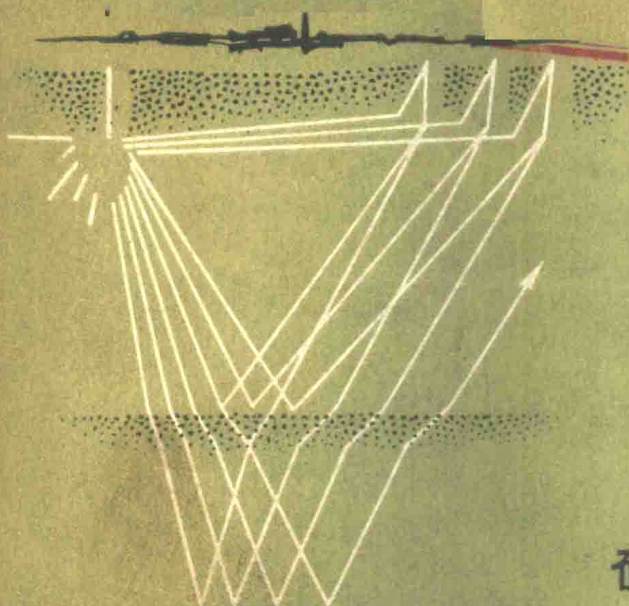




研究生适用

地震勘探教程

上册

И.И. 顾尔维奇 著

地质出版社

研究生适用

地震勘探教程

上册

И. И. 顧尔維奇 著

刘光鼎 译

陆家仕 校

地质出版社

1957·北京

本書是苏联專家顧爾維奇(И. И. Гуранч)在中國為北京地質學院地球物理勘探教研室教師及研究生講授地震勘探時所寫的教程。

教程共分五篇：一、彈性波物理學，二、運動地震學，三、地震勘探儀器，四、野外工作方法與技術，五、地震勘探的解釋。因本書厚大，現分兩冊出版。前三篇為上冊，後兩篇為下冊。

書中全面而系統地總結了近年來地震勘探領域內的文獻和新的成就，並且深入淺出地說明了各種理論和方法。

(本書在蘇聯未曾出版，作者特別聲明不得翻印)

研究生適用 地震勘探教程

著者	И. И. 顧爾維奇
譯者	劉光鼎
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 沈陽市第一印刷廠

沈陽市鐵西區嘉工街北三馬路12號

編輯：楊士仟 技術編輯：石志校對：

印數(京)1—1,600冊 1957年7月北京第1版

開本31"×43" 1957年7月第1次印刷

字數300,000字 印張14 1/2 插頁8

定價(10)2.00元

前 言

本書是作者在1955——56年內，為北京地質勘探學院的研究生和教師所講的地震勘探講稿的擴大敘述。這本教程在某些章節上較大學用的教科書廣泛得多。由於在世界地球物理文獻中沒有現代高等學校用的地震勘探教科書，以及在這個領域和相近的知識領域內多數為零散的研究和著作，以致使這本教程的編寫發生很大的困難。作者完全曉得他在作這種初次嘗試時必然會有缺點。作者將經常感謝任何關於本書結構和內容方面的批評和意見。

在編寫本教程時，作者主要應用了蘇聯地震勘探的經驗，同時，盡量地參考了其它國家的良好經驗。書中也引用某些在中國應用地震勘探的資料。這些資料是作者在地球物理工程師孟爾盛、黃洪澤、劉德嘉和叢范滋等的盛情幫助下所發現的。作者謹向他們表示真誠的感謝。在準備本教程中，劉光鼎講師給予很大的幫助，作者謹向他表示自己的深深謝意。

目 录

前言

緒論

第一篇 彈性波物理学

第 一 章 无限介質中的彈性波

- § 1. 完全彈性介質的概念…………… (22)
- § 2. 无限介質中点源所产生的波…………… (29)
- § 3. 无限介質中任意震源所产生的波…………… (51)

第 二 章 振动的譜分解

- § 4. 振动的分解…………… (61)

