

高等學校教學用書

油 田
地球物理勘探法教程

下 册

苏联 Л.В.索洛金等著

石油工業出版社

高等学校教

油 田
地球物理勘探法教程

下 册

苏联 П. Б. 索洛金等著
阮 尚 弘译

經苏联高等教育部审定作为石油学院
及石油專科地質系教科書

石油工业出版社

內 容 提 要

本書包括第四、五兩部分，分別討論地震勘探法及各種地球物理勘探資料的解釋問題。

在地震勘探法部分，研討了本法的原理，介紹了儀器的主要結構，各種曲線的繪制、進行工作的條件、方式及方法。最後還舉了幾個蘇聯應用地震勘探的實例作為參考。

資料解釋部分，主要說明各種地球物理勘探法應用的條件，在不同地質構造中應用各種方法能起的作用，並結合具體例子說明在不同條件下應用各種方法所得的效果。

本書不僅可作石油學院地質勘探系及其他高等學校地質系學生的教材，還可以供其他地球物理師及地質師們參考。

**Л. В. СОРОКИН, В. О. УРЫСОН,
Л. А. РЯБИНКИН, В. А. ДОЛИЦКИЙ**

КУРС ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
РАЗВЕДКИ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

根據蘇聯國立石油燃料科技書籍出版社(ГОСТОПТЕХИЗДАТ)

1950年列寧格勒版翻譯

統一書號：15037·368

油田地球物理勘探法教程

下 冊

阮 尚 弘 譯

*

石油工業出版社出版(地址：北京六通廠石油工業部內)

北京市書刊出版業營業許可證出字第0835號

北京市印刷一厂排印 新華書店發行

*

850×1168 $\frac{1}{2}$ 開本 * 印張9 $\frac{1}{2}$ * 224千字 * 印1—2,000冊

1958年4月北京第1版第1次印刷

定價(10)1.60元

目 录

第四部分 地震勘探

第十七章 地震勘探通論	1
§ 79. 地震勘探方法的概念	1
§ 80. 俄国科学在地震勘探發展上的作用	4
§ 81. 苏联地震勘探在国民經济中的意义	6
第十八章 地震勘探的物理及地質原理	8
§ 82. 地震波的形成	8
§ 83. 地震波頻率譜的概念	14
§ 84. 地震波的傳播	19
§ 85. 反射波和折射波的形成	25
§ 86. 地震勘探的任务	35
第十九章 地震勘探的仪器	39
§ 87. 记录地震波到达所引起地面振动的原理	39
§ 88. 地震仪器的頻率特性	41
§ 89. 有效波的选择	47
§ 90. 地震檢波器	49
§ 91. 地震放大器	53
§ 92. 示波器和地震站的一般裝置	63
第二十章 地震勘探工作的进行	68
§ 93. 地震波的接收	68
§ 94. 地形測量工作	69
§ 95. 鑽井工作	69
§ 96. 爆炸工作	71
§ 97. 爆炸点与地震站的联络	75
§ 98. 地震站的工作	77
第二十一章 地震波时距曲綫及时距系統	80
§ 99. 地震时距曲綫的种类	80

§ 100. 直达波、面波和透过波的时距曲线。层状地层的 平均速度	83
§ 101. 反射波时距曲线	86
§ 102. 折射波时距曲线	98
§ 103. 面波、直达波、反射波及折射波的时距曲线 间的关系	112
§ 104. 地震观测系统的表示	115
第二十二章 地震勘探观测的解释原理	117
§ 105. 地震勘探观测解释的任务	117
§ 106. 地震记录的整理及波的对比	118
§ 107. 观测的校正	123
§ 108. 根据井中观测及反射波时距曲线的资料求平均速度	130
§ 109. 用平均速度法作反射面及折射面	144
§ 110. 根据折射波时距曲线，井中观测和平均速度曲线 测定界面速度及层速度	158
§ 111. 考虑到复盖层中折射面的反射面的绘制	159
第二十三章 地震勘探的方式和方法	164
§ 112. 地震勘探工作的方式	164
§ 113. 反射波法	165
§ 114. 折射波法	173
§ 115. 在特殊条件下的地震勘探	179
§ 116. 地震勘探的新方法	181
§ 117. 地震勘探工作的组织	184
第二十四章 苏联油田地震勘探的实例	187
§ 118. 应用地震勘探的地质条件	187
§ 119. 应用地震勘探有利条件的实例	190
§ 120. 在表面条件不利地区的地震勘探实例	192
§ 121. 在有不利速度剖面的地区进行地震勘探的实例	194
§ 122. 在短小反射面和构造破坏地区的地震勘探	195

