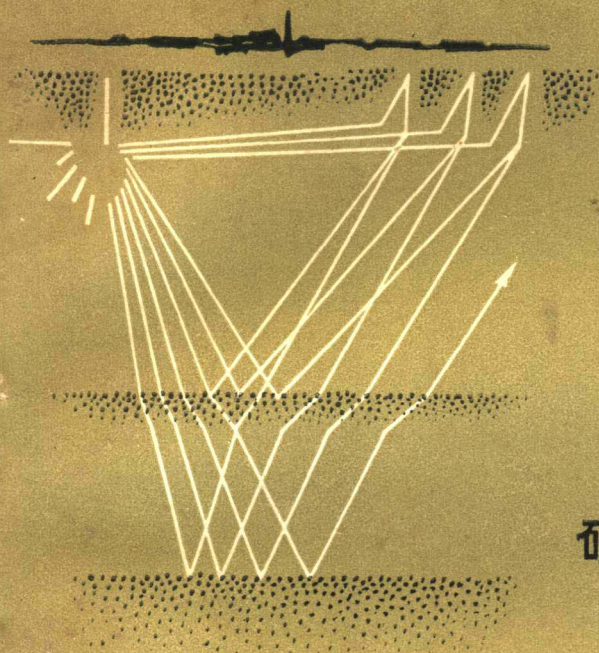




研究生适用

地震勘探教程

下 册

И.И. 顾尔维奇 著

地质出版社

研究生适用

地震勘探教程

下 册

И. И. 顧尔維奇 著
刘 光 鼎 譯

地质出版社

1959·北京

本书是苏联专家顧尔維奇(И.И. Гурвич)在中国为北京地质学院地球物理教研室教师及研究生讲授地震勘探时所写的教程。

教程共分五篇:一、弹性波物理学,二、运动地震学,三、地震勘探仪器,四、地震勘探的工作方法与技术,五、地震勘探解释的理论。因本书厚大,现分两册出版。前三篇为上册,后两篇为下册。

书中全面而系统地总结了近年来地震勘探领域内的文献和新的成就,并且深入浅出地说明了各种理论和方法。

(本书在苏联未曾出版,作者特别声明不得翻印)

研究生适用 地震勘探教程

著者	И. И. 顧尔維奇
譯者	刘光鼎
出版者	地质出版社
	北京宣武門外永光寺西街3号
	北京市書刊出版業營業許可證出字第050号
發行者	新华书店
印刷者	地质出版社印刷厂

印数(京)1—2850册	1959年6月北京第1版
开本 31"×43" 1/25	1959年6月第1次印刷
字数300,000字	印張 14 ² / ₂₅ 插頁 1
定价(10)1.85元	

作 者 的 話

“地震勘探教程”第二册包括地震勘探野外工作的工作方法和技術，以及地震勘探解釋的敘述。1956年在北京地質勘探學院講授教程的這兩篇時，利用作者原著的“地震勘探”（1955年地質出版社出版）一書中相應的章節作為基礎。所講授的課程與“地震勘探”聯繫起來，但又超出它的範圍，因而編寫了現在的“地震勘探教程”第二册，因此，應將第二册看成“地震勘探”一書中上述章節擴大的和部分修改過的版本。

譯 者 的 話

И.И.顧尔維奇專家所寫的“地震勘探教程”第二冊，主要是以原來他寫的“地震勘探”為基礎，然後逐章加以補充、修改而成的。“地震勘探”一書已由我和北京石油地質勘探學校的幾位同志於1955年譯成中文，在地質出版社出版。因此，本書的第二冊，是將“地震勘探”重新校閱後，再將顧尔維奇專家的補充和修正譯出（這些譯文經陸家仕同志校過），並加以整理而成的。

目 錄

第四篇 地震勘探的工作方法和技術

第十三章 地震勘探的基本方法	9
§ 26. 反射波法	9
§ 27. 折射波法	14
第十四章 观测系統	18
§ 28. 地震檢波器間的距離、排列	19
§ 29. 反射波法中的观测系統	24
1. 爆炸間隔的長度	24
2. 連續剖面法	26
3. 观测系統的圖示	30
4. 延長時距曲綫	31
5. 非縱測綫	32
6. 地震測深	35
7. 面積系統	38
§ 30. 折射波法中的观测系統	39
1. 折射波追踪地段的選擇	39
2. 相遇時距曲綫和追逐時距曲綫	41
3. 完整對比系統	44
4. 不完整對比系統	48
5. 非縱測綫	50
6. 折射波与反射波的联合观测系統	51
第十五章 振动的激發与記錄	52
§ 31. 振动的激發条件	52
1. 井中爆炸	52
2. 空中爆炸	55
3. 天然水池与淺坑中的爆炸	59
4. 敲击	60
§ 32. 接收条件	60
1. 振动的頻率選擇 (濾波)	61
2. 根据方向特性的選擇	63
3. 方位裝置	64
4. 地震檢波器組合	67
5. 振动的混合 (混波)	77
6. 速度濾波器	87