第 三 章 具有分界面介質中的彈性波

- § 5. 在具有一个分界面的介質中彈性波的傳播…………… (74)
- § 6. 层狀介質中彈性波的傳播…………… (102)

第 四 章 地震勘探的物理地質基础

- § 7. 彈性波在岩石中傳播的特点…………… (121)
- § 8. 地震勘探的地質基础…………… (139)

第二篇 运动地震学

第 五 章 运动地震学基础

§ 9. 時間場的理論	(146)
-------------	---------

第 六 章 兩層介質的運動地震學

§ 10. 兩層介質中直达波和反射波的時間場和時間曲綫	(158)
-----------------------------	---------

§ 11. 首波及透過波的時間場和時距曲綫	(176)
-----------------------	---------

第 七 章 層狀介質、連續介質和各向異性介質的運動地震學

§ 12. 水平層狀介質中波的時距曲綫	(193)
---------------------	---------

§ 13. 垂直層狀介質中波的時距曲綫	(203)
---------------------	---------

§ 14. 連續介質和各向異性介質中的時間場和時距曲綫	(212)
-----------------------------	---------

第三篇 地震勘探儀器

第 八 章 地震儀器的一般理論

§ 15. 地震道的概念	(232)
--------------	---------

§ 16. 綫性紀錄系統	(240)
--------------	---------

§ 17. 不穩定態中綫性系統的計算方法	(250)
----------------------	---------

第 九 章 地震檢波器

§ 18. 地震檢波器理論	(266)
---------------	---------

§ 19. 地震檢波器的結構	(282)
----------------	---------

第 十 章 地震勘探放大器

§ 20. 放大器的理論	(292)
--------------	---------

§ 21. 放大器的裝置和試驗	(311)
-----------------	---------

第十一章 記錄裝置與輔助裝置

§ 22. 地震電流計	(325)
-------------	---------

§ 23. 專門裝置和輔助裝置	(332)
-----------------	---------

第十二章 地震站

§ 24. 標準地震站的應用	(345)
----------------	---------

§ 25. 專門地震站	(355)
-------------	---------

緒 論

現代地質勘探事業中，勘探的地球物理方法於有用礦物的找礦和勘探時，起着重要的和不斷增加着的作用。地球物理勘探在地面上，井中以及礦山坑道中，研究天然的或人工激發的物理現象，可以得出構造的以及勘探地段岩石成分的結論。

地震勘探（勘探的地震方法）是最重要的地球物理勘探方法中的一種。地震勘探是根據人工方法激發的彈性波在地殼內傳播的研究，以勘探地殼地質結構的方法之總稱。爆炸或敲擊時所產生的彈性波，從激發點向地層的各個方向傳播。彈性波和在空氣中傳播的聲波相似。彈性波通過地層，在不同成份岩石的接觸處發生反射和折射。反射波和折射波回到利用專門儀器記錄它們的地面上來。研究反射波和折射波沿地面、井眼或礦坑壁傳播的特點可以測定形成這些波的界面的埋藏深度和形狀。在某些情況下能夠得到組成剖面的岩石成份。地震勘探可以進行地層深度和傾角的定量測定。

反射波法和折射波法是地震勘探的基本方法。此外，有時應用以研究通過勘探對象的波為根據的透過波法。

在反射波法中，根據地層內不同分界面上反射的彈性波的觀測，得出地殼結構的結論。彈性波反射的規律和光反射的規律非常相象。測定反射波對地面不同點的旅行時，可以確定介質中波的傳播速度，以及發生反射的界面形狀。反射波法與回聲測深法（利用聲音測定海深）及無線電探測法有某些相似之處。但是在後二者中，波的傳播速度是事先就知道了的，而在地質介質中，速度能夠強烈地變化。因

