

蘇聯高等學校教學用書

石油與天然氣產地 電法勘探

上 册

達赫諾夫著

地質出版社

石油與天然氣產地 電法勘探

上 冊

達赫諾夫著

蘇聯高等教育部審定作為
石油與天然氣產地地球物理勘探專業教學用書

地質出版社

1955·北京

原書“Электрическая разведка нефтяных и газовых месторождений”是蘇聯達赫諾夫(В.Н. Дахнов)教授所著。係蘇聯國立石油燃料科技書籍出版社(Гостоптехиздат)1953年於莫斯科列寧格勒出版。書裏介紹的是關於勘探石油與天然氣的各種電法的主要知識，這些方法發展的歷史評述，進行野外電探的理論與實踐，測量資料的解釋方法及最典型的電探工作結果。對電阻法的物理及數學基礎敘述很詳細，此外對電測深、電剖面、迴線法、自然電流法及其他的方法等也作了深刻的討論。原書經蘇聯高等教育部審定作為大學石油與天然氣地球物理勘探法專業學生的教材。

本書分上下兩冊出版，上冊由地質部物理探礦管理處林振民、秦積庚等同志，北京地質學院物理探礦教研室梁叔才、吳榮祥、陸家仕、周祥標等同志合譯，由地質部編譯出版社張志誠、顧燕庭、蔡冬生等同志校對，陳培光同志最後校訂。

本書可作為高等學校地球物理系及地質系學生的教材，亦可供在勘探石油及天然氣方面工作的地球物理工程師及地質工作者作參考資料。

石油與天然氣產地

書號 0115-1 電法勘探 280千字
上冊

著者 達赫諾夫

出版者 地質出版社

北京安定門外六鋪炕

北京市書刊出版業營業許可證出字第零壹零號

發行者 新華書店

印刷者 北京市印刷一廠

北京西便門南大道乙一號

印數(京) 1—4500冊 一九五五年二月北京第一版

定價23,000元 一九五五年二月第一次印刷

開本31''×43'' $\frac{1}{2}$ 13幅印張

目 錄

第一版序言.....	6
第二版序言.....	7
緒論.....	8
簡短的歷史評述.....	17
參考文獻.....	22
第一章 岩石的電的性質.....	25
§1. 電阻.....	25
§2. 岩石的介電常數.....	42
§3. 電化學活動性.....	43
參考文獻.....	49
第二章 電阻法勘探的物理數學基礎.....	51
§4. 概論.....	51
§5. 均勻各向同性介質中的電場.....	53
§6. 視電阻.....	71
§7. 互易原理.....	81
§8. 均勻各向異性半空間中的電場.....	83
§9. 具有平界面的非均勻介質中的電場.....	90
§10. 水平層狀介質中的電場.....	95
§11. 垂直層狀介質中的電場.....	117
§12. 傾斜層狀介質中的電場.....	140
§13. 在具有二次和多次分界面的非均勻介質中的電場.....	147
§14. 電阻法勘探的深度.....	152
參考文獻.....	156
第三章 儀器.....	159
§15. ЭП-1型電位計.....	159

§16. ЭП—1M型電位計	184
§17. 半自動記錄器	188
§18. 野外電測站	190
§19. 閘流管電位計	205
§20. 脈動換向器	210
參考文獻	214
第四章 電法勘探隊的裝備	215
§21. 電源	215
§22. 導線	225
§23. 收放及保存導線用的裝備	233
§24. 接地	236
§25. 檢查漏電及通訊的設備	244
§26. 隊的輔助裝備和運輸	252
參考文獻	255
第五章 電阻法野外工作的進行	257
§27. 概論	257
§28. 電剖面的類型、導線的標記	258
§29. 電剖面 $AMNB$	259
§30. 電剖面 $AA'MNB'B$	266
§31. 電剖面 $AMONB$ 和 $AA'MONB'B$	273
§32. 帶有遠離的電極的電剖面	277
§33. 電剖面 MN (AB ——固定)	279
§34. 偶極剖面和微剖面	285
§35. 平移法	286
§36. 垂直電測深	287
§37. 對稱的垂直電測深 $A \leftarrow MN \rightarrow B$	288
§38. 單極垂直電測深	300
§39. 偶極測深	301
§40. 野外電測站進行垂直電測深的方法	306
§41. 環形探測法	308