7. 控制方向接收	91
8. 地震道的放大控制	93
9. 地震檢波器的安置条件	95
第十六章 地震勘探工作的方式和实例	96
§ 33. 測綫网的布置	96
§ 34. 綫路普查	98
§ 35. 面積普查	103
§ 36. 詳細面積勘探	110
§ 37. 实验工作	120
1. 实验工作的任务	120
2. 最佳激发条件的选择	121
3. 最佳接收条件和观测系统的选择	121
4. 表面条件的研究	122
第十七章 野外工作的組織与技術	123
§ 38. 地震队的組織	123
§ 39. 地形測量工作	126
§ 40. 鑽井工作	128
§ 41. 地震站的小隊工作 (实际的地震工作)	131
1. 通訊裝置	131
2. 地震檢波器在測綫上的布置	132
3. 地震記錄 (地震記錄底片) 的獲得	137
4. 到下一排列的轉移	140
5. 低速帶的研究	141
6. 仪器一致性的檢查	143
7. 进行地震工作的特殊条件	145
8. 地震測井工作	150
§ 42. 爆炸工作	152

第五篇 地震勘探解釋的理論

第十八章 地震記錄的整理	161
§ 43. 地震記錄的初步整理	162
§ 44. 波的对比原理	170
1. 相相对比的基本原则	170
2. 反射波对比的特点	176
3. 折射波对比的特点	180
4. 对比的实际方法	186
第十九章 校正, 时距曲綫的繪制	192
§ 45. 校正	192
1. 低速帶校正	192

2. 地形校正	198
3. 爆炸点校正	200
4. 杆位校正	201
§ 46. 时距曲线的繪制	202
1. 根据观测时间繪制时距曲线	202
2. 校正时距曲线的繪制, 綜合时距曲线	206
第二十章 平均速度与有效速度的計算	207
§ 47. 地震測井資料的整理	207
1. 野外整理	207
2. 作校正垂直时距曲线	208
3. 垂直时距曲线的整理	210
§ 48. 有效速度的計算	215
1. 有效速度	215
2. 理論时距曲线法	217
3. 恒差法	220
4. 相遇时距曲线法	222
5. 互換点法	229
6. 选择法	232
7. 根据折射波时距曲线始点測定有效速度	233
8. 根据时距曲线交点測定有效速度	234
9. 平均速度和有效速度間的关系	234
§ 49. 平均速度与有效速度計算結果的总结	237
第二十一章 作均匀介質中的反射面和折射面	246
§ 50. 用平均速度法作反射面	246
1. 作剖面圖的規則	246
2. 交点法	248
3. 概圖法	251
4. 系統誤差	253
§ 51. 多次反射	254
§ 52. 反射波面时距曲线的整理	259
1. 爆炸点附近的观测	259
2. 非縱測綫的观测	260
3. 按共軛的非縱測綫整理时距曲线	262
§ 53. 作折射面. 界面速度的測定	263
1. 整理折射波时距曲线的規則	263
2. 相遇的直綫时距曲线	265
3. 算術平均法或: 法, 差異时距曲线	268
4. 共軛点法	271
5. 折射波法中的時間場法	274

6. 單獨時距曲線的整理	276
7. 斷層情況下時距曲線的整理	278
8. 作折射面的平均速度的選擇	280
9. 非線時距曲線的整理	281
第二十二章 非均勻介質情況下地震勘探資料的解釋	283
§ 54. 層狀介質情況下地震剖面圖的制作	285
1. 時間場法	285
2. 互相消除畸變的作反射面法	287
§ 55. 在速度連續變化的介質中作地震剖面圖	291
1. 利用射線圖板作反射面	291
2. 利用射線圖板作折射面	295
3. 參數 K 和 V 的測定	296
4. 補充關係	298
§ 56. 在連續介質情況下作剖面圖的近似方法	301
平均梯度法	302
第二十三章 地震振動的振幅研究	306
§ 57. 折射波法中振動的振幅	307
1. 基本原理	307
2. 衰散係數的測定	310
3. 吸收係數的測定	312
4. 解釋時振幅特點的應用	316
第二十四章 構造圖與構造簡圖	318
§ 58. 構造圖與構造簡圖的制作	318
1. 等法綫圖的繪制	318
2. 等高綫圖的繪制	319
3. 作構造圖與構造簡圖的特點	323
4. 有斷層存在時構造圖的制作	324
§ 59. 專門的圖形與簡圖	326
1. 各種反射和折射的追蹤區域簡圖	327
2. 界面速度圖	328
3. 面波速度圖	329
4. 等時綫圖	330
5. 等厚綫圖	331
結論	331
參考文獻	339