之，應該在每种个别的情况下实验性地測定它。

在折射法中所应用的形成折射波的机械作用，是相当复杂的。簡單地將其叙述如下。如果界面地层將分成具有不同彈性波傳播速度的两个地层，而且下面地层中的速度 V_2 大于上面地层中的速度 V_1 ，于是，就发生了在光学里面很熟悉的全反射现象。这种现象为：对界面

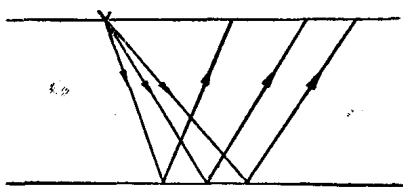


图 1

法綫成某个临界角 i 的入射波射线，在过渡到下面介质中时变成沿着界面的射线。这也就是说，滑行波在下面介质中以速度 V_2 沿分界面运动。滑行波对下面介质在界面附近的质点引起扰动。

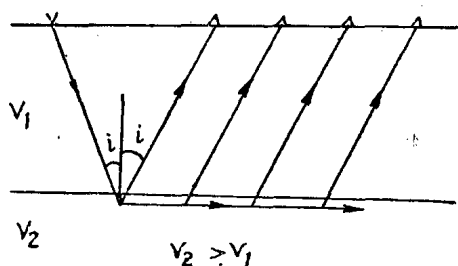


图 2

下面介质的质点与上面介质的

质点是弹性地相連系着的，于是使得上面介质的质点发生振动。这样在上面介质中发生了扰动，就形成所谓的折射波或首波。这个波回到用仪器记录的地面。根据测量折射波的旅行时，便可以确定出发生这个波的界面的深度和形状，以及弹性波在界面底下地层中传播的速度 V_2 。在许多情况下，知道这个速度，也就可以判断組成地层的岩石成份。

若在勘探对象附近或内部有鑽井或矿坑存在时，則常常利用透过波法。研究通过这个对象的波的旅行时，可以判断其表面的形状。此外，这个方法直接用来测量岩石中的速度。这种测定可以提高反射波法和折射波法的精确度。

用地震勘探方法可以获得各种不同地质结构的資料。因此，常常使它們彼此配合。只有正确地配合地质勘探方法，才能够达到地震勘

探的最大地質效率。在苏联、中国等先进的民主国家所有的計劃經濟条件下，方法的合理配合是必須的。

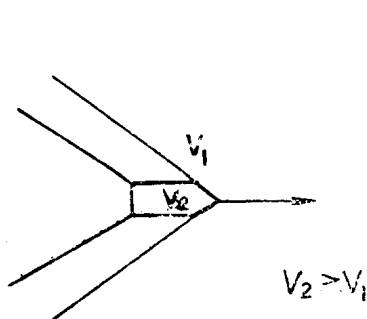


图 3

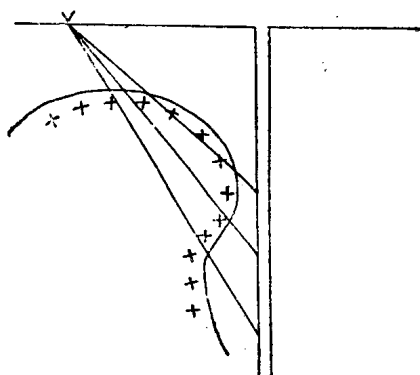


图 4

在解决各种構造地質問題时，主要用于勘探的是地震方法。因此它們极广泛地应用于石油工业中，这是因为：石油和天然气矿藏的形成与包含着岩石的構造特点（背斜隆起，石油层尖灭帶、断裂等）的存在紧密相联。在探查煤田，鹽岩矿床，重晶石矿床等也广泛地应用地震勘探。在区域地震調查中，探查大块地質海侵区的主要構造特点时，也应用地震方法。同时也用来調查几公里深处基岩面的形狀和沉积层的基本構造。最近几年中，地震勘探还开始广泛地应用于剖面最上部的同样研究，这种研究在解决設計巨大建筑如：堤、壩，水电站等各种工程地質問題时有着重大的意义。