§42. 交替供電裝置.....	309
參考文獻.....	310
第六章 使測量發生困難的過程，進行測量的方法	312
§43. 電極的不穩定極化.....	312
§44. 感應.....	315
§45. 表面效應.....	319
§46. 大地電流與游散電流.....	323
§47. 電流計活動系統的偶然擺動和振動.....	325
§48. 有干擾存在時野外測量電位差的方法.....	327
參考文獻.....	338

第一版序言

雖然電法勘探在石油及天然氣產地的普查和勘探中，有很大的生產意義，但有關該問題的出版著作為數並不大。

在向石油及天然氣地球物理勘探法這門專業的學生們講授電法勘探課程時，特別感覺到上述教材的不足。這種情況促使作者去修改過去所出版的而現在對有關問題已經是陳舊了的著作，同時把本書介紹給讀者。

在本書中闡明了石油及天然氣產地的電法勘探的理論，敘述了野外工作的生產方法，同時介紹了解釋測量結果的方法的基本知識。本書對石油及天然氣勘探這門專業的學生應當作教材使用。

作者認為必須深深地感謝科學院士卡林諾夫 (Е. Н. Каленов)；因為他的寶貴意見在編寫本書已為作者所採納，感謝地球物理地球化學勘探法科學研究所的所長菲登斯基教授 (В. В. Федынский) 及科學院士阿列克謝耶夫 (А. М. Алексеев)，他們為作者提供了一系列的資料。作者對以科學院士古布金 (И. М. Губкин) 命名的莫斯科勞動紅旗勳章石油學院石油及天然氣地球物理地球化學勘探法教研室的全體工作人員也表示謝意，特別應感謝在整理手稿方面給予幫助的研究生多羅菲耶夫 (Б. В. Дорофеев)。

讀者如能提出批評性意見作者將不勝感激，意見請寄交莫斯科古布金石油學院地球物理勘探法教研室 (МНИ им. акад. И. М. Губкина) (莫斯科，Б.卡盧日斯街 6 號 [Москва, Б. Калужская, 6])。

第二版序言

由於廣大地質勘探工作人員對先進的地球物理探礦法，特別是對電法勘探感到莫大的興趣，以及第一版“石油與天然氣電法勘探”教材在短時期中銷完，因此才將該書再版。

在編寫第二版原稿時，作者力求把在找尋及勘探石油及天然氣產地電法勘探最近所獲得的成就包括在內，並考慮了列寧格勒礦業學院地球物理勘探教研室主任涅斯捷羅夫教授博士(Л. Я. Нестеров);以奧爾忠尼啓則命名的莫斯科地質勘探學院地球物理勘探法教研室主任，博士，查博羅夫斯基教授(А. И. Заборовский)及該教研室全體人員；謝苗諾夫教授(А. С. Семенов);以阿集茲別科夫命名的阿塞拜疆工業學院地球物理勘探教研室全體人員及該學院的副教授利特維諾夫(С. Я. Литвинов)，德聶伯彼得羅夫斯基礦業學院地球物理勘探法教研室主任，博士，尤科夫教授(А. А. Юньков)及教研室助教庫欽(В. П. Кучин)；科學碩士阿列克謝耶夫等對本書第一版所提的許多寶貴意見；作者特向他們致以深深的謝意。

作者認為必須對石油工業科學院地球物理教研室主任波格丹諾夫(А. И. Богданов)副教授，卡列諾夫(Е. Н. Каленов)副教授和工程師查加爾米斯特爾(А. М. Загармистр)、采科夫(Г. Д. Цекон)、多羅菲耶夫和奧爾洛夫(Д. Н. Орлов)深致謝意。因為他們曾對本書作了評論並參加了第二版原稿的討論，提出了寶貴的意見。作者在最後定稿中也都考慮到他們的意見。