第四篇 地震勘探的工作方法和技術

第十三章 地震勘探的基本方法

現代地震勘探中应用最广泛的为两种基本方法：反射波法(МОБ)和折射波法(МПБ)。絕大多數的地震隊在自己的工作中都应用这两种方法，或者分別使用，或者合理地联合使用。透過波法普通用作輔助的方法，以測定速度剖面(地震測井)；很少直接用來解決地質問題。其他的地震方法現在还处于研究階段。

§ 26. 反射波法

波在地層中傳播時，在每个波阻抗分界面上都完成反射作用，并且有某些入射波的能量消耗于反射波的形成上。在有几个反射面存在时（正如沉積層中常有的），每个界面上都發生反射波。这样，在地面上可以觀測到許多反射波的依次到达；因而就有可能來同时研究分布在不同深度的几个地層族。某些地区（西西伯利亞、華北、鄂尔多斯、克拉斯諾达尔边区及其他許多地方）同时記錄到10—15个反射波。

反射波的強度，正如从公式(5.20)中得出來的，直接与入射波強度有关，又直接与反射面兩边的波阻抗差有关。由于波前的發散作用和吸收作用，以及反射波的形成，都使入射波振动的振幅随波的傳播而迅速衰減。因此，一般在較深界面上反射的波的強度也会衰減。

但是，也有在較顯著并且埋藏較深的界面上反射的波，較埋藏不深，同时又不顯著的界面上反射的波強。反射波的強度随着反射面深度（或到达时）而变化的規律与探区的地震地質剖面有关。在圖26.1上表示一

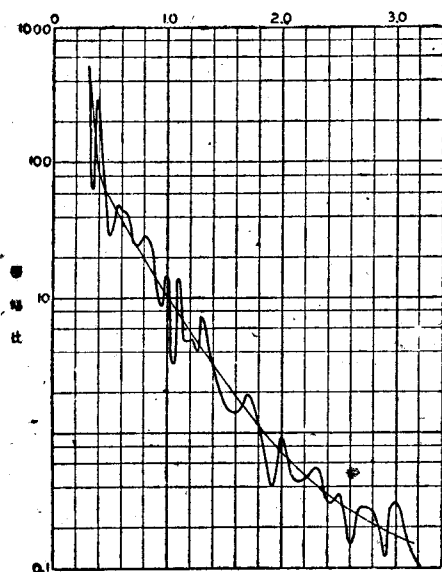


圖 26.1

条反射振幅 A 与到达时 t 的关系曲线，这条曲线是肯道勒（Kendall J. M.）在美国奥克拉荷馬州开叶尔轄区内得到的。从这个圖中看出，反射波振幅迅速衰减。在时间为 0.3 秒和 3 秒时到达的反射波振幅之比大致为 1000 : 1。由此导出，在記錄反射波时，有应用自动振幅控制器和半自动振幅控制器的必要。

在剖面上部有顯著（标准）的分界面存在，使得从深界面反射的波的强度减小。

界面的顯著性随深度逐渐增加是勘探整个剖面最有利的条件。但是，这种条件实际上很少遇到。

正如前面在§5第二段中所指出的，根据 $\rho_2 V_{2p} - \rho_1 V_{1p}$ 的符号，反射波的相位与入射波的相位重合，或差 180° 。在地震勘探中，爆炸总是造成波前为压缩帶的波。因为波的相位只有在反射时可以变化，而不是在折射时，則根据反射波波前上的位移，可以在原則上判断反射面的性質。但是，由于反射波照例是在先到的波所造成的地面振动背景上記錄的，所以这种可能性很难实现。因此，很难测定反射波波前所造成的真正位移方向。