地震勘探照例与地下矿藏的其他地球物理調查，以及地質調查綜合应用。地震勘探是最貴的和最难的地球物理方法，它普通只应用于那些較便宜的地球物理方法和地質方法所不能解决的地質問題。在許多情况下，地震勘探与其他地球物理方法，特别是与重力勘探和电法勘探的正确配合，可以很迅速地並且很經濟地解决地質問題。地震工作时常与制图的或構造的鑽探配合起来，这样可以相当大地划分鑽井網，並且減少勘探成本和日期。地震勘探与其它方法的正确联合是

在社会主义国民经济条件下提高勘探效率的最重要的方法。

簡短的历史概論

地震勘探与地震的科学——地震学紧密地联系着。有时將地震勘探看成天然地震学的組成部份而称其为实验的地震学。地震勘探是一門年青的學問，特別是在其發展的初期，大多數的概念和方法都是借用地震學的。但是，地震勘探進一步發展的道路却和地震學不同。現在，我們通過天然地震學來觀察地震勘探所研究的概念和方法。天然地震學對地震勘探的發展起過良好的影響。

1. 地震学的历史

地震——自然界最巨大的和最具有破壞性的現象之一——很早以前就引起人們，特別是在遭受其災害的國家內的人們的注意。還在古遠的年代里，就有許多學者從事於地震的研究，創造了地震的分類，並且企圖解釋它的起源。這些學者中有亞里士多德、盧克列依、斯特拉邦、布林尼。自古以來就有用儀器研究地震的企圖。在公元 136 年，中國學者張衡作成第一架著名的地震儀器（圖 5），這種儀器為圓柱狀器皿，它具有按圓周分佈的八個裝着龍頭的孔洞。在每個孔洞附近放置着一個小圓球：用特制的機關防止小圓球從每個孔洞中落下。在圓柱體內部，沿着它的垂直軸，自由地立着一個擺，當圓柱體震動時，擺由於慣性而與儀器外殼發生相對運動。這樣便打開了一個位於擺的相對位移方向的機關。因而，從孔洞中落下一個小圓球。于是就測定了地震的方向。這個儀器是第一個用儀器研究地震的嘗試，它替代了以前佔優勢的描述性研究。根據我們現在的分類，這種儀器應該稱為驗震器（сейсмоскоп）。在它的結構中，已經具有全部現代記錄儀（地震儀）的基礎——起着慣性質量作用的擺。

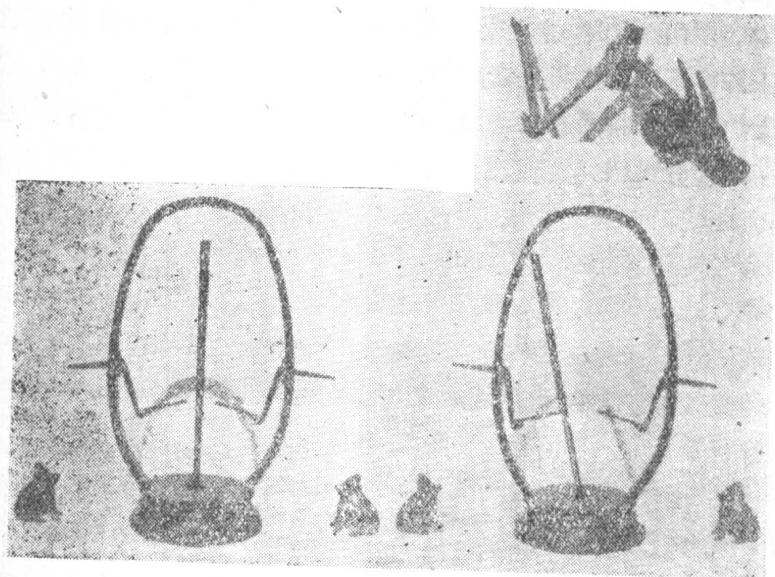
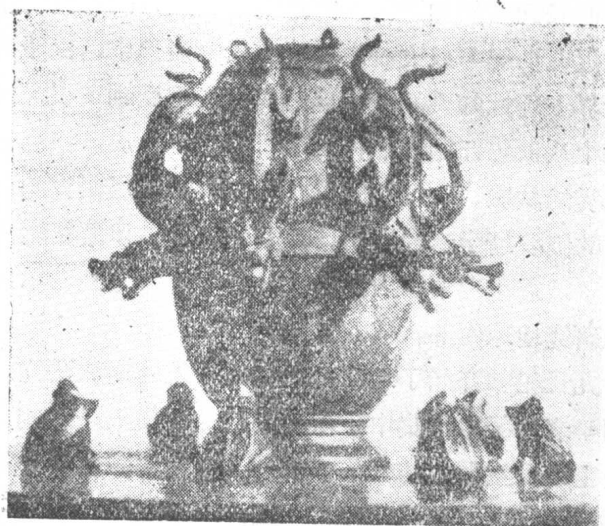


