon_{xx}, \quad -\sigma \cdot \sigma_{xx} = E \epsilon_{yy}, \quad -\sigma \cdot \sigma_{xx} = E \epsilon_{zz}$$

根据公式(1-9a),上式也可表示为

$$\sigma = -\frac{\epsilon_{yy}}{\epsilon_{xx}} = -\frac{\epsilon_{zz}}{\epsilon_{xx}} \quad (1-9c)$$

式中: σ ——泊松系数,即物体的纵向应变与横向应变之比。负号表示纵向与横向应变方向相反。 σ 的最大值为0.5,对于液体, $\sigma = 0.5$,对于多数坚硬的岩石, σ 的变化范围从0.2到0.3。

当物体处于各向压缩情形下,设压力为 P , 并有:

$$\sigma_{xx} = \sigma_{yy} = \sigma_{zz} = -P, \quad \sigma_{xy} = \sigma_{yz} = \sigma_{zx} = 0$$

在此情形下,则压力与应变的关系表示为

$$-P = k\theta \quad (1-9d)$$

式中: k ——体变模量;

θ ——体应变。

以上我们得到描述均匀介质弹性特征的四个弹性参数,为了简化数学运算,我们再引一个拉梅常数 λ , 定义 $\lambda = k - \frac{2}{3}\mu$ 。在这五个参数中,进行相互替换,从 E 、 μ 、 σ 、 k 和 λ 的关系中,知道其中两个,就可以从以下关系中推算出其余三个参数。即:

$$\left. \begin{aligned} E &= \frac{\mu(3\lambda + 2\mu)}{\lambda + \mu} \\ \sigma &= \frac{\lambda}{2(\lambda + \mu)} \\ k &= \frac{3\lambda + 2\mu}{3} \end{aligned} \right\} \quad (1-10)$$

这样,对于均匀各向同性的弹性介质,就可以利用弹性常数,对前面定义的九个应力