緒 論

電法勘探——簡稱電探——是以研究天然電場和人為的直流電和交流電場（電磁場）為根據來尋找和勘探礦床和解決地質構造問題的地球物理方法。

根據電流的種類，電法勘探分為：

1. 直流電法，
2. 交流電法。

岩石中自行產生的自然電場的探測（自然電場法或自然——本身的，自發的——極化法），人工電場的研究——電阻法，等位線法及充電法屬於直流電法。

交流電法又分為高頻率及低頻率的。等位線法、電位差比法、強度法、無限長導線法、迴綫法以及大地電流法等屬於低頻率。感應法、電波法、陰影法、射線法、干擾法、回波法、波長法及反射波法屬於高頻率。

上述各種方法的實質如下。

直 流 電 法

自然（本身的）極化法或簡稱為 *СП* ① 法。這種方法用來研究主要由岩石中氧化還原及過濾作用，部分由岩石的電極極化而產生的穩定電場。

在煤（大半是無煙煤）、硫化礦石礦床及在某些其他岩石中常有氧化還原作用生成的自然電場，這電場的產生是由於在地下水的氧的作用下，在上述岩石表面產生氧化反應的結果。

① *СП* 是俄文字 *собственная, самопроизвольная (естественная) поляризация*（本身的，自發的〔自然的〕極化）的頭一字母。這方法在文獻中也有稱之為自然電場法（縮寫為自然場法）和地電流測量法。

探測在礦體及煤的氧化還原作用中所產生的自然電場的電位就可以確定出這些礦產覆蓋在浮土下的位置（圖1）。

電極極化電位對於石墨是一特徵。

濾過電位多發生在地下水濾過作用強烈的地區，例如在喀斯特化地帶上。

電阻法 在這種電法勘探時，解決地質勘探的任務是根據岩石的真電阻率或視電阻率（見後面）的測量來進行的。

為了測定岩石的電阻，經接地 A 及 B （圖2）從電池 E 把電流 I 通入地下，在 A 與 B 之間通常佈置有 M 及 N 兩點，在這兩點間可測量出電位差 ΔU 。

已知電流 I 的大小，電位差 ΔU 及 A 和 B ， M 和 N 之間的距離，根據電場在三度空間內的分佈規律可以決定 M 和 N 接地間地段的岩石底所謂視電阻值（見§6），根據這一值或根據用 A ， M ， N 和 B 間不同距離測得的視電阻諸值（從不同岩石的已知視電阻率出發）可以得出這些岩石的地質性質及其埋藏深度的結論。

等位線法 這一方法是在地表面上研究點電源所產生的電場的電位分佈。

在浮土上研究電場，根據所得等電位線的形態就有可能確定埋藏

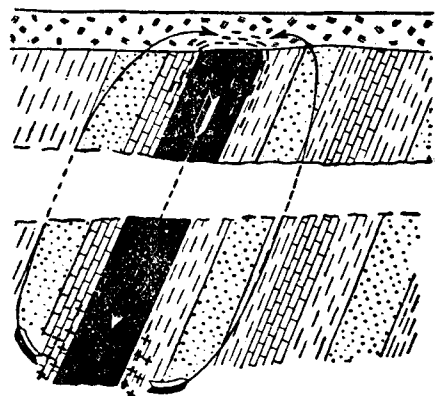
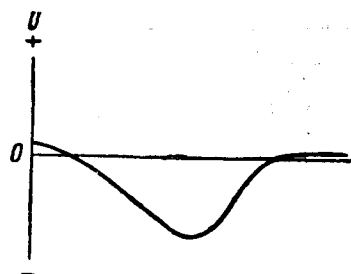