如果反射面是侵蝕面，則沿着这个面可以得到不同的波阻抗：

γ 及 $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_n$ (圖 26.2) 的岩石接觸面。因此, 沿不同反射波射綫的反射波振幅將是不同的。如果滿足不等式 $\gamma > \gamma_1$ 和 $\gamma < \gamma_2$, 則反射波的相位在其波前的不同地段上將是相反的。在這種情況下, 由於位移沿波前變化的連續性, 可以料到: 在相當於接觸地段 K 的波前區域內, 反射波的強度將是看不到的小。這就使得相位對比受到破壞。

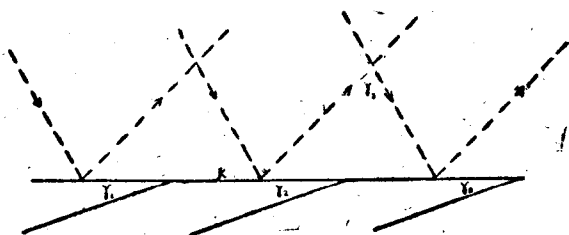


圖 26.2

在地面上所觀測到強度沿反射波波前的變化, 也可以由許多其他原因而引起。其中起重要作用的有: 反射面的曲率(參閱§3, 第三段), 由於低速帶厚度或性質的變化而在低速帶內變化的吸收作用, 各種干涉現象。

前面在§12 第一段中指出過: 反射波波前時距曲綫隨着離開爆炸點而彼此接近, 有時甚至於可以相交。每個波在到達地面時, 造成具有某個時間長度的振動。我們假設觀測到兩個反射波。對其中每一個波都可以在時距曲綫平面 (x, t)

上記錄出波的波前時距曲綫 Γ_ϕ 和波尾時距曲綫 Γ_τ , 它們在時距曲綫平面上分成兩個帶 I 及 II (圖 26.3)。在每個波的界限內都發生與相應波到達有關的振動。如果反射面彼此接近, 因而, 波的到達時彼此

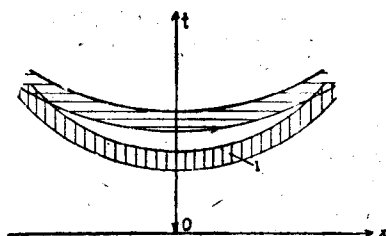


圖 26.3

相差很小, 則隨着離開爆炸點, 以及時距曲綫相接近的程度, 就發生振動帶的重疊。在這個重疊的觀測綫段上, 兩個波部分地互相疊加,

而造成複雜的干涉圖形。因此，觀測點離爆炸點過分遠會使得反射波法的分辨能力大大變壞(И. С. 貝爾宗)，即使分別追蹤位置相近的界面的能力變壞。

在分開兩個反射面的地層很薄時，各處都可以觀測到振動的疊加(參閱 §6，第二段)。在這種情況下所記錄的反射在各處都是複雜的，並且應該用專門的方法來分別研究其上下界面(И. И. 顧爾維奇)。

反射波总是在其他波的後面到達地面(直达波，折射波，反射波)，即在某種振動背景下被記錄下來。因此，必須使用相位對比原則(§15，第二段)沿某條綫追蹤反射波。實際上這就表示：必須在地面彼此距離離開不大(20—30公尺)的許多點上記錄振動。比較在這些點上所得到的記錄可以識別與一個反射波有關的振動，即所謂反射；測定反射的到達時，並且作時距曲綫，正如在圖26.4中對波 I，II 及 III 所表示的一樣。

在反射波法中總是盡量使觀測接近於爆炸點。這是由下列一些原因所引起的：

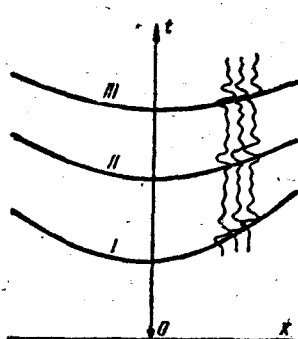


圖 26.4

(1) 接近爆炸點處沒有折射波，並且，它們的疊加不妨礙反射的追蹤。

(2) 在反射的震中區內，波具有穩定的強度和波形(§6，第一節)，這使得反射波容易追蹤。

(3) 在爆炸點附近，相近的反射波在時間上好區分，並且彼此不相疊加。

(4) 觀測點離爆炸點不太遠時，地震射綫在方向上接近於反射面的法綫。因

此，上部地層為整合產狀時，中間分界面上折射的影響大大地減小。這樣就提高了解釋的精度。

(5) 反射面傾角不大時，爆炸點附近反射波的視速度很大，這就容易追蹤相位(參閱 §12，第一節)。

但是，在爆炸点附近观测也有某些困难。其中主要的是：在靠近爆炸点的区域内，極強烈地出現面波及声波的干擾。为了与这种干擾作斗争，必須采取專門的方法，其中包括將炸药沉入專門的爆炸井中。