第五部分 地球物理勘探資料的地質解釋

第二十五章 地球物理勘探法的解釋任務及其

- 应用範圍 198
- § 123. 地球物理勘探結果的地質解釋的任務 198
- § 124. 蘇聯科學家在地球物理石油勘探結果的地質解釋中
所起的作用 201
- § 125. 關於地球物理勘探結果準確性的一般判斷 203

第二十六章 地質因素對於地球物理觀測結果的影響 205

- § 126. 地表的地形 205
- § 127. 表土的結構 205
- § 128. 地層的物理性，一致性、厚度和深度 207
- § 129. 岩層界面的特性 212
- § 130. 在沉積岩層下結晶岩的組成和其表面之形狀 215
- § 131. 構造破壞 217
- § 132. 地球物理標準層 219

第二十七章 關於標準地質構造上地球物理數據的

- 地質解釋 221
- § 133. 水平層 221
- § 134. 單斜層 228
- § 135. 背斜隆起 242
- 1) 褶曲區邊緣地帶背斜 242
- 2) 地台背斜隆起 259
- 3) 鹽丘 268
- § 136. 向斜褶曲 278
- § 137. 撓褶和斷層 282

第二十八章 區域地球物理測量的地質解釋 286

- § 138. 概論 286
- § 139. 潛伏褶曲構造的研究 288
- § 140. 褶曲構造山前窪地的研究 291
- § 141. 地台的地質分區及其褶皺基底構造的研究 294

結語	296
§ 142. 地球物理勘探在石油和天然气地質勘探工作中的应用	296
§ 143. 地球物理勘探在国民經济上的意义	299
§ 144. 地球物理勘探法今后發展的方向	300
参考文献	301

第四部分 地震勘探

第十七章 地震勘探通論

§ 79. 地震勘探方法的概念

在某一区域内，利用爆炸造成彈性地震波，并在其周圍觀測該波所引起彈性振動的傳播時間和形狀，这种地球物理勘探方法称为地震勘探或地震勘探方法。由震源傳播出来的波，在它們所遇到的地層界面上作反射也折射。根据波傳播的時間，可以作出地層的深度、傾角、分佈情况的結論，有时还可以作出地層彈性性質的結論。

这样，地震勘探不同于重力勘探和磁力勘探，而和电法勘探相似，它是在地面上研究人工所造成的物理現象。地震勘探也和其它地球物理方法一样，是勘探石油的一种間接方法；但是，它和其它方法不同，它可以获得准确的地層定量資料。

苏联科学將地震勘探分为两种基本方法：反射波法和折射波法。在应用这两种方法时，彈性波的震源和振动的接收器可以佈置在地面附近，也可以放在深井中。如放在井中时，有时利用穿过地層的波来进行勘探，这时，我們把所应用的研究方法統称为井中地震觀測。

顧名思义，反射波的地震方法，就是要觀測在地層界面上反射的彈性波。

大家都知道，利用声波傳播到达障碍物的時間及返回的·回

声，可以測量前面障碍物的距离。到障碍物的距离，可以用二分之一的时间发出时刻到回声返回时刻的时间，乘以声音在空气中的已知速度来测定。在航海中測量海洋深度时，一般都采用回声法。声音在水中的速度是已知的，并且变化很小。每一艘现代的船舶，都装着回声探测仪，这种仪器是电声源和接收回声的装置组成的。接收回声装置上，刻有以公尺表示的声音反射面，即海底深度的标尺。

在地震的反射法中，爆炸声波在岩层内传播的速度比在空气中及水中的大，但并不总能事先知道，并且在其传播路程中所遇到的不只是一个反射面，而是如前面所讲的好几个具有不同弹性的反射面。利用相当复杂的仪器，可以记录许多界面反射来的波并且测定它们的传播时间。把所有这些观测所得的资料整理之后，就可以求得波传播的速度，也能测定在爆炸处下面反射层的深度。在地面上沿着一条路线作同样的观察，就可以求得反射面或地层界面的形状。