图 5 張衡侯风地勘仪（根据王天目拟制）

古时候我們虽然知道了研究地震的試驗，却並沒有創造出独立的科学。在近几世紀与奴隶制度解体有关的衰落中，由于煩瑣科学的統治，全世界上理性知識的所有部門的发展都受到了很大的阻碍。一般地說，从十八世紀开始自然科学才得以迅速发展，我們也才遇到了新的研究地震的試驗。在这个时期內，从事于地震研究的最大科学家之一是天才的俄罗斯学者 M. B. 罗蒙諾索夫。罗蒙諾索夫在自己的著作中提出了地震現象与造山过程有关的見解，並且表示出可能根据地震观测来研究地球內部結構的想法。

从十九世紀初开始了地震的詳細而系統的描述研究。在这个期間內，各国学者的努力都集中于事实資料的收集上，这些資料是描写地震在時間上以及空間上的分佈，它們的强度和許多其它特点。这个工作 A. 柏瑞 (Perrey) 在法国、馬萊特 (Mallet) 在英国、A. П. 奥尔洛夫 (Орлов) 在俄国、徐斯 (Suess) 在德国、关谷清景 (Sekiya) 在日本、罗西 (Rossi) 在意大利及其它許多学者都曾經作过。由于世界上許多国家內大批学者团体長期的、坚持了許多年的工作，已經把巨大的事实資料系統化。已經确定地球上地震最活动的地区，並且創造了地震分类級。

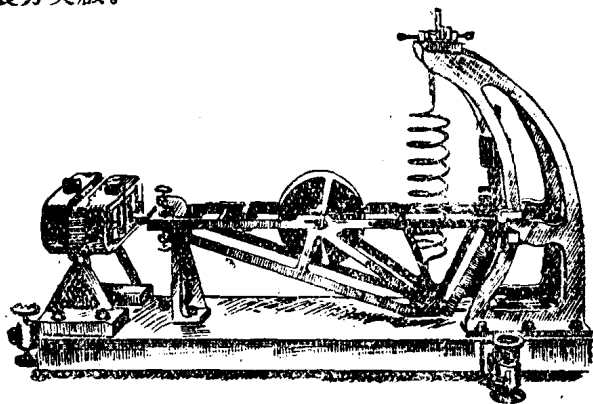


图 6 加利清地震仪

一系列与地震有关的巨大災害引起許多大师們对地震学的注意。和工业发展需要有关的数学和机械学的迅速进展形成彈性（地震波）理論的基础。由于这些卓越的学者們如 R. 虎克（Hookе）Л. 欧拉（Эйлер）、拉格朗日（Лагранж）、圣維南（Сен-Вэнан）、那維（Навье）、楊（Юнг）、弗列施里（Фрешль）、奥斯特罗格拉得斯基（Остроградский）、泊松（Пуассон）、勾犀（Коши）、司托克斯（Стокс）、格林（Грин）克其霍夫（Кирхгоф）及其它許多学者的研究，已經确定动力作用时无限彈性体情况的基本特点。已經确定两种不同类型的彈性体波的存在和它們在介質中傳播的基本規律。在十九世紀末，著名的英国学者瑞雷（Rayleigh）发现一种特殊的彈性波——在被分界面所局限的介質中的面波——存在的可能性。