圖1. 在形成自然電場的岩石上面電位差 U 的變化

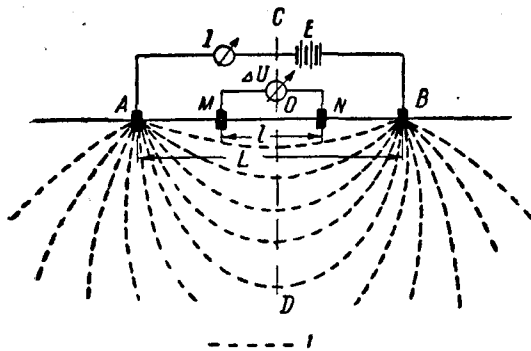


圖2. 電阻法綫路圖

I —在地下電流線； I —測量 AB 線上電流強度的儀器； AU —測量 MN 電路中電位差的儀器； COD —垂直對稱面—赤道面

在浮土下面的岩石的走向。

充電法 這個方法是等位線法的一個改進。經過礦體通電流入地，利用此法可以研究由該礦體所引起的電場的分佈性質（圖3）。等位線指出在覆蓋沉積層下面礦體埋藏的方向，這樣就可圈定礦體。

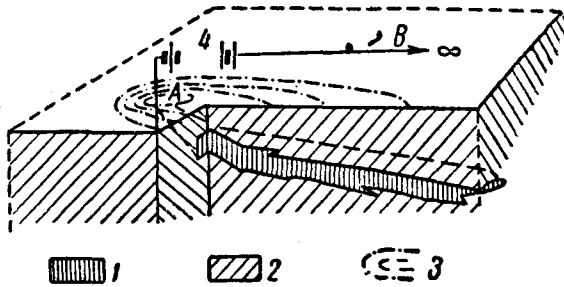


圖3. 充電法原理圖

1—金屬礦體；2—圍岩；3—等位線；4—電池； A —電池與金屬礦體露頭的連接點； B —與金屬礦體有很大距離的電極

交流電法

等位線法 在所探測地區的表面上，研究音頻（250—500週/秒）交流電所產生的電場的分佈性質。電流由發電機 G 經兩根接地的銅製導線電極 AA' 及 BB' 流入地下（圖4），其長度為500—1000公尺，彼此

① 在文獻中也稱為等位線法，電場等位線法及等線法。

間分佈距離也是這樣大。接地導線也可以用很多沿 AA' 和 BB' 線佈置的標柱來代替；這些標柱中間用導線聯接起來。

利用兩個與聽筒 T 接連着的探測電極 M 及 N ，觀測者在所探測地區地面上由一點向另一點移動，確定等電位線在地表面的位置。操作時將一個探測電極留着不動而另一個則沿所探測的地面移動直到聽筒中聲音消失為止。

這樣的點便有相等的電位。這些點都繪在圖上並用線將它們連接起來。把所得到的圖與均勻介質的等位線分佈圖比較並研究電場中的畸變情形就可以確定導電率與周圍介質不同的礦體的位置。

電位差比法 用此法（圖 5）進行電探時是在相似於等位線法中電場的交流電場中測定：

(1) 電動勢振幅的比

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{\frac{\Delta U_2}{\Delta x}}{\frac{\Delta U_1}{\Delta x}} = \frac{\Delta U_2}{\Delta U_1},$$

式中 ΔU_1 及 ΔU_2 是 MO 及 ON 間之電位差；

Δx 是 $MO=ON$ 線段之長度；

(2) E_2 與 E_1 間之相移 φ 。

測量用聯接在測量儀器上的三極裝置來進行。儀器是由兩個電阻及電容器箱 M_1 及 M_2 （圖 5），放大器 A 及聽筒 T 組成。

三極裝置是從一個供電電極向另一個供電電極移動的。 $\frac{\Delta U_2}{\Delta U_1} = f(x)$ 及 $\varphi = f(x)$ 的曲線形式提供確定所勘探礦體的位置的可能性。此