反射波法可以同时在大深度范围内研究地質剖面。在有利的条件下，能不費力气地研究埋藏在3—4公里深的对象；有时观测到超过7公里深度上反射的波。这样，反射波法可以用來研究一直到下伏結晶基岩或變質基岩的沉積岩。在小深度勘探方面，反射波法受些限制。这是因为淺層反射的波直接在直达波后面到达地面。直达波普通具有較反射波大几百倍的強度，因而妨碍反射波的識別。根据反射波与干擾波的比較強度及剖面上部的速度，勘探的最小深度介于150—400公尺之間。用敲击作为激發震源，而不用爆炸，有时可以大大地降低这个界限。

反射波法可以研究傾斜达40—50°角的地震層位。如果傾角为3—15°，便能獲得最好的結果。測定小于1—2°的傾角，常常与速度剖面在測定复盖着反射面的地層中的精确度不夠所引起的困难有关。

反射波法的优点是可以从它的數據中計算在数值上接近平均速度的有效速度（參閱§12, 第一節）。作反射面和折射面都必須有平均速度值。

反射波法的缺点为：沒有形成反射波的地層的物理特性。如果沒有深井或折射波法的數據，这就使反射面的地質解釋發生困难。在解釋时，除开应用时距曲綫，还应用反射的动力学特点就有可能獲得反射波法中的上述物理特性。

反射波法普通不能直接指出構造破坏的存在。有时可以用間接的方法：根据追踪时基本反射的中断，标准反射面的顯著位移來發現巨大的（超过100公尺）破坏。在反射波法中常常不能發現輕微的（10—30公尺）破坏。

在某些地区中，以反射波法工作时，強烈的多次反射波造成巨大

的障礙。它們與正常反射同時到達而使記錄複雜化，並且使地震記錄的解釋發生困難或不可能。有時還會出現多次反射折射波或多次折射反射波的干擾作用（Л. А. 里亞賓金和А. К. 烏魯鮑夫）。在某些情況下出現PS型轉換波方面的強烈干擾（Е. И. 加里別林）。

§ 27. 折射波法

爆炸（敲擊）時所產生的彈性波穿透到地層里可以受到內部全反射。為此，必須有某些地層中的速度大於其上面任意層中的速度。於是，在這個層面附近發生返回地面的折射波。如果像常有的那樣，在剖面中有幾個滿足這種條件的地層，則形成幾個折射波。觀測折射波沿地面的傳播可以作出關於發生這些波的界面——折射面——的形狀和深度的結論。這樣，在折射波法中，也像在反射波法中一樣，原則上存在着同時研究幾個地層結構的可能性。但是，根據下面所要談到的原因，折射波的數目一般少於反射波法中波的數目，並且不超過3—4個。

所指出來的要求：折射層中的速度大於上面任意地層中的速度，對折射波法有重大的意義。這種要求使得在地質剖面上部具有高速度值的地層，由於屏蔽效應（§5, 第二節）而妨礙勘探下面的低速地層，並且在許多情況下大大地限制了折射波法的应用。

但是，屏蔽效應並不總是出現的。特別是，如果屏蔽層的厚度較主要波長小，便不發生屏蔽效應（А. М. 愛比娜其耶娃，И. С. 貝爾宗）。在Г. А. 甘布尔采夫所指出的其他情況中，雖然有厚的屏蔽層，也可能沒有屏蔽作用。為此，折射層面與屏蔽層底面必須成不整合產出才行。

折射波與折射面附近彈性性質差異程度的關係問題，現在研究得還很不夠。顯然，在差異無窮小，以及在很大差異時，折射波的強度應該很小。在第一种情況中，因為介質本身的性質上接近於其中不產生折射波的均勻介質。在第二种情況中，在界面上發生很強的、幾乎

帶有人射波全部能量的反射波，因此，透過波以及由它所造成的折射波變得很弱。折射波之最大強度應該在接觸的岩層彈性性質的某種最佳關係下出現。根據某些實驗和理論研究（蘇聯科學院院報，地球物理叢刊，1955，№.2），可以預料到：在速度差別不超過5—10%的不大速度差異時，這種最佳關係是存在的。