圖 119 是表示在进行反射波法工作中，从爆炸点到观测点波的传播路径简图。

地震的折射波法。在日常生活及应用技术中，却没有像在反射法中所举的那样简单的例子。这里，我们所观测的是所谓的折射弹性波。它产生的原因，是由于地下有某些地层，其传播波的速度较其上复地层为高。在初等物理中，已知有光的全反射现象。这个现象是这样的：当光线以一定角度射在折射率较小（即具有大的光传播速度）的界面上时，光线就沿界面滑行。在弹性波射向速度较大的界面上时，也会发生类似的现象。沿界面滑行的波，又造成一连串的折射波，就好像拖在滑行波的后面。运动波源所产生的波传播现象可以从船在水面上进行时看到。船以高速前进，船首在水上以一定角度生出波浪。船走得比波快，就好像船拖了一串波浪前进。我们发现如果船是平行于河岸前进的，则

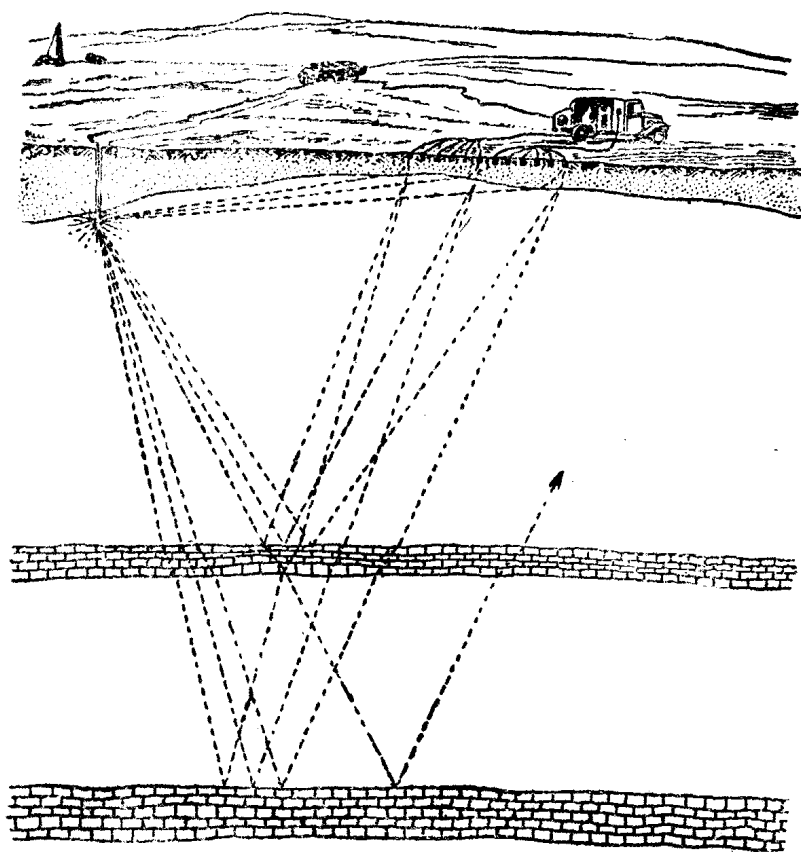


圖 119 反射波法操作簡圖

它所产生的波浪可傳到岸边，并以和船速相同的速度沿岸运动。在地面几点观测到的地震折射波，則除去可以知地層的深度及傾角外，还可以知道在界面上震波进行的速度，有时还可以知道該地層是什么岩石組成的。

离震源超过某一距离时，折射波到达观测点早于直达波。这一点在地震勘探發展的次序上有一定作用。折射波法的使用，較反射波法早，因为折射波首先到达观测点，所以总是比在先到的波震动背景下到达观测点的反射波容易观测。

§ 80. 俄国科学在地震勘探发展上的作用

地震勘探，是从研究天然地震的科学即地震学，获得它最基本的物理-数学基础和它的名称的。

在整个人类历史上都有地震现象，并曾引起了最初的思想家和学者们的注意。伟大的俄国科学家米哈依罗·瓦西里耶维奇·罗蒙诺索夫，在1757年发表的著名论文“论地震生成金属”中提到了地震，这比被资产阶级作者号称为“地震学的奠基者”英国研究家米查尔所发表的类似著作早了四年。M. B. 罗蒙诺索夫在他的第二篇地质论文“论地层”中，曾对地质学家发出如下的号召：“让我们来观测它们(地层)的各种位置、颜色和重量，让我们深思地应用来自数学的、化学的，更多的是物理学方面的资料吧……。”