与地震学理論基础发展的同时，还奠定了它的仪器基础。研究了許多記錄地震的机械地震仪（預报的仪器）的結構，並且創造了仪器的理論。当时最大的地震学家之一——卓越的俄罗斯学者 Б. Б. 加利清（Голицин）——曾指出了仪器地震学发展的意义。地震学的迅速发展應該認为是由于这种情况：由于根据仪器观测研究的純物理方法，才使地震学有了坚实的基础。与 Б. Б. 加利清同时，著名的德国学者 E. 維歇尔特（Weichert）的著作，在仪器地震学的发展中起过巨大的作用。全世界的地震台都应用这些学者們所研究出来的仪器。已經得出处处記錄强的远地震的可能性。

所有这些各方面的成就，都使得地震学在二十世紀之初成为地球的物理学（地球物理学）分支之一的独立科学。維歇尔特及其学派根据仪器观测，研究了所謂的时距曲线法，利用这种方法（按照几个地震台上的观测）可以测定地震的地点（震中）。另一方面 Б. Б. 加利清提出：根据应用三个不同地震仪讀数的一个台的观测来测定震中的方法。

地震記錄（Сейсмограмма）的分析可以根据地震数据很快地确定研究地球内部結構的可能性。这本身就証实了罗蒙諾索夫的天才預

見。与上述学者同时，在地球結構的研究中最大的功勳应属于捷克学者 A. 墨赫罗維其克 (*Mohorovicic*)，他首先在1909年发现並解釋了折射波，而且确定以其名字命名的，深度达60公里左右的某个分界面。德国学者 B. 古登堡 (*Gutenberg*)，英国学者傑弗瑞斯 (*Jeffreys*)，日本学者 K. 妹澤克維 (*Sezawa*)，K. 金井清 (*Kanai*) 的著作具有很大的意义。这几位学者进行了与地震主要破坏作用有关的面波的許多重要研究。

现在，地震学在地震的研究上获得了巨大的成就。有拥有許多地震台網的国际地震服务站。在苏联地震工作中，广濶的台網分佈于中亞細亞、高加索、克里米亞和远东。根据苏联最大的地震学家 Г. А. 甘布尔采夫 (*Гамбургцев*) 的发起，开始广泛地調查与研究預报地震時間的方法有关的弱的地方性地震。具有巨大国民經济意义的苏联地震区域划分已經完成了。它为居住楼房、工业建筑等的設計和建筑确定了标准。

作为地震学基础的彈性波物理学也有了很大的进展。于1904年，英国学者蘭姆 (*H. Lamb*) 首先解决了外力作用下彈性半空間的振动問題。近几年来，各国学者为了研究波在比較接近于真实条件的介質中的情况，曾进行了許多理論性的研究。

在这些研究中应该指出苏联学者 В. И. 斯密尔諾夫 (*Смирнов*)、С. Л. 梭鮑辽夫 (*Соболев*)、Г. И. 彼得拉欣 (*Петрашень*)、Н. В. 茲涅林斯基 (*Зволинский*)，美国学者 M. 穆斯凱特 (*Muscat*)、H. 瑞克尔 (*Ricker*) 澳洲学者 K. 布倫 (*Bullen*) 的著作。在中华人民共和国內，傅承义教授在理論地震学范圍內完成了有意义的研究。所有这些著作对地震勘探都有很大的意义，因为彈性波的物理学也是地震勘探的理論基础。