在厚度不大的層面上所發生的折射波具有強度沿波前迅速衰減的性質（參閱§6，第八節）。因此，在地面記錄時發現波隨遠離震源而迅速衰減。

正如在§11中已經確定的，折射波只能在離開爆炸點某個距離的地面上——在折射波死帶之外觀測到。由公式（11.29）所確定的死帶長度與折射面深度成比例，並且與覆蓋地層及下伏地層中的速度比有關；隨着這個比值的增大而增加。因此，一般在離爆炸點較大距離的地面上追蹤在較深折射面上折射的波，在勘探1.5—2公里深度時，死帶的長度可達幾公里，這就使得用折射波法工作要時常在離爆炸點幾公里的距離上進行觀測，以致使野外工作技術複雜化。

在地層水平埋藏的情況下，屬於同族的時距曲綫相交，是在§12第二節中所闡明的折射波時距曲綫的重要特點。這個特點在折射層位傾斜埋藏時仍然存在。時距曲綫的相交証實兩個波在某個觀測綫段上同時到達。如果也和前面§26中一樣，作折射波的波前時距曲綫和波尾時距曲綫（圖27.2），則多多少少地發現觀測到折射波疊加的測綫地段 A_2B_1 。這種地段稱為疊加帶。疊加帶的綫性長度與疊加振動的時間長度 Δt_1 和 Δt_2 有關，也和兩個波的視速度差有關：視速度差越大，疊加帶的長度越小。

離開爆炸點某個距離的每個折射波（除開地層傾沒的情況）都可以在初至區內觀測到。初至區在兩邊都受疊加帶所限（圖27.1）。每個波的初至區的長度都與地震地質剖面有關。對於某些波來說，可以完全沒有初至區。在這種情況下發生“地層傾沒”。波的很長的初至區發生於這種情況下：這個波相當的折射層位與相鄰的折射層位被很

厚的沉積層分开，并且在上面地層中的速度較小，而在下面地層中的速度与主要層位中的速度相差很小。

根据这种观点，几乎所有的折射波都可以在某个观测綫段上作为第一个波而追踪，所以，在折射波法中長時間單獨地应用所謂的初至法。这种方法只测定每个观测点上的初至時間。对这种方法可以应用比較簡單的、只能記錄第一个強振动的仪器。当时，初至法可以用來

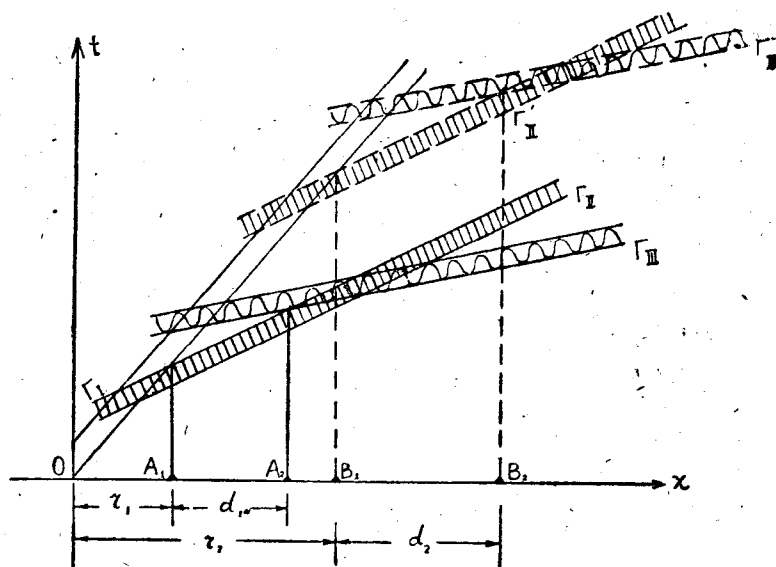


圖 27.1

解决許多勘探問題。但是，很快就發現了它的許多嚴重的錯誤，这些錯誤是因为这种方法中对地震記錄的分析采用了过于簡單的方法。1939年，Г. А. 甘布尔采夫建議采用像反射波法中所作的波的对比追踪。这种研究地面振动的方法大大地擴充了折射波法的可能性，在折射波法中加入了嶄新的內容。于是，可以可靠地区別开屬於不同層位的波，在折射波初至区外追踪波，研究振动的动力学特点等。因而从根本上擴充了这种方法的勘探可能性。由于 Г. А. 甘布尔采夫，Ю. Б.