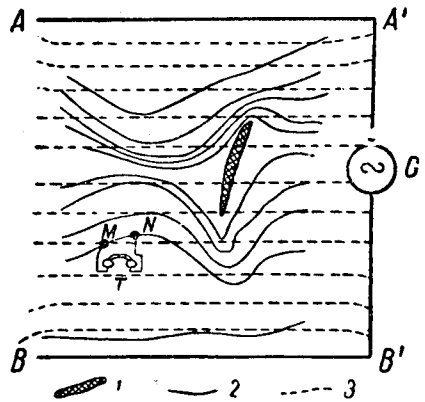


圖 4. 等電位線法的原理圖

1—礦體；2—觀測到的等位線；3—沒有礦體時的等位線； AA' 和 BB' —供電電極； T —聽筒； M 和 N —測量電極； G —交流電發電機

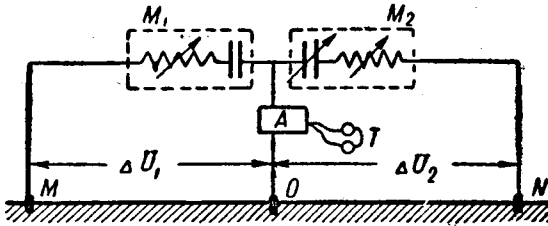


圖 5. 電位差比法電探的線路圖

處 x 是由 O 點到一個供電電極間的距離。

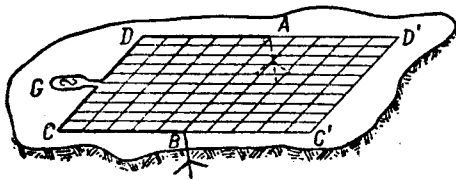


圖 6. 在強度法中供電裝置和測量網的分佈圖

強度法^① 在所探測地區表面上研究經接地 A 及 B 流入地下的發電機 G 的電流所產生的磁場的垂直分量及水平分量 (圖 6)。

利用與電子管伏特計相連的感應環可確定磁場的各

分量。伏特計的讀數與垂直於線圈平面的磁場的分量的值成正比。用感應環在正方形 $ADCBC'D'$ 範圍內沿矩形網 探測垂直分量及水平分量，並將所得數據與均勻半空間的磁場分佈圖相比較，即可以確定引起地下電流分佈及地面磁場分佈異常的目的物 (通常為金屬礦體)，這樣便解決了勘探任務。

無限導線法 用這一方法來研究經過長導線 AB 的交流電流的磁場在金屬礦床中所感應出的二次電流所形成的磁場的水平分量 H_r 。藉助於沿垂直於供電電線的

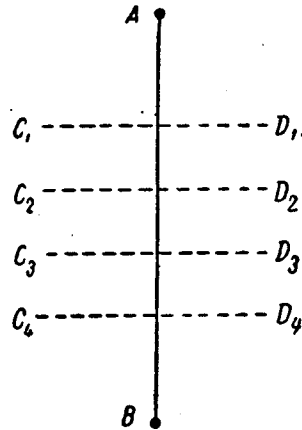


圖 7. 用無限長導線法電探圖

① 也稱測量低週率交流電磁場要素法。

剖面 CD 移動的垂直測量環可測量磁場的水平分量（圖 7）。最大值 $H_r = H_{r \text{ макс}}$ 及 $H_r = 0.5H_{r \text{ макс}}$ 點的位置能確定平行於 AB 導線伸展的導電金屬礦體的位置和埋藏深度。

迴線法① 迴線法是基於沉積岩在沿層理方向導電最良好的特性。這樣通入地內的電流，沿岩石層理密度很大，這就提供出利用電磁場的分佈規律確定岩石產狀單元的可能性。

迴線法勘探時，由發電機 G 經絕緣導線製成的方形或八角形迴線 $KLMN$ 輸出週率為 10—20 週/秒的交流電（圖 8）。 A 和 B 電極用絕緣導線相連接，分迴線為兩個對稱部分，在 A 和 B 電極的線路內探測“迴線矢量”② 這一參數。迴線矢量決定於岩石對 AB 線的角度和傾斜的方向。