2. 地震勘探的历史

工业的迅速发展，引起研究可以迅速而廉价地进行勘探有用矿床的方法的需要。因此，在本世纪10—20年代里，出现了第一批的各种地球物理方法。

地震勘探方法之一——初至法（折射波）是在1919年由德国学者Л. 敏储普（*Mintrop*）提出来的。敏储普提出以地质勘探的

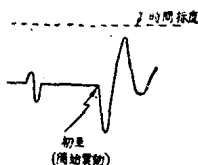


图 7

目的而应用以前墨赫罗维其克所发现的折射波。初至法归结如下。利用为计算时间所装置的地震仪和记录仪，记录到达地震仪的第一个震动的时间。从发生地面震动的爆炸时刻开始记录时间。在地层中具有高速传播的折射波，在离开爆炸点相当远时，超过所有其它的波，并且首先到达仪器。这种

情况极大限度地简化了折射波的观测，这样，对于折射波的观测可以应用最简单的记录仪器。

在二十年代开始时，初至法于盐丘、铁矿和煤田等勘探中得到了实际应用。在美国、德国等国家内，利用什维依达尔（*Швейдар*）机械地震仪记录地面振动；每一个地震仪都要进行独立的观测。在这个时期内，与折射波法实际应用的同时，还研究了它的理论基础和方法基础。很大的注意力集中于折射波的性质以及其传播路程的问题上（Л. 敏储普、Осв. 施密特、П. П. 拉扎列夫、В. 什维依达尔等）。在很长的时间内，这个问题都有着争论，很晚才找到其理论的和实际的解答。

有人作出整理观测资料（地震记录）的方法。利用地震学中最简单的时距曲线法作为制作地质界面的基本方法。在地震勘探最近的发展中，这个方法保持了自己优越的意义。应该将波的旅行时间与观测点坐标的关系图形了解为时距曲线。各种波时距曲线的形状和分布与所观测波的类型、波在组成地质剖面的各种地层中的传播速度，以及这

些地層的界面位置有關。因此，所得實驗時距曲線的分析可以作出勘探範圍內地質剖面特點的結論。

由於1925年蘇聯共產黨第十四次代表大會將國家最快工業化的任務提到蘇聯人民面前，在這以後，勘探的地球物理以及其中的地震勘探開始在蘇聯迅速發展。蘇聯工人、學者和工程師用全付的力量最快地勘探重工業增長所需要的、新的有用礦床，以回答黨的號召，從這時候起，在勘探礦藏的新方法之中，地球物理方法的意義在不斷增長着，蘇聯學者在研究地球物理方法中起着卓越的作用。

在三十年代之初，初至法得以普遍的承認，特別是在解決某些石油地質問題的時候。已經肯定，地震勘探是比其它大多數地質方法精確的。已經勘探出來恩巴（蘇聯）和高爾夫（美國）的許多鹽丘。在這個期間內，利用地震勘探發現了許多巨大的油田。但是到此時為止，也發現地震數據的地質解釋有很多錯誤。每個這樣的錯誤都造成資金和時間的浪費。折射波法的局限性還表現在：它只能應用於研究速度高於上面所有地層中速度的地層。因為這種條件並不是各處都會遇到，於是就限制了初至法的應用。根據地殼上部地層中有用礦物儲藏耗費的程度，大量增加勘探深度成為絕對必要的了。這也就使初至法的野外工作昂貴而複雜，所有這些情況都要求研究新的、比較有效的地震方法。反射波法就是這種方法。

反射波法的概念是德國學者費森登（Fessenden）在1914年提出的。在1923年蘇聯學者 В. С. 伏尤茨基（Вуюцкий）獲得反射波法較完整的專利權。但是，還需要十年左右的時間以便研究記錄反射波的方法和儀器。記錄反射波的困難在於：反射波到達地震儀時總是晚於其它波（直达波、折射波、淺層反射波）。反射波到達時，地面不是處於靜止狀態，因此，很難發現並區分反射波。需要研究新的區分波的原則——對比記錄法。這個方法為比較彼此相距不遠的地震儀所得的記錄。我們以後要很詳細地講到它。只有在電的地震儀和具有瀘波的电放大器創造以後利用對比原則才實際上成為可能的。這種記錄