在最近一百五十年中，在常有地震的国家——意大利、日本以及在这些年代里工业最发达的国家——德意志及英国，都建立了地震站，观测并记录远地地震所引起的弹性震动，并且大大地发展了弹性波传播的理论。但是俄国科学家B. B. 加利清院士(1862—1916)的论著却在地震学上引起了一个真正的革命。他创立了记录地震振动的新原理，为记录地震而设计了新的仪器，这种仪器得到了全世界的承认和应用。他研究出了整理观测值的新方法，并且在俄国建立了一个第一流的地震站网。所以应该可以称加利清院士为近代地震学的奠基者；下面这些话也是他的：“可以认为地震是一盏灯，它在一个很短的时间内是燃着的，照亮着地球的内部，可以看到在那里发生了些什么；这盏灯的光现在还很暗淡，但无疑地，它将愈来愈明亮，让我们能研究自然界的这些复杂现象。”这些话里含着有加利清院士所发明的准确记录地震弹性波方法在地震学研究地球结构知识(如核心及地壳的发现)上所起作用的评价，并且希望随着科学技术的发展更增加

它的作用。这个希望正在实现着。由于偉大的十月革命，俄国的地震站網大大地扩大了并且改善了。苏联的地震学者掌握了由加利清的学生及后继者所設計的最优良的地震仪器，并且不断地对地球結構有新的發現。由于加利清的工作，才使地震勘探能够在苏联得到广泛的应用和發展。

利用观测小型人造地震(爆炸)的現象以寻找有用矿物的建議，是在本世紀二十年代提出的。首先得到工業应用的是折射波法。折射波的旅程及原理是由捷克地震学家瑪霍洛維奇茲在1909年發現的。1926年苏联科学家П. П. 拉薩賴夫院士及А. И. 札波罗夫斯基教授研究过这个方法的理論。1929年在格罗茲內第一次用它进行石油勘探，領導者是加利清的亲密同事П. М. 尼基福洛夫教授。这种方法，由于苏联科学院通訊院士Г. А. 甘布尔采夫(本書上册曾譯为“加漠布尔差夫”)及其同事(Ю. В. 黎茲尼琴柯、И. С. 貝尔宋、А. М. 爱比娜捷耶娃等)的工作以后又有了不断的發展。

在苏联使用反射法的專利权为工程师В. С. 伏尤茨基在1923年2月23日所取得。1926年拉薩賴夫院士公佈了有关这一方法的几个理論研究結果。苏联第一次得到反射記錄是在1934年(1934年春季——Г. А. 甘布尔采夫，Л. А. 里亞平金在貝加尔湖；1934年秋季——Е. А. 高里大林，С. И. 馬沙尔斯基，А. Е. 奧斯特洛甫斯基在巴什基里亞)。

折射波法的工業应用开始于1931年，而反射波法則始于1935年。以后地震勘探的發展及在应用方面的主要工作是石油工業部的地球物理工程师集体完成的。地震勘探被許多技术改革所丰富，并被应用于苏联各个地区。由于研究及应用了各种技术改进，地震測量队工作效率大为提高(斯大林獎金获得者В. С. 伏尤茨基，А. А. 德羅茲道夫)。参加研究并大量制造成批的地震仪的有Л. К. 施維德奇科夫，А. А. 德羅茲道夫，С. Ф. 包勒什

赫, В. В. 阿力克西也夫。創造性地研究了如何整理地震觀測值的方法有 Н. Н. 波才列夫, Ю. В. 黎茲尼琴柯, С. Д. 苏沙科夫。在石油地震勘探的組織及計劃方面, 在有經驗的地震勘探工程師(А. И. 波格丹諾夫, А. Н. 費道連柯, И. К. 庫巴洛夫-雅羅鮑爾克)領導下聯合成了巨大的地球物理組織。蘇聯有某些地區需要特殊的工作方法。地震勘探在北方條件下由 И. И. 顧爾維奇, М. К. 鮑爾什科夫, 在沙漠中由 Ю. Н. 果金, Ю. А. 捷克果夫, 在海洋上由斯大林獎金獲得者 Н. И. 沙比羅甫斯基, В. Н. 羅特涅夫, С. Л. 拉鮑波爾特, В. И. 庫里科夫等分別進行。

§ 81. 蘇聯地震勘探在國民經濟中的意義

蘇聯過去使用地震勘探的二十年可以分為四個時期, 每個時期都有其不同的意義。

第一個時期(1929—1934)——這一個時期完全應用最簡單形式的折射波法, 即初至折射法。起初工作時還帶有試驗的性質, 而自1931年起就有了生產的意義了。在恩巴南部地區鹽丘的頂部會成功地測定了鹽岩的深度。當時還曾企圖測定結晶層的深度, 但是由於沒有研究出這樣的觀測方法而失敗了。