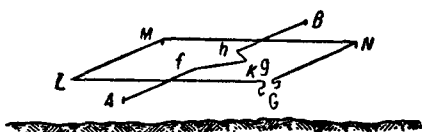


圖 8. 迴線法電探線路圖

為了測定迴線矢量，使 AB 線在中部彎曲形成一補償三角形 $fglt$ 。彎曲 AB 線直到在 AB 電路中的電流在 AB 電路中感生的電動勢消失為止。

迴線的矢量與確定岩石傾斜方向的假定矢量在 AB 導線彎曲方面垂直線上的投影成比例。岩石的真正傾斜方向與合成向量一致，等於兩個 AB 線相互垂直時所得到的迴線矢量的幾何和。

地電流法③ 地電流法研究的是隨時間變化的由地電流電場所引起的電位差。電位差變化的大小是隨着地殼表層地電流密度的增大而增大，這種現象發生在高電阻岩石埋藏不太深的地區（在鹽丘、侵入體、火成岩及其他高電阻的岩石的構造上面）；這樣就可確定出它們的位置。研究地電流電場電位差的變化是用幾個裝置來進行的，裝置

① 先前該法稱線圈法。

② 從前這一參數稱之為線圈矢量。

③ 地電流就是由於地殼和大氣中發生的各種物理及化學變化在岩石圈中所引起的不穩定的自然地電流，下面將談到（見 S74）。

是由兩個與記錄測量儀器（電位計或示波器）相連接的接地組成的，用這些儀器可以記錄電位差隨時間的變化。

感應法 用感應法勘探是研究特製振盪器的交變磁場 H_1 在導電岩石中感應出的電流的磁場 H_2 （圖 9）。一次磁場 H_1 的振盪器是一個環 A （圖 9）。環的線捲是由振盪器 G 產生的 25—60 千赫的交流電供電的。這電流產生一交變磁場 H_1 ， H_1 在地殼的導電岩石 C 中感應出二次電流，二次電流又產生二次磁場 H_2 ，探測 H_2 用經放大器 P ，與聽筒指示器 T 相連的測量環 B 來進行。

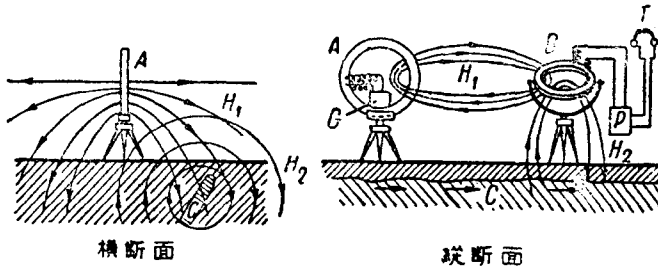


圖 9. 感應法電探線路圖

在空間中改變測量環的位置並根據聲音在聽筒中消失的時間，可以確定在其中感應二次電流的導電岩石（通常為金屬礦體）的位置，因此便解決了勘探任務。

電 波 法

電波法是根據對在岩石中電磁波分佈的研究而建立的一系列電探法的總稱。

陰影法 這一方法是根據高導電率介質吸收電磁能的原理。用陰影法在接收器 B 對發射器 S 的不同位置時來研究接收電磁波的強度（圖 10a 及 b）。例如在順利條件下，用陰影法可以確定未用水平坑道揭露的金屬礦床的位置（圖 10a）或確定進行採鹽的礦井間鹽株中地下水沼的存在（圖 10b）。爲了這一目的在水平坑道中或在一個礦

井中（圖 10 a 和 δ）放入發射器 S ，而在另一個礦井中或在地面上放一接收器 B ，利用接收器 B 可以在不同點上 $B_1; B_2; B_3 \dots$ 探測接到的電磁波的強度。對於發射器的不同位置測定由於接收器 B 和發射器 S 之間導體（金屬礦體或充滿鹽溶液的孔隙）的存在造成的接收電磁波衰減的區域，這樣就可圈定這些礦體並解決勘探任務。