使用地震勘探的第二個時期, 可以稱為反射法的實驗應用階段(1935—1938)。在這些年中, 工作量非常有限, 在同一時期工作的地震隊不超過十個。但就是在这个時期內, 也得到了有一定的成績。其中可以舉出在羅門斯克油田(烏克蘭)的勘探使用地震法曾起了相當的作用。在居爾巴黑特地區(阿普歌倫半島)得到了該處褶皺的地質構造資料。在邁柯普油區也得到了良好的結果。

使用地震勘探的第三個時期自1938年起至1946年止。1938年蘇聯產的第二批十四套地震儀出廠, 使以後幾年中有增加地震隊隊數的可能。1939年第一次得到追蹤續至折射波的結果, Г. А. 甘布爾采夫根據這個結果提出了新的折射法, 稱為折射波對比

法，以区别于以前所用的初至折射法。

在这个时期内，两种地震勘探方法在工作方法上和技术上都在不断地发展着。当时，已经在国民经济上获得了具有巨大意义的结果。1940年在阿普歇伦半岛发现了布若甫宁褶皱，因而在该地建立了石油托拉斯。在以后几年中，又进行了海洋地震勘探工作，在面积超过阿普歇伦半岛东部的海底对石油构造进行地震勘探。1940年是恩巴南部地区应用地震勘探的转折点。当时根据在那尔蒙达那克穹窿构造上获得的地震勘探资料钻了探井，并发现了具有工业价值的油层。于是就在这新发现的油田上成立了油矿。以后几年中，在恩巴南部地区用地震勘探法发现了南科什卡尔、丁佳克沙尔等油田。到1947年，该地区使用地震勘探已达到没有地震资料不钻一口井的程度。利用地震勘探，可以得到复杂盐丘构造的详细资料，追踪倾斜达 45° — 50° 的层位，求得其构造破坏线的位置。在伟大的卫国战争时期内，在土尔克明尼亚西南部大大地展开了地震勘探工作。到1943年，依据地震勘探的结果，根本地改变了涅比特达格油田的面貌。以后几年中，在土尔克明尼亚利用地震勘探发现了好些新的油田。

从1947年起，开始在苏联国内工厂成批地制造地震勘探仪器。于是开始了一个新的时期，地震队数目就有了增加的可能性。为了表示近年来地震队的增加情形，我们在这里引用二个数字：1949年地震队的数目是1945年的五倍，是1948年的一倍半。地震勘探开始在苏联许多地区应用，——从西方的喀尔巴阡山麓到东方的库页岛，从北方的科米苏维埃社会主义自治共和国到南方的克里木。在勘探泥盆纪石油时，地震勘探法得到很大的成就。地震勘探在石油及天然气勘探方面的意义正不断地在增长着。

第十八章 地震勘探的物理及地質原理

§ 82. 地震波的形成

任何一种弱的或强的震动，如碰撞、敲击、爆炸、地震，不論是發生在地面上或地層深处，都可以引起彈性地震波。在地震勘探中，我們是利用在地下不深处或地面上(較少)的爆炸來激發地震波的。

在爆炸地区，爆炸对周圍介質产生巨大的压力。如果爆炸是在地層內發生的，在其發生地点就形成了一个所謂的“破坏圈”，“破坏圈”內的質点都向它四周岩層压去。“破坏圈”內的岩石都被压紧了或發生了裂隙。在破坏圈之外开始形成由爆炸引起的岩層彈性形变区域。各种形式的彈性形变，以地震波的形式向四方傳播。

彈性形变。应力。現在我們先来看各向同性的完全(理想)彈性介質的簡單形变。完全(理想)彈性的介質，就是在該介質所受的外力消失之后，其微小的彈性形变也随之而消失的介質；各向同性介質就是沿任何方向的彈性特性都是相同的介質。現在，假設在这种介質中，有一立方形的小單元，再来看形变后的情形，立方体大小和形狀的变化并無一定，要由引起这个形变的力來決定。介質的伸縮相应地使这个立方体在一个方向或几个方向上伸縮(圖 120, a, b, c)。这种形变是以力作用方向的相对伸縮性計算的。在膨脹或压縮时这个立方体积也發生了改变，因此相对的体积变化也可以用来計算形变。另一种簡單形变就是切变，如圖 120, d, e 所示。切变是以切变平面內的直角变化度量的。

應該注意，在膨脹或压縮的形变时，所討論的立方体并無直綫段的旋轉。而在純切变中(圖 120, d)，立方体中的个别綫段就偏轉了某一角度，但是，可以証明，此时有三个互相垂直的方

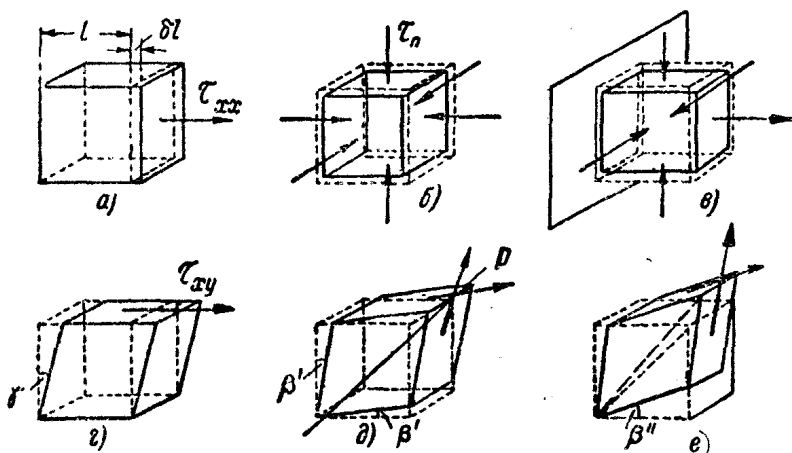


圖 120 彈性均勻介質單元立方体的各種簡單形變

向，它們所指的方位並沒有改變。純切變也可以認為是一種伸長（圖 120、 δ 中沿 P 的方向）。而在所謂簡單切變（圖 120、 ϵ ），以及介於純切變與簡單切變之間的中間情況（圖 120、 e ）中，立方體的每一綫段都毫無例外轉了一個角度。不难看出，後兩種情況中的切變（圖 120、 ϵ 及 e ）都可以用純切變加上轉動的方法得出。

上述的簡單形變，都和沿一定方向作用在介質單元體積的微小地段上的力有關。例如在圖 120 的 a 、 b 及 c 中，其膨脹和壓縮都和垂直作用於單元體積面上的力有關。而在圖 120 的 d 、 e 及 e 中，其切變是由切於立方體面的作用力所引起的。對抗加在小面積各單位上的等作用力稱為應力。

對於各向同性的介質，可以用實驗方法來確定在應力與其所引起的形變之間有一定的關係，其中包括與介質彈性有關的常數。這種關係就是小形變與引起它的應力成比例關係的普遍虎克定律的結論。

相對伸長與張應力之間的關係為（見圖 120、 a ）：

$$\frac{\delta l}{l} = \frac{\tau_{xx}}{E},$$

其中常数 E 称为縱伸長系数(楊氏系数)。

在伸長时, 横截面的縮小与相对伸長成比例:

$$\frac{\delta d}{d} = \sigma \frac{\delta l}{l}$$

这里比例常数 σ 称为横收縮常数(柏松系数)。

在各方向相等的靜水压力下, 介質的單元体积發生了相对縮小 $\frac{\delta V}{V}$ 。在这种情况下, 單元的各个面上的压力都相等。体积的縮小和应力之間的关系为:

$$\frac{\delta V}{V} = \frac{\tau_n}{K},$$

其中所含的 K 值称为封閉压縮系数。

最后, 角 γ 的簡單切变(圖 120, ν)切应力成比例:

$$\gamma = \frac{\tau_{xy}}{\mu}.$$

常数 μ 值叫做切变系数。

在固体介質中, 引起形变的应力为与介質密度 ρ 成比例的慣性力所抵抗。

上面所举的各个彈性常数是相关的, 它們之間的关系为:

$$\mu = \frac{E}{2(1+\sigma)}; \quad K = \frac{E}{3(1-2\sigma)}. \quad (179)$$

对于各向同性介質的彈性來說, 只知道其中兩個常数就够了: K 及 μ , 或 E 及 σ 。

地震波。地震波的速度。 現在我們回到地震波發生的問題上來。在具有彈性的固体介質的某一地点發生爆炸后, 立刻就發生了一定的应力, 于是介質的各單元發生收縮, 伸長, 扭曲, 偏轉等复杂的形变, 而組成介質的各个質点也在所有可能的方向上發生移动。由于發生了形变, 就引起了使介質質点回到原来位置的彈性应力和慣性力。又由于介質是固体的, 所以每一个質点的移动又引起了其周圍質点的移动, 于是这些質点也产生了彈性应力