射線法 此法是基於電磁波在高導電率礦體表面的反射。由發射器 S （圖 10 ε）向地下發出定向的電磁波，電磁波被導電岩石 C 反射並被接受器所接收，知道從接受器到發射器間的距離 l 及發射和接受電磁波儀器的傾角 α ，就可以用下面的公式近似地算出反射界限埋藏的深度 h 。

$$h = 0.5 l \operatorname{tg} \alpha - h_0,$$

式中—— h_0 是由發射裝置中心至地表面的垂直距離。

干擾法 在干擾法中（圖 10 ζ）反射的電磁波由發射器 S 至接受器 B 比在空氣中傳播的波慢一些。當接受器的位置不同時，由於這些波的干擾，接受的強度將增大或減弱。知道接受器在接收強度最大和最小點上的位置及波長，就可以確定所勘探的導電礦體的深度。

回波法 此法（圖 10 θ）不同於干擾法的是反射波為發射器本身 AA' 所接收。同時，用改變波長代替發射器沿垂線的移動來測定所勘探礦體的深度。

波長法 用波長法來探測岩石是在研究天線 A 的電容的基礎上進行的，天線 A 的電容隨着接近天線的岩石的電性質而變化着。天線 A 放入鑽孔或張在地表面。然後測量振盪器 G 的波長 λ ，其數值決定於天線的電容，以及天線周圍岩石的電的性質。

反射波法 反射波法是以確定從發射電磁波的瞬時到電磁波反射回來所經過的時間及反射波的方向為基礎的。

由於土壤大量吸收電磁能，電波法很少使用。因此不能用它勘探埋藏深度超過幾公尺的目的物。電波法中之某些方法，例如，反射波法，尚處於研究階段。雖然有這種情況，電波法無疑地，是值得注意

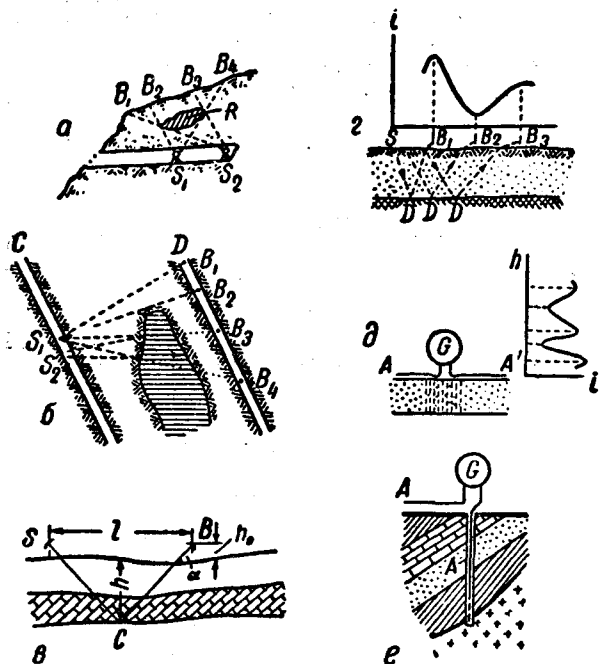


圖 10. 波法圖示

a 及 b—陰影法；c—射線法；d—干擾法；e—回波法；f—波長法

的，因為其中有許多方法（射線法、干擾法、回波法、特別是反射波法）是電法勘探中唯一的方法。用這些方法時，可避免涉及的岩石體積過大，因而平均了測得的值並減低了探測的精確度。希望在最近的將來，由於無線電工程的發展，這些方法能更廣泛地運用到有用礦產的勘探中去。

在上述一切的電探法中石油工業實際採用的只有電阻法、自然電位法、迴線法及大地電流法。本書就是專敘述這些方法的理論和實踐的。而書的絕大部分又是關於電阻法的，因為在普查和勘探石油與天然氣產地時電阻法是主導的